



اصول پتروفیزیک

رشته‌های مهندسی نفت:

اکتشاف، بهره‌برداری، حفاری و مخازن هیدروکربوری

ویرایش جدید

ترجمه و تألیف:

دکتر محمدکمال قاسم‌الاسکری

هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت ایران

دانشکده مهندسی نفت اهواز



مجموعه انتشارات ستایش

سرشناسه	: قاسم‌المسکری، محمدکمال، ۱۳۲۶-
عنوان و نام پدیدآور	: اصول پتروفیزیک: The Principles of Petrophysics / ترجمه و تالیف محمدکمال قاسم‌المسکری با همکاری عبدالرسول خشود.
مشخصات نشر	: تهران: ستایش، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ۴۹۹ ص: مصور، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۸۴-۲۶-۶
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: M. K. Ghassem-Alaskari. The principles of petrophysics.
یادداشت	: واژه‌نامه
موضوع	: چاه‌های نفت -- نمودارگیری
موضوع	: نفت -- مخازن ذخیره
موضوع	: نفت -- زمین‌شناسی
شناسه افزوده	: خشود، عبدالرسول
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ الف ۶۲/ق ۸۷/۱/۳۵ TN
رده بندی یوبی	: ۶۲۲/۱۸۳۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۱۳۷۷۷۷

Setayesh
Publication
Institute



موسسه انتشارات ستایش

تهران - صندوق پستی: ۱۶۱۸-۱۳۴۴۵ تلفن: ۶۶۹۴۸۰۹۵ (۰۲۱) - ۶۹۴۸۹۹۵ ۰۹۱۲

اصول پتروفیزیک

ترجمه و تألیف: دکتر محمدکمال قاسم‌المسکری

با همکاری: مهندس عبدالرسول خشود

ویراستار: دکتر ملیحه‌سادات کاظمی

ناشر: موسسه انتشارات ستایش

نوبت چاپ: اول/ ۱۳۹۰

شمارگان: ۲۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۸۴-۲۶-۶

قیمت (با CD اختیاری): ۱۴۸۰۰۰ ریال

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

سخن ناشر

ستایش خداوند جان و جهان که بخشید لطف و کرم بی کران

به حول و قوه‌ی الهی موسسه انتشارات ستایش با اهداف علمی، فرهنگی، آموزشی و ارائه خدمات، جهت ارتقاء آگاهی، سطح معلومات، دانش عموم، به‌ویژه ترویج کتاب و کتابخوانی اقدام به چاپ و انتشار کتابهای گوناگون نموده؛ امید است بتوانیم رابط موثری بین پدیدآورندگان و مخاطبان باشیم..... انشاءالله.

لذا از خوانندگان، محققان، اندیشمندان و صاحب نظران در زمینه‌های گوناگون علمی، فنی و مهندسی به‌ویژه مهندسی صنایع نفت دعوت می‌نماییم؛ تا ما را در ارائه و گسترش اهداف موردنظر یاری نمایند.

شایسته‌است از سرکار خانم فاطمه اقبال که در آماده‌سازی و خانم دکتر ملیحه‌سادات کاظمی که در ویرایش و بازبینی این اثر ما را یاری داده‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

شایان ذکر است که در صورت تمایل به همکاری یا هر نوع انتقاد و پیشنهادی می‌توانید با ما به نشانی پست الکترونیکی setayeshpress@yahoo.com یا تهران صندوق پستی ۱۶۱۸-۱۳۴۴۵ مکاتبه نمایید. لطف شما مایه افتخار ماست.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۲۸
تشکر و قدردانی.....	۳۰
کتاب فصل اول: اصول موضوعه پتروفیزیک.....	۳۱
۱-۱ پتروفیزیک چیست؟.....	۳۱
۲-۱ روش‌های اندازه‌گیری خواص پتروفیزیکی.....	۳۳
۱-۲-۱ گل نگاری.....	۳۳
۲-۲-۱ آنالیز مغزه‌ها.....	۳۴
۳-۲-۱ نمودارگیری در چاه‌های باز.....	۳۸
۴-۲-۱ نمودارگیری در چاه‌ها یا لوله‌های جاری.....	۳۹
۵-۲-۱ بازیابی یا پایش مخزن.....	۴۰
۶-۲-۱ لرزه‌نگاری درون‌چاهی (VSP) برای توصیف دو و سه بعدی مخزن.....	۴۱
۷-۲-۱ کاربرد داده‌ها در تعیین خواص سنگ‌شناسی مخزن.....	۴۳
کتاب فصل دوم: مبانی پتروفیزیک.....	۴۵
۱-۲ تخلخل.....	۴۵
۲-۲ تراوایی.....	۴۸
۳-۲ درجه‌ی اشباع.....	۵۱
۴-۲ مقاومت ویژه‌ی آب سازندی.....	۵۳
۱-۴-۲ اطلاعات کلی مقاومت الکتریکی آب سازندی.....	۵۴
۲-۴-۲ مقاومت آب سازندی از طریق آنالیز شیمیایی نمونه آب مخزن.....	۵۶
۳-۴-۲ تعیین مقاومت ویژه الکتریکی آب سازندی از طریق نمودار SP.....	۵۷
۴-۴-۲ تعیین مقاومت الکتریکی آب سازندی از طریق R_0 در ناحیه آبی.....	۶۳
۵-۴-۲ تعیین مقاومت الکتریکی آب سازندی با استفاده از مقاومت ظاهری آب R_{wa}	۶۳
۵-۲ مقاومت ویژه‌ی الکتریکی سازند.....	۶۴
۶-۲ روابط آرچی و کاربردهای آن.....	۶۴
۱-۶-۲ آزمایش اول آرچی.....	۶۴
۲-۶-۲ آزمایش دوم آرچی.....	۶۵
۳-۶-۲ آزمایش سوم آرچی.....	۶۶
۴-۶-۲ آزمایش چهارم آرچی.....	۶۶
۵-۶-۲ بسط معادله آرچی.....	۶۷
۶-۶-۲ تغییرات معادله آرچی.....	۶۸

۷۰	۷-۶-۲ فاکتور سازندی هامبل
۷۲	۸-۶-۲ معادله لگاریتمی آرچی
۷۳	۹-۶-۲ تعیین درجه اشباع آب از نمودارها
۷۳	۱۰-۶-۲ درجه اشباع آب در سازند آغشته به سیال حفاری
۷۴	۷-۲ مقاومت ویژه الکتریکی و دما
۷۵	۱-۷-۲ ارتباط دما و مقاومت ویژه الکتریکی
۷۹	۲-۷-۲ تخمین R_{mf} از R_{mc}
۸۰	۸-۲ مدل آب دوگانه در شیل‌ها
۸۱	۱-۸-۲ انواع توزیع شیل در سازندها
۸۱	۱-۸-۲ شیل‌های لایه‌ای
۸۱	۲-۸-۲ شیل‌های ساختمانی
۸۲	۳-۸-۲ شیل‌های تراکنده
۸۲	۲-۸-۲ آب محبوس در شیل‌ها
۸۲	۳-۸-۲ آب آزاد
۸۳	۴-۸-۲ تفسیر تخلخل در سازندهای شیلی
۸۴	۹-۲ نفوذ گل حفاری به درون سازند
۸۵	۱-۹-۲ مدل‌های نفوذ گل
۸۵	۱-۹-۲ ناحیه آغشته
۸۵	۲-۹-۲ ناحیه گذرا
۸۵	۳-۹-۲ ناحیه بکر
۸۶	۲-۹-۲ نیمرخ‌های مقاومت اطراف دیواری چاه
۸۸	۱۰-۲ هیدروکربورهای درجای مخزن
۹۰	۱۱-۲ نتیجه‌گیری کلی از این فصل
۹۱	مسائل فصل دوم
۹۳	فصل سوم: ارتباط تخلخل و تراوایی
۹۴	۱-۳ تخلخل
۹۵	۲-۳ عوامل کنترل‌کننده بزرگی تخلخل
۹۷	۳-۳ طبقه‌بندی تخلخل
۹۷	۴-۳ زمین‌شناختی تخلخل
۹۸	۱-۴-۳ تخلخل اولیه
۹۸	۲-۴-۳ تخلخل ثانویه
۱۰۰	۵-۳ توصیف عینی تخلخل در سنگ‌ها
۱۰۳	۶-۳ درجه اشباع با سیال‌ها
۱۰۳	۷-۳ کمیت‌های مورد استفاده در تخلخل
۱۰۵	۸-۳ تراوایی

۱۰۶.....	۹-۳ طبقه‌بندی تراوایی.....
۱۰۷.....	۱-۹-۳ فاکتورهای موثر بر تراوایی.....
۱۰۸.....	۲-۹-۳ فاکتورهای موثر بر میزان تراوایی در رسوبات.....
۱۱۰.....	۱۰-۳ ارتباط تخلخل و تراوایی.....
۱۱۲.....	۱۱-۳ رابطه‌ی کوزنی.....
۱۱۷.....	۱۲-۳ مفهوم واحدهای جریان.....
۱۱۹.....	۱۳-۳ نظریه ریاضی واحدهای جریان.....
۱۲۲.....	۱۴-۳ ناحیه سطح ویژه.....
۱۲۶.....	۱۵-۳ فاکتورهای ساختاری واحدهای جریان.....
۱۲۶.....	۱- اندیس کیفیت مخزن.....
۱۲۷.....	۲- شاخص زون جریان سیال.....
۱۲۸.....	۳- فاکتور ساختاری واحد جریان تیاب.....
۱۲۹.....	۴- اندیکس سیال آزاد.....
۱۳۷.....	۱۶-۳ تاثیر انباشتگی بر تراوایی.....
۱۳۷.....	۱۷-۳ تاثیر درجه اشباع آب بر تراوایی.....
۱۳۹.....	۱۸-۳ محاسبه تراوایی با استفاده از نمودار (NMR).....
۱۴۱.....	۱۹-۳ رابطه تراوایی و تخلخل در سنگ‌های کربناته.....
۱۴۳.....	۲۰-۳ محاسبه تراوایی در سنگ‌های کربناته.....
۱۶۲.....	۲۱-۳ ناهمگنی مخزن.....
۱۶۲.....	۱-۲۱-۳ ناهمگنی میکروسکوپی.....
۱۶۳.....	۲-۲۱-۳ ناهمگنی ماکروسکوپی.....
۱۶۳.....	۳-۲۱-۳ ناهمگنی مزوسکوپی.....
۱۶۳.....	۴-۲۱-۳ ناهمگنی مگاسکوپی.....
۱۶۴.....	۵-۲۱-۳ ناهمگنی گیگاسکوپی.....
۱۶۵.....	۲۲-۳ توزیع خواص سنگ.....
۱۶۶.....	۲۳-۳ توزیع تخلخل و تراوایی.....
۱۶۹.....	۲۴-۳ روش‌های میانگین‌گیری.....
۱۷۱.....	۲۵-۳ تراوایی موثر از اطلاعات مغزه‌ها یا نمونه‌ها.....
۱۷۸.....	۲۶-۳ روش آمارسنجی موضعی.....
۱۷۹.....	۲۷-۳ مراحل زون‌بندی چاه‌های منفرد.....
۱۸۴.....	۲۸-۳ علائم اختصاری بکار گرفته شده در این فصل.....
۱۸۷.....	مسائل فصل سوم.....

فصل چهارم: مقاومت ویژه سازند و تعیین درجه‌ی اشباع با آب..... ۱۹۱

۱۹۱.....	۱-۴ مقدمه.....
۱۹۲.....	۲-۴ فاکتور مقاومت ویژه‌ی سازندی.....
۱۹۲.....	۱-۲-۴ اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی.....

۱۹۴.....	۲-۲-۴ تعیین مقاومت آب سازندی.....
۱۹۵.....	۱-۲-۲-۴ تحلیل شیمیایی آب‌ها.....
۱۹۹.....	۲-۲-۲-۴ معادله‌های مقاومت ویژه و غلظت آب سازندی.....
۲۰۴.....	۳-۲-۲-۴ روش محاسبه R_w در لایه‌های شیلی.....
۲۰۵.....	۳-۲-۴ همبستگی میان تخلخل و فاکتور سازند.....
۲۰۶.....	۴-۲-۴ همبستگی میان FR و ضریب پیچشی سنگ مخزن.....
۲۰۸.....	۵-۲-۴ همبستگی بین FR و فاکتور سیمانی شدن m
۲۱۱.....	۶-۲-۴ نظریه‌های FR
۲۱۶.....	۷-۲-۴ همبستگی میان FR و درجه‌ی اشباع آب.....
۲۲۶.....	۸-۲-۴ همبستگی بین FR و تراوایی.....
۲۲۹.....	۳-۴ مقاومت ویژه سنگ‌های مخازن شیل‌دار (رس‌دار).....
۲۲۹.....	۱-۳-۴ اشباع آب در سنگ‌های مخازن شیلی.....
۲۳۶.....	۲-۳-۴ تأثیر فاکتور شیل در محاسبات اشباع آب.....
۲۳۶.....	۳-۳-۴ فاکتور شیل.....
۲۴۰.....	۴-۴ تعیین کانال‌های جریان در ماسه سنگ‌های شیل‌دار.....
۲۴۴.....	۵-۴ محاسبه مقدار شیل سنگ‌های مخازن از نتایج آزمایشگاهی.....
۲۵۳.....	۶-۴ مدل واکنش-اسمیت.....
۲۵۴.....	۱-۶-۴ حل معادله‌ی واکنش-اسمیت.....
۲۵۶.....	۲-۶-۴ درجه‌ی اشباع آب محبوس بر مبنای درجه شوری.....
۲۶۵.....	۷-۴ ارزشیابی سازند.....
۲۶۶.....	۸-۴ تفسیر داده‌های نمودارگیری چاه.....
۲۷۰.....	۹-۴ علائم اختصاری.....
۲۷۳.....	مسائل فصل چهارم.....

فصل پنجم: نمودارهای تخلخل..... ۲۷۹

۲۷۹.....	۱-۵ نمودار صوتی.....
۲۷۹.....	۱-۱-۵ تولید موج صوتی در محیط.....
۲۷۹.....	۲-۱-۵ نحوه گسترش امواج صوتی.....
۲۸۰.....	۳-۱-۵ نحوه انتشار امواج صوتی از ابزار صوتی.....
۲۸۱.....	۴-۱-۵ ابزارهای نمودارگیری صوتی.....
۲۸۱.....	۱-۴-۱-۵ ابزار صوتی با یک گیرنده و یک فرستنده.....
۲۸۱.....	۲-۴-۱-۵ ابزار با یک فرستنده و دو گیرنده.....
۲۸۲.....	۳-۴-۱-۵ ابزار با دو فرستنده و دو گیرنده.....
۲۸۳.....	۴-۴-۱-۵ ابزار صوتی با دو فرستنده و دو جفت گیرنده (BHC).....
۲۸۴.....	۵-۴-۱-۵ ابزار تصحیح گر صوتی- عمقی (BHC-D).....
۲۸۵.....	۶-۴-۱-۵ آرایه صوتی چند مؤلفه‌ای.....

۲۸۷	۵-۱-۴-۷ ابزار تصویرگرسوتی - برشی دوقطبی
۲۸۹	۵-۱-۵ ابزار نمودارگیر صوتی حین حفاری
۲۹۰	۵-۱-۶ زمان کندی همفازی
۲۹۰	۵-۱-۷ کاربردهای نمودار صوتی
۲۹۲	۵-۱-۸ خواص کشسانی مدول های سنگ
۲۹۲	۵-۱-۹ تعیین تخلخل با استفاده از نمودار صوتی
۲۹۳	۵-۱-۹-۱ تعیین تخلخل با نمودارهای صوتی در ناحیه ی شیلی
۲۹۴	۵-۱-۹-۲ تعیین تخلخل با استفاده از معادله ریمر - هانت
۲۹۵	۵-۱-۹-۳ محدودیت های ابزارهای صوتی
۲۹۵	۵-۱-۹-۴ تاثیر دهانه چاه روی نمودار صوتی
۲۹۷	۵-۱-۹-۵ محدودیت ها در شیل ها
۲۹۸	۵-۲ ابزار گاما در تعیین تخلخل
۲۹۹	۵-۲-۱ کاهیدگی و تعیین چگالی
۲۹۹	۵-۲-۲ رابطه بین چگالی الکترونی و چگالی حجمی سازند
۳۰۰	۵-۲-۳ نمودارگیری چگالی
۳۰۱	۵-۲-۳-۱ طیف انرژی اشعه ی گاما
۳۰۲	۵-۲-۳-۲ اصول کار نمودارگیری چگالی
۳۰۲	۵-۲-۴ ابزار نمودارگیری چگالی
۳۰۲	۵-۲-۴-۱ تنظیم ابزار چگالی
۳۰۳	۵-۲-۴-۲ کاربردهای نمودار چگالی - نوترون
۳۰۵	۵-۲-۵ تصحیحات محیطی روی نمودارهای چگالی
۳۰۵	۵-۲-۵-۱ تاثیر سنگ شناسی دیواره ی چاه
۳۰۶	۵-۲-۵-۲ تاثیر گل چسبیده به دیواره چاه
۳۰۶	۵-۲-۵-۳ تاثیر قطر دهانه چاه بر نمودار چگالی
۳۰۷	۵-۲-۶ اندازه گیری تخلخل با استفاده از نمودار چگالی
۳۰۹	۵-۲-۷ تاثیر ناهموازی دیواره چاه
۳۰۹	۵-۳ نمودار نوترون
۳۰۹	۵-۳-۱ جذب نوترونی
۳۱۰	۵-۳-۲ پراکندگی نوترون
۳۱۰	۵-۳-۳ دوره عمر نوترون
۳۱۲	۵-۳-۴ شاخص هیدروژن
۳۱۳	۵-۳-۵ نمودارگیری نوترون
۳۱۳	۵-۳-۵-۱ چشمه های نوترونی
۳۱۴	۵-۳-۵-۲ گیرنده های نوترون
۳۱۶	۵-۳-۵-۳ تاریخچه ابزارهای نوترونی
۳۱۷	۵-۳-۵-۴ تنظیم ابزار نمودارگیری نوترون
۳۱۸	۵-۳-۵-۵ الگوی یافتن تخلخل از نوترون ترمال

- ۳۱۸..... ۵-۳-۶ تطابق با عمق و دقت اندازه‌گیری
- ۳۲۰..... ۵-۳-۷ ابزار نمودارگیری نوترون حین حفاری
- ۳۲۰..... ۵-۳-۶ تصحیحات لازم برای ابزار نمودارگیری نوترون
- ۳۲۰..... ۵-۳-۱ تصحیحات چاه برای تخلخل حاصل از نوترون ترمال
- ۳۲۲..... ۵-۳-۲ تصحیحات محیطی نمودارهای نوترونی
- ۳۲۲..... ۵-۳-۷ تعیین تخلخل از نمودار نوترون ترمال
- ۳۲۳..... ۵-۳-۸ محدودیت‌های ابزار نوترون گرمایی برای تعیین تخلخل
- ۳۲۴..... ۵-۴-۴ محاسبه تخلخل به کمک گراف‌های عرضی
- ۳۲۵..... ۵-۴-۱ گراف عرضی سازند آبدار با یک کانی
- ۳۲۵..... ۵-۴-۲ استفاده از گراف‌های عرضی در تعیین تخلخل
- ۳۲۷..... ۵-۴-۱-۲ مدل کانی دوگانه
- ۳۲۸..... ۵-۴-۲-۲ تاثیر هیدروکربورها بر نمودار نوترون
- ۳۲۹..... ۵-۴-۲-۲ تاثیر شیل بر گراف‌های عرضی
- ۳۲۹..... ۵-۴-۲-۴ گراف عرضی برای تاثیر نوع شیل‌ها
- ۳۳۰..... ۵-۴-۲-۵ گراف عرضی صوتی - چگالی
- ۳۳۰..... ۵-۴-۲-۶ گراف عرضی صوتی - نوترون
- ۳۳۱..... ۵-۴-۲-۷ گراف عرضی $m-n$ برای تشخیص نوع سنگ‌ها
- ۳۳۳..... ۵-۴-۳ معیار اندازه‌گیری نمودار نوترون - چگالی
- ۳۳۵..... ۵-۵ نمودار تشدید هسته‌های مغناطیسی
- ۳۳۶..... ۵-۵-۱ ابزار نمودارگیری تشدید هسته‌ای مغناطیسی
- ۳۳۶..... ۵-۵-۱-۱ ابزار CMR
- ۳۴۰..... ۵-۵-۲ تکنولوژی NMR در قرن ۲۱
- ۳۴۴..... ۵-۵-۱-۲ روش اندازه‌گیری زمان تبدیل موج آکو
- ۳۴۵..... ۵-۵-۳ مکانیسم‌های آرمیدگی
- ۳۴۶..... ۵-۵-۴ جمع‌آوری داده‌های T₂
- ۳۴۷..... ۵-۵-۵ نتایج به دست آمده از نمودار NMR
- ۳۴۸..... ۵-۵-۵-۱ اندازه‌گیری موج آکو
- ۳۵۰..... ۵-۶ ابزارهای نمودارگیری NMR
- ۳۵۰..... ۵-۶-۱ ابزار CMR
- ۳۵۲..... ۵-۶-۷ کاربردهای ابزار نمودارگیری NMR
- ۳۵۳..... ۵-۸ مؤلفه‌های تخلخل
- ۳۵۴..... ۵-۸-۱ مؤلفه‌های تخلخل و توزیع T₂
- ۳۵۴..... ۵-۸-۱-۱ تخلخل سیال آزاد
- ۳۵۵..... ۵-۹ ارزیابی نمودارهای CMR
- ۳۵۶..... ۵-۹-۱ تعیین درجه‌ی اشباع آب غیر قابل استحصال توسط نمودار NMR
- ۳۵۸..... ۵-۹-۲ محدودیت‌های نمودار NMR

که فصل ششم: تعیین درجه اشباع سیال‌ها به کمک نمودارها ۳۵۹

۳۵۹	۱-۶ نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی
۳۶۲	۲-۶ مقاومت الکتریکی میکرو
۳۶۳	۱-۲-۶ اصول نمودارگیری میکرو
۳۶۳	۲-۲-۶ ابزارهای میکروبالشتکی
۳۶۶	۳-۲-۶ کاربردها
۳۶۶	۴-۲-۶ تصحیحات محیطی
۳۶۷	۵-۲-۶ روش‌های ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی
۳۶۹	۳-۶ نمودار مقاومت جانبی
۳۶۹	۱-۴-۶ اصول نمودارگیری
۳۷۲	۲-۳-۶ ابزارهای نمودارگیری مقاومت ویژه الکتریکی
۳۷۷	۳-۳-۶ کاربردهای ابزارهای عرضی
۳۷۸	۴-۳-۶ تصحیحات محیطی
۳۸۶	۴-۶ نمودارگیری القایی
۳۸۶	۱-۴-۶ مبانی نمودارهای القایی
۳۸۸	۲-۴-۶ ابزارهای مقاومت القایی
۳۹۲	۳-۴-۶ کاربردهای نمودار مقاومت القایی
۳۹۲	۴-۴-۶ تصحیحات محیطی
۳۹۵	۵-۴-۶ روش‌های ارزیابی سازند
۴۰۰	۵-۶ کاربرد ابزار مقاومت القایی در لوله‌های جداری
۴۰۰	۱-۵-۶ مبانی نمودارگیری
۴۰۲	۲-۵-۶ ابزارهای دومگاهرتری
۴۰۷	۳-۵-۶ کاربرد ابزارهای حین حفاری
۴۰۷	۴-۵-۶ تصحیحات محیطی
۴۰۸	۵-۵-۶ روش‌های ارزیابی سازند
۴۱۳	۶-۵-۶ روش‌های ارزیابی نمودارها

که فصل هفتم: تراوایی به کمک نمودارها ۴۱۷

۴۱۷	۱-۷ مقدمه
۴۱۷	۱-۱-۷ مبانی
۴۱۸	۲-۱-۷ ابزارهای مربوط
۴۱۹	۳-۱-۷ کاربردهای مربوط
۴۲۱	۴-۱-۷ روش‌های ارزیابی
۴۲۵	۲-۷ تراوایی از نمودار NMR
۴۲۵	۱-۲-۷ مبانی نمودار
۴۲۸	۲-۲-۷ ابزارها

۴۲۸.....	۳-۲-۷ کاربردها.....
۴۲۸.....	۴-۲-۷ روش‌های ارزیابی.....

ک فصل هشتم: تعیین نوع هیدروکربورها در سازند به کمک نمودارها ... ۴۳۱

۴۳۱.....	۱-۸ نمودارهای نوترون- چگالی.....
۴۳۱.....	۱-۱-۸ مبانی.....
۴۳۲.....	۲-۱-۸ ابزارهای اندازه گیری.....
۴۳۳.....	۳-۱-۸ کاربردها.....
۴۳۶.....	۴-۱-۸ روش‌های ارزیابی.....
۴۳۸.....	۲-۸ نمودار NMR.....
۴۳۸.....	۱-۲-۸ مبانی.....
۴۴۰.....	۲-۲-۸ ابزارها.....
۴۴۰.....	۳-۲-۸ کاربردها.....
۴۴۰.....	۴-۲-۸ روش‌های ارزیابی پارامترها.....
۴۴۳.....	۳-۸ ابزارهای آزمایش سازند.....
۴۴۳.....	۱-۳-۸ مبانی.....
۴۴۳.....	۲-۳-۸ ابزارها.....
۴۴۵.....	۳-۳-۸ کاربردهای ابزار MDT.....
۴۴۷.....	۴-۳-۸ روش‌های ارزیابی.....

ک فصل نهم: ارزیابی سریع سازند به کمک نمودارها ۴۵۷

۴۵۷.....	۱-۹ بررسی نمودارها.....
۴۵۸.....	۲-۹ تعیین نواحی مخزنی.....
۴۶۱.....	۳-۹ تشخیص نواحی هیدروکربوری.....
۴۶۳.....	۴-۹ شناسایی سیال نفتی و گازی.....
۴۶۴.....	۵-۹ تعیین تخلخل و درجه اشباع آب.....
۴۶۴.....	۱-۵-۹ محاسبه‌ی تخلخل سازند.....
۴۶۵.....	۲-۵-۹ محاسبه‌ی تخلخل سازند به کمک نمودارهای نوترون و چگالی.....
۴۶۶.....	۳-۵-۹ محاسبه R_w
۴۶۸.....	۴-۵-۹ نمودار پیکت (Pickett Plot).....
۴۶۸.....	۶-۹ محاسبه درجه‌ی اشباع آب.....
۴۷۱.....	۷-۹ نتیجه‌گیری کلی.....

۴۷۳..... واژه‌نامه.....

۴۹۰..... مراجع انگلیسی.....

فهرست شکل‌ها

فصل اول: اصول موضوعه پتروفیزیک

- شکل ۱-۱: انواع مختلف اندازه‌گیری‌های پتروفیزیکی ۳۲
- شکل ۲-۱: داده‌ها در مقیاس‌های مختلف برای تعیین پارامترهای پتروفیزیکی ۳۲
- شکل ۳-۱: نمودار گل‌نگاری و پارامترهای آن ۳۳
- شکل ۴-۱: مقایسه انواع روش‌های مغزه‌گیری ۳۶
- شکل ۵-۱: ابزارهای مغزه‌گیری درون چاهی ۳۶
- شکل ۶-۱: نمونه مغزه گرفته شده سرچاهی ۳۷
- شکل ۷-۱: ابزار نمودارگیری ساجمه‌ای و کاربرد آن ۳۷
- شکل ۸-۱: ابزارهای مغزه‌گیری متداول ۳۸
- شکل ۹-۱: ابزار نمودارگیری تصویری ۳۹
- شکل ۱۰-۱: نمودارگیری به شیوه کابلی ۳۹
- شکل ۱۱-۱: نمودارهای مختلف گرفته‌شده به شیوه کابلی ۳۹
- شکل ۱۲-۱: نمودارگیری چاه‌ها با لوله جداري ۴۰
- شکل ۱۳-۱: تغییر سطح تماس سیالات مختلف مخزن در اثر تولید یا کشت زمان ۴۰
- شکل ۱۴-۱: نحوه جمع‌آوری داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی ۴۲
- شکل ۱۵-۱: تهیه داده‌های لرزه‌ای درون چاهی ۴۲
- شکل ۱۶-۱: روش‌های گوناگون تهیه داده‌های لرزه‌ای دو و سه بعدی ۴۳

فصل دوم: مبانی پتروفیزیک

- شکل ۱-۲: درصد تخلخل ۴۶
- شکل ۲-۲: انواع تخلخل براساس منشأ ۴۶
- شکل ۳-۲: (a) تخلخل موثر، (b) تخلخل کل (شامل تخلخل موثر و تخلخل غیر موثر) ۴۷
- شکل ۴-۲: تأثیر نحوه قرارگیری ذرات نسبت به یکدیگر بر روی تخلخل ۴۷
- شکل ۵-۲: (a) مدل‌های تراوایی و تخلخل (b) اثر سیمان شدگی سنگ بر تخلخل ۴۸
- شکل ۶-۲: تراوایی و مسیر حرکت سیالات ۴۹
- شکل ۷-۲: تأثیر تخلخل روی تراوایی در مدل کاناله‌ای ۴۹
- شکل ۸-۲: تأثیر درجه‌ی پیچشی فضاهای سنگ روی تراوایی ۵۰
- شکل ۹-۲: نمودار تجربی رابطه بین تراوایی و تخلخل ۵۰
- شکل ۱۰-۲: تأثیر اندازه ذرات و دانه بندی آن‌ها روی تراوایی و تخلخل ۵۱
- شکل ۱۱-۲: تعیین تراوایی با استفاده از آنالیز مغزه‌ها ۵۱

- شکل ۲-۱۲: نمایش درجه‌ی اشباع سیالات دوفازی سنگ مخزن..... ۵۲
- شکل ۲-۱۳: نمایش درجه اشباع سیالات سه فازی در سنگ..... ۵۲
- شکل ۲-۱۴: آب بجای مانده در سنگ مخزن (یا آب غیر قابل کاهش)..... ۵۳
- شکل ۲-۱۵: اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی آب..... ۵۳
- شکل ۲-۱۶: اندازه گیری مقاومت الکتریکی آب سازندی..... ۵۴
- شکل ۲-۱۷: یک نمونه از جداول مقاومت الکتریکی آب سازندی با فرمت اصلی..... ۵۵
- شکل ۲-۱۸: نمودار تعیین غلظت یون‌های آب سازندی با فرمت اصلی..... ۵۶
- شکل ۲-۱۹: نمودار دما، غلظت برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی آب سازندی..... ۵۷
- شکل ۲-۲۰: نمودار SP-1 با فرمت اصلی..... ۵۸
- شکل ۲-۲۱: نمودار SP-1 با فرمت اصلی..... ۵۹
- شکل ۲-۲۲: نمودار SP-2 با فرمت اصلی..... ۶۰
- شکل ۲-۲۳: مثال ۲-۱، روابط آرجی..... ۶۲
- شکل ۲-۲۴: ماهیم مقاومت ویژه الکتریکی..... ۶۵
- شکل ۲-۲۵: آرمایش سوم آرجی: تعیین S_w ، S_{pr} در سازند..... ۶۶
- شکل ۲-۲۶: آرمایش چهارم آرجی با مقدار ثابت ϕ و S_w ۶۷
- شکل ۲-۲۷: ارتباط بین فاکتور سازندی و تخلخل..... ۶۸
- شکل ۲-۲۸: استفاده از داده‌ها در مدل‌های مختلف برای تعیین رابطه بین فاکتور سازندی و تخلخل..... ۶۹
- شکل ۲-۲۹: داده‌های آرجی در آزمایش‌های سال ۱۹۴۲..... ۶۹
- شکل ۲-۳۰: معادله آرجی رابطه‌ی بین تخلخل و فاکتور سازند (F)..... ۷۰
- شکل ۲-۳۱: ثابت سازندی وینسور (Winsauer)..... ۷۱
- شکل ۲-۳۲: نمودار تخلخل بر مبنای فاکتور سازندی با فرمت اصلی..... ۷۱
- شکل ۲-۳۳: معادله آرجی..... ۷۲
- شکل ۲-۳۴: معادله آرجی - درجه اشباع آب..... ۷۲
- شکل ۲-۳۵: تعیین درجه اشباع آب سازندی با استفاده از نمودارهای مقیاس شده..... ۷۳
- شکل ۲-۳۶: نواحی مختلف اطراف دیواره چاه و تاثیر آن بر روی نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی..... ۷۴
- شکل ۲-۳۷: چرخه گل برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی..... ۷۵
- شکل ۲-۳۸: میانگین تغییرات دمای سالانه سطح زمین در ایران (اقتباس از سند ابوالفضل مسعودیان)..... ۷۶
- شکل ۲-۳۹: میانگین دمای سطح زمین در ایالات متحده آمریکا..... ۷۶
- شکل ۲-۴۰: میانگین دمای سطح زمین در کانادا..... ۷۷
- شکل ۲-۴۱: تخمین گرادیان گرمایی با استفاده از نمودارها..... ۷۷
- شکل ۲-۴۲: تعیین گرادیان گرمایی برای مثال ۲-۲..... ۷۸
- شکل ۲-۴۳: تعیین مقاومت کل برای مثال ۲-۳..... ۷۹
- شکل ۲-۴۴: مدل آب دوگانه در شیل‌ها..... ۸۰
- شکل ۲-۴۵: سازند ماسه‌ای-شیلی..... ۸۱
- شکل ۲-۴۶: انواع توزیع شیل‌ها در سازندهای ماسه‌ای..... ۸۲
- شکل ۲-۴۷: مدل آب دوگانه در ماسه‌های شیل‌دار..... ۸۳
- شکل ۲-۴۸: تاثیر شیل بر تخلخل موثر..... ۸۳
- شکل ۲-۴۹: نفوذ کل حفاری به درون سازند..... ۸۴
- شکل ۲-۵۰: نواحی مختلف در اطراف دیواره چاه..... ۸۵
- شکل ۲-۵۱: پارامترهای مختلف اطراف چاه براساس نواحی آغشته به گل..... ۸۶

- شکل ۵۲-۲: نیمرخ مقاومت سازند آبدار با کل پایه آبی ۸۷
- شکل ۵۳-۲: نیمرخ مقاومت سازند هیدروکربوری با کل پایه آبی ۸۷
- شکل ۵۴-۲: نیمرخ مقاومت سازند آبدار با کل پایه روغنی ۸۷
- شکل ۵۵-۲: نیمرخ مقاومت سازند هیدروکربوری با کل پایه روغنی ۸۸
- شکل ۵۶-۲: واحد محاسبات حجمی مخزن ۸۹
- شکل ۵۷-۲: رابطه‌ی هیدروکربورهای درجای مخزن ۸۹

فصل سوم: ارتباط تخلخل و تراوایی

- شکل ۱-۳: مقایسه اندازه دانه‌ها و تأثیر آن در تخلخل ۹۵
- شکل ۲-۳: توجیه رابطه‌ی تراوایی و تخلخل در بافت سنگ‌های کربناته ۱۰۰
- شکل ۳-۳: تأثیر اندازه دانه در تخلخل در سنگ‌های ماسه‌ای ۱۰۱
- شکل ۴-۳: دانه‌های متبلور شده بین برون‌ذره‌ای ۱۰۱
- شکل ۵-۳: رابطه‌ی توزیع فشار درون دانه‌ای و تخلخل برای تراوایی بزرگتر از ۰/۱ میلی داری ۱۰۲
- شکل ۶-۳: تأثیر رس بر رابطه‌ی تخلخل با تراوایی در ماسه سنگ‌ها ۱۰۷
- شکل ۷-۳: تأثیر دانه‌های درشت و ریز بر تراوایی ۱۰۸
- شکل ۸-۳: تأثیر دانه‌های درشت و ریز بر تراوایی ۱۰۹
- شکل ۹-۳: تأثیر دانه‌های کوچک و غیر منظم بر تراوایی ۱۰۹
- شکل ۱۰-۳: ارتباط تخلخل و تراوایی (درصد تخلخل به تراوایی) در یک لایه کربناته ۱۱۰
- شکل ۱۱-۳: ارتباط تخلخل و تراوایی (درصد تخلخل به تراوایی) در لایه ماسه سنگی ۱۱۱
- شکل ۱۲-۳: تأثیر اندازه‌ی دانه روی رابطه‌ی تخلخل و تراوایی در چند لایه ماسه سنگی ۱۱۱
- شکل ۱۳-۳: رابطه‌ی کلی تخلخل و تراوایی برای انواع سنگ‌ها داده‌های آزمایشگاهی و مغزه‌ها ۱۱۲
- شکل ۱۴-۳: رابطه‌ی تقریبی منحنی‌های $(k - \phi)$ ۱۱۹
- شکل ۱۵-۳: رابطه‌ی تقریبی از منحنی اصلاح شده چینه‌شناسی، (SMLP) ۱۱۹
- شکل ۱۶-۳: تعیین K_T از نمودار J بر حسب S_w^* ۱۲۱
- شکل ۱۷-۳: تعیین فاکتور تیاب K_T از نمودار J بر حسب S_w^* ۱۲۲
- شکل ۱۸-۳: گردی برحسب کرویت اشکال مختلف ۱۲۳
- شکل ۱۹-۳: درجه‌ی اشباع آب باقیمانده به عنوان تابعی از مساحت سطح ویژه S_p در سازند ماسه سنگی ۱۲۵
- شکل ۲۰-۳: درجه‌ی اشباع آب به عنوان تابعی از مساحت سطح ویژه در سازند ماسه سنگی ۱۲۶
- شکل ۲۱-۳: نمودار جریانی اصلاح شده برای واحدهای جریان با استفاده از داده‌های مغزه و نمودارها ۱۳۲
- شکل ۲۲-۳: نمودار لگاریتمی (Log-Log) RQI برحسب $\phi/(1-\phi)$ بیانگر دو واحد جریانی است ۱۳۶
- شکل ۲۳-۳: نمودار لگاریتمی (Log-Log) RQI برحسب درجه‌ی بیجشی بیانگر دو واحد جریانی است ۱۳۶
- شکل ۲۴-۳: نمودار لگاریتمی (Log-Log) RQI برحسب ضریب سیال بیانگر دو واحد جریانی است ۱۳۶
- شکل ۲۵-۳: تراوایی به دست آمده از مغزه برحسب تراوایی نمودار NMR کالیبره شده ۱۴۰
- شکل ۲۶-۳: تراوایی بدست آمده از نمودار NMR قبل و بعد از کالیبره کردن نمودار ۱۴۰

شکل ۲۷-۳: تأثیر اندازه ذرات بر روی رابطه تراوایی - تخلخل در سنگ‌های کربناته بدون

منفذ و سیمان‌شده یکپارچه ۱۴۲

شکل ۲۸-۳: شبکه‌ی مدل کانال‌های سنگ مخزن ۱۴۴

شکل ۲۹-۳: تغییرات K_a و ϕ^m برای یک سیستم ایده آل کاناله‌ای با r_p مختلف ۱۴۷

- شکل ۳-۳: شعاع مقطع کانال با تغییرات در اندازه کانال..... ۱۴۷
- شکل ۳-۳: مقایسه حرکت سیال در دو سیستم متفاوت برحسب اندازه دانه‌ها و شعاع کانال ها..... ۱۴۹
- شکل ۳-۳: تخمین ضریب داخلی فاکتور آرچی از فاکتور آرچی و اندیکس تخلخل ثانویه..... ۱۵۰
- شکل ۳-۳: دیاگرام فشار و اختلاف فشار برحسب زمان برای تعیین جریان شعاعی
که از آن تراوایی عمودی بدست می آید..... ۱۵۱
- شکل ۳-۳: تهیه مغزه از نمونه اصلی در دو جهت افقی و عمودی برای تعیین جهت تراوایی..... ۱۵۱
- شکل ۳-۳: همبستگی بین میانگین شعاع هیدرولیکی و تراوایی عمودی در یک نمونه‌ی ماسه سنگی..... ۱۵۳
- شکل ۳-۳: رابطه‌ی بین تراوایی عمودی از مغزه‌ها و تراوایی عمودی محاسبه شده..... ۱۵۳
- شکل ۳-۳: رابطه‌ی بین تراوایی عمودی قطر دانه‌ها و میانگین قطر هیدرولیکی در ماسه سنگ نمونه..... ۱۵۵
- شکل ۳-۳: تراوایی برحسب اندازه دانه‌ها در مدل‌های کانولینیت و ایلپیت..... ۱۵۵
- شکل ۳-۳: رابطه‌ی تراوایی افقی و عمودی در سازند نمونه برای مدل ۵۰ درصد کانولینیت و ۵۰ درصد ایلپیت..... ۱۵۶
- شکل ۳-۳: رابطه‌ی بین تراوایی عمودی و میانگین شعاع هیدرولیکی در سازند نمونه
برای مدل‌های کانولینیت و ایلپیت برحسب حجم شیل..... ۱۵۷
- شکل ۳-۳: رابطه‌ی بین تراوایی عمودی و میانگین اندازه دانه‌ها در سازند
نمونه برای مدل‌های کانولینیت و ایلپیت..... ۱۵۸
- شکل ۳-۳: مقایسه‌ی تراوایی از مغزه‌ها و نمودارها برای یک سازند نمونه برای مدل‌های کانولینیت و ایلپیت..... ۱۵۹
- شکل ۳-۳: تراوایی حاصل از مغزه‌ها و نمودارها در سازند نمونه..... ۱۵۹
- شکل ۳-۳: مقیاس‌های ناهمگنی در سنگ مخزن..... ۱۶۵
- شکل ۳-۳: توزیع ظرفیت جریان در تعیین ناهمگنی مخزن..... ۱۶۶
- شکل ۳-۳: لگاریتم نرمال توزیع تراوایی..... ۱۶۷
- شکل ۳-۳: همبستگی ضریب لورنز و تغییرات تراوایی..... ۱۶۹
- شکل ۳-۳: ضریب دایکسترا-پارسونز برای مثال چاه نمونه در مخزن..... ۱۷۵
- شکل ۳-۳: نمودار نیمه لگاریتمی کاهش فشار برحسب زمان در مثال فوق..... ۱۷۶
- شکل ۳-۳: نمودار لگاریتمی اختلاف فشار برحسب زمان در مثال فوق..... ۱۷۷
- شکل ۳-۳: موقعیت چاه‌ها برای زون‌بندی مخزن..... ۱۸۰
- شکل ۳-۳: نمایش عرضی زون بندی و همبستگی بین چاه‌ها در مثال فوق..... ۱۸۳

فصل چهارم: مقاومت ویژه‌ی سازند و تعیین درجی اشباع آب

- شکل ۴-۱: اندازه‌گیری مقاومت ویژه آب در واحد حجم..... ۱۹۳
- شکل ۴-۲: اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی سنگ متخلخل آبدار در واحد حجم..... ۱۹۳
- شکل ۴-۳: کاهش فاکتور سازندی در نتیجه افزایش ناخالصی‌ها در سنگ..... ۱۹۴
- شکل ۴-۴: نمودار تعیین مقاومت ویژه آب سازندی بر حسب میزان ppm و دانه‌ها..... ۱۹۵
- شکل ۴-۵: تعیین ضرایب یون‌های نمک‌های موجود در آب سازندی در واحد حجم..... ۱۹۶
- شکل ۴-۶: ضرایب تبدیل همبستگی بین واحد ppm و mol/L..... ۲۰۱
- شکل ۴-۷: ضرایب تبدیل همبستگی R_{w25} ($0.04 < R_{w25} < 0.1$)..... ۲۰۳
- شکل ۴-۸: فرض خطی بودن جریان سیال در n لوله موئینه برای یک محیط متخلخل همگن..... ۲۰۶
- شکل ۴-۹: (a) جریان سیال و درجه پیچشی (b) مدل لوله‌های جریان مورب در محیط متخلخل در حالت همگن..... ۲۰۷
- شکل ۴-۱۰: (a) فاکتور سازند بر حسب تخلخل در محدوده‌ای از فاکتور سیمانی شدن،
(b) برای فاکتور بافت سنگ a برحسب فاکتور سیمانی شدن..... ۲۰۹
- شکل ۴-۱۱: بررسی تاثیر فشار لایه‌های فوقانی روی فاکتور سازند (نتایج از نمونه‌های مغزه)..... ۲۱۱

- شکل ۴-۱۲: (b) بخشی از محیط متخلخل دارای ناحیه‌ی بسته.
- (b) بخشی از محیط متخلخل دارای ناحیه‌ی باز متقارن ۲۱۲
- شکل ۴-۱۳: مقایسه روابط تجربی: هامبل (A)، روسلز (B) و تایمور (C) ۲۱۴
- شکل ۴-۱۴: (a) تأثیر شیل بر مقاومت ویژه برحسب درجه‌ی اشباع با آب
- (b) رابطه‌ی S_w با اندیکس مقاومت ویژه الکتریکی و تعیین فاکتور اشباع (S_w) ۲۱۸
- شکل ۴-۱۵: تأثیر ماسه بدون شیل بر روی فاکتور اشباع (n) ۲۲۰
- شکل ۴-۱۶: اندیکس مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب درجه اشباع با آب در مغزه‌های کربناته ۲۲۱
- شکل ۴-۱۷: اندیکس مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب اشباع با آب نمک‌ها برای حالت کم تنش ۲۲۱
- شکل ۴-۱۸: تأثیر تنش روی اندیکس مقاومت ویژه الکتریکی (منحنی‌های تخلیه سیال) ۲۲۲
- شکل ۴-۱۹: تأثیر تنش روی فاکتور اشباع در نمونه‌های آب‌تر شده در دوره آشام و تخلیه ۲۲۲
- شکل ۴-۲۰: تخلخل کل برحسب مقاومت ویژه برای درجه اشباع ۱۰۰ درصد ۲۲۳
- شکل ۴-۲۱: اندیکس مقاومت ویژه بر حسب درجه اشباع با آب در آزمایش نمونه ۲۲۵
- شکل ۴-۲۲: همبستگی تراوایی با میانگین هندسی قطر دانه و فاکتور سازند ۲۲۷
- شکل ۴-۲۳: همبستگی تخلخل با میانگین هندسی قطر دانه و فاکتور سازند ۲۲۸
- شکل ۴-۲۴: (a) انواع شیل‌ها و تأثیر آن‌ها روی پارامتر تخلخل، (b) شیل‌های ورقه‌ای ممکن است حجم زیادی از سنگ‌های ماسه‌ای را اشغال نماید ۲۳۰
- شکل ۴-۲۵: انواع شیل‌های پراکنده در ماسه سنگ‌ها ۲۳۲
- شکل ۴-۲۶: رابطه تخلخل و تراوایی برحسب نوع، اندازه و جوهرشدگی دانه‌های ماسه و نوع کانی‌های رسی ۲۳۵
- شکل ۴-۲۷: اندیکس کیفیت مخزن برحسب تخلخل ۲۴۱
- شکل ۴-۲۸: هدایت الکتریکی مغزه برحسب محلول معادل نمک طعام (NaCl) ۲۴۵
- شکل ۴-۲۹: رسانایی الکتریکی ماسه‌ی شیلی برحسب رسانایی آب شور معادل NaCl در دماهای مختلف ۲۵۰
- شکل ۴-۳۰: رسانایی یونی هم ارز برحسب مقاومت ویژه‌ی آب شور معادل NaCl در دماهای مختلف ۲۵۰
- شکل ۴-۳۱: وابستگی I با تابع S_w نسبت به دما ۲۵۱
- شکل ۴-۳۲: ضریب سازند برحسب زمان ۲۵۲
- شکل ۴-۳۳: نمودار پیکت برای معادله واکسمن-اسمیت ۲۵۴
- شکل ۴-۳۴: تعیین Q_v با استفاده از نمودار پیکت ۲۵۵
- شکل ۴-۳۵: روش واکسمن-اسمیت برای به دست آوردن درجه‌ی اشباع آب ۲۵۶
- شکل ۴-۳۶: نمودار رابطه‌ی هیل-شرلی-کلین ۲۵۷
- شکل ۴-۳۷: ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به تخلخل در ماسه سنگ‌های شیل دار ۲۵۹
- شکل ۴-۳۸: محاسبه Q_v و F^* در مخزن ماسه سنگی مثال میدانی ۲۶۲
- شکل ۴-۳۹: اندیکس مقاومت ویژه بر حسب درجه اشباع در یک سازند نمونه در مثال میدانی ۲۶۳
- شکل ۴-۴۰: مقادیر n و n^* برای نمونه‌های ماسه سنگی در مثال میدانی برحسب تخلخل ۲۶۴
- شکل ۴-۴۱: رابطه‌ی تخلخل با آب غیرقابل کاهش در یک سازند نمونه ۲۶۶
- شکل ۴-۴۲: مقایسه تخلخل محاسبه‌شده با برنامه دو-سه ابزاره و تخلخل بدست آمده
- از آنالیز مغزه‌ها. نمودار گاما برای مشخص کردن زون‌های شیلی ۲۶۸
- شکل ۴-۴۳: مقایسه تراوایی محاسبه‌شده با برنامه دو-سه ابزاره و تراوایی بدست آمده از آنالیز مغزه‌ها ۲۶۸

فصل پنجم: نمودارهای تخلخل

- شکل ۵-۱: نحوه انتشار امواج صوتی ۲۸۰

- شکل ۲-۵: مدل تولید امواج صوتی..... ۲۸۰
- شکل ۳-۵: نحوه انتشار موج صوتی در چاه و پاسخ‌های ثبت شده..... ۲۸۰
- شکل ۴-۵: پاسخ ابزار صوتی با یک گیرنده و یک فرستنده..... ۲۸۱
- شکل ۵-۵: ابزار صوتی با دو گیرنده و یک فرستنده..... ۲۸۲
- شکل ۶-۵: ابزار صوتی با دو گیرنده و دو فرستنده..... ۲۸۳
- شکل ۷-۵: روش کار ابزار تصحیح گر صوتی BHC..... ۲۸۳
- شکل ۸-۵: موقعیت ابزار صوتی BHC در حین نمونه‌برداری..... ۲۸۴
- شکل ۹-۵: ابزار تصحیح گر صوتی - عمقی..... ۲۸۴
- شکل ۱۰-۵: ابزار تصحیح گر صوتی - عمقی که در آن فاصله فرستنده تا گیرنده زیاد است..... ۲۸۵
- شکل ۱۱-۵: آرایه امواج صوتی هشت گیرنده‌ای..... ۲۸۵
- شکل ۱۲-۵: ابزار آرایه صوتی بلند..... ۲۸۶
- شکل ۱۳-۵: نحوه عملکرد ابزار آرایه صوتی بلند با فرمت اصلی..... ۲۸۷
- شکل ۱۴-۵: ابزار تصویر گر صوتی - برشی دوقطبی..... ۲۸۸
- شکل ۱۵-۵: ابزار نمودارگیری حین حفاری (ISONIC)..... ۲۸۹
- شکل ۱۶-۵: مقایسه بین نمودارهای صوتی حاصل از ابزارهای حین حفاری و کابلی..... ۲۸۹
- شکل ۱۷-۵: نمودار زمان گذر هم‌فازی..... ۲۹۰
- شکل ۱۸-۵: تعیین تخلخل با استفاده از معادله ویلی با فرمت اصلی..... ۲۹۳
- شکل ۱۹-۵: تعیین تخلخل با استفاده از نمودارهای صوتی..... ۲۹۴
- شکل ۲۰-۵: تأثیرات عوامل محیطی بر روی موج صوتی..... ۲۹۶
- شکل ۲۱-۵: حداکثر مدت زمان موج دریافت شده توسط ابزار صوتی در سازند..... ۲۹۷
- شکل ۲۲-۵: اثر شیل‌ها بر داده‌های صوتی..... ۲۹۷
- شکل ۲۳-۵: برهم کنش اشعه گاما در سازند..... ۲۹۸
- شکل ۲۴-۵: ساختمان اتم..... ۲۹۹
- شکل ۲۵-۵: ابزار اندازه‌گیری چگالی..... ۳۰۰
- شکل ۲۶-۵: آشکارگر اشعه گاما و سطوح انرژی مربوط به آن..... ۳۰۰
- شکل ۲۷-۵: طیف انرژی اشعه گاما، محدوده‌های انرژی مربوط به نمودار گاما..... ۳۰۱
- شکل ۲۸-۵: تأثیر چگالی روی انرژی اشعه‌های گامای شمارش شده..... ۳۰۱
- شکل ۲۹-۵: قالب‌های تنظیم ابزارهای نمودارگیری چگالی..... ۳۰۲
- شکل ۳۰-۵: مقایسه بین نمودارگیری چگالی در حین حفاری و نمودارهای کابلی..... ۳۰۳
- شکل ۳۱-۵: تصحیحات لازم برای ابزار نمودارگیری چگالی..... ۳۰۵
- شکل ۳۲-۵: تأثیر کل حفاری چسبیده به دیواره چاه بر نمودار چگالی..... ۳۰۶
- شکل ۳۳-۵: تأثیر قطر دهانه چاه بر اندازه‌گیری چگالی..... ۳۰۷
- شکل ۳۴-۵: اندازه‌گیری تخلخل با استفاده از ابزار چگالی..... ۳۰۷
- شکل ۳۵-۵: رابطه چگالی حجمی با سیالات اشباع‌کننده سازند..... ۳۰۷
- شکل ۳۶-۵: رابطه تبدیلی چگالی و تخلخل با فرمت اصلی..... ۳۰۸
- شکل ۳۷-۵: تأثیر ناهمواریهای دیواره چاه بر ابزار نمودارگیری چگالی..... ۳۰۹
- شکل ۳۸-۵: پدیده جذب نوترونی..... ۳۱۰
- شکل ۳۹-۵: پدیده پراکندگی نوترون..... ۳۱۰
- شکل ۴۰-۵: دوره عمر نوترون با انتشار نوترونی..... ۳۱۰
- شکل ۴۱-۵: برخوردیهای مختلف نوترون با هسته اتم‌ها..... ۳۱۱

شکل ۵-۴۲: سطوح مختلف انرژی نوترونی.....	۳۱۲
شکل ۵-۴۳: شاخص هیدروژن در سیال.....	۳۱۲
شکل ۵-۴۴: ابزار نمودارگیری نوترون.....	۳۱۳
شکل ۵-۴۵: یک چشمه شیمیایی نوترونی.....	۳۱۳
شکل ۵-۴۶: یک چشمه الکتریکی نوترونی (Minitron).....	۳۱۴
شکل ۵-۴۷: آشکارگر نوترونی.....	۳۱۴
شکل ۵-۴۸: پاسخ گیرنده‌های دور و نزدیک در ابزار نوترون.....	۳۱۵
شکل ۵-۴۹: الگوی نسبی تخلخل برای سازندهای آهکی.....	۳۱۵
شکل ۵-۵۰: ابزارهای مختلف نمودارگیری نوترون با فرمت اصلی.....	۳۱۶
شکل ۵-۵۱: تنظیم ابزار نمودارگیری نوترون.....	۳۱۷
شکل ۵-۵۲: الگوی یافتن تخلخل از نمودار نوترون.....	۳۱۸
شکل ۵-۵۳: تطبیق عمق و دقت ابزار نوترون (b) نمودار تخلخل نوترون گرمایی و نوترون تخلخل با فرمت اصلی.....	۳۱۹
شکل ۵-۵۴: تصویحات اعمال شده چاه بر نمودار نوترون.....	۳۲۰
شکل ۵-۵۵: نمونه سر برگ نمودار نوترون با فرمت اصلی.....	۳۲۱
شکل ۵-۵۶: تصحیحات لازم برای نمودار نوترون با فرمت اصلی.....	۳۲۲
شکل ۵-۵۷: یافتن تخلخل حقیقی سازند با استفاده از کراف عرضی.....	۳۲۳
شکل ۵-۵۸: تعیین سنگ‌شناسی و تخلخل سازند با استفاده از نمودارهای صوتی، چکالی و نوترون.....	۳۲۴
شکل ۵-۵۹: سازند آبدار (تشکیل شده از یک کانی با فرمت اصلی).....	۳۲۵
شکل ۵-۶۰: کراف عرضی بین تخلخل نوترون-تخلخل چکالی.....	۳۲۶
شکل ۵-۶۱: تعیین تخلخل با استفاده از کراف عرضی تخلخل نوترون و چکالی حجمی.....	۳۲۶
شکل ۵-۶۲: مدل سازند با دو کانی.....	۳۲۷
شکل ۵-۶۳: کراف عرضی بین تخلخل نوترون-چکالی حجمی برای دو کانی.....	۳۲۸
شکل ۵-۶۴: تعیین هیدروکربورها با نمودار نوترون.....	۳۲۸
شکل ۵-۶۵: تأثیر شیل‌ها بر کراف‌های عرضی با فرمت اصلی.....	۳۲۹
شکل ۵-۶۶: تأثیر انواع مختلف شیل‌ها روی کراف عرضی نوترون-چکالی.....	۳۲۹
شکل ۵-۶۷: کراف عرضی صوتی و چکالی با فرمت اصلی.....	۳۳۰
شکل ۵-۶۸: کراف عرضی صوتی-نوترون با فرمت اصلی.....	۳۳۱
شکل ۵-۶۹: کراف عرضی $m-n$ برای تعیین نوع سازند با فرمت اصلی.....	۳۳۲
شکل ۵-۷۰: کراف عرضی $m-n$ با احتساب فراوانی بیشتر.....	۳۳۳
شکل ۵-۷۱: مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری در نمودارهای نوترون-چکالی با فرمت اصلی.....	۳۳۴
شکل ۵-۷۲: نمونه‌ای از نمودارهای نوترون-چکالی.....	۳۳۴
شکل ۵-۷۳: نمودارگیری با تشدید مغناطیسی.....	۳۳۵
شکل ۵-۷۴: مقایسه‌ی ابزارهای نمودارگیری تشدید هسته‌ای.....	۳۳۶
شکل ۵-۷۵: فتوگراف ابزار CMR.....	۳۳۷
شکل ۵-۷۶: آهن ربا و آنتن CMR.....	۳۳۷
شکل ۵-۷۷: جابجایی اتم‌های هیدروژن در سازند در میدان مغناطیسی ضمن حرکت ابزار در چاه.....	۳۳۷
شکل ۵-۷۸: توزیع و اندازه‌ی فضاهای سنگ مخزن و خروجی CMR.....	۳۳۸
شکل ۵-۷۹: داده‌های به دست آمده از تفسیر نمودار CMR.....	۳۳۸
شکل ۵-۸۰: نمودار CMR با فرمت اصلی.....	۳۳۹
شکل ۵-۸۱: پروتون که نقش آهن ربا را دارد.....	۳۴۰

شکل ۵-۸۲: میدان مغناطیسی ثابت B_0	۳۴۱
شکل ۵-۸۳: قطبی شدن هسته اتم $(1 - e^{-T_1})$	۳۴۱
شکل ۵-۸۴: انحرافات و منظم شدن پروتون‌ها.....	۳۴۲
شکل ۵-۸۵: میرایی القایی امواج مغناطیسی.....	۳۴۳
شکل ۵-۸۶: تغییر فاز پروتون‌ها در میدان مغناطیسی با فرمت اصلی.....	۳۴۳
شکل ۵-۸۷: نحوه اندازه‌گیری زمان اکو با نمایش آدمک‌ها.....	۳۴۴
شکل ۵-۸۸: فاصله زمانی تبدیل سیگنال، TE.....	۳۴۵
شکل ۵-۸۹: مکانیسم‌های مختلف آرمیدگی با فرمت اصلی.....	۳۴۶
شکل ۵-۹۰: منحنی توزیع آرمیدگی T_2 با فرمت اصلی.....	۳۴۷
شکل ۵-۹۱: نتایج نمودارگیری NMR برای یک فضای خالی.....	۳۴۸
شکل ۵-۹۲: نتایج نمودارگیری NMR برای سازندی با چهار فضای خالی با فرمت اصلی.....	۳۴۸
شکل ۵-۹۳: اندازه‌گیری موج تبدیل سیگنال با فرمت اصلی برای نمایش اندازه‌ی فضاهای سازند.....	۳۴۹
شکل ۵-۹۴: منحنی توزیع زمان آرمیدگی T_2	۳۴۹
شکل ۵-۹۵: مقایسه ابزارهای نمودارگیری NMR.....	۳۵۰
شکل ۵-۹۶: نمایش ابزار نمودارگیری CMR با فرمت اصلی.....	۳۵۱
شکل ۵-۹۷: مقطع عرضی ابزار CMR با جزئیات مربوط به آن.....	۳۵۲
شکل ۵-۹۸: مولفه‌های تخلخل و سهم هر کدام در تراوایی سازند.....	۳۵۴
شکل ۵-۹۹: مولفه‌های تخلخل و منحنی توزیع T_2	۳۵۴
شکل ۵-۱۰۰: حدود اندازه‌ی فضاهای خروج سیالیت از سنگ مخزن.....	۳۵۵
شکل ۵-۱۰۱: تخلخل سیال آزاد بر مبنای تخلخل گریز از مرکز.....	۳۵۶
شکل ۵-۱۰۲: روش‌های مختلف اندازه‌گیری NMR.....	۳۵۶
شکل ۵-۱۰۳: مثالی از نمودار NMR در تعیین سنگ‌های متخلخل با فرمت اصلی.....	۳۵۷
شکل ۵-۱۰۴: تعیین آب غیر قابل استحصال از نمودار NMR.....	۳۵۸

فصل ششم: تعیین درجه اشباع سیالات به کمک نمودارها

شکل ۶-۱: درجه اشباع آب سازند با استفاده از معادله آرمیدگی.....	۳۵۹
شکل ۶-۲: حدود گسترش نواحی مختلف اطراف دیواره چاه.....	۳۶۰
شکل ۶-۳: تعیین مقاومت ویژه‌ی الکتریکی سازند برحسب عمق نفوذ میدان.....	۳۶۱
شکل ۶-۴: مقاومت ویژه الکتریکی ناحیه آغشته به گل.....	۳۶۳
شکل ۶-۵: ابزار نمودارگیری مقاومت میکرو بالشتکی.....	۳۶۴
شکل ۶-۶: ابزار نمودارگیری MSFL.....	۳۶۵
شکل ۶-۷: ابزار نمودارگیری MCFL.....	۳۶۵
شکل ۶-۸: تصحیحات محیطی روی نمودار MSFL.....	۳۶۶
شکل ۶-۹: درجه‌ی اشباع آب ناحیه آغشته به گل.....	۳۶۷
شکل ۶-۱۰: اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی الکتریکی سازند.....	۳۶۸
شکل ۶-۱۱: اندازه‌گیری مقاومت ناحیه‌ی دست‌نخورده سازند.....	۳۶۹
شکل ۶-۱۲: ابزارهای مقاومت الکتریکی اولیه (نرمال و جانبی) و مقایسه‌ی آن‌ها.....	۳۶۹
شکل ۶-۱۳: پاسخ مقاومت جانبی و نرمال در اطراف سازند و مقایسه‌ی آن‌ها.....	۳۷۰
شکل ۶-۱۴: مدل اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی دیواره‌ی چاه.....	۳۷۱

شکل ۶-۱۵: سیستم متمرکز و غیرمتمرکز.....	۳۷۱
شکل ۶-۱۶: ابزار اندازه‌گیری مقاومت جانبی.....	۳۷۲
شکل ۶-۱۷: ابزار مقاومت جانبی دونایی، DLL.....	۳۷۳
شکل ۶-۱۸: نمونه‌ای از نمودار ابزار DLL.....	۳۷۴
شکل ۶-۱۹: ابزار نمودارگیری ARI.....	۳۷۴
شکل ۶-۲۰: نمونه‌ای از نمودار ARI.....	۳۷۵
شکل ۶-۲۱: نمودارهای ابزار (HRLS).....	۳۷۵
شکل ۶-۲۲: نمونه‌هایی از ابزار HRLS.....	۳۷۵
شکل ۶-۲۳: حدود تغییرات مقاومت ابزار HRLA.....	۳۷۶
شکل ۶-۲۴: ابزار اندازه‌گیری مقاومت جانبی حین حفاری (RAB).....	۳۷۷
شکل ۶-۲۵: مقطع عرضی دیواره چاه با نمودار مقاومت جانبی هر ناحیه.....	۳۷۹
شکل ۶-۲۶: تصحیحات مربوط به اندازه قطر چاه و کل حفاری.....	۳۷۹
شکل ۶-۲۷: تصحیحات مربوط به ضخامت لایه‌ها.....	۳۸۰
شکل ۶-۲۸: تصحیحات مربوط به طول رشته نمودارگیری.....	۳۸۱
شکل ۶-۲۹: تصحیحات نمودارگیری مقاومت ویژه در شرایط سخت.....	۳۸۲
شکل ۶-۳۰: مدل نفوذ کل به درون سازند.....	۳۸۳
شکل ۶-۳۱: نمودار تورنادو برای مقاومت ویژه جانبی.....	۳۸۴
شکل ۶-۳۲: جریان‌های الکتریکی در اطراف سوند نمودارگیری جانبی.....	۳۸۵
شکل ۶-۳۳: اثر کرونینگن بر ابزار نمودارگیری مقاومت ویژه جانبی.....	۳۸۵
شکل ۶-۳۴: اثر کرونینگن در حضور هیدروکربورها.....	۳۸۶
شکل ۶-۳۵: اصول کار ابزار مقاومت القایی.....	۳۸۷
شکل ۶-۳۶: امواج مختلف ایجاد شده در اطراف ابزار القایی.....	۳۸۷
شکل ۶-۳۷: عوامل موثر بر اندازه‌گیری مقاومت به شیوه القایی.....	۳۸۷
شکل ۶-۳۸: پاسخ ابزار نمودارگیری مقاومت القایی.....	۳۸۸
شکل ۶-۳۹: ابزارهای نمودارگیری القایی.....	۳۸۹
شکل ۶-۴۰: تابع پاسخ نمودار القایی دو گانه، DIT.....	۳۹۰
شکل ۶-۴۱: نمونه‌ای از نمودار القایی فازی.....	۳۹۰
شکل ۶-۴۲: آرایه‌ای از فرستنده و گیرنده‌های چندگانه.....	۳۹۱
شکل ۶-۴۳: نمونه‌ای از نمودار AIT همراه با تصویر حاصل از ابزار.....	۳۹۱
شکل ۶-۴۴: محیط درون چاهی که توسط ابزار مقاومت القایی ثبت می‌گردد.....	۳۹۳
شکل ۶-۴۵: تصحیحات ضخامت لایه‌ها در نمودار القایی.....	۳۹۴
شکل ۶-۴۶: تصحیحات اعمال شده در نمودار AIT.....	۳۹۴
شکل ۶-۴۷: نمودار تورنادو برای تعیین مقاومت القایی سازند.....	۳۹۵
شکل ۶-۴۸: مقطع عرضی ناحیه آغشته به گل در اطراف چاه.....	۳۹۶
شکل ۶-۴۹: تعیین مقاومت R_t از نمودار AIT.....	۳۹۶
شکل ۶-۵۰: آغشتگی حلقوی و محدودیت‌های مربوط به آن.....	۳۹۷
شکل ۶-۵۱: مقایسه بین پاسخ‌های مقاومت ویژه الکتریکی در ابزارهای DLT، AIT و MSFL.....	۳۹۸
شکل ۶-۵۲: اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی در چاه‌ها.....	۳۹۹
شکل ۶-۵۳: مدل‌سازی و وارون‌سازی برای لایه‌های تعریف شده.....	۳۹۹
شکل ۶-۵۴: مدل‌سازی و پاسخ‌های ابزارهای نمودارگیری در سه حالت مختلف.....	۴۰۰

- شکل ۵۵-۶: اندازه‌گیری مقاومت در لوله ی جداری توسط ابزار دو مگاهرتزی ۴۰۱
- شکل ۵۶-۶: توابع پاسخ فاز و کاهیدکی ۴۰۱
- شکل ۵۷-۶: توابع تبدیل فاز و کاهیدکی برای مقاومت کم عمق و عمیق ۴۰۲
- شکل ۵۸-۶: اندازه‌گیری مقاومت توسط ابزار دو مگاهرتزی متداول ۴۰۲
- شکل ۵۹-۶: ابزار نمودارگیری CDR با فرمت اصلی ۴۰۳
- شکل ۶۰-۶: ابزار نمودارگیری CDR و تصحیحات درون چاهی ۴۰۴
- شکل ۶۱-۶: عمق نفوذ ابزار نمودارگیری CDR ۴۰۴
- شکل ۶۲-۶: دقت عمودی ابزار مقاومت ویژه ی الکتریکی القایی ۴۰۵
- شکل ۶۳-۶: پاسخ های مختلف آرایه های ابزار ARC5 ۴۰۵
- شکل ۶۴-۶: تصحیحات درون چاهی برای ابزار ARC5 ۴۰۶
- شکل ۶۵-۶: عمق مورد بررسی با ابزار ARC5 در ۵۰ درصدی فاکتور هندسی سازند ۴۰۶
- شکل ۶۶-۶: عوامل محیطی تاثیر گذار بر روی ابزارهای مقاومت القایی ۴۰۷
- شکل ۶۷-۶: تصحیحات درون چاهی روی ARC5 برحسب قطر کل ۴۰۸
- شکل ۶۸-۶: تاثیر نفوذ کل بر روی نمودار ARC5 ۴۰۹
- شکل ۶۹-۶: تاثیر ضخامت لایه ها بر روی نمودار ARC5 برحسب فاصله از ابزار ۴۰۹
- شکل ۷۰-۶: تاثیر شکل هندسی لایه ها روی ابزار نمودارگیری ۴۱۰
- شکل ۷۱-۶: مقاومت به صورت ریزه های قطبیده در پاسخ ابزارهای القایی ۴۱۱
- شکل ۷۲-۶: مدل های ناهمسانگردی در مقاومت ویژه ی الکتریکی برحسب ساختمان ۴۱۲
- شکل ۷۳-۶: توصیف ناهمسانگردی در مقاومت ویژه ی الکتریکی ۴۱۲
- شکل ۷۴-۶: اندازه گیری مقاومت به صورت افقی و عمودی ۴۱۳
- شکل ۷۵-۶: اثر ناهمسانگردی بر روی مقاومت ویژه الکتریکی ۴۱۳
- شکل ۷۶-۶: تفسیر نمودارهای مقاومت با استفاده از جدایش منحنی ها ۴۱۴
- شکل ۷۷-۶: تفسیر نمودارهای مقاومت ویژه با استفاده از جدایش منحنی ها ۴۱۵
- شکل ۷۸-۶: مقاومت های افقی و عمودی و مقایسه ی آنها ۴۱۵
- شکل ۷۹-۶: مقایسه مقاومت های افقی و عمودی (موقعیت و خصوصیات لایه ها) ۴۱۶
- شکل ۸۰-۶: یک نمونه از مدل سازی و وارون سازی داده های مقاومت ویژه الکتریکی با تفسیرهای مربوط ۴۱۶

فصل هفتم: تعیین تراوایی به کمک نمودارها

- شکل ۱-۷: تاثیر تراوایی بر موج استونلی ۴۱۸
- شکل ۲-۷: مشخصات ابزار تصویرگر صوتی - برشی دوقطبی ۴۱۹
- شکل ۳-۷: نمودار تحرک پذیری سیال بر حسب زمان گذر امواج استونلی ۴۲۱
- شکل ۴-۷: تاثیر گل چسبیده به دیواره چاه روی زمان گذر موج استونلی ۴۲۲
- شکل ۵-۷: تحرک پذیری سیال برحسب امواج استونلی ۴۲۳
- شکل ۶-۷: مدل سازی گل چسبیده به دیواره چاه با روش امپدانس غشایی ۴۲۳
- شکل ۷-۷: روش وارون سازی تحرک پذیری سیال به کمک امواج استونلی ۴۲۴
- شکل ۸-۷: نتایج موج استونلی در مورد تحرک پذیری سیال ۴۲۵
- شکل ۹-۷: منحنی توزیع T_p برحسب پارامترهای فیزیکی ۴۲۶
- شکل ۱۰-۷: توزیع اندازه فضاها و توزیع زمان T_p ۴۲۶
- شکل ۱۱-۷: رابطه توزیع T_p با تراوایی سنگ ۴۲۷

- شکل ۷-۱۲: داده‌های نمودار CMR بر حسب تراوایی مغزه‌ها ۴۲۹
- شکل ۷-۱۳: مقایسه نمودار CMR و تراوایی بدست آمده از مغزه‌ها ۴۳۰

✍ فصل هشتم: تعیین نوع هیدروکربورها در سازند به کمک نمودارها

- شکل ۸-۱: نمودارهای نوترون - چگالی ۴۳۲
- شکل ۸-۲: ابزار نمودارگیری چگالی در چاه ۴۳۳
- شکل ۸-۳: ابزار نمودارگیری نوترون در چاه ۴۳۳
- شکل ۸-۴: جدایش بین نمودارهای نوترون و چگالی و الگوهای مربوط ۴۳۴
- شکل ۸-۵: نمودارهای نوترون-چگالی و تاثیر ماسه‌های شیلی گازدار ۴۳۵
- شکل ۸-۶: جدایش نمودارهای نوترون - چگالی ۴۳۶
- شکل ۸-۷: تعیین میزان چگالی هیدروکربورها به کمک نمودارهای نوترون-چگالی ۴۳۷
- شکل ۸-۸: برهمکنش ذرات سنگ و سیال در مخزن ۴۳۸
- شکل ۸-۹: منحنی توزیع T_p با سیالات مختلف ۴۳۹
- شکل ۸-۱۰: منحنی توزیع T_p با سیال با بر حسب گراندروی ۴۳۹
- شکل ۸-۱۱: مقایسه‌ی نوع هیدروکربورها به کمک NMR ۴۴۰
- شکل ۸-۱۲: تشخیص نوع هیدروکربورها به کمک NMR ۴۴۱
- شکل ۸-۱۳: نمونه‌ای از نمودار NMR دارای نفت سبک ۴۴۱
- شکل ۸-۱۴: نمونه‌ای از نمودار NMR دارای نفت سنگین ۴۴۲
- شکل ۸-۱۵: تعیین تخلخل به کمک نمودار CMR ۴۴۳
- شکل ۸-۱۶: فتوگراف ابزار MDT ۴۴۴
- شکل ۸-۱۷: قسمت‌های تشکیل دهنده‌ی ابزار MDT ۴۴۴
- شکل ۸-۱۸: ابزار و ماجول اصلی MDT (با فرمت اصلی) ۴۴۵
- شکل ۸-۱۹: انواع مختلف ابزارهای MDT با فرمت اصلی ۴۴۶
- شکل ۸-۲۰: اندازه‌گیری افزایش و افت فشار ۴۴۷
- شکل ۸-۲۱: تعیین کرادیان فشار و سطوح تماس سیالات در مخزن ۴۴۸
- شکل ۸-۲۲: تعیین محل تماس آب - گاز در سازند ۴۴۹
- شکل ۸-۲۳: پدیده‌ی ذخیره‌سازی فشار ۴۵۰
- شکل ۸-۲۴: ابزار نمونه‌گیری MDT ۴۵۱
- شکل ۸-۲۵: قسمت پمپ خروجی ابزار نمونه‌گیری ۴۵۱
- شکل ۸-۲۶: قسمت OFA ابزار MDT ۴۵۲
- شکل ۸-۲۷: قسمت نمونه گیر دوگانه‌ی ابزار MDT با فرمت اصلی ۴۵۴
- شکل ۸-۲۸: خط کاناله‌های جریانی MDT با فرمت اصلی ۴۵۴
- شکل ۸-۲۹: قسمت نمونه گیر دوگانه و فشار سنج‌های مربوط به MDT ۴۵۵

✍ فصل نهم: ارزیابی سریع سازند به کمک نمودارها

- شکل ۹-۱: مراحل مختلف ارزیابی نمودارها ۴۵۷
- شکل ۹-۲: محاسبه‌ی حجم شیل به کمک نمودار گاما ۴۵۸

- شکل ۳-۹: محاسبه‌ی حجم شیل به کمک نمودار SP در مناطق ماسه ای-شیلی..... ۴۵۹
- شکل ۴-۹: ارزیابی نمودارهای گاما برای تعیین زون های مخزنی و غیرمخزنی..... ۴۶۰
- شکل ۵-۹: ارزیابی سریع نمودار گاما برای تعیین نواحی شیلی..... ۴۶۰
- شکل ۶-۹: شمانیک تشخیص نواحی مخزنی در ماسه سنگ های بدون شیل ۴۶۱
- شکل ۷-۹: تاثیر هیدروکربور بر نمودارهای مقاومت ویژه و چکالی..... ۴۶۲
- شکل ۸-۹: شناسایی نواحی هیدروکربوری به کمک نمودارها و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر..... ۴۶۲
- شکل ۹-۹: الکوی تمایز نفت و گاز در سازند به کمک نمودارهای نوترون - چکالی..... ۴۶۳
- شکل ۱۰-۹: تمایز نفت و گاز در سازند به کمک نمودارهای نوترون - چکالی..... ۴۶۴
- شکل ۱۱-۹: محاسبه‌ی تخلخل سازند در نواحی هیدروکربوری و آبدار مخزن..... ۴۶۶
- شکل ۱۲-۹: محاسبه‌ی R_w به کمک نمودار مقاومت ویژه‌ی الکتریکی..... ۴۶۷
- شکل ۱۳-۹: تعیین مقاومت اب سازندی به کمک نمودار پیکت..... ۴۶۹
- شکل ۱۴-۹: تعیین درجه‌ی اشباع آب به کمک معادله آرچی از نمودارها..... ۴۶۹
- شکل ۱۵-۹: پارامترهای پروفیلریکی اصلاح شده و سنگ شناسی دیواره چاه برای یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه جنوب ایران..... ۴۷۰

فهرست جدول‌ها

فصل دوم

- جدول ۱-۲: ارزیابی کیفی مخزن براساس میزان تخلخل ۴۸
جدول ۲-۲: مقادیر مختلف m و n در معادله های تجربی ۷۰

فصل سوم

- جدول ۱-۳: چند نمونه از رابطه های تراوایی و تخلخل در ماسه های آغشته به نفت ۱۰۸
جدول ۲-۳: مقادیر α و β برای چند سازند نمونه ۱۲۱
جدول ۳-۳: ضرایب شکل منفذ در مقیاس دو بعدی ۱۲۴
جدول ۴-۳: داده های تراوایی و تخلخل در مثال کاربردی ۱۳۴
جدول ۵-۳: نتایج به دست آمده از مثال کاربردی ۱۳۵
جدول ۶-۳: خلاصه نتایج محاسبات تراوایی در دو جهت عمود بر هم ۱۶۲
جدول ۷-۳: داده های تراوایی برای چاه آزمایشی ۱۷۲
جدول ۸-۳: نتایج برای محاسبه واریانس چاه آزمایشی ۱۷۳
جدول ۹-۳: توزیع فروانی تراوایی برای مثال فوق ۱۷۴
جدول ۱۰-۳: آزمایش کاهش فشار برحسب زمان ۱۷۶
جدول ۱۱-۳: داده های تراوایی یک مخزن در مثال کاربردی ۱۸۰
جدول ۱۲-۳: داده های زون بندی شده چاه شماره ۱۱ در دو زون ۱۸۱
جدول ۱۳-۳: داده های زون بندی شده چاه شماره ۱۱ در سه زون ۱۸۲
جدول ۱۴-۳: زون بندی نهایی داده های تراوایی سنگ مخزن ۱۸۲

فصل چهارم

- جدول ۱-۴: رابطه ی ضرایب یونی نمک های آب سازندی برحسب تراکم حجمی (C_{st}) ۱۹۷
جدول ۲-۴: ضرایب وزنی (Mi) بعنوان تابع C_{st} برحسب (ppm) ۱۹۷
جدول ۳-۴: ثابت های همبستگی املاح در محلول آب نمکدار ۲۰۱
جدول ۴-۴: ضرایب ثابت همبستگی در رابطه ی (۲۰-۴) ۲۰۲
جدول ۵-۴: فاکتور اشباع آرچی برحسب درصد اشباع آب شور برای فازهای رسانا ۲۲۰
جدول ۶-۴: رابطه درجه ی اشباع و مقاومت برای نمونه ی که مقاومت آن برحسب درجه اشباع کاهش یافته است ۲۲۴
جدول ۷-۴: نتایج محاسبات در مثال (۴-۴) ۲۲۵
جدول ۸-۴: داده های رسانایی برای نمونه های ماسه سنگی ۲۴۸
جدول ۹-۴: پارامترهای محاسبه شده از نمونه های آزمایشگاهی (مثال میدانی) ۲۵۹

جدول ۴-۱۰: مقادیر آزمایشگاهی I_{RL} و S_W	۲۶۰
جدول ۴-۱۱: مقادیر Q_V و F^* در تحلیل میدان شانون نمونه‌های ماسه سنگی.....	۲۶۱
جدول ۴-۱۲: خلاصه محاسبات I_R^* , n^* , IR	۲۶۵
جدول ۴-۱۳: مقایسه برنامه‌های محاسباتی دو ابزاره و سه ابزاره.....	۲۶۷
جدول ۴-۱۴: خلاصه‌ای از نتایج بدست آمده برای تحلیل و تفسیر داده‌های مثال میدانی.....	۲۶۹

فصل پنجم

جدول ۵-۱: مشخصات ابزار تصویرگر صوتی - برشی دوقطبی.....	۲۸۸
جدول ۵-۲: کاربردهای نمودارهای صوتی درون چاهی.....	۲۹۱
جدول ۵-۳: تعیین خواص کشسانی و دینامیکی سنگ‌ها.....	۲۹۲
جدول ۵-۴: مراحل اثبات رابطه بین چگالی الکترون و چگالی حجمی سازند.....	۲۹۹
جدول ۵-۵: رابطه بین چگالی الکترون، چگالی سازند و چگالی اندازه‌گیری شده توسط ابزار با فرمت اصلی.....	۳۰۴
جدول ۵-۶: خصوصیات ابزارهای نمودارگیری چگالی.....	۳۰۵
جدول ۵-۷: توسعه ابزارهای نمودارگیری نوترون.....	۳۱۶
جدول ۵-۸: مشخصات ابزارهای نوترونی و مقایسه‌ی آنها.....	۳۱۷
جدول ۵-۹: مشخصات ابزار نمودارگیری CMR.....	۳۵۱

فصل ششم

جدول ۶-۱: مشخصات ابزارهای نمودارگیری MSFL و MCFL و مقایسه‌ی آنها.....	۳۶۶
جدول ۶-۲: مقایسه انواع ابزارهای نمودارگیری جانبی.....	۳۷۳
جدول ۶-۳: مقایسه‌ی ابزارهای نمودارگیری جانبی.....	۳۷۶
جدول ۶-۴: خصوصیات ابزار مقاومت ویژه الکتریکی جانبی دین حفاری.....	۳۷۷
جدول ۶-۵: کاربردهای ابزار نمودارگیری جانبی.....	۳۷۸
جدول ۶-۶: مشخصات ابزارهای نمودارگیری القایی.....	۳۹۲
جدول ۶-۷: تعیین R_p با استفاده از نمودارهای القایی و جانبی.....	۳۹۸

فصل هفتم

جدول ۷-۱: روش‌های مختلف اندازه‌گیری تراوایی.....	۴۱۷
جدول ۷-۲: عوامل مختلف عملکرد ابزار تصویرگر صوتی - برشی دوقطبی.....	۴۱۸
جدول ۷-۳: کاربردهای ابزارهای نمودارگیری صوتی.....	۴۲۰
جدول ۷-۴: پارامترهای تأثیرگذار بر امواج استونلی.....	۴۲۰
جدول ۷-۵: توزیع اندازه‌ی فضاها و توزیع زمان T_p	۴۲۷

پیشگفتار

تکولوژی برآیند تراوش‌های فکری بشر در راستای نیاز او در عرصه‌ی تقابل‌های صنعتی است. تحول اندیشه‌ها، جهش‌ها را به همراه دارد و جهش‌ها باید در مسیر تکامل و رفع نیازهای بشر باشند. علم پتروفیزیک خود زائیده‌ی اندیشه‌های صنعتی و علمی بر پایه اصول موضوعه‌ی سنگ‌شناسی و ارتباط آن با سیال‌ها است. این علم باعث شناخت پدیده‌های طبیعی و رفتاری سیال‌ها و سنگ‌های مخازن می‌شود.

با گذشت زمان و صنعتی شدن فناوری ابزارهای پیشرفته درون چاهی و نمودارگیری‌ها، تردیدهای مخاطره‌انگیز در تعیین پارامترهای واقعی زمین کاهش یافته است. امروزه اکتشاف و تولید نفت بر پایه‌ی یک رشته عملیات گوناگون شامل علوم زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، پتروفیزیک و علوم ریاضی کاربردی استوار است. با پیشرفت‌های شگرفی که در زمینه ساخت ابزارهای صنعتی بعمل آمده، تلاش صنعت گران به نتایج مطلوبی رسیده‌است و با برنامه‌ریزی دقیق، می‌توان بیشترین بازیافت نفت را با کمترین هزینه‌ها امکان‌پذیر ساخت. برای درک مفاهیم پدیده‌های درون چاهی ابزارهای گوناگون پیشرفته‌ای بوجود آمده‌اند که بررسی، تحلیل و تفسیر داده‌های خروجی آن‌ها برای تعیین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن بسیار ارزشمند است.

به‌کارگیری ابتکارات و نوآوری‌های جدید ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری را به اثبات رسانده است. ابزارهای نمودارگیری براساس روش‌های متفاوتی همچون صوتی، الکتریکی، هسته‌ای، مغناطیسی و رادیواکتیو به اطلاعات باارزشی از دیواره چاه و مخزن در اختیار ما قرار می‌دهند. در این کتاب علاوه بر تحلیل و تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی، به تحلیل و تفسیر نمونه‌های آزمایشگاهی نیز پرداخته شده‌است.

درحال حاضر برای تعیین دقیق پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری، راه‌حل‌های متفاوتی وجود دارد که در کتاب ژئوفیزیک مخازن (جلد دوم)، به اعم این گونه راه‌حل‌ها اشاره نموده‌ایم. لذا در این کتاب سعی شده، پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری را مورد بررسی تخصصی قرار دهیم. آنچه در فصل‌های اول و دوم این کتاب مطرح شده‌است، روش‌های موثر در مطالعه پارامترهای پتروفیزیکی و ابزارهای مربوط به تعیین پارامترهای سنگ‌های مخازن می‌باشد. از این رو در گفتار اول کلیاتی در مورد اصول موضوعه پتروفیزیک مخازن هیدروکربوری، خصوصیات دیواره چاه و چاه‌نگاری تدوین نموده‌ایم. در گفتار دوم مبانی پتروفیزیک بررسی شده‌است. در گفتار

سوم ارتباط تخلخل و تراوایی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در گفتار چهارم مقاومت سازند و درجه‌ی اشباع آب با پارامترهای پتروفیزیکی صورت گرفته تا مشخص شود کدام یک از پارامترها در کدام شرایط خاص بهتر تعیین می‌شود. در گفتارهای پنجم، ششم، هفتم، هشتم و نهم به ترتیب نمودارهای تخلخل، تعیین درجه اشباع سیالها به کمک نمودارها، تعیین تراوایی به کمک نمودارها، تعیین نوع هیدروکربورها در سازند به کمک نمودارها و ارزیابی سریع سازند به کمک نمودارها بررسی شده است. در بعضی فصل‌ها علائم اختصاری برای درک روابط پتروفیزیکی قرار داده شده است. ضمناً واژه‌نامه‌ای برای ارتباط اصطلاحات انگلیسی با زبان فارسی اضافه شده است.

در پایان مکانی ارزشمند برای بهینه‌کردن پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری در میدین نفتی ارائه شده است. از آنجایی که تهیه، تحلیل و تفسیر نمودارهای پتروفیزیک مستلزم روش‌های علمی جدید است، در این کتاب سعی شده نوآوری‌ها در تحلیل و تفسیر پارامترهای پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گیرند. توسعه این گونه روش‌ها در این کتاب نقطه‌ی عطفی در جهت تحلیل و تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی مخازن ایران نیز به حساب می‌آید.

تشکر و قدردانی

منت خدای عزوجل که فرصتی دیگر به ما عنایت فرمود تا با وجود گستردگی علم پتروفیزیک مطالبی تحت عنوان اصول پتروفیزیک تدوین نماییم که بعضاً به استاد جلسات درس و ترجمه‌ی بخش‌هایی از کتاب مربوط است.

در تدوین این کتاب کوشش شده‌است تا از ابزارها و روش‌های تحلیل و تفسیر نمودارها و داده‌های پتروفیزیک به استاد اصول کاربردی آنان در صنعت نفت بهره‌گیری شود. لذا تقاضا دارد با درایت و بخشندگی کامل ما را یاری نماید تا اشکالات و کمبودها را تکمیل نماییم که بدین وسیله از زحمات شما سروران گرامی تشکر و قدردانی می‌نماییم.

در راستای بهینه‌سازی این مجموعه از منابع اطلاعاتی مختلفی استفاده گردیده است که بدین وسیله از کلیه محققان گرامی که نام آنان در فهرست مطالب ذکر شده تشکر و قدردانی می‌شود. شایسته است از مدیر مسئول انتشارات ستایش جناب آقای علی‌اکبر حائری که ما را در تکمیل این اثر یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نماییم، همچنین جا دارد از آقای مهندس عبدالرسول خشود به خاطر حسن علاقه و همکاری در بعضی از مطالب این کتاب تشکر و قدردانی شود.

محمد کمال قاسم العسکری
مئیت علمی دانشگاه صنعت نفت