

بسم الله الرحمن الرحيم

راهنمای جامع مهندسی نفت

زمین شناسی نفت، اکتشاف
حفاری و تولید

مؤلفان:

دکترولی احمدسجادیان

مهندس محمودخلیفه

مهندس امیررضا محمد محمدی

سرشناسه: محمود خلیفه ۱۳۶۲

عنوان و پدید آور: راهنمای جامع مهندسی نفت: زمین شناسی نفت، اکتشاف، حفاری تولید/ مولفان محمود خلیفه

دلی احمد سجادیان، امیر رضا محمد محمدی

مشخصات نشر: تهران: کتاب آوا

مشخصات ظاهری: ۲۳۲ مصور، جدول، نمودار

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۵۲۶-۸۶-۸

وضاحت فهرست نویسی: فیا

موضوع: نفت، مهندسی مخازن زیرزمینی

موضوع: نفت - مهندسی

شابک افزوده: سجادیان، ولی احمد

شابک افزوده: محمد محمدی، امیر رضا ۱۳۶۵

رده بندی کنگره: ۱۳۹۰/۸۲۲/ج-۸/۱/۸۷۱/۱

رده بندی دیویی: ۶۲۲/۳۳۸۲



انتشارات کتاب آوا

راهنمای جامع مهندسی نفت: زمین شناسی نفت، اکتشاف، حفاری تولید



شرکت ملی نفت ایران
مدیریت توسعه منابع انسانی

مولفان: مهندس محمود خلیفه/ دکتر ولی احمد سجادیان / مهندس امیر رضا محمد محمدی
ناشر: کتاب آوا
نوبت چاپ: اول ۱۳۹۰
چاپ و صحافی: کاج/نوری
تیراژ: ۲۰۰۰ جلد
قیمت: ۲۵۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۵۲۶-۸۶-۸

کلیه حقوق و حق چاپ متن کپی برداری طرح روی جلد و عنوان و مجموعه کتاب با توجه به قانون

حمایت حقوق مولفان و مصنفان و هنرمندان برای ناشر محفوظ است

و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند

فهرست

۱	مقدمه
۱۳	فصل یکم - ماهیت نفت و گاز
۱۳	نفت
۱۳	اجزاء سازنده هیدروکربور
۱۴	نفت خام
۱۴	مولکول‌های هیدروکربنی
۱۶	درجه API
۱۷	سولفور
۱۸	نفت‌های خام شاخص
۱۸	نقطه ریزش
۱۹	خصوصیات نفت خام
۱۹	واحد اندازه‌گیری نفت خام
۲۰	پالایش نفت خام
۲۱	گاز طبیعی
۲۱	اجزاء سازنده گاز
۲۳	میعانات گازی
۲۴	سنجش
۲۵	مخازن هیدروکربنی
۲۷	فصل دوم - پوسته زمین - جایی که نفت را در آن خواهیم یافت
۲۷	سنگ‌ها و کانی‌ها
۲۷	انواع سنگ‌ها
۲۸	سنگ‌های آذرین
۲۹	سنگ‌های رسوبی

۳۲	سنگ‌های دگرگونی
۳۳	ساختار پوسته زمین
۳۶	فصل سوم - شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های متداول
۳۶	شناسایی کانی‌ها
۴۰	شناسایی سنگ‌ها
۴۰	سنگ‌های آذرین
۴۱	سنگ‌های دگرگونی
۴۱	سنگ‌های رسوبی
۴۶	فصل چهارم - زمان زمین‌شناسی
۴۶	سن‌یابی پرتوزایی
۴۹	سن‌یابی نسبی
۴۹	فسیل‌ها
۵۱	میکروفسیل‌ها
۵۵	مقیاس زمانی زمین‌شناختی
۵۵	تاریخچه زمین
۵۹	فصل پنجم - دگرشکنی سنگ‌های رسوبی
۵۹	هوازدگی، فرسایش و دگرشیمی‌ها
۶۴	تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها
۶۵	گنیدها
۶۵	تک‌شیب‌ها
۶۶	شکاف‌ها
۶۶	درزه‌ها
۶۷	گسل‌ها
۷۴	فصل ششم - سنگ‌های مخزن ماسه‌سنگی
۷۴	ماسه‌سنگ‌های تلماسه‌ای
۷۶	ماسه‌سنگ‌های خط ساحلی
۷۷	ماسه‌سنگ‌های رودخانه‌ای
۷۹	ماسه‌سنگ‌های دلتایی
۸۳	فصل هفتم - سنگ‌های مخزن کربناتی
۸۳	پوش‌سنگ‌های کربناتی

۸۴	ریفها
۸۴	آشنایی با برخی از اصطلاحات رایج در سنگ‌شناسی کربناتی
۸۵	مختصری درباره سنگ‌شناسی مخازن نفتی ایران
۸۵	گروه فارس
۸۸	گروه خامی
۸۹	گروه کازرون
۹۰	فصل هشتم - توزیع سنگ‌های رسوبی
۹۰	سازند جلگه‌ای
۹۳	رخساره سنگ‌های رسوبی
۹۴	لایه‌های سنگ
۹۶	فصل نهم - نقشه برداری
۹۶	نقشه‌های توپوگرافی
۹۸	نقشه‌های زمین‌شناسی
۱۰۱	نقشه‌های مبنا
۱۰۲	نقشه‌های زیرسطحی
۱۰۲	نقشه‌های ساختمانی
۱۰۴	نقشه‌های هم ضخامت
۱۰۵	نقشه نسبی
۱۰۶	فصل دهم - محیط اقیانوسی و تکتونیک‌های صفحه‌ای
۱۰۶	نقشه‌برداری اقیانوس
۱۰۶	آب‌های کم عمق
۱۱۰	آب‌های عمیق
۱۱۰	جدایش قاره‌ها
۱۱۰	گسترش بستر دریاها
۱۱۲	تکتونیک‌های صفحه‌ای
۱۱۳	میادین نفتی خاورمیانه
۱۱۵	فصل یازدهم - سنگ‌های منشأ، زایش، مهاجرت و تجمع هیدروکربن
۱۱۵	سنگ منشأ
۱۱۶	زایش هیدروکربن
۱۱۹	مهاجرت نفت و گاز
۱۲۰	تجمع هیدروکربن

۱۲۲	 سنگ‌های مخزن
۱۲۶	 اشباع
۱۲۷	 شیل‌های نفتی
۱۲۷	 ماسه‌های قیری
۱۲۹	 فصل دوازدهم - نفتگیرها
۱۳۱	 نفتگیرهای ساختمانی
۱۳۱	 ناقدیس‌ها و گنبد‌های نمکی
۱۳۳	 گل‌های رشدی و ناقدیس‌های غلتیده
۱۳۵	 چین‌های کشیده
۱۳۶	 نفتگیرهای چینه‌ای
۱۳۷	 نفتگیرهای هیدرودینامیکی
۱۳۸	 نفتگیرهای فرکیبی
۱۳۹	 ساختارهای بال‌بند
۱۳۹	 گنبد‌های نمکی
۱۴۳	 فصل سیزدهم - اکتشاف، زمین‌شناسی و ژئوشیمی نفت
۱۴۳	 چشمه‌های نفتی
۱۴۵	 فنون زمین‌شناختی
۱۴۷	 ارتباط اطلاعات زمین‌شناسی موجود در یک حوزه رسوبی
۱۵۱	 فنون ژئوشیمیایی
۱۵۳	 فصل چهاردهم - ژئوفیزیک اکتشافی نفت
۱۵۳	 اکتشاف ثقلی و مغناطیسی
۱۵۷	 اکتشافات لرزه‌ای
۱۵۷	 جمع‌آوری داده‌های لرزه‌نگاری
۱۶۶	 ثبت لرزه
۱۶۹	 تفسیر لرزه‌نگاری
۱۷۳	 پردازش داده‌ها
۱۷۵	 تبدیل زمان به عمق
۱۷۶	 دامنه لرزه بر حسب انحراف از موقعیت
۱۷۶	 اکتشافات لرزه‌ای ۳- بُعدی
۱۷۸	 اکتشاف لرزه‌ای ۴- بُعدی و ۴- جزئی
۱۸۲	 فصل پانزدهم - اصول مقدماتی حفاری

۱۸۳	قراردادهای خارجی
۱۸۴	برآورد هزینه
۱۸۵	قراردادهای حفاری
۱۸۷	قراردادهای مشترک عملیاتی و شراکتی
۱۸۷	آماده‌سازی مکان حفاری
۱۸۹	انواع چاه‌ها
۱۹۱	قوانین دولتی
۱۹۲	دکل‌های حفاری ضرب‌های
۱۹۵	فصل شانزدهم - حفاری چاه - علم مکانیک
۱۹۵	سامانه تولید نیروی دکل
۱۹۸	سامانه نگهدارنده و بالا برنده رشته حفاری
۲۰۱	سامانه چرخش رشته حفاری
۲۱۳	سامانه گردش گل حفاری
۲۲۲	عملیات حفاری
۲۲۵	فصل هفدهم - مشکلات حفاری
۲۲۵	شرایط زیرسطحی
۲۲۷	مشکلات حین حفاری
۲۲۷	مانده یابی
۲۳۰	گیر کردن لوله
۲۳۲	شیل‌های مردابی
۲۳۲	هرز روی گل حفاری
۲۳۲	آسیب‌دیدگی سازند
۲۳۳	گازهای خورنده
۲۳۳	فشارهای غیرعادی بسیار بالا
۲۳۷	فصل هیجدهم - شیوه‌های حفاری
۲۳۷	حفاری عمودی
۲۳۸	حفاری جهتدار
۲۴۶	حفاری با هوا و کف
۲۴۷	فصل نوزدهم - آزمایش چاه
۲۴۷	گزارش سنگ‌شناسی
۲۵۲	منحنی ثبت زمان حفاری

۲۵۴	 گزارش گل حفاری
۲۵۵	 چاه‌پیمایی
۲۵۵	 مفاهیم بنیادی مورد استفاده در ارزیابی نمودارهای چاه‌پیمایی
۲۶۰	 تشریح منحنی‌های متداول
۲۷۴	 اندازه‌گیری‌ها و چاه‌پیمایی در حین حفاری
۲۷۵	 تست ساق مته
۲۷۸	 آزمایش‌ده مجدد سازند
۲۷۹	 فصل بیستم - تکمیل چاه
۲۷۹	 لوله‌گذاری چاه
۲۸۷	 تکمیل ده چاه
۲۹۰	 لوله مغزی
۲۹۲	 سرچاهی
۲۹۳	 کاهنده‌ها
۲۹۳	 تجهیزات سطحی
۳۰۲	 تکمیل چندگانه چاه
۳۰۳	 چاه‌های هوشمند
۳۰۴	 فصل بیست و یکم - فرآورش و ذخیره‌سازی
۳۰۴	 خطوط جریان
۳۰۶	 تفکیک‌گر
۳۱۱	 تصفیه گاز
۳۱۳	 مخازن ذخیره‌سازی
۳۱۸	 فصل بیست و دوم - حفاری فراساحلی و عملیات تکمیل چاه
۳۱۸	 تاپ درایو
۳۱۹	 خدمه دریایی
۳۲۰	 حفاری اکتشافی
۳۲۱	 جک آب
۳۲۱	 بارج
۳۲۲	 سکوی ثابت
۳۲۲	 سکوهای نیمه‌شناور
۳۲۳	 کشتی حفاری
۳۲۴	 حفاری یک چاه اکتشافی فراساحلی
۳۲۷	 حفاری توسعه‌ای و تولیدی

۳۳۱	 عملیات زیردریایی
۳۳۱	 مرحله نهایی تکمیل چاه‌های فراساحلی
۳۳۳	 بسترهای دریایی ناپایدار
۳۳۴	 فصل بیست و سوم - تعمیر چاه
۳۳۴	 تجهیزات تعمیر چاه
۳۳۸	 اقدامات عملیاتی بر روی چاه‌های فراساحلی
۳۳۹	 آماده‌سازی چاه
۳۳۹	 مشکلات چاه
۳۳۹	 پاکسازی شن از کف چاه
۳۴۰	 پاکسازی چاه
۳۴۰	 خارج سازی و تعمیر لوله مغزی
۳۴۱	 تعمیر لوله جداره
۳۴۲	 سیمانکاری ثانویه
۳۴۳	 پاکسازی چاه
۳۴۵	 فصل بیست و چهارم - مکانیسم‌های نیروهای رانشی مخزن
۳۴۵	 نیروهای رانشی مخزن
۳۴۵	 مکانیسم‌های نیروهای رانشی مخازن نفتی
۳۴۸	 مکانیسم‌های تولید در مخازن گازی
۳۴۹	 حداکثر نرخ تولید بهینه
۳۵۰	 فصل بیست و پنجم - تولید نفت خام
۳۵۰	 فشار چاه و مخزن
۳۵۱	 چاه آزمایی
۳۵۴	 لاگ‌های چاه جدار بسته
۳۵۴	 لاگ‌های تولید
۳۵۵	 منحنی‌های کاهش
۳۵۷	 پدیده مخروطی شدن
۳۵۸	 بازگردانی گاز
۳۵۹	 تحریک چاه
۳۵۹	 اسیدکاری چاه
۳۵۹	 شکاف‌زایی انفجاری
۳۶۰	 شکاف‌زایی هیدرولیکی
۳۶۳	 جمع‌آوری گاز همراه و دفع آب تولیدی از میدان نفتی

۳۶۴	نشست سطح زمین
۳۶۵	خوردگی
۳۶۵	نقشه‌های تولید
۳۶۶	گاز سربار
۳۶۷	فصل بیست و ششم - ذخیره قابل استحصال
۳۶۸	ضریب بازیافت
۳۶۸	ضریب آبرفتگی و ضریب حجمی نفت
۳۷۰	محاسبات ذخیره قابل استحصال
۳۷۰	نفت قابل استحصال
۳۷۲	گاز قابل استحصال
۳۷۲	روش‌های جرم‌های سیالات
۳۷۴	انواع ذخایر قابل استحصال
۳۷۵	فصل بیست و هفتم - روش‌های بهبود بازیافت نفت
۳۷۵	سیالیزنی
۳۷۹	ازدیاد برداشت نفت
۳۷۹	تزریق امتزاجی گاز
۳۸۰	تزریق مواد شیمیایی
۳۸۱	بازیافت حرارتی
۳۸۴	راندمان
۳۸۴	هماهنگ‌سازی فعالیت‌ها
۳۸۴	ترک چاه
۳۸۶	منابع

با نام خالق هستی

پیشگفتار

با افزایش رو به رشد مصرف انرژی‌های فسیلی و از طرفی کاهش نرخ تولید مخازن نفت و گاز، تلاش در جهت اکتشاف و تولید بیشتر از مخازن نفت و گاز افزایش یافته است. از این رو عدم وجود مجموعه‌ای به زبان فارسی که حاوی مطالب جمع‌آوری شده‌ای راجع به بخش بالادستی صنعت نفت و گاز باشد، محسوس بود. همکاران گران‌قدر، دانشجویان عزیز، مجموعه‌ای که هم‌اکنون تحت عنوان "راهنمای جامع مهندسی نفت: زمین‌شناسی نفت، اکتشاف، حفاری و تولید" فرا روی شماست، حاصل تلاش گروهی از مولفین و مترجمین است که به لطف خداوند متعال فرصتی جهت تنظیم آن بدست آمد.

کتاب پیش‌رو شامل ۲۷ فصل می‌باشد که در هر فصل به بررسی کلی بخشی از موضوعات بنیادی علمی مرتبط با صنعت نفت و گاز پرداخته شده است. بطور کلی در مبحث زمین‌شناسی نفت، به شرایط و نحوه تشکیل نفت و گاز، ارزیابی سنگ منشأ، نحوه مهاجرت و تشریح انواع نفت‌گیرها پرداخته شده است. در بخش اکتشاف، روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی اکتشاف نفت و گاز تشریح شده است. در مبحث حفاری و تولید نیز به تشریح روش‌های حفاری در خشکی و دریا، روش‌های تکمیل چاه، انواع سکوه‌های تولیدی فراساحلی، فرآورش و ذخیره‌سازی همت گماشته شده است. در نگارش این کتاب، در هر مورد مأخذ نیز ذکر شده است.

پر واضح است که این کتاب حاصل زحمات و تلاش افراد دلسوزی است که بدون همکاری و راهنمایی آنان، بی‌شک نگارش این میسر نمی‌شد. لازم می‌دانیم از اساتید محترم دانشگاهی و همکاران عزیز صنعتی آقایان دکتر ابوالقاسم امامزاده، مهندس سید مهدی دبیری، مهندس اصغر گندمکار، مهندس میلاد ایزدی، مهندس هادی باقرزاده، وحید سجادیان که در نگارش این اثر ما را یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگذاری را داشته باشیم.

از آنجا که کمال مطلق امری غیر ممکن می‌نماید، سعی گردیده این مجموعه به مطلوب نزدیک‌تر باشد، از این رو نواقص و احیاناً اشتباهاتی را در بر خواهد داشت و ادعائی در کامل بودن آن نیست. لذا بدین وسیله از صاحب‌نظران درخواست می‌شود که با ارائه نظرات اصلاحی خود در ارتقاء مجموعه‌هائی از این دست همکاری لازم مبذول دارند.

اینجانبان بر خود واجب می‌دانیم تا از مدیر محترم انتشارات کتاب آوا، جناب آقای حمید کاظمی که زحمات چاپ این اثر را پذیرفته و اینجانب را یاری نمودند، مراتب تشکر خود را به عمل آوریم.

از کلیه مطالعه کنندگان ارجمند، اساتید محترم و دانشجویان عزیز خواهشمند است تمام اشکالات علمی و تایپی را یادآور شوند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح شود و مجموعه‌ای با حداقل اشکال در اختیار دانش‌پژوهان قرار گیرد.

در خاتمه از مدیریت توسعه منابع انسانی شرکت ملی نفت ایران و اعضای محترم کمیته انتشارات که امکان نشر این اثر را فراهم آوردند سپاسگذاری نموده و برای همه دست‌اندرکاران انتشارات مطالب علمی آروزی توفیق می‌نماییم.

با تشکر

گروه مولفین و مترجمین

بهار ۱۳۹۰

مقدمه

نفت خام و گاز طبیعی هر دو ترکیبی از ملکول‌های کربن و هیدروژن می‌باشند. انواع مختلفی از نفت خام و گازهای طبیعی در مخازن هیدروکربوری وجود دارند که برخی نسبت به برخی دیگر با ارزش‌ترند. نفت‌های خام سنگین بسیار غلیظ و چسبناک هستند و تولید از آن‌ها سخت و با ضریب برداشت پایین است، در حالی که نفت‌های خام سبک بسیار روان بوده و ضریب برداشت آن مطلوب می‌باشد. نفت‌های خام ترش حاوی گوگرد و گازهای طبیعی ترش حاوی سولفید هیدروژن هستند که از نظر اقتصادی دارای ارزش کمتری می‌باشند. برخی از گازهای طبیعی که با حرارت بیشتری نسبت به بقیه گازها می‌سوزند حاوی میعانات گازی بوده که از اینرو از ارزش اقتصادی بالاتری نسبت به گازهای طبیعی معمولی برخوردار می‌باشند.

برای آنکه یک مخزن گازی یا نفتی از اهمیت اقتصادی برخوردار باشد، آن مخزن باید دارای سه شرط زمین‌شناسی باشد: ابتدا می‌بایست در لایه‌های پایینی مخزن سنگ منشأی وجود داشته باشد که با گذشت زمان، نفت و یا گاز اولیه زایش یابد. سپس می‌بایست سنگ مخزن برای نگهداری گاز یا نفت در زیر زمین وجود داشته باشد و در پایان، وجود لایه‌ای غیرتراوا بر روی سنگ مخزن جهت انباشت گاز و یا نفت به میزان تجاری الزامیست.

در مناطق تولیدی نفت و گاز، سنگ‌های تشکیل دهنده سنگ منشأ^۱ و سنگ مخزن^۲ از نوع سنگ‌های رسوبی می‌باشند. این سنگ‌ها از آنرو رسوبی نامیده می‌شوند که از رسوب بقایای سنگ‌های دیگر تشکیل یافته‌اند. این رسوبات شامل: (۱) ذراتی از قبیل: دانه‌های شن که از خرد شدن سنگ‌های بزرگتر و جابجایی به مکانی دیگر، تشکیل شده‌اند (۲) صدف‌های حلزونی یا (۳) رسوبات نمکی موجود در آب، می‌باشند. سنگ‌های رسوبی که پوسته زمین را تشکیل می‌دهند، میلیون‌ها و گاه‌ها میلیارد‌ها سال قدمت دارند. در طی زمان‌های طولانی زمین‌شناسی، سطح آب

1. Source Rock

2. Reservoir Rock

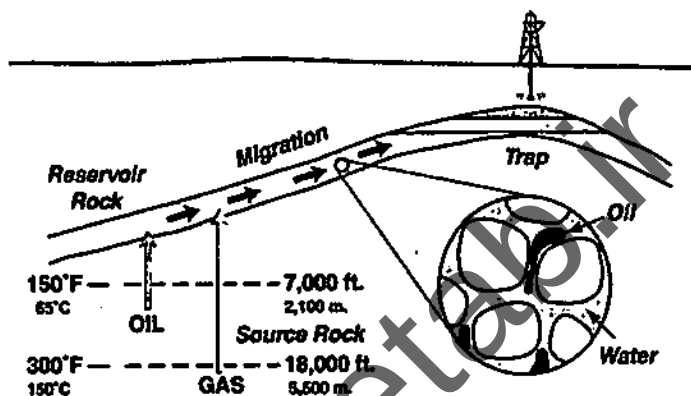
دریاها ثابت نبوده است. در گذشته سطح آب دریاها در چندین نوبت بالا آمده، تا جاییکه سطح زمین را پوشانیده و سپس پایین رفته و دوباره سطوح زمین پدیدار شده‌اند. در طی این دوران، رسوبات ته نشین شده‌اند. رسوبات ته نشین شده، مواد نسبتاً ساده‌ای همچون: شن‌های ته نشین شده در امتداد ساحل، لجن‌های کف دریا و بسترهایی از صدف‌های حلزونی، می‌باشند. این رسوبات قدیمی به صورت لایه لایه بر روی هم انباشته شده‌اند و سنگ‌های رسوبی را تشکیل می‌دهند که به منظور کشف ذخایر نفت و گاز حفاری می‌شوند.

مواد آلی که در سنگ‌های رسوبی قدیمی مدفون و ذخیره شده‌اند، منشأ نفت و گاز می‌باشند. این سنگ‌ها علاوه بر اجزای غیر آلی مانند دانه‌های شن و گل، شامل: مواد گیاهی و جانوری مرده نیز می‌باشند. شیل سیاه، متداولترین سنگ رسوبی غنی از مواد آلی (سنگ منشأ برای اغلب نفت‌ها و گازها) می‌باشد که به صورت گل‌های غنی از مواد آلی در کف اقیانوس‌های قدیمی رسوب کرده است. در اعماق زمین، مهم‌ترین عامل تبدیل مواد آلی به هیدروکربن می‌باشد. سنگ منشأ بوسیله رسوبات جدید به مرور زمان پوشانیده شده و در عمق‌های پایین‌تری مدفون می‌شود و از اینرو دمای آن بتدریج گرم و گرم‌تر می‌شود. نفت در دمایی تا حدود ۳۰۰ درجه فارنهایت و تا عمقی در حدود ۱۸۰۰۰ فوت تشکیل می‌شود (شکل ۱-۱). واکنشی که در طی آن مواد آلی به نفت تبدیل می‌شوند، پیچیده و زمان بر است. اگر سنگ مخزن در اعماق پایین‌تری مدفون شده باشد (جائیکه دما بیشتر از ۳۰۰ درجه فارنهایت باشد) ته مانده مواد آلی منجر به تولید گاز طبیعی خواهد شد.

گاز و نفت در مقایسه با آب که در سنگ‌های رسوبی زیرزمینی نیز وجود دارد، از چگالی نسبتاً کمتری برخوردار می‌باشند. نفت و گاز پس از تشکیل به کمک نیروی ثقلی از طریق شکاف‌ها و خلل و فرج سنگ به سمت سطح زمین حرکت می‌کنند. حرکت رو به بالای گاز و نفت می‌تواند منجر به تقسیم‌بندی لایه‌ای سنگ مخزن شود. سنگ مخزن، سنگ رسوبی متشکل از فضا‌های بسیار کوچک به نام منفذ یا حفره^۱ می‌باشد. ماسه سنگ یکی از متداولترین سنگ‌های رسوبی است که از ذرات شن شبیه به ذرات شن کنار ساحل یا بستر رودخانه تشکیل شده است. ذرات ماسه گروهی شکل بوده و بوسیله دوغاب به یکدیگر می‌چسبند. سنگ آهک^۲ نوع رایج دیگری از سنگ‌های رسوبی می‌باشد که عمدتاً از کلسیت معدنی تشکیل شده است و به صورت بسترهای صدفی یا تپه‌های دریایی رسوب می‌کند. نفت و گاز در خلل و فرج لایه‌های سنگ مخزن حرکت می‌کنند. هر سیالی (آب، گاز یا نفت) خواه در سطح یا زیر سطح زمین باشد، همواره در آسانترین مسیر یعنی در امتداد کمترین مقاومت موجود جریان خواهد یافت. در مخازن هیدروکربنی،

1. Fracture
2. Pore
3. Limestone

کمترین مقاومت در امتداد لایه سنگ مخزن می‌باشد. به قابلیت عبور سیال در میان سنگ، تراوایی (نفوذپذیری) اطلاق می‌شود. حرکت هیدروکربن به سمت سطح زمین و در امتداد شیب سنگ مخزن، مهاجرت^۱ نامیده می‌شود. در نهایت هیدروکربن تشکیل شده در سنگ منشأ مسافت قابل ملاحظه‌ای را به سمت سطح زمین (از مکان اولیه تشکیل)، به سبب اختلاف دانسیته نسبت به آب اولیه موجود در سنگ‌های رسوبی، طی خواهد کرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: تشکیل و مهاجرت گاز و نفت

گاز و نفت می‌توانند در حین مهاجرت در امتداد سنگ مخزن به تله^۲ برخورد کنند. تله بالاترین نقطه سنگ مخزن است، یعنی جائیکه گاز و نفت متوقف و متمرکز می‌شوند. از آنجائیکه خلل و فرج سنگ مخزن از آب پر شده‌اند، گاز و نفت به بالاترین قسمت سنگ مخزن حرکت می‌کنند. گنبد^۳ یا قاعدیس^۴ نوعی از انواع تله‌های نفتی است که به شکل کمان می‌باشد (شکل ۱-۲) و به صورت طبیعی در مخازن زیرزمینی وجود دارد. در تله سیالات بر اساسی دانسیته تفکیک می‌شوند. گاز نسبت به آب و نفت سبکتر بوده و به بالاترین نقطه مخزن مهاجرت کرده و کلاهک گازی را تشکیل می‌دهد. نفت نیز در زیر کلاهک گازی قرار می‌گیرد و مخزن نفتی را تشکیل می‌دهد. آب شور نیز که نسبت به گاز و نفت سنگین‌تر است، در بخش پایینی قرار می‌گیرد. برای تکمیل تله می‌بایست پوش سنگ^۵ بر روی سنگ مخزن قرار گیرد. پوش سنگ لایه‌ای ناتراواست که مانع حرکت صعودی نفت و گاز به سطح زمین می‌شود. اگر پوش سنگ وجود نداشته

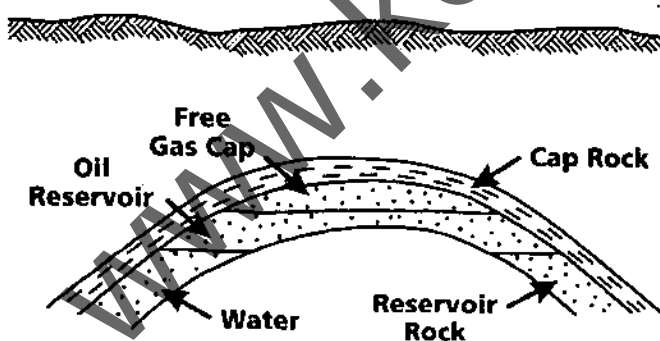
1. Migration
2. Trap
3. Dome
4. Anticline
5. Cap Rock

باشد، نفت و گاز به سطح زمین نشت می‌کنند. سنگ‌های **شیلی**^۱ و **نمکی**، دو سنگ رسوبی متداول هستند که به شکل پوش‌سنگ عمل می‌کنند.

نفت و گاز چگونه مکان‌یابی می‌شوند؟ بدلیل نشت برخی از تله‌های نفتی به سطح زمین، حفاران اولیه در کشف اینگونه از مخازن موفق بوده‌اند. وجود شکاف‌های کوچک در پوش‌سنگ سبب نشت مقداری نفت و گاز و تراوش طبیعی آن بر روی سطح زمین شده بوده است. در حقیقت حفاران چاه‌های خود را بر روی چشمه‌های تشکیل شده از نفت‌های رسیده به سطح زمین، حفاری می‌کرده‌اند.

در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی و با پیشرفت علوم، مفاهیم مرتبط با رسوبات نفت و گاز بهتر شناخته شد. شرکت‌های نفتی پی‌بردند که چگونه با بهره‌گیری از نقشه برداری می‌توانند لایه‌های رسوبی زمین را ترسیم نمایند و با تفسیر آن‌ها مکان نفتگیرها را مشخص کنند (شکل ۳-۱). از اینرو، زمین‌شناسان جهت نقشه برداری **رخ نمون**^۲ سنگ‌ها بکار گرفته شدند.

سال‌ها بعد برای تعیین محل نفتگیرهای زیرزمینی، روش‌های لرزه‌نگاری توسعه یافتند. در اکتشاف لرزه‌ای^۳ از یک منبع تولید لرزه و یک آشکارساز^۴ جهت شناسایی مخزن استفاده می‌شود (شکل ۴-۱).

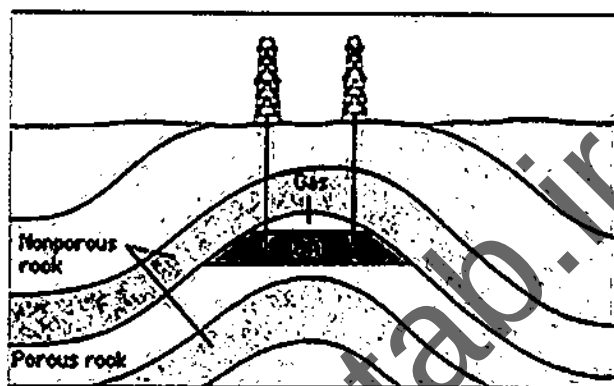


شکل ۳-۱: تله نفتی

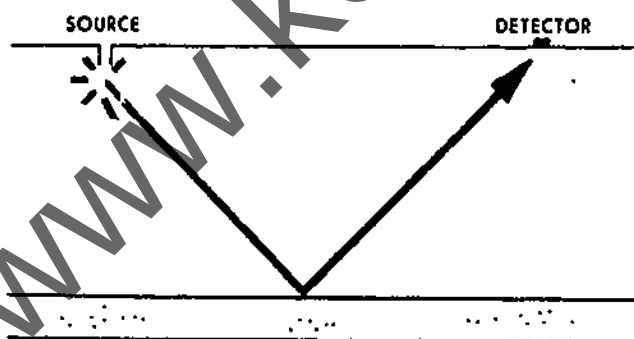
با استفاده از منبع تولید شوک (به عنوان مثال انفجار دینامیت و یا ضربه چکشی) بر روی سطح یا در نزدیکی سطح زمین، یک پالس انرژی صوتی به درون لایه‌های زمین فرستاده می‌شود. انرژی صوتی پس از برخورد به لایه‌های رسوبی دوباره به سطح زمین بر می‌گردد و توسط ردیاب‌ها ثبت

1. Shale
2. Outcrop
3. Seismic Exploration
4. Detector

می‌شود. برگشت صدا (پژواک صدا) و انسکار آن برای ساخت تصویری از لایه‌های سنگ‌های زیرزمینی بکار گرفته می‌شود. عملیات حفاری تنها راه برای اطمینان از اینست که آیا یک تله به میزان اقتصادی دارای نفت و گاز می‌باشد یا خیر؟ چاهی که برای پیدا کردن میدان جدید نفتی و یا گازی حفر می‌گردد، اصطلاحاً چاه اکتشافی^۱ نامیده می‌شود. در مناطق شناخته نشده در اغلب موارد، چاه‌های اکتشافی از نظر اقتصادی خشک می‌باشند.



شکل ۳-۱: برش عرضی یک تله نفتی



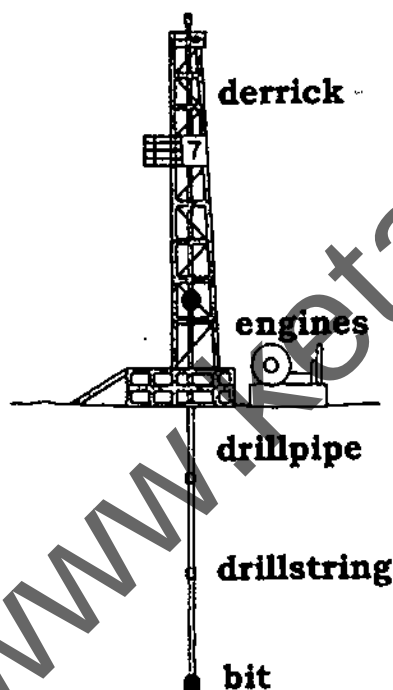
شکل ۴-۱: روش لرزه‌نگاری

چاه‌ها با استفاده از روش حفاری دورانی^۲ (شکل ۵-۱) حفر می‌شوند. هزاران فوت لوله حفاری و مته انتهایی آن را اصطلاحاً رشته حفاری^۳ می‌نامند. با چرخانیده شدن رشته حفاری از سطح زمین، رشته حفاری و مته در انتهای آن به چرخش در آمده و زمین حفاری می‌شود. با عمیق‌تر

1. WildCat Well
2. Rotary drilling
3. Drill string

شدن چاه، لوله‌های حفاری بیشتری اضافه می‌شوند. نیروی دکل حفاری توسط موتور دیزلی تأمین می‌گردد. دکل حفاری جهت بالا و پایین بردن رشته حفاری استفاده می‌شود. چاه می‌تواند به صورت عمودی و یا با یک زاویه انحراف به صورت چاه انحرافی^۱ حفر شود.

یکی از سیستم‌های مهم دکل حفاری، سامانه گردش گل حفاری^۲ است. گل حفاری از داخل لوله حفاری به پایین پمپ می‌شود و سیال حفاری به صورت جت (با فشار) از نازل‌های (سوراخ‌های سر مته) حفاری خارج شده و از فضای بین دیواره چاه و لوله حفاری به سطح زمین هدایت می‌شود (شکل ۶-۱).

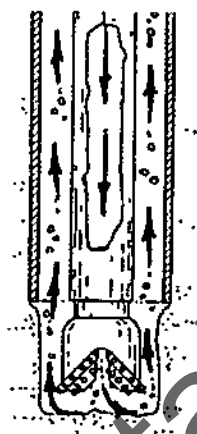


شکل ۶-۱: دکل حفاری

گل حفاری تکه سنگ‌های خرد شده توسط مته را از ته چاه به سمت سطح زمین هدایت می‌کند. این اقدام سبب جلوگیری از تجمع آن‌ها در ته چاه و افزایش سرعت حفاری می‌شود. معمولاً در حین حفاری از گل حفاری دارای جریان گردشی استفاده می‌گردد. با استفاده از گل حفاری می‌توان از جریان یافتن گاز، نفت و آب از لایه‌های زیرزمینی مخزن به درون چاه جلوگیری

1. Deviated well
2. Circulating Mud System

نمود. اگر گاز و نفت به سمت بالا (به سمت دکل حفاری) حرکت کنند، می‌توانند باعث فوران و در صورت عدم کنترل سبب آتش سوزی شوند. حتی اگر آب به تنهایی از مخزن به داخل چاه جریان یابد، می‌تواند در پاره‌ای از موارد سبب ریزش دیواره چاه شود.

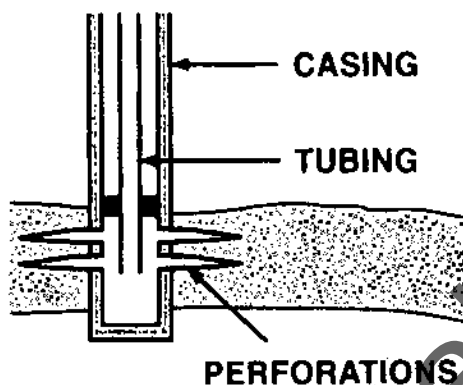


شکل ۶-۱: خارج شدن خرده سنگ‌های حفاری بوسیله گل حفاری

گل حفاری بدلیل داشتن فشاری بیشتر از فشار سیال داخل لایه‌های زمین مانع ورود سیالات سازند به درون چاه می‌شود. اگرچه چاه‌های فراساحلی نیز همانند چاه‌های خشکی حفر می‌شوند ولی نیاز به تجهیزات پیچیده‌تر و دقت بیشتر دارند. برای حفر چاه‌های اکتشافی فراساحلی، دکل حفاری بر روی بارج^۱، سکوی شناور یا یک کشتی حفاری قرار می‌گیرد. به‌شناسایی یک میدان دریایی، سکوی بهره‌برداری به منظور حفاری دیگر چاه‌ها و تولید گاز و نفت نصب می‌شود. از آنجائیکه گل حفاری مانع ورود هیدروکربن به درون چاه می‌شود، سازندهای حاوی نفت و گاز می‌توانند بدون هیچگونه نشانه‌ای از نفت و گاز حفاری شوند. برای ارزیابی چاه، یک شرکت سرویس دهی، عملیات چاه‌پیمایی^۲ را انجام می‌دهد. برای انجام عملیات چاه‌پیمایی، کامیون نمودارگیری در نزدیکی چاه قرار می‌گیرد و سپس یک سیلندر طولیل شامل ابزارهای مختلفی که سوند^۳ نامیده می‌شود از کامیون جدا شده و توسط کابلی محکم به درون چاه فرستاده می‌شود (شکل ۶-۱). در حالیکه سوند از ته چاه به سمت بالا کشیده می‌شود، ابزار در سطح زمین خصوصیات الکتریکی، صوتی و رادیواکتیویته سنگ‌های اطراف و سیالات موجود در سازند را ثبت می‌نماید. داده‌های

1. Barge
2. Well Logging
3. Sonde

از آنجائیکه در پاره‌ای از موارد چاه‌های نفتی دارای نیروی فشاری لازم جهت تولید طبیعی به سطح را دارا نمی‌باشند، از عملیات فراآوری مصنوعی^۱ استفاده می‌شود. یکی از سیستم‌های فراآوری مصنوعی متداول، استفاده از پمپ‌های مکند درون چاهی^۲ و یا پمپ‌های درون چاهی می‌باشد (شکل ا-۱۱).



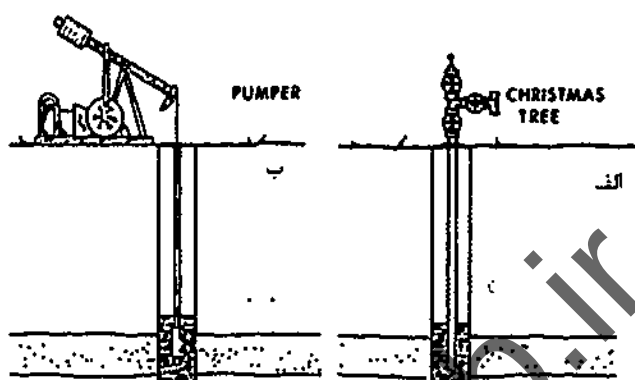
شکل ا-۱۱: مشبک‌ها و لوله مغزی موجود در یک چاه

نیروی محرکه یک پمپ درون چاهی (قرار گرفته در پایین لوله مغزی)، از سطح زمین و توسط واحد محرکه ایجاد می‌شود.

در سطح زمین، گاز توسط دستگاه‌های آماده‌سازی^۳ برای انتقال به خطوط لوله، آماده می‌شود. دستگاه‌های آماده‌سازی گاز وظیفه جداسازی فاضلی‌های موجود در گاز از قبیل: بخار آب و گازهای خورنده را بر عهده دارند. میعانات گازی با ارزش موجود در گاز توسط تاسیسات فرآوری از گاز جدا می‌شوند. برای جدایش گاز طبیعی و آب شور از نفت از تانک استیل طولی با نام تفکیک‌گر^۴ استفاده می‌شود. سپس نفت در تانک ذخیره^۵ جمع‌آوری می‌شود. میزان نرخ تولید از چاه‌ها می‌تواند بوسیله انجام عملیات‌های اسیدکاری^۶ و شکاف‌زایی^۷ افزایش یابد. در عملیات اسیدکاری چاه، اسید به داخل چاه پمپ می‌شود و خلل و فرج اطراف چاه را با حل کردن سنگ مخزن و رسوبات ثانویه، گشادتر می‌کند. در طول عملیات ایجاد شکاف، سنگ مخزن بوسیله

1. Artificial lift
2. Sucker-rod pump
3. Gas-conditioning Equipment
4. Separator
5. Stock tank
6. Acid job
7. Fracture job

پمپاژ یک مایع به درون چاه تحت فشار بیشتر از فشار استحکام سنگ مخزن، به صورت هیدرولیکی ترک می‌خورد. به صورت دوره‌ای، تولید از چاه‌های تولیدی می‌بایست در حین عملیات تعمیر و تکمیل^۱ متوقف گردد.

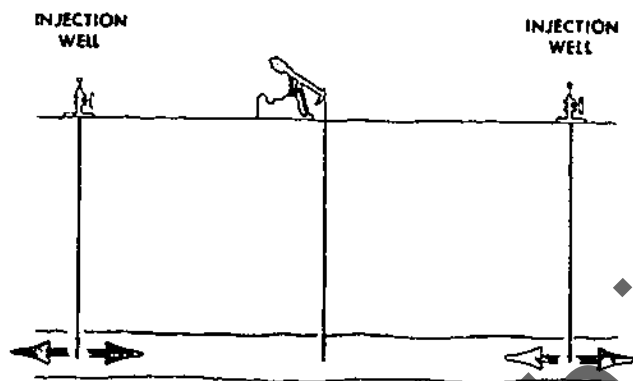


شکل ۱-۱: تکمیل چاه‌های نفتی و گازی

با تولید از مخزن هیدروکربوری، فشار سیال باقیمانده در مخزن کاهش می‌یابد. از اینرو میزان تولید گاز و نفت از یک چاه یا یک میدان (روند تولید) به مرور زمان کاهش می‌یابد. شکل نمودارهای روند تولید و تولید نهایی نفت و گاز، وابسته به مکانیزم‌های طبیعی تولید از مخزن است که سبب حرکت نفت و گاز از مخزن به درون چاه می‌شوند. حداکثر تولید نهایی از یک مخزن گازی در حدود ۸۰٪ می‌باشد [۲۳]. اما میزان تولید نهایی از مخازن نفتی بسیار متغیر می‌باشد، بطوریکه این عدد بین ۵ تا ۶۰٪ متغیر است که بستگی به خصوصیات فیزیکی سنگ و سیال مخزن، فن‌آوری روز و قیمت نفت دارد. اما میانگین تولید نهایی برای یک مخزن نفتی در خاورمیانه حدود ۳۰٪ می‌باشد. پس نتیجه می‌شود که در حدود ۷۰٪ نفت در مخزنی که فشارش کاهش یافته باشد، باقی می‌ماند. پس از کاهش نیروی رانش طبیعی مخزن، جهت تولید هیدروکربور باقیمانده، فرایندهای افزایش فشار مخزن (با تزریق گاز در کلاهی گازی و یا آب در بستر آبی زیر مخزن)، سیلاب زنی^۲ و ازدیاد برداشت نفت^۳ از مخازن انجام می‌شود. در فرآیند سیلاب زنی، آب تحت فشاری بالاتر از فشار مخزن و از طریق چاه‌های تزریقی^۴ جهت حرکت هیدروکربور باقیمانده، به درون مخزن تزریق می‌شود (شکل ۱-۱۲). روش‌های مورد استفاده در فرآیند ازدیاد

1. Workover
2. Water Flooding
3. Enhanced Oil Recovery [EOR]
4. Injection Well

برداشت شامل: تزریق گاز به صورت امتزاجی، برداشت حرارتی^۱، تزریق مواد شیمیایی^۲ (پلیمر، آلکالین و مواد فعال کننده سطحی) و روش‌های متعدد دیگر می‌باشند.



شکل ا-۱۲: سیلاب زنی

پس از تخلیه مخزن توسط چاه‌های موجود در آن، چاه‌های تولیدی و تزریقی می‌بایست به منظور حفاظت از مخازن آب زیرزمینی مسدود شوند. به همین منظور چاه با سیمان مسدود شده و صفحه‌ای فلزی در بالای آن جوش داده می‌شود.

1. Steam Injection
2. Polymer flooding