



مطالعه مقایسه‌ای حفاری فروتعدالی و فراتعدالی در چاه‌های موجود در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران

احسان کمری، سیدعلی موسوی دهقانی، صابر محمدی* • پژوهشگاه صنعت نفت

امین اسکندری • شرکت ملی حفاری ایران
سامره اسکندریا • دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

چکیده

هم‌اکنون اکثر میادین نفت و گاز ایران همانند بسیاری از میادین نفتی شناخته شده در جهان در مرحله تخلیه به سر می‌برند. باتوجه به تخلیه اغلب این میادین و افت فشار ناشی از آن، هرزروی سیال حفاری در اغلب عملیات حفاری در ایران وجود داشته و مشکلات عدیده‌ای ایجاد می‌کند. این مسائل علاوه بر ایجاد آسیب‌های جدی به سازند، باعث طولانی شدن زمان حفاری چاه و افزایش چشم‌گیر هزینه‌ها می‌شود. بنابراین، بررسی جدی این موارد و لزوم یک مطالعه جامع و کامل در این زمینه امری حیاتی است. در این تحقیق، با استفاده از گزارش‌های روزانه عملیات حفاری انحرافی^۱ حلقه چاه، به مقایسه حفاری فروتعدالی (UBD)^۱ و فراتعدالی (OBD)^۲ در چاه‌های موجود در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران پرداخته شد. در این میان، ۳ چاه به صورت فراتعدالی و ۴ حلقه چاه دیگر به صورت فروتعدالی حفاری شده‌اند. داده‌های موردنیاز، استخراج شده و مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز آماری قرار گرفت. باتوجه به مطالعات انجام شده مشاهده شد که متوسط سرعت حفاری در چاه‌های حفر شده به روش UBD، ۲/۱۲۵ برابر متوسط سرعت حفاری OBD بوده است و از آنجایی که سرعت حفاری (ROP)^۳ با هزینه نسبت عکس دارد، هزینه‌های حفاری UBD در بهترین شرایط، باتوجه به تسریع عملیات و کاهش زمان حفاری تا ۴۷٪ میزان آن در OBD کاهش می‌یابد. همچنین، عملیات حفاری فروتعدالی در اکثر چاه‌های میدان مورد مطالعه با تولید سیال مخزن همراه بوده است که این تولید زود هنگام، قادر به پوشش بخشی از هزینه‌های حفاری در میدان مورد نظر است. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از عملیات حفاری فروتعدالی به‌ویژه در حفاری چاه‌های انحرافی بسیار ضروری و اقتصادی به نظر می‌رسد.

اطلاعات مقاله

* دریافت:

۱۳۹۳/۷/۵

* ارسال برای داوری:

۱۳۹۳/۷/۲۳

* پذیرش:

۱۳۹۴/۴/۲۸

واژگان کلیدی

مگنتو تلوریک
چولگی
بیضی وارگی
چولگی حساس به فاز
شاخص‌های ابعادی
تعیین بعد والدیم

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mohammadisab@ripi.ir)

عمل صورت می‌گیرد. در حفاری فروتعدالی، فشار ته‌چاهی باید در بین دو حد بالا و پایین قرار گیرد که حد بالا، فشار سازند می‌باشد و حد پایین، حداقل فشاری است که تأمین‌کننده‌ی پایداری دیواره چاه است [۳-۵]. وجود گیرهای اختلاف فشاری متعدد حین حفاری فرتعادلی، صرف هزینه‌های اضافی جهت آزادسازی لوله‌ها و در صورت ناموفق بودن، باز نمودن اتفاقی^۵ آن‌ها را به دنبال دارد که بعضاً با بریدن لوله‌ها و به دنبال آن، عملیات زمان‌بر مانده‌یایی همراه بوده و حتی در صورت ناموفق بودن آن نیز، تزریق سیمان و پلاگ نمودن چاه و مجدداً ایجاد حفاره‌ی جدید با دور زدن مانده^۶ را در پی خواهد داشت. این مشکلات و موارد دیگر در حفاری فرتعادلی بسیار رایج بوده و در صورتی که حفاری چاه به صورت انحرافی باشد، این مشکلات تشدید شده و نمایان‌تر می‌شوند؛ زیرا چاه زاویه داشته و دارای حفره باز^۸ طولانی‌تری (نسبت به چاه‌های قائم) می‌باشد و مسلماً رشته حفاری در تماس بیشتری با دیواره چاه خواهد بود [۱، ۶]. در حفاری فروتعدالی، هرزروی سیالات حفاری و نفوذ صافاب^۹ گل به سازندها وجود ندارد؛ لذا آسیب‌های وارده به سازندهای بهره‌ده کاهش یافته و به تبع آن، میزان تولید افزایش یافته و هزینه‌های تحریک چاه^{۱۰} حذف می‌شوند. از سایر مزایای حفاری فروتعدالی می‌توان به افزایش سرعت حفاری، کاهش گیر اختلاف فشاری لوله‌های حفاری^{۱۱}، طولانی‌تر شدن عمر مته، بهبود ارزیابی سازند، کاهش صدمات وارده به سازند، تولید سریع‌تر هیدروکربور، ایجاد سطح مؤثر بیش‌تر در چاه، عدم نیاز و یا نیاز کمتر به اسیدکاری چاه و مزیت‌های زیست‌محیطی آن اشاره کرد [۷، ۸]. در کنار مزایای یاد شده، حفاری فروتعدالی دارای معایب و محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که می‌تواند به دلایل اقتصادی و یا اجرایی باشد. این محدودیت‌ها به‌طور خلاصه عبارتند از: مشکلات پایداری دیواره چاه، مشکلات نفوذ سیال به درون چاه، مشکلات حفاری انحرافی، مسائل ایمنی حین حفاری، ملاحظات اقتصادی، جذب سیال حفاری در جهت عکس، خرد و سرامیکی شدن دیواره چاه [۶].

از طرفی، این روش، هزینه‌بر بوده و شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار سیالات حفاری تراکم‌پذیر مورد استفاده در این روش پیچیده است. همچنین، احتمال تبدیل وضعیت فشار در چاه از حالت فروتعدالی به فرتعادلی زیاد بوده و چون اندود گل^{۱۲} بر دیواره چاه تشکیل نشده، نفوذ سیال حفاری به سازند بدون محافظ، آسیب‌های شدید به بهره‌دهی چاه وارد می‌کند. به‌علاوه، حفاری

حفاری فروتعدالی یک فناوری پیشرفته است که امکان تولید و پمپاژ سیال حفاری دو فازی (مایع و گاز) را جهت ایجاد فشار هیدروستاتیکی کمتر از فشار منفذی سازند، فراهم می‌کند. حفاری فروتعدالی به روشی از حفاری گفته می‌شود که در آن، فشار گردش سیال حفاری درون فضای حلقوی از فشار سازند کمتر باشد. فشار گردش سیال حفاری درون فضای حلقوی برابر است با مجموع فشار هیدروستاتیک ناشی از ستون سیال، فشار پمپاژ سیال حفاری در سطح و افت فشار ناشی از اصطکاک [۱، ۲]. به عبارتی دیگر:

$$P_{res} > P_{hs} + P_{pump} + P_{fric} \quad (1)$$

که در این رابطه:

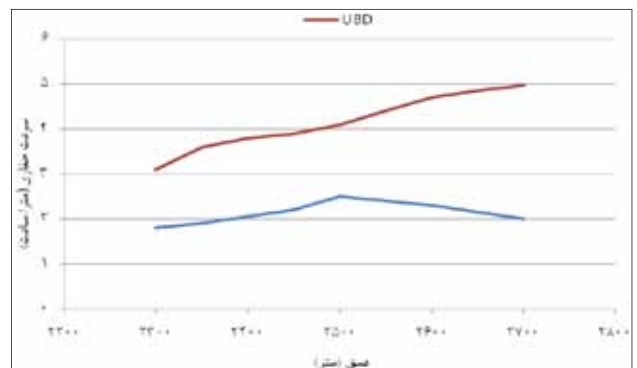
P_{res} : فشار مخزن (فشار سازند)

P_{hs} : فشار هیدروستاتیک

P_{pump} : فشار پمپاژ سیال حفاری

P_{fric} : افت فشار ناشی از اصطکاک

هیدروستاتیکی در این روش ممکن است به دور روش طبیعی یا انگیزشی از فشار سازند کمتر باشد. در روش طبیعی، گل استفاده شده با وزن طبیعی خود این شرایط را ایجاد می‌کند اما در روش انگیزشی، با تزریق نیترژن، گاز طبیعی یا هوا به سیال حفاری این



شکل ۱ | تغییرات سرعت حفاری (ROP) نسبت به عمق در حفاری UBD و OBD

شماره چاه	اندازه حفره چاه (اینچ)	عمق نهایی (متر)	نقطه آغاز انحراف (متر)	زاویه (درجه)	جهت (مغناطیسی درجه)	عمق عمودی (متر)
۱	۸ ۳/۸"	۳۵۶۵	۲۷۷۵	۴۵°	۲۴۹°	۳۲۹۵
۲	۵ ۷/۸"	۲۶۶۶	۲۳۰۸	۷۰°	۵۲.۵°	۲۴۸۰
۳	۶ ۱/۸"	۲۸۴۷	۲۳۶۴	۴۵°	۱۳۲.۷°	۲۴۴۰



محل حفر چاه و هدف زیرزمینی در امتداد قائم باشد، به عبارت دیگر اگر تنها یک فاصله عمودی بین این دو وجود داشته باشد، چاه، عمود یا مستقیم و عملیات ایجاد چنین چاهی، حفاری مستقیم نامیده می شود و اگر هدف زیرزمینی نسبت به محل چاه در امتداد قائم نباشد، یعنی علاوه بر فاصله قائم یک فاصله افقی نیز بین آن‌ها واقع باشد، چاه، جهت دار و عملیات ایجاد آن، حفاری جهت دار یا انحرافی نامیده می شود [۱۰]. امروزه حفاری انحرافی کاربردهای فراوانی پیدا نموده است؛ از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

هدایت حفره مستقیم، مکان غیر قابل دسترس، حفاری گسل، حفاری گنبد نمکی، چاه امدادی یا آتشفشان، حفر چند چاه از سکوی نفتی یا جزایر مصنوعی، حفر چندین چاه اکتشافی از یک حفره چاه، کج کردن چاه، عبور دادن چاه از چند لایه بهره ده متوالی، حفاری حفره زه کشی، حفاری افقی [۱۱].

چاه‌های افقی نسبت به چاه‌های عمودی بیش تر در معرض صدمه تشخیص داده شده‌اند. دلایلی وجود دارد که آسیب پذیری دیواره چاه‌های افقی مهم تر از چاه‌های عمودی است؛ این دلایل عبارتند از: ۱- در مدت زمان طولانی تری که حفاری افقی صورت می گیرد، صدمات ناشی از تهاجم صافاب گل حفاری و مواد جامد موجود در آن بیش تر می شود.

فرو تعادلی مکانیزم‌های آسیب سازند خاص خود را دارد؛ مانند آسیب وارده به سطح سازند بهره ده به علت عدم توانایی سیال حفاری فرو تعادلی در خنک کردن آن [۹]. با در نظر گرفتن مزایا و معایب حفاری فرو تعادلی می توان گفت این روش این گونه نیست که برای حفاری هر نوع سازندی مناسب باشد. مخازن با تراوایی کم سنگ مخزن و دارای شکستگی های باز که به شدت آسیب پذیر هستند، مخازن با شکستگی های بسیار زیاد که به علت هرزروی های شدید امکان حفاری آن‌ها وجود ندارد، مخازن تخلیه شده که امکان بالقوه هرزروی های شدید دارند و سازندهای سخت و عمیق که از سرعت حفاری کم و استهلاک مته زیاد برخوردارند، می توانند کاندیداهای مناسبی برای حفاری به این روش باشند. از آنجایی که با گذشت زمان مخازن هیدروکربنی تخلیه می شوند و مخازن با کیفیت کمتر در دستور کار حفاری قرار می گیرند، انتظار می رود مطلوبیت فنی و اقتصادی حفاری با فناوری فرو تعادلی روز به روز بیش تر شود [۷].

۱- لزوم استفاده از حفاری فرو تعادلی در عملیات حفاری جهت دار

حفاری جهت دار در علم حفاری، یک حفره در امتداد یک مسیر از پیش طرح ریزی شده برای رسیدن به یک هدف معین است. اگر

جدول ۲ | مشکلات عملیاتی مربوط به حفاری فرو تعادلی انحرافی چاه‌های ۱، ۲ و ۳

شماره چاه	نوع عملیات	گیر لوله اختلاف فشاری		مانده یابی			دور زدن مانده		پمپاژ مگنست یا سیمان کاری چاه				اسیدکاری (گالن)	هرزروی کامل (متر)	آزادسازی لوله‌ها (متر)
		عمق (متر)	نتیج	اندازه مانده (متر)	عمق مانده (متر)	نتیجه عملیات	عمق (متر)	عمق نقشه انحراف (متر)	حجم مگنست تزریقی (بشکه)	حجم سیمان تزریقی (بشکه)	عمق	حجم			
۱	-	-	-	-	-	-	-	-	عمق	حجم	عمق	حجم	-	-	-
									۳۵۶۴	۸۵	۲۹۹۸	۵۰			
۲	-	باقی گذاشتن مانده ۲۱۰۲	۱/۳۹	۲۱۰۰	گرفتن مانده با موفقیت	-	-	-	عمق	حجم	عمق	حجم	-	-	-
									۲۲۴۳	۱۱۰	۲۶۵۷	۳۵			
									۲۳۱۸	۱۰۰	۲۶۵۷	۳۵			
									۲۴۰۹	۱۱۰	۲۶۵۷	۲۵			
									۲۵۲۰	۶۰	۲۳۶۵	۲۰			
۲۶۶۵	۲۵	۲۶۸۰	۳۵												
۴	-	آزاد شدن لوله‌ها باقی گذاشتن مانده ۲۰۹۵	۳۵۷/۵	۲۲۰۵/۵	چرخاندن و اتصال لوله چرخاندن و اتصال لوله چرخاندن و اتصال لوله نا موفق	۲۳۵۵	۲۳۶۴	-	عمق	حجم	عمق	حجم	۵۰۰ گالن در عمق ۲۵۶۴ متری	۲۵۶۴	۲۵۶۴
									۲۴۷۹	۹۵	۲۴۷۹	۱۲۰			
									۲۴۸۸	۱۰۰	۲۵۶۳	۳۵			
									-	-	۲۶۷۲	۸۶			
		آزاد شدن لوله‌ها ۲۵۶۴	۷۸۳	۱۷۸۰											
		آزاد شدن لوله‌ها ۲۵۵۸	۴۰	۲۵۲۳											
		آزاد شدن لوله‌ها ۲۶۷۲/۵	۱۰۶/۸	۲۴۱۶/۲											

۲- در شرایطی که تراوایی عمودی و افقی متفاوت باشند، سازند ترجیحاً در جهت مسیرهایی که بیشترین تراوایی را دارد، صدمه می‌بیند. در سازندهای دارای شکستگی‌های عمودی با تراوایی بالا، اثر صدمات وارده به سازند در جهت عمودی نسبتاً کم اهمیت است، اگرچه در سازندهای کلاستیک و کربناته که در آنها نسبت تراوایی عمودی به تراوایی افقی متفاوت است، صدمات وارده به سازند در جهاتی که تراوایی بیشترین مقدار خود را دارد، توسعه یافته و تولید طبیعی چاه افقی را به مخاطره می‌اندازد. حتی مقدار متوسط صدمات وارد شده به دیواره‌ی نزدیک چاه ممکن است در مواقعی که اختلاف زیادی بین تراوایی افقی و عمودی وجود دارد، از اهمیت بیشتری برخوردار باشد. این مشکل را اثرات آنیزوتروپی جریان می‌نامند.

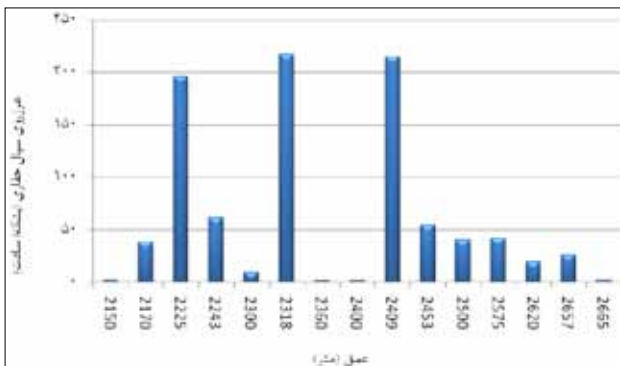
۳- عملیات Draw-Down به‌طور بخشی، تنها در قسمت‌های نسبتاً کوچکی از دیواره چاه‌های افقی به‌منظور پاک‌سازی مؤثر می‌باشد. ۴- به‌واسطه در معرض قرار گرفتن محدوده وسیع‌تری از سازند با سیال حفاری در چاه‌های افقی، بخش بزرگی از عملیات تحریک

۲- بررسی و مقایسه مشکلات عملیاتی حفاری فراتعدالی و فروتعدالی در حفاری جهت‌دار

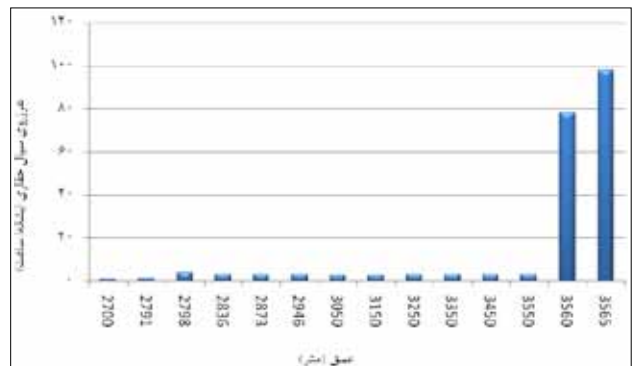
بدین منظور عملیات حفاری جهت‌دار ۷ حلقه چاه نفت واقع در میدان موردنظر، مطالعه و بررسی شد که از این بین، ۳ حلقه چاه به‌شکل فراتعدالی و ۴ حلقه چاه به‌شکل فروتعدالی حفاری شده‌اند [۱۲، ۱۳].

۲-۱- چاه‌های انحرافی حفاری شده به‌روش فراتعدالی

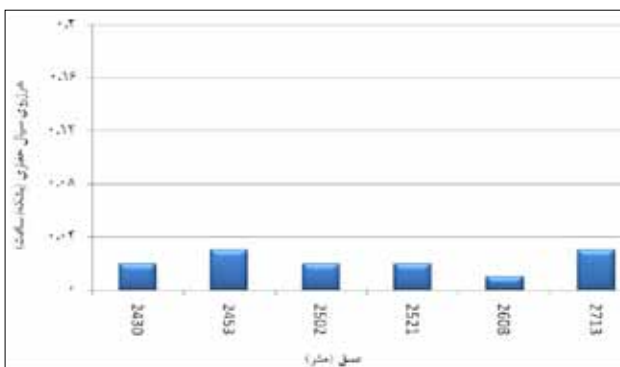
چاه‌های ۱-، ۲ و ۳ به‌صورت انحرافی و به‌روش فراتعدالی حفاری شده‌اند که جزئیات مربوط به عملیات حفاری جهت‌دار این چاه‌ها در



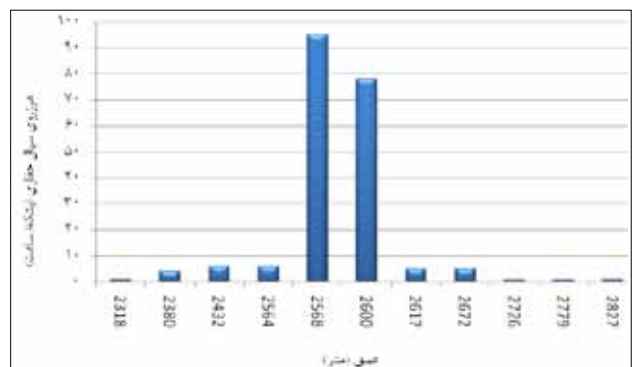
شکل ۳ | میزان هرزروی سیال حفاری در چاه-۲



شکل ۲ | میزان هرزروی سیال حفاری در چاه-۱



شکل ۵ | میزان هرزروی سیال حفاری در چاه-۶



شکل ۴ | میزان هرزروی سیال حفاری در چاه-۳



جدول-۱ آورده شده است.

همچنین، با استفاده از جداول مربوط به داده‌های گزارش روزانه چاه‌های انحرافی-۴، ۵، ۶ و ۷ که به شکل فروتعدالی حفاری شده‌اند، مقدار متوسط ROP را می‌توان به آسانی و طبق رابطه-۳ محاسبه نمود:

$$R.O.P_{(UBD)} = \frac{4.875 + 3.8 + 3.907 + 4.67}{4} = 4.313 \left(\frac{m}{hr}\right) \quad (3)$$

$$\frac{R.O.P_{(UBD)}}{R.O.P_{(OBD)}} = \frac{4.313}{2.03} = 2.125 \quad (4)$$

همان‌طور که در رابطه-۴ دیده می‌شود، متوسط ROP در عملیات حفاری فروتعدالی ۲/۱۲۵ برابر مقدار آن در حفاری فراتعدالی بوده است.

۴- هرزروی سیال حفاری در چاه‌های حفاری شده به روش OBD و UBD

همان‌گونه که در جداول مربوط به گزارش‌های روزانه عملیات حفاری مشاهده گردید، حین عملیات حفاری فراتعدالی در چاه‌های-۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲۴۷۱ (شکل-۲)، ۱۷۴۳۶ (شکل-۳)، ۷۱۳۱ (شکل-۴)، بشکه هرزروی گل امولسیون صورت گرفته است. این میزان هرزروی تنها حین حفاری مخزن آسماری رخ داده است.

علاوه بر آن، در مواردی، هرزروی کامل صورت گرفته که با توجه به کاهش سریع حجم سیال حفاری در چاه و در مخازن گل، مجبور به پمپاژ آب در چاه (بدون برگشتی) از طریق دالیز شده‌اند که این روش نیز خود باعث صدمات جبران‌ناپذیر به مخزن و کاهش ضریب بازیافت آن می‌گردد. همان‌گونه که در شکل-۵ مشاهده می‌شود، هرزروی سیال حفاری حین عملیات حفاری فروتعدالی ناچیز بوده است (به عنوان مثال در چاه-۶).

با توجه به شرایط عملیات حفاری فروتعدالی، همان‌گونه که در چاه‌های-۴، ۵، ۶ و ۷ مشاهده شد، مشکلات ناشی از هرزروی سیال حفاری به حداقل رسیده است، به گونه‌ای که حین حفاری فروتعدالی، چاه‌های مورد اشاره نه تنها کاهش حجم سیال حفاری ناشی از هرزروی نداشته‌اند، بلکه افزایش حجم سیال حفاری (ناشی از تولید نفت و گاز) صورت گرفته و در مواردی نیز مازاد نفت تولیدی، به واحدهای بهره‌برداری انتقال یافته است.

۲-۱-۲- آنالیز مشکلات عملیاتی چاه‌های انحرافی حفاری شده به روش فراتعدالی

همان‌طور که در جدول-۲ مشاهده می‌شود، عملیات حفاری انحرافی این چاه‌ها به روش OBD با مشکلات عملیاتی و مسائل متعددی همراه بوده که طولانی‌تر شدن مدت زمان حفاری و بالا رفتن هزینه‌های اضافی را به دنبال داشته است.

۲-۲- چاه‌های انحرافی حفاری شده به روش فروتعدالی

چاه‌های-۴، ۵، ۶ و ۷ به صورت انحرافی و به روش UBD حفاری شده‌اند که جزئیات مربوط به عملیات حفاری جهت‌دار این چاه‌ها در جدول-۳ آورده شده است.

۲-۲-۱- آنالیز مشکلات عملیاتی چاه‌های انحرافی حفاری شده به روش UBD

همان‌گونه که در جدول-۴ مشاهده می‌شود، عملیات حفاری انحرافی چاه‌های مذکور به روش UBD با حداقل مشکلات عملیاتی مواجه بوده است.

۳- بررسی سرعت حفاری

افزایش مدت زمان عملیات حفاری با افزایش هزینه‌ها رابطه مستقیم دارد. از آنجایی که افزایش سرعت حفاری و یا همان ROP باعث کاهش مدت زمان عملیات حفاری می‌شود، می‌توان گفت که ROP به‌طور معکوس با هزینه دکل حفاری متناسب است. حین عملیات حفاری فروتعدالی با دو فاز نمودن و سبک‌تر کردن سیال حفاری (کاهش وزن سیال حفاری و کاهش چگالی معادل گردشی گل ۱۳)، ROP افزایش می‌یابد. همچنین، در صورت تولید سیال مخزن و با افزایش تولید نفت و گاز، ROP نیز افزایش خواهد یافت. لازم به ذکر است که افزایش ROP بسته به شرایط عملیاتی، تا مقدار محدودی ممکن است، با این وجود حین عملیات حفاری فروتعدالی، مقدار ROP می‌تواند ۲ تا ۱۰ برابر افزایش پیدا کند.

با توجه به جداول مربوط به داده‌های گزارش روزانه، متوسط ROP در حفاری فراتعدالی چاه‌های انحرافی-۱، ۲ و ۳ را می‌توان با استفاده از رابطه-۲ محاسبه کرد:

$$R.O.P_{(OBD)} = \frac{1.9 + 2 + 2.2}{3} = 2.03 \left(\frac{m}{hr}\right) \quad (2)$$

نتیجه گیری

با توجه به مطالعه صورت گرفته، نتایج حاصل از این تحقیق شامل موارد زیر می باشد:

۱- در سازندهای با ضریب تخلیه شدگی بالا (میدان مطالعه شده) فشار منفذی پایین بوده و در صورتی که به روش OBD حفاری شوند، علاوه بر صدمات جبران ناپذیر به مخزن (ناشی از هجوم سیال حفاری به سازند)، حین عملیات حفاری (بالاخص حفاری جهت دار) نیز با مشکلات عملیاتی متعدد و پُر هزینه ای مواجه خواهیم بود؛ در این حالت، امکان بی نتیجه ماندن عملیات حفاری نیز وجود دارد.

۲- باتوجه به مطالعات انجام شده بر روی گزارش های روزانه چاه های مورد بررسی، مشاهده شد که متوسط سرعت حفاری در چاه های حفر شده به روش UBD، ۲/۱۲۵ برابر متوسط سرعت حفاری OBD بوده است و از آنجایی که سرعت حفاری با هزینه نسبت عکس دارد، هزینه های حفاری

UBD در بهترین شرایط، باتوجه به تسریع عملیات و کاهش زمان حفاری تا ۰/۴۷ میزان آن در OBD کاهش می یابد.

۳- عملیات حفاری فرو تعادلی در اکثر چاه های میدان مورد مطالعه با تولید سیال مخزن همراه بوده است؛ به عنوان نمونه در چاه های بررسی شده (۴، ۵، ۶ و ۷)، حین عملیات UBD در مجموع ۴۶۱۵۵ بشکه نفت خام تولیدی به واحد بهره برداری انتقال داده شده است. در آمد به دست آمده از این تولید زود هنگام، قادر است بخشی از هزینه های حفاری را جبران نماید.

بدین ترتیب با بررسی های انجام شده در میدان فوق، می توان گفت که استفاده از عملیات حفاری فرو تعادلی به ویژه در حفاری چاه های انحرافی بسیار ضروری و اقتصادی است و با توجه به تعدد چاه های مورد مطالعه (۱۰ درصد کل چاه های موجود در میدان مورد نظر) و با توجه به پراکندگی چاه های مورد بررسی، می توان نتایج به دست آمده از مطالعه این ۷ حلقه چاه را تعمیم داده و با تقریب نسبتاً خوبی در مورد دیگر چاه های این میدان به کار گرفت. ■

شماره چاه	گاز تولیدی (میلیون متر مکعب در روز)	نفت تولید (بشکه)	پیمایش عملیات	تزریق مگنست یا سیمان	مگنست ماندنی	گیر لوله اختلاط حفاری
۴	۶	۲۱۴۷	۲	-	-	-
۵	۲۸/۵	۴۰۵۱۹	۷	-	-	-
۶	۲۴	۳۱۰۹	۷	-	-	-
۷	۷/۵	۳۸۰	۲	-	-	-

شماره چاه	اندازه حفره چاه (اینچ)	عمق نهایی (متر)	نقطه آغاز انحراف (متر)	زاویه (درجه)	جهت مغناطیسی (درجه)	عمق عمودی (متر)
۴	۸ ۱/۲"	۳۲۳۲	۱۹۵۲	۳۵°	۵۰°	۳۰۳۱
۵	۸ ۱/۲"	۲۹۳۶	۲۵۶۰	۵۵°	۱۴۰°	۲۷۷۶
۶	۸ ۱/۲"	۲۷۱۳	۲۴۳۰	۶۰°	۱۲۵°	۲۵۰۶
۷	۸ ۱/۲"	۲۵۴۰	۲۳۱۸	۷۰°	۹۸°	۲۳۵۳

پانویس ها

1. Under Balanced Drilling
2. Over Balanced Drilling
3. Rate of Penetration
4. Directional Drilling
5. Back off
6. Fishing
7. Side Tracking
8. Open Hole
9. Fluid Loss
10. Well Stimulation
11. Differential Pressure Sticking
12. Mud Cake
13. Equivalent Circulating Density (E.C.D)

منابع

- [1] Bennion, D.B., Thomas, F.B., Jamaluddin, A.K.M., Ma, T., Using Underbalanced Drilling to Reduce Invasive Formation Damage and Improve well Productivity -An Updat. Hycal Energy Research Laboratories Ltd., 1999, pp. 110-.
- [2] Moore, D.D., Bencheikh, A., Chopty, J.R., Drilling Underbalanced in Hassi Messaoud, SPE-91519, SPE/IADC Underbalanced Technology Conference and Exhibition, 1112- October, Houston, Texas, 2004.
- [3] Salehi, S., Hareland, G., Nygaard, R., Numerical Simulations of Wellbore Stability in Underbalanced-Drilling Wells, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2010, vol. 72, No. (34-), pp. 229235-.
- [4] McLellan, P., Hawkes, C., Borehole Stability Analysis For Underbalanced Drilling, PETSOC-9907-, Annual Technical Meeting, June 14 - 18, Calgary, Alberta, 1999.
- [5] Kaffasha, A., Zare-Reisabadi, M.R., Borehole Stability Evaluation in Overbalanced and Underbalanced Drilling: Based on 3d Failure Criteria, 2013, vol. 16, No. 2, pp. 175182-.
- [6] Guo, B., Bar, Sh., Ghalambor, A., Gas Volume Requirements for Underbalanced Drilling: Deviated Holes, Pennwell Books; 1st edition, November, 2002.
- [7] Underbalanced Drilling and Completion Manual, Maurer Engineering, Oct., 1995.
- [8] Bennion, D.B., Emerging Technologies. The American Oil & Gas Reporter, 1999, pp. 5184-.
- [9] تحقیق در خصوص بهینه ترین روش حفاری فرو تعادلی در سازند آسماری در میدان های گجساران، مارون و لب سفید، سید محمد جواد مجتهدی، پروژه تحقیقاتی، پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴.
- [10] Anadrill, Directional Drilling Training Manua", By Schlumberger, 1996.
- [11] Deverteuil, R. and Mccourt, I., Introduction to Directional Drilling, 2001.
- [۱۲] گزارش های روزانه مربوط به عملیات حفاری و همچنین سیالات حفاری چاه های مربوطه در میدان پارس، اداره کل حفاری شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب.
- [۱۳] گزارش های روزانه عملیات حفاری جهت دار و عملیات حفاری فرو تعادلی، اداره حفاری جهت دار، اداری حفاری زیر فشار تعادل مخزن، شرکت ملی حفاری ایران.