Construction Science and Technology
Volume 5, Issue 2

Drilling optimization in Maroon and Ramin oil fields using mathematical models

Vahid Keshavarz [1*], Mehdi Nazari Sarem [2*]

[1] Amirkabir University of Technology, Petroleum Engineering Department, Tehran, Iran
[2] Department of Petroleum Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

R T I C L E I N F O

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2020 April 4

Accepted: 2021 November 9

* Correspondence Email Addres:

vhdray@gmail.com

Keywords:

Optimization,

Modeling,

Hydraulic,

Genetic algorithm,

Rate of Penetration

A B S T R A C T

The reason for drilling optimization is high drilling costs and low drilling speed of wells. The ultimate goal of the optimization process is to reduce the disturbing parameters in the drilling operation to the minimum possible and also to change the hydraulic and mechanical parameters to achieve the optimal rate of penetration. In practice, drilling processes are often performed experimentally, which is not immune to error and has led to unwanted losses. In the first part of this study, the improved Bourgoyne Young model is implemented on data related to 10 wells from Ramin oil field using genetic algorithm method. The reason for choosing this model is that it has more influential factors than other models. The required data can also be found in the daily reports. After implementing the information of the studied wells on the model, we saw a high agreement between the actual and predicted data. This means that this model is a good option for modeling drilling operations in Ramin field. In the second part, using the constructed model, genetic algorithm and hydraulic optimization equations, we present a drilling optimization model and optimize the data of a sample well. The results of this optimization and its comparison with the actual well data show that the rate of penetration has improved by an average of 100% and also the hole cleaning is in good condition. This significantly reduces drilling time and the high cost of renting onshore and offshore rigs.

Publisher: Imam Hussein University
© **Authors**
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۴۹ الی ۵۵

علمی– تخصصی

بهینه‌سازی حفاری میدان‌های نفتی مارون و رامین با استفاده از مدل‌های ریاضی

وحید کشاورز[۱]، مهدی نظری صارم[۲*]

۱– کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نفت، تهران، ایران،

۲– استادیار، گروه مهندسی نفت، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸)

چکیده

دلیل پیدایش بهینه‌سازی حفاری بالا بودن هزینه‌های حفاری و پایین بودن سرعت حفر چاه‌ها بوده است. هدف نهایی از فرایند بهینه‌سازی، کاهش پارامترهای مزاحم در عملیات حفاری تا کمترین میزان ممکن و همچنین تغییر پارامترهای هیدرولیکی و مکانیکی تا رسیدن به میزان نفوذ بهینه است. در عمل، پروسه‌های حفاری داخل کشور غالبا بصورت تجربی صورت گرفته است که مصون از خطا و اشتباه نبوده و منجربه بروز اتلاف‌های ناخواسته‌ای شده است. دربخش اول این مطالعه، الگوی بورگاین یانگ بهبود یافته روی داده‌های مربوط به ۱۰ چاه از میدان رامین با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیاده می‌شوند. دلیل انتخاب این مدل این است که نسبت به سایر مدل‌ها عوامل تاثیر گذار بیشتری را در بر می گیرد. همچنین داده‌های مورد نیاز آن در گزارش‌های روزانه یافت میگردد. پس از پیاده‌سازی اطلاعات چاه‌های مورد مطالعه روی مدل مذکور، همخوانی بالایی بین داده های واقعی و پیش‌بینی شده را شاهد بودیم. این امر بدین معنی است که این مدل گزینه‌ی مناسبی جهت انجام مدلسازی عملیات حفاری در میدان رامین می‌باشد. در بخش دوم، با استفاده از مدل ساخته‌شده، الگوریتم ژنتیک و معادلات بهینه‌سازی هیدرولیک یک مدل بهینه‌سازی حفاری ارائه میدهیم و داده‌های یک حلقه چاه را به وسیله‌ی آن بهینه‌سازی میکنیم. نتایج این بهینه سازی و مقایسه آن با داده‌های واقعی چاه نشان میدهد که نرخ نفوذ مته به‌طور متوسط بهبود ۱۰۰ درصدی داشته و همچنین تمیزسازی چاه به خوبی صورت میگیرد. که این اتفاق باعث کاهش قابل توجه زمان حفاری و هزینه‌های سنگین اجاره‌ی دکل‌های خشکی و ساحلی می‌شود.

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، مدل‌سازی، هیدرولیک حفاری، الگوریتم ژنتیک، نرخ نفوذ مته

۱– مقدمه

حفاری چاه‌های نفت و پرهزینه ترین بخش توسعه میادین هیدروکربوری است. بنابراین بهینه سازی عملکرد عملیات حفاری دارای اهمیت ویژه‌ای است. در این مطالعه، عملیات حفاری در یکی از میادین جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد عملیات حفاری در آن بهینه سازی شده است. در عمل، پروسه‌های حفاری داخل کشور غالبا بصورت تجربی صورت گرفته است که مصون از خطا و اشتباه نبوده و منجربه بروز اتلاف‌های ناخواسته‌ای شده است. اجاره روزانه دستگاه حفاری بخش عظیمی از هزینه روزانه عملیات حفاری چاه را تشکیل می‌دهد بنابراین کاهش زمان عملیات حفاری از اهمیت به سزایی برخوردار می باشد. در صورتی که پارامتری به درستی انتخاب نشود و یا مته حفاری مناسب آن سازند انتخاب نشود میتواند منجربه ایجاد خسارت‌های گزافی شود. [۱,۲] از این رو لازم است تا با استفاده از مدلسازی عملیات حفاری این پارامترهای بهینه شده را امتحان کرد. استفاده از مدل های ریاضی تعیین نرخ نفوذ مته به منظور دستیابی به مقادیر بهینه پارامترهای مکانیکی و هیدرولیکی جهت افزایش نرخ نفوذ مته با توجه به دسترس بودن اطلاعات از داده های چاه‌های مجاور، هزینه ای را تحمیل نکرده و با توجه به قابل استفاده بودن آنها در حین عملیات و متناسب با محدودیت‌های احتمالی، کاربرد آنها را بیش از پیش توجیه می‌کند. حال آنچه که اهمیت دارد این است که بتوان بهترین مدل ریاضی را در میدان مورد نظر تعیین نمود تا در حفاری چاه‌های بعدی از آن به منظور افزایش نرخ نفوذ مته استفاده نمود. [۳]

۲– روش تحقیق

۲–۱– کارهای مرتبط

برای توصیف رابطه‌ی بین متغیرهای حفاری با نرخ نفوذ سرمته، الگوهای ریاضی متعددی ارائه شده است. در اکثر این الگوها نرخ نفوذ وابسته به ترکیبی از چند متغیر قابلِ کنترل و یک فاکتور از ویژگی‌های سازند است. متغیرهای قابل کنترل عبارتند از: سرعت چرخش سرمته، وزن روی سرمته، وزن گل، نرخ جریان پمپ و

* رایانامه نویسنده مسئول: mah.nazari_sarem@iauctb.ac.ir

فشار پمپ [۴]. در ادامه‌ی این فصل تعدادی از الگوهای نرخ نفوذ سرمته معرفی می‌شود.

Maurer در سال ۱۹۶۵ برای پیدا کردن معادلهٔ نرخ نفوذ سرمته‌های کاج غلتان تحقیقات و آزمایشاتی انجام داد. الگویی که او در نتایج کارهای خود بدست آورد نرخ نفوذ را به صورت تابعی نظری از وزن روی سرمته، سرعت چرخش سرمته، اندازه‌ی سرمته و مقاومت تراکمی سنگ درنظر می‌گیرد. مدتی بعدتر آقای بینگهام یک الگوی ساده که اصلاحی از الگوی Maurer است ارائه داد. این دو الگو عمق را در نظر نمی-گیرد بنابراین نتایج این الگو اعتبار کمی دارند [5]. در سال ۱۹۷۴، آقایان بورگاین و یانگ نرخ نفوذ را به صورت تابعی از تعداد زیادی متغیر در نظر گرفتند. این دو محقق فرض کردند که تأثیر این متغیرها بر نرخ نفوذ مستقل از هم می‌باشد. مدل ارائه شده توسط بورگاین یانگ یکی از کامل‌ترین و پیچیده‌ترین مدل برای پیشبینی نرخ نفوذ است. در این مدل نرخ نفوذ حاصل‌ضرب ۸ تابع مستقل از هم می‌باشد که هر کدام از توابع هشت‌گانه اثر یک یا چند متغیر بر نرخ نفوذ را توصیف می‌کند [۶].

سال ۲۰۰۷ آقای Osgouei روی الگوی بورگاین و یانگ تغییرات لحاظ کردند و با تفکیک قائل شدن برای متهٔ PDC و کاج غلتان و همچنین چاه عمودی و جهتدار، توانستند مدل پیشبینی نرخ نفوذ را بهبود ببخشد [7]. این ملاحظات باعث ایجاد بهبود قابل توجه در نتایج مدل شده است. در این مطالعه نرخ نفوذ علاوه بر ۸ تابع مدل بورگاین یانگ، ۳ تابع جدیدتر دارد که در مجموع نرخ نفوذ متهٔ از ضرب یازده تابع حاصل می‌گردد.[8]

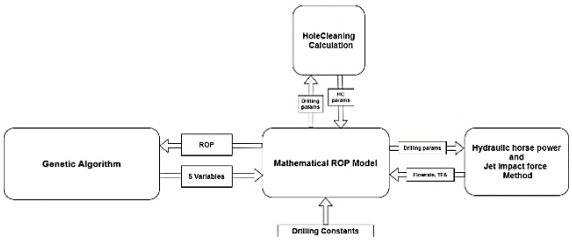
۲-۲- اطلاعات چاه‌های مورد مطالعه

میدان نفتی رامین از میادین نفتی ایران است، که در استان خوزستان، در محدوده شهر ملاثانی و در فاصله ۳۰ کیلومتری از شمال اهواز قرار دارد. رخنمون سطحی این میدان، سازند آغاجاری بوده و سازندهای آسماری و گروه‌های بنگستان و خامی، مخازن هیدروکربوری موجود در این میدان هستند. سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن این میدان بوده که به شش لایه مخزنی تقسیم شده‌است. [9]. در ابتدا گزارشات روزانه‌ی حفاری ۱۳ چاه حفر شده در میدان رامین جمع شده است و پس از کنترل کیفیت داده‌ها، ۱۰ چاه که داده‌های دقیق‌تری داشتند انتخاب شدهاند. سپس داده‌هایی که برای مدل‌سازی نیاز است از گزارشات روزانه استخراج شده و در قالب‌های مشخصی در اکسل وارد می‌شود اولین گام در این مرحله، تقسیم‌بندی طول عمیق‌ترین چاه میدان به چند بازه‌ی مجزاست. از آنجایی که ضرایب باید برای بازههایی با ویژگی‌های زمین‌شناسی یکسان تعیین شوند بنابراین باید این تقسیم‌بندی بر اساس قطر چاه می‌باشد.

پس از حذف داده‌های پرت و مرتب سازی اطلاعات، ۲۰۴ نقطه داده مفید بدست می‌آید. در میان داده‌های استخراج شده، هرچاه بطور متوسط شامل ۲۰ نقطه مفید می‌باشند. یکی از چاه‌ها را به منظور تست خروجی مدل و همچنین بهینه‌سازی نهایی بصورت دست نخورده نگه‌داشته و در پروسه مدلسازی وارد نکردیم. بازه‌ی عمق مطالعه شده‌ی چاه‌ها تا سازند آسماری و پابده بوده و سایز حلقه چاه از ۱۷/۵ تا ۶ اینچ می‌باشد.

۲-۲- روش انجام کار

هر مدل تجربی دارای ثوابتی هست که به منظور سفارشی کردن معادله بایستی آن ثوابت به دقت بالایی انتخاب شوند. سفارشی کردن معادله به معنی قابل استفاده شدن مدل در میادین و موقعیت‌های جغرافیایی مختلف می‌باشد. در این مطالعه قصد داریم که داده‌های چاه مورد نظر را روی مدل بورگاین یانگ بهبود یافته پیاده‌سازی کنیم. یکی از روش‌های موفق در زمینه‌ی تعیین ثوابت استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد، که در این مطالعه نیز از همین روش استفاده شده است [۱۰,۱۱,۱۲]. ۱۵ درصد از دادهها تحت عنوان دادهی آموزشی بطور تصادفی از بین کل دادهها انتخاب شده و ۸۵ درصد باقیمانده برای تنظیم و Tune ثوابت استفاده شده است. دادهها بر حسب قطر چاه به ۳ خوشه تقسیم شده و از آنها برای ایجاد ۳ مدل استفاده شده است. هر یک از این مدلها مختص یک سکشن از چاه بایستی مورد استفاده قرار گیرد. فرایند کدنویسی همانطور که در شکل (۱) آورده شده به این گونه است که الگوریتم ژنتیک درهر نسل حدس‌های ثوابت مدل را برای معادلات نرخ نفوذ ارسال میکند. در آنجا نیز داده‌های استخراج شده و حدس‌های الگوریتم ژنتیک وارد معادله شده و نرخ نفوذ متهٔ برای هر ردیف داده محاسبه میشود. اختلاف نرخ نفوذ مدل و نرخ نفوذ واقعی مجددا به کد الگوریتم ژنتیک بازمی‌گردد و با استفاده از آن، حدس‌های نسل بعدی را طوری تنظیم میکند تا این مقدار را کمینه کند

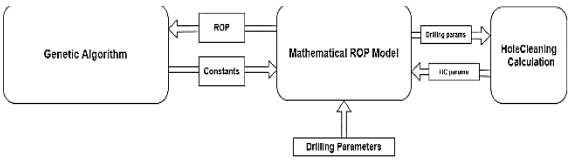


شکل (۱) فرآیند مدلسازی عملیات حفاری

پس از اتمام پروسه‌ی مدل‌سازی، به منظور بهینه‌کردن پارامترهای حفاری، یک چاه که شامل سه سکشن ۱۷/۵، ۱۲/۲۵، ۸/۵ می‌باشد را انتخاب کرده و الگوریتم ژنتیک را بار دیگر منتها با این تفاوت که ثوابت معادله معلوم بوده و پارامترهای مکانیکی و

هیدرولیکی مجهول می‌باشند اجرا میکنیم. به منظور بهبود یافتن و تخصصی‌تر شدن نتایج، در کد الگوریتم ژنتیک روش‌های بهینه سازی هیدرولیکی HHP و Jet Impact اضافه شده است. فرایند کدنویسی همانطور که در شکل (۲) آورده شده است به این گونه است که الگوریتم ژنتیک درهر نسل حدس‌هایی به منظور بیشینه کردن نرخ نفوذ مته به تابع معادلات نرخ نفوذ ارسال میکند. در آنجا حدس‌های پارامترهای حفاری وارد مدل ساخته شده در بخش نخست می‌شوند. از سوی دیگر نرخ جریان توسط حدسیات الگوریتم ژنتیک تعیین نشده و توسط معادلات بهینه سازی هیدرولیک محاسبه شده و وارد معادلات حفاری میشود. در نهایت نرخ نفوذ مته محاسبه شده و به الگوریتم ژنتیک ارسال میشود و حدس نسل بعدی بر اساس بیشینه کردن نرخ نفوذ مته صورت میپذیرد.

تفاوت کد نویسی این بخش با بخش پیشین در این است که تابع هزینه جای خود را به تابع فیتنس یا برازندگی داده است و هدف کمینه کردن مقدار خطا نبوده بلکه بیشینه کردن نرخ نفوذ حفاری می‌باشد. تابع برازندگی در این بخش از کدنویسی همان مدل بدست آمده با خطای کمینه می‌باشد. این مدل قابلیت استفاده برای شبیه سازی عملیات حفاری را دارا می‌باشد و در این قسمت از آن بعنوان تابع ارزیابی بهینه سازی در این بخش استفاده شده است.



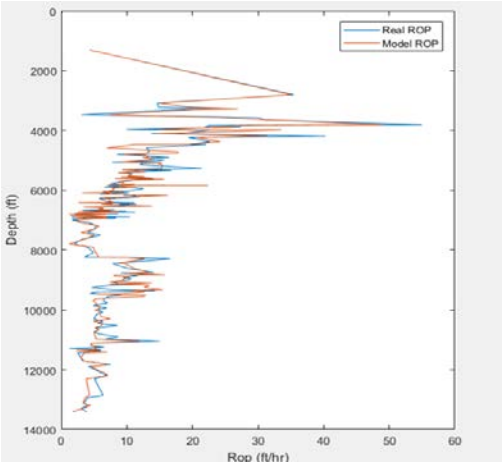
شکل (۲) فرآیند مدل‌سازی عملیات حفاری

جهت اجرا کردن الگوریتم، درصد متقاطع و جهش در الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۰/۸ و۰/۲ به تصویب رسید. نرخ جهش۰/۰۲ در نظر گرفته شد. تعداد جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک ۱۵۰ نفر و حداکثر دفعات تکرار الگوریتم برابر با ۱۵۰۰ مرتبه تعیین شده است. ثوابت گاما و اِتا نیز به ترتیب ۰/۵ و۰/۲ در نظر گرفته شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مدلسازی

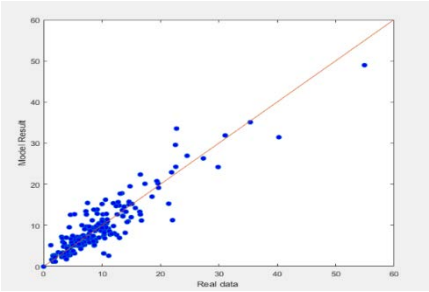
ثوابت a1 تا a11 مجهولات مدل بورگاین یانگ بهبود یافته بوده و با تنظیم این ثوابت مدل حفاری برای هر خوشه‌ی تنظیم می‌شود. جدول(۱) ثوابت بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک برای هر خوشه آورده شده است. شکل(۳) نیز نمودار نرخ نفوذ بر حسب عمق را برای داده‌های شبیه سازی شده و داده‌های واقعی نشان میدهد. در نهایت شکل(۴) همبستگی مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر واقعی را برای هر خوشه و در حالت کلی بصورت جداگانه نشان میدهد. الگوی بورگاین و یانگ بهبود یافته، کامل‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین الگوی نرخ نفوذ ارائه شده است. در صورتی که دقت داده‌های مورد استفاده برای تعیین ضرایب مدل زیاد و از روشی مناسب برای پیش‌بینی نرخ نفوذ استفاده شود، این مدل نرخ نفوذ را با درصد خطای بسیار کم پیش‌بینی می‌کند. از دیگر مزایای این مدل این است که داده‌های ورودی این مدل در گزارشات روزانه‌ی پیشرفت حفاری و گزارشات روزانه‌ی سیال حفاری و سایر گزارشات معمولی چاه وجود داشته و در اکثر میدان‌ها چنین گزارش‌هایی قابل دسترسی است. بنابراین می‌توان از این الگو در میادین مختلف استفاده نمود. این مدل تنها به مته کاج غلتان محدود نبوده و برای مته‌های PDC نیز محاسبات مخصوص لحاظ کرده است. همچنین علاوه بر لحاظ نمودن پارامترهای مکانیکی، پارامترهای هیدرولیکی را نیز در گرفته است که نشانه‌ی جامع بودن آن می‌باشد.



شکل (۳) نرخ نفوذ مته برحسب عمق برای داده‌های واقعی و مدل سازی شده توسط مدل بورگاین یانگ بهبود یافته

جدول (۱) ثوابت به‌دست آمده مدل بورگاین یانگ بهبود یافته

حفره	۱۷/۵	۱۲/۵	۸/۵
a1	0.5	0.596	1.4288
a2	0.00011	0.00013	7E-05
a3	1E-06	1E-06	1E-06
a4	1.4E-06	0.0001	1.8E-05
a5	0.8153	0.6914	0.9384
a6	0.40001	0.8025	0.4001
a7	0.3	0.65	0.3
a8	0.383	0.301	0.3
a9	2.236	1.407	0.833
a10	0.078	2.7E-07	8.8E-09
a11	0.025	6.3E-08	8.1E-09



شکل(۴). مقایسه نرخ نفوذ مته واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل بورگاین یانگ بهبود یافته برای تمامی حفرات.

جدول (۲). دقت مدل بورگاین یانگ بهبود یافته

حفره	ضریب همبستگی	میانگین مربعات خطا
۸/۵	۰/۸۶۰	۰/۰۹
۱۲/۵	۰/۷۱۰	۰/۰۸
۱۷/۵	۰/۹۰۵	۰/۱۱

۳-۲. نتایج بهینه‌سازی

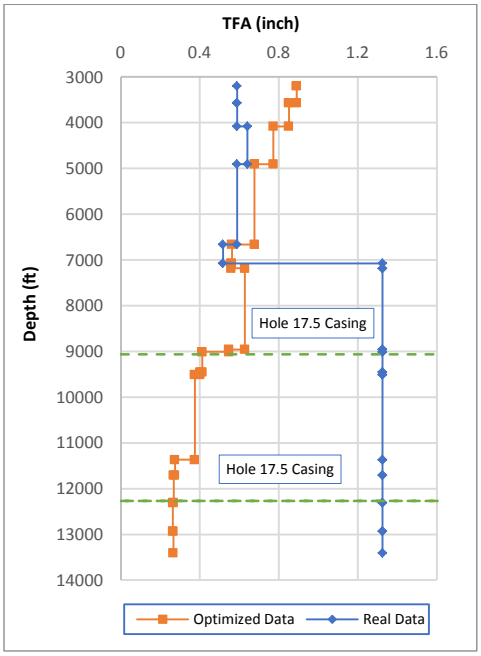
پس از تعیین مدل مناسب، از آن بعنوان شبیه ساز عملیات حفاری استفاده خواهیم کرد. بخش دوم این مطالعه مربوط به بهینه کردن پارامترهای حفاری در یک چاه جدید می‌باشد. در ادامه به نتایج مربوط به بخش بهینه‌سازی پارامترهای حفاری خواهیم پرداخت.

۳-۲-۱- پارامترهای هیدرولیکی

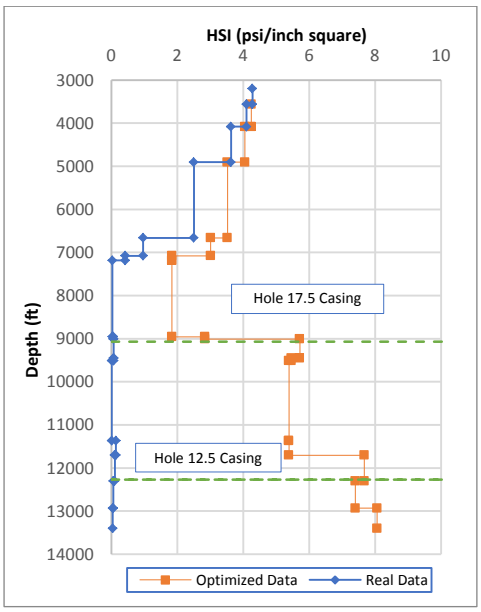
مقادیر دقیق TFA برای هر سکشن به بهینه‌ترین شکل ممکن آورده شده است. پارامتر HSI که تداعی‌گر هیدرولیک مته بر سطح مقطع حفاری است و به نوعی نشانگر وضعیت تمیزسازی چاه می‌باشد در شکل(۶) مقایسه شده است. مقادیر قابل قبول این پارامتر بایستی بالای عدد ۳ باشد ولی همانطور که مشاهده میشود در داده‌های عملیاتی این مقدار به نزدیکی صفر نزول پیدا کرده است. که نشان دهنده هیدرولیک نامناسب عملیات حفاری می‌باشد. ولی پس از پروسه‌ی بهینه سازی حداقل مقدار HSI ۴ و حداکثر آن ۷ می‌باشد. انتخاب مناسب خواص سیال حفاری، اندازه نازل مته و نرخ جریان باعث ایجاد چنین تغییری شده است.

در روش بهینه‌سازی انجام شده، به دنبال دبی و اندازه نازل‌هایی هستیم که ضمن در نظر گرفتن محدودیت‌های عملیاتی، تمیز سازی کامل چاه را تضمین می‌کنند. برای انجام این مهم، نیاز به محاسبه دقیق افت فشارها و محاسبات تمیز سازی چاه است که انتخاب نوع مدل رئولوژی بکار رفته نیز نقش کلیدی در دقت این محاسبات ایفا می‌کند. در مدل ارائه شده، پارامترهای هیدرولیکی بصورت همزمان توسط الگوریتم ژنتیک و روش‌های Jet impact و HHP بهینه میشوند. در مقاطع کم عمق و قطر بزرگ که سرعت نفوذ و حجم کنده‌های حفاری زیاد است، برای تمیز کردن چاه به نرخ جریان سیال بیشتری نیاز داریم. با این معیارها، روش حداکثر نیروی ضربه (جت ایمپکت) توصیه می شود زیرا ۱۹٫۵٪ سرعت جریان بالاتر از روش حداکثر اسب بخار هیدرولیک را به شما می دهد.

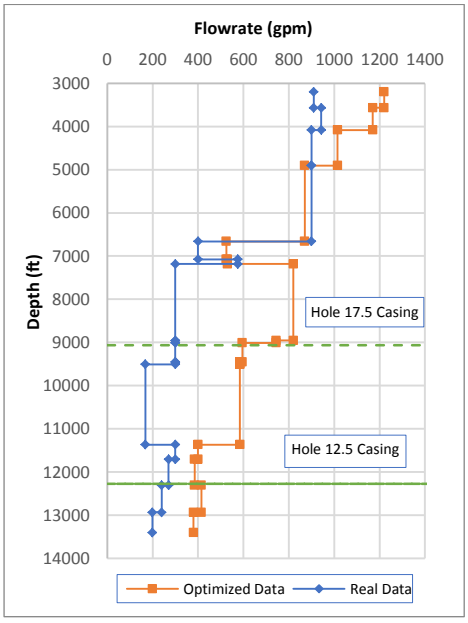
در بخش‌های عمیقتر و با قطر کوچکتر که ROP کمتر از عمق‌های سطحی است و کنده‌های حفاری که روی نیروی پایین آورنده تأثیر می گذارند به یک مسئله هیدرولیکی حفاری تبدیل می شوند. از این رو، شما به سرعت و فشار جت بالاتر در حفرات پایین نیاز دارید. بدین منظور، بهترین روش بهینه سازی برای این مورد حداکثر اسب بخار هیدرولیک است زیرا ۱۴/۳٪ سرعت جت بیشتر و ۳۴/۷٪ فشار بیشتر از حداکثر نیروی ضربه را می دهد. از این رو مقدار نرخ جریان سیال حفاری و TFA مته به نحوی بهینه سازی شده است که درصدهای افت فشار مربوطه را به مته برساند. همانطور که در شکل(۵) مشاهده می‌شود، اندازه نازل‌های مته در داده‌های عملیاتی به سمت بزرگتر شدن رفته است که این مسئله بسیار بازده‌ی حفاری را پایین می‌آورد. این انتخاب غلط منجرب شده تا نیروی ضربه‌ای هیدرولیک نیز کاهش قابل توجهی پیدا کند و عملا بازده‌ی حفاری به یک سوم کاهش پیدا کند. در صورتی که بهینه‌ترین روش کاهش TFA و کاهش نرخ جریان سیال بوده تا مقدار افت فشار لازم برای مته فراهم شود.



شکل(۵) مقایسه TFA برای داده‌های چاه بهینه سازی شده و داده‌های واقعی



شکل(۶). مقایسه HSI برای داده‌های چاه بهینه‌سازی شده و داده‌های واقعی



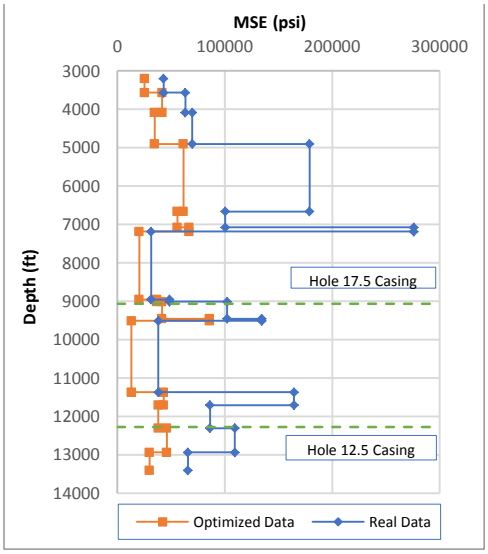
شکل(۷). مقایسه نرخ جریان سیال برای داده‌های چاه بهینه‌سازی شده و داده‌های واقعی

۳-۲-۲- پارامترهای مکانیکی

یکی از معیارهایی که برای سنجش و بررسی پارامترهای مکانیکی استفاده میشود انرژی مکانیکی مخصوص یا MSE نام دارد. انرژی مکانیکی مخصوص یک تئوری ابزاری برای پیش بینی و یا تجزیه و تحلیل عملکرد مکانیکی می باشد و مبتنی بر اصول اساسی مربوط به مقدار انرژی مورد نیاز برای از بین بردن یک واحد حجم سنگ و بهره وری از مته است. همچنین بواسطه اعمال زیر در بهینه سازی نرخ نفوذ حفاری تاثیر گذار است

- بهینه سازی پارامترهای حفاری جهت افزایش طول عمر مته
- افزایش سرعت نرخ نفوذ حفاری تا حداکثر توان سیستم صرف نظر از نوع مته
- دانستن زمانی که مته کارایی خود را از دست داده است

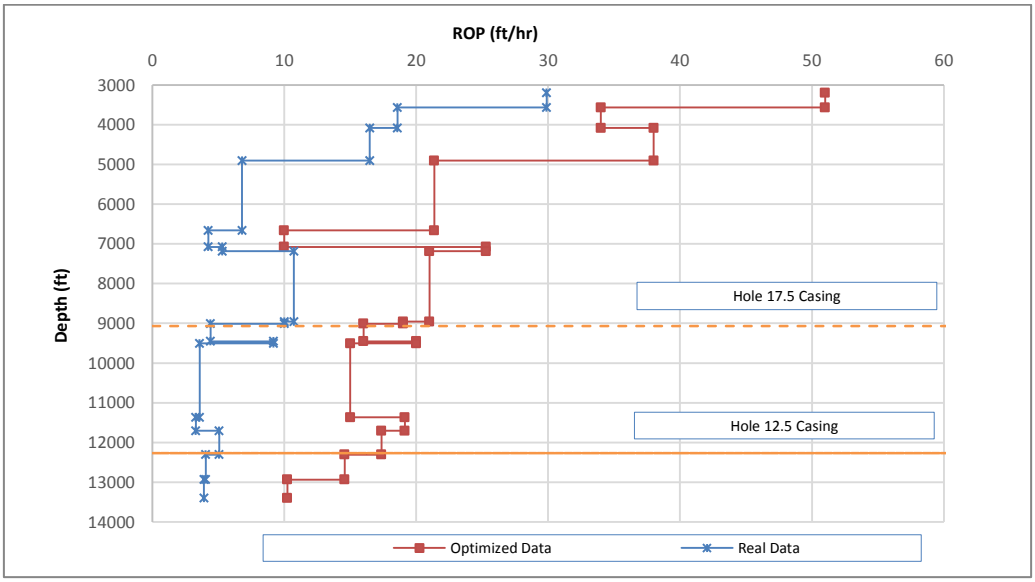
پارامترهای مکانیکی تاثیر گذار در مدل این مطالعه وزن روی مته و سرعت چرخش مته می‌باشد. پارامترهای مکانیکی مستقیما بوسیله الگوریتم ژنتیک و مدل بورگین یانگ بهبود یافته بهینه شده‌اند که حدود بالا و پایین این مقادیر با استفاده از تجارب میدانی و اطلاعات چاه‌های اطراف تعیین شده اند. به منظور بهره وری بهینه از حفاری، هدف به حداقل رساندن MSE و به حداکثر رساندن سرعت نفوذ است. به منظور کنترل MSE، بایستی وزن روی مته، گشتاور ، ROP و سرعت چرخش مته را کنترل کرد. شکل(۸) پارامتر MSE قبل و بعد از بهینه سازی را نشان می‌دهد.



شکل(۸). مقایسه انرژی مکانیکی مخصوص برای داده‌های چاه بهینه‌سازی شده و داده‌های واقعی

همانطور که قابل مشاهده است مقدار پارامتر MSE در حالت بهینه کمتر از حالت واقعی است. این امر نشانگر کمتر شدن هدر رفت انرژی و استفاده بهینه از متغییرهای حفاری می‌باشد.

همچنین این نتیجه را میتوان گرفت که با افزایش عمق بهتر است وزن روی مته و سرعت چرخش مته (پارامترهای مکانیکی) را کاهش داده و تمرکز را روی تنظیم نرخ جریان سیال و اندازه نازل مته مناسب (پارامترهای هیدرولیکی) بگذاریم. در غیر اینصورت، به تجهیزات حفاری از جمله مته فشار بیشتر از حد نیاز آمده و نه تنها باعث افزایش سرعت حفاری نشده، بلکه به عکس باعث توپی شدن مته و همچنین از بین رفتن دندانه‌های مته می‌شود و عمر آن کاهش می‌یابد



شکل(۹) مقایسه نرخ نفوذ مته برای داده‌های چاه بهینه سازی شده و داده‌های واقعی

بررسی تأثیر بهینه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی و مکانیکی حفاری بر روی نرخ نفوذ در حفره های ۸/۵، ۱۷/۵ و ۱۲/۲۵ اینچی در چاه مورد مطالعه نشان داد که با تنظیم مناسب پارامترهای مکانیکی و هیدرولیکی میتوان نرخ نفوذ مته را دو و در برخی از بازه‌ها به سه برابر افزایش داد. در شکل (۹) مقادیر نرخ نفوذ قبل و بعد از نرخ نفوذ آورده شده است. نتایج این بهینه‌سازی و مقایسه آن با داده‌های واقعی چاه نشان می‌دهد که نرخ نفوذ مته به‌طور میانگین بهبود دو برابری پیدا کرده و همچنین تمیزسازی چاه کامل صورت می‌گیرد. که این اتفاق به معنی کاهش چشمگیر زمان عملیات حفاری و به تبع آن کاهش هزینه‌های مربوط به اجاره تجهیزات می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

- سرعت حفاری واقعی تطابق خوبی با سرعت حفاری مدلسازی بوسیله الگوی بورگاین یانگ بهبود یافته دارد که نشان‌دهنده دقت معادله و روش حل به کار گرفته شده میباشد.
- مدل بورگین یانگ بهبود یافته ۳ معادله اضافی نسبت به مدل بورگین یانگ دارد که در آن سه به پارامترهای تمیزسازی چاه‌های عمودی و انحرافی پرداخته است. ترکیب شدن معادلات مکانیکی و هیدرولیکی دلیل جامعیت و دقت این مدل می‌باشد..
- این روش بهینه سازی قادر است الگوریتم‌های هوش مصنوعی و تکاملی را با مفاهیم و معادلات تخصصی حفاری و همچنین داده‌های تجربی چاه‌ای مجاور پیوند زده و نتایج قابل اطمینانی ارائه دهد.
- علیرغم اهمیت پارامترهای هیدرولیکی در فرآیند حفاری، عمده‌ی روش‌های بهینه‌سازی حفاری روی پارامترهای مکانیکی یا روی پارامترهای هیدرولیکی تاکید دارند. روش ارائه شده در این مطالعه تاثیر همزمان پارامترهای هیدرولیکی و مکانیکی بر روی نرخ نفوذ مته را لحاظ میکند.
- نتایج این بهینه سازی و مقایسه آن با داده‌های واقعی چاه نشان میدهد که نرخ نفوذ مته بطور متوسط بهبود ۱۰۰ درصدی داشته و همچنین تمیزسازی چاه کامل صورت میگیرد. که این اتفاق به معنی قابل توجهی در زمان عملیات حفاری و هزینه‌های سنگین آن می‌باشد.
- در داده‌های واقعی چاه مورد مطالعه مشاهده میشود از عمق ۶۵۰۰ فوتی به بعد بدلیل انتخاب نامناسب پارامترهای حفاری، هیدرولیک چاه دچار مشکل شده و بازده و نرخ نفوذ کاهش یافته است. که با استفاده از روش ارائه شد در این مطالعه تمامی پارامترها بصورت دقیقی تنظیم شده‌اند.
- این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از روش HHP به جای روش Jet Impact پس از عمق‌های بالا باعث تعیین بهتر TFA و نرخ جریان می‌شود و در نهایت نرخ نفوذ را به طور قابل ملاحظه افزایش دهد. در کد نویسی‌های انجام شده انتخاب روش بهینه سازی بطور خودکار صورت می‌پذیرد.

۵- مراجع

[1] A. Bahari and A. B. Seyed, “Drilling Cost Optimization in Iranian Khangiran Gas Field,” presented at the International Oil Conference and Exhibition in Mexico, 2007, doi: 10.2118/108246-ms.

[2] M. Ane Mongoli, A. Ramezanzadeh And B. Tokhmeh chi, ” Determination of reservoir drilling capability based on drilling penetration rate in an oil well in southwestern Iran”, Journal of Petroleum Geomechanics, Dec 2017. (In Persian)

[3] M. Bataee, M. Kamyab, and R. Ashena, “Investigation of Various ROP Models and Optimization of Drilling Parameters for PDC and Roller-cone Bits in Shadegan Oil Field,” presented at the International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, 2010, doi: 10.2118/130932-ms.

[4] A. Afrasiabian, B. Ahangari, K. Arjmand and Y. Salmani, “Investigation of the effect of drilling machine operating parameters in oil wells on drilling drill penetration rate using artificial neural networks and multivariate linear regression statistical analysis Second National Conference on Petroleum Geomechanics,, 2019. (In Persian)

[5] M. Bingham, “A New Approach to Interpreting Rock Drillability”, Reprinted from Oil and Gas J. series by Petroleum Publishing Co., April. 1965.

[6] A. Nascimento, D. Tamas Kutas, A. Elmgerbi, G. Thonhauser, and M. Hugo Mathias, “Mathematical Modeling Applied to Drilling Engineering: An Application of Bourgoyne and Young ROP Model to a Presalt Case Study,” Mathematical Problems in Engineering, vol. 2015, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1155/2015/631290.

[7] R. E. Osgouei, “Rate of penetration estimation model for directional and horizontal wells”, Msc Thesis, Middle East Technical University, 2007.

[8] M. Anemangely, A. Ramezanzadeh, and B. Tokhmechi, “Determination of constant coefficients of Bourgoyne and Young drilling rate model using a novel evolutionary algorithm,” Journal of Mining and Environment, no. Online First, Jan. 2017, doi: 10.22044/jme.2017.842.

[9] B. Soleimani, Q. Abdolrahimi, A. Ashjaee, And A. Charchi, “Study of lithology and construction model of Gachsaran Formation in Maroon oil field using geostatistical methods”, Journal of Advanced Applied Geology, 2013. (In Persian)

[10] M. H. Bahari, A. Bahari, F. N. Moharrami, and M. B. N. Sistani, “Determining Bourgoyne and Young Model Coefficients Using Genetic Algorithm to Predict Drilling Rate,” J. of Applied Sciences, vol. 8, no. 17, pp. 3050–3054, Aug. 2008, doi: 10.3923/jas.2008.3050.3054.

[11] M H Bahari, A Bahari, F Nejati, R Rajaei, & B Vosoughi-V. (2009). Drilling Rate Prediction Using Bourgoyne and Young Model Associated with Genetic.

[12] Shazaly S. Ahmed*1 & Ahmed A. Ibrahim2, “BOURGOYNE AND YOUNG MODEL DEVELOPMENT REVIEW,” Zenodo, Jun. 2019, doi: 10.5281/ZENODO.3256067.

[13] A. T. Bourgoyne, F.S. Young And K.K. Millheim, “Applied drilling engineering,” Society of Petroleum Engineers, 1999.

[15] O. Falode and C. Agbarakwe, “Optimisation of Drilling Parameters for Directional and Horizontal Wells Using Genetic Algorithm,” JSRR, vol. 11, no. 3, pp. 1–10, Jan. 2016, doi: 10.9734/jsrr/2016/27061.

[16] S. Formighieri and P. J. de F. Filho, “Estimation of Bourgoyne and Young Model coefficients using Markov Chain Monte Carlo simulation,” presented at the 2015 Winter Simulation Conference (WSC), Dec. 2015, doi: 10.1109/wsc.2015.7408243.

[17] A. Al-AbdulJabbar et al., “Prediction of the Rate of Penetration while Drilling Horizontal Carbonate Reservoirs Using the Self-Adaptive Artificial Neural Networks Technique,” Sustainability, vol. 12, no. 4, p. 1376, Feb. 2020, doi: 10.3390/su12041376.

[18] J. O. Ogunrinde and A. Dosunmu, “Hydraulics Optimization for Efficient Hole Cleaning in Deviated and Horizontal Wells,” presented at the Nigeria Annual International Conference and Exhibition, 2012, doi: 10.2118/162970-ms.

[19] A. T. Bourgoyne Jr. and F. S. Young Jr., “A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection,” Society of Petroleum Engineers Journal, vol. 14, no. 04, pp. 371–384, Aug. 1974, doi: 10.2118/4238-pa.