



تعیین زمان مناسب تعویض مته فرسوده با استفاده از داده‌های عملیاتی با هدف کاهش زمان حفاری

حمید محمودان^۱ شرکت نفت و گاز پارس

چکیده

عملیات حفاری یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های بالادستی در پروژه‌های مختلف نفت و گاز به ویژه در میدان‌های دریایی می‌باشد، از این رو یکی از اهداف اصلی در مهندسی حفاری، بهینه‌سازی عملیات و ابزارها برای کاهش زمان حفاری و در نتیجه کاهش هزینه‌ها می‌باشد. یک روش برای کاهش مدت زمان عملیات حفاری، بهینه‌سازی زمان تعویض مته فرسوده است که معمولاً توسط مهندسان مستقر در دفاتر پشتیبانی عملیات حفاری و یا روی دکل حفاری باید انجام شود. در این مقاله به توضیح روش محاسبات مهندسی و مزیت آن بر روش‌های تجربی پرداخته شده و یک نمونه واقعی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این نمونه واقعی به خوبی نشان می‌دهد که با بهینه‌سازی زمان تعویض مته در هر بار تعویض آن، می‌توان چندین ساعت و در کل عملیات حفاری یک چاه یا مجموعه‌ای از چاه‌ها تا چندین روز در عملیات حفاری صرفه جویی نمود.

واژه‌های کلیدی: عملیات حفاری، مته حفاری، سرعت حفاری، عملکرد مته، بهینه‌سازی زمان تعویض مته

مقدمه

مته حفاری از سوی ناظران و یا مدیران عملیات به صورت تجربی و با توجه به نرخ حفاری تعیین می‌گردد. در حالی که استفاده از محاسبات مهندسی با تکیه بر فاکتور اقتصادی دارای دقت بیشتری بوده و می‌تواند باعث کاهش زمان حفاری در طول یک پروژه حفاری و کاهش قابل توجه هزینه‌ها گردد.

۱- بازده مته حفاری

بازده یک مته می‌تواند بر اساس فاکتورهای زیر بررسی شود: (۱) میزان حفاری توسط مته بر حسب فوت، (۲) نرخ نفوذ مته^۲، (۳) هزینه حفاری هر فوت از حفره توسط مته^۳.

از آنجا که هدف از انتخاب یک مته به دست آوردن کمترین هزینه برای حفاری هر فوت از چاه است، بنابراین بهترین روش برای سنجش عملکرد یک مته روش سوم است. البته باید توجه داشت که در این روش باید عوامل اصلی و مؤثر بر سرعت حفاری مانند جنس سازند، تعداد دور چرخش مته، وزن روی مته، حجم و فشار گل تزریقی نسبتاً ثابت بوده و یا تغییرات عمده‌ای نداشته باشند. در این روش هزینه حفاری هر فوت از چاه

با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{C_b + (R_t + T_t) C_r}{F} \quad (1)$$

¹ Hamid.mahmoudan@gmail.com

² Bottom Hole Assembly (BHA)

³ RPM

⁴ WOB

⁵ Round Trip

⁶ ROP (Rate Of Penetration)

کاهش زمان حفاری چاه‌ها همواره یکی از دغدغه‌های شرکت‌های حفاری و کارشناسان شاغل در این صنعت می‌باشد. هر روز کاهش زمان حفاری معادل ده‌ها هزار دلار صرفه جویی در هزینه‌های دکل حفاری و سرویس‌های مربوطه و همچنین تولید سریع‌تر از منابع هیدروکربنی و در نتیجه ایجاد درآمدزودتر برای کشور می‌گردد. این مسأله خصوصاً در مورد میدانی مشترک دارای اهمیت ویژه‌ای است.

دو روش عمده برای کاهش زمان حفاری یک چاه وجود دارند که روش اول از افزایش سرعت حفاری با کار بر روی عواملی مانند طراحی بخش انتهایی رشته حفاری^۴، انتخاب مته مناسب، سرعت مناسب چرخش مته^۵، وزن مناسب بر روی مته^۶، هیدرولیک مناسب گل حفاری حاصل می‌شود. روش دیگر کاهش زمان‌های غیر فعال (هر فعالیتی به جز حفاری) مانند تعمیرات دکل، نمودارگیری، بالا آوردن لوله‌ها و راندن آن‌ها به داخل چاه^۵ برای مواردی مانند تعویض مته، راندن لوله‌های جداری، سیمانکاری و ... است [۱].

در این میان تعویض مته فرسوده می‌تواند بر هر دو عامل تأثیر گذار باشد. یعنی هم با افزایش سرعت حفاری و جلوگیری از افت آن و هم با بهینه‌سازی تعداد بالا آوردن و راندن لوله‌ها به درون چاه برای تعویض مته فرسوده، زمان‌های غیر فعال در مجموع حفاری یک چاه به حداقل برسد [۲].

تجربیات نگارنده نشان می‌دهد که عموماً در کشور ما زمان تعویض

جدول ۱ | بخشی از گزارش روزانه حفاری

از ساعت From	تا ساعت To	مدت زمان Hrs	کد فعالیت Code	شرح فعالیت Description of Operations
۷:۳۰	۹:۳۰	۰/۲	۶	RIH to 30 m, L/D 1 X 5" HWDP, PU & MU 1 X 8-1/4" DC, RIH BHA to 340 m.
۹:۳۰	۱۲:۰۰	۲/۵	۶	RIH with 12 1/4" directional BHA on 5" DP from 340m to 1680 m, test motor and MWD with 700 gpm and 2380psi, OK.
۱۲:۰۰	۱۵:۳۰	۳/۵	۶	RIH with 12 1/4" directional BHA on 5" DP from 1680 to bottom at 2948m, washed down last stand.
۱۵:۳۰	۱۶:۰۰	۰/۵	۶	Pump 50 bbls HV. Pill and circulate hole to clean bottom for 15min.
۱۶:۰۰	۲۱:۳۰	۵/۵	۵	Drill 12 1/4" hole section in rotary mode from 2948 to 2964 m With 14-15 Ton, 700 gpm, 3750 psi, 80 S.RPM, 180 B.RPM, 15-19 kft-lb.
۲۱:۳۰	۲۲:۰۰	۰/۵	۲	B.Ream & Ream Last drilled Stand, w/70 RPM, 700 GPM, 3600 psi, 12-18 K Ft-lb, Take MWD Survey, Take SCR, M/U Stand.
۲۲:۰۰	۲۳:۰۰	۱/۰	۳	Drill 12 1/4" hole section in rotary mode from 2964 to 2975 m with, 10-15 Ton, 700 gpm, 3750-3800 psi, 70-80, 11-16 kft-lb, Av. ROP = 5-6 mph, Press Shoot Up Several times to 4100 psi, PU String Off BTM, Ream Down to BTM.
۲۳:۰۰	۲۴:۰۰	۱/۰	۲	Drill 12 1/4" hole section in rotary mode f/2975 to 2977 m with 10-13 Ton, 70-80 RPM, 700 gpm, 3600-3750 psi, 70-80, 10-16 k ft-lb, ROP = ~3, mph 2 BPH Loss.



نمایی از ۲ مته از نوع PDC (سمت چپ) فرسوده و (سمت راست) نو آماده راندن به چاه

که در این معادله C هزینه کلی حفاری با مته مورد نظر (دلار بر فوت)، T_1 قیمت مته حفاری (دلار)، R_1 زمان گردش مته در ته چاه (ساعت)، T_1 زمان لازم برای بالا آوردن لوله‌ها و سپس بازگشتن به ته چاه پس از تعویض مته (ساعت)، C_1 هزینه استفاده از دکل حفاری (دلار در ساعت) و F متر از کل حفاری انجام شده توسط مته (فوت) می‌باشند.

دو کاربرد اصلی معادله ۱ به شرح ذیل است: (۱) آنالیز عملیات حفاری پس از اتمام آن برای مقایسه عملکرد یک مته با مته دیگر در یک چاه میسر است، (۲) آنالیز همزمان با عملیات حفاری برای تعیین زمان مناسب تعویض مته نیز قابل انجام است. یک مته به صورت نظری زمانی باید تعویض گردد که هزینه حفاری هر فوت از چاه توسط آن حداقل باشد. در عمل باید هزینه حفاری مته با زمان، همواره کاهش یابد و هنگامی که این هزینه شروع به افزایش نمود باید مته را تعویض کرد.

۲- بررسی یک نمونه واقعی

در این بخش وضعیت تعویض یک مته در حفاره ۱/۴-۱۲ اینچ در یکی از چاه‌های دریایی کشور براساس گزارش‌های روزانه حفاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. مته مورد استفاده در این چاه از نوع PDC بوده و پارامترهای حفاری برای این مته در طول عملیات تقریباً ثابت و به شرح ذیل بوده است: RPM: ۷۰-۸۰

WOB: ۱۰-۱۵ Ton

Mud volume: ۷۰۰ gpm

Standpipe Pressure: ۳۷۰۰ psi

از لحاظ زمین شناسی نیز سازند در حال حفاری تغییرات عمده‌ای را نشان نمی‌دهد. بنابراین می‌توان از معادله ۱ برای ارزیابی عملکرد مته و تعیین زمان تعویض آن استفاده کرد. در جدول ۱ بخشی از گزارش روزانه عملیات حفاری به عنوان نمونه ارائه شده است. مطابق اطلاعات مندرج در این جدول بخشی از ساعات کار دکل به مواردی مانند تراشیدن دیواره چاه^۷ اختصاص داشته که باید از زمان‌های حفاری و محاسبات مته خارج گردد. در جدول شماره ۱ خلاصه‌ای از زمان‌های حفاری انجام شده توسط مته، سرعت حفاری گزارش شده و متر از حفاری شده در آن بازه زمانی آورده شده است.

در ستون اول جدول ۲ روزهای استفاده از مته و در ستون شماره ۲ ساعات حفاری در هر روز مشخص شده است. در ستون سه و چهار نیز به ترتیب نرخ نفوذ مته و متر از حفاری شده ارائه شده که در ستون مربوط به نرخ نفوذ مته، با توجه به تغییرات آن در طول زمان حفاری در برخی موارد به صورت بازه‌ای گزارش شده است. همانطور که در جدول ادیده می‌شود در طول یک روز فعالیت‌هایی مانند تراشیدن دیواره چاه یا تعمیرات و ... نیز صورت می‌گیرد. بنابراین زمان‌های حفاری به صورتی که در جدول مشاهده می‌شود از گزارش‌ها استخراج شده‌اند.

قضاوت در مورد فرسودگی و نیاز به تعویض مته تنها با تکیه بر ROP با

^۷ Reaming



۲ | وضعیت حفاری در طی پنج روز استفاده از مته مذکور

	میزان حفاری (ساعت)	ROP (متر در ساعت)	مقدار حفاری (متر)
روز اول	۷/۵	۳/۹	۲۹
روز دوم	۴/۵	۲-۲/۵	۹
	۶	۲-۵	۱۶
	۹	۲-۵	۲۸
	۳	۲-۴	۹
روز سوم	۴/۵	۴-۵	۲۰
	۶	۵	۲۹
	۸/۵	۳-۴	۲۸
	۳	۳-۶	۱۷
روز چهارم	۴/۵	۱/۵-۲/۵	۹
	۳/۵	۲-۴	۹
	۱۳	۲-۲/۵	۲۹
	۶/۵	۲	۱۳
روز پنجم	۳/۵	۱-۲	۵

توجه به جدول ۲ بسیار مشکل است، زیرا این پارامتر گاهی افزایش و گاهی کاهش داشته و حتی در یک مرحله حفاری نیز دارای تغییرات است که ناظر حفاری آن را به صورت ۲-۴، ۲-۵، ۴-۵ و ... گزارش نموده است. در روز چهارم و پنجم (۵ مرحله آخر حفاری در جدول ۲) سرعت حفاری افت محسوسی نشان می‌دهد که هر کدام می‌توانند به عنوان زمانی برای توقف حفاری و دستور به بالا آوردن لوله‌ها و تعویض مته در نظر گرفته شوند. حال با استفاده از معادله ۱، هزینه حفاری با استفاده از فرضیات تقریبی ذیل محاسبه می‌شود:

هزینه اجاره دکل: \$/hr ۴۰۰۰

قیمت مته مورد استفاده: \$ ۳۰۰۰۰

زمان لازم برای بالا آوردن لوله‌ها و سپس راندن به درون چاه: ۱۵ hr
در روز اول ۷/۵ ساعت حفاری انجام شده و در این مدت ۲۹ متر حفاری شده است. با توجه به فرمول:

$$C = (30000 + (7.5 + 15) \times 4000) / (3.28 \times 29) = 1262 \text{ $/ft}$$

در روز دوم در ۴/۵ ساعت حفاری اول:

$$C = (30000 + (7.5 + 4.5 + 15) \times 4000) / ((29 + 9) \times 3.28) = 1107 \text{ $/ft}$$

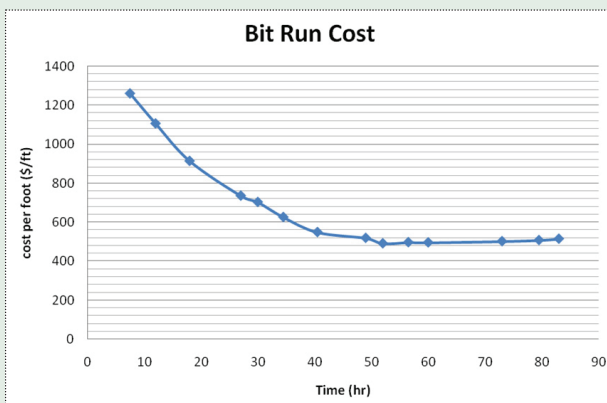
به همین ترتیب نتایج محاسبات در بازه‌های مختلف حفاری محاسبه می‌شود که نتایج آن در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است.

◆ نتیجه گیری

همانگونه که در جدول شماره ۳ و شکل ۲ مشخص است هزینه حفاری مته به تدریج کاهش می‌یابد تا به حداقل مقدار در پایان روز سوم و عدد ۴۹۱ دلار در هر فوت می‌رسد. پس از آن هزینه حفاری افزایش می‌یابد که این همان نقطه بهینه برای تعویض مته است. این در حالی است که حفاری حدود ۳۱ ساعت پس از این زمان ادامه یافته است. این مسأله همانگونه که اشاره شد به علت عدم استفاده از محاسبات مهندسی بوده است. گزارش روزهای بعدی نشان می‌دهد که پس از تعویض مته فرسوده با مته جدید

۳ | هزینه حفاری هر فوت از چاه توسط مته در هر بازه زمانی حفاری

	میزان حفاری (ساعت)	هزینه حفاری مته (ft/\$)
روز اول	۷/۵	۱۲۶۲
روز دوم	۴/۵	۱۱۰۷
	۶	۹۱۵
	۹	۷۳۶
	۳	۷۰۴
روز سوم	۴/۵	۶۲۶
	۶	۵۴۹
	۸/۵	۵۱۹
	۳	۴۹۱
روز چهارم	۴/۵	۴۹۷
	۳/۵	۴۹۶
	۱۳	۵۰۲
	۶/۵	۵۰۸
روز پنجم	۳/۵	۵۱۵



۲ | وضعیت هزینه حفاری هر فوت از چاه بر حسب زمان حفاری انجام شده توسط مته مورد نظر

سرعت حفاری به حدود ۷/۵ متر در ساعت (بیش از ۳ برابر) افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که در حدود ۲۰ ساعت از ۳۰ ساعت حفاری اضافه صورت گرفته با مته فرسوده قبلی قابل صرفه‌جویی بوده است. از آنجا که برای حفاری چاه‌های این مخزن دریایی در حدود ۷ تا ۱۰ مته مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان تا چند روز در حفاری هر چاه صرفه‌جویی کرد که به معنای کاهش قابل توجه هزینه‌های حفاری و بهره‌برداری زودتر از کل پروژه خواهد بود.

◆ مراجع

[1] Adam T. Bourgoyne Jr. Keith K. Millheim, "Applied Drilling Engineering" SPE Textbook.

[2] Heriot-Watt University Drilling Engineering Book

[۳] مهندسی مته‌های حفاری، عبدالمجید حیدری