

بررسی تأثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ مته در چاه‌های عمودی و زاویه‌دار با در نظر گرفتن سازندهای مختلف در میدان گازی پارس جنوبی

امین احمدی^{۱*}، ابوالفضل مسعودی، مجتبی آبدیده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

چکیده

به منظور حفاری هرچه بهتر چاه‌ها و افزایش سرعت حفاری فاکتورهای متعدد تأثیر دارد که باید به بهترین وجه ممکن با هم ترکیب شوند که بهترین سرعت حفاری حاصل شود. در این مطالعه با بررسی گزارش‌های روزانه حفاری، زمین‌شناسی، گل و نمودارگیری از چاه در ۷۶ حلقه چاه مختلف میدان پارس جنوبی، تجزیه و تحلیل مشکلات حفاری مرتبط با سیال حفاری، پارامترهای بهینه حفاری و بهترین برنامه کاربردی سیال حفاری در حفره‌های مختلف بررسی شد و در ادامه با استفاده از داده‌های موجود فاکتورهای تأثیرگذار بر سرعت حفاری به صورت ریاضی با استفاده از رگرسیون خطی چندتایی، مدل‌سازی شده و نشان داده شد که چه میزان، این پارامترها می‌توانند در سرعت حفاری موثر باشند. همچنین اثر خصوصیات گل از قبیل وزن گل، گرانیوی پلاستیکی و نقطه واروی بر روی میزان سرعت حفاری ارائه گردید و مشخص شد که با افزایش وزن، گرانیوی پلاستیکی و نقطه واروی، میزان نفوذ مته کاهش می‌یابد. در ادامه، میزان حساسیت نفوذ مته نسبت به چرخش مته و وزن روی مته مورد بررسی قرار گرفت که در آن، چرخش مته نسبت به وزن مته، اثری بیشتری بر روی نرخ نفوذ مته دارد. با استفاده از این اطلاعات قبل از عملیات حفاری، تا حد زیادی می‌توان از مشکلات احتمالی جلوگیری و هزینه‌های حفاری را به میزان چشمگیری کاهش داد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۱۱/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۲/۲۷

واژگان کلیدی:

سرعت حفاری، خصوصیات سیال حفاری، رگرسیون خطی چندتایی، کاهش هزینه‌ها

مقدمه

جداسازی ذرات و غیره داشته باشد. سیال حفاری معمولاً شامل یک فاز مایع و یک فاز جامد است؛ فاز مایع ممکن است شامل گاز، روغن، آب و یا ترکیبی از این مواد باشد. فاز جامد شامل جامدات و مواد سازند و موادی که به دلایل خاص به فاز مایع اضافه شده‌اند، می‌باشد. گل حفاری آمیزه‌ای از آب و مواد دیگر جهت سهولت و ادامه عملیات حفاری است که از دیر باز در حفاری‌های ایران مورد استفاده قرار می‌گرفت و به مرور زمان مواد مختلف با خواص گوناگون فیزیکی و شیمیایی به آن افزوده شد. [۱] بسیاری از کاربردهای آنالیز رگرسیون مربوط به مواقعی است که در آن پیش از یک متغیر وجود دارد. مدل رگرسیونی که پیش از یک متغیر داشته باشد، مدل رگرسیون چندگانه^۱ نامیده می‌شود. برای حل معادله بورگین و یانگ و به دست آوردن مقادیر ثابت ذکر شده، از رگرسیون خطی چندگانه استفاده می‌کنیم. از رگرسیون خطی چندگانه اغلب برای تخمین توابع استفاده می‌شود [۲]. عوامل تأثیرگذار بر روی نرخ نفوذ حفاری (ROP) را می‌توان به دو گروه اصلی طبقه‌بندی کرد: الف) عوامل قابل کنترل: فرسایش مته، طراحی مته، وزن روی مته، سرعت چرخش مته، دبی جریان گل، هیدرولیک مته، اندازه نازل مته، هندسه موتور و توربین ب) عوامل محیطی: عمق، خواص سازند، نوع گل، چگالی گل، دیگر خواص گل حفاری، فشار گل بالای تعادل و فشار ته چاهی. عوامل قابل کنترل در مقایسه با عوامل محیطی می‌تواند به راحتی تغییر داده شود. به دلیل شرایط اقتصادی و زمین‌شناسی، تغییر عوامل محیطی، غیرعملی و

گل حفاری برای اولین بار در سال ۱۹۰۱ میلادی در حفاری دورانی مورد استفاده قرار گرفت. گل حفاری با ترکیب خاص خود یکی از مهمترین قسمت‌های عملیات حفاری می‌باشد و نقش به‌سزایی در این عملیات ایفا می‌کند. امروزه شرکت‌های سازنده مواد و ابزارهای سیال حفاری توانسته‌اند وسایل جدیدتری را جهت آزمایش‌های سیال حفاری عرضه نموده و به مواد شیمیایی مناسب‌تری جهت بالا بردن کیفیت سیالات حفاری دست یابند. سیال حفاری به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تقریباً با تمام مشکلات حفاری در ارتباط است. اولین هدف در برنامه‌ریزی یک برنامه گل، انتخاب آن گلی است که حداقل زمان عملیات حفاری را داشته باشد. به‌طور کلی یک سیال حفاری خوب، ساده و دارای کمترین مقدار مواد افزایه می‌باشد، زیرا در این شرایط کنترل خواص فیزیکی و شیمیایی آن گل آسان‌تر است. هر تغییر احتمالی در گل باید به‌خوبی برنامه‌ریزی شود. بدین منظور برنامه گل با کسب همه اطلاعات زمین‌شناسی از محل چاه آغاز می‌شود که شامل فشار خلل و فرج و نمودار گرادیان شکست، ویژگی‌های سازند، موقعیت طبقات نمکی انحلال‌پذیر و برخی دیگر از اطلاعات مورد نیاز مهندسی می‌باشد. در مرحله بعد، برنامه‌های جداره‌گذاری و گل باید با هم ترکیب شوند زیرا راه حل بعضی از مشکلات، حبس آنها در پشت لوله‌های جداره است. پس از طراحی برنامه گل مناسب، امکانات و تجهیزات مربوط به گل باید طوری انتخاب و سازماندهی شود که بهترین عملکرد را در مخلوط کردن و ساخت گل،

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (Ahmadi.amin68@yahoo.com)

یا گران است. بسیاری از این عوامل اشاره به پیچیدگی برهم کنش مته با سنگ دارند که این پیچیدگی ناشی از وابستگی متقابل و غیرخطی برخی از این اثرات می‌باشد. از آنجایی که خواص گِل، مانند نوع، چگالی و غیره، همگی وابسته به نوع سازند، فشار سازند و غیره هستند، اثرات تمیزکاری مته در زمان حفاری سازندهای هیدراتی، با سیالات حفاری پایه آبی (گِل) نیز ممکن است اثر پارامترهای مکانیکی حفاری را حذف کند، به طوری که کانی‌شناسی سنگ و مواد شیمیایی گِل تأثیر بیشتری بر سرعت حفاری، پیدا می‌کنند. با این وجود، این اثرات به‌طور مستقیم تحت تأثیر طراحی مته و تنظیم نازل مته قرار دارند. به‌طور خلاصه، خواص سنگ که بر نرخ نفوذ تأثیر گذارند شامل کانی‌شناسی، قدرت، چگالی، تخلخل و نفوذپذیری سازند هستند. وابستگی متقابل بین پارامتر حفاری هیدرولیکی و اثرات مکانیکی قابل کنترل، نیز ممکن است زیاد باشد (مانند پاسخ نرخ نفوذ نسبت به وزن روی مته)، سرعت چرخش مته و دبی جریان که به‌طور مستقیم بستگی به این پارامترها دارند. در نهایت، خطاها و تناقضات موجود در داده‌های حفاری، پیچیدگی‌ها را افزایش می‌دهد، به این معنی که بدون داشتن داده‌های گسترده نمی‌توان این اثرات را بررسی کرد. دقت تجهیزات برای اکتساب داده‌ها و همچنین ناکافی بودن اطلاعات در مورد سازندها، سبب بروز چنین مشکلاتی می‌شود. بنابراین می‌توان توضیح داد که چرا با وجود تحلیل‌های زیاد انجام شده بر روی نرخ نفوذ، هنوز هیچ‌یک از این تحلیل‌ها، به‌عنوان یک ابزار عملیاتی جامع، انتخاب نشده است. پیچیدگی برهم کنش بین مته با سنگ و مشکلات مربوط به اجرای این مدل‌های تحلیلی، محققان را تشویق به اتخاذ یک رویکرد تجربی برای بهینه‌سازی نرخ نفوذ در عملیات حفاری کرده است. این روش معمولاً طی این مراحل انجام می‌شود: الف) گروه‌بندی داده‌ها براساس سازندها، یعنی باید برای هر سازند، آنالیز جداگانه‌ای انجام شود ب) توسعه گروه‌های بدون بعد ج) تعیین ثابت‌های مدل با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده با کمک ابزارهای آماری (لوموس، ۱۹۷۰). در این تحقیق، ترکیبی از نرم‌افزار اکسل و متلب برای انجام آنالیز داده‌ها استفاده شده است. از نرم‌افزار اکسل برای انجام پردازش داده‌های اولیه و از نرم‌افزار متلب برای انجام رگرسیون خطی چندگانه به‌منظور تعیین مقدار ثابت‌ها استفاده شد. از آنجایی که مته‌های غلتک مخروطی به‌صورت گسترده‌ای در استخراج نفت و گاز طبیعی استفاده می‌شوند و پیش‌بینی دقیق نرخ نفوذ آنها^۲ (ROP) برای بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌های حفاری امری حیاتی می‌باشد، یانگ دنگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل جدید نرخ نفوذ همراه با پارامترهای حفاری اصلی و مقاومت فشاری سنگ برای مته‌های غلتک مخروطی ارائه دادند. نتایج حاصل از آنالیز تئوری آنها نشان داد که نرخ نفوذ یک رابطه خطی با سرعت چرخشی مته داشته و رابطه بین

نرخ نفوذ و وزن روی مته^۲ (WOB) برابر با ۳/۲ می‌باشد. همچنین رابطه بین نرخ نفوذ و مقاومت فشاری سنگ برابر با ۳/۲ است. علاوه بر این، تست‌های حفاری آزمایشگاهی بر روی ماسه‌سنگ و سنگ آهک انجام شد و اثر WOB، سرعت چرخشی مته و مقاومت سنگ بر روی نرخ نفوذ بررسی گردید. مقادیر نرخ نفوذ تئوری که بر اساس مقاومت فشاری پویای سنگ و مقاومت فشاری ایستایی محاسبه شده‌اند، با مقادیر نرخ نفوذ آزمایشگاهی مقایسه شد (یانگ دنگ و همکاران، ۲۰۱۶). آفتاب و همکاران در سال ۲۰۱۶ پنج سیستم مختلف گِل حفاری از قبیل: ۱) پتاسیم کلرید (پتاسیم کلرید) به‌عنوان یک گِل پایه، ۲) محلول پتاسیم کلرید همراه با پلی‌آکریل آمید هیدرولیز شده جزئی^۴ (PHPA)، ۳) محلول پتاسیم کلرید همراه با نانو پلاکت گرافن^۵ (GNP)، ۴) محلول پتاسیم کلرید همراه با نانو سیلیکا^۶ و ۵) محلول پتاسیم کلرید همراه با لوله چند جداره نانو کربنی^۷ (MWCNT) آماده کردند و برای بررسی ارتقای خواص رئولوژیکی و مهار شیل، مورد استفاده قرار دادند. در مطالعه آنها، نانوذرات گِل حفاری با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترون انتقالی^۸ (TEM) مشخص شدند. آنالیز کانی‌شناسی شیل با استفاده از پراش اشعه ایکس^۹ (XRD) مورد بررسی قرار گرفت. پنج پلاگ شیل با استفاده از سلول‌های فشرده، برای تعیین میزان تورم شیل، آماده شدند. تورم شیل با استفاده از تورم‌سنج خطی^{۱۱} (LSM) به مدت ۲۰ ساعت تعیین شد. نتایج آنها نشان داد که سیستم‌های گِل پایه و گِل محلول پتاسیم کلرید همراه با پلیمر، ۳۰٪ و ۲۴٪ تغییر در حجم شیل را نشان می‌دهند. MWCNT، نانو سیلیکا و GNP به‌طور جداگانه به سیستم گِل محلول پتاسیم کلرید اضافه شد. ۰.۱ ppb از دو محلول MWCNT و نانو سیلیکا، به ترتیب ۳۲٪ و ۳۳٪ تغییر در حجم شیل را نشان داد. طبق نتایج به‌دست آمده، افزودن نانوذرات در سیستم گِل محلول پتاسیم کلرید از متورم شدن شیل جلوگیری می‌کند. فیلتراسیون گِل، گرانروی پلاستیک (PV) و نقطه واروی (YP) با استفاده از GNP بهبود یافتند. وایلی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به‌منظور تعیین اثر سه سورفاکتانت، از قبیل تریتون^{۱۱} X-100، سولفونات سدیم دودسیل بنزن^{۱۲} (SDBS) و ۱-هگزادی سیلپریدینوم کلرید^{۱۳} (CPC)، بر روی نرخ نفوذ مته (ROP) در ماسه سنگ، تحقیقات آزمایشگاهی انجام دادند. خواص مربوط به ماسه سنگ، حلال‌های سورفاکتانت و همچنین برهم کنش ماسه سنگ و حلال‌ها را تعیین کردند تا از این طریق تأثیرات ناشی از این سورفاکتانت‌ها مشخص شود. نتایج نشان داد که تریتون X-100 و SDBS می‌توانند ROP را افزایش دهند.

۱- موقعیت میدان گازی پارس جنوبی

میدان مورد مطالعه در قسمت شمالی خلیج فارس قرار دارد. این میدان

گروه فارس و آسماری و جهرم را داریم که با توجه به شرایط این سازندها بیشترین مشکلات حفاری در این حفره می‌باشد. سیستم سیال حفاری آب دریا به همراه تمیزسازی با پیل با ویسکوزیته بالا و ژل‌های از پیش ساخته شده بوده که محصولات کلیدی مورد استفاده در این حفره بنتونایت، سودااش، سود سوزآور، صمغ زانتان، Pac R و باریت می‌باشد. برای کنترل جامدات از الک لرزان استفاده می‌شود. مشکلات احتمالی در این حفره شامل تمیزسازی چاه، عدم پایایی حفره، هرزروی در انواع مختلف و گیر لوله حفاری می‌باشد.

بررسی هرزروی در حفره ۲۴ اینچی

برای بررسی ابتدا از گزارش‌های روزانه حفاری، گِل حفاری و زمین‌شناسی چاه، کلیه پارامترهای حفاری و مشخصات گِل استخراج گردید. همچنین از گزارش‌های نمودارگیری از چاه، مقدار پارامترهای مؤثر بر هرزروی و اندازه هرزروی یادداشت شده و سپس به صورت جدولی در جدولی تنظیم گردید. بعد نمودار مقدار هرزروی و عوامل مؤثر بر هرزروی نسبت به عمق ترسیم و نتایج با داده‌های لیتولوژیکی انطباق داده شد. بر این اساس هرزروی در سازندهای آسماری- جهرم به‌طور عمده از دو پارامتر لیتولوژی و پارامترهای حفاری ایجاد می‌شود.

تأثیر پارامترهای حفاری بر میزان هرزروی

با بررسی گزارش‌های روزانه حفاری و نمودارگیری از چاه، پارامترهای حفاری از جمله وزن روی مته، سرعت حفاری، میزان چرخش رشته حفاری در یک دقیقه جریان ورودی به چاه و وزن گِل استخراج گردید. پارامترهای فوق را به کمک برنامه اکسل در مقابل عمق به‌صورت کراس پلات رسم نمودیم و نتایج را با هم مقایسه و بررسی کردیم. عوامل بسیاری در زمینه پارامترهای حفاری می‌توانند باعث کاهش یا افزایش هرزروی شوند که مهمترین آنها را می‌توان به وزن روی مته، نرخ حفاری، میزان جریان ورودی به چاه و میزان چرخش رشته حفاری در یک دقیقه مرتبط دانست. چنانچه چگونگی تأثیر این عوامل بر هرزروی دقیقاً مشخص باشد، به راحتی می‌توان هرزروی را کنترل و حتی از وقوع شدید آن جلوگیری کرد. همانگونه که در نمودارها مشخص است، بعضی از این پارامترها با میزان هرزروی گِل رابطه مستقیم داشته و بعضی از آنها رابطه معکوس دارند. به‌عنوان مثال اگر این پارامترها را در چاه A و B با نمودار مربوط به میزان هرزروی مقایسه کنیم، بر این اساس در هر دو چاه چهار زون هرزروی وجود دارد که هر کدام از این زون‌ها تأثیر عوامل هرزروی از جمله عوامل لیتولوژیکی و دیانژیکی تا عوامل پارامترهای حفاری را بیشتر نشان می‌دهد. این بدان معنی است که در بعضی از این

علاوه بر آن، برای صحت‌سنجی مقدار سرعت حفاری مدل، سرعت حفاری واقعی با مقدار سرعت حفاری مدل‌سازی شده مقایسه خواهد شد. در ادامه، میزان حساسیت نفوذ مته نسبت به چرخش مته و وزن روی مته مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با استفاده از این داده‌ها قبل از عملیات حفاری، تا حد زیادی می‌توان از مشکلات احتمالی جلوگیری و هزینه‌های حفاری را به میزان چشمگیری کاهش داد. در این مطالعه، از رابطه بورگوین و یانگ برای مدل‌سازی و به‌دست آوردن مقدار نرخ نفوذی که تأثیر پارامترهای مختلف حفاری در آن دیده می‌شود، استفاده می‌کنیم. در ساخت این مدل از یک روش آماری رگرسیون چندگانه خطی برای محاسبه ثابت‌های رگرسیون که در محاسبه نرخ نفوذ مورد نیاز می‌باشند، استفاده شده است. همچنین از نرم‌افزار متلب برای انجام این محاسبات بهره گرفته شده است.

برنامه پیشنهادی گِل حفره ۳۲ اینچی

با توجه به اینکه عمق آب دریا ۶۰ متر می‌باشد، تا ۱۲۰ متری زیر کف دریا حفاری می‌کنیم و بعد از آن اقدام به راندن لوله جداری ۲۶" خواهیم کرد. از لحاظ زمین‌شناسی سازند گروه فارس را داریم که با توجه به مترژ کم حفاری معمولاً مشکلی در این حفره نخواهیم داشت. سیستم سیال حفاری آب دریا به همراه تمیزسازی با پیل با ویسکوزیته بالا و ژل‌های از پیش ساخته شده بوده که محصولات کلیدی مورد استفاده در این حفره بنتونایت، سودااش، سود سوزآور، صمغ زانتان و Pac R می‌باشد. کنترل جامدات با توجه به اینکه به کف دریا می‌ریزد، مورد نیاز نیست. مشکلات احتمالی در این حفره شامل تمیزسازی چاه و عدم پایایی حفره می‌باشد. آنالیز اصلی چاه نشان می‌دهد که هیچ مشکل حفاری مرتبط با گِل در حفاری این ناحیه وجود ندارد. این حفره با قطر بزرگ است و دفع خرده‌سنگ‌ها و مواد کنده شده از چاه با مکانیزم ترکیبی سرعت‌های بالا و روبش‌های با ویسکوزیته‌ی بالا صورت می‌گیرد. روبش‌های ویسکوز ترکیبی از صمغ زانتان و ژل از پیش هیدراته شده می‌باشد. بخش آرام رس‌ها و ماسه‌های متراکم نشده هنگام حفاری این لایه مورد انتظار است. سازند مورد نظر اساساً متشکل از ماسه‌های غیرمتراکم با مقداری گِل سنگ، لایه‌های شیل و آهک می‌باشد. حفره باید توسط گِل سنگین و ویسکوز پُر شود تا سنگ‌ها پلاستر شده، پایایی دیواره چاه افزایش یافته و پُر شدن چاه هنگام راندن لوله جداری به حداقل برسد.

برنامه پیشنهادی حفاری قسمت ۲۴ اینچی

در این حفره تا عمق ۱۲۰ متری حفاری کرده و بعد از آن، اقدام به راندن لوله جداری ۱۸ ۵/۸" می‌کنیم. از لحاظ زمین‌شناسی هم سازند

زون‌ها عوامل لیتولوژیکی تعیین کننده است و عوامل دیگر تشدید کننده میزان هرزروی است و برعکس. بر این اساس این چهار زون عبارتند از:

زون A

این زون از عمق ۶۲۰ متری شروع و تا عمق حدود ۷۸۰ متری ادامه می‌یابد. در این زون مقدار هرزروی به علت لیتولوژی نه‌چندان متخلخل، ناچیز بوده و بیشتر پارامترهای حفاری میزان هرزروی را تعیین می‌کنند. سنگ‌شناسی در این قسمت بیشتر آهک و آهک دولومیتی به همراه سیمان انیدریتی بوده که لایه‌هایی از انیدریت و آهک آرژیلیتی در بین آنها یافت می‌شود. بر این اساس همانگونه که در شکل‌های ۲- و ۳ قابل مشاهده است، میزان هرزروی زیر ۵۰ بشکه بوده و پارامترهای حفاری مثل WOB تأثیر زیادی بر روی هرزروی بر این بخش دارد. لذا در این زون حتماً باید پارامتر وزن روی مته کنترل شود چون اگر از میزان متعارف آن بیشتر باشد، باعث شکستگی در سازند شده و این امر می‌تواند حتی باعث هرزروی کامل شود.

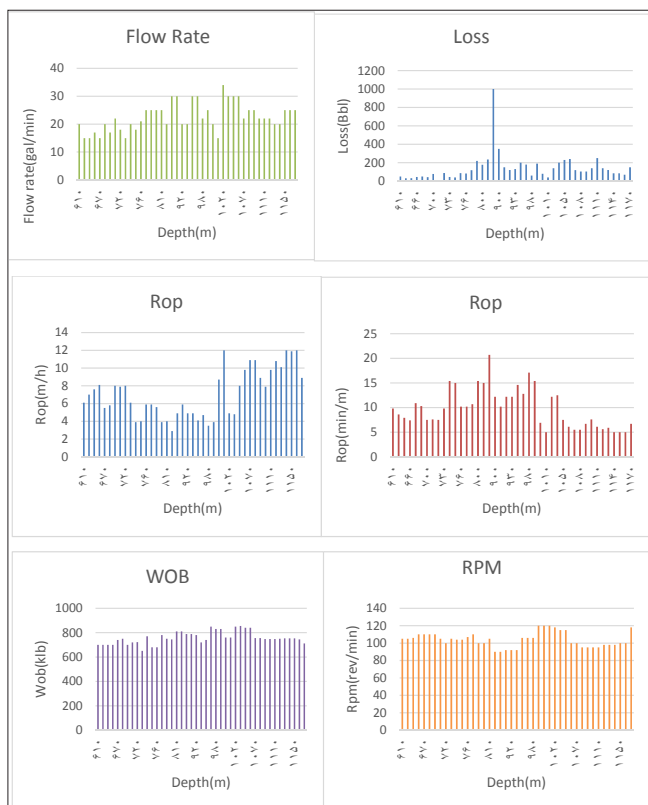
زون B

این زون از عمق حدود ۷۸۰ متری شروع شده و تا عمق حدود ۹۰۰

متری ادامه می‌یابد. با توجه به شکل‌ها متوجه می‌شویم که بیشترین مقدار هرزروی در این عمق است. این زون به زون هرزروی معروف است. با توجه به نمونه‌هایی که از این بخش به دست آمده و آنالیز سنگ‌شناسی این نمونه‌ها متوجه شدیم که این زون از لحاظ سنگ‌شناسی از ریف‌های جلبکی و بعضاً مرجانی تشکیل شده که ماهیتاً بسیار متخلخل بوده و اگر در این زون پارامترهای حفاری به خصوص سرعت حفاری و وزن روی مته کنترل نشود و خارج از برنامه تعیین شده در این عمق عمل گردد، ممکن است هزینه‌های هنگفتی به بار آید. علاوه بر آن، ساعت‌های زیادی از زمان دکل نیز به هدر خواهد رفت. بر این اساس و با دقت به پلات‌های رسم شده در این زون مشاهده می‌کنیم که پارامترهای حفاری کنترل شده‌اند. به عنوان مثال میزان نرخ حفاری، وزن روی مته و میزان چرخش لوله حفاری در یک دقیقه کم گردیده و میزان جریان ورودی سیال افزایش یافته است که علت آن، پمپ بیشتر گِل جهت تمیز کردن چاه می‌باشد. این عامل خود می‌تواند به میزان کمی مقدار هرزروی را افزایش دهد.

زون C

این زون از عمق حدود ۹۰۰ متری شروع شده و تا عمق حدود ۱۰۶۰ متری ادامه می‌یابد. در این زون میزان هرزروی کمتر از ۲۵۰ بشکه



شکل ۳ | بررسی پارامترهای تأثیرگذار مختلف حفاری بر حسب عمق در چاه A



شکل ۲ | بررسی پارامترهای تأثیرگذار مختلف حفاری بر حسب عمق در چاه A

پیل‌های با ویسکوزیته بالا، استفاده کرد. از آنجایی که حفرة با قطر بزرگ است، دفع خرده‌سنگ‌ها و مواد کنده شده از چاه با مکانیزم ترکیبی سرعت‌های بالا و روبش‌های با ویسکوزیته‌ی بالا صورت می‌گیرد. روبش‌های ویسکوز ترکیبی از صمغ زانتان و ژل از پیش هیدراته شده می‌باشد. آنالیز اصلی چاه نشان می‌دهد که مشکل عمده هرزروی در پایین حفرة و در نتیجه از بین رفتن فشار هیدرواستاتیک درون چاه است. این از دست دادن فشار هیدرواستاتیک منجر به شکست دهانه چاه، تمیزسازی ضعیف چاه، گیر لوله و بسته شدن دیواره چاه می‌شود. جهت به حداقل رساندن شانس وقوع مشکلات فوق، چاه باید تا حد موردنیاز تمیز شود.

استفاده از گِل پایه بنتونیتی

استفاده از گِل پایه بنتونیتی با توجه به دیواره‌سازی خوب این نوع گِل و ممانعت از بالا آمدن هیدروژن سولفور گزینة خوبی می‌باشد، اما با توجه به این نکته که افزایش وزن گِل بدون توجه به خصوصیت سنگ‌شناسی باعث هرزروی شده و با توجه به حجم زیاد خرده‌های حفاری در این حفرة، باعث افزایش وزن گِل می‌شود. همچنین به دلیل گران قیمت بودن این نوع سیال حفاری و امکان هرزروی کامل در زون دوم، معمولاً استفاده نمی‌شود.

برنامه گِل پیشنهادی حفاری قسمت ۱۶ اینچی

در این حفرة تا عمق ۱۷۳۰ متری حفاری و بعد از آن، اقدام به راندن لوله جداری ۱۳ ۳/۸ می‌کنیم. از لحاظ زمین‌شناسی سازندهای ایلام، لافان، سروک، کژدومی، داریان، گدوان، فهلیان و هیث در این برنامه قرار دارند. این قسمت قبل از ورود به قسمت انیدریتی سازند هیث، شامل: رس سنگ، سنگ آهک در زیر شیل، مارل و ماسه‌سنگ می‌باشد. سازند سنگ آهک احتمالاً ممکن است شامل شکاف‌های ریز توسعه یافته‌ای باشد که موجب هرزروی شوند. به‌علاوه، ماسه‌سنگ کژدومی و فهلیان نیز ممکن است موجب هرزروی شوند. سیستم سیال حفاری پتاسیم کلراید، گِلیکول و سیستم پلیمر به همراه تمیزسازی با پیل با ویسکوزیته بالا و ژل‌های از پیش ساخته شده بوده که محصولات کلیدی سودااش، سود سوزآور، صمغ زانتان پتاسیم کلراید، Pac LV و Pac R۰ گِلیکول می‌باشد. برای کنترل جامدات از الک لِرزان و سانترفیوژ استفاده می‌شود. مشکلات احتمالی در این حفرة شامل تمیزسازی چاه و عدم پایایی حفرة گیر لوله حفاری و هرزروی کامل و جزئی می‌باشد.

۳- بحث در خصوص ناحیه

به‌منظور ایجاد درجه‌ای از بازدارندگی مارل‌ها و شیل در هر دو سازند کژدومی و گدوان با لغزندگی، کنترل هرزروی سیال و کیفیت عالی فیلتر

است. مقدار هرزروی در این زون متغیر بوده و تابعی از سنگ‌شناسی و پارامترهای حفاری می‌باشد. در مناطقی که میزان هرزروی زیاد شده است، رخساره‌های متخلخل با تخلخل‌های حفراهی، تخلخل‌های درزه‌ای و تخلخل بین‌دانه‌ای ناشی از تبدیل کلسیت به دولومیت مشاهده می‌گردد. البته در این زون با افزایش وزن روی مته و افزایش سرعت حفاری، میزان هرزروی نیز زیاد شده است.

زون D

این زون از عمق حدود ۱۰۶۰ متری شروع شده و تا عمق حدود ۱۱۵۰ متری ادامه یافته است. میزان هرزروی در این زون گاهی اوقات به ۴۰۰ بشکه در ساعت نیز رسیده است. این زون مانند زون قبلی به دلیل افزایش میزان سیمان انیدریتی، متخلخل نیست ولی رخساره‌های فراوان دولومیتی دانه شکرکی کمک زیادی به بیشتر شدن تخلخل کرده‌اند. پارامترهای حفاری در این زون بیشتر نقش تشدیدکننده میزان هرزروی را بازی می‌کنند.

برنامه پیشنهادی سیال حفاری و تمیزسازی چاه در حفرة ۲۴ اینچی

با توجه به تعریف چهار ناحیه هرزروی در سازند آسماری و جهرم و با توجه به گزارش‌های روزانه حفاری شرکت‌های بزرگ نفتی در بقیه فازهای پارس جنوبی، برای حفاری این حفرة برنامه سیال حفاری و تمیزسازی چاه به دو صورت پیشنهاد می‌گردد:

آب دریا و تمیزسازی چاه با پیل‌های با ویسکوزیته بالا

با توجه به نواحی هرزروی و سنگ‌شناسی و طبق برنامه‌ای که در ادامه خواهد آمد، از آب دریا می‌توان به‌عنوان سیال اصلی و تمیزسازی با

نوع گِل	عمق TVD (متر)	وزن گِل ppg	ویسکوزیته قیفی (Funnel viscosity)	PH
آب دریا	۱۲۰۰	۸٫۶	۲۶	۷
ژل از پیش هیدراته شده	۱۲۰۰	۸٫۶	< ۱۲۰	۱۰٫۵-۱۰
پیل با ویسکوزیته بالا	۱۲۰۰	۸٫۶	< ۱۰۰	۶-۸

عمق TVD (متر)	وزن گِل (ppg)	ویسکوزیته پلاستیک (lb/100ft ²)	نقطه تسلیم (lb/100ft ²)	API Fluid Loss (ml/30min)	پتاسیم کلراید (%w/v)	گِلیکول (%v/v)
۱۷۲۰	۹٫۸-۹٫۲	۲۰-۱۵	۲۵-۱۰	< ۷ قبل از کژدومی < ۵ بعد از کژدومی	۷	۳

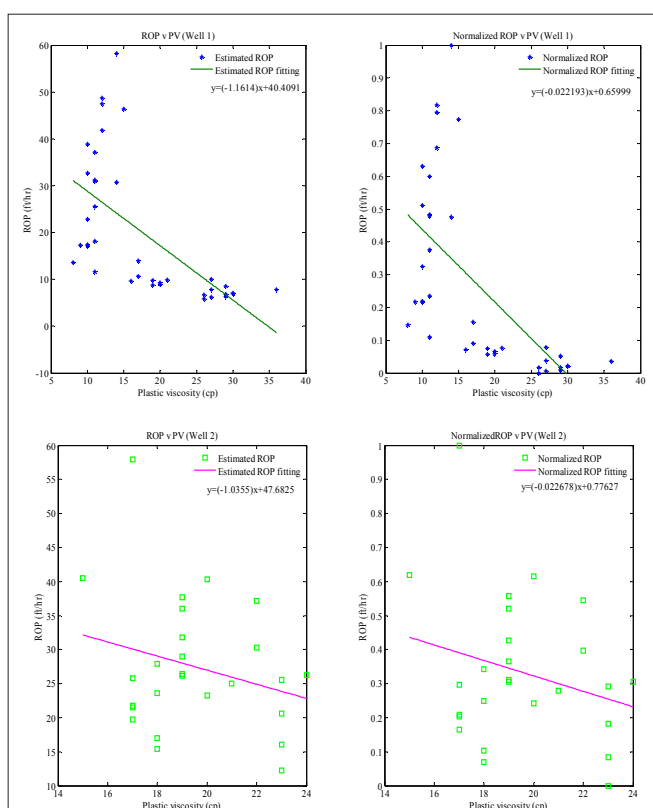
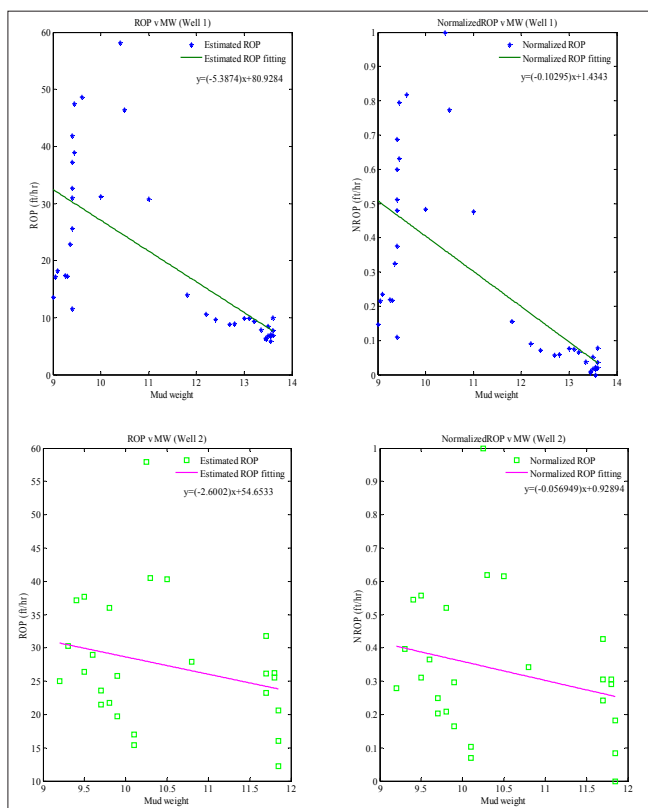
حفظ وزن گِل در این قسمت منوط به کاربرد مناسب کنترل کننده‌های جامدات و استراتژی رقیق‌سازی به صورت همزمان و مناسب است. سازند کژدمی با گِل ۹/۵۸ ppg حفاری خواهد شد، هر چند زیر سازند کژدمی وزن گِل باید بین ۹/۴۱-۹/۵۸ ppg باشد، چرا که وزن بیشتر گِل ممکن است موجب هرز روی گِل در سازند فهلیان شود.

برنامه گِل پیشنهادی حفاری قسمت ۱/۴ ۱۲ اینچی

در این حفره تا عمق ۳۵۰۰ متری حفاری و بعد از آن، اقدام به راندن لوله جداری ۹ ۵/۸ می‌کنیم. از لحاظ زمین‌شناسی در این حفره در سازندهای هیث، سورمه، نیریز، دشتک، سدیر و سازندهای شیلی حفاری خواهد شد. این قسمت شامل: دولومیت، انیدریت و سنگ آهک، مارل و شیل می‌باشد. سپس سازند کنگان قرار دارد که لوله جداری در آن قرار می‌گیرد. گِل ناحیه‌ی قبلی جهت مهیا شدن برای این ناحیه می‌تواند اصلاح شود. قبل از حفاری جداری ۱۳ ۳/۸ سیستم را با سدیم بیکرنتات تصحیح می‌کنیم تا از سیمانی شدن جلوگیری شود. وزن گِل را بین ۱۲/۵-۹/۶۶ نگه داشته و قبل از ورود به سدیر آن را تا ۱۱/۷۵ ppg افزایش می‌دهیم. غلظت‌های گِلایکول و پتاسم کلرید هنگام حفاری از

کیک، سیستم پلیمر، گِلایکول و پتاسیم کلراید جهت حفاری این ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیمان جداری ۲۴ اینچ با آب دریا و پمپ کردن سیال به وسیله‌ی تانکر به بالا جهت تمیز کردن چاه حفاری خواهد شد و ۴ متر مانده به کفشک با گِل اصلی این حفره جابه‌جایی صورت می‌گیرد. گِلایکول جهت کمک به بازدارندگی شیل/مارل با حداقل کردن نفوذ سیال به درون سازند و کاهش تمایل این شیل به شسته شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، هر چند بازدارندگی ثانویه شیل با تبادل کاتیون پتاسیم با رس‌های سازند مقدور می‌گردد. بنابراین تمایل رس به باد کردن با تداخل مستقیم با مکانیزم باد کردن کاهش می‌یابد. همچنین افزودن پلیمرهای PAC با کپسول کردن شرایط بازدارندگی را فراهم می‌کند و میزان آب ورودی به شیل را کاهش می‌دهد. طی حفاری این ناحیه مشکلات زیر ممکن است وجود داشته باشند:

۱. ورود آب/ نفت از کژدمی
۲. باد کردن شیل و رس در کژدمی
۳. هزروری جزئی یا کلی در ماسه‌سنگ‌های کژدمی و فهلیان
۴. امکان وجود گاز هیدروژن سولفور در داریان و حیث بسیار مهم است که وزن گِل طبق برنامه یعنی بین ۹/۲-۹/۸ باشد.



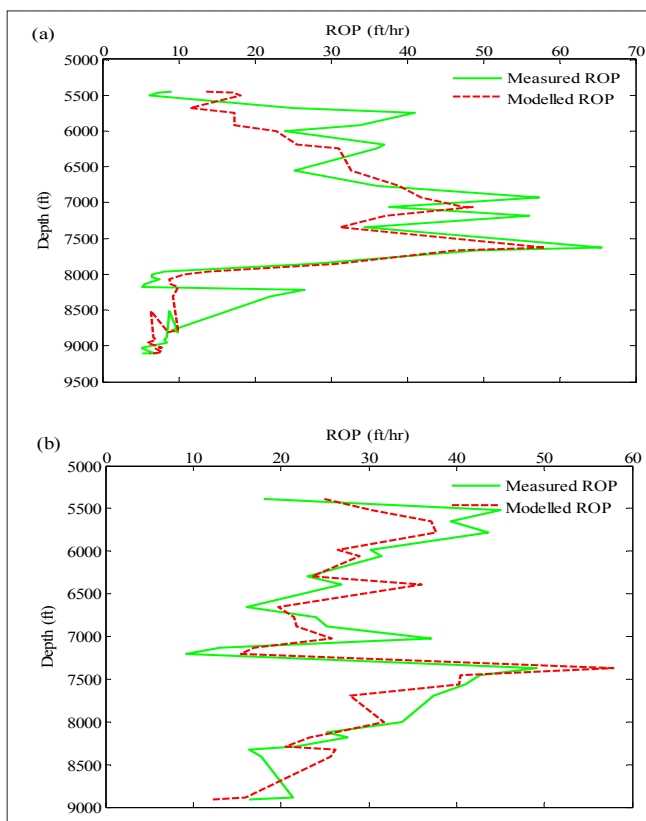
شکل ۵ | نرخ نفوذ حفاری برحسب وزن گِل حفاری در چاه اول (بالا) و چاه دوم (پایین)

شکل ۶ | نرخ نفوذ حفاری برحسب گر انروی پلاستیکی در چاه اول (بالا) و چاه دوم (پایین)

بر اساس تجربیات موجود در گزارش‌های روزانه گِل و حفاری در میدان گازی پارس جنوبی، آنالیز آب ورودی در چاه‌های اصلی وزن آب نمک را ۹/۷ ppg نشان می‌دهد که شامل غلظت‌های بالای کلسیم ۱۲۸۰۰ mg/l، منیزیم ۱۰۸۰۰ mg/l، سدیم ۱۰۴۱۰۰ mg/l و کلرید ۱۶۳۰۷۰ mg/l می‌باشد. این امر موجب آلودگی پیوسته‌ی گِل می‌شود که استفاده از ظرف‌های نگهداری مواد زاید و رقیق‌سازی و همچنین مصرف مواد اولیه جهت تصفیه آلودگی‌ها را ضروری می‌کند. بنابراین، جهت کنترل جریان باید مقادیر کافی از مواد افزایش وزن در سطح دکل در دسترس باشد. جهت کنترل جریان، وزن گِل تا ۱۶/۶۶ ppg افزوده شد، ولی در یکی از چاه‌ها، دبی شماره ۵ فاز ۱۳ پارس جنوبی هجوم در این سازند در یکی از چاه‌های اصلی تجربه شده است که این هجوم حتی پس از بالا بردن چگالی تا ۱۶/۶۶ PPG قابل کنترل نبود و جریان ۴۰-۲۵ بشکه در ساعت تا حفاری در عمق نهایی ادامه داشت.

برنامه گِل پیشنهادی حفاری قسمت ۱/۲ اینچی

حفره ی ۱/۲ اینچی تا بالای سازند دالان در ۳۸۵۰ متر حفر خواهد



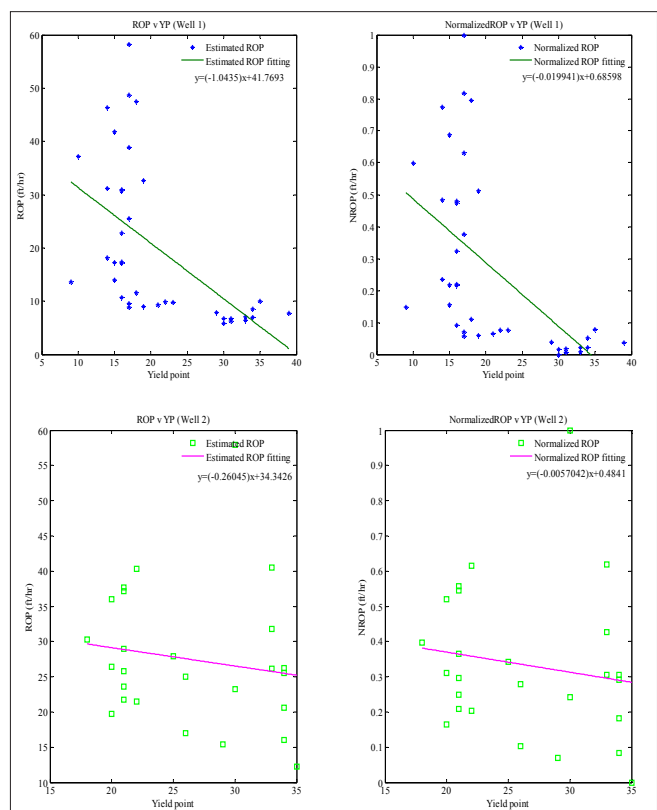
۷ مقایسه سرعت حفاری مدل‌سازی شده با سرعت حفاری واقعی در

چاه اول (a) و چاه دوم (b)

سازند سورمه و در قسمت lower surmeh shale شروع به اضافه نمودن به مقدار ۱۲lb/bbl کرده و قبل از ورود به شیل‌ها باید جهت جلوگیری از تورم شیل به مقدار ۲۵lb/bbl افزایش داده شود. چسبندگی شیل در نیریز و دشتک بالایی، هرزروی سیال را در حد پایین نگه داشته و بازدارندگی گِلاکول و پتاسم کلرید را در حد خوبی حفظ می‌کند. طی حفاری این ناحیه مشکلات زیر ممکن است وجود داشته باشند:

۱. عدم پایداری چاه در قسمت شیل بالایی سدیر
۲. شیل‌های حساس و واکنش پذیر در سازند آغار
۳. هرزروی جزئی یا کلی در سازند سورمه
۴. ورود آب نمک به سازند دشتک

از آنجایی که احتمال وقوع هرزروی به صورت کلی و جزئی در سازند سورمه وجود دارد، مقادیر کافی مواد کنترل‌کننده هرزروی باید همواره روی دکل وجود داشته باشد. هنگام وقوع هرزروی کم، سیستم را با مواد کنترل‌کننده هرزروی‌های با اندازه کوچک‌تر در غلظت ۱۰lb/bbl اصلاح می‌کنیم. در هنگام وقوع هرزروی زیاد یا متوسط، قرص‌هایی با غلظت‌های مختلف ریز، متوسط و بزرگ تهیه کرده و در ناحیه‌ی هدف قرار می‌دهیم تا هرزروی کنترل شود. احتمال جریان آب نمک در سازند دشتک وجود دارد.



۶ نرخ نفوذ حفاری برحسب نقطه واروی در چاه اول (بال) و چاه

دوم (پایین)

مشکلات مرتبط با دهانه چاه و سازند به شرح زیر شناسایی می‌شوند:

۱. حضور گاز هیدروژن سولفور، به خصوص در گنگان-۱

۲. گیر لوله حفاری در سازند گنگان-۴

۳. هرزروی احتمالی در گنگان-۲ و ۳

برای کنترل جامدات جهت بهینه کردن روی صفحات لرزان، باید رس‌زدایی کرده و از تجهیزات کنترل جامدات جهت حفظ وزن گل و از استراتژی رقیق‌سازی گل، برای کنترل وزن استفاده شود.

۴- نتایج مدل‌سازی

۴-۱- اثر گرانروی پلاستیکی بر روی سرعت حفاری

برای بررسی اثر گرانروی پلاستیکی بر روی سرعت حفاری (ROP) دو حالت در نظر گرفته شده است: در حالت اول، سرعت حفاری بر حسب گرانروی پلاستیکی و در حالت دیگر، سرعت حفاری نرمالایز شده بر حسب گرانروی پلاستیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل-۴ سرعت حفاری بر حسب گرانروی پلاستیکی را برای دو چاه نشان می‌دهد. نمودار داده‌های ستاره آبی‌رنگ مربوط به چاه اول و داده‌های مربعی سبز رنگ مربوط به چاه دوم می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در هر دو چاه تحت بررسی، با افزایش گرانروی پلاستیکی، سرعت حفاری نیز کاهش پیدا می‌کند.

۴-۲- اثر وزن گل بر روی سرعت حفاری

برای بررسی اثر وزن گل بر روی سرعت حفاری (ROP) نیز دو حالت در نظر گرفته شده است: در حالت اول، سرعت حفاری بر حسب وزن گل و در حالت دیگر، سرعت حفاری نرمالایز شده بر حسب وزن گل مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل-۵ سرعت حفاری بر حسب وزن گل را برای دو چاه نشان می‌دهد. نمودار داده‌های ستاره آبی‌رنگ مربوط به چاه اول و داده‌های مربعی سبز رنگ مربوط به چاه دوم می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در هر دو چاه با افزایش وزن گل، سرعت حفاری کاهش پیدا می‌کند.

۴-۳- اثر نقطه واروی گل بر روی سرعت حفاری

در نهایت، برای بررسی اثر نقطه واروی بر روی سرعت حفاری (ROP) دو حالت در نظر گرفته شده است: در حالت اول، سرعت حفاری بر حسب نقطه واروی و در حالت دیگر، سرعت حفاری نرمالایز

شد. حفاری این بخش با استفاده از آستری ۱۷ اینچ که در سازند های گنگان و دالان نصب می‌شود به پایان می‌رسد. عمق حفاری در این بخش توسط زمین‌شناس سایت چاه و زمین‌شناس مخزن تعیین می‌گردد. این ناحیه در سازندهای مخزنی گنگان و دالان حفر می‌شود. سازند به چهار توالی اصلی به نام‌های گنگان-۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم شده است. این مخزن به‌طور عمده متشکل است از دولومیت، سنگ آهک، مقداری جزئی شیل و انیدریت. تمام سیال حفاری باقی‌مانده از آخرین بخش (۱۲،۲۵ اینچی) در قسمت ۸/۵ اینچی استفاده می‌شود. با توجه به گزارش‌های روزانه گل، در این بخش توصیه به استفاده از سیستم گل پلیمری با نمک نزدیک به اشباع می‌شود، هر چند سیستم گلیکول / پلیمر را هم می‌توان در این بخش استفاده کرد. مزایای استفاده از سیستم گل پلیمری با نمک نزدیک به اشباع به شرح زیر است:

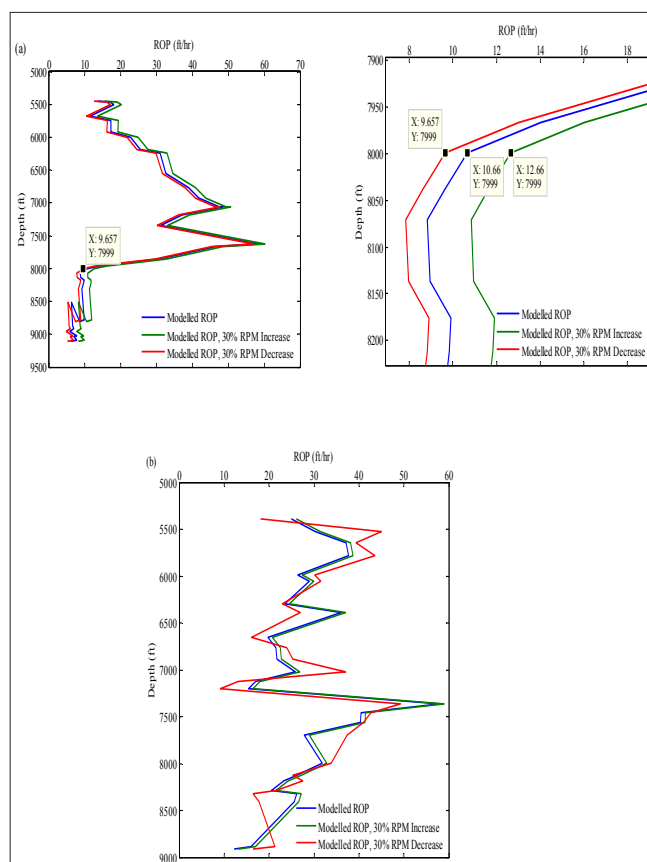
۱. به حداقل رساندن تهاجم مواد جامد به سازند تولیدی

۲. به حداقل رساندن نیاز به مواد گل به دلیل خواص گل مطلوب و درصد

مواد جامد کم موجود در گل

۳. بهینه سازی هزینه

مشکلات بالقوه و خطرات مرتبط با گل



۸ | آتالیز حساسیت با استفاده از سرعت چرخش متنه در چاه اول (a) و چاه دوم (b)

۳ خواص سیال حفاری ناحیه						
عمق TVD (متر)	وزن گل (ppg)	ویسکوزیته پلاستیک (lb/100ft ²)	نقطه تسلیم (lb/100ft ²)	API Fluid Loss (ml/30min)	پتاسیم کلراید (%w/v)	گلیکول (%v/v)
۲۸۹۷	-۹/۶۶	۱۷-۳۰	۲۵-۳۵	<۴ قبل از آغاز >۳ بعد از آغاز	۷	۳
۱۱/۶						۱۶

۴-۵- آنالیز حساسیت با استفاده از سرعت چرخش مته

به‌طور طبیعی انتظار می‌رود که سرعت حفاری (ROP) با سرعت چرخش مته (RPM) رابطه مستقیمی داشته باشد و بنابراین افزایش سرعت چرخش مته باید سبب افزایش سرعت حفاری شود. بورگوئین و همکاران در سال ۱۹۹۱ بیان کردند که در سرعت‌های پایین چرخش مته، با افزایش سرعت آن، سرعت حفاری نیز افزایش می‌یابد. این اثر در سرعت‌های بالای چرخش مته، به دلیل کاهش تمیزکاری ته چاه، از بین خواهد رفت. شکل ۸- آنالیز حساسیت با استفاده از سرعت چرخش مته، برای دو چاه را نشان می‌دهد. در این شکل نمودار (a) مربوط به چاه اول و نمودار (b) مربوط به چاه دوم می‌باشد. طبق نمودار (a)، در این بخش از چاه یک رابطه مستقیمی بین سرعت چرخش مته و سرعت حفاری وجود دارد. با افزایش ۳۰ درصدی چرخش مته، سرعت حفاری به میزان کمی افزایش پیدا می‌کند و بالعکس، با کاهش ۳۰ درصدی چرخش مته، سرعت حفاری به میزان کمی کاهش پیدا خواهد کرد. برای مثال، عمق ۸۰۰۰ فوتی چاه اول بزرگنمایی شده و مطابق با آن، سرعت حفاری مدل‌سازی برابر با $10/66 \text{ ft/hr}$ می‌باشد که با افزایش ۳۰ درصدی چرخش مته، مقدار آن به $12/66 \text{ ft/hr}$ و با کاهش ۳۰ درصدی چرخش مته، مقدار آن به $9/657 \text{ ft/hr}$ می‌رسد.

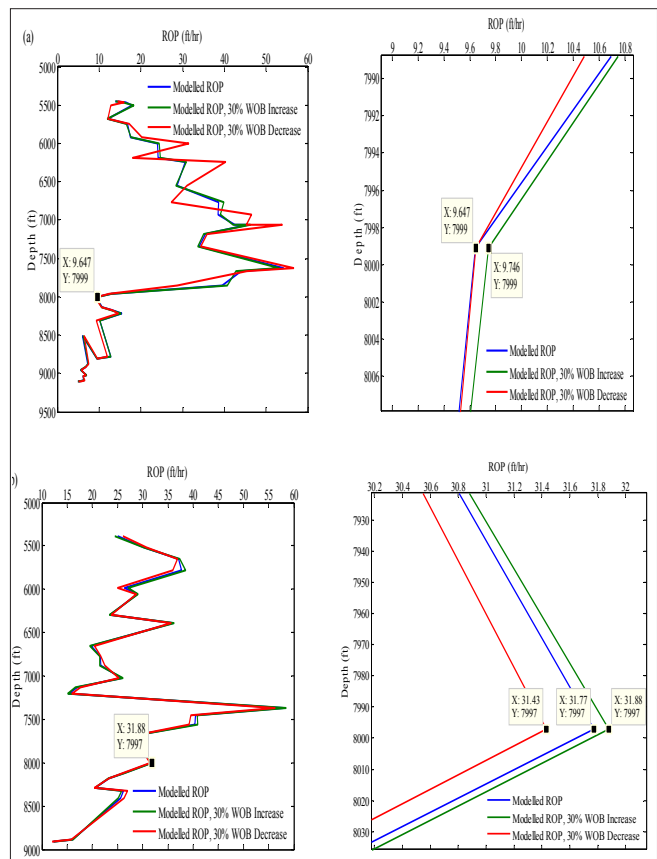
۴-۶- آنالیز حساسیت با استفاده از وزن روی مته

شکل ۹- آنالیز حساسیت با استفاده از وزن روی مته، برای دو چاه را نشان می‌دهد. در این شکل نمودار (a) مربوط به چاه اول و نمودار (b) مربوط به چاه دوم می‌باشد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، یک رابطه مستقیم بین وزن روی مته و سرعت حفاری وجود دارد. با افزایش ۳۰ درصدی وزن روی مته، سرعت حفاری به میزان کمی افزایش پیدا می‌کند و بالعکس، با کاهش ۳۰ درصدی وزن روی مته، سرعت حفاری به میزان کمی کاهش پیدا خواهد کرد. عمق ۸۰۰۰ فوتی چاه اول (نمودار (a)) بزرگنمایی شده و مطابق با آن، سرعت حفاری مدل‌سازی برابر با $9/647 \text{ ft/hr}$ می‌باشد که با افزایش ۳۰ درصدی وزن روی مته، مقدار آن به $9/746 \text{ ft/hr}$ و با کاهش ۳۰ درصدی وزن روی مته، مقدار آن به $9/644 \text{ ft/hr}$ می‌رسد. سرعت حفاری مدل‌سازی برای چاه دوم (نمودار (b)) در عمق ۸۰۰۰ فوتی، برابر با $31/77 \text{ ft/hr}$ می‌باشد که با افزایش ۳۰

شده بر حسب نقطه واروی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۶- سرعت حفاری بر حسب نقطه واروی را برای دو چاه نشان می‌دهد. نمودار داده‌های ستاره آبی رنگ مربوط به چاه اول و داده‌های مربعی سبزرنگ مربوط به چاه دوم می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در هر دو چاه با افزایش نقطه واروی گل، سرعت حفاری کاهش پیدا می‌کند.

۴-۴- مقایسه سرعت حفاری مدل‌سازی شده با سرعت حفاری واقعی

برای صحت‌سنجی سرعت حفاری مدل‌سازی شده، آن را با سرعت حفاری واقعی مقایسه می‌کنیم. شکل ۷-، نتایج مربوط به سرعت حفاری مدل‌سازی شده و سرعت حفاری واقعی را برای دو چاه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، سرعت حفاری مدل‌سازی شده در دو چاه، تطابق بسیار خوبی با سرعت حفاری واقعی دارد. خاطر نشان می‌شود که در هر دوی این چاه‌ها، وزن موجود بر روی مته بیشتر از وزن آستانه می‌باشد. این ناحیه از چاه، به خوبی قابل حفاری می‌باشد و این روش می‌تواند به عنوان یک ابزار برای پیش‌بینی نرخ نفوذ حفاری، مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۹ | آنالیز حساسیت با استفاده از وزن روی مته در چاه اول (a) و چاه دوم (b)

حجم ها و مواد ناحیه ۱/۲ اینچی						
عمق (متر)	TVD	وزن کل (ppg)	ویسکوزیته نقطه تسلیم (lb/100ft ²)	API Fluid Loss (ml/30min)	پتاسیم کلراید (%w/v)	گلیکول (%w/v)
۳۲۰۰	۳۲۰۰	-۹/۶۶	۲۵-۳۰	۲۵-۳۲	۷	۳
۱۱/۶				WL: <۲ ml/۳۰min		۱۶

کدام از این زون‌ها تأثیر عوامل هرزروی از جمله عوامل لیتولوژیکی و دیاژنتیکی و عوامل پارامترهای حفاری را بیشتر نشان می‌دهد. این بدان معنی است که در بعضی از این زون‌ها عوامل لیتولوژیکی عامل تعیین کننده است و عوامل دیگر تشدیدکننده میزان هرزروی است و برعکس.

عوامل بسیاری در زمینه پارامترهای حفاری می‌توانند باعث کاهش یا افزایش هرزروی شوند که مهمترین حجم‌ها و مواد ناحیه ۱/۲ اینچی آنها را می‌توان وزن روی مته، سرعت حفاری، میزان چرخش لوله حفاری در یک دقیقه، جریان ورودی به چاه و وزن گل دانست. با بررسی چگونگی تأثیر این عوامل بر هرزروی به راحتی می‌توان هرزروی را به دلیل تأثیر پارامترهای مختلف حفاری کنترل و حتی از وقوع آن جلوگیری نمود.

پارامترهای حفاری می‌توانند باعث کاهش یا افزایش هرزروی شوند که می‌توان به صورت پارامترهای مستقل و وابسته تعریف کرد که در این میان، وزن روی مته، جریان ورودی به چاه و میزان چرخش لوله حفاری در یک دقیقه به عنوان پارامترهای مستقل و نرخ حفاری و فشار خروجی پمپ به عنوان پارامترهای وابسته تعریف می‌شود. باید توجه داشت که پارامترهای وابسته، تابعی از وزن روی مته و جریان ورودی به چاه می‌باشد. ■

درصدی وزن روی مته، مقدار آن به $31/88 \text{ ft/hr}$ و با کاهش ۳۰ درصدی وزن روی مته، مقدار آن به $31/43 \text{ ft/hr}$ می‌رسد.

نتیجه‌گیری

- سرعت حفاری اندازه‌گیری شده تطابق خوبی با سرعت حفاری مدل‌سازی شده دارد که نشان‌دهنده دقت روش به کار گرفته شده می‌باشد.
- آنالیز حساسیت نشان داد که اثر وزن مته (WOB) بر روی سرعت حفاری، کمتر از اثر چرخش مته (RPM) بر روی سرعت حفاری می‌باشد.
- با افزایش چرخش مته، سرعت حفاری بیشتر و با کاهش آن سرعت حفاری کاهش پیدا می‌کند، اما باید در نظر داشت که افزایش سرعت چرخش مته الزاماً سبب افزایش سرعت حفاری نمی‌شود و فاکتورهای دیگر از قبیل فرسایش مته، شکسته شده تجهیزات، انتقال خرده‌های حفاری و غیره تأثیر خواهد داشت.
- علاوه بر چرخش مته، با افزایش وزن روی مته، سرعت حفاری بیشتر و با کاهش آن سرعت حفاری کاهش پیدا می‌کند.
- با مقایسه پارامترهای تأثیرگذار حفاری در چاه A و B با نمودار مربوط به میزان هرزروی در بخش "۲۴"، چهار زون هرزروی وجود دارد که هر

پانویس‌ها

1. Multiple linear regression model
2. Rate of penetration
3. Weight on bit
4. KCl/partial hydrolytic polyacrylamide
5. KCl/graphene nanoplatelet (GNP)
6. KCl/nanosilica
7. KCl/multi-walled carbon nano tube (MWCNT)
8. transmission electron microscope
9. X-ray diffraction
10. linear swell meter (LSM)
11. Triton X-100
12. sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS)
13. 1-hexadecylpyridinium chloride (CPC)
14. permian & triassic

منابع

- based mud using nanosilica, multi-walled carbon nanotube, and graphene nanoplatelet. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26 May 2016.
- [7] Wai Li, et al., Laboratory investigations on the effects of surfactants on rate of penetration in rotary diamond drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 134, October 2015, Pages 114–122.
- [8] Mostafa K. Moravejia, Meysam Naderi, Drilling rate of penetration prediction and optimization using response surface methodology and bat algorithm. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* Volume 31, April 2016, Pages 829–841.
- [9] Bourgoyne, A.T., and Young, F.S., 1974: A multiple regression approach to optimal drilling and abnormal pressure detection. Presented at the 6th SPE-AIME Conference on Drilling and Rock Mechanics, Austin, Texas, 14 pp.
- [۱۰] رحیمی، م.، ۱۳۸۱. تعبیر و تفسیر لرزه‌ای ناحیه پارس جنوبی در افق‌های آسماری، جهرم، سروک، داریان، فهلیان، سورمه، کنگان، نار و فراقون، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- [۱] میرجردوی، نوید، "کتاب جامع مهندسی حفاری"، انتشارات آزاده، فصل چهارم، ۱۳۹۶.
- [2] Montgomery, D.C., and Runger, G.C., 2003: *Applied statistics and probability for engineers* (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc. 977 pp.
- [3] Eren, T., Real-time-optimization of drilling parameters during drilling operations. Middle East Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, Ankara, PhD thesis, 2010, 165 pp.
- [4] Lummus, J. L., Drilling Optimization. *Journal of petroleum technology*, p1379, Nov 1970.
- [5] Yong Deng, et al., Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* Volume 36, Part A, November 2016, Pages 117–123.
- [6] Aftaba, A, Ismaila. A.R, Z.H. Ibutoto, Enhancing the rheological properties and shale inhibition behavior of water-