

انواع دستگاه‌های حفاری

The Rig Types

سعید علیزاده - کارشناس ارشد زمین‌شناسی نفت

مقدمه

مشخصات دستگاه‌های حفاری قدر، نصر و فتح به صورت زیر می‌باشد:

« دستگاه‌های حفاری قدر، مکانیکی بوده و نیروی مورد نیاز برای حرکت میز دوار (Rotary Table) به طریق مکانیکی از موتورها به آن انتقال داده می‌شود. از این دستگاه‌ها بیشتر برای تعمیر چاه‌ها (Workover) استفاده می‌شود.

« دستگاه‌های حفاری نصر، برقی بوده و از برق متناوب جهت حرکت میز دوار و گردونه حفاری (Draw works) استفاده می‌کنند. این نوع دستگاه فاقد اتاق SCR می‌باشد. در اتاق SCR جریان متناوب برق به جریان مستقیم تبدیل می‌شود.

« دستگاه‌های حفاری فتح، برقی بوده و از برق مستقیم جهت حرکت میز دوار و گردونه حفاری استفاده می‌کنند، لذا دارای اتاق SCR می‌باشند. دستگاه‌های حفاری فتح بهترین دستگاه‌های حفاری شرکت ملی حفاری محسوب می‌شوند.

صنعت حفاری نیازمند سرمایه‌گذاری زیادی است. شرکت‌های کوچک نفتی معمولاً در حفاری چاه‌های کم عمق و کم‌هزینه خشکی فعالند، درحالی‌که شرکت‌های بزرگ بیشتر در حفاری چاه‌های پرهزینه و با ارزش دریایی سرمایه‌گذاری می‌کنند. گاهی هزینه حفاری آنقدر بالاست که شرکت‌های بزرگ نیز به صورت گروهی در مناقصات شرکت می‌کنند تا ریسک هزینه سرمایه‌گذاری را کاهش دهند.

تقریباً تمامی دستگاه‌های حفاری از فناوری حفاری دورانی (Rotary Drilling) استفاده می‌کنند. در این روش چرخش رشته حفاری به مته منتقل می‌شود. گاهی از موتور درون چاهی جهت افزایش نرخ حفاری یا اهداف دیگر استفاده می‌شود. موتور با چرخش سیال حفاری به کار افتاده و بدون اینکه نیاز به چرخش رشته حفاری باشد، مته را می‌چرخاند. پیچیدگی عملیات حفاری میزان تنوع و جذابیت انواع دستگاه‌های حفاری را مشخص می‌کند. حفاری از خشکی شروع شده و به تدریج با افزایش نیاز بازار، به دریا توسعه یافته است. با وجود تفاوت‌های موجود در انواع دستگاه‌های حفاری، اجزای اصلی آنها فقط با کمی استثناء مشابه بوده و در همه آنها مشترک می‌باشند. دستگاه‌های حفاری در دو دسته زیر قرار می‌گیرند:

« دستگاه‌های حفاری خشکی (Land)

« دستگاه‌های حفاری دریایی (Offshore)

دستگاه‌های حفاری خشکی مشابه یکدیگرند، اما دستگاه‌های حفاری دریایی در ۵ گروه اصلی قرار می‌گیرند که هر کدام برای انطباق با محیط دریایی خاصی طراحی شده‌اند. شکل ۶ انواع دستگاه‌های حفاری را نشان می‌دهد. در شرکت ملی حفاری ایران، دستگاه‌های حفاری خشکی در سه رده طبقه‌بندی شده و با یک شماره مشخص می‌شوند مانند دستگاه حفاری ۵۰ فتح، دستگاه حفاری ۷۷ نصر و دستگاه حفاری ۱۳ قدر.



کشتی، سه‌گوش، چهارگوش یا به شکل نامنظم باشند، که با تعدادی تیر مشبک یا پایه لوله‌ای شکل (Leg) به کف دریا متصل می‌شوند. زمانی که دستگاه حفاری در حال یدک‌کشی به محل حفاری است، پایه‌ها بالا بوده و فقط کمی زیر عرشه هستند و دستگاه حفاری شبیه به یک جعبه در حال کشش است، لذا فقط در دریاها با عمق مناسب و آرام و با سرعت پایین قابل کشیده شدن هستند. به محض رسیدن به محل حفاری، پایه‌ها بوسیله جک‌های برقی یا هیدرولیکی پایین آورده می‌شوند تا به کف دریا رسیده و عرشه حدود ۶۰ فوت یا بیشتر بالای امواج تراز شود. بیشتر دستگاه‌های حفاری جک دو، سه، چهار یا پنج پایه دارند، اما



شکل ۱: دستگاه حفاری خشکی متعلق به شرکت حفاری شمال



شکل ۲: بارج



شکل ۳: دستگاه حفاری جک آپ، ایران خزر

(Substructure) در محل مناسب قرار گرفته و به وسیله خدمه دکل به همدیگر پین می‌شوند، سپس گردونه حفاری در محل خود قرار گرفته و قطعات دکل به صورت افقی خوابانده و به همدیگر متصل می‌شوند. در نهایت دکل بوسیله گردونه حفاری و کابل بالا بر افراشته می‌شود. یک دستگاه حفاری در حال کار در شکل ۱، نشان داده شده است. قدرت این دستگاه ۲۰۰۰ اسب بخار، توان تحمل دکل یک میلیون پوند بوده و جهت حفاری تا عمق ۷۰۰۰ متر طراحی شده است.

دستگاه‌های حفاری دریایی (Offshore Rigs)

« بارج Barge »

بارج (شکل ۲) یک شناور کم عمق با ته صاف است که در ابتدا برای عملیات در مناطق باتلاقی طراحی و به کار برده می‌شد. این نوع دستگاه حفاری می‌تواند در مناطق باتلاقی یا دلتای رودخانه‌ها در غرب آفریقا یا مناطق ساحلی دریاچه‌های کم عمق مانند دریاچه Maracaibo وزن و تلا فعالیت کند. بارج تا محل حفاری یدک کشیده شده و سپس وزنه‌هایی (Ballast) در آن قرار می‌گیرد تا سنگین شده و به ته باتلاق بچسبند. پس از اتمام عملیات حفاری وزنه‌ها رها شده و در نتیجه بارج شناور گردیده و می‌توان آن را به محل حفاری دیگری یدک کشید.

« دستگاه حفاری جک آپ (Jack up Rig) »

جک آپ، دستگاه حفاری متحرکی است که برای عملیات در آب‌های کم عمق (عموماً کمتر از ۳۵۰ فوت) طراحی شده‌اند. دستگاه‌های حفاری جک آپ، سکوهای حفاری بسیار پابرجایی هستند، زیرا به وسیله پایه‌ها به کف دریا متصل شده و مانند کشتی حفاری و سکوهای نیمه شناور به حرکات آب وابسته نیستند و دارای یک بدنه بارج گونه بوده که ممکن است شبیه به

دستگاه‌های حفاری خشکی (Land Rigs)

در گذشته، استفاده از دستگاه‌های حفاری ثابت مرسوم بود. پس از اتمام چاه، سازه فلزی دکل (Derrick or Mast) در محل چاه باقی می‌ماند. به دلیل هزینه بالای دکل، استفاده از این روش منسوخ شده و جای خود را به انواعی داده است که در آن، دکل به راحتی به صورت قطعات قابل حمل از یکدیگر جدا شده و در محل جدید مجدداً به یکدیگر متصل می‌گردد. مجموعه دستگاه حفاری و اردوگاه توسط ۱۲۰ تریلر به محل جدید منتقل می‌گردد.

پس از آنکه محل چاه تعیین شد، آماده سازی سایت آغاز می‌شود. سایت در ابعاد تقریبی ۲۰۰ × ۳۰۰ متر آماده شده، حوضچه پسماند سیال حفاری، گودال آتش، حوضچه ذخیره مواد گل و سایر بخش‌ها آماده می‌شوند. چاهک (Cellar) که یک گودال بتنی به ابعاد ۳/۵ × ۳/۶۵ و عمق ۲/۵ متر است، درست در زیر جایگاه قرار است دکل مستقر شود، ساخته می‌شود. اطراف چاهک، بتن‌ریزی و جهت خروج آب، کانال‌کشی می‌گردد. بقیه سطح سایت با شن (Gravel) فرش می‌گردد. به استثنای افراد کلیدی، اغلب پرسنل در اردوگاه اسکان دارند، لذا به فاصله مناسب و ایمن (چند کیلومتر) سطح زمین آماده و با شن فرش می‌شود. جاده‌های دسترسی به سایت و اردوگاه و خط لوله آب دستگاه حفاری احداث می‌شوند. اکنون دستگاه حفاری و اردوگاه آماده انتقال به محل است.

عمومی‌ترین آرایش برای یک دستگاه حفاری خشکی، یک دکل افراشته شده است که قطعات آن روی زمین به هم متصل شده و سپس با استفاده از نیروی گردونه حفاری (سیستم بالا بری) برافراشته (Rig Up) می‌شود. دکل از بخش‌های پیش ساخته‌ای که به وسیله پین‌های بزرگ و کوچک به یکدیگر بسته می‌شوند، تشکیل شده است. در ابتدا موتور و زیرسازه

سخت‌ترین شرایط آب وهوائی دریاست، اما این نوع از سکوها واقعاً غیرمتحرک می‌باشند.

احتمالاً در آب‌های کم عمق، سکوهای شمع شده به همه طرح‌های دیگر ترجیح داده می‌شوند، این نوع در آب‌های عمیق نیز قابل استفاده هستند. معمولاً جکت‌ها به صورت بخش‌های مجزا در خشکی ساخته شده، سپس آنها روی یک جکت شناور در خشکی یا در حوضچه تعمیر کشتی به هم متصل می‌شوند. پس از تکمیل، سازه به مقصد یدک کشیده شده، به وسیله تعدیل وزنه‌ها در مخازن شناورسازی کج شده، سپس قائم شده و در نهایت در روی نقطه مورد نظر در آب فرو می‌روند. سپس جکت شمع شده، سوپراستراکچر (Superstructure) و ساختمان‌ها یا اتاقک‌ها برافراشته شده و سکوی حفاری آماده عملیات می‌شود.

« سازه‌های وزنی Gravity Structures

سازه‌های وزنی از خانواده سازه‌های عمیق آبی هستند که معمولاً از بتون مسلح ساخته می‌شوند، اما ممکن است از فولاد یا ترکیبی از فولاد و بتون نیز ساخته شوند. این سازه‌ها به وسیله وزن خود را به کف دریا تکیه می‌دهند تا پایدار بمانند. بر خلاف سکوهای فولادی شمع شده، نسبتاً متحرک بوده و نیازی به شمع برای ثابت ماندن در محل مورد نظر ندارند. سازه‌های وزنی، گستره وسیعی از شرایط بستر آب را تحمل می‌کنند. علاوه بر توانایی حفاری توسعه‌ای و تولید، مزیت دیگر سازه‌های وزنی، امکان ذخیره نفت در سلول‌های ساختمانی سازه می‌باشد. این سازه‌ها شامل

ژرفای ۶۴ متر را دارد. قدرت گردونه حفاری آن ۲۰۰۰ اسب بخار و ظرفیت تحمل بار دکل آن نیز، یک میلیون پوند می‌باشد. این دستگاه در سال ۱۹۷۴ میلادی در کشور سنگاپور ساخته شده است.

دستگاه حفاری ایران خزر؛ این دستگاه در دریای خزر و متعلق به شرکت حفاری شمال می‌باشد. این دکل توسط شرکت صدرا ساخته شد و هم‌اکنون در ترکمنستان مشغول به حفاری است.

« سکوهای ثابت (Fixed Platforms)

بیشتر اوقات، بایستی بیش از یک چاه جهت بهره‌برداری از یک میدان دریایی حفاری شود. با یک سکوی ثابت حفاری ممکن است بیش از ۵۰ حلقه چاه حفاری شود. سکوهای ثابت توانایی حفاری در اعماق حداکثر ۱۰۰۰ فوتی آب دریا را دارند. دو نوع اساسی از سکوهای ثابت وجود دارد: سکوهای فولادی شمع شده و سازه‌های وزنی. ذیلاً به توضیح اجمالی این دو نوع سکوی حفاری می‌پردازیم.

« سکوهای فولادی شمع شده Piled Steel Platforms

سکوهای حفاری و تولیدی مرسوم بوده و صدها عدد از آنها در قسمتهای مختلف دنیا نصب شده‌اند. پیکربندی استاندارد آنها (شکل ۳) شامل یک جکت (Jacket) فولادی است که به وسیله شمع‌های فولادی به کف دریا بین شده و یک عرشه فولادی بالای آب که تجهیزات، اتاقک‌ها یا کمپ، یک یا چند دستگاه حفاری و سکوی هلیکوپتر را پشتیبانی می‌کند. مزیت سکوهای فولادی شمع شده، پایداری زیاد در

تعداد کمی از مدل‌های اولیه ۸ یا ۱۰ پایه داشته و یکی از آنها ۱۴ پایه داشته است. پایه‌ها به صورت عمودی بوده و گاهی جهت پایداری بیشتر کمی کج شده‌اند. در یک طراحی، پایه‌ها روی یک کف پوش در کف دریا قرار گرفته است (Mat-supported jack up). در یک طرف عرشه معمولاً یک شیار حفاری وجود دارد، اما در بعضی از آنها، دکل به صورت یک تیرک پیش آمده (Cantilever) در یک سمت عرشه است.

اشکال عمده دستگاه‌های حفاری جک آپ، آسیب‌پذیری آنها در زمان جابه‌جایی است، اما از سایر دستگاه‌های حفاری متحرک، ارزاتر می‌باشند. نزدیک به نیمی از ناوگان دستگاه‌های حفاری دریایی جهان از نوع جک آپ بوده و تعدادی از آنها دارای سیستم خود جلوبهر نیز هستند. مهمترین دستگاه‌های حفاری جک آپ شرکت ملی نفت ایران به شرح زیر می‌باشند و همگی دارای سه پایه قائم مستقل هستند:

- دستگاه حفاری شهید رجایی در خلیج فارس؛ این دستگاه متعلق به شرکت ملی حفاری ایران بوده و ساخت هیتاچی ژاپن (۱۹۸۴ میلادی) است. دستگاه شهید رجایی در آب‌های ۹۰ متری قادر به حفاری تا عمق ۷۵۰۰ متر می‌باشد. قدرت گردونه حفاری آن ۳۰۰۰ اسب بخار و دکل آن توان تحمل فشار به میزان ۱/۳ میلیون پوند را دارا می‌باشد.

- دستگاه حفاری شهید مدرس در خلیج فارس؛ این دستگاه نیز متعلق به شرکت ملی حفاری ایران می‌باشد و به تازگی به روز رسانی شده است. دستگاه شهید مدرس توانایی حفاری تا عمق ۶۰۰۰ متر در آب‌های به





شکل ۵: نمونه‌ای از دستگاه حفاری نیمه شناور

موقعیت یا خود جلویی است. تعدادی از دستگاه‌های نیمه‌شناور، در قسمت پایین؛ یک جفت از ستون‌های پایدار کننده، پانتون یا صندوق‌های مخصوص دارند. آرایش عمومی آنها شامل ۸ ستون (۴ عدد ستون‌های پایدار کننده و ۴ عدد ستون‌های میانه) و دو بدنه یا ستون که برای بالاست کردن و همچنین منبع تغذیه استفاده می‌شود. دستگاه حفاری امیر کبیر (ایران البرز سابق) متعلق به شرکت نفت خزر تنها دستگاه نیمه‌شناور کشور است (شکل ۵). این دستگاه توسط شرکت صدرا ساخته شده است.

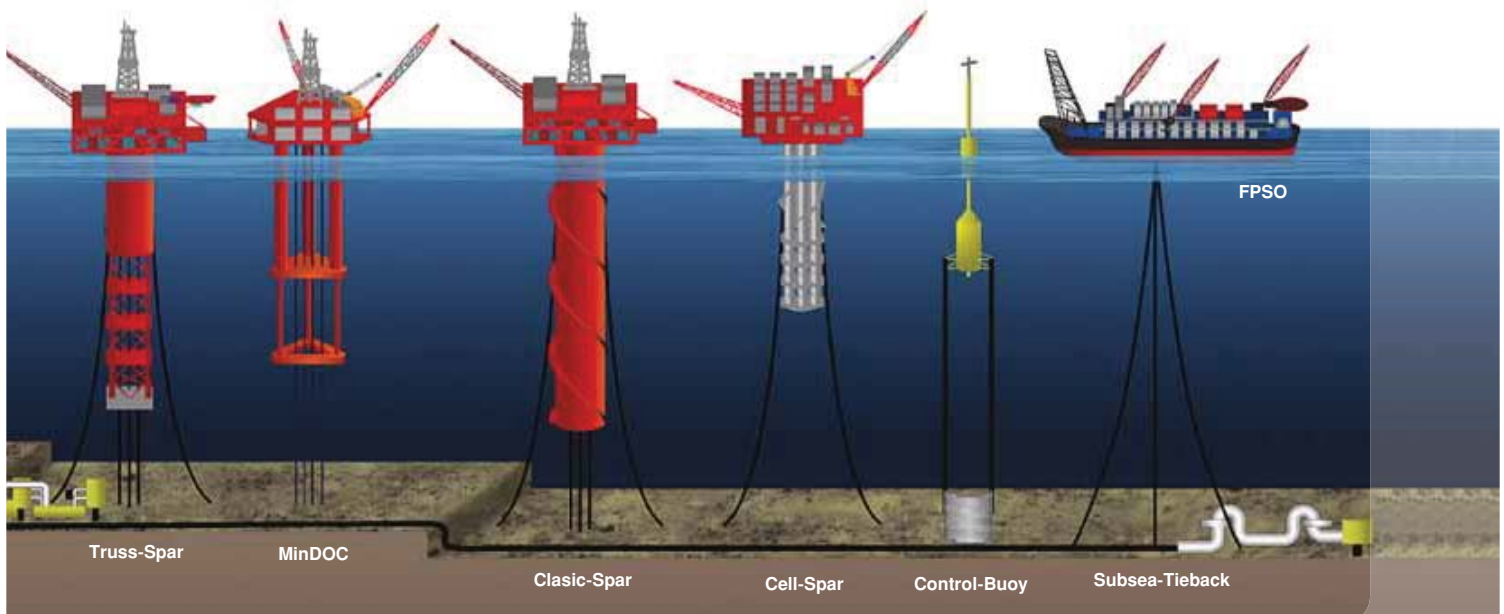
۵- کشتی حفاری (Drill Ship)

کشتی حفاری؛ نوعی کشتی یا شناور است که برای حفاری در آب‌های عمیق ساخته شده یا تغییر کاربری داده شده است. کشتی‌های حفاری قابلیت جابه‌جایی بیشتری نسبت به دستگاه‌های حفاری جک آپ و نیمه شناور دارند اما هنگام حفاری به اندازه آنها پایدار نیستند. برتری آنها در قابلیت حفاری در تقریباً همه اعماق است. بسیاری از آنها لنگر انداخته، اما کشتی‌های مدرن، با ابزار دینامیکی خاصی در موقعیت حفاری (چاه) ثابت نگه داشته می‌شوند. ظرفیت ذخیره‌سازی و قابلیت جابه‌جایی آنها در مقایسه با انواع دیگر دستگاه‌های حفاری، تدارک مستقل و عدم نیاز به کشتی‌های تدارکاتی (Supply Boat) و امکان حفر چاه‌های عمیق‌تر از مزایای کشتی حفاری است. شیار حفاری (Moon Pool) موجود در مرکز ثقل کشتی است و دکل مستقر روی آن نمای متمایزی به کشتی حفاری می‌دهد (شکل ۴).

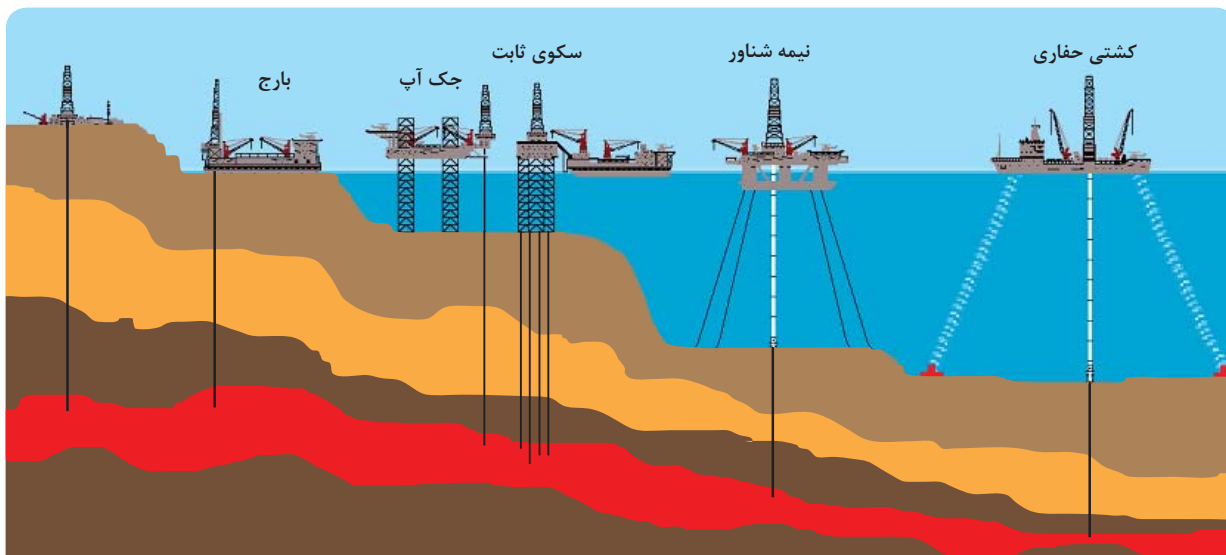
بتون سلولی، یا پایه فولادی برای ذخیره یا بالاست (Ballast) می‌باشند. ستون عمودی جهت استقرار عرشه‌های فولادی و بالابرها و محل استراحت (اتاقک‌های جداشدنی) از دیگر بخش‌های این سکو می‌باشند. ساخت بخش بتونی در حوضچه آغاز شده و زمانی که چهارچوب اصلی ساخته شد، حوضچه از آب پر شده و به آب‌های عمیق‌تر یدک کشیده می‌شود. در آنجا چهارچوب موجود تکمیل شده، برج‌ها تشکیل شده و عرشه نصب می‌شود. قطعات سازه‌های وزنی شبیه به سازه‌های فولادی شمع شده به هم متصل می‌شوند. قطعات به محل مورد نظر یدک کشیده شده و به صورت قائم و با استفاده از وزنه‌ها (بالاست) به صورت کنترل شده به پایین فرستاده می‌شوند تا به کف دریا برسند. سپس اتاقک‌ها در محل خود روی عرشه نصب شده و ثابت می‌شوند. اکنون سکو آماده عملیات حفاری است. به طور کلی چند پیکربندی از سازه‌های وزنی وجود دارد که بنا به درخواست کارفرما ساخته می‌شوند.

۴- دستگاه‌های حفاری نیمه‌شناور (Semi-submersible)

این نوع دستگاه حفاری به صورت نیمه شناور می‌باشد و شامل بدنه یا اتاقکی صندوق گونه بوده که تعدادی از ستون‌های عمودی پایدار کننده را حمل می‌نمایند و دارای یک عرشه ثابت شده، دکل حفاری و تجهیزات وابسته می‌باشد. عمق معمول فعالیت دستگاه‌های حفاری نیمه‌شناور در آب‌های ۶۰۰ فوتی بوده ولی نسل‌های جدید در اعماق ۱۵۰۰-۱۰۰۰ فوت نیز قادر به فعالیت هستند. به طور استثنایی از این دستگاه‌ها در اعماق ۱۳۰۰۰ فوتی نیز استفاده شده است. پایه‌ها آنقدر شناوری به سیستم می‌دهند تا بتواند در آب شناور بماند و از طرفی آنقدر سنگین هستند که بتوانند سیستم را به صورت قائم نگاه دارند. این نوع سکو معمولاً توسط ۱۲ تا ۱۴ لنگر و زنجیر یا کابل فلزی بسیار قوی که توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند، به کف دریا متصل می‌گردد. دستگاه‌های حفاری نیمه‌شناور که به طور خلاصه Semisub یا Semi نامیده می‌شوند، بسته به نوع تجهیزات به کار رفته و طراحی آن می‌توانند برای حفاری، تعمیر چاه و یا تولید به کار روند. اصولاً دستگاه‌های حفاری نیمه شناور در جابه‌جا شدن، پیکربندی بدنه و تعداد ستون‌های پایدار کننده متفاوت‌اند. اغلب انواع پیشرفته یک بدنه چهار گوش داشته، تعداد کمی صلیبی شکل بوده و بقیه پنج گوش هستند. در حالیکه تعدادی از دستگاه‌های کوچکتر، بدنه‌ای سه گوش دارند. آرایش معمول بدنه شامل یک جفت پانتون (اسکله شناور) چهار گوش گرد شده یا لبه‌دار و House thrusters برای تثبیت



شکل ۷: نمونه‌ای از دستگاه‌های حفاری در آب‌های عمیق



شکل ۶: انواع دستگاه‌های حفاری

منابع:

- 1: Bourgoyne, A. T., 1991, Applied Drilling Engineering, SPE, 502pp.
- 2: Davis, L.D., 1995, the Rotary Rig and its Components, Austin Texas University Publications, in Cooperation with IADC, 143 p.
- 3: IADC Drilling Manual, 2000, International Association of Drilling Contractors, 1463p.
- 4: Gabolde, G. and Nguyen, 1999, Drilling Data Handbook, 7th edition, Editions Technip, 600p.
- 5: Seubert, B. W., 1995, the Wellsite Guide, an Introduction to Geological Wellsite Operations.
- 6: www.rigzone.com

۸: علیزاده، س.، ۱۳۸۹، چگونه یک چاه حفاری و تکمیل می‌شود؟، نشریه سفیر امید، شماره ۲.

۹: وب سایت شرکت ملی حفاری ایران، شرکت حفاری شمال و شرکت نفت خزر

مفهوم اختصارات به کار رفته در شکل ۷:

- CB : Control Buoy
- DDCD : Deep Draft Caisson Vessel
- DDF : Deep Draft Floater
- DDS : Deep Draft Semi
- FDP SO : Floating Drilling, Production, Storage and Offloading syasem
- FPSO : Floating Production, Storage and Offloading system
- MinDOC : Cross between a semi submersible and a truss spar
- MODU : Mobil Offshore Drilling Unit
- Semi-FPU : Semi-Submersible Floating Production Unit
- TLP : Tension Leg Platform

