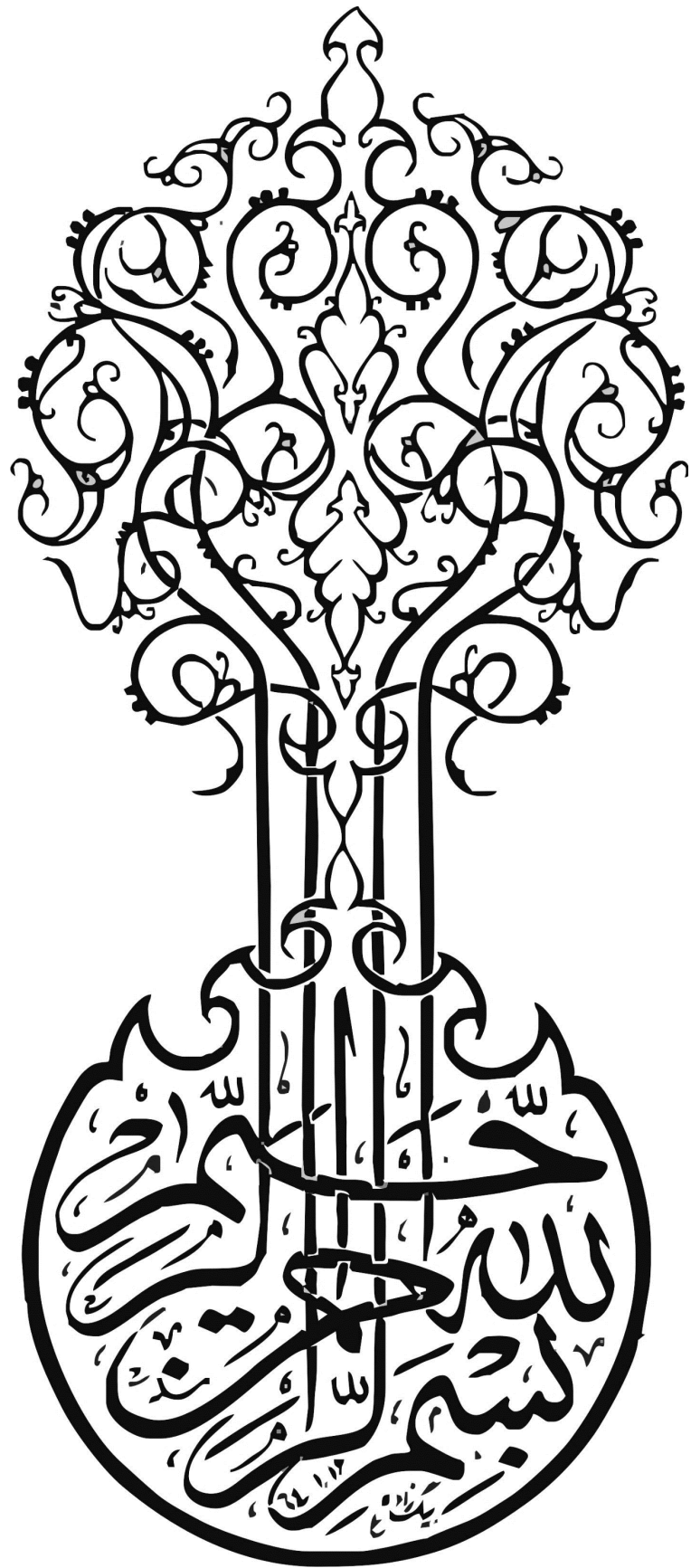






دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی نفت، گرایش حفاری

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد

بررسی و تأثیر انتخاب بهینه مته و پارامترهای حفاری در کاهش هزینه

نگارنده:

مهدی زندی

استاد راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر احمد واعظیان

مهر ۱۴۰۰

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

گاهی بیاییم و احوالشان را بپرسیم

سپاسگزاری

تشکر بی پایان خودم را از استاد عزیز جناب آقای دکتر منصور ضیائی و دکتر احمد واعظیان که زحمت و راهنمایی دلسوزانه در این پایان نامه را عهده دار بوده و در کل مراحل تهیه این رساله از راهنمایی های مدبرانه ایشان بهره برده، ابراز داشته و و برای ایشان توفیقات روز افزون همراه با سلامتی و سعادت را آرزومندم.

از جناب آقای مهندس احسان دانایی راد که مشاوره این پایان نامه را قبول نموده و در انجام این کار دقت و توجه خود را مبذول نموده کمال سپاس را داشته و از خداوند برای ایشان سلامتی و سعادت را خواستارم

تعهد نامه

اینجانب مهدی زندی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت - گرایش حفاری دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی و تأثیر انتخاب بهینه مته و پارامترهای حفاری در کاهش هزینه تحت راهنمایی دکتر منصور ضیایی و دکتر احمد واعظیان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

عملیات حفاری در صنعت نفت، از ارزش بالایی برخوردار می‌باشد و یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های این صنعت محسوب می‌شود بنابراین کاهش هزینه و بالابردن راندمان در این صنعت از توجه زیادی برخوردار بوده. نرخ نفوذ در حفاری کلید اصلی و مهم در عملیات حفاری حساب می‌شود نرخ نفوذ در حفاری معمولاً بر حسب متر از حفاری محاسبه می‌شود که عوامل متعددی بر آن اثرگذار می‌باشد از جمله مته، یک مته حفاری غیر از هزینه مستقیم که قیمت خود مته می‌باشد، تأثیر کاملاً مستقیم بر هزینه‌های دیگر نیز دارد.

این پژوهش که در یکی از میادین جنوب غرب کشور صورت گرفته است. در این پژوهش روش‌های محاسبه هزینه به ازای متر از حفاری ذکر و محاسبه شده است. از آنجا که روش محاسبه هزینه به ازای متر از حفاری برای انتخاب مته روش کامل نمی‌باشد، روش‌های تکمیلی دیگری، همچون روش انرژی ویژه و قابلیت حفاری مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند و مته مناسب به همراه مطلوب‌ترین پارامترها برای حفاری پیشنهاد شد.

پارامترهای میدانی مختلف در کنار انرژی ویژه و قابلیت حفاری برای حفاری این سازند در نمودارهایی توسط نرم افزار LogPlot رسم و مقایسه شد و عملکرد مته و مشکلات احتمالی (هرزروی) در چاه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و سپس پارامترهای میدانی در چاه مبنا توسط نرم افزار LogPlot رسم و بر اساس مته انتخابی، بهترین و مطلوب‌ترین پارامترها جهت حفاری این سازند پیشنهاد شده است.

نتایج به دست آمده از هزینه به ازای متر از کارآمدترین مته‌ها موجود در عملیات حفاری و مناسب و اقتصادی‌ترین ترکیب رانند این مته‌ها با ذکر دلایل انتخاب و برای سازند انتخابی این میدان پیشنهاد شده است. همچنین تعیین پارامترهای حفاری بهینه برای سازند مورد مطالعه در این منطقه، ذکر شده است و در نهایت با استفاده از نتایج حاصل از رسم نمودارها و مقایسه‌های عددی، چاهی به عنوان چاه مبنا و مته‌هایی به عنوان مته‌های مبنا، از هر دو گروه مته‌های الماس مصنوعی و مته‌های غلتان کاج دکمه‌ای، انتخاب شده‌اند و از روش ذکر شده پارامترهای حفاری بهینه، برای دست یافتن به بهینه‌ترین سرعت حفاری، پیشنهاد شده‌اند.

واژگان کلیدی: حفاری، مته حفاری، انرژی ویژه مکانیکی، نمودارگیری سطحی، قابلیت حفاری.

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام پژوهش ۳
- ۱-۳- اهداف پژوهش ۳
- ۱-۴- نوآوری پژوهش ۴
- ۱-۵- ساختار پژوهش ۴

فصل دوم: مبانی نظری پژوهش

- ۲-۱- تاریخچه مته حفاری ۶
- ۲-۲- انتخاب مته ۷
- ۲-۲-۱- مشخصات سازند ۸
- ۲-۲-۲- مشخصات مته ۱۰
- ۲-۲-۳- توانایی دکل حفاری ۱۰
- ۲-۲-۴- رابطه هزینه حفاری واحد طول ۱۰
- ۲-۳- سختی سنگ ۱۳
- ۲-۴- سرعت دوران و وزن روی مته ۱۴
- ۲-۴-۱- شرایط عملیات حفاری ۱۵
- ۲-۵- روش انرژی ویژه مکانیکی ۱۶
- ۲-۵-۱- شاخص کارایی انرژی ویژه ۱۷
- ۲-۵-۲- انتخاب مته بر اساس انرژی ویژه حفاری ۱۸
- ۲-۶- روش قابلیت حفاری ۱۸
- ۲-۷- ویژگی سیال حفاری ۱۹
- ۲-۸- رابطه ویژگی سازند با قابلیت حفاری ۲۰
- ۲-۹- مته حفاری ۲۰

- ۲-۹-۱- مت‌های مخروطی ۲۳
- ۲-۹-۱-۱- کاج ۲۴
- ۲-۹-۱-۲- shirttail ۲۵
- ۲-۹-۱-۳- shank ۲۵
- ۲-۹-۱-۴- یاتاقان‌ها ۲۵
- ۲-۹-۱-۵- زاویه ژورنال ۲۷
- ۲-۹-۱-۶- زاویه انحراف کاج‌های ۲۸
- ۲-۹-۲- مت‌های دندان فولادی ۲۹
- ۲-۹-۳- مت‌های دکمه‌ای (T.C.I) یا اینزرتی کاربید تنگستنی ۳۱
- ۲-۹-۴- مت‌های تیغه ثابت ۳۲
- ۲-۹-۴-۱- ساختمان مت‌های دندان ثابت ۳۲
- ۲-۹-۵- مت‌هایی با بدنه فولادی ۳۳
- ۲-۹-۶- مت‌هایی با بدنه ماتریکس ۳۳
- ۲-۹-۷- الماس‌های مقاوم در برابر دما (T.S.P) ۳۴
- ۲-۱۰- رو سخت کاری ۳۵
- ۲-۱۱- تکنولوژی تولید کاترهای PDC ۳۵
- ۲-۱۲- فرایند تولید کاترهای PDC ۳۶
- ۲-۱۳- مقاومت حرارتی کاتر PDC ۳۸
- ۲-۱۴- بررسی فنی مت‌های کاجی ۳۸
- ۲-۱۴-۱- بررسی فنی و درجه‌بندی مت‌های کاجی به روش ۸-۱ (T.B.G) ۳۹
- فصل سوم: بررسی زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه و پیشنهاد مطالعات
- ۳-۱- معرفی میدان نفتی مورد پژوهش ۴۶
- ۳-۱-۱- چینه‌شناسی ۴۶
- ۳-۱-۲- سازند پابده ۵۲
- ۳-۱-۲-۱- چاه A ۵۳

- ۵۵.....۳-۱-۲-۲-چاه B
- ۵۷.....۳-۱-۲-۳-چاه C
- ۵۹.....۳-۲-پیشینه تحقیق

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج داده ها

- ۶۲.....۴-۱-انتخاب مته حفاری بر اساس هزینه بر مترآژ
- ۶۳.....۴-۱-۱-چاه A
- ۶۶.....۴-۱-۲-چاه B
- ۶۷.....۴-۱-۳-چاه C
- ۷۷.....۴-۲-انرژی مکانیکی
- ۷۹.....۴-۳-ضریب قابلیت حفاری
- ۸۹.....۴-۴-بهینه سازی حفاری
- ۹۰.....۴-۴-۱-تست تعیین پارامترهای بهینه برای حفاری
- ۹۰.....۴-۴-۱-۱-تعیین وزن روی مته بهینه
- ۹۱.....۴-۴-۲-تعیین مقدار بهینه دوران مته در دقیقه
- ۹۵.....۴-۴-۲-پارامترهای بهینه سازی شده برای مته M۳۲۳ در چاه C
- ۹۵.....۴-۴-۲-۱-قسمت های نرم و متوسط سازنده پابده
- ۹۶.....۴-۴-۲-۲-قسمت های سازنده سخت
- ۹۹.....۴-۴-۳-پارامترهای بهینه سازی برای مته دکمه ای TCI
- ۹۹.....۴-۴-۳-۱-قسمت های نرم سازنده پابده
- ۹۹.....۴-۴-۳-۲-قسمت های سخت سازنده پابده

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۰۵-۱-بررسی هزینه ها و ترکیب راندن مته و انتخاب بهترین ترکیب برای حفاری سازند پابده از نقطه نظر هزینه به ازای مترآژ حفاری و هزینه های تمام شده.....۱۰۲
- ۱۰۵-۱-۱-مته دکمه ای TCI.....۱۰۲
- ۱۰۵-۲-۱-مته ای دکمه ای به همراه مته M۴۲۳.....۱۰۲

- ۱۰۲.....M۳۲۳ با کد PDC مته ۳-۱-۵
- ۱۰۳.....پیشنهاد بهترین ترکیب متها برای حفاری سازند پابده و کل بازه "۱۲۱/۲ میدان مطالعه ۲-۵
- ۱۰۴.....پیشنهادهای ۳-۵
- ۱۰۵.....منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: رابطه سرعت حفاری و وزن بر روی مته ۱۴
- شکل ۲-۲: قسمت اصلی یک مته کاجی..... ۲۴
- شکل ۳-۲: سطح مقطع یاتاقان‌ها در مته ۲۵
- شکل ۴-۲: سیستم‌های یاتاقان غلتکی ۲۶
- شکل ۵-۲: زاویه ژورنال ۲۷
- شکل ۶-۲: ژورنال در مته کاج ۲۹
- شکل ۷-۲: انحراف کاج‌های مته از یکدیگر (OFFSET) ۲۹
- شکل ۸-۲: فرایند تولید کاتر PDC ۳۶
- شکل ۹-۲: فرایند L.S.B ، سطح PDC توسط آب در حال چرخش..... ۳۷
- شکل ۱۰-۲: نمودار رفتار مقاومت ضربه‌ای و مقاومت سایشی مته PDC ۳۸
- شکل ۱۱-۲: درجه‌بندی دندان‌ها مته، بلندی یک دندان را کامل یا نو باشد نمره این دندان صفر است و اگر تمام دندان ساییده یا شکسته شود نمره آن ۸ است ۴۰
- شکل ۱۲-۲: روش اندازه‌گیری قطر مته سه کاج..... ۴۳
- شکل ۱۳-۲: روش اندازه‌گیری قطر مته دو کاج..... ۴۴
- شکل ۱-۳: میدان نفتی مورد پژوهش..... ۴۶
- شکل ۲-۳: نگار فراهم شده جاه A توسط LOGPLOT ۵۴
- شکل ۳-۳: نگار فراهم شده جاه B توسط LOGPLOT ۵۶
- شکل ۴-۳: نگار فراهم شده چاه C توسط LOGPLOT ۵۸
- شکل ۱-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه A ۶۳
- شکل ۲-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته (۲RR) M۴۲۳ ۶۴
- شکل ۴-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته ۵۳۷ ۶۵
- شکل ۴-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته M۴۲۳ ۶۵
- شکل ۵-۴: نمودار کل مترژ حفاری شده در چاه B ۶۶
- شکل ۶-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته ۵۳۷ ۶۷
- شکل ۷-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته M۴۲۳ ۶۷
- شکل ۸-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه C ۶۸
- شکل ۹-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه M۳۲۳ ۶۸
- شکل ۱۰-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه (۳RR) M۳۲۳ ۶۹
- شکل ۱۱-۴: نمودار هزینه تحمیل شده (دلار) به هزینه هر متر حفاری در سه سازندهای مورد بررسی ۷۱

- شکل ۴-۱۲: نمودار مقایسه قیمت مته‌های بکار رفته در این مطالعه و مقایسه آن‌ها..... ۷۷
- شکل ۴-۱۳: تغییر نرخ حفاری و قابلیت حفاری در سازند..... ۸۰
- شکل ۴-۱۴: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته (۲RR) M۴۲۳ در چاه A..... ۸۲
- شکل ۴-۱۵: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته ۵۳۷ در چاه A..... ۸۳
- شکل ۴-۱۶: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته M۴۲۳ در چاه A..... ۸۳
- شکل ۴-۱۷: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته M۳۲۳ در چاه B..... ۸۴
- شکل ۴-۱۸: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته (۳RR) M۳۲۳ در چاه B..... ۸۵
- شکل ۴-۱۹: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته ۵۳۷ در چاه C..... ۸۵
- شکل ۴-۲۰: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نصب به عمق در مته M۴۲۳ در چاه C..... ۸۷
- شکل ۴-۲۱: ترسیم سرعت حفاری (ROP) - در مقابل وزن روی مته (WOB) برای یک آزمایش DOT..... ۹۲
- شکل ۴-۲۲: ترسیم سرعت حفاری (ROP) - در مقابل دوران مته در دقیقه (RPM) برای یک آزمایش DOT..... ۹۲
- شکل ۴-۲۳: نمایش نقاط ترسیمی سرعت حفاری به وزن روی مته در چاه C..... ۹۳
- شکل ۴-۲۴: نمودار LOGPLOT پارامترهای حاصل از انتخاب مته مبنا PD..... ۹۴
- شکل ۴-۲۵: مترآژ حفاری، مجموع ساعت‌های حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه A و مقدار کل ساعت‌ها، مترآژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)..... ۹۶
- شکل ۴-۲۶: مترآژ حفاری، مجموع ساعت‌های حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه B و مقدار کل ساعت‌ها، مترآژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)..... ۹۷
- شکل ۴-۲۷: مترآژ حفاری، مجموع ساعت‌های حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه C و مقدار کل ساعت‌ها، مترآژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)..... ۹۷
- شکل ۴-۲۸: نمودار LOGPLOT پارامترهای حاصل از انتخاب مته مبنا TCI..... ۹۸

فهرست جداول

جدول ۱-۲: کدگذاری L.A.D.C برای مته غلتان کاج یا کاج دار.....	۴۴
جدول ۱-۴: هزینه اجاره‌ای عملیات حفاری	۶۲
جدول ۲-۴: مشخصات و درجه‌بندی فرسودگی مته‌های مورد بررسی	۶۳
جدول ۳-۴: مجموعه هزینه‌ها برای هر یک از مته‌های حفاری	۷۰
جدول ۴-۴: محاسبه هزینه کل به‌ازای مترآژ حفاری میانگین برای هر چاه.....	۷۲
جدول ۵-۴: مقایسه هزینه ترکیب رانده مته‌ها جهت انتخاب بهترین ترکیب ممکن از نقطه‌نظر هزینه به‌ازای مترآژ حفاری.....	۷۶
جدول ۶-۴: مقایسه کارایی مته‌های Bit Performance Comparison	۸۸
جدول ۷-۴: پارامترهای مؤثر در بهینه‌سازی حفاری.....	۸۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

عملیات حفاری در صنعت نفت، از ارزش بالایی برخوردار می‌باشد و یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های این صنعت محسوب می‌شود بنابراین کاهش هزینه و بالا بردن راندمان در این صنعت مورد توجه زیادی برخوردار می‌باشد. موارد متعددی بر عملکرد حفاری اثرگذار است از جمله اقتصادی و فنی و سیاسی، در این پژوهش تلاش شده است تا پارامترهای کلیدی و اساسی اثرگذار بر حفاری مورد بررسی قرار گرفته نرخ نفوذ^۱ در حفاری کلید اصلی و مهم در عملیات حفاری حساب می‌شود نرخ نفوذ در حفاری معمولاً بر حسب متر از حفاری^۲ محاسبه می‌شود که عوامل متعددی بر آن اثرگذار می‌باشد [۱].

انتخاب صحیح عوامل اثرگذار بر روی نرخ نفوذ در برنامه عملیات حفاری بسیار مهم می‌باشد و می‌تواند نرخ نفوذ را افزایش دهد البته افزایش مقدار نرخ نفوذ باید بهینه‌سازی^۳ شده باشد به دلیل افزایش غیراصولی این عوامل منجر به شکسته شدن سنگ مخزن و هرزروی^۴ سیال حفاری می‌شود. بهینه‌سازی نرخ نفوذ منجر به افزایش سرعت حفاری و در نتیجه کاهش زمان حفاری و در نهایت کاهش هزینه‌های در عملیات حفاری خواهد شد؛ بنابراین عامل اصلی بهینه‌سازی حفاری، نرخ نفوذ می‌باشد. نرخ نفوذ، به پارامترهای قابل کنترل و اثرگذار در نرخ نفوذ مانند نوع مته^۵ و سرعت چرخش مته^۶ و وزن روی مته^۷ و توان مؤثر هیدرولیکی^۸ وابستگی دارد. این پژوهش نیز به بررسی مته و پارامترهای بهینه در یکی از میدان نفتی در جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین مته از طریق متر از حفاری انتخاب برای سازند و همچنین بازه‌ای انتخابی معرفی گردید و بعد از انتخاب مته و رسم پارامترهای میدانی مختلف توسط LogPlot مشکلات احتمالی (هرزروی و

^۱ ROP: Rate of Penetration

^۲ Cost Per Foot

^۳ Drilling Optimization

^۴ Loss

^۵ Bit Type

^۶ RPM: Revolution Per Minute

^۷ WOB: Weight on Bit

^۸ Hydraulics

غیره) بررسی شد و برای حفاری سازند انتخابی در نمودارهایی رسم شده توسط LogPlot مقایسه شده‌اند و سپس بهترین و مطلوب‌ترین پارامترها جهت حفاری این سازند برای مته‌ها پیشنهاد شده است.

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام پژوهش

هدف از عملیات حفاری، حفاری لایه‌های مختلف زمین‌شناسی در جهت رسیدن به نفت و گاز و دستیابی به منابع با ارزش هیدروکربنی است که هزینه‌های سنگین در قسمت بالادستی صنعت نفت به خود اختصاص داده است یک مته حفاری غیر از هزینه مستقیم که قیمت خود مته می‌باشد، تأثیر کاملاً مستقیم بر هزینه‌های دیگر دارد. برای مثال اگر مته‌ای ساعت کارکرد طولانی‌تری داشته باشد، زمان‌های پیمایش چاه جهت تعویض این ابزار کم شده و در نتیجه هزینه به ازای متر از حفاری و در نهایت هزینه تمام شده به ازای حفر یک چاه، کاهش می‌یابد. نظر به اینکه سازند پابده، سازندی متشکل از لیتولوژی‌های متفاوت می‌باشد، در مواردی به دلیل انتخاب نادرست مته، واحد پیمانکار حفاری متحمل هزینه‌های از دست دادن مته و تحمیل پیمایش چاه جهت تعویض مته شده است، لذا انتخاب مته مناسب برای حفاری این سازند و همچنین پارامترهای بهینه مربوط به آن، ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش روش‌های محاسبه هزینه به ازای متر از حفاری و روش‌های مقایسه عملکرد مته‌ها و هزینه‌های تکمیلی آن‌ها ذکر شده‌اند و در نتیجه میزان هزینه به ازای متر از حفاری هر یک نیز متفاوت است. از آنجا که روش محاسبه هزینه به ازای متر از حفاری برای انتخاب مته روش کامل و بی نقصی نمی‌باشد، روش‌های تکمیلی دیگری، مانند روش انرژی ویژه، و قابلیت حفاری و روش‌های دیگر، مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند در این قسمت نیز نمودارهای کاربردی جهت ارزیابی، با استفاده از اطلاعات میدانی رسم شده، و مته مناسب جهت این بازه پیشنهاد گردیده است. در آخر این مبحث، وجود یا عدم وجود روش‌های تکمیلی انتخاب مته و چگونگی استفاده از آن‌ها در سیستم‌های پیشرفته نمودارگیری سطح الارضی ارائه شده است. بعد از انتخاب مناسب‌ترین مته، پارامترهای میدانی مختلف، برای حفاری این سازند در نمودارهایی رسم شده، و مقایسه شده‌اند. سپس بهترین و مطلوب‌ترین پارامترها جهت حفاری این سازند پیشنهاد شده است.

۱-۳- اهداف پژوهش

با توجه به تکنولوژی حفاری دهه گذشته، تکنولوژی حفاری دستخوش تغییرات وسیعی شده است [۱]. در این پژوهش به بررسی روشی نوین در بهینه‌سازی حفاری پرداخته شده است. هدف این پژوهش کاهش هزینه‌های حفاری با انتخاب بهینه مته و همچنین ارائه بهینه‌ترین پارامترهای حفاری برای چاه انتخابی می‌باشد در این پژوهش، در یکی از سازنده‌های مشکل‌ساز که باعث هزینه‌های زیادی بر عملیات حفاری می‌شود الگو معرفی شده تا بهینه‌ترین پارامترهای حفاری، با استفاده از داده‌های میدانی و مقایسه بین چاه‌های مورد مطالعه باعث کاهش هزینه و زمان در عملیات حفاری شود.

۱-۴- نوآوری پژوهش

نوآوری‌های این پژوهش به سه دسته کلی تقسیم شده است. دسته اول تنها به بررسی سازنده پابده و ارائه پارامترهای بهینه برای این سازند و کاهش مشکلات حفاری این سازند می‌باشد. دسته دوم در ارتباط تعویض مته و شناسایی هرزروی گل حفاری به انرژی ویژه و قابلیت حفاری و سایر پارامترها به همراه لیتولوژی سازند است. دسته سوم در ارتباط با بررسی لحظه‌ای پارامترهای حفاری و مته و در نتیجه بهبود عملکردی مناسب‌تر در شرایط عملیات حفاری می‌باشد.

۱-۵- ساختار پژوهش

این پژوهش از ۵ فصل تشکیل شده است. در فصل بعدی، ضمن معرفی مته‌های حفاری، کلیاتی درباره روش‌های محاسبه روش‌های استفاده شده، ارائه خواهد شد. در فصل سوم، مباحث زمین‌شناسی منطقه موردنظر و همچنین مطالعات پیشین در مناطق مورد مطالعه به منظور بهینه‌سازی بررسی خواهد شد. در فصل چهارم به انتخاب بهینه مته و ارائه یک الگو، فرایند ترکیب انرژی ویژه و قابلیت حفاری و سایر پارامترها بررسی و در نمودار LogPlot ارائه شده مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت بهینه‌ترین پارامترهای را برای سازند فوق ارائه می‌گردد. در فصل پنجم این پژوهش نتایج به دست آمده و پیشنهادات برای بهبود آن ارائه خواهد شد.

فصل دوم

مبانی نظری پژوهش

۲-۱- تاریخچه مته حفاری

تاریخ مته به زمان علاقه انسان به کندن زمین برای کاوش و ابزار اولیه که شامل استخوان و چوب است که با گذر زمان و پیشرفت در تمدن انسان این ابزار نیز دچار دگرگونی شده و در نهایت به شکل مته‌های امروزی درآمده است. تا قبل از قرن بیستم هدف از حفاری، کاوش نفت یا آب بوده و مته‌ها آن زمان عمدتاً به صورت تیغه‌ای بوده‌اند. در سال ۱۹۵۱ مته‌های دم ماهی^۱ به وجود آمده و به نام الماس سیاه معروف شدند. به این گونه مته‌ها، مته‌های سایشی^۲ نیز گفته می‌شود که به صورت یک، دو و یا سه تیغه بوده و در اعماق کم استفاده می‌شد. تا قبل از سال ۱۹۱۴ جریان سیال از داخل لوله‌های حفاری بود و از زیر متصل شدن مته در داخل چاه ادامه داشته و در جریان سیال را به صورت مستقیم بر روی تیغه‌های مته طراحی شد تا کارایی این مته‌ها را، به خصوص در طبقات نرم، افزایش دهند [۲].

شرکت هیوز^۳ قدیمی‌ترین شرکت سازنده مته می‌باشد که اولین مته خود را که مته‌ای چرخشی و دو کاجه بود، در سال ۱۹۰۹ میلادی طراحی و به بازار عرضه کرد. این مته تا سال ۱۹۱۷ یک‌ه‌تاز میدان‌های نفتی بود [۲].

در سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۰ مهندسين حفاری تحقیقات وسیعی در مورد طراحی پارامترهای هیدرولیک، گل، وزن روی مته و سرعت دوران، به منظور افزایش نرخ نفوذ، انجام دادند. در این سال‌ها مسئله دوام‌پذیری^۴ و سخت رویه کردن^۵ مته مورد توجه قرار گرفت و مته‌های تنگستن کارباید که دارای عمر طولانی‌تری نسبت به مته‌های قبلی بودند، متداول شدند. این روند پیشرفت با نیاز به حفاری در اعماق بیشتر شدت گرفت و مته‌های دو و سه کاجه به صورت دندان‌های و دکمه‌ای ساخته شدند و پس از آنها مته‌های الماس طبیعی و PDC نیز به صنعت حفاری معرفی گردید [۲].

^۱ Fishtail

^۲ Drag Bit

^۳ Hughes

^۴ Durability

^۵ Hard Facing

مهم‌ترین عوامل در کاهش زمان در عملیات حفاری شامل موارد زیر است:

- (۱) هیدرولیک^۱
- (۲) وزن روی مته
- (۳) سرعت دوران^۲
- (۴) نوع مته
- (۵) خواص گل حفاری
- (۶) خصوصیات سازند حفاری

عوامل متعددی در کل هزینه‌های حفاری بر چاه نفت تأثیرگذار است مهم‌ترین آنها ابزاری که در حفاری سازند به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر هزینه تمام شده در حفاری اثرگذار بوده، انتخاب مته حفاری می‌باشد [۳]. از طرف دیگر سرعت حفاری، وابسته به این وسیله بوده، تکنولوژی که در ساخت مته بکار می‌رود پیچیده‌ای بوده که با توجه به سطح دانش و تجربه هر شرکت سازنده‌ای با هم فرق داشته و حتی اختلاف‌های جزئی در ساخت این ابزار بر زمان حفاری در چاه و میزان فرسودگی سایر ابزار و کل هزینه حفاری تأثیر چشمگیری را خواهد داشت [۴].

۲-۲- انتخاب مته^۳

انتخاب مته مناسب جهت حفاری از عوامل بسیار مهمی است که می‌تواند هزینه حفاری یک چاه را تا حد قابل‌توجهی کاهش دهد و در حالی که هزینه مربوط به مته، ۳٪ - ۸٪ کل هزینه حفر یک چاه را شامل می‌شود ولی همین درصد پایین مته می‌تواند زمان تکمیل یک چاه را به کمتر از نصف زمان قابل انتظار کاهش دهد [۵].

^۱ Hydraulics

^۲ RPM: Revolution Per Minute

^۳ Bit Selection

در انتخاب یک مته، عوامل مهم زیر مؤثر می‌باشند:

- مشخصات سازندی^۱
- مشخصات مته^۲
- مشخصات دکل حفاری^۳
- هزینه حفاری حفاری^۴ (هر متر از چاه)

۲-۲-۱- مشخصات سازند

خواص سازند قابل تغییر نبوده اما نقش مهم را در سرعت حفاری داشته که با شناسایی این خصوصیات سازند قبل از حفاری، به طراحی برنامه مناسب و صحیح برای حفاری چاه اقدام کرد. خواص سازندی که در انتخاب مته مؤثر می‌باشند عبارت‌اند از:

- (۱) مقاومت تراکمی^۵
- (۲) خاصیت الاستیسیته سنگ^۶
- (۳) ساینده‌گی سنگ^۷
- (۴) فشار فرا تعادلی^۸
- (۵) تخلخل و تراوایی^۹
- (۶) فشار تخلخل^{۱۰}
- (۷) چسبندگی سازند^{۱۱}

^۱ Formation Information

^۲ Bit Information

^۳ Rig Information

^۴ Drilling Cost Per Meter

^۵ Compressive Strength

^۶ Elasticit

^۷ Abrasiveness

^۸ Overburden Pressure

^۹ Porosity And Permeability

^{۱۰} Porosity pressure

^{۱۱} Stickiness

خواص موردنظر فوق را می‌توان از طریق اطلاعات چاه‌های مجاور که به روش‌های زیر به دست آمده‌اند تعیین نمود:

- سن و نام سازند - MUD Logs
 - نمودار چاه از قبیل، Sonic Neutron log, Gamma ray, Resistivity
 - Drilling Record
 - Stratigraphic Cross Section-Core Analyses
- با تعیین خواص سازندی می‌توان سازندها را به‌صورت زیر طبقه‌بندی نموده و با استفاده از جدول I.A.D.C متنها، مته مناسب را جهت حفاری سازند انتخاب نمود.

- سازند نرم^۱
 - سازند نرم متوسط^۲
 - سازند سخت متوسط^۳
 - سازند سخت^۴
- بر اساس قوانین عمومی، مت‌های دندان بلند جهت حفاری سازندهای نرم و مت‌های دندان کوتاه برای سازندهای سخت بکار گرفت. در سازندهای بسیار سخت مثل چرت که سرعت حفاری مت‌های دندان‌هایی در آن کم بوده و از لحاظ اقتصادی مناسب نیست. از مت‌های PDC نیایستی کار کرد. چون کاترهای PDC به‌سرعت شکسته شده و باعث نابودی مته می‌شود و لایه‌ها را باید توسط مت‌های دکمه‌ای دندان کوتاه (سخت سازند) حفاری نمود.

^۱ Soft Formation

^۲ Medium Soft Formation

^۳ Medium Hard Formation

^۴ Hard Formation

۲-۲-۲- مشخصات مته^۱

مته‌های تیغه ثابت و مته‌های کاجی جهت حفاری محدوده وسیعی از سازندها طراحی و استفاده می‌گردند و بر این اساس جدول مربوط به I.A.D.C راهنمای خوبی جهت انتخاب مته مناسب می‌باشد. اساساً در سازندهای سطحی^۲ که سازند نرم و نامستحکم می‌باشد از مته‌های مته سنگی^۳ که دارای دندانه‌های بلند می‌باشند استفاده می‌گردد هر جا که استفاده از مته‌های سنگی مقرون به صرفه نباشد، از مته‌های PDC استفاده می‌گردد. همچنین استفاده از گزارش مته‌های استفاده شده در چاه‌های مشابه (Offset Well) راهنمای بسیار خوبی جهت انتخاب مته مناسب جهت چاه‌های بعدی می‌باشند.

۲-۲-۳- توانایی دکل حفاری^۴

توانایی‌های دکل از عوامل مهمی می‌باشند که در انتخاب مته، بخصوص مته‌های PDC حائز اهمیت می‌باشند و بایستی که دکل را به گونه‌ای کامل که مته، سرعت میز دوار، وزن روی مته، را تأمین نموده و با تهیه پارامترهای مناسب هیدرولیکی و مکانیکی و انتخاب بهینه مته سرعت حفاری را افزایش داده.

۲-۲-۴- رابطه هزینه حفاری واحد طول

در هزینه حفاری بازه حفاری شده از یک چاه، در یک راندن مته، مجموع قیمت مته، هزینه تعویض مته و هزینه عملیاتی دکل حفاری برای زمان مورد نیاز برای حفاری آن بازه می‌باشد. اگر هزینه راندن مته بر طول حفاری شده تقسیم شود، هزینه حفاری واحد طول بازه حفاری^۵ شده به دست می‌آید. هزینه حفاری واحد طول یک مته معین، در صورت انتخاب صحیح وزن روی مته و سرعت دوران، حداقل خواهد بود. وزن روی مته و سرعت دو پارامتر تأثیر گذارند [۶،۷].

^۱ Bit Information

^۲ Top Hole

^۳ Rock Bits

^۴ Rig Capacity

^۵ Cost Per Foot Equation

$$C_f = \frac{C_b + C_r(t_b + t_c + t_t)}{\Delta D} \quad (۱-۲)$$

C_f : هزینه کل به متر از ^۱ (\$/ft)

C_b : هزینه مته ^۲ (\$)

C_r : هزینه دکل حفاری بر ساعت ^۳ (\$/hr)

ΔD : متر از حفاری شده ^۴ (ft)

t_b : زمان حفاری ^۵ (hrs)

t_c : زمان توقف مته ^۶ (hrs.)

t_r : زمان بالا و پایین بردن رشته حفاری و تعویض مته ^۷ (hrs.)

با توجه به گزارشات روزانه حفاری زمان توقف مته جزئی از زمان حفاری است؛ پس رابطه بالا به صورت زیر خواهد بود.

$$C_f = \frac{C_b + C_r(t_b + t_t)}{\Delta D} \quad (۲-۲)$$

که در آن C_f هزینه حفاری واحد طول، C_b قیمت مته و C_r هزینه های ثابت عملیاتی دکل حفاری در واحد زمان و مستقل از سایر عوامل مورد تحلیل قرار گرفت.

معادله بالا را می توان به صورت کامل تر بیان کرد زمانی که مته درون چاه هست ولی حفاری انجام نمی شود (تعمیرات یا هرزروی) به صورت زمان های متفرقه (T_{other}) می باشد و می توان رابطه به صورت کامل تر به شرح زیر بیان کرد.

$$C_t = \frac{(b_c + t_c + m_c) + (t_d + t_{rt} + t_{other}) \times (r_c + s_c + t_{rc})}{(rop \times t_d)} \quad (۳-۲)$$

^۱ Total Cost Per Foot

^۲ Bit Cost

^۳ Rig Cost Per Hour

^۴ Drilled Depth

^۵ Drilling Time

^۶ Non-Rotating Time

^۷ Round Trip Time

C_t : هزینه متر از حفاری ^۱ (\$/ft)

T_c : هزینه تعمیر و نصب دستگاه ^۲ (\$)

M_C : هزینه گل ^۳ (\$)

T_d : بازه زمانی عملیات حفاری ^۴ (hr)

T_{rt} : بازه زمانی عملیات پیمایش ^۵ (hr)

R_c : هزینه‌های روزانه دکل حفاری ^۶ (\$/ft)

S_c : هزینه‌های عملیات های پشتیبانی ^۷ (\$/ft)

T_{rc} : هزینه‌های مربوط به دستگاه‌های اجاره‌ای ^۸ (پیمایش و سایر موارد) (\$/ft)

ROP: نرخ نفوذ (ft/\$)

T_{other} : زمان های غیر از عملیات حفار (تعمیرات و تکمیل یا سایر موارد) (hr)

متوسط زمان مورد نیاز برای بالا و پایین بردن رشته حفاری و تعویض مته برای اعماق مختلف چاه و اندازه‌های مختلف مته را می‌توان از جداول موجود استخراج نمود. به‌جای استفاده از جدول، یک روش مناسب و استاندارد دیگر، در نظر گرفتن مقدار یک ساعت به‌ازای هر ۱۰۰۰ فوت (۳۰۵ متر) عمق، می‌باشد.

تا زمانی که تابع هزینه حفاری عوامل ریسک حفاری را در نظر نمی‌گیرد، نتایج ارزیابی هزینه حفاری بایستی توسط قضاوت مهندسی اصلاح گردند. در صورتی که ریسک برخورد با مشکلات حفاری مانند گیر کردن لوله، انحراف چاه و غیره به‌طور چشمگیر افزایش یابند، کاهش هزینه راندن یک مته لزوماً باعث کاهش هزینه یک چاه نمی‌گردد [۸].

^۱ Cost Per Foot

^۲ Bit Cost

^۳ Mud Costs

^۴ Drilling Time

^۵ Tripping Time

^۶ Rig Cost

^۷ Support Costs

^۸ Other Or Non-Drilling Times

روش‌های متفاوتی برای انتخاب بهترین مته از روش‌های متفاوت استفاده می‌شود که معروف‌ترین و پرکاربردترین آنها مته‌های بکار رفته در صنعت حفاری است که در عملیات حفاری چاه از روش تخمین هزینه به‌ازای متر از هر حفاری که مهم‌ترین عامل در بهینه‌کردن مته می‌باشد که هر مته در بازه حفاری برای هر سازند به دلیل وابستگی به زمان، کاهش زمان حفاری منجر به کاهش هزینه‌ها در طول عملیات حفاری می‌شود؛ بنابراین نرخ نفوذ مته به‌ازای هر متر در طول زمان حفاری مورد توجه است.

برای کاهش زمان حفاری، تخمین درست از پارامترهایی که اثر قابل توجه دارند ضروری است. با شناخت صحیح خواص سازند قبل از عملیات حفاری می‌تواند نقش اساسی در سرعت حفاری داشته باشد با شناخت درست از خواص سازند می‌توان برنامه مناسبی قبل از عملیات حفاری طراحی نمود. گل حفاری باعث افزایش هزینه زیادی می‌شود و مانند خواص سازند غیرقابل کنترل است. انتخاب نوع مته و پارامترهای حفاری از مهم‌ترین عوامل در بهینه‌سازی در کاهش زمان در عملیات حفاری است. تعیین درست این پارامترها در برنامه حفاری موجب افزایش نرخ نفوذ مته می‌شود. این افزایش باید حساب شده باشد زیرا افزایش غیراصولی موجب شکسته شدن سنگ مخزن شده و باعث هرزروی گل حفاری می‌شود؛ بنابراین برای بهینه‌سازی از روش انرژی و مدول سرعت نرخ نفوذ خاص بهره می‌گیرند. برای پیش‌بینی نرخ نفوذ مته مدل‌های ریاضی متعددی ارائه شده است. یک مدل جامع شامل تمامی پارامترها اثرگذار بر نرخ نفوذ مته می‌باشد و هر چه تعداد پارامترها بیشتر باشد، مدل کامل‌تر است [۹].

۲-۳- سختی سنگ^۱

سختی سنگ در گزینش مته مؤثر بوده و پارامتر سختی IADC عامل مهم از ویژگی سازند که در تقسیم‌بندی قرار گرفته، سختی یک کانی از طریق ابزارهای مانند سوزن برنجی، ناخن دست، کوارتز یا جسم فولادی در مقیاس موهس^۲ سنجش می‌شود که در عملیات حفاری چاه سرو کار ما با سازند بوده که ارزشیابی سختی

^۱ Hardness

^۲ Mohs Hardness

سنگ ها پیچیده می باشد و سختی یک سنگ جدا از سختی کانی های تشکیل شده به سنگ وابسته بوده، به سختی باندهای متصل شده کانیها و به عامل سنگ بستگی دارد. برای نمونه، سنگ کوارتزیت که از دانه های کوارتز با باند سیلیس به وجود آمده و عامل آن دگرگونی است که سخت و درجه سختی آن معادل ۷ می باشد. اما ماسه سنگ آهکی با منشأ رسوبی با چاقو خط برداشته در صورتی که همین ماسه سنگ آهکی نیز حاوی درصد بالایی از کانی کوارتز می باشد [۱۰].

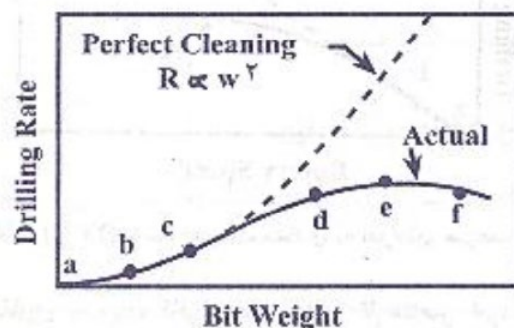
۴-۲- سرعت دوران^۱ و وزن روی مته^۲

پیش بینی مؤثرترین وزن روی مته و سرعت دوران مته در طبقات مختلف کاری بسیار مشکل است. علت زیادی در آمیزش این دو عامل اساسی مؤثر می باشند. فاکتورهای مکانیکی حفاری چاه عبارت اند از:

۱. وزن روی مته

۲. حرکت قسمت های خردکننده در مقابل طبقات

اگر مقدار بار روی مته کم باشد باعث کاهش سرعت حفاری می شود و عکس حالت فوق نیز موجب کندی و افزایش هزینه های حفاری خواهد شد، به عبارت دیگر اگر بار روی مته بیش از حد مجاز باشد مته نمی تواند به صورت آزاد تحرک داشته باشد و سرعت حفاری کم خواهد شد.



شکل ۱-۲: رابطه سرعت حفاری و وزن بر روی مته [۱۱]

^۱ ROP: Rate of Penetration

^۲ WOB: Weight on Bit

در شکل ۱-۲ نقطه a کمترین وزنی که بر مته باید اعمال کنیم تا دندانه‌های مته درون سازند وارد شود و عملیات حفاری شروع شود از نقطه a تا نقطه b هرچقدر وزن بر روی مته افزایش پیدا کند سرعت حفاری نیز به سرعت افزایش پیدا می‌کند. از نقطه b تا نقطه c رابطه سرعت حفاری و وزن بر روی مته به شکل خطی می‌باشد و از نقطه c تا نقطه e افزایش سرعت با شیب کمتری افزایش می‌یابد اما از نقطه e افزایش وزن بر روی مته نه تنها باعث افزایش سرعت حفاری نمی‌شود بلکه باعث کاهش سرعت حفاری می‌شود. به دلیل اینکه کنده‌های حفاری به سطح منتقل نمی‌شود و باعث می‌شود کنده‌های حفاری اطراف مته را احاطه و مته را دفن کند. با روند نزولی تعداد دور مته حفاری، سطح تماس مته با سنگ کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه سرعت حفاری نیز کاهش می‌یابد و بر عکس با افزایش تعداد دور مته باعث افزایش سرعت حفاری می‌شود از طرفی با افزایش تعداد دور مته به بیش از حد افزایش یابد به علت تماس کمتر مته‌ها با سنگ و عدم انتقال انرژی به صورت کامل علاوه بر اینکه موجب کاهش سرعت حفاری شود باعث ثابت ماندن یا کاهش سرعت حفاری نیز شود در نتیجه بهترین محدوده سرعت در محدوده نقطه b تا نقطه c است [۱۱].

از طرفی افزایش تعداد دور مته علاوه بر مشکلات بالا، باعث ایجاد ارتعاش یا نوسان بسیار زیاد می‌کند نتیجه آن کاهش سرعت حفاری و همچنین فرسایش دندانه مته و لوله حفاری می‌شود بنابراین باید سرعت حفاری و وزن بر روی مته بهینه‌سازی شود [۱۲].

۲-۴-۱- شرایط عملیات حفاری

اثر وزن بر روی مته و تعداد دور مته در دقیقه بر روی نرخ نفوذ هم در آزمایشگاه‌ها و همچنین در مناطق عملیاتی مختلف و تجربه‌ای مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است [۱۳].

با افزایش وزن روی مته تا نقطه a، نرخ نفوذ قابل توجه ای مشاهده نمی‌شود اما بعد از آن با افزایش وزن روی مته، نرخ نفوذ افزایش می‌یابد بنابراین با افزایش وزن بر روی مته یک افزایش کم بر روی مته مشاهده می‌شود البته با افزایش بسیار زیاد وزن بر روی مته باعث کاهش نرخ نفوذ می‌شود این رفتار را Flounder مته نامیده می‌شود.

کاهش نرخ نفوذ به دلیل اعمال وزن بسیار زیاد بر روی مته می‌باشد که نتیجه آن کنده‌های حفاری به‌خوبی از ته چاه پاک‌سازی نمی‌شود و مته مجدد کنده‌های حفاری خرد شده را حفاری می‌کند [۷،۹].

در سرعت پایین تعداد دور مته، یک‌روند خطی افزایش نرخ نفوذ وجود دارد و برعکس در سرعت بالای تعداد دور مته در دقیقه نرخ نفوذ از روند افزایشی کاسته می‌شود که به علت خوب تمیز نشده ته چاه از کنده‌های حفاری در سرعت‌های بالا موجب کاهش نرخ نفوذ می‌شود.

۲-۵- روش انرژی ویژه مکانیکی^۱

اهمیت انتخاب صحیح مته، به دلیل هزینه بسیار زیاد حفاری چاه‌های نفت و گاز و امکان کاهش این هزینه به کمک انتخاب صحیح مته، به‌شدت افزایش‌یافته است. معیار رایج کنونی برای انتخاب مته، ارزیابی رکورد مته‌های قبلی و هزینه حفاری واحد طول، بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده قبلی است. ارزیابی رکورد مته‌های قبلی، یعنی ارزیابی نرخ نفوذ و زمان حفاری توسط مته، به دلیل اینکه ممکن است مته‌ها سنگ‌هایی با مقاومت‌های متفاوتی را حفاری کرده باشند و یا دارای پارامترهای عملیاتی مختلفی باشند، به‌سادگی تولید نتایج قابل‌مقایسه بین مته‌های مختلف نمی‌شود. از طرفی رابطه هزینه حفاری نشان می‌دهد که هزینه حفاری واحد طول به‌وسیله پنج متغیر کنترل می‌شود. برای قیمت معلوم مته (C_b) و طول بازه مشخص (ΔD)، هزینه حفاری واحد طول نسبت به تغییرات هزینه دکل حفاری در هر ساعت (C_t)، زمان لازم برای رفت و برگشت رشته حفاری و تعویض مته (t_t) و زمان دوران مته (t_b) به‌شدت حساس می‌باشد [۱۳].

زمان تعویض مته (t_t)، همیشه به‌سادگی تعیین نمی‌شود، مگر اینکه مته مستقیماً به درون چاه رانده شده، حفاری کرده و سپس از چاه بیرون کشیده شود بدون آنکه در این فاصله فعالیت جانبی دیگری صورت گیرد. اگر مته برای برخی مقاصد دیگر بیرون کشیده شود، بایستی دقت شود که این زمان‌ها به زمان‌های تعویض مته یا حفاری اضافه نشوند [۱۳].

^۱ MSE: Mechanical Specific Energy

هزینه دکل می‌تواند هزینه حفاری واحد طول را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. برای یک قطر معلوم چاه که با نرخ نفوذ یکسان در یک میدان با دکل‌های مختلف حفاری شده است، هزینه حفاری در هر ساعت متفاوت خواهد بود و یک مته یکسان مقادیر مختلفی از هزینه حفاری واحد طول را به دست می‌دهد. حتی اگر برای حذف اثر هزینه دکل، مقداری ثابت و دلخواه به هزینه دکل نسبت داده شود هرچند به این ترتیب اثر هزینه دکل حذف می‌شود، اما در این حالت مقادیر هزینه حفاری واحد طول، مقادیری واقعی نبوده و نمی‌توانند به هزینه‌های واقعی طراحی نسبت داده شوند، بنابراین مقدار هزینه حفاری واحد طول به عنوان معیاری برای ارزیابی کارکرد مته، به وسیله عواملی که اصلاً به رفتار مته مرتبط نیستند، تغییر می‌کند.

با توجه به مطالب ارائه شده در بالا به نظر می‌رسد روشی ساده و عملی که بتوان به وسیله آن کارکرد یک مته را در هر بازه حفاری (یا هر سازند) اندازه‌گیری کرد، کمک بزرگی برای مهندس حفار خواهد بود. نتایج این روش بایستی قابلیت همبستگی با هزینه حفاری واحد طول را برای انتخاب مته را داشته باشند که روش انرژی ویژه به عنوان روشی مکمل که می‌تواند به کمک روش هزینه حفاری انتخاب بهینه مته را ممکن سازد، معرفی می‌گردد [۱۳].

۲-۵-۱- شاخص کارایی^۱ انرژی ویژه

نقش مهم انرژی ویژه، کاربرد آن به عنوان شاخص کارایی در حفاری سنگ بیان کرد که اگر به صورت صحیح به کار رود می‌تواند ارزیابی مناسب از روند حفاری را در اختیار ما قرار دهد. در واقع کاربرد این روش انرژی ویژه، یعنی انرژی مورد نیاز در جهت کندن حجم واحد سنگ می‌باشد، بایستی به آن توجه کرد. در مفهوم انرژی ویژه که انرژی هدر رفته نظیر انرژی انتقال یافته به سنگ‌های اطراف چاه و انرژی برای خرد کردن مجدد خرده‌های حفاری را در بر می‌گیرد. در موارد زیادی از تحقیقات و مطالعه نویسندگان به اشتباه عامل مؤثر^۲ در محاسبه انرژی‌های هدر رفته استفاده شده است که این موضوع به علت درک نادرست از تعریف انرژی ویژه

^۱ Performance Indication

^۲ Efficiency Factor

است که در آن انرژی هدر رفته تابعی از کارایی حفاری و در نهایت کاربرد وسایل استفاده شده می‌باشد که قسمتی از انرژی ویژه مصرف شده در حفاری باید موردنظر قرارداد [۱۳].

اشتباه رایج دیگر که به دلیل عدم درک صحیح مفهوم انرژی ویژه می‌باشد، در نظر گرفتن انرژی ویژه به عنوان یکی از خواص ذاتی سنگ و در نتیجه مرتبط ساختن آن با خواصی مانند مقاومت فشاری یا اضافه کردن فاکتورهای قابلیت حفاری می‌باشد.

زمانی که از انرژی ویژه تعریف درست بیان شود وابسته به عامل‌هایی نظیر نوع و خواص سنگ، نوع و سایش مته، پاک کردن خرده‌های حفاری و مته‌ای که در بازه از سنگ همگن و بدون تماس و مشکلی در حفاری صورت گیرد. باید انرژی ویژه ثابت بوده و در ادامه حفاری افزایش کم و تدریجی از مقدار انرژی ویژه را به علت سایش پیوسته مته، ظاهر می‌شود و افزایش ناگهانی در مقدار انرژی ویژه در نتیجه تغییرات در سازند یا مشکلات ایجاد شده در مته بوده. انرژی ویژه به سادگی لیتولوژی‌های متفاوت را از هم مجزا نموده و فهمیدن مقدار مورد انتظار از انرژی ویژه برای هر مته در سازند معلوم، مشکلات به وجود آمده برای هر مته را نشان می‌دهد.

۲-۵-۲- انتخاب مته بر اساس انرژی ویژه حفاری

هنگامی که انرژی ویژه به صورت صحیح در بررسی کارایی مته به کار رود و به عنوان وسیله مناسب در جهت انتخاب مته مورد استفاده واقع می‌شود. در حفاری بهینه با مقدار پایین انرژی ویژه معرفی می‌شود؛ بنابراین در نهایت، مته‌هایی که کمترین مقدار انرژی ویژه را در سنگ معلوم ایجاد کند در شرایط یکسان، مناسب‌ترین مته در استفاده‌های بعدی در همان سازند خواهد بود [۱۳].

۲-۶- روش قابلیت حفاری

روش قابلیت حفاری به منظور بررسی اثر عوامل سازند در کارایی مته، محققین روش‌هایی را برای کمی کردن اثر عوامل ژئومکانیکی در انتخاب و کارکرد مته ارائه داده‌اند. این روش‌ها می‌توانند به عنوان مکمل روش‌های

دیگر انتخاب مته، همچون روش هزینه حفاری واحد طول، به کار روند. در مقیاس‌های بزرگ، قابلیت حفاری سازند (FD) واکنش سازندی خاص را به حفاری توسط انواع مختلف مته، پیش‌بینی می‌نماید. این روش هم چنین برای بررسی اثر اصلاح نوع خاصی از مته بر روی حفاری یک سازند مشخص، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت فشاری و قابلیت حفاری به صورت تجربی و از طریق انجام آزمایش، در اوایل دهه ۱۹۶۰ به یکدیگر مرتبط شدند. هر چند که مقاومت فشاری بایستی به عنوان یک تابع از میزان تنش جانبی توصیف شود، این مفهوم که مقاومت فشاری با افزایش تنش جانبی، افزایش می‌یابد به خوبی شناخته شده و به‌سادگی با معیار شکست موهر قابل توصیف می‌باشد. تلاش‌های زیادی که توسط وارن و همکاران انجام شده نشان داد که مقاومت حفاری را می‌توان برای مته‌های مخروطی تعیین نمود و برای برخی کاربردها، همچون شبیه‌سازی حفاری و انتخاب مته، مورد استفاده قرار داد. مقاومت حفاری می‌تواند به عنوان مقاومت در برابر نفوذ مته در حین حفاری که تابعی از خواص سنگ می‌باشد، تعریف شود [۱۴].

۷-۲- ویژگی سیال حفاری

ویژگی‌های سیال حفاری که بر نرخ نفوذ اثرگذار هست شامل:

(۱) چگالی

(۲) گرانی

(۳) ذرات جامد

(۴) ویژگی رفتار جریان

(۵) ترکیب شیمیایی

با افزایش مواد جامد و چگالی و گرانی، نرخ نفوذ کاهش پیدا می‌کند. علت این کاهش به خاطر این است که ذرات جامد و چگالی و گرانی سیال حفاری فشار بخش خرده شده زیر مته را کنترل می‌نماید؛ بنابراین انرژی لازم برای تمیز کردن جت‌های مته را فراهم می‌کند [۱۵].

۲-۸- رابطه ویژگی سازند با قابلیت حفاری

مهندس حفار، قدرت ساینده‌گی و قابلیت حفاری سازند را برای تشریح ویژگی سازند به کار می‌گیرد؛ بنابراین قابلیت حفاری در سازند برای سهولت به کار گرفته می‌شود. قابلیت حفاری با استحکام فشاری سنگ رابطه معکوس خواهد داشت هرچند پارامترهای دیگر هم در قابلیت حفاری مهم و تأثیرگذار هستند قابلیت نفوذ در اکثر موارد با افزایش عمق کاهش پیدا می‌کند [۱۶].

همچنین سازند دارای تأثیر بسیار زیادی بر نرخ نفوذ می‌باشد به این صورت که در سنگ‌های با نفوذپذیری بالا، سیال حفاری به داخل سنگ زیر مته نفوذ کرده و فشار زیر سنگ (در حال حفاری با مته) با فشار بالای سنگ برابر خواهد کرد که باعث شکننده‌ای سنگ خواهد شد.

همچنین ترکیب کانی‌های سنگ مخزن نیز بر نرخ نفوذ اثرگذار است. سنگ‌های که حاوی کانی‌های سخت باشد دندان‌های مته زودتر فرسایش پیدا می‌کند و از طرفی سنگ‌های که کانی‌های چسبنده (رسی) داشته باشد مشکل توپی^۱ شدن مته به وجود می‌آید [۱۶].

۲-۹- مته^۲ حفاری

مته حفاری اولین ابزاری است که جهت حفر چاه‌های نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله در اثر چرخش رشته حفاری به حرکت درآمده و باعث سوراخ کردن زمین می‌شود. طیف وسیعی از مته‌های حفاری در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند انواع مته‌های حفاری به دو گروه عمده مته‌های کاجی یا چرخشی^۳ و مته‌های سایشی^۴ تقسیم می‌شوند ولی در کنار این دو گروه می‌توان مته‌های مغزه‌گیری^۵ را که در عملیات مغزه‌گیری چاه^۶ مورد استفاده قرار گیرند، قرارداد که به شرح آنها می‌پردازیم [۱۷].

^۱ Ball

^۲ BIT

^۳ Rooler Cone Bit

^۴ Fixer Cutter Bits

^۵ Core Head

^۶ Coring

(۱) مته‌های کاجی

در این مته‌ها هنگام چرخش رشته حفاری، کاج‌های مته^۱ حول محور خود به چرخش درآمده و سپس در اثر وزن اعمالی روی مته^۲، دندان‌های مته در سنگ فرو رفته و باعث خرد شدن سنگ می‌شود. این گونه مته‌ها در طیف وسیعی تولید شده که به آنها مته‌های سنگی^۳ هم می‌گویند. مته‌های سنگی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند.

(۲) مته‌های دندان فولادی^۴

مته‌های کاجی دندان فولادی اولین مته‌هایی هستند که در حفاری یک چاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مته‌ها، دندان‌های مته از جنس کاج مته بوده و کاج و دندان‌ها به صورت یک تکه در عملیات تراشکاری، ساخته می‌شوند. سپس جهت افزایش مقاومت دندان‌های مته، سطح آن را توسط پودر تنگستن کارباید رو سخت کاری^۵ می‌کنند.

(۳) مته‌های دکمه‌ای^۶ (BUTTON BIT)

در این گروه از مته‌ها، دندان‌های مته به صورت دکمه‌هایی از جنس تنگستن کارباید بوده که در سطح کاج مته، نصب می‌شوند. این نوع مته‌ها معمولاً در سازندهای نیمه سخت و سخت (اعماق پایین) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

^۱ Cones

^۲ W.O.B

^۳ Rock Bits

^۴ Mill Tooth Bits

^۵ Hard Facing

^۶ Tungsten Carbide Insert

۴) مته‌های سایشی^۱ (DRAG BIT)

اولین نوع مته‌های مورد استفاده در صنعت حفاری بوده‌اند این مته‌ها دارای تیغه^۲ بوده و فاقد کاج^۳ می‌باشند. به این‌گونه مته‌های مته‌های دم ماهی^۴ نیز گفته می‌شود مته‌های مذکور جهت حفاری طبقات نرم مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. امروزه نوع پیشرفته مته‌های سایشی تحت نام مته تیغه ثابت در صنعت حفاری کاربرد بسیار زیادی دارند.

مته تیغه ثابت به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌گردند.

- ۱) Natural Diamond Bit
- ۲) PDC BIT (Polycrystalline Diamond Compact)
- ۳) T.S.P BIT (Thermally Stable PDC)
- ۴) BI- Center Bit

مته تیغه ثابت به صورت یک‌تکه بوده و فاقد هرگونه قطعه متحرک کاج می‌باشند در این نوع مته‌ها، دانه‌های الماس طبیعی و یا مصنوعی بر روی سطح مته نصب می‌گردند.

مته‌های سایشی با اجزای برنده فولادی مانند مته‌های دم ماهی، بهترین کارکرد را در مقایسه با مته‌های دیگر در سازندهای به طور یکنواخت نرم دارا می‌باشند. با افزایش سختی و ساینده‌گی سازند، نرخ سایش مته افزایش پیدا کرده و نرخ حفاری به شدت کاهش می‌یابد این مشکل با تغییر شکل اجزای برشی و کاهش زاویه برخورد اجزای برش با کف چاه، کاهش می‌یابد. همچنین، در سازندهای نرم و چسبنده، ممکن است خرده‌های حفاری به تیغه‌ها چسبیده و کارایی آنها را کاهش دهند این مشکل نیز با قراردادن جت‌هایی که سیال حفاری را با فشار به سطح تیغه‌ها منتقل می‌کنند کاهش می‌یابد به دلیل مشکلاتی مانند فرسودگی سریع در سنگ‌های سخت و تمیزکاری مته در سازندهای چسبنده، مته‌های سایشی با اجزای برشی فولادی در بیشتر میادین جای خود را به انواع دیگر داده‌اند [۱۸].

^۱ Fixer Cutter Bits

^۲ BLAde

^۳ Cone

^۴ Fish Tail

۵. مته‌های مغزه‌گیری^۱

این نوع مته‌ها جهت عملیات مغزه‌گیری از سازند مورد استفاده قرار می‌گیرند و به دو شکل زیر وجود دارند.

Fixed Cutter Corehead (۱)

مته‌های مغزه‌گیری به صورت یک تکه بوده و دانه‌های الماس مصنوعی و یا PDC بر سطح آن نصب شده است. امروزه معمولاً در کلیه عملیات مغزه‌گیری مته مغزه‌گیری PDC استفاده می‌شود.

Roller Cone Corehead (۲)

نسل اولیه و قدیمی مته‌های مغزه‌گیری مته‌های چهار کاجه می‌باشند در این نوع مته‌ها چهار کاج مته به صورت دوبه‌دو روبروی هم قرار داشته و ضمن حفاری سازند، نمونه سازند به صورت مغزه^۲ وارد مته می‌شود.

۲-۹-۱- مته‌های مخروطی^۳ (Three Cone Bits)

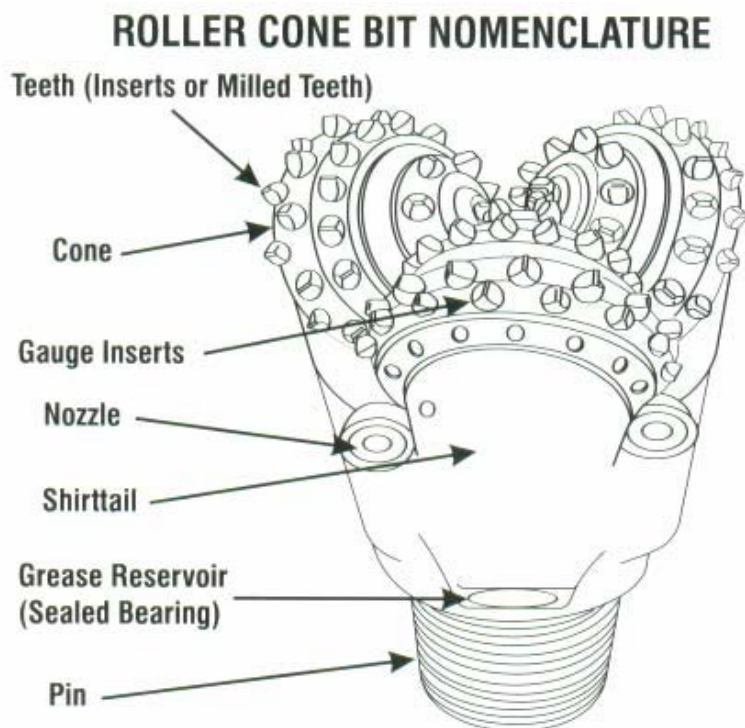
مته‌های مخروطی یا کاجی امروزه بیش از ۹۵٪ از حفاری‌های میادین نفتی، با مته‌های مخروطی انجام می‌شود [۱۷]. یکی از این مته مخروطی، مته سه کاج که توسط عملیات جوشکاری به یکدیگر متصل شده‌اند، تشکیل شده است قسمت‌های اصلی یک مته کاجی عبارت‌اند از:

۱. Cone
۲. Shirttail
۳. Shank (Pin)
۴. Bearings (Sealed or Open System)
۵. Nozzle
۶. Ports Tooth

^۱ Core Head

^۲ Core

^۳ Roller Cone Bits



شکل ۲-۲: قسمت‌های اصلی یک مته کاجی [۲]

۲-۹-۱-۱-کاج^۱

قسمتی از مته را کاج گویند که بر سطح آن دندان‌های مته قرار دارد و در قسمت داخل آن اجزاء لازم جهت چرخش کاج بر روی پین پیلوت^۲ جای می‌گیرد.

در مته‌های دندان‌ه فولادی، دندان‌ها جزء اصلی کاج می‌باشد ولی در مته‌های دکمه‌ای^۳، دندان‌های مته بر سطح بیرونی کاج نصب شده‌اند. اگر مته را روی پین^۴ قرار دهیم، به طوری که هر سه کاج به طرف بالا قرار گیرند، می‌توان کاج‌ها را شماره‌گذاری نمود. کاج دارای پیکان مته^۵ را کاج شماره یک می‌نامیم و سپس در صورتی که در جهت حرکت عقربه ساعت چرخش کنیم مابقی کاج‌ها را به ترتیب Cone#۲ و Cone#۳ می‌نامیم.

^۱ Cone
^۲ Pilot Pin
^۳ Tungsten Carbide Insert
^۴ Pin
^۵ Spear Point

Shirrtail - ۲-۱-۹-۲

قسمت پایین پایه^۱ مته را که باعث محافظت کاج و مانع از خروج اجزاء یاتاقانها^۲ از داخل کاج به بیرون می گردد، Shirrtail می گویند.

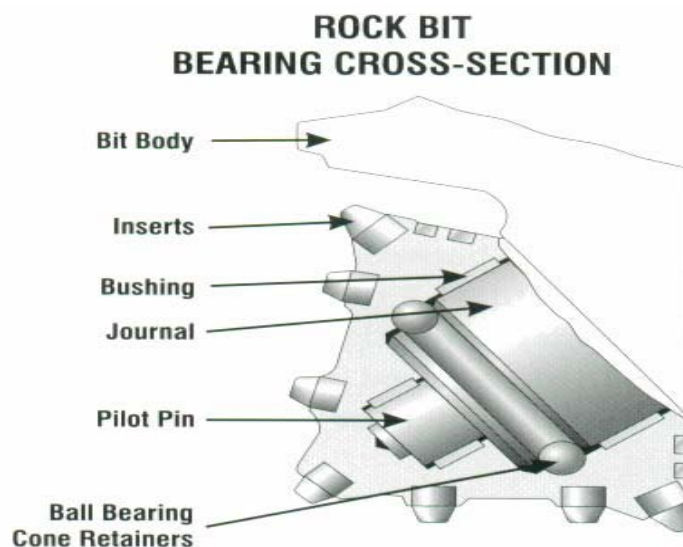
Shank - ۳-۱-۹-۲

قسمت بالایی مته، که بر روی آن رزوه استاندارد وجود دارد و محل اتصال مته با لوله های حفاری می باشد، Shank نامیده می شود. در این قسمت، مشخصات هر مته نوشته شده است.

(Bit Size, Bit Type, Serial Number)

۲-۱-۹-۴- یاتاقانها^۳

اجزایی که باعث چرخش کاج مته روی پین پیلوت می شود را یاتاقان گویند یاتاقانها به اشکال مختلف در مته وجود دارند.



شکل ۲-۳: سطح مقطع یاتاقانها در مته [۱۹]

Bit > 9"

Roller-Ball-Roller (R.B.R.) (A)

^۱ Leg
^۲ Bearing
^۳ Bearing

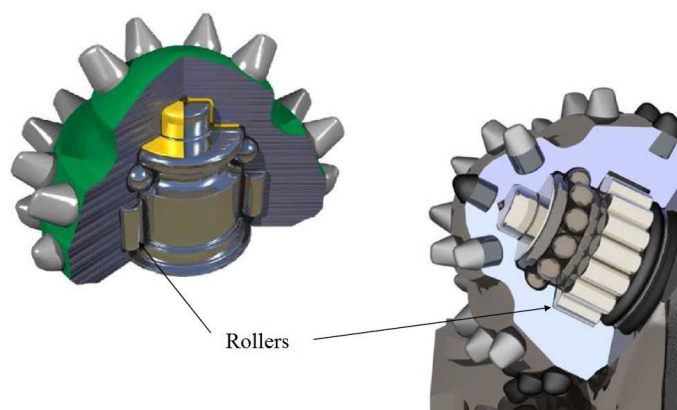
Roller-Ball-Friction (R.B.F) (B) $6'' < \text{Bit} < 9''$

Friction-Ball-Friction (F.B.F) (C) $\text{Bit} < 6''$

Friction-Friction-Friction (F.F.F) (D) $\text{Bit} < 6''$

از طراحی یاتاقان R.B.R بیشتر در مته‌های با قطر بزرگ‌تر از ۹ اینچ که در آنها فضای کافی موجود است و تحت شرایطی که در آن نیاز به سرعت چرخش بالاست، استفاده می‌شود از طراحی R.B.F برای قطرهای بین ۶ تا ۹ اینچ استفاده می‌شود. مشخصه این نمونه، وجود یکی یاتاقان اصطکاکی در مقطع دماغه می‌باشد و بالاخره، از طراحی F.F.F برای مته‌های با قطرهای کوچک‌تر از ۴ اینچ استفاده می‌شود یاتاقان اصطکاکی شامل یک غلاف با سختی ویژه بالا که به دماغه مخروط پرس شده می‌باشد.

یاتاقان اصطکاکی اساساً به این منظور طراحی شدند که دارای عمری متناسب با عمر برنده‌های دکمه‌ای باشد. این نوع یاتاقان دارای هیچ بخش متحرکی نمی‌باشد و فقط دارای یک میله یاتاقان بوده که درون کاج جاسازی شده است. سطح تماس بین میله یاتاقان و کاج با کارباید اندود شده است. این یاتاقان‌ها با فلز مخصوص به طور خاصی روکش شده‌اند که دارای مقاومت بیشتری در برابر سایش و گسیختگی بوده و کاهش اندازه پیدا نکند. این نوع یاتاقان، این امتیاز را دارد که ناحیه برخورد یعنی ناحیه‌ای که در آن وزن وارد بر سر مته به مخروط منتقل می‌شود، را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. همچنین با حذف یکی از اجزاء (غلتک‌ها)، فضای بیشتری برای افزایش استحکام روانکاری سیستم یاتاقان‌ها از نظر روانکاری و روغن‌کاری به دو نوع یاتاقان آب‌بندی نشده و یاتاقان آب‌بندی شده تقسیم می‌شوند [۱۹].

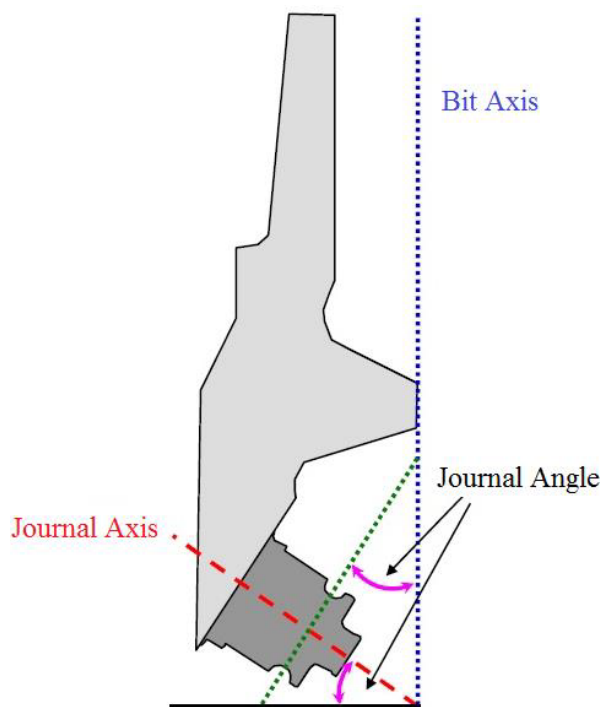


شکل ۲-۴: سیستم‌های یاتاقان غلتکی [۱۹]

۲-۲-۱-۵- زاویه ژورنال^۱

محور مته^۲ قسمتی از ساختمان مته است که اجزاء یاتاقان و کاج مته بر روی آن نصب گردیده و جزئی از پایه مته می باشد. در طراحی مته های کاجی قطر محور مته باید به گونه ای باشد تا بتواند در برابر وزن اعمالی^۳ مقاومت نموده و شکسته نشود. زاویه ژورنال عبارت است از زاویه ای که از تقاطع خط عمود بر محور^۴ مته و خط قائم مرکز مته به دست می آید. زاویه ژورنال بیانگر زاویه حرکت کاج های مته به طرف داخل یا بیرون مته است. مته های قابل استفاده برای سازند نرم دارای زاویه ژورنال کمتری نسبت به مته های قابل استفاده در سازندهای متوسط و یا سخت می باشند.

معمولاً مته های قابل استفاده در سازند نرم دارای زاویه محور $\alpha = 33^\circ$ و مته های قابل استفاده در سازند سخت دارای زاویه محور $\alpha = 39^\circ$ می باشند. مابقی مته های کاجی قابل استفاده در سازندهای مختلف دارای زاویه محور بین 33° تا 39° می باشند.



شکل ۲-۵: زاویه ژورنال در مته [۲]

^۱ Journal Angel

^۲ journal

^۳ Weight On Bit

^۴ journal

۲-۹-۱-۶- زاویه انحراف کاج‌های^۱

در صورتی که حرکت در جهت چرخش مته^۲ باشد آن را مثبت^۳ می‌گویند و در صورتی که این حرکت در جهت خلاف حرکت مته باشد آن را منفی^۴ می‌گویند.

در حالت انحراف منفی^۵، دندانهای مته بر روی سازند می‌لغزند و سرعت حفاری کاهش خواهد یافت، همچنین کاج‌های مته زودتر از حد معمول خراب خواهند شد.

مته‌های کاجی دارای انحراف کاج^۶ مثبت می‌باشند یعنی انحراف کاج‌های مته از یکدیگر در جهت حرکت چرخش مته می‌باشد و بر این اساس گفته می‌شود مته‌های حفاری دارای انحراف مثبت^۷ می‌باشند.

انحراف مرکزی کاج عبارت است از فاصله بین خط مرکزی مته و یک صفحه افقی که از میان خط مرکزی محور می‌گذرد.

مته‌های قابل استفاده در سازند نرم، دارای انحراف مرکزی کاج بیشتری نسبت به مته‌های قابل استفاده در سخت سازند می‌باشند. هر چه میزان انحراف کاج مته بیشتر باشد، ارتفاع دندانهای مته بلندتر و درگیری آنها با سازند افزایش می‌یابد و برعکس با کاهش انحراف کاج، ارتفاع دندانهای مته کوتاه‌تر و درگیری (خراشیدگی) آنها با سازند کمتر خواهد شد و عمر دندانها افزایش می‌یابد [۱۹].

بنابراین با افزایش انحراف کاج سرعت حفاری افزایش یافته و در عوض سرعت فرسودگی دندانها نیز بیشتر می‌شود.

^۱ Cone Offset Angle

^۲ Rotation

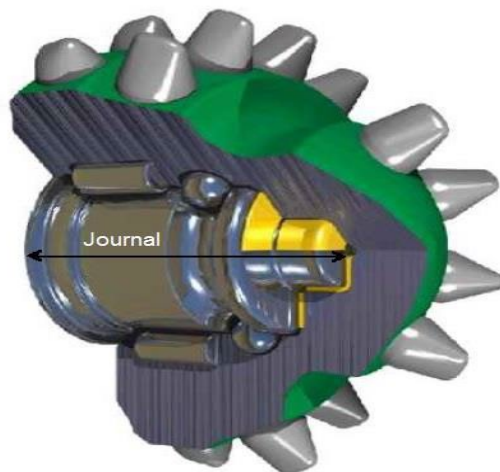
^۳ Positive

^۴ Negative

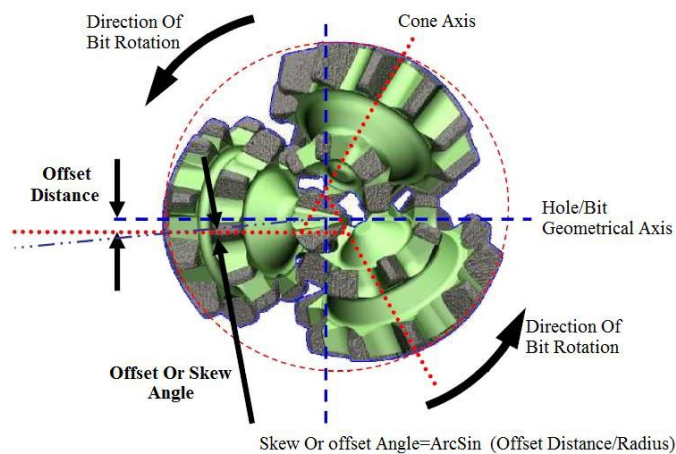
^۵ Negative Offset

^۶ Cone Offset

^۷ Positive Offset



شکل ۲-۶: ژورنال در مته کاجی [۱۹]



شکل ۲-۷: انحراف کاج‌های مته از یکدیگر (offset) [۱۹]

۲-۹-۲- مته‌های دندانه فولادی^۱

متداول‌ترین نوع مته‌های فولادی، مته‌های سه کاجه^۲ می‌باشند که در کم عمق^۳ جهت حفاری سازندهای نرم و چسبنده^۴ و متوسط در حفره‌های ۲۶" و ۱۷.۵" در مناطق نفت‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در حفره ۱۷.۵" این مته‌ها جهت حفاری سازندهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی به طور استثناء در بعضی از میادین از قبیل کوپال - مارون - سیامکان - گلخاری و بعضی میادین خاص، این مته‌ها جای خود

^۱ Mill Tooth Bits

^۲ Tri-Cone

^۳ Top Hole

^۴ Sticky

را به مته‌های PDC داده‌اند و در این میادین استفاده از مته‌های PDC نسبت به مته‌های سنگی^۱ مقرون به صرفه‌تر است.

در مته‌های دندانه فولادی دندانه‌ها جزئی از کاج مته می‌باشند که سطح دندانه‌ها توسط لایه کاربید تنگستن^۲ روکش شده‌اند تا از فرسایش سریع دندانه‌ها جلوگیری به عمل آید.

مته‌های دندانه فولادی از لحاظ کاربرد در سازند نرم، متوسط و سخت دارای مشخصات زیر می‌باشند.

مته دندانه فولادی نرم سازند:

- دندانه‌ها بلند، نسبتاً باریک و به فاصله زیاد از همدیگر قرار دارند.
- کاج‌ها دارای برون مرکزی^۳ زیاد می‌باشند.
- کاج‌ها و یاتاقان‌ها کوچک هستند (به دلیل بلندی دندانه‌ها).
- دارای برش^۴ جانبی زیاد جهت عبور سیالات در لابه‌لای دندانه‌ها و جلوگیری از تداخل دندانه‌ها می‌باشند.

- زاویه ژورنال در این مته‌ها، حداقل می‌باشد.^۵

- عمل کندن سازند، کندن / خراشیدن است.^۶

با توجه به طول بلند دندانه مته‌های فوق (نرم سازند)، مقدار وزن قابل اعمالی روی این مته‌ها نسبتاً کم است و در صورتی که وزن اعمالی بیش از حد مجاز باشد، دندانه‌های مته شکسته خواهند شد.

مته دندانه فولادی سازند سخت:

- دندانه‌ها کوتاه و نزدیک به همدیگر قرار دارند.

^۱ Rock Bit

^۲ Tungsten Carbide

^۳ Offset Distance

^۴ Interruption

^۵ Journal Angle

^۶ Gouging/Scraping

- دارای کاج‌های قوی و یاتاقان‌های قوی هستند.
- کاج‌ها دارای برون مرکزی کم یا فاقد بروی مرکزی هستند.^۱
- کاج‌ها دارای زاویه ژورنال زیاد می‌باشند.^۲

۲-۹-۳ - مته‌های دکمه‌ای (T.C.I) یا اینزرتی کاربرد تنگستنی^۳

مته‌های دکمه‌ای، مجموعه وسیعی از مته‌های کاجی را تشکیل می‌دهند و همان گونه که در جدول I.A.D.C مشاهده می‌شود گروه‌های (سطرهای) ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ جدول مربوط به مته‌های دکمه‌ای می‌باشند. در این مته‌ها، دکمه‌های تنگستن کارباید درون کاج توسط دستگاه پرس تحت فشار بالا قرارداد می‌شوند. با توجه به سختی تنگستن کارباید، طول عمر این مته‌ها بالاتر از مته‌های دندان فولادی می‌باشد و برای سازندهای سخت (چرت^۴ - کوارتز - ماسه سنگ^۵ - لایم استون^۶) مناسب بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- در هنگام استفاده از این مته‌ها، جهت افزایش طول عمر دندان‌ها، میزان وزن روی مته^۷ را زیاد و دور میز دوار^۸ را حداقل در نظر می‌گیرند تا از شکستگی دندان‌ها جلوگیری به عمل آید.
- یکی از خواص مهم در مته‌های کاجی فولادی و دکمه‌ای، عامل شیار کاج^۹ می‌باشد. این عامل باعث تمیز شدن کاج‌ها و دندان‌ها می‌شود. دندان‌های هر کاج طوری طراحی شده‌اند که ضمن چرخش، کاج مقابل را تمیز می‌کنند در واقع دندان‌ها یا دکمه‌ها در لابه‌لای همدیگر حرکت می‌کند بدون آنکه با همدیگر تداخل پیدا کنند.

- عمل کردن مته‌ها دکمه‌ای همانند مته‌های سازند سخت، ضربه‌زدن و متلاشی کردن سنگ است.

^۱ Offset Distance

^۲ Journal Angel

^۳ Tungsten Carbide Insert

^۴ Chert

^۵ Sandstone

^۶ Limestone

^۷ W.O.B

^۸ R.P.M

^۹ Interfit or Intermesh

۲-۹-۴- مت‌های تیغه ثابت^۱

به طور کلی مت‌های دندان ثابت به سه گروه جداگانه تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. Natural Diamond Bits
۲. P.D.C BITS (Polychrystalline Diamond Compact)
۳. T.S.P BITS (Thermally Stable PDC)

۲-۹-۴-۱- ساختمان مت‌های دندان ثابت

کلیه مت‌های دندان ثابت به صورت یک تکه بوده و فاقد قسمت‌های متحرک می‌باشند. بدنه مت^۲ ممکن از جنس فولاد و یا تنگستن کارباید ساخته شود. مت‌های تولیدی با بدنه فولاد^۳ دارای مقاومت زیادی در برابر ضربه و نیروی اعمالی به تیغه‌ها^۴ می‌باشند ولی مقاومت فولاد در برابر سایش^۵ ناشی از گل خروجی از مت کم است و بالعکس، مت‌های با بدنه^۶ تنگستن کارباید دارای مقاومت زیادی در برابر سایش داشته ولی مقاومت آن در برابر ضربه و نیروی اعمالی بر تیغه‌ها کم تر از مت‌های با بدنه استیل است.

✓ عمل کندن زمین توسط مت‌های دندان ثابت به صورت خراشیدن^۷ می‌باشد به همین خاطر مقاومت برشی سنگ نسبت به مقاومت تراکمی آن دارای اهمیت بیشتری می‌باشد زیرا که بایستی کاترهای مت بتوانند بر مقاومت برشی سنگ غلبه نموده و آن را ببرند و بر این اساس حفاری با این مت‌ها نسبت به مت‌های کاجی به وزن روی مت^۸ کمتری احتیاج است.

^۱ Fixer Cutter Bits

^۲ Matrix

^۳ Steel Body Bit

^۴ Blade

^۵ Erosion

^۶ Matrix Body

^۷ Shearing

^۸ W.O.B

۲-۹-۵- مته‌های با بدنه فولادی^۱

جهت تولید این نوع مته، از دستگاه‌های تراش تمام اتوماتیک (CNC) استفاده می‌گردد. ابتدا یک‌تکه فولاد توسط عملیات آهنگری^۲ به شکل اولیه مته مورد نظر در می‌آید و سپس در دستگاه تراش CNC قرارداده می‌شود و طبق برنامه کامپیوتری که از قبل به دستگاه CNC داده شده است، بدنه مته PDC به شکل موردنظر تراش داده می‌شود. سپس کاترهای PDC بر روی تیغه‌ها تحت شرایط خاصی نصب می‌گردند.

در این نوع مته‌ها، جهت افزایش مقاومت سطحی استیل در برابر سایش ناشی از جریان گل خروجی از نازل‌های مته، سطح تیغه‌ها توسط پودر تنگستن کارباید رو سخت‌کاری^۳ می‌شود.

قابل ذکر است که مته‌های با بدنه استیل توانایی تحمل نیروهای فشاری و کششی^۴ را بسیار بهتر از مته‌های ماتریکس تحمل می‌کنند و بر این اساس مته‌های با بلند را از جنس استیل می‌سازند.

۲-۹-۶- مته‌های با بدنه ماتریکس^۵

مته‌های با بدنه ماتریکس در فرایند ریخته‌گری، مخلوطی از ذرات ریز تنگستن کارباید به همراه تکه‌هایی از فلز کبالت^۶ که منجر به نفوذ بین ذرات تنگستن کارباید شده و باعث چسبیدن ذرات تنگستن کارباید به یکدیگر می‌گردد. همچنین در داخل پودر تنگستن کارباید از یک فولاد خالی^۷ استفاده می‌شود.

فولاد خالی در داخل پودر تنگستن کارباید، باعث افزایش مقاومت بدنه ماتریکس در برابر نیروهای فشاری و کششی به بدنه مته خواهد شد.

^۱ Steel Body Bits

^۲ Forging

^۳ Hard Facing

^۴ Tensile Stress

^۵ Matrix Body Bits

^۶ CO

^۷ Steel Blank

مته‌های بدنه ماتریکس در برابر سایش بسیار مقاوم هستند و اغلب جهت حفاری در شرایط گل دارای ذرات جامد^۱ زیاد و یا هنگامی که احتیاج به جریان گل زیاد^۲ و یا در جایی که قرار است مته به مدت طولانی در چاه بماند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۹-۷- الماس‌های مقاوم در برابر دما (T.S.P)^۳

به دلیل وجود محدودیت مقاومت حرارتی کاترهای PDC، سازندگان این کاترها بر آن شدند تا محصولی را تولید کنند که مقاومت حرارتی بیشتری از کاترهای PDC داشته باشد. این محصول بنام T.S.P تولید گردید و سپس در صنعت حفاری مورد استفاده قرار گرفت. دو روش عمده جهت تولید این کاترها وجود دارد که به شرح زیر می‌باشند:

۱- شستشوی الماس^۴

در فرایند تولید الماس مصنوعی، پس از خروج الماس مصنوعی تولید شده توسط اسید تصفیه می‌گردد و در این تصفیه، کبالت موجود در الماس مصنوعی خارج می‌گردد و نتیجه آن تولید کاتری است که تحمل حرارت را تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد را دارا می‌باشد. الماس مصنوعی (PDC) قابلیت تحمل گرما را تا ۷۰۰ دارا است.

۲- کاترهای سیلیکون کارباید^۵

یکی دیگر از روش‌های تولید کاتر T.S.P، استفاده از سیلیکون کارباید در روش شبیه به تولید کاترهای PDC است. در این روش دانه‌های ریز الماس با سیلیکون کارباید در کوره^۶ قرار داده می‌شوند و سیلیکون کارباید به‌عنوان فاز چسبنده ذرات الماس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از سیلیکون کارباید به دلیل کم بودن ضریب انبساط حرارتی آن نسبت به کبالت است. کاتر تولید شده قابلیت تحمل حرارت را تا ۱۱۵۰ °C دارا است. متأسفانه این نوع کاتر (TSP) تولید شده در هر دو روش خاصیت

^۱ Solid

^۲ G.P.M

^۳ Termally Stable Polycrystalline Diamond

^۴ Leached Diamond

^۵ Silicone Carb Binder

^۶ Cubic Press

چسبندگی به Tungestan Substrate را ندارد و همچون دانه‌های الماس طبیعی باید به طور مستقیم در داخل ماتریکس مته قرار داده شود.

۲-۱۰- رو سخت کاری^۱

همان گونه که قبلاً گفته شد مته‌های، با بدنه استیل نسبت به مته با بدنه ماتریکس دارای مقاومت سایشی کمتری می‌باشند به همین دلیل در مته‌های با بدنه استیل جهت افزایش مقاومت بدنه مته در برابر سایش قسمت‌هایی از بدنه مته که بیشتر از سایر قسمت‌های مته در معرض سایش قرار دارند، توسط پودر تنگستن کار باید رو سخت کاری می‌شوند و به این فرایند سخت کاری می‌گویند.

در فرایند رو سخت کاری، محل‌های موردنظر را توسط پوشش‌هایی از مواد مقاوم در برابر سایش توسط مواد خاصی پوشش می‌دهند. معمولاً پودر تنگستن کار باید، اصلی‌ترین ماده مورد استفاده در عملیات رو سخت کاری می‌باشند.

عملیات رو سخت کاری را قبل از نصب کاترهای PDC بر روی بدنه مته، انجام می‌دهند زیرا دمای زیاد در عملیات رو سخت کاری باعث صدمه زدن به کاترهای PDC می‌گردد. در فرایند رو سخت کاری، ابتدا محل کاترها بر روی تیغه‌ها توسط پلاگ‌ها^۲ پر می‌شود. سپس بدنه مته را پیش گرم می‌کنند و بعد پودر تنگستن کار باید را بر روی محل‌هایی که باید رو سخت کاری شوند می‌پاشند در هنگام عملیات رو سخت کاری دمای محل تا ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد بالا می‌رود. پس از پایان عملیات رو سخت کاری، جای کاترها تمیز می‌گردد و سپس کاتر PDC در محل‌های موجود بر روی تیغه‌ها نصب می‌گردند.

۲-۱۱- تکنولوژی تولید کاترهای PDC

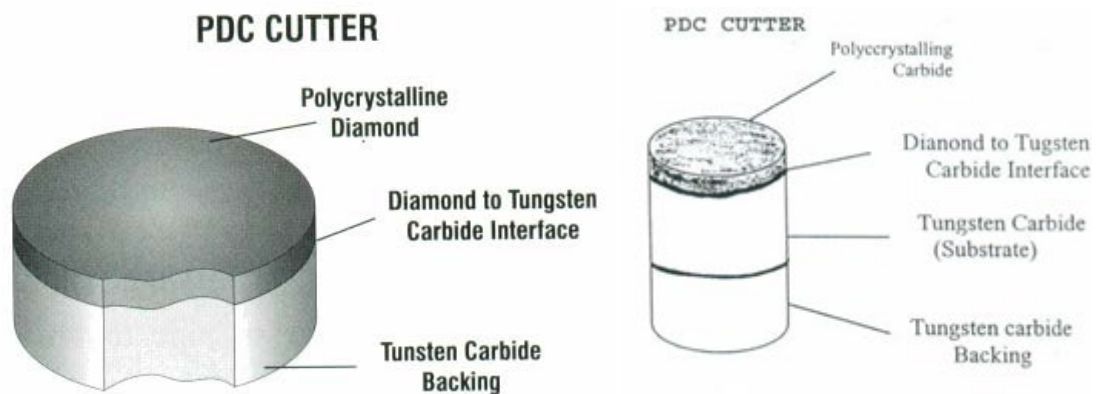
برای اولین بار کاترهای PDC (الماس مصنوعی) در سال ۱۹۵۰ از ترکیب کربن و کبالت (بعنوان کاتالیست) تحت دمای حداکثر ۱۵۰۰°C و فشار (PSI) ۱,۵۰۰,۰۰۰ توسط شرکت جنرال الکتریک آمریکا تولید گردید.

^۱ Hard Facing

^۲ Plug

اساساً یک کاتر PDC متشکل از یک لایه نازک الماس مصنوعی و یک قطعه تنگستن کارباید می‌باشد. تنگستن کارباید بعنوان پایه نگهدارنده لایه الماس مصنوعی بکار می‌رود [۲۲].

کاترهای PDC تولیدی بعضی از کارخانجات به صورت ۳ تکه بوده که شامل لایه الماس مصنوعی، یک زیرلایه^۱ تنگستن کارباید و یک تکه تنگستن کارباید است که در بدنه مته قرار داده می‌شود. کاترهای PDC تولیدی بعضی از کارخانجات تولید کاتر PDC به صورت دوتکه بوده که شامل لایه الماس مصنوعی و زیرلایه تنگستن کارباید می‌باشند. فرایند تولید کاتر PDC به نوع تکنولوژی شرکت‌های سازنده بستگی دارد (شکل‌های شماره ۸-۲).



شکل ۸-۲: فرایند تولید کاتر PDC [۲۲]

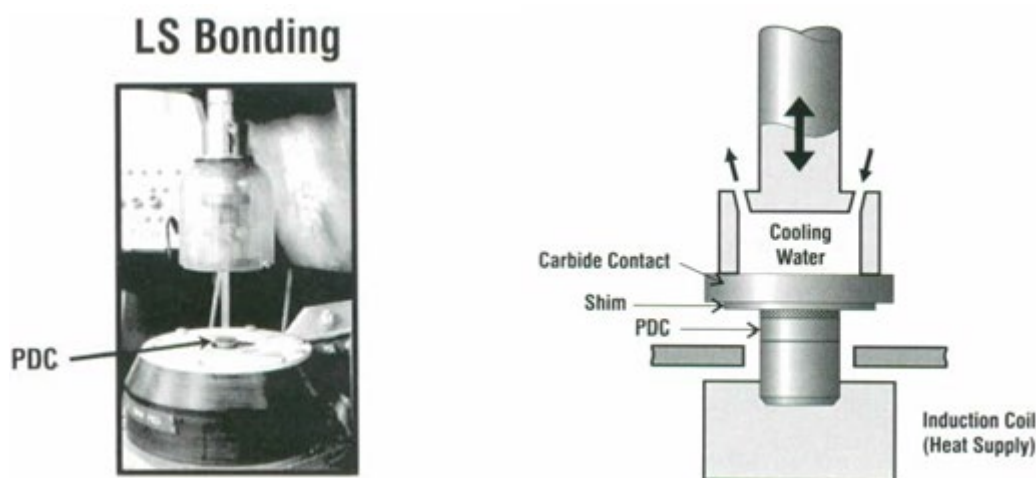
۱۲-۲- فرایند تولید کاترهای PDC

ابتدا تحت شرایط خاصی کربن و کبالت در دمای 1500°C و فشار (PSI) ۱,۵۰۰,۰۰۰ تا ۲,۰۰۰,۰۰۰ تشکیل ذرات ریز الماس مصنوعی را می‌دهد که اندازه این ذرات در نوع کاتر تولیدی بسیار حائز اهمیت است. آنگاه مقدار مشخصی از ذرات الماس مصنوعی را درون یک ظرف استوانه‌ای فلزی از جنس زیرکونیوم یا مولیبدن (به دلیل نقطه ذوب بالا) ریخته و بعد لایه تنگستن کارباید را روی ذرات فوق در ظرف فلزی قرار می‌دهند. سپس ظرف را که حاوی ذرات الماس مصنوعی و زیرلایه است به طریق مکانیکی درزبندی می‌کنند. اطراف

^۱ Substrate

این ظرف با یک لایه استوانه‌ای از جنس نمک پوشانده شده و مجموعه ظرف و لایه نمکی، داخل یک مکعب از جنس گرافیت بنام پرو فلیت قرار داده می‌شود.

دمای مورد استفاده در این مرحله جهت اتصال دو قطعه تنگستن کارباید حداکثر تا 1000°C افزایش داده می‌شود، در حالی که PDC در دمای بالاتر از 700°C آسیب خواهد دید، لذا جهت جلوگیری از هرگونه صدمه به PDC در فرایند L.S.B، سطح PDC توسط آب در حال چرخش، خنک می‌شود.



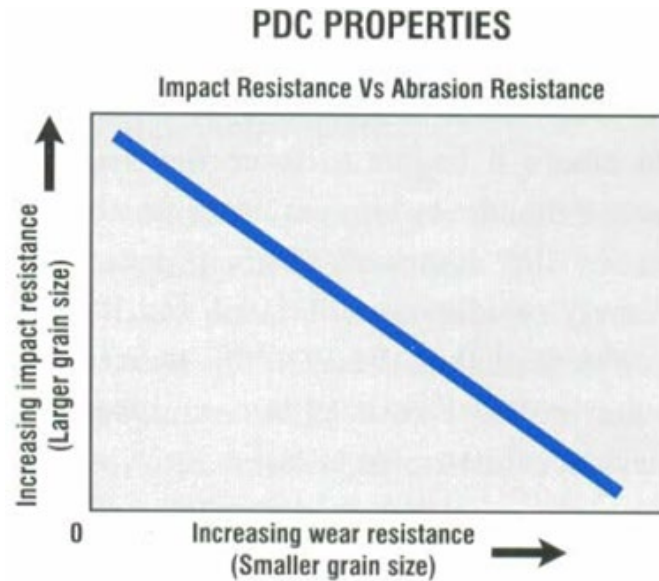
شکل ۹-۲: فرایند L.S.B، سطح PDC توسط آب در حال چرخش [۲۲]

دو خاصیت مهم و اساسی که یک کاتر PDC تولید شده باید دارا باشد عبارت‌اند از:

(۱) Impact Resistance (مقاومت ضربه‌ای کاتر).

(۲) Abrasion Resistance (مقاومت سایشی کاتر).

دو خاصیت فوق به اندازه قطر ذرات الماس وابسته می‌باشند. هر چه اندازه ذرات الماس بزرگ‌تر باشد، کاتر PDC تولیدی دارای مقاومت ضربه‌ای بیشتر و مقاومت سایشی کمتری خواهد بود و بالعکس، هر چه اندازه ذرات الماس کوچک‌تر باشد، کاتر PDC تولیدی دارای مقاومت ضربه‌ای کمتر و مقاومت سایشی بیشتری خواهد بود. این مورد در شکل ۲-۱۰ داده شده است.



شکل ۲-۱۰: نمودار رفتار مقاومت ضربه‌ای و مقاومت سایشی مته PDC [۲۲]

۲-۱۳- مقاومت حرارتی کاتر^۱ PDC

وجود کبالت در الماس مصنوعی باعث می‌شود تا کاترها الماس مصنوعی (PDC) دارای مقاومت حرارتی کمتری نسبت به ذرات الماس طبیعی باشند. هنگامی که کاتر PDC گرم می‌شود، کبالت موجود در ساختمان مولکولی PDC شروع به افزایش حجم می‌کند، هنگامی که دما به ۷۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد میزان افزایش حجم کبالت به اندازه‌ای خواهد بود که باعث ایجاد فشار بین پیوندهای ذرات الماس^۲ خواهد گردید و نتیجه آن ایجاد شکستگی در کاتر PDC خواهد شد بنابراین لازم است که کاترهای PDC در مقابل دمایی که منجر به ایجاد شکستگی بین پیوندهای الماس می‌گردد و محافظت شود.

۲-۱۴- بررسی فنی مته‌های کاجی^۳

یکی از مهم‌ترین عوامل که می‌تواند هزینه حفر چاه را تا حد زیادی پایین آورد، ارزیابی صحیح و دقیق مته‌های استفاده شده در چاه‌های مجاور می‌باشد به طوری که می‌توان از این اطلاعات جهت انتخاب صحیح مته بعدی نتیجه‌گیری نمود. هنگامی که یک مته فرسوده از چاه خارج می‌شود و مورد بررسی فنی قرار می‌گیرد می‌تواند

^۱ Thermal Stability of PDC

^۲ Diamond Grite

^۳ Rock Bit Evaluation

به سؤالات زیادی پاسخ دهد که آیا از توانایی مته تا حد قابل قبول استفاده شده است. اگر نه، چه عواملی را باید در مته جدید در نظر گرفت تا بتوان از مته بهترین استفاده را نمود.

در گذشته ارزیابی مته‌ها به روش ۸-۱ (T.B.G) انجام می گرفت. این روش فقط برای مته‌های یاتاقان‌های غلتکی^۱ قابل استفاده بود و در مورد مته‌های تیغه ثابت، درصد فرسودگی مته را اعلام می نمودند. امروزه روش جدید و استاندارد توسط I.A.D.C به وجود آمد که هم برای مته‌های کاجی و هم مته‌های تیغه ثابت قابل استفاده است که به شرح هر دو روش خواهیم پرداخت ولی باید گفت که عمده ترین فواید بررسی و ارزیابی مته‌های فرسوده عبارت‌اند از:

(۱) انتخاب مته بعدی با دید بهتری انجام می‌گیرد.

(۲) انتخاب پارامترهای بهتر جهت کارایی مته.

(۳) تصمیم‌گیری بهتر جهت زمان بالاکشیدن مته و تعویض آن.

(۴) ارائه گزارش نحوه عملکرد مته‌های فرسوده به سازندگان مته جهت بهبود و رفع اشکالات موجود.

۲-۱۴-۱- بررسی فنی و درجه‌بندی منه ای کاجی به روش^۲ ۸-۱ (T.B.G)

روش ۸-۱ یا T.B.G در واقع وضعیت دندان‌ها، یاتاقان‌ها و قطر مته را ارزیابی می‌کند. همچنین می‌توان در کنار قطر مته از یک سری علائم مشخص به‌عنوان اطلاعات اضافی^۳ استفاده نمود [۲۰].

(۱) درجه‌بندی دندان‌ها یا دکمه‌ها^۴

جهت ارزیابی دندان‌ها از روش ۸-۱ استفاده می‌شود بدین صورت که اگر بلندی یک دندان را کامل یا نو در نظر بگیریم نمره این دندان یا دکمه صفر است و اگر بر اثر کار نصف آن ساییده یا شکسته شود نمره آن ۴

^۱ Roller Bearing

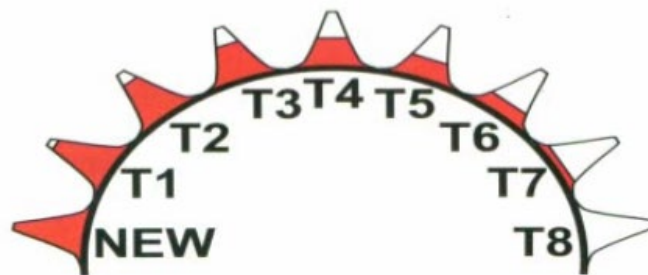
^۲ Dull Grading

^۳ Remarks

^۴ Tooth Dull Grading

است و اگر ۳/۴ دندان ساییده یا شکسته شود نمره آن ۶ است و اگر تمام دندان ساییده یا شکسته شود نمره آن ۸ است و به صورت T۲ و T۴ و T۶ و T۸ نوشته می شود.

اگر دندانهای مته شکسته یا ساییده یا ترک برداشته شود با علائم مخصوص آن را نشان می دهیم مثلاً ۸۰٪ BT یعنی ۸۰ درصد دندانها شکسته است. این روش هم برای مته های دکمه ای و هم مته های فولادی قابل اجرا است.



شکل ۲-۱۱: درجه بندی دندانهای مته، بلندی یک دندان را کامل یا نو باشد نمره این دندان یا دکمه صفر است و اگر تمام دندان ساییده یا شکسته شود نمره آن ۸ است [۲۰]

۲) درجه بندی یاتاقانها^۱

ارزیابی یاتاقانها یا یاتاقانهای یک مته نیز به روش ۱/۸ صورت می گیرد. ارزیابی هر یاتاقانها به صورت زیر می باشد.

- (B۱) ۱/۸ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته به راحتی می چرخد).
- (B۲) ۱/۴ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته محکم و لقی ندارند).
- (B۳) ۳/۸ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته لقی جزئی دارند).
- (B۴) ۱/۲ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته لقی هستند).
- (B۵) ۵/۸ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته کاملاً لقی هستند و یاتاقانها دیده می شوند).
- (B۶) ۳/۴ عمر یاتاقانها از بین رفته (کاجهای مته کاملاً جا باز کرده و یاتاقانها در حال ریختن

^۱ Bearing Dull Grading

و یا در چاه ریخته شده‌اند).

(B۷) ۷/۸ عمر یاتاقان‌ها از بین رفته (همه رولرها و بالها از داخل کاج بیرون ریخته و کاج فقط

به محور آن گیر کرده است).

(B۸) کاج مته در چاه مانده است یا اینکه کاج مته قفل شده است.^۱

یک نکته را باید در نظر گرفت و آن اینکه، مته یاتاقان آب‌بندی‌شده^۲ دارای درزگیر هستند^۳ که اگر این درزگیر پاره شود و گل حفاری به داخل کاج‌ها سرایت کند همانند مته‌های استاندارد^۴ می‌باشند و فرسودگی و خرابی یاتاقان‌ها همانند مته‌های معمولی بررسی می‌شود. یک روش دیگر در مورد مته‌های یاتاقان آب‌بندی‌شده، بررسی وضعیت یاتاقان‌های آن از نظر درزگیر است که ممکن است به یکی از سه وضعیت زیر در آید.

(۱) درزگیر آن سالم است (E).^۵

(۲) درزگیر آن معیوب است (F).^۶

(۳) درزگیر آن مورد تردید است (N).^۷

البته می‌توان در مورد مته‌های یاتاقان آب‌بندی‌شده فقط از سه حرف فوق استفاده نمود و در مورد مته‌های استاندارد از روش ۱/۸ استفاده کرد.

(۳) اندازه‌گیری قطر مته.^۸

اندازه‌گیری صحیح قطر مته از موارد مهم ارزیابی مته استفاده شده در یک چاه می‌باشد. به طوری که اگر مته‌ای بعد از استفاده قطر آن کم یا ساییده شود^۹ زنگ خطری است که اولاً ممکن است که سازند با نوع مته

^۱ Cone Locked

^۲ Sealed Bearing

^۳ Sealed

^۴ Non Sealed Bearing

^۵ Sealed Effective

^۶ Sealed Failed

^۷ Not Able To Grade

^۸ Gage Measuring

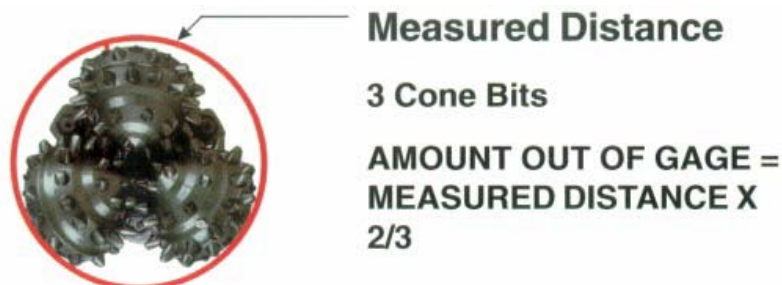
^۹ Under Gage

هم‌خوانی نداشته باشد (سازند ساینده باشد)^۱ و ثانیاً مته بعدی با احتیاط پایین برده شود که در عمق حفاری شده، مته گیر نیفتد و به این مته صدمه وارد نگردد (مخصوصاً مته PDC).

روش اندازه‌گیری قطر مته به دو صورت امکان‌پذیر است و در هنگام اندازه‌گیری قطر مته از واشر اندازه‌گیر^۲ (گیج رینگ) استاندارد شده توسط API استفاده گردد.

- روش اول: در این روش مته را در وسط گیج رینگ قرار داده به‌طوری که از سه طرف فاصله بین کاج مته^۳ و گیج رینگ به یک فاصله باشد سپس اندازه به دست آمده را دو برابر می‌کنیم (در ۲ ضرب می‌کنیم) این رو به‌خاطر مشکلات مربوط به قراردادن مته در وسط گیج رینگ منسوخ شده و بیشتر از روش دوم استفاده می‌شود.

- روش دوم: در این روش مته را در گیج رینگ قرار داده به‌طوری که دو کاج آن از قسمت نقطه گیج به گیج رینگ چسبیده باشند و قسمت نقطه گیج کاج سوم را اندازه‌گیری می‌کنیم و فاصله به دست آمده را در $\frac{2}{3}$ ضرب می‌کنیم.



شکل ۲-۱۲: روش اندازه‌گیری قطر مته سه کاج [۲۲]

✓ جهت اندازه‌گیری قطر مته‌های دو کاجه، مته را در گیج رینگ قرار داده به طوری که، یک کاج از قسمت نقطه گیج به گیج رینگ چسبیده باشد و سپس فاصله بین گیج رینگ و کاج دیگر مته را اندازه‌گیری می‌نماییم و به صورت ضربی از $\frac{1}{16}$ می‌نویسیم.

^۱ Abr Asive

^۲ Gage Ring

^۳ Gage Point



Measured Distance

2 Cone Bits

**AMOUNT OUT OF GAGE =
MEASURED DISTANCE**

شکل ۲-۱۳: روش اندازه‌گیری قطر مته دو کاج [۲۲]

هرگاه مته‌ای اندازه‌گیری شد و قطر آن کم نشده باشد مته به اندازه^۱ است (I) و اگر قطر آن کم شده باشد خارج از اندازه‌گیری^۲ است (O) که مقدار آن در کنار حرف (O) نوشته می‌شود میزان کاهش قطر مته به صورت ضربی از ۱/۱۶ نوشته شود ۱/۱۶ و ۲/۱۶ و ۳/۱۶ و ... [۲۱، ۲۲].

^۱ In Gage

^۲ Out of Gage

جدول ۲-۱: کدگذاری IADC برای مته‌های غلطان کاج یا کاج دار [۱۹]

1		2		3							4 (unrequired)	
Series		Formation type		Bearing / Gauge							Additional features	
				1	2	3	4	5	6	7		
Steel Tooth	1	Soft	1	Standard open roller bearing	Standard open roller bearing, air-cooled	Standard open roller bearing with gauge protection	Sealed roller bearing	Sealed roller bearing with gauge protection	Sealed friction bearing	Sealed friction bearing with gauge protection	A	Air application (journal bearing with air nozzles)
			2								B	Special bearing seal
			3								C	Center jet
			4								D	Deviation control
	2	Medium	1								E	Extended jets (full length)
			2								G	Extra gauge/body protection
			3								H	Horizontal/steering application
			4								J	Jet deflection
	3	Hard	1								L	Lug pads
			2								M	Motor application
			3								S	Standard steel tooth model
			4								T	Two cone
Tungsten Carbide Tooth	4	Soft	1								W	Enhanced cutting structure
			2								X	Predominantly chisel tooth inserts
			3								Y	Predominantly conical inserts
			4								Z	Other shape inserts
	5	Soft to medium	1									
			2									
			3									
			4									
	6	Medium	1									
			2									
			3									
			4									
	7	Hard	1									
			2									
			3									
			4									
	8	Very hard	1									
			2									
			3									
			4									

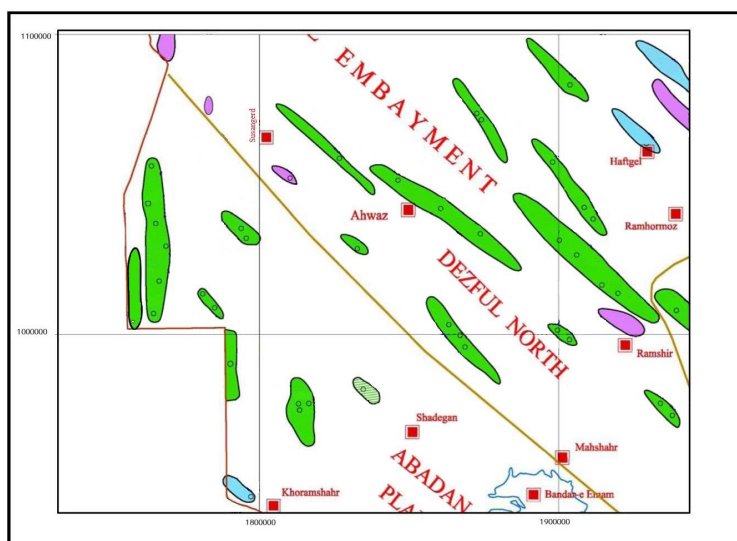
فصل سوم

بررسی زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه

و پیشینه مطالعات

۳-۱- معرفی میدان نفتی مورد پژوهش

میدان نفتی در منطقه جنوب غرب ایران قرار دارد. عمق نهایی در حدود ۴۲۰۰ متری درون سازند فلهیان می باشد این پروژه در مساحت ۵۰ کیلومترمربع می باشد. یک ضلع آن در مسیر N-S و ضلع دیگر در مسیر E-W می باشد.



شکل ۳-۱ میدان نفتی مورد پژوهش

۳-۱-۱- چینه شناسی

چینه شناسی چاه حفاری شده از سطح زمین به صورت زیر است:

سازند آغا جاری

سنگ شناسی این سازند ترکیب مارن های قهوه ای با لایه های نازک از ماسه سنگ خاکستری که در سطح پایین تر آن سنگ های قهوه ای رنگ و سیلتستون ها با لایه هایی از آهک تشکیل شده است. ایندیت های سفید رنگ که در قسمت انتهایی آن پراکنده و در حال زیاد شدن می باشد. سازند میشان در این قسمت تغییر رخساره داشته که از سازند آغا جاری قابل جدا شدن می باشد.

سازند گچساران

در ابتدا این سازند از لایه‌ای ایندریت سفید و بلوری شکل تشکیل شده که به صورت تناوبی از ایندریت رس خاکستری و سیلتستون‌های قهوه‌ای و خاکستری و لایه‌های نازکی از شیل خاکستری ادامه دارد که به تدریج از رس خاکستری و قرمز به ایندریت سفید و بلوری تغییر یافته است که علت آن رسوب گذاری ناحیه‌ای در قسمت سازند گچساران باعث جدا شدن بخش‌های مختلف در این چاه شده است و فقط قسمت ۴ آن با یک لایه نمک و رس خاکستری رنگ و ایندریت سفید رنگ و لایه‌های از آهک نخودی رس دار و نرم قابل تشخیص می باشد و قسمت سوم آن نیز از یک لایه ایندریت و ترکیبی از ایندریت سفید نرم تا سخت، رس خاکستری و لایه آهک نخودی نرم تا نیمه سخت قابل تشخیص است که به تدریج بر لایه‌های آهکی آن اضافه می شود.

پوش سنگ

این ترکیب لایه ایندریت و آهک خاکستری و رس سنگ خاکستری و سیلتی در لایه‌های این پوشه سنگ وجود دارد که در سازند گچساران به صورت ادامه دار و در زیر قسمت سازند آغا جاری قرار دارد.

سازند آسماری

در ابتدای سازند که از آهک سبز تا قهوه‌ای تشکیل شده است و در این چاه سازند آسماری بر پایه ویژگی‌های سنگ شناسی و قابلیت جدا شدن به دو قسمت جدا از هم می باشد که شامل موارد زیر می باشد:

۱. قسمت ماسه سنگی اهواز

این قسمت ترکیبی از سنگ‌های نخودی تا کرمی رنگ نرم هست به تدریج به سنگ‌های قرمز نرم با سائز متوسط تا ریز تغییر یافته و لایه‌هایی از رس سنگ قرمز سیلتی شکل یافته است.

۲. کربناته

سنگ‌های آسماری شامل آهک سفید تا خاکستری که گاهی ماسه‌ای در قسمت بالا و رس در قسمت پایین و آهک قهوه‌ای و لایه‌ای از سفید خاکستری از در بخش‌های بالایی تشکیل شده که این سازند در زیر سازند گچساران قرار دارد.

سازنده پابده

سازند پابده با آهک قهوه‌ای روشن و رس دار و آهک خاکستری و دولومیت است که شروع سازند با رس و ایندريت و چرت به صورت پراکنده می‌باشد سنگ‌شناسی به طور کلی شامل دولومیت و دولومیت آرژیلی و چرت و رس بیشتری و آهک خاکستری روشن و دانه سیلت می‌باشد این سازند به طور پیوسته زیر سازند آسماری قرار دارد.

سازند گورپی

در ابتدا لایه دولومیت خاکستری‌رنگی را نشان داده که با وجود زبانه تارپور در این سازند باعث شده سازند گورپی به سه قسمت زیر تقسیم شود:

۱. گورپی بالایی

از آهک نخودی قهوه‌ای رنگ و آهک خاکستری و تا حدی گلوکونیتی در ابتدا و یک لایه ضخیم دولومیت خاکستری نرم و آهک خاکستری نیم سخت رس دار از نوع آهک خاکستری که به صورت گلوکونیتی که تا پایان این قسمت سنگ‌شناسی را تشکیل می‌دهد.

۲. سازند تار پور

این سازند از آهک نخودی سفید و کرم رنگی شکل گرفته که در بخش وسط آن آهک قهوه‌ای متخلخل با آثار نفتی که در درون تخلخل‌ها تغییری ایجاد کرده و در بخش پایین آن آهک خاکستری‌رنگی تغییر یافته است.

گورپی پایینی

سنگ‌شناسی این قسمت ترکیبی دولومیت خاکستری که به صورت متناوب از آهک خاکستری، آهک قهوه‌ای کرم، روشن و زمانی از سیلتی و لایه شیل خاکستری تا خاکستری به رنگ سبز و آهک‌داری که پایان سازند آشکار شده تغییر می‌یابد. بین سازند گورپی و پابده یک نوع ناپیوستگی خاصی دیده می‌شود.

سازند ایلام

سنگ‌شناسی در این سازند که ترکیبی از آهک سفید و پلتی و آهک قهوه‌ای و متخلخلی با آثار نفت و دولومیت سبز و شیل سبز خاکستری به تدریج و متناوب از آهک خاکستری به سفید خاکستری نرم در مرز سازند گورپی و ایلام ادامه دارد.

سازند لافان

در این سازند که سنگ‌شناسی آن که ترکیبی از خاکستری نرم و آهک‌دار پیریتی است.

سازند لافان و ایلان همساز می‌باشند.

سازند سروک

این سازند از آهک‌های کرم و سفیدرنگ متناوبی آغاز شده که بعد از حدود ۲۰ تا ۲۵ متر از آهک‌های قهوه‌ای و متخلخل آثار نفتی ظاهر می‌شود به تدریج به آهک قهوه‌ای رنگ تغییر می‌کند و در پایان‌بخش میانی آن لایه‌هایی از مارن سبزرنگ با آهک کرم رنگ همراه با لایه‌ای شیل سبز خاکستری که تناوبی از آهک کرم و قهوه‌ای است این سازند به صورت ناپیوسته در زیر قسمت سازند لافان قرار گرفته است.

سازند کژدمی

در ابتدا این سازند با مارال سیاه تا قهوه‌ای رنگ آن مشخص شده است. آهک قهوه‌ای که به صورت تناوبی در آن قرار گرفته و بخش بالایی که ترکیبی از آهک قهوه‌ای تا خاکستری روشن و شیل سیاه‌رنگ و آهک‌دار است.

و در قسمت پایین توالی لایه‌ای از آهک کرم خاکستری و قهوه‌ای سیلتی قرار گرفته است که این لایه تا ابتدا بورگان، آهک خاکستری‌رنگ و کمی سیلتی به تدریج مقداری رس و سیلتی آن افزایش پیدا می‌کند.

بخش ماسه سنگ بورگان

ابتدا این قسمت از سازند قسمت انتهای سازند کژدمی را تشکیل می‌دهد که ترکیبی از سیلیستون خاکستری و رس دار می‌باشد که این قسمت به صورت متناوب ترکیبی از سیلیستون خاکستری که کمی آهک‌دار و پیریتی و شیل قهوه‌ای تشکیل شده است که در انتها تبدیل به ماسه سنگی که از لیگ نیت است تشکیل شده است. سازند کژدمی در زیر سازند سروک ادامه دارد ولی به صورت ناپیوسته بر سازند داریان قرار گرفته است.

سازند داریان

این سازند از آهک نخودی و کرمی رنگ پیریتی و کمی رس دار شکل گرفته است. سنگ‌شناسی این سازند به صورت یکنواخت قرار گرفته که ترکیبی از آهک سفید و قهوه‌ای که در بخش پایین سازند از آهک خاکستری و ماسه‌ای شکل گرفته است.

سازند گدوان

این سازند ترکیبی از رس خاکستری تیره نرم، آهک‌دار، سیلتی و ماسه دار که در ابتدا این سازند وجود دارد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی سازنده گدوان که به سه قسمت قابل تقسیم می‌باشد:

۱. گدوان بالایی

که ترکیبی از رس سنگ خاکستری و سیلتی در ابتدا آن است که کم به رس سنگ خاکستری مایل به سبز و آهک‌دار تغییر یافته و در قسمت پایین آن لایه‌هایی از آهک خاکستری ظاهر می‌شود.

۲. بخش خلیج

این بخش از آهک قهوه‌ای رنگ بیتومین دار و آهک کرم رنگ تشکیل شده است.

۳. گدوان پایینی

این سازند هم ترکیبی از رس سنگ خاکستری تا خاکستری قهوه‌ای و نیمه‌سخت رس دار و سیلیستون خاکستری و ماسه سنگ تشکیل شده که به‌صورت متناوب از رس سنگ خاکستری به آهک خاکستری تغییر می‌یابد، این سازند به‌صورت پیوسته در زیر سازند داریان قرار دارد.

سازند فهلان

در ابتدا این سازند یک‌لایه ضخیم خاکستری آهک خاکستری روشن و خاکستری تشکیل شده که این سازند با توجه سنگ‌شناسی آن به دو قسمت تقسیم می‌شود.

۱. بخش فهلان بالایی

این قسمت ترکیبی از رس سنگ خاکستری و قهوه‌ای روشن و ماسه سنگ و سیلیستون خاکستری به‌تدریج و به‌صورت متناوب از رس سنگ خاکستری و آهک‌دار در بخش میانی تبدیل شده و بخش پایینی به‌صورت متناوب از آهک قهوه‌ای که گاهی تبدیل به مارن می‌شود و به رس سنگ خاکستری تغییر می‌یابد و قسمت پایینی که آهک کرم رنگ مایل به سفید تا متوسط بیتو مین دار و آهک قهوه‌ای و تناوبی از مارن‌های خاکستری‌رنگ می‌باشد.

۲. فهلان پایینی

در قسمت بالایی به‌صورت متناوب از آهک کرم و آهک قهوه‌ای رنگ با مارن‌های خاکستری‌رنگ ظاهر شده و در قسمت میانی آن ترکیبی از آهک قهوه‌ای و کمی رس دار با درز و شکاف که توسط کلسیت پر شده و آهک خاکستری‌رنگ مارن خاکستری روشنی است و قسمت پایینی آن که به طور متناوب از آهک قهوه‌ای و خاکستری و کمی رس دار و آهک قهوه‌ای رنگ تا روشن و سفید که کم به سفیدرنگ تبدیل می‌شود و قسمت پایانی آن که مقداری رس به آن اضافه شده و مقداری ماسه و سیلتی در آن وجود دارد. این سازند به‌صورت پیوسته در زیر سازند گدوان قرار گرفته است، قسمت فهلان پایینی با توجه به اینکه در موقعیت چاه که از مار

و شیل و آهک‌های رسی و گاهی آهک تمیز شکل گرفته و در موقعیت چاه دوازده آزادگان بیشتر شکل مادستون و در بخش‌های عمیق پایین‌تر دیده می‌شود کهن به تدریج به شیل سازند گرو وصل می‌شود و مخزن فلهیان پایینی از کیفیت پایینی برخوردار نیست کهن نتیجه لایه آزمایی آن را تاکید می‌کند.

۳-۱-۲- سازند پابده

سازند پابده از کوه پابده از خوزستان گرفته شده که حد زیر از این سازند در لرستان، با سازند مارنی گورپی و شیلی و هم شیب بوده و از قسمت شیراز، زمانی که شیل‌های ارغوانی وجود ندارد و در قاعده زیرین آهک‌های چرتی قرار دارد. در حد فوقانی سازند پابده، سازند آسماری قرار گرفته که قسمت هم شیب و قسمتی با دگر شیبی است [۲۳].

سن سازند پابده از پالتوسن تا ائوسن^۱ متغیر است [۲۳]. لیتولوژی‌های این سازند شامل: دولومیت آرژیلی^۲، دولومیت^۳، آهک^۴ و رس^۵ و چرت^۶ و آهک آرژیلی^۷ می‌باشند. ضخامت اندازه‌گیری در این سازند به طور متوسط حدود ۲۰۰ متر و بازه اندازه‌گیری ۱۰ سانتیمتری می‌باشد. وجود لایه بسیار سخت چرتی در این سازند و همچنین مشکل هرزروی در این بازه از مشکلات مهم این سازند می‌باشد که معمولاً مهندس حفار با انتخاب نادرست مته باعث هزینه فراوان می‌شود. در این میدان از سه حلقه چاه استفاده شده است که به ترتیب علامت اختصاصی شامل:

علامت اختصاصی چاه شماره ۱ : A

علامت اختصاصی چاه شماره ۲ : B

علامت اختصاصی چاه شماره ۳ : C

^۱ Paleocene -Eocene

^۲ Argillaceous Dolomite

^۳ Dolomite

^۴ Lime Stone

^۵ Clay Stone

^۶ Chert

^۷ Argillaceous Lime Stone

که به ترتیب به تفسیر هر کدام می‌پردازیم.

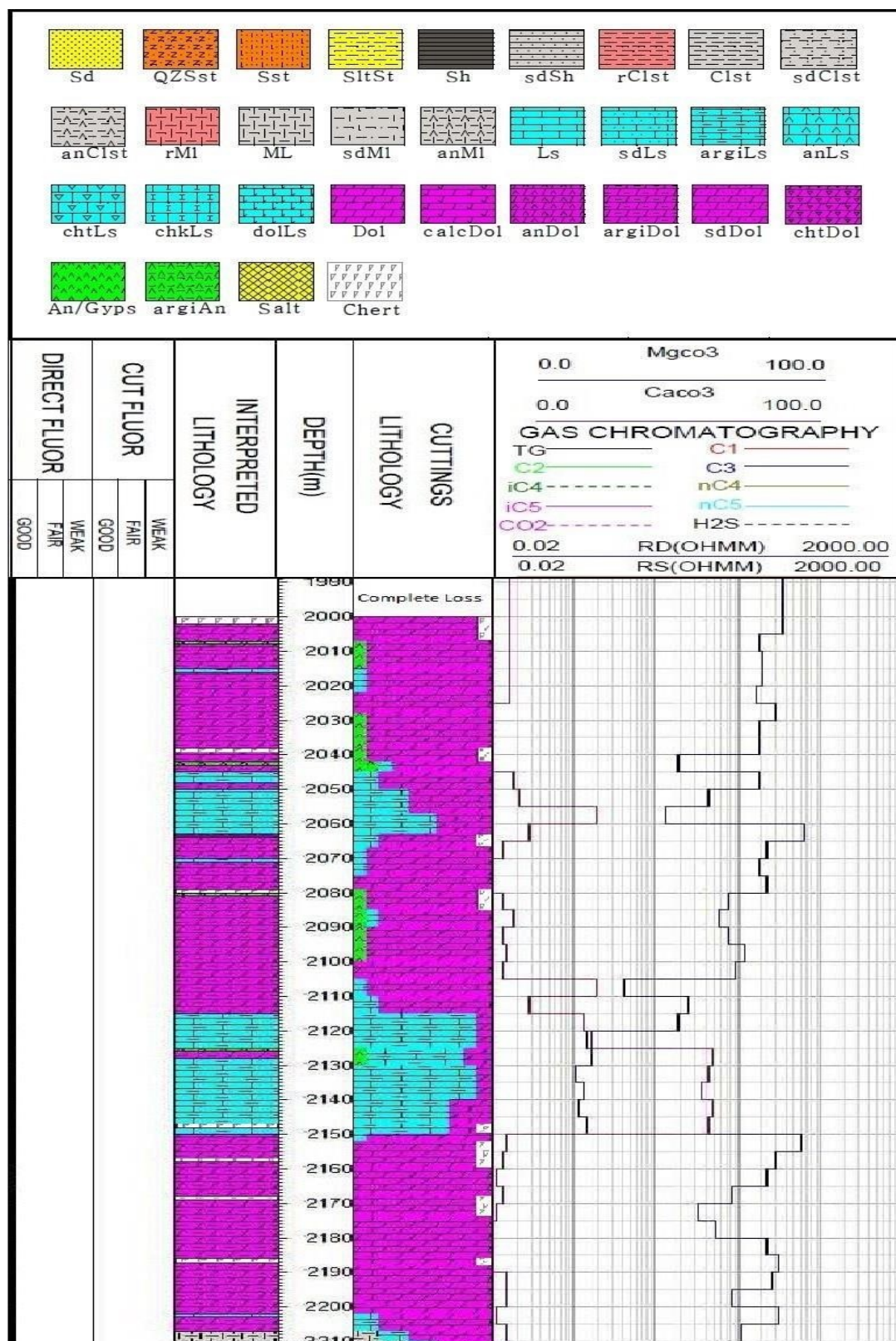
۳-۱-۲-۱- چاه A

بر اساس داده های چاه پیمایی این سازند در عمق ۲۰۰۷ متری تا ۲۲۲۰ متری می‌باشد که ضخامت پابده در مقطع نمونه آن ۲۱۳ متر می‌باشد در قسمت بالای سازند مشکل هرزروی سیال حفاری (به صورت^۱) داشتیم این سازند بین سازند آسماری پایینی (کربنات) و سازند گورپی قرار دارد که دلیل آن تخلخل بسیار زیاد دولومیت در این سازند می‌باشد که معمولاً از نوع غار^۲ یا شکاف^۳ می‌باشد. نگار سازند حفاری شده توسط مته که در این چاه مورد بررسی قرار گرفته به صورت زیر می‌باشد.

^۱ Complete Loss

^۲ Cavern

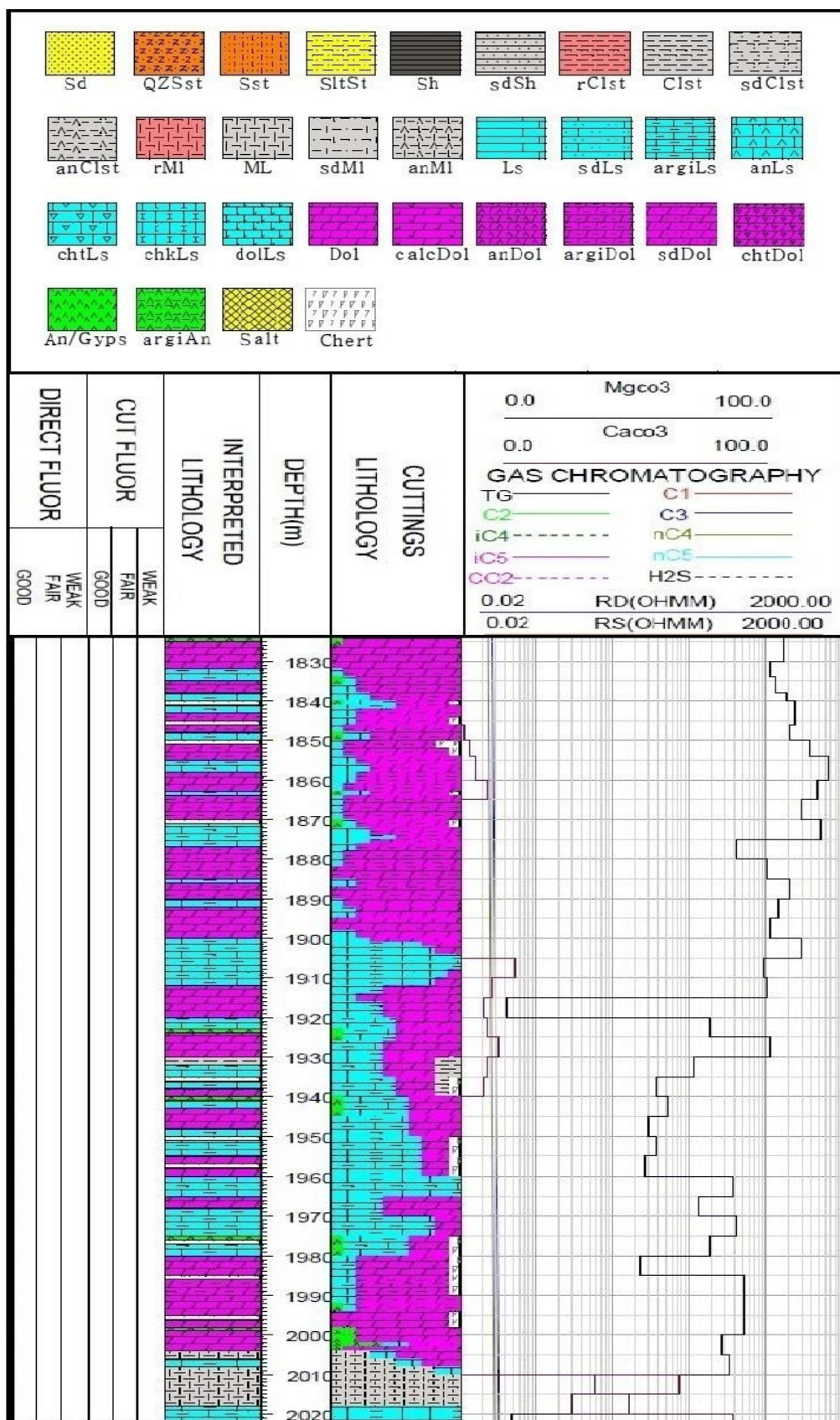
^۳ Channel



شکل ۲-۳: نگار فراهم شده چاه A تهیه شده توسط Log Plot

۳-۱-۲-۲- چاه B

بر اساس داده های چاه پیمایی این سازند در عمق ۱۸۱۵ متری تا ۲۰۰۵ متری می باشد که ضخامت پابده در مقطع نمونه آن ۲۱۰ متر می باشد این چاه توسط دو مته حفاری شده است و هر دو مته برای دو بار به درون چاه فرستاده شده است نگار حفاری شده توسط مته که در این چاه مورد بررسی قرار گرفته به صورت زیر می باشد.

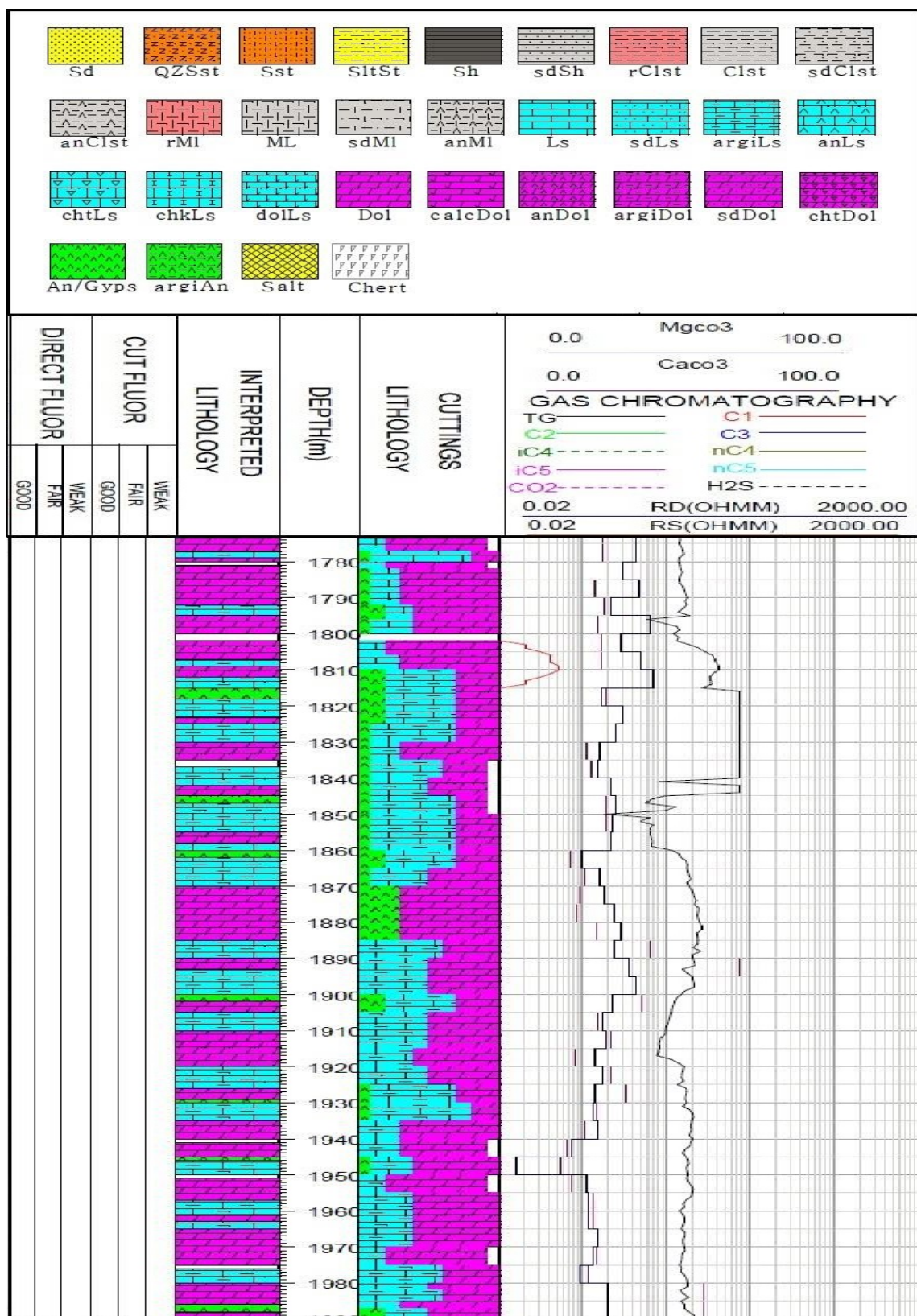


شکل ۳-۳: نگار فراهم شده چاه B تهیه شده توسط Log Plot

۳-۱-۲-۳- چاه c

بر اساس داده های چاه پیمایی این سازند در عمق ۱۷۸۱ متری تا ۱۹۸۳ متری می باشد که ضخامت پابده در مقطع نمونه آن ۲۰۲ متر می باشد سازند پابده از نظر لیتولوژی به شرح زیر می باشد.

در این چاه به دلیل هرزروی کاملی که اتفاق افتاده عملیات حفاری متوقف شده است بنابراین یک مته برای دو بار به درون سازنده فرستاده شده است پس از کنترل چاه به دلیل کم بودن فرسایش مته، مجدداً همان مته به درون چاه فرستاده شده. نگار سازند حفاری شده توسط مته که در این چاه مورد بررسی قرار گرفته به صورت زیر می باشد.



شکل ۴-۳: نگار فراهم شده چاه C تهیه شده توسط Log Plot

۳-۲- پیشینه تحقیق

بورگینه و یانگ در سال ۱۹۷۴ روشی جدیدی ارائه کردند که پایه و اساس روش بهینه‌سازی حفاری قرار گرفت که این روش از ترکیب پارامترهای و یک مدل خطی و یک مدل رگرسیون پند متغیری انجام گرفت. این روش اکثر متغیرهای حفاری را در نظر گرفته شده است و تأثیر پارامترهای را در هشت تابع در نظر گرفته شد تا بتوان محاسبات لازم برای بهینه‌سازی حفاری استفاده کرد؛ بنابراین هر چه تعداد معادلات برای هر سازند بیشتر باشد دقت ضرایب محاسبه شده بیشتر خواهد شد. در مجموع دقت انجام این روش به روش ریاضی انجام شده در تعیین ضرایب بستگی دارد [۲۴].

Hareland و Rashidi در سال ۲۰۱۰ روش جدیدی برای مدل‌سازی مته‌های سه کاج جهت شبیه‌سازی پارامترهای حفاری برای بهینه‌کردن سرعت حفاری ارائه کردند [۲۵].

Nygaard در سال ۲۰۰۷ نیز در رابطه با چگونگی انتخاب مته‌ها PDC جهت بهینه‌سازی حفاری افزایش نرخ نفوذ با استفاده از انتخاب انواع کدهای مختلف این نوع مته روش‌هایی ارائه کرد [۲۶].

Kaiser در سال ۲۰۰۷ روابط ریاضی جهت محاسبات هزینه حفاری و همچنین هزینه‌های مربوط به مته حفاری بیان کرد که این تحقیق در جنوب آمریکا بر روی میدانی در آن منطقه انجام شد [۲۷].

برگونی و یانگ در سال ۲۰۰۳ توانستند به یکی از مهم‌ترین راه‌های بهینه‌سازی حفاری آن زمان دست یابند. آنها نشان دادند که می‌توان با استفاده از فرمول حداقل هزینه، به حداکثر میزان نفوذ ممکن دست یافت. با توجه به اینکه مهم‌ترین عامل مؤثر بر نرخ حفاری، انتخاب نوع مته است، برای به دست آوردن پارامترهای موردنیاز روش آزمون و خطا را انجام دادند [۲۸].

وحید عزیزی و همکاران در سال ۲۰۰۷ از روش بهینه انتخاب مته برای حفاری‌های نفت و گاز ایران استفاده کردند. به دلیل تغییرات وسیع در دامنه‌ای کوتاه با شرایط زمین‌شناسی و ژئومکانیکی نسبتاً پایدار و همچنین عدم هم بستگی با نرخ نفوذ و انرژی ویژه، مقاومت حفاری بر اساس مدل کوتس دنو محاسبه شده است. با

توجه به نتایج به دست آمده، این ویژگی‌ها نمی‌توانند به عنوان روشی سودمند در انتخاب مته مورد استفاده قرار گیرند [۲۹].

حمید محمودان در سال ۱۳۹۵، بهینه‌سازی هزینه حفاری را با استفاده از تعویض به موقع مته حفاری فرسوده، تعداد بالا آوردن و راندن لوله‌ها به درون چاه برای تعویض مته فرسوده، به دست آورد. با توجه به این روش زمان‌های غیرفعال در مجموع حفاری یک چاه، به حداقل می‌رسد [۳۰].

مهدی نظیری در سال ۱۳۹۳، با پیش‌بینی بلادرنگ نرخ نفوذپذیری در حین حفاری را در یکی از مخازن نفتی جنوب غرب کشور با استفاده از شبکه عصبی و داده‌های گل در محل حفاری به صورت لحظه‌ای به دست آورد. با توجه به نتایج به دست آمده، مدلی ساخته شد که می‌تواند نرخ نفوذ را پیش‌بینی کند و با صرفه‌جویی زمان برای ناظر حفاری، او را در جهت انتخاب زمان تعویض مته یاری کند [۳۱].

Ridha و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعاتی در مالزی در رابطه با انتخاب مته و روابط ریاضی در این زمینه که عمدتاً پارامترهای حفاری را شامل می‌شد ارائه دادند [۳۲].

Emeka و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعاتی در یکی از میادین نیجریه انجام دادند و موادی که می‌تواند منجر به کاهش هرزروی‌ها و از دست دادن گل حفاری شود، پیشنهاد کردند [۳۳].

Hareland و همکاران در کانادا در سال ۲۰۱۲ روش‌های مدل کردن مته‌های دکمه‌ای جهت افزایش نرخ حفاری نیز انجام شد که نشان داد چگونه تغییرات جزئی در این گونه مته‌ها می‌تواند تغییرات چشمگیری در افزایش نرخ حفاری داشته باشد [۳۴].

فصل چهارم

بهینه‌سازی مته و پارامترهای حفاری

۴-۱- انتخاب مته حفاری بر اساس هزینه بر متر^۱

اولین مرحله در ارزیابی کارایی یک مته، ارزیابی کارکرد اقتصادی آن در حفاری می‌باشد. این ارزیابی توسط هزینه حفاری واحد طول می‌باشد. در این بررسی ابتدا حفاری‌های پیمایش^۲ مته که به علت جز عملکرد نامناسب مته به اتمام رسیده را حذف کنیم. سپس هزینه حفاری مرتبط با کارکرد مته، شامل قیمت مته و هزینه روزانه دکل حفاری، محاسبه گردید. قیمت مته‌ها نیز از گزارش خرید مته‌های مورد استفاده برای چاه‌های این میدان که مربوط به سال خرید آنها می‌باشد، استخراج شد و بر اساس هزینه روزانه دکل که دلار در روز بود، هزینه دکل برابر بر حسب دلار در ساعت به دست آمد. کلیه محاسبات هزینه حفاری بر حسب دلار بوده و تنها سازنده پابده مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین هزینه مرتبط به نظارت و گل و سایر موارد محاسبه نشده است بنابراین هزینه‌های دکل حفاری و سایر موارد به شرح زیر می‌باشد [۳۵،۳۶].

جدول ۴-۱: هزینه‌های اجاره‌ای، عملیات حفاری (دلار/روز)

Rental Cost	Descriptions
۳۳۰۰۰ (\$/Day)	Rig Cost
۳۲۰۰ (\$/Day)	Waste Management Package Cost
۱۱۰۰ (\$/Day)	MLU Package Cost
۳۷۳۰۰ (\$/Day)	Total Daily Cost
۱۴۹ (\$/hr)	Total Hourly Cost

در اینجا نوع مته‌ها و عمق آغاز و پایان حفاری که از جدول رکورد مته‌ها خارج شده. بر پایه این داده‌ها هزینه حفاری واحد طول در سه سازند پابده را محاسبه کرد. مته‌ها در حفاری این چاه‌ها با آنها مواجه شدند در جدول ۴-۲ نشان داده شده‌اند. پس از ارزیابی هزینه حفاری واحد طول، مته‌های کار شده در هر چاه به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

^۱ Cost Per Foot Method

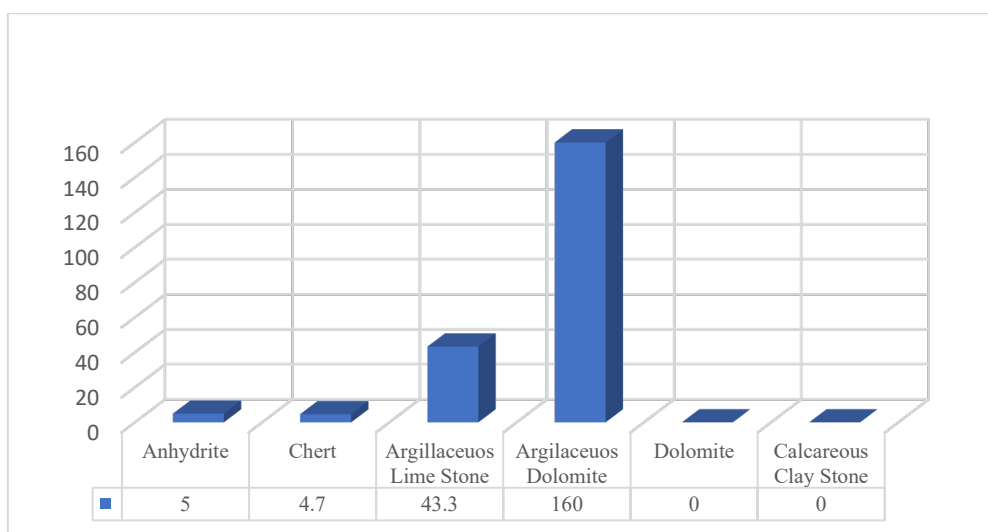
^۲ Round Trip

جدول ۴-۲: مشخصات و درجه‌بندی فرسودگی مته‌ها مورد بررسی

سازند	قطر مته (اینچ)	کد IADC	Dull Grading (In)	Dull Grading (Out)
A	۱۲ ۱/۲	۵۳۷	۱-۱-WT-A-E-I-NO-DP	۱-۱-WT-A-E-I-NO-PR
	۱۲ ۱/۲	M۴۲۳(۲RR)	۲-۴-BT-N&S-X-I-NO-TD	۶-۶-BT,CT-T-X-I-WT-PR
	۱۲ ۱/۲	M۴۲۳	NEW	۱-۱-WT-A-X-I-NO-TD
B	۱۲ ۱/۲	M۴۲۳(۲RR)	۰-۱-WT-S-X-I-NO-DMF	۲-۴-BT-N&S-X-I-NO-TD
	۱۲ ۱/۲	۵۳۷	NEW	۳-۳-WT-A-E-I, ۱۱-NO-TQ
C	۱۲ ۱/۲	M۳۲۳	NEW	۱-۱-BU-A-X-I-NO-HP
	۱۲ ۱/۲	M۳۲۳(۳RR)	۱-۱-BU-A-X-I-NO-HP	۱-۱-BU-A-X-I-NO-TD

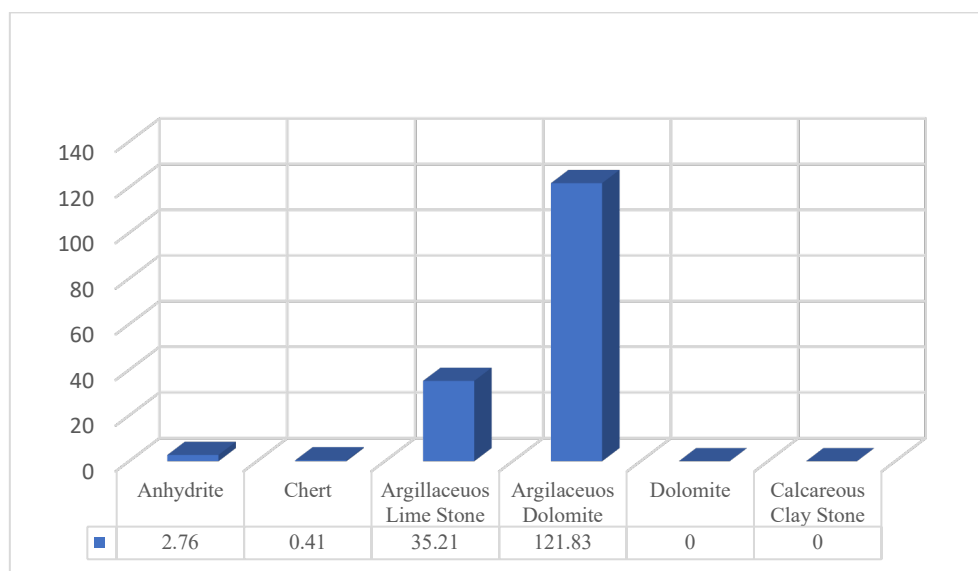
۴-۱-۱- چاه A

در این چاه هزینه حفاری برای مته‌ها و سازند پابده محاسبه گردید. بیشترین متراژ حفاری مربوط به مته با کد M۴۲۳ است. اما از آنجای که ممکن است این مته طول زیادی را حفاری کرده باشد، با اینکه بیشترین هزینه حفاری را شامل می‌شود، نه تنها مته‌ای با کارایی پایین نبوده بلکه حتی بهترین کارکرد را دارا باشد. از طرفی این سازند پرهزینه‌ترین سازند از نظر حفاری می‌باشد.



شکل ۴-۱: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه A

همان‌طور که در جدول ۴-۱ ذکر شده است. در این چاه سه مته جهت حفاری استفاده شده است که نخستین مته از نوع کاجی (PDC) که به درون چاه فرستاده شده است البته مته قبل از استفاده در چاه دیگری استفاده شده و سپس در مجدد چاه A مورد استفاده قرار گرفته است که باعث ایجاد هزینه زیادی بر عملیات حفاری ایجاد نمود مهندس ناظر عملیات حفاری (برای نظارت بهتر و کاهش مخارج ثابت) تصمیم به حفاری با همین مته در سازنده پابده (لایه‌های سخت) گرفت که بیش از نیمی از اجزا برنده^۱ مته شکسته و به درون چاه افتاد که این حادثه علاوه بر اینکه باعث توقف عملیات حفاری و بستن Basket Sub و جمع‌آوری اجزا شکسته شده است که باعث هزینه مازاد بر عملیات (پیمایش^۲ و تعویض مته) حفاری شده است که این امر بر اهمیت انتخاب صحیح مته^۳ (بر اساس پارامترهای که در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرید) مورد توجه است.

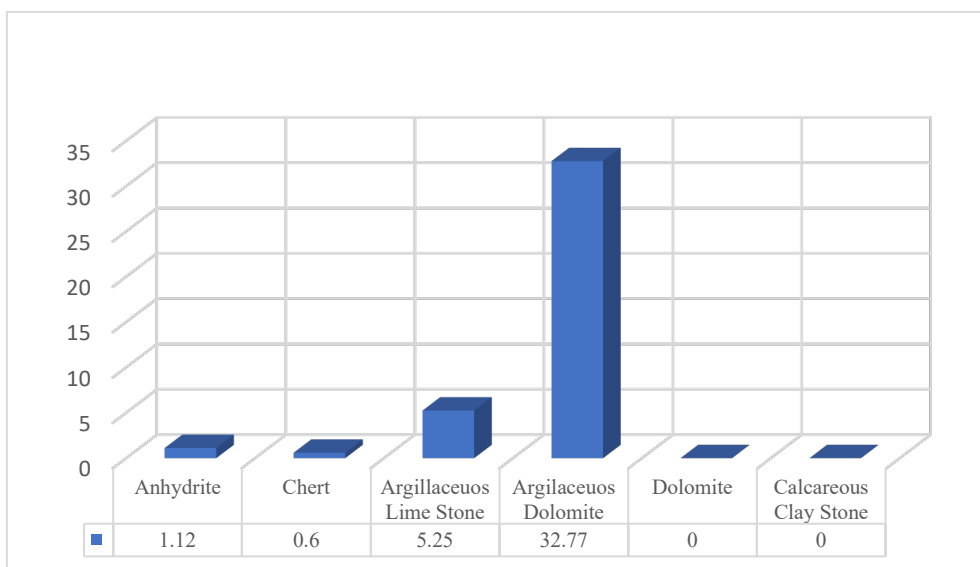


شکل ۴-۲: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته M۴۲۳(۲RR)

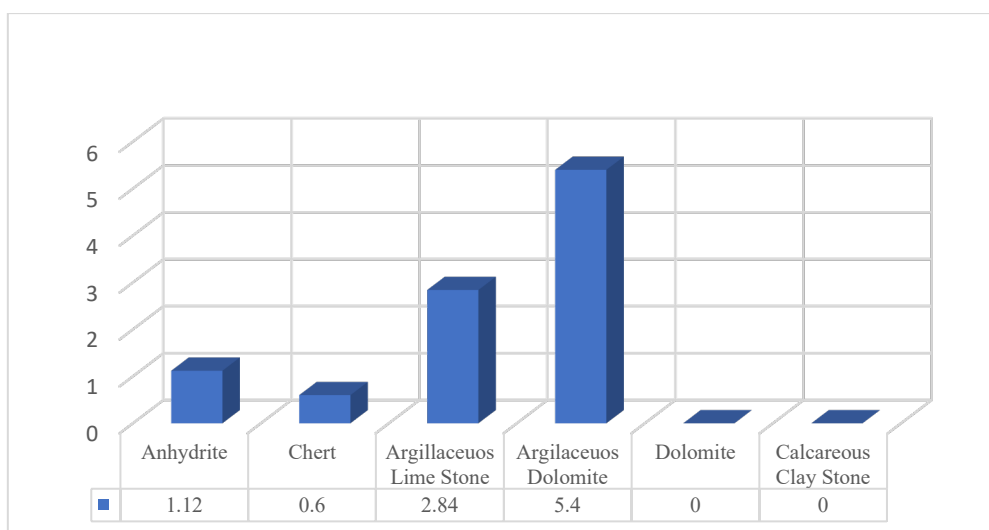
^۱ Cutter

^۲ Round Trips

^۳ Bit Selection



شکل ۴-۳: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته ۵۳۷



شکل ۴-۴: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته M۴۲۳

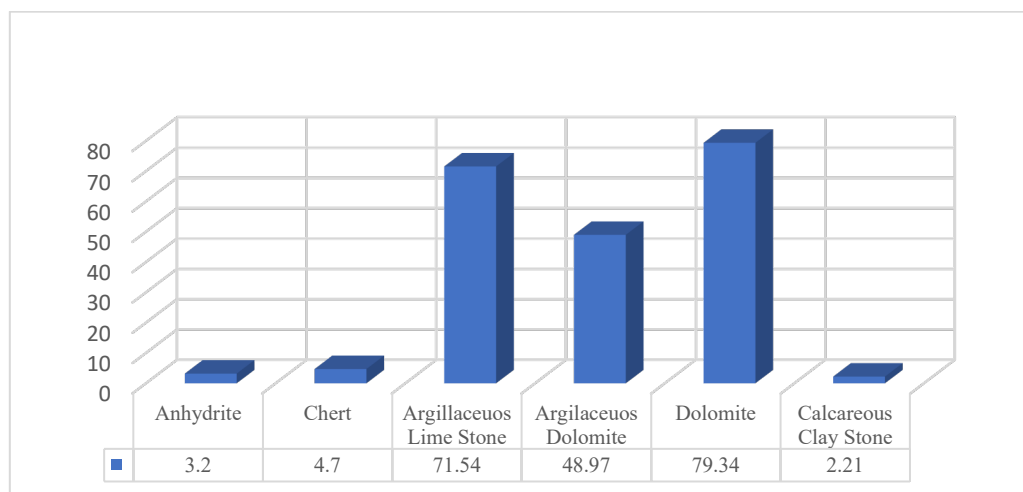
درباره هزینه باید متذکر شد که ممکن بعضی از مته‌ها را دوباره در روند حفاری یک بازه بکار گرفته شود مثل مته شماره M۴۲۳(۲RR) که جهت حفاری یک بازه استفاده شده که در بررسی هزینه به‌ازای متر از^۱ حفاری شده، هزینه این مته در حفاری کل آن بازه شده، اگر این مته‌ای بازه‌ای که در چاهی حفاری شده دوباره در چاه دیگر بکار ببریم هزینه آن را نمی‌توان نادیده گرفت. در مقایسه هزینه بین سازندها برای مته‌های مورد نظر

^۱ Cost Per Foot

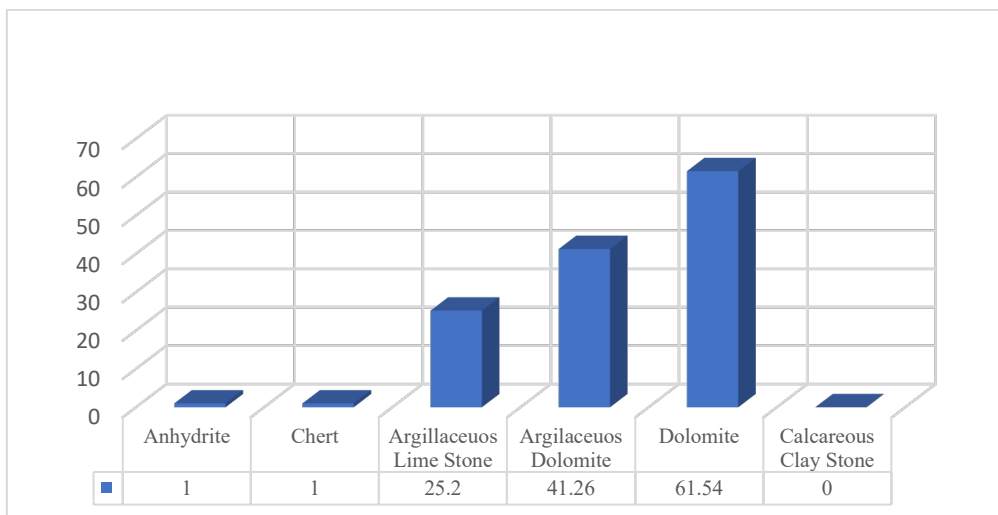
باید قیمت در نظر بگیریم که قیمت واقعی مته یا قیمت اولیه آن باشد نه قیمت آن در زمان خرید، در این پژوهش هزینه مته بررسی شده و بر پایه حداکثر فرسایش آن محاسبه می‌شود.

۴-۱-۲- چاه B

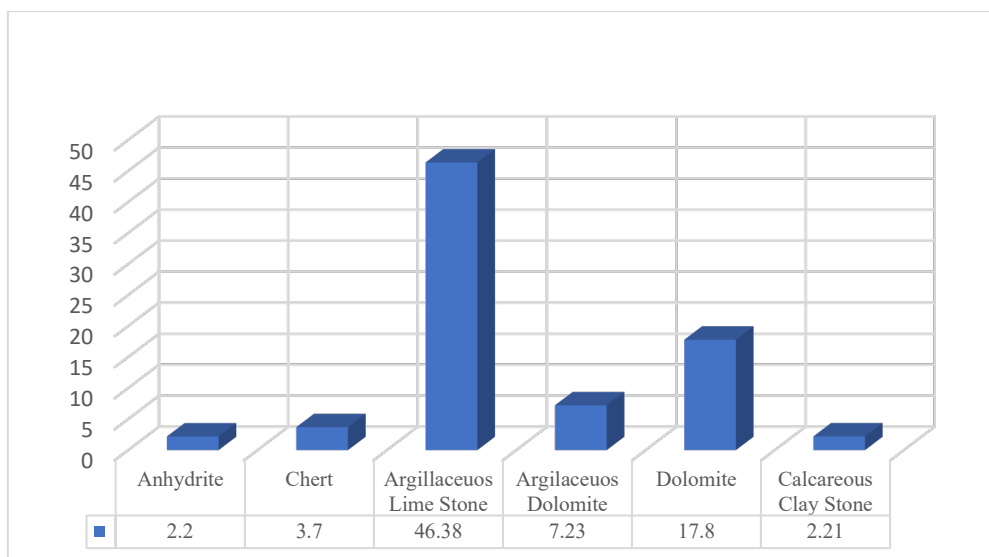
در سازند شماره B، دو مته به درون چاه دو بار رانده شده که هزینه حفاری واحد طول چاه را بر اساس لیتولوژی‌ها و مترآژ برای هر مته داده محاسبه شده است. از مجموعه ۲۱۰ متر حفاری شده مته ۵۳۷ با حفاری ۱۳۰ متر حفاری، بیشترین میزان حفاری را به خود اختصاص داده و مته M۴۲۳ با مترآژ ۸۰ متر در این سازند که بیانگر حفاری بهینه این سازند و کارایی روش هزینه حفاری واحد طول، در برابر روش هزینه حفاری، در ارزیابی کارکرد مته‌های مورد استفاده می‌باشد. هزینه حفاری واحد طول بالای سازندهای ابتدایی چاه به علت انتخاب نامناسب مته‌ها می‌باشد که بر اساس آزمون و خطا صورت گرفته و در چاه‌های بعدی بهبود یافته است. مترآژ حفاری شده شکل ۴-۵ به صورت خلاصه بیان شده است.



شکل ۴-۵: نمودار کل مترآژ حفاری شده در چاه B



شکل ۴-۶: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته ۵۳۷



شکل ۴-۷: نمودار لیتولوژی حفاری شده توسط مته ۴۲۳

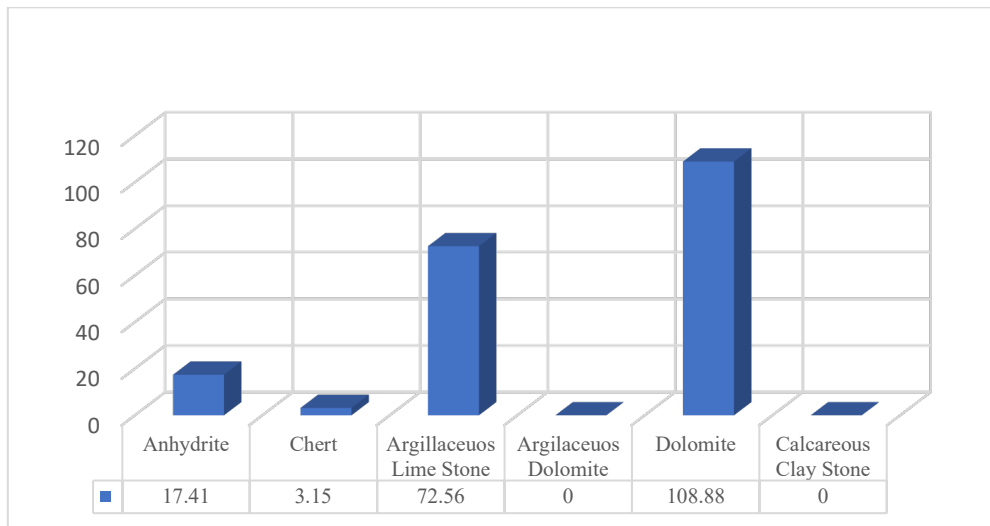
۴-۱-۳- چاه C

نکته قابل توجه در حفاری این چاه استفاده از مته‌های با کد یکسان، با هزینه حفاری واحد طول متفاوت، می‌باشد دو مته که مورد استفاده قرار گرفته اند، مته‌های M۳۲۳ (۳RR) و M۳۲۳ (۳RR) می‌باشد. مته‌های M۳۲۳ (۳RR) در این سازند که دارای سنگ‌های دولومیت^۱ با میان لایه‌های سنگ آهک^۲ و در برخی اعماق

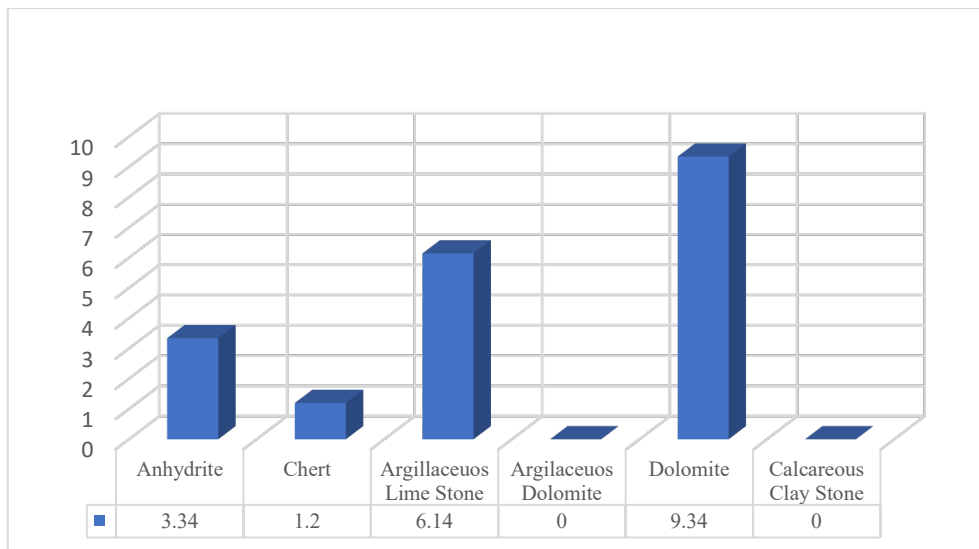
^۱ Dolomite

^۲ Lime Stone

مقدار کمی میان لایه انیدریت^۱ می باشد که این راندن به واسطه پارامترهای حفاری و یا فرسایش در مته نیست بلکه به علت شرایط و خصوصیات سازند می باشد این راندن مجدد به واسطه هرزروی کامل^۲ تحمیل گردید که هنگام هرزروی شدید^۳ است. پس زمان راندن مجدد چاه که به همین علت انجام گرفته به عنوان ساعات بدون حفاری^۴ برای مته محاسبه شده است.



شکل ۴-۸: نمودار لیتولوژی حفاری شده در چاه C



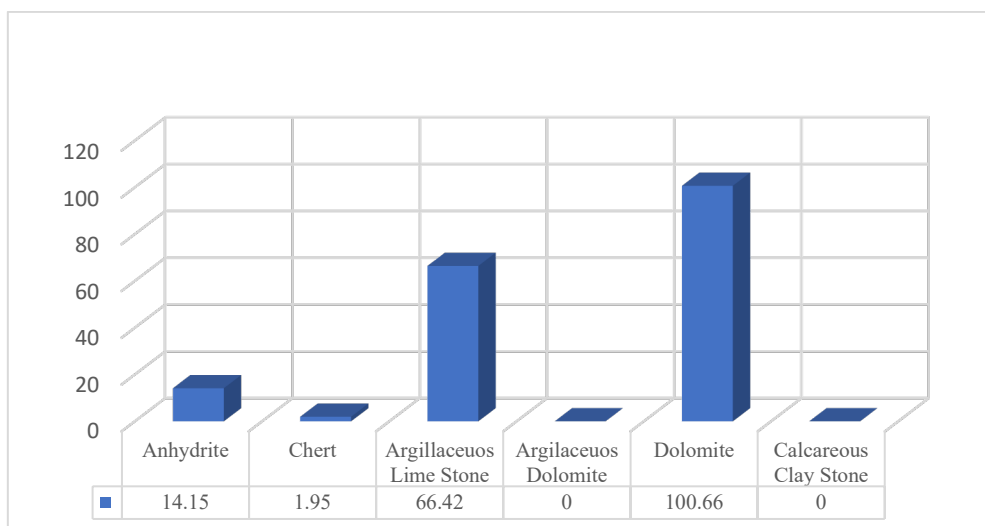
شکل ۴-۹: نمودار لیتولوژی حفاری شده در سازند M۳۲۳

^۱ Anhydrite

^۲ Complete Loss

^۳ Severe Loss

^۴ Non-Rotating Times



شکل ۴-۱۰: نمودار لیتولوژی حفاری شده در سازند M322(3RR)

در مورد هزینه مته‌ها باید خاطرنشان نمود که برخی مته‌ها ممکن است مجدداً جهت ادامه حفاری یک بازه و یا برای حفاری چاهی دیگر مورد استفاده قرار گیرند. اگر مته‌ای (مانند مته M322 در چاه C) برای ادامه حفاری یک بازه، در یک چاه مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان در معادله محاسبه هزینه به‌ازای متر از حفاری، قیمت آن مته را برای حفاری کل آن بازه در نظر گرفت. به این معنی که اگر قیمت مته ۱۱۵۰۰۰ دلار باشد و در چند مرتبه، بازه‌ای از یک چاه را حفاری کرده باشد، تنها یک‌بار هزینه کل مته را برای کل متر از حفاری شده آن بازه از چاه در نظر می‌گیریم. اما اگر مته‌ای بازه‌ای را در چاهی حفاری کرده باشد و بخواهیم این مته را دوباره در چاهی دیگر مورد استفاده قرار دهیم، مشخص است که نمی‌توان قیمت آن را نادیده انگاشت و به هر حال برای مقایسه هزینه بین چاه‌ها باید برای مته مذکور قیمتی در نظر گرفته شود که البته قیمت واقعی مته باشد و نه قیمت آن در زمان خرید و یا همان قیمت اولیه آن. در این پروژه قیمت مته‌های دوباره استفاده شده، بر اساس حداکثر میزان فرسایش آن‌ها محاسبه شده است. به این صورت که مبلغ اولیه مته به هشت قسمت تقسیم شده و به‌ازای هر یک هشتم فرسایش، یک هشتم از ارزش اولیه آن نیز کسر خواهد شد. برای مثال در مورد مته شماره M423 در چاه B که قیمت اولیه آن ۱۳۱۰۰۰ دلار باشد، ابتدا در چاهی که جزء چاه‌های مورد مطالعه ما نمی‌باشد، یک متر از ۱۰ متری حفاری نموده و هنگام استفاده در چاه B، یک هشتم از اجزاء برنده بیرونی آن فرسایش یافته بودند. در نتیجه نمی‌توان برای چنین مته‌ای قیمت یک مته نو را در نظر گرفت

و اگر به عنوان مثال قرار باشد این مته را به شرکت دیگری بفروشیم، بر مبنای میزان فرسایش آن قیمت گذاری خواهد شد. پس با توجه به آنچه که گفته شد، ارزش این مته ۱۱۳۷۵۰ دلار می باشد. همین مته مجدداً در چاه A رانده شد. در زمان راندن این مته جهت حفاری قسمتی از بازه " ۱۲ ۱/۲ این چاه، حداکثر فرسایش اجزاء برنده آن، به میزان چهار هشتم یا همان یک دوم بود. در نتیجه قیمت واقعی این مته در این مرتبه، مبلغ ۶۳۰۰۰ دلار می باشد.

البته موارد فوق الذکر تنها قابل کاربرد برای مته های تیغه ثابت می باشند و برای مته های کاج دار باید علاوه بر فرسایش دندانها، کیفیت و فرسایش یاتاقانها را نیز در نظر گرفت که در این پروژه کاربردی ندارد. در جدول ۳-۴ و نمودارهای ۴-۱۱ و ۴-۱۲، کلیه هزینه ها و موارد محاسبه شده جهت مته های به کار رفته در این سه چاه، جهت بررسی و مقایسه آورده شده اند. همچنین در جدول ۴-۲ موارد مربوط به مته ها و میزان فرسایش آنها در زمان رانده شدن در چاه به تفصیل ذکر گردیده است.

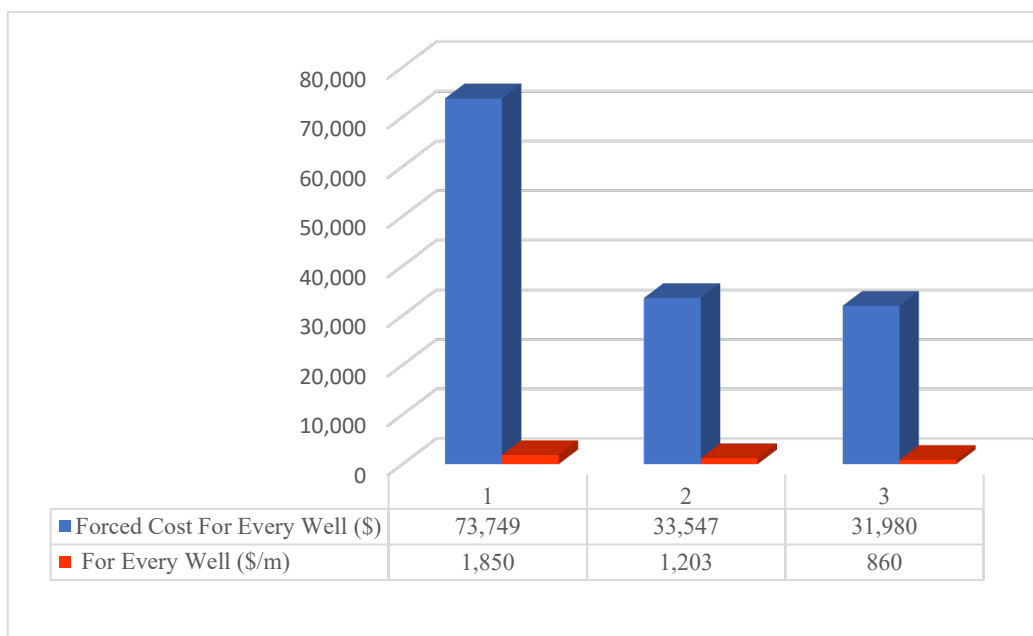
جدول ۴-۳: مجموع هزینه های برای هر یک از مته های حفاری

Well No.	Bit NO.	Bit Cost (\$)	Drilling Time (Hrs.)	Non-Drilling Time (Hrs.)	Meterage (m)	Constant Cost/hrs.	\$/m	Forced Cost(\$)	Forced Cost For Every Well (\$)	\$/m For Every Well
A	M۴۲۳(۲RR)	۶۳۰۰۰	۴۹/۶۸	۲۳	۱۶۳/۳۰	۱۴۹	۱۰۴۵	۳۵۶۳۷	۷۳۷۴۹	۱۸۵۰
	۵۳۷	۲۶۳۰۰	۲۱/۴۵	۲۶	۳۹/۷۴	۱۴۹	۲۶۵۰	۳۸۱۱۲		
	M۴۲۳	۱۳۱۰۰۰	۱/۷۶	۰	۹/۹۶	۱۴۹	۱۰۵۳۱	۰		
B	۵۳۷	۲۶۳۰۰	۴۴/۶۱	۲۱	۱۳۰	۱۴۹	۱۰۲۳	۳۳۵۴۷	۳۳۵۴۷	۱۲۰۳
	M۴۲۳(۲RR)	۱۱۲۶۵۰	۸/۴	۰	۸۰	۱۴۹	۱۴۸۰	۰		
C	M۳۲۳	۱۱۵۰۰۰	۳/۲	۲۲	۲۰	۱۴۹	۶۱۲۳	۳۱۹۸۰	۳۱۹۸۰	۸۶۰
	M۳۲۳(۳RR)	۱۱۵۰۰۰	۲۷/۴۳	۰	۱۸۲	۱۴۹	۷۹۸	۰		

❖ ستون هزینه ثابت شامل هزینه دکل حفاری (Rig Cost) سیستم نمودارگیری سطح الارضی

(Mud logging or Surface Logging) و واحد مدیریت پسماند (Waste Management) به ازای هر

ساعت (Cost/hrs) می باشد.



شکل ۴-۱۱: نمودار هزینه تحمیل شده (دلار) به هزینه هر متر حفاری در سه سازندهای مورد بررسی

از نتایج نمودار ۴-۱۱ می‌توان به راحتی دریافت که بیشترین هزینه تحمیل شده^۱ و همچنین بیشترین هزینه به‌ازای مترافز حفاری برای حفاری سازند پابده این میدان، متعلق به چاه A است. در رتبه دوم چاه B و در رتبه سوم چاه C قرار می‌گیرند. به وضوح مشخص است که در چاه‌های B و A، حتی با وجود استفاده از مته‌های کارکرده که قیمت کمتری نسبت به مته نو دارند، باز هم هزینه به‌ازای مترافز حفاری برای چاه C پایین‌تر می‌باشد. البته استفاده از مته‌های PDC در سازند پابده محدودیت‌هایی نیز دارد که باید این محدودیت‌ها را مورد توجه قرارداد و گرنه در صورت عدم توجه به چنین محدودیت‌هایی، متحمل هزینه‌های زیادی به واسطه تحمیل پیمایش‌های اجباری اضافی و خراب شدن پیش از موعد انتظار مته خواهیم شد. شایان ذکر است که در چاه C پیمایش چاه انجام شده به واسطه مته نبوده و جهت کنترل هرزروی بوده است. نکته قابل توجه این است که مته‌ها، جهت حفاری سازند پابده از سازند بالاتر از خود، یعنی سازند آسماری وارد می‌شوند که در سازند آسماری تقریباً اکثر چاه‌های میدان مورد مطالعه با هرزروی شدید و در موارد زیادی نیز هرزروی کامل مواجه می‌باشیم. این سازند از دولومیت‌های بسیار متخلخلی تشکیل شده است که نوع تخلخل آن‌ها در تقسیم‌بندی Archi تخلخل نوع C نامیده می‌شود. این نوع تخلخل با چشم غیر مسلح قابل رویت می‌باشد. در

^۱ Forced Cost

نتیجه یکی از محدودیت‌ها جهت استفاده از مته‌های PDC در سازند آسماری و مترآزهای اولیه سازند پابده هرزروی‌های شدید می‌باشد. از طرف دیگر در سازند پابده و علی‌الخصوص در قاعده این سازند، همان‌طور که در نمودارهای ترسیم شده توسط نرم‌افزار Excel در این فصل و توسط نرم‌افزار Log Plot در ادامه مشخص است، رگه‌ها و قطعات چرتی^۱ وجود دارند که در صورت استفاده از پارامترهای نامناسب حفاری، برای حفاری این بازه‌ها که همان وزن روی مته کم و دوران زیاد مته می‌باشد، مته دچار فرسایش‌های شدیدی پیش از موعد پایان عمر بهینه خود خواهد شد و اجزاء برنده و بدنه مته به شدت فرسوده می‌گردند. به اصطلاح در این هنگام از واژه کچل شدن برای مته‌های PDC استفاده می‌کنند. با کنترل دقیق و به موقع پارامترهای حفاری، در هنگام حفاری این رگه‌ها و قطعات چرتی، می‌توان از بروز چنین مشکلی جلوگیری به عمل آورد. طریقه تشخیص این بازه‌ها همگام با حفاری و پارامترهای مناسب برای گذراندن آن‌ها در قسمت بعد که مربوط به بهینه‌سازی پارامترهای حفاری می‌باشد به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جهت قضاوت نسبت به اینکه حفاری کدام بازه مقرون به صرفه‌تر بوده و کمترین هزینه را در برداشته، باید مجموع هزینه‌های تحمیل شده و هزینه به‌ازای مترآز حفاری کل که عبارت است از ضرب هزینه به‌ازای مترآز حفاری در مترآز ضخامت کل حفاری شده، را محاسبه و مقایسه نمود. از آنجاکه ضخامت سازند پابده در چاه‌های مورد مطالعه یکسان نبوده و به ترتیب ۲۱۳ متر، ۲۱۰ متر، ۲۰۲ متر می‌باشند، لذا یک عمق میانگین که ۲۰۸ متر می‌باشد را تنها در این قسمت مبنای محاسبات قرار می‌دهیم تا هزینه‌ها به ازای مترآزی یکسان محاسبه شوند. باید خاطرنشان نمود تنها جهت این محاسبه، این فرض در نظر گرفته شده است و در هیچ یک از نمودارها و جداول و محاسبات دیگر چنین فرضی در نظر گرفته نشده است.

جدول ۴-۴: محاسبه هزینه کل به‌ازای مترآز حفاری میانگین برای هر چاه

Well NO.	Forced Cost (\$)	Cost/m (\$/m)	Base Mean Meterage (m)	Total Drilling Cost (\$/m × m)
A	۷۳۷۴۹	۱۸۵۰	۲۰۸	۳۸۴۸۰۰
B	۳۳۵۴۷	۱۲۰۳		۲۵۰۲۲۴
C	۳۱۹۸۰	۸۶۰		۱۷۸۸۸۰

^۱ Chert Streaks And Binders

با توجه به جدول ۳-۴ و ۴-۴ و نمودار ۴-۱۲ می‌توان بیان نمود که بیشترین هزینه به‌ازای متر از حفاری (\$/m) به نوبت در چاه A، سپس چاه B و در آخر چاه C، صرف شده است. همچنین هزینه کل جهت حفاری سازند پابده در این چاه‌ها نیز به همین ترتیب می‌باشد.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش محاسبه هزینه به‌ازای متر از حفاری (\$/m)، بهترین و بهینه‌ترین انتخاب مته جهت حفاری این سازند، در چاه C انجام پذیرفته است. در رتبه ی دوم چاه B و بالاخره در رتبه سوم، چاه A قرار می‌گیرد.

تمامی محاسبات این فصل تنها مربوط به سازند پابده بوده است. اما حفاری بازه "۱۲ ۱/۲" در این میدان، از سقف سازند آسماری شروع می‌شود و بعد از حفاری سازندهای آسماری، پابده، پابده - بخش گورپی بالایی^۱ و یک ضخامت کلی همه سازندهای مذکور در این میدان به طور متوسط ۱۱۰۰ متر می‌باشد، در سقف بخش گورپی پایینی^۲ به پایان می‌رسد. از آنجا که نرخ نفوذ متوسط^۳ مته‌های TCI بررسی شده در این پروژه، جهت حفاری بازه‌های مورد مطالعه، بر اساس آنچه که در قبل به دست آوردیم ۲/۹ m/hr بوده و حداکثر ساعت مجاز حفاری برای آن‌ها بر اساس کاتالوگ، حداکثر ۱۲۰ تا ۱۳۰ ساعت می‌باشد، این مته‌ها بسته به شرایط، قابلیت حفاری ۳۶۴ متر را دارند که البته در واقعیت مانند آنچه در چاه B مشاهده نمودیم، مته بعد از حفاری ۲۴۷ متر دچار فرسایشی شد که مناسب برای ادامه حفاری نبود. در نتیجه کارایی این مته‌ها در سازندهای با سختی در حد متوسط تا سخت، همراه با لایه‌ها یا قطعات چرتی و ساینده، حدود ۹۰ hr می‌باشد. در نتیجه، برای به پایان رساندن کل بازه "۱۲ ۱/۲" بر اساس ضخامت آن ۱۱۰۰ متر به طور متوسط، به حدود پنج مته TCI با کد ۵۳۷ و به تبع آن حداقل چهار پیمایش، تنها جهت تعویض مته نیاز می‌باشد. علاوه بر این تعداد غیر معقول مته‌ها، سرعت حفاری کمتر مته‌های TCI نسبت به مته‌های PDC نیز از نقص‌های کاربرد این مته‌ها جهت حفاری بازه مذکور، در برابر مته‌های PDC می‌باشد. در نتیجه نیاز به استفاده از مته‌های PDC مناسب و با

^۱ Upper Gurpi

^۲ Lower Gurpi

^۳ Average ROP

بازدهی بالا برای حفاری این بازه به شدت احساس می‌شود. از طرفی در صورت تمایل به استفاده از یک مته TCI با کد مذکور برای حفاری قسمتی از سازند آسماری نیز قسمتی از سازند پابده، از سقف سازند آسماری تا قسمت‌های بالایی سازند گورپی نیازمند به استفاده از یک مته PDC می‌باشیم. همچنین بعد از اتمام کارایی مته TCI در اواسط سازند پابده، برای ادامه حفاری، بر اساس ضخامت باقی مانده که طبق محاسبات انجام شده و بر اساس همبستگی^۱ بین سه چاه بررسی شده در این پایان نامه به طور متوسط ۵۰۰ متر می‌باشد، به دو مته TCI یا یک مته PDC دیگر نیز نیاز می‌باشد. از طرفی، درست است که بخشی از رگه های چرتی با متهای ارزان تر و مناسب‌تر برای بازه‌های چرتی (مته TCI) حفاری می‌شود و همچنین بازه‌ای که احتمال هرزروی شدید در آن زیاد بوده و تقریباً همیشگی می‌باشد، گذرانده و یا به اصطلاح پاس^۲ می‌شود، اما این نکته را نیز باید مورد توجه قرارداد که طبق مطالعات انجام شده این جانب، این مته (مته TCI با کد ۵۳۷) همان‌طور که گفته شد، تنها حدود ۲۵۰ متر در این بازه بازدهی دارد. برای مثال برای حفاری از ۱۳۰ متر مانده به سازند پابده وارد چاه شده و ۱۲۰ متر از سازند پابده را نیز حفاری می‌کند (مانند آنچه که در چاه B انجام شده است). در نتیجه قسمت عمده رگه های چرتی که در قاعده سازند پابده می‌باشند، به دلیل نیاز به تعویض مته به دلیل فرسوده شدن و عدم کارایی مته TCI، باید با مته یا مته‌های دیگری حفاری شود که همان‌طور که گفته شد، در صورت انتخاب مته TCI به دو مته از این نوع و در صورت انتخاب مته PDC مناسب، به یک مته دیگر برای اتمام این بازه نیاز می‌باشد. در مورد هرزروی موجود در سازندهای پابده این میدان و محدودیت مته‌های PDC برای ادامه حفاری در این نواحی با هرزروی های شدید و هرزروی های کامل، لازم به ذکر است که در صورت وقوع هرزروی، از آنجا که چنین هرزروی در این میدان قابل درمان^۳ می‌باشد و نیازی به ادامه حفاری به صورت حفاری کور^۴ در این میدان نمی‌باشد، با هر مته‌ای که در حال حفاری باشیم باید از چاه خارج شده و اقدام به پمپاژ سیمان در برابر بازه‌های متخلخل و تراوا، جهت کنترل هرزروی نماییم. از طرفی اگر با هرزروی شدید مواجه باشیم، بنا به تحقیقات می‌دانی اینجانب و آنچه که در چاه C انجام شده، با مته PDC

^۱ Correlation

^۲ Pass

^۳ Treatable

^۴ Blind Drilling

پیشنهادی در این پایان نامه می‌توان به راحتی و بدون نگرانی با هرزروی های ۱۰-۱۲ BPH به حفاری ادامه داد. همچنین به دلیل اینکه حفاری این بازه عمودی می‌باشد و از موتورهای درون چاهی برای این بازه ها استفاده نمی‌شود، بدون نگرانی از انسداد احتمالی موتور درون چاهی در صورت استفاده از مواد کنترل هرزروی^۱، می‌توان از این مواد برای کنترل و کاهش هرزروی در این نواحی استفاده نمود.

در مورد مته‌های مورد مطالعه باید خاطر نشان نمود که، مته PDC کد M۳۲۳ بعد از مته غلتان کاج از نوع مته‌های سنگی (Rock Bit) که جهت حفاری کفشک جداری "۳/۸ ۱۳ و ۲۵ متر بعد از آن مورد استفاده قرار گرفت، در چاه رانده شده و مقدار ۱۱۰۰ متر باقی مانده از بازه "۱۲ ۱/۲ را در دو نوبت (۲Run) حفاری نمود. بعد از خروج، با توجه به کد درجه‌بندی فرسایش، این مته قابلیت استفاده مجدد جهت حفاری در چاه‌های دیگر را نیز داشت (جدول ۴-۲) از طرفی مته PDC کد M۴۲۳ تنها با حفاری ۲۷۰ متر در سه نوبت (۳Run)، پس از خروج به شدت فرسوده شده بود و به دلیل افتادن اجزاء برنده آن در چاه، طبق آنچه که پیش تر بررسی نمودیم، متحمل هزینه‌های زیادی به این دلیل شدیم. در مورد مته TCI و کارایی آن جهت استفاده در این میدان هم به تفصیل در سطرهای بالاتر بحث شده است. لازم به ذکر است که در هنگام حفاری به وسیله مته PDC با کد M۳۲۳، با توجه به نمودن پارامترهای حفاری، بازه‌های چرتی به درستی تشخیص داده شده‌اند و با تغییر پارامترهای حفاری که در قسمت بهینه‌سازی ذکر خواهد گردید، از خرابی پیش از موعد مته جلوگیری به عمل آمده است. اما در مورد مته PDC کد M۴۲۳، بدون توجه به این پارامترها و استفاده از پارامترهای نامناسب جهت حفاری این رگه ها، مته زودتر از آنچه که می‌بایست فرسوده شود فرسوده شده و باعث بروز مشکلاتی که پیش تر ذکر شده، گردیده است. باید این نکته را نیز در نظر داشت که مته M۴۲۳ در هنگام رانده شدن در چاه A، طبق جدول ۴-۲ دارای فرسایش قابل توجهی بود. واضح است که مته با کد M۳۲۳، با اینکه کد IADC پایین‌تری نسبت به مته کد M۴۲۳ دارد، بازدهی بسیار مناسب‌تر و غیر قابل مقایسه ای با مته کد M۴۲۳ دارد همان‌طور که گفته شد، بر اساس ضخامت بازه "۱۲ ۱/۲ که به طور متوسط ۱۱۰۰ متر می‌باشد و بازدهی مته‌های مورد مطالعه در این پروژه، برای اتمام کل این بازه، در صورت استفاده از مته‌های

^۱ LCM: Loss Controlling Material

TCI با کد ۵۳۷ به حدود ۵ مته، در صورت استفاده از ترکیب مته‌های PDC با کد M۳۲۳ و TCI با کد ۵۳۷ به یک مته از هر نوع، در صورت استفاده از ترکیب مته‌های PDC با کد M۴۲۳ و TCI با کد ۵۳۷، به حداقل سه مته PDC و یک مته TCI و در صورت استفاده از مته‌های با کد M۳۲۳، تنها به یک مته نیاز می‌باشد.

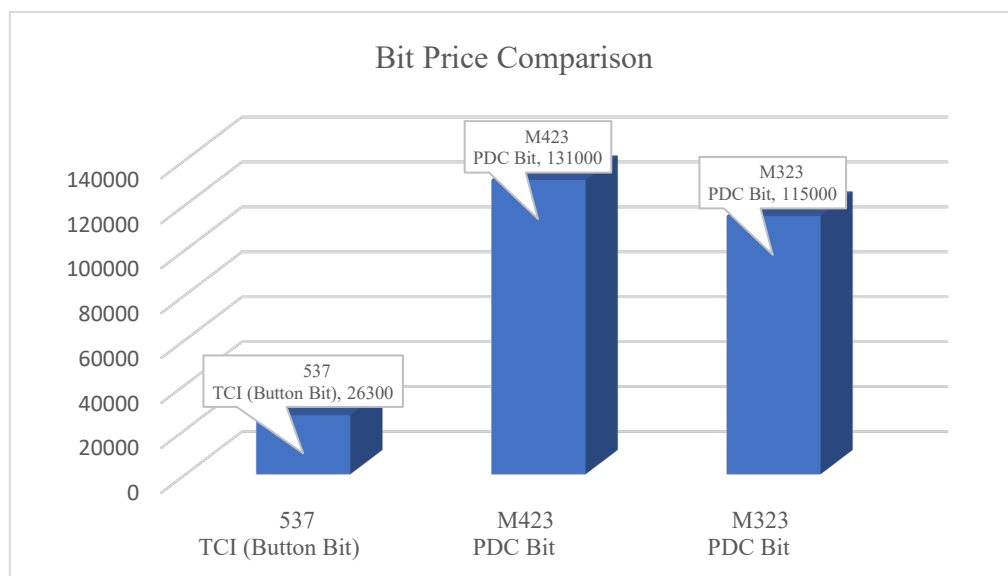
مقایسه هزینه‌های آن جهت تصمیم‌گیری برای انتخاب ترکیب مته‌ها در کل بازه "۱۲ ۱/۲" با استفاده از معادله هزینه به ازای متر از حفاری به صورت زیر می‌باشد:

جدول ۴-۵: مقایسه هزینه ترکیب رانده مته‌ها جهت انتخاب بهترین ترکیب ممکن از نقطه نظر هزینه به‌ازای متر از حفاری

Well NO.	Bit NO.	Ave. ROP (m/hr)	Drill Time (hr) - Distance(m)	Forced Time (hr) - Cost (\$)	\$/m	Interval \$/m	Sum (\$)
Sample#۱	TCI#۱	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۱۶۷۵-۲۵۶۱۱	۷۵۶	۷۸۰	۸۸۱۳۹۰
	TCI#۲	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۱۹۷۵-۳۰۱۹۸	۷۷۴		
	TCI#۳	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۲۲۷۵-۳۴۷۸۵	۷۹۳		
	TCI#۴	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۲۵۷۵-۳۹۳۷۲	۸۱۱		
	TCI#۵	۲/۸	۴۶/۴۳-۱۳۰	۰-۰	۷۵۳		
Sample#۲	TCI#۱	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۱۶۷۵-۲۵۶۱۱	۷۵۶	۸۶۰	۹۷۱۸۰۰
	PDC#۱	۴/۱۴	۷۰/۰۵-۲۹۰	۲۰۲۳-۳۰۹۳۲	۹۲۴		
	PDC#۲	۴/۱۴	۷۰/۰۵-۲۹۰	۲۳۷۱-۳۶۲۵۳	۹۴۳		
	PDC#۳	۴/۱۴	۷۲/۴۶-۳۰۰	۰-۰	۸۰۳		
Sample#۳	TCI#۱	۲/۸	۸۹/۲۸-۲۵۰	۲۲۷۵-۲۵۶۱۱	۷۹۳	۴۶۲	۵۲۲۰۶۰
	PDC#۱	۷/۸	۱۱۲/۸۲-۸۸۰	۲۰۲۱-۳۰۹۰۱	۳۶۸		
Sample#۴	PDC#۱	۷/۸	۱۴۴/۸۷-۱۱۳۰	۲۱-۳۲۱۰۹	۳۳۱	۳۳۱	۳۲۸۸۳۰

با توجه به جدول ۴-۵، استفاده از تنها یک مته PDC با کد M۳۲۳ بسیار مقرون به صرفه‌تر از حالت‌های دیگر می‌باشد. با در نظر گرفتن جدول‌ها و نمودارهای محاسبه و مقایسه هزینه به‌ازای متر از حفاری و هزینه کل برای سازند پابده و برای کل بازه "۱۲ ۱/۲"، به وضوح مشخص است که همیشه نتیجه استفاده از یک مته یا هر ابزار گران‌تر دیگری، به معنی افزایش هزینه‌ها نیست، بلکه در موارد زیادی به معنی کاهش هزینه‌ها می‌باشد. همچنین همیشه استفاده از مته‌ای گران‌تر و با کد IADC بالاتر مقرون به صرفه‌تر نبوده، بلکه باید به تکنولوژی ساخت مته نیز توجه داشت. تکنولوژی ساخت مته و کیفیت آن را تنها می‌توان از تست‌های میدانی، مانند

آنچه که در این پروژه انجام شده است مشخص نمود. در نتیجه چنین بررسی‌ها و مطالعاتی بسیار هزینه بر و مهم می‌باشند. چرا که نه تنها قابل کاربرد برای چاه‌های دیگر میدان می‌باشند، بلکه قابلیت بسط دادن برای میادین دیگر را نیز دارند. باید خاطرنشان نمود که با بالاتر رفتن کد IADC مت‌ها، حالت تهاجمی آن‌ها نیز کم می‌شود و در نتیجه میزان نرخ نفوذ آن‌ها کاهش می‌یابد که این مورد نیز همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، در صورت عدم ضرورت، مطلوب نمی‌باشد.



شکل ۴-۱۲: نمودار مقایسه قیمت مت‌های بکار رفته در این مطالعه و مقایسه آن‌ها

همان‌طور که به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، استفاده از ترکیب مت در چاه نمونه C، تنها برای سازند پایده، تقریباً کمی بیشتر از هزینه اجاره دو روز یک دکل خشکی (Land Rig) می‌باشد. همچنین بر اساس جدول ۴-۵، استفاده از همین انتخاب مت برای کل بازه ۱۲ ۱/۲"، بسیار مقرون به صرفه‌تر از حالت‌های دیگر انتخاب مت می‌باشد.

۴-۲- انرژی ویژه مکانیکی^۱

انرژی ویژه در حفاری سنگ اولین بار توسط تیل^۲ (۱۹۶۵) معرفی شد [۳۷]. که به عنوان شاخصی در اندازه‌گیری کارایی مکانیکی بر روی سنگ، بیان شد و همچنین به عنوان انرژی مورد نیاز برای حفاری واحد

^۱ MSE: Mechanical Specific Energy

^۲ Teale

حجم سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. انرژی ویژه تاکنون به‌صورت وسیعی در تحقیقات انجام شده در حفاری بر روی سنگ، به‌عنوان شاخص کارایی و مقیاس قابلیت حفاری، بکار رفته است. در حفاری حجم معین از سنگ یک حداقل انرژی که برای محاسبه مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدارش وابسته به ویژگی‌های و طبیعت سنگ می‌باشد در حفاری از این حجم سنگ، انرژی برابر یا بیشتر از این حداقل تئوری نیاز است. تفاوت که بین دو مقدار تئوری و حقیقی و مقدار حقیقی، در استفاده از ابزارهای متفاوت حفاری و داشتن مقداری کار اضافی به مانند حفاری مجدد خرده‌های^۱ حفاری، انرژی انتقال یافته به سنگ‌های اطراف چاه، غلبه بر اصطکاک و گرم‌شدن سیال حفاری می‌گردد. مقدار انرژی ویژه در ابزارهای مختلف که سنگ مشابه را حفاری نموده‌اند، به‌عنوان شاخص برای مشخص کردن ابزاری با افزایش کارایی در شرایط حفاری مورد نیاز، استفاده می‌شود [۳۷].

انرژی ویژه بدون در نظر گرفتن پارامترهای همچون وزن بر روی مته و سرعت چرخش و نرخ نفوذ، ثابت می‌باشد؛ بنابراین می‌توان برای کنترل و مدیریت بر پارامترهای ذکر شده اقدام کرد.

انرژی ویژه مکانیکی برابر است با حجم سنگ کنده شده توسط مته به حجم خاصی از سنگ در نظر گرفته می‌شود. مقدار راندمان را نیز بین حداقل (صفر) و حداکثر (۱۰۰) مقدار در نظر گرفته تا بتوانیم بهترین زمان تعویض مته و تغییر لیتولوژی را شناسایی کنیم و همچنین که به‌صورت زیر برای حجم سنگ خرد شده در نظر گرفته می‌شود.

$$MSE = E_m \left[\frac{4WOB}{\pi D^2} + \frac{480(RPM)(T)}{(ROP)D^2} \right] \quad (۱-۴)$$

WOB : وزن اعمال شده بر مته (lbs.)

T: گشتاور (ft/lbs.)

D: قطر (in)

EM: بازده مکانیکی

RPM: سرعت مته در دقیقه (revolution/min)

^۱ Cutting

MSE: انرژی ویژه مکانیکی (PSI)

ROP : نرخ نفوذ مته (ft/hr.)

از رابطه بالا می‌توان نتیجه گرفت مته‌ای که بیشترین متراف حفاری را در کمترین مقدار انرژی ویژه مکانیکی انجام داده باشد مثلاً اگر چند مته یک متراف مشابه را حفاری کرده باشد مته‌ای بهینه‌تری خواهد بود که کمترین انرژی ویژه خواهد داشت [۳۸].

۴-۳- ضریب قابلیت حفاری^۱

هنگامی که در حفاری با پارامترهای ثابت به حفاری می‌پردازیم، تغییر در سرعت حفاری، بیانگر تغییر در فشارهای زیرسطح است. چون میزان پمپاژ^۲ و وزن گل^۳ در چاه ثابت، تغییر در فشار درون چاه ایجاد نمی‌کند بلکه آنچه تغییر می‌کند فشار سازند بوده، کاهش فشار به معنای افزایش فشار چاه است افزایش فشار درون سازند به معنای کاهش در فشار چاه می‌باشد که با این زیاد شدن فشار سازند، سرعت حفاری یعنی نرخ نفوذ مته زیاد شده و با کم شدن فشار سازند، کاهش در سرعت حفاری خواهیم داشت. این پارامتر به پیش‌بینی فشارهای غیرنرمال زیرسطحی^۴ را هنگام حفاری پرداخته و فوران‌های احتمالی و هرزروی‌های شدید را قبل از وقوع، کنترل کرده. ضریب قابلیت حفاری نیز شبیه انرژی ویژه باید لحظه‌ای به‌وسیله نمودارگیری سطح الارضی پیشرفته^۵ ارزیابی کرد. پارامترهای که جهت پیش‌بینی فشارهای غیرنرمال زیرسطحی هنگام حفاری به کار می‌رود. این پارامترهای ساختار معادله را شکل داده و هم قابلیت حفاری را بیان کرده که از این معادله در جهت تشخیص کارایی مته و فرسودگی آن و زمان مناسب برای تعویض مته به کاربرد. از این پارامترهای برای بررسی فرسایش مته و مقایسه کارایی مته با سایر مته‌ها در لیتولوژی مشابه استفاده کرد. این پارامترهای روند کلی به‌صورت افزایشی دارند که با زیاد شدن عمق، فشردگی سازند به علت فشار فوقانی افزایش یافته که باعث

^۱ Dcexp: Corrected Drillability Exponent

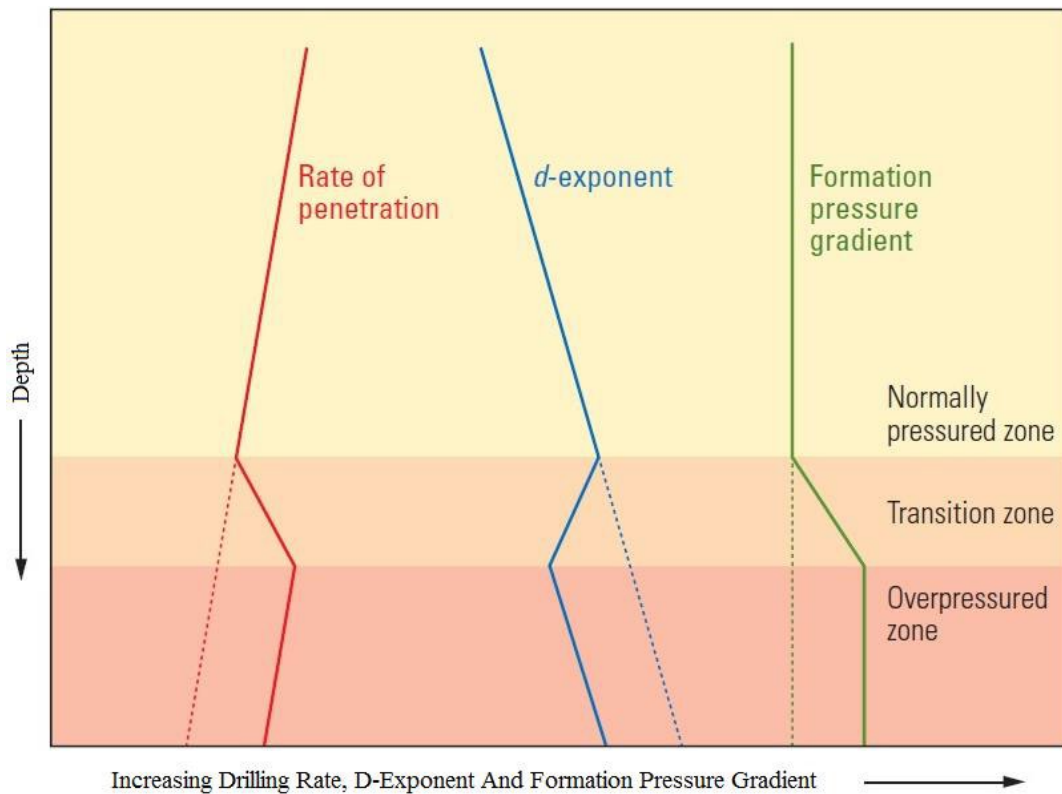
^۲ Pumping

^۳ Mud Weight

^۴ Subsurface Abnormal Pressures

^۵ Surface Logging or Mud Logging

کم شدن سرعت حفاری و زیاد شدن ضریب قابلیت حفاری شده. ایجاد تغییر در این پارامتر و رابطه آن با نرخ نفوذ مته و فشار سازند را در شکل ۴-۱۳ بیان شده که در این مطالعه معادله کلی استفاده شده به شرح زیر است.



شکل ۴-۱۳: تغییر نرخ حفاری و قابلیت حفاری در سازند

$$\text{DRILLABILITY EXPONENT } (D_{exp}) = \frac{\text{LOG10} \left(\frac{rop}{\epsilon \cdot rpm} \right)}{\text{LOG10} \left(\frac{wob}{\epsilon \cdot od_{bit}} \right)} \quad (2-4)$$

ROP : نرخ نفوذ مته (ft/hr.)

WOB : وزن اعمال شده بر مته (lbs.)

RPM : سرعت مته در دقیقه (revolution/min)

od_{bit} : قطر خارجی مته (inch)

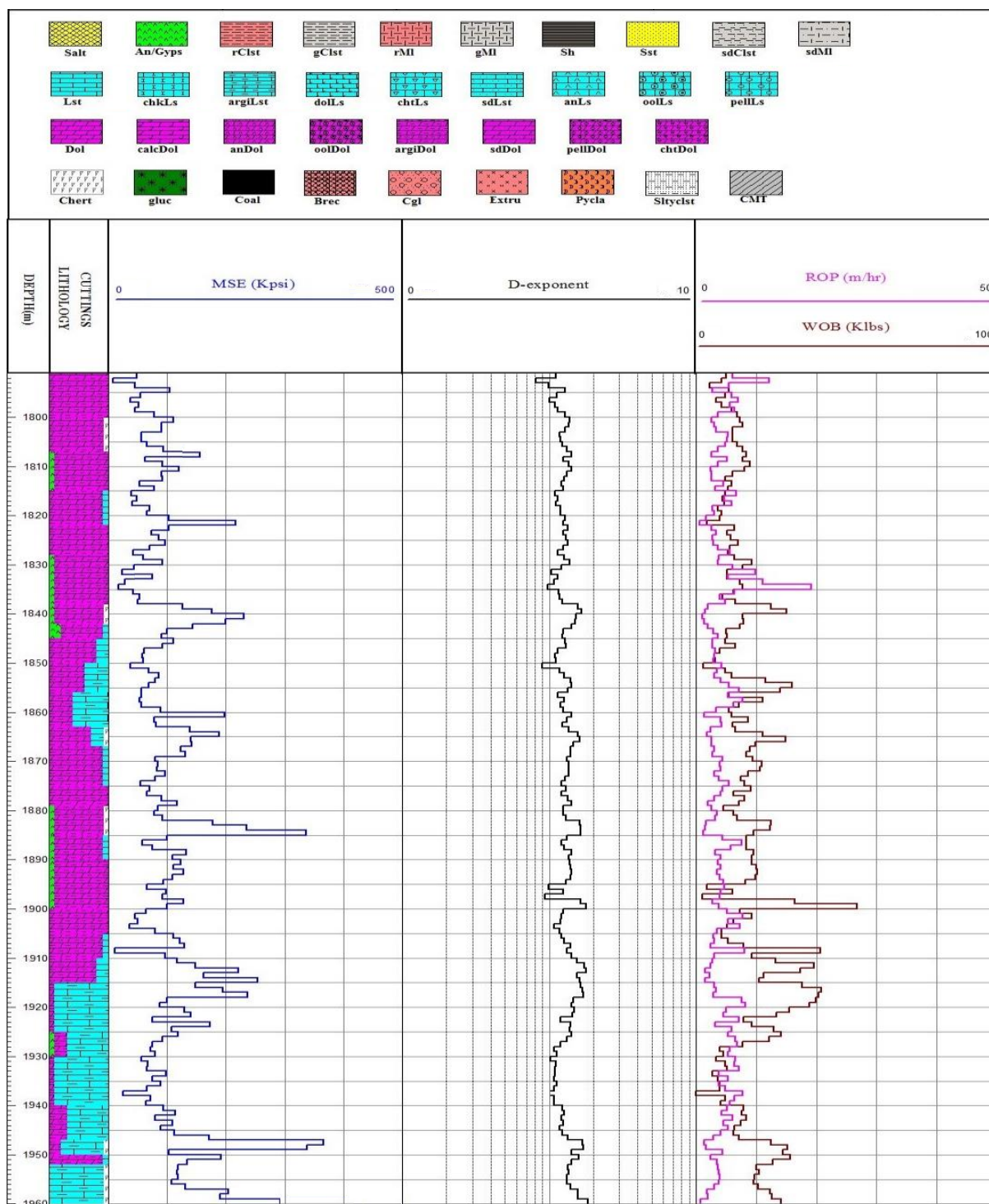
$$D_{exp} = \frac{\text{in} \left(\frac{rop \times a^p}{\epsilon \cdot rpm} \right)}{\text{in} \left(\frac{wob}{\epsilon \cdot od_{bit}} \right)} \quad (3-4)$$

در این معادله ثابت‌های a و p به میزان فرسایش مته و ضریب نوع مته را بیان کرده و پارامتر p فقط در هنگام خارج شدن مته از چاه و مشاهده آن امکان‌پذیر است. در غیر این صورت در این معادله کارایی ندارد. اگر چه نسبت به معادله ۴-۲ که عدم در نظر گرفتن فرسایش مته در آن وجود دارد اصلاح صورت گرفته ولی هنگامی که تغییر در وزن‌گل در بازه حفاری ایجاد شود. در آن زمان از ضریب قابلیت حفاری اصلاح شده استفاده می‌گردد.

a : تابعی از متراژ حفر شده توسط مته و نهایت فرسودگی در آن است و عددی است بین عدد ۱ تا ۸ با توجه به طول بازه مته که از چاه خارج نشده. پارامتر a را نمی‌توان به صورت لحظه‌ای ارزیابی نمود و این معادله برای محاسبه ضریب قابلیت حفاری پس از پایان حفاری مناسب است و گرنه کار بی فایده خواهد بود.

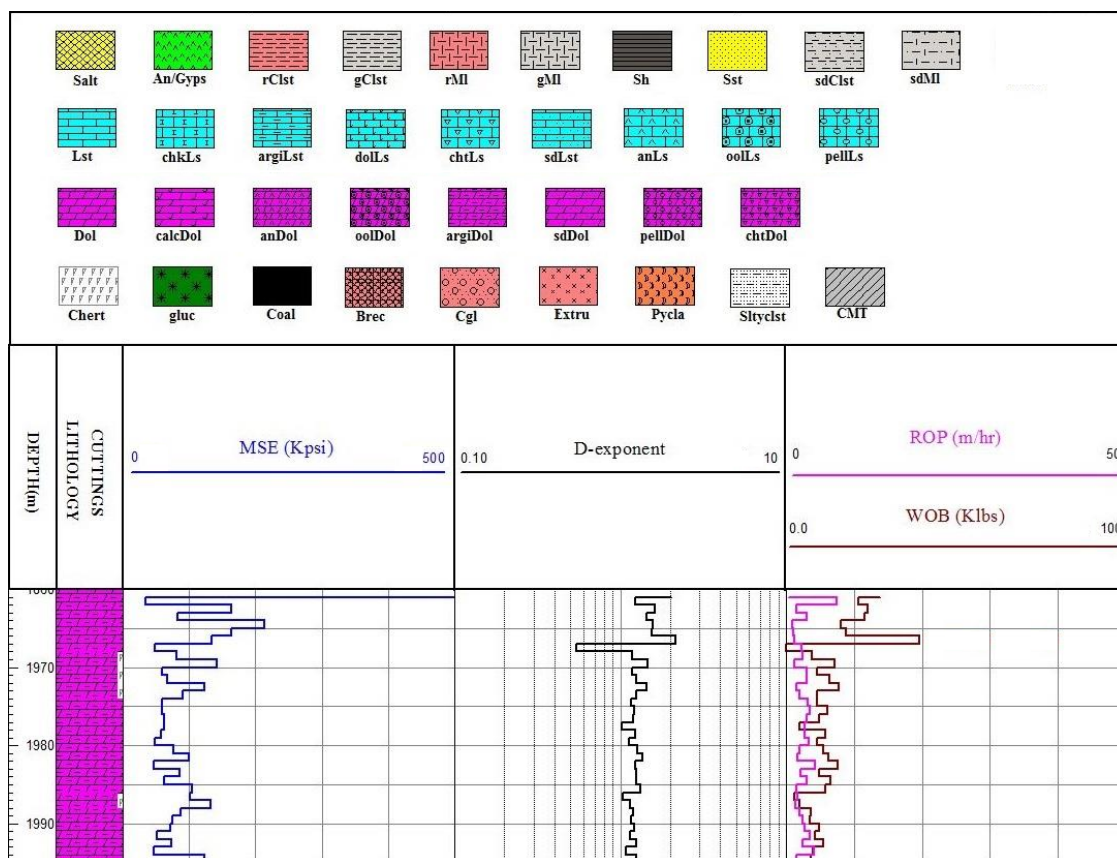
P : تابع از نوع مته تجربی است و عددی است بین عدد ۰/۵ تا ۰/۶ برای مته غلتان کاج در سنگی ۰/۲، برای مته غلتان کاج دار TCI برابر ۰/۰۱ مته الماسه است. این مته تغییری در طول حفاری بازه ایجاد نکرده پس از این پارامتر هم باید صرف‌نظر کرد.

نتیجه به دست آمده از این محاسبه در نمودارهای ۴-۱۴ تا ۴-۲۰ بیان شده است.

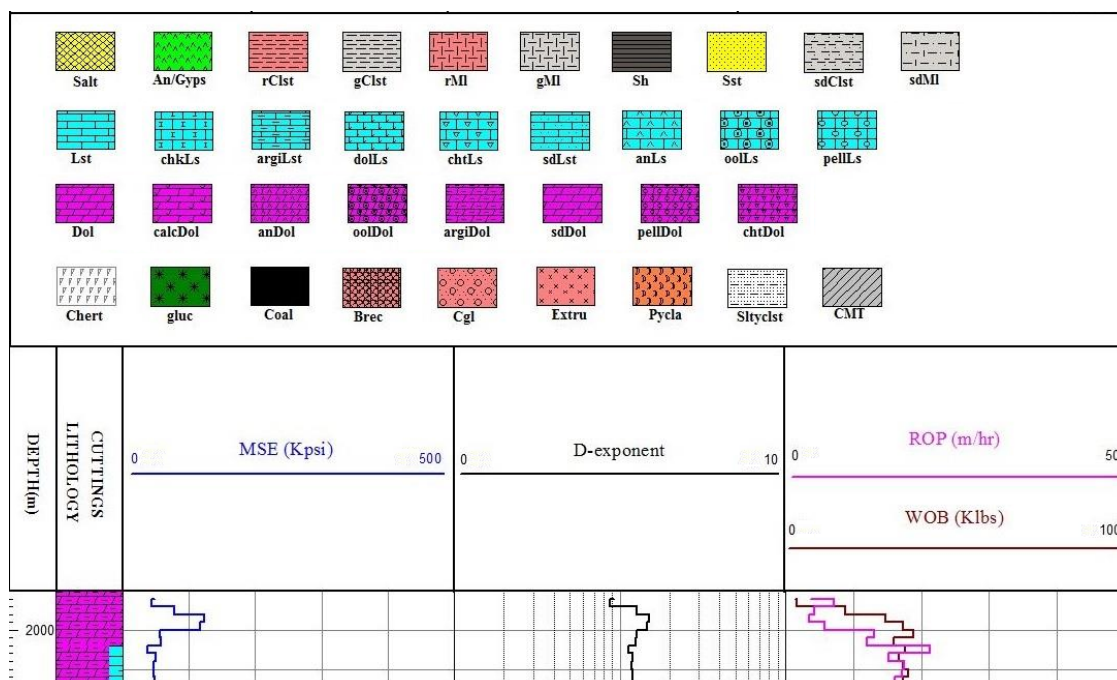


شکل ۴-۱۴: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته M۴۲۳(۲RR) در چاه A

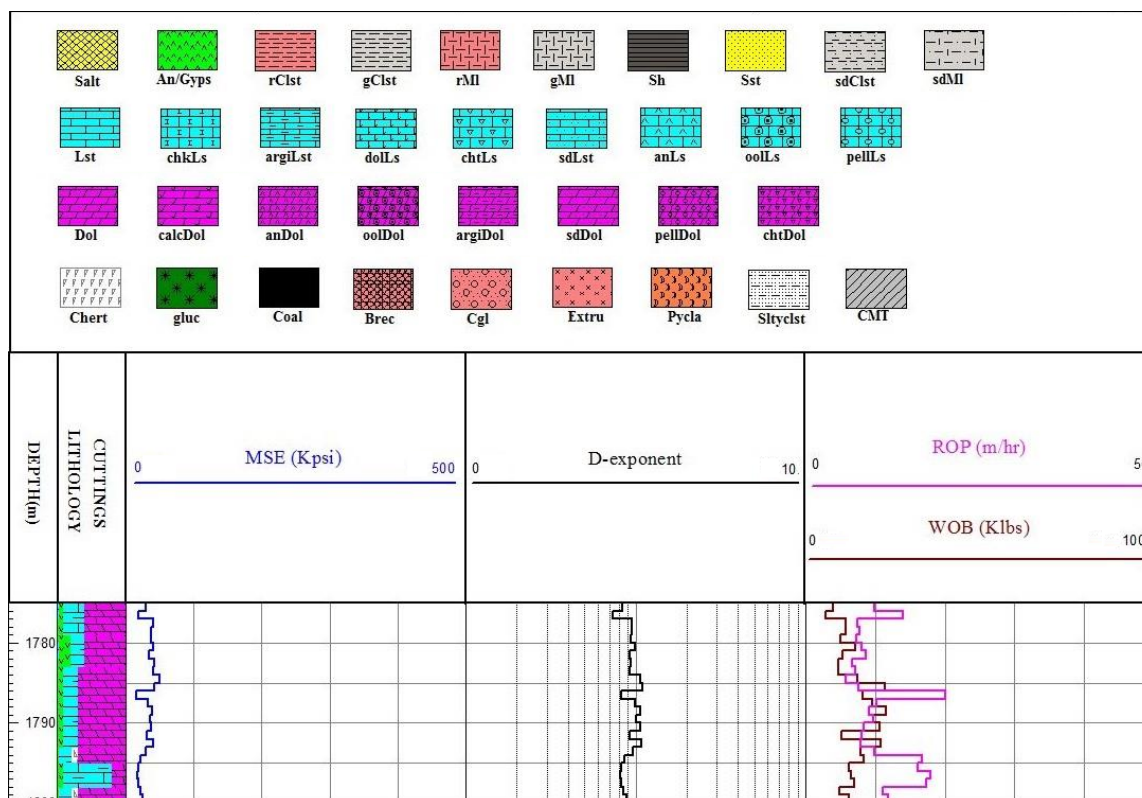
همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات انرژی ویژه‌ای مکانیکی و ضریب قابلیت حفاری و افزایش این دو مقدار نشان از فرسایش مته بوده که مته باید مورد بررسی قرار گرفته و اگر فرسوده شده باشد باید تعویض شود زیرا علاوه بر افزایش زمان عملیات حفاری موجب افزایش هزینه در عملیات حفاری می‌شود.



شکل ۴-۱۵: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته ۵۳۷ در چاه A

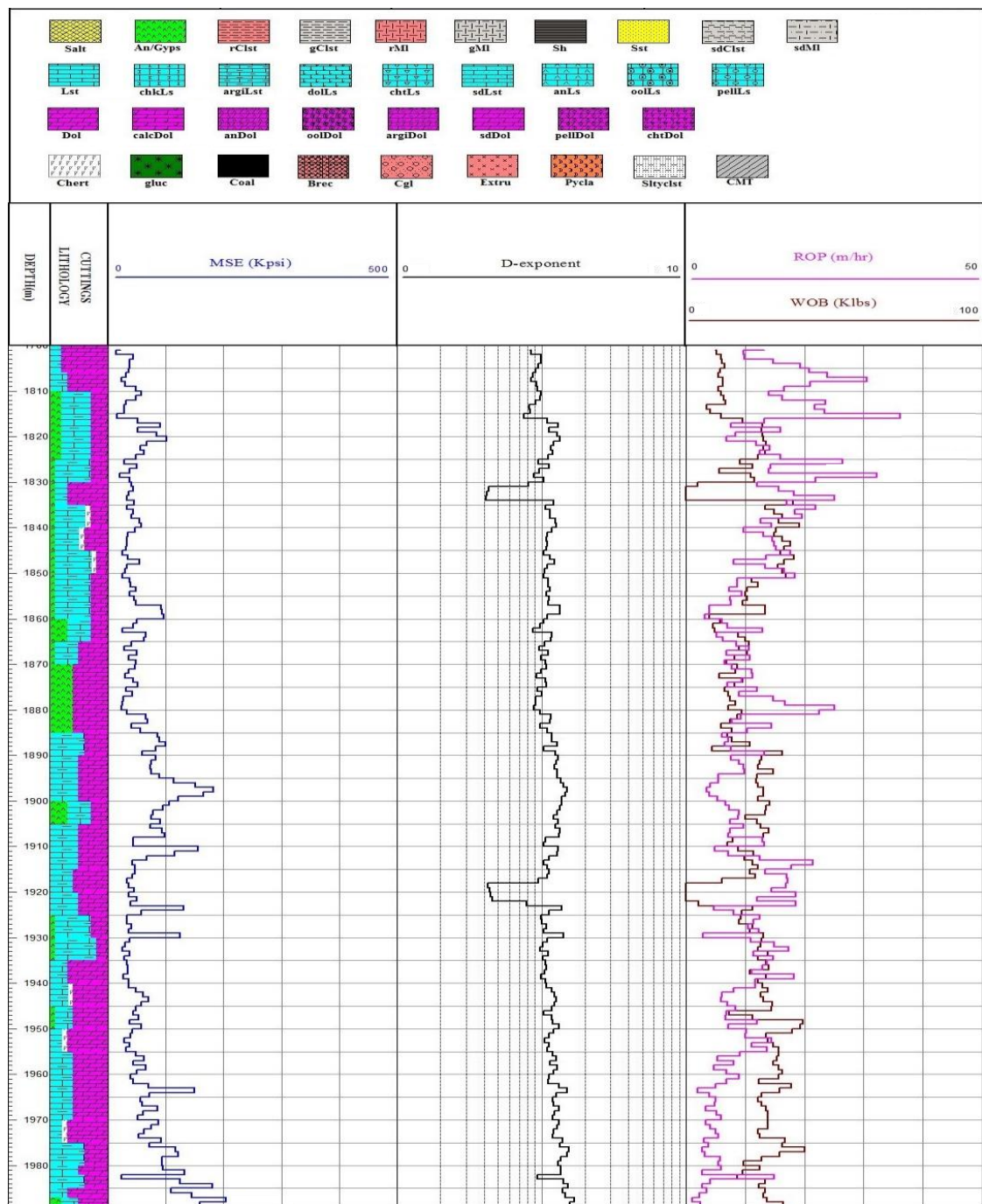


شکل ۴-۱۶: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته M۴۲۳ در چاه A

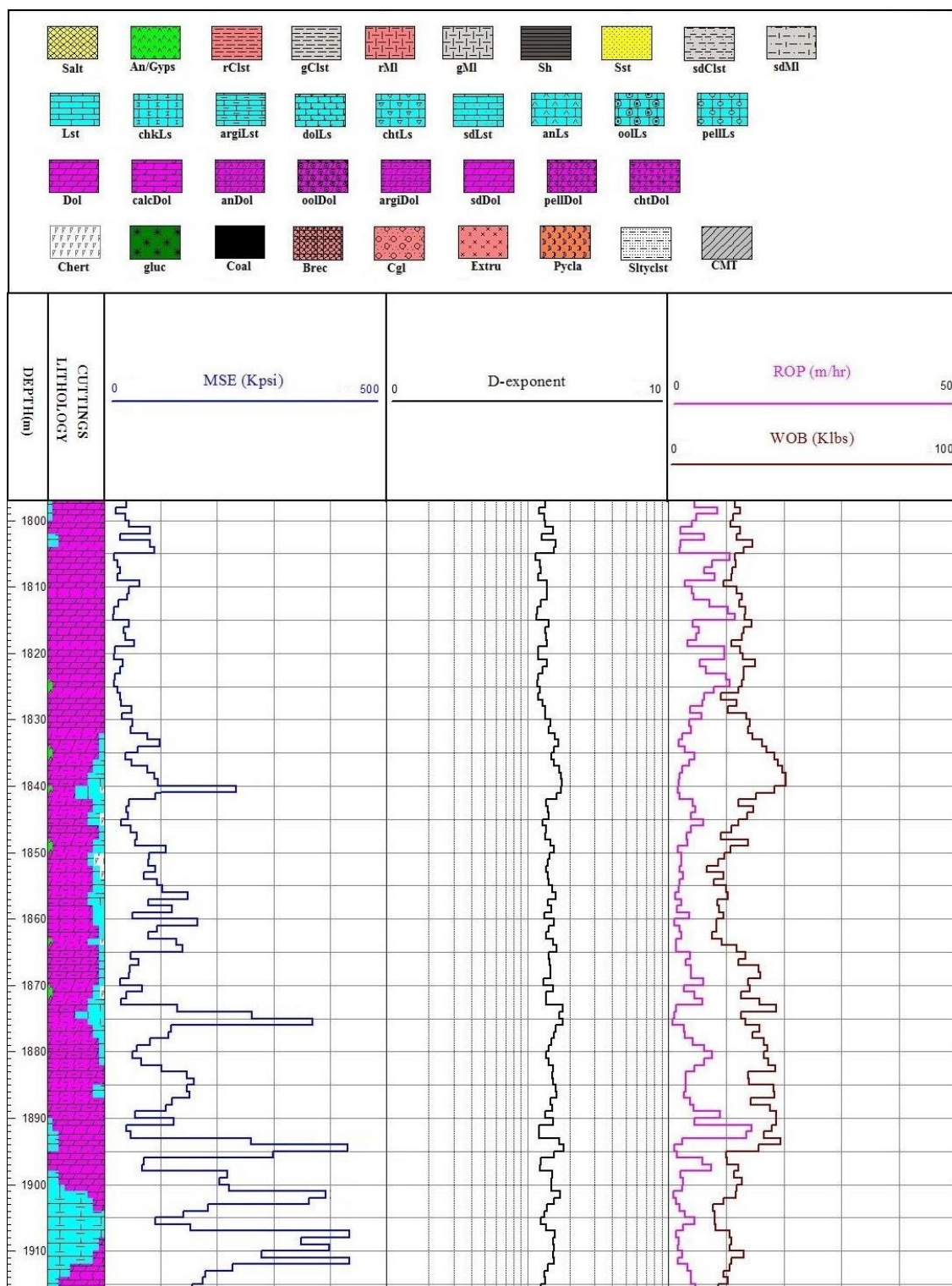


شکل ۴-۱۷: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته M۳۲۳ در چاه B

که در عمق ۱۷۸۰ که در ابتدای سازند می‌باشد و روند انرژی ویژه‌های مکانیکی و ضریب حفاری روندی کاهشی داشته و افزایش سرعت حفاری و کاهش وزن بر روی مته نشان از یک ناحیه با فشار غیرنرمال داشته باشیم و توجه به تغییرات گل حفاری (مخزن گل) در سطح می‌توان به هرزروی متوجه شد و از پیش در جهت جلوگیری از این اتفاق اقدام نمود و از هزینه و زمان برای یک پیمایش غیرضروری اجتناب کرد.

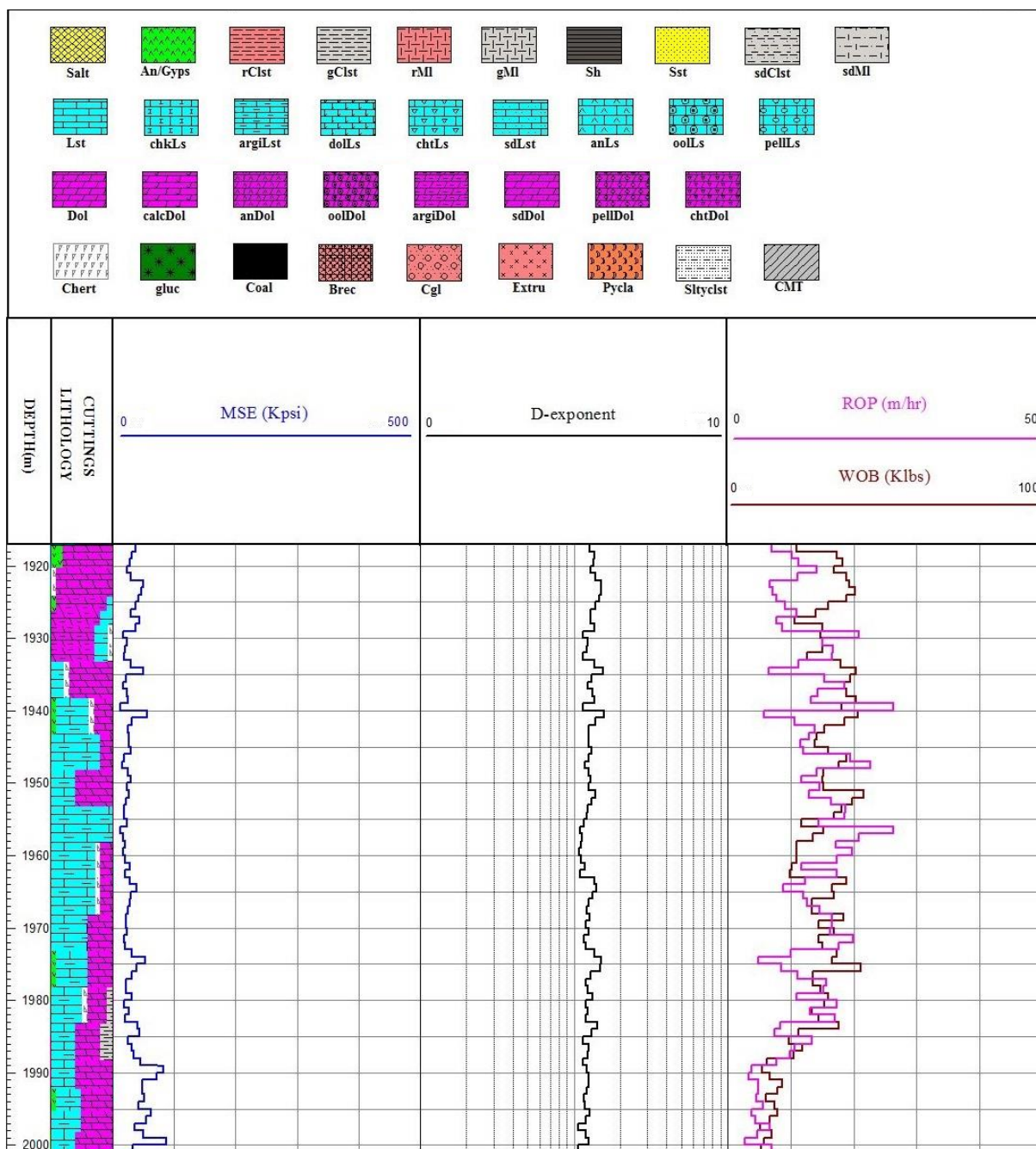


شکل ۴-۱۸: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته با کد (۳RR) M323 در چاه B



شکل ۴-۱۹: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته ۵۳۷ در چاه C

در شکل ۴-۱۹ انرژی ویژه مکانیکی در عمق ۱۸۸۰ متری روندی رو به افزایش داشته است نرخ نفوذ نیز روندی افزایشی دارد که طبق نمودار لیتولوژی ما تغییری در لیتولوژی سازند نداشتیم و همچنین کاهش ضریب حفاری و وزن بر مته باید مته بررسی شود و در صورت فرسایش باید مته تعویض شود.



شکل ۴-۲۰: رسم پارامترهای لیتولوژی و WOB و ROP نسبت به عمق در مته M423 در چاه C

جدول ۴ - ۶: مقایسه کارایی مته‌های (Bit Performance Comparison)

	Bit NO.	Ave. MSE (Kpsi)	Meterage (m)	Dull Grading (In)	Dull Grading (Out)
A	M۴۲۳(۲RR)	۱۰۲/۹۱	۱۶۳/۳۰	۲-۴-BT-N&S-X-I-NO-TD	۶-۶-BT,CT-T-X-I-WT-PR
	۵۳۷	۱۰۹/۵۳	۷۴/۳۹	۱-۱-WT-A-E-I-NO-DP	۱-۱-WT-A-E-I-NO-PR
	M۴۲۳	۶۲/۵۹	۹/۹۶	Brand New	۱-۱-WT-A-X-I-NO-TD
B	۵۳۷	۱۰۸/۰۲	۱۳۰	Brand New	۳-۳-WT-A-E-۱,۱۶-NO-TQ
	M۴۲۳(۲RR)	۳۲/۳۸	۸۰	۰-۱-WT-S-X-I-NO-DMF	۲-۴-BT-N&S-X-I-NO-TD
C	M۳۲۳	۳۲/۲۸	۲۰	Brand New	۱-۱-BU-A-X-I-NO-HP
	M۳۲۳(۳RR)	۶۰/۲۳	۱۸۲	۱-۱-BU-A-X-I-NO-HP	۱-۱-BU-A-X-I-NO-TD

با توجه به نمودارهای ۴-۱۴ تا ۴-۲۰ و جدول ۴-۶، از بین مته‌های PDC، مته‌ای که با کمترین کار انجام شده، در کمترین زمان بیشترین مترآژ را حفاری کرده است و همچنین کمترین فرسایش را پس از اتمام حفاری داشته است، مته M۳۲۳ در چاه C می‌باشد. نکته‌ای که در قبل در مورد تکنولوژی ساخت مته ذکر گردید، در اینجا نیز مشخص می‌شود. با اینکه مته M۳۲۳ کد IADC پایین‌تری نسبت به مته M۴۲۳ دارد، اما در طی حفاری برای حفاری بازه‌ای بیشتر، کار کمتری را انجام داده و در ضمن این کار را در زمانی کمتر به انجام رسانیده است. در مورد مته‌های دکمه‌ای^۱ بکار رفته، مته شماره ۵۳۷ در چاه B کاری کم‌تر را به‌ازای حفاری مترآژ قابل‌توجهی انجام داده است. ولی هم کار انجام شده توسط این مته و هم زمانی که صرف انجام این کار شده است، نسبت به مته M۳۲۳ در چاه C بیشتر می‌باشد.

^۱ TCI

۴-۴- بهینه‌سازی حفاری^۱

فرایندی منطقی که تأثیر متغیرهای حفاری با مدل کردن مکانیکی، جهت دستیابی به حداکثر بازدهی حفاری^۲ تحلیل می‌کند که این فرایند بررسی و تعیین پارامترهای در یک جبهه در جهت مقرون به‌صرفه‌تر نمودن^۳ حفاری و بهینه‌ترین سرعت می‌باشد به‌طور کلی بهینه‌سازی حفاری به‌عنوان سرعتی که بتواند پارامترهای حفاری را به طریقی تنظیم کند که مته بالاترین عمر و کمترین زمان توقف عملیات حفاری (تعمیر)^۴ و بالاترین پایداری^۵ چاه حاصل شود. در کل هفت فاکتور برای بهینه‌سازی حفاری استفاده می‌شود که از این هفت فاکتور، پنج فاکتور قابل تغییر^۶ و دو فاکتور غیرقابل تغییر^۷ می‌باشد.

جدول ۴-۷: پارامترهای مؤثر در بهینه‌سازی حفاری

پارامترهای غیر قابل کنترل	پارامترهای قابل کنترل
سازند که باید حفاری شود	گل حفاری
عمق	هیدرولیک
	انتخاب مته
	وزن بر روی مته و سرعت چرخش مته

که وزن گل و خصوصیات گل با توجه به حفاری فرا تعادلی^۸ که صورت گرفته در کنترل ما نخواهد بود حفاری زیر تعادلی با مه و کف و غیره در این پژوهش مورد بررسی نمی‌باشد [۳۹].

^۱ Drilling Optimization

^۲ Maximum Drilling Efficiency

^۳ Cost Effective

^۴ Repair Time

^۵ Wellbore Stability

^۶ Alterable

^۷ Unalterable

^۸ Overbalance

۴-۴-۱- تست تعیین پارامترهای بهینه برای حفاری^۱

برای تعیین پارامترهای بهینه حفاری، از قبیل وزن روی مته و دوران مته در دقیقه، برای دست یافتن به بهینه‌ترین سرعت حفاری، از DOT استفاده می‌کنند. مراحل انجام این آزمایش به‌صورت زیر می‌باشد [۴۰].

۴-۴-۱-۱- تعیین وزن روی مته بهینه^۲

الف- وزن روی مته بهینه را با اعمال دوران مته در دقیقه ثابت به دست می‌آوریم. برای این کار:

۱- با دوران ثابت مته^۳ مقداری وزن روی مته اعمال می‌کنیم تا حفاری شروع شود^۴. متراژ حفاری شده را یادداشت کرده و زمان آن را نیز ثبت می‌کنیم. با تقسیم متراژ حفاری شده بر مدت زمان حفاری این متراژ بر حسب ساعت، نرخ نفوذ مته را برای این وزن روی مته به دست می‌آوریم. البته در حال حاضر با وجود سیستم‌های نمودارگیری سطح الارضی نیازی به ثبت و محاسبه نرخ نفوذ مته نمی‌باشد. زیرا این سیستم‌ها، این پارامتر و همچنین وزن روی مته را به‌صورت لحظه‌ای ثبت می‌کنند.

۲- سپس وزن روی مته را در هر مرحله به میزان پنج کیلو پوند افزایش داده و نرخ نفوذ مته را برای هر افزایش ثبت می‌کنیم. این کار را حداقل چهار مرحله انجام دهید.

۳- حال نرخ نفوذ مته را در مقابل وزن روی مته رسم کنید. نمودار به دست آمده مانند شکل ۴-۲۱ خواهد بود. اکنون می‌توان وزن روی مته بهینه (بازه bc در شکل ۴-۲۱) را آن‌گونه که در ادامه و در تشریح شکل ۴-۲۱ ذکر خواهد شد، تعیین کرد.

^۱ DOT: Drill off Test

^۲ Optimum WOB

^۳ Constant RPM

^۴ Threshold WOB

۴-۱-۲- تعیین مقدار بهینه دوران مته در دقیقه^۱

ب) در گام بعدی وزن روی مته بهینه را که در مرحله قبل تعیین نموده‌ایم اعمال کرده و مراحل فوق را برای تعیین مقدار بهینه دوران مته در دقیقه انجام می‌دهیم. سپس مانند مرحله قبل داده‌های به دست آمده برای نرخ نفوذ مته را در مقابل دوران روی مته رسم کرده و مقدار بهینه دوران مته در دقیقه را به دست می‌آوریم. زمانی که هر کدام از پارامترهای حفاری را در برابر نرخ نفوذ مته رسم کنیم، در حالی که بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شوند، می‌توان مقادیر بهینه آن‌ها را تعیین نمود. در شکل ۴-۲۱ مثالی در مورد ترسیم وزن روی مته، زمانی که دیگر پارامترها مانند دوران مته در دقیقه و جریان گل حفاری ورودی به چاه ثابت می‌باشند، آورده شده است. همچنین در شکل ۴-۲۲ مثالی مشابه با ترسیم پارامتر دوران مته در دقیقه در مقابل نرخ نفوذ مته نشان داده شده است.

در شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نتایج حاصل از یک آزمایش DOT ترسیم شده است. در ابتدا از نقطه صفر تا نقطه a هیچ حفاری انجام نمی‌شود. چرا که هنوز تا این نقطه وزن به اندازه‌ای نبوده که اجزاء برنده در سازند فرو رفته و با آن درگیر شوند. نقطه a را نقطه آستانه^۲ وزن روی مته می‌نامند. پس از آن با افزایش وزن روی مته، تا نقطه c نرخ نفوذ مته یا همان سرعت حفاری افزایش می‌یابد. از نقطه b تا c رابطه وزن و سرعت حفاری رابطه‌ای خطی^۳ می‌باشد. پس از آن، از نقطه c تا d با افزایش وزن، سرعت حفاری تنها کمی افزایش خواهد یافت. روند cd را در جازدن مته^۴ می‌گویند. دلیل این رفتار این است که با افزایش وزن روی مته، کنده‌های بیشتری در چاه ایجاد می‌شود و جریان گل حفاری به اندازه‌ای نمی‌باشد که تمیز سازی ته چاه^۵ با این نرخ ایجاد کنده‌ها به خوبی انجام پذیرد. در نتیجه مته همان کنده‌های حفاری شده را آسیاب می‌کند. این موضوع در مورد دوران مته نیز صادق می‌باشد.

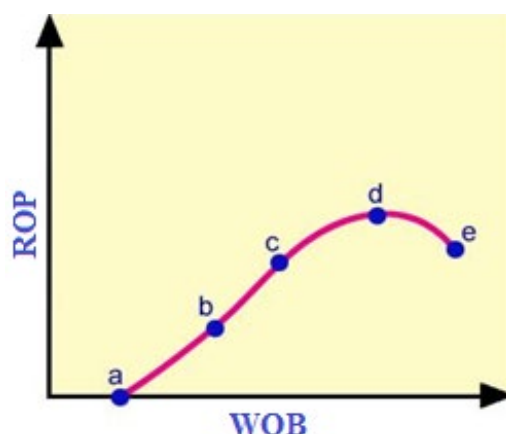
^۱ Optimum RPM

^۲ Threshold

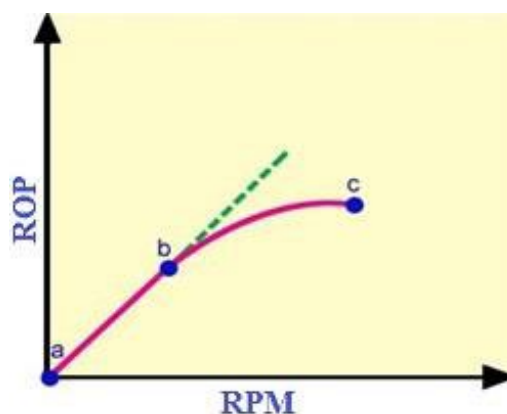
^۳ Linear

^۴ Bit Floundering

^۵ Bottom Hole Cleaning



شکل ۴-۲۱: ترسیم سرعت حفاری (ROP) - در مقابل وزن روی مته (WOB) برای یک آزمایش DOT



شکل ۴-۲۲: ترسیم سرعت حفاری (ROP) - در مقابل دوران مته در دقیقه (RPM) برای یک آزمایش DOT

برای به دست آوردن پارامترهای بهینه در این پایان نامه از این روش استفاده نشده است، بلکه با استفاده از نرم افزار Log Plot پارامترهای حفاری و لیتولوژی های حفاری شده در کنار هم ترسیم شده و اثرات افزایش و یا کاهش این پارامترها، در کنار یکدیگر مورد مطالعه قرار گرفته و بررسی شده اند.

برای بهینه سازی پارامترهای عملیات حفاری در سه سازند پابده، ابتدا چاه را به عنوان چاه مبنا^۱ انتخاب می کنیم که دارای بهینه ترین سرعت حفاری^۲ به متر از حفاری شده داشته باشد. (بیشترین متر حفاری شده در کمترین زمان) و دارای کمترین زمان تأخیر در عملیات حفاری (خرابی تجهیزات سطحی و شرایط محیطی) و مته حفاری پس از خروج از چاه دارای کمترین نشانه های فرسایش مته باشد همان طور که در ابتدا این فصل بررسی

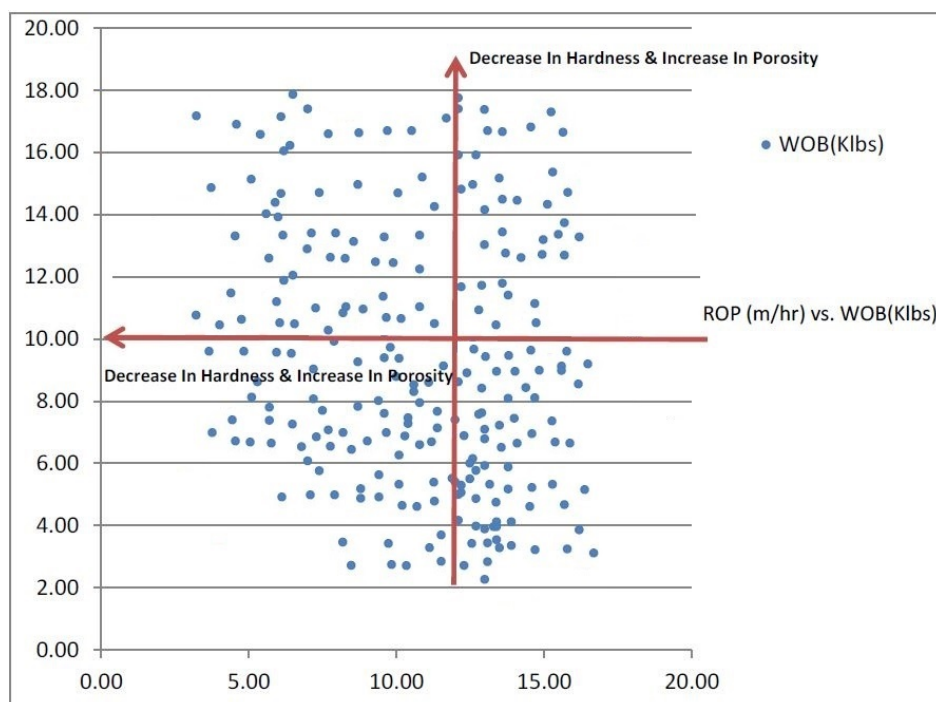
^۱ Basis Well

^۲ Optimum ROP

کردید و همچنین با تحقیق و پژوهش انجام شده سه چاه این پایان نامه و مقدار محاسبه که برای هر مته انجام شده چاه C به عنوان چاه مبنا در نظر گرفته می شود.

بنابراین با انتخاب چاه C به عنوان چاه مبنا و سپس با رسم پارامترهای حفاری^۱ (نموداری) در مقابل لیتولوژی سازند حفاری شده که با نرم افزار Log Plot انجام شده است می توان بهینه ترین پارامترهای حفاری^۲ را در نمودار رسم کرد که سرعت حفاری بهینه تری را دارا می باشد انتخاب کرد.

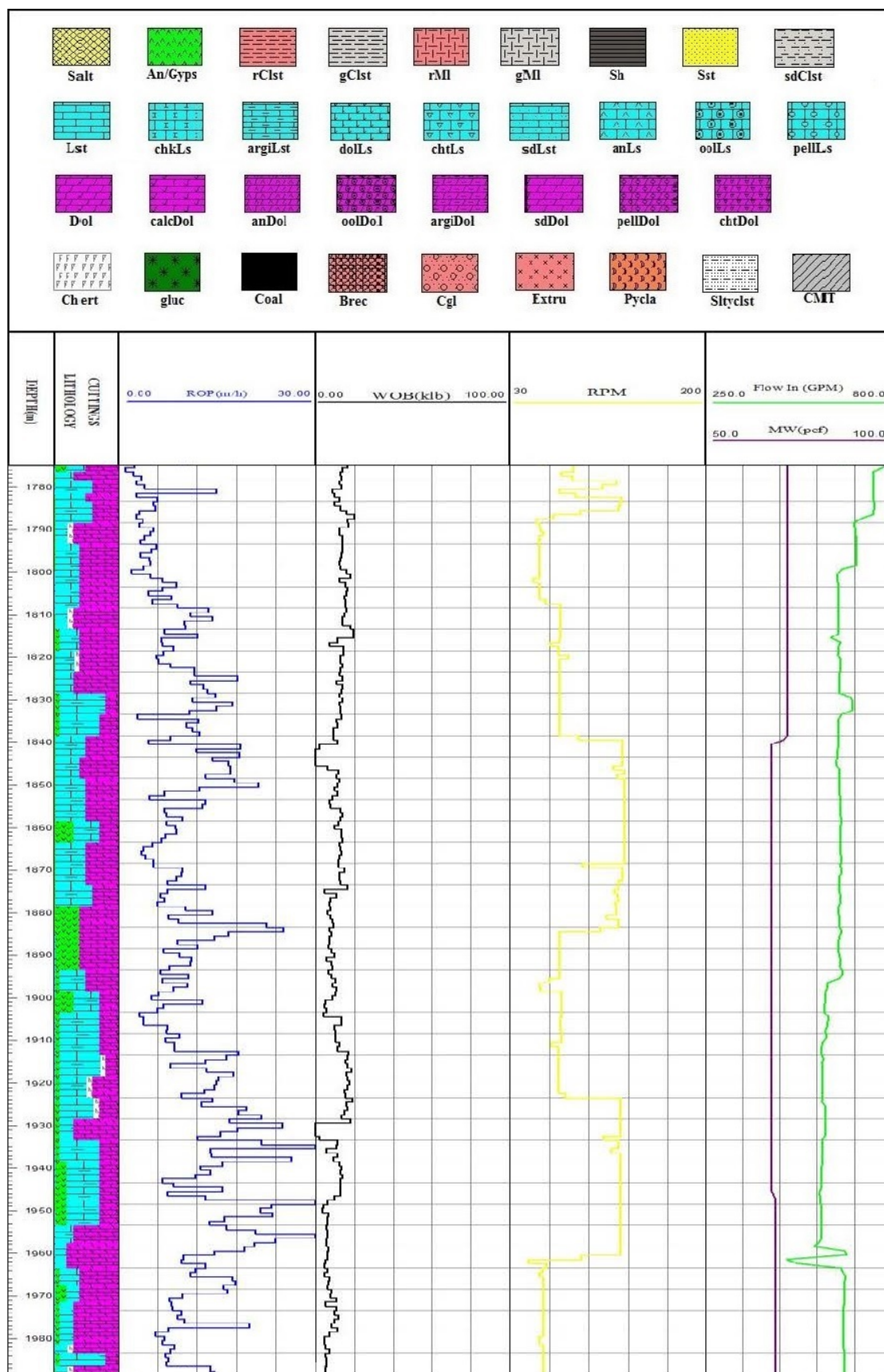
در نمودار ۲۳-۴ زیر مقدار سرعت عملیات حفاری بر حسب وزن روی مته که برای چاه C نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲۳: نمودار نمایش نقاط ترسیمی سرعت حفاری به وزن روی مته سازند C

^۱ Drilling Parameters

^۲ Optimum Parameters Drilling



شکل ۴-۲۴: نمودار Log Plot پارامترهای حاصله از انتخاب مته مبنا PDC

۴-۴-۲- پارامترهای بهینه‌سازی شده برای مته M۳۲۳ در سازند C

با توجه به شکل ۴-۲۴ بیشترین سرعت حفاری و بهینه‌ترین پارامترهای آن در چاه مبنا C به عبارت زیر می‌باشند:

۴-۴-۲-۱- قسمت‌های نرم و یا متوسط سازند پابده

Average ROP : (۱۸۴۰ m - ۱۸۰۰ m) ۱۸/۸m/hr.

WOB^۱: ۱۰-۱۲ Klb

RPM^۲: ۱۱۵-۱۲۵

Flow in : ۵۹۰ gpm - ۶۰۰ gpm

Yeild Point and Plastic Viscosity : ۲۴lb_f/۱۰۰ft^۳ و ۱۹cp

برای قسمت‌های سخت (چرتی) از بکارگیری سرعت چرخش کم و افزایش وزن روی مته باید استفاده کرد تا به بهینه‌تر کردن سرعت حفاری و کاهش فرسایش مته حاصل شود مکانیسم حفاری با مته‌های PDC از نوع برشی^۳ است که در سازندهای سخت عملکرد مناسبی نداشته است. برعکس مته‌های الماسی که مکانسیم آسیاب^۴ کردن دارد. بنابراین افزایش وزن بر روی مته و کاهش سرعت می‌توان در مته‌های PDC در سازند سخت ممکن خواهد بود که در صورت معکوس اقدام کردن (افزایش چرخش مته و کاهش وزن) باعث افزایش دمای مته و کاهش سرعت حفاری و در نتیجه فرسایش مته را در پی خواهد داشت. (مته در جا) در سازند A مته (۲RR) M۴۲۳ از سرعت چرخش زیاد و وزن روی مته کم اعمال شد که نتیجه آن فرسایش زیاد مته و شکستن اجزای برنده مته شد که باعث عملیات مانده یابی و پیمایش مجدد^۵ شد و برعکس آن در سازند شماره C مته M۴۲۳ با تشخیص صحیح، سرعت چرخش کم و وزن روی مته زیاد را اعمال شد. بنابراین با آگاهی

^۱ WOB: Weight on Bit

^۲ Revolution Per Minute (RPM)

^۳ Shearing

^۴ Grinding

^۵ Round Trip

کامل انرژی ویژه مکانیکی و قابلیت حفاری می‌توان از بسیاری از مشکلات حفاری از جمله فوران و هرزروی و تعویض به موقع مته تشخیص داده شود.

از مته‌های PDC در قسمت‌های سخت سازند از جمله سازند با ضخامت زیاد نمی‌شود استفاده کرد البته برای سازند با لایه‌های نازک سخت، مانند سازند پابده می‌توان به صورت ترکیب از دو پارامتر استفاده کرد در غیر صورت مته فرسایش خواهد یافت.

۴-۲-۲- قسمت‌های سازند سخت (چرتی)

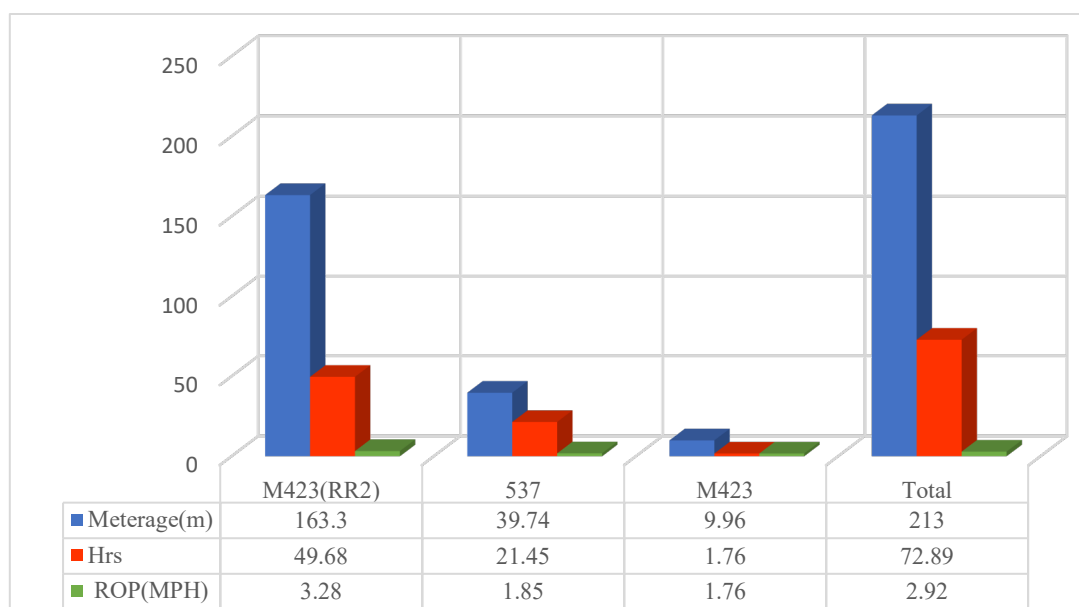
برای قسمت‌های سخت و چرتی، از پارامترهای حفاری زیر مورد استفاده قرار گیرد:

WOB : ۱۶-۱۸ Klb

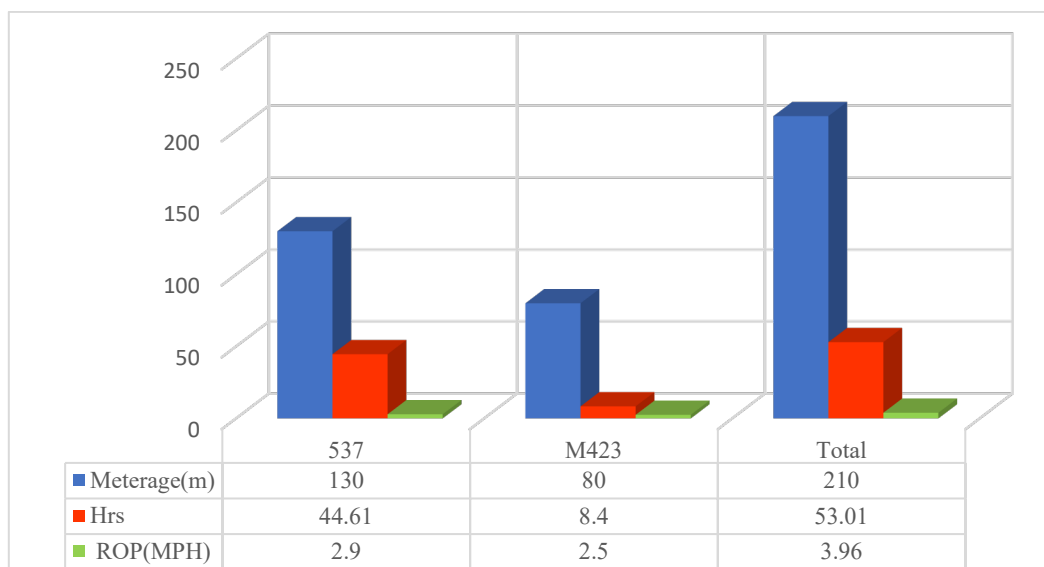
RPM : ۶۵-۷۵

Flow in : ۵۹۰ gpm - ۶۰۰ gpm

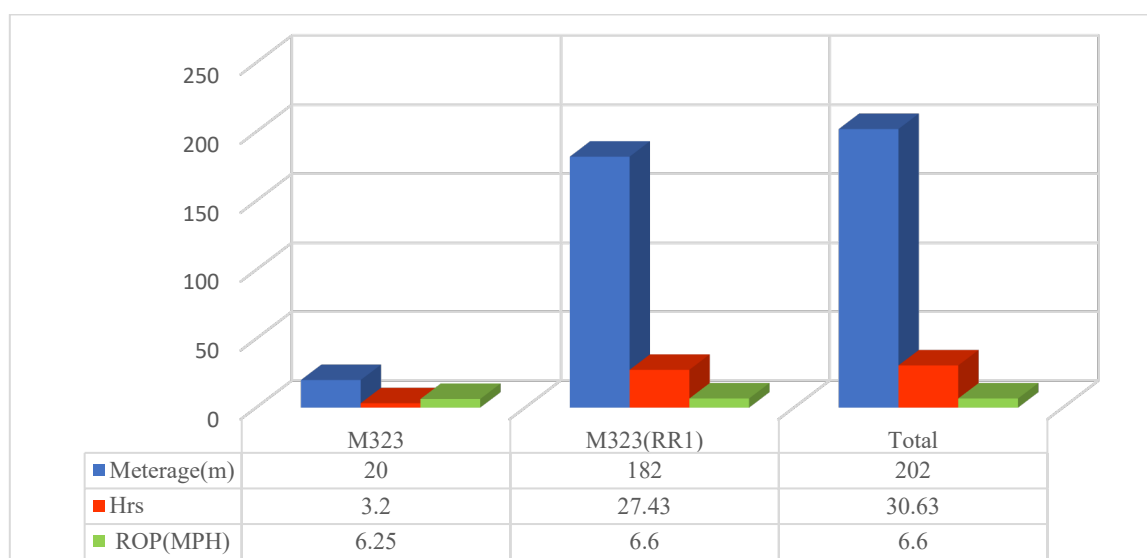
تا نرخ نفوذی برابر با ۶-۱۰ m/hr حاصل شود.



شکل ۴-۲۵: متراژ حفاری، مجموع ساعت‌های حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه A و مقدار کل ساعت‌ها، متراژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)

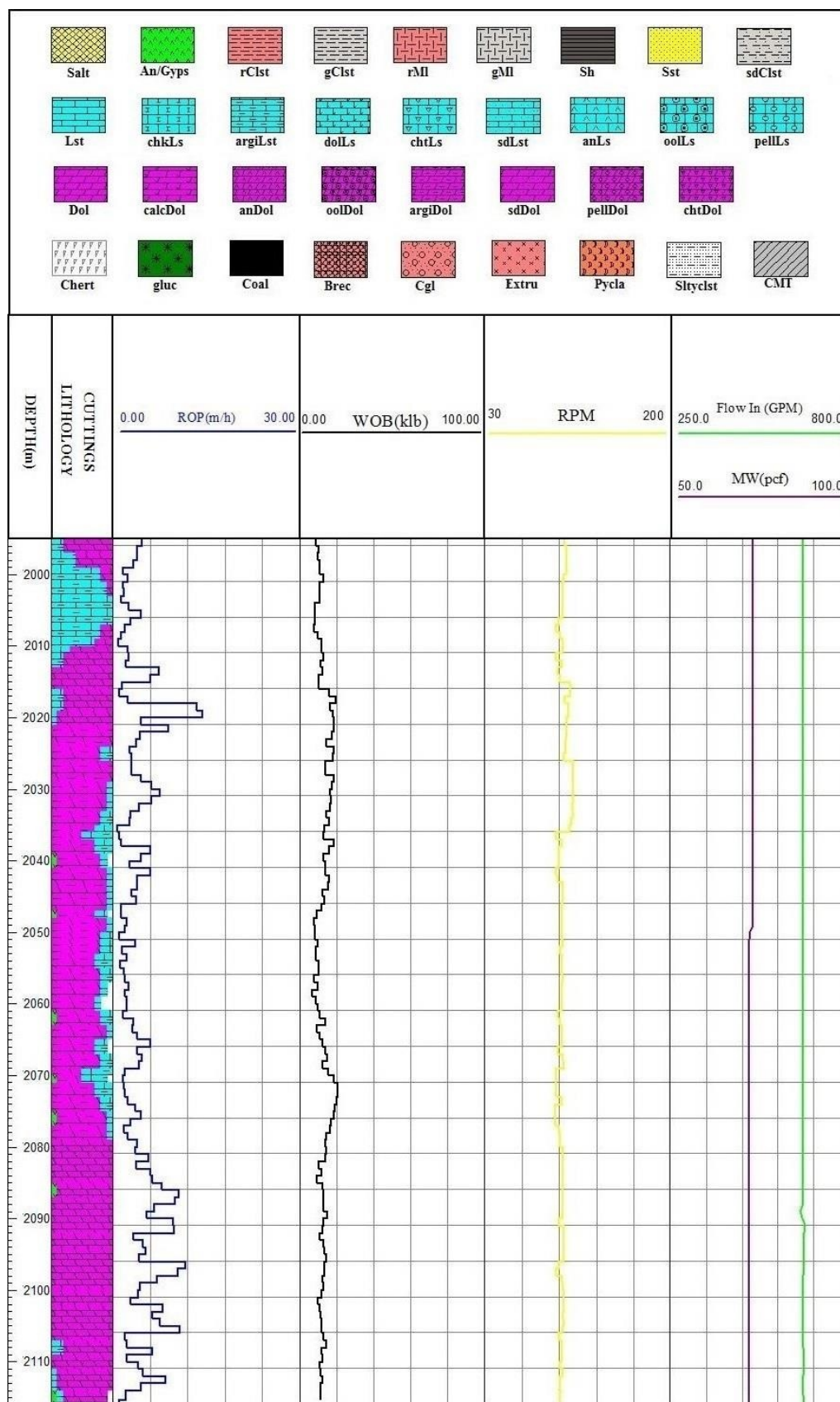


شکل ۴-۲۶: متراژ حفاری، مجموع ساعتهای حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه B و مقدار کل ساعت‌ها، متراژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)



شکل ۴-۲۷: متراژ حفاری، مجموع ساعتهای حفاری و سرعت حفاری (ROP) مته‌های بکار رفته در چاه C و مقدار کل ساعت‌ها، متراژ و متوسط سرعت حفاری (ROP)

همچنین برای مته TCI که در حفاری سازند پابده به کار گرفته شده است از مته شماره ۵۳۷ در چاه B به عنوان مته مبنا در نظر گرفت و بهینه‌سازی پارامترهای حفاری را برای آن بیان کرد. با توجه شکل ۴-۲۸ و همچنین شکل ۴-۲۵ و ۴-۲۶ پارامترهای بهینه‌سازی شده به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۴-۲۸: نمودار Log Plot پارامترهای حاصله از انتخاب مته مبنا TCI

۳-۴-۴- پارامترهای بهینه‌سازی برای مته دکمه‌ای (TCI)

بنابراین بهینه‌ترین پارامترهای حفاری و همچنین حداکثر نرخ نفوذ را با توجه به شکل ۴-۲۸ می‌توان به شرح زیر بیان کرد (مته ۵۳۷ از چاه B).

۱-۳-۴-۴- قسمت‌های نرم و یا متوسط سازند پابده

Average ROP : ۸-۱۱ m/hr.

WOB : ۱۲-۱۴ Klb

RPM : ۹۵-۱۰۰

Flow in: ۶۰۰ gpm - ۶۵۰ gpm

Yield Point and Plastic Viscosity: ۱۹ cp و ۲۴ lb_f/۱۰۰ ft^۲

۲-۳-۴-۴- قسمت‌های سخت و چرتی سازند پابده

WOB : ۱۵-۲۰ Klb

RPM : ۸۰-۹۰

Flow in : ۶۰۰ gpm - ۶۵۰ gpm

تا سرعت متوسط حفاری ۲-۴ m/hr حاصل گردد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه گیری

۵-۱- بررسی هزینه‌ها و ترکیب راندن مته و انتخاب بهترین ترکیب برای حفاری سازند پابده از

نقطه نظر هزینه به‌ازای متراژ حفاری و هزینه‌های تمام شده

۵-۱-۱- مته دکمه‌ای TCI

اگر فقط یک مته دکمه‌ای برای حفاری بخش بالای سازند یعنی آسماری تا سازند زیرین گورپی حفاری کنیم یعنی حدود ۱۱۰۰ متر، با توجه عمر مؤثر مته که حدود ۹۰ ساعت می‌باشد و با توجه به متراژ مفید مته دکمه‌ای که در حدود ۲۵۰ متر هست در حدود پنج مته برای این قسمت نیاز هست.

۵-۱-۲- مته‌ای دکمه‌ای به همراه مته M۴۲۳

این حالت که در سازند B استفاده شده است که مته دکمه‌ای ۵۳۷ با حفاری ۱۳۰ متر و با نرخ نفوذ معدل ۲۰۹ متر در ثانیه و همچنین مته PDC با کد M۴۲۳(۲RR) که با حفاری ۸۰ متر و با نرخ نفوذ معادل ۹/۵ متر بر ساعت حفاری شد حفاری این بازه با کمترین مشکلات هرزروی و تعویض مته و کمترین هزینه بسیار مهم می‌باشد. زیرا سازنده بعدی با همین قطر مته ۱۲ ۱/۲ تا حدود ۴۵۰ متر ادامه خواهد داشت بنابراین با توجه به عمر مفید مته M۴۲۳ که در حدود ۲۸۰ متر می‌باشد و از طرفی حفاری ۱۳۰ متر حفاری شده به سه مته M۴۲۳ نیاز خواهیم داشت که بر اساس پارامترهای معرفی شده در فصل ۴ برای حفاری لایه‌های سخت مناسب خواهد بود.

۵-۱-۳- مته PDC با کد M۳۲۳

با توجه به بررسی‌ها انجام شده در فصل چهارم این مته قادر خواهد بود نه تنها برای این سازند بلکه برای حفاری کل بازه ۱۲ ۱/۲ مناسب خواهد بود. البته توجه به پارامترهای در لایه‌های سخت (چرتی) ذکر شده در فصل چهارم رعایت شود.

۵-۲- پیشنهاد بهترین ترکیب مته‌ها برای حفاری سازند پابده و کل بازه "۱۲ ۱/۲" میدان

مورد مطالعه

با توجه به جداول ۲-۴ ، ۳-۴ ، ۴-۴ و ۵-۴ و همچنین نمودارهای ۴-۱۱ و ۴-۱۲ و توضیحات مربوط به فصل‌های چهارم، بهترین انتخاب مته برای کل بازه "۱۲ ۱/۲" ، مته با نوع مته M۳۲۳ که در چاه C مورد استفاده قرار گرفته است.

۵-۳-پیشنهادهای

- ✓ هزینه به‌ازای هر متر از حفاری برای هر نوع مته و ادغام آنها در سه چاه مورد بررسی که صورت گرفته و مقایسه کارایی این مته‌ها و ادغام آنها در این سه چاه انجام شده و نتیجه این مطالعه بیانگر آن است که کمترین هزینه به‌ازای متر از حفاری از طریق به‌کارگیری پارامترهای حفاری ممکن می‌شود در حفاری بازه‌های نرم و سخت هم به جز حفاری کل بازه "۱۲ ۱/۲" به‌وسیله مته موردنظر از انحرافات ناخواسته در چاه پیشگیری کرده و بعد از خروج مته و میزان فرسایش آن، بازهم قابل‌استفاده بوده.
- ✓ کاربرد مته‌های استفاده شده با فرسایش بیشتر از ۲/۸ در حفاری سازند پابده پیشنهاد نمی‌شود.
- ✓ در بررسی و تحلیل روش‌های مکمل در جهت انتخاب بهینه مته، مقایسه بین مقاومت فشاری تک محوره و انرژی ویژه انجام گرفته که آیا مته‌های استفاده شده از نظر مقاومت فشاری تک محوره برای حفاری بازه مناسب است که با در نظر گرفتن توالی نرم و سخت در سازند پابده و کلی در بازه "۱۲ ۱/۲" در چاه‌های مورد پژوهش، بهترین مته که هم حالت تهاجمی داشته و تمام لیتولوژی‌ها را در این بازه حفاری کند مته با کد M۳۲۳ است.
- ✓ با توجه به تحقیقات و بررسی‌های انجام شده در مورد روش‌های مکمل انتخاب بهینه مته نشان داده که کمترین کار به‌ازای بیشترین متر از حفاری و کمترین مقدار ضریب در حفاری به مته‌ای مربوط می‌شود که از تکنولوژی ساخت بالاتر و مناسب‌تر برخوردار باشد.
- ✓ در بررسی روش‌های مکمل انتخاب بهینه مته، از پارامترهای محاسباتی D_{exp} ، MSE و تحلیل و مقایسه کارایی مته‌ها به مشکلات نظیر، هرزروی‌های شدید مشخص شده که با روش پیشگیری مناسب از توقف حفاری می‌توان جبران آن نمود.
- ✓ بهبود طراحی مته‌های PDC (تعداد تیغه‌ها، اندازه و غیره ...) به نتایج اقتصادی‌تر منجر خواهد شد.
- ✓ با توجه به اینکه نوع یاتاقان در کارکرد مته نقش بسزایی دارد، لذا پیشنهاد می‌گردد قبل از حفاری، خصوصیات لیتولوژی سازند به طور جامع مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

۲. حیدری، عبدالمجید، (۲۰ فروردین ۱۳۸۷)، مهندسی مته‌های حفاری، اداره کل حفاری.
۲۳. مطیعی، همایون. (۱۳۷۲). "زمین‌شناسی ایران - چینه‌شناسی زاگرس"، سازمان زمین‌شناسی.
۲۴. عزیزی و معماریان ح، خسروی، آ، "روش بهینه انتخاب مته برای حفاری‌های نفت و گاز ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
۳۰. حمید محمودان، تعیین زمان تعویض مته‌های فرسوده با استفاده از داده‌های عملیاتی باهدف کاهش زمان حفاری، مجله اکتشاف و تولید شماره ۸۲-۱۳.
۳۱. مهدی نظیری (۱۳۹۳)، پیش‌بینی بلادرنگ نرخ نفوذ در حین حفاری در یکی از مخازن نفتی جنوب غرب ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی، کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادست.

۱. Dupriest, F.E., Comprehensive drill-rate management process to maximize rate of penetration. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, September ۲۰۰۶. SPE ۱۰۲۲۱۰.
۳. McGehee D.Y., Dahlem J.S., Gieck J.C., Kost B., Lafuze D., Reinsvold C.H., Steinke S.C. (۱۹۹۲). "The IADC Roller Bit Classification System", SPE ۲۳۹۳۷.
۴. Ian MCMillan, September, (۱st, ۲۰۰۱), Dull Grading Systems, Techniques and Significance Dull Bit Evaluation.
۵. Gow S., Roughnecks, Rock Bits and Rigs. Alberta, Canada: University of Calgary Press. ۲۰۰۵.
۶. Thomas J.M. (۱۹۸۹). "Case History: PC Analysis of Bit Records Enhance Drilling Operations in Southern Alabama", SPE ۱۸۶۳۲.
۷. Bourgoyne A T, Millheim K K, Chenevert M E and Young F S. Applied Drilling Engineering. Richardson, TX. SPE textbook series, ۲۰۰۳. Vol. ۲: ۲۳۷-۲۴۰.
۸. Brandon B.D., Cerkovnik J., Koskie E., Bayoud B.B., Colston F., Clayton R.I., Anderson M.E. Hollister K.T., Senger J., Niemi R. (۱۹۹۲) "Development of a New IADC Fixed Cutter Drill Bit Classification System", SPE ۲۳۹۴۰.

٩. Brandon B.D., Cerkovnik J., Koskie E., Bayoud B.B., Colston F., Clayton R.I., Anderson M.E. Hollister K.T., Senger J., Niemi R. (١٩٩٢) "First Revision to the IADC Fixed Cutter Dull Grading System", SPE ٢٣٩٣٩.
١٠. Silje Marie Solberg (May ٢٠١٢), Improved drilling process through the determination of hardness and lithology boundaries, Norwegian University of Science and Technology Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics.
١١. Bonet, L., Cunha, J.C.S . and prado , M.G. "drilling optimization :A new approach to Optimize Drilling parameters and improve drilling Efficiency", Drilling Technology , ASME, ١٩٩٥.
١٢. Adam, T.B., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., Young, F.S.," Applied Drilling Engineering", SPE Textbook Series, Dallas, TX, Vol. ٢, ١٩٩١.
١٣. Dupriest, F.E. and Keoderitz, W., Maximizing drill rates with real time surveillance of mechanical specific energy," SPE ٩٢١٩٤, SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands, February ٢٣-٢٥, ٢٠٠٥.
١٤. Javani D., Hashempour A., "The Significance of using Geological and Geomechanical Data in Selection of Optimal Bits", In: ١٣th ISRM International Congress of Rock Mechanics, International Society for Rock Mechanics (٢٠١٥).
١٥. Young, F.S.," Computerized Drilling Control", SPE Journal, Trans. pp.٤٨٣, AIME ٢٥٣, April ١٩٦٩.
١٦. Teale R. (١٩٦٥). "The Concept of Specific Energy in Drilling", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. ٢., pp. ٥٧-٧٣.
١٧. Peter Aird, (Rev: ١,٠ ١٧/٠٤/٠١), Bit performance in water based muds, kingdom drilling Co.
١٨. Bourgoyne.A,Millheim.K,M.Chenevert and F.S.Young,"Applied drilling engineering", ninth edition.SPE textbook, Vol.٢, ٢٠٠٣.
١٩. Smith Co., (٢٠٠٠), Drill Bit Selection Considerations.
٢٠. Sheshtawy. A, "Rotary drilling bit", U. S. Patent, ٣٩١٥٢٤٦. October ٢٨, ٢٠٠٧.
٢١. Reed Hycalog, (May ١٩٩٩), Bit Life Estimation.
٢٢. Varel International, (٢٠١٠), Advanced PDC Bit Cutter Technology.
٢٤. Bourgoyne, A.T. Jr., Young, F.S. (١٩٧٤), "A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection". SPE ٤٢٣٨.
٢٥. Hareland, G., Wu, A., Rashidi, B., "A New Drilling Rate Model for Tricone Bits and Its Application to Predict Rock Compressive Strength", Published at the ٤٤th US Rock

Mechanics Symposium and 9th U.S. Canada Rock Mechanics Symposium, held in Salt Lake City, UT June, 2010. 27-30.

26. Nygaard R, Hareland G, editors. How to select PDC bit for optimal drilling performance. Rocky Mountain Oil & Gas Technology Symposium; 2007.
27. Kaiser M J. A Survey of drilling cost and complexity estimation models. Int. J. Pet. Sci. Technol. 2007. 1, 1-22.
28. Bourgoyne A, Millheim K, M. Chenevert and F. S. Young, "Applied drilling engineering", ninth edition. SPE textbook, Vol. 3, 2003.
29. Ridha, M. S., Momeni, S. J., Hosseini, B., Meyghani, B., Emamian, S. S., Bit selection using field drilling data and mathematical Investigation. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. 228-01200.
30. Okoro, O. O., Dosunmu, A., Sunny, E. I., Data on cost analysis of drilling mud displacement during drilling operation. Data in Brief. 2018. 19. 030-041.
31. Hareland, G., Rashidi, B., Wu, Y., Lin, Y., New Approach in Mechanical Modeling of Inserts of the Rollercone Bits, American Rock Mechanics Association, 2012, 12-24
32. Adewale, D. Applied Well Engineering Drilling Technology: Lecture Notes, Emerald Energy Institute, University of Port Harcourt. 2010.
33. Anyadiegwu, C. I. C. Comprehensive Approach to oil well drilling cost estimation. International journal of science and technology. 2012. 1(1).
34. Teale R. (1965). "The Concept of Specific Energy in Drilling", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 2., pp. 07-13.
35. Borah M. J., "Study of specific energy method of bit selection on the basis of drill bit-depth data in upper Assam oil fields", Int J Mech Eng Tech 6 (10) (2015) 113-114.
36. Sampio, J.: 'Advanced Drilling Techniques', Course Material presented to students at Curtin University of Technology, Petroleum Engineering Department, September 2006.
37. Mohammad Rastegar, (Date Was Not Mentioned), Optimization of Multiple Bit Runs Based on ROP Models and Cost Equation for One of the Persian Gulf Carbonate Reservoirs, University of Calgary, Alberta, Canada.

Abstract

Drilling operations in the oil industry have a high value and is one of the most costly parts of this industry, so reducing costs and increasing efficiency in this industry has received a lot of attention. Drilling penetration rate is considered to be the main and important key in drilling operations. Drilling penetration rate is usually calculated in Cost Per Foot, which is affected by several factors, including bit, a drilling bit other than the direct cost, which is the price of the drill itself. Directly on other costs as well.

This research has been done in one of the oilfield in the southwest of the country. In this research, the methods of calculating the cost per Foot drilling are mentioned and calculated. Since the method of calculating the cost per Foot drilling for selection bit is not a complete method, other complementary methods such as special energy method and drilling drillability have been discussed and a suitable drill with the most desirable parameters for drilling has been proposed.

Various field parameters along with specific energy and drillability for drilling this formation were plotted and compared in logs by LogPlot software and drill performance and possible problems (Loss) in the well were analyzed and then field parameters in the base well by LogPlot software is drawn and based on the selected bit, the best and most desirable parameters for drilling this formation are suggested.

The results obtained from the cost per Foot in the most efficient bit in drilling operations and the most suitable and economical combination of drilling these drills with the reasons for selection and for the selected formation of this field has been proposed. Also, determining the optimal drilling parameters for the study formation in this area is mentioned, and finally, using the results of graphs and numerical comparisons, wells as base wells and bits as base bits, from both groups of synthetic diamond bits and rolling cone Button bits have been selected and the optimal drilling parameters have been proposed from the mentioned method to achieve the optimal drilling speed.

Keywords: Drilling, Drilling Bit, Special Mechanical Energy, Surface Diagramming, Drillability.



Shahrood University of
Technology

Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering
M.Sc.Thesis in Petroleum Engineering - Drilling

**Investigation and Effect of Optimal Drill Selection and Drilling
Parameters on Cost Reduction**

By: Mehdi Zandi

Supervisor:

Dr. Mansour Ziaii

Dr. Ahmad Vaezian

September 2021