

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

صنعت حفاری جالب‌ترین و هیجان‌انگیزترین فصل داستان نفت، این انرژی عظیم خدادادی می‌باشد. چرا که شرح تلاش سخت، بی‌امان و غرورانگیز انسان است که با سلاح دانش و تجربه با طبیعت بکر و سرسخت و نیروهای مرموز آن به مبارزه برمی‌خیزد تا برای ارتقاء زندگی انسانی به گنجینه‌های پنهان در دل زمین دست یابد. بی‌جهت نیست که دکل حفاری سمبل صنعت نفت بوده و در آرم بیشتر سازمانها، شرکتهای نفتی و نیز کتب و مجلات مربوط به نفت دیده می‌شود. انسان با ابزار خود، کوهستانها و صخره‌های آنرا که سمبل مقاومت و پایداریست خرد و ریز می‌کند. هر سنگی در اعماق زمین بمراتب سخت‌تر از سنگ خارا است و دندانهای برنده و فولادین مته‌های حفاری را می‌ساید و زایل می‌کند و از کار می‌اندازد. اما انسان با مته دیگری کار خود را ادامه می‌دهد. در این هنگام که طبیعت صلابت انسان را می‌بیند به غلیان در می‌آید و برای بدام انداختن و نابودی ابزار و وسایل انسان، نیروهای مرموز و ناشناخته خود را بکار می‌اندازد و یا جریان قوی از گاز و نفت را بداخل چاه فرستاده و تمام ابزار و وسایل انسان را با کوچکترین تعلق او، به کام آتش می‌برد.

در این مبارزه، مته‌های حفاری به مخازن اعماق زمین نقب می‌زنند تا انسان از نفت و گاز انباشته در آن بهره‌برداری کند. اما در عین حال هر چاه مجرایی است به اعماق قرون و اعصار و کاوشی است در دل تاریخ برای پی بردن به بسیاری از اسرار طبیعت ناشناخته و بررسی تجربی و عینی روند پیدایش و تحولات زمین و پوسته آن و ارزیابی درستی یا نادرستی اطلاعاتی که از طریق علوم زمین‌شناسی و ژئوفیزیک و غیره جمع‌آوری شده است. از نظر کاربرد مته‌ها را معمولاً به دو دسته مته‌های حفاری و مته‌های مغزه‌گیری تقسیم می‌نمایند که البته در هر دسته از انواع مختلف ابزارهای برنده و طرحهای مختلف تاج و آبرو استفاده می‌نمایند.

بنظر می‌رسد فن حفر کردن زمین بهمان کهنسالی تاریخ زندگی اجتماعی انسان باشد. او در ابتدا بمنظور یافتن آب با دست و ابزار طبیعی و سپس با ابزار ساده ساخت دست خود، زمین را حفره می‌کرد. پس از آن برای استخراج نمک از جریانهای آب نمک زیرزمینی، چینی‌ها در ۶۰۰ سال قبل از میلاد نوعی حفاری ضربه‌ای ابداع کردند. این ابداع به مرور شکل توسعه یافته‌ای درآمد و تا ۱۸۰۰ سال بعد از میلاد با این روش چاههایی با عمق ۶۰ متر را حفاری می‌کردند.

اولین چاه نفت در سال ۱۸۵۹ حفاری شد. پس از آن برای سرعت بخشیدن بکار در سال ۱۹۳۰ تکنولوژی حفاری دورانی جانشین حفاری ضربه‌ای شد. این روش در مقایسه با حفاری ضربه‌ای می‌توانست تا اعماق خیلی بیشتری از زمین نفوذ کند. در ابتدا منابع سطحی و کم عمق نفت مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت ولی اکنون با حفاری چاههای بسیار عمیق می‌توان از لایه‌های نمکی مربوط به دورانهای قدیم زمین‌شناسی بهره‌برداری نمود.

تاریخچه حفاری در ایران به سال ۱۲۷۰ شمسی برمی‌گردد. زمانیکه اولین چاه نفت در ناحیه دالکی واقع بین شیراز و بوشهر توسط انگلیسیها حفاری شده که البته نتیجه‌ای نداشت، پس از آن به جستجوی نفت در جزیر قشم پرداختند که بی-حاصل بود. در سال ۱۲۸۰ شمسی قرارداد داری منعقد شد که پس از هشت سال جستجو در مناطق قصر شیرین، رامهرمز و نفتون در سال ۱۲۸۷ اولین چاه نفت، در میدان نفتی مسجدسلیمان در عمق ۳۶۰ متری به نفت رسیده و به ارتفاع ۲۰ متر فوران کرد و با این چاه میدان نفتی عظیم مسجدسلیمان کشف گردید که این خود آغاز صنعت نفت ایران و خاورمیانه بود. بعد از این تاریخ عملیات حفاری بمنظور توسعه منطقه مسجدسلیمان و نیز اکتشاف منابع جدید گسترش پیدا کرد. در سال ۱۳۰۴ میدان نفتی هفتکل و از آن به بعد میدانهای گچساران، آغاچاری و پازنان کشف گردید. عملیات حفاری تا سال ۱۳۳۲ توسط شرکت نفت ایران و انگلیس انجام می‌گردید. پس از کودتای ۲۸ مرداد و انعقاد قرارداد اسارت بار کنسرسیوم، یورش شرکت‌های حفاری نیز همراه آن شروع گردید و در سال ۱۳۵۱ با گران شدن قیمت نفت، تعداد دکلهای حفاری بطور ناگهانی رو به فرونی گذاشت.

پس از پیروزی انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۸ از بهم پیوستن بیش از ۳۰ شرکت مختلف، شرکت ملی حفاری ایران تشکیل گردید که طبق اساسنامه خود عهده‌دار اجرای عملیات حفاری در تمام ایران شده است. بطور کلی عملیات حفاری نفت و گاز شامل سه بخش عمده اکتشافی توصیفی و توسعه‌ای است. با توجه به اینکه منابع نفتی ایران در خلیج فارس و مناطق نفتخیز است دو نوع عملیات حفاری با دکلهای دریایی و دکلهای مناطق نفتخیز صورت می‌پذیرد که اجرای هر دو نوع این عملیات بعهدہ شرکت ملی حفاری است. ولی برنامه‌ریزی، هدایت و راهبری آن بسته به مکان و نوع عملیات تفاوت می‌کند.

مختصراً اشاره می‌شود که برنامه‌ریزی و نظارت بر اجرای عملیات حفاری اکتشافی در خشکی به عهده اداره اکتشاف تهران و در دریا بعهدہ مدیریت تولید مناطق دریایی (فلات قاره) می‌باشد. در این میان اداره کل حفاری تولید مناطق نفتخیز جنوب از جایگاه خاصی برخوردار است که مسئولیت تهیه و طراحی برنامه حفاری چاههای توصیفی، توسعه‌ای و نیز تعمیر چاههای

نفت و گاز و نیز نظارت مستمر بر حسن اجرای آنرا در تمام میدانهای واقع در مناطق نفتخیز جنوب بعهدہ دارد کہ در حال حاضر نظارت تعداد بسیار کمی از این میداین به شرکتهای تازه تشکیل شده مهندسی توسعه نفت و نفت مرکزی واگذار شده است و کارگاه ابزار در گردش نیز یکی از کارگاه های تابعه این اداره می باشد کہ وظیفه ی نگهداری و تعمیرات وسایل مختلف حفاری اعم از مته، لوله، جار و ... را بر عهده دارد. شایان ذکر است کہ در این کارگاه چیزی بالغ بر ۸۰۰۰ وسیله ی مربوط به حفاری نگهداری می شود.

۱-۱ پیشگفتار

پس از اتمام موفقیت آمیز عملیات اکتشاف، عملیات حفاری در طول تمامی مراحل توسعه میدان نفتی و در تمامی محیطها انجام می شود. کندن چاه و رسیدن به هدف مورد نظر را حفاری می گویند. حفاری یکی از کارهای پیچیده، گران، طاقت فرسا و تخصصی در صنعت نفت بشمار می رود. هر کاری کہ قبل از حفاری انجام شده باشد، در صورتی کہ حفاری بدرستی انجام نگیرد بی فایده است. بنابراین به حفاری اهمیت زیادی داده می شود. تکمیل موفقیت آمیز چاه نفت و هزینه های آن به شدت به سیال حفاری، سیمان، مته و غیره وابسته است.

۱-۲- پارامترهای مهم در حفاری

انتخاب بهینه مته حفاری یکی از پارامترهای مهم در فرایند بهینه سازی عملیات حفاری است. انتخاب بهینه مته حفاری بر اساس عملکرد متههای سابق استفاده شده در چاه میباشد. پارامترهای زیادی در انتخاب مته اثر دارند. ایجاد یک رابطه منطقی بین این پارامترها در فرایند انتخاب مته بسیار مشکل میباشد. از آنجایی کہ توانایی شبکه عصبی هوشمند در ایجاد رابطه بین متغیرهای زیاد اثبات شده است، لذا به نظر میرسد شبکه هوشمند نتیجه مفیدی را در انتخاب بهینه مته حفاری داشته باشد. در این پروژه با استفاده از نرم افزار MATLAB مدلی کہ قادر است نوع مته را پیش بینی کند، ساخته میشود. پارامترهای حفاری از قبیل اندازه مته، تعداد نازلها و مساحت آنها، وزن روی مته، سرعت چرخش رشته حفاری، سرعت نفوذ لازم، مقدار پمپاژ سیال حفاری و فشار آن، سختی سازند، عمق و وزن گل موجود در چاه به عنوان ورودی مدل و نوع مته بر اساس کد به عنوان خروجی می باشد. با استفاده از دادههای موجود، در ابتدا مدل ساخته و آموزش داده میشود و آنگاه آزمایش و تست میگردد. ضریب همبستگی ANN برای طرح کلی آموزش و خروجی پیش بینی شده، ۰.۹ است.

فصل دوم

تکنولوژی های حفاری

۲- پیشگفتار

مسیر حفاری در حفر یک چاه را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد؛ بخش کم عمق، بخش میانی و بخش مخزن. بخش کم عمق که معمولاً به عنوان سر چاه نامیده می‌شود، شامل رسوبات ناپایدار است. بنابراین در این بخش استحکام سازند پایین بوده و پارامترهای حفاری و تجهیزات باید بر اساس آن تعیین شوند. بخش مخزن پایداری بیشتری داشته و هدف اصلی حفر چاه است. بنابراین فرایند حفاری باید به گونه‌ای باشد که آسیبی به سازند وارد نشود

۲- تکنولوژی‌های حفاری

مسیر حفاری در حفر یک چاه را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد؛ بخش کم عمق، بخش میانی و بخش مخزن. بخش کم عمق که معمولاً به عنوان سر چاه نامیده می‌شود، شامل رسوبات ناپایدار است. بنابراین در این بخش استحکام سازند پایین بوده و پارامترهای حفاری و تجهیزات باید بر اساس آن تعیین شوند. بخش مخزن پایداری بیشتری داشته و هدف اصلی حفر چاه است. بنابراین فرایند حفاری باید به گونه‌ای باشد که آسیبی به سازند وارد نشود. حفاری چه در خشکی و چه دریا انجام شود، سیستم حفاری اساسی دکل دوار در هر دو مورد استفاده خواهد شد.

سه عمل اساسی در طول عملیات حفاری دورانی عبارتند از:

-گشتاور از منبع نیرو در سطح از طریق رشته حفاری به مته منتقل می‌شود.

-سیال حفاری به داخل چاه پمپ می‌شود و از طریق مسیر دایره‌ای به سطح زمین برمی‌گردد.

-فشارهای زیرسطحی و در strata هیدروکربن به وسیله وزن سیال حفاری و از طریق تنظیم دریچه بزرگی در سطح کنترل می‌شود.

حفاری دورانی از یک مته تیز و چرخان برای نفوذ به پوسته زمین استفاده می‌کند. اگرچه مفهوم حفاری دورانی ساده است، اما مکانیک دکل‌های حفاری جدید بسیار پیچیده می‌باشد. سیستم حفاری دورانی از ۴ جزء اصلی تشکیل شده است:

-محرک‌های اصلی

-تجهیزات بالابر

-تجهیزات چرخان

-تجهیزات گردش

ترکیب تمامی این تجهیزات، حفاری دورانی را ممکن می‌سازد.

انواع تکنولوژی‌های حفاری دورانی عبارتند از:

-حفاری عمودی

-حفاری جهت‌دار

-حفاری چاه باریک

-حفاری لوله‌گذاری ماریپچ

۲-۱- حفاری دورانی (Rotary Drilling)

در این نوع حفاری، ابتدا میز دوار (Rotary Table) با کمک نیروی مکانیکی، برقی یا هر دو، به گردش در می‌آید. این چرخش، به لوله شش‌بر یا چهاربر، به نام کلی (Kelly)، منتقل می‌شود و با چرخش این لوله، تمام لوله‌های حفاری و بالاخره مته حفاری به چرخش در می‌آید و عمل حفر زمین انجام می‌شود. میز دوار تقریباً در پایین دکل حفاری نصب شده و به وسیله موتور دوار به حرکت در می‌آید.

چون اکنون تقریباً تمام چاه‌های نفت با دستگاه‌های حفاری دورانی حفر می‌شوند، به شرح بسیار خلاصه از این دستگاه پرداخته می‌شود. دستگاه‌های حفاری دورانی در طی تاریخ صنعت نفت، به دلیل تجارت وسیع در سراسر جهان و کار در شرایط طبیعی متفاوت، تکامل یافته و به صورت کنونی در آمده‌اند.

دستگاه حفاری خشکی شامل برج و دکل حفاری است که روی سکوی حفاری و زیربنای آن قرار دارد. موتورهای دیزل به طور مستقیم با تولید برق، نیروی مکانیکی لازم برای حفاری را تأمین می‌کنند.

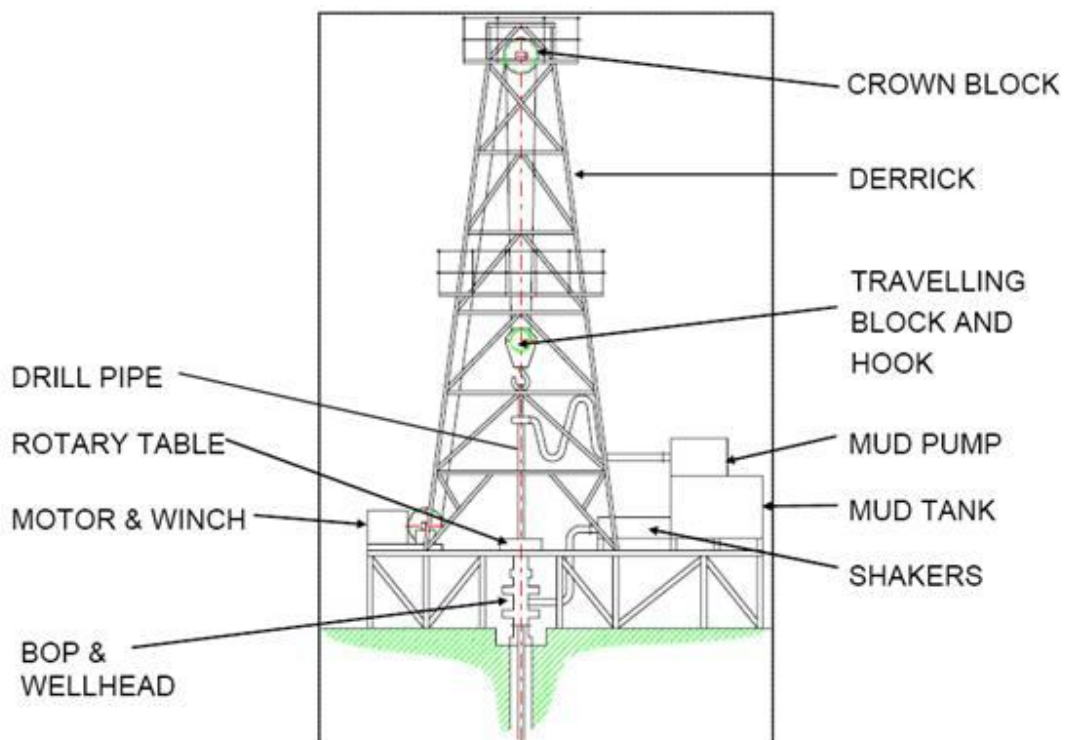
جراثیل بسیار پرتوانی (Drawworks) که دارای جعبه قرقره ثابت (Crown Block)، جعبه قرقره متحرک (Traveling Block) و کابل بسیار قوی (Wire Line) می‌باشد، برای بالا و پایین بردن لوله‌های حفاری و تحمل

بخشی از وزن آن‌ها در زمان حفاری به کار گرفته می‌شود. بدیهی است دکل و جرثقیل باید تحمل وزن لوله‌ها را که با عمق افزایش می‌یابد داشته باشند. بنابراین، هر دکل حفاری دارای توان حداکثری است که بیش از آن قادر به حفاری نخواهد بود. این توان را، سازنده دکل همراه با سایر مشخصات فنی اعلام می‌کند. بخش متحرک دکل از ته چاه به بالا شامل مته، لوله‌هایی با جدار ضخیم و مقاوم (Bit Sub) که هنگام حفاری تحت فشار قرار می‌گیرند و طوق مته (Drill Collars)، می‌باشد.

پس از آن، لوله‌های حفاری (Drill Pipes) که حرکت دورانی را از سر چاه به طوق مته و مته منتقل می‌کنند، قرار دارند. لوله‌های حفاری، از طوق مته نازک‌تر بوده از این رو دارای قطر کم‌تر از آن هستند و هنگام حفاری اغلب تحت کشش قرار دارند. مته، طوق مته و لوله‌های حفاری را رشته حفاری (Drill string) می‌نامند. لوله‌های حفاری از بالا و در سطح زمین به میله‌ای چهاربر یا شش‌بر (Kelly) که توخالی است پیچ می‌شوند. طول میله چندبر در حدود چهل فوت می‌باشد و از داخل حفره‌ای هم اندازه مقطع خود در میز دوار عبور می‌کند. میز دوار (Rotary Table) دستگاهی است که میله چهاربر یا شش‌بر و در نتیجه تمام رشته حفاری را می‌چرخاند. میله چندبر از بالا به هرزگرد یا مفصل دوار (Swivel) متصل می‌گردد. این مفصل دوار دارای یاتاقانی است که بخش متصل به میله چندبر در آن به طور آزاد می‌چرخد. در حالی که بدنه مفصل ثابت بوده و به وسیله قلابی (Hook) به جعبه قرقه متحرک متصل می‌گردد. انتهای لوله خرطومی (Rotary Hose) که لوله بسیار محکمی است و تحمل فشار پمپ‌های حفاری را دارد به مفصل وصل است که از طریق آن، گل حفاری به داخل مفصل دوار، میله چندبر و رشته حفاری پمپ می‌شود.

زیر سکوی حفاری، دستگاه‌های فوران‌گیر (B.O.P) قرار دارند که در حالت عادی، میله چندبر، لوله‌های حفاری، طوق مته و مته به راحتی از داخل آن عبور می‌کنند؛ ولی در موارد خطر و فوران چاه، می‌توانند فاصله چاه با رشته حفاری را که فضای حلقوی (Annulus) نامیده می‌شود مسدود نموده و از خروج ناخواسته سیال از چاه جلوگیری نمایند. بین میله چندبر و مته، دریچه یک طرفه‌ای قرار دارد که گل حفاری از طریق آن به داخل رشته حفاری وارد می‌شود، ولی دریچه در جهت عکس، مانع عبور سیال می‌گردد. این دریچه، شیر اطمینانی است که در هنگام طغیان چاه، ارتباط فضای داخل رشته حفاری را با خارج قطع می‌کند و در اصطلاح Kelly Cock نامیده می‌شود.

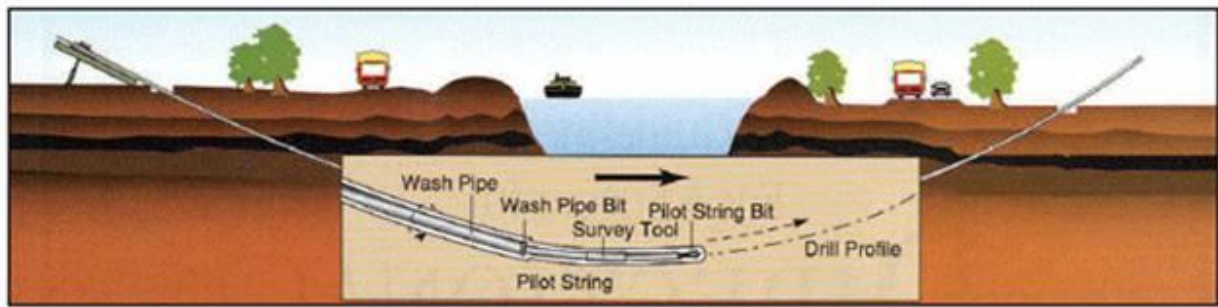
دستگاه‌های حفاری دریایی مانند دستگاه‌های دورانی خشکی هستند؛ با این تفاوت که روی سکوی روی آب قرار می‌گیرند. ممکن است پایه‌های سکو در کف دریا قرار گیرد که دکل بالابر نامیده می‌شود. این نوع دکل‌ها در آب‌هایی در حد ارتفاع پایه می‌توانند فعال باشند که آن‌ها را محدود به آب‌های کم‌عمق می‌سازد. دکل‌های دریایی دیگر نیز وجود دارند که روی زیربنای غوطه‌ور یا نیمه غوطه‌ور قرار دارند و قادرند در آب‌های عمیق‌تری نسبت به دکل بالابر، حفاری نمایند. پس از کشف نفت در نفت‌گیرهای زیردریایی، برای توسعه این نوع میدان‌ها اغلب از سطح یک سکوی حفاری، چندین چاه انحرافی حفر می‌نمایند.



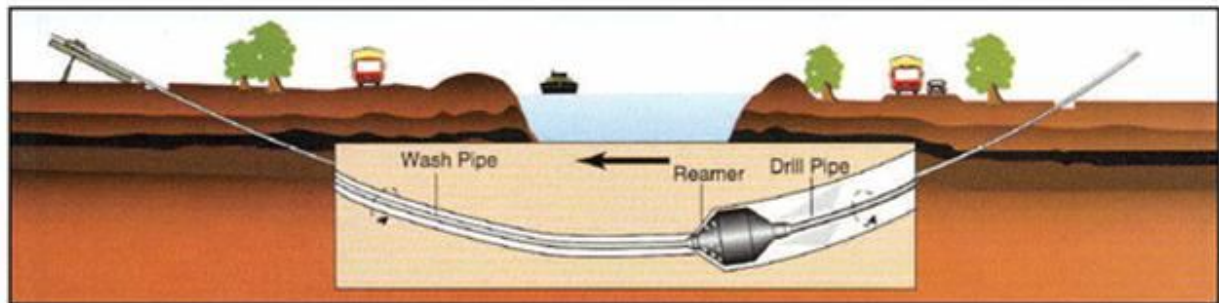
شکل ۱-۲- اجزای مختلف حفاری دورانی

۲-۲ حفاری انحرافی (جهت دار)

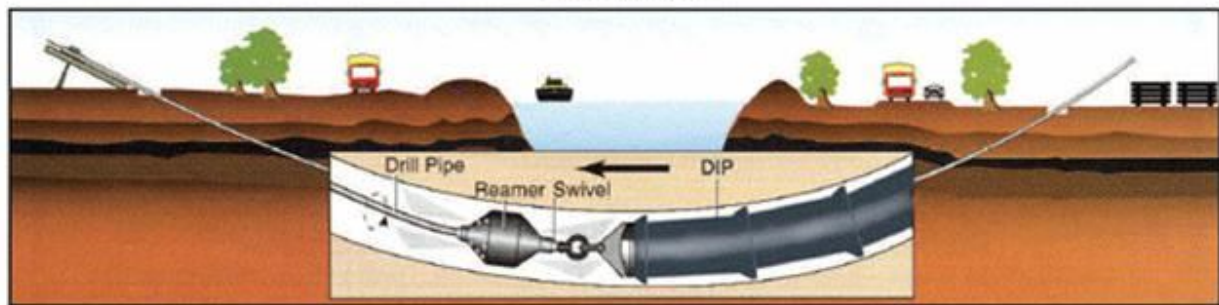
به طور کلی به جز در حالت‌های خاص که حفاری چاه‌های نفت و گاز به صورت جهت‌دار لازم می‌شود خواست عمومی و مسائل فنی و اقتصادی همگی حکم می‌کنند که هر چاهی به صورت مستقیم و عمودی حفاری شود که در حال حاضر نیز عمده چاه‌های حفر شده در حال تولید از این نوع هستند بر همین اساس تنها مسائل فنی و اقتصادی توجیه‌گر هزینه‌های ویژه برای حفاری جهت‌دار برخی چاه‌ها است. به طور کلی هر گاه برای ایجاد محل استقرار دستگاه حفاری و آغاز حفر چاه موانع طبیعی، زمین‌شناسی، فنی و اقتصادی وجود نداشته باشند می‌توان حفاری جهت‌دار را به عنوان راه حل جایگزین، بررسی و انتخاب کرد و به کار برد. از جمله وجود موانع سطحی مانند دریا، رودخانه، مناطق مسکونی، یا کوهستانی بودن منطقه و هنگفت بودن هزینه ایجاد جاده و محل جاده و همچنین مخارج سنگین ایجاد سکوی حفاری در دریا عوامل توجیه‌کننده برای حفر چاه‌های انحرافی هستند.



PILOT HOLE



PRE-REAMING



PULL-BACK

شکل ۲-۲- حفاری جهت دار به علت وجود موانع طبیعی

انواع طرح‌های حفاری انحرافی را می‌توان در سه گروه تقسیم کرد:

الف) نقطه شروع انحراف (Kick off point) از نزدیک سطح زمین در نظر گرفته می‌شود که پس از رسیدن به حداکثر زاویه انحراف تا رسیدن به مخزن حفظ می‌شود.

ب) نقطه شروع انحراف را در عمق پایین‌تری تعیین می‌کنند و سپس با رسیدن به مخزن، حداکثر زاویه انحراف کنترل شده و ادامه خواهد داشت.

ج) از نزدیک سطح زمین نقطه شروع انحراف تعیین می‌شود که پس از رسیدن به حداکثر زاویه انحراف تا عمق مطلوب ادامه می‌یابد. سپس از عمق دلخواه شروع به کاهش زاویه انحراف نموده تا به صفر برسد یا در نقطه مورد نظر تکمیل شود.

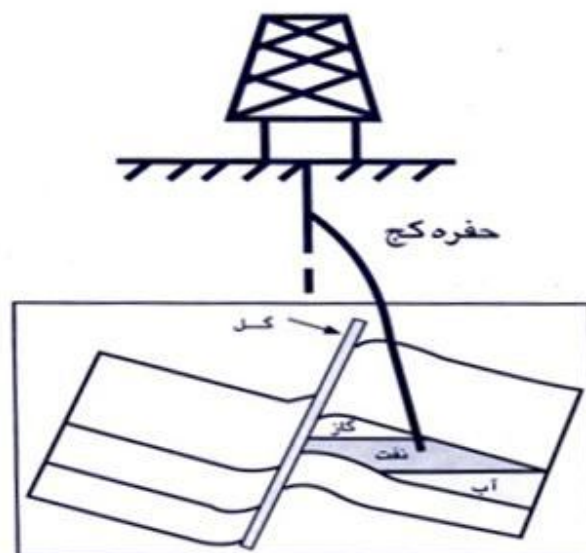
در زیرکاربردهای گوناگون حفاری جهت‌دار مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

حفاری چندین حلقه چاه روی یک سکوی دریایی

حفاری انحرافی از خشکی به خشکی و خشکی به دریا

حفاری انحرافی زیر مناطق مسکونی، فرودگاه، رودخانه و ارتفاعات

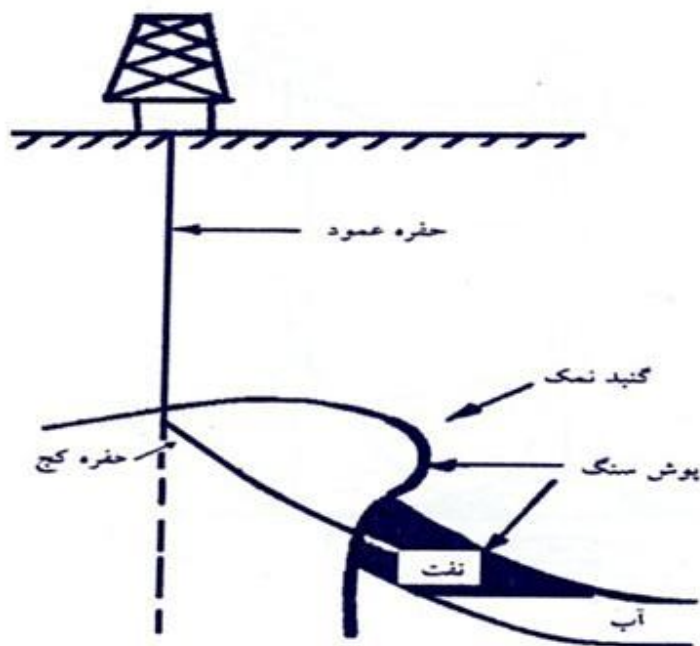
دست یابی به نفت گیرهای چینه ای (حفاری گسل): در بخش‌های گسلی حاوی نفت، برای تولید بهتر شاید لازم باشد تا چاه از میان یا به موازات گسل منحرف شود. در شرایطی که حفاری عمودی با دشواری همراه است نظیر وجود شکستگی‌ها با شیب زیاد (نسبت به عمود) و یا قرار گرفتن محل چاه در فرو دیواره (کمر پایین)، برای نفوذ به چینه‌های نفتگیر چاه را زاویه دار حفر می‌کنند و یا شاید چاه از روی فرا دیواره (کمر بالا) صفحه گسل حفاری می‌شود و در عمق مناسب انحراف می‌دهند تا از بروز خطرات و زیان‌های ناشی از زمین لرزه که میتواند باعث حرکت لایه‌های زمین روی سطح گسل شده و لوله‌های جداری یک چاه تکمیل شده را قطع کند، جلوگیری شود. حفاری گسل را نیز می‌توان تحت عنوان اکتشاف چینه‌های نفتگیر بیان کرد. از این نوع حفاری برای پیدا کردن سطح آب و نفت و تعیین دقیق صفحه شکستگی نیز می‌توان استفاده کرد.



شکل ۳-۲ - حفاری انحرافی جهت دستیابی به نفتگیرهای چینه‌ای (حفاری گسل).

عبور از کنار مانده‌های درون چاه

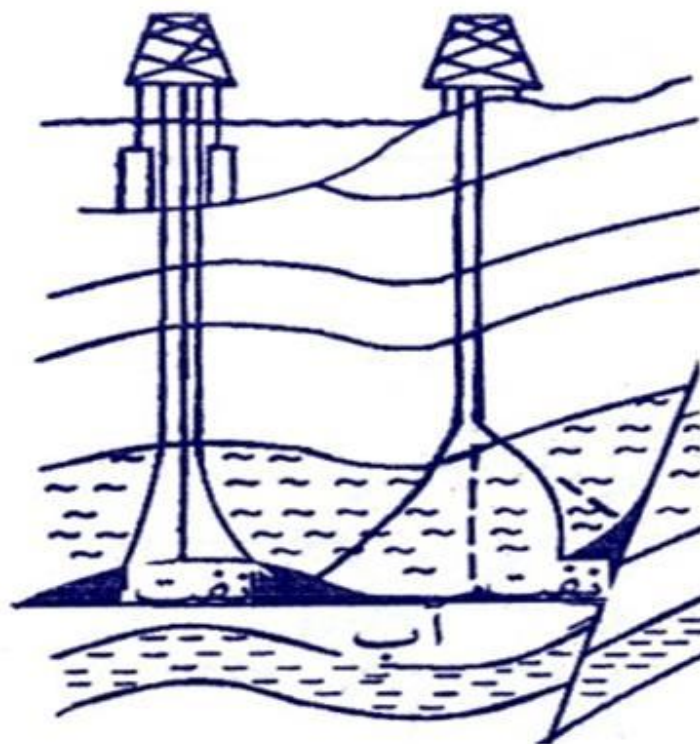
حفاری گنبد‌های نمکی: تجمع نفت اغلب در چینه‌های زیر گنبد که کلاهک سختی دارد، یافت می‌شود. حفاری این کلاهک بسیار مشکل است و باید خارج از کلاهک نمکی حفاری انجام شود.



شکل ۴-۲ - دستیابی به نفت زیر گنبد نمکی.

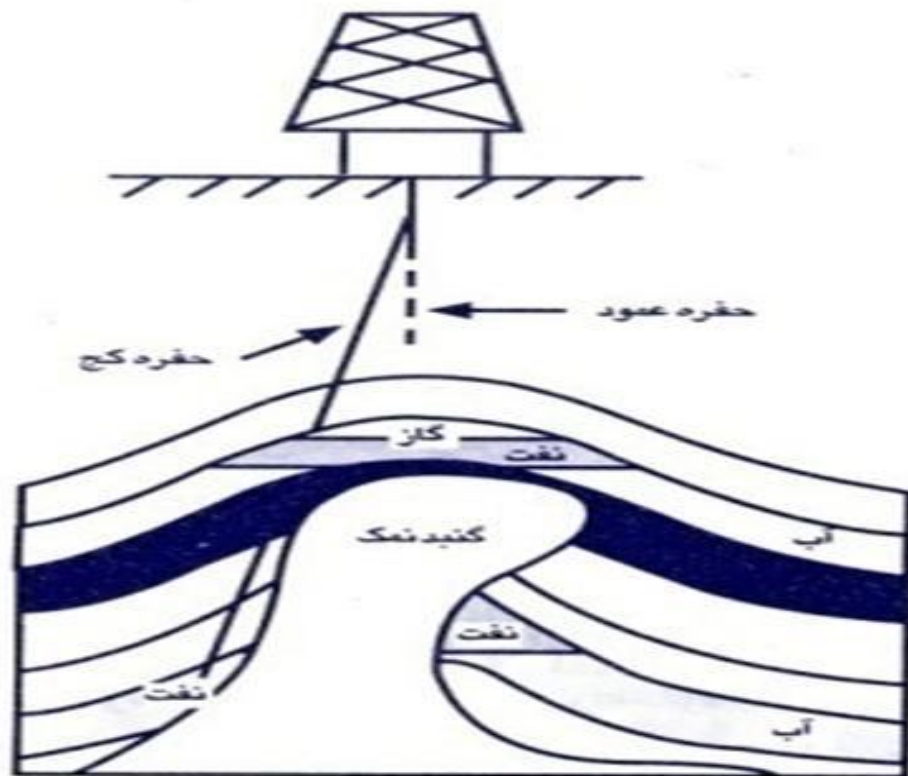
چاه‌های کمکی جهت خاموش کردن فوران چاه‌ها

حفاری چندین چاه اکتشافی از یک حفیره چاه (اکتشاف چاه نفتی یا ذخایر سولفور): اولین چاه در جهت فراشیب (Up Dip)، دومین چاه در جهت فروشیب (Down Dip) و چاه‌های دیگر به موازات (Strike) از یک چاه حفاری می‌شوند. هر چاه پس از حفاری مسدود شده، حفیره جدیدی از اولی منشعب شده، سازندها و محل ساختار کشف میشود. سپس آن حفیره مسدود شده و حفیره جدیدی حفاری می‌گردد.



شکل ۵-۲- چاه چند شاخه

عبور از چندین لایه از یک حفره چاه: مخصوص چینه‌های زیر گنبد نمکی، سنگهای دگرشیبی و سنگهای مجاور صفحه گسل است که از یک چاه جهت تکمیل چند منطقه نفت‌ده استفاده می‌شود.



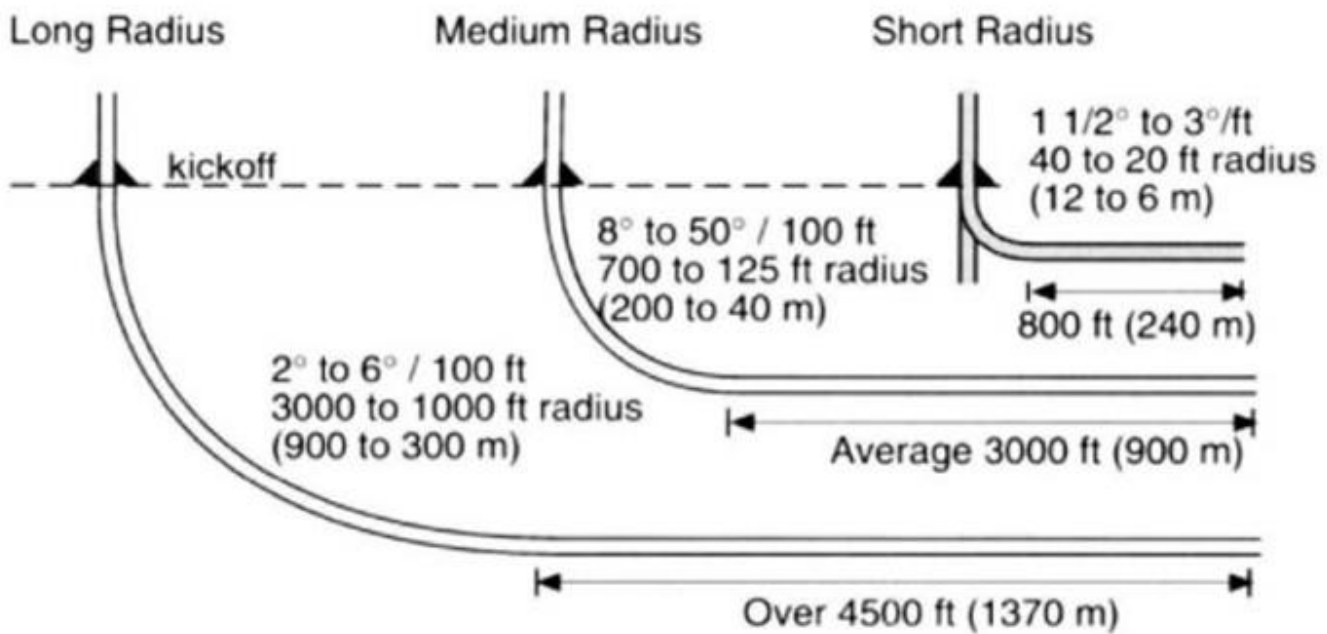
شکل ۶-۲- عبور از چندین لایه.

حفاری کنار گذر یا Side Tracking و ایجاد یک حفره جدید: این شیوه زمانی به کار برده می‌شود که جداری‌ها در برابر سازند پر فشار گچ دچار مچالگی شده باشند، یا اینکه بخواهیم به منظور فرار از تولید آب با گاز ناخواسته سازند مخزن نفتی را بالا یا پائین تر از قبل تولید نماییم.

امروزه به منظور استخراج نفت از مخازنی که به دلایل مختلف دارای توجیه فنی و اقتصادی نمی‌باشند، از روش‌های جایگزین هر چند پر هزینه جهت افزایش تولید بهینه و مدیریت بهتر مخازن نفت و گاز استفاده می‌شود. روش‌هایی که استفاده از آنها نیازمند عوامل مختلفی از جمله برنامه‌ریزی صحیح و در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در طراحی، آگاهی کامل از نحوه استفاده، کارکرد و شناخت معایب و محاسن آنها می‌باشند. یکی از این روش‌ها که این روزها در صنعت حفاری در سطح جهان بیشتر پرداخته می‌شود، حفاری چاه‌های افقی است.

الف- حفاری افقی

با توجه به گسترش جانبی سنگ مخزن یا سیالات مخزن، حفاری افقی بهینه‌ترین نوع حفاری می‌باشد. شکل ۲-۷ انواع چاه‌های حفر شده افقی را نشان می‌دهد. چاه‌های شعاع میانه از جهت حفاری، پیمایش و تکمیل با تجهیزات استاندارد، مطلوب هستند.



شکل ۲-۷- شعاع چاه افقی.

موفقیت چاه‌های افقی به شدت به توسعه تجهیزاتی که براساس آن بتوان موقعیت مته را در سطح تعیین کرد، بستگی دارد. با پیشرفت این تکنولوژی، دقت روش به مقدار بسیار زیاد بهبود یافته است. اندازه‌گیری حین حفاری [۱] از طریق نفوذ یک ردیاب به داخل رشته حفاری نزدیک به مته امکان‌پذیر است.

ب- حفاری اکستند ریج [۲]

یک چاه اکستند ریج دست کم جابه جایی افقی دو برابر عمق عمودی دارد. چاه های ERD از نظر تکنیکی چاه های سختی برای حفاری هستند ERD. زمانی استفاده می شود که:

- محدودیت های سطحی وجود داشته باشد.
- مرز مخزن چندین مایل از سکوه های موجود فاصله دارد.
- با استفاده از ERD کاهش در تعداد سکوه های لازم ایجاد شود.

۲-۳- حفاری چاه باریک

حفاری چاه باریک چندین سال است که توسط صنایع معدنی انجام می شود. اخیرا صنایع نفتی، تجهیزاتی را فراهم کرده اند که حفر چاه های باریک امکان پذیر شده است. حفاری چاه باریک می تواند هزینه حفاری را به شکل قابل ملاحظه ای کم کند. جدول ۱-۲ پتانسیل چاه های باریک را نشان می دهد. قطر باریک چاه ها در این تکنولوژی در شرایطی که شاری به وجود آید مشکل ساز می شود. بیشترین عمق قابل حفاری نیز یکی دیگر از محدودیت های این تکنولوژی است [۱].

جدول ۱-۲- پتانسیل چاه های باریک نسبت به چاه های متداول

Type of Rig	Conventional	Slim Hole
Hole diameter (inch)	8.5	3 to 6
Drill string weight (tons)	40	5 to 7
Rig weight (tons)	80	10
Drillsite area (%)	100	25
Installed power (kW)	350	70 to 100
Mud tank capacity (bbl)	500	30
Hole volume (bbl/1000 feet)	60	6-12
Crew size	25 to 30	12 to 15

۲-۴- حفاری لوله گذاری ماریچ

این نوع حفاری، گونه خاصی از حفاری چاه باریک می باشد که در سال های اخیر توسعه یافته است. در حالیکه عملیات حفاری استاندارد با استفاده از اتصالات لوله حفاری انجام می شود، CTD لوله ای یکپارچه از جنس فولاد با گرید بالا را به کار می برد.

برخی از مزایای این نوع حفاری عبارتند از:

- عدم نیاز به حمل لوله
- کنترل بهتر چاه در حفاری تعادلی (Balance) و یا حتی فروتعادلی (Underbalance)
- اثرات زیست محیطی کمتر، هزینه کمتر آماده‌سازی مکان
- تکمیل راحت‌تر
- به هر حال باید توجه شود که CTD تنها به چاه‌های باریک محدود می‌شود [۱].

فصل سوم

سیالات حفاری

۱-۳- سیالات حفاری

گل‌های حفاری گروه ویژه‌ای از سیالات حفاری هستند که اغلب برای حفر چاه‌های عمیق استفاده می‌شوند. عبارت گل به غلظت زیاد سیال پس از افزودن مواد مناسب به مایع پایه آبی یا پایه نفتی اشاره دارد. عملکردهای زیادی برای سیال حفاری در نظر گرفته شده است. از نظر تاریخی، اولین هدف برای سیال حفاری، استفاده از آن به عنوان ماشین برای انتقال ذرات حاصل از برش به سر چاه است؛ اما امروزه کاربردهای متنوع و متفاوتی برای آن متصور است.

وظایف اصلی گل حفاری عبارتند از:

- الف) تمیزکاری ته چاه و انتقال کنده‌های حاصل از برش به سطح و امکان جداسازی آن‌ها در سطح
- ب) کاهش اصطکاک بین رشته حفاری و دیواره‌های چاه و خنک‌سازی و روان‌کاری رشته حفاری و مته حفاری
- ج) حفظ پایداری بخش‌های بدون پوشش دهانه چاه
- د) جلوگیری از ریزش درونی (Inflow) سیالات مخزن، نفت، گاز، یا آب از صخره‌های نفوذپذیر حفر شده
- ه) تشکیل اندود گل [۳] نازک با نفوذپذیری پایین به منظور بستن حفرات و سوراخ‌ها در سازندی که مته به آن نفوذ کرده است.

و) حمایت و حفاظت از دیواره‌های چاه

ز) جلوگیری از آسیب در سازند تولیدی

ح) جلوگیری از خوردگی لوله حفاری

ط) کسب داده در مورد سازندی که تحت عمل حفاری قرار گرفته است

ی) تعلیق کنده‌های حفاری در هنگام توقف حفاری

ک) کنترل فشار زیر سطحی

ل) تحمل وزن رشته و تجهیزات حفاری

برای دستیابی به عملکردهای بالا، لازم است که اثرات جانبی زیر کمینه شوند:

الف) آسیب سازند زیر سطحی، به ویژه آنهایی که تولیدی هستند

ب) کاهش سرعت نفوذ

ج) مشکلات فشار سواب [۴] و گردش

د) هرزروی گل [۵]

ه) سایش چاه [۶]

و) ورم دیواره‌های کناری چاه و ایجاد فضای سفت

ز) گیر لوله حفاری به دیواره‌های چاه

ح) نگهداری جامدات نامطلوب در سیال حفاری

ط) اثرات زیست محیطی

ک) خوردگی و سایش تجهیزات حفاری

خواص سیال حفاری عبارت است از:

الف) روان کاری

ب) سرعت

ج) ویسکوزیته

د) دانسیته

ه) استحکام ژل

و) کنترل فیلتریت [۷]

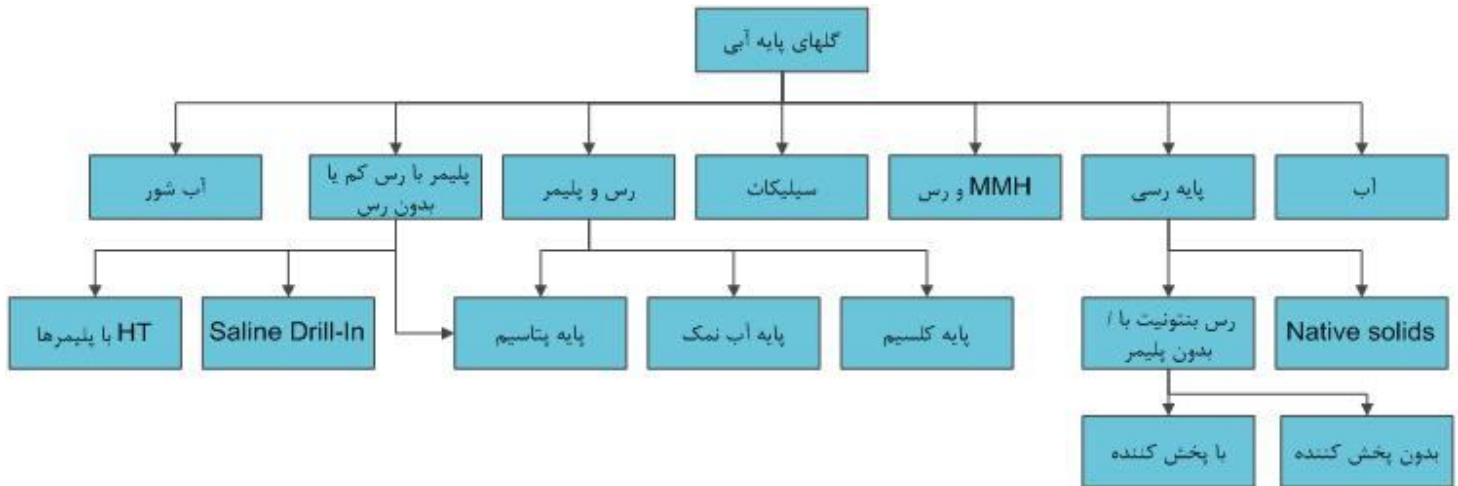
فاکتور معرف هر یک از خواص سیال حفاری به همراه بازه‌های مطلوب آن‌ها در جدول ۲-۲ ارائه شده‌اند.

۱-۲-۳- گل‌های پایه آبی

گل‌های پایه آبی [۸]، متداول‌ترین نوع سیال حفاری است که خود به دو دسته پخش شده [۹] و پخش نشده [۱۰] تقسیم می‌شود. گل حفاری با پایه آب شامل خاک بنتونیت (gel) با افزودنی‌هایی مانند سولفات باریم (باریت) کلسیم کربنات (چالک [۱۱]) یا هماتیت می‌باشد. تغلیظ‌کننده‌های گوناگونی برای تاثیر بر ویسکوزیته سیال مانند صمغ زنتان، صمغ گوار، کربوکسی متیل سلولز، سلولز چند آنیونی (PAC) و نشاسته استفاده می‌شوند. ضد انعقادها برای کاهش ویسکوزیته گل‌های پایه رسی استفاده می‌گردند که از نمونه‌های این مواد می‌توان به پلی‌الکترولیت‌های آنیونی (مانند اکریلات، پلی فسفات، لیگنوسولفونات [۱۲] یا مشتق‌های اسیدتانیک [۱۳] مانند کوپراچو [۱۴]) اشاره کرد. گل قرمز به مخلوط با پایه کوپراچو اشاره دارد که در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ معمول بود. اما با پیدایش لیگنوسولفونات از رده خارج شد [۷۸]. برخی منابع، گل‌های پایه آبی را به دسته‌های ریزتری تقسیم کرده‌اند. نمایی از این تقسیم بندی در شکل ۸-۲ نشان داده شده است.

نوعی از سیال حفاری پایه آبی به گل امولسیون معروف است. این گل حاوی روغن یا هیدروکربن سنتزی به عنوان فاز داخلی است. گل‌های امولسیون اولیه از دیزل یا نفت خام پخش شده در گل‌های پایه آبی قلیایی تشکیل شده بودند. امروزه مایعات سنتزی جایگزین نفت در گل‌های امولسیون شده‌اند. گل‌های پایه آبی حاوی مایعات سنتزی معینی هستند که از

لحاظ زیست محیطی بی خطرند.



شکل ۸-۲- انواع گل پایه آبی.

از جمله مزایای این دسته از گلهای می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ویسکوزیته بالا
- وجود مقدار کم مواد جامد
- تعلیق کننده ها
- کنترل اتلاف سیال
- پایدارسازی چاه
- کمک در جلوگیری از هرزروی گل.

در مورد معایب این گل ها می توان نکات زیر را مد نظر قرار داد:

کندی در رهایی کننده ها از جمله معایب این دسته از گل ها می باشد. خواص استحکام ژل و ویسکوزیته کلای بنتونیت توانایی تعلیق و حذف کننده ها را ایجاد می کند. این مزیت کلای بنتونیت، در سطح تبدیل به یک عیب شده و جدایی کننده ها از گل دچار مشکل می شود.

در سازندهای رسی و با کلای با قابلیت تورم بالا، استفاده از کلای بنتونیت به تنهایی برای جلوگیری از آبدار شدن و تورم سازند کافی نیست.

بنتونیت به آلودگی آب حساس است. آب سخت و آب نمک اثرات مخربی بر بنتونیت دارند. آب با pH پایین و بسیار بالا نیز بر عملکرد بنتونیت تاثیر می گذارد.

ناپایداری دهانه چاه که در حفاری سازندهای رسی [۱۵] با سیالات پایه آبی رخ می دهد در اثر علل مختلفی بروز می کند. شیل به لحاظ مکانیکی مقاومت کمی دارد و با جذب آب متورم شده و ناپایداری آن افزایش می یابد. به دلیل پایین بودن نفوذپذیری رس، اندود گل به طور موثر در جداره چاه تشکیل نمی شود؛ بنابراین سازند محافظ مناسبی در مقابل فشار هیدرولیکی چاه ندارد. از سوی دیگر فشارهای هیدرولیکی القا شده به دلیل پایین بودن نفوذپذیری قادر به انتشار سریع درون سازند نیست تا بتواند تنش های موثر را کاهش دهد. مجموع این عوامل سبب می گردد تا ناپایداری ناحیه مجاور چاه افزایش یابد.

۲-۳-۲- گل پایه روغنی

این نوع گل به گل های پایه غیر آبی تعلق دارد (شکل ۹-۲) و از یک امولسیون معکوس یا امولسیون که فاز پیوسته آن روغنی است، تشکیل شده است. اغلب گل های روغنی [۱۶] حاوی گازوئیل (۹۵٪ تا ۹۸٪) و آب نمک و دیگر افزودنی ها می باشند.

به چند دلیل در حفاری ها از گل پایه روغنی استفاده می شود.

- جلوگیری از ریزش چاه
- جلوگیری از ریزش سازندهای رسی و عدم نفوذ زیاد گل به درون سازند.

گل های پایه روغنی مزایای زیادی نسبت به گل های پایه آبی دارند. برخی از مزایای این دسته از گل ها نسبت به مشابه پایه آبی عبارتند از:

پایداری سنگ رسی: گل های روغنی برای حفاری سازندهای رسی حساس به آب مناسبند. اگرچه آب در فاز نفت پخش است، اما جهت جلوگیری از مهاجرت آب به داخل سنگ رسی میزان شوری کافی از اهمیت بالایی برخوردار است.

نرخ نفوذ [۱۷]: معمولاً سرعت حفاری با گل های روغنی بیشتر است.

دمای بالا: گل‌های روغنی برای حفاری در سازندهایی که دمای ته چاه از محدوده دمای کاری گل‌های آبی تجاوز می‌کند، استفاده می‌شوند.

نمک‌های حفاری: گل‌های روغنی معکوس نمک‌های سازند را نمی‌شویند. افزودن نمک به فاز آبی از حل شدن نمک‌های سازند در فاز آب امولسیون جلوگیری می‌کند.

روان‌سازی: گل پایه روغنی فیلتر کیک نازکی داشته و اصطکاک بین لوله و چاه کمینه است. بنابراین خطر گیر تفاضلی (Differential sticking) کاهش می‌یابد. این نوع گل برای چاه‌های انحرافی و افقی بسیار مناسب است.

سازندهای با فشار تخلخل پایین [۱۸]: توانایی حفاری در سازندهای با فشار تخلخل کم از زمانی انجام شده که وزن گل می‌تواند در محدوده وزنی کمتر از گل آبی تنظیم شود.

کنترل خوردگی: از آنجایی که فاز خارجی روغنی است، خوردگی لوله کنترل می‌شود. خواص مطلوب در کنترل خوردگی عبارتند از عدم رسانایی روغن، پایداری گرمایی افزودنی‌ها، عدم تشکیل محصولات خوردنده و عدم پیشرفت باکتری‌ها در گل‌های روغنی.

استفاده مجدد: گل‌های روغنی قابلیت بارها و بارها استفاده مجدد را دارند. آن‌ها می‌توانند برای زمان‌های طولانی ذخیره شوند.

سیالات توپک [۱۹]: سیالات توپک روغنی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که برای مدت زمان طولانی حتی در دمای بالا پایدار باشند. گل‌های روغنی با پایداری طولانی مدت برای این منظور مناسب هستند. از آنجایی که فاز پیوسته روغن است، اغلب خوردگی در مقایسه با گل‌های پایه آبی ناچیز است.

۱-۳-۳- گل‌های هواداده

۱-۳-۱- گل‌های پایه گازی

این نوع گل در لایه‌های ضعیف و با شکستگی زیاد استفاده می‌شود که امکان حفاری در آن‌ها با روش‌های معمولی وجود ندارد و ضرورت بکارگیری هوا به عنوان سیال حفاری وجود دارد. این روش حفاری تقریباً تنها وسیله برای گذر از این لایه‌ها است. این گل از کف هوا یا نیتروژن تشکیل شده است. برخی از مزایای حفاری با هوا عبارتند از: افزایش سرعت حفاری و کاهش زمان حفاری، کاهش آسیب به لایه، کارایی بهتر مته و افزایش عمر مته، کنترل هرزروی گل و کاهش هزینه حفاری.

۱-۳-۲-۳-کف

موقع حفاری در سازند پایدار از این نوع گل استفاده می‌شود. سیستم حفاری با هوا سرعت برش را با حمل و جداسازی کنده‌ها از مته حفاری و انتقال به سطح افزایش می‌دهد. سازندی که حفاری در آن انجام می‌شود به طور طبیعی پایدار است و هدف سیستم‌های سیال حفاری کف، حفظ گردش گل، فشار هیدرواستاتیک کمتر و حذف کنده‌ها با کمترین حجم از آب و هوای فشرده لازم است. این فرایند بسته به نوع سازند، عمق چاه، قطر چاه و اندازه کنده‌ها، توسط هوا، آب، کف، و کف پایدار [۲۱] انجام می‌شود. در حفاری با کف، مخلوط کف/آب به داخل جریان هوا تزریق می‌گردد. کف تولیدشده از قسمت‌های مختلف در مته عبور کرده و به همراه کنده‌های معلق به سطح بازمی‌گردد. اگر کف پایدار استفاده شود، افزودن Insta Pac-425 در مقادیر کوچک به پایداری گل کمک خواهد کرد.

۲-۳- سیالات تکمیل چاه

پس از اینکه عملیات حفاری به اتمام رسید، اغلب قبل از راه‌اندازی رشته تکمیل، چاه را تمیز می‌کنند. تمیزکاری برای حذف باقیمانده گل از چاه و لوله‌گذاری انجام می‌شود. سیال مورد استفاده یک مایع بدون جامد است که برای تکمیل چاه استفاده می‌گردد. این سیال در چاه قرار داده می‌شود تا عملیات پایانی قبل از آغاز تولید را تسهیل کند. نوعاً سیالات تکمیل چاه، آب شور (کلریدها، برمیدها، و فرمات‌ها) هستند، اما از نظر ثنوری هر سیالی با دانسیته و جریان مناسب می‌تواند این نقش را ایفا کند. سیال باید با سیالات و سازند مخزن سازگار باشد و تا حد زیادی فیلتر شده تا از ورود جامدات به ناحیه نزدیک چاه جلوگیری کند.

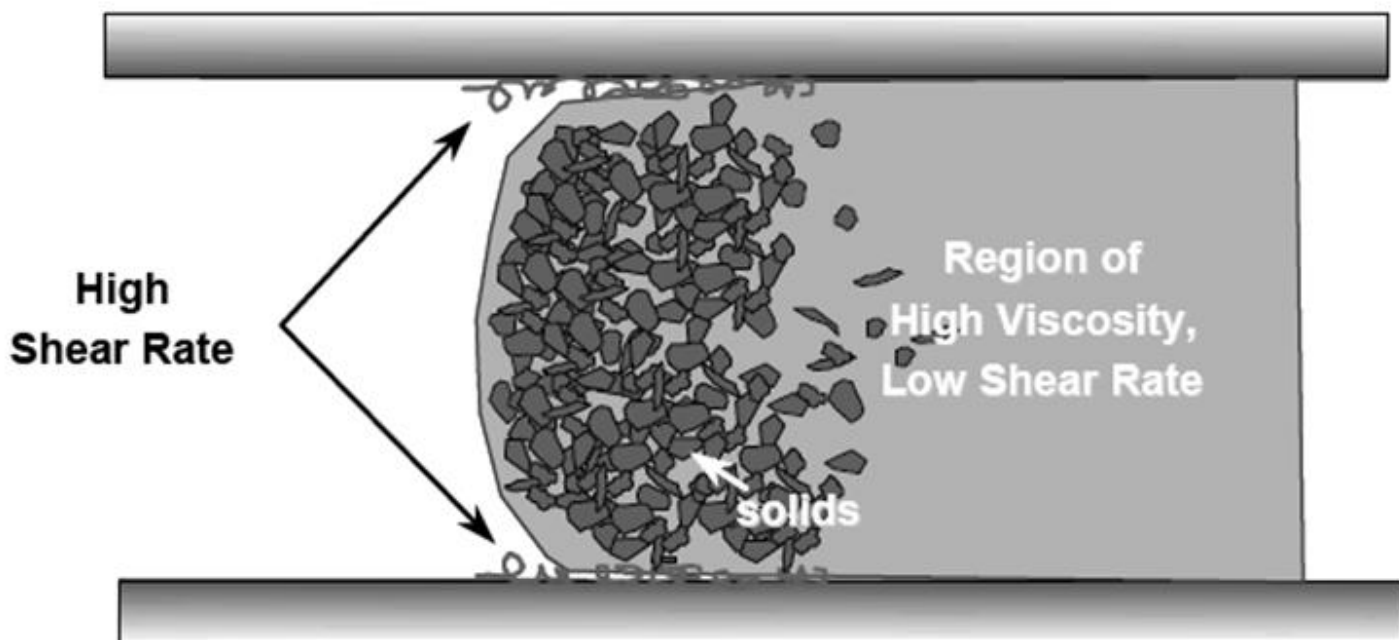
۳-۳- سیال Spacer

هر مایعی که برای جداسازی یک مایع ویژه از دیگر مایعات استفاده شود، به این نام معروف است. مایعات مدنظر تمایل به آلوده‌سازی دارند، بنابراین سیال spacer با هر یک از سیالاتی که بین آن دو قرار دارد سازگار است. سیال spacer متداول آب است. به هر حال، مواد شیمیایی مخصوصی برای افزایش بهره‌وری به آن اضافه می‌شوند Spacer. ها اولین بار برای تغییر

نوع گل و جداسازی گل از سیمان در حین سیمان کاری استفاده شدند. علاوه بر این، سیال spacer اغلب در سر دوغاب سیمان پمپ می شود تا اندود گل را از چاه پاک کرده و اتصال بهتری بین سیمان و سازند برقرار شود.

سیال spacer مناسب سیمان کاری باید دارای خواص زیر باشد:

- سازگار با گل های پایه روغنی، پایه آبی، گل های امولسیون معکوس، گل های ژل شیمیایی و گل های پلیمری
- عدم تغییر ویسکوزیته سیمان به ویژه در دمای بالا
- عدم ایجاد تغییر قابل توجه در زمان پمپاژ دوغاب سیمان
- تغییر دانسیته آن بسته به شرایط
- توانایی تحمل مقدار زیاد جامدات (شکل ۱۰-۲)
- تحمل افزایش مواد ترکننده، پخش کننده ها، کاهش دهنده های اصطکاک و بازدارنده ها در موقع لزوم
- جلوگیری از آلودگی دوغاب سیمان با کلسیم در گل های پایه آبی و به ویژه گل های پلیمری
- اتلاف سیال کم
- قابلیت کاربرد بین چندین سیال حفاری ناسازگار در طول جابه جایی
- آسانی حمل و مخلوط شدن در میدان
- همچنین باید خواص جریان آن به گونه ای باشد که اجازه جریان آشفته در سرعت های کم پمپاژ وجود داشته باشد.



شکل ۱۰-۲- حمل جامدات توسط سیال spacer

۳-۴- تجهیزات تمیزکاری گل

[۲۳] گل حفاری وظیفه خنک‌سازی مته و انتقال کنده‌ها را به سطح دارد. سیستم گردش مجدد گل حفاری [۲۴]، سیال را به سمت مته به گردش در آورده و سپس آن را جهت تصفیه و استفاده مجدد به سطح زمین منتقل می‌کند. جهت عملیات حفاری دورانی، سیال باید به طرف پایین و از طریق رشته لوله حفاری، حول مته گردش نموده و سپس از طریق فضای حلقوی بین رشته لوله حفاری و جداره چاه به طرف بالا جریان یابد. گل حفاری پس از عبور از میان رشته لوله حفاری از نازل‌های مته خارج شده و از فضای حلقوی به سمت دهانه چاه حرکت می‌کند.

سیستم گردش مجدد تجهیزاتی مانند پمپ‌های گل حفاری، لوله خرطومی دوار، هرزگرد یا تاپ درایو، رشته لوله حفاری، مته، مسیر بازگشت گل حفاری و مخازن گل حفاری را جهت گردش سیال، تصفیه و گردش مجدد آن به کار می‌برد. اگر سیستم بازیافت از هوا یا گاز جهت گردش سیال استفاده کند بایستی کمپرسور را نیز به مجموعه تجهیزات فوق اضافه کرد. در سطح، گل پس از طی مراحل (الک لرزان [۲۵]، ماسه‌زداها، لای‌زداها [۲۶]) دوباره استفاده می‌شود. الک‌های لرزان،

کنده‌ها را جدا می‌کنند. ذرات ریز نیز توسط ماسه‌زداها و لای‌زداها حذف می‌شوند. در نهایت پس از تمیزکاری، گل به مخزن گل [۲۷] منتقل می‌شود [۱].

فصل چهارم

تجهیزات حفاری

۴- پیشگفتار :

امروزه استفاده از روش حفاری ضربه ای در حفر چاه های آب استفاده می شود و استفاده از این روش در چاه های نفت و گاز منسوخ شده است. در روش حفاری چرخشی سنگ به وسیله مته خرد می شود و بوسیله گل حفاری بالا آورده می شود. نیروی لازم جهت چرخش مته توسط وسیله ای به نام میز دوار (Rotary Table) تامین می گردد. میز دوار روی سکوی حفاری به نام (Rig Floor) که معمولا در ارتفاع ۶،۹ و یا ۱۲ متری سطح زمین قرار دارد و انرژی الکتریکی یا مکانیکی دریافتی را به انرژی دورانی تبدیل می کند. نیروی دورانی توسط رشته حفاری (Drill String) به مته منتقل می شود. در ضمن وسایل کنترل فوران سرچاهی زیر سکوی حفاری قرار دارند.

۴- تجهیزات حفاری

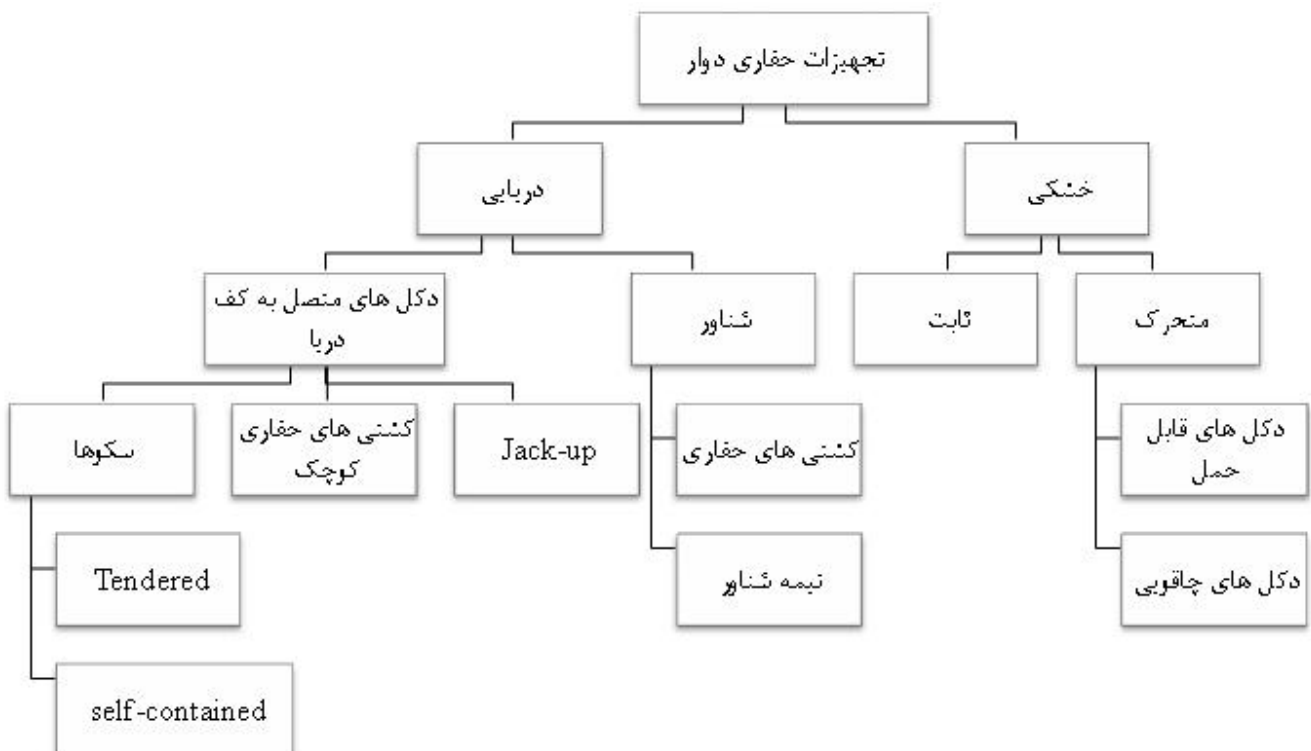
تجهیزات حفاری دورانی از بالا به پایین شامل هرزگرد یا تاپ دراو[۲۸]، میله چهارپر[۲۹]، طوق محافظ میله چهارپر[۳۰]، میز دورانی، رشته لوله حفاری، مفصل ساقه[۳۱]، طوق مته و مته حفاری می‌باشد. تجهیزات به هم متصل شده بین هرزگرد و مته که شامل میله چهارپر، لوله حفاری و طوق مته است، مجموعه رشته لوله حفاری را تشکیل می‌دهند.

۴-۱- دکل حفاری

انواع دکل‌های حفاری

مجموعه وسایل موجود در یک مجتمع حفاری شامل برج حفاری، موتور، تلمبه و مخزن گل حفاری و سایر تأسیسات لازم را دکل (Rig) می‌نامند. از دکل حفاری برای حفر چاه‌های اکتشافی یا تولیدی در دریا و خشکی استفاده می‌شود.

جدول ۱- انواع دکل‌های حفاری.



دکل های خشکی

دکل ثابت یا استاندارد [۳۲]: این نوع دکل در زمان حفاری ساخته می شود و سر چاه می ماند و قابل حرکت دادن نیست.

دکل های متحرک [۳۳]: این دکل ها به دو گروه اصلی تقسیم می شوند:

دکل خود فراز یا چاقویی [۳۴]: اجزای این نوع دکل ها تکه تکه می شوند. حفاری در خشکی بیشتر توسط این نوع دکل صورت می گیرد.

دکل قابل حمل [۳۵]: این دکل روی ماشین سر چاه آمده و مثل آنتن و توسط پمپ های هیدرولیکی باز می شود. بیشتر برای حفاری چاه های کم عمق یا تعمیراتی [۳۶] به کار می رود.

دکل های دریایی

خصوصیات منحصر به فرد حفاری فراساحلی

حفاری فراساحلی به تجهیزات شناور یا حفاظت شده نیاز دارد. در تجهیزات حفاری فراساحلی، تجهیزاتی که ویژه عملیات فراساحلی هستند و تجهیزات دیگری که شبیه به حفاری ساحلی هستند، استفاده می شوند. به دلیل کنترل از راه دور زیربنا، تجهیزات حفاری بسیاری از سیستم های سرویس مانند سیمان کاری، عملیات ژئوفیزیکی و .. را روی برد انجام می دهند. سرویس های ویژه بسیاری مانند هلیکوپتر، غواصی ها، ... وجود دارند. تمامی این عوامل عملیات حفاری فراساحلی را بسیار پیچیده می کنند و در نتیجه هزینه های حفاری چاه های فراساحلی بسیار بیشتر از چاه های زمینی است.

۲ دسته تجهیزات در صنایع فراساحلی استفاده می شوند:

تجهیزات شناور و حفاظت شده (از پایین) سیار

تجهیزات Jack-up

تجهیزات زیر آبی [۳۷]

تجهیزات نیمه شناور [۳۸] که دینامیک اند یا با لنگر ثابت شده اند.

کشتی های حفاری دینامیک یا لنگر گرفته

ساختمان‌های تولید ثابت که منحصراً برای توسعه چاه‌ها استفاده می‌شوند.

سکوه‌های جامع [۳۹]

جاکت [۴۰] های محافظت کننده چاه یا سکوه‌های همراه Jack-up

دکل Jack-up

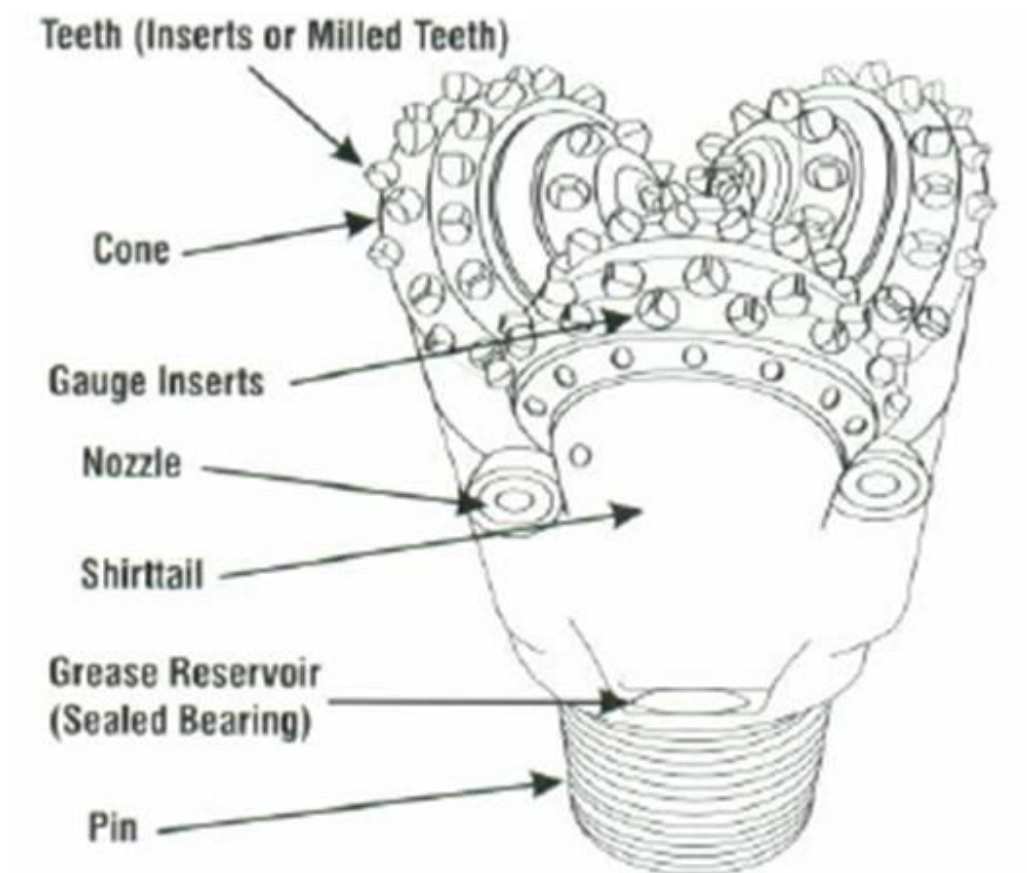
کشتی در جای عمیق تر قرار گرفته و پاهای آن به صورت هیدرولیکی، به کف دریا می‌چسبند که ممکن است یک پایه (بزرگ برای جای مسطح) یا سه پایه (برای جاهایی که دریا پستی و بلندی دارد) باشد. این دکل جهت حفاری اعماق دریا از ۱۵ تا ۳۵۰ فوت استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۲- تجهیزات حفاری Jack-up با سه پایه مثالی.

۲-۴- مته حفاری (Drilling Bit)

مته حفاری اولین ابزاری است که جهت حفر چاه‌های نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله در اثر چرخش رشته حفاری به حرکت درآمده و باعث سوراخ کردن زمین می‌شود. طیف وسیعی از مته‌های حفاری در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند که به شرح آنها می‌پردازیم:



شکل ۲-۱۲- نمونه‌ای از مته‌های چرخشی.

انواع مته‌های حفاری

مته‌های حفاری به دو گروه عمده مت‌های کاجی یا چرخشی (ROLLER CONE BIT) و مت‌های سایشی (FIXED CUTTER BITS) تقسیم می‌شوند ولی در کنار این دو گروه می‌توان مت‌های مغزه‌گیری (CORE HEAD) را که در عملیات مغزه‌گیری چاه (CORING) مورد استفاده قرار گیرند، قرار داد.

۲-۱-۴- مت‌های کاجی ROLLER CONE BITS

در این مت‌ها هنگام چرخش رشته حفاری، کاج‌های مت‌ (CONES) حول محور خود به چرخش در آمده و سپس در اثر وزن اعمالی روی مت‌ (W.O.B)، دندان‌های مت‌ در سنگ فرو رفته و باعث خرد شدن سنگ می‌شود. این گونه مت‌ها در طیف وسیعی تولید شده که به آنها مت‌های صخره‌ای (ROCK BITS) هم می‌گویند. مت‌های صخره‌ای به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند.

الف- مت‌های دندان فولادی MILL TOOTH BITS

مته‌های کاجی دندان فولادی اولین مت‌هایی هستند که در حفاری یک چاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مت‌ها، دندان‌های مت‌ از جنس کاج مت‌ بوده و کاج و دندان‌ها بصورت یک تکه در عملیات تراشکاری، ساخته می‌شوند. سپس جهت افزایش مقاومت دندان‌های مت‌، سطح آنرا توسط پودر تنگستن کارباید رو سخت کاری (HARD FACING) می‌کنند. مت‌های کاجی دندان فولادی ممکن است براساس شرایط کاربردی به شکل‌های زیر تولید شوند.

- مت‌های یک کاجه SINGLE CONE
- مت‌های دو کاجه DUBBLE CONE
- مت‌های سه کاجه THREE CONE
- مت‌های چهار کاجه FOUR CONE

ب- مت‌های دکمه‌ای (TUNGESTAN CARBIDE INSERT) BUTTON BIT

در این گروه از مت‌ها، دندان‌های مت‌ بصورت دکمه‌هایی از جنس تنگستن کارباید بوده که در سطح کاج مت‌، نصب می‌شوند. این نوع مت‌ها معمولاً در سازندهای نیمه سخت و سخت (اعماق پایین) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از مت‌ها مانند مت‌های دندان فولادی با توجه به نوع کاربردشان به شکل‌های زیر وجود دارند.

- مت‌های یک کاجه SINGLE CONE
- مت‌های دو کاجه DUBBLE CONE
- مت‌های سه کاجه THREE CONE

- مت‌های چهار کاجه FOUR CONE

۴-۲-۲- مت‌های سایشی (DRAG BIT (FIXED CUTTER BIT)

مت‌های سایشی (DRAG BIT) اولین نوع مت‌های قابل استفاده در صنعت حفاری بوده‌اند. این مت‌ها دارای تغذیه (BLADE) بوده و فاقد کاج (CONE) می‌باشند. مت‌های مذکور جهت حفاری طبقات نرم مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. امروزه نوع پیشرفته مت‌های سایشی تحت نام FIXED CUTTER BITS در صنعت حفاری کاربرد بسیار زیادی دارند. این نوع مت (FIXED CUTTER) به انواع زیر تقسیم می‌گردند.

- NATURAL DIAMOND BIT
- POLYCRYSTALLINE DIAMOND COMPACT - PDC BIT
- THERMALLY STABLE PDC - T.S.P BIT
- BI-CENTER BIT

مت‌های FIXED CUTTER بصورت یک تکه بوده و فاقد هر گونه قطعه متحرک (CONE) می‌باشند در این نوع مت‌ها، دانه‌های الماس طبیعی و یا مصنوعی بر روی سطح مت نصب می‌گردند.

مت‌های مغزه‌گیری COREHEAD

این نوع مت‌ها جهت عملیات مغزه‌گیری از سازند مورد استفاده قرار می‌گیرند و به دو شکل زیر وجود دارند.

- FIXED CUTTER COREHEAD
- POLLER CONE COREHEAD

الف - FIXED CUTTER COREHEAD

این نوع مت‌های مغزه‌گیری بصورت یک تکه بوده و دانه‌های الماس مصنوعی و یا PDC بر سطح آن نصب شده است. امروزه معمولاً در کلیه عملیات مغزه‌گیری مت مغزه‌گیری PDC استفاده می‌شود.

ب - POLLER CONE COREHEAD

نسل اولیه و قدیمی مت‌های مغزه‌گیری مت‌های چهار کاجه می‌باشند در این نوع مت‌ها چهار کاج مت بصورت دو به دو روبروی هم قرار داشته و ضمن حفاری سازند، نمونه سازند بصورت مغزه (CORE) وارد مت می‌شود.

قسمت‌های اصلی یک مت کاجی

قسمت‌های اصلی یک مته کاجی عبارتند از:

- Cone
- Shirttail
- Shank (Pin)
- Bearings (Sealed Or Open System)
- Nozzle Ports
- Tooth

Bit Cone: قسمتی از مته را Cone گویند که بر سطح آن دندانه‌های مته قرار دارد و در قسمت داخل آن اجزاء لازم جهت چرخش Cone بر روی Pilot Pin جای می‌گیرد.

در مته‌های دندانه فولادی، دندانه‌ها جزء اصلی Cone می‌باشد ولی در مته‌های دکمه‌ای (Tungsten Carbide Insert)، دندانه‌های مته بر سطح بیرونی Cone نصب شده‌اند.

Shirttail: قسمت پایین Leg مته را که باعث محافظت Cone و مانع از خروج اجزاء Bearing از داخل Cone به بیرون می‌گردد، Shirttail می‌گویند.

Shank: قسمت بالایی مته، که بر روی آن روزه استاندارد وجود دارد و محل اتصال مته با لوله‌های حفاری می‌باشد، Shank نامیده می‌شود. در این قسمت، مشخصات هر مته نوشته شده است (Bit Size, Bit Type, Serial Number).

Bearing: اجزایی که باعث چرخش Cone مته روی Pilot Pine می‌شود را بیرینگ گویند. بیرینگ‌ها به اشکال مختلف در مته وجود دارند.

Roller-Ball-Roller (R.B.R) Bit > 9"

Roller-Ball-Friction (R.B.F) 6 " 9"

Friction-Ball-Friction (F.B.F) Bit < 6"

Friction-Friction-Friction (F.F.F) Bit < 6"

Nozzle Ports: محل قرار گرفتن نازک در مته را Nozzle Port می‌گویند. چگونگی نصب نازل مته‌های شرکت‌های مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

اتصال نازک بر روی مته ممکن است به یکی از سه روش زیر باشد:

رزوه (نازل پیچی، شرکت اسمیت): این نوع نازک، رد محل نصب نازل، پیچ می شود.

میخ Nail (، شرکت سکوریتی): این نوع نازل توسط میخ آلومینیومی در مقر نازل نصب می گردد.

رینگ نگهدارنده (Snap Ring) ، شرکت هیوز-ورال-چینی): این نوع نازل توسط رینگ نگهدارنده در محل نصب نازل نگهداشته می شود.

نازل ممکن است دارای ارتفاع معمولی (Normal) و یا بصورت کشیده (Extend) باشد. هنگام حفاری در سازندهای چسبناک (Stick) ، بکارگیری نازل نوع کشیده (Extended Nozzle) مناسب تر از نازل معمولی است.

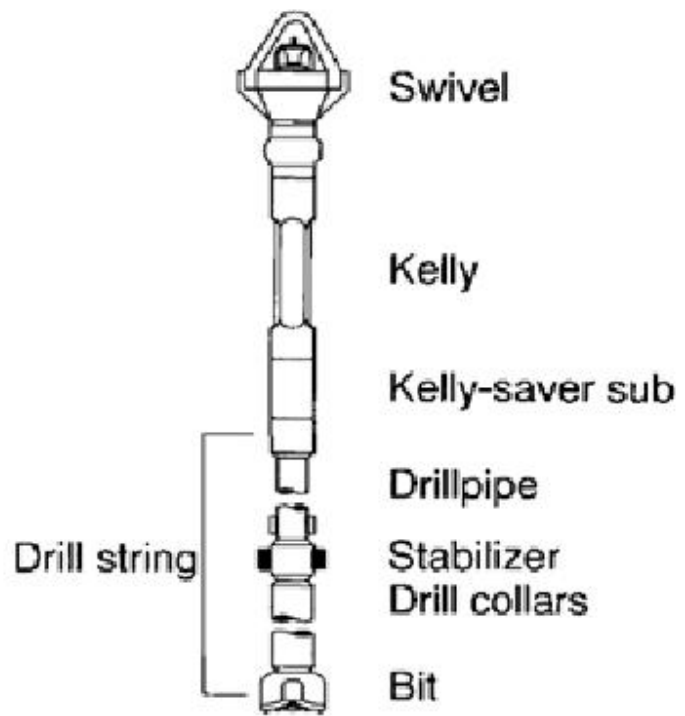
Bit Tooth: برآمدگی سطح بیرون Cone کاج) را دندانهای مته می گوئیم.

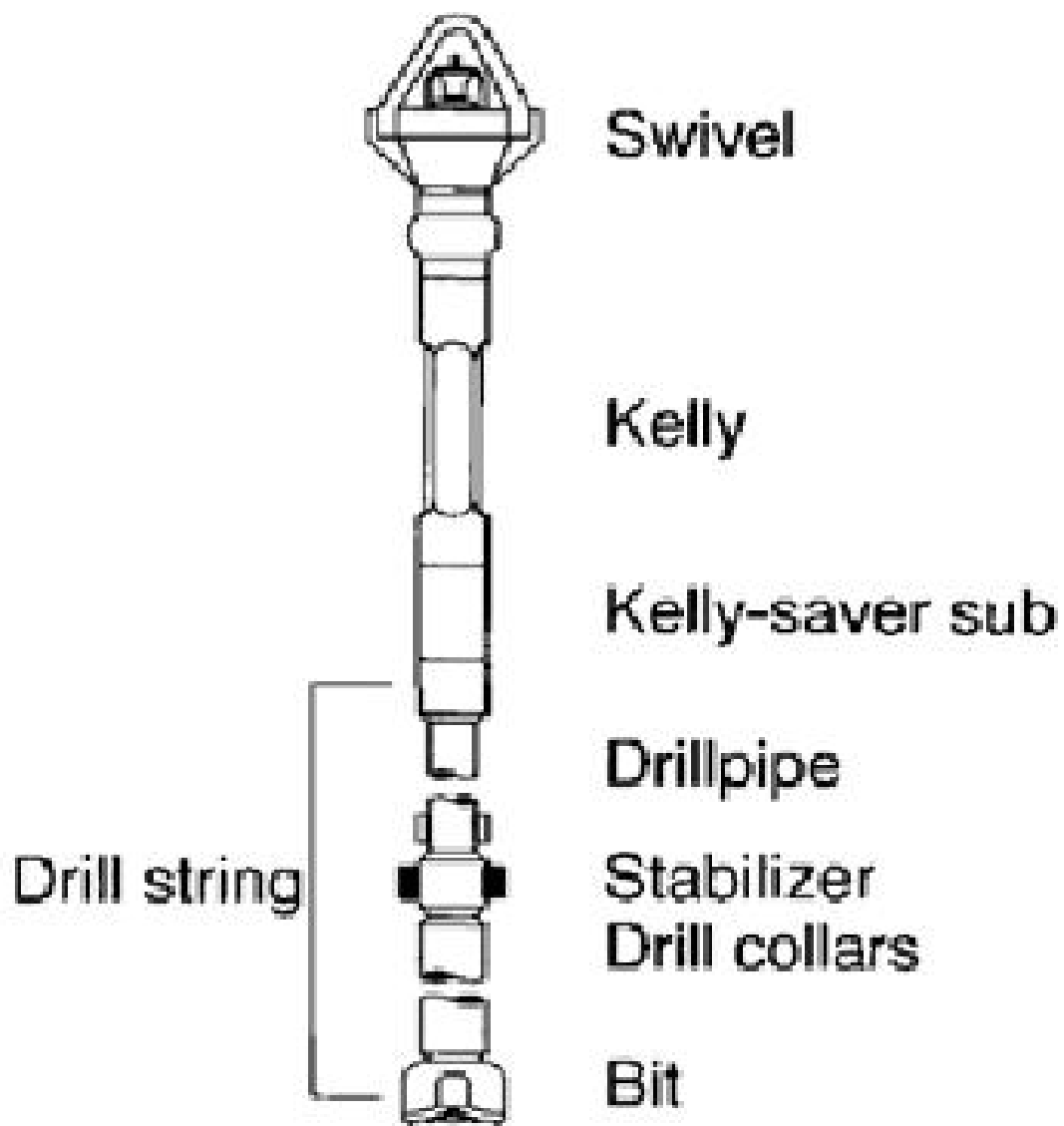
در مته های دندان فولادی، این دندانها بصورت Uniform از جنس Cone می باشند ولی در مته های دارای دندانهای Tungsten Carbide این دندانها از جنس تنگستن کارباید بوده که در سطح Cone ، توسط Press در محل هایی که قبلاً بر روی Copne بوجود آمده اند (Insert Poket) تعبیه شده اند.

ارتفاع و شکل دندانهای مته با توجه به نوع سازند قابل حفاری، متغیر خواهد بود. مته های با دندان بلند برای حفاری سازند نرم مورد استفاده قرار می گیرند و با توجه به افزایش مقاومت استحکامی سازند، دندانهای مته کوتاه تر و تعداد آنها بر سطح کاج مته بیشتر می شود.

۳-۴- رشته حفاری

بین مته و سطح، جایی که گشتاور تولید می شود، رشته حفاری مشاهده می شود. در حالیکه رشته حفاری وسیله ای برای انتقال نیرو است، عملکردهای دیگری نیز دارد. در شکل ۱۳-۲ شمایی از رشته حفاری مشاهده می شود.



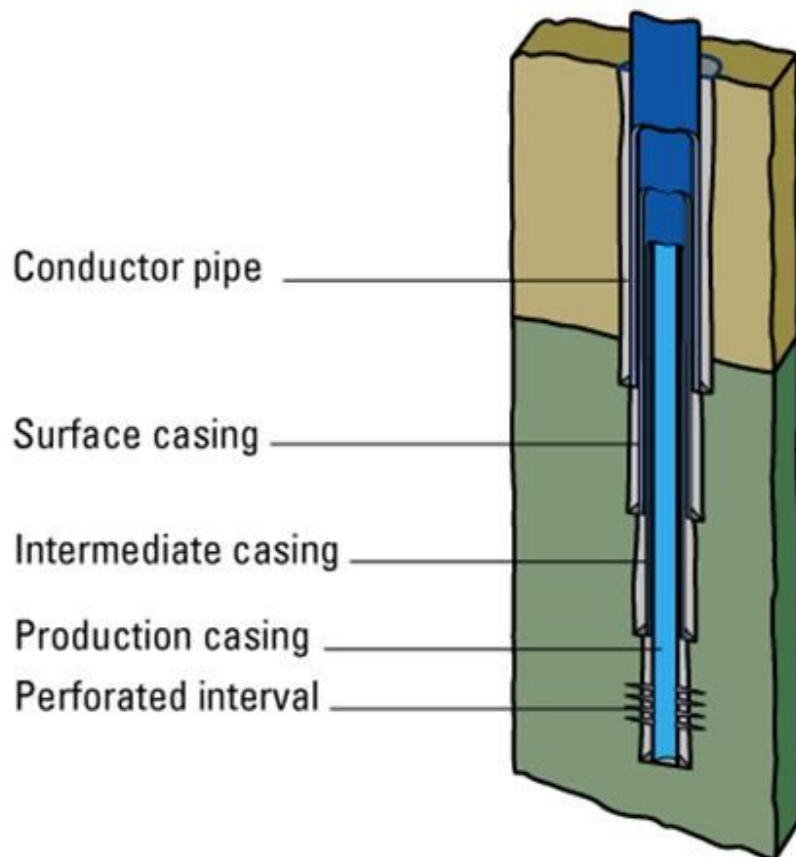


شکل ۱۳-۲- رشته حفاری.

طوقه مته لوله‌ای با دیواره ضخیم و سنگین بوده و وظیفه آن نگهداری رشته حفاری در فشار (جلوگیری از خمش) و فراهم آوردن وزن برای مته است. پایدارکننده‌ها در فواصل میانی به رشته حفاری اضافه می‌شوند و افزایش یا کاهش زاویه چاه را به عهده دارند.

۴-۴-لوله جداری

لوله جداری [۴۱]، لوله با قطر بزرگی است که به داخل چاه فرستاده شده و از طریق سیمان کاری در جای خود تثبیت می شود (شکل ۱۴-۲). اغلب اتصالات لوله جداری به صورت نرگی تعبیه شده اند. از اتصالات نرگی و مادگی برای پیوستن لوله های جداری با طول کم استفاده می شود. عملیاتی که در حین آن لوله جداری وارد چاه می شود به لوله رانی [۴۲] معروف است. لوله جداری معمولاً از فولاد کربنی عملیات حرارتی شده با استحکام های متفاوت ساخته می شود. در برخی شرایط ممکن است از استیل، آلومینیم، تیتانیم، فایبرگلاس یا مواد دیگر نیز در ساخت آن استفاده شود.



شکل ۱۴-۲-نمایی از لوله جداری.

۴-۵-تجهیزات بالابر

تجهیزات بالابر روی دکل دوار شامل وسایلی برای بالا و پایین بردن تجهیزاتی است که به داخل چاه می روند. قسمت قابل مشاهده تجهیزات بالابر، دکل [۴۳] است. دکل ساختار بلند و شبیه به برج دارد که به صورت عمودی از سوراخ چاه گسترش یافته است. این ساختار به عنوان تکیه گاهی برای کابل ها و پولی ها که وظیفه پایین و بالا کردن تجهیزات در چاه را دارند عمل

می کند. برای نمونه، اگر نیاز به تعویض مته حفاری باشد، تمام رشته حفاری باید به سطح منتقل شود. در چاه‌های عمیق وزن ترکیبی لوله، مته و طوقه‌های حفاری ممکن است بیش از چندین هزار پوند باشد. تجهیزات بالابر برای بالا آوردن وسایل به سطح استفاده می‌شوند. پس از تعویض مته حفاری، دوباره وسایل توسط تجهیزات بالابر به درون چاه منتقل می‌شوند.

۶-۴- جایگذاری لوله جداری و سیمان کاری

در حین حفاری، برای جلوگیری از ریزش چاه نیاز به پوشش‌دهی دیواره چاه با یک لوله فولادی است. بعد از حفر اولین مرحله از چاه آن را جداره‌گذاری و سیمان کاری می‌کنند که این امر باعث کاهش قطر چاه می‌گردد ولی در عوض از ریزش طبقات خاک به داخل جلوگیری می‌کند. معمولاً عمق اولین مرحله حفاری ۶۰ متر است و در حقیقت بستگی به عمق سازندهای واقع در نزدیکی سطح زمین دارد و به ندرت ممکن است از ۶۰ متر تجاوز کند. در بعضی موارد گروه حفاری می‌تواند در مرحله دوم قسمت باقی مانده چاه را تا عمق نهایی آن حفاری کند. در موارد دیگر، به ویژه در چاه‌هایی با عمق ۳۰۰۰ متر یا بیشتر گروه حفاری باید همانند مرحله اول سوراخی با عمق مشخص حفر نموده و سپس آن را جداره‌گذاری و سیمان کاری نمایند. بار دیگر قطر سوراخ با عمل جداره‌گذاری و سیمان کاری کمتر شده و لذا قسمت سوم چاه دارای قطری کمتر از قطر مرحله قبل خواهد بود. در این روش چاه تا عمق پیش‌بینی شده شبیه به یک تلسکوپ حفر می‌شود.

مهمترین شاخصه‌ها برای انتخاب پوشش عبارتند از:

بار فروریختگی [۴۴]: ناشی از فشار هیدرواستاتیک سیال حفاری، دوغاب سیمان بیرون لوله جداری و در نهایت سازندهای متحرک نظیر نمک.

بار انفجار [۴۵]: فشار داخلی لوله جداری که در طول عملیات به آن وارد خواهد شد.

بار کششی [۴۶]: ناشی از وزن رشته در طول عملیات که در اتصالات بالا بیشترین مقدار است.

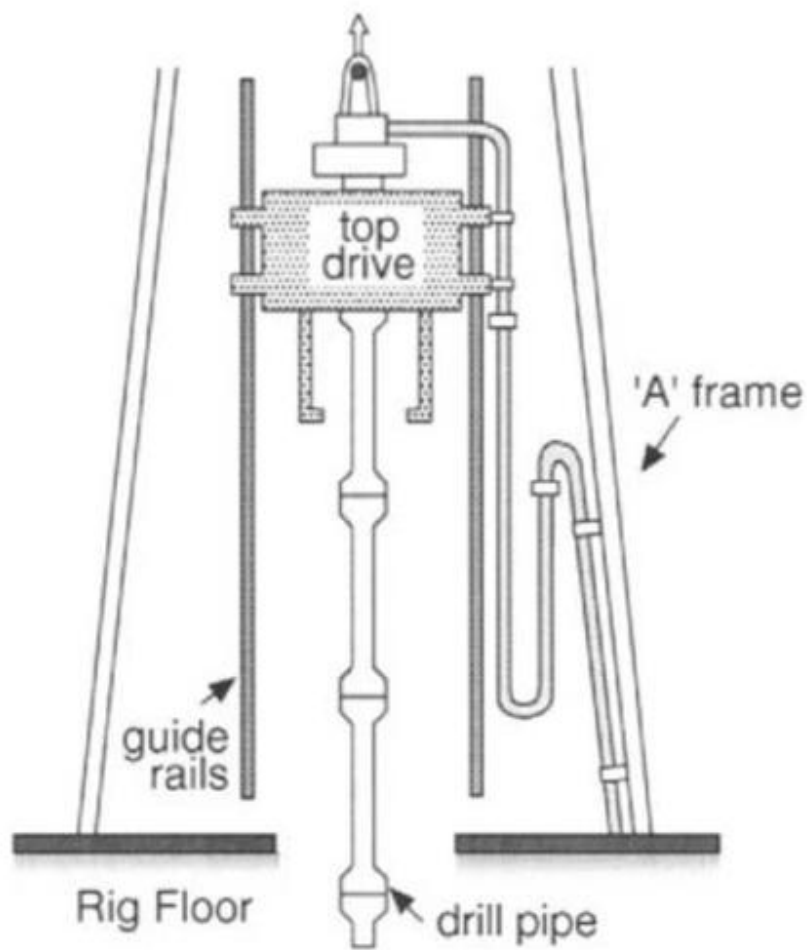
خوردگی [۴۷]: دی‌اکسید کربن و هیدروژن سولفید در سیالات سازند باعث خوردگی سریع فولاد کربن استاندارد می‌شود و ممکن است که به نوع خاصی فولاد نیاز باشد.

مقاومت کمانش [۴۸]: باری که تحت تراکم به لوله جداری وارد می‌شود.

همچنین لوله جداری باید ممانعت‌کننده‌های فوران [۴۹] را حمل کند.

۲-۴- محرک فوقانی

اغلب دکل ها به سیستمی مجهز هستند که رشته حفاری به وسیله مکانیسم رانش در mast به چرخش در می آید و از طریق میز دوار [۵۱] در کف دکل، به چرخش در نمی آید. این سیستم که سرعت عملیات را افزایش می دهد به محرک فوقانی [۵۰] معروف است (شکل ۲-۱۵).



شکل ۲-۱۵- سیستم محرک فوقانی.

فصل پنجم

مراحل انجام رایجترین

نوع حفاری

۵- تکنولوژی‌های جدید حفاری

۱-۵- حفاری بالیزر

آزمایشگاه ملی آرگون [۵۲] و گروهی از شرکا در حال بررسی امکان‌پذیری کاربرد تکنولوژی لیزر با توان بالا برای حفاری در صنایع نفت و گاز است. فاز اول برای ایجاد یک پایه علمی برای توسعه سیستم حفاری لیزر تجاری و تعیین میزان علاقه صنعت گاز برای ادامه تحقیقات آینده طراحی شده است. استفاده از لیزرها برای حفر چاه یک رویکرد کاملاً جدید است. سیستم حفاری جدید، انرژی نور را از لیزر در سطح توسط فیبرهای نوری به داخل چاه انتقال می‌دهد. محققان اعتقاد دارند با چنین تکنولوژی، سرعت حفاری ۱۰-۱۰۰ برابر افزایش خواهد یافت. بنابراین هزینه عملیات حفاری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. علاوه بر این، محققان اعتقاد دارند که لیزر قادر به ذوب صخره‌ها است که در این صورت با تشکیل یک پوشش سرامیکی، نیاز به لوله جداری وجود نخواهد داشت.

بکارگیری سیستم‌های لیزری پر قدرت در ارتش آمریکا، محققانرا بر آن داشته است تا در زمینه استفاده از این تکنولوژی در اکتشاف و حفاریمخازن نفت و گاز مطالعات وسیعی را آغاز کنند. اگر این مطالعات به نتیجه کامل برسد، بدون اغراق انقلابی در صنعت نفت و گاز بوقوع پیوسته است. به منظور تحقیقین هدف، مؤسسه تکنولوژی گاز در آمریکا و آزمایشگاه ملی تکنولوژی انرژی، وابسته به وزارت انرژی طرحی تحقیقاتی را در دست اجرا دارند که در ادامه فعالیت‌های تحقیقاتی به عمل آمده در سال ۱۹۹۹ صورت می‌گیرد. در صورت تکمیل مطالعات امکان‌سنجی و اجرای اولین پروژه عملیاتی، شگرف‌ترین تحول در صنعت حفاری در قرن حاضر اتفاق خواهد افتاد.

ارائه گزارشی مختصر از مطالعات در حال انجام در آمریکا و میزان پیشرفت و دستاوردهای آن، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران صنایع نفت و گاز کشور قرار دهد:

در ابتدای قرن بیستم، حفاری دوار جایگزین روش‌های قدیمی در صنعت نفت و گاز گردید. گرچه از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های ارزشمندی در این صنعت حاصل گردیده است، اما به هر حال از روشی مکانیکی بر پایه همان اصول اولیه استفاده می‌شود.

استفاده از لیزر برای ایجاد منافذ در ساختار بستر سنگ‌ها، روشی کاملاً متفاوت را می‌طلبد. در روش جدید حفاری از اشعه‌پردازی استفاده می‌گردد، در این روش رشته‌های لیزر روی سطح سنگ تابیده می‌شود و توسط تعدادی عدسی که در جهت جریان تابش‌اشعه قرار دارند، کنترل می‌شوند.

سرعت حفاری، ۱۰ الی ۱۰۰ برابر سریعتر

قبل از اینکه در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی پیشرفت‌های مهمی در تکنولوژی لیزر به عنوان سلاح دفاعی در ارتش آمریکا صورت گیرد، مفهوم حفاری توسط لیزر تنها در تصور مهندسان نفت وجود داشت. اما هم اکنون محققان معتقدند که تکنولوژی جدید، توان نفوذ اشعه لیزر در سنگ را با سرعتی معادل ۱۰ الی ۱۰۰ برابر روش صنعتی متداول ممکن نموده است. این امر باعث کاهش بسیار زیاد هزینه‌ها نسبت به روش حفاری مکانیکی خواهد شد.

امروزه، هزینه حفاری یک چاه گاز یا نفت در خشکی حدود چهارصد هزار دلار و در دریا حدود چهار و نیم میلیون دلار است. هزینه انجام شده در حفاری‌های عمیق‌تر، در شرایط ویژه ساختمان بستر به مراتب افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، افزایش سرعت حفاری باعث کاهش مدت زمان عملیات شده و میزان استفاده از لوازم و دکل حفاری و همچنین هزینه‌ها را تقلیل می‌دهد. همچنین با کاهش زمان، بازیافت باقیمانده گاز و نفت موجود در مخازن نیز اقتصادی خواهد بود.

به عقیده محققان، اشعه لیزر بدنه سنگ‌ها را ذوب می‌کند و پوششی سرامیکی در دیواره چاه به وجود می‌آورد. بدین ترتیب هزینه خرید و نصب Casing فولادی حذف می‌گردد. سیستم‌های لیزری دارای حسگرهای مختلفی در موضع حفاری هستند که شامل سیستم‌های تصویری و نمایشگر است که امکان ارتباط با سطح زمین را از طریق کابل‌های فیبر نوری ممکن می‌سازد.

محورهای طرح تحقیقاتی

اولین مسئله‌ای که به ذهن اهل فن می‌رسد، تخمین انرژی لازم برای تولید اشعه پرنرژی لیزر است که توانایی انجام حفاری را داشته باشد. نتایج طرح تحقیقاتی قبلی که توسط مؤسسه تکنولوژی گاز (GTI) منتشر شده است، نشان دهنده این امر است که میزان انرژی لازم برای شکستن یا پودر نمودن سنگ بسیار زیاد است.

یکی از مهمترین اهداف تحقیق جدید، اندازه‌گیری دقیق‌تر انرژی مورد نیاز برای انتقال اشعه از سطح زمین به قعر دریا است؛ بطوریکه بتوان همان توان موجود را در عمق ۱۰۰۰ متری زیر زمین نیز تولید کرد.

هدف دوم در این مطالعه، پاسخگویی به این سؤال است که: آیا فرستادن امواج لیزر با پالس‌های سریع می‌تواند سرعت نفوذ را در سنگ نسبت به حالت تابش پیوسته افزایش دهد؟ سؤال سوم این است که: در حضور سیالات حفاری، چه میزان انرژی برای نفوذ در سنگ‌ها مورد نیاز است؟ در اکثر مخازن، سیالاتی با چگالی زیاد به نام "گل حفاری" تزریق می‌گردد که وظیفه

شستشوی سنگ‌های خرد شده را به عهده دارند و از طرف دیگر آب را از سیالات هیدروکربنی با ارزش دور نگاه می‌دارند، تلاش محققان در راستای یافتن میزان انرژی لازم برای تبخیر کردن و دور نگاه داشتن این سیالات است.

در مرحله بعد، هدف پروژه بررسی راهکارهای دیگر برای استفاده از لیزر در حفاری است. به عنوان مثال، بعد از حفر یک چاه، حفره‌هایی در ساختار مخزن ایجاد می‌شود تا هیدروکربن‌ها به بیرون نفوذ کنند. هدف از این کار بررسی امکان ایجاد این حفره‌ها توسط لیزر است.

دولت فدرال آمریکا مبلغی در حدود پانصد هزار دلار و مؤسسه تحقیقاتی GTI، دویست و چهارده هزار دلار در این طرح مطالعاتی ۳ ساله سرمایه‌گذاری نموده‌اند. علاوه بر این دانشگاه‌ها، مؤسسات تحقیقاتی و سرویس‌های انرژی و نفتی دیگری نیز در این طرح تحقیقاتی مشارکت دارند.

دلایل استفاده از لیزر

مؤسسه تحقیقاتی GTI، علت استفاده از تکنولوژی لیزر و سرمایه‌گذاری در این زمینه را این چنین بیان می‌کند:

۱- تحقیقات وسیع صورت گرفته توسط ارتش آمریکا در مورد لیزرهای پرقدرت، پنجره‌ای از فرصت‌های فراوان را برای استفاده از این سرمایه‌ارزشمند می‌گشاید و زمینه این تجربه را در صنایع آمریکا در مقیاس تجاری فراهم می‌کند.

۲- تکنولوژی‌های کمکی، مانند فیبر نوری و Coiled Tubing به سطحی از پیشرفت رسیده‌اند که احتمال اقتصادی بودن استفاده از لیزر در حفاری نفت و گاز را افزایش می‌دهند. این مسئله خود عامل بسیار مهمی در تشویق صاحبان صنایع به سرمایه‌گذاری در این زمین هاست.

۲-۵- حفاری (TTRD (Through-tube rotary

این تکنیک حفاری شامل حفر چاه از طریق لوله تولید یک چاه قدیمی‌تر است. به دلیل اینکه نیازی به بیرون کشیدن لوله‌گذاری قدیمی از داخل زمین نیست، این تکنیک قابلیت صرفه‌جویی قابل توجهی را در هزینه حفاری دارد. پیش‌بینی شده است که این تکنیک تا ۱ میلیون دلار صرفه‌جویی اقتصادی به همراه دارد. این تکنولوژی توسط شرکت‌های ARCO و BP در میدان‌های نفتی North Slope روی چهار چاه انجام شده است.

نتیجه گیری:

[1] Measurement while drilling (MWD)
[2] Extended Reach Drilling (ERD)
 [3] Filter cake
 [4] Swab
 [5] Loss of circulation
 [6] Erosion of the borehole
 [7] Filtrate control
 [8] Water-based muds
 [9] Disperse
 [10] Non-dispersed
 [11] Chalk
 [12] Lignosulfonate
 [13] Tannic acid
 [14] Quebracho
 [15] Shale formations
 [16] Oil-based muds
 [17] Penetration rate
 [18] Low pore pressure formations
 [19] Packer fluids
 [20] Aerated muds
 [21] Stiff foam
 [22] Completion fluids
 [23] Mud clean-up equipment

[٢٤] Recirculation System

[٢٥] Shale shakers

[٢٦] Desilters

[٢٧] Mud tank

[٢٨] Swivel or Top Drive

[٢٩] Kelly

[٣٠] Kelly Saver Sub

[٣١] Tool Joints

[٣٢] conventional

[٣٣] Mobile rigs

[٣٤] Jack Knife

[٣٥] Portable Mast

[٣٦] Work over

[٣٧] Submersible

[٣٨] Semisubmersible

[٣٩] Self-contained platform

[٤٠] Jacket

[٤١] Casing

[٤٢] Running pipe

[٤٣] Derrick

[٤٤] Collapse load

[٤٥] Burst load

[٤٦] Tension load

[٤٧] Corrosion

[٤٨] Buckling resistance

[٤٩] Blowout preventers

[٥٠] Top drive

[٥١] Rotary table

[٥٢] Argonne National Laboratory

مرجع: