

بررسی مشکلات و چالش‌های سیستم‌های حفاری با هوا در میدین زاگرس جنوبی

مصطفی مرادی‌نژاد*، مهران مکنونی، شرکت ملی حفاری

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۴/۲۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۶/۰۱

هرزروی یکی از مشکلات اساسی در صنعت حفاری است که به شکل گم شدن جزیی یا کلی حجمی از سیال حفاری به صورت نشت تجهیزاتی یا نشت در درون منافذ سازندها بیان می‌شود. متغیرهای عملیات حفاری و سازند از جمله عوامل مؤثر بر هرزروی هستند. حفاری با هوا یکی از راهکارهای بسیار مؤثر جهت کاهش هزینه‌های حفاری در سازندهایی با هرزروی شدید است. سازندهای سست و شکننده، سازندهای بسیار تراوا با فشار تخلیه شده و سازندهای شکاف‌دار از جمله مهم‌ترین گزینه‌های انتخابی حفاری با هوا به‌شمار می‌آیند. کاهش هزینه‌های ناشی از گم‌شدگی سیال حفاری و افزایش سرعت و طول عمر متهی حفاری از مهم‌ترین مزایای حفاری با هوا هستند. سیستم‌های حفاری با هوا علاوه بر نقش بسیار مهم و مؤثر در کاهش پیامدهای ناشی از هرزروی، در شرایطی خاص، چالش‌های پیچیده و بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند. میدین زاگرس جنوبی مانند آغار، دالان، شانول، نار، گنگان، وراوی، هما و تابناک از جمله میدین‌هایی هستند که به دلیل هرزروی‌های شدید حفره‌های بالایی باید برای آنها از روش‌های حفاری با هوا، فوم پایدار و گل هوازده آنها استفاده کرد. این تحقیق برخی از مهم‌ترین مشکلات و چالش‌های پیش‌روی حفاری با هوا در چند حلقه چاه از میدین مناطق زاگرس جنوبی ایران را بررسی کرده است. نتایج نهایی نشان می‌دهد که در صورت عدم موفقیت در ایجاد شرایطی پایدار جهت انجام عملیات حفاری با هوا، نه تنها کارآیی این روش به شدت کاهش خواهد یافت بلکه عملیات حفاری با مشکلات عدیده‌ای از جمله خرابی‌های مکرر و جبران‌ناپذیر لوله‌های حفاری (خوردگی، فرسایش، شوئیدگی و بریده شدن‌های متعدد لوله‌ها در اثر خستگی شدید ناشی از ارتعاشات زیاد)، ناپایداری دیواره‌ی چاه، عملیات شستشو و تراش سخت، بروز هرزروی‌های شدید، حفاری بدون برگشتی و متعاقب آن بروز گیرهای بسیار سخت، عملیات مانده‌گذاری طولانی مدت و شانس بسیار ناچیز در بازیافت مانده و در نهایت از دست دادن حفره مواجه خواهد شد. این موضوع سبب افزایش سرسام‌آور هزینه‌های تمام شده‌ی حفر چاه و تحمیل بار مالی سنگینی بر طرح‌های توسعه‌ی میدان خواهد شد.

واژگان کلیدی:

هرزروی، حفاری با هوا، خرابی لوله‌ی حفاری، ناپایداری دیواره چاه

مقدمه

۱- نواحی هرزروی [۱]

عموماً نواحی هرزروی را می‌توان به دو دسته‌ی اصلی تقسیم کرد:

۱-۱- نواحی هرزروی طبیعی

یکی از عوامل مؤثر بر هرزروی، جنس سنگ و میزان تراکم آنست. مناطق طبیعی هرزرو (Loss Zone)، به دلیل نوع سازند یا ساختار زمین‌شناسی موجود ذاتاً مستعد هرزروی هستند. تقسیم‌بندی این نواحی به شرح زیر است:

الف) ساختارهای ناپایدار و دانه درشت

برای هرزروی سیال به منافذ این سازندها، ابعاد منافذ باید در حدود سه برابر بزرگ‌تر از ابعاد ذرات سیال حفاری باشد. بنابراین با نفوذپذیری ۱۰-۲۵ داری برای سازند هرزروی اتفاق می‌افتد. ماسه‌های سطحی،

هرزروی^۱ از مشکلات اساسی در صنعت حفاری است که به شکل گم شدن جزیی یا کلی حجمی از سیال حفاری به صورت نشت تجهیزاتی یا نشت در درون منافذ سازندها بیان می‌شود. هرزروی، پرهزینه‌ترین و رایج‌ترین مشکل در صنعت حفاری است که برحسب شرایط موجود، باید به روش‌های خاصی با آن مقابله کرد. هرزروی، بیشتر در سازندهایی با تخلخل زیاد از جمله سازندهای ماسه‌سنگی، سازندهای با تراکم کم و سازندهای کربناته‌ی شکاف‌دار یا سازندهایی با تخلخل انحلالی زیاد رخ می‌دهد. متغیرهای مربوط به عملیات حفاری و سازند از جمله عوامل مؤثر بر هرزروی به‌شمار می‌آیند. با توجه به هزینه‌ی تمام شده‌ی هر بشکه گل پایه‌آبی (حدود ۱۰۰ دلار) و هر بشکه گل پایه‌روغنی (حدود ۴۰۰ دلار)، هرزروی حتی با مقادیر کم نیز در زمان طولانی می‌تواند زیان هنگفتی به عملیات تحمیل کند. بدین گونه است که هرزروی، حدود ۲۰-۱۰ درصد هزینه‌های حفاری را به خود اختصاص می‌دهد.

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mostafa.moradinejad@yahoo.com)

باندهای شنی (sandy Lens) و سازندهای ریفی (Reef) از جمله‌ی این نواحی هستند.

ب) شکستگی‌ها و شکاف‌های طبیعی

این سازندها که ممکن است با نفوذپذیری زیاد در بسیاری از ساختارها وجود داشته باشند عامل اصلی هرزروی به‌شمار می‌آیند. هرزروی در این نواحی می‌تواند در اختلاف فشارهای خیلی کم (حدود ۵۰ psi) نیز رخ دهد.

ج) ساختارهای حفره‌ای و غاری

در بعضی سازندها مانند ساختارهای آهکی و دولومیتی، حفرات توسط جریان آب ایجاد می‌شوند. بدین صورت که این جریان، طی عملیات لیچینگ (Leaching) قسمتی از خمیره‌ی سنگ (Matrix) را حل می‌کند که ممکن است فضای خالی به‌وجود آمده بعداً توسط نفت پر گردد. زمانی که این سازندها حفاری می‌شوند ممکن است رشته‌ی حفاری به‌راحتی به داخل حفرات سقوط کرده و سیال حفاری به‌سرعت گم شود. حجم و شدت این هرزروی به اندازه‌ی حفرات مرتبط با هم بستگی دارد.

۱-۲- نواحی هرزروی القایی (تحریکی)

در مناطق القایی هرزرو، عملیات حفاری مؤثرتر از خواص زمین‌شناسی است. وقتی فشار هیدرواستاتیک سیال حفاری به فشار بحرانی بعضی از شکستگی‌ها برسد یا از آن تجاوز کند امکان شکست هیدرولیکی و هرزروی بسیار افزایش می‌یابد؛ به‌طوری که ممکن است مسدود کردن شکستگی‌هایی که در اثر افزایش فشار به‌وجود آمده‌اند بسیار دشوار باشد و این شکستگی‌ها دیگر به حالت اولیه باز نگردند. در این صورت حتی با کاهش فشار نیز هرزروی ادامه خواهد یافت.

۲- شدت هرزروی [۱]

شدت هرزروی عبارت است از تعداد بشکه‌های سیال حفاری هدر رفته در یک ساعت که ممکن است به‌صورت کمی یا کیفی بیان گردد. دسته‌بندی شدت هرزروی بر اساس نوع سازند در جدول ۱- ارائه شده است.

جدول ۱ | شدت هرزروی

نوع سازند در حال حفاری	دسته‌بندی	شدت هرزروی (بشکه در ساعت)
ماسه‌سنگ متخلخل و تراوا	چکه‌ای (Seepage)	کمتر از ۲۵
ماسه‌سنگ‌های درشت و گراول‌ها	جزئی	۲۵ تا ۱۰۰
سازندهای دارای شکستگی یا غار	شدید	بیش از ۱۰۰

۳- روش‌های کنترل هرزروی [۲]

روش‌های مختلفی برای کنترل هرزروی بیان شده که استفاده از هر کدام، تابع شرایط حفاری و شدت هرزروی است. برخی از این روش‌ها عبارتند از:

- استفاده از مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی (LCM)^۱
- استفاده از مجراند تعادلی سیمانی یا مگنستی^۲
- استفاده از مجراند باریتی^۳
- استفاده از گانگ‌پیل^۴

روش‌های ذکر شده‌ی کنترل هرزروی یا مستلزم افزودن برخی مواد به سیال حفاری است یا می‌توان با انجام عملیات سیمان‌کاری و قرار دادن مجراند‌های (Plug) گوناگون شدت هرزروی را کاهش داد. به‌طور معمول در صورت بروز هرزروی حین حفاری سازند، ابتدا با اضافه کردن مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی (LCM) به سیال حفاری، سعی در کاهش و کنترل هرزروی می‌شود که بسته به شدت هرزروی و نوع سازند مواد مختلفی به‌کار می‌رود. این روش ساده‌ترین و ارزان‌ترین راه کنترل هرزروی است. در صورت عدم موفقیت این روش، در ادامه از مجراند‌های تعادلی سیمانی یا مگنستی به‌عنوان روش ثانویه استفاده می‌شود که این امر مستلزم توقف حفاری، استقرار تجهیزات و ابزار سیمان‌کاری و نهایتاً افزایش هزینه‌هاست. گانگ‌پیل و مجراند باریتی دو روشی هستند که جزء روش‌های مرسوم به‌شمار نمی‌آیند و از آنها در شرایط خاص، جهت کنترل هرزروی استفاده می‌شود. در صورت عدم موفقیت در کنترل هرزروی باید با راندن لوله‌ی جداری، سازند مشکل‌ساز را به نوعی جدا کرد یا در انتخاب نوع روش حفاری سازند تجدیدنظر نمود. حفاری با هوا و حفاری فروتعادلی (UBD)^۵ دو روش مناسب جهت حفاری سازندهایی با مشکل هرزروی شدید هستند. از حفاری با هوا در سازندهای غیرتولیدی و با مقدار آب نفوذی ناچیز و از حفاری فروتعادلی در سازندهای تولیدی استفاده می‌شود.

۴- حفاری با هوا^۶ [۲]

برای حفاری در مناطقی با هرزروی شدید سیال حفاری و فشار کم سازند، از سیالات حفاری با هوا استفاده می‌شود. گاز خشک^۸ (هوا یا گاز طبیعی)، هوای مرطوب^۹، کف^{۱۰} و گل هوازده^{۱۱} انواع سیالات حفاری با هوا به‌شمار می‌آیند.

۵- انواع سیستم‌های حفاری با هوا [۲]

۵-۱- حفاری با گاز خشک (هوا)

در حفاری سازندهای سختی که در آنها با جریان آب مواجه نشده‌ایم یا مکان‌هایی که تأمین آب برای حفاری بسیار مشکل است از گاز خشک (هوا) استفاده می‌شود. سازندهای آبدار بزرگ‌ترین عامل محدودکننده‌ی حفاری با هوا به‌شمار می‌آیند. مرطوب شدن زیاد کنده‌های حفاری، منجر به چسبندگی و تشکیل حلقه‌های گلی می‌شود که می‌تواند فضای

۶- زمین‌شناسی حوزه‌ی زاگرس ایران [۳]

ناحیه‌ی حوزه‌ی زاگرس به بلوک‌های لرستان، ایذه، فروافتادگی دزفول، دشت آزادگان، دشت آبادان، فارس ساحلی، فارس داخلی و هینترلند (Hinterland) بندرعباس تقسیم می‌شود. میداین نفت و گاز عمدتاً با روندهای شمال‌غرب-جنوب‌شرق در این نواحی گسترده شده‌اند. ناحیه‌ی فروافتادگی دزفول مابین دو گسل بالارود در غرب و کازرون در شرق واقع شده؛ به‌طوری که اکثر میداین نفتی ایران را دربر می‌گیرد. عملکرد گسل‌های نرمال در این ناحیه و فشار و دمای مناسب باعث شده بسیاری از سازندهای این نواحی مانند شیل‌های کژدمی به‌عنوان سنگ منشاء بسیاری از مخازن نفتی عمل کند. حد باختری ناحیه‌ی فارس محدود به ناحیه‌ی گسلی کازرون (kazeroon fault) است و مرز خاوری آن هینترلند بندرعباس می‌باشد.

میداین واقع در ناحیه‌ی فارس به‌دلیل وجود فعالیت‌های آتشفشانی و افزایش دما توانسته‌اند به مرحله‌ی متاژن وارد شده و گازهای غیرهمراه را در سازندهای مخزنی گنگان و دالان ایجاد نمایند. بنابراین بیشتر میداین این ناحیه گازی هستند که از جمله‌ی آنها می‌توان به دالان، شانول، کنگان، نار، وراوی، هما و تابناک اشاره کرد. در این ناحیه سازند کژدمی به‌دلیل قرار گرفتن در عمق کم و ناکافی بودن فشار و درجه‌ی حرارت لازم جهت پختگی به‌عنوان سنگ منشاء عمل نکرده و در این ناحیه نفت تشکیل نشده است. همچنین در این نواحی سازندهایی با ویژگی‌های مخزنی نظیر آسماری، ایلام، سروک، فهلیان و داریان که عمدتاً از مخازن آهکی شکاف‌دار هستند فاقد نفت می‌باشند که به‌دلیل تخلخل و نفوذپذیری بسیار زیاد، حفاری در این نواحی با مشکلات شدید هرزروی مواجه شده است؛ به‌طوری که حتی حفاری با آب نیز در این نواحی با مشکل هرزروی شدید و عدم برگشتی روبرو است. در جدول ۲- لیتولوژی سازندهای ناحیه‌ی فارس ساحلی ارائه شده است.

در برنامه‌ی پیش‌بینی حفاری چاه‌های این میداین، حفاری حفره‌ی ۱۷-۱/۲" با فوم پایدار ۶۵ pcf، تا ۵۰ متر درون سازند داریان ادامه می‌یابد و پس از رسیدن به این عمق جهت ایزوله کردن سازندهای حفاری شده و پیشگیری از مشکلات احتمالی، جداری ۳/۸- ۱۳ رانده و سیمانکاری انجام می‌شود. عملیات حفاری حفره‌ی ۱۲-۱/۴" با فوم پایدار (در برخی شرایط گل هوازده) ۶۵ pcf، تا ۲۵ متر درون سازند دشتک بخش H ادامه یافته که به‌دلیل پر فشار بودن بخش‌های پایینی لایه‌ی H و احتمال جریان چاه، نیاز به وزن بیشتر گل و جلوگیری از بروز هرزروی در لایه‌های بالایی، جداری ۵/۸- ۹ در این عمق نشانده و سیمانکاری انجام می‌شود. حفاری حفره‌ی ۱۲-۱/۲" با گل پایه‌آبی (در برخی شرایط گل امولسیون) ۶۳-۷۵ pcf، تا ۵ متر درون سازند دالان بالایی ادامه یافته و در این عمق آستری ۷" نشانده می‌شود. در حفره‌ی ۶-۱/۸"، حفاری حفره با گل امولسیون ۵۹-۵۵ pcf درون سازند دالان تا عمق نهایی (TD) ادامه یافته و چاه به‌صورت حفره‌باز^{۱۵} تکمیل می‌گردد.

دالیزی را مسدود کرده و سبب بروز هرزروی و گیر کردن لوله‌ها گردند.

۵-۲- حفاری با هوای مرطوب

در مناطقی با نفوذ آب زیاد، حفاری با هوای مرطوب بر حفاری با هوای خشک ترجیح داده می‌شود. حفاری مرطوب نسبت به حفاری با گاز خشک نیازمند تقریباً ۳۰ درصد هوای بیشتر (فشار تزریق بیشتر) است که دلیل آن سنگین‌تر بودن ستون سیال خیس، افت اصطکاکی بیشتر به‌دلیل چسبیدن کنده‌های خیس به رشته‌ی حفاری و دیواره‌ی چاه و سرعت لغزش بیشتر کنده‌های بزرگ‌تر است.

۵-۳- حفاری با فوم

حفاری با کف شامل سه نوع سیال (کف، کف فشرده و کف پایدار) است. کف شامل مخلوطی از آب، پلیمرها، خاک رس، مواد کف‌ساز و مواد ضد خوردگی است. در صورت رویارویی با مشکلات در حفاری خشک یا مرطوب نظیر فرسایش و سائیدگی دیواره‌ی چاه، تمیزسازی نامناسب چاه و هرزروی جریان برگشتی، انتقال از حفاری مرطوب به کف ضروری است. تعیین‌کننده‌ی موفقیت یا شکست عملیات حفاری با کف، انتخاب درست عامل کف‌ساز است. کف فشرده^{۱۱} یک سیال حفاری با چگالی کم است (از نظر شکل ظاهری شبیه گل حفاری است) که برای حفاری سازندهای غیرسخت استفاده می‌شود. کف قوی‌تر نسبت به کف ساده، توانایی حمل کنده‌های بزرگ‌تری را دارد. کف پایدار^{۱۳} یک سیال تکمیلی و اصلاحی و شامل گرد صابون، آب شیرین و هواست. تفاوت کف فشرده با کف پایدار در روش تهیه‌ی آنهاست. ویژگی متمایز کف پایدار آنست که این سیال در سطح و در واحد تولید کف ساخته می‌شود و سپس به‌درون لوله‌های حفاری تزریق می‌گردد.

۵-۴- حفاری با گل هوازده

هنگامی که شرایط حفاری مانع از کاربرد گاز خشک، هوای مرطوب یا کف شود ممکن است گل هوازده به کار رود. هرزروی اغلب هنگام حفاری در مناطقی با فشار زیاد و در عمق‌های زیاد برگشتی در عمق‌های کم و متوسط اتفاق می‌افتد. استفاده از گل هوازده می‌تواند راهی برای کاهش فشار هیدروستاتیکی در مناطقی با عمق کم و در همین حال فشار هیدروستاتیک مناسب در منطقه‌ی عمیق‌تر باشد.

به‌کارگیری سیستم‌های حفاری با هوا در ایران، مربوط به بخش فارس ساحلی ناحیه‌ی زاگرس است که عمدتاً شامل میداین دالان، شانول، کنگان، نار، وراوی، هما و تابناک می‌شود. در این تحقیق وضعیت حفاری با هوا در بخش فارس ساحلی ناحیه‌ی زاگرس بررسی شده و مهم‌ترین چالش‌ها و مشکلات فنی و عملیاتی پیش‌روی حفاری با هوا در این میداین بیان می‌گردد. همچنین راه کارهای مناسب جهت کاهش یا جلوگیری از بروز آنها ارائه خواهد شد.

حفاری سازندهای این بخش که شامل حفره‌های "۱۷-۱/۲" و "۱۲-۱/۴" است با مشکل جدی هرزروی سیال حفاری مواجه گردید؛ به طوری که عملاً با هیچ کدام از روش‌های معمول کنترل هرزروی که به آنها اشاره شد امکان برطرف کردن و حتی کاهش مقدار این

۲- مشکلات و چالش‌های پیش‌روی سیستم‌های حفاری با هوا

ویژگی‌های ساختاری ناحیه‌ی فارس ساحلی و قرارگیری سازندهای آهکی با تراوایی بسیار زیاد در بخش‌های بالایی سبب شده عملاً

۲ | لیتولوژی سازندهای ناحیه‌ی فارس ساحلی

سازند	لیتولوژی
گروه فارس	شامل تناوبی از مارل‌های خاکستری، ماسه‌سنگ به‌رنگ خاکستری، ژپس و لایه‌هایی از آهک سفید تا خاکستری روشن
آسماری	شامل آهک، آهک دولومیتی کرم‌رنگ و گاهی دولومیت
چهرم	شامل دولومیت به‌رنگ خاکستری، قهوه‌ای و نخودی رنگ حاوی آثار فسیل، آهک تا آهک دولومیتی و در مواردی انیدریت
پابده	شامل آهک‌های رسی کرم‌رنگ تا خاکستری و شیل‌های قهوه‌ای قرمز
گورپی	شامل سنگ‌آهک‌های رسی کلوکونیت‌دار به‌رنگ خاکستری روشن با لایه‌های شیلی آهکی به‌رنگ سیاه
ایلام	شامل آهک به‌رنگ قهوه‌ای روشن، نخودی در مواردی حاوی چرت و دارای فسیل، گاهی دولومیتی شده، آهک سفید رنگ گچی و آهک با محتوای رسی در انتهای سازند
لافان	شامل مارل یا شیل‌های خاکستری تا سبز مایل به خاکستری و قهوه‌ای مایل به زرد در مواردی آهکی و حاوی پیریت به‌همراه میان‌لایه‌هایی از آهک
سروک	قسمت بالایی (بخش احمدی): شامل شیل یا مارن‌های به‌رنگ خاکستری روشن تا تیره و قهوه‌ای مایل به زرد به‌همراه میان‌لایه‌هایی از آهک و پیریت قسمت زیرین (بخش مدود): از آهک به‌رنگ قهوه‌ای روشن تا نخودی رنگ، حاوی فسیل که در پایین شامل آهک‌های رسی و مارن است
کژدمی	شامل شیل‌های خاکستری روشن تا تیره، سبز مایل به خاکستری و قهوه‌ای روشن و حاوی بیتومین (Bitumen)، شیل‌های آهکی و میان‌لایه‌هایی از آهک، در بخش انتهایی از ماسه‌سنگ‌های ریزدانه و نازک‌لایه و نیز سیلتستون شل (shale siltstone) یا کمی سیمانی شده حاوی پیریت و گلوکونیت
داریان	شامل آهک‌های خاکستری روشن، آهک گچی فسیل‌دار و متخلخل، در بخش‌های میانی از شیل آهکی و مارن و آهک‌های رسی و در انتها از آهک نسبتاً نرم به‌رنگ کرم تا نخودی رنگ و در مواردی گچ
گدوان	شامل آهک‌های رسی خاکستری رنگ و مارن فسیل‌دار و در بخش خلیج از آهک‌های تمیز به رنگ خاکستری روشن و آهک‌های گچی دارای تخلخل
فهلپان	شامل آهک‌های رسی خاکستری و قهوه‌ای رنگ در مواردی حاوی میان‌لایه‌هایی از مارن و آهک‌های گچی، فسیل‌دار و واجد پیریت در قسمت‌های بالایی، در قسمت‌های زیرین از آهک‌های نسبتاً تمیز قهوه‌ای روشن و خاکستری روشن حاوی عناصر اسکلتی و غیراسکلتی و در مواردی دولومیتی شده و واجد چرت
هیث	شامل انیدرید سفید رنگ به‌صورت تناوب با دولومیت‌های متبلور ریز بلور به‌رنگ قهوه‌ای و خاکستری روشن و در مواردی آهکی
سورمه	شامل انیدرید، دولومیت به‌رنگ قهوه‌ای، نخودی و خاکستری، متبلور گاهی آهکی و آهک‌های خاکستری، قهوه‌ای، کرم و سفید رنگ گاهی البیتی یا فسیل‌دار و متخلخل، در مواردی حاوی رس و آهک دولومیتی
نیریز	شامل آهک، رس سنگ‌های خاکستری رنگ نرم، شیل و یا مارن و آهک‌های سفید تا کرم رنگ
دشتک	شامل دولومیت، دولومیت آهکی، انیدرید، آهک، آهک دولومیتی، شیل و رس سنگ
کنگان	شامل دولومیت‌های ریزبلور متبلور، میان‌لایه‌هایی از شیل، رس سنگ و با مارن، انیدریت، آهک و آهک‌های دولومیتی حاوی البت، پلوئید، آنگوئید، بیو کلاست و استروماتولیت
دالان	بخش بالایی: شامل آهک و آهک دولومیتی ریز تا درشت بلور، حاوی البت، پلوئید، انیدرید و دولومیت فسیل‌دار بخش ناز: شامل انیدرید سفید رنگ به‌صورت تناوب با میان‌لایه‌هایی از دولومیت و آهک بخش پایینی: قسمت بالایی آن غالباً از آهک دولومیتی و دولومیت و به‌سمت قسمت‌های پایینی بیشتر از آهک و در مواردی دولومیت

گسترش ترک‌ها و در نهایت بریده شدن آنی و ناگهانی رشته‌ی حفاری خواهد شد که این امر مستلزم انجام عملیات مانده‌یابی و در نتیجه افزایش هزینه‌هاست.

۷-۱-۴- ناپایداری دیواره‌ی چاه، عملیات شستشو و تراش سنگین

کم بودن فشار هیدرواستاتیکی سیالات حفاری با هوا و وجود آب در برخی از انواع این سیالات موجب تورم و جمع‌شدگی چاه خواهد شد. نتیجه‌ی این امر تنگ شدن چاه و نیاز به شستشو و تراش سخت در ناحیه‌ی جمع‌شدگی است. همواره عملیات شستشو و تراش نسبت به عملیات حفاری گشتاور بسیار بیشتری دارد. هر چند مقدار گشتاور اعمالی از مقاومت پیچشی لوله‌های حفاری کمتر است؛ اما مدت زمان زیاد این عملیات، خستگی شدید رشته‌ی حفاری و به‌دنبال آن خرابی‌های پی‌درپی را به‌همراه خواهد داشت.

۷-۱-۵- حفاری با برگشتی نامناسب

عدم تمیزسازی مناسب چاه به‌دلیل برگشتی نامناسب (عدم وجود برگشتی یا برگشتی مقطعی) یکی از ملموس‌ترین مشکلات حفاری با هوا به‌شمار می‌آید. حفاری بدون برگشتی و تماس مستمر رشته‌ی حفاری با سازند و کنده‌ها در محدوده‌ی متعلقات تحتانی رشته‌ی حفاری سبب ایجاد اصطکاک مکانیکی و تولید گرمای زیاد می‌شود که این امر به‌شدت بر خواص فیزیکی رشته‌ی حفاری اثر گذاشته و موجب کاهش مقاومت رشته‌ی حفاری می‌گردد. نتایج بازرسی‌ها نشان از خرابی‌های شدید از جمله وجود ترک‌ها، شکستگی^{۱۸} و خوردگی^{۱۹} در متعلقات تحتانی رشته‌ی حفاری به‌خصوص در قسمت‌های اتصالات نر و مادگی (Pin & Box) دارد. بروز خوردگی روی سطح خارجی نر و مادگی رزوه‌های لوله‌های وزنه‌ی "۸-۱/۲" و "۹-۳/۴" می‌تواند ناشی از نفوذ هوای پرفشار بین اتصالات به‌دلیل حفاری بدون برگشتی، گرم شدن رزوه‌ها و کوبش رشته‌ی حفاری باشد.

مقایسه‌ی متغیرهای حفاری در چاه‌های مختلف به‌وضوح نشان می‌دهد که برگشتی مناسب سیال حفاری، کاهش چشمگیر خرابی رشته‌ی حفاری را به‌همراه خواهد داشت. در جداول ۴ و ۳ شرایط و متغیرهای حفاری با هوا در دو حفره‌ی "۱۷-۱/۲" از چاه‌های میادین کنگان و نار با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در شرایطی که حفاری با هوا با برگشتی مناسب همراه باشد (با متغیرهای حفاری تقریباً یکسان)، عملیات با خرابی کمتر رشته‌ی حفاری مواجه شده است. این موضوع برای سایر چاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق (۳۰ حلقه چاه) نیز صادق است. در سازندهای مشکل‌ساز که حفاری با هوا، چالش برگشتی مناسب خواهد داشت مادامی که حفاری با فوم یا گل هوازده انجام شود با تلاش زیاد سعی در برقرار کردن برگشتی سیال حفاری انجام خواهد شد. اما

هرزروی وجود ندارد. بنابراین تنها راه، تغییر شیوه‌ی حفاری است که با توجه به عدم وجود سیالات هیدروکربنی در این سازندها رایج‌ترین روش، حفاری با هواست.

استفاده از سیستم‌های حفاری با هوا در حفره‌های "۱۷-۱/۲" و "۱۲-۱/۴" تا زمانی که شرایط برگشتی سیال حفاری پایدار و مناسب باشد بدون مشکل خاصی ادامه دارد. اما هر عاملی که باعث برهم خوردن شرایط پایداری سیستم حفاری با هوا شود می‌تواند علاوه بر مشکل هرزروی، چالش‌های دیگری نیز به‌همراه داشته باشد که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

۷-۱-۱- خرابی رشته‌ی حفاری

شوئیدگی، بریده شدن و خوردگی از مهم‌ترین انواع خرابی لوله‌ها در سیستم‌های حفاری با هوا به‌شمار می‌آیند که از مهم‌ترین عواقب آن می‌توان به افزایش هزینه‌های ناشی از خرابی لوله، مانده‌یابی و در بدترین شرایط از دست دادن حفره اشاره کرد. در حفاری با هوا دلایل متعددی برای خرابی رشته‌ی حفاری وجود دارد که در ادامه و با توجه به تاریخچه‌ی حفاری در میادین نفت مرکزی به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۷-۱-۱- ناپایداری رشته‌ی حفاری در اثر ارتعاشات زیاد

سیستم‌های حفاری با هوا به‌شدت ارتعاش‌زا هستند. شدت ارتعاشات ایجاد شده گاه به‌حدی است که رشته‌ی حفاری را از ته چاه بالا می‌آورند؛ به‌طوری که پایداری آن نیازمند اعمال وزن بیشتری روی مته است. عدم اعمال متغیرهای مناسب حین حفاری، توجه زیاد به نرخ زیاد حفاری (ROP)^{۲۰} و عدم استفاده از متعلقات تحتانی مناسب (BHA)^{۲۱} از مهم‌ترین دلایل تشدید ارتعاشات رشته‌ی حفاری به‌شمار می‌روند.

۷-۱-۲- خوردگی و فرسایش شدید

خوردگی می‌تواند در طول عملیات حفاری با هوا فاجعه‌آفرین باشد؛ بنابراین باید رشته‌ی حفاری به‌طور مناسب توسط مواد ضدخوردگی و عملیات تمیزکاری محافظت گردد. در عملیات حفاری با هوا، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و سولفید هیدروژن در حضور آب خاصیت خوردگی شدیدی خواهند داشت. همچنین سرعت بسیار زیاد کنده‌ها در فضای دالیز، فرسایش سطحی شدید لوله‌های حفاری را به‌دنبال دارد.

۷-۱-۳- عدم مشاهده‌ی سریع علائم خرابی رشته‌ی حفاری

به‌دلیل قابلیت تراکم‌پذیری سیالات پایه‌گازی و همچنین عدم برگشتی مناسب، عملاً تشخیص هرگونه شوئیدگی روی لوله‌ها از طریق افت فشار در سیستم گردش سیال حفاری به‌سختی امکان‌پذیر است. عدم تشخیص به‌موقع شوئیدگی لوله‌های حفاری منجر به

هوا جهت جلوگیری از گیر کردن، گاهی در رشته‌ی حفاری از پایدارکننده استفاده نمی‌شود. همین امر سبب انحراف تدریجی چاه می‌گردد که در صورت عدم اعمال متغیرهای حفاری مناسب (به‌خصوص وزن روی مته و عدم نظارت مستمر و دقیق) ممکن است منجر به انحراف چاه و تشدید خستگی در رشته‌ی حفاری در اثر دوران گردد.

۷-۱-۸- اثرات خمیدگی چرخه‌ای^{۲۰}

از مهم‌ترین عوامل خستگی لوله‌های حفاری، خمیدگی چرخه‌ای است و هنگامی اتفاق می‌افتد که لوله‌ها در قسمتی از چاه که به‌دلایلی تغییر جهت ناگهانی داده دوران داشته باشند. در این شرایط در هر دور از دوران، لوله‌ی حفاری یک چرخش تنشی کامل (کشش و تراکم) را طی خواهد کرد. اثرات خمیدگی چرخه‌ای زمانی پررنگ‌تر می‌شود که با سایر خستگی‌های لوله‌های حفاری به‌ویژه خستگی‌های فازی و خوردگی ترکیب گردد. در این صورت با افزایش عمق و بیشتر شدن وزن اعمالی رشته‌ی حفاری زیر نقطه‌ی سگ‌دست^{۲۱} به‌سرعت آثار خرابی لوله‌های حفاری آشکار می‌شود. در سیستم‌های حفاری با هوا تا زمانی که حفاری چاه به‌صورت عمودی است تعدد خرابی‌های رشته‌ی حفاری در حد معمول خواهد بود اما با تغییر مسیر چاه (ناشی از مانده‌گذاری و حفاری کنارگذر یا ایجاد سگ‌دست شدید)، به‌دلیل وجود خستگی‌های نهفته‌ی ناشی از حفاری با هوا، تأثیرات خستگی خمیدگی چرخه‌ای نمایان‌تر شده و تعدد خرابی‌های رشته‌ی حفاری به‌شدت افزایش خواهد یافت. هرچه نقطه‌ی ایجاد سگ‌دست در عمق‌های بیشتری اتفاق بیافتد اثرات خمیدگی چرخه‌ای افزایش خواهد یافت؛ چراکه با افزایش عمق حفاری و هم‌زمان با چرخه‌ی کشش و تراکم در این

هر نوع عملیاتی که منجر به قطع تزریق فوم یا هوا گردد سبب ایجاد خلل در سیستم برگشتی شده و برقرار کردن مجدد آن با دشواری بسیاری مواجه خواهد بود. این موضوع به‌عنوان یکی از موانع اصلی در برقراری برگشتی گل شناخته می‌شود. ممکن است یکی از دلایل قطع عملیات تزریق فوم، کمبود آب در منطقه‌ی عملیاتی جهت گل‌سازی یا پر کردن چاه باشد که در نتیجه باید حفاری متوقف شده و رشته‌ی حفاری جهت آب‌گیری بالا آورده شود.

۷-۱-۶- فقدان اثرات نیروی شناوری

در صورت وجود سیال حفاری در اطراف لوله‌ها، اثرات نیروی شناوری، شدت نیروهای وارده به قسمت‌های تحتانی رشته‌ی حفاری را (حتی در صورت شدید بودن ارتعاشات) کاهش خواهد داد. اما وجود سیال حفاری تراکم‌پذیر و برگشتی نامناسب و به‌تبع آن، نبود اثرات نیروی شناوری سبب خواهد شد کوچک‌ترین ارتعاشات محوری رشته‌ی حفاری اثرات تخریبی نسبتاً شدیدی در متعلقات تحتانی ایجاد کند.

۷-۱-۷- طراحی نامناسب ساق حفاری

استفاده از BHA نامناسب (عدم استفاده از جاذب ارتعاشات و پایدارکننده، طراحی نامناسب، استفاده از BHA با انعطاف‌پذیری زیاد) می‌تواند موجب انتقال نیروی ناشی از درگیری مته و سازند به قسمت‌های بالایی، انحراف زیاد چاه و ایجاد ارتعاشات پیچشی و محوری گردد. این امر سبب جذب این نیروها در قسمت‌های تحتانی به‌صورت اصطکاک و استهلاک فلزی می‌گردد که در نهایت پس از گذشت مدتی منجر به ایجاد ترک‌های خستگی و خرابی لوله‌ها می‌شود. به‌دلیل عدم برگشتی مناسب در حفاری با

۳ | شرایط حفاری با هوا در حفره‌ی "۱۷-۱/۲" در چاه-A میدان کنگان

Depth	Formation	Mud System	Problem	RPM	MW	WOB	ROP	Circulation
1267	Surmeh	Stiff Foam	Twist off from Box D.C 9 3/4"	130	65	20-30	4/27	No Return
1285	Surmeh	Stiff Foam	Horizontal Crack on 5" DP Body(Std 34.60 cm below the box	130	65	20-25	1/5	No Return
1285	Surmeh	Stiff Foam	Twist off from Internal steam of 9 1/2" Jar	130	65	20-25	1/5	No Return
1748	Surmeh	Aerated Mud	Horizontal Crack on D.C 8 1/2" (1 JT Above 7 5/8" Reg. Pin x 6 5/8" Reg Box X.O.S (15 cm Below the Box)	100	65	20-25	2/5	No Return
1748	Surmeh	Aerated Mud	Twist off from Box D.C 9 3/4"(2 Jts Below X.O.S)	100	65	20-25	2/5	No Return
1923	Surmeh	Aerated Mud	Twist off from 5" DP Slips Area (0.78 m Below Box)	90	63	15-20	1/85	No Return
1978	Dashtak	Aerated Mud	Twist off from 5" DP Slips Area (0.53 m Below Box)	90	65	10-15	0/7	No Return

شرایط حفاری با هوا در حفره "۱۷-۱/۲" در چاه-B میدان نار

Depth	Formation	Mud System	Problem	RPM	MW	WOB	ROP	Circulation
560-705	Surmeh	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	6	Good Return
705-806	Surmeh	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	5/94	Good Return
806-888	Surmeh	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	5/85	Good Return
888-980	Surmeh	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	5/75	Good Return
980-1063	Surmeh	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	6/38	Good Return
1063-1190	Surmeh- Dashtak	Stiff Foam	No Problem	100	65	10-20	5/77	Good Return
1190-1377	Dashtak	Stiff Foam	No Problem	120	65	10-15	3-4	Good Return
1377-1580	Dashtak	Stiff Foam	No Problem	120	65	10-15	5-6	Good Return

باشند امکان بریده شدن مجدد لوله‌ها و مانده گذاری جدید وجود دارد.

از دیگر چالش‌های همیشگی عملیات حفاری با هوا، هرزروی سیال حفاری است. مادامی که عملیات حفاری با هوا، همراه با برگشتی مناسب باشد چاه به خوبی تمیز شده و کنده‌های حفاری به سطح خواهند رسید. بروز هرزروی، منجر به قطع کامل یا موقتی برگشتی می‌گردد که این امر مشکلاتی مثل عدم تمیزسازی مناسب چاه، سقوط و تجمع کنده‌های حفاری اطراف BHA و گیر کردن رشته‌ی حفاری را به همراه خواهد داشت. یکی از کاربردهای حفاری با هوا در مناطقی است که عملیات با مشکل تأمین آب جهت گل‌سازی مواجه می‌شود. با بروز مشکل هرزروی در حفاری با هوا تلاش بسیاری برای کنترل آن و برقرار کردن برگشتی سیال حفاری انجام می‌گردد. اما این اقدامات به دلیل کاهش ذخیره‌ی آب مخازن دستگاه حفاری معمولاً با شکست مواجه می‌شود که در نهایت نیز به دلیل کمبود آب، قطع پمپاژ و کاهش سطح ستون سیال درون چاه، عملیات حفاری متوقف شده، رشته‌ی حفاری تا پاشنه‌ی جداری بالا کشیده شده و چاه بسته می‌شود. پس از آب‌گیری، مجدداً مراحل قبل جهت کنترل هرزروی و گرفتن برگشتی تکرار خواهد شد. به همین دلیل با توجه به کمبود آب در منطقه‌ی عملیاتی، هرزروی در سیستم‌های حفاری با هوا می‌تواند انتظارات زیاد ذخیره‌سازی آب را به همراه داشته باشد.

در صورت عدم موفقیت در کنترل هرزروی ناگزیر باید از عملیات سیمان‌کاری بهره گرفت. اما از آنجا که وزن دوغاب سیمان بسیار بیشتر از سیال حفاری با هواست، خود سیمان نیز با مشکل هرزروی شدید مواجه می‌گردد که این امر منجر به تکرار چندین باره‌ی عملیات سیمان‌کاری و پمپاژ حجم بسیار زیادی سیمان خواهد

نقطه، وزن زیاد رشته‌ی حفاری این موضوع را تشدید می‌کند.

۲-۷- مشکلات حفاری (هرزروی و گیر کردن رشته‌ی حفاری)

از چالش برانگیزترین مسائل در عملیات حفاری با هوا، هرزروی و گیر کردن لوله‌هاست. خرابی‌های رشته‌ی حفاری را می‌توان با کنار گذاشتن و تعویض ابزار آسیب‌دیده برطرف کرد. اما برخی مشکلات علاوه بر تشدید خرابی لوله‌ها، ادامه‌ی عملیات حفاری با هوا را با مشکلات جدیدتری مواجه می‌کنند. با توجه به خستگی مضاعف لوله‌ها در حفاری با هوا و کاهش مقاومت اسمی آنها، در صورت بروز گیر، اعمال نیروی زیاد جهت آزادسازی رشته‌ی حفاری مشکل‌ساز خواهد شد؛ چراکه با اعمال کشش اضافی و کار زیاد روی گیر، امکان بریده شدن رشته‌ی حفاری از نقاط بالاتر از نقطه‌ی گیر وجود دارد. در این شرایط و با طولانی شدن عملیات کار روی گیر، احتمال آزادسازی رشته‌ی حفاری به شدت کاهش یافته و می‌تواند منجر به از دست دادن بخشی از رشته‌ی حفاری و حفره گردد. لازم به ذکر است در عملیات حفاری با هوا، با توجه به ماهیت تراکم‌پذیر سیال حفاری، در طراحی BHA به دلیل خرابی زود هنگام ضربه‌زن حفاری^{۲۲}، از این ابزار استفاده نمی‌شود و همین امر شانس موفقیت در عملیات آزادسازی پس از گیر کردن لوله‌ها را به شدت کاهش می‌دهد که نتیجه‌ی آن تحمیل هزینه‌های پسرگرد رشته‌ی حفاری (مکانیکی یا الکتریکی) و استفاده از رشته‌ی مانده‌یاب همراه با ضربه‌زن و انجام عملیات مانده‌یابی است. همچنین اگر لوله‌های حفاری استفاده شده در رشته‌ی مانده‌یابی، همان لوله‌های استفاده شده در حفاری با هوا

پیشنهادها

- با ارائه‌ی راهکارهای زیر اعمال تدابیر مناسب جهت تشخیص به‌موقع اثرات خستگی و خرابی رشته‌ی حفاری پیشنهاد می‌شود:
- تغییر روش بازرسی فنی رشته‌ی حفاری از روش RP7G به DS-1
- کاهش فاصله‌ی زمانی دوره‌ی بازرسی و استفاده از Category 1-2-3-4 در روش بازرسی DS-1 با توجه به شرایط چاه
- اصلاح طراحی رشته‌ی حفاری جهت کاهش ارتعاشات با انجام برخی اقدامات نظیر:
- الف) استفاده از لوله‌های حفاری سنگین (HWDP³) ما بین لوله‌های وزنه و لوله‌های حفاری
- ب) استفاده از جاذب ارتعاشات⁴ در رشته‌ی حفاری
- ج) استفاده از موتور درون‌چاهی
- کاهش انحراف چاه با طراحی BHA مناسب
- کاهش ارتعاشات رشته‌ی حفاری با کنترل و تصحیح متغیرهای حفاری
- استفاده از تجهیزات درون‌چاهی مناسب از قبیل جار حفاری با هوا برای تسریع در عملیات آزادسازی گیر رشته‌ی حفاری
- استفاده از لوله‌های نو در رشته‌ی مانده‌یابی جهت جلوگیری از تکرار بریده شدن لوله‌ها حین عملیات کار روی گیر
- ایزوله کردن سازندهای مشکل ساز (سازندهای با برگشتی نامناسب) از طریق اصلاح، طراحی و راندن لوله‌ی جداری
- دستیابی به ROP مناسب و کنده‌های کوچک از طریق طراحی و استفاده از متدهای حفاری متناسب با شرایط چاه
- طراحی و انتخاب بهترین نوع سیال حفاری با هوا و متناسب با نوع سازند ■

شد معمولاً احتمال موفقیت عملیات کنترل هرزروی از طریق سیمان کاری ناچیز است و بنابراین تنها راه ممکن، ادامه‌ی عملیات حفاری بدون برگشتی و با تقبل تمامی مشکلات مربوط به این موضوع از جمله خرابی لوله‌های حفاری است.

نتیجه‌گیری

- نبود ضریب شناوری، سرعت زیاد، تراکم‌پذیری، قابلیت خوردگی و فرسایش شدید سیال حفاری، اعمال متغیرهای بیشینه جهت دستیابی به نرخ زیاد حفاری، ایجاد ارتعاشات زیاد، BHA نامناسب، انحراف چاه، تشکیل سگ‌دست، اثرات مخرب خمیدگی چرخه‌ای، انجام عملیات شستشو و تراش سخت ناشی از ناپایداری دیواره، از مهم‌ترین عوامل ایجاد خستگی و به‌دنبال آن بروز خرابی‌های مکرر لوله‌های حفاری در سیستم‌های حفاری با هوا به‌شمار می‌آیند.
- هرزروی از مهم‌ترین چالش‌های سیستم‌های حفاری با هواست که عدم کنترل آن می‌تواند علاوه بر افزایش خرابی‌های لوله‌های حفاری منجر به گیر کردن لوله‌ها و در شرایط سخت‌تر، از دست دادن بخشی از رشته‌ی حفاری و حفره گردد.
- اصطکاک و گرمایش شدید ناشی از عدم برگشتی (هرزروی شدید) و تجمع کنده‌های حفاری اطراف BHA، کاهش مقاومت اسمی لوله‌های حفاری و وزنه را در پی دارد؛ به‌طوری که افزایش گشتاور پیچشی منجر به بریده شدن رشته‌ی حفاری و لزوم انجام عملیات مانده‌یابی گیر کردن لوله‌ها خواهد شد.

پانویس‌ها

- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1. Loss of Circulation | 9. Mist | 17. Bottom Hole Assembly (BHA) |
| 2. Loss Circulation Material(LCM) | 10. Foam | 18. Crack |
| 3. Cement Plug | 11. Aerated Mud | 19. Corrosion |
| 4. Barit Plug | 12. Stiff Foam | 20. Cycle Bending |
| 5. Gunk Pill | 13. Stable Foam | 21. Dogleg |
| 6. Under Balance Drilling | 14. Total Depth(TD) | 22. Jar |
| 7. Air Drilling | 15. Open Hole | 23. Heavy Weight Drill Pipe |
| 8. Dry Gas | 16. Rate of Penetration(ROP) | 24. Shock Sub |

منابع

- [۱] نبئی، محمد، ۱۳۹۰، اصول مهندسی حفاری، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان
- [۲] عادل‌زاده، محمدرضا، اصول مهندسی حفاری کاربردی، ۱۳۹۳، انتشارات کتاب آوا
- [۳] مطیعی، همایون، زمین‌شناسی ایران؛ زمین‌شناسی نفت زاگرس، ۱۳۷۴، انتشارات تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور
- [۴] شرکت ملی حفاری، ۹۳-۱۳۹۱، گزارش‌های روزانه دستگاه‌های حفاری