

## روش‌های حفاری در آب‌های عمیق

مریم حسین پور (عضو بنیاد ملی نخبگان ایران، عضو انجمن ژئوفیزیک ایران (دانشگاه تهران)، شاغل نفت خزر، فارغ التحصیل دانشگاه خوارزمی تهران)

### چکیده

حفاری در آب‌های عمیق، شرایطی کاملاً متفاوت نسبت به حفاری در آب‌های کم عمق یا خشکی دارد و ورود ایران به این عرصه با توجه به فعالیت تعداد محدودی از کشورهای صاحب نام در حوزه آب‌های عمیق، موفقیتی بزرگ محسوب می‌شود. در این پروژه سعی شده است که آشنایی اجمالی با روش‌های حفاری در آب‌های عمیق ایجاد شود، همچنین در انتهای این پروژه، تحلیلی با استفاده از نظرات برخی از کارشناسان در مورد به کارگیری این روش - ها ارائه می‌گردد.

### تاریخچه حفاری و تولید در دریا

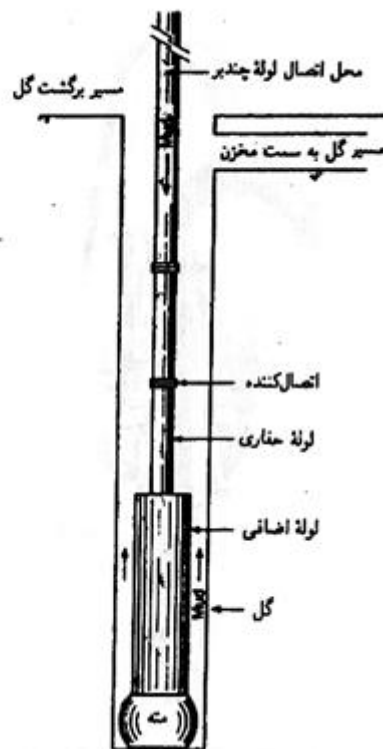
پدیدار شدن عملیتهای نفتی در دریا ابعاد تازه ای را بر صنعت اکتشاف و تولید نفت گشود. در این میان کسانی که درگیر پروژه های عظیمی همچون حفاری در آب‌های بسیار عمیق دریاها و ساختن شهرکهای دریایی می باشند در خود احساس غرور و کمال می نمایند. امروزه در هر گوشه دنیا تأسیسات نصب شده در دریا با ظرفیتهای زیاد و در اعماق بسیار بالای آب مشغول به فعالیت و تولید گاز و نفت می باشند. در این میان و در شرایط بد جوی در دریا و با وجود شرایطی همچون گردبادهای شدید، زمین لرزه، توده های یخ، جزر و مدهای شدید و جریانهای شدید دریا، این تأسیسات دریایی بطور شگفت انگیزی مقاومت می کنند. چاه هایی که عمق آنها از ۴۵۰۰ متر بیشتر باشد چاه عمیق نامیده می شود. در ایالت متحده آمریکا به چاه هایی که عمق آن ها تا ۶۰۰۰ متر باشد، چاه خیلی عمیق و چاه هایی را که عمق آن ها تا ۷۵۰۰ متر برسد چاه بسیار عمیق گویند. پروژه های چاه های عمیق به منظور پژوهش های نفتی و در سنگهای آذرین به منظور اکتشاف انرژی گرمایی آب‌های زیرزمینی حفر می‌گردد.

### انواع حفاری

#### حفاری دورانی

در این روش حفاری، از مته های متنوعی استفاده می شود. مته ها با حرکت چرخشی روی سنگ باعث خرد شدن و ساییده شدن آن می شود و انرژی لازم برای به چرخش درآوردن مته و لوله با کمک سیستم دورانی تأمین می گردد. از مهمترین عواملی که موجب افزایش سرعت حفاری می شود گل حفاری است که در عملیات حفاری همانند خون در بدن انسان عمل می کند بدین صورت که به هنگام چرخش مته از نازل های (سوراخ) موجود بر روی مته خارج شده و

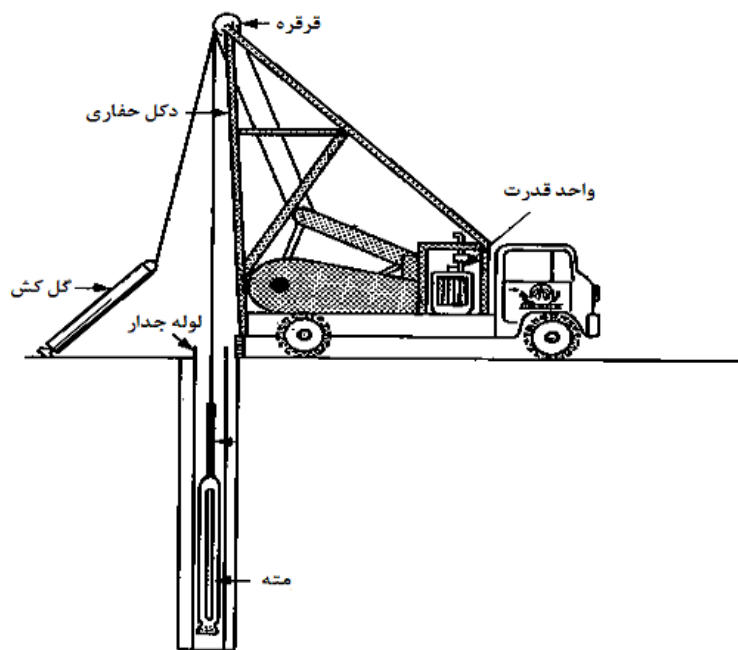
کنده های حفاری (Cutting) را با بهره مندی از خاصیت حمل به سطح زمین انتقال میدهد که این عمل باعث افزایش سرعت حفاری شده و از قفل شدن مته در چاه جلوگیری می کند. امروزه تقریباً در همه جای دنیا برای حفر چاه های نفتی یا گازی از سیستم حفاری دورانی استفاده می شود.



شکل ۱- حفاری دورانی

### حفاری ضربه ای

دستگاه های حفاری ضربه ای و یا سیستم های ضربه ای، دستگاه های ساده ای هستند که برای پژوهشهای آب یابی بسیار مناسب هستند. از این دستگاه ها بیشتر برای حفر چاه هایی که در داخل سنگ های مقاوم قرار دارند، استفاده می کنند. اصول کار سیستم های ضربه ای خرد کردن سنگ فرود می آیند. دستگاه مجهز به یک خرک چهار قطبی و یا یک دکل است که مته های حفاری با یک قرقره برگشت دهنده روی آن آویزان می گردند. این مته ها دارای حرکت رفت و برگشتی می باشند و برای اجرای مانورهای حرکتی پائین و بالا، از دستگاه رفت و برگشت جدا گردیده و به وسیله ای به نام چرخ قرقره که برای نصب لوله ها نیز بکار می رود، اتصال می یابند. خرک های جدا شونده، چوبی و یا فلزی هستند. پایه ها روی دالهای سیمانی که قبل از مونتاژ دستگاه آماده می شوند، قرار می گیرند. دکل های خم شونده یا تلسکوپی، دستگاه های خودکار قابل حمل حفاری را مجهز می نمایند. این دکلها به صورت دائمی در پشت یک کامیون نیز می توانند ثابت شده باشند. دکلها باید با کابلهای محکم روی بلوکهای سیمانی استوار شوند.



شکل ۲ - حفاری ضربه ای

## تکنولوژی روش های حفاری

انواع روش های حفاری از نظر مسیر حفاری عبارتند از:

### حفاری عمودی<sup>۱</sup>

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

### حفاری انحرافی<sup>۲</sup>

در این روش، مسیر حفاری نسبت به محور عمود بر سطح زمین دارای زاویه است و حتی ممکن است بهنگام حفاری عمودی در یک قسمت رشته های حفاری به دیوار چاه گیر کنند و آزاد کردن آن ها ممکن نباشد و اجباراً به قطع آن قسمت از لوله های حفاری که به دیواره چاه گیر کرده است پردازیم و پس از سیمان کردن آن قسمت با استفاده از روش حفاری انحرافی این منطقه را دور زده و دوباره به مسیر حفاری قبلی بازگردیم.

### حفاری افقی<sup>۳</sup>

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

### حفاری چند جانبه<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> Vertical drilling

<sup>۲</sup> Slant Well

<sup>۳</sup> Horizontal drilling

<sup>۴</sup> Multilateral Drilling

این روش بیشتر در چاه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر سطح دریا (offshore) یا همان سکوهای نفتی و گازی دریایی قرار دارند. در این روش از یک سکو در جهت‌های مختلف، حفاری انجام می‌شود به صورتی که هم‌زمان می‌توان چندین نقطه در یک مخزن یا مخازن مختلف را حفاری کرد.

## حفاری تحت فشار<sup>۱</sup>

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

## حفاری مکانیکی

در این روش به یکی از سه روش ضربه‌ای چرخشی با ترکیبی از این دو، انرژی مکانیکی به سنگ منتقل می‌شود. در اصطلاح عملیاتی را که به روش مکانیکی موجب حفر چال در سنگ می‌شوند حفاری مکانیکی می‌گویند. امروزه ۸۹ درصد حفاریها به روش مکانیکی حفر می‌شوند. در معادن سطحی و حفاری‌های نیمه عمیق عمدتاً از ماشین‌های حفاری چرخشی با مته‌های مخروطی شکل و ماشین‌های ضربه‌ای سنگین استفاده می‌شود؛ اما در معادن زیرزمینی یا به طور کلی در عملیات زیرزمینی از ماشین‌های ضربه‌ای استفاده می‌گردد.

## حفاری حرارتی

به طور کلی صرف نظر از نوع روش و منشأ انرژی، عملیاتی را که به حفر چال در سنگ منجر می‌شود، نفوذ پذیری می‌نامند. در روش حرارتی، به کمک انرژی حرارتی از آمیختن هوا یا اکسیژن با یک نوع سوخت، ترجیحاً نفت سفید، نفوذ پذیری در سنگ صورت می‌گیرد. هوا یا اکسیژن و سوخت از دو مجرای جداگانه به داخل مخزنی واقع در پشت مته ارسال می‌شوند و پس از اشتعال، شعله حرارت را از طریق نازل سر مته به سطح سنگ منتقل می‌کند و حرارت نیز سطح سنگ را متورق و آماده جدایی می‌کند. در نهایت، به کمک فشار آب، قطعات متورق جدا و به سطح زمین منتقل می‌شوند.

## حفاری آبی

در این روش، با استفاده از فشار آب تامین شده در سطح، حفر چاه امکان پذیر می‌گردد. در اینجا فشار آب با سایش سطح سنگ، مقاومت سنگ را درهم می‌شکند، و بدین ترتیب، حفاری صورت می‌گیرد. این روش با افزایش فشار آب، در استخراج ذغال سنگ و دخایر پلاسر نیز کاربرد دارد.

## حفاری لرزشی

در این روش با ایجاد لرزشهایی با فرکانس ۰۰۱ تا ۰۰۰۰۲ دور در ثانیه می‌توان سنگ را شکست. یکی از متداول‌ترین روش‌های حفاری لرزشی، روش حفاری مافوق صوت است.

<sup>۱</sup> UBD(Under Balance Drilling)

## حفاری شیمیایی

در این روش با استفاده از فعل و انفعالات شیمیایی ناشی از انفجار مواد منفجره می توان در طبقات حفاری کرد. معمولاً این روش از دو نوع خج استفاده می شود:

(۱) خرج سیلندری که باعث حفر پالسیلندری می شود.

(۲) خرج چاتراش که باعث افزایش قطر چال می شود.

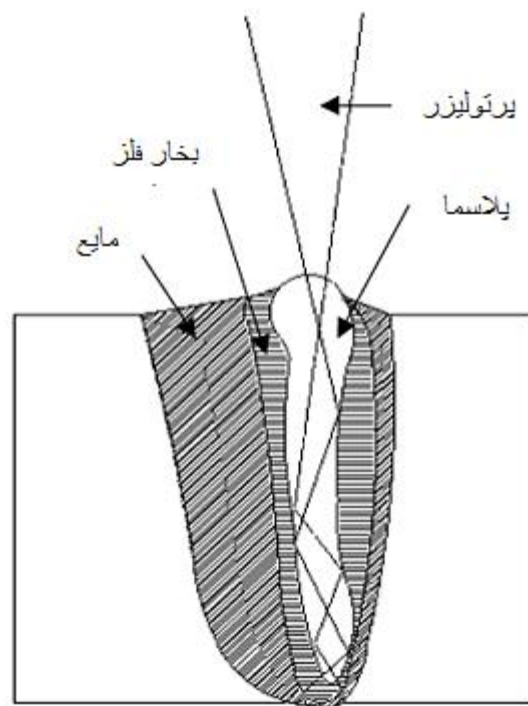
## حفاری الکتریکی

در این روش با تولید ستونی یا قوسی یا جرقه ای، عملیات نفوذ پذیری در سنگ انجام می گیرد. در بعضی از این روش ها با وجود بالا بودن درجه حرارت، به دلیل کوتاه بودن زمان تماس الکتریسیته، سنگ ذوب نمی شود؛ اما در سایر روش ها به دلیل بالا بودن درجه حرارت و طولانی بودن زمان الکتریسیته با سطح سنگ، پس از ذوب شدن سطح سنگ، سنگ می شکند.

## روش های نوین حفاری

### تکنولوژی حفاری لیزری

پژوهش در مورد استفاده از فناوری لیزر برای حفاری چاه نفت اولین بار در ارتش آمریکا در سال ۱۹۷۷ شروع شده است. این آزمایش نشان داد که سرعت حفاری با استفاده از این روش بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می یابد. هدف اصلی تمامی آزمایش هایی که تاکنون با لیزر انجام شده است، دستیابی به بیشترین مقدار حفاری با کمترین هزینه ممکن با حداقل توان مورد نیاز می باشد. آزمایشی تحت عنوان پروژه میراکل (Miracle project) توسط دو دانشمند به نام های برین و گریوس انجام گرفت. در این آزمایش از امواجی با طول موج  $3/8 \mu\text{m}$  و با توان لیزری ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ کلو وات با استفاده از آن توانستند طی چهار ثانیه تابش لیزری به عمق سه اینچ در ماسه سنگ حفاری نماید. با انتخاب سیستم لیزری، قادر خواهیم بود سرعت حفاری را تا اندازه قابل توجهی افزایش دهیم. استفاده از تکنولوژی لیزری برای حفاری چاه نفت، پیامدهای برجسته ای را به همراه دارد. از جمله مهمترین آن ها می توان به ایجاد دیواره سرامیکی در چاه، کاهش احتمال توقف عملیات حفاری، کاهش تعداد روزهای حفاری، ایجاد قطریکسان از سطح تا انتهای چاه، کاهش احتمال گیر کردن لوله های حفاری، امکان استفاده از لوله های سبک به جای لوله های سنگین، کاهش آلودگی زیست محیطی و افزایش سرعت حفاری از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر اشاره کرد. یکی از مهمترین معایب حفاری لیزری انتقال انرژی لیزر از منبع آن در سطح چاه به عدسی آن در انتهای چاه می باشد. مکانیزم حفاری بوسیله لیزر به این ترتیب است که با برخورد اشعه لیزر، سنگ ها خرد شده و سپس ذوب و در مرحله سوم بخار می شوند. در این مرحله جت سیالی، بخار تولید شده را به جداره چاه چسبانده که خود به ایجاد دیواره سرامیکی در جداره چاه می گردد. ایجاد جداره سرامیکی فواید فراوانی را به همراه دارد.



شکل ۳ - حفاری لیزری

### تکنولوژی حفاری کانال پلاسما

ابداع روش های حفاری به منظور کاهش هزینه و آسان شدن عملیات از موضوعات مهم محققین این حوزه از صنعت می باشد. با توجه به وجود مخازن هیدروکربوری در مناطق سخت و دشوار و همچنین کاهش طول دوره حفاری که هزینه ثابت سنگینی را به دنبال دارد، متخصصین این رشته همواره در پی آن هستند تا مناسب ترین روش را براساس دانش فنی روز برای حفاری چاه نفت شناسایی کرده و آماده فرآیند عملیاتی کنند. یکی از روش های نوین حفاری، روش حفاری کانال پلاسما می باشد.

گروهی از محققان در دانشگاه Strathclyde اسکاتلند، استفاده از برق پالسی و پلاسما با قدرت الکتریکی بالا را برای حفاری در سنگ بررسی کردند. محققان تخمین میزنند که با استفاده از این تکنیک های جدید اکتشاف، تنها از چاه های موجود در دریای شما، می توان حجمی معادل ۳/۱ میلیارد بشکه نفت استخراج کرد.

با استفاده از این تکنولوژیها از طریق عملیات ترمیمی در چاه های موجود و اکتشاف با هزینه کارا تر و توسعه ی ذخایر دست نخورده، می توانند سطح تولید موجود در فلات قاره بریتانیا را برای ۱۵ الی ۲۰ سال آینده حفظ کنند. در همین راستا این گروه از محققین برای ایجاد "کانال پلاسما" در سنگ حفاری، از برق پالسی ولتاژ بالا استفاده می کنند. در این فرایند با عبور جریان برق پالسی، انفجار فوق العاده سریع کانال پلاسما در داخل سنگ در مدت کمتر از یک میلیونیم ثانیه اتفاق می افتد و باعث شکستگی و خرد شدن سنگ می شود. سنگ های خرد شده در اثر نیروی انفجار به دیواره می چسبند و یک دیواره سنگ ریزه در جداره چاه ایجاد می شود. حفاری کانال پلاسما، در بطن سنگ محل حفاری با نیروی تخلیه الکتریکی بسیاری سریع پلاسما انجام می شود. در این روش، پلاسما به سرعت منفجر شده و

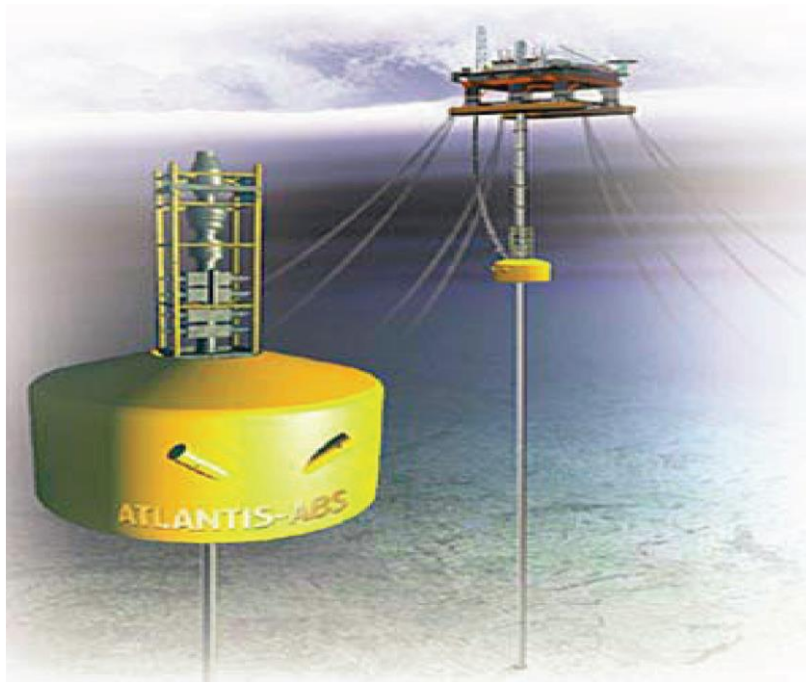
انرژی از طریق آن به سنگ منتقل می شود. این انفجار سریع مثل یک پیستون بر سنگ مورد نظر اثر می گذارد و موجب خرد و متلاشی شدن آن می شود. با استفاده از تکنولوژی پر قدرت برق پالسی، پلاسما چندین بار در ثانیه تشکیل می شود. نتیجه این روند مکرر، حفاری کنترل شده با کارایی بالا است.

روش کانال پلاسما به علت قابلیت انتقال و استفاده بهینه از انرژی مصرفی، پیشرفت عمده ای در عملیات حفاری داشته و به علاوه، چون در فرآیند کانال پلاسما سوراخ ایجاد شده کوچک و به قطر یک یا دو اینچ است، لذا خرابی و ریزش در بستر دریا در مقایسه با حفاری سنتی به شدت کمتر است.

### **حفاری و بهره برداری در آبهای عمیق با استفاده از تکنولوژی ABS**

تاکنون حفاری در آبهای عمیق که توسط سکوهاى نیمه شناور و کشتی های حفاری با استفاده از رایزرهای با فشار کاری پایین و فوران گیرهای زیر دریایی که در سرتاسر عمق آب قرار می گرفتند انجام می گرفته است. افزایش عمق آب، باعث بالاتر رفتن طول و وزن رایزرها می شود که بعنوان باری سنگین بر روی سکوهاى حفاری می باشد. یکی از رویکردهای اخیر صنایع حفاری، بکاربردن فوران گیرهای سطحی و روش های مربوطه (مانند موارد مورد استفاده در سکوهاى jack up) برای اعماق زیاد می باشد که نتیجه آن استفاده از رایزرهای با قطر کمتر و نهایتاً نیاز به کشش کمتر از روی سکو جهت اعمال کردن به رایزرها می باشد. لازم به ذکر است که هر دو روش استفاده از فوران گیرهای سطحی و زیر دریایی به لحاظ محدودیت های عملیاتی و راندمان کاری طرفداران و منتقدان خاص خود را دارد. لذا با توجه به مطالب فوق، سیستم ABS به گونه ای که عاری از کمبودها و مشکلات دو سیستم قبلی باشد و به لحاظ اقتصادی دارای توجیه باشد محاسبه و طراحی شد.

ABS قابلیت استفاده و بکارگرفتن، حتی با سکوهاى نیمه شناور نسل دوم و سوم و کشتی های حفاری کوچکتر را دارد. با بکاربردن تکنولوژی ABS می توان از رایزرهای با فشار کاری پایین و فوران گیرهای زیر دریایی استفاده کرد. با این تفاوت که دیگر نیازی به راندن آنها تا بستر دریا نمی باشد و می توان فوران گیرها را روی سیستم ABS نصب کرد. در صورت وجود شرایط جوی نامساعد می توان با جدا کردن رایزرها و باقی گذاشتن فوران گیرها بر روی سیستم ABS جهت کنترل فوران و ایمن کردن چاه اقدام کرد.

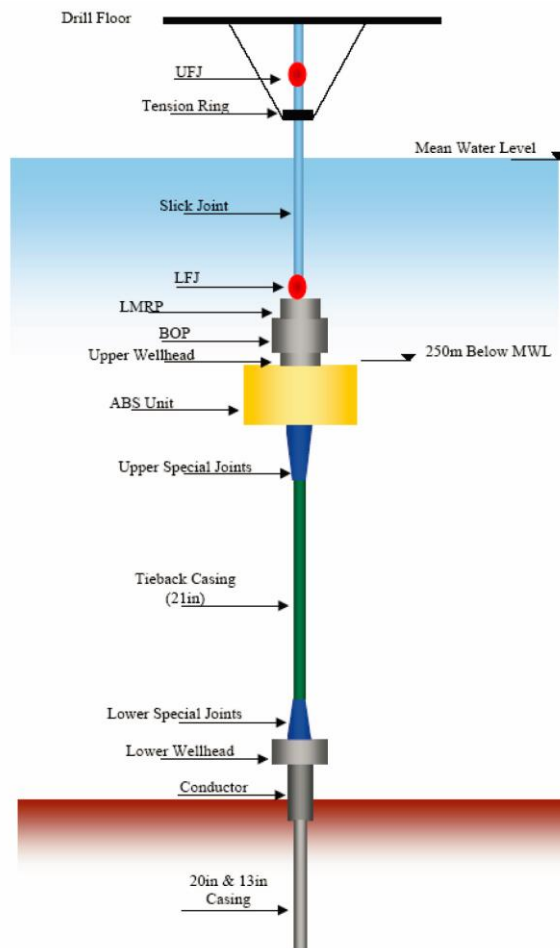


شکل ۴- نمای کلی از سیستم ABS

### مزایای استفاده از ABS

- ۱- استفاده از ABS در حفاری آبهای عمیق به طور قابل ملاحظه ای باعث افزایش راندمان عملیات حفاری می شود که این امر به دلیل عدم نیاز به راندن فوران گیرها و ریزرهای حفاری تا بستر دریا و صرفاً تا عمق ۳۰۰ متری می باشد که این امر در آبهای بسیار عمیق نمود بیشتری پیدا می کند.
- ۲- سیستم ABS قابلیت استفاده با سکوهای نسل دوم و سوم با سیستم لنگراندازی ساده تر را دارد که در مقایسه با سکوهای پیشرفته دارای نرخ روزانه کمتری می باشد که می تواند تا حدود ۳۰٪ کاهش یابد.
- ۳- حتی جهت انجام عملیات تکمیلی و تعمیر چاه ها می توانمشابه فوق از سکوهای با نرخ روزانه کمتر استفاده کرد که باعث کاهش هزینه های عملیاتی تا حد انجام عملیات در مناطق کم عمق می شود.
- ۴- جدا شدن ریزرها با طول و تعداد کم از ABS به راحتی قابل انجام است و همچنین فرآیند کنترل فوران چاه مانند سایر روش های متداول به دلیل قرار گرفتن فوران گیرها در عمق کم قابل انجام است. [۱]
- ۵- استفاده از ABS، خطر خالی شدن حجم گل حفاری درون ریزرها را به داخل دریا به طور قابل ملاحظه ای مخصوصاً در شرایط ناآرام جوی کاهش می دهد.





شکل ۵ - مدل تحلیلی سیستم ABS به همراه رایزرها و متعلقات مربوطه

## مراجع

۱. محمد کاظم. حفاری در آبهای عمیق با استفاده از تکنولوژی ABS. اکتشاف و تولید نفت و گاز. ۱۳۸۸. دوره ۶. ص ۵۱-۵۳.

۲. Rintoul , B.: "Drilling From The Steel Island", Pacific Oil/ Worl/ Annual, Petroleum Publisher, Brea, CA (Jan, ۱۹۸۰) ۷۳, ۱۸-۲۸
۳. The Technology of Offshore Drilling, Completion and Production, ETA Offshore Seminars, Inc., The Petroleum Publishing Co., Tulsa (۱۹۷۶)
۴. [http://www.offshoremag.com/articles/article\\_display.cfm](http://www.offshoremag.com/articles/article_display.cfm)
۵. [www.atlantis-deepwater.com](http://www.atlantis-deepwater.com)

