

مروری بر سیر توسعه سیستم RMR و تجربه‌های عملیاتی حاصل از پیاده‌سازی آن

امیر زرگرباشی^{۱*}، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت/حفاری ■ کیانا پیرواحمدی لنگرودی، دانشجوی کارشناسی مهندسی نفت

■ احمد شیرزادی، کارشناسی ارشد مهندسی نفت

چکیده

روش پامپ و دامپ و پس از آن، استفاده از گل سنگین مصرف‌شدنی، سال روش استاندارد و معمول حفاری قسمت‌های ابتدایی چاه در حفاری فراساحلی تلقی می‌شد. مشکلات متعدد به‌کارگیری این روش‌ها، به تدریج راه را برای معرفی تکنولوژی‌های جدیدتر هموار کردند. با معرفی و به‌کارگیری تجاری سیستم RMR توسط شرکت AGR، روش استاندارد جدیدی برای حفاری قسمت‌های اولیه چاه معرفی شد که هر ساله جنبه جدیدی از مزایای آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، در پنج بخش اصلی، ابتدا به مطالعات اولیه پیش از اولین استفاده تجاری سیستم RMR می‌پردازیم؛ در بخش دوم، قدم‌های اصلی در توسعه این تکنولوژی را بررسی می‌کنیم؛ بخش بعدی تحقیقات و مدل‌سازی‌های پیاده‌سازی‌شده در این زمینه را شرح می‌دهد؛ بخش چهارم، نگاهی دارد به تجربه‌های عملیاتی سال‌های گذشته و در انتها به دیگر تکنولوژی‌های تلفیق‌شده با این سیستم نیز اشاره می‌شود. به کارگیری RMR در حفاری قسمت‌های سطحی، صرفه‌جویی‌های چند صد میلیون دلاری در حفاری میادین مختلف دنیا به ارمغان آورده، هزینه توسعه میادین را کاهش داده و چاه‌هایی با کیفیت و ایمنی بالاتر در اختیار گذاشته که ظرفیت تولید بالاتری نیز نسبت به چاه‌های معمول دارند.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

تاریخ ارسال به داور: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش داور: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹

واژگان کلیدی:

سیستم بازیابی گل بدون رایزر، حفاری با گرادیان دوگانه، حفاری با فشار مدیریت‌شده، حفاری قسمت‌های ابتدایی، کنترل مخاطرات سطحی، پایداری چاه

مقدمه

عامل ایجاد مشکلات عدیده در عملیات حفاری بود. از جمله این مشکلات می‌توان به مشکلات لجستیکی تهیه و ترکیب گل سنگین در حجم بالا و نیز رهاسازی این گل در بستر دریا پس از بازگشت از مسیر دالیز اشاره کرد. از طرفی فاجعه دکل حفاری Deepwater Horizon در سال ۲۰۱۰ در خلیج مکزیک و نیز سقوط شدید قیمت نفت در سال ۲۰۱۴ و بعد از آن؛ از دیگر محرک‌هایی بود که صنعت حفاری فراساحلی را به سمت حرکت سریع‌تر در به‌کارگیری روش‌هایی برای حفاری سریع و ایمن و به‌تبع آن کاهش هزینه حفاری سوق داد. طی سال‌ها، تکنولوژی‌های متعددی در این زمینه به کار گرفته شده‌اند که از اصولی همچون حفاری با فشار مدیریت‌شده^۱، حفاری با گرادیان دوگانه^۲ و سیستم رایزر به همراه پمپ^۳ و... بهره‌جسته‌اند. یکی از این تکنولوژی‌ها که بر پایه حفاری با گرادیان دوگانه سوار شده است، سیستم بازیابی گل بدون رایزر (RMR^۴) است که در ادامه درباره این سیستم، مزایا و معایب آن، نیز تاریخچه به‌کارگیری و پیشرفت تدریجی آن، توضیحات کامل‌تری ارائه خواهد شد.

در هنگام حفاری قسمت‌های ابتدایی چاه‌های فراساحلی، در سال‌های طولانی از روش پامپ و دامپ^۱ استفاده می‌شده است. در این روش، جریان سیال از طریق لوله حفاری به مته رسیده و پس از بازگشت از فضای دالیزی در بستر دریا رها می‌شود. کنترل چاه و مقابله با مشکلات سطحی مانند جریان‌های پرفشار آب^۲ و پاکت‌های گازی^۳ در این روش، بسیار مشکل و حفاری با زمان‌های غیرتولیدی^۴ بسیاری همراه بوده است. به‌علاوه قوانین سخت‌گیرانه زیستی محیطی، استفاده از این روش و به‌تبع آن حفاری برای نفت در بعضی از مناطق فراساحلی را ممنوع کرده بود. از این رو صنعت حفاری به سمت روش‌های جایگزین متمایل شد. یکی از اولین راه‌حل‌ها، استفاده از رایزر^۵ در قسمت‌های سطحی بود که سیستم‌های با رایزر دوگانه را شکل داد. اما هزینه‌های زیاد و صرف زمان طولانی برای راندن و بازیابی رایزر، از محبوبیت این روش کاست. استفاده از گل سنگین مصرف‌شدنی^۶ برای حفظ پایداری چاه از دیگر راه‌حل‌های پیشنهاد شده بود که با وجود حل برخی از مشکلات، خود

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (a.zargarbashi@aut.ac.ir)

۱-۱. رایزر و مشکلات آن

این سیستم برای آب‌های با عمق متوسط تا حدود ۵۰۰ متر کاربرد دارند. این ماژول شامل دو پمپ دیسکی به صورت سری (در یک مجموعه و به صورت یک پمپ عمل می‌کنند)، دو موتور الکتریکی، شیرهای ورودی و خروجی و اتصالات مربوطه و نیز تجهیزات و سنسورهای مختلف است. ماژول مکش و متمرکزکننده^{۱۸} (SCM): به عنوان محفظه‌ای برای نگهداری سیال در مسیر بازگشت از چاه عمل می‌کند و اتصال به پمپ را از طریق شلنگ مکش^{۱۹} ممکن می‌سازد. علاوه بر آن از طریق دوربین‌ها، سنسورها و شیرهای اطمینان^{۲۰} که روی آن نصب می‌شود، امکان کنترل سطح گل برگشتی و فشار را میسر می‌سازد. این قسمت می‌تواند مستقیماً با آب دریا در ارتباط باشد یا با استفاده از CRT^{۲۱} از آب دریا جدا شده و سر بسته باشد. ابزار متمرکزکننده و راندن (CRT): در صورتی که تصمیم بر استفاده از ماژول مکش سر بسته باشد، از ابزار متمرکزکننده برای در مرکز قرار دادن رشته حفاری استفاده می‌شود. این ابزار، مانعی بین فشار پایین چاه و دریا ایجاد می‌کند که نظارت و کنترل فشار را آسان‌تر خواهد کرد. با چرخش رشته، قسمت ایزوله‌کننده نیز به همراه رشته شروع به گردش خواهد کرد تا از فرسایش آب‌بند جلوگیری کند.

خط بازگشت گل^{۲۲}: مسیر انتقال گل از بستر دریا به سطح دکل است. اغلب برای شناور کردن ساده‌تر آن در آب دریا، اتصالات پلاستیکی سبکی به آن متصل می‌شود. انتقال پمپ RMR به بستر دریا در هنگام نصب نیز به کمک این وسیله ممکن خواهد بود. دو شیر مسدود کردن^{۲۳} و رهاسازی^{۲۴} فشار در قسمت بالایی این خط، برای کنترل چاه تعبیه شده است. وسیله قابل کنترل از راه دور^{۲۵} (ROV): رباتی است که در اتصال اجزا و قطعات و کنترل سیستم استفاده می‌شود. اگرچه عضوی مختص به سیستم RMR به حساب نمی‌رود، اما همواره در حفاری آب‌های متوسط و عمیق شاهد حضور آن هستیم.

رایزر حفاری یک لوله سنگین با قطری بزرگ است که سکوی حفاری را به سر چاه در بستر دریا^{۱۱} متصل کرده و ارسال و دریافت سیال حفاری را ممکن می‌سازد. استفاده از رایزرهای معمول در اعماق اولیه حفاری، به واسطه وزن بالای آنها و بستر سست دریا امکان‌پذیر نیست. لذا در سطوح اولیه حفاری معمولاً از روش پامپ و دامپ استفاده می‌شود که به دلیل دشواری کنترل چاه و مقابله با خطرات سطحی^{۱۲} و عدم دسترسی به اطلاعات دقیق از شرایط بستر، چاه و نیز سازندهای اولیه، چندان کارساز نبوده است. از دیگر مشکلات رایزر می‌توان به تاثیرپذیری بالا از جریان‌های دریایی و آب‌وهوایی، حجم داخلی بالا و تاخیر در تشخیص جریان ناخواسته سیال سازندی^{۱۳} و موارد بسیار دیگر اشاره کرد. [۱، ۲]

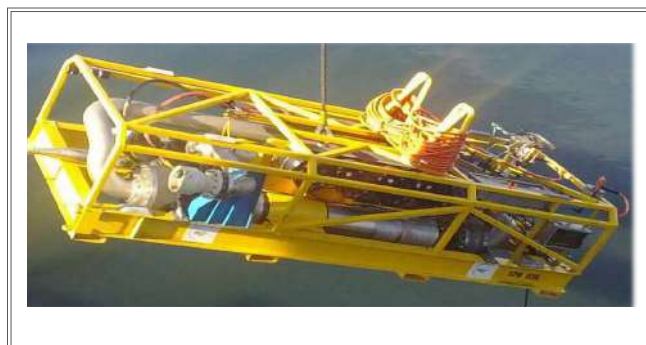
سیستم RMR با طراحی خاص خود، تا حد زیادی جوابگوی این مشکلات خواهد بود. در ادامه به معرفی جزئی‌تر اجزای سیستم RMR پرداخته خواهد شد. در ابتدا سیستم RMR در عمق متوسط (حدود ۵۰۰ متر) و در ادامه اجزای سیستم آب عمیق (حدود ۱۵۰۰ متر و بیشتر) شرح داده خواهد شد.

۲. اجزای سیستم RMR در آب با عمق متوسط (حدود ۵۰۰ متر)

آمیپلیکال (بندنافی)^{۱۴}: مجموعه‌ای از چند کابل است که مسئولیت انتقال انرژی و اطلاعات را بر عهده دارد و در حد واسط میان ماژول پمپ زیر دریایی^{۱۵} (SPM) و اتاقک کنترل^{۱۶} واقع شده است. به منظور افزایش توانایی حمل بار وینچ، واحد نیروی هیدرولیک^{۱۷} (HPU) آن به صورت جداگانه ساخته شده است. ماژول پمپ زیر دریایی (SPM): از انواع پمپ‌های دیسکی (بر پایه پمپ‌های سانتریفیوژی) با فشار و توان‌های متفاوت، بسته به عمق آب دریا و شرایط موجود، استفاده می‌شود. پمپ‌های



شکل ۲ | ماژول مکش (SCM). [۴]



شکل ۱ | ماژول پمپ زیر دریایی برای عمق آب متوسط. [۳]



شکل ۴ | ماژول پمپ زیر دریایی بالایی (سمت راست) و پایینی (سمت چپ) [۵]



شکل ۳ | وسیله قابل کنترل از راه دور [پروژه آموزش اقیانوس عمیق]

گل را فراهم کند و صرفاً حرکات افقی محدود می‌شوند. مفصل اتصال پایینی^{۳۳} (LDJ): به صورت سری با خط بازگشت گل نصب شده است و اتصال ماژول پمپ پایینی به خط بازگشت گل را فراهم می‌کند. از جهتی دیگر، مفصل پایینی، نقطه اتصال بین خط بازگشت گل و سیستم لنگر آن نیز محسوب می‌شود. مفصل پایینی، دارای یک اتصال مخروطی در انتهای بالایی خود است تا خستگی^{۳۴} های ناشی از لرزش ایجاد شده به وسیله گرداب‌ها^{۳۵} را به حداقل برساند.

مفصل اتصال بالایی^{۳۶} (UDJ): مشابه مفصل پایینی به صورت سری با خط بازگشت گل در میانه‌های عمق آب نصب شده است و اتصال ماژول پمپ بالایی به خط بازگشت گل را ممکن می‌کند. همچنین شامل اتصالاتی مخروطی در بالا و پایین است تا خستگی‌های ناشی از لرزش ایجاد شده به وسیله گرداب‌ها را به حداقل برساند.

ماژول پمپ زیر دریایی (SPM): در سیستم آب‌های عمیق دو پمپ سری که هریک شامل سه پمپ دیسکی الکتریکی است مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماژول پمپ، امکان پمپاژ گل برگشتی به سطح را با حداقل آسیب به کنده‌ها فراهم می‌کند. پمپ پایینی روی مفصل پایینی، و پمپ بالایی روی مفصل بالایی نصب می‌شود.

شلنگ مکش^{۳۷}: مسیر جریان بین ماژول مکش و مفصل پایینی را فراهم می‌کند. در طول آن قطعاتی نصب شده است که با کاهش وزن غوطه‌وری، امکان نصب ساده‌تر توسط ROV را میسر می‌سازد. قاب هندلینگ ماژول پمپ^{۳۸}: از این سکو برای انتقال پمپ‌ها به مرکز مونپول^{۳۹} و نصب آن‌ها روی اتصالات استفاده می‌شود. همچنین برای آویزان کردن سیستم لنگر نیز کاربرد دارد. ماژول آویزان کننده^{۴۰} (HOM): برای پشتیبانی از خط بازگشت گل در سطح استفاده می‌شود. شامل یک مفصل برای کاهش گشتاور خمشی اعمال شده به خط بازگشت گل در سطح و

اتاقک کنترل و تامین توان: اتاقکی مخصوص در عرشه دکل است که از طریق مانیتور کردن سنسورها و دوربین‌های موجود، عملکرد و سلامت اجزا را کنترل کرده و در صورت نیاز، به کمک تغییر در میزان جریان الکتریسیته ورودی و دور در دقیقه^{۴۱} موتور پمپ، فشار دالیزی را با ثابت نگاه داشتن فشار ماژول مکش (مقایسه فشار داخل و خارج ماژول مکش)، پایدار نگه می‌دارد. توان الکتریکی کلی سیستم نیز تنها به وسیله یک کابل از دکل تامین شده و از آنجا به سایر بخش‌ها تقسیم می‌شود. باتری EX برای کارکرد سیستم جداسازی سریع^{۴۲} نیز در این قسمت نصب شده است.

۱-۲. اجزای سیستم RMR در آب عمیق (حدود ۱۵۰۰ متر و بیشتر)

ماژول مکش^{۴۸} (SMO): بر سرچاه فشارپایین^{۴۹} نصب می‌شود و دارای فضایی استوانه‌ای مخروطی شکل است که گل برگشتی و کنده‌های حفاری در آن جمع می‌شود. کارکرد آن مشابه SCM است.

بسته الکترونیکی زیردریایی^{۴۰} (SEM): محفظه‌ای سبک وزن با قابلیت شناوری که قطعات الکترونیکی ماژول مکش در آن قرار داده می‌شود تا با کاهش وزن غوطه‌وری، از آسیب‌های احتمالی ناشی از ارتعاشات و ضربه‌های موجود جلوگیری شود.

خط بازگشت گل (MRL): مسیری از بستر دریا به سطح، برای برگشت سیال حفاری است و استحکام کافی برای پشتیبانی از دو پمپ زیر دریایی، وزن لنگر و مقاومت در برابر نیروهای ناشی از جریان‌ها و حرکات دریایی را فراهم می‌کند.

سیستم لنگر خط بازگشت گل^{۴۱}: انتهای پایینی خط بازگشت گل را در بستر دریا ثابت می‌کند و آن را از چاه و رشته حفاری دور نگه می‌دارد. سیستم لنگر به گونه‌ای طراحی شده است که با حرکت عمودی^{۴۲} سکو، اجازه حرکت عمودی خط بازگشت



شکل ۶ | سر جریان و مازول آویزان کننده. [۵]



شکل ۵ | شلنگ مکش و قطعات شناور کننده. [۵]

به سهولت به سطح بازگردند. برای جزئیات بیشتر در زمینه اجزای RMR در حفاری آب عمیق، می‌توانید به مقاله اسمیت و همکاران [۵] و در زمینه اجزای RMR در اعماق کمتر به فروین و همکاران [۶] و استیو و همکاران [۴] مراجعه کنید. در این قسمت از مقاله، مطالعات انجام شده روی سیستم RMR بررسی می‌شود. در پنج قسمت کلی، نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده پیش از معرفی این سیستم تا زمان حال، به صورت خلاصه بیان شده است.

۳. مطالعات انجام شده پیش از اولین استفاده تجاری سیستم RMR

ویل فرد مک لود [۱] در سال ۱۹۷۶ میلادی زیر نظر Marathon Oil Co. مروری بر شیوه‌های حفاری بدون رایزری انجام داد که می‌توانستند جایگزین حفاری به وسیله رایزر شوند و مخاطرات آن را به حداقل برسانند. از این مقاله می‌توان به‌عنوان نخستین مقاله‌ای که از سیستم RMR سخن به میان آورده و عملکردی کلی از آن ارائه داده، یاد کرد. رایلی گلداسمیت [۷] در سال ۱۹۹۸ میلادی، در پژوهشی،



شکل ۷ | سیستم کنترل و مانیتور کردن RMR. [۵]

یک اتصال مخروطی برای کاهش خستگی ناشی از آن گشتاور خمشی و لرزش‌هاست.

سر جریان^{۴۱}: مجموعه‌ای از شیرها برای جداسازی خط بازگشت گل از شلنگ کم‌فشاری است که به تجهیزات تصفیه گل دکل متصل است. وینچ‌های ۲۵ و ۱۰ تنی: برای ذخیره و جابه‌جایی آمبیلیکال‌هایی استفاده می‌شود که مسئولیت برق‌رسانی و ارتباط با مازول پمپ بالایی و پایینی و بسته الکترونیکی را بر عهده دارند. اتاقک کنترل: تجهیزات ارتباطی و برقی مورد استفاده برای کنترل پمپ‌ها را در خود جای داده است. این تجهیزات شامل درایوهای سرعت متغیر^{۴۲} (VSD) برای کنترل نرخ پمپ و ترنسفورمرها برای افزایش ولتاژ برق انتقالی زیر دریاست می‌باشد.

اتاقک اداری و کارگاهی^{۴۳}: دارای یک کارگاه، فضایی برای نگهداری قطعات یدکی و سیستم کنترل فرآیند کامپیوتری است که داده‌ها را از حسگرها دریافت کرده و سیگنال‌ها را برای کنترل سرعت سیستم RMR ارسال می‌کند تا نرخ پمپ با نرخ بازگشت گل، مطابقت داشته باشد.

سیستم کنترل: مشاهده عملکرد RMR را از روی یک پنل در طول عملیات حفاری فراهم می‌کند. این پنل در کابین حفاری نصب شده است تا ارتباط موثر بین حفار و اپراتور RMR را تسهیل کند. یک پنل اضافه نیز برای نظارت بر سلامت سیستم در حین عملیات، در داخل اتاقک اداری و کارگاهی قرار گرفته است و برای کنترل تجهیزات روی عرشه در حین نصب و استقرار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ژنراتورهای قابل حمل دیزلی: در شرایط خاص برای کمک به تامین توان الکتریکی مورد نیاز سیستم (به دلیل قدرت محدود الکتریکی ژنراتورهای اصلی دکل) استفاده می‌شود.

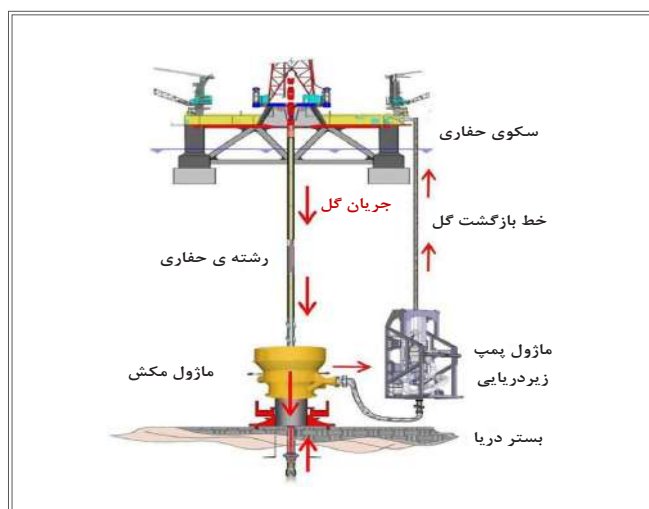
قاب آویزان کننده جدار هادی^{۴۴}: به‌گونه‌ای طراحی شده است که گل و سیمان بتوانند پس از قرارگیری جدار سطحی

انجام چنین عملی را با جزئیات شرح می‌دهند و در انتها مزایای آن را برشمرده و از آن به عنوان روشی مهم و کارآمد یاد می‌کنند. کارتر و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۰۵، در Nautilus Offshore Co. با همکاری Weatherford و VeriDAQ به دنبال روشی برای رفع مشکلات استفاده از رایزر، این بار در آب‌های عمیق بود. در پژوهش ذکر شده، اجزای سیستم پیشنهادی Riserless Edr-MPD شرح داده شده، نوع کارکرد هر قسمت بیان شده و صرفه‌جویی‌های اقتصادی ناشی از به کارگیری آن آمده است. البته می‌توان تکنولوژی شرکت AGR را پیروز این رقابت دانست؛ چراکه اکثر شرکت‌های بزرگ استفاده از آن را ترجیح داده‌اند. یک دلیل را شاید بتوان سیستم ساده‌تر AGR دانست که با تجهیزات و هزینه عملیاتی کمتر، نتیجه مشابهی را فراهم می‌کند.

همه این مطالعات و مدل‌سازی‌های اولیه در پاسخ به مشکلات گوناگون حفاری آب عمیق مطرح و در نهایت منجر به اولین استفاده تجاری RMR شدند.

قدم‌های اصلی در توسعه سیستم RMR

استیو و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۵، در شرکت AGR، با همکاری شرکت‌های Hydro Oil and Energy و Statoil و شورای تحقیقات نروژ^{۴۷}، قدمی اساسی در نحوه حفاری قسمت‌های ابتدایی چاه‌های فراساحلی^{۴۸} برداشتند. تکنولوژی‌ای جدید به نام سیستم بازیابی گل بدون رایزر (RMR) برای اولین بار عملیاتی شده و به عنوان جایگزینی برای روش پامپ و دامپ پیشنهاد می‌شود. با استفاده از این سیستم، جریان گل در هنگام حفاری قسمت‌های ابتدایی چاه، به سیستم تصفیه گل دکل



شکل ۸ | شماتیک کلی سیستم RMR در آب‌های با عمق متوسط. [۳]

به معرفی سیستم‌های مختلف برگشت گل از کف دریا به سطح پرداخت. سیستم‌های معرفی شده شامل هر دو دسته سیستم‌های دارای رایزر اولیه و بدون رایزر بودند. برگشت گل امکان استفاده از اثر گرادیان فشار دوگانه^{۴۵} را فراهم می‌کند و به دلیل نزدیک‌تر بودن به فشار طبیعی سازند، کنترل فشار ته‌چاهی مناسب‌تری را میسر می‌سازد.

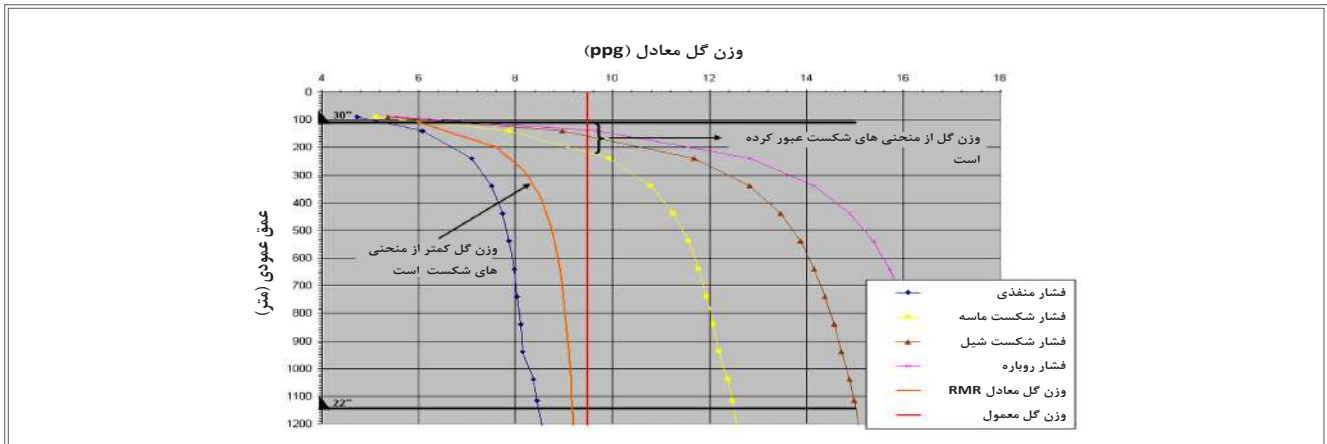
چو و همکاران [۲، ۸] در دو سال متوالی (۱۹۹۸ و ۱۹۹۹) با انجام مطالعاتی روی سیستم RMR، آن را با سیستم معمول مقایسه کرده و مزایا و معایب هر روش را بر شمرند. آنها بر کنترل چاه و فشار ته‌چاهی از این طریق تاکید داشته و در انتهای مقاله خود نیز عملکرد سیستم RMR را به صورت هیدرولیکی شبیه‌سازی کردند تا مهر تثبیتی بر این ادعایشان باشد.

شوهرت [۹] در سال ۲۰۰۱ میلادی سیستمی برای برگشت گل از کف دریا در حفاری‌های عمیق تا حدود ۱۰۰۰ فوت، پیشنهاد داد. در سیستم او (با وجود رایزر) از طریق پمپی، امکان بازگشت مجدد جریان گل به سطح فراهم شده بود. SMD^{۴۶} یا «حفاری با گل فرازآوری شده از بستر»، نامی بود که برای این سیستم پیشنهاد شده بود.

جانسون و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۰۱ میلادی بر استفاده از گل مهندسی شده برای بهبود کنترل بر روی چاه حین حفاری آب عمیق تاکید داشتند. در این روش برگشت گلی وجود ندارد و گل در کف دریا تخلیه می‌شود. لذا تامین مجدد حجم زیادی از سیال مهندسی شده از مشکلات مهمی است که با استفاده از سیستم سیالات حفاری دینامیک چاه (DKD)، آماده‌سازی سریع گل سنگین در مقادیر بالا ممکن خواهد شد. با وجود موفقیت نسبی این روش در حفاری قسمت‌های سطحی، همچنان مشکلات عدیده‌ای در این روش وجود دارد که راه را برای توسعه RMR هموارتر کرد.

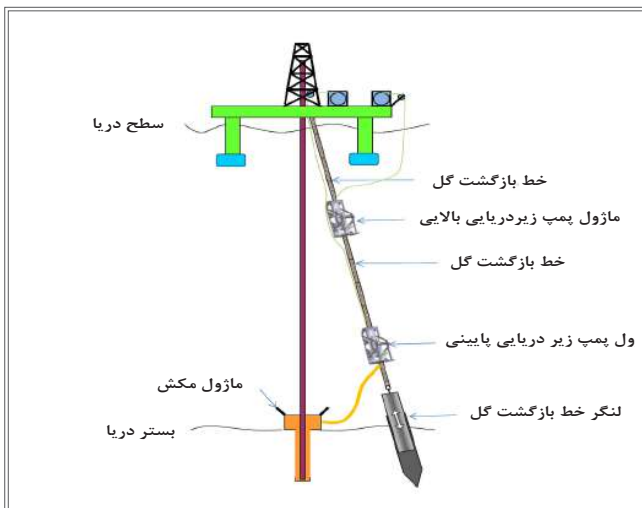
ترنر و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۰ میلادی مروری بر استفاده از گل مهندسی شده و دارای کلسیم کلراید (CaCl_2) در خلیج مکزیک برای کنترل مخاطرات سطحی ارائه دادند. با به کارگیری روش استفاده از گل سنگین، غلبه بر مخاطراتی که حین حفاری عمق‌های اولیه رخ می‌داد، ممکن شده است، ولی همچنان این روش با مشکلات عدیده‌ای روبه‌روست که کاربرد گسترده آن را محدود کرده است.

رولر و همکاران [۱۲] نیز پژوهشی مشابه با ترنر [۱۱] انجام داده و آن را در سال ۲۰۰۳ میلادی منتشر کردند. آنها نیز با به کارگیری گل سنگین، موفق به غلبه بر مشکلات حفاری عمق‌های اولیه سازند کف دریا شده و این مشکلات را ناشی از سستی سازندهای بالایی دانستند. در متن مقاله نیز چگونگی برنامه‌ریزی جهت



شکل ۹ | مقایسه وزن گل معادل با استفاده از سیستم RMR در برابر وزن گل قابل استفاده در روش معمول [۱۵]

نروژ، سیستم فعلی RMR را برای حفاری آب عمیق تکمیل و اصلاح کردند. در این پروژه، تغییراتی در سیستم RMR کم عمق انجام شد و طی عملیاتی در مالزی با استفاده از یک سکوی نیمه شناور، کارایی آن در آب های عمیق مورد بررسی قرار گرفت. تجهیزات مورد استفاده، عملیات ها، پیاده سازی و تجربیات حاصل و مزایای متعدد اقتصادی و عملیاتی آن شرح داده شده اند. نتایج حاصل از این تجربه میدانی، از اهمیت خاصی برخوردار هستند، چراکه اولین استفاده از سیستم RMR در آب های عمیق محسوب می شود. شماتیک این سیستم در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. مشکلات جدید، نیازمند راه حل های جدید، سرمایه گذاری و جسارت استفاده از راه های جدید هستند. قدم های بزرگ و پروژه های مشترک صنعتی پیاده سازی شده در زمینه RMR در این قسمت شرح داده شدند.



شکل ۱۰ | شماتیک کلی سیستم RMR در آب های با عمیق، [۵]

انتقال داده می شود. روش ساخت، اجزا، مزایا و معایب سیستم، برنامه حفاری، پیاده سازی عملیات و تجربه حاصل از اولین عملیات در آب کم عمق (کمتر از ۴۵۰ متر)، به همراه جزئیات عملیاتی سیستم مورد استفاده در این پژوهش بیان شده اند. در شکل ۸، شماتیک کلی سیستم RMR آمده است. اسکات و همکاران [۱۴] تجربه به کارگیری سیستم استفاده از گل سنگین مصرف شدنی در Nova Scotia را در مقیاسی فراتر از آنچه تا آن زمان پیاده سازی شده بود، شرح می دهند. به کارگیری این سیستم در صورتی کارآمد خواهد بود که از تجهیزات، فرایندها و مواد به درستی استفاده شده و تصمیمات لازم در زمان درست پیاده سازی شوند. نکته قابل توجه در این قسمت، استفاده از سیستم قدیمی پامپ و دامپ، با وجود توسعه سیستم RMR است. شاید مقایسه نتایج این دو روش برای حفاری چاه های جدید است که به توسعه روزافزون RMR کمک کرده است. برای اولین بار در سال ۲۰۰۹، هینتون و همکاران [۱۵] استفاده از سیستم RMR را روی یک سکوی جک آب گزارش کردند. یکی از علل اصلی استفاده از این سیستم در این مورد خاص، فاصله زیاد سکو از سطح آب، عمق آب کم و ماسه های محکم^{۴۹} در بستر دریا بود که عمق قرارگیری جداری هدایت کننده^{۵۰} را محدود می کرد. با استفاده از سیستم RMR، میزان دانسیته گردشی معادل (ECD^{۵۱}) سیال در پاشنه جداری کاهش پیدا کرد و ادامه عملیات ممکن شد. تمامی مراحل عملیاتی به تفصیل بیان شده، صرفه جویی های اقتصادی و سایر مزایای این روش نیز شرح داده شده است. شکل ۹ مقایسه ای از وزن گل معادل قابل استفاده با بهره گیری از سیستم RMR را نمایش می دهد. اسمیت و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۰ در شرکت AGR با همکاری BP America، Shell و Petronas و شورای تحقیقات

۴. تحقیقات و مدل سازی‌ها

تحقیق و مدل سازی، بخش جدایی ناپذیر یک تکنولوژی است. در سال ۲۰۰۶، فروین و همکاران [۶] در تحقیقی تحت عنوان «ارزیابی سیستم RMR برای حفاری قسمت ابتدایی چاه با گازهای سطحی» به ارزیابی ایمنی این سیستم در زمینه مواجهه با گازهای سطحی پرداختند. شبیه‌ساز سیستم RMR یک مدل گذرای جریان چند فاز است که برای مدل سازی حفاری و سناریوهای کنترل چاه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مدل سازی، پارامترهای موثر در تشخیص جریان ناخواسته گاز را مشخص کرده (افزایش سطح گل مخازن، توان و دور موتور پمپ زیردرا، ایمنی سیستم RMR در تشخیص و کنترل جریان گاز را تضمین می‌کند.

در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۸، خان و الیویرا [۱۶، ۱۷] در دو تحقیق جداگانه در زمینه حفاری با فشار مدیریت شده (MPD)^{۵۲} تحقیقات کاملی در دانشگاه Stavanger پیاده‌سازی کردند. خان در پژوهش خود به بررسی روش‌های حفاری بدون ریزر می‌پردازد و مقایسه‌ای از جنبه‌های مختلف همچون تعداد جداری‌های مورد نیاز، طراحی جداری و کنترل چاه بین روش معمول و حفاری بدون ریزر ارائه می‌کند. الیویرا نیز، به بررسی ضرورت استفاده از روش‌های حفاری بدون ریزر که زیرمجموعه‌ای از روش‌های MPD هستند می‌پردازد. همچنین انواع روش‌ها و تجهیزات MPD را برشمرده، خلاصه‌ای از تجربیات میدانی در زمینه کاربرد MPD و RMR و نیز مدل سازی‌های انجام شده در زمینه MPC^{۵۳} و MPD را تشریح می‌کند. MPC یا سیمان کاری با فشار مدیریت شده، به عملیات سیمان کاری گفته می‌شود که با استفاده از پمپ سیستم RMR، فشار در حین عملیات سیمان کاری مدیریت شده و بازدهی عملیات به میزان قابل توجهی بهبود خواهد یافت.

وانگ و همکاران [۱۸] به آنالیز ارتعاشات محوری خط بازگشت گل ناشی از وزن خط لوله و پمپ‌های گل شناور پرداخته‌اند. به دلیل استفاده از دو پمپ در خط بازگشت گل در حفاری آب‌های عمیق نیاز است که تاثیر نیروهای محوری بر ارتعاشات ایجاد شده بررسی شود. برای این منظور از روش وزن توده‌ای^{۵۴} استفاده شده، خط بازگشت گل به صورت گسسته شده^{۵۵} در نرم افزار ABAQUS بررسی شده است.

در سال ۲۰۱۶، پاول پاتر [۱۹] در مقاله‌ای تحت عنوان «ظهور روش‌های نوآورانه حفاری تطبیقی» به بررسی روش‌های نوین معرفی شده برای حفاری در آب‌های بسیار عمیق^{۵۶} یا «حفاری آنچه غیرقابل حفاری است» می‌پردازد. روش‌های مختلفی مانند حفاری معمول با ریزر (CRD)^{۵۷}، حفاری با

فشار مدیریت شده (MPD)، حفاری با گرادیان دوگانه (DGD) و سیستم ریزر پمپ شده (PRS) به صورت کامل بررسی شده‌اند. تکنولوژی‌هایی که زیر چتر هریک از این روش‌ها قرار می‌گیرند معرفی و تشریح شده‌اند. همچنین مزایا و معایب هریک و نحوه به کارگیری و عملیاتی کردن آنها مطرح شده است.

ژانگ و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۹ در دانشگاه نفت جنوب غربی چین، به دلیل تفاوت میدان دمایی سیستم RMR با سیستم معمولی به بررسی و تحلیل این موضوع پرداختند. چراکه این تغییر در میدان دمایی، باعث تغییرات در فشار دالیزی و کنترل آن می‌شود. برای پیاده‌سازی تحلیل‌ها، مدل سازی ریاضی بر اساس پدیده‌های فیزیکی انتقال حرارت صورت گرفته و برای اجرای مدل، از دینامیک سیالات محاسباتی^{۵۸} (CFD) استفاده شده است. در انتها آنالیز حساسیت روی پارامترهای اساسی پیاده شده، نتایج یک تجربه عملیاتی با این مدل مقایسه شده است تا از کارایی درست مدل اطمینان حاصل شود.

فانگ و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۲۰، در پژوهشی با همکاری صنعت و دانشگاه‌های چین، سرعت بحرانی چرخش رشته حفاری در حفاری‌های آب عمیق بدون ریزر را بررسی کردند. با افزایش عمق آب و بدون پشتیبانی ریزر، بارهای محیطی، بارهای کاری، حرکت سکوی حفاری و نیز گردش خود رشته حفاری و موارد بسیار دیگر، استرس بالاتری به رشته حفاری وارد می‌کنند که برای جلوگیری از لرزش‌های شدید رشته و در نهایت شکست و پارگی آن، تحلیل آنها ضروری به نظر می‌رسد. لی و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۲۰، به مدل سازی راندمان حمل خرده‌های حفاری در خط بازگشت گل سیستم RMR پرداختند. مدل ریاضی ساخته شده برای مدل سازی هیدرولیکی جریان سیال در خط بازگشت گل توضیح داده می‌شود و تاثیر هریک از پارامترهای سیال و خرده‌های حفاری (قطر داخلی خط بازگشت گل، اندیس رفتار جریان^{۵۹}، چگالی خرده‌های حفاری، قطر ذرات و اندیس قوام سیال^{۶۰}) بر کارایی حمل شرح داده می‌شود.

وانگ و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۲۱، در پژوهشی تاثیر کاهش کارکرد تدریجی سنسورها و اجزا، مشکلات معمول، کاهش کارکرد چندبخشی و نیز طراحی بر اساس وجود سیستم پشتیبان^{۶۱}، بر نتایج عیب‌یابی را بررسی کرده و بر اساس آنها قابلیت اطمینان کلی سیستم را برآورد کردند.

در این قسمت به تحقیقات، مدل سازی‌ها و نیز شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط دانشگاه‌ها، صنعت و موسسات تحقیقاتی پرداخته شده که هریک از آنها در افزایش کارایی و پیشرفت سیستم RMR موثر بوده‌اند.

۵. مروری بر تجربه‌های عملیاتی حاصل از گذر زمان

یافته، هریک تا عمق بیشتری امتداد یابند و در انتها، چاهی با قطر مطلوب جهت تولید به دست آید. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین دو چاه UD1 و SV1 که به ترتیب با روش «رایزر و حفره پایلوت»^{۲۴} و با سیستم RMR حفاری شده‌اند آورده شده است. در سال ۲۰۱۰ میلادی، کوهن و همکاران [۲۷] نخستین استفاده از سیستم RMR در خلیج مکزیک از یک کشتی حفاری را شرح دادند. در این پژوهش، دلایل به‌کارگیری سیستم RMR، شیوه نصب و به‌کارگیری، مشکلات به وجود آمده حین عملیات، صرفه‌جویی‌های اقتصادی و... در بخش‌های مجزایی شرح داده شده است.

در سال ۲۰۱۱ میلادی اسکالن و همکاران [۳] استفاده از سیستم RMR روی سکوی جک آپ در برزیل - به منظور حفظ اکوسیستم آب‌های حساس منطقه - را گزارش کردند. علاوه بر حفظ محیط زیست استفاده از این تکنولوژی فواید دیگری چون کنترل بهتر فشار، افزایش نرخ حفاری و جداری‌گذاری مناسب‌تر را نیز به همراه داشت.

در سال ۲۰۱۳ میلادی رزک و همکاران [۲۸] به شرح تجربه دیگری از این سیستم در آب‌های روسیه پرداختند. بیشترین تاکید آنها در این عملیات، حفظ محیط زیست آن منطقه بوده است. این مقاله همچنین به شرح ویژگی‌ها، مزایا، قواعد عملیاتی^{۲۴} و تجارب پیشین استفاده از این سیستم پرداخته است. شکل ۱۱ مقایسه‌ای میان دو روش حفاری معمول و RMR است که کاهش زمان حفاری را به‌خوبی نمایش می‌دهد

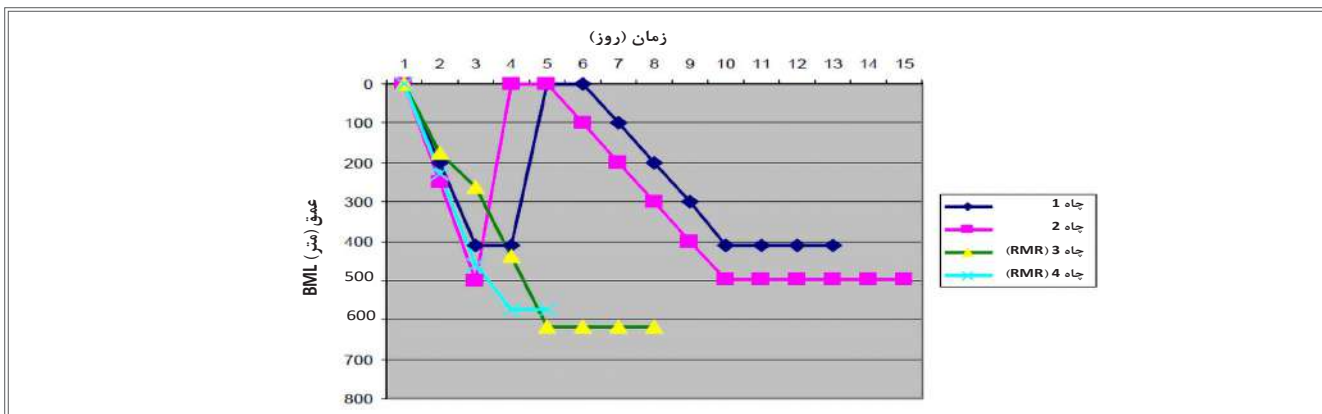
در مقالات منتشرشده در این حوزه، بخش‌های مشابهی به چشم می‌خورد و روند بررسی هریک تقریباً یکسان است؛ به گونه‌ای که مطالعات این بخش، ابتدا نیازها و چالش‌هایی که منجر به استفاده از سیستم RMR شده را شرح و بسط می‌دهند، سپس به معرفی اجزای سیستم و کاربرد هریک می‌پردازند؛ پس از آن عملیات‌های انجام‌شده حین و پیش از استفاده از آن را بازگو می‌کنند. در انتها، آنچه در طول این تجربه به دست آمده را به صورت نتیجه‌ای عنوان می‌کنند. در ادامه به بررسی جزئی‌تر هریک از مطالعات می‌پردازیم.

در سال ۲۰۰۵ آلفورد و همکاران [۲۴، ۲۵] مروری بر تجربه‌ی استفاده از سیستم RMR توسط شرکت BP در آب‌های دریای خزر کشور آذربایجان منتشر کردند که با به‌کارگیری سیستم RMR و استفاده از گل سیلیکاتی، امکان غلبه بر مشکل ناپایداری لوله جداری ۲۰ اینچی فراهم شد. این مطالعه در دو بخش ارائه شده است که بخش اول درباره‌ی سیستم RMR و دیگری درباره‌ی گل به کاربرده‌شده بحث می‌کند.

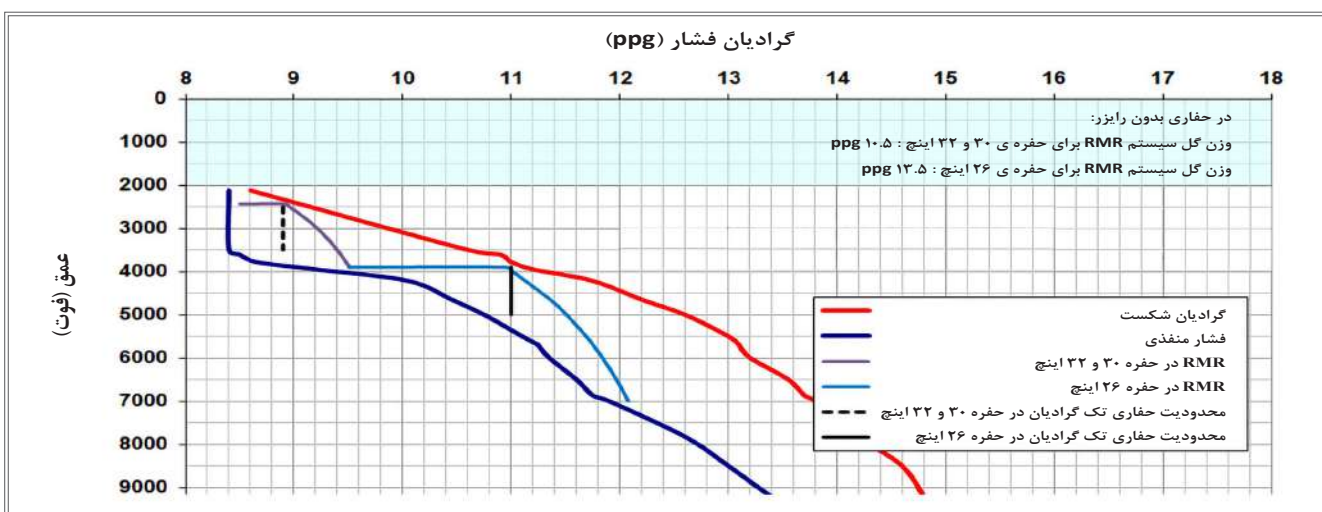
در سال ۲۰۰۷ میلادی ثوروگود و همکاران [۲۶] از تجربه استفاده از سیستم RMR در جزیره Sakhalin سخن گفتند. از جمله دلایل استفاده از این سیستم می‌توان به: محیط و زیست‌بوم حساس، پنجره دمایی محدود، حضور Shallow Gas، قوانین محدود و سخت‌گیرانه و... اشاره کرد. این سیستم با ایجاد کنترل موثر فشاری سبب شد تا تعداد جداری‌ها کاهش

جدول ۱ | زمان‌های حفاری روش قدیمی با استفاده از رایزر و حفره پایلوت در مقایسه با استفاده از RMR [۲۷]

چاه	رویداد	زمان	تعداد روزها	حفره پایلوت	زمان حفاری	طول بخش	توضیحات
UD1	اتمام راندن لنگرها	۲۰۰۵/۷/۲۸ ۱۰:۰۰	۱۵.۳۳	۴	۵.۲۷	۶۴۴	از دست رفتن فیش در حفره پایلوت
	اتمام حفره پایلوت	۲۰۰۵/۸/۱ ۱۰:۰۰					
	شروع حفره ۲۶"	۲۰۰۵/۸/۵ ۱۰:۰۰					
	رسیدن به نقطه جداری	۲۰۰۵/۸/۱۰ ۱۰:۰۰					
	راندن جداری ۲۰"	۲۰۰۵/۸/۱۲ ۱۰:۰۰					تویی شدن مته ۶۴۴ حفره ۲۶" در دو گذر حفاری شد
SV1	اتمام راندن لنگرها	۲۰۰۶/۸/۱۸ ۱۸:۰۰	۴.۸۵		۲.۵۱	۷۲۸	سرعت حفاری حفره ۱۷۲/۱" بهبود یافت
	شروع حفره ۱۷۱/۲"	۲۰۰۶/۸/۲۰ ۲:۰۰					
	رسیدن به نقطه جداری	۲۰۰۶/۸/۲۲ ۱۴:۱۵					
	راندن جداری ۱۳۳/۸"	۲۰۰۶/۸/۲۳ ۱۴:۳۰					
							نبود نیاز به وایپر تریپ قبل از راندن جداری



شکل ۱۱ | منحنی زمان حفاری در چهار چاه روسیه [۲۸]

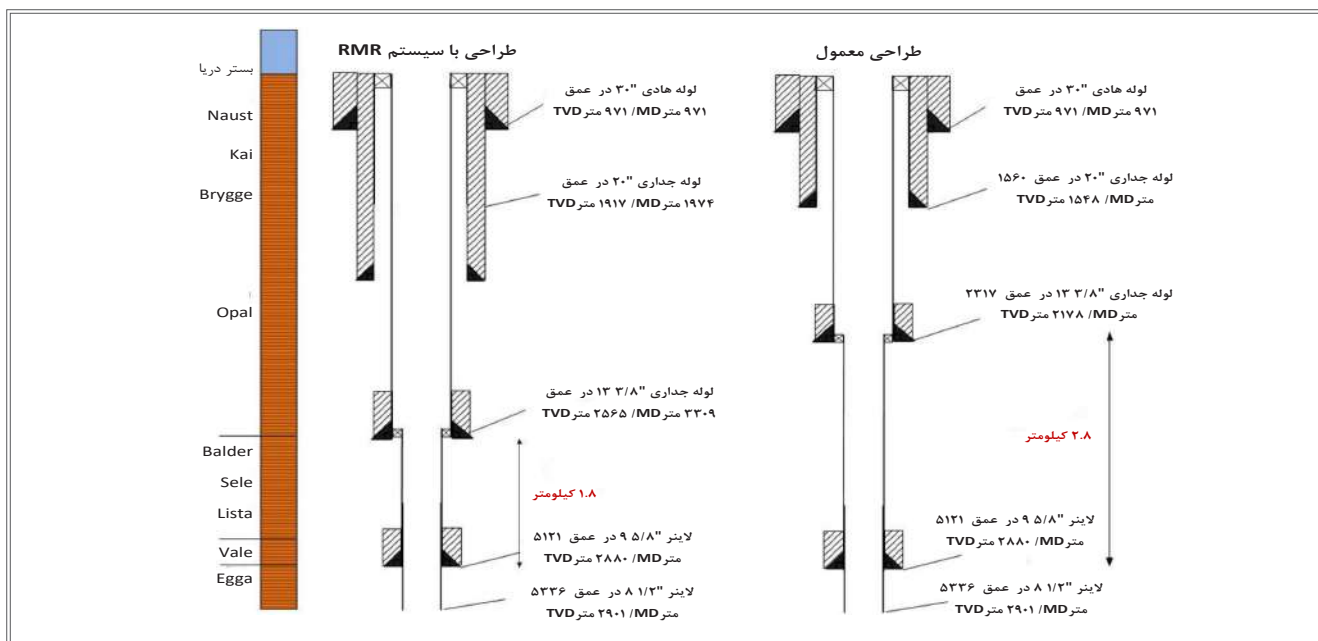


شکل ۱۲ | حفاری با گرادیان دوگانه به کمک سیستم RMR و مقایسه آن با روش تک گرادیان معمول [۲۹]

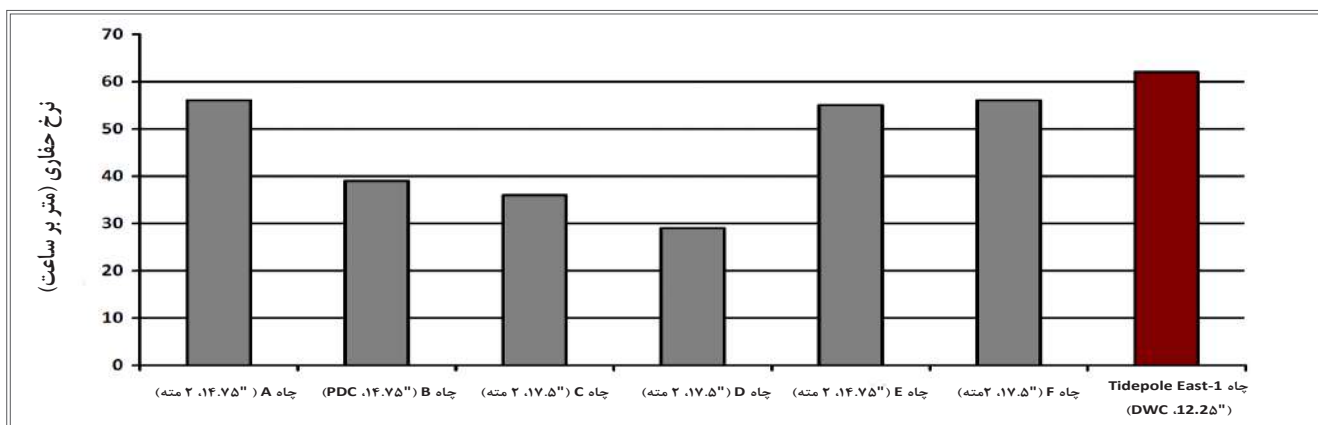
۶. مروری بر تلفیق دیگر تکنولوژی‌های روز دنیا با سیستم RMR
 میرجیبی و همکاران [۳۱] در سال ۲۰۱۰ میلادی از تجربه شرکت AGR در استفاده از RMR برای ارائه روش خاصی از MPC در دریای خزر نوشتند. به واسطه وجود اختیار در انتخاب انواع مختلفی از پمپ‌ها در ساختار سیستم RMR، امکان کنترل موثرتر فشار در حین عملیات حفاری و افزایش کیفیت سیمان کاری فراهم شده و از هرزروی سیمان به داخل سازند یا برگشت آب و گاز به داخل چاه جلوگیری می‌شود. این مطالعه، در دو بخش اصلی، ابتدا به معرفی تکنولوژی‌های تلفیق‌شده و در بخش دیگر، به اعمال لازم حین و پیش از سیمان کاری پرداخته است.

پیتون و همکاران [۳۲] در سال ۲۰۱۳ میلادی از تجربه تلفیق حفاری با جداری^{۶۶} (DWC) و RMR در استرالیا سخن می‌گویند. به دلیل وجود سازند بسیار متخلخل و هرزروی زیاد ناشی از آن، حفاری به وسیله لوله جداری در دستور کار قرار گرفت. تمیزکاری نامناسب

در سال ۲۰۱۴ میلادی استیو و همکاران [۲۹] مروری بر استفاده از سیستم RMR در آب‌های قطبی ارائه دادند. مقاله مزایای این روش را با جزئیات و شرح بیشتری برشمرده است. تفاوت به‌کارگیری گرادیان دوگانه با روش معمول در شکل ۱۲ به وضوح مشخص است. باقی ماندن در داخل پنجره گل با استفاده از این روش آسان‌تر خواهد بود. در سال ۲۰۱۶ میلادی کلاودی و همکاران [۳۰] از تجربه عمیق‌ترین استفاده از سیستم RMR در دریای شمال سخن گفتند. این سیستم استفاده از سیمان فومی^{۶۴} را فراهم کرده و قراردادن لوله جداری در عمق بیشتری را میسر کرد. شکل ۱۳، طراحی چاه^{۶۵} در روش معمول را با روش RMR مقایسه می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، عمق قرارگیری تمامی جداری‌ها با این روش قابل افزایش است. تجربیات مثبت استفاده از سیستم RMR در مناطق مختلف دنیا، نشانی از کارآمدی این سیستم است.



شکل ۱۳ | تفاوت طراحی چاه با استفاده از سیستم RMR و روش معمول [۳۰]



شکل ۱۴ | نرخ متوسط حفاری چاه Tidepole East-1 با استفاده از حفاری با جداري و RMR، در مقایسه با چاه‌های مجاور [۳۲]

بخش مزایای سیستم RMR شرح داده شده‌اند. در سال ۲۰۱۸ کلاودی و همکاران [۳۴] تجربه دیگری از تلفیق تکنولوژی RMR با MPC و CML^{EV} در دریای برنت نروژ را شرح دادند. حفاری سازندهای اولیه فشاربالا با سیستم RMR به‌خوبی انجام گرفت. همچنین با کنترل فشاری دقیق در سر چاه در حین عملیات MPC، کیفیت سیمان کاری نیز تضمین شد. پس از نصب رایزر و BOP، همچنان پمپ سیستم RMR در مسیر بازگشت نگه داشته شد تا بتواند با کنترل دقیق و جزئی فشار، عملاً سیستم CML را پیاده‌سازی کند. در این تکنولوژی با تغییر در سطح سیال داخل رایزر، میزان فشار ته‌چاهی در حد بهینه خود نگه داشته می‌شود.

چاه در حین استفاده از این روش، می‌تواند مشکلات متعددی از جمله گیرکردن رشته حفاری را در پی داشته باشد. سیستم RMR، با به‌کارگیری پمپ‌های قوی جهت ارسال و دریافت سیال حفاری، هیدرولیک و تمیزکاری لازم را فراهم کرد. در شکل ۱۴ افزایش سرعت حفاری در این روش در مقایسه با چاه‌های مجاور نشان داده شده است. استیو و همکاران [۳۳] در سال ۲۰۱۴ میلادی تجربه دیگری از تلفیق RMR و MPC را شرح دادند. ابزارهای به‌کاررفته در تکنولوژی MPC فشار را حین سیمان کاری کنترل می‌کنند تا از وقوع شکستگی در سازند جلوگیری شود. جزئیات بیشتر از مزایای به‌کارگیری از MPC در عملیات سیمان کاری، به صورت جامع در

- کنترل جریان ناخواسته سیال سازندی با استفاده از روش «فشار ثابت در رشته حفاری»؛
- کاهش زمان‌های غیرتولیدی (NPT)؛
- شناسایی گازهای سطحی حتی قبل از رسیدن به پمپ بستر دریا؛ از طریق مشاهده بالا آمدن سطح سیال در پیت‌های دکل، توان و دور موتور پمپ بستر.
- * نیاز نداشتن به رایزر اولیه



شکل ۱۵ | دالیز بین جداری ۲۰ اینچ و لوله هادی. مقایسه بین به کار بردن MPC و روش معمول. [۳۴]

- صرفه‌جویی در زمان و هزینه راندن و ذخیره‌سازی رایزر؛
- حجم کمتر گل به دلیل قطر کمتر خط بازگشت گل؛
- کاهش تاثیر نیروهای محیطی و حفظ مکان ۷۰ آسان‌تر نسبت به استفاده از رایزر؛
- حل مشکل تبدیل شدن ناگهانی گرادیان گل به گرادیان آب در صورت جدا شدن رایزر؛
- از دست ندادن رایزر در صورت جدا شدن اضطراری (جدایش سریع‌تر)؛
- نبود خستگی و نشستی بین قسمت‌ها^{۷۱}ی رایزر و کیل لاین^{۷۲} و چوک لاین پیوسته.
- * بازیابی خرده‌های حفاری و اطلاعات آن‌ها
- جداسازی کنده‌های حفاری برای جلوگیری از تجمع آن‌ها روی تمپلیت بستر دریا؛

شکل ۱۵ وجود سیمان در دالیز در صورت استفاده از MPC پس از عملیات P&A^{۶۸} را نشان می‌دهد. ایده ترکیب سایر تکنولوژی‌ها، حدود یک دهه پس از اولین استفاده تجاری از سیستم RMR مطرح شده و هدف از آن، حرکت در جهت استفاده هرچه بهتر و موثرتر از آنها در کنار سیستم RMR و بهره‌گیری هم‌زمان از مزایای هر دو سیستم بود.

۷. مزایا

- این قسمت با جمع‌بندی و خلاصه‌سازی مزایا و معایب ذکر شده در مقالات مختلف آماده شده است. [۲، ۴، ۶، ۷، ۱۳، ۱۶، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۱-۳۴]
- * حفاری با گرادیان دوگانه (DGD)
- استفاده از حفاری با گرادیان دوگانه برای کنترل فشار و باقی ماندن در پنجره گل و رسیدن به افق‌هایی که در حالت تک‌گرادیان ممکن نیست؛
- حذف دو تا سه جداری در هنگام حفاری در آب‌های عمیق برای سازندهایی با فشار غیرنرمال؛
- کنترل سریع، آسان و ایمن میزان اوربالانس^{۶۹} که منجر به افزایش نرخ نفوذ و عمر مته می‌شود؛
- قطر چاه کافی در مخزن برای نرخ تولید بالا و توانایی به‌کارگیری روش‌های مختلف در تکمیل چاه؛
- نیاز نداشتن به حفاری حفره پایلوت.
- * به کارگیری MPD
- * هیدرولیک بهتر
- افزایش فشار و توان (تا دو برابر حالت عادی)، تمیزکاری مناسب چاه‌های انحرافی؛
- بهبود تمیزکاری چاه برای جلوگیری از گیر لوله در حین حفاری با جداری.
- * استفاده مجدد از تقریباً تمامی گل سنگین برای کنترل مخاطرات سطحی
- حل مشکل لجسستگی تامین حجم بالای گل سنگین مورد نیاز؛
- مزایا و توانایی کاربرد در مناطق حساس محیط‌زیستی؛
- تنظیم وزن و خواص گل بر اساس اطلاعات در لحظه کنده‌ها.
- * افزایش پایداری چاه و سیمان‌کاری بهتر
- * ماژولار، قابل حمل و قابل تغییر^{۷۴} بودن
- در آب‌های کم‌عمق، عمیق و بسیار عمیق، (سکوه‌های جک آپ، نیمه‌شناور، کشتی حفاری و...)
- نداشتن محدودیت عمق آب برای حفاری (به صورت تئوری).
- * توانایی ترکیب با سایر تکنولوژی‌ها
- مانند MPC، حفاری با جداری، CML و استفاده هم‌زمان از مزایای هر دو تکنولوژی؛
- بالاتر رفتن ظرفیت سکوه‌های حفاری فعلی با ارتقای آن‌ها؛
- توانایی کاربرد بدون اختلال در سایر عملیات‌های حفاری، جداری‌گذاری و سیمان‌کاری؛
- توانایی کنترل فشار در حین ست‌شدن و بعد از ست‌شدن سیمان؛
- به حداقل رساندن تبادل سیال بین سازند و چاه در حین سیمان‌کاری؛
- توانایی تست یکپارچگی و کیفیت مناسب سیمان‌کاری بعد از اتمام عملیات؛
- توانایی سیمان‌کاری لاینر در مخازن شکاف‌دار طبیعی و ست‌کردن پلاگ‌های تعادلی سیمان و توانایی کاربرد دوغاب‌های سیمانی سن؛
- کاهش ECD در حین سیمان‌کاری، افزایش طول ستون سیمان، افزایش دبی تزریق سیمان؛
- اطمینان از رسیدن سیمان به بستر دریا و سر چاه.

شکل ۱۵ وجود سیمان در دالیز در صورت استفاده از MPC پس از عملیات P&A^{۶۸} را نشان می‌دهد. ایده ترکیب سایر تکنولوژی‌ها، حدود یک دهه پس از اولین استفاده تجاری از سیستم RMR مطرح شده و هدف از آن، حرکت در جهت استفاده هرچه بهتر و موثرتر از آنها در کنار سیستم RMR و بهره‌گیری هم‌زمان از مزایای هر دو سیستم بود.

در این قسمت شده است. بازیابی کنده‌های حفاری، اطلاعات سازندهای سطحی را در اختیار گذاشته که به سبب آن، حفاری چاه‌های آینده میدان با سرعت و امنیت بیشتری انجام خواهد گرفت. صرفه‌جویی‌های اقتصادی چندین میلیون دلاری در حفر هر حلقه چاه، و به عبارتی صرفه‌جویی چند صد میلیون دلاری در توسعه کلی یک میدان فراساحلی هم، از نتایج سیستم RAR به شمار می‌رود. ماژولار و قابل حمل بودن این سیستم، قابلیت نصب آن روی سکوه‌های متفاوت را ممکن کرده، حداکثر عمق عملیاتی سکوه‌های قدیمی‌تر را نیز ارتقا بخشیده است. از طرفی ترکیب آن با سایر تکنولوژی‌ها، سرعت و کیفیت این عملیات‌ها را نیز به شدت افزایش داده است.

از آنجاکه هدف اصلی از هر حفاری، تولید نفت با صرف کمترین هزینه است. با بهره‌گیری از این سیستم، دستیابی به حفره‌های بزرگ‌تر در ناحیه مخزنی ممکن خواهد بود و تولید نفت با دبی بالا از چاه‌های عمیق دریایی را فراهم خواهد کرد. دسترسی به سازندهای بسیار عمیق نیز که تا قبل از آن غیرممکن می‌نمود با کمک این تکنولوژی عملیاتی شده است.

با وجود نیاز به این تکنولوژی، متأسفانه تاکنون RMR در کشور عزیزمان مورد استفاده قرار نگرفته است، ولی به کارگیری آن در آب‌های عمیق دریای خزر و دریای عمان، می‌تواند افق‌های جدیدی را برای صنعت حفاری کشور بگشاید. همان گونه که به کارگیری آن در کشور آذربایجان، امکان دسترسی به میادین عمیق‌تر دریای خزر را فراهم کرده است.

۸. معایب

- زمان مورد نیاز برای راه‌اندازی، بسته به شرایط بستر دریا و تجربه اپراتور ROV؛
- حجم بالای سیال مورد نیاز برای حفاری حفره‌های سطحی و نیاز به مخلوط کردن سیالات پایه در خشکی؛
- نیاز به آموزش برای خدمه و پیچیدگی‌های عملیاتی؛
- ممکن است نیاز به اعمال برخی تغییرات جزئی برای نصب سیستم RMR وجود داشته باشد. (مانند اتصال خط بازگشت گل به سیستم گردش گل سکو، مقاوم‌سازی عرشه قبل از نصب تجهیزات و...)
- در عمل، سیستم RMR نیز از نظر عمق، محدودیت عملیاتی دارد. اعمال تغییرات در سیستم، به منظور حداقلی‌سازی محدودیت‌ها؛
- هزینه اولیه^{۷۵} بالا و احتمال نیاز به اضافه کردن ژنراتور دیزلی برای تامین انرژی مورد نیاز RMR؛
- در اثر مسدود شدن مسیر بازگشت گل، ممکن است خط بازگشت گل دچار مچالگی شود.

۹. نتیجه‌گیری

همان‌گونه که شرح داده شد، در حال حاضر سیستم RMR یک سیستم اثبات‌شده است که نتایج مثبتی از کارکرد آن در سرتاسر دنیا ثبت شده است. استفاده از گرادبان دوگانه و توانایی بهره‌گیری ساده از MPD، کنترل کامل روی چاه در قسمت‌های ابتدایی، حفاری فراساحلی را ممکن کرده است. همچنین مشکلات حفاری در این قسمت به حداقل رسیده و منجر به افزایش چشمگیر سرعت حفاری

پانویس‌ها

1. Pump and Dump	26. RPM	51. Equivalent Circulating Density
2. Shallow Water Flow	27. Quick Release	52. Managed Pressure Drilling
3. Shallow Gas Pocket	28. Suction Module	53. Managed Pressure Cementing
4. Non-Productive Time (NPT)	29. Low Pressure Wellhead	54. Lumped Mass Method
5. Riser	30. Subsea Electronics Package	55. Discretized
6. Sacrificial Weighted Mud	31. Mud Return Line Anchor System	56. Ultra Deep Water
7. Managed Pressure Drilling	32. Heave	57. Conventional Riser Drilling
8. Dual Gradient Drilling	33. Lower Docking Joint	58. Computational Fluid Dynamics
9. Pumped Riser System	34. Fatigue	59. Flow Behavior Index
10. Riseless Mud Recovery	35. Vortex Induced Vibration	60. Consistency Index
11. Subsea Wellhead	36. Upper Docking Joint	61. Redundant Design
12. Shallow Hazards	37. Suction Hose	62. Pilot Hole
13. Kick	38. SPM Handling Frame	63. Operating Principles
14. Umbilical Winch	39. Moonpool	64. Cement Foam
15. Subsea Pump Module	40. Hang Off Module	65. Well Design
16. Control Container	41. Flowhead	66. Drilling with Casing
17. Hydraulic Power Unit	42. Variable Speed Drives	67. Controlled Mud Level
18. Suction and Centralizing Module	43. Office & Workshop Container	68. Plugging and Abandoning
19. Suction Hose	44. Conductor Casing Hang off Frame	69. Overbalance
20. Relief Valve	45. Dual Gradient Effect	70. Station Keeping
21. Centralization and Running Tool	46. Subsea Mudlift Drilling	71. Joint
22. Mud Return Line	47. Norwegian Research Counsel	72. Kill Line
23. Shut off	48. Offshore Tophole Sections	73. Choke Line
24. Bleed off	49. Firm Sand	74. Modifiable
25. Remote Operated Vehicle	50. Conductor Casing	75. CAPEX

- [1] McLeod, Wilfred R. A review of Riserless Drilling Alternatives. in SPE European Spring Meeting. 1976. OnePetro.
- [2] Choe, Jonggeun and Hans C Juvkam-Wold. Well control aspects of riserless drilling. in SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 1998. OnePetro.
- [3] Scanlon, Terry. Environmentally-Improved Method of Drilling Top-Hole Sections Offshore Brasil Using Dual-Gradient Drilling Techniques for the First Time in Brasil. in OTC Brasil. 2011. OnePetro.
- [4] Stave, R, et al. Demonstration and qualification of a riserless dual gradient system. in Offshore Technology Conference. 2005. OnePetro.
- [5] Smith, Dave, et al. Deepwater riserless mud return system for dual gradient tophole drilling. in SPE/IADC Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition. 2010. OnePetro.
- [6] Froyen, Johnny, et al. Riserless mud recovery (RMR) system evaluation for top hole drilling with shallow gas. in SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition. 2006. OnePetro.
- [7] Goldsmith, Riley. MudLift drilling system operations. in Offshore Technology Conference. 1998. OnePetro.
- [8] Choe, Jonggeun, Analysis of riserless drilling and well-control hydraulics. SPE drilling & completion, 1999. 14(01): p. 71-81.
- [9] Schubert, Jerome. Sub Sea Mud Lift Drilling: From Jip To The Classroom. in 2001 Annual Conference. 2001.
- [10] Johnson, Michael and Michael Rowden. Riserless drilling technique saves time and money by reducing logistics and maximizing borehole stability. in SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2001. OnePetro.
- [11] Turner, KM and LJ Morales. Riserless Drilling With CaCl₂ Mud Prevents Shallow Water Flows. in IADC/SPE Drilling Conference. 2000. OnePetro.
- [12] Roller, PR. Riserless drilling performance in a shallow hazard environment. in SPE/IADC Drilling Conference. 2003. OnePetro.
- [13] Carter, G, B Bland, and M Pinckard. Riserless drilling-applications of an innovative drilling method and tools. in Offshore Technology Conference. 2005. OnePetro.
- [14] Scott, Paul, et al. Pushing the limits of riserless deepwater drilling. in AADE Drilling Fluids Conference. 2006.
- [15] Hinton, Andrew John, et al. BP Egypt Uses RMR on a Jack-up to Solve a Top Hole Drilling Problem. in SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. 2009. OnePetro.
- [16] Khan, Ahsan, Riserless drilling (managed pressure drilling). 2012, University of Stavanger, Norway.
- [17] Oliveira, Luize, MPD-Field case Studies, Modelling and Simulation Studies. 2018, University of Stavanger, Norway.
- [18] Wang, Guo-dong, et al., Axial vibration analysis of the mud recovery line on deepwater riserless mud recovery drilling system. China Ocean Engineering, 2014. 28(3): p. 381-390.
- [19] Potter, Paul. Advent of Innovative Adaptive Drilling Methods. in Offshore Technology Conference Asia. 2016. OnePetro.
- [20] Zhang, Jie, et al., Establishment and analysis of temperature field of riserless mud recovery system. Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles, 2019. 74: p. 19.
- [21] Fang, Yong, et al. Analysis on the Critical Speed of Drilling String in Deep Water without Riser. in Journal of Physics: Conference Series. 2020. IOP Publishing.
- [22] Li, Xin, et al. Study on Lifting Efficiency of Cuttings in Return Line of Riserless Mud Recovery System. in Proceedings of the 2020 The 9th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications. 2020.
- [23] Wang, Chuan, et al., Reliability evaluation method based on dynamic fault diagnosis results: A case study of a seabed mud lifting system. Reliability Engineering & System Safety, 2021. 214: p. 107763.
- [24] Alford, SE, et al. Riserless mud recovery system and high performance inhibitive fluid successfully stabilize west azeri surface formation. in Offshore Mediterranean Conference and Exhibition. 2005. OnePetro.
- [25] Alford, SE, et al. Silicate-based fluid, mud recovery system combine to stabilize surface formations of Azeri Wells. in SPE/IADC Drilling Conference. 2005. OnePetro.
- [26] Thorogood, John Laurence, et al. Deployment of a riserless mud recovery system offshore Sakhalin Island. in SPE/IADC Drilling Conference. 2007. OnePetro.
- [27] Cohen, John Hall, et al. Gulf of Mexico's first application of riserless mud recovery for top-hole drilling-a case study. in Offshore Technology Conference. 2010. OnePetro.
- [28] Rezk, Ramzy. Safe and Clean Marine Drilling with Implementation of Riserless Mud Recovery Technology-RMR. in SPE Arctic and Extreme Environments Technical Conference and Exhibition. 2013. OnePetro.
- [29] Stave, Roger, et al. Exploration drilling with riserless dual gradient technology in Arctic waters. in OTC Arctic Technology Conference. 2014. OnePetro.
- [30] Claudey, Eric, Caroline Maubach, and Sandy Ferrari. Deepest deployment of riserless dual gradient mud recovery system in drilling operation in the North Sea. in SPE Bergen One Day Seminar. 2016. OnePetro.
- [31] Mir Rajabi, Mehdi, Roger S Stave, and Bjorn Rohde. Successful Implementations of Top-Hole Managed Pressure Cementing in the Caspian Sea. in SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2012. OnePetro.
- [32] Peyton, J, et al. World first: Drilling with casing and riserless mud recovery. in IPTC 2013: International Petroleum Technology Conference. 2013. European Association of Geoscientists & Engineers.
- [33] Stave, Roger, et al. Safe and efficient tophole drilling using riserless mud recovery and managed pressure cementing. in Offshore Technology Conference-Asia. 2014. Offshore Technology Conference.
- [34] Claudey, E, et al. Experience using managed pressure cementing techniques with riserless mud recovery and controlled mud level in the barents sea. in SPE Norway One Day Seminar. 2018. OnePetro.