

به نام خدا

# مبانی مهندسی قیر

تألیف

حامد علیخانی

علیرضا باقی زاده

چاپ و نشر ایران

تابستان ۱۳۹۹

# فهرست مطالب

۳	.....	مقدمه
۸	.....	فصل اول : نفت خام
۵۹	.....	فصل دوم : قیر
۲۴۹	.....	فصل سوم : فرایند تولید قیر
۲۹۷	.....	فصل چهارم : تجهیزات پالایشگاهی
۳۸۲	.....	فصل پنجم : واحدهای پالایشگاهی
۴۲۳	.....	فصل ششم : کنترل صنعتی
۴۹۹	.....	فصل هفتم : آسفالت
۵۳۷	.....	فصل هشتم : ایزوگام

## مقدمه

برای افرادی که به نحوی با صنعت قیر ارتباط دارند، اعم از کارمندان ادارات، مهندسين، مديران بالا دستی و پايين دستی و ساير عزيزانی که مشغول به کار در اين حوزه می باشند نیاز است تا به صورت مختصر اما تخصصی با فرایندها، روند پالایش و تولید، تجهیزات مرتبط، لاینها، دستگاهها و همه اطلاعاتی که مربوط به این صنعت، می باشد آشنایی مقدماتی داشته باشند.

کتابهای بسیار خوب و جامعی در مورد صنعت قیر در بازار وجود دارد که بسیار تخصصی به محتوای مطالب پرداخته اند، که اکثراً حجیم و دارای جلدهای متعدد می باشند و خواننده مجبور به صرف زمان و هزینه زیادی می باشد، اما سیاست ما در تألیف این کتاب به گونه ای بوده است که مطالب، به طور خلاصه و قابل فهم برای عموم در اختیار گذاشته شوند. در این مجموعه سعی بر آن شده است که

کتابی مختصر و مفید با قابلیت تدریس به عنوان یک واحد درسی در دانشگاه ارائه گردد.

در این کتاب تلاش ما بر این بود که مفهوم کلی از اکتشاف نفت خام تا فرایند پالایش و تجهیزات مربوط به آن، کنترل سیستم‌ها و محصولات اصلی که قیر ماده اولیه تولید آن‌ها می‌باشد، بیان شود و به طور خاص صنعت تولید قیر و فرایندهای مربوط به آن مباحث اصلی این کتاب را شامل می‌شود.

در فصل اول به توضیح اجمالی چگونگی تشکیل نفت خام از مقوله اکتشاف، استخراج و حفاری آن و ویژگی‌های نفت خام و روش‌های ازدیاد برداشت نفت مورد بحث قرار گرفته است و همچنین به رده بندی نفت خام نیز گریزی زده شده است.

در فصل دوم سعی بر آن شده است که به یک فهم کلی از مفهوم قیر و انواع آن دست یابیم. به طور مجزا به بررسی تعریف قیر، مواد متشکله و مشخصات آن، انواع مختلف آن و آزمایشات مربوطه پرداخته شده است و در آخر برخی از اصطلاحات کاربردی این صنعت ذکر شده است.

در فصل سوم در مورد مواد اولیه تولید قیر توضیحات مختصری داده شده است و به طور کامل دو نوع فرایند تولید قیر و عوامل مؤثر بر آن‌ها توضیح داده شده است و در آخر برخی از اصلاحات قیر با مواد مختلف مورد بررسی قرار گرفته شده است و در نهایت پیشنهاد روش تولید خاصی برای کارخانه‌های قیر سازی ارائه شده است.

در فصل چهارم تمامی تجهیزات پالایشگاهی (شیر، توربین، جداکننده، پمپ، کمپرسور، مبدل حرارتی، خشک کن، درام، برج، دیگ بخار، دمنده و فن) به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است و در آخر اصطلاحات پر کاربرد پالایشگاهی نیز آورده شده است.

در فصل پنجم به توضیح انواع پالایشگاه‌ها و تقسیم بندی آن‌ها پرداخته ایم، سپس فرآورده‌های نفتی ذکر شده و تمامی واحدهای پالایشگاهی به طور مجزا شرح داده شده است.

در فصل ششم به توضیح تاریخچه کنترل صنعتی و مباحث مربوط به فرایندهای صنعتی و کنترل کننده‌های صنعتی پرداخته شده که در

مجموع رابطه بین کنترل صنعتی با اتوماسیون صنعتی و لزوم استفاده از یک اتوماسیون صنعتی در فرایندهای پیچیده و مزایای آن به صورت کامل توضیح داده شده است.

در آخر مختصری در مورد حسگرها و ترانسمیترها و همچنین یک نوع از پرکاربردترین کنترلرهای صنعتی توضیحاتی ارائه داده شده است.

در فصل هفتم به تعریف آسفالت، عوامل مؤثر در انتخاب آن، انواع ماشین آلات، پخش و ترک‌های آن و مبحث بتن‌های آسفالتی پرداخته شده است.

در فصل هشتم در مورد ایزوگام و انواع آن، ضخامت و وزن یک ایزوگام استاندارد و روش نگهداری این عایق رطوبتی بحث شده است.

بدیهی است صنعت نفت و مشتقات آن بسیار پیچیده و دارای ابعاد وسیعی می‌باشد که به چندین جلد کتاب برای بیان همه جوانب آن نیاز می‌باشد و در یک جلد کتاب، عظمت این صنعت نمی‌گنجد.

اما تلاش این کتاب بر این بوده است که به صورت خلاصه و قابل فهم، یک دید کلی در مورد

صنعت قیر و عوامل در ارتباط با آن را بیان نماید.  
امیدواریم توانسته باشیم اندکی بر معلومات شما  
افزوده باشیم. از تمامی عزیزانی که با خواندن این  
کتاب و نقد آن به بهبود این اثر در ویرایش‌های  
بعدی کمک می‌کنند پیشاپیش تشکر و قدرانی  
می‌کنیم.

حامد علیخانی

علیرضا باقی زاده

فصل اول

نفت خام

(Petroleum)



## ۱-۱- نفت چگونه تشکیل می‌شود

میلیون‌ها سال قبل، جلبک‌ها و گیاهانی در دریا‌های کم عمق زندگی می‌کردند. پس از مرگ و فرو رفتن آن‌ها در بستر دریا، مواد ارگانیک (آلی) با سایر رسوبات ترکیب شدند و دفن شدند. در طول میلیون‌ها سال و تحت فشار و دمای بالا، باقی مانده این ارگانیزم‌ها به چیزهایی تبدیل شدند که ما امروزه از آن‌ها تحت عنوان سوخت فسیلی یاد می‌کنیم. این خلاصه‌ای از چگونگی شکل‌گیری نفت است. زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت از جمله سوخت‌های فسیلی هستند که با چنین شرایطی ایجاد می‌شوند. امروزه نفت در مخازن زیر زمینی گسترده‌ای که دریا‌های گذشته در آن‌ها قرار داشتند، یافت می‌شود. ذخایر نفت را می‌توان در زیر زمین و یا زیر بستر اقیانوس‌ها پیدا کرد. نفت خام با استفاده از ماشین‌های حفاری عظیم استخراج می‌شوند.

## ۱-۲- ویژگی های نفت

نفت خام به طور معمول سیاه و یا قهوه‌ای تیره است، اما می‌تواند ته رنگی از رنگ‌های زرد، قرمز، برنزی و یا حتی سبز داشته باشد. این تنوع رنگ نشان دهنده ترکیبات شیمیایی خاصی هستند که منابع مختلف تشکیل نفت خام دارند. به عبارت بهتر این ترکیبات در شکل‌گیری نفت دخیل بوده‌اند. به عنوان مثال حضور فلزات و یا گوگرد منجر به روشن‌تر شدن رنگ نفت می‌شود.

گازوئیل، محصول مهم و از مشتقات نفت است که در زندگی هر روزه ما بسیار کاربردی است. گازوئیل را می‌توان به طور مجزا از فرایند شکل‌گیری نفت فراوری کرد و محصولات مختلف را از آن به دست آورد. تایرهای ماشین، یخچال، ژاکت و داروهای بی‌حسی از جمله این موارد هستند.

هنگامی که فراورده‌های نفتی مانند گازوئیل برای به دست آوردن انرژی سوزانده می‌شوند، گازهای سمی و مقادیر بسیاری دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ )

تولید می‌کنند. علاوه بر این، سوزاندن سوخت‌های فسیلی به شدت بر آب و هوای ما تاثیر گذار است و تعادل طبیعی را بر هم می‌زند.

در زیر سطح زمین و حفره‌هایی که به سطح زمین راه دارند مقادیر بسیار زیادی نفت یافت می‌شود. چاه‌های بسیاری برای استخراج نفت حفر شده‌اند. جالب است بدانید، نفت حتی در مناطق بسیار عمیق‌تر از این چاه‌ها نیز وجود دارد.

با این حال باید دانست که نفت مانند سوخت‌های فسیلی دیگر مثل زغال سنگ و گاز طبیعی تجدید پذیر نیست. میلیون‌ها سال طول می‌کشد تا فرایند شکل‌گیری نفت مجدداً تکمیل شود. به عبارت بهتر هنگامی که آن را استخراج و مصرف کنیم، تقریباً هیچ راهی برای جایگزین کردن آن وجود ندارد.

ذخایر نفت رو به اتمام هستند. برخی متخصصان پیش‌بینی می‌کنند که پیک نفت تا سال ۲۰۵۰ محقق خواهد شد. یکی از حیاتی‌ترین موضوعات روز در زمینه تأمین انرژی جهان جایگزین‌های نفت است و صنایع بسیاری بر روی این موضوع تمرکز

کرده اند. آیا می‌توان روشی دیگر برای شکل‌گیری نفت پیدا کرد؟ آیا برای روزی که جهان از سوخت‌های فسیلی خالی می‌شود آماده ایم؟

## ۱-۳ - چگونگی شکل‌گیری نفت؛ کروژن چیست

شرایط زمین‌شناسی که در نهایت چگونگی تشکیل نفت را ممکن می‌کنند، میلیون‌ها سال قبل به وقوع پیوست، هنگامی که گیاهان، جلبک‌ها و پلانکتون‌ها در اقیانوس‌ها و دریا‌های کم عمق انباشت شدند. این ارگانیزم‌ها هنگام پایان یافتن چرخه زندگی شان به کف دریاها فرو رفتند. در طول زمان، آن‌ها در زیر میلیون‌ها تن رسوبات و لایه‌های بیشتر از باقی مانده‌های گیاهان دفن و خرد شدند.

در نهایت، دریا‌های قدیمی خشک شدند و حوضچه‌های خشکی تحت عنوان "حوضه‌های رسوبی" باقی ماندند. در عمق زیرین سطح این حوزه، مواد آلی در بین گوشته زمین در زیر با دمای

بسیار بالا و میلیون‌ها تن سنگ و رسوب در بالا فشرده می‌شوند.

در این شرایط اکسیژن تقریباً به طور کامل حضور ندارد، و مواد آلی شروع به تبدیل شدن به ماده‌ای مومی شکل به نام کروژن (Kerogen) می‌کنند. کروژن ماده‌ای مهم در روند شکل‌گیری نفت به شمار می‌آید.

نفت از مواد آلی (ارگانیک) تشکیل شده که عمدتاً به صورت رسوبات در بستر دریا ذخیره و در طی میلیون‌ها سال شکسته می‌شوند و تغییر شکل می‌دهند. اگر در یک منطقه‌ای سنگ‌های منبع، مخزن، پوشش و نیز یک دام وجود داشته باشد، امکان تشکیل نفت و وجود ذخایر نفت و گاز تجدید پذیر در آنجا وجود خواهد داشت.

بخش عمده‌ای از ذخایر نفت و گاز جهان در فلات قاره‌ای نروژ ذخیره شده است که از یک لایه ضخیم خاک رس سیاه در چندین هزار متری زیر بستر دریا، منشا می‌گیرد. رس سیاه یک سنگ

منبع است، به این معنا که منبع شامل مقادیر قابل ملاحظه‌ای از باقی مانده آرگانیکی است.

این رس حدود ۱۵۰ میلیون سال قبل در پایین دریایی انباشته شده است که بخش عمده‌ای از شمال غربی اروپای کنونی را پوشش می‌داده است. در این ناحیه عمدتاً بستر دریا راکد و مرده بود، در حالی که در لایه‌های بالایی آب زندگی جریان داشت.

در ادامه فرایند شکل‌گیری نفت، با مرگ فیتوپلانکتون‌های میکروسکوپی، به زیر دریا فرو می‌رفتند و در مقادیر انبوه و در رسوبات خالی از اکسیژن انباشته می‌شدند. با گذشت زمان، آن‌ها در مناطق عمیق‌تر دفن شدند و تحت فرایند طولانی تغییرات شیمیایی توسط تجزیه باکتریایی قرار گرفتند و نیز با ضخیم شدن توده رسوبات سنگین‌تر شدند. سرانجام این فرایندها منجر به تشکیل هیدروکربن‌های گاز و مایع در سنگ منبع می‌شدند. کروژن یکی از محصولات تجزیه بی‌هوازی در فرایند تشکیل نفت است.

مخلوطی از ترکیبات آلی که در فشار و دمای بالا به آرامی نفت و گاز تولید می‌کنند. در فلات قاره‌ای نروژ، با افزایش هر کیلومتر عمق، ۲۵ درجه سانتی‌گراد دما افزایش پیدا می‌کند.

پس از صدها میلیون سال فرسایش و رسوب، احتمالاً سنگ منبع به زیر چندین کیلومتر از رس و شن و ماسه ذخیره شده، دفن می‌شود. در بازه دمایی ۶۰ تا ۱۲۰ درجه، فرایند شکل‌گیری نفت به پایان می‌رسد و در دماهای بالاتر عمدتاً گاز تولید می‌شود.

با شکل‌گیری نفت و گاز، آن‌ها از سنگ منبع خارج می‌شوند و از آنجایی که هیدروکربن‌ها از آب سبک‌تر هستند، نفت و گاز به بخش بالایی سنگ‌های متخلخل آبدار مهاجرت می‌کنند. مهاجرت نفت و گاز هزاران سال طول می‌کشد و ممکن است پیش از آن که به لایه‌ای از سنگ‌های غیرقابل نفوذ برسند، ده‌ها کیلومتر وسعت پیدا کنند. همچنین ممکن است نفت و گاز به درون دریا نشت کنند.

سنگ‌های ذخیره‌ای، متخلخل هستند و همیشه

با ترکیبات مختلفی از آب، نفت و گاز اشباع شده اند. آن‌ها در واقع انبارهایی هستند که پس از شکل‌گیری نفت کارایی دارند. بیشتر ذخایر نفت نروژ در عصر ژوراسیک، در سنگ‌های مخزن ذخیره و در دلتاهای بزرگ تشکیل شده و توسط رودخانه‌ها انباشته شده‌اند.

خخایر اصلی نفت حوزه‌های گلفاکس (Gull-faks)، اوسبرگ (Oseberg) و استافیورد (Staffjord) در دلتای بزرگ برنت وجود دارند و در عصر ژوراسیک شکل گرفته‌اند. همچنین مخازن بزرگی در شن و ماسه نیز وجود دارند که در جلگه‌های رسوبی دوره تریاسه (Triassic)، دریا‌های کم عمق دوره ژوراسیک پسین و نیز در دریای زیرزمینی دوره پالئوژن، به وجود آمدند. در بخش جنوبی دریای شمال، لایه‌های ضخیم گچی متشکل از اسکلت‌های آهکی میکروسکوپی گیاهان و جانوران یک سنگ ذخیره مهم را شکل داده‌اند.

هرچه زمان، دما و فشار افزایش پیدا می‌کند،



درروژن تحت تاثیر فرایندی به نام کاتارژن (-cata genesis) قرار می‌گیرد و به هیدروکربن‌ها تبدیل می‌شود. هیدروکربن ترکیب ساده‌ای است که از هیدروژن و کربن تشکیل شده است. تنوع هیدروکربن‌ها در نتیجه تغییر میزان گرما و فشار به وجود می‌آیند. زغال سنگ، تورب (Peat) و گاز طبیعی مثال‌هایی از این جمله‌اند.

حوضه‌های رسوبی، محلی که در واقع بستر دریا‌های قدیمی، منابعی کلیدی از نفت به شمار می‌آیند. در آفریقا، حوضه رسوبی دلتای نیجر (Niger) سرزمین کشورهای نیجریه، کامرون و گینه استوایی را شامل می‌شود. بیش از ۵۰۰ ذخیره نفت در حوضه عظیم دلتای نیجر کشف شده و در مجموع آن را به یکی از پرحاصل‌ترین منابع نفتی آفریقا تبدیل کرده است.

## ۱-۴- شیمی و رده بندی نفت خام

گازوئیلی که به عنوان سوخت خودرو هایمان استفاده می‌کنیم، پارچه‌های مصنوعی به کار رفته

در کیف و کفش مان و هزاران محصول کارآمد و متفاوت دیگر از نفت تشکیل شده اند. به عبارت دیگر آن‌ها شکلی پایدار و قابل اتکا از نفت هستند. با این حال نفت خام که منشأ همه این موارد است، پایداری و یکپارچگی آن‌ها را ندارد.

## شیمی نفت

نفت خام از هیدروکربن‌ها تشکیل شده است، ترکیباتی که عمدتاً از هیدروژن (حدود ۱۳ درصد) و کربن (حدود ۸۵ درصد) ساخته شده اند. سایر عناصر مانند نیتروژن (حدود ۰/۵ درصد)، گوگرد (۰/۵ درصد)، اکسیژن (۱ درصد) و فلزاتی مانند آهن، نیکل و مس (کمتر از ۰/۱ درصد) نیز می‌توانند در مقدار کم با هیدروکربن‌ها ترکیب شوند.

نحوه‌ای که مولکول‌ها در این هیدروکربن‌ها آرایش می‌یابند در نتیجه ساختار اولیه جلبک‌ها، گیاهان و پلانکتون‌ها در میلیون‌ها سال قبل است. میزان گرما و فشاری که گیاهان در معرض آن قرار می‌گرفتند نیز عاملی بر تنوع هیدروکربن‌های نفت

خام است.

به دلیل این تنوع، نفت خامی که از زمین خارج می‌شود می‌تواند شامل صدها ترکیب نفتی مختلف باشد. نفت سبک می‌تواند تا ۹۷ درصد هیدروکربن داشته باشد، در حالی که نفت‌های سنگین تر و قیرها ممکن است تنها ۵۰ درصد هیدروکربن و مقادیر زیادی از سایر عناصر را در برداشته باشند. بنابراین برای تولید فراورده‌های نفتی مختلف همیشه نیاز است تا نفت را آماده کنیم.

## رده بندی انواع نفت

بر اساس یک فهرست کلی می‌توان نفت را طبقه بندی کرد:

- موقعیت جغرافیایی محل حفاری
- میزان محتویات گوگرد
- گرانش (API) نوعی میزان برای چگالی

## ۱. رده بندی بر اساس موقعیت جغرافیایی محل

### حفاری

استخراج نفت در سراسر جهان انجام می‌شود. با این حال سه منبع اولیه وجود دارد که از آن‌ها برای رتبه بندی و قیمت گذاری سایر منابع استفاده می‌شود. نفت برنت، نفت اینترمیدیت تگزاس غربی و نفت دبی-عمان.

نفت برنت ترکیبی است که از ۱۵ میدان نفتی مختلف در بین اسکاتلند و نروژ در دریای شمال می‌آید. این میدان‌های نفتی بخش عمده‌ای از اروپا را تأمین می‌کنند.

نفت اینترمیدیت تگزاس غربی: نفت خام سبکی است که عمدتاً در ایالت تگزاس آمریکا تولید می‌شود. نفت خام سبک، کیفیت بسیار بالایی دارد و از جمله ویژگی‌های آن می‌توان به چگالی، ویسکوزیته و وزن مخصوص پایین و گرانش API و شکست هیدروکربنی بالا اشاره کرد. نفت خام سبک عموماً مقداری موم (وکس) دارد.

نفت خام دبی - عمان (نفت فاتح): نفت ترش و سبکی است که در دبی در امارات متحده عربی و نیز اخیراً در کشور عمان تولید می‌شود. نفت دبی - عمان، مرجعی برای قیمت‌گذاری بخش‌های نفتی خلیج فارس است و عمدتاً به بخش‌های مختلف آسیا صادر می‌شود.

## نفت اوپک چیست

کارتل بین‌المللی اوپک، یکی دیگر از مرجع‌های مهم نفتی است. اوپک سازمان کشورهای صادرکننده نفت (OPEC) است. کارتل بین‌المللی اوپک میانگین قیمتی برای ۱۲ کشور عضو خود در نظر گرفته است. این کشورها شامل: الجزایر، آنگولا، اکوادور، ایران، عراق، کویت، لیبی، نیجریه، قطر، عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ونزوئلا هستند.

## ۲. رده بندی بر اساس محتویات گوگرد

گوگرد به عنوان یک ناخالصی در نفت به حساب

می‌آید. گوگرد در نفت خام می‌تواند منجر به خورده شدن فلزات در فرایند پالایش شود و بدین ترتیب درآلودگی هوا سهمیم باشد. به نفتی که بیش از ۰/۵ درصد گوگرد داشته باشد، نفت ترش و به نفتی که کمتر از ۰/۵ درصد گوگرد داشته باشد نفت شیرین گفته می‌شود.

همانگونه که پیداست، نفت شیرین ارزش بیشتری دارد، چرا که نیاز به پالایش کمتری دارد و طبیعتاً آسیب کمتری به محیط زیست وارد می‌کند.

### ۳. رده بندی بر اساس گرانش

مؤسسه نفت آمریکا (API) یک اتحادیه تجاری برای کسب کارهای مرتبط به صنایع نفت و گاز طبیعی است. مؤسسه نفت آمریکا سیستم استاندارد پذیرفته شده‌ای برای محصولات مرتبط با نفت و گاز، مانند پیمانها، پمپها و ماشین آلات حفاری ایجاد کرده است. این مؤسسه همچنین اقدام به ایجاد واحدهای اندازه‌گیری مختلف کرده است. به

عنوان مثال واحد (API) شاخصی برای اندازه‌گیری میزان تشعشعات گاما میله حفاری است.

گرانش‌ای پی‌آی (API gravity) نیز شاخصی برای اندازه‌گیری چگالی نفت خام مایع در مقایسه با آب است. اگر گرانش‌ای پی‌آی نفت خام بزرگتر از ۱۰ باشد به آن "نفت سبک" اطلاق می‌شود؛ نفت سبک بر روی آب شناور می‌ماند. اما اگر این شاخص کوچک‌تر از ۱۰ باشد، این نفت در آب فرو رفته و نیز به آن "نفت سنگین" گفته می‌شود.

به طور کلی نفت سبک بیشتر ترجیح داده می‌شود، چرا که هیدروکربن‌های آن بازده بالاتری دارد. اما نفت سنگین دارای غلظت‌های بیشتری از فلزات و گوگرد است و به همین دلیل به پالایش بیشتری نیاز دارد.

## ۱-۵- استخراج نفت

در برخی مناطق، نفت به روی سطح زمین می‌جوشد. به عنوان مثال در بخش‌های عربستان

سعودی و عراق، سنگ متخلخل به نفت اجازه می‌دهد تا در تالاب‌های کوچکی به سطح زمین تراوش کند. با این حال بخش عمده‌ای از نفت در ذخایر نفتی زیر زمینی به دام افتاده است.

به مقدار کل نفت یک مخزن نفتی «نفت در جای» (oil-in-place) گفته می‌شود. بسیاری از مایعات نفتی که یک نفت در جای مخزن را تشکیل می‌دهند، غیر قابل استخراج هستند. حفاری برای به دست آوردن این مایعات نفتی، بسیار دشوار، خطرناک و پرهزینه است.

بخشی از نفت در جای مخزن که قابل استخراج و پالایش است را ذخایر نفتی مخزن می‌گویند. ذخایر نفت ثابت شده یک پایگاه، مهم‌ترین عامل در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در عملیات حفاری یک مجموعه به شمار می‌رود. حفاری‌های نفتی همچنین می‌توانند توسعه‌ای، اکتشافی و هدایتی باشند.

حفاری در منطقه‌ای که تا پیش از ذخایر نفتی



در آن یافت شده بود را حفاری توسعه‌ای می‌نامند. خلیج پرودو (Prudhoe) در آلاسکا بزرگترین ذخیره نفتی در آمریکای شمالی به شمار می‌رود. حفر چاه‌های جدید و گسترش تکنولوژی استخراج مواردی است که استخراج توسعه‌ای خلیج پرودو را شامل می‌شود.

در منطقه‌ای که تاکنون ذخایر نفتی در آن وجود نداشته می‌توان حفاری اکتشافی انجام داد. این نوع حفاری که تحت عنوان حفاری وحشی نیز شناخته می‌شود، نوعی کسب و کار پرخطر است که احتمال شکست در آن بسیار بالا است.

با این حال آنچه از یک حفاری اکتشافی موفقیت آمیز نصیب سرمایه‌گذاران می‌شود بسیاری را برای انجام چنین کاری ترغیب می‌کند. به عنوان مثال می‌توان از گلن مک کارتی نام برد. او به «پادشاه حفاری اکتشافی» مشهور است؛ چرا که در دهه ۱۹۳۰ در مخزن نفتی بزرگ اطراف شهر هیوستون در تگزاس موفق شد ۳۸ مرتبه اکتشاف نفت انجام دهد و از این طریق میلیون‌ها دلار درآمد کسب کند.

حفاری هدایتی هنگامی رخ می‌دهد که در یک ذخیره نفتی شناخته شده به صورت عمودی شروع به حفاری کنید و سپس جهت حفاری خود را به اندازه زاویه کوچکی تغییر داده تا بدین وسیله بتوانید به ذخایر دیگری متصل شوید. نخستین جنگ خلیج فارس در سال ۱۹۹۱ نیز به دلیل اتهامات مربوط به حفاری هدایتی بود.

## ۱-۶- روش‌های حفاری نفت

امروزه در صنعت نفت، صنعت حفاری حرف اول را می‌زند و ملاک قدرت شرکت‌های نفتی محسوب می‌شود. حفاری به ۲ روش انجام می‌شود:

- حفاری دورانی (rotational drilling)

- حفاری ضربه‌ای (Cable tool drilling)

امروزه حفاری ضربه‌ای کاربرد زیادی ندارد و تقریباً تمامی چاه‌ها به روش حفاری دورانی (rotational drilling) حفر می‌شوند.

# حفاری دورانی

## سیستم‌های مختلف دکل حفاری

در حفاری به روش دورانی، دکل شامل بخش‌های مختلفی است که هر یک از آن‌ها نیز خود از اجزای دیگری تشکیل شده است. این قسمت‌ها شامل:

۱- سیستم دورانی (Rotational system)

۲- سیستم تعلیق (Hoisting)

۳- سیستم گردش گل (Circulation system)

۴- قسمت تأمین کننده انرژی (Power system)

۵- قسمت ایمنی

۶- دیده بانی (Monitoring)

## الف) سیستم دورانی (Rotational system)

این سیستم بر دو نوع است یک روش دورانی استفاده از دستگاه Top drive است و روش دیگر به وسیله دستگاه میزگردان (Rotary table) است

اجزاء سیستم دورانی از بالا به پایین عبارتند از:

۱- Kelly : یک لوله استوانه‌ای شکل است که مقطع آن مربع یا شش ضلعی منتظم است. این لوله ویژه روش حفاری با میزگردان است و در روش Top drive از آن استفاده نمی‌شود.

۲- میزگردان (Rotary Table) چرخش Kelly- ly bushing که روی میز گردان قرار دارد باعث چرخش kelly می‌شود و با چرخش kelly، لوله‌های حفاری و در نتیجه مته شروع به چرخش می‌کند. البته در روش Top drive به جای میزگردان از Top drive استفاده می‌شود.

۳- رشته‌های حفاری (Drilling pipe) یا (Drill- ing string) : رشته‌های حفاری، لوله‌های استوانه‌ای شکلی هستند که دارای طولی در حدود ۳۰ فوت هستند. ابتدا ۳ رشته حفاری به هم پیوند می‌خورند که به آنها یک Stand گفته می‌شود و سپس Standها به درون چاه فرستاده می‌شوند.

۴- Collar: لوله‌ای استوانه‌ای شکل است که قطر و وزن آن نسبت به رشته‌های حفاری بیشتر است و از آن برای اعمال نیرو بر روی مته استفاده می‌شود، کاربرد دیگر آن شاقول کردن و یا در اصطلاح مرکز کردن (Centralize) مته در داخل چاه است.

۵- مته (Bit): برای حفر سازندها از آن استفاده می‌شود و دارای انواع مختلفی است مانند کاج دار، الماس طبیعی، مصنوعی و غیره که هر کدام کاربرد ها، مزیت‌ها و معایب خاص خود را دارند.

### – عملکرد سیستم:

در سیستم Rotary table، یک موتور زیر میز گردان قرار دارد و موجب چرخش آن می‌شود. چرخش Kelly bushing که روی میزگردان قرار دارد و درگیر شدن دندانه‌های آن با دندانه‌های Kelly موجب چرخش Kelly می‌شود و در نتیجه رشته‌های حفاری نیز شروع به چرخش کرده و در پایان چرخش را به مته منتقل می‌کنند، انتقال

چرخش به مته نیز امکان حفاری سازند را می‌دهد. اما در روش Top Drive، هیچ یک از بخش‌های میزگردان، kelly و kelly bushing وجود ندارند و لوله‌های حفاری به طور مستقیم به موتوری پیوند می‌خورند که چرخش آن‌ها توسط این موتور انجام می‌گیرد. از آن‌جا که با این روش سرعت تعویض رشته‌های حفاری، اضافه و کم کردن آن‌ها بیشتر است، این روش امکان حفاری با سرعتی بیشتر از روش میزگردان را به حفار می‌دهد.

## ب) سیستم تعلیق (Hoisting system)

اجزاء این سیستم شامل:

- ۱- اسکلت دکل (Derrick): که تمام اجزاء دکل روی آن سوار می‌شوند.
- ۲- تاج دکل (Crown block): در واقع جعبه‌ای است که داخل آن چندین قرقره ثابت قرار می‌گیرد.
- ۳- جعبه متحرک (Traveling block): این بخش نیز همانند تاج دکل جعبه‌ای است که داخل

آن چندین قرقره قرار می‌گیرد و فرق آن با Crown block در این است که Crown block ثابت است اما Traveling block متحرک است.

۴- موتور متحرک (Draw work) : موتوری است که سیم‌های نگهدارنده را دور قرقره که در داخل خود قرار دارد، جمع یا باز می‌کند.

۵- قرقره ذخیره (Storage reel) : قرقره‌ای است که سیم‌های نگهدارنده ذخیره، به دور آن جمع می‌شوند.

۶- سیم‌های نگهدارنده : سیم‌هایی هستند که نیرو را از Draw work به قسمت‌های دیگر منتقل کرده و باعث بالا و پایین رفتن لوله‌ها داخل چاه می‌شوند.

۷- به بخشی از سیم که از Draw work خارج می‌شود و به تاج دکل می‌رسد Fast line گفته می‌شود. به بخش آخر سیم‌های نگه دارنده Dead line گفته می‌شود.

۸- قلاب (Hook) : از این ابزار در سیستم‌های میزهای گردان استفاده می‌شود و برای آویزان کردن swivel به Traveling block مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۹- هرزگرد (Swivel) : این ابزار نیز در سیستم میزگردان مورد استفاده قرار می‌گیرد و در واقع هرزگردی است که باعث می‌شود kelly به راحتی داخل Swivel بچرخد.

### - عملکرد سیستم:

حرکت جعبه متحرک، موجب حرکت رشته‌های حفاری که به قلاب متصل به جعبه متحرک پیوند خورده اند، می‌شود. از کارکردهای سیستم تعلیق این است که وزن روی مته را تنظیم می‌کند یعنی با معلق نگه داشتن رشته‌های حفاری، وزن روی مته را به صفر و با به پایین حرکت دادن آن‌ها، وزن روی مته را افزایش می‌دهد. از کارهای دیگر آن داخل و خارج کردن لوله‌های حفاری جهت مقاصد مختلف



مانند اضافه کردن لوله‌های حفاری، تعویض مته و مقاصد دیگر است.

عملکرد سیستم این‌گونه است که سیم‌های نگهدارنده از Draw work خارج شده و به داخل Crown block می‌رود و به دور قرقره‌های درون Crown block و Traveling block می‌پیچد و سپس به یک قرقره ثابت در سمت دیگر دکل منتقل می‌شود و در نهایت به پایه دکل حفاری در همان سمت محکم می‌شود، انتهای سیم به دور قرقره ذخیره پیچیده می‌شود که اگر سیم فرسوده شد سیم را تعویض کنند.

## ج) سیستم گردش گِل حفاری (Circulation system)

اجزاء تشکیل دهنده این سیستم شامل:

۱- پمپ‌های گِل (pumps): که گِل را با فشار به داخل رشته‌های حفاری و از آنجا به درون چاه پمپ می‌کند.

۲- Stand pipe : لوله‌ای عمودی که گل از آن به داخل Kelly hose منتقل می‌شود.

۳- Kelly hose : شیلنگ مرتجعی است که گل حفاری را از Stand pipe به Kelly منتقل می‌کند.

۴- Kelly و رشته‌های حفاری: که گل از درون آن‌ها به مته می‌رسد و سپس وارد فضای حلقوی بین رشته‌های حفاری و دیواره چاه می‌شود.

۵- فضای حلقوی (annulus) : گل حفاری به همراه کننده‌های حفاری از داخل فضای حلقوی چاه به سطح می‌رسند. در واقع به فضای بین رشته‌های حفاری و دیواره چاه، فضای حلقوی گویند.

۶- Shale shake : غربالی است با مش‌های مختلف که هر کدام کننده‌های حفاری با سایزهای مختلف (در حد بزرگ‌تر از ماسه و رس) را از گل جدا می‌کنند.

۷- Desander و Desilter : قسمت‌های ریز کننده‌های حفاری، در سایزهای رس و شن که

توسط Shale shaker قابل جدا شدن نیستند، را جدا می کنند.

### – عملکرد سیستم:

در هر دکل به طور معمول ۳ پمپ وجود دارد، معمولاً ۱ پمپ آن (Stand by) خاموش است، اما آماده برای استفاده و ۲ پمپ آن روشن است. با پمپ کردن گِل حفاری از محفظه گِل، گِل به داخل Stand pipe منتقل می شود و سپس از طریق آن به Kelly hose که یک شیلنگ مرتجع است، منتقل می شود. به دلیل ارتجاعی بودن این شیلنگ از نوسان Swivel جلوگیری می شود. گِل حفاری بعد از Kelly hose به داخل Kelly hose و از آن جا به رشته های حفاری و مته منتقل می شود. گِل خارج شده از مته به همراه کننده های حفاری از داخل فضای حلقوی (Annulus) به سطح می رسد و از آن جا که گِل حفاری ما به کننده های حفاری آلوده شده است، این کننده ها توسط Desander, Shale shaker و

Desilter جدا شده و گل حفاری دوباره توسط پمپ به داخل چاه فرستاده می‌شود.

### (د) سیستم قدرت :

این سیستم برق و نیروی محرکه مورد نیاز برای حفاری را فراهم می‌کند که شامل ترانزیستورهای مختلفی با توان‌های متفاوت است.

### (ه) سیستم کنترل کننده (Controlling system)

اجزای این سیستم شامل:

#### ۱- لوله‌های جداری (Casing)

لوله‌های جداری وظایف مختلفی را برعهده دارند به عنوان مثال جدا کردن سازندهای مختلف از یکدیگر، جلوگیری از امتزاج سیالات سازندهای مختلف و غیره. این لوله‌های جداری توسط سیمان به دیواره چاه می‌چسبند و از بالا نیز نگه داشته

می‌شوند.

انواع لوله‌های جداری عبارتند از:

- لوله هادی Conductor pipe

که دکل حفاری روی آن سوار می‌شود.

- لوله جداری سطحی Surface casing

که مانع از امتزاج نفت و سیالات حفاری با سفره آب‌های زیرزمینی و آلوده شدن این آب‌ها می‌شود.

- لوله‌های جداری میانه Intermediate

اگر خواستیم در مسیر حفاری سازندی را از سازندهای دیگر جدا کنیم از آن استفاده می‌کنیم.

- لوله جداری تولیدی Production casing

که در قسمت مخزنی چاه نصب می‌شود و هنگام بهره برداری آن را سوراخ می‌کنند و از آن بهره برداری می‌کنند.

- آستری Liner

این نوع لوله‌های جداری تا سطح کشیده

نمی‌شوند بلکه تا پایین ترین قسمتی که لوله جداري قبلي گذاشته شده است ادامه دارد.

## ۲- فوران گیرها (Blow Out) (BOP) (Preventor)

فوران گیر ابزاری است که از یک بدنه اصلی و تعدادی شیر کنترل تشکیل شده است و طی عملیات حفاری روی سر آخرین لوله جداري که در چاه رانده شده بسته می‌شود. بخش‌های مختلف فوران گیر شامل شیرهای ورودی و خروجی گل، شیر ورودی سیمان، Shear rams و Blind rams و Annulus و preventor است.

Shear rams : وسیله‌ای است که هر گاه چاه دچار فوران شد و نتوانند فوران آن را کنترل کنند، این ابزار از سر چاه لوله‌ها را می‌برد و دهانه چاه را به طور کامل می‌بندد. این ابزار بیشتر در چاه‌های مخازن گازی کاربرد دارد.

Blind rams : هر گاه فورانی صورت گیرد و

سیالی از داخل لوله‌های حفاری به خارج چاه فوران کند این ابزار قسمت دهانه لوله حفاری را مچاله می‌کند و مانع خارج شدن سیال از این طریق می‌شود.

Annulus preventor : هر گاه فوران از طریق فضای حلقوی صورت گیرد این ابزار به اطراف لوله‌های حفاری محکم می‌شود و فضای حلقوی بین لوله‌های حفاری و دیواره چاه را می‌بندد.

## **(و) Monitoring :**

تمام فشارها در تمامی فشار سنج‌ها به صورت دیجیتال روی صفحه نمایشگر (Monitor) در جلوی Company man قرار دارد و این شخص می‌تواند تمامی آن‌ها را چک کند این اطلاعات شامل فشار، وضعیت پمپ‌ها، عمق حفاری، وزن روی مته و غیره می‌باشد.

# ۱-۷- انواع دکل‌های حفاری

انواع دکل‌های حفاری عبارتند از:

## ۱- دکل‌های خشکی (Onshore)

دکل‌های خشکی خود با توجه به قابلیت‌های حفاری و عمقی که می‌توانند حفاری کنند به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

۱-۱ دکل‌های سبک (Light)

۱-۲ دکل‌های سنگین (Heavy)

۱-۳ دکل‌های فوق سنگین (Super heavy)

۱-۴ دکل‌های قابل حمل (Portable)

## ۲- دکل‌های دریایی (Offshore)

به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که شامل:

۲-۱ شناور

۲-۲ غیر شناور



## ۲-۱ انواع دکل‌های شناور عبارتند از:

### ۲-۱-۱ کشتی حفاری submersible

در این نوع، حفاری روی کشتی انجام می‌شود که نیازمند برخورداری از تکنولوژی بسیار بالایی است.

### ۲-۱-۲ semi- submersible

در روش semi- submersible محفظه‌های هوایی وجود دارد که دکل روی این محفظه‌ها قرار گرفته است و روی آب شناور می‌ماند؛ هر چه این محفظه‌های بزرگ هوا را خالی و بیشتر از آب پر کنیم سطح سکوی حفاری ما پایین‌تر می‌آید و به این طریق می‌توان سطح سکوی حفاری را تنظیم کرد.

## ۲-۲ دکل‌های غیر شناور

این دکل‌ها شامل:

۲-۲-۱ Platform : دکل‌های ثابتی هستند که

بعد از حفاری دیگر کاربردی ندارند و نمی‌توان آن‌ها

را حمل و منتقل کرد.

Jack-up ۲-۲-۲ : در این نوع ارتفاع (Plat-form) سکوی حفاری قابل تنظیم است و می‌توان با توجه به ارتفاع موج‌های دریا که در منطقه ایجاد می‌شود، سطح سکوی حفاری را بالا یا پایین آورد.

## ۱-۸- مشکلات حفاری

ورود سیالات از سازندها به درون چاه

(Blow Out)

گلی که در داخل چاه فرستاده می‌شود دارای فشار مشخصی است که با استفاده از این فشار سازندها و سیالات موجود در این سازندها را کنترل می‌کنند. اگر فشار گل کمتر از فشار سازند باشد، باعث می‌شود سیالات موجود در این سازندها به درون چاه نفوذ کنند. اگر این سیال گاز یا بخار آب باشد، بسیار خطرناک است؛ حتی اگر سیال وارد شده مایع باشد نیز زیان آور است و باعث تغییر

ماهیت گل ما می شود و می تواند گل ما را از بین ببرد. به پدیده وارد شدن سیالات از سازندها به داخل گل Blow Out گویند.

## از دست رفتن گل (Mud loss)

این فرایند عکس فرایند Blowout است، یعنی فشار گل به حدی زیاد است که گل حفاری به داخل سازند نفوذ می کند و باعث هدر رفتن گل حفاری می شود. اگر این امر در لایه ی مخزن اتفاق بیافتد، باعث پرشدن خلل و فرج مخازن نفت و گاز توسط قسمت های جامد گل حفاری (Mud cake) که در اصطلاح گل کبره ای گفته می شود شده و از میزان بهره دهی مخزن کاسته می شود. در بهترین حالت از دست رفتن گل حفاری، باعث ایجاد خسارت مالی می شود. باید یاد آور شد که گل حفاری پیچیده ترین سیالی است که بشر به آن دست یافته است و ماده ارزان قیمتی نیست.

## هرز رفتن آب گِل حفاری (Filler loss)

گاهی گِل به طور کامل وارد سازند نمی‌شود و فقط آب آن داخل سازند می‌شود و این امر باعث خراب شدن گِل حفاری می‌شود و کارایی گِل حفاری را کاهش می‌دهد.

گِل حفاری دارای کارایی‌های زیر است:

۱- اصطکاک بین مته و لایه‌های سنگی را کم می‌کند تا حفاری روان‌تر پیش رود و مته در سنگ گیر نکند.

۲- حرارت ناشی از اصطکاک بین مته و لایه‌های سنگی را به سرچاه منتقل می‌کند.

۳- خرده سنگ‌های ناشی از حفاری را که در صورت ماندن در ته چاه به رشته حفاری گیر کرده و مانع حرکت آن می‌شوند، از چاه بیرون می‌آورد.

۴- گِل کبره‌ای (Mud cake) جداره‌ای بر دیواره ایجاد می‌کند. در این صورت برخی از لایه‌های سنگی (غیر مخزنی) که سست و ناپایدارند و ممکن

است دهانه چاه در محل آن‌ها با مشکل ریزش یا گرفتگی مواجه شود، با این جداره پوششی پایدار می‌شوند.

۵- در مسیر رسیدن به لایه مخزنی، چاه از میان لایه‌های زیادی عبور می‌کند بعضی از این لایه‌های خود متخلخل و در برگیرنده مقداری سیال هستند. فشاری که ستون گل حفاری بر دیواره چاه وارد می‌کند، سبب می‌شود این سیالات وارد چاه نشوند. شاید این مهمترین کارکردی باشد که گل حفاری در مرحله حفاری دارد.

## گیر کردن ابزار حفاری درون چاه

ممکن است در حین حفاری یا کارهای دیگری که درون چاه انجام می‌شود، برخی از ابزارهای حفاری درون چاه گیر کنند و یا به درون آن بیفتند، متداول ترین آن‌ها گیر کردن رشته‌های حفاری به دیواره چاه است که به آن Stacking گویند. همچنین ممکن است قطعه‌ای به درون چاه بیفتد

که در این صورت باید با روش‌ها و ابزارهای مانده یابی (Fishing) آن قطعه را خارج کرد.

## ریزش لایه‌ها درون چاه

در حین حفاری ممکن است به لایه‌هایی برسیم که بسیار سست هستند و به درون چاه ریزش می‌کنند. یا ممکن است لایه‌ای که حفاری می‌کنیم از جنس رس باشد و در تماس آب گل حفاری با آن سازند، افزایش حجم پیدا کند و چاه را ببندد. روشی که برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود؛ این است که تا جایی که امکان دارد از گلی با پایه‌های روغنی استفاده شود و سازند نیز سریعاً توسط لوله جداری (Casing) پوشانده شود. اما اگر سازند، سست باشد به درون چاه ریزش می‌کند و ممکن است باعث مدفون شدن مته حفاری نیز شود. روشی که برای جلوگیری از این مشکل پیشنهاد می‌شود این است که گل حفاری را طوری طراحی کنند که در محل سازند سست، گل کبره (Mud cake) زیادی ایجاد

شود و مانع ریزش سازند شود.

## ۱-۹- تکنولوژی روش‌های حفاری

انواع روش‌های حفاری از نظر جهت حفاری عبارتند از:

### حفاری عمودی (Vertical drilling)

در این روش حفاری به صورت عمودی نسبت به سطح زمین انجام می‌شود اما در هر حفاری یک انحراف از مسیر (Drift) وجود دارد که در روش عمودی این انحراف باید خیلی کم و در حد ۱ درجه تا ۲ درجه باشد.

### حفاری انحرافی (Slant well)

در این روش حفاری نسبت به محور عمود بر سطح زمین دارای زاویه می‌باشد حتی ممکن است در حفاری عمودی در یک قسمت به عنوان نمونه

رشته‌های حفاری به دیواره چاه گیر کنند و نتوان آن‌ها را آزاد کرد و مجبور شویم آن قسمت لوله‌های حفاری که به دیواره چاه گیر کرده است را قطع کنیم و پس از سیمان کردن آن قسمت با استفاده از روش حفاری انحرافی این منطقه را دور زده و دوباره در مسیر حفاری قبلی بازگردیم.

## حفاری افقی (Horizontal drilling)

در این روش، حفاری با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور چاه انجام می‌شود. این نوع حفاری می‌تواند در سنگ مخزن بسیار به صرفه باشد چرا که سطح تماس مخزن را با چاه افزایش داده و در نتیجه باعث برداشت بیشتر و بهتر از مخزن می‌شود، اما این روش نیاز به تکنولوژی بالایی نیز دارد.

## Multi lateral Drilling

این روش بیشتر در چاه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر روی دریا قرار دارند (Offshore) یا



همان سکوه‌های نفتی و گازی دریایی. به این ترتیب که از یک سکو در جهت‌های مختلف حفاری انجام می‌شود هم زمان می‌توان چندین نقطه در یک مخزن یا مخازن مختلف را حفاری کرد.

## حفاری زیر فشار Under Balance (Drilling) UBD :

این روش دارای سرعت حفاری بسیار بالایی است، در این تکنیک فشار گل حفاری را با رعایت استانداردها و ملاحظات مختلف که باعث فوران چاه نشود به زیر فشار سازند و سیال موجود در آن می‌رسانند. کاربرد اصلی این روش در حفاری سازندهای سخت می‌باشد به این ترتیب که اگر فشار روی این سازندها کم باشد فشار خود سازند موجب پاشیده شدن سازند می‌شود و سرعت حفاری را تا حد زیادی بالا می‌برد البته این روش نیاز به تکنولوژی پیشرفته‌ای دارد.

## ۱-۱۰- ازدیاد برداشت نفت

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نفت در مخازن مختلف با یکدیگر متفاوت اند و بازه آن‌ها از نفت با درجه API بالا (نفت خام سبک با گرانروی کم) تا درجه API پایین (نفت خام سنگین با گرانروی زیاد) متغیر است. نفت قابل توجهی در این بازه فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. بنابراین یک روش ازدیاد برداشت را نمی‌توان برای انواع نفت خام به کار برد و مجموعه‌ای از روش‌های مختلف را باید استفاده کرد. مشکل دیگر، گستردگی خصوصیات مخازن نفت است. انواع مختلفی مخازن نفتی شامل سازندهای بسیار ضخیم کربناته دریایی در اعماق زیاد تا بخش‌های ماسه‌ای نسبتاً کم عمق وجود دارند. سرانجام نحوه اشباع، توزیع و حالت فیزیکی نفت در یک مخزن که نتیجه فرایندهای قبل از تولید از مخزن است. پارامترهای مهمی در انتخاب یک روش ازدیاد برداشت وجود دارند، مثلاً تولید از یک مخزن که با رانش طبیعی آغاز شده است اغلب