



چگونه یک چاه حفاری و تکمیل می‌شود؟

نویسنده: سعیدعلیزاده (کارشناس مدیریت R&D)

آماده‌سازی سایت، برپایی دستگاه حفاری و کمپ پس از آنکه محل چاه تعیین و مختصات چاه اعلام شد، آماده سازی سایت (Site Preparation) آغاز می‌شود. سایت در ابعاد تقریبی ۲۰۰ در ۳۰۰ متر (۶ هکتار) 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 ۳×۳ و عمق ۲/۵ متر است درست در زیر جاییکه قرار است دکل مستقر شود، ساخته می‌شود. اطراف چاهک که محل قرار گیری زیرسازه (Substructure) و پمپهای گل است، بتن ریزی و جهت خروج آب، کانال کشی می‌گردد. بقیه سطح سایت با شن (Gravel) فرش می‌گردد. به استثنای افراد کلیدی (Key Personnel) اغلب پرسنل در اردوگاه اسکان دارند. لذا به فاصله مناسب و ایمنی (مثلاً ۲ کیلومتر) سطح زمین آماده و مشابه سایت، با شن فرش می‌شود. جاده‌های دسترسی به سایت و اردوگاه کشیده شده و خط لوله تامین آب دستگاه حفاری (جهت شستشوی دکل و ساخت گل) کشیده می‌شود. اکنون دستگاه حفاری و اردوگاه آماده انتقال به محل است. مجموعه دستگاه حفاری و اردوگاه تکه تکه شده و بوسیله حدود ۱۲۰ تریلی ۱۸ چرخ به محل منتقل می‌شوند. در ابتدا اردوگاه برپا شده و سپس دستگاه حفاری برپا می‌شود. فرآیند برپایی حدود یک هفته به طول می‌انجامد. پس از برپایی (Rig up) دستگاه حفاری spud شده و آماده حفاری می‌گردد.

پرسنل و تنظیم شیفت‌ها

صنعت حفاری بدون وقفه و طی شبانه روز انجام می‌گردد. هر شیفت کاری ۱۲ ساعته بوده و پرسنل بایستی پس از ۱۴ روز ترخیص شده و مجدداً پس از ۱۴ روز استراحت در منزل، به محل کار خود بازگردند. این نوع کار (۱۴ روز کار، ۱۴ روز استراحت) مشابه وضعیت ماه (قمر) از هلال به قرص کامل بوده و در ایران به اقماری مشهور است. لذا برای اغلب سمت‌ها ۴ نفر وجود دارد. پرسنل یک دستگاه حفاری خشکی در جدول ۱ ارائه شده است. در دستگاههای حفاری دریایی این پرسنل تغییراتی دارند. به عنوان مثال پرسنل کشتی‌ها، بارج‌من، اتاق رادیو و ... اضافه شده و به جای کارگران گل و کمک صنعتگر، تعدادی رستاباد (Roustabout) به کار گرفته می‌شوند.



ردیف	عنوان سمت		بخش مربوطه	تعداد
	انگلیسی	فارسی		
۲	Company Representative	ناظر کارفرما	واحد نظارتی	۱
۱	Drilling Engineer	مهندس حفاری	کارفرما	۲
۱	Tool Pusher	رئیس دستگاه	بخش عملیات	۳
۱	Night T.P	سرحفار		۴
۲	Driller	حفار		۵
۲	Assistant Driller	کمک حفار		۶
۴	Derrick Man	دکلان		۷
۶	Rough Neck	سکویان		۸
۳	Wash Coolie	کمک صنعتگر		۹
۱	Mud Enginner	گلشناس		۱۰
۱	Night M.E.	گلشناس شبکار		۱۱
۴	-	آزمایشگر	بخش گلشناسی	۱۲
حدود ۳۰	Mud Coolie	کارگر گل	۱۳	
۲	Shaker Man	کارگر الک لرزان	۱۴	
۲	Geologist	زمین شناس	بخش زمین شناسی	۱۵
۱	Slide Maker	تکنسین مقاطع نازک		۱۶
۲	Sample Catcher	نمونه گیر		۱۷
۲	Data Design	مهندس اطلاعات	نمودار گیری سطحی	۱۸
۲	Mud Logger	گلنگار		۱۹
۱	Cheif Mechanic	مکانیک ارشد	بخش مکانیک	۲۰
۱	Mechanic	مکانیک ۲		۲۱
۴	-	موتور من		۲۲
۱	Cheif Electrician	برقکار ارشد	بخش برق	۲۳
۱	Electrician	برقکار ۲		۲۴
۱	HSE Officer	افسر ایمنی	۲۵	
۱	H ₂ S Man	-	۲۶	
۱	Chementing Operator	اپراتور سیمانکاری	۲۷	
۲	Directional Driller	حفار کج	۲۸	
۲	MWD Man	-	۲۹	
۱	Camp Boss	رئیس اردوگاه	۳۰	
۱	Physician	پزشک	۳۱	
حدود ۳۰	آشپزخانه، نگهبان، خدمات، راننده و...		سایر پرسنل	۳۲
۱۱۶	جمع پرسنل (نفر)			

جدول ۱: پرسنل دستگاه حفاری خشکی

سرویسهای مورد نیاز

حفاری صنعتی خطرناک، پرهزینه، تخصصی و راهبردی است. بی شک صنعت عظیم حفاری اولین حلقه از صنعت اصلی کشور به شمار می رود. برای اینکه هیدروکربن از سنگ مخزن زیرزمینی به سطح زمین برسد، علاوه بر حفاری، خدمات مختلفی مورد نیاز است. شرکتهای ارائه کننده این خدمات که Service Company نامیده می شوند، متناسب با نوع خدماتی که ارائه می کنند، هر کدام در مقطعی خاص به کار گرفته می شوند. برخی از خدمات نظیر سیالات حفاری جزو لاینفک دستگاه حفاری بوده و همواره مورد نیاز است. برخی از خدمات ممکن است تنها در زمان حفاری به کار برده شوند نظیر زمین شناسی و نمودارگیری سطحی. برخی از خدمات نیز تنها در روزها یا ساعات خاصی به کار می روند نظیر چاه پیمایی. خدمات اصلی مورد نیاز برای یک چاه در جدول ۲ ارائه شده است. بسته به نوع چاه و قرارداد، ممکن است تعدادی از این خدمات به کار برده نشوند.

شرکتهای حفار

پس از ملی شدن صنعت نفت (۱۳۲۹ هجری شمسی)، صنعت حفاری همچنان در اختیار چند شرکت خارجی باقی ماند. با فرمان رهبر کبیر انقلاب حضرت امام خمینی (ره) در اول دیماه ۱۳۵۸ عملاً این بخش مهم از صنعت نفت، نیز ملی شد. هم اکنون شرکت ملی حفاری ایران با ۶۰ دستگاه حفاری در خشکی (کلاسهای قدر، نصر و فتح) و دریا (رجایی، مدرس، مورب) و تعدادی دستگاه حفاری استیجاری (مانند ساگا دریل ۱ و ۲)، ۹۰ درصد صنعت حفاری کشور و خدمات آنرا در ۱۰ استان نفتخیز کشور در اختیار دارد. پس از آن شرکت حفاری شمال با ۲



نوع اندازه گیری	هدف	جزئیات
مقاومتی	تطابق و ارزیابی هیدرو کربن	HRLA (High Resolution Laterolog)
Microresistivity	تشخیص مقاومت منطقه شسته شده، تشخیص لایه نازک	MSFL(High Resolution)
پرتو گاما	تطابق، رخساره و نوع رس	(NGT) طیف نگار پرتو گامای طبیعی
چگالی	تطابق لرزه‌ای و تخلخل / سنگ شناسی	TLD, Three Lithology Detectors with PEF (High Resolution)
نوترون	تخلخل / سنگ شناسی	HGNS, High Integrated Gamma Ray Neutron Sonde
صوتی	تطابق لرزه‌ای / خصوصیات مکانیک سنگ	Sonic Scanner
فشار سازند	تشخیص گرادیان سیالات و مکان ممکنه سطوح سیالات	MDT
نمودارهای تصویری	تهیه اطلاعات برای گسلش مخزن و اطلاعات رسوبی	FMI
نمونه‌های سیالات	تشخیص نوع سیال و خواص آن	PVT Quality Sample Chambers
VSP	تهیه اطلاعات برای اتصال چاه با اطلاعات لرزه‌ای	-

جدول ۳- نمونه نمودارهای مورد استفاده در مخزن

Production Casing و Liner. پس از راندن لوله جداری، حفاری با اندازه مته کوچکتر تا راندن لوله جداری بعدی ادامه می‌یابد. در هر مقطع حفاری، خصوصیات سیال حفاری تغییر می‌نماید. سیال حفاری از بخشهای مهم حفاری بوده و خصوصیات آن از قبیل وزن هیدروستاتیک، اسیدیته، گرانروی، نقطه واروی، درصد ذرات جامد، دما و ... مدام توسط گلشناس کنترل می‌شود. سیال ورودی به چاه بایستی خصوصیات ویژه‌ای داشته باشد تا بتواند وظایف خود را به انجام برساند. خصوصیات این سیال هنگام خروج از چاه تغییر می‌کند. خرده‌سنگهای سازند حفاری شده (Cutting) و گازهای وارد شده طی چند مرحله از سیال حفاری جدا می‌شوند. سپس خصوصیات سیال به وضعیت قبلی خود برگردانده شده (Treatment) و مجدداً توسط پمپها به درون چاه فرستاده می‌شود. سیال حفاری گران بوده و لذا در یک سیستم بسته جریان داشته و دور ریخته نمی‌شود. مهمترین کاربردهای سیال حفاری:

- تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده‌های حفاری به سطح زمین
- خنک و روان کردن مته و رشته حفاری
- اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش آن
- کنترل فشارهای زیرزمینی
- معلق نگه داشتن خرده سنگها و مواد وزن‌افزای گل هنگام خاموشی پمپها

مشخصات کلی چاه و سرویسهای مورد نیاز نظیر نمودارگیری سطحی، نمودارگیری الکتریکی، مغزه‌گیری، برنامه تست چاه، برنامه تکمیل چاه، راههای دسترسی به سایت، نحوه تامین آب مورد نیاز برای حفاری و ... پیش‌بینی می‌شود. حفاری ترجیحاً طبق برنامه شروع شده و حسب شرایط زمین شناسی منطقه و چاه، ممکن است تغییرات جزئی و کلی نماید. این تغییرات در چاههای توسعه‌ای کمتر و در چاههای اکتشافی زیاد خواهد بود. حفاری به صورت تلسکوپی بوده بدین معنی که پس از هر بار جداره‌گذاری، ادامه حفاری با مته کوچکتر (قطر کمتر) ادامه می‌یابد. در هر مقطع حفاری، با تجهیزات درون چاهی خاص خود ادامه می‌یابد. پس از پایان حفاری هر مقطع، چاه تمیز شده (Circulation) و رشته جداری از سطح تا عمق حفاری رانده شده و با تزریق سیمان به پشت جداری، چاه ایمن و جداری تثبیت می‌شود. از لوله‌های جداری جهت حفاظت از آلودگی آبهای زیرزمینی، جداسازی سازندهای پر فشار و کم فشار و نیز حفاری ایمن چاه استفاده می‌شود. جداره گذاری از بخشهای پر هزینه حفاری بوده و حدوداً ۲۰ درصد هزینه کل حفاری یک چاه را به خود اختصاص می‌دهد. لوله‌های جداری به پنج نوع تقسیم می‌شوند: Conductor Casing, Surface Casing, Intermediate Casing,

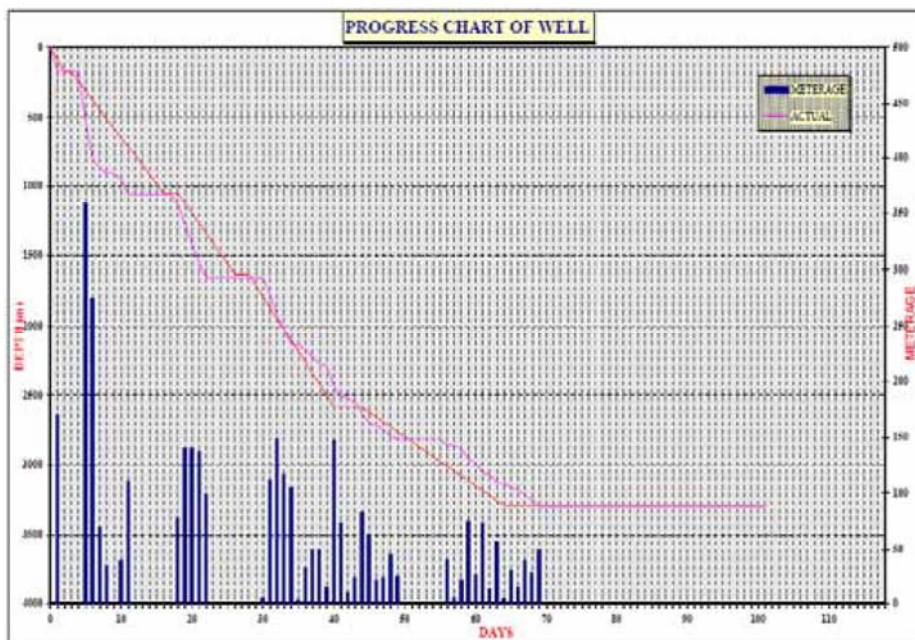
دستگاه حفاری دریایی ایران خزر و ایران البرز و ۸ دستگاه حفاری در خشکی، در رتبه دوم جای دارد. تعدادی دیگر از شرکت‌های تابعه شرکت نفت نظیر شرکت پیرا حفاری ایران و شرکت نفت فلات قاره نیز بخش کوچکتري از صنعت حفاری را در اختیار دارند. در سالهای اخیر بخش خصوصی نیز با پیشرفتی قابل ملاحظه در حال توسعه است. تعدادی از این شرکتها دارای دستگاه حفاری و یا تجهیزات مورد نیاز برای سرویسهای حفاری می‌باشند. شرکتهای پتروهورتاش، سپنتا، نفتکاو، پدکس، دانا انرژی، اورینتال، آسماری از شرکت‌های فعال در این زمینه می‌باشند. همچنین بخش خصوصی در بخش تامین نیرو (Man Power) نیز حضوری فعال دارد.

عملیات حفاری

قبل از حفاری، برنامه پیش‌بینی زمین شناسی (Geology Forecast) چاه تهیه می‌شود. بر اساس این برنامه، پیش‌بینی حفاری (Drilling Forecast) نیز تهیه می‌گردد. در این برنامه‌ها، عمق، ضخامت و سنگ‌شناسی (Lithology) لایه‌های مختلف زمین، فشار لایه‌ها، نوع و خصوصیات سیال حفاری، انواع رشته‌های جداری (Casing) و آستری (Liner) و عمق راندن آنها، قطر چاه و برنامه مته، مشخصات رشته حفاری و تجهیزات درون چاهی (Bottom Hole assembly)، برنامه سیمان، خطرات احتمالی،

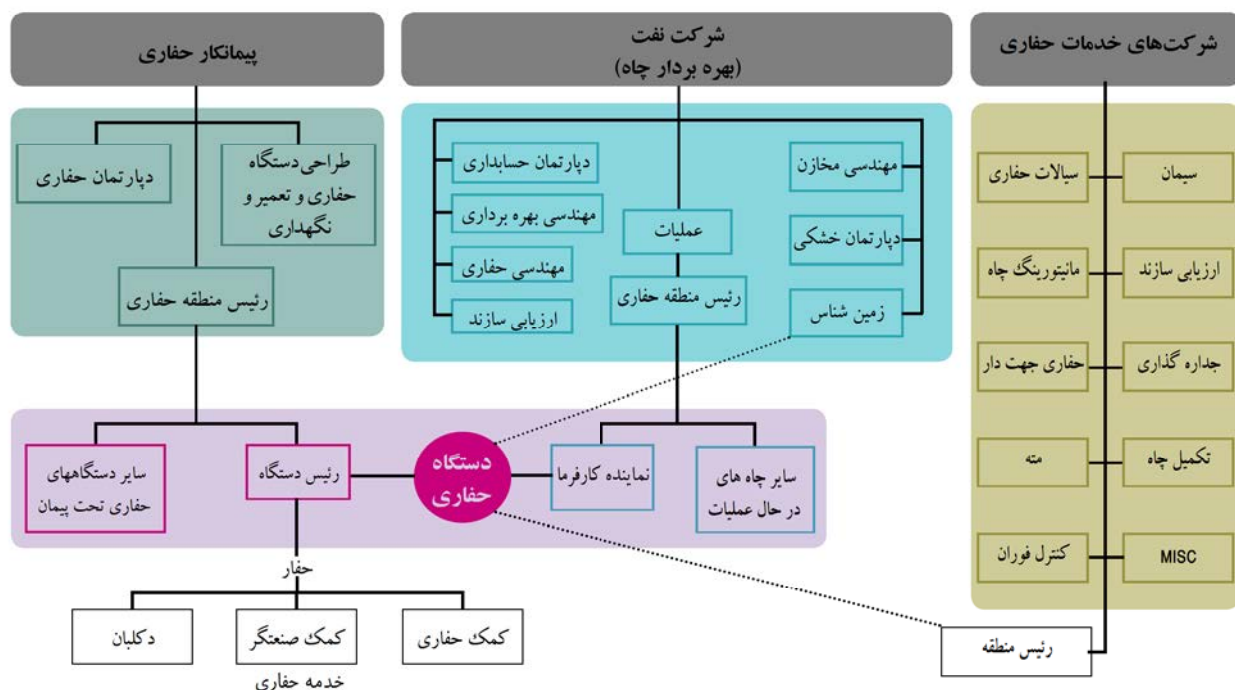
- بسته به شرایط، چاه تکمیل می‌شود. تکمیل چاه (Well Completion) خود فرآیند پیچیده‌ای است و به روشهای مختلفی انجام می‌گردد. در یک روش، رشته آستری ۱۷ اینچ به درون چاه رانده و سیمان به پشت آن تزریق می‌شود. بر خلاف جداری، لوله‌های آستری تا سطح زمین نرسیده و معمولاً ۱۵۰ متر بالای پاشنه (Shoe) آخرین جداری آویزان (Hang) می‌شود. فواصل عمقی مورد نظر طی فرآیند مشبک کاری (Perforation) سوراخ می‌شود. هیدروکربن از طریق سوراخهای ایجاد شده در آستری به درون چاه جریان خواهد یافت. رشته تکمیلی (Completion String) به درون چاه رانده شده و درخت کریسمس (Christmas Tree) در بالای چاه (روی Well Head) نصب می‌شود. چاه تست شده و نتایج آن ثبت و بررسی می‌شود. اکنون چاه آماده بهره‌برداری است و دستگاه حفاری آماده ترخیص است.

- تحمل بخش از وزن رشته حفاری و لوله‌های جداری
- کاهش ضایعات وارد بر سازندهای مجاور چاه
- انتقال توران هیدرولیکی پمپها به مته و موتورهای درون چاهی
- کاهش خوردگی ادوات و لوله‌های حفاری



شکل ۱: زمان‌بندی واقعی و پیش‌بینی یکی از چاه‌های پارس جنوبی

- انتقال اطلاعات سازندها به سطح زمین
- هنگامی که چاه به عمق نهایی (Final Depth) رسید، حفاری متوقف شده و چاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی چاه روشهای مختلفی وجود دارد. راندن ابزار نمودارگیری (Sonde) به درون که نمودارگیری الکتریکی یا چاه‌یمایی (Well Logging) نامیده می‌شود یکی از روشهای اصلی و ثابت است. با استفاده از نمودارگیری، بسیاری از ابهامات چاه روشن شده، خصوصیات سنگ مخزن و زونهای بهره‌ده مشخص می‌گردد. ممکن است عملیات تکمیلی دیگری نیز برای پاسخ به برخی سوالات انجام شود. مغزه‌گیری (Coring)، لایه‌آزمایی، VSP و MDT نمونه‌هایی از این امور است. پس از ارزیابی مخزن،



شکل ۱: ارتباط بخش‌های مختلف حفاری

شرح خدمات	نوع سرویس		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
مانیتورینگ حفاری، اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای حفاری، سیال حفاری، گازهای خطرناک غیرهیدروکربنی ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}$) و هیدروکربنی (C1-C5)، پیش‌بینی حالات خطرناک، ارائه مشاوره به ناظر کارفرما	Mud Logging	نمودارگیری سطحی	۱
تهیه و درمان سیالات حفاری و مواد آن، از آغاز حفاری تا تکمیل چاه، درون چاه با سیال حفاری پر است. سیال حفاری علاوه بر ارسال اطلاعات مختلف از درون چاه، مته و رشته حفاری را خنک کرده و خرده‌های حفاری را به سطح زمین می‌آورد. نیز موجب ایمن شدن چاه و جلوگیری از فوران می‌شود.	Drilling Fluids	سیالات حفاری	۲
گردآوری و توصیف خرده‌های حفاری و مغزه، اعلام نقاط جداره‌گذاری و مغزه‌گیری، تعیین سرسازندها، ارائه مشاوره به ناظر کارفرما	Geology	زمین‌شناسی	۳
تعیین پارامترهای پتروفیزیکی (تخلخل، اشباع سیالات، ضخامت مفید و کل، ستون هیدروکربن و...)، تعیین سنگ‌شناسی، ارزیابی سیمان پشت لوله‌های جداری و آستری، سطوح تماس سیالات و...	Well Logging	نمودارگیری الکتریکی	۴
سیمانکاری لوله‌های جداری و آستری، تزریق سیمان، سیمانکاری متعادل، مجرا بند سیمانی، پمپاژ دیگر سیالات به درون چاه، آزمایش BOP و سایر وسایل درون چاهی و سطحی، کنترل فوران و اطفای حریق چاهها	Cementing	سیمانکاری	۵
راندن لوله‌های جداری، آستری و مغزی	Casing	جداره‌گذاری	۶
اسیدکاری چاه‌های در حال تولید، تزریق‌پذیری چاه‌ها، تزریق مواد ضد خوردگی دوره‌ای چاه‌های در حال تولید، آزمایش خطوط لوله، کشتن چاه، تزریق نیتروژن	Acidizing, Nitrogen Injection	اسیدکاری، تزریق نیتروژن	۷
حفاری غیر قائم با استفاده از فن خاص و طبق برنامه از پیش تعیین شده که علاوه بر تجهیزات معمول از دستگاه‌های MWD و موتور درون چاهی نیز استفاده می‌شود.	Directional Drilling	حفاری جهتدار	۸
کنترل مسیر چاه (آزموت و زاویه انحراف) جهت رسیدن به هدف در حفاری غیر قائم	Measurement While Drilling	جهت‌یابی حین حفاری	۹
با کم کردن وزن هیدرواستاتیک سیال حفاری از طریق گازدار کردن یا سبک کردن سیال حفاری، فشار ته چاهی کمتر از فشار ته مخزن نگه داشته شده و همزمان با حفاری مخزن، تولید نیز صورت می‌پذیرد.	Under balanced Drilling	حفاری فروتعادلی	۱۰
جایگزین دستگاه‌های حفاری تعمیراتی جهت اسیدکاری و انگیزش چاه، فرازآوری چاه با نیتروژن، رفع مانع، جابه‌جایی سیال ستون چاه، پلاک سیمانی، حفاری با موتور درون چاهی، مانده‌یابی و نمودارگیری	Coiled Tubing	لوله مغزی سیار	۱۱
مشبک کاری لوله‌های جداری یا آستری برای تولید نفت	Perforation	مشبک کاری	۱۲
گرفتن نمونه پیوسته از سنگ مخزن (به جای خرده‌های حفاری) جهت مطالعات دقیق زمین‌شناسی و خصوصیات سنگ مخزن و سیالات آن از نظر پارامترهای پتروفیزیکی و ...	Coring	مغزه‌گیری	۱۳
مانده‌یابی ابزارآلات و تجهیزاتی که درون چاه گیر کرده یا افتاده است	Fishing	مانده‌یابی	۱۴
چاه‌پیمایی حین حفاری بدون آنکه نیاز به توقف حفاری و خارج کردن رشته حفاری باشد	Logging While Drilling	نمودارگیری حین حفاری	۱۵
تکمیل چاه به منظور تولید با تکنیکهای مختلف با توجه به شرایط چاه و مخزن از طریق راندن رشته تولیدی	Well Completion	تکمیل چاه	۱۶
ارائه خدمات به دستگاه‌های حفاری و چاه‌های بهره‌بردار، تعمیر وسایل و تجهیزات سرچاهی بویژه هنگام جداره‌گذاری و تکمیل چاه	Well Head	تاج چاه	۱۷
ایمنی پرسنل و تجهیزات، بهداشت محیط کار و نظارت بر رعایت استانداردهای زیست محیطی	Health, Safety, Environment	ایمنی بهداشت محیط زیست	۱۸
کنترل، مقابله با گاز هیدروژن سولفور و آموزش پرسنل	H ₂ S Services	-	۱۹

جدول ۲: خدمات اصلی حفاری