

۱۳۶۰۰۰۰۱
۹۵, ۱۰, ۳



ابزارهای چاه‌پیمایی و روش‌های مدل‌سازی آنها

سوفیا کوروزی پور تفتی

عماد علی‌خانی



۱۳۹۵

سرشناسه	:	کشاورزی پورتهفتی، سوفیا، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور	:	ابزارهای چاهپیمایی و روشهای مدل سازی آنها/سوفیا کشاورزی پورتهفتی، عماد علیخانی.
مشخصات نشر	:	تهران : سخنوران، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	:	۱۴۵ ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۳۸۳-۹۵۶-۴
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	چاههای نفت -- حفاری -- وسایل و تجهیزات
موضوع	:	Oil well drilling -- Equipment and supplies
موضوع	:	چاههای نفت -- حفاری
موضوع	:	Oil well drilling
شناسه افزوده	:	علیخانی، عماد، ۱۳۶۶-
رده بندی کنگر	:	۲/الف ۲۱۳۹۵/TN۸۷۱
رده بندی دیویی	:	۳۳۸۲/۶۲۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۴۶۰۹



کارگر شمالی، بعد از ادغام، براون، شماره ۱۴۰۷، طبقه اول

تلفن: ۰۶۶۴۷۶۳۰۶ - ۰۹۱۹۳۶۱۶۶۳

۰۱۲ ۶۱۷۲۸۳

سایت انتشارات: www.chahkhetab.com

عنوان کتاب	:	ابزارهای چاهپیمایی و روشهای مدل سازی آنها
تألیف	:	سوفیا کشاورزی پورتهفتی، عماد علیخانی
ناشر	:	سخنوران
سال و نوبت چاپ	:	۱۳۹۵ - اول
شمارگان	:	۱۰۰۰ نسخه
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۳۸۳-۹۵۶-۴
مرکز پخش	:	۰۹۱۲۰ ۶۱۷۲۸۳ - ۰۹۱۹۳۶۱۶۶۱۳
قیمت	:	۱۵۰۰۰ تومان

حق چاپ محفوظ است

فهرست مطالب

پیشگفتار ۹

فصل نخست/۱۱

مقدمه.....	۱۱
تعریف چاه پیمایی و کاربردهای آن.....	۱۲
تعریف نگار.....	۱۳
عملیات چاه پیمایی و کاربردهای آن.....	۱۳
محیط چاه پیمایی و تاثیر آن بر محیطی بر آن.....	۱۴
تعیین ترکیب سنگ.....	۱۶
ماتریکس سنگ.....	۱۶
رس ها.....	۱۶
سیالات.....	۱۷
تخلخل.....	۱۷
مقاومت ویژه الکتریکی، رسانندگی ویژه الکتریکی.....	۱۸
رابطه بین مقاومت ویژه و دما.....	۱۹
رابطه بین مقاومت ویژه و میزان شوری.....	۲۰
رابطه بین مقاومت ویژه و لیتولوژی.....	۲۱
بافت و ساخت سنگ.....	۲۱
رابطه بین تخلخل و مقاومت ویژه (معادلات اول و دوم آرچی)، ضریب مقاومت ویژه سازند.....	۲۱
رابطه بین درجه اشباع و مقاومت ویژه (معادله سوم آرچی).....	۲۳
اشباع آب کاهش نیافتنی.....	۲۴
اشباع هیدروکربن باقیمانده.....	۲۵
رابطه بین رس سازند و مقاومت ویژه.....	۲۵
تراوایی (نفوذپذیری).....	۲۵

۲۶	رابطه‌ی بین تراوایی و تخلخل
۲۶	تقسیم‌بندی نگارها
۲۷	اثر چاه
۲۷	قطر چاه
۲۷	گل حفاری
۲۸	آغشتگی
۳۰	لوله‌ی جداری و سیمان
۳۰	تحرک سیمان
۳۰	عوامل بزرگ
۳۱	قطر ابزار و نحوه‌ی قرار گرفتن آن
۳۲	فاصله‌ی فرستنده-گیرنده و سرعت بررسی ابزار
۳۳	قدرت تفکیک قائم

فصل دوم/ ۳۴

۳۶	ابزارهای بزرگ فاصله
۳۶	ابزارهای غیر کانونی بزرگ فاصله
۳۷	ابزارهای الکترونی قراردادی (ES)
۳۷	آرایش نرمال
۴۰	آرایش جانبی (اینورس)
۴۲	ابزارهای کانونی کننده‌ی بزرگ فاصله
۴۲	جانبی‌نگار
۴۲	جانبی‌نگار ۷ (LL7)
۴۴	جانبی‌نگار ۳ (LL3)
۴۶	جانبی‌نگار ۸ (LL8)
۴۷	جانبی‌نگار دوتایی (DLL)
۵۶	آرایه‌ی جانبی‌نگار با تفکیک بالا (HRLA)
۶۰	ابزار کانونی کننده‌ی کروی (SFL)
۶۲	ابزارهای القایی (IL)

۶۴	6FF40
۶۴	 سیستم DIL-LL8
۶۵	 ابزار نگاربرداری دوتایی فازور
۶۵	 ابزار آرایه‌ی القایی (AIT)
۶۷	 CDR
۶۸	 ابزارهای خرد فاصله (ابزارهای خردمقاومت ویژه)
۷۰	 ابزارهای غیر کانونی خرد فاصله
۷۰	 ابزار خرد نگار (ML)
۷۱	 ترکیب الکترون میکرواینورس
۷۲	 ترکیب الکترونی میکرو مال
۷۳	 ابزارهای کانونی کرده خرد فاصله
۷۴	 ابزار خرد جانبی نگار (ML)
۷۶	 ابزار نگار مجاورتی (PL)
۷۸	 ابزار خرد نگار کروی کانونی (MGFL)
۷۹	 ابزارهای انتشار
۷۹	 ابزار انتشار الکترومغناطیسی (EPT)

فصل سوم

۸۹	 مدل چیست؟
۹۱	 چرا مقاومت ویژه را مدل می‌کنیم؟
۹۳	 ابعاد هندسی در مدل‌سازی
۹۷	 مدل‌سازی در برابر وارون‌سازی
۹۹	 روش‌های تحلیلی
۱۰۰	 پاسخ جانبی نگار
۱۰۳	 روش‌های عددی
۱۰۳	 روش المان محدود
۱۰۵	 روش تفاضل محدود
۱۰۷	 تفاوت‌های بین FDM و FEM

- ۱۱۰..... مدل سازی مقاومت ویژه ی سه بعدی در چاه های افقی و بسیار مایل
- ۱۱۱..... مدل سازی اثرات شیب و آغشتگی
- ۱۱۳..... آغشتگی نامتقارن
- ۱۱۷..... ناهمسانگردی
- ۱۱۹..... مثال هایی از ارزیابی سازند
- ۱۲۲..... مدل سازی هدایت سرمته در حفاری افقی
- ۱۲۶..... محاسبات مدل سازی چگونه انجام می شوند؟
- ۱۳۳..... معیارهای طلیق آنتروپی ماکزیمم و حداقل مریعات
- ۱۳۷..... جمع بنات
- ۱۴۲..... منابع و مآخذ

پیشگفتار

در تالیف، ترجمه و گردآوری این کتاب که بیش از یکسال زمان برده است، سعی بر آن بوده است که به صورت تخصصی بر روی دو مبحث مهم چاه‌پیمایی، یعنی ابزارهای چاه‌پیمایی و روشهای مدل‌سازی آن‌ها، تمرکز و به بهترین شکل ممکن توضیح داده شوند. راجع به ابزارهای چاه‌پیمایی، اگرچه منابع لاتین بسیاری وجود دارد اما تعداد منابع فارسی که تا این حد شفاف و با جزئیات در خصوص آن‌ها بحث کرده باشند، محدود است، و متأسفانه تا این زمان هیچ منبع فارسی در مورد مدل‌سازی نگارها در بازار موجود نمی‌باشد. لذا بر آن شدیم تا مجموعه نسبتاً گاه‌لی از ابزارهای چاه‌نگاری و روش‌های مدل‌سازی آن‌ها را ارائه کنیم. شایان ذکر است که در تالیف، ترجمه و گردآوری این کتاب، در مجموع از بیش از ۴۰ منبع خارجی و داخلی بهره گرفته شده است.

در فصل اول کتاب، مفاهیم کلی و اساسی چاه‌پیمایی به طور مختصر و مفید بیان شده است. در فصل دوم، مهم‌ترین ابزارهای چاه‌پیمایی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. فصل آخر به مفهوم جدید مدل‌سازی در چاه‌پیمایی می‌پردازد. از مدل‌سازی نگارها بطور گسترده در تولید نرم‌افزارهای تفسیر نتایج نگاربرداری، در صنعت نفت استفاده می‌شود. علاقمندان با مطالعه فصل سوم این کتاب درک درستی از مدل‌سازی و اهمیت آن در صنعت نفت پیدا خواهند کرد.

کتاب حاضر، علاوه بر اینکه یک منبع درسی بسیار مناسب برای مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های نفت، معدن، ژئوفیزیک و ... به حساب می‌آید، برای متخصصین و کارشناسان درگیر در پروژه‌های چاه‌پیمایی نیز بسیار مفید و کاربردی می‌باشد.

در اینجا به رسم ادب و قدردانی بر خود لازم می‌دانیم که از عوامل انتشارات سخنوران بویژه از جناب آقای حسین وش به دلیل مساعدت در چاپ و انتشار این کتاب تشکر نماییم. همچنین از جناب آقای دکتر مجید نبی بیدهندی که تجربیات مفید و عملی خود را در

زمینه چاه‌نگاری با ما در میان گذاشتند و بدین وسیله به پربار شدن کتاب کمک شایانی نمودند. قدردانی می‌نماییم. در پایان از اساتید، متخصصان و دانشجویان محترم تقاضا می‌شود با ارسال نقطه‌نظرات و تجارب ارزنده خود به انتشارات سخنوران ما را بیش از پیش در بهبود سطح کمی و کیفی این اثر مساعدت و یاری فرمایند.

سوفیا کشاورزی‌پور - عماد علیخانی

آذر ۱۳۹۵

www.ketab.ir

فصل نخست

مقدمه

اطلاعات و برداشته‌های زمین‌شناسی سطحی نمی‌توانند شرایط واقعی زیر زمین را نشان دهند، زیرا در بسیاری از موارد این برداشتها از افق‌های سطحی و هوازده صورت می‌گیرند که بافت و ترکیب و ساخت و سازهای آن دچار تغییراتی شده و از شرایط مخزن فاصله گرفته‌اند. بنابراین، از روی برداشته‌های سطحی نمی‌توان به وجود منابع زیرزمینی یا هیدروکربن مطمئن شد و بایستی یک یا چند چاه اکتشافی برای کسب اطلاعات زیرسطحی حفر شوند. این اطلاعات شامل مغزه^۱، خرده‌های حفاری^۲، سیال سازند و نگارهای چاه پیمایی هستند. مغزه‌ها در صورت برداشت پیوسته‌ی آنها، بر اساس اندازه‌شان دارای ارزشی برابر با خود نمونه‌ها هستند و می‌توان در آزمایشگاه از روی آنها با اطلاعات ارزشمندی دست‌یافت. ولی متأسفانه به خاطر بعضی مسائل و مشکلات مانند پرهزینه بودن مغزه‌گیری، ممکن نبودن مغزه‌گیری کامل در فواصل شکسته و... مغزه‌گیری، مشکل یا غیرممکن است. در این صورت تنها نمونه‌های موجود، خرده‌های کوچک حفاری هستند. این خرده‌ها نیز به دلایل زیادی مانند ریز بودن خرده‌ها، آلوده شدن خرده‌ها با گل حفاری، از دست رفتن برخی ترکیبات قابل حل در گل حفاری، عدم امکان تخمین قطعی از عمق خرده و... برای مطالعات زیرزمینی چندان کاربردی ندارند (رضایی، ۱۳۸۵).

1. Core
2. Drilling cuttings

برای رفع نارسایی های مذکور، ایده ی استفاده از اندازه گیری پارامترهای فیزیکی مربوط به تخلخل، لیتولوژی،... به صورت درجا^۱ مورد توجه قرار گرفت. اولین مطالعات چاه پیمایی به برادران شلومبرگر^۲ منسوب است که در سال ۱۹۲۷ برای اولین بار در فرانسه مقاومت ویژه ی لایه ها را اندازه گیری کردند. سپس باگذشت زمان و پیشرفت های حاصله در علم و ابزارهای اندازه گیری، ثبت پارامترهای مختلف امکان پذیر شد. تولیدکنندگان نفت کاربران عمده ی این مطالعات ژئوفیزیکی هستند که از آنها برای محاسبه ی تخلخل و درجه ی اشباع منابع نفتی استفاده می کنند (سرا، ۱۹۸۴).

در چاه پیمایی با توجه به شرایط چاه، تعدادی از پارامترهای فیزیکی مناسب از طریق نگارها برای شناخت میر شناسی لایه ها و مشخصات پتروفیزیکی سنگ اندازه گیری می شوند. برای رسیدن به یک ارزیابی خوب از لایه های زیرزمینی، باید بتوان از تلفیق داده های چاه پیمایی و مغزه ها استفاده کرد، و بین پارامترهای فیزیکی اندازه گیری شده (از چاه پیمایی) و پارامترهای زمین شناسی و پتروفیزیکی موردنظر ارتباط برقرار کرد. درست است که در چاه پیمایی نمی توان خواص موردنظر را مستقیماً برداشت کرد، ولی این مزیت را دارد که برداشت داده ها در آن به صورت پهنه صورت می گیرد (سرا، ۱۹۸۴).

تعریف چاه پیمایی و کاربردهای آن

چاه پیمایی همان روش زمینی برای اکتشاف است، این تفاوت که در داخل چاه بکار می رود، و به این صورت است که مجموعه ای از سانسورها را مناسب با نوع اندازه گیری، در داخل یک سوند (محفظه ی فولادی استوانه ای شکل به قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر) قرارداده و سپس سوند را داخل چاه گذارده و اندازه گیری را انجام می دهند. هدف از اندازه گیری در چاه، به دست آوردن خواص فیزیکی سنگ های اطراف چاه است. چاه پیمایی عمدتاً در اکتشافات نفت و گاز بکار می رود و تخلخل، نوع سیال داخل حفره ها، تراوایی^۳ (قابلیت عبور دادن یک سیال) و درصد اشباع آب یا نفت را تعیین می کند.

1. in situ

2. schlumberger

3. Permeabil