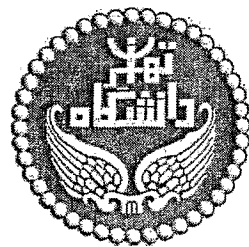
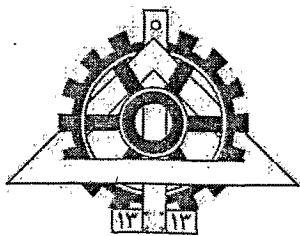




۹۱۲۷۲



# دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده مهندسی معدن

## بهینه سازی حفاری در میدان نفتی پایدار غرب

نگارش:

سید مهدی کدخدا

استاد راهنما:

دکتر محمد فاروق حسینی

۱۳۸۶ / ۹ / ۲۵

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته  
مهندسی اکتشاف نفت

بهمن ۱۳۸۵

۹ ۱۲۷۳

## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب سید مهدی کدخدای تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سید مهدی کدخدای

امضای دانشجو: کدخدای



بنام خدا  
دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی  
گروه آموزشی دانشکده مهندسی معدن

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای: سیدمجتبی کدخدا

در رشته مهندسی معدن گرایش: اکتشاف نفت

با عنوان: "بهینه سازی حفاری میدان مشترک پایدار غرب"

را در تاریخ ۸۵/۱۱/۱۷

به عدد به حروف

۱۲/۲۵ هزار و بیست و پنج درصد

با

نمره نهایی:

ارزیابی  
نمود.

و درجه:

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	استاد راهنما استاد راهنمای دوم (حسب مورد):	دکتر محمد فاروق حسینی	استادیار	پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران	
۲	استاد مشاور				
۳	استاد مدعو	دکتر حسین معماربان	دانشیار	پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران	
۴	استاد مدعو	دکتر فریدون سبحانی	دانشیار	پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی گروه آموزشی:	دکتر عباس بحرودی	استادیار	پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران	

مذکر: این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان نامه درج می گردد.



تقدیم به پدر و مادرم

که بر هر تار سعید مویسان

هزاران دین دارم

## چکیده

تاریخچه گسترش تکنولوژی حفاری را می توان به چهار بخش تقسیم کرد: دوره آغازین (۱۹۲۰-۱۹۰۰)؛ دوره توسعه (۱۹۴۸-۱۹۲۰)، دوره علمی (۱۹۶۸-۱۹۴۸) و دوره اتوماسیون که از ۱۹۶۸ آغاز شده است. زمان صرف شده در حفاری تأثیر قابل ملاحظه ای در هزینه نهایی چاه ایفا می کند.

بهینه سازی به پارامترهای مطلوبی اشاره دارد که ما را به کمترین هزینه حفاری رهنمون می کند. این فرآیند از طریق پارامترهای قابل کنترل و مؤثر بر سرعت حفاری همانند وزن روی مته، سرعت چرخش، نوع مته، هیدرولیک و خصوصیات سیال حفاری صورت می پذیرد. نوشته حاضر دستیابی به پارامترهای بهینه در میدان پایدار غرب را دنبال می کند که شامل تقابل متغیرهای قابل کنترل در روش بهینه سازی حفاری می باشد. پارامترهای مورد توجه وزن روی مته، سرعت چرخش و توان هیدرولیکی و راندمان تمیزی چاه می باشند. در بررسی توان هیدرولیکی در این پژوهش با استفاده از خصوصیات گل و ریولوژی آن با توجه به شکل هندسی چاه و رشته حفاری بهترین عدد رینولدز قابل دسترس را برای چاه مورد بررسی و با توجه به خصوصیات آن میدان و اعمال ضرائب تصحیح برای معادلات افت فشار محاسبه می شود و در نهایت شدت جریان بهینه و فشار معادل آن و اندازه جتهای مورد استفاده بدست می آید. این محاسبات با توجه به یک برنامه کامپیوتری، که به همین منظور نوشته شده، انجام می گیرد.

در نهایت در این پژوهش مته های استفاده شده در میدان پایدار غرب مورد بررسی قرار می گیرد و بهترین مته که منجر به کاهش هزینه ها و افزایش سرعت حفاری می شود در مقاطع مختلف شناسایی و برای حفاری چاههای بعدی توصیه می گردند.

## فهرست مطالب

I.....چکیده

### فصل اول

۲.....مقدمه

### فصل دوم

۵.....بهینه سازی حفاری

۸.....عوامل مورد بررسی در بهینه سازی حفاری

### فصل سوم

۱۳.....خصوصیات سازند و انتخاب مته

۱۴.....خصوصیات سازند

۱۵.....نوع، طراحی و انتخاب مته

۱۶.....مته‌های الماسه

۱۶.....وزن روی مته و سرعت چرخش

### فصل چهارم

۱۹.....خصوصیات سیال حفاری و توان هیدرولیکی در مته

۲۰.....خصوصیات سیال حفاری

۲۰.....وزن گل

۲۲.....تراوایی

۲۲.....نوع و میزان جامدات

۲۵.....گرانروی

۲۶.....نوع فاز مایع

۲۷.....توان هیدرولیکی مته

۳۳.....حداکثر سازی نیروی هیدرولیکی

۳۵.....	طراحی عدد رینولدز برای بدست آوردن سرعت حفاری بهینه
۳۸.....	تهیه نرم افزار لازم برای بهینه سازی عدد رینولدز در مته
۳۸.....	سناریوی اول بهینه سازی
۴۰.....	سناریوی دوم بهینه سازی
۴۱.....	سناریوی سوم حفاری

#### فصل پنجم

۴۷.....	استفاده از تجزیه و تحلیل سیستم برای تعیین کیفیت سیال حفاری در میدان پایدار غرب
۴۸.....	متد تجزیه و تحلیل هزینه سیستم
۵۱.....	تحلیل هزینه های سیستم در حفاری میدان مشترک پایدار غرب

#### فصل ششم

۵۶.....	انتخاب مته های حفاری بر مبنای جنس سازند
۵۷.....	مقدمه
۵۷.....	انتخاب مته با توجه به پارامترهای لیتولوژیکی
۶۱.....	پارامترهای تاثیرگذار در روابط هزینه کلی چاه
۶۱.....	قیمت مته
۶۲.....	پارامترهای تاثیرگذار بر روی عملکرد مته
۶۲.....	قیمت دکل
۶۲.....	بررسی زمان بهینه تعویض مته در چاه
۶۹.....	مطالعه و بررسی اطلاعات چند چاه میدان پایدار غرب
۷۰.....	حفره ۱۷/۲ اینچ
۷۴.....	حفره ۱۲/۴ اینچ
۷۷.....	حفره ۸/۲ اینچ
۸۰.....	حفره ۶/۸ اینچ

#### فصل هفتم

۸۳.....	نتیجه گیری
---------	------------

#### منابع

#### پیوست



- شکل ۱-۳ - نرخ حفاری در مقابل سرعت چرخش. .... ۱۷
- شکل ۱-۴ - تأثیر ویژگیهای مختلف سیال حفاری بر سرعت حفاری. .... ۲۰
- شکل ۲-۴ - تأثیر اختلاف فشار بر نرخ حفاری. .... ۲۱
- شکل ۴-۴ - تأثیر تراوایی آبی بر اثر CHIP HOLD DOWN. .... ۲۲
- شکل ۴-۴ - تأثیر میزان ذرات جامد گل بر سرعت حفاری. .... ۲۳
- شکل ۵۱-۴ - تأثیر میزان ذرات جامد گل بر عملکرد حفاری. .... ۲۳
- شکل ۶-۴ - تأثیر پراکندگی ذرات جامد بر سرعت حفاری. .... ۲۴
- شکل ۷-۴ - نقطه THERESHOLD در رابطه بین وزن و هیدرولیک بر نرخ نفوذ. .... ۲۷
- شکل ۸-۴ - منحنی های قابلیت حفاری هیدرولیکی. .... ۳۰
- شکل ۹-۴ - رابطه سرعت حفاری با قابلیت حفاری (KF) و کشمکش هیدرولیکی. .... ۳۰
- شکل ۱۰-۴ - حداقل توان هیدرولیکی در مقابل WR برای جلوگیری از کشمکش هیدرولیکی. .... ۳۱
- شکل ۱۱-۴ - تأثیر نرخ جریان بر افت فشار در هیدرولیک مته. .... ۳۴
- شکل ۱۲-۴ - نازلهای طویل شده. .... ۳۴
- شکل ۱۳-۴ - نمایش تأثیر تمیزکاری چاه با استفاده از فواره مطلوب. .... ۳۵
- شکل ۱۴-۴ - مسیر گردشی گل در چاه. .... ۳۶
- شکل ۱۵-۴ - الگوریتم حرکت سیال در جت مته. .... ۳۷
- شکل ۱۶-۴ - فشار و شدت جریان برای پیستونهای مختلف پمپ. .... ۴۳
- شکل ۱۷-۴ - نمونه چاه مورد بررسی و لوله های جداری آن. .... ۴۳
- شکل ۱۸-۴ - استفاده از نمودار جهت انتخاب فشار پمپ بهینه و اندازه نازل مناسب. .... ۴۵
- شکل ۱-۵ - مقایسه هزینه مواد، هزینه سیستم برای ۳ چاه اول و ۳ چاه دوم در میدان پایدار غرب. .... ۵۴
- شکل ۲-۵ - مقایسه سرعت حفاری، زمان و عمق نهایی حفاری در چاههای پایدار غرب. .... ۵۵
- شکل ۱-۶ - نمودار مربوط به هزینههای حفاری برای مته شماره ۱. .... ۶۴
- شکل ۲-۶ - نمودار مربوط به هزینه حفاری برای مته شماره ۲. .... ۶۵
- شکل ۳-۶ - نمودار مربوط به مته شماره ۳. .... ۶۶
- شکل ۴-۶ - نمودار هزینههای حفاری برای مته شماره ۴. .... ۶۷
- شکل ۴-۶ - نمودار مربوط به هزینههای مته شماره ۵. .... ۶۸
- شکل ۶-۶ - نمودار مربوط به مته شماره ۶. .... ۶۹
- شکل ۷-۶ - نمودار هزینه بر حسب متر و سرعت حفاری برای مته های ۱۷ ۱/۲ اینچ. .... ۷۳
- شکل ۱۰-۶ - نمودار هزینه و سرعت حفاری برای متهای مختلف ۱۲ ۱/۴ میدان. .... ۷۶
- شکل ۱۳-۶ - نمودار هزینه بر متر و سرعت حفاری برای مته های ۸ ۱/۲. .... ۷۹
- شکل ۱۴-۶ - نمودار هزینه بر متر و سرعت حفاری برای مته های ۶ ۱/۸. .... ۸۲

فصل اول

مقدمه

## مقدمه

هدف اصلی بهینه سازی حفاری، دستیابی به حداکثر بازدهی ممکن، تحت شرایط موجود می باشد. پیامد این افزایش بازدهی، کاهش هزینه حفاری هر فوت و رسیدن به اقتصادی ترین حالت ممکن خواهد بود. در حفاری، همه چیز نمی تواند همیشه ایده آل باشد. شرایط تحمیلی یا شرایط موجود از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در واقع میزان پیشرفت در فاز بهینه سازی را مشخص و محدود می سازد. موانع پیش رو ممکن است محدود کننده یا ویژه باشند. لیکن تحت هر شرایطی در پروژه های حفاری، هدف مشابهی دنبال می شود و آن حفاری یک چاه قابل استفاده با کمترین هزینه ممکن می باشد. در حفاری، زمان به مثابه پول می باشد لذا رسیدن به هدف و عمق نهایی توسط یک چاه قابل استفاده در کوتاهترین زمان بسیار حائز اهمیت می باشد.

بهینه سازی مطلوب با انتخاب دستگاه حفاری مناسب و طراحی خوب چاه آغاز می شود با بررسی گزینه های مختلف انتخاب دستگاه حفاری، حالتی را که دستگاه حفاری قادر به حفر چاه بطور ایمن و اقتصادی می باشد را باید برگزید.

آگاهی از طراحی انواع مته و عوامل مؤثر در آن از جمله مکانیسم خردایش مته های مختلف به انتخاب مطلوب مته کمک خواهد کرد. درک صحیح اثر متقابل مته انتخاب شده و سنگ، همچنین پیش بینی عمر مته بر مبنای پارامترهای حفاری و شرایط موجود از نکات اساسی در بهینه سازی حفاری بشمار می روند.

طبق روابط متعدد مطرح شده برای سرعت حفاری، حاصلضرب وزن روی مته و سرعت چرخش<sup>۱</sup> با پیشرفت حفاری یا سرعت حفاری متناسب می باشد، لیکن این تناسب بصورت خطی و مستقیم نبوده و به نوع سازند، طراحی هیدرولیک، نوع مته و برهم کنش این عوامل با یکدیگر وابسته است.

طراحی هیدرولیک مناسب در افزایش سرعت حفاری و کاهش زمان و هزینه حفاری هر فوت (که همانا هدف فرآیند بهینه سازی حفاری می باشد) بسیار مهم ارزیابی می شود چرا که عدم وجود هیدرولیک کافی در مته، علیرغم افزایش وزن روی مته باعث انباشتگی ذرات جامد گل و خردایش مجدد آنها و در حقیقت کشمکش هیدرولیکی و به تبع آن کاهش در سرعت حفاری خواهد شد. تجربه نشان داده است که اعمال توان شش اسب بخار به ازاء هر اینچ مربع از چاه<sup>۱</sup> می تواند در طراحی هیدرولیک مؤثر واقع شود. همچنین استفاده از ترکیبات و انواع مختلف فواره در مته نیز برای دستیابی به هیدرولیک مطلوب، مفید خواهد بود.

سیال حفاری از طریق وزن، گرانی، نرخ فیلتراسیون و درصد مواد جامد آن می تواند بر سرعت حفاری تأثیرگذار باشد. بطور کلی افزایش وزن، گرانی و درصد مواد جامد، تأثیرات منفی بر سرعت حفاری خواهند داشت. ضمن اینکه تراوایی آنی<sup>۲</sup> می تواند به افزایش سرعت حفاری کمک کند. تجربه نشان داده است گلهای غیر پراکنده<sup>۳</sup> سرعت حفاری بیشتر از گلهای پراکنده<sup>۴</sup> را در پی خواهند داشت. یکی از عواملی که می توان خصوصیات سیال حفاری را به هیدرولیک ارتباط داد عدد رینولدز می باشد. الگوریتم بهینه کردن عدد رینولدز در مشاهدات میدانی ثابت نموده است که بیشترین سرعت حفاری مربوط به تأثیرات هیدرولیکی در مته است. در این پروژه با استفاده از خصوصیات گل و ریولوژی آن با توجه به شکل هندسی چاه و رشته حفاری بهترین عدد رینولدز قابل دسترس را برای چاه مورد بررسی، با توجه به خصوصیات آن میدان و اعمال ضرائب تصحیح برای معادلات افت فشار محاسبه می شود و در نهایت شدت جریان بهینه و فشار معادل آن و اندازه جتهای مورد استفاده بدست می آید. این محاسبات با توجه به یک برنامه کامپیوتری، که به همین منظور نوشته شده، انجام می گیرد. این برنامه محاسبات بالا را نیز بدون در نظر گرفتن شرایط میدان در سناریوی دومش حساب می کند. برنامه در مرحله سوم ضریب تجربی عدد رینولدز را برای سرعت حفاری با توجه به اطلاعات میدانی محاسبه می کند. با مطالعه میدان مشترک پایدار غرب نشان داده شد که توافق خوبی بین تئوری بهینه سازی و نتایج میدانی موجود می باشد.

از جمله عوامل غیرقابل کنترل در افزایش سرعت حفاری و فرآیند بهینه سازی، خصوصیات سازند می باشد. قابلیت حفاری سازند وابسته به ویژگیهای ذاتی آن از قبیل مقاومت، سفتی، فشار منفذی، لایه بندی و ... می باشد. انتخاب پارامترهای بهینه حفاری بر اساس کاهش اثرات منفی عوامل غیرقابل کنترل صورت می پذیرد.

اعمال وزن و سرعت بیشتر برای افزایش سرعت حفاری، نیاز به طراحی مناسب تجهیزات درون چاهی برای جلوگیری از بازمانی رشته حفاری خواهد داشت. استفاده مطلوب از لوله های طوق مته و لوله های حفاری قطور<sup>۵</sup> همچنین بهره گیری از پایدار کننده ها<sup>۱</sup> در فواصل مناسب، می تواند احتمال بازمانی رشته حفاری و همچنین جابجایی مته در ته چاه را کاهش دهد.

HIS= Horse power per Square Inch<sup>1</sup>  
spurt loss<sup>2</sup>  
non – dispersed Mud<sup>3</sup>  
dispersed Mud<sup>4</sup>  
heavy wall drill pipe<sup>5</sup>

بهینه سازی به پارامترهای مطلوبی اشاره می کند که ما را به کمترین هزینه حفاری رهنمون می کند. این فرآیند از طریق پارامترهای قابل کنترل و مؤثر بر سرعت حفاری همانند وزن روی مته، سرعت چرخش، نوع مته، هیدرولیک و خصوصیات سیال حفاری صورت می پذیرد. نوشته حاضر دستیابی به پارامترهای بهینه در میدان حفاری پایدار غرب را دنبال می کند که شامل تقابل متغیرهای قابل کنترل در روش بهینه سازی حفاری می باشد. پارامترهای مورد توجه وزن روی مته، سرعت چرخش و توان هیدرولیکی می باشند. روابط سرعت حفاری و عمر مته را با رابطه هزینه حفاری ترکیب شده و تابع هزینه با متغیرهای قابل کنترل به حداقل رسانده شد. این متغیرها، عوامل حفاری بهینه را، در هر رانش مته دیکته می کند. در حقیقت یک مدل که تأثیر پارامترهای مختلف حفاری بر سرعت حفاری را پیش بینی می کند مورد استفاده قرار گرفت.

در این نوشتار با بررسی های انجام شده از چاه های پایدار غرب، سریعترین زمانهای حفاری در چاه های حفر شده به همراه پارامترهای اعمال شده را با تئوری علمی مقایسه کرده و برنامه بهینه چاه را تهیه می نماید. در این برنامه سعی شده است که زمان حفاری به کمترین حد خود رسیده و به تبع هزینه ها کاهش یابد.

لازم به ذکر است در این میدان در شروع حفاری سازندهای نفت ده گل از حالت پایه آبی به روغنی تبدیل شده که خود بخود بسیاری از مشکلات حفاری را کم می کند ولی هزینه آن بسیار زیاد می باشد.

در این مطالعه با توجه به خصوصیات سازند عمق لوله های جداری جهت جلوگیری از گل گمشدگی، سیلان چاه با توجه به چاه های حفاری شده پیشنهاد گردیده است.

در حفاری چاه بهینه تمام مته ها الماس مصنوعی انتخاب شده است تا سرعت حفاری بیشتری داشته باشیم. این گونه مته ها نسبت به مته های کاج دار هیدرولیک بیشتری نیاز دارد و احتیاج به جریان بیشتر جهت خنک سازی دارند.

در هنگامی که احتمال وجود آشغال<sup>۲</sup> در چاه موجود است همانند زمان حفاری کفشک لوله جداری به احتمال اینکه ممکن است مته خراب شود در برنامه همیشه از مته های غیر از الماس مصنوعی استفاده شده است.

بیان این نکته ضروری است که برنامه بهینه باید برای حفر چاه های جدید به کار برده شود و در عمل نقاط ضعف آن تقویت شود. مسلماً یک برنامه بهینه خوب باید چندین بار مورد عمل قرار گیرد و بعد از اجرا دوباره بهینه شود و این سلسله مراتب تکرار شود.

stabilizers<sup>1</sup>  
junk<sup>2</sup>

فصل دوم

بهبود سازی حفاری

## ۲-۱- بهینه سازی حفاری<sup>۱</sup>

هدف اصلی بهینه سازی حفاری، دستیابی به حداکثر بازدهی ممکن، تحت شرایط موجود می‌باشد [۱]. پیامد این افزایش بازدهی، کاهش هزینه حفاری هر فوت و رسیدن به اقتصادی ترین حالت ممکن خواهد بود. ورود پایه های علمی و نظری با حفاری سریع<sup>۲</sup> در عملیات حفاری خلیج لوئیزیانا در اواخر ۱۹۵۰ آغاز گردید [۲]. تا سال ۱۹۵۷ تحقیقات انجام شده در زمینه حفاری بر بررسی خواص سیال حفاری و شیمی آن متمرکز بود و از سال ۱۹۶۷ و بطور گسترده در دهه هفتاد، تحقیقات جامعی در زمینه بهینه سازی حفاری و مطالعه تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر سرعت حفاری انجام شد [۱].

پردازش منطقی و تحلیل اثرات متقابل پارامترهای مختلف حفاری طی یک مدلسازی ریاضی، برای رسیدن به حداکثر راندمان، بهینه سازی نامیده می‌شود که مهمترین دستاورد آن، تعیین عوامل قابل کنترل برای رسیدن به کمترین هزینه حفاری می‌باشد [۱]، [۳].

این فرآیند شامل بررسی و مطالعه چاههای مجاور و متغیرهای قابل کنترل از قبیل نوع گل و مته، هیدرولیک، وزن روی مته، سرعت چرخش آن و تعیین هزینه مؤثر می‌باشد. در نهایت متغیرهای پیشنهادی بعنوان پارامترهایی که در پیشرفت پروژه حفاری مؤثر می‌باشند، شناسایی می‌شوند و آخرین مرحله بهینه سازی حفاری، اجرای این طرح در عمل می‌باشد [۱]. ضمن اینکه می‌بایست عکس العمل و پاسخ پارامترهای اعمال شده در طی فاز حفاری، همانند مرحله طراحی، مورد ارزیابی مجدد قرار گیرند [۵]، [۶].

جدول ۲-۲ و ۲-۳ فهرست متغیرهای حفاری را نمایش می‌دهند. جدول ۲-۱ شامل تمام عواملی است که می‌تواند بر راندمان حفاری تأثیر گذار باشد. جدول ۲-۲ لیست عوامل قابل کنترل و تأثیر آنها بر سرعت حفاری و هزینه حفاری را ارائه می‌کند و در نهایت جدول ۲-۳ متغیرهایی را که در بهینه سازی حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی می‌نماید.

جدول ۲-۱- متغیرهای مورد بررسی در حفاری [۱].

وزن روی مته	وضعیت دکل	ذرات جامد گل	نوع جت
زمان پیمایش	عمق	نوع دکل	وزن گل
گروه حفاری	سرعت چرخش	در دسترس بودن آب	برنامه ریزی
اختلاف فشار	قدرت اسب بخار چرخشی	وضعیت لوله‌های حفاری	موجودیت وسایل حفاری
سرعت جت	مکان	نوع مته	گمشدن گل
نرخ گردش	نوع گل	کارخانه سازنده مته	وضعیت جریان گل
مشخصات سنگ	مشکلات چاه	وضعیت جوی	فشار کل

جدول ۲-۲- تأثیر متغیرهای حفاری [۱].

تأثیر			
متغیرها	اهمیت	روی سرعت حفاری	روی هزینه های دکل
عمق	زیاد	کاهش	افزایش
وزن	زیاد	افزایش	هر دو
سرعت چرخش	متوسط	افزایش	هر دو
ذرات جامد گل	زیاد	کاهش	افزایش
تراوایی گل	بستگی به ذرات جامد	افزایش	کاهش
گرانروی	بستگی به ذرات جامد	کاهش	افزایش
سرعت جت	زیاد	افزایش	کاهش
نرخ گردش گل	کم	هر دو	هر دو
فشار کل	زیاد	کاهش	افزایش
اختلاف فشار	زیاد	کاهش	افزایش
مشخصات سنگ	زیاد	هر دو	هر دو
نوع مته	زیاد	هر دو	هر دو

جدول ۳-۲- متغیرهای مورد بررسی در بهینه سازی حفاری [۱].

غیر قابل کنترل	قابل کنترل
سازند	گل
عمق	هیدرولیک
	نوع مته
	سرعت چرخش، وزن

تقسیم بندی ارائه شده در جدول ۲-۳ یک کلاس بندی نهایی نیست چرا که برخی از عوامل غیرقابل کنترل ممکن است تحت تأثیر تغییرات سایر عوامل بصورت قابل کنترل در آیند. برای مثال،



با تغییر در نوع گل، ممکن است مجاز به تغییر مته و در نتیجه تغییر در قابلیت حفاری سازند شویم. پارامترهای موجود در برنامه بهینه سازی حفاری بر یکدیگر اثر متقابل داشته و تغییر در هر کدام بر دیگر پارامترها نیز اثر گذار خواهد بود. این تقابل ها ممکن است مثبت یا منفی باشند. افزایش وزن روی مته و میزان هیدرولیک از جمله تقابل به شمار می رود که به افزایش سرعت حفاری بیش از آنچه هر یک از این پارامترها به تنهایی می توانست دست یابد، منجر خواهد شد. افزایش همزمان وزن روی مته و سرعت چرخش رشته حفاری بدون افزایش در میزان هیدرولیک نیز از مصادیق تقابل منفی محسوب می شود که سرعت حفاری کمتر از افزایش جداگانه هر یک از این عوامل خواهد داشت. اثرات پارامترهای دیگر بر روی هم در جدول ۲-۴ نشان داده شده است [۱].

جدول ۲-۴- تأثیر متقابل پارامترهای حفاری [۱].

اثر متقابل	ترکیب متغیرها
منفی	سرعت چرخش و وزن
مثبت	وزن و هیدرولیک
بی تاثیر	سرعت چرخش و هیدرولیک
مثبت	ذرات جامد کم و هیدرولیک
مثبت	ذرات جامد کم و وزن
بی تاثیر	جنس سازند و نوع مته
مثبت	ذرات جامد کم و نوع مته
منفی	سرعت چرخش و سازند

### ۲-۳- عوامل مورد بررسی در بهینه سازی حفاری<sup>۱</sup>

کسب حداکثر بازدهی در عملیات حفاری یک چاه، در عملکرد اقتصادی پروژه نتیجه خواهد داد. افزایش بازدهی پروژه حفاری متوسط به کنترل عوامل مؤثر در سرعت حفاری و همچنین کنترل هزینه پروژه خواهد بود. رابطه ۲-۳ می تواند برای ثبت هزینه روزانه یا هر مدت زمان دلخواه مورد بررسی، استفاده شود.

$$C_T = \frac{B + C_r(T + T_r)}{F} \dots\dots\dots 2.3$$

که در آن:

<sup>۱</sup> Variables Considered in Optimization

$C_T (\$/ft) =$  هزینه حفاری هر فوت

$C_r = (\$/hr)$  هزینه دستگاه

$T_r = (hr)$  زمان مورد نیاز برای تعویض مته

$B = (\$)$  هزینه مته

$T = (hr)$  زمان حفاری

$F = (ft)$  فاصله حفر شده

این امر به وضوح از رابطه فوق قابل تشخیص است که هزینه حفاری هر فوت، به پنج متغیر وابسته است: سرعت حفاری، عمر مته، هزینه دستگاه حفاری، هزینه مته و زمان غیرحفاری. سایر هزینه های مرتبط نظیر هزینه گل، هزینه های بالاسری، هزینه لوله جدار، تجهیزات آماده به کار<sup>۱</sup>، هزینه حمل و نقل و .. در این رابطه وارد نشده است. پارامترهای حائز اهمیت در رابطه فوق، محاسبه سرعت حفاری و هزینه دستگاه حفاری می باشد. تعیین هزینه دستگاه حفاری ممکن است با دشواریهایی همراه باشد چرا که هزینه عملیاتی دستگاه حفاری بسیار متغیر بوده و به نگهداری و خدمات دستگاه حفاری وابسته است. استفاده حداکثر از فشار پمپ، اعمال وزن بیشتر بر روی مته و استفاده از سرعت چرخش بیشتر می تواند هزینه حفاری را کاهش دهد اما امکان افزایش هزینه های عملیاتی دستگاه نیز وجود دارد، لذا هزینه دستگاه ( $C_r$ ) خود می تواند تابعی از متغیرهای مختلف باشد. رابطه ۲-۴ بسط این تابع را نمایش می دهد.

$$C_r = D + M_p + M_{dp} + M_{dc} + M_r + M_c \dots \dots \dots 2.4$$

که در آن :

$D = (\$/hr)$  هزینه های کارگر، استهلاک، نظارت، بیمه و...

$M_p = (\$/hr)$  نگهداری پمپ

$M_{dc} = (\$/hr)$  نگهداری لوله های طوق مته

$M_{dp} = (\$/hr)$  نگهداری لوله های حفاری

$M_r = (\$/hr)$  نگهداری دستگاه

$M_c = (\$/hr)$  هزینه گل

$D$  یک پارامتر ثابت است اما هزینه نگهداری پمپ ( $M_p$ ) یک فاکتور ثابت نیست. با اعمال وزن و سرعت چرخش بیشتر، نرخ حفاری افزایش یافته و به تبع آن برای تمیزکاری مطلوب چاه مجبور به افزایش فشار پمپ خواهیم بود. رابطه ۲-۵ می تواند برای برآورد اثر فشار پمپ، مورد استفاده قرار گیرد:

$$M_p = A_c e^{-fp} \dots \dots \dots 2.5$$

که در آن:

---

stand by<sup>۱</sup>

ثابت تناسب  $A_c =$

عدد نپر  $e =$

عدد ثابت  $f =$

فشار پمپ (psi)  $P =$

ثابت های فوق بر اساس داده های هزینه فشار از فعالیت های ناحیه ای قابل بر آورد می باشند. هزینه نگهداری لوله های حفاری ( $M_{dp}$ ) قبل از هر چیز به سرعت چرخش وابسته است و می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$M_{dp} = CNL_{dp} \dots \dots \dots 2.6$$

که در آن :

ثابت تناسب  $C =$

سرعت چرخش (rpm)  $N =$

طول لوله حفاری (ft)  $L_{dp} =$

ثابت  $C$  از فعالیت های ناحیه ای قابل محاسبه خواهد بود. هزینه نگهداری لوله های طوق مته ( $M_{dc}$ ) نیز مشابه رابطه ۲-۶ می باشد. هزینه نگهداری دستگاه ( $M_r$ ) تابعی از سرعت چرخش و سرعت تعویض مته<sup>۱</sup> می باشد. رابطه ۲-۷ هزینه دستگاه را بصورت تابعی از دو پارامتر سرعت چرخش و هزینه تحمیل شده در طی تعویض مته نشان می دهد [۲]:

$$M_r = C_1 + C_2 N + C_3 M_{rt} + C_4 M_{wl} \dots \dots \dots 2.7$$

که در آن :

ثابت های قابل بر آورد از داده های ناحیه ای  $C_1, C_2, C_3 =$

نگهداری دستگاه در طی  $M_{rt} = (\$/hr) \text{round Trip}$

نگهداری خطوط کابل  $M_{wl} = (\$/hr) \text{wireline}$

روابط فوق به منظور افزایش دقت محاسبه هزینه دستگاه می تواند مورد استفاده قرار گیرند اما در صورت فقدان اطلاعات کافی، می توان برای محاسبه هزینه دستگاه، نرخ اجاره دستگاه مزبور را در نظر گرفت. برای محاسبه سرعت حفاری، روابط متعددی بیان شده است. لیکن در تمام این روابط، سرعت حفاری با حاصلضرب وزن اعمال شده بر مته و سرعت چرخش آن رابطه مستقیم داشته و تفاوت آنها در اعمال شرایط سازند می باشد [۱۰]. Lummus رابطه سرعت حفاری را بصورت زیر بیان کرده است:

<sup>1</sup> round Trip

$$R = \frac{W^k N^r D_f}{T^p} \dots\dots\dots 2.8$$

در آن :

R = (ft/hr) سرعت حفاری حفاری                      W = (lb) وزن روی مته

T = (in) کند شدگی دندان مته

N = (rpm) سرعت چرخش

K = توان تأثیر وزن روی مته بر نرخ

D<sub>f</sub> = ثابت قابلیت حفاری

P = تأثیر کندشدگی دندان مته بر نرخ حفاری

r = توان تأثیر چرخش بر نرخ حفاری

Moore نیز رابطه زیر را برای محاسبه سرعت حفاری بیان کرده است [۲۰]:

که در آن :

K = ثابت تناسب

R = (ft/hr) سرعت حفاری

W = (lb/in) وزن روی مته

a = 0.4-1 عدد ثابت بین

N = (rpm) سرعت چرخش

توان a بر روی سرعت چرخش، برای سازندهای خیلی سخت برابر ۰،۴ و برای سازندهای نرم یک در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین دقیق مقدار a می بایست از آزمایشات حفاری در ناحیه استفاده کرد. رابطه فوق برای تعیین سرعت حفاری آنی، در هر نقطه و هر زمان قابل استفاده خواهد بود. همچنین این رابطه می تواند برای محاسبه سرعت حفاری میانگین در یک رانش کامل مته مورد استفاده قرار گیرد.

Fullerton و Mechem نیز رابطه ۲-۱۰ را برای پیش بینی سرعت حفاری برای

همبستگی آن با قابلیت حفاری سازند، وزن روی مته و سرعت چرخش معرفی کرده است [۳]:

$$ROP = K_f \times WR \dots\dots\dots 2.10$$

که در آن :

K<sub>f</sub> = قابلیت حفاری سازند

ROP = سرعت حفاری

W = (lb/in) وزن روی مته

R = (rpm) سرعت چرخش