



پایان نامه کارشناسی ارشد

"دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک"

عنوان:

بررسی عوامل موثر در طراحی ملحقات تحتانی رشته ابزار حفاری
و ارائه مدلی مناسب جهت طراحی بهینه آن در چاه های نفت و گاز
منطقه پارس جنوبی

ارائه دهنده: محمدرضا فروغ

استاد راهنما: دکتر مرادزاده

استاد مشاور: مهندس فرهاد سعیدی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

این پایان نامه با حمایت مالی شرکت نفت و گاز پارس (P.O.G.C) انجام شد.

تقدیر و تشکر

خداوند بزرگ را سپاس می‌گوییم که یک بار دیگر بر من منت گذاشت و مرا در اتمام موفقیت آمیز مرحله‌ای دیگر از تحصیل باری نه‌ود.

بدینوسیله در درجه اول از استاد محترم راهنما، جناب دکتر علی مرادزاده که همواره از راهنمایی‌های ارزنده ایشان در طول مدت انجام این پروژه بهره برده‌ام کمال تشکر و قدردانی را دارم. از استاد مشاورم جناب آقای مهندس فرهاد سعیدی (P.O.G.C company) به خاطر این که اطلاعات ارزنده حفاری را در اختیار بنده قرار دادند و مرا همواره راهنمایی کردند سپاسگذاری می‌کنم. از دوست عزیزم جناب آقای مهندس ذولفقار ملانیا (Petropars company) که در طول این مدت مرا راهنمایی فراوان فرمودند تقدیر و تشکر به عمل می‌آورم.

از کلیه مسئولین محترم شرکت (P.O.G.C و پتروپارس) به خاطر این که اجازه انجام این سمینار و به کارگیری اسناد و اطلاعات مهم و استراتژیک منطقه عسلویه را به من دادند و مرا یاری کردند تشکر و قدردانی می‌کنم.

از دوست عزیزم جناب آقای مهندس منصور مصطفی زاده (انسستیتو نفت دانشگاه تهران) که در امر ویرایش این پایان‌نامه مرا یاری کردند تشکر می‌کنم.

در پایان از کلیه اساتید محترم گروه دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک و کلیه دوستان عزیزم به خاطر علم‌آموزی و مساعدت همیشگی اینجانب تشکر و سپاسگذاری می‌کنم.

چکیده

با توجه به کاهش مواد هیدروکربوری در حوزه‌های مختلف نفتی جهان، برداشت صحیح و بهینه از مخازن نفت و گاز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این تحقیق مطالعه تفصیلی و بررسی و تفسیر رشته حفاری درون چاهی (BHA) و عوامل موثر در طراحی آن و بررسی مشکلات موجود در چاههای نفت و گاز منطقه پارس جنوبی واقع در عسلویه می‌باشد و در نهایت رسیدن به یک مدل بهینه از داده‌های حفاری موجود برای انتخاب BHA مناسب در هر مقطع فازی است. میدان نفتی فوق به لحاظ مرزی بودن با کشور قطر از نظر استراتژیک حائز اهمیت می‌باشد، بنابراین ازدیاد برداشت صحیح و بهینه از این میدان در فازهای مختلف هم اکنون مورد توجه واقع شده است. می‌توان گفت یکی از پارامترهای مهم در حفاری چاهها دانستن هر چه بیشتر در رشته حفاری و وسایل تحتانی چاه می‌باشد که هر چه طراحی ما دقیقتر و از لحاظ زمانی بهینه تر باشد برای ما فاکتور خواهد بود، که در مطالعه حاضر هدف بر این است تا چگونگی طراحی بهینه BHA جهت راندمان بیشتر حفاری مورد مطالعه قرار گیرد. چرا که با طراحی بهینه رشته لوله حفاری امکان افزایش سرعت حفاری، افزایش کیفی وضعیت چاه و در نهایت کاهش زمان و هزینه‌های حفاری و همچنین با داشتن قابلیت به روز شدن این طراحی امکان بهبود هر چه بیشتر موارد قید شده میسر می‌شود. فلذا در این تحقیق ابتدا به توضیح مختصر از چاه‌های افقی و جهت دار (Directional Wells) موجود در منطقه و سپس به بررسی رشته حفاری و ملحقات تحتانی آن پرداخته می‌شود و در ادامه با دانستن علم نظری از روشهای طراحی، در نهایت با توجه به فاکتورهای متاثر در طراحی و ارتباط آنها با پارامترهای آماری به یک مدل بهینه، برای در نظر گرفتن BHA TOOLS مناسب برای میدان گازی پارس جنوبی در هر مقطع چاه دست یافتیم. بطوریکه ضریب همبستگی را برای ادامه مدل بکار برده و ارتباط بین ROP با وزن روی مته، سرعت چرخش، وزن گل را با این ضریب تحلیل کرده و با نرمالایز کردن آماری، در نهایت به نوع چیدمان صحیح برای BHA TOOLS در قطر مته‌های 8.5" و 16" و 12 1/4" و 24" رسیدیم که این چیدمان را گزارش دادیم.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|-------|--|
| ..... | تقدیر و تشکر..... |
| ..... | چکیده..... |
| ..... | فهرست مطالب..... |
| ..... | فهرست اشکال..... |
| ..... | فهرست جداول..... |
| ..... | فصل ۱- کلیات حفاری حفاری..... |
| ..... | ۱-۱- مقدمه..... |
| ..... | ۲-۱- انواع حفاری..... |
| ..... | ۱-۲-۱- حفاری ضربه ای..... |
| ..... | ۲-۲-۱- حفاری چرخشی..... |
| ..... | ۳-۱- انواع روشهای حفاری..... |
| ..... | ۱-۳-۱- حفاری فراتعادلی..... |
| ..... | ۲-۳-۱- حفاری کم فشار..... |
| ..... | ۳-۳-۱- حفاری متوازن..... |
| ..... | ۴-۳-۱- حفاری جریانی..... |
| ..... | ۵-۳-۱- حفاری فروتعادلی با استفاده از سیال گاز دار..... |
| ..... | ۶-۳-۱- حفاری میست..... |
| ..... | ۷-۳-۱- حفاری کف آلود پایدارو استیف..... |
| ..... | ۸-۳-۱- حفاری با گاز(هوا)خالص..... |
| ..... | ۹-۳-۱- حفاری کلاهدک گلی..... |
| ..... | ۴-۱- متعلقات دستگاه حفاری..... |
| ..... | ۱-۴-۱- دلایل استفاده از رشته حفاری و قسمتهای آن..... |
| ..... | ۲-۴-۱- ملحقات تحتانی رشته حفاری..... |
| ..... | ۵-۱- سابقه مطالعات انجام شده..... |
| ..... | ۶-۱- ضرورت انجام مطالعه..... |

۱۶-۷- هدف و روش انجام مطالعه ۱۶

۱۶-۸- ساختار پایان نامه ۱۶

فصل ۲- روش های حفر چاههای افقی و جهت دار و شناسایی منطقه پارس جنوبی..... ۱۸

۱۹-۱-۲- مقدمه ۱۹

۱۹-۲-۲- تاریخچه حفاری افقی در جهان ۱۹

۲۰-۲-۲-۱- تاریخچه حفاری افقی در ایران ۲۰

۲۱-۳-۲- حفاری افقی ۲۱

۲۱-۴-۲- وسایل مورد استفاده در حفاری یک چاه افقی ۲۱

۲۲-۵-۲- ارزیابی سازند ۲۲

۲۳-۶-۲- مشکلات و مسائل حفاری افقی ۲۳

۲۳-۷-۲- موقعیت منطقه پارس جنوبی ۲۳

۲۴-۸-۲- تاریخچه عملیات اکتشافی میدان ۲۴

۲۴-۹-۲- زمین شناسی منطقه ۲۴

۲۴-۱-۹-۲- ساختار تکتونیکی ناحیه ۲۴

۲۷-۲-۹-۲- چینه شناسی میدان پارس جنوبی ۲۷

۳۱-۱۰-۲- شناسایی فاز ها و موقعیت چاه های موجود در آن ۳۱

فصل ۳- بررسی عوامل موثر در حفاری و چگونگی طراحی بهینه BHA ۳۶

۳۷-۱-۳- مقدمه ۳۷

۳۷-۲-۳- شرح حصول طراحی و بهینه حفاری ۳۷

۴۱-۱-۲-۳- ویژگیهای مته ۴۱

۴۱-۲-۲-۳- وزن روی مته و سرعت چرخش ۴۱

۴۱-۳-۲-۳- هیدرولیک ۴۱

۴۱-۴-۲-۳- خصوصیات گل ۴۱

۴۱-۵-۲-۳- ویژگیهای سازند ۴۱

۴۲-۶-۲-۳- تجهیزات درون چاهی ۴۲

۴۲-۳-۳- نوع طراحی و انتخاب مته ۴۲

۴۳-۴-۳- وزن روی مته و سرعت چرخش ۴۳

۴۵-۵-۳- خصوصیات سیال حفاری ۴۵

| | |
|-----|--|
| ۴۶ | تجهیزات درون چاهی..... |
| ۵۳ | طراحی رشته حفاری..... |
| ۵۴ | طراحی BHA جهت حفاری چاه های عادی..... |
| ۵۴ | رشته حفاری ساده (انعطاف پذیر)..... |
| ۵۵ | رشته حفاری خدنگ شده..... |
| ۵۶ | طراحی رشته حفاری جهت کنترل زاویه انحراف چاه..... |
| ۵۶ | رشته حفاری ساده پاندولی..... |
| ۵۷ | رشته حفاری خدنگ شده پاندولی..... |
| ۵۹ | روشهای بکارگرفته شده در طراحی BHA..... |
| ۵۹ | روش اعمال ضریب شناوری..... |
| ۶۰ | روش سطوح تحت فشار..... |
| ۶۱ | انتخاب لوله حفاری (Drill pipe selection)..... |
| ۶۲ | فصل ۴- بهینه سازی طراحی BHA برای چاه های منطقه پارس جنوبی..... |
| ۶۳ | ۱-۴- مقدمه..... |
| ۶۳ | ۲-۴- بررسی نرخ نفوذ مته و مدل کردن عوامل تاثیرگذار..... |
| ۶۴ | ۱-۲-۴- مفاهیم آماری..... |
| ۹۸ | ۳-۴- برنامه نرم افزاری مطلب برای ارائه مدل بهینه..... |
| ۱۰۰ | فصل ۵- جمع بندی ، نتیجه گیری و پیشنهادات..... |
| ۱۰۱ | ۱-۵- جمع بندی..... |
| ۱۰۲ | ۲-۵- نتیجه گیری..... |
| ۱۰۳ | ۳-۵- پیشنهادات..... |
| ۱۰۴ | فهرست مراجع و منابع..... |
| ۱۰۹ | پیوست (الف)..... |
| ۱۲۶ | پیوست (ب)..... |

پیوست (ج)..... ۱۵۰

پیوست (د)..... ۱۶۴

پیوست (ه)..... ۱۷۲

فهرست اشکال

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱۰ | شکل ۱-۱- شمایی از حفاری کلاهک گلی..... |
| ۱۳ | شکل ۲-۱- نمونه ای از یک دستگاه حفاری..... |
| ۱۴ | شکل ۳-۱- نمونه ای از یک رشته حفاری..... |
| ۲۳ | شکل ۱-۲- نقشه موقعیت میدان پارس جنوبی در خلیج فارس..... |
| ۲۶ | شکل ۲-۲- کمان قطر- پارس و حوضه نمکی پرکامبرین در منطقه خلیج فارس..... |
| ۲۹ | شکل ۳-۲- چینه شناسی میدان پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر..... |
| ۳۰ | شکل ۴-۲- ستون چینه شناسی عمومی گنبد پارس جنوبی - شمال قطر..... |
| ۳۲ | شکل ۵-۲- نقشه و موقعیت فازها و چاه های موجود در منطقه نفتی پارس جنوبی..... |
| ۳۳ | شکل ۶-۲- منحنی پیشرفت حفاری (چاه ۱ فاز ۲) پارس جنوبی..... |
| ۳۴ | شکل ۷-۲- ستون چینه شناسی یک چاه از فاز ۲..... |
| ۳۵ | شکل ۸-۲- عملکرد مته و نرخ نفوذ مته در چاه ۱ فاز ۲..... |
| ۴۰ | شکل ۱-۳- عوامل موثر در نرخ نفوذ حفاری..... |
| ۴۳ | شکل ۲-۳- نرخ حفاری در مقابل سرعت چرخش..... |
| ۴۴ | شکل ۳-۳- نرخ حفاری در مقابل وزن روی مته..... |
| ۴۶ | شکل ۴-۳- خصوصیات گل نسبت به عمق در حفاری چاه های مجاور..... |
| ۴۸ | شکل ۵-۳- پیکره ته چاهی صلب..... |
| ۴۸ | شکل ۶-۳- انواع تجهیزات پیکره ته چاهی صلب دار تمایل به کج شدگی ملایم..... |
| ۴۹ | شکل ۷-۳- پیکره پاندولی..... |
| ۵۱ | شکل ۸-۳- BHA مورد استفاده در حفاری جهت دار..... |
| ۵۲ | شکل ۹-۳- BHA مورد استفاده در حفاری سریع و قابل هدایت..... |
| ۵۲ | شکل ۱۰-۳- BHA مورد استفاده در حفاری با لوله مغزی سیار..... |
| ۵۷ | شکل ۱۱-۳- شکل پاندولی BHA..... |
| ۵۸ | شکل ۱۲-۳- انواع تثبیت کننده ها..... |
| ۷۳ | شکل ۱-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "5.785..... |

- شکل ۲-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "6"..... ۷۳
- شکل ۳-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "8.5"..... ۷۴
- شکل ۴-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "12.5"..... ۷۴
- شکل ۵-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "16"..... ۷۵
- شکل ۶-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "17"..... ۷۵
- شکل ۷-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "17.5"..... ۷۶
- شکل ۸-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "23.5"..... ۷۶
- شکل ۹-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "24"..... ۷۷
- شکل ۱۰-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازه های مختلف در قطر "26"..... ۷۷
- نمودار ۱۱-۴- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فاز های مختلف قطر "8.5"..... ۸۰
- شکل ۱۲-۴- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فاز های مختلف قطر "12.25"..... ۸۰
- شکل ۱۳-۴- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فاز های مختلف قطر "16"..... ۸۱
- شکل ۱۴-۴- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فاز های مختلف قطر "24"..... ۸۱
- شکل ۱۵-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف قطر "8.5"..... ۸۴
- شکل ۱۶-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف قطر "12.25"..... ۸۵
- شکل ۱۷-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازه های مختلف قطر "16"..... ۸۶
- شکل ۱۸-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف قطر "24"..... ۸۷
- شکل ۱۹-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ قطر "8.5" در چاه های رانده شده..... ۸۹
- شکل ۲۰-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ قطر "12.5" در چاه های رانده شده..... ۹۰
- شکل ۲۱-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ قطر "16" در چاه های رانده شده..... ۹۱
- شکل ۲۲-۴- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۸ قطر "24"..... ۹۲
- شکل ۲۳-۴- نمایش فلوجارتی مربوط به برنامه نرم افزاری مطلب در انتخاب BHA بهینه..... ۹۹

فهرست جداول

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۲۰ | جدول ۱-۲- تعداد چاه های افقی و جهت دار حفر شده از سالهای ۷۱ تا ۷۸ در ایران..... |
| ۴۴ | جدول ۱-۳- وزن و سرعت چرخش پیشنهادی برای مته های دکمه ای سازند نرم تا متوسط..... |
| ۵۰ | جدول ۲-۳- مشخصات لوله طوق مته در استفاده از پیکره پاندولی..... |
| ۶۶ | جدول ۱-۴- داده های موثر بر روی نرخ نفوذ مته "۱۶ برای چاه های مختلف..... |
| ۶۸ | جدول ۲-۴- محاسبات آماری برای مته "۱۲.۲۵ در فاز های مختلف..... |
| ۶۹ | جدول ۳-۴- محاسبات آماری برای مته "۱۶ در فاز های مختلف..... |
| ۶۹ | جدول ۴-۴- محاسبات آماری برای مته "۱۷..... |
| ۷۰ | جدول ۵-۴- محاسبات آماری برای مته "۱۷.۵..... |
| ۷۱ | جدول ۶-۴- محاسبات آماری برای مته "۲۳.۵..... |
| ۷۱ | جدول ۷-۴- محاسبات آماری برای مته "۲۴..... |
| ۷۹ | جدول ۸-۴- محاسبات مجموع ضریب همبستگی سه فاکتور دوران مته، بار روی مته، و وزن گل برای فازها..... |
| ۸۳ | جدول ۹-۴- محاسبات مربوط به نرمالیزه کردن نرخ نفوذ در فازها برای مته های مختلف..... |
| ۸۸ | جدول ۱۰-۴- محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده چاه های رانده شده در فاز ۶ در قطر "۸.۵..... |
| ۹۰ | جدول ۱۱-۴- محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده چاه های رانده شده در فاز ۶ در قطر "۱۲.۵..... |
| ۹۱ | جدول ۱۲-۴- محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده چاه های رانده شده در فاز ۶ در قطر "۱۶..... |
| ۹۲ | جدول ۱۳-۴- محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده چاه های رانده شده در فاز ۶ در قطر "۲۴..... |
| ۹۴ | جدول ۱۴-۴- BHA TOOLS بهینه برای قطر "۸ 1/2..... |
| ۹۵ | جدول ۱۵-۴- BHA TOOLS بهینه برای قطر "۱۲ 1/4..... |
| ۹۶ | جدول ۱۶-۴- BHA TOOLS بهینه برای قطر "۱۶..... |
| ۹۷ | جدول ۱۷-۴- BHA TOOLS بهینه برای قطر "۲۴..... |

فصل ۱- کلیات حفاری

۱-۲-۲- حفاری چرخشی

امروزه کاربرد دستگاه های حفاری چرخشی بسیار متداول شده است. این دستگاه ها را می توان در هر نوع زمین بکار برد. ولی برتری کاربرد آنها در زمین های نرم بیشتر است. پیشروی این دستگاه ها در داخل سنگهای سخت به کندی صورت می گیرد. در این روش سر مته فولادی که متصل به انتهای لوله فولادی است، از سر چاه به کمک موتور، حرکت دورانی می نماید. گل حفاری از داخل لوله به درون چاه تزریق شده و از اطراف لوله به سر چاه بر می گردد. گل حفاری ضمن خنک کردن سر مته، کار حمل خرده سنگهایی که بوسیله سر مته از ته چاه تراشیده شده است، به سر چاه و جلوگیری از فشار طبقات سست و ریزش آنها به داخل چاه را نیز انجام می دهد. با روش حفاری دورانی چاه های بسیار عمیق حفر می گردد. عمیق ترین چاه جهان که با این روش حفر گردیده در سال ۱۹۵۶ در لوئیزیانا (آمریکا) به عمق ۲۱۵۳۵ فوت بود که به نفت نرسید [www.miners database.blogfa.com].

امروزه حفر چاههای انحرافی و افقی در صنعت نفت به یک مسأله عادی تبدیل شده است. روش حفاری افقی برای اولین بار در سال ۱۹۱۹ در آمریکا به کار گرفته شد و سپس در سال ۱۹۲۹ اولین چاه افقی در این کشور با موفقیت حفر گردید. در دهه ۱۹۵۰ آنها در روسیه ۴۳ حلقه چاه افقی حفر گردید. این کار توسط چند شرکت نظیر اسسو^۱، آرکو^۲ و الف^۳ ادامه پیدا کرد. به علت هزینه بالای حفاری افقی که در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر هزینه حفاری چاههای عمودی بود، [جان احمد، ۱۳۷۸] تا سال ۱۹۸۶ در سراسر دنیا تنها در حدود ۵۰ حلقه چاه افقی حفر شده بود، ضمن آنکه تکنیکهای تکمیل چاه افقی تا آن زمان محدود بود. با پیشرفت و توسعه روش های حفاری افقی، سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ شروع مجددی برای استفاده از این روش بود. در سال ۱۹۸۹ تعداد چاه های حفر شده بالغ بر ۲۶۵ حلقه گردید و در سال ۱۹۹۲ این تعداد به بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه افقی رسید که حدود ۷۵ درصد آنها در آمریکای شمالی حفر شده بودند [جان احمد، ۱۳۷۸]. توانایی حفر و میزان تولید چاههای افقی و در حالتی ویژه، چاههای چند جانبه که دارای دو یا چندین شاخه هستند، امکان اقتصادی شدن پروژه هایی را که سابقاً غیر اقتصادی بودند را فراهم نمود.

در سال ۱۹۸۷ گود^۴ روش هایی را جهت تحلیل افت فشار و کنترل فشار ساختاری مخزن در چاههای افقی ارائه کرد. یک سال بعد مقاله ای تحت عنوان افزایش تولید به کمک چاه های افقی و

1 - ESSO
2 - ARCO
3 - ELF
4 - Goode.P.A

مایل توسط جوشی^۱ ارائه گردید. هدف اصلی از حفر چاه های افقی، افزایش برداشت مخازن با نفوذپذیری کم و همچنین جهت انجام عملیات های بازیافت ثانویه نظیر تزریق آب، گاز و یا اسیدکاری و غیره می باشد [جان احمد، ۱۳۷۸]. امروزه استفاده از این روش به دلیل کارایی زیاد و اقتصادی بودن آن متداول شده است. به کمک این روش بیشترین ضریب بازیافت ممکن از یک مخزن نفتی به دست می آید. این روش مخصوصاً در مخازن دارای نفت سنگین (API ۲۱-۸) بسیار مؤثر و کارآمد است [جان احمد، ۱۳۷۸].

هدف اولیه و اصلی از حفاری افقی و جهت دار افزایش و تولید نفت از یک چاه و همچنین افزایش میزان برداشت اولیه و در نهایت افزایش ضریب بازیافت از مخزن می باشد. بسیاری از روشهای ازدیاد برداشت نظیر تزریق آب، تزریق گاز، اسید کاری و غیره، احتیاج به شرایط مخصوصی داشته و در بسیاری از موارد دچار محدودیت می شوند. حفاری افقی می تواند این محدودیت ها را از بین ببرد ضمن آنکه خود نیز روش مناسبی جهت برداشت و تولید می باشد. به طور کلی و با توجه به دستاوردهای اخیر می توان اهداف حفاری افقی را به صورت ذیل بیان نمود [جان احمد، ۱۳۷۸]:

- در مخازنی که ضخامت لایه بهره دهه یا لایه تولیدی کم بوده و به دلیل سطح برخورد کم لایه تولیدی با چاه تولید کم می باشد، می توان به کمک حفاری افقی و جهت دار این سطح تماس را افزایش داده و در نتیجه تولید را بالا برد .
- در مخازنی که شکستگی ها به صورت عمودی و به موازات محور چاه هستند، در این حالت با حفر چاه زهکش^۲ که همان بخش افقی یک چاه است، می توان بهره دهی بالایی را به دست آورد.
- در مخازنی که مسأله بالا آمدن آب یا گاز به داخل چاه وجود دارد، در این حالت می توان با حفاری افقی از این مشکل جلوگیری کرد.
- از حفاری افقی در مخازن دارای نفت سنگین به منظور انجام عملیات ثانویه نظیر تزریق گاز یا بخار و غیره که باعث افزایش نفوذپذیری مخزن می شوند، استفاده می گردد.
- در مخازنی که به علت مشکلات و محدودیت های مختلف امکان حفاری عمودی جهت رسیدن به مخزن وجود ندارد مانند مخازن مشترک خشکی، دریایی و یا مخازن زیر کوه و غیره.
- در مخازنی که نفوذپذیری کم و فشار مخزن نیز کم می باشد و استفاده از روش شکستن یا شکاف دادن مخازن مسائل و مشکلات زیادی را پدید می آورد.
- در مخازنی که سنگ مخزن، سنگ آهکی و شکاف دار می باشد.

1 - Joshi. S.D

2 - Drain hole

گرچه هزینه حفاری افقی حدود ۴۰ تا ۱۰۰ درصد بیشتر از هزینه حفاری عمودی است ولی به دلیل افزایش تولید و بهره‌وری از یک چاه افقی نسبت به یک چاه عمودی، این هزینه در مدت زمان کمی جبران خواهد شد [جان احمد، ۱۳۷۸].

۱-۳- انواع روشهای حفاری

۱-۳-۱- حفاری فراتعادلی

در این نوع حفاری، فشار هیدروستاتیک اعمال شده توسط ستون عمودی سیال حفاری در بالای سازند مورد نظر از فشار سازند بیشتر است. این سبب می‌شود که چاه به طور مؤثر کشته شده و موجب عدم بازگشت سیال سازند به سطح و عدم اعمال فشار بازگشتی به سطح توسط سازند می‌شود. این روش به طور کلاسیک هم اکنون برای حفاری اغلب چاهها در سراسر دنیا استفاده می‌شود.

۱-۳-۲- حفاری کم فشار^۱

در این نوع حفاری، تلاش بر این است که از مقدار فشار فراتعادلی که بر سازند اعمال می‌شود کاسته شود، اما تا جایی که تا حد کمی و یا به طور متوسط فشار به صورت فراتعادلی باشد و به منظور حفظ کنترل چاه، جریان و یا فشار (به سمت) سطح نداشته باشیم. این روش غالباً در سازندهای تخلیه شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملیات حفاری کم فشار در برخی موارد با استفاده از سیستمهای پایه آبی کم‌چگالی بدون مواد جامد، سیستم های پایه روغنی سبک یا نسبتاً سنگین و یا سیستم های پایه روغنی یا آب‌گازدار انجام می‌شود که در این حالات چگالی به اندازه کافی برای حفظ فشار فراتعادلی مورد نظر بالا بوده ولی در عین حال فشار فراتعادلی کل نیز کاهش یافته است.

۱-۳-۳- حفاری متوازن^۲

در این نوع حفاری اپراتور تمام تلاش خود را برای حفظ توازن دقیق بین فشار سازند و مجموع فشار هیدروستاتیکی و فشار اصطکاکی و فشار اصطکاکی که سیال حفاری اعمال می‌کند به کار می‌بندد. به طور ایده‌ال، هیچ جریانی به سمت سطح نباید داشته باشیم، با این حال حفظ و کنترل چنین فشار ظریفی به خصوص در عملیات های پیچیده و طولانی مانند چاههای حفاری افقی غیرممکن بوده و نتیجتاً عملیات تا حدی دارای رژیم فرا - فروتعادلی در برخی از قسمت‌های چاه می‌شود [Bill & Philip, 2002].

1- low head drilling

2- balanced drilling

۱-۳-۴- حفاری جریانى^۱

حفاری جریانى به حفاری گفته می‌شود که در آن سازند فشار کافى برای ایجاد شرایط فروتعادلى در تمام یا بخشى از چاه با استفاده از سیال حفاری پایه آبی یا پایه روغنى معمولی دارد [Bill & Philip, 2002]. این شرایط در برخی سازندهای دارای فشار بالا با استفاده از گل پایه آبی و در برخی از سازندهای کم فشار با استفاده از گل کم چگال تر پایه روغنى می‌تواند ایجاد شود.

۱-۳-۵- حفاری فروتعادلى^۲ با استفاده از سیال گازدار

در حفاری فروتعادلى رایج، سیال حفاری چند وظیفه اصلی را به عهده دارد؛ بعنوان مثال، روغنکاری، خنک کردن، انتقال کننده های حفاری شده؛ کنترل فشار ته چاهی و ایجاد اندودگلی برای کنترل نفوذ سیال و جامدات به درون سازند. برای انجام کارهای فوق چندین ماده یا مواد شیمیایی باید به سیال پایه اضافه شود مانند:

- مواد سنگین برای اطمینان از کنترل چاه.
- مواد ایجاد کننده اندودگلی برای به حداقل رساندن هرزروی سیال.
- مواد شیمیایی و وسیکوزی فایرها برای اطمینان از خوب تمیز شدن چاه.

طراحی سیال حفاری برای انجام عملیات UBD با طراحی سیال حفاری رایج که وظایف متفاوتی دارد کاملاً فرق می‌کند. چون در حفاری فروتعادلى هرزروی سیال نداریم، نیازی به اضافه کردن مواد ایجاد کننده اندودگلی نداریم. ترکیب هیدروکربن تولیدی از مخزن با سیال حفاری عموماً باعث افزایش سرعت حلقوی می‌شود. پیامد افزایش سرعت حلقوی بهبودی تمیزی چاه است. و در نتیجه به افزودن وسیکوزی فایرها نیاز کمتری می‌باشد. اضافه کردن مواد سنگین بستگی به فشارهای مخزن و میزان افت فشار مورد نیاز ممکن است نیاز باشد یا ممکن است به آن نیازی نباشد [Bill & Philip, 2002].

حفاری با سیال گازدار^۳ جدیدترین فن‌آوری‌ای است که در آن سیال پایه آبی یا روغنى با یک گاز همچون هوا، نیتروژن (اغلب موارد)، گاز طبیعی و یا گاز اجاق فراوری شده، مخلوط شده تا چگالی مؤثر کل سیستم را کاهش دهد و شرایط ته چاهی را به صورت فروتعادلى درآورد. این نحوه حفاری فروتعادلى تا حدی به اپراتور امکان کنترل فشار ته چاهی را با تغییر دادن مقدار گاز تزریقی و نهایتاً تغییر چگالی ستون سیال حفاری هنگام مواجهه با شرایط فشاری مختلف سازندها که غالباً در چاههای طولانی مشاهده می‌شود می‌دهد.

1- flow drilling

2- under balance drilling (UBD)

3- gasified drilling

وقتی درون ریزی آب به اندازه‌ای زیاد است که توسط روش های میست^۱ یا کف قابل خارج کردن نیست یا وقتی فشار هیدروستاتیکی بالاتری برای حفظ پایداری چاه مورد نیاز است، می‌توان از سیال گازدار استفاده کرد تا شرایط فروتعدالی حاصل شود [Bill & Philip, 2002].

۱-۳-۶- حفاری میست^۲

در واقع این نوع حفاری نوعی از عملیات فروتعدالی برای ایجاد شرایطی است که در آن وزن بسیار پایین گل برای ایجاد حداقل فشار فروتعدالی مورد نیاز است. یک سیال از پیش آماده شده (مثلاً آب همراه با یک ماده فعال سطحی) با غلظت مناسب در سطح به گاز تزریق می‌شود؛ غلظت این سیال با روش آزمون و خطا تعیین می‌شود. این کار باعث تولید نوعی میست می‌شود که در آن ماده فعال سطحی به درون چاه منتقل شده و ضمن مخلوط شدن با آب سازند کننده های حفاری شده را به صورت قطراتی در جریان گاز برگشتی پخش می‌کند. نرخ سیال پایه ده الی صد لیتر بر دقیقه، همراه با تزریق گاز برای تولید میست می‌باشد [Bill & Philip, 2002].

مقدار کم سیال موجود در سیستم سبب کاهش دمای مته حفاری و نیز روغن کاری مته حفاری می‌گردد که از بروز فاجعه انفجار (در صورت عدم وجود مایع) جلوگیری می‌کند. حجم هوای (نرخ جریان) مورد استفاده در حفاری میست در حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد بیشتر از حفاری با هوای خشک می‌باشد و عموماً در مورد میست از فشارهای ۲۰۰ الی ۴۰۰ و در مورد هوا از فشارهای ۱۰۰ الی ۳۰۰ psi استفاده می‌شود.

از فواید این روش، سازگاری خیلی بالای آن با درون ریزیهای جزئی آب و جلوگیری از تشکیل «حلقه‌های گل»^۳ می‌باشد. از نقایص این تکنیک می‌توان به حجم بالای گاز مورد نیاز، خوردگی و اثر آن روی شیلها اشاره کرد [Bill & Philip, 2002].

۱-۳-۷- حفاری کف آلود پایداری و استیف^۴

اگر چه حفاری با میست، حفاری مستقیم با هوا را در بعضی موارد بهبود بخشیده است، با این حال هنوز هم درون ریزی آب سبب بروز مشکلات عدیده‌ای می‌شود، زیرا تبدیل شدن سیال حفاری از حالت «آب در گاز» به «گاز در آب» باعث کاهش توانایی سیال حاصله در حمل کننده های حفاری شده خواهد شد. بنابراین در مواردی که حفاری گازی یا میست قابل استفاده نیست، اما فشار درون چاهی پایینی برای شرایط فروتعدالی مورد نیاز است، کف ها باید مورد استفاده قرار گیرند. کف های پایدار مخلوطی از آب تازه، مواد فعال سطحی، افزودنی های شیمیایی و گاز متراکم (هوا، نیتروژن، گاز طبیعی یا دی‌اکسید کربن) می‌باشند که در آن حباب های گاز به طور ثابت در یک فاز مایع پیوسته پخش شده‌اند.

1- mist method

2- mist drilling

3- mud ring

4- foam drilling

مزیت اصلی حفاری با کف توانایی بالای حمل کنده های حفاری می باشد. کنده های حفاری شده بعد از توقف چرخش برای مدت زمانهای طولانی می توانند معلق باشند. علاوه بر این، اگر فشار مخزن برای ایجاد حالت فروتعدالی با یک مایع گازدار، خیلی پایین باشد، می توان از کف پایدار تولید شده با هوا یا نیتروژن استفاده کرد. خوردگی تجهیزات سطحی و درون چاهی در آنها کمتر است، روغنکاری بهتری ایجاد می کنند، به انرژی کمتری برای پمپ کردن نیاز دارند و نسبت به گاز یا میست، بهتر می توانند آب تولید شده را خارج کنند. کف ها (در صورت پایداری) قادرند مشکل آتش سوزی در حفاری با هوا را با جدا کردن هر نوع هیدروکربن تولیدی از هوا و فراهم کردن آب برای خاموشی آتش به حداقل برسانند.

مشکل اصلی این سیستم، ناپایداری (با افزودنیهای شیمیایی) سیال برگشتی از چاه می باشد.

۱-۳-۸- حفاری با گاز (هوا) خالص^۱

در این روش حفاری با استفاده از یک گاز خشک مناسب مانند هوا، نیتروژن یا گاز طبیعی انجام می شود. کنده های حفاری شده به دلیل انتقال توسط گاز پرسرعت (مثلاً ۳۰۰ فوت بر دقیقه) فرسوده شده و توسط رشته حفاری خرد می شود تا اینکه به صورت غبار در سطح مشاهده می شود. حفاری با گاز خشک سریع ترین نرخ نفوذ را ایجاد می کند. مهم ترین دلایل استفاده از هوا به عنوان سیال حفاری به شرح زیر است [Bill & Philip, 2002]:

- حذف یا کاهش آسیب دیدگی سازند.
- کاهش مشکلات حفاری مانند گیر اختلاف فشاری و هرزروی گل حفاری.
- افزایش قابل توجه نرخ نفوذ (تا ده برابر یا بیشتر) و افزایش عمر مته حفاری.

هنگام حفاری سازندهای خشک یا وقتی که درون ریزی آب به اندازه ای کم باشد که توسط جریان هوا قابل جذب باشد، از این روش استفاده می شود. هنگام مواجهه با درون ریزی قابل توجه آب، برای حفاری درسازندهای پرفشار و پرتراوایی که برای کنترل فوران از گل سنگین باید استفاده شود، سازندهای غیریکپارچه ای که مشکل پوسته ای شدن در آنها وجود دارد و سازندهایی که بواسطه سرعت بالای گاز، چاه، به طور ناخواسته با فرسایش روبرو شده است، استفاده از حفاری با گاز خشک پیشنهاد نمی شود. این روش حفاری مشکلات و محدودیت هایی را نیز با خود به همراه دارد که شامل

: [Bill & Philip, 2002]

- نمونه‌گیری از کنده های حفاری پودر شده باعث ارزیابی ضعیف زمین‌شناسی و کنترل چاهها می‌شود.
- مسائل مربوط به کنترل چاه در نواحی پرفشار.
- افزایش خطرات آتش سوزی و انفجارهای درون چاهی.
- به دلیل تمیز نبودن چاه جریان آب می‌تواند باعث گیرکردن لوله شود. در موارد بدتر، کنده های حفاری شده ریزتر وقتی با آب مخلوط شوند نوعی سیمان تشکیل می‌دهند که به درون رشته‌های جداری می‌چسبند. این موقعیت می‌تواند منجر به کارهای طولانی و مشقت بار دیوار تراشی و گاهی اوقات تخریب دیوار چاه شوند.
- تشکیل لعاب و صیقلی شدن نزدیک چاه به دلیل ضعف در تمیزی چاه و دماهای بسیار بالای سنگ - مته.

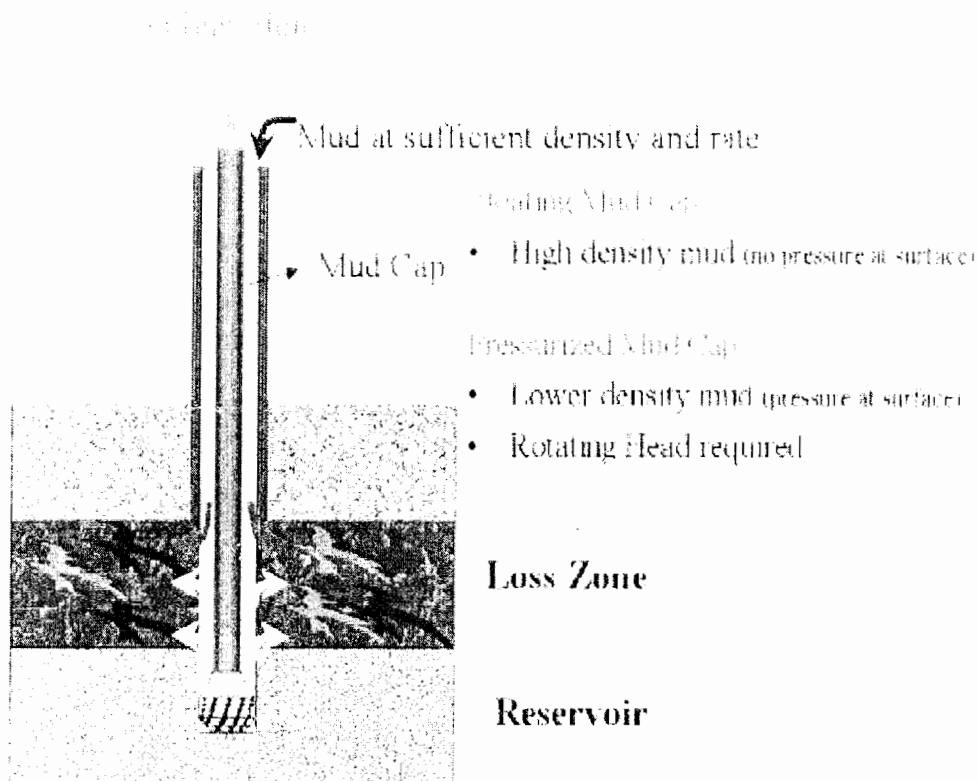
۱-۳-۹- حفاری کلاهک گلی^۱

این نوع حفاری مکمل روش حفاری فروتعدالی است که برای حفاری نواحی هرز رو پرشکاف استفاده می‌شود، اما جریان سیال مخزن به سطح وجود ندارد. سیال حفاری (معمولاً آب) به درون لوله حفاری پمپ می‌شود. یک سیال با چگالی بالا با یک نرخ کنترل شده به درون فضای حلقوی پمپ می‌شود تا مانع مهاجرت گاز شود. همه سیال پمپ شده، سیال تولید شده و کنده های حفاری شده به درون شکاف پمپ می‌شود. روش فوق، ایمن‌ترین روش برای حفاری مخازن ترش با نواحی پرهرزرو می‌باشد، زیرا هیچ سیال برگشتی به سطح وجود ندارد [Bill & Philip, 2002]. شکل ۱-۱، تکنیک حفاری کلاهک گلی را نشان می‌دهد.

روش حفاری کلاهک گلی به دو نوع تقسیم می‌شود:

- کلاهک گلی شناور - در این حالت چگالی سیال حلقوی آنقدر بالاست که سیال و کنده های حفاری شده را به درون ناحیه هرزرو هل می‌دهد. این روش نیاز به حجم زیادی مواد گلی دارد.
- کلاهک گلی پرفشار - این روش از فشار فضای حلقوی و ستون سیال برای منحرف کردن سیال حفاری و کنده های حفاری شده به درون ناحیه هرزرو استفاده می‌کند. در این روش از سیال حلقوی با چگالی پایین (گاز هم در نواحی تخلیه شده می‌تواند استفاده شود) استفاده می‌شود و نرخ تزریق سیال حلقوی بهینه می‌شود و فشار فضای حلقوی نمایانگر مستقیم آنچه در چاه اتفاق می‌افتد، می‌باشد. بنابراین هرزروی سیال به درون سازند کمتر می‌شود و

مواد ویسکوز برای جلوگیری از مهاجرت گاز به فضای حلقوی به آهستگی به سیال اضافه می‌شود. با این وجود، یک ابزار کنترل چرخشی برای حفاری کلاهک گلی پرفشار مورد نیاز است.



شکل ۱-۱- شمایی از حفاری کلاهک گلی
[Harrison, 1998]

۱-۴- متعلقات دستگاه حفاری

دستگاه حفاری شامل قسمتهای بسیاری است که هر یک به نوبه خود در راندمان حفاری نقش مهمی ایفا می‌کند که در شکل ۱-۲ این ارتباط را می‌بینیم. رشته حفاری یکی از قسمت‌های مهم دستگاه حفاری دورانی می‌باشد که رابط بین دستگاه حفاری و مت‌ه موجود در عمق چاه است. طراحی، نگهداری و بکارگیری صحیح متعلقات مختلف رشته حفاری یکی از عوامل مهم موفقیت در یک عملیات حفاری می‌باشد که رشته حفاری شامل کلیه قطعات گردنده درونی چاه می‌باشد.

یک نکته بسیار مهم و اصلی که همیشه باید در مورد انتخاب قطعات رشته حفاری در نظر گرفته شود اینستکه: " هرگز قطعه ای که مورد نیاز نمی باشد نباید بداخل چاه رانده شود. "^۱

رعایت این اصل باعث می شود که از ایجاد اتصالات زیاد که باعث ایجاد نقاط ضعف در رشته حفاری می شود جلوگیری گردد. اگر قطعه بکار رفته یک تبدیل^۲ باشد در واقع تنها یک نقطه اتصال ایجاد شده است.

در نگاه اول به نظر می رسد که به عنوان مثال در یک چاه با عمق ۱۰۰۰۰ فوت حدود ۳۲۵ محل اتصال وجود دارد. بنابراین افزودن یک یا دو اتصال دیگر به آن ایجاد مشکل خاصی نخواهد کرد. بهرحال بیشتر مشکلات در محل اتصالات لوله های وزنه بروز می نماید، که احتمالاً حدود ۳۰ نقطه اتصال در یک رشته حفاری را دارا خواهد بود. بنابراین افزودن یک اتصال در این بخش از رشته حفاری تاثیر بسیار زیادی در احتمال بروز مشکلات خواهد کرد.

۱-۴-۱- دلایل استفاده از رشته حفاری و قسمت های مختلف تشکیل دهنده آن

- رشته لوله حفاری برای انجام مقاصد زیر به کار می رود:
- ۱- امکان هدایت جریان سیال حفاری از سطح زمین به مته
 - ۲- انتقال حرکت دورانی به مته
 - ۳- انتقال وزن لازم به روی مته
 - ۴- بالا و پایین بردن مته بداخل چاه
 - ۵- تثبیت و پایدار کردن ملحقات تحتانی رشته حفاری BHA^۳ در چاه جهت جلوگیری از لرزش و پرش مته
 - ۶- امکان انجام آزمایشات بهره دهی لایه ها
 - ۷- امکان انجام نمودارگیری از طریق رشته حفاری در شرایطی که امکان راندن وسایل نمودارگیری در حفره باز چاه نباشد.

ملحقات رشته حفاری بسیار متنوع و جهت مقاصد مختلف بکار گرفته می شود.

رشته حفاری در اصل شامل لوله های حفاری و ملحقات تحتانی رشته حفاری (BHA) می گردد که قسمت لوله های حفاری شامل لوله های حفاری معمولی و لوله های حفاری سنگین^۴ می باشد.

1-Never run anything in the hole that is not needed Assembly

2-X-OVER

3-Bottom Hole

4-heavy weight drill pipe

۱-۴-۲- ملحقات تحتانی رشته حفاری

در بحث رشته حفاری باید بدانیم که ملحقات رشته حفاری در طراحی و بهینه کردن راندمان حفاری نقش بسیار زیادی دارند چراکه دانستن نوع و تکنولوژی های مربوطه در انتخاب و بکارگیری مناسب آنها در طراحی BHA یک مهم می باشد. فلذا مطالعه روی ابزار رشته حفاری و دانستن مزایا و محدودیت های بکارگیری آنها در هر مقطع از چاه در راستای طراحی بهینه و انتخاب بهترین فاز و چاه مربوطه از لحاظ BHA TOOLS مناسب بسیار مهم به نظر می رسد. بنابراین می توان ملحقات تحتانی رشته حفاری کلیدی را در رسیدن به اهداف دانست:

۱- لوله های سنگین^۱ در اندازه و وزن های مختلف

۲- تثبیت کننده ها^۲

۳- ضربه کوبها^۳

۴- تراشنده ها^۴

۵- ضربه گیرها^۵

۶- مته و طوق مته^۶

بعضی وسایل مخصوص که در موارد مشخصی بکارگرفته می شود نیز جزو ملحقات رشته حفاری

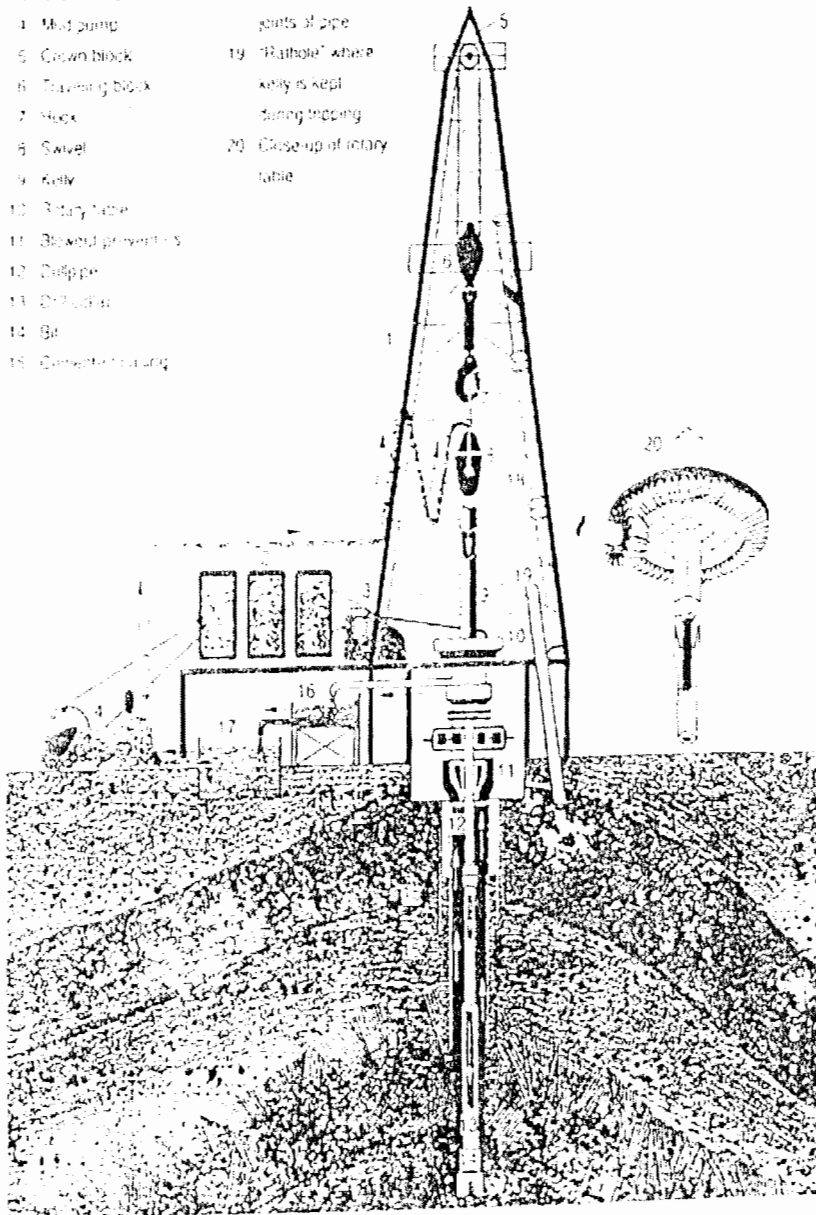
می باشند. مانند: سبدهای خرده آهن گيرو ... [Collins,1996].

که در شکل ۱-۳ چیدمانی از یک رشته حفاری را نمایش می دهد.

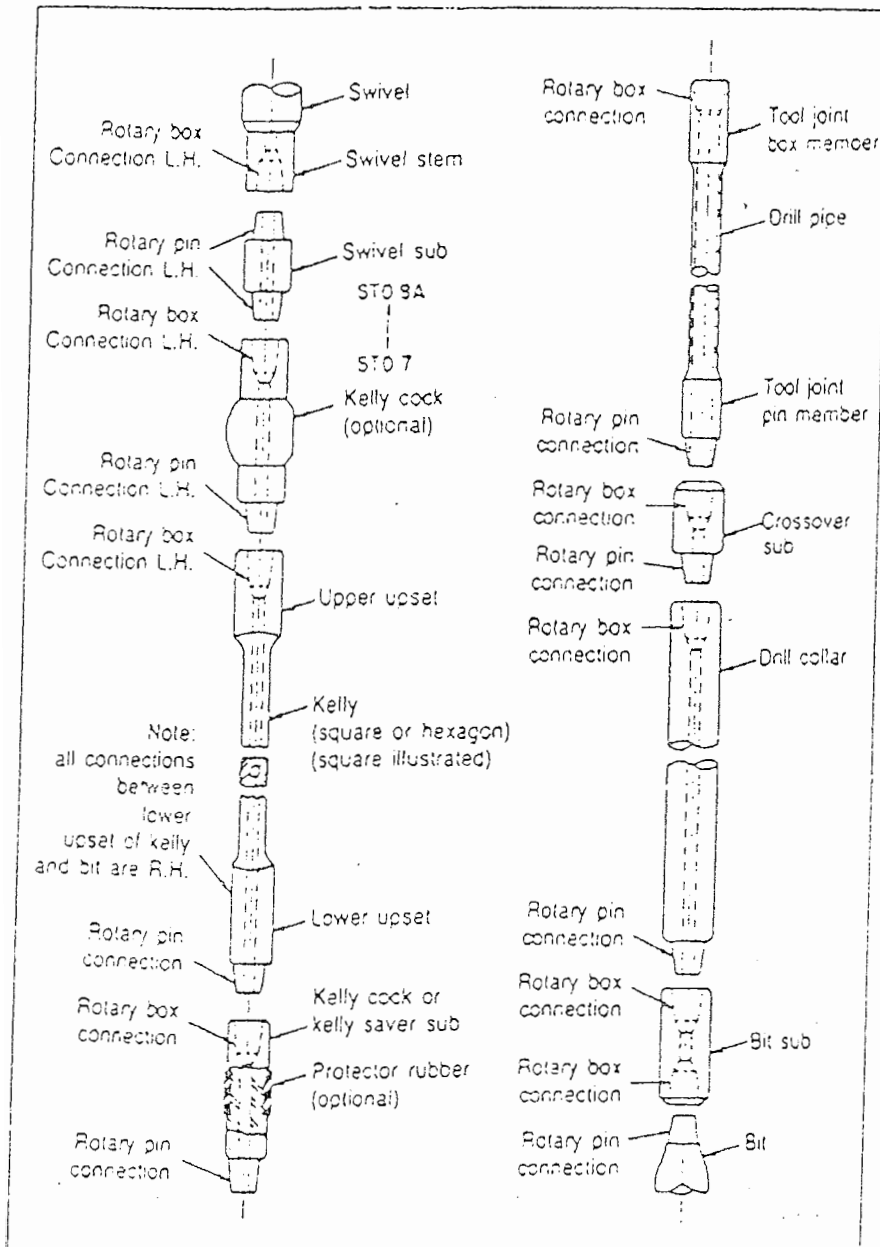
1- drill collars 2-stabilizer
3- jars 4-reamers 5-shock subs 6- bit sub

Rotary drilling rig

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Derrick | 16. Shain shaver |
| 2. Engines | 17. Mud tanks |
| 3. Crawlworks | 18. Stand of three joints of pipe |
| 4. Mud pump | 19. "Rathole" where Kelly is kept during tripping |
| 5. Crown block | 20. Close-up of rotary table |
| 6. Travelling block | |
| 7. Hook | |
| 8. Swivel | |
| 9. Kelly | |
| 10. Rotary table | |
| 11. Blowed preventer | |
| 12. Drillpipe | |
| 13. Drill collar | |
| 14. Bit | |
| 15. Cement casing | |



شکل ۱-۲- نمونه ای از یک دستگاه حفاری [جورگانی، ۱۳۷۸]



شکل ۱-۳- نمونه ای از یک رشته حفاری [جورکائی، ۱۳۷۸]

۱-۵- سابقه مطالعات انجام شده

برای رسیدن به یک راندمان بالا در حفاری، داشتن تکنولوژی و دانش بالا در رشته حفاری بخصوص BHA یک مهم شناخته شده است. در جهان اصولاً روی BHA فقط مطالعات تجربی و عملی را در راهکارهای حفاری های آتی دخالت می دهند، چراکه نوع بکارگیری رشته حفاری باید طبق شرایط محیطی منطقه حفاری شده و با توجه به TOOLS قابل دسترسی برای حفار در آن چاه باشد. در این راستا در سال ۲۰۰۳ شرکت شلمبرژه مطالعات گسترده خود را در زمینه طراحی BHA با تهیه یک نرم افزار شبیه سازی (Drilling office) قدم به دستیابی به پیشرفت بروز الان نهاد [www.slb.com]. قبل از آن نیز شرکت Agip نیز با مطالعات عملی خود بر روی چاه های آمریکا به صورت فایل‌هایی تجربیات خود را به عرصه حفاری تقدیم کرده بود. بنابراین به این نتیجه می رسیم که مطالعات عملی در BHA بیشتر از مطالعات نظری بوده است و فقط نوع تکنولوژی ابزار متفاوت بوده است و نتایج حفاری های صورت گرفته در جهان این مطلب را می رساند که مطالعه کلاسیک و اساسی روی BHA تا به حال صورت نگرفته است. اما در کشور ما اخیراً شرکت Petropars با تیم حفاری موفق (شرکت نروژی Statoil) به یک BHA TOOLS مناسبی نائل شده است که در راندمان حفاری و رسیدن به یک زمان مناسب، با داشتن هزینه حفاری بهینه، مفید بوده است [www.petropars.com].

۱-۶- ضرورت انجام مطالعه

در حال حاضر طراحی رشته لوله حفاری، تنها بر اساس تجربه و بصورت سلیقه ای و بدون بررسی عملی و در نظر گرفتن پارامترهای فنی، آنهم بر اساس شناخت تجهیزات قدیمی صورت می پذیرد. با توجه به نقش و اهمیت حفاری در اکتشاف و بهره برداری منابع هیدروکربوری و همچنین هزینه بالای آن، بررسی همه جانبه تجهیزات، خصوصیات سازند و هدف مورد نظر در حفاری جهت دستیابی به راندمان بیشتر باید مدنظر باشد. به همین علت طراحی و چیدمان ملحقیات تحتانی رشته حفاری (BHA) و همچنین مطلوب ساختن وضعیت چاه برای ادامه عملیات می تواند هزینه حفاری را کاهش داده و افزایش راندمان حفاری را سبب شود.

بنابراین با طراحی بهینه رشته لوله حفاری امکان افزایش سرعت حفاری و افزایش کیفیت وضعیت چاه میسر گشته و علاوه بر آن زمان و هزینه حفاری بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. علی الرغم

وجود روش ها و نرم افزارهایی برای طراحی بهینه رشته حفاری و BHA متاسفانه در اکثر موارد بنا به دلایل مختلف امکان دسترسی به آنها نمی باشد و یا اینکه در بعضی از موارد ممکن است استفاده از این نرم افزارها بدلائل مختلف (مثل شرایط چاه، شرایط زمین شناسی و...) نتایج مناسبی را ارائه ندهد. از اینرو ضروری است برای هر میدان نفتی روشی مناسب برای طراحی بررسی و ارائه شود که مطالعه حاضر نیز در همین راستا می باشد.

۱-۷- هدف و روش انجام مطالعه

در مطالعه حاضر هدف بر این است تا ضمن بر شمردن عوامل موثر در حفاری، چگونگی طراحی بهینه BHA، برای افزایش راندمان حفاری مورد مطالعه قرار گیرد. در همین راستا اطلاعات موجود حفاری های انجام شده در منطقه پارس جنوبی مورد بررسی قرار گرفته و با انجام بررسی های آماری و فنی روی داده های موجود نقش عوامل مختلف در طراحی مناسب BHA مورد مطالعه قرار گیرد و سپس با توجه به نقش هر یک از پارامترها و عوامل مربوطه، الگوریتم مشخص برای طراحی بهینه BHA ارائه می شود.

۱-۸- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در قالب پنج فصل ارائه شده است، در این فصل ضمن معرفی مختصر از بخش های یک سیستم حفاری بخصوص رشته های حفاری و بخش های تحتانی رشته حفاری (BHA) اهمیت و نقش طراحی مناسب BHA را برای افزایش راندمان حفاری مورد بررسی قرار می دهیم و سپس با شرح ضرورت و هدف مطالعه حاضر مورد بررسی قرار می گیرد.

از آنجایی که در طراحی از داده های چاه های زاویه دار^۱ استفاده شده است لذا در فصل دوم به شناخت و بررسی این چاهها پرداخته می شود و در ادامه به شرح مختصر زمین شناسی منطقه پارس جنوبی و موقعیت چاه های این منطقه می پردازیم.

در فصل سوم به شرح عوامل موثر بر حفاری پرداخته و با تعریف رشته حفاری و الحاقات درون چاهی ، (BHA) در مورد روشهای طراحی BHA بیشتر بحث شده است.

و در ادامه به شرح اصول طراحی و بهینه سازی حفاری پرداخته و در فصل چهارم نیز به چگونگی طراحی بهینه BHA برای چاه های نفت و گاز منطقه پارس جنوبی پرداخته و نتایج حاصل در هر مورد ارائه می شود و در خاتمه نتایج بدست آمده به همراه پیشنهادات در قالب فصل پنجم ارائه شده است.

فصل-۲ روش های حفر
چاههای افقی و جهت دار
و شناسایی منطقه پارس
جنوبی

۲-۱- مقدمه

به منظور دستیابی به ذخایر زیرزمینی انجام عملیات حفاری لازم و ضروری است. امروزه حفر چاههای انحرافی و افقی در صنعت نفت به یک مسأله عادی تبدیل شده است. هدف اصلی از حفر چاههای افقی، افزایش برداشت مخازن با نفوذپذیری کم و همچنین جهت انجام عملیاتهای بازیافت ثانویه نظیر تزریق آب، گاز و یا اسیدکاری و غیره می‌باشد. امروزه استفاده از این روش به دلیل کارایی زیاد و اقتصادی بودن آن متداول شده است. به کمک این روش بیشترین ضریب بازیافت ممکن از یک مخزن نفتی به دست می‌آید. این روش مخصوصاً در مخازن دارای نفت سنگین (API ۲۱-۸) بسیار مؤثر و کارآمد است [مطیعی، ۱۳۶۰].

در این فصل سعی می‌گردد که با این روش تا حدودی آشنا شده و چگونگی حفر و تکمیل یک چاه افقی تشریح گردد. در ضمن مسائل و مشکلات موجود در انجام آن و همچنین بررسی چاه های انحرافی و شناخت داده های حفاری مربوطه نیز در این فصل بررسی شده و در آخر به شناسایی چاه های منطقه پارس جنوبی پرداخته می شود .

۲-۲- تاریخچه حفاری افقی در جهان

حفاری افقی برای اولین بار در سال ۱۹۱۹ میلادی با ساخت وسائل مخصوص در آمریکا بکار گرفته شد. در سال ۱۹۲۹ حفر اولین چاه افقی در این کشور با موفقیت انجام گردید. این تکنولوژی با توجه به پائین بودن قیمت نفت و کشف مخازن بزرگ و از طرف دیگر به علت محدودیتهای تکنولوژیکی و هزینه زیاد، حفر چاه افقی عملاً تا سال ۱۹۷۰ مورد استقبال شرکتهای نفتی واقع نگردید. از سال ۱۹۷۰ تکنولوژی حفاری افقی توسعه فراوانی یافت. امروزه در کشورهای آمریکا، کانادا، شوری سابق، اروپا و سایر کشورهای تولید کننده نفت توسط شرکت های مختلف دارنده این تکنولوژی انجام می‌گیرد [مطیعی، ۱۳۶۰].

۲-۲-۱- تاریخچه حفاری افقی در ایران

مسأله حفاری چاههای افقی در اواخر سال ۱۳۶۹ در مناطق نفت خیز جنوب بطور جدی مطرح و پس از آن عملیات حفاری افقی برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۷۱ بر روی چاه مارون ۱۹۹ توسط شرکت کانادایی سی تی آی^۱ و پیمانکار مجری، شرکت گاید هوریزنتال دریلینگ^۲ و با هدف تولید نفت از طبقه آهکی لایه ۳ سازند آسماری انجام و با موفقیت کامل در تاریخ ۱۳۷۱/۸/۲۳ به اتمام رسید [مطیعی، ۱۳۶۰]. عملیات حفاری جهت دار کنترل شده از عمق ۳۲۴۲ متری در ابتدای لایه یک آسماری با شعاع انحناء ۱۶۶ متر و زاویه ۱۶/۱۰ درجه در هر ۳۰ متر جهت رسیدن به حد افقی شدن اجرا شد. چاههای متعدد دیگری با اهداف خاص روی میداین مختلف در سالهای مختلف به صورت افقی حفاری گردیده‌اند که اسامی آنها در جدول ۲-۱ درج شده است.

جدول ۲-۱- تعداد چاه های افقی و جهت دار حفر شده از سالهای ۷۱ تا ۷۸ در ایران [مطیعی، ۱۳۶۰]

| سال حفاری | نام میدان | | | | | | | | |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | ۱۳۷۸ | ۱۳۷۷ | ۱۳۷۶ | ۱۳۷۵ | ۱۳۷۴ | ۱۳۷۳ | ۱۳۷۲ | ۱۳۷۱ | نوع چاه |
| اهواز | ۲ | - | - | - | ۱ | - | - | ۱ | افقی |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| آب تیمور | ۶ | - | ۱ | ۱ | ۱ | - | ۲ | - | افقی |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| بی بی حکیمه | ۱۷ | ۲ | ۸ | ۳ | ۱ | - | ۱ | ۲ | افقی |
| | ۲ | - | - | ۲ | - | - | - | - | انحرافی |
| پارس | ۵ | - | ۵ | - | - | - | - | - | افقی |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| رگ سفید | ۱ | - | - | ۱ | - | - | - | - | افقی |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| گجساران | ۱۹ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ | - | ۱ | ۱۰ | افقی |
| | ۴ | - | ۱ | - | - | - | ۱ | ۱ | انحرافی |
| مارون | ۴ | - | ۳ | - | - | - | - | ۱ | افقی |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| منصوری | ۱ | - | - | - | - | - | ۱ | - | افقی |
| | ۱ | ۱ | - | - | - | - | - | - | انحرافی |
| مجموع | ۷۱ | ۵ | ۲۰ | ۹ | ۵ | ۲ | ۵ | ۲۰ | ۵ |

1 - CTI

2 - Guide Horizontal Drilling

۲-۳- حفاری افقی

در صنعت حفاری نفت می‌توان حفاری افقی را چنین تعریف نمود «یک تکنیک حفاری و تکمیل چاه است که چاه در یک مسیر با زاویه زیاد و تقریباً به موازات سازند حفر شده و به موجب آن قسمت زیادی از مخزن در معرض چاه تولیدی قرار گرفته و تولید آن نیز به کمک یک چاه عمودی نشان داده می‌شود».

در عمل بخشی از چاه را که دارای زاویه انحراف زیاد یعنی بیش از ۸۰ درجه باشد را بخش افقی^۱ و در بسیاری موارد چاه زهکش می‌گویند. چاههای حفر شده با انحراف کمتر از این مقدار را چاههای جهت دار^۲ می‌نامند.

۲-۴- وسایل مورد استفاده در حفاری یک چاه افقی

همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، منحرف نمودن چاه با توجه به برنامه ریزی قبلی و انتخاب شعاع انحناء مناسب و با توجه به عمق چاه و ضخامت مخزن صورت می‌گیرد. پس از اتمام حفاری عمودی، عملیات حفر قسمت منحنی بطور بسیار خلاصه و تئوری بدین شرح است که ابتدا وسایل مخصوص بالا بردن زاویه^۳ به داخل چاه رانده شده و طبق برنامه چاه انحناء پیدا می‌کند. درجه انحراف معمولاً از ۱۰ درجه شروع شده و در داخل مخزن به ۹۰ درجه یا حالت افقی می‌رسد. سپس با استفاده از وسایل مخصوص ثابت نگهدارنده زاویه^۴، حفاری به صورت افقی در داخل مخزن انجام می‌شود. به طور کلی در روش حفاری افقی از جدیدترین نوع لوله اضافی و ساق مته^۵ که مخصوص این نوع حفاری است، استفاده می‌شود و لوله حفاری مخصوصی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، لوله حفاری اضافی انعطاف پذیر نام دارد [مطیعی، ۱۳۶۰]. این نوع لوله‌های حفاری در محل اتصال قابلیت خم شدن و انحناء را دارا می‌باشند به طوری که در حین حفاری به تدریج انحناء پیدا می‌کنند. البته این لوله‌ها فقط در قسمت منحنی چاه به کار رفته و در همانجا نیز باقی می‌مانند.

بطور کلی جهت حفاری ابزار و آلات مخصوصی به کار می‌رود که عبارتند از [مطیعی، ۱۳۶۰]:

۱- لوله‌های سنگین حفاری^۶: این لوله‌ها بسیار محکم و سنگین بوده و تا سطح زسین می‌آیند.

-
- 1 - Horizontal Section
 - 2 - Directional Well
 - 3 - Build Angle Assembly
 - 4 - Angle Holding Assembly
 - 5 - Drill Pipe Collar
 - 6 - Heavy Drill Pipe

۲- لوله‌های حفاری مارپیچی^۱: این لوله‌ها داری انفصال‌های مارپیچی بوده و معمولاً از ۱۲ تا ۲۰ شاخه تشکیل می‌شوند.

۳- لوله‌های حفاری فشرده^۲: دستگاه و یا مجموعه‌ای است از لوله‌های مخصوص حفاری که قطر آنها معمولاً $3\frac{1}{2}$ " و یا $2\frac{7}{8}$ " است. این مجموعه همیشه در قسمت منحنی چاه قرار می‌گیرد.

۴- وسایل اندازه‌گیری در حین حفاری^۳: این ابزار (دستگاه) مخصوصی است که در تمام مدت حفاری می‌تواند درجه انحراف و جهت آن، وزن روی مته، میزان گشتاور، چسبندگی لوله‌ها به دیواره را تحت کنترل دقیق داشته و از مشکلات احتمالی جلوگیری نماید.

۵- وسایل آزمایشی^۴: این دستگاه‌ها شامل موتور، دستگاه چرخش مته، جت هیدرولیکی و غیره می‌باشند.

۲-۵- ارزیابی سازند

معمولاً در پروژه‌های حفاری افقی یکی از عملیات ضروری ارزیابی سازند می‌باشد. اولین روش ارزیابی سازند نمودارگیری گل حفاری^۵ می‌باشد که جهت مشخص شدن لایه‌های سازند و سنگ مخزن، همچنین مشخص شدن شکستگی‌ها در تمام چاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار گل حفاری یک وسیله بسیار عالی جهت ردیابی و تعقیب مسیر به منظور تعیین موقعیت هدف در چاه می‌باشد. نمودارگیری اشعه گاما دومین روش مورد استفاده است که می‌تواند مکمل اطلاعات حاصل از نمودارگیری گل حفاری جهت تعیین موقعیت سازند و هدف باشد. در این حالت از یک ابزار^۶ MWD شامل اشعه گاما متمرکز شده استفاده می‌شود. در بعضی موارد از یک نمودارگیر بیننده^۷ جهت تعیین شکستگی‌ها در چاه‌های عمودی استفاده می‌شود [مطیعی، ۱۳۶۰]. از این ابزار، همچنین جهت اندازه‌گیری آزمون شکستگی‌های طبیعی استفاده می‌شود تا موقعیت بعدی چاه در جهتی باشد که شکستگی‌های طبیعی بصورت عمودی با چاه تلاقی کنند.

۲-۶- مشکلات و مسائل حفاری افقی

معمولاً با دو دسته از مشکلات مواجه می‌شویم: اول، مشکلات مکانیکی اجتناب‌ناپذیر که در بسیاری موارد قادر به حل این مشکلات هستیم و دوم، مشکلات مخزن که غیر قابل اجتناب هستند و

1 - Spiral Drill Collar

2 - Compressive Service Drill Pipe

3 - Measurement While Drilling Assembly (MWD)

4 - Experimental Tools

5 - Mud Logging

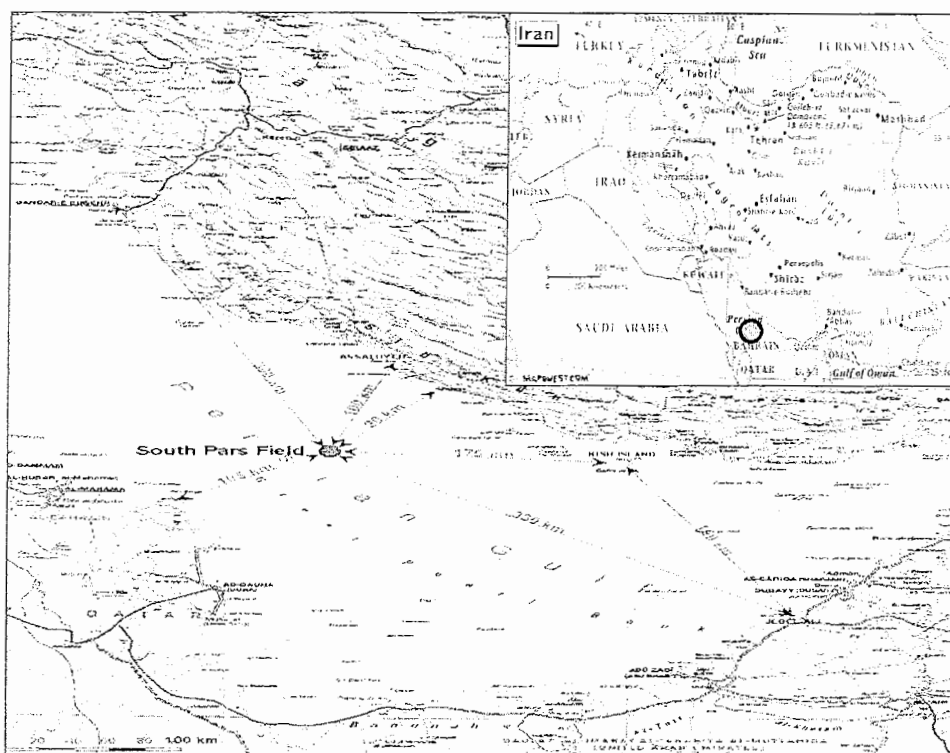
6-Measure While Drilling

7-Televiewer

سعی می شود که آنها را نیز به نحوی حل نمود. به عنوان مثال می توان از عدم توانائی در پیش بینی رفتار BHA، کنترل زاویه و جهت چاه نام برد. از مشکلات مخزن می توان مشکلات بوجود آمده در قسمت هایی از بخش افقی را نام برد که شامل حفره های خالی در این قسمت می شود. هنگامی که سیستم حفره خالی شده متفاوت با سیستم دیگر شکافها باشد، حفاری بسیار مشکل می شود. استفاده از گل هوادار نیز مانع از درست انجام شدن کار ابزار MWD شده و هزینه های فساد تدریجی وسایل نیز مانعی دیگر برای کار می باشد [مطیعی، ۱۳۶۰].

۷-۲- موقعیت منطقه پارس جنوبی

میدان پارس جنوبی در حدود ۱۰۰ کیلومتری بندر عسلویه ، ۱۷۵ کیلومتری کیش و ۱۰۵ کیلومتری سواحل قطر واقع شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نقشه موقعیت میدان پارس جنوبی در خلیج فارس [Agip Iran B.V.2005]

۸-۲- تاریخچه عملیات اکتشافی میدان

در سال ۱۹۸۸ ، عملیات لرزه نگاری دریایی در منطقه ای از آبهای خلیج فارس در مقابل آبهای قطر که بنام بلوک پنج نامیده شد، اطلاعات با ارزشی در مورد گسترش ناحیه شمالی ساختمان گنبد

شمالی^۱ در کشور قطر بداخل آبهای ایران عرضه نمود. در آبهای ایران این ساختمان زمین شناسی به نام پارس جنوبی نامگذاری شد. این مرحله برداشتهای لرزه نگاری منحصر به آبهای میانی و به موازات خط مرزی در خلیج فارس اختصاص یافت. امر فوق به منظور تامین اهداف اکتشافی در جهت کشف میادین مشترک جدید و مشخص نمودن حدود وسعت میادین و یا ساختمانهای زمین شناسی مشترک شناخته شده بود. نتیجه این برداشتهای اولیه، مشخص نمودن ساختمان پارس جنوبی بود که ادامه یال شمالی میدان عظیم گازی شمال شیخ نشین قطر می باشد.

مرحله دوم لرزه نگاری که در سالهای ۱۹۸۹-۱۹۹۰ در مناطق مختلف دیگر از جمله بخش شمال شرقی ساختمان پارس جنوبی انجام شد، ابعاد گسترده تری از وسعت میدان مزبور شناسایی کرد و علاوه بر آن حد انتهایی سطح آب و گاز کسب شده از گزارشات منتشره در مجلات نفتی را تا اندازه قابل اطمینان مشخص نمود [Nguyen, 1996].

۹-۲ - زمین شناسی منطقه

۹-۲-۱ - ساختار تکتونیکی ناحیه

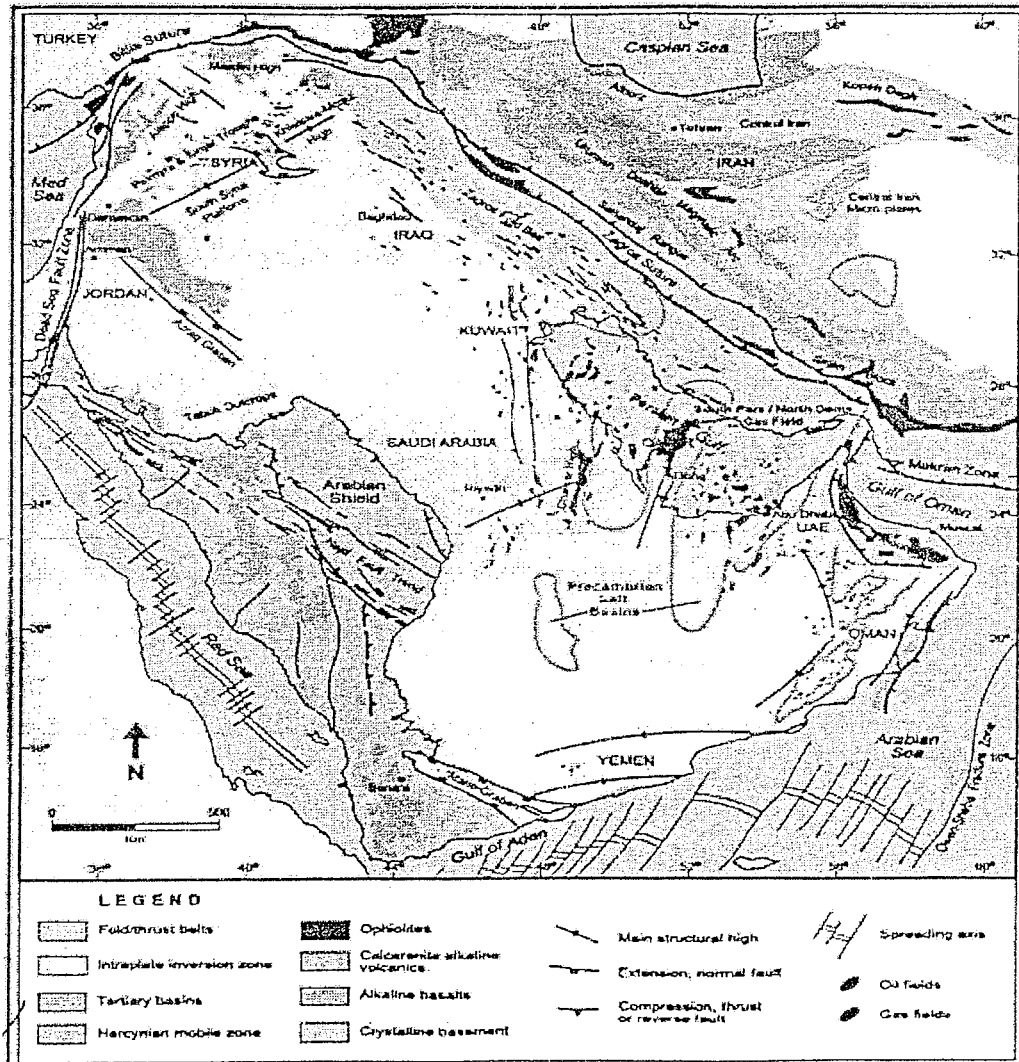
میدان عظیم گازی پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر در نتیجه حرکات مثبت بالا آمدگی ناحیه ای موسوم به کمان قطر - فارس تشکیل شده است. این بالا آمدگی خلیج فارس را به دو حوضه مجزا در شمال و جنوب با محیطهای رسوبگذاری و ماهیت هیدروکربوری متفاوتی تقسیم نمود (شکل ۲-۲). فعالیت های زمین ساختی مهمی از زمان پرکامبرین بر روی این صفحه اثر گذاشته، بصورتی که ساختارهای تکتونیکی اولیه بوسیله این فعالیت های زمین ساختی جوانتر پیوسته تحت تاثیر بوده اند. مهمترین عوامل زمین ساختی که در شکل و موقعیت منطقه دخالت داشته اند عبارتند از [Nguyen, 1996]:

۱- روندهای زمین ساختی شمال - جنوب در نتیجه بالا آمدگی و گسلش بر روی پی سنگ منطق است که در روند های عربی قدیمی شناخته شده است و شامل برآمدگی قطر - فارس، بالا آمدگی گوار^۲ و غیره می باشد.

1-North Dome

2-Ghawar

- ۲- فعالیتهای زمین ساختی و گسلهایی با روند شمال غربی - جنوب شرقی . این روند از خصوصیات گسل های عمده و درزه های روی حاشیه صفحه عربی ، درزه های عمده زاگرس ، ساختمانهای زمین شناسی دامنه های زاگرس و گسل نجد^۱ در عربستان سعودی است (شکل ۲-۲).
- ۳- حرکات تکتونیکی نمک، از پدیده های زمین ساختی جوان محسوب می شود که هر دو سمت حاشیه برآمدگی قطر - فارس را تحت تاثیر قرار داده است.
- ۴- حرکات تکتونیکی کرتاسه میانی تا پایانی که بر روی فرایند های رسوبگذاری منطقه تاثیر گذاشته است.
- ۵- حرکات تکتونیکی میوسن میانی (کوهزایی زاگرس) ، شکل امروزی ساختار زمین شناسی در این منطقه از حرکات این کوهزایی است.
- از اشکال زمین شناسی که در بالا نام برده شد ، روند زمین ساختی قدیمی شمالی - جنوبی از مهمترین عوامل در تشکیل ساختمان پارس جنوبی / گنبدشمالی میباشد. این ساخت زمین شناسی ترکیب مناسبی از محیط رسوبگذاری (منشا رسوبات، مخزن و سنگهای نفوذپذیر) را فراهم کرده است که موجب تشکیل یکی از ذخایر فوق عظیم گازی شده است (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- کمان قطر - پارس و حوضه نمکی پرکامبرین در منطقه خلیج فارس [Theming, 1998]

۲-۹-۲- چینه شناسی میدان پارس جنوبی

از تعداد چاه های اکتشافی - توصیفی ، توسعه ای که در طول زمان در این میدان حفاری شده ، فقط یکی از چاه ها ، حدود ۱۹ متر به داخل سازند فراقان نفوذ کرد. بقیه چاه هایی که در میدان پارس جنوبی حفاری شده اند ، به بخش بالایی ممبر نار سازند دالان ختم می شوند ، و چیزی که قابل مشاهده بوده ذخایر گازی در سازند های دالان و گنگان است. این اطلاعات دانش چینه شناسی ما را بصورت منطقی تا بالای ممبر نار از سازند دالان فراهم آورده است، اما اطلاعات چینه شناسی عمیق تر ، از حوضه های همجوار به دست آمده است. شکل های (۲-۳ و ۲-۴) اطلاعاتی در مورد ستون چینه شناسی و واحدهای مختلف سازندهای موجود را نشان می دهد.

منطقه پارس جنوبی شامل سازندهای دالان، کنگان، دشتک ، سورمه ، فهلیان و.. که آخر به سازند میشان از گروه فارس ختم می شود. که این سازند ها از دوره های زمین شناسی پرمین ، تریاس و ... شروع و تا دوره ترشیاری که شروع سازند میشان است ختم می شود. در اشکال (۲-۳ و ۲-۴) این ساختار را به ترتیب مشاهده می کنیم که ما به توضیح بعضی از سازند های مهم می پردازیم.

در ابتدای تریاس و بدنبال رسوبات کربناته دالان ، تبخیریها و کربناته های سازند کنگان اغلب در همان محیط مشابه محیط قبلی رسوب کردند. سازند کنگان به واحد های k_1, k_2 قابل تقسیم می باشند.

ضخامت آن در مقطع تیپ حدود ۲۵۰ متر می باشد [Szabo and kheradpir, 1978].

این سازند به وسیله شیل ها ، انیدریتها، و کربناته های سازندهای دشتک و خانه کت (سورمه) پوشیده می شوند. واحد k_2 معدل بخش زیرین سازند کنگان، بر اساس تغییرات رخساره ای و اختصاصات سنگ شناسی به دو زیر واحد مجزا k_{2a}, k_{2b} تقسیم می شوند. بخش زیرین آن k_{2b} در قسمت زیرین و میانی آهکی و در بالا آهک تا آهک دولومیتی است. بخش بالایی این توالی از واحد دولومیتی متوسط لایه و دولومیت آهکی با نودولهای بزرگ انیدریتی تشکیل شده است .

سازند دشتک از سنگهای شیل ، انیدریت ، دولومیت ، آهک تشکیل شده و در طی توسعه چاه ها در این میدان گهگاهی گل های سست همراه با کمی گاز و آب نیز به ثبت رسیده است. پایین ترین بخش سازند دشتک به نام ممبر شیلی آغار که شامل شیل های قرمز و قهوه ای و در زیر آن بالاترین بخش

سازند کنگان قرار گرفته است که غیر رزرواری است. بخش رزرواری سازند کنگان اساساً در قسمت پایینی و میانی آن واقع شده که از بخش آهکی و دولومیتی ساخته شده است.

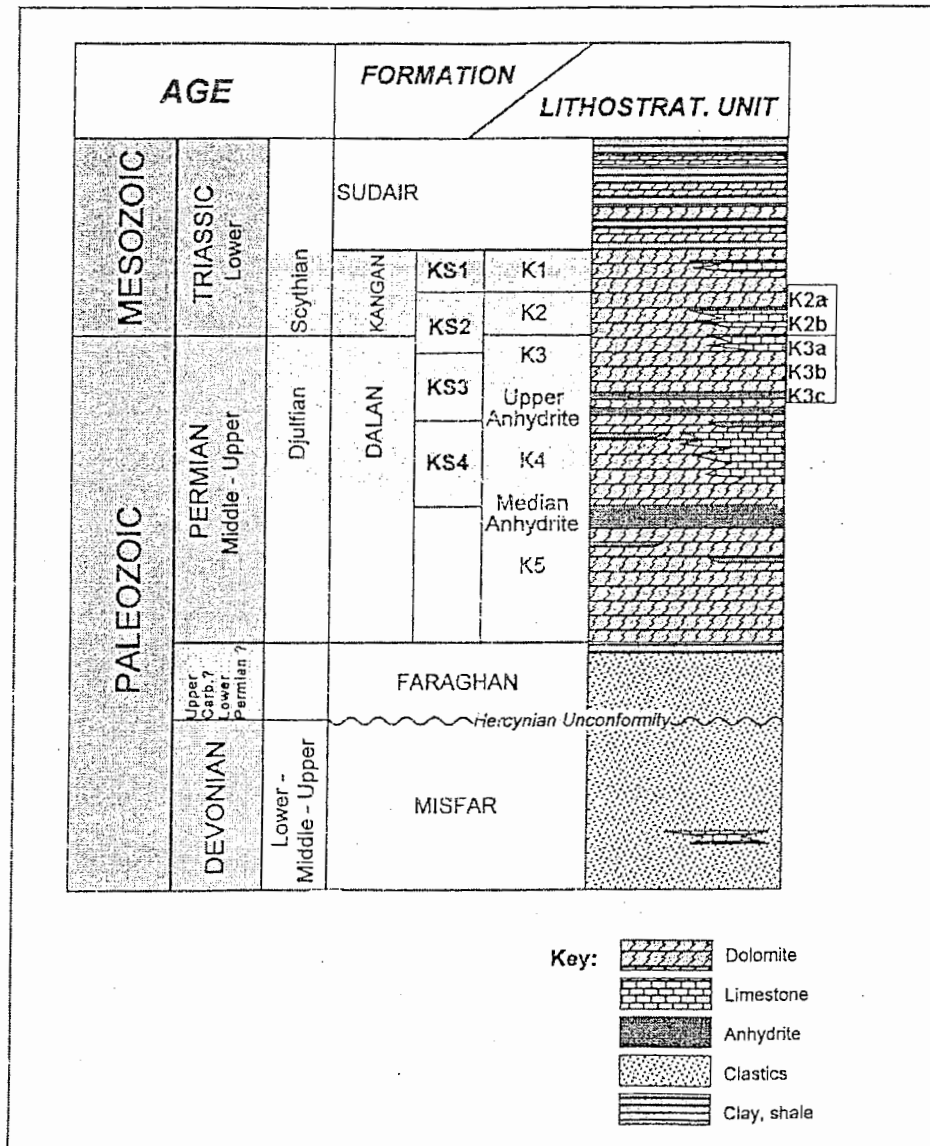
رسوبات ژوراسیک در این میدان اغلب شامل رسوبات کربناته و تبخیری هستند. کربناته‌های سازند سورمه دارای خواص مخزنی خوبی در این بخش هستند و انیدریت هیث که بخش نفوذ ناپذیر می باشد روی آن قرار دارد.

واحد چینه شناسی کرتاسه زیرین اغلب سنگهای کربناته با بین لایه های شیلی است. این فاصله زمانی شامل سازند های فهلیان، گدوان و داریان است. سازند فهلیان از آهکهای روشن با مقداری آسفالت تشکیل شده است، سازند گدوان از شیل و آهک گل پش‌تیبان خاکستری روشن تشکیل شده است، مقداری نفت از این سازند (عضو آهکی خلیج) در میدان ال-شاهین در سواحل قطر تولید شده است. در میدان پارس جنوبی اگرچه سازند گدوان کیفیت مخزنی قابل قبولی دارد، اما هیچ هیدروکربوری در این توالی تا به حال گزارش شده است.

سازند داریان (شویبا) در میدان پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر از دو لایه آهکی که بوسیله واحد شیلی از هم جدا می شوند، تشکیل شده است.

کرتاسه میانی شامل سازند های کژدمی و سروک است. سازند کژدمی در این منطقه اساساً از شیل تشکیل شده است. در بعضی از چاه های پارس جنوبی، ماسه سنگ دانه ریز در قاعده این سازند مشاهده می شود که ادامه ماسه سنگهای بورگان هستند. ضخامت سازند سروک و ممبر های آن در این منطقه کاهش می یابد.

سازند آسماری نیز در محیط رسوبگذاری تشکیل شده است که بصورت خیلی ضعیفی در این میدان دیده می شود. این سازند بیشتر در نیمه جنوبی خلیج فارس غالب است. عضو ماسه سنگی اهواز بیشتر در بخش غربی منطقه خوزستان، شامل فروافتادگی دزفول و شمال غربی خلیج فارس گسترش دارد [نجم آبادی، ۱۳۷۲]. مطالب کلی تر در زمینه چینه شناسی منطقه پارس جنوبی، در پیوست الف آورده شده است.



شکل ۲-۳- چینه شناسی میدان پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر [Schlumberger, 1981]

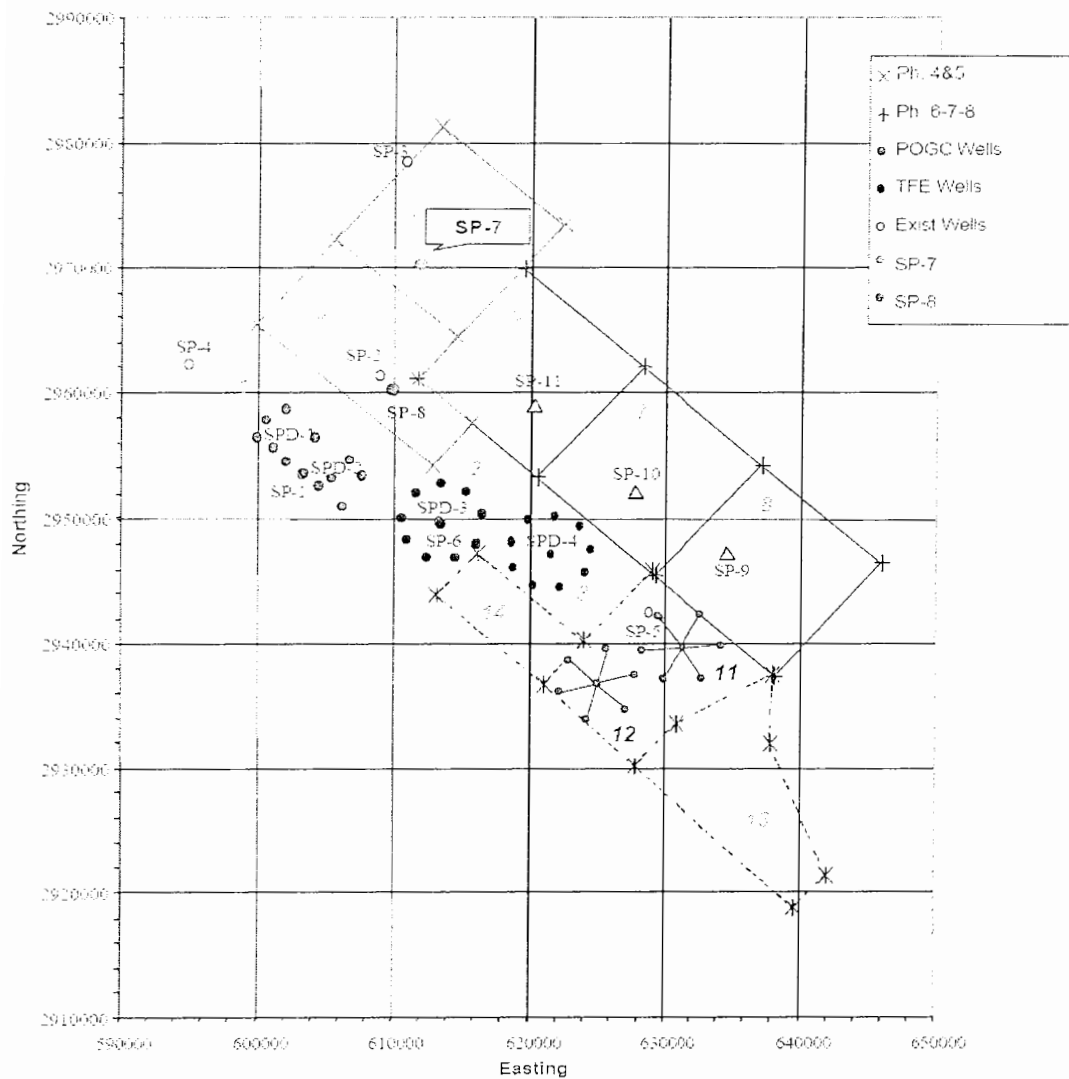
| Geologic Time Units | | SOUTH PARS | | | | NORTH QATAR | |
|---------------------|--------------------|-------------------|---|-------------------------|---------------|---|------------------|
| Period | Epoch/Age | Group | Formations and Lithostratigraphic Units | | Group | Formations and Lithostratigraphic Units | |
| TERTIARY | Oligocene-Miocene | Fars | Mishan (Guti Mbr.) | | Hasa | Fars | |
| | | | Gachsaran | | | Lower Fars | |
| | Paleocene-Eocene | | Asmari | | | Dammam | |
| | | | Jahrum | | | Rus | |
| CRETACEOUS | Campa-Santonian | Bangostan | Iliam | Iliam (Halul) | Aruma | Aruma (Halul) | |
| | | | | Laffan | | Aruma (Laffan) | |
| | Ceno. Turonian | | Sarvak | Mishrif Equiv. | Wasia | Mishrif | |
| | | | | Ahmadi Mbr. | | Khatiyah | |
| | Alb.-Cenomanian | | Mauddud Mbr. | | Mauddud | | |
| | | | Kazhdomi | | Nahr Umr | | |
| | Aptian | Khami | Dariyan | | Hawar-Shuaiba | | |
| | Barremian - Aptian | | Gadvan | Upper | Thamama | Kharaib | |
| | | | | Khalij Mbr. | | Lekhwaib | |
| | Neocomian | | | Fahliyan | | Sulaiy-Yamama | |
| | | Hith | | Hith | | | |
| | JURASSIC | Malm | Khami | Surmeh | Arab Equiv. | Riyadh | Arab A-D |
| Up. Dolomite ** | | | | | Diyab | | |
| Up. Limestone ** | | | | | Hanifa | | |
| Cherty Zone ** | | | | | Upper Araej | | |
| Dogger | | Mid. Limestone ** | | | Tuwaiq | | Uwainat |
| | | Mand Mbr. | | | | | Lower Araej |
| | | Low. Limestone ** | | | | | Izhara |
| | | Low. Surmeh Shale | | | | | Hamlah |
| Liasic | | Lithotis Bed | El Sirr | Gulailah | | | |
| | | Neyriz | | Khail Anhydrite | | | |
| TRIASSIC | | Kazerun | Dashtak | Dashtak (B-C Intervals) | El Sirr | Sudair | |
| | | | | Evaporite B | | | |
| | | | | Low. Evaporite B | | | |
| | | | | Up. Sudair | | | |
| | | | | Massive Anhydrite | | | |
| | | | | Low. Sudair | | | |
| | | | | Aghar Shales | | | |
| PERMIAN | Middle-Upper | Dehram | Kangan | Kangan | El Sirr | K1 | |
| | | | | KG1 | | | K2 |
| | | | | KG2 | | | K3 |
| PERMIAN | Lower | Dehram | Dalan | Upper | El Sirr | Khuff | |
| | | | | UD3 | | | Upper Anhydrite |
| | | | | UD4 | | | K4 |
| | | | | Nar Mbr. | | | Median Anhydrite |
| | | | Lower Dalan | | | K5 | |
| | | | Faraghan | | | Haushi | |

شكل ۲-۴- ستون چينه شناسی عمومی گنبد پارس جنوبي- شمال قطر [Pollastro,2003]

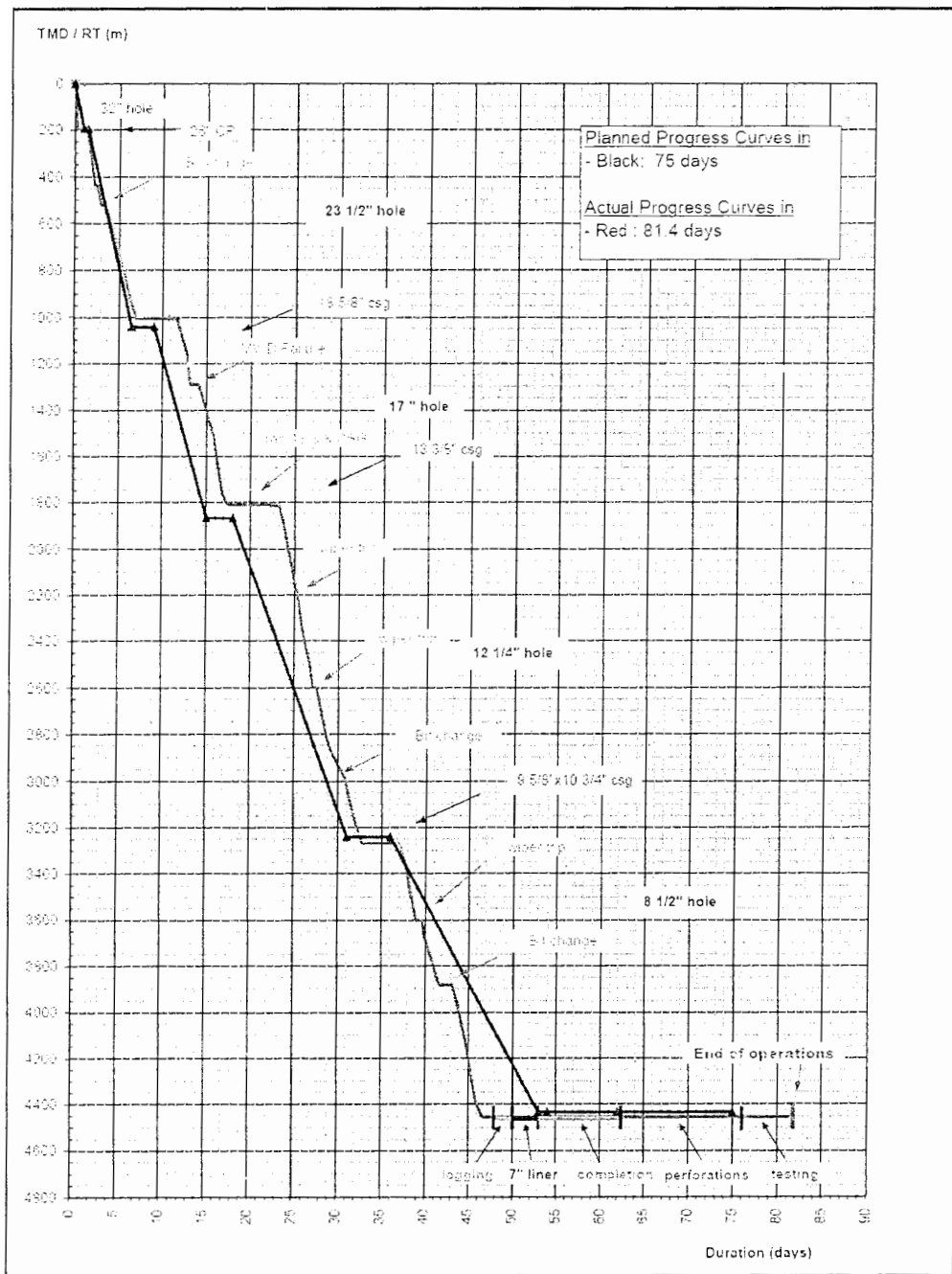
۱۰-۲ - شناسایی فازها و موقعیت چاه‌های موجود در آن

منطقه پارس جنوبی مطابق شکل (۲-۵) به چند فاز (بخش) تقسیم شده که در هر فاز آن یک یا چند شرکت داخلی یا خارجی اقدام به حفاری و تهیه گزارشات مربوط اقدام نمودند، که به علت گسترده بودن (حجم بودن) داده‌ها و دسترسی محدود به آنها بر حسب تعهد، از آوردن خیلی از داده‌ها خودداری شده است.

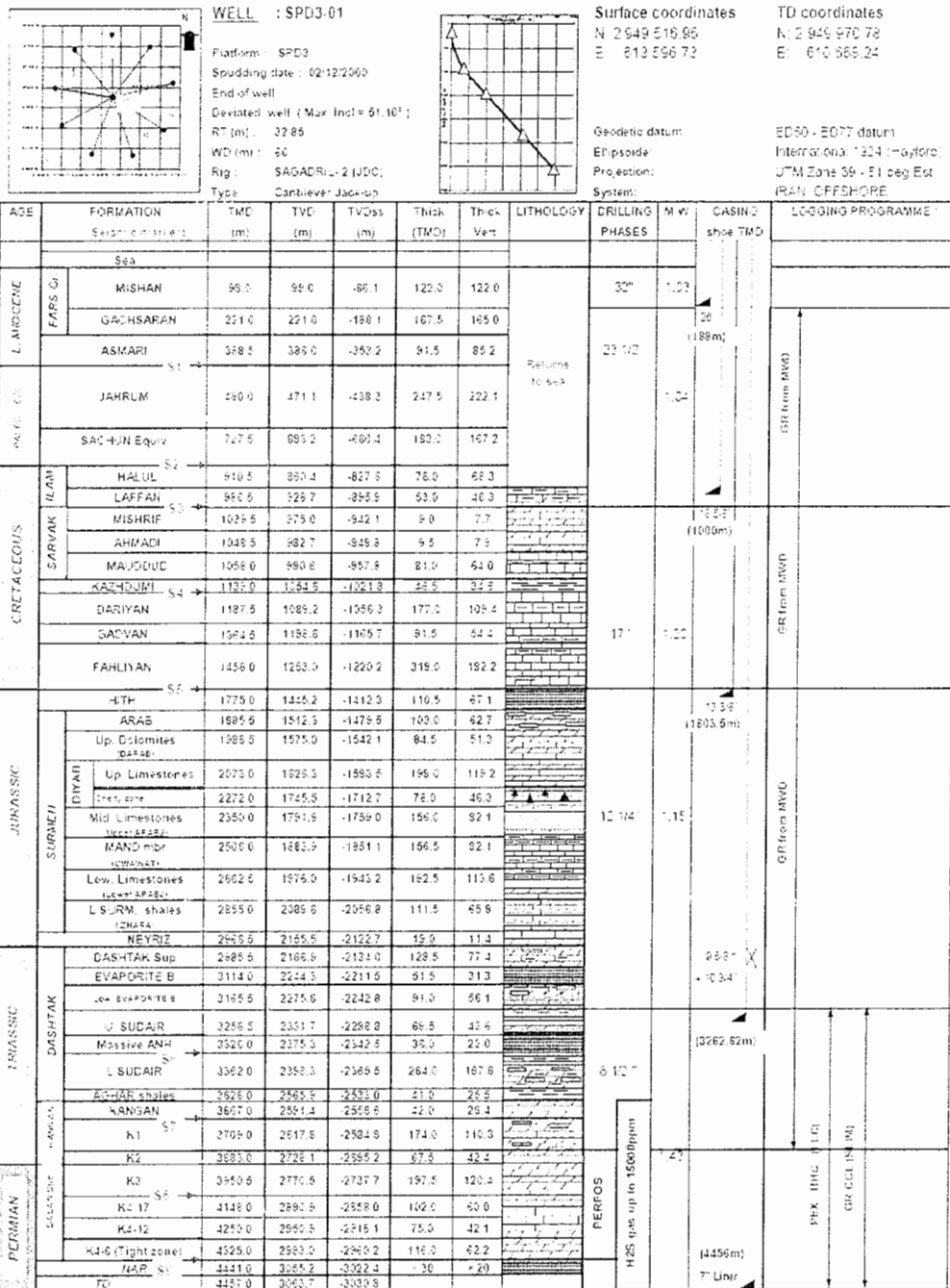
علی‌الرغم موارد فوق در اشکال (۲-۶ تا ۲-۸) یکسری اطلاعات حفاری مربوطه برای تعدادی از چاه‌های یک فاز به عنوان نمونه آورده شده‌اند و بقیه شکل‌ها در پیوست الف می‌آیند.



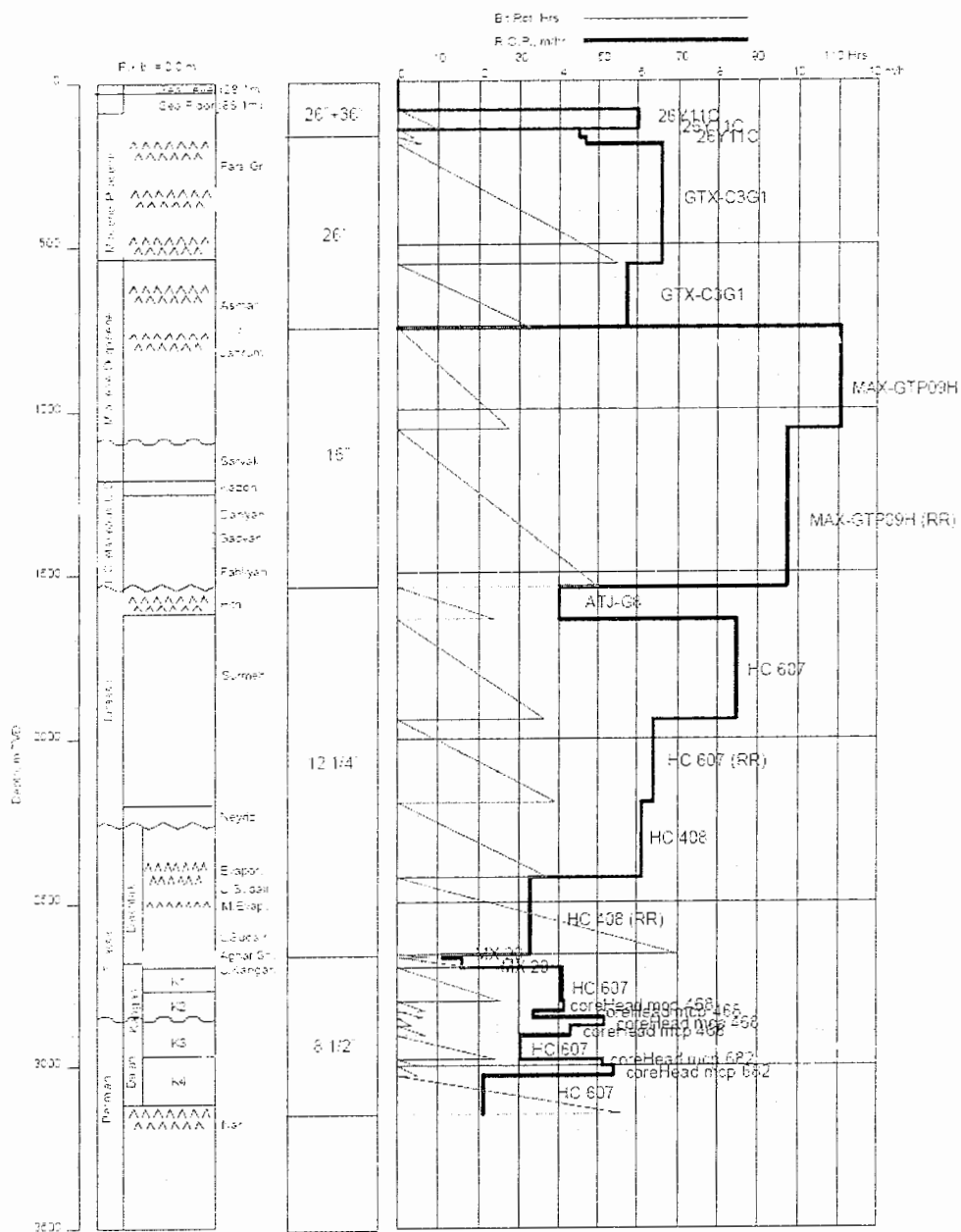
شکل ۲-۵- نقشه و موقعیت فازها و چاه های موجود در منطقه نفتی پارس جنوبی [Agip Iran B.V.2005]



شکل ۲-۶- منحنی پیشرفت حفاری (چاه ۱ فاز ۲) پارس جنوبی را نشان می دهد که رنگ مشکی منحنی پیشرفت بر اساس طراحی مقدماتی و رنگ قرمز منحنی پیشرفت واقعی چاه را نشان می دهد [Agip Iran B.V.2005]



شکل ۲-۷- ستون چینه شناسی یک چاه از فاز ۲ را نشان میدهد. [Agip Iran B.V.2005]



شکل ۲-۸- عملکرد مته و نرخ نفوذ مته در چاه ۱ فاز ۲ [Agip Iran B.V.2005]

حال که با موقعیت منطقه مورد مطالعه و زمین شناسی آن تا حدودی آشنا شدیم در ادامه ضمن بررسی عوامل موثر بر داده های چاه های مذکور به بررسی روشهای طراحی بهینه BHA می پردازیم.

فصل -۳ بررسی عوامل
موثر در حفاری و چگونگی طراحی بهینه
BHA

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا عوامل تاثیرگذار بر روی نرخ نفوذ حفاری، همچون ویژگیهای مته، وزن روی مته، سرعت چرخش، هیدرولیک، خصوصیات گل، خواص سازند و تجهیزات درون چاهی مورد بررسی قرار گرفته و با ارائه روابط و نمودارهایی تاثیر هر یک از آنها را در راندمان حفاری مورد بررسی قرار می دهیم. پس از آن مطالبی در مورد نقش رشته حفاری و تجهیزات درون چاهی (BHA) در راندمان حفاری آورده خواهد شد و در مورد چگونگی طراحی BHA و روشهای طراحی آن بحث می گردد.

۳-۲- شرح اصول طراحی بهینه حفاری

کسب حداکثر بازدهی در عملیات حفاری یک چاه، در عملکرد اقتصادی پروژه موثر است. افزایش بازدهی پروژه حفاری به کنترل عوامل مؤثر در نرخ نفوذ و همچنین کنترل هزینه پروژه مربوط خواهد بود. رابطه زیر می تواند برای ثبت هزینه روزانه یا هر مدت زمان دلخواه مورد بررسی، استفاده شود [Burton 1995].

$$C_T = \frac{B + C_r(T + T_r)}{F} \quad (1-3)$$

که در آن:

C_T (\$ft) = هزینه حفاری هر فوت

C_r = (\$/hr) هزینه دستگاه

T_r =(hr) زمان مورد نیاز برای تعویض مته

B = (\$) هزینه مته

T = (hr) زمان حفاری

F = (ft) فاصله حفر شده

از رابطه فوق می توان دریافت که هزینه حفاری هر فوت، به پنج متغیر: نرخ نفوذ، عمر مته، هزینه دستگاه حفاری، هزینه مته و زمان غیرحفاری وابسته است. سایر هزینه های مرتبط نظیر هزینه گل، هزینه های بالاسری، هزینه لوله جداري، تجهیزات آماده به کار، هزینه حمل و نقل و .. در این رابطه وارد نشده است. پارامترهای حائز اهمیت در رابطه فوق، محاسبه نرخ نفوذ و هزینه دستگاه حفاری می باشد. تعیین هزینه دستگاه حفاری ممکن است با دشواریهایی همراه باشد چرا که هزینه عملیاتی دستگاه حفاری بسیار متغیر بوده و به نگهداری و خدمات دستگاه حفاری وابسته است. استفاده

حداکثر از فشار پمپ ، اعمال وزن بیشتر بر روی مته و استفاده از سرعت چرخش بیشتر می تواند هزینه حفاری را کاهش دهد، اما امکان افزایش هزینه های عملیاتی دستگاه نیز وجود دارد، لذا هزینه دستگاه (C_r) خود می تواند تابعی از متغیرهای مختلف باشد. رابطه زیر بسط این تابع را نمایش می دهد.

$$C_r = D + M_p + M_{dp} + M_{dc} + M_r + M_c \quad (2-3)$$

که در آن :

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

$M_p = (\$/hr)$ هزینه نگهداری پمپ

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

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

$M_r = (\$/hr)$ هزینه نگهداری دستگاه

$M_c = (\$/hr)$ هزینه گل

با اعمال وزن و سرعت چرخش بیشتر، نرخ حفاری افزایش یافته و به تبع آن برای تمیزکاری مطلوب چاه مجبور به افزایش فشار پمپ خواهیم بود. رابطه زیر می تواند برای برآورد اثر فشار پمپ ، مورد استفاده قرار گیرد:

$$M_p = A_c e^{fp} \quad (3-3)$$

$A_c =$ ثابت تناسب $e =$ عدد نپر

$f =$ عدد ثابت $P =$ فشار پمپ (psi)

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

$$M_{dp} = CNL_{dp} \quad (4-3)$$

که در آن :

$C =$ ثابت تناسب $N =$ سرعت چرخش (rpm)

$L_{dp} =$ طول لوله حفاری (ft)

ثابت C از فعالیتهای ناحیه ای قابل محاسبه خواهد بود. هزینه نگهداری لوله های طوق مته (M_{dc}) نیز مشابه رابطه بالا می باشد. هزینه نگهداری دستگاه (M_r) تابعی از سرعت چرخش و سرعت تعویض مته^۱ می باشد. رابطه زیرهزینه دستگاه را بصورت تابعی از دو پارامتر سرعت چرخش و هزینه تحمیل شده در طی تعویض مته نشان می دهد[Burton 1995]:

$$M_r = C_1 + C_2 N + C_3 M_{rt} + C_4 M_{wt} \quad (5-3)$$

که در آن :

ثابت های قابل بر آورد از داده های تجربی C_1, C_2, C_3

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

$M_{wt} = (\$/hr) \text{ wire line}$ نگهداری خطوط کابل

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

Burton به نقل از لوموس^۲ رابطه نرخ نفوذ را بصورت زیر بیان کرده است

$$R = \frac{W^k N^r D_f}{T^p} \quad (6-3)$$

که در آن :

$R = (\text{ft/hr})$ نرخ نفوذ حفاری

$W = (\text{lb})$ وزن روی مته

$T = (\text{in})$ کند شدگی دندان مته

$N = (\text{rpm})$ سرعت چرخش

$K =$ توان تأثیر وزن روی مته بر نرخ

$D_f =$ ثابت قابلیت حفاری

$P =$ تأثیر کندشدگی دندان مته بر نرخ حفاری

$r =$ توان تأثیر چرخش بر نرخ حفاری

1- Round Trip

2-Lummus

مچم و فولرتون^۱ نیز رابطه زیر را برای پیش بینی نرخ نفوذ برای همبستگی آن با قابلیت حفاری سازند، وزن روی مته و سرعت چرخش معرفی کردند [Burton 1995]:

$$ROP = K_f \times WR \quad (۷-۳)$$

که در آن :

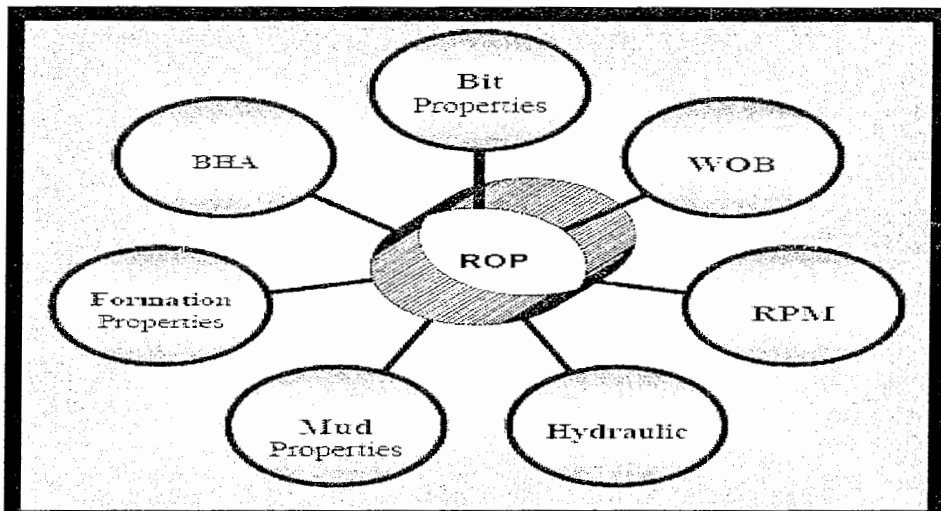
K_f = قابلیت حفاری سازند

ROP = نرخ نفوذ

W = (lb/in) وزن روی مته

R = (rpm) سرعت چرخش

استفاده از رابطه فوق در فرآیند بهینه سازی و تأثیر عواملی همچون فشار و هیدرولیک اعمال شده، در ادامه بطور مفصل تشریح خواهد شد. روابط متعدد دیگری بر اساس آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی برای محاسبه نرخ نفوذ پیشنهاد شده است که از ذکر آنها خودداری می کنیم. اما نکته ای که در تمام روابط مطرح شده برای نرخ نفوذ قابل مشاهده است، اثر افزایش وزن و سرعت چرخش اعمالی بر مته می باشد لیکن عوامل مؤثر بر نرخ نفوذ تنها شامل این دو پارامتر نبوده و پارامترهای وزن و سرعت چرخش تنها با وجود مثبت بودن دیگر شرایط، منجر به افزایش نرخ نفوذ خواهد شد. بطور کلی مجموعه عوامل مؤثر بر نرخ نفوذ را می توان در شکل (۱-۳) مشاهده کرد [Burton 1995].



شکل ۱-۳- عوامل مؤثر در نرخ نفوذ حفاری [Bill & philip 2002]

در بخشهای آتی با تأثیر هر یک از پارامترهای فوق بر نرخ نفوذ بیشتر آشنا خواهیم شد.

۳-۲-۱- **ویژگیهای مته:** آگاهی از طراحی انواع مته و عوامل مؤثر در مکانیسم خردایش مته های مختلف به انتخاب مطلوب مته کمک خواهد کرد. درک صحیح اثر متقابل مته انتخاب شده و سنگ، همچنین پیش بینی عمر مته بر مبنای پارامترهای حفاری و شرایط موجود از نکات اساسی در بهینه سازی حفاری بشمار می روند.

۳-۲-۲- **وزن روی مته و سرعت چرخش:** طبق روابط متعدد مطرح شده برای نرخ نفوذ، حاصلضرب وزن روی مته و سرعت چرخش (WR) با پیشرفت حفاری یا نرخ نفوذ متناسب می باشد لیکن این تناسب بصورت خطی و مستقیم نبوده و به نوع سازند، طراحی هیدرولیک، نوع مته و برهم کنش این عوامل با یکدیگر وابسته است [Bill & philip 2002].

۳-۲-۳- **هیدرولیک:** طراحی هیدرولیک مناسب در افزایش نرخ نفوذ و کاهش زمان و هزینه حفاری هر فوت (که همانا هدف فرآیند بهینه سازی حفاری می باشد) بسیار مهم ارزیابی می شود چرا که عدم وجود هیدرولیک کافی در مته، علی رغم افزایش وزن روی مته باعث انباشتگی ذرات جامد گل و خردایش مجدد آنها و در حقیقت کشمکش هیدرولیکی و به تبع آن کاهش در نرخ نفوذ خواهد شد. تجربه نشان داده است که استفاده از ترکیبات و انواع مختلف فواره در مته نیز برای دستیابی به هیدرولیک مطلوب، مفید خواهد بود.

۳-۲-۴- **خصوصیات گل:** سیال حفاری از طریق وزن، گرانی، نرخ فیلتراسیون و درصد مواد جامد آن می تواند بر نرخ نفوذ تأثیرگذار باشد. بطور کلی افزایش وزن، گرانی و درصد مواد جامد، تأثیرات منفی بر نرخ نفوذ خواهند داشت. ضمن اینکه تراوایی آبی^۱ می تواند به افزایش نرخ نفوذ کمک کند [Bill & philip 2002]. تجربه نشان داده است گل های غیر پراکنده^۲ نرخ نفوذی بیشتر از گلهای پراکنده (dispersed Mud) را در پی خواهند داشت.

۳-۲-۵- **ویژگیهای سازند:** از جمله عوامل غیرقابل کنترل در افزایش نرخ نفوذ و فرآیند بهینه سازی، خصوصیات سازند می باشد. قابلیت حفاری سازند وابسته به ویژگیهای ذاتی آن از قبیل مقاومت، سفتی، فشار منفذی، لایه بندی و ... می باشد. انتخاب پارامترهای بهینه حفاری بر اساس کاهش اثرات منفی عوامل غیرقابل کنترل صورت می پذیرد [Bill & philip 2002].

۳-۲-۶- تجهیزات درون چاهی (BHA): اعمال وزن و سرعت بیشتر برای افزایش نرخ نفوذ، نیاز به طراحی مناسب تجهیزات درون چاهی برای جلوگیری از بازمانی رشته حفاری خواهد داشت. استفاده مطلوب از لوله های طوق مته و لوله های حفاری قطور^۱ همچنین بهره گیری از پایدار کننده ها در فواصل مناسب، می تواند احتمال بازمانی رشته حفاری و همچنین جابجایی مته در ته چاه را کاهش دهد.

۳-۳ - نوع، طراحی و انتخاب مته

طراحی چاه، مته مورد نیاز را براساس اطلاعات موجود و نتایج استفاده از مته های گوناگون مصرف شده در ناحیه مزبور و همچنین استفاده از اصول کلی حاکم بر انتخاب مته نظیر پیش بینی زمین شناسی و سنگ شناسی، هزینه حفاری هر مته و ... پیشنهاد می کند. لیکن تست نهایی و تأیید مناسب وزن مته، به عملکرد آن در چاه باز می گردد. در حقیقت تنها در هنگام کار مته می توان از مطلوبیت آن مطمئن شد. در طی حفاری، عملکرد مته می بایست مورد نظارت قرار گرفته و پس از خارج کردن آن از چاه نیز باید بطور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد. مته رانده شده می بایست نسبت به نوع سازند بهترین تناسب را داشته باشد لیکن در صورت وجود تنوع در خواص سازند، مته ای که بتوان بر اکثر این پارامترها و خصوصیات سازند غلبه کند، با کاهش زمان تعویض مته، می تواند در تعدیل هزینه حفاری سودمند باشد. بطور کلی انواع مته ها در دو گروه مته های مخروط غلطان^۲، و تیغه ثابت^۳ نظیر مته های الماس^۴ تقسیم بندی می شوند. امروزه بیش از ۹۵٪ حفاری ها (در چاه های توسعه (Bill) [Philip2002]. مته با مکانسیم خردایش کششی موسوم به drag bits نیز از قدیمی ترین مته های مورد استفاده در حفاری دورانی بوده و امروزه به ندرت استفاده می شود. شرح بیشتر مربوط به انواع مته ها در پیوست ب آمده است.

1- heavy wall drill pipe

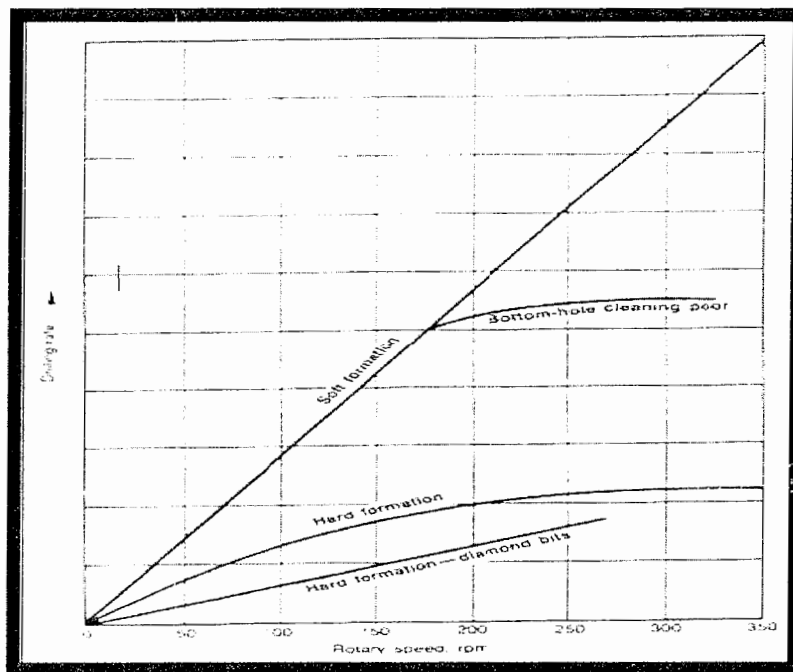
2-Roller cone bit

3-Fix cutter bit

4-Diamond bits

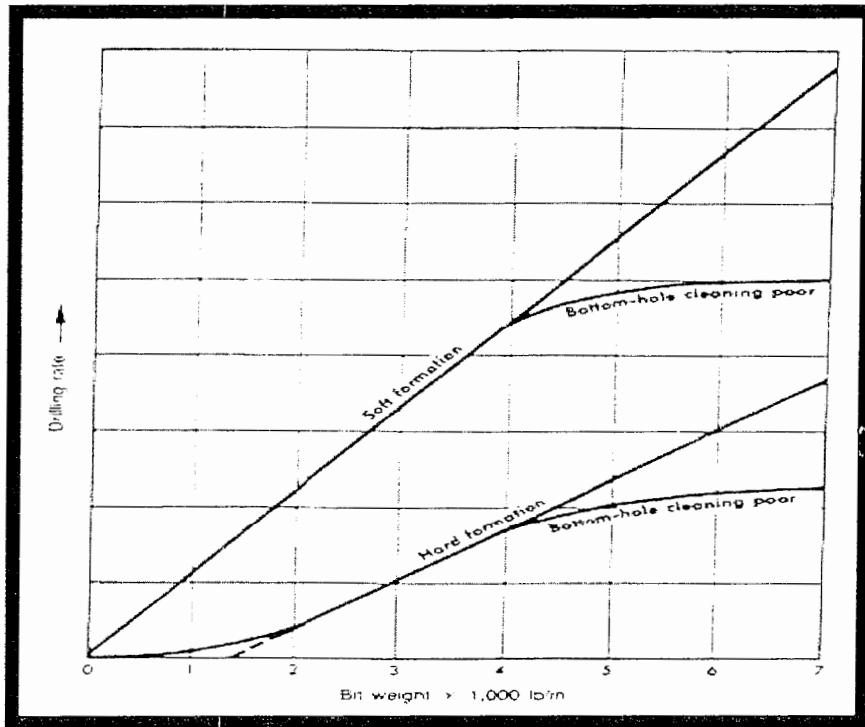
۳-۴- وزن روی مته و سرعت چرخش

افزایش وزن روی مته^۱ و همچنین سرعت چرخش^۲ آن سبب افزایش نرخ نفوذ می گردد شکل های (۲-۳) و (۳-۳). لیکن این پیشرفت، فرسایش مته را شتاب می بخشد. تا زمانیکه هیدرولیک اعمالی به مته برای تمیزکاری ته چاه کافی باشد، عمدتاً هر افزایشی در میزان وزن و سرعت چرخش موجب افزایش نرخ نفوذ خواهد شد. اما بر وزن و سرعت چرخش می بایست به دقت افزوده شود تا از فرسودگی اضافی و بی مورد مته و همچنین انحراف ناخواسته چاه جلوگیری شود چرا که هزینه اضافی یک چاه کج شده^۳ یا جایگزینی یک مته زود فرسوده شده می تواند مزایای مورد نظر را خنثی کند. در بهینه سازی معمولاً وزن روی مته و سرعت چرخش با یکدیگر رابطه معکوس دارند بدین صورت که افزایش یکی کاهش دیگری را موجب خواهد شد و بالعکس. جدول ۳-۱ این رابطه معکوس را بصورت ترکیبی از وزن و سرعت چرخش برای مته های دکمه ای سازند نرم تا متوسط پیشنهاد می کند [Harry, 1997].



شکل ۳-۲- نرخ حفاری در مقابل سرعت چرخش [Harry, 1997]

1- Weight on bit 2-RPM 3-Crooke



شکل ۳-۳- نرخ حفاری در مقابل وزن روی مته [Harry, 1997]

جدول ۳-۱- وزن و سرعت چرخش پیشنهادی برای مته های دکمه ای در سازند نرم تا متوسط [Harry, 1996]

| Formation | Bit Diameter (inch) | High Speed / Low Weight | | Low Speed / High Weight | |
|--|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Rotary Speed (rpm) | Weight on Bit (1000lb) | Rotary Speed (rpm) | Weight on Bit (1000lb) |
| Shale | 6 1/4 - 6 1/2 | 70 | 15 - 16 | 55 | 20 - 21 |
| | 7 1/8 | 70 | 23 | 55 | 32 |
| | 8 3/8 - 8 3/4 | 70 | 27 - 28 | 55 | 34 - 36 |
| | 9 1/2 - 9 7/8 | 70 | 30 - 32 | 55 | 39 - 40 |
| | 11 | 70 | 33 | 55 | 42 |
| Limestone, dolomite | 12 1/4 | 70 | 34 | 55 | 44 |
| | 6 1/4 - 6 1/2 | 65 | 20 - 21 | 45 | 27 - 28 |
| | 7 1/8 | 65 | 31 | 45 | 39 |
| | 8 3/8 - 8 3/4 | 65 | 34 - 35 | 45 | 42 - 44 |
| | 9 1/2 - 9 7/8 | 65 | 38 - 40 | 45 | 48 - 49 |
| Unconsolidated Shales, Limestone and Sands | 11 | 65 | 43 | 45 | 50 |
| | 12 1/4 | 65 | 47 | 45 | 53 |
| | 6 1/4 - 6 1/2 | 55 | 20 - 21 | 40 | 25 - 26 |
| | 7 1/8 | 55 | 31 | 40 | 35 |
| | 8 3/8 - 8 3/4 | 55 | 34 - 35 | 40 | 39 - 40 |
| Limestone and Sands | 9 1/2 - 9 7/8 | 55 | 38 - 40 | 40 | 44 - 45 |
| | 11 | 55 | 43 | 40 | 50 |
| | 12 1/4 | 55 | 47 | 40 | 54 |

افزایش نرخ نفوذ ناشی از افزایش وزن و سرعت چرخش مته با کاهش عمر مته ترکیب شده و برای پیش بینی بهترین محدوده کاری مته مورد استفاده قرار می گیرد. رابطه ای که برای پیش بینی نرخ نفوذ بیان شد به دلیل وجود تمایل به کندشدگی در مته های دندانه ای می تواند بصورت زیر بیان شود [Harry, 1997]:

$$R = \frac{KW N^u}{1 + k' D_n} \quad (۸-۳)$$

که در آن:

N = دور مته

W = وزن روی مته

K' = عدد ثابت

D_n = فرسایش نرمال شده دندانه مته

ثابت های D_n و K' می توانند توسط آزمایشات تجربی تعیین گردند. رابطه بالا نیز می تواند برای محاسبه عمر یا تاقان مته (L) بکار برده شود:

$$L = \frac{K''}{NW^b} \quad (۹-۳)$$

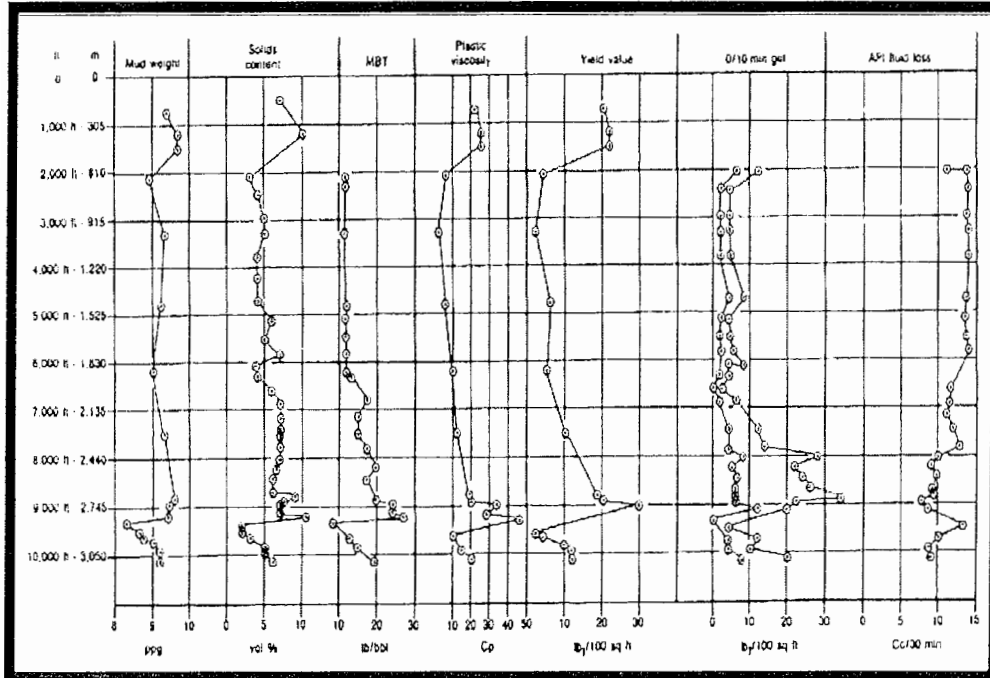
که در آن :

b عدد ثابت بین ۱-۲ می باشد و k'' ثابت تناسب می باشد.

۳-۵- خصوصیات سیال حفاری

برنامه گل، تابع خصوصیات لیتولوژیکی، محدودیت ها و عوامل زیست محیطی و تجربه عملیاتی می باشد. هر مشکل و معضل حفاری می تواند بطور مستقیم یا غیر مستقیم به خصوصیات سیال حفاری مورد استفاده، مرتبط باشد. لذا طراحی مناسب یک برنامه گل عامل کلیدی در موفقیت و کاهش هزینه عملیات حفاری به شمار می رود. مرور خصوصیات گل از قبیل ویژگیها، مواد مورد استفاده، افزودنی های شیمیایی و هزینه در گزارشات مربوط به چاههای حفر شده، برای طراحی بهینه گل لازم و ضروری می باشد. میزان تغییرات این ویژگیهای در مقابل عمق برای چاههای مجاور می بایست رسم و مورد بررسی قرار گیرد. نمونه ای از این گراف ها در شکل (۳-۴) نمایش داده شده است. شناسایی مشکلات حفاری قابل انتظار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برآورد هزینه رفع هر مشکل نیز مهم است چرا که طراح می تواند با توجه به هزینه ها، هم برای رفع مشکل ایده گرفته و هم میزان صرفه جویی را محاسبه کند. تحقیقات انجام شده در ۲۰ سال اخیر تأثیر ویژگیهای گل بر نرخ حفاری را ثابت

کرده است. از ویژگیهای عمده سیال حفاری که بر نرخ نفوذ مؤثر می باشند عبارتند از: وزن گل، فیلتراسیون، نوع و میزان جامدات، گرانی و فاز مایع که در پیوست ب شرح جزئیات و اثر آنها بر حفاری آمده است.



شکل ۳-۴- خصوصیات گل نسبت به عمق در حفاری چاههای مجاور [Jean,2001]

۳-۶- تجهیزات درون چاهی

از آنجا که از وزن و سرعت چرخش بیشتری برای افزایش نرخ نفوذ استفاده می شود، لذا طراحی تجهیزات درون چاهی (BHA Design) در بهینه سازی حفاری دارای اهمیت خاصی می باشد. استفاده از یک طراحی پیشرفته مبتنی بر نیاز، لازم و ضروری می باشد. بررسی توانایی و پایداری رشته حفاری در برابر نیروهای وارده نظیر اعمال بارهای دوره ای^۱ خصوصاً در سرعت های چرخش زیاد و اعمال وزنهای زیاد بر مته، برای جلوگیری از بازمانی شکست رشته حفاری، انحراف ناخواسته چاه، ارتعاشات غیرنرمال و ... نیز از نکات حائز اهمیت می باشد. استفاده از لوله های طوق مته قطورتر برای جلوگیری از حرکت مته می تواند مفید باشد. همینطور استفاده از لوله های حفاری دارای دیواره ضخیم^۲ به منظور اعمال وزن کافی بر مته و حفاری مؤثر، حفظ حالت کشش در رشته حفاری و کاهش

1-Cyclic loading

2-Heavy wall drill pipe

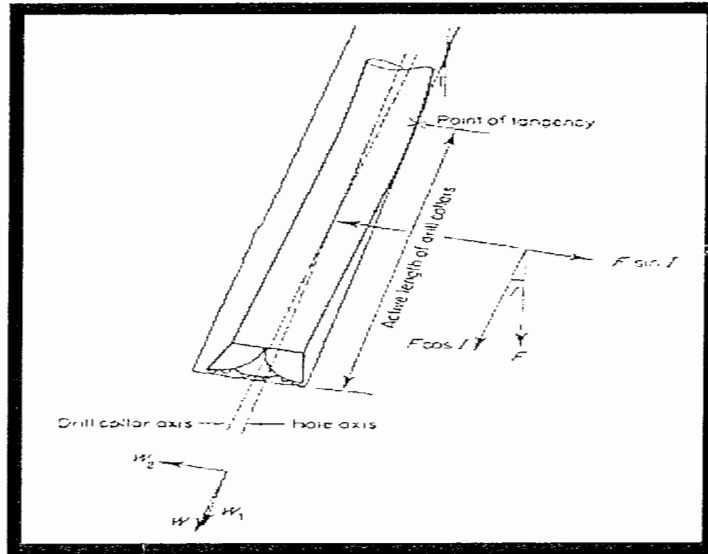
تنش خمشی^۱ و همچنین استحکام بخشیدن به BHA برای کنترل جهت چاه می تواند مفید باشد. استفاده از پایدار کننده ها نیز در فرمهای مختلف، سبب کاهش خمیدگی^۲ و تنش خمشی لوله های طوق مته خواهد شد. ضمن اینکه امکان افزایش وزن و در عین حال در مرکز قرار داشتن رشته حفاری در چاه میسر خواهد شد [Jean,2001].

پایدار کننده ها، همچنین با کاهش حرکت جانبی یا جنبیدن مته سبب افزایش عمر مته نیز می گردند البته عدم چسبندگی رشته حفاری را نیز موجب می شوند. آنها معمولاً پس از فرسودگی، تأثیر کمتری خواهند داشت و عموماً هنگامی که قطر آنها به اندازه ۱/۲ کمتر می شود تعویض می گردند [Jean,2001]. بطور کلی، مته تمایل به حفاری بصورت قائم ندارد، خصوصاً در سازندهای شیب دار. در جایی که شیب لایه ها کمتر از ۴۵ درجه می باشد تمایل به حفاری در جهت عمود بر لایه ها و جایی که شیب لایه ها بیش از ۴۵ درجه می باشد تمایل به حفاری به موازات لایه ها وجود دارد. در سازندهای سخت نیز که وزن بیشتری بر مته اعمال می گردد، نیروهای فشاری و خمشی وارد بر رشته حفاری می توانند سبب انحراف چاه گردند.

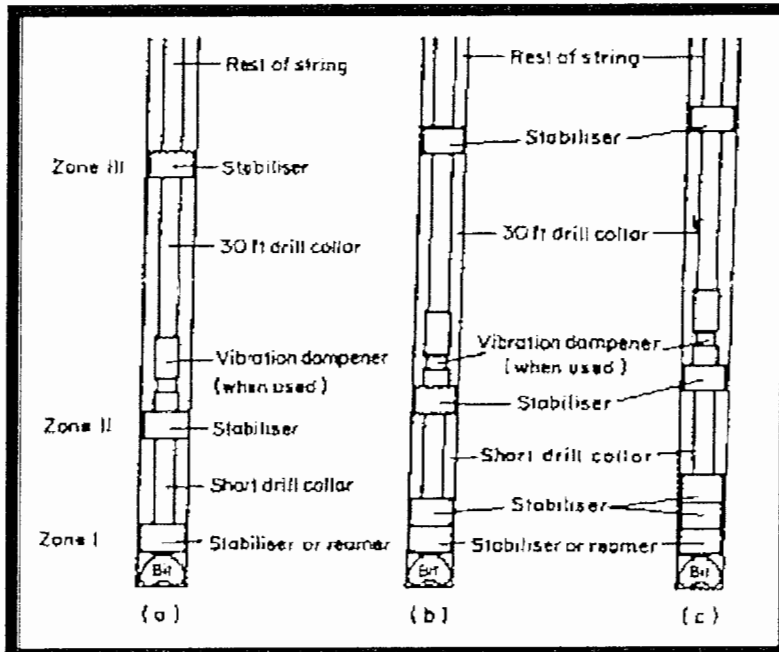
استفاده از دو نوع BHA در این موارد مرسوم است :

الف- پیکره ته چاهی صلب^۳ : همانطور که در شکل (۳-۵) نیز نشان داده شده است در این گونه تجهیزات درون چاهی، استحکام لازم بوسیله دیواره تراش ها^۴، لوله های طوق مته و پایدار کننده ها قابل حصول خواهد بود. اساس طراحی این نوع BHA بر این مبناست که دو نقطه می توانند باعث تشکیل یک منحنی تیز گردند در صورتیکه سه نقطه سبب تشکیل یک خط مستقیم خواهد شد (شکل ۳-۵). لذا سه نقطه پایدار با استفاده از سه یا تعداد بیشتری پایدار کننده در قسمتهای مختلف چاه بلافاصله بالای مته می تواند حفار را برای رسیدن به این هدف یاری کند.

انتخاب نوع پیکره ته چاهی صلب بر اساس میزان تمایل چاه به انحراف می تواند به کمک شکل (۳-۶) صورت گیرد.



شکل ۵-۳ پیکره ته چاهی صلب [Jean,2001]

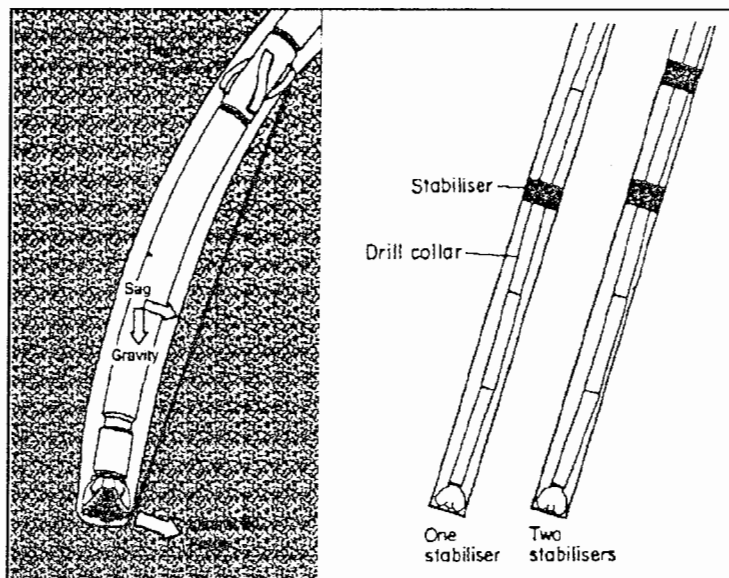


شکل ۶-۳ انواع تجهیزات پیکره ته چاهی صلب دار تمایل به کج شدگی ملایم

(a) متوسط (b) و شدید (c) [Jean,2001]

ب- پیکره پاندولی^۱، در این نوع BHA، اولین پایدار کننده در فاصله ای از مته قرار دارد (شکل ۷-۳) لذا قسمتی از لوله طوق مته، بین پایدار دهنده و مته، تمایل به تاب خوردن خواهد داشت. این عملکرد، کاهش زاویه انحراف و برگشت به حالت قائم را موجب خواهد شد. فاصله پایدار کننده از مته برای تعیین نیروی پاندولی بسیار مهم است. اگر این فاصله بیش از حد زیاد باشد، در اثر خم شدن لوله های طوق مته، نیروی پاندولی کاهش خواهد یافت [Jean,2001].

Collins اشاره کرده است که استفاده از دومین پایدار کننده به فاصله ۳۰ فوت از اولین پایدار کننده می تواند نیروهای جانبی وارد بر اولین پایدار کننده را کاهش دهد [Collins.1996].



شکل ۷-۳- پیکره پاندولی [Collins.1996]

مهمترین عیب این نوع BHA این است که عدم پایداری مته ممکن است سبب کوچکتر شدن^۱ و یا خارج از مرکز شدن^۲ شدن چاه گردد که موجب ایجاد مشکل در راندن لوله جداري خواهد شد. برای قابل استفاده بودن چاه با استفاده از این نوع BHA، می بایست قطر خارجی لوله های طوق مته بر اساس رابطه جدول زیر انتخاب شوند.

(۱۰-۳) قطر خارجی مته - (قطر لوله جداري) * ۲ = حداقل قطر خارجی لوله های طوقه مته

جدول ۳-۲- مشخصات لوله طوق مته در استفاده از پیکره پاندولی [Collins, 1996]

| اندازه چاه (in) | اندازه لوله جداري | | حداقل قطر خارجی لوله های وزنه (in) |
|--------------------|-------------------------------|--------|--|
| | Coupling قطر خارجی (in) | (in) | |
| ۸/۵ | ۷ | 7.656 | 6.562 |
| ۱۲ ۱/۴ | ۹ ۵/۸ | 10.625 | 9 |
| ۱۷ ۱/۲ | ۱۳ ۳/۸ | 14.375 | 11.25 |
| ۲۴ | ۱۸ ۵/۸ | 19.750 | 15.5 |

استفاده از ضربه گیر^۳ یا لرزه گیر^۴ نیز برای کاهش تنشهای ناشی از برخورد با سنگ سخت و جذب ارتعاشات قائم در تجهیزات درون چاهی مؤثر می باشد [Jean, 2001].

بطور کلی استفاده از هر نوع BHA به هدف و شرایط مورد نظر وابسته است. شکلهای زیر تجهیزات درون چاهی مخصوص حفاری جهت دار^۵ حفاری سریع و قابل هدایت^۶ و حفاری دور رس^۷ و حفاری با لوله مغزی سیار^۸ را نمایش می دهند. اشکال ۳-۸ تا ۳-۱۰ چیدمان BHA را در حفاری ها نشان می دهد.

1-Under sized drilling 2-Misaligned 3-Shock sub 4-Vibration dampener 5- Directional drilling
6- Turbo steerable drilling 7- Extended reach drilling 8- Coiled tubing drilling

مهمترین عیب این نوع BHA این است که عدم پایداری مته ممکن است سبب کوچکتر شدن^۱ و یا خارج از مرکز شدن^۲ شدن چاه گردد که موجب ایجاد مشکل در راندن لوله جداری خواهد شد. برای قابل استفاده بودن چاه با استفاده از این نوع BHA، می بایست قطر خارجی لوله های طوق مته بر اساس رابطه جدول زیر انتخاب شوند.

(۱۰-۳) قطر خارجی مته - (قطر لوله جداری) * ۲ = حداقل قطر خارجی لوله های طوقه مته

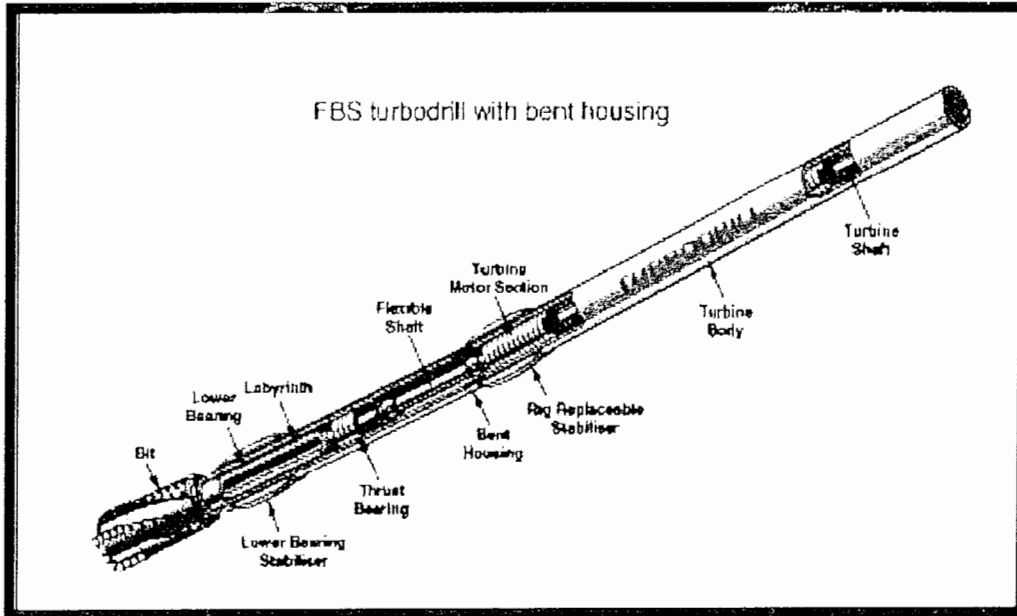
جدول ۲-۳- مشخصات لوله طوق مته در استفاده از پیکره پاندولی [Collins, 1996]

| اندازه چاه (in) | اندازه لوله جداری | | حداقل قطر خارجی لوله های وزنه (in) |
|--------------------|-------------------------------|--------|--|
| | Coupling قطر خارجی (in) | (in) | |
| ۸/۵ | ۷ | 7.656 | 6.562 |
| ۱۲ ۱/۴ | ۹ ۵/۸ | 10.625 | 9 |
| ۱۷ ۱/۲ | ۱۳ ۳/۸ | 14.375 | 11.25 |
| ۲۴ | ۱۸ ۵/۸ | 19.750 | 15.5 |

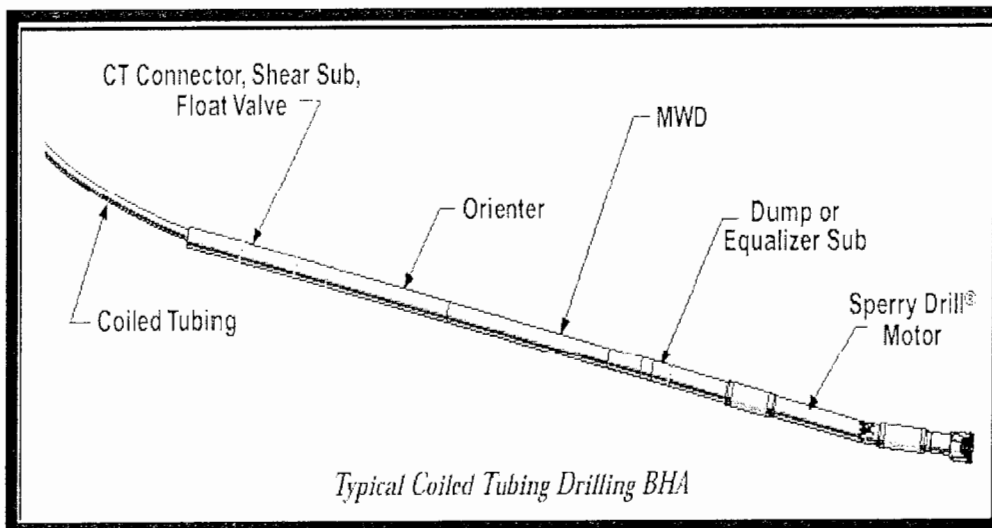
استفاده از ضربه گیر^۳ یا لرزه گیر^۴ نیز برای کاهش تنشهای ناشی از برخورد با سنگ سخت و جذب ارتعاشات قائم در تجهیزات درون چاهی مؤثر می باشد [Jean, 2001].

بطور کلی استفاده از هر نوع BHA به هدف و شرایط مورد نظر وابسته است. شکلهای زیر تجهیزات درون چاهی مخصوص حفاری جهت دار^۵ حفاری سریع و قابل هدایت^۶ و حفاری دور رس^۷ و حفاری با لوله مغزی سیار^۸ را نمایش می دهند. اشکال ۳-۸ تا ۳-۱۰ چیدمان BHA را در حفاری ها نشان می دهد.

1-Under sized drilling 2-Misaligned 3-Shock sub 4-Vibration dampener 5- Directional drilling
6- Turbo steerable drilling 7- Extended reach drilling 8- Coiled tubing drilling



شکل ۳-۹- BHA مورد استفاده در حفاری سریع و قابل هدایت [Collins, 1996]



شکل ۳-۱۰- BHA مورد استفاده در حفاری با لوله مغزی سیار [Collins, 1996]

۳-۷- طراحی رشته حفاری^۱

همانگونه که اصول طراحی لوله های مغزی یا لوله های جداری بسیار متفاوت می باشد، مبانی طراحی رشته حفاری نیز بسیار متنوع می باشد. همچنین در طراحی رشته حفاری باید به مشخصات قطعات BHA و لوله های حفاری توجه گردد.

اصول طراحی رشته حفاری بر مبنای زیر می باشد:

- ۱- هدف اصلی از طراحی بکارگیری صحیح و مناسب قطعات مختلف رشته حفاری جهت دستیابی به اهداف برنامه ریزی شده چاه می باشد.
 - ۲- طراحی بر مبنای مقاومت قطعات مختلف رشته حفاری که بیشتر جهت مقاومت کششی و در مراحل بعدی جهت مقاومتهای پیچشی، فرورختگی و شکستگی می باشد.
 - ۳- در مراحل بعدی طراحی باید بر مبنای تامین بکارگیری حداکثر توان هیدرولیکی پمپهای گل و سیستم گردش گل باشد.
 - ۴- چهارمین نکته ای که باید مد نظر قرار گیرد، بکارگیری قطعات و سایل مناسب در برابر خوردگی^۲ سیالات سازند یا مواد شیمیایی بکار گرفته شده در گل باشد.
- در طراحی رشته حفاری ضرایب اطمینان جهت موارد مختلف فوق الذکر باید به اندازه کافی در نظر گرفته شود تا عملیات با اطمینان و ایمنی کامل انجام گیرد. [توفیقی، ۱۳۷۰]
- انتخاب لوله های وزنه^۳ در طراحی رشته حفاری:
- انتخاب صحیح لوله های وزنه اولین قسمت رشته حفاری در طراحی می باشد. اندازه و طول وزنه بر روی نوع لوله های حفاری انتخابی تاثیر دارند.
- انتخاب لوله ها به عوامل زیر بستگی دارد:
- ۱- خاصیت انحنای پذیری^۴ قسمت تحتانی رشته حفاری زمانیکه وزن کافی بر روی مته اعمال می شود.
 - ۲- استفاده از تعداد و مترآژ کافی از لوله های وزنه جهت جلوگیری از تحت تراکم^۵ قرار گرفتن لوله های حفاری.

1-Drilling string design 2-Corrosion 3- Drill collar selection 4-Buckling
5- Compression

طراحی فرارگیری لوله های وزنه و متعلقات آن را در یک رشته حفاری به سه روش زیر تقسیم می شود :

- ۱- طراحی رشته حفاری جهت حفاری چاههای عادی.
- ۲- طراحی رشته حفاری جهت کنترل چاههای زاویه دار و مارپیچی^۱
- ۳- طراحی رشته های حفاری جهت برآورد مقاصد خاص مانند حفاری کج و از بین بردن در چاه .

۳-۷-۱- طراحی BHA جهت حفاری چاههای عادی

BHA یک رشته حفاری جهت حفاری یک چاه عادی می تواند شامل تعدادی لوله وزنه به همراه یک مته و یا لوله های وزنه به همراه متعلقات گوناگون شامل تراشنده ، تثبیت کننده ، ابزار کنترل انحراف چاه ، ضربه زن ، ضربه گیر و یا قطعات گوناگون دیگر برحسب مورد باشد .
مجددا باید تاکید گردد که تنها از ابزاری باید استفاده نمود که وجود آنها در رشته حفاری لازم باشد .

۳-۷-۱-۱- رشته حفاری ساده (انعطاف پذیر)^۲

ساده ترین رشته حفاری شامل مته بعلاوه تعدادی لوله وزنه در بالای آن می باشد. این رشته حفاری سالها است که مرسوم بوده و با ساده ترین روش بیشترین سرعت را در حفاری یک چاه ایجاد می نماید. بجز نیروی دورانی که توسط چرخش رشته حفاری به مته وارد می شود ، مته در مقابل دو نیروی دیگر قرار می گیرد ، یکی عامل پرش و چکش زدن^۳ و دیگری عامل پیچ و تاب خوردن^۴. این حرکتها بر اثر تکانهای جانبی و افقی لوله های وزنه بالای مته ایجاد می شود. این حرکات معمولا عمر مته معمولی را تا ۳۰٪ و عمر مته الماس را تا ۸۰٪ حالت عادی کاهش می دهد. شدت لرزش و تکان خوردن مته را می توان با نصب یک تثبیت کننده در بالای مته کاهش داده در این حالت در صورتی که طبقات سازند تمایل به ایجاد زاویه انحراف داشته باشند نصب این تثبیت کننده این تمایل را شدت می بخشد . در حفاری با این نوع رشته حفاری شکل حفاره ایجاد شده پله ای و مارپیچی خواهد بود . جهت از بین بردن این مشکلات استفاده از تثبیت کننده های دیگر در رشته حفاری لازم می گردد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

۳-۷-۱-۲- رشته حفاری خدنگ شده^۱

رشته حفاری خدنگ شده شامل لوله های وزنه به همراه نصب تعدادی تثبیت کننده در فواصل معین در قسمت تحتانی لوله های بالای مته می باشد تا بدین وسیله سختی و استحکام رشته حفاری در مقابل عواملی مانند: تکان ، پرش ، پیچ و تاب و لرزش بیشتر گردد . تعداد تثبیت کننده ها می تواند از یک تا ۸ عدد حسب مورد متغیر باشد . اما تعداد عادی آنها بین ۳ تا ۴ عدد می باشد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

تعداد تثبیت کننده ها بستگی به طراحی رشته حفاری از نقطه نظر خدنگی BHA ، اندازه لوله های وزنه و شرایط سازند دارد . معمولاً ۱۰ تا ۱۵ متر از انتهای رشته حفاری با نصب تعداد معینی از تثبیت کننده ها در حداکثر حالت سختی و استحکام قرار داده می شود . یک یا دو تثبیت کننده در فواصل ۲۰ تا ۳۰ متری از مته حسب مورد قرار داده می شود.

در بعضی موارد می توان خدنگی رشته حفاری را با بکارگیری لوله های وزنه با حداکثر قطر مجاز در یک حفره بدست آورده و از استفاده از تثبیت کننده ها اجتناب نمود .

غالباً بکارگیری روش فوق توسط بسیاری از متخصصین حفاری نسبت به استفاده از تثبیت کننده ها ترجیح داده می گردد.

طراحی رشته حفاری جهت حفاری چاههای قائم الزامی می باشد . موضوع اینکه آیا پس از افزایش انحراف چاه بکارگیری "BHA" باعث کاهش آن می شود هنوز تحت بررسی و جواب دقیقی جهت آن داده نشده است . اما می توان گفت که بکارگیری BHA در یک چاه که زاویه انحراف آن بصورت ناخواسته زیاد شده است باعث تثبیت این زاویه و جلوگیری از افزایش آن می باشد .

بطور کلی می توان گفت با در نظر گرفتن شرایط مساوی برای کلیه پارامترهای حفاری در یک سازند مشابه ، میزان افزایش انحراف چاه با بکارگیری رشته حفاری عادی ۱۰ درجه در ۱۰۰ فوت و با بکارگیری BHA ۱ درجه در ۵۰۰ فوت می باشد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

۳-۷-۲- طراحی رشته حفاری جهت کنترل زاویه انحراف چاه^۱

در سالهای اولیه شروع صنعت حفاری بکارگیری رشته حفاری ساده^۲ تنها روش موجود بوده است. در مواقع استثنایی از یک تثبیت کننده تیغه ای^۳ در بالای مته استفاده می شده است. در هنگام افزایش زاویه انحراف چاه با کاهش وزن روی مته و افزایش سرعت دوران مته سعی در کنترل آن می شده است. و در صورت عدم موفقیت چاره ای جز حفاری با افزایش تدریجی زاویه انحراف نبوده است.

در بعضی موارد با کمک مته و رشته حفاری کوچکتر در ایجاد حفره جدید در سطح پایین دست^۴ چاه می شده است. و سپس این حفره مجدداً به اندازه دلخواه گشاد می شده است. آقایان "لوبینسکی" و "وودز" در دهه ۱۹۵۰ عوامل و نیروهایی را که در رشته حفاری موثر می باشند مطالعه و بررسی نموده و فرضیه تثبیت خاصیت پاندولی^۵ را جهت کنترل زاویه انحراف چاه بیان نمود.

در رشته حفاری ساده و تثبیت نشده تمایل مته به حفاری و افزایش تدریجی زاویه انحراف بر اثر خاصیت انحنای پذیری لوله های وزنه دقیقاً در اتصال بالای مته می باشد. اما در صورتیکه لوله های وزنه به نحوی در قسمت های بالاتر از مته تثبیت شده باشند به صورت قائم مستقیماً بر روی مته عمل نموده و مته تمایل به کاهش زاویه انحراف پیدا می کند.

۳-۷-۲-۱- رشته حفاری ساده پاندولی^۶

ساده ترین نوع این رشته حفاری شامل تعدادی لوله وزنه و یک تثبیت کننده در فاصله ۱۰ تا ۲۰ متری بالای مته می باشد. تثبیت کننده مانند یک نقطه اتکا عمل نموده و اجازه می دهد که لوله های وزنه زیر آن به راحتی تاب خورده و حرکت نماید. نیروهای جانبی (به نسبت محور چاه) که از طرف مته به سازند وارد می شود باعث می گردد که مته حفره را در جهت هرچه عمودی تر حفاری نماید. در صورت افزایش زاویه انحراف می توان با اعمال وزن بیشتر بر روی مته، تثبیت کننده بالای آن را بصورت یک نقطه اتکا جهت کاهش زاویه انحراف و افزایش سرعت حفاری بکار برد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

فاصله تثبیت کننده از مته بستگی به عواملی مانند: قطر مته، قطر لوله های وزنه و مقدار وزن مورد نیاز بر روی مته دارد.

1- Deviation control assly

2- Limber assly

3- Blade stab

4 -Low side

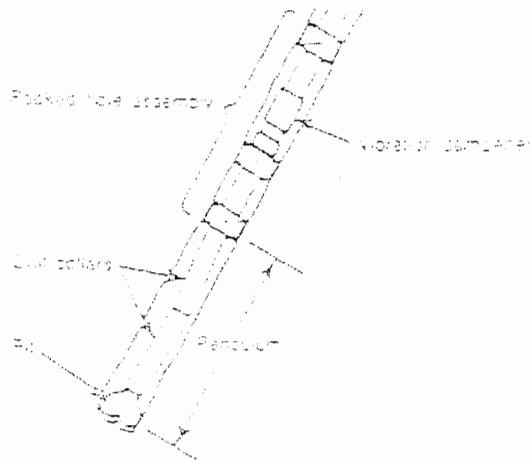
5-Pendulum theory

6 Limber pendulum assly

تثبیت کردن رشته حفاری^۱

حفاری چاه مستقیم یا جهت دار نیاز به تثبیت صحیح BHA دارد. اگرچه به نظر می رسد که اصول حفاری چاههای عمودی و چاههای جهت دار یکسان باشد، اما نکته اساسی در هر دو نوع چاه کنترل جهت محاسبه و طراحی شده می باشد. تثبیت کننده ها برای رسیدن به این اهداف بکار می روند [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

متداول ترین طراحی BHA سیستم پاندولی و تثبیت شده می باشد که حالت پاندولی BHA (شکل ۳-۱۱) باعث می شود که وزن لوله های وزنه بدون استفاده از تثبیت کننده ها مستقیماً بر روی مته اعمال گردد.



شکل ۳-۱۱- شکل پاندولی BHA را نشان می دهد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴]

۳-۷-۲-۲- رشته حفاری خدنگ شده پاندولی^۲

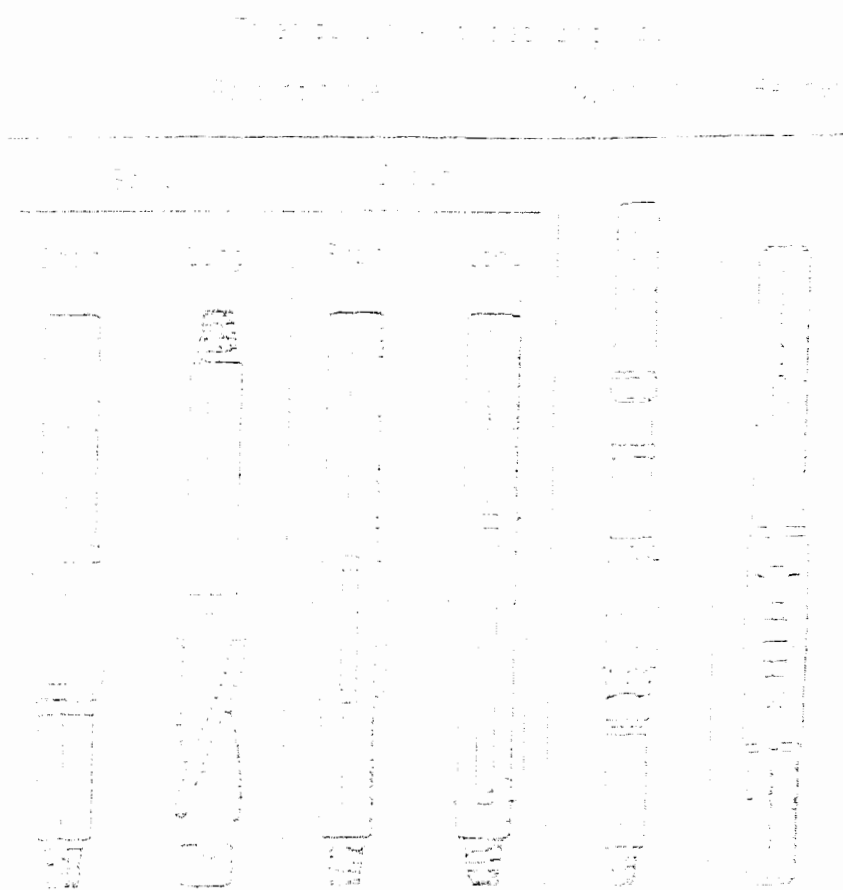
این نوع رشته حفاری همانند حالت ساده پاندولی می باشد، با این تفاوت که جهت مستحکم تر کردن رشته حفاری، در بالای تثبیت کننده نقطه اتکا، یک یا چند تثبیت کننده دیگر نصب می گردد. این عمل باعث می گردد که رشته حفاری در بالای نقطه پاندولی دارای استحکام بیشتری بوده و حفره چاه کاملاً به اندازه قطر مته حفاری گردد. این نوع طراحی رشته حفاری در سازندهای نرم موثرتر و متداولتر می باشد. اما در مواردی در سازندها سخت نیز بکار گرفته می شود.

1-Stabilization

2-Pendulum packed hole assly

در این نوع رشته حفاری ، طراحی های گوناگون لوله های وزنه و متعلقات جهت تراشیدن نقطه Key-Seat و یا کج کردن چاه بکار گرفته می شود .

انواع مختلفی از تثبیت کننده ها ممکن است در BHA بکار برده شود . متداول ترین آنها عبارتند از ، تثبیت کننده هائی با تیغه های گردان (متحرک) ، تثبیت کننده هائی با تیغه های ثابت و تراشنده ها که شکل (۳-۱۲) انواع تثبیت کننده ها را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۲ - انواع تثبیت کننده ها [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴]

۳-۸- روش های بکار گرفته شده در طراحی BHA

۱- روش اعمال ضریب شناوری^۱

۲- روش سطوح تحت فشار^۲

۳-۸-۱- روش اعمال ضریب شناوری

خم شدن رشته حفاری یکی از مسائل مهمی می باشد که ضمن حفاری باید کاملاً از آن پرهیز گردد. اگر حالت خمیدگی در رشته حفاری ایجا شود، تنش های بوجود آمده در لوله حفاری و اتصالات باعث شکستگی یا بریدن لوله ها می شود، مهمترین عاملی که باعث ایجاد خمیدگی در لوله حفاری می شود زمانی است که وزن لوله ها بر روی مته اعمال می شود.

آقای لوبینسکی مسئله خمش^۳ در لوله های مغزی، لوله های جداری و رشته حفاری را بررسی و مطالعه نموده است. ایشان ثابت نموده است در صورتی که بیش از وزن شناوری، لوله های وزنه بر روی مته اعمال نشود مشکل خمیدگی در رشته حفاری پیش نخواهد آمد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

وزن شناوری لوله های وزنه، وزنی می باشد که باید توسط دکل در هنگامیکه تمامی این لوله ها بداخل چاه رانده شده اند تحمل گردد. این وزن باید همیشه در صورتی که داخل چاه پر از گل باشد کمتر از وزن لوله ها در هوا باشد. برای مثال، لوله وزنه ایکه بر روی خرک دارای ۱۴۷ پوند / فوت، وزن دارد زمانی که بداخل چاهی که دارای گلی به وزن PPG ۱۵ می باشد وارد شود، وزن آن به ۱۱۳ پوند / فوت تقلیل خواهد یافت [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

روش های مختلفی جهت تعیین وزن شناوری لوله ها وجود دارد که به شرح زیر می باشد:

۱- تمامی متعلقات تحتانی رشته حفاری (BHA) را به داخل چاه رانده و وزن شناوری آن را بر روی وزن نما بخوانید.

۲- وزن گل جابجایی توسط لوله ها در هوا^۴ کم نمایید.

۳- وزن لوله ها، در هوا را در ضریب شناوری که بستگی به وزن گل دارد ضرب نمایید.

مهمترین فرمول محاسبه ضریب شناوری (BF) بصورت زیر می باشد [اداره عملیات نفت

خیز، ۱۳۷۴]:

1- Buoyancy factor weight

2-Pressure area method

3-Buckling

4- Air

$$BF = 1 - MW/489.54 \quad \text{یا} \quad BF = 1 - MW/65.5 \quad (11-3)$$

که در آن BF ضریب شناوری (بدون بعد) و MW وزن گل (ppg) می باشد.
در این روش وزن موجود جهت اعمال بر روی مته (ABW) ^۱ وزن لوله های وزنه در گل است که از فرمول زیر بدست می آید :

$$ABW = D.C. AIR WEIGHT * B.F. \quad (12-3)$$

و طول لوله های وزنه لازم جهت اعمال وزن فوق از رابطه زیر بدست می آید :

$$L = ABW / (CW)(BF) \quad (13-3)$$

که در آن

L = طول لوله های وزنه لازم بر حسب فوت

ABW = وزن مورد نیاز جهت مته (پوند)

CW = وزن لوله های وزنه در هوا (پوند بر فوت)

BF = ضریب شناوری

در حفاری عملی مقدار ABW معمولاً ۱۵ - ۱۰٪ بیشتر لحاظ می شود، که این عمل باعث می شود که ضریب اطمینان خمیدگی لوله ها بر اثر عوامل غیر محسوسی مانند ، اصطکاک لوله ها به دیواره چاه ، انحراف چاه و پرش لوله ها همیشه در قسمت لوله های وزنه بوده و به قسمت ضعیف تر یعنی لوله های حفاری منتقل نگردد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴].

۳-۸-۲- روش سطوح تحت فشار ^۲

محل اتصال لوله های حفاری به نحوی ساخته شده اند که بتوان آنها را در حالت کشش به داخل چاه راند . طبق استاندارد API لوله های حفاری نباید تحت نیروی تراکم ^۳ واقع شوند . بنابراین در طراحی رشته حفاری باید همیشه این موضوع در نظر گرفته شود که تنها قسمت لوله های وزنه باید تحت نیروی تراکم باشند .

تجزیه و تحلیل نیروی کشش بر روی رشته حفاری چگونگی اعمال وزن بر روی مته را به صورتی که نقطه خنثی ^۴ از لوله های وزنه به قسمت لوله های حفاری منتقل نگردد بیان می کند . نقطه خنثی کشش که توسط آقای لوبینسکی بیان شده است ، متفاوت بوده و عبارتست از عمق نقطه صفر نیروی کشش .

1-Available Bit Weight

2-Pressure area method

3- Compression

4- Neutral point

بررسی نیروی کشش ، شامل وزن لوله های حفاری و لوله های وزنه و همچنین حاصل جمع نیروهای عمودی وارد بر آنها می باشد. نیروهای عمودی نیز شامل نیروهای وارده از فشار هیدرو استاتیک گل بر روی نقاط مختلف سطح رشته حفاری در عمق مورد نظر می باشد که این نیروهای عمودی اصطلاحاً نیروهای شناوری^۱ نامیده می شوند که معمولاً بر روی سطوح تحتانی و فوقانی لوله های وزنه مختلف اندازه محاسبه می گردند.

روش سطوح تحت فشار معمولاً در رشته حفاری که دارای BHA طولانی تر از لوله های وزنه نسبت به لوله وزنه مصرفی در روش ضریب شناوری باشد بکار می رود [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴]. همچنین روش سطوح تحت فشار بستگی به عمق نقاط مورد مطالعه دارد، زیرا فشار هیدرو استاتیک ستون گل بستگی به عمق قطعه مورد نظر دارد.

استفاده از اصطلاح نیروهای شناوری (Buoyant forces) در روش سطوح تحت فشار باعث ایجاد اشتباه در محاسبات ABW در دو روش می گردد. وزن رشته حفاری در هر دو روش محاسبه همیشه یکسان خواهد بود ، اما مقدار ABW بدست آمده در دو روش دارای تفاوت بسیار می باشد .

۳-۹- انتخاب لوله حفاری (DPS)^۲

اصول طراحی لوله های حفاری بر مبنای عوامل زیر می باشد [اداره عملیات نفت خیز، ۱۳۷۴] :

۱- مقاومت لهیدگی (فروریختگی)^۳ ۲- کشش^۴

۳- پیچش^۵ ۴- خرد شدگی محل سلیس^۶

۵- خمش^۷ ۶- ترکیدگی^۸

حال که با عوامل موثر در حفاری و چگونگی بهینه سازی طراحی رشته حفاری و BHA آشنا

شدیم در فصل بعد به چگونگی انجام این کار در چاه های پارس جنوبی می پردازیم.

1- Bouyant forces 2- Drill pipe selection 3-collapse 4- Tension

5-Torsion 6-Slips crushing 7-Dogleg severity 8-Burst

فصل ۴- بهینه سازی
طراحی BHA برای چاه
های منطقه پارس جنوبی

۴-۱- مقدمه

در این فصل سعی می شود که با استفاده از داده های مربوط به چاه های حفاری شده، در فاز های مختلف منطقه پارس جنوبی و تهیه برنامه های کامپیوتری لازم، عوامل تاثیرگذار بر روی نرخ نفوذ مته را با تجزیه و تحلیل آماری داده ها بررسی نمائیم. سپس با پیدا کردن عوامل کلیدی موثر در راندمان حفاری های انجام شده، رشته ابزار حفاری مناسب، BHA بهینه و نوع چیدمان آنها را برای حفاری بهینه انتخاب نموده و آن را به عنوان یک الگوی مناسب برای حفاری های بعدی پیشنهاد می کنیم.

۴-۲- بررسی نرخ نفوذ مته و مدل کردن عوامل تاثیرگذار

عوامل بسیار زیادی همچون ویژگی های مته، وزن روی مته، سرعت چرخش مته، طراحی هیدرولیک مناسب و خصوصیات گل حفاری که قابل کنترل می باشند و خواص سازند که از جمله عوامل غیر قابل کنترل بوده در افزایش نرخ نفوذ و فرآیند بهینه سازی حفاری یک چاه موثر هستند. اعمال وزن و سرعت بیشتر برای افزایش نرخ نفوذ، نیاز به طراحی مناسب تجهیزات درون چاهی (BHA) برای جلوگیری از بازمانی شکست رشته حفاری خواهد داشت. استفاده مطلوب از لوله های طوق مته و لوله های حفاری قطوری^۱ همچنین بهره گیری از پایدار کننده ها در فواصل مناسب، می تواند احتمال بازمانی رشته حفاری و همچنین جابجایی مته در ته چاه را کاهش دهد [Donald, 2001].

سوال اصلی در این است که چگونه می توان در مورد بهینه بودن عملیات حفاری انجام یافته اظهار نظر نمود؟ از آنجا که بهینه بودن یک عملیات حفاری به عنوان یک کمیت قابل اندازه گیری نیست و به عوامل کنترل شده و کنترل نشده بسیار زیادی از جمله حتی مهارت نیروی انسانی بستگی دارد، می توان از نرخ نفوذ مته در سازند به عنوان شاخص مناسبی از یک عملیات حفاری مناسب استفاده نمود. نرخ نفوذ مته در سازند به عواملی همچون وزن گل، سرعت چرخش، وزن روی مته و تجهیزات درون چاهی بستگی دارد. سه پارامتر اول به صورت کمی قابل اندازه گیری هستند و پارامتر چهارم یعنی تجهیزات درون چاهی تنها به صورت کیفی قابل بررسی است. البته در مرحله طراحی چاه با توجه به عمق، فشار و نوع سیال سازند، طراحی بهینه **Tubing** به کمک روش های موجود در مهندسی انجام می گیرد. پس از با توجه به قطر بهینه **Tubing**، انتخاب لوله جداری تولیدی^۲ و به ترتیب لوله های جداری از پایین به بالا انجام می گیرد و متناسب با هریک و با توجه به سابقه قبلی چاه ها و مخزن برای هریک از لوله های جداری تجهیزات درون چاهی مناسب محاسبه می شود [Donald, 2001]. از آنجا که عملیات حفاری به دلایل وابستگی به عوامل غیر قابل شبیه سازی به چنین جزئیاتی غیر قابل شبیه سازی است تنها به صورت کیفی می توان به مقایسه نتایج حاصل از چاه های گوناگون جهت انتخاب تجهیزات مناسب برای حفاری یک میدان پرداخت.

1-Heavy weight drill pipe

2-Production casing

برای این منظور در تحقیق حاضر از نرخ نفوذ مته در سازند به عنوان شاخص استفاده شده است. تاثیر سایر پارامترهای موثر بر نرخ نفوذ مته به صورت آماری بررسی می‌شود تا به صورت کیفی و از روی این پارامترها به انتخاب تجهیزات مناسب پردازیم.

از آنجا که در فازهای مختلف از مته‌های گوناگون استفاده شده و نرخ نفوذ مته بستگی زیادی به مته مورد استفاده دارد، چاه‌های حفر شده برحسب قطر مته استفاده شده مرتب شده‌اند. همچنین برای اثر دادن خصوصیات سازند و سیال از آنجا که خصوصیات زمین‌شناسی در هر فاز تقریباً ثابت است در هر نمونه مته فازهای گوناگون، تفکیک شده‌اند تا از خطای احتمالی اجتناب گردد. همچنین به دلیل متفاوت بودن پیمانکاران فازهای مختلف، این تقسیم‌بندی اثر استفاده از تجهیزات متفاوت برای حفاری را نمایان می‌سازد.

پارامترهای آماری هر مورد، مورد محاسبه قرار گرفته تا برای بررسی نهایی مورد استفاده قرار گیرد. در زیر خلاصه‌ای از مفاهیم اساسی پارامترهای آماری مورد استفاده آورده می‌شود.

۴-۲-۱- مفاهیم آماری

در آمار چند متغیره جهت بررسی میزان شباهت تغییرات چند متغیر از معیاری به نام همپراشی (کوواریانس) استفاده می‌شود. هرچه متغیرها تغییرات مشابه‌تری داشته باشند، همپراشی بیشتری خواهند داشت. همپراشی دو متغیر X و Y با میانگین‌های A و B به صورت زیر تعریف می‌شود [کوری و ریچارد، ۱۳۶۹]:

$$\text{Cov}(x,y) = E[(x-A)(y-B)] \quad (۱-۴)$$

کاربرد کوواریانس به دلیل وابستگی آن به واحد متغیرهای مربوطه محدودیت دارد. به عنوان مثال کوواریانس دو متغیر که مقادیرشان بر حسب میلیمتر بیان شده باشد بیشتر از کوواریانس همان دو متغیر برای حالتی است که مقادیرشان بر حسب سانتیمتر بیان شده باشد. برای رفع این اشکال می‌توان آماره دیگری به نام ضریب همبستگی متغیرهای X و Y به صورت زیر تعریف کرد:

$$r_{xy} = \frac{\text{Cov}_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (۲-۴)$$

که در آن σ انحراف معیار هر متغیر است. انحراف معیار عبارت است از جذر پراش، بنابراین از نظر بعد و واحد مشابه مقدار میانگین است. لازم به یادآوری است که پراش کمیتی است جمع پذیر و در روابط علت و معلولی می‌توان پراش کل را از جمع پراش‌های جزئی به دست آورد [کوری و ریچارد، ۱۳۶۹]. برای مثال پراش کل عملیات مغزه‌گیری، آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های برداشت شده از چاه‌ها را می‌توان از جمع مولفه‌های مربوط به آنها به دست آورد. حال آنکه انحراف معیارها جمع پذیر نیستند و نمی‌توان انحراف معیار کل را از انحراف معیار مراحل مختلف به دست آورد. لازم به یادآوری

است که انحراف معیار داده‌های مختلف در مقایسه با یکدیگر نمی‌تواند به کار رود زیرا معیاری از تغییر پذیری نسبی را به دست نمی‌دهد. در مقابل ضریب تغییرات که در واقع انحراف معیار نرمال شده به میانگین می‌باشد، معیاری از تغییر پذیری نسبی را به دست می‌دهد و بدین علت می‌تواند در مقایسه تغییر پذیری جوامع مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

ضریب همبستگی همواره مقداری بین ۱- تا ۱ دارد. ضریب همبستگی ۱، به معنی همبستگی قوی مستقیم دو متغیر است یعنی با افزایش یکی دیگری به احتمال قوی افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی ۱- به معنی همبستگی معکوس دو متغیر است، یعنی با افزایش یکی دیگری به احتمال زیاد کاهش می‌یابد و بالاخره ضریب همبستگی صفر به معنی عدم همبستگی دو متغیر است، یعنی با افزایش یکی از دو متغیر معلوم نیست که دیگری باید افزایش یا کاهش یابد.

در مورد فرآیند حفاری همانگونه که شرح داده شد نرخ نفوذ مته به عواملی چون وزن مته، میزان چرخش و وزن گل وابسته است. در فصل سوم نشان داده شد که وابستگی نرخ نفوذ به دو فاکتور اول مستقیم و به فاکتور سوم معکوس می‌باشد. لذا ضریب همبستگی میان نرخ نفوذ و وزن روی مته و سرعت چرخش ۱ و بین نرخ نفوذ و وزن گل ۱- است. یعنی رابطه مثبت بین دو پارامتر را ۱ و رابطه منفی آنها را ۱- منظور می‌کنیم.

انواع مته‌های بر حسب قطر مورد استفاده در حفاری فازهای مختلف به قرار زیر است:

مته "8/5 که تنها در فاز یک مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "6 که تنها در یکی از چاه‌های فاز سه مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "2/8 که در تمامی فازها مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "4/12 که در تمامی فازها مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "16 که در فازهای چهار، پنج، شش، هفت و هشت مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "17 که در فازهای دو و سه مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "2/17 که بجز فازهای چهار و پنج در تمامی فازها مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "23/2 که تنها در فازهای دو و سه مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "24 که در فازهای شش، هفت و هشت مورد استفاده قرار گرفته است.

مته "26 که در فازهای یک، چهار و پنج استفاده شده است.

قابل ذکر است که فازهای چهار و پنج هرکدام تنها شامل یک چاه اکتشافی بوده و چون در چاه‌های اکتشافی محیط عملیاتی از جمله نوع سازند، فشار سازند و عمق، قطعی نیست بنابراین برای اجتناب از خطرات احتمالی و همچنین نمونه‌برداری‌های حین حفاری، سرعت نفوذ در سازند بسیار پایین‌تر از چاه‌های توسعه‌ای است [کوری و ریچارد، ۱۳۶۹]. (در مورد فازهای چهار و پنج این نرخ تقریباً نصف نرخ نفوذ مته در یک چاه توسعه‌ای با همان قطر است.) لذا اطلاعات چاه‌های اکتشافی نمی‌تواند برای مقایسه تجهیزات درون چاهی (BHA) مورد استفاده قرار گیرد.

برای قطر مته "5 7/8" و "6" که تنها یک مورد استفاده وجود دارد به دلیل آنکه هیچ نمونه دیگری برای مقایسه وجود ندارد و اطلاعات کافی از جمله وزن گل و سرعت چرخش موجود نیست و همچنین استفاده از این قطر تنها در سازند مخزن انجام گرفته لذا از بررسی تجهیزات درون چاهی این دو قطر خودداری می‌شود.

در ابتدا داده‌های مرتبط با نرخ نفوذ (ROP)، مثل وزن گل (MW)، وزن روی مته (WOB) و سرعت چرخش (RPM) در مترهای حفاری شده را به کمک گزارشات نهایی چاه‌ها استخراج می‌شود و به صورت جدولی نشان داده می‌شود. جدول ۴-۱ نمونه‌ای از چنین اطلاعات را نشان می‌دهد و بقیه جداول مربوط در پیوست آورده شده است.

جدول ۴-۱- داده‌های موثر بر نرخ نفوذ مته "6" برای چاه‌های مختلف

| 16" | Well | ROP (m/hr) | MW (kg/l) | WOB (lb/in ²) | RPM | Meter Drilled |
|-----------|-------|------------|-----------|---------------------------|------|---------------|
| Phase 4&5 | SP7 | 11.05 | 1.08 | 7 | 120 | 304 |
| | | 9.72 | 1.03 | 20 | 120 | 486 |
| | SP8 | 4.9 | 1.03 | 3 | 120 | 98 |
| | | 3.8 | 1.03 | 5 | 120 | 32 |
| | | 1 | 1.03 | 2 | 60 | 1 |
| | | 2.5 | 1.03 | 5 | 120 | 76 |
| | | 3.4 | 1.03 | 5 | 50 | 12 |
| | | 3.6 | 1.03 | 5 | 50 | 16 |
| | | 3.6 | 1.03 | 5 | 50 | 259 |
| | | 5.3 | 1.07 | 10 | 50 | 223 |
| | | 4.1 | 1.06 | 8 | 50 | 274 |
| | | 5.6 | 1.07 | 18 | 150 | 243 |
| | | Phase 8 | SPD9-01 | 25 | 1.15 | 20 | 245 | 733 |
| SPD9-02 | 27.7 | | 1.14 | 17 | 240 | 711 |
| SPD9-05 | 21.37 | | 1.15 | 18 | 258 | 727 |

| | | | | | | |
|--|----------------|----------|------|-------|-----|-------|
| | SPD9-07 | 23.07 | | 20 | 248 | 732 |
| | SPD9-09 | 18.8 | 1.15 | 20 | 258 | 671 |
| | SPD9-11 | 20.12 | 1.15 | 20 | 258 | 755 |
| | SPD9-13 | 18.8 | 1.15 | 15 | 245 | 716 |
| | SPD9-15 | 11.73 | 1.15 | 10 | 215 | 115 |
| | Phase 7 | | | | | |
| | SPD8-01 | 14.29512 | 9.58 | 46.3 | 230 | 386 |
| | | 28.28544 | 9.58 | 33.07 | 230 | 298 |
| | SPD8-02 | 4.261104 | 1.15 | 17 | 219 | 583 |
| | | 2.776728 | 1.15 | 27 | 219 | 84 |
| | SPD8-05 | 3.355848 | 1.15 | 13 | 228 | 683 |
| | SPD8-07 | 5.300472 | 1.15 | 20 | 227 | 664 |
| | SPD8-09 | 5.742432 | 1.15 | 15 | 219 | 511 |
| | | 4.273296 | 1.15 | 28 | 210 | 150 |
| | SPD8-11 | 21.91512 | 9.58 | 47.5 | 234 | 220 |
| | | 17.61744 | 9.58 | 48.5 | 238 | 464 |
| | SPD8-13 | 5.92836 | 1.15 | 15 | 219 | 687 |
| | SPD8-14 | 3.401568 | 1.15 | 14 | 160 | 708 |
| | SPD8-15 | 5.474208 | 1.16 | 15 | 166 | 690 |
| | Phase 6 | | | | | |
| | SPD7-02 | 7.76 | 1.15 | 20 | 160 | 501 |
| | SPD7-03 | | 1.03 | 3 | 110 | |
| | | | 1.04 | | 105 | |
| | | 12.71 | 1.15 | 20 | 210 | 258 |
| | | 13.8 | 1.15 | 22 | 230 | 254 |
| | | 7.22 | 1.15 | 20 | 220 | 83 |
| | SPD7-05 | 6.92 | 1.03 | 4 | 118 | 78 |
| | | 26.23 | 1.03 | 4 | 93 | 35.5 |
| | | 26 | 1.05 | 8 | 93 | 45.5 |
| | | 10.18 | 1.15 | 24 | 143 | 663.5 |
| | SPD7-07 | 31.11 | 1.15 | 22 | 226 | 675 |
| | SPD7-09 EOWR | 17.44 | 1.15 | 12 | 230 | 619 |
| | SPD7-11EOWR | 22.95 | 1.1 | 15 | 230 | 631 |
| | SPD7-13 EOWR | 21.93 | 1.15 | 15 | 190 | 603 |
| | SPD7-14T2 | 18.27 | 1.15 | 15 | 250 | 612 |
| | | 3.49 | 1.15 | 20 | 202 | 61 |
| | | 18.55 | 1.15 | 12 | 240 | 446 |

پس از آن پارامتر های آماری مثل انحراف استاندارد ، میانگین، و ضریب همبستگی ... را بین پارامتر نرخ نفوذ با گل حفاری ،وزن روی مته و سرعت چرخش محاسبه نموده و آنها را بصورت جداولی(جدول ۴-۴ تا ۷-۴) نشان می دهیم. با بررسی هایی که در بعضی از این پارامتر ها صورت گرفت، به این نتیجه می رسیم که دخالت ضریب همبستگی به نرخ نفوذ، منطقی و به حقیقت نزدیکتر می باشد فلذا با این دید به جلو می رویم.

جدول ۴-۴- محاسبات آماری برای مته ۱۶۴۵ اینچی در فاز های مختلف.

| Phase 1 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-------------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 4.083086 | 4.031693 | 39.84059 |
| Average | 6.11 | 73.76111 | 9.5 | 80 |
| Coefficient of Variance | | 0.055356 | 0.424389 | 0.498007 |
| Correlation Coefficient | | 0.134373 | 0.33732 | 0.582851 |
| Phase 2 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.019685 | 4.450219 | 23.7833 |
| Average | 6.560826471 | 1.15 | 12.15152 | 93.3871 |
| Coefficient of Variance | | 0.017117 | 0.366228 | 0.254674 |
| Correlation Coefficient | | 0.283647 | 0.291507 | 0.044624 |
| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.190744 | 2.928201 | 43.57512 |
| Average | 6.93512 | 1.161538 | 9.3 | 93.42105 |
| Coefficient of Variance | | 0.164217 | 0.31486 | 0.466438 |
| Correlation Coefficient | | 0.005426 | 0.03776 | -0.11282 |
| Phase 4&5 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.178173 | 4.867331 | 29.35674 |
| Average | 4.911818182 | 1.303636 | 10.90909 | 82.72727 |
| Coefficient of Variance | | 0.136673 | 0.446172 | 0.354862 |
| Correlation Coefficient | | -0.65122 | 0.57424 | -0.67494 |
| Phase 6 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.175134 | 3.791341 | 25.79957 |
| Average | 14.63315789 | 1.300526 | 17.47368 | 231.6471 |
| Coefficient of Variance | | 2.915236 | 0.216974 | 0.111374 |
| Correlation Coefficient | | -0.61851 | 0.536607 | 0.068819 |
| Phase 7 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 4.091803 | 12.04894 | 40.5245 |
| Average | 7.119112 | 3.5695 | 24.03048 | 236 |
| Coefficient of Variance | | 3.375527 | 0.501403 | 0.171714 |
| Correlation Coefficient | | 0.713835 | 0.831799 | -0.02389 |

| Phase 5 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.103726 | 6.388251 | 50.25957 |
| Average | 18.319024 | 1.227905 | 13.87805 | 204.2308 |
| Coefficient of Variance | | 5.202563 | 0.460313 | 0.246092 |
| Correlation Coefficient | | -0.06551 | 0.493013 | 0.434493 |

جدول ۳-۴ - محاسبات آماری برای سته ۱۶ اینچی در فازهای مختلف

| Phase 6 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.020151 | 5.674905 | 39.27371 |
| Average | 4.880833 | 1.043333 | 7.75 | 88.33333 |
| Coefficient of Variance | | 0.019314 | 0.732246 | 0.444608 |
| Correlation Coefficient | | 0.520935 | 0.591097 | 0.454996 |

| Phase 6 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|--------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.053144 | 6.980926 | 57.26589 |
| Average | 16.304 | 1.113529 | 14.75 | 179.4118 |
| Coefficient of Variance | | 6.269189 | 0.473283 | 0.319187 |
| Correlation Coefficient | | -0.24964 | 0.29776 | -0.03311 |

| Phase 7 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 4.049108 | 13.62727 | 24.43831 |
| Average | 9.432857 | 3.744615 | 26.10538 | 215.3077 |
| Coefficient of Variance | | 3.639165 | 0.52201 | 0.113504 |
| Correlation Coefficient | | 0.92493 | 0.744148 | 0.46206 |

| Phase 8 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.00378 | 3.545621 | 14.3172 |
| Average | 20.82375 | 1.148571 | 17.5 | 245.875 |
| Coefficient of Variance | | 3.086983 | 0.202607 | 0.05823 |
| Correlation Coefficient | | -0.62303 | 0.665585 | 0.450464 |

جدول ۴-۴ - محاسبات آماری برای سته ۱۷ اینچی در فازهای مختلف

| Phase 1 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.009501 | 7.335793 | 14.18416 |
| Average | 6.383486 | 1.190455 | 18.36364 | 61.90476 |
| Coefficient of Variance | | 0.007981 | 0.399474 | 0.229129 |
| Correlation Coefficient | | -0.05861 | 0.06319 | 0.041224 |

| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.297377 | 7.838539 | 23.4364 |
| Average | 7.351874 | 1.146522 | 17.47826 | 66.47059 |
| Coefficient of Variance | | 0.259373 | 0.448474 | 0.352583 |
| Correlation Coefficient | | 0.271596 | 0.339124 | -0.10153 |

جدول ۴-۵- محاسبات آماری برای مته ۱۷.۵ اینچی در فازهای مختلف

| Phase 1 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 2.711938 | 0 | 7.5 |
| Average | 6.63 | 70.275 | 20 | 168.75 |
| Coefficient of Variance | | 0.03859 | 0 | 0.044444 |
| Correlation Coefficient | | -0.03327 | 0.058 | 0.156888 |
| Phase 2 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.003333 | 1.299038 | 0 |
| Average | 19.561 | 1.041111 | 5 | 80 |
| Coefficient of Variance | | 0.003202 | 0.259808 | 0 |
| Correlation Coefficient | | -0.2104 | 0.14944 | #DIV/0! |
| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.004216 | 0.316228 | 4.21637 |
| Average | 10.848 | 1.042 | 2.1 | 78 |
| Coefficient of Variance | | 0.004046 | 0.150585 | 0.054056 |
| Correlation Coefficient | | 0.052432 | 0.93258 | 0.633365 |
| Phase 6 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.027061 | 5.009083 | 0 |
| Average | 10.583 | 1.050455 | 6 | 80 |
| Coefficient of Variance | | 0.025761 | 0.834847 | 0 |
| Correlation Coefficient | | -0.80459 | 0.26145 | |
| Phase 7 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 3.353208 | 3.500661 | 18.34848 |
| Average | 7.3758 | 2.5816 | 6.805556 | 68.33333 |
| Coefficient of Variance | | 1.298887 | 0.514383 | 0.268514 |
| Correlation Coefficient | | 0.977874 | 0.867617 | -0.56738 |
| Phase 8 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0 | 1.309307 | 47.25992 |
| Average | 16.364 | 1.03 | 3.5 | 90.5 |
| Coefficient of Variance | | 0 | 0.374088 | 0.522209 |
| Correlation Coefficient | | | 0.568915 | -0.13265 |

جدول ۶-۲ - محاسبات آماری برای متغیر ۲۲ اینجی در فازهای مختلف

| Phase 2 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.007833 | 4.487514 | 24.83046 |
| Average | 9.116618 | 1.043636 | 13.31818 | 73 |
| Coefficient of Variance | | 0.007506 | 0.336946 | 0.340143 |
| Correlation Coefficient | | 0.051923 | 0.32076 | -0.59906 |
| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.025538 | 4.467305 | 23.33966 |
| Average | 9.930751 | 1.046136 | 12.74419 | 69.30233 |
| Coefficient of Variance | | 4.270289 | 0.350537 | 0.33678 |
| Correlation Coefficient | | -0.07531 | 0.46458 | -0.42961 |

جدول ۷-۴ - محاسبات آماری متغیر ۲۴ اینجی در فازهای مختلف

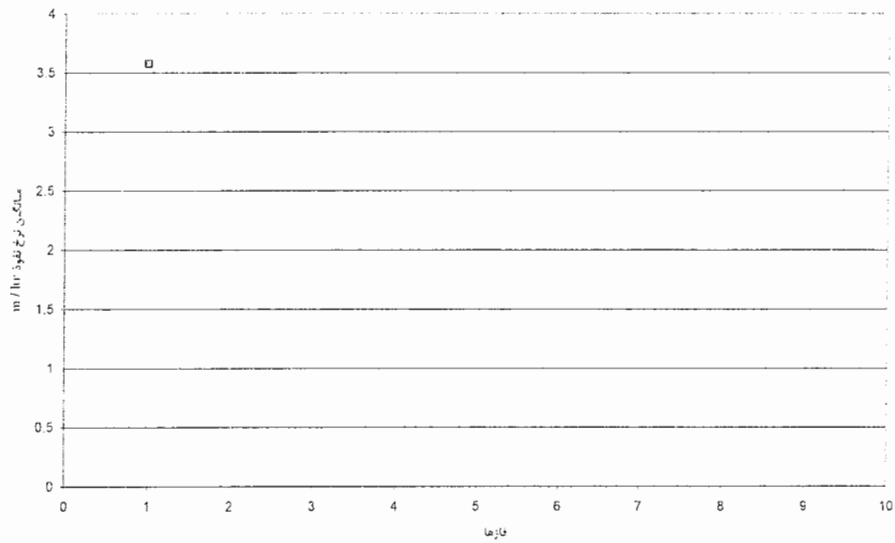
| Phase 5 | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM |
|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.045565 | 6.772403 | 32.98282 |
| Average | 15.6336 | 1.020556 | 16.0936 | 102 |
| Coefficient of Variance | | 0.044647 | 0.420813 | 0.323361 |
| Correlation Coefficient | | -0.47588 | 0.48553 | 0.707788 |
| Phase 7 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.068516 | 11.1897 | 49.98875 |
| Average | 6.095176 | 0.972222 | 19.652 | 102 |
| Coefficient of Variance | | 0.070474 | 0.569392 | 0.490086 |
| Correlation Coefficient | | 0.644601 | 0.177684 | -0.01796 |
| Phase 8 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0 | 8.602325 | 54.86856 |
| Average | 16.69952 | 1.03 | 19 | 108.9412 |
| Coefficient of Variance | | 0 | 0.452754 | 0.503653 |
| Correlation Coefficient | | 0.421571 | 0.23324 | 0.213173 |

در این بخش با مقایسه نتایج آماری فازهای مختلف به تفکیک قطر مته های مورد استفاده سعی می شود تا بهترین عملکرد تجهیزات درون چاهی تعیین گردد.

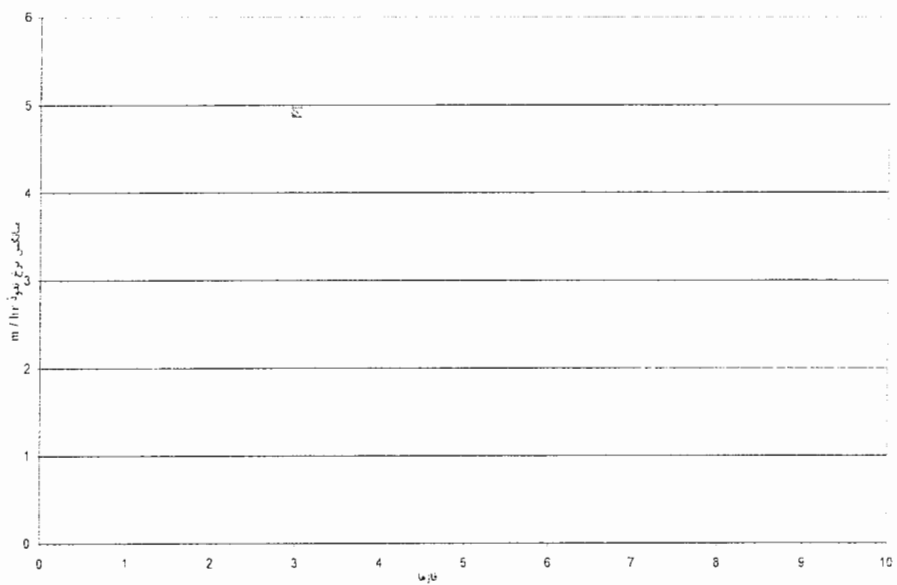
در مورد مته های "5 7/8" و "6" به دلیل کمبود اطلاعات نمی توان اظهار نظر دقیقی نمود اما با توجه به عملکرد بسیار پایین نرخ نفوذ (شکل های ۴-۱ و ۴-۲) و همچنین استفاده در تعداد بسیار محدود چاه ها، می توان گفت که احتمالا تجهیزات مورد استفاده به هیچ وجه مناسب نبوده اند.

مته های "8 1/2"، "12 1/4"، "16" و "24" در تمامی فازها و تقریبا در یک عمق (برای حفاری لوله های جداری میانی) مورد استفاده قرار گرفته اند. لذا می توانند به عنوان معیار مناسبی برای مقایسه مورد استفاده قرار گیرند. با بررسی اجمالی (شکل های ۴-۳ تا ۴-۱۰) به روشنی درمی یابیم فازهای ۸، ۶ و ۷ در مقایسه با سایر فازها از عملکرد بهتری برای سرعت نفوذ مته برخوردارند. البته عملکرد مته "24" در فاز دو بهتر از فازهای شش، هفت و هشت است، اما به دلیل اینکه این مته در فاز دو تنها برای حفاری بخش Conductor Casing استفاده شده و چون عمق حفاری بسیار کم است نمی توان این فاز را ملاک مناسبی برای تجهیزات این قطر دانست. و این مته را تنها در فازهای شش، هفت و هشت مقایسه می کنیم

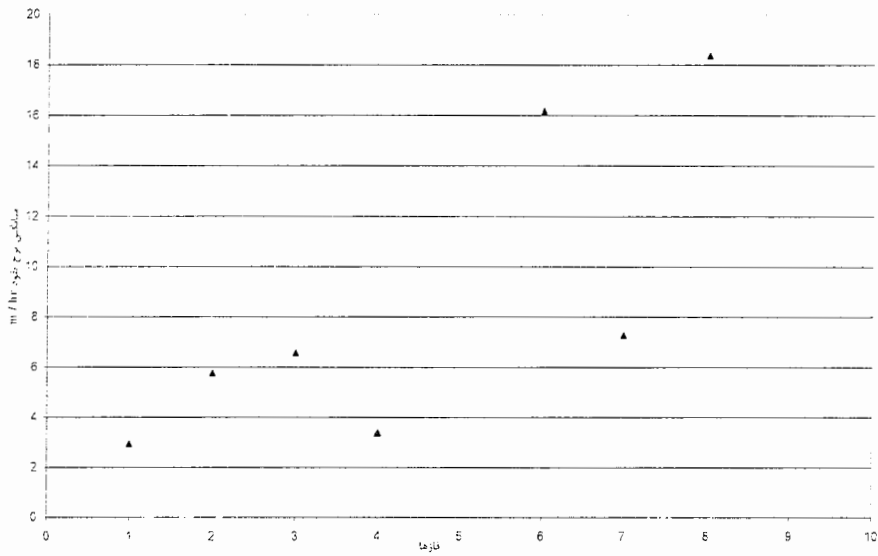
در شکل های ۴-۱ تا ۴-۱۰ ما ابتدا ارتباط نرخ نفوذ میانگین را در فازهای مختلف پارس جنوبی بررسی می کنیم که مشاهده می کنیم در هر قطر مته، چه فازی میانگین نرخ نفوذ خوبی را نشان می دهد. بدین ترتیب یک دید ابتدایی از فاز بهینه حاصل می شود که در ادامه با بررسی همه جانبه فاکتورهای تاثیرگذار به نقش برجسته BHA مناسب در فاز انتخاب بهینه نزدیکتر می شویم.



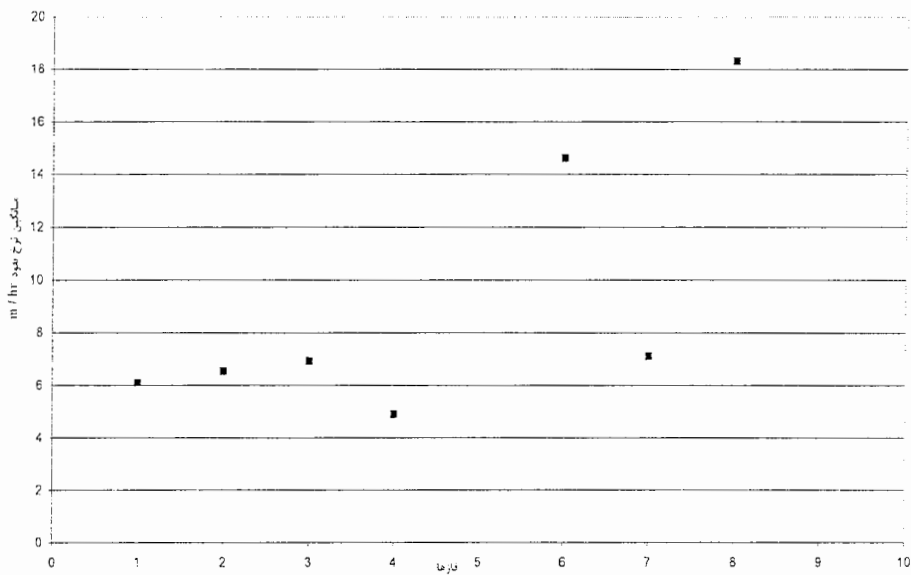
شکل ۴-۱ - ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۵/۷۸۵ اینچ نشان می دهد، بعلت کافی نبودن داده، فاز ۱ در بین فازهای دیگر در این قطر مناسب تر جلوه می کند.



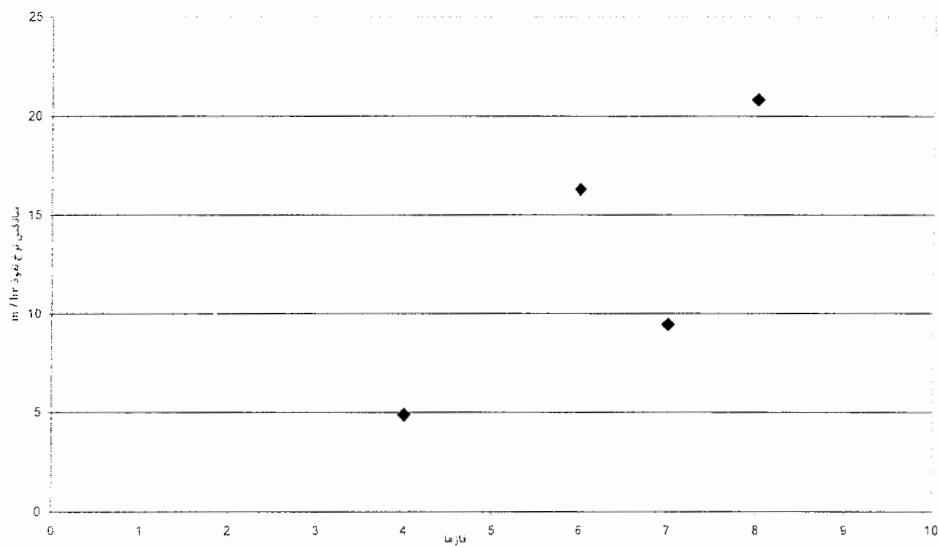
شکل ۴-۲ - ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۶ اینچ نشان می دهد، بعلت کافی نبودن داده، فاز ۳ در بین فازهای دیگر در این قطر مناسب تر جلوه می کند.



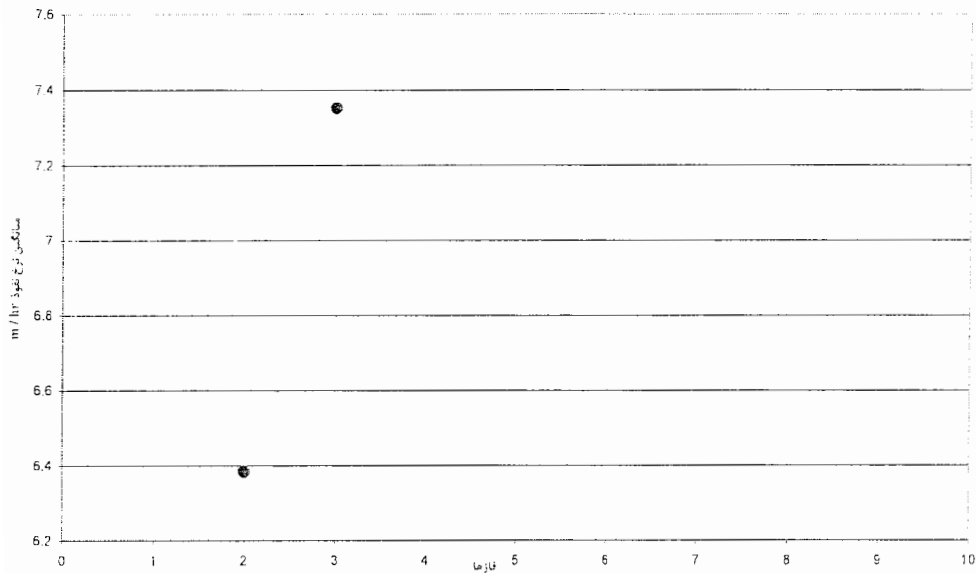
شکل ۳-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۸/۵ اینچ نشان می دهد، که فاز های ۶ و ۸ نرخ نفوذ بهینه را نشان می دهد.



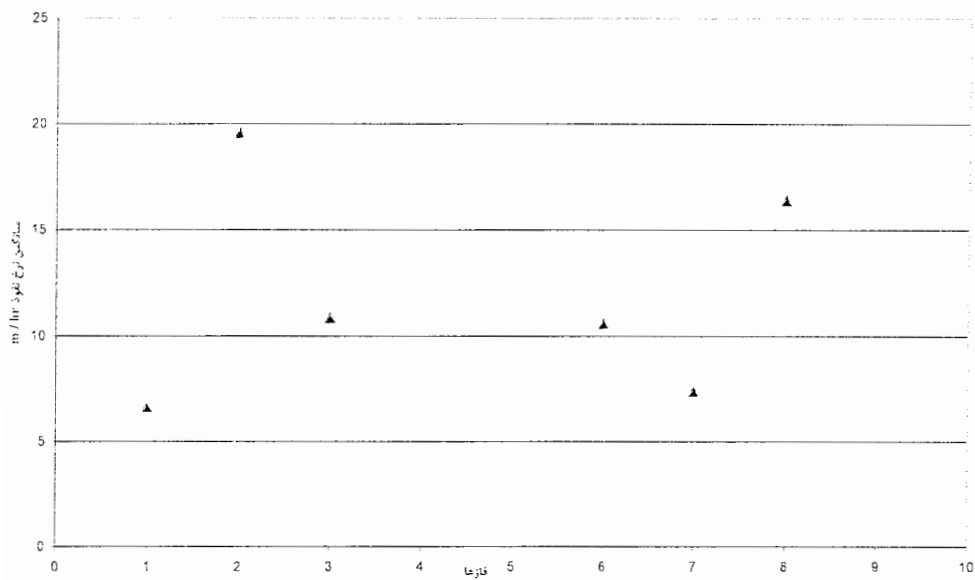
شکل ۴-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۲/۵ اینچ نشان می دهد، که فاز های ۶ و ۸ ، نرخ نفوذ بهینه را نشان می دهد.



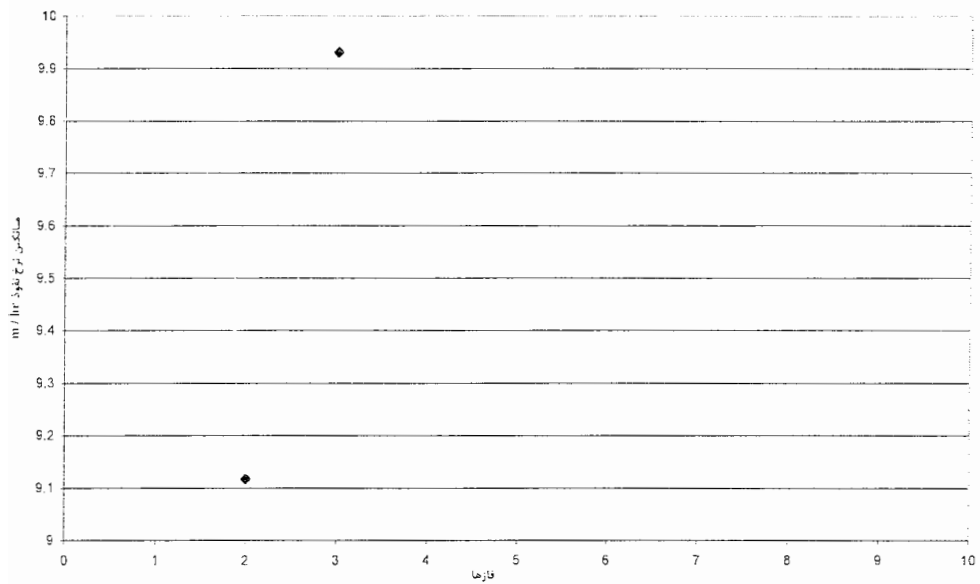
شکل ۴-۵- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۶ اینچ نشان می دهد، که فاز های ۶ و ۸ و ۷ ، نرخ نفوذ بهینه را نشان می دهد.



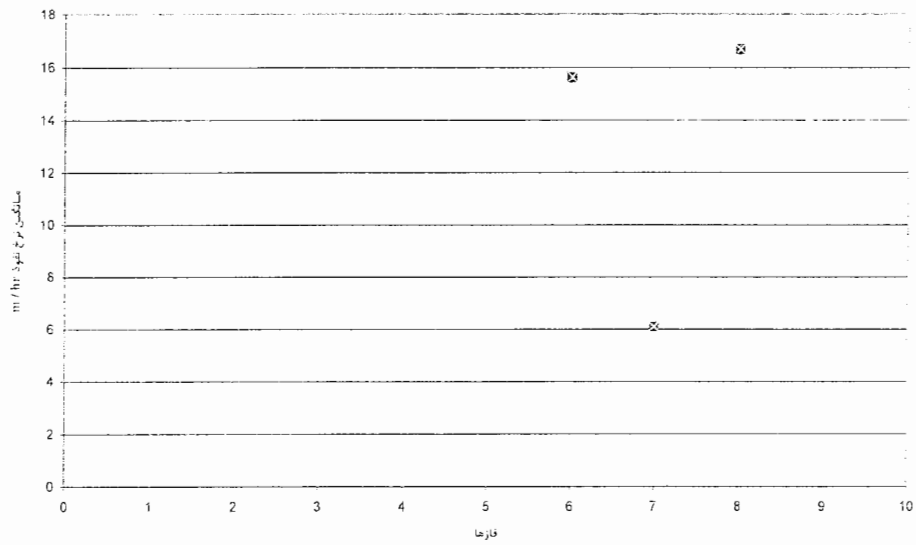
شکل ۴-۶- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۷ اینچ نشان می دهد، که فاز ۳ را به علت کاربرد بیشتر این قطر حفاری به عنوان نرخ نفوذ بهینه نشان می دهد..



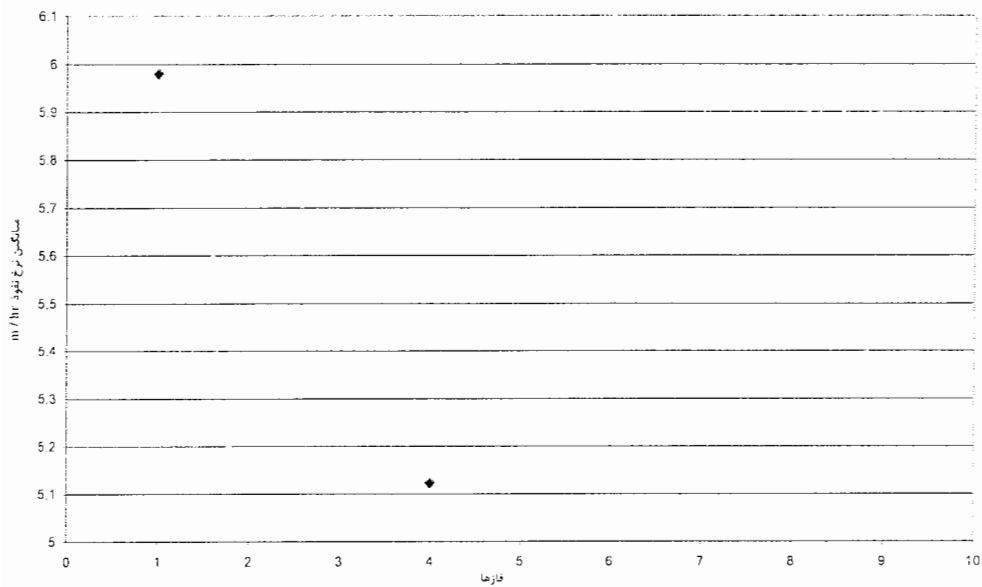
شکل ۴-۷- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۷/۵ اینچ نشان می دهد، که نرخ نفوذ فاز های ۲ و ۸ را بیشتر برجسته کرده و نرخ نفوذ میانگین فازهای ۳ و ۶ را نیز در حد مطلوب می داند.



شکل ۴-۸- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۲۳/۵ اینچ نشان می دهد، که فاز ۳ را بهینه میانگین نشان می دهد..



شکل ۹-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۲۴ اینچ نشان می دهد، که فاز ۸ را بهینه محسوب کرده است.



شکل ۱۰-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ میانگین در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۲۶ اینچ نشان می دهد، که فاز ۱ را بهینه تر نسبت به میانگین نرخ نفوذ دیگر فازها نشان می دهد.

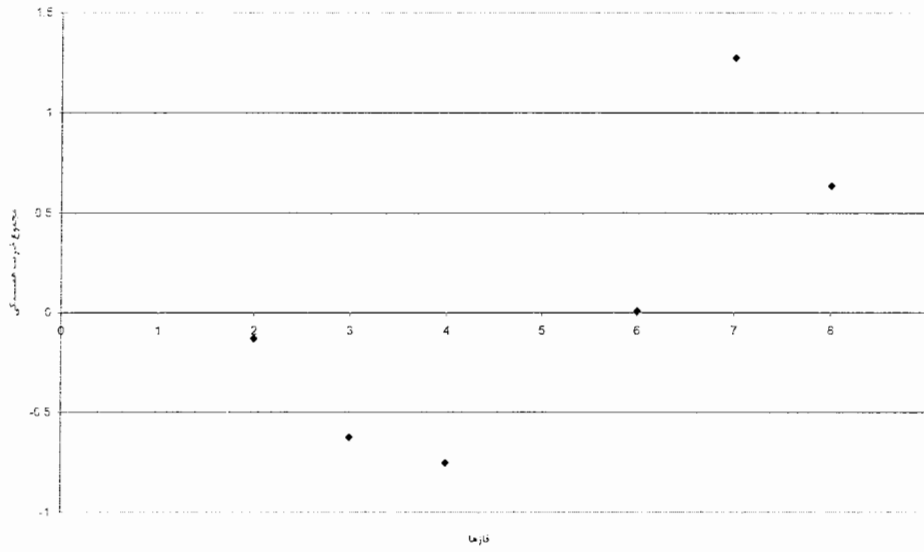
لذا برای بررسی میزان تاثیر فاکتورهای نظیر سرعت دوران مته، وزن گل و وزن روی مته و نقش تجهیزات درون چاهی به بررسی ضرایب همبستگی این متغیرها در فازهای مختلف می‌پردازیم. در این مرحله برای نتیجه‌گیری در مورد میزان تاثیر تجهیزات درون چاهی (BHA) مجموع ضرایب همبستگی سه فاکتور دوران مته، وزن گل و وزن روی مته را برای اندازه قطرهای مختلف مته و بر حسب فازها به صورت جدول ۴-۸ تهیه و آنها را بصورت نمودارهای شکل ۴-۱۱ تا ۴-۱۸ رسم می‌کنیم.

با مقایسه نمودارهای داده شده در اشکال ۴-۱۱ تا ۴-۱۴ با نمودارهای سرعت نفوذ داده شده در اشکال ۴-۱ تا ۴-۱۰ می‌توان تجهیزات درون چاهی مناسب را تشخیص داد. ملاک اصلی انتخاب سرعت نفوذ بالا، تکرارهای بیشتر (عمق بیشتر) مورد استفاده است. همچنین باتوجه به مطالب گفته شده در صورتی می‌توان سرعت نفوذ مته را به تجهیزات درون چاهی نسبت داد که ضریب همبستگی سایر فاکتورها با نرخ نفوذ به سمت صفر میل کند. از سه فاکتور مورد بررسی، فاکتور های بار روی مته و سرعت دوران مته با نرخ نفوذ نسبت مستقیم و فاکتور وزن گل نسبت معکوس با نرخ نفوذ دارد بنابر این مجموع ضرایب همبستگی در شرایطی که تمام نرخ نفوذ را به سه عامل فوق نسبت دهیم باید $1+1=1$ باشد و هرچه این عدد به صفر نزدیکتر باشد به معنی تاثیر کمتر این سه عامل و تاثیر بیشتر تجهیزات درون چاهی است.

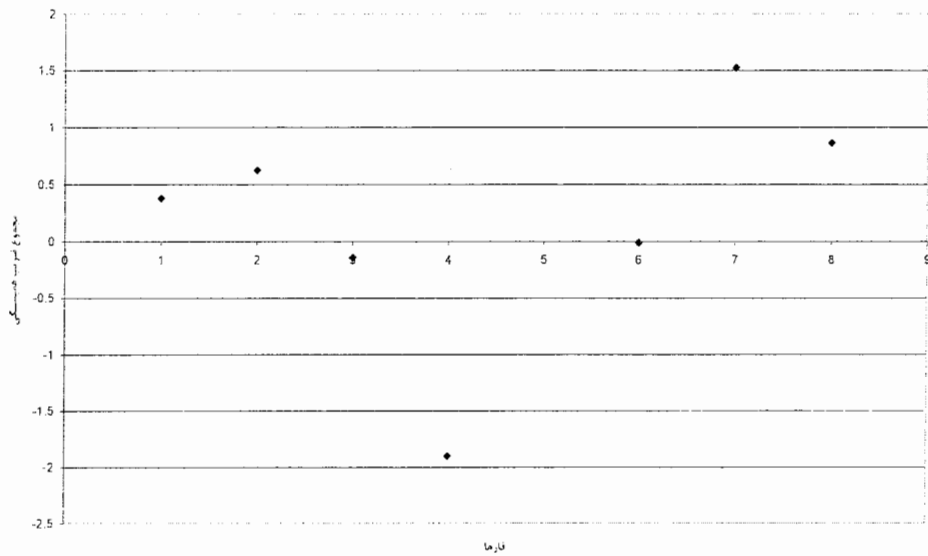
پس از این مرحله با توجه به نتایج میانگین نرخ نفوذ و مجموع ضرایب همبستگی فازهای شش، هفت و هشت به عنوان نمونه‌های مناسب انتخاب می‌شوند. از نظر میزان متوسط نرخ نفوذ فاز هفت از دو فاز دیگر پایین‌تر و از نظر مجموع ضرایب همبستگی بالاتر است. لذا چالش اصلی میان فازهای شش و هشت است. در فاز هشت سرعت نفوذ از فاز شش بیشتر است و از طرف دیگر مجموع ضرایب همبستگی این فاز در مقادیر مثبت از فاز شش بیشتر است. در مقابل مجموع ضرایب همبستگی فاز شش در دو اندازه مته بسیار کم و نزدیک به صفر و در یک اندازه مته در طرف منفی و متمایل به صفر است. مفهوم این وضعیت آن است که در فاز شش تاثیر پارامترهای مورد بحث در افزایش نرخ نفوذ مته نسبت به انتخاب تجهیزات درون چاهی کم بوده و با توجه به تشابه زیاد سایر شرایط زمین‌شناسی، عمق و ... می‌توان افزایش سرعت نفوذ مته در این فاز را تنها به تجهیزات درون چاهی نسبت داد. اما با اینکه تاثیر پارامترهای ذکر شده در نرخ نفوذ مته در فاز هفتم نسبت به فاز شش بسیار بالاتر است، اما نمی‌توان از نرخ نفوذ بالای فاز هشتم چشم‌پوشی نمود، برای مقایسه صحیح عملکرد تجهیزات درون چاهی میان فازهای شش و هشت نیاز به نرمال کردن نرخ متوسط نفوذ در این دو فاز داریم تا تاثیر سایر پارامترها را حذف کرده و صرفاً افزایش نرخ نفوذ ناشی از تغییر تجهیزات درون چاهی را در نظر بگیریم.

جدول ۴-۸: مجموع ضریب همبستگی سه فاکتور دوران، متغیاز روی، متغیاز وزن گل برای اندازه های مختلف

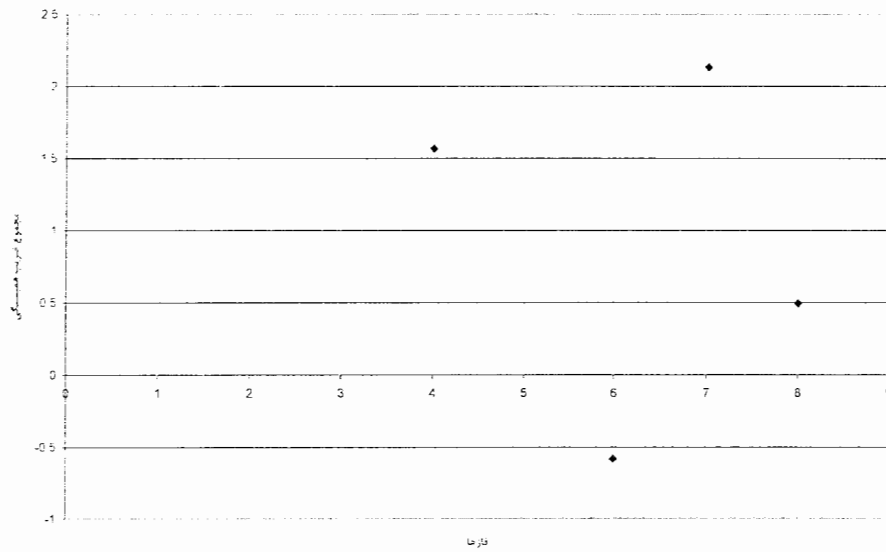
| | | Correlation Coefficient | | | |
|--------|------------------|-------------------------|-------------|----------|----------|
| Prases | متغیاز 8.5" | MW(kg/l) | WOB(lb/in2) | RPM | Sum |
| 1 | | 0.063072 | | | |
| 2 | | -0.00922 | 0.007122 | -0.12852 | -0.13062 |
| 3 | | -0.19947 | -0.20504 | -0.22015 | -0.62466 |
| 4 | | -0.06394 | -0.56883 | -0.1194 | -0.75217 |
| 6 | | 0.194619 | -0.02782 | -0.15935 | 0.007449 |
| 7 | | 0.779695 | 0.810777 | -0.31547 | 1.275002 |
| 8 | | -4.5017 | 0.259777 | 0.376456 | 0.636233 |
| | متغیاز 12.25" | | | | |
| 1 | | 0.134373 | -0.33732 | 0.582851 | 0.379904 |
| 2 | | 0.283647 | 0.291507 | 0.044624 | 0.619778 |
| 3 | | 0.005426 | -0.03776 | -0.11282 | -0.14515 |
| 4 | | -0.65122 | -0.57424 | -0.67494 | -1.9004 |
| 6 | | -0.61851 | 0.536607 | 0.068819 | -0.01308 |
| 7 | | 0.713835 | 0.831799 | -0.02389 | 1.521744 |
| 8 | | -0.06551 | 0.493013 | 0.434493 | 0.861996 |
| | متغیاز 16" | | | | |
| 4 | | 0.520935 | 0.591097 | 0.454996 | 1.567028 |
| 6 | | -0.24964 | -0.29776 | -0.03311 | -0.58051 |
| 7 | | 0.92493 | 0.744148 | 0.46206 | 2.131138 |
| 8 | | -0.62303 | 0.665585 | 0.450464 | 0.493019 |
| | متغیاز 24" | | | | |
| 4 | | | | | |
| 6 | | -0.80459 | -0.26145 | | |
| 7 | | 0.977874 | 0.867617 | -0.56738 | 1.278111 |
| 8 | | | 0.568915 | -0.13265 | |



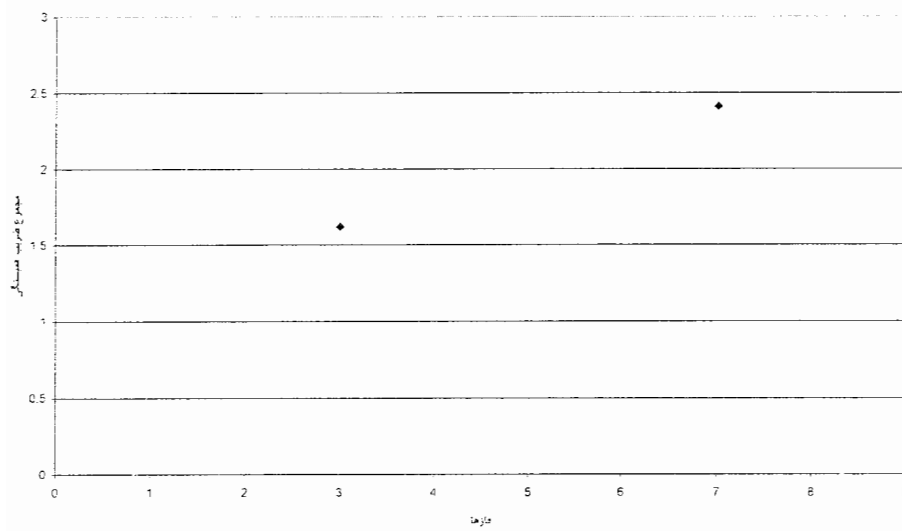
شکل ۴-۱۱ - ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فازهای مختلف برای مته با قطر ۸/۵ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۲ - ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فازهای مختلف برای مته با قطر ۱۲/۲۵ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۳- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فازهای مختلف برای مته با قطر ۱۶ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۴- ارتباط بین مجموع ضریب همبستگی در فازهای مختلف برای مته با قطر ۲۴ اینچ را نشان می دهد.

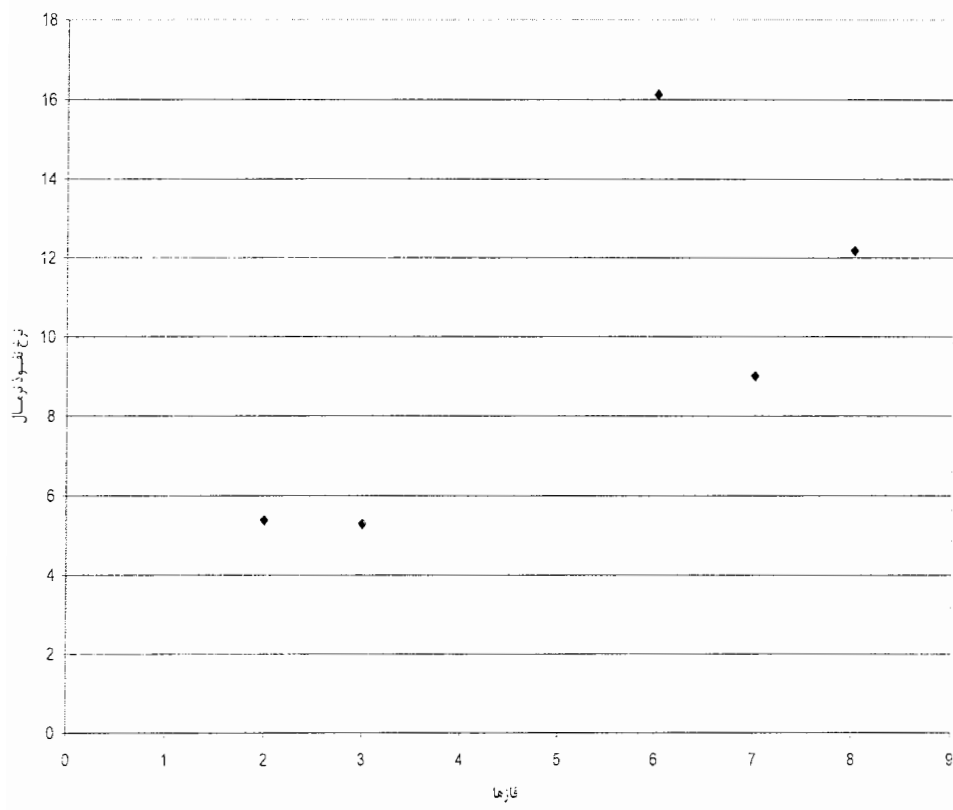
برای این کار درصد ضریب همبستگی را از افزایش نرخ نفوذ مته حذف می‌کنیم تا نرخ متوسط نرمال شده به دست آید، آنگاه مقادیر به دست آمده را با هم مقایسه می‌کنیم. که در جدول ۴-۹ محاسبات مجموع ضریب همبستگی ها را نمایش می‌دهد که در ادامه با اشکال ۵-۱۱ تا ۵-۱۴ به نتایجی که ذکر شد می‌رسیم.

پس از مقایسه مقادیر نرمال شده از روی شکل ۴-۱۵ مشاهده می‌شود که برای مته "۸½" بر خلاف حالت ساده، متوسط نفوذ مته در فاز شش از فاز هشت پیشی گرفته و این بدان معنی است که طراحی تجهیزات درون‌چاهی فاز شش مناسب‌تر بوده اگرچه ظاهراً سرعت نفوذ آن از فاز هشت کمتر است.

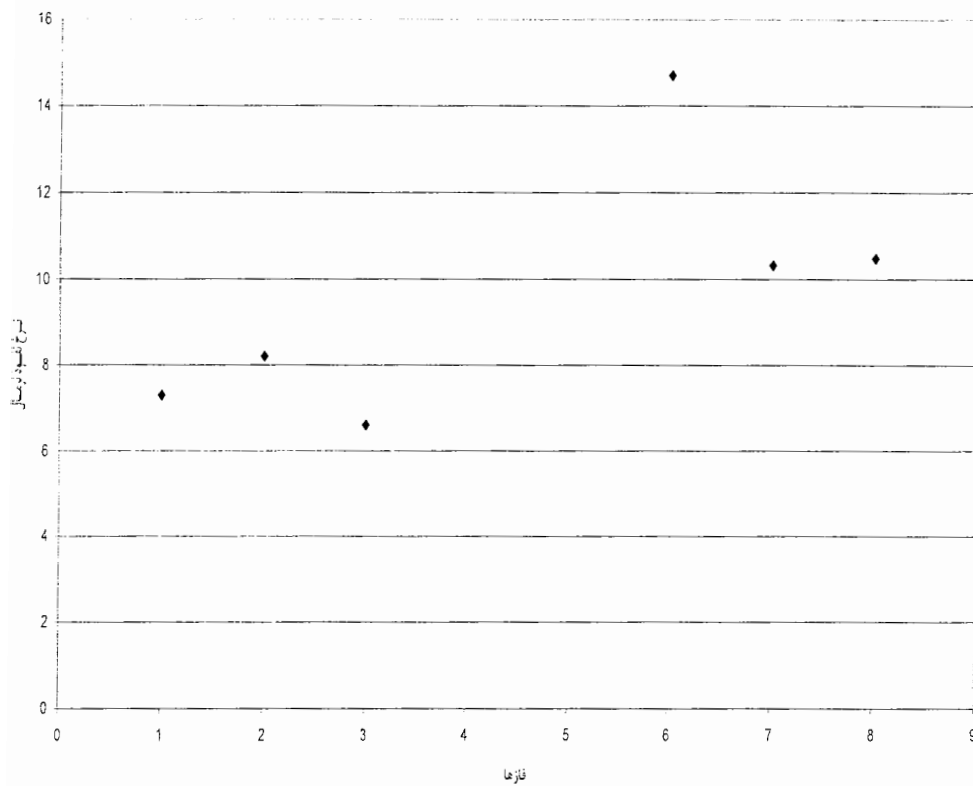
چنین وضعیتی برای سایر مته‌ها نیز به چشم می‌خورد و نکته جالب توجه پیشی گرفتن نرخ نفوذ فاز چهارم از فاز هفت برای "۱۶" (شکل ۴-۱۷) است که نشان دهنده تاثیر بسیار منفی وزن گل روی سرعت نفوذ است. همانگونه که قبلاً ذکر شد، چاه‌های فازهای چهار و پنج چاه‌های اکتشافی هستند و در چاه‌های اکتشافی به دلیل ناآشنا بودن با محیط و جهت اجتناب از حوادث غیر مترقبه از وزن گل بالا استفاده می‌کنند که تاثیر بسیار منفی در سرعت حفاری می‌گذارد. همانگونه که در شکل‌های فوق نشان داده شده با حذف اثر منفی وزن گل، عملکرد واقعی تجهیزات در این فاز در مقایسه با سایر فازها قابل قبول بوده است. آنچه که تا کنون انجام گرفته با هدف یافتن بهترین عملکرد تجهیزات درون‌چاهی میان فازهای مختلف را نشان می‌دهد. نتیجه این مراحل تا کنون بهینه بودن تجهیزات مورد استفاده در فاز ششم نسبت به سایر فازها را نشان می‌دهد. پس از این مرحله انتخاب بهینه تجهیزات درون‌چاهی از روی داده‌های آماری چاه‌های پیشین صورت می‌گیرد.

جدول ۹-۴ - محاسبات مربوط به نرمالیزه کردن نرخ نفوذ در فازها با برای متدهای مختلف با انسان می دهد.

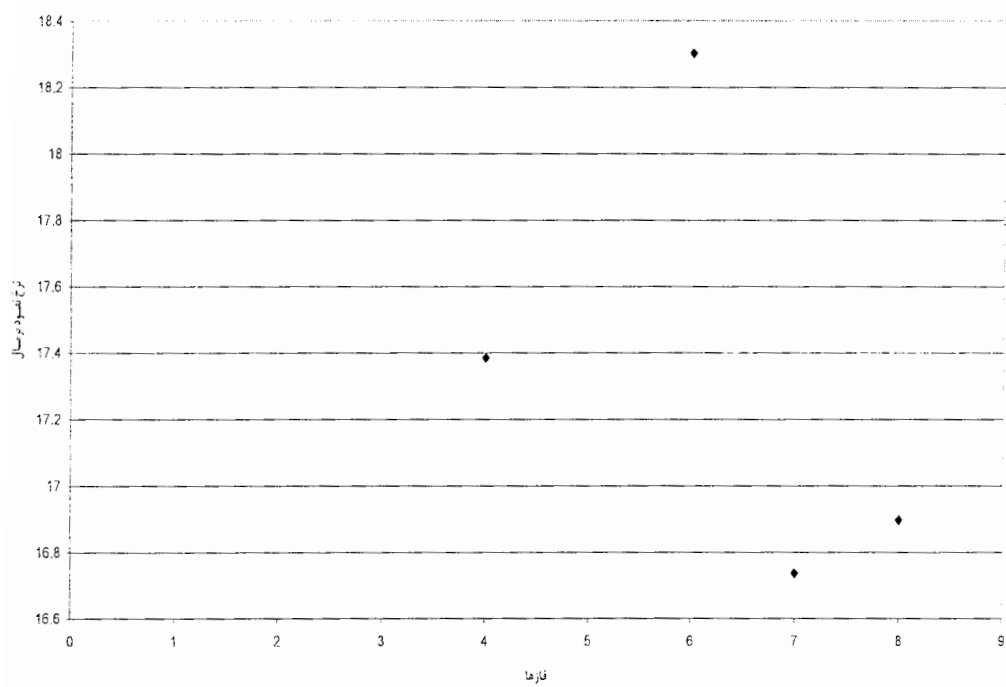
| Address | Ave. ROP | Difference from Ave. | Normalized Ave. | Normalized Diff. | Norm. Ave. ROP |
|---------|----------|----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 115 | | | | | |
| 1 | 2.95 | -5.697847571 | -0.658874653 | | |
| 2 | 5.765455 | -2.882392571 | -0.333307514 | -0.376843474 | 5.388963 |
| 3 | 6.578733 | -2.069114571 | -0.239263534 | -0.388721893 | 5.28624 |
| 4 | 3.391875 | -5.255972571 | -0.607778124 | -1.064930595 | |
| 6 | 16.18 | 7.532152429 | 0.870965799 | 0.864497826 | 16.12389 |
| 7 | 7.28992 | -1.357927571 | -0.15702492 | 0.043182167 | 9.02128 |
| 8 | 18.37895 | 9.731102429 | 1.125262945 | 0.409333526 | 12.1877 |
| 125 | | | | | |
| 1 | 6.11 | -3.117008236 | -0.337813531 | -0.20947682 | 7.294164 |
| 2 | 6.560826 | -2.666181765 | -0.28895409 | -0.109866702 | 8.213267 |
| 3 | 6.93512 | -2.291888236 | -0.248389096 | -0.284443767 | 6.602443 |
| 4 | 4.911818 | -4.315190054 | -0.46766947 | -1.356428532 | |
| 6 | 14.63316 | 5.406148764 | 0.585904838 | 0.593570817 | 14.70389 |
| 7 | 7.119112 | -2.107896236 | -0.228448505 | 0.119191637 | 10.32679 |
| 8 | 18.31902 | 9.092015764 | 0.985369855 | 0.135984981 | 10.46174 |
| 16 | | | | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | 4.880833 | -7.979527 | -0.620474621 | 0.351826484 | 17.38498 |
| 6 | 16.304 | 3.44364 | 0.267771664 | 0.423215793 | 18.30307 |
| 7 | 9.432857 | -3.427503 | -0.266516878 | 0.301467369 | 16.73734 |
| 8 | 20.82375 | 7.96339 | 0.619219835 | 0.313932691 | 16.89765 |
| 24 | | | | | |
| 1 | 6.63 | -5.263633333 | -0.442558904 | -0.442558904 | 6.63 |
| 2 | 19.561 | 7.667366667 | 0.64466143 | 0.64466143 | 19.561 |
| 3 | 10.848 | -1.045633333 | -0.087915383 | -0.109611405 | 10.58996 |
| 4 | | | | | |
| 6 | 10.583 | -1.310633333 | -0.110196211 | -0.110196211 | 10.583 |
| 7 | 7.3758 | -4.517833333 | -0.379853087 | 0.105641322 | 13.15009 |
| 8 | 16.364 | 4.470366667 | 0.375862156 | 0.375862156 | 16.364 |



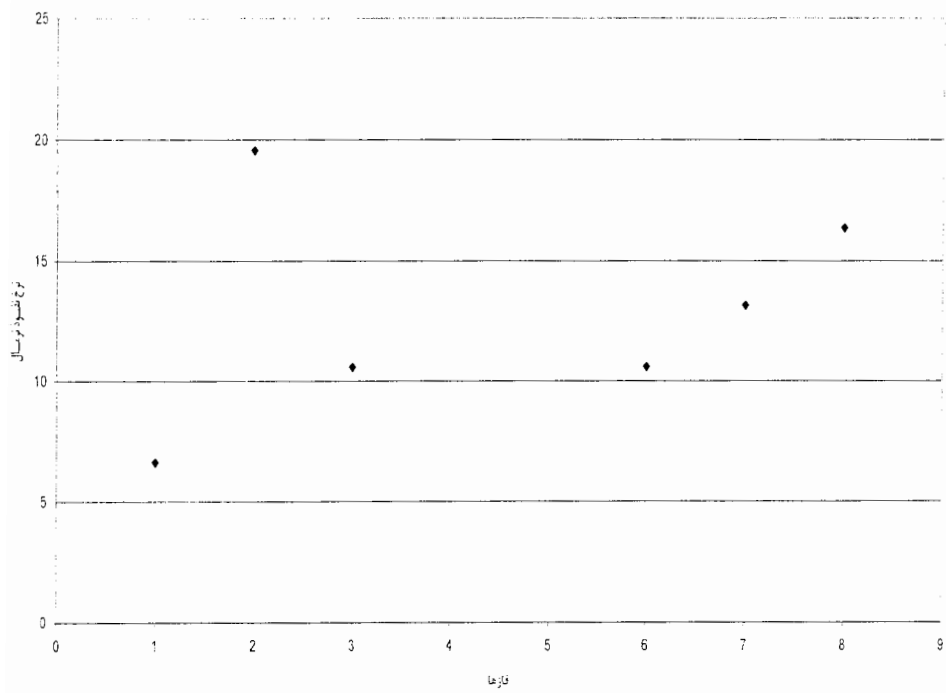
شکل ۴-۱۵ - ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۸/۵ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۶- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۲/۲۵ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۷ - ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۱۶ اینچ نشان می دهد.



شکل ۴-۱۸-ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فازهای مختلف را برای مته با قطر ۲۴ اینچ نشان می دهد.

جدول ۴-۹ نشان دهنده نرمالایز کردن داده های نرخ نفوذ است بطوریکه تاثیر سه فاکتور " گل حفاری ، وزن مته ، سرعت چرخش " را حذف کرده تا تاثیر BHA را روی مجموع ضریب همبستگی ها برجسته تر ببینیم که نتایج حاصله در اشکال ۴-۱۵ تا ۴-۱۸ نیز نشان داده شده است.

با توجه به موارد فوق فازهای بهینه از نقطه نظر سرعت نفوذ فاز ۶ (برای قطر مته های ۸/۵، ۱۲/۵، ۱۶ اینچ) و فاز ۸ برای مته ۲۴ اینچ تعیین گردید. حال به همین منوال به دنبال تعیین چاه بهینه (با سرعت نفوذ بالا) در هر فاز بهینه می گردیم.

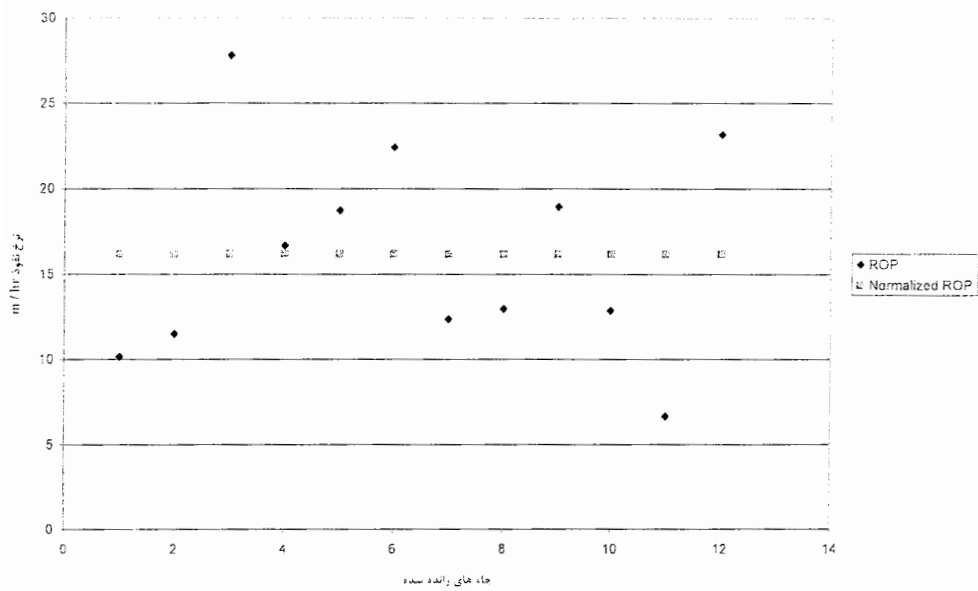
جدول ۴-۱۰ تا ۴-۱۳ محاسبات نهایی میانگین نرخ نفوذ نرمال که تاثیر سه فاکتور وزن روی مته، وزن گل ، و چرخش مته در آن حذف شده است را نشان می دهد. علاوه بر آن برای گویایی هر چه بیشتر ، نرخ نفوذ هر چاه (در هر فاز بهینه) همراه با مقادیر نرخ نفوذ نرمال شده برای چاه های هر فاز و برای قطر مته های مورد استفاده در شکل های ۴-۱۹ تا ۴-۲۲ آورده شده است تا چاهی که بطور بهینه (با نرخ نفوذ بیشتر) حفاری شده است را نسبت به سایر چاه ها بهتر تشخیص دهیم. در اشکال فوق نرخ نفوذ چاه هایی که در هر فاز بالاتر از خط قرمز رنگ (متوسط مقدار نرمال شده نرخ نفوذ) قرار می گیرند مربوط به چاه هایی می باشند که نرخ نفوذ آنها متاثر از سه عامل وزن روی مته ، وزن گل و چرخش مته نمی باشند بلکه نشان دهنده طراحی و چیدمان صحیح تجهیزات درون چاهی رشته ابزار حفاری (BHA) در آن چاه می باشد.

به طور کلی باید بدانیم منظور از فاز بهینه، فازی است که در آن راندمان حفاری (نرخ نفوذ) بیشتر بوده است و این کار برای هر قطر مته با توجه به نمودارهای قبلی ، صورت گرفت.

جدول ۴-۱۰ - محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده مته ۸.۵ اینچی را برای چاه های رانده شده در فاز ۶ نشان می دهد.

| Phase 6 | | 8.5" | |
|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| well number | Difference from Average | Percentage to Average | ROP Nor. Ave. |
| 1 | -6.03 | -0.372682324 | 16.17722237 |
| ۲ | -4.71 | -0.291100124 | 16.17783041 |
| ۳ | 11.64 | 0.719406675 | 16.18536179 |
| ۴ | 0.49 | 0.030284302 | 16.18022571 |
| ۵ | 2.55 | 0.157601978 | 16.18117462 |
| ۶ | 6.24 | 0.38566131 | 16.18287436 |
| ۷ | -3.83 | -0.23671199 | 16.17823577 |

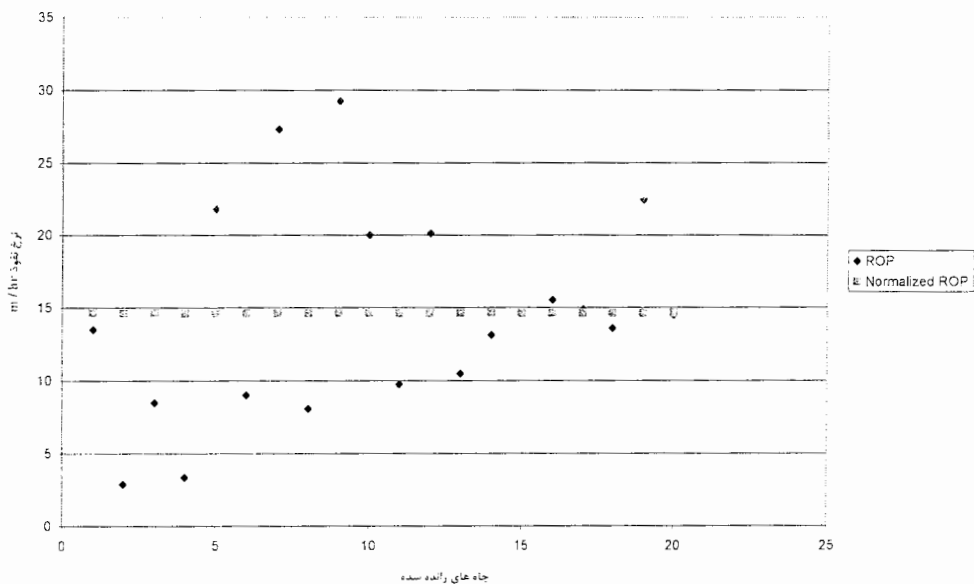
| | | | |
|----|-------|--------------|-------------|
| ۸ | -3.23 | -0.199629172 | 16.17851215 |
| ۹ | 2.75 | 0.169962917 | 16.18126675 |
| ۱۰ | -3.33 | -0.205809642 | 16.17846609 |
| ۱۱ | -9.51 | -0.58776267 | 16.17561936 |
| ۱۲ | 6.97 | 0.430778739 | 16.18321062 |



شکل ۴-۱۹- ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ برای مته ۸.۵" در چاه های رانده شده را نشان می دهد، که با توجه به نرخ نفوذ بالاتر، عملکرد چاه رانده شده سوم را نسبت به بقیه چاه ها بهینه تر می داند.

جدول ۴-۱۱ - محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده متبه ۱۲.۵ اینچی را برای چاه های رانده شده در فاز ۶ نشان می دهد.

| Phase 6 | | 12.5" | |
|-------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| well number | Difference from Average | Percentage to Average | Nor. Percentage to Ave. |
| ۱ | -13.28 | -0.907527965 | 14.64342022 |
| ۲ | -7.7 | -0.526202209 | 14.63910818 |
| ۳ | -12.85 | -0.878142647 | 14.64308793 |
| ۴ | 5.63 | 0.384742654 | 14.62580722 |
| ۵ | -7.18 | -0.490666475 | 14.65870635 |
| ۶ | 11.12 | 0.759917995 | 14.62456474 |
| ۷ | -8.09 | -0.552854009 | 14.63940956 |
| ۸ | 13.07 | 0.893176996 | 14.62305784 |
| ۹ | 3.82 | 0.261050966 | 14.63020593 |
| ۱۰ | -6.42 | -0.438729634 | 14.63811904 |
| ۱۱ | 3.92 | 0.267884761 | 14.63012865 |
| ۱۲ | -5.7 | -0.38952631 | 14.63756265 |

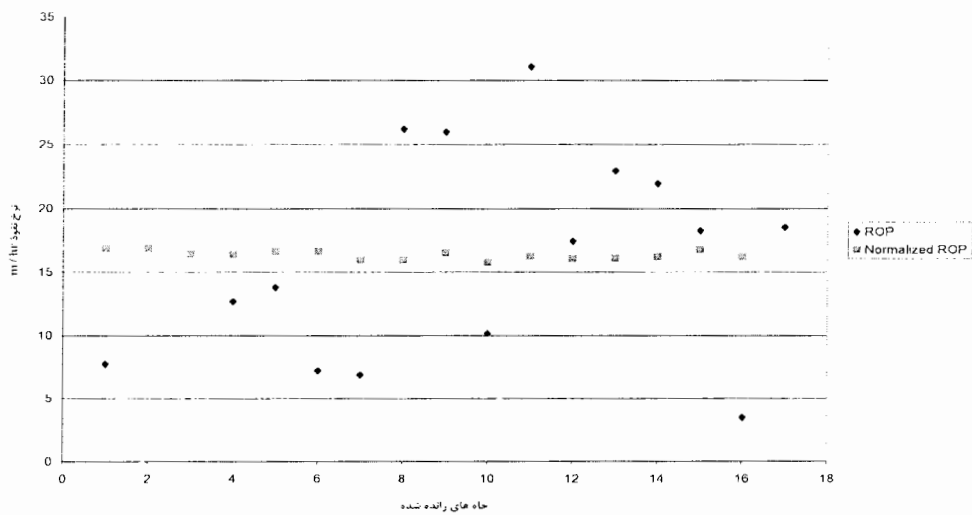


شکل ۴-۲۰ - ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ برای متبه ۱۲.۵ اینچی در چاه های رانده شده را نشان می دهد، که با توجه به نرخ نفوذ بالاتر، عملکرد چاه رانده شده چهارم را نسبت به بقیه چاه ها بهینه تر می داند.

جدول ۴-۱۲ محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده مته ۱۶ اینچ برای چاه های رانده شده در فاز ۶

نشان می دهد.

| well number | Difference from Average | Percentage to Average | Nor. Percentage to Ave. |
|-------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| ۱ | -16.18 | -0.992394504 | 16.88009493 |
| ۲ | -16.18 | -0.992394504 | 16.88009493 |
| ۳ | -3.47 | -0.212831207 | 16.42755064 |
| ۴ | -2.38 | -0.145976447 | 16.38874079 |
| ۵ | -8.96 | -0.549558391 | 16.62302414 |
| ۶ | -9.26 | -0.567958783 | 16.63370575 |
| ۷ | 10.05 | 0.61641315 | 15.946166 |
| ۸ | 9.82 | 0.602306183 | 15.95435524 |
| ۹ | -6 | -0.368007851 | 16.51763224 |
| ۱۰ | 14.93 | 0.915726202 | 15.77241178 |
| ۱۱ | 1.26 | 0.077281649 | 16.25913723 |
| ۱۲ | 6.77 | 0.415235525 | 16.06295163 |

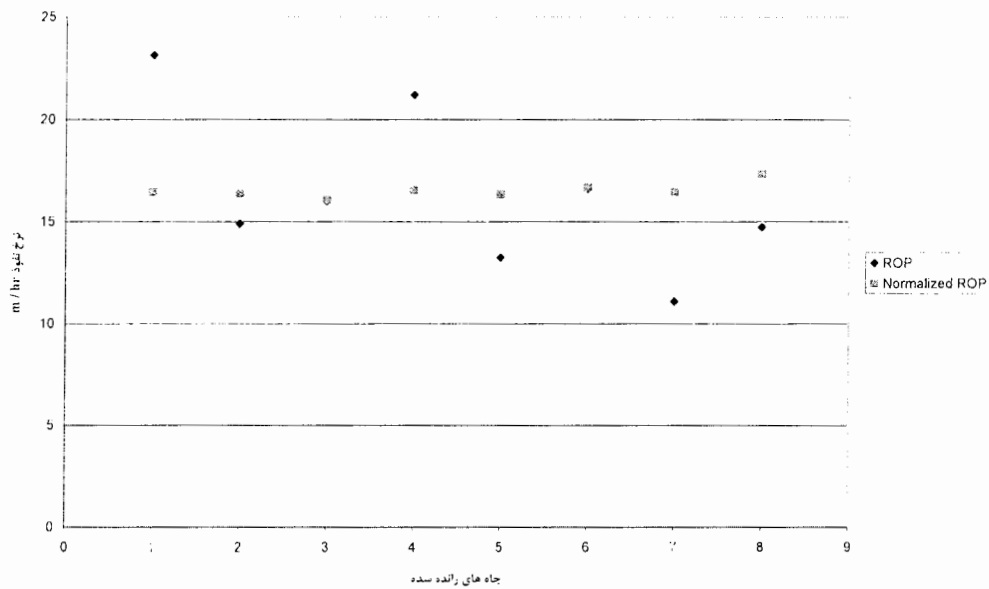


شکل ۴-۲۱ - ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۶ برای مته ۱۶ اینچ در چاه های رانده شده را نشان می دهد، که با توجه به نرخ نفوذ بالاتر، عملکرد چاه رانده شده پانزدهم را نسبت به بقیه چاه ها بهینه تر می داند.

جدول ۴-۱۲ محاسبات میانگین نرخ نفوذ نرمال شده مته ۲۴ اینچی را برای چاه های رانده شده در فاز ۸

نشان می دهد.

| well number | Phase 8 | 24" | Difference from Average | Percentage to Average | Nor. Percentage to Ave. |
|-------------|---------|-----|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | | | -16.18 | -0.988755805 | 17.33111985 |
| ۲ | | | -1.28 | -0.078220484 | 16.44050886 |
| ۳ | | | -0.18 | -0.010999756 | 16.37475906 |
| ۴ | | | 5.01 | 0.306159863 | 16.06453953 |
| ۵ | | | -2.93 | -0.179051577 | 16.53913357 |
| ۶ | | | 0.42 | 0.025666096 | 16.33889553 |
| ۷ | | | -5.08 | -0.310437546 | 16.66764455 |
| ۸ | | | -1.44 | -0.087998044 | 16.45007247 |



شکل ۴-۲۲ - ارتباط نرخ نفوذ نرمال در فاز ۸ برای مته ۲۴" در چاه های رانده شده را نشان می دهد، که عملکرد چاه رانده شده هشتم را نسبت به بقیه چاه ها بهینه تر می داند.

همان‌گونه که در جداول و نمودارهای فوق مشاهده می‌گردد، اگرچه در عملیات‌های مختلف به ظاهر سرعت نفوذ مته متفاوت است، اما با حذف اثر گل، دور مته و وزن روی مته و در نظر گرفتن تنها اثر تجهیزات درون چاهی، با توجه به اینکه تجهیزات مورد استفاده در این فاز برای این قطر ثابت بوده‌اند، مقادیر بدست‌آمده برای نرخ نفوذ از روی محاسبات بسیار به هم نزدیک هستند. دقت کنیم که مقادیر محاسبه شده مقادیر نرمال بوده و با توجه به شباهت تجهیزات مورد استفاده در هر فاز برای هر قطر، اعداد محاسبه‌شده باید نزدیک به هم باشند. نتایج حاصله به شرح زیر است.

انتخاب BHA مناسب در مورد قطر $8\frac{1}{2}$ " سومین عملیات از فاز ششم با نرخ نفوذ $27/82$ نتیجه بهتری دارد. در قطر $12\frac{1}{4}$ " چهارمین عملیات با نرخ نفوذ $21/81$ بهترین عملکرد را داراست. در اندازه 24 " عملکرد چاه هشتم از همه مناسب‌تر است. لذا با توجه به داده‌های آماری BHA با بهترین عملکرد در جداول ۴-۱۴ تا ۴-۱۷ برای قطرهای مختلف انتخاب می‌شود. که در انتخاب نهایی به چیدمان صحیح BHA Tools می‌رسیم که با این دید می‌توان به نوع جنس و تکنولوژی و نوع طراحی BHA بکار رفته پی برد که این مهم از دست طراحان حرفه‌ای BHA در شرکت‌هایی چون Stat oil شلمبرژه و ... برمی‌آید.

در انتها با بدست آوردن یک روال مشخص برای یافتن چاه بهینه از یک فاز بهینه به این مهم می‌رسیم که یک برنامه نرم افزاری طراحی کنیم که با دادن داده‌های مشخص حفاری به نتیجه حاصله دست پیدا کنیم که در صفحه بعد این برنامه به صورت Text آمده است و فایل اجرایی آن ضمیمه این پروژه به استاد راهنمای اینجانب تقدیم شده است. این برنامه در محیط نرم افزاری مطلب تهیه شده است. البته در استفاده از این نرم افزار باید بدانیم که از داده‌های پرت باید خودداری شود و نیز در حین استفاده از داده‌های دیگر نیز پردازش داده صورت گیرد بطوریکه در حین کار داده‌ها را با تفسیری مناسب بصورت صحیح استفاده شود.

جدول ۴-۱۴ - BHA TOOLS بهینه برای قطر 8 1/2" را نشان می دهد.

| ردیف | نوع ابزار | برند | مدل | قطر | طول | وزن | تعداد | حجم | |
|------|-----------|--------------|-------------|---------|-------|------------|--------|--------|---|
| 15 | تور | | | Z | 4.778 | | 0 | 272.65 | |
| 14 | تور | Drilco Grant | | 5 1/2 | 3.31 | | 10.08 | 272.65 | |
| 13 | تور | Smith | 12836 | 7 | 2.7/8 | | 10.16 | 262.57 | |
| 12 | تور | Drilco Grant | | 5 1/2 | 3.31 | | 27.97 | 252.41 | |
| 11 | تور | Smith | 3392D | 7 | 2.7/8 | | 9.86 | 224.44 | |
| 10 | تور | Drilco Grant | | 5 1/2 | 3.31 | | 176.93 | 214.58 | |
| 9 | تور | Rig | | 6 3/4 | 2.7/8 | | 1 | 37.65 | |
| 8 | تور | INTEQ | DOT 1280 | 6 3/4 | 5 | 3 1/4 | 9.38 | 36.65 | |
| 7 | تور | BHI | 10030871 | 6 3/4 | 2.3.4 | | 8.02 | 27.27 | |
| 6 | تور | INTEQ | 10083816 | 6 3/4 | 2.3.4 | | 2.37 | 19.25 | |
| 5 | تور | INTEQ | 10026790 | 8 3/8 | 6 3/4 | 2.3.4 | 2.48 | 16.88 | |
| 4 | تور | INTEQ | 6306 | 6 3/4 | 2.3.4 | | 5.4 | 14.4 | |
| 3 | تور | BHI | 3884-0001-2 | 8 15/32 | 6 1/2 | 2 13/16 | 6 1/2 | 1.72 | 9 |
| 2 | تور | BHI | 10133469 | 8 3/8 | 6 3/4 | 5.4 | 7.05 | 7.28 | |
| 1 | تور | Hycalog | 206508 | 8 1/2 | | | 0.23 | 0.23 | |

جدول ۴-۱۵- BHA TOOLS بهینه برای قطر 12 1/4" را نشان می دهد.

| ردیف | شرح | نوع | مدل | قطر | طول | وزن | تعداد | حجم | قیمت |
|------|-----|----------------|-------------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|
| 18 | | Rig | | 5 1/2 | 1 7/8 | | | 1350 | 1576.41 |
| 17 | | Rig | | 5 1/2 | 3 5/16 | | | 55.9 | 226.41 |
| 16 | | Rig | | 8 | 2 7/8 | | | 0.97 | 170.51 |
| 15 | | corrosion Ring | | 8 | 3 | | | 9.29 | 169.54 |
| 14 | | Smith | 88080C | 8 | 3 | 7 5 8 | | 10.25 | 160.25 |
| 13 | | Rig | | 8 | 3 | | | 18.51 | 150 |
| 12 | | Smith | 951 | 8 | 3 | 7 7 8 | | 9.8 | 131.19 |
| 11 | | Rig | | 8 | 3 | | | 83.26 | 121.69 |
| 10 | | | SBMLF48BB | 8 | 3 | 8 | | 9.4 | 38.33 |
| 9 | | | 800BP030MP | 8 | 3 | | | 2.4 | 28.97 |
| 8 | | INTEQ | 10063258 | 8 | 2 4 5 | 8 | | 1.57 | 26.49 |
| 7 | | INTEQ | 659-633-577 | 8 | 3 | | | 7.88 | 24.92 |
| 6 | | | 324 | 8 | 3 | 6 1 2 | | 0.63 | 17.04 |
| 5 | | INTEQ | 8410B | 8 | 3 | 8 | | 3.22 | 16.41 |
| 4 | | INTEQ | HS1113 | VAR | 9 1 2 | 3 | 9 | 3.4 | 13.19 |
| 3 | | Baker Hughes | 10120513 | 12 1/8 | 9 1/2 | 7 6 | 9 1/2 | 8.95 | 9.73 |
| 2 | | BHJ | 9601106 | 12 7/32 | 8 | 3 | 8 | 0.41 | 6.78 |
| 1 | | Smith | SG1748 | 12 1/4 | | | | 0.37 | 0.37 |

جدول ۴-۱۶ - BHA TOOLS بهینه برای قطر ۱۶" را نشان می دهد.

| ردیف | شرح | سازنده | مدل | قطر | طول | وزن | تعداد | حجم | قیمت |
|------|-----|-------------------|------------|--------|---------|-------|--------|-------|--------|
| 19 | ... | Rig | | 5 1/2 | 3 3/4 | | | 55 47 | 225 61 |
| 18 | ... | Rig | | 8 | 2 7/8 | | | 0 91 | 170 14 |
| 17 | ... | Rig | | 8 | 2 7/8 | | | 9 43 | 169 23 |
| 16 | ... | Houston Engineers | 44440C | 8 | 3 | 7 5/8 | | 9 98 | 159 8 |
| 15 | ... | Rig | | 8 | 2 7/8 | | | 18 75 | 149 82 |
| 14 | ... | Houston Engineers | WDAH-02853 | 8 | 3 | 7 7/8 | | 9 79 | 131 07 |
| 13 | ... | Rig | | 8 | 2 7/8 | 8 | | 72 45 | 121 26 |
| 12 | ... | BHI | | 9 1/2 | 3 | | | 0 46 | 48 83 |
| 11 | ... | BHI | J407 | 9 1/2 | 3 | | | 9 12 | 48 17 |
| 10 | ... | BHI | 3076 | 9 1/2 | 3 | | | 1 95 | 39 25 |
| 9 | ... | BHI | LR 81 | 9 1/2 | 3 | | | 9 3 | 37 3 |
| 8 | ... | INTEQ | 10152807 | 9 1/2 | 2 4/5 | | | 1 63 | 28 |
| 7 | ... | INTEQ | J-311 | 9 1/2 | 2 64/79 | | | 8 77 | 26 37 |
| 6 | ... | BHI | J451-1 | 9 1/2 | 4 | | | 2 88 | 17 6 |
| 5 | ... | BHI | 016-052 | 14 3/4 | 9 1/2 | 3 | 9 5/8 | 1 66 | 14 72 |
| 4 | ... | BHI | LHD6/01 | 9 1/2 | 4 | | | 2 99 | 13 06 |
| 3 | ... | BHI | 1014160 | 9 1/2 | | | 11 1/4 | 8 92 | 10 07 |
| 2 | ... | BHI | 4885 | 47 5/6 | 9 1/2 | 3 | 9 3/8 | 0 69 | 1 15 |
| 1 | ... | HCC | 7204014 | 16 | | | | 0 46 | 0 46 |

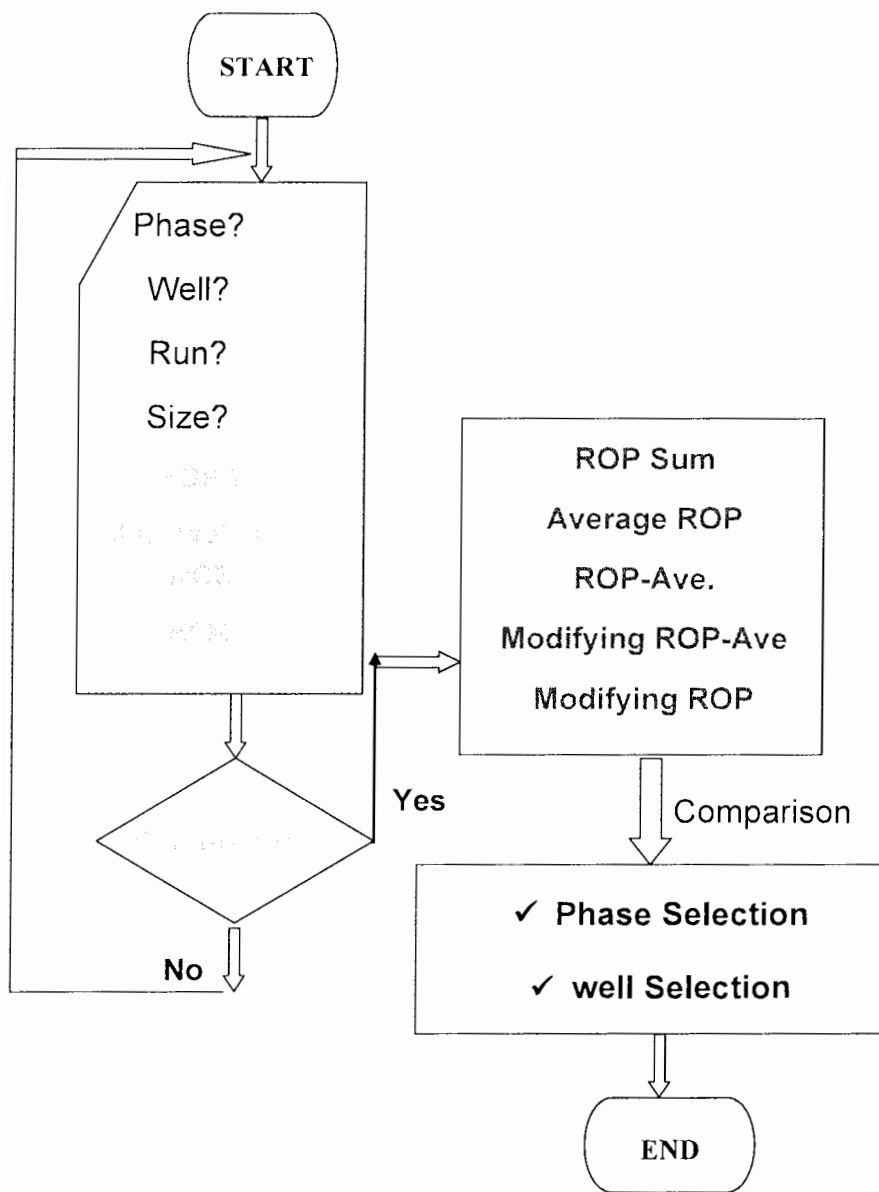
جدول ۴-۱۷ - BHA TOOLS بهینه برای قطر 24" را نشان می دهد.

| 16 | | DRILCO GRANT | | | 5 1/2 | 3 5/16 | | 55.73 | 213.83 |
|----|--|--------------------|------------|--------|--------|-----------|-------|-------|--------|
| 15 | | | | | 8 | 2 7/8 | | 1.15 | 158.1 |
| 14 | | | | | 8 | 3 | | 18.9 | 156.95 |
| 13 | | Smith | 8808OC | | 8 | 3 | 7.5.8 | 10.06 | 138.05 |
| 12 | | | | | 8 | 3 | | 28.28 | 127.99 |
| 11 | | | | | 8 | 3 | | 1.14 | 99.74 |
| 10 | | | | | 9 1/2 | 3 | | 9.2 | 98.57 |
| 9 | | Smith | O2061 | | 9 1/2 | 3 | | 10.07 | 89.37 |
| 8 | | Rig | | | 9 1/2 | 3 | | 45.94 | 79.3 |
| 7 | | BHI | J-311 | | 9 1/2 | 4 | | 8.88 | 33.36 |
| 6 | | BHI | 9016 | | 9 1/2 | 3 1/8 | | 0.69 | 24.48 |
| 5 | | INTEQ | 10120621 | | 9 1/2 | 4 | | 1.62 | 23.79 |
| 4 | | Baker Hughes INTEQ | 338 | | 9 1/2 | 4 | | 9.33 | 22.17 |
| 3 | | BHI | SMBJ-451-1 | | 9 4/9 | 3 | | 3.07 | 12.84 |
| 2 | | bhi w/23 1/4"UBHS | 11-160 | 23 1/4 | 11 1/4 | 9 1/3 | 9.4.7 | 9.2 | 9.77 |
| 1 | | Smith | MX 0375 | 24 | | | | 0.57 | 0.57 |

۳-۴ - برنامه نرم افزاری مطلب برای ارائه مدل بهینه

برنامه ای که برای این پروژه (رسیدن به یک چیدمان موفق BHA برای دستیابی به یک حفاری بهینه)، تهیه کردیم در محیط برنامه ریزی مطلب می باشد و با توجه به اینکه در ابتدا به یک فاز بهینه و سپس به چاه مورد نظر از لحاظ انتخاب چیدمان BHA برای آن قطر مته می رسیم، زیر ساخت های این برنامه نسبت به این روال ساخته شده است، که شکل ۴-۲۳ فلوجارت این برنامه را نمایش می دهد و متن کد این برنامه نیز در پیوست د آمده است.

همان طور که در فلوجارت این برنامه مشاهده می شود، در ابتدا داده های مربوط به چاه های موجود در فازها را از ما می خواهد. که در ابتدا شماره فاز را از ما می خواهد و سپس نوع چاه و سایز آن را و در ادامه با توجه به تعداد چاهی که در این برنامه وارد می کنیم ، داده های مربوط به نرخ نفوذ، وزن گل، وزن روی مته، و سرعت چرخش را برای آن چاه رانده شده از ما می خواهد. سپس در حین برنامه به سوالاتی چون آیا داده های چاه دیگری در آن فاز وارد می کنید یا نه؟ اگر نه به محاسبه و پردازش داده ها پرداخته شود؟ پرداخته می شود که این روال با وارد کردن تعداد فازهایی که داریم و چاه های رانده شده در آنها ادامه پیدا می کند و در آخر به پردازش این داده ها می پردازد که شامل مواردی است که در متن پروژه آمده است یعنی ابتدا فاز بهینه را با توجه به نرخ نفوذ نرمالایز شده و با حذف موارد تاثیرگذار دیگر روی نرخ نفوذ برای برجسته شدن چیدمان موفق BHA، انتخاب و سپس در آن فاز، چاه بهینه را انتخاب می کند تا در انتها به چیدمان BHA موفق برسیم.



شکل ۴-۲۳- نمایش فلوجارتری مربوط به برنامه نرم افزاری مطلب در انتخاب BHA بهینه در فاز بهینه پلرس جنوبی

فصل - ۵ جمع بندی ،
نتیجه گیری و
پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی

بررسی حاضر نشان می دهد که عوامل مختلفی منجمله ویژگیهای مته، وزن روی مته، سرعت چرخش مته، طراحی هیدرولیک مناسب، خصوصیات گل و همچنین تجهیزات درون چاهی (BHA) در راندمان حفاری و بهینه سازی آن موثر می باشند.

از آنجا که بهینه بودن یک عملیات حفاری به یکسری عوامل کنترل شونده و غیر قابل کنترل زیادی از جمله، مهارت نیروی انسانی بستگی دارد می توان از نرخ نفوذ مته در سازند به عنوان شاخص مناسبی از یک عملیات حفاری مناسب استفاده نمود. نرخ نفوذ مته در سازند به عواملی همچون وزن گل، سرعت چرخش، وزن روی مته و تجهیزات درون چاهی و... بستگی دارد. سه پارامتر اول به صورت کمی قابل اندازه گیری هستند و پارامتر چهارم یعنی تجهیزات درون چاهی تنها به صورت کیفی قابل بررسی است. به منظور رسیدن به هدف (طراحی بهینه) ابتدا از مفاهیم آماری همچون ضریب همبستگی استفاده نموده و با بدست آوردن داده های مرتبط بین این پارامتر های وابسته به نرخ نفوذ ابتدا فاز مناسب را در بین فازهای پارس جنوبی پیدا کرده ، سپس پس از انتخاب فاز مناسب در قطر های مختلف مته به بررسی چاه های موجود در آن فاز ها پرداخته و چاه بهینه را نیز در قطر خاص خودش پیدا نمودیم. در تمامی این مراحل تاثیر BHA در نرخ نفوذ مته در سازند و چاه های مختلف برجسته بوده است. روال طراحی بدین گونه بوده است که ابتدا بهینه سازی راندمان حفاری در فازها و سپس در چاه های مختلف انجام شد.

۵-۲- نتیجه گیری

در این پروژه به نتیجه رسیدیم که طراحی BHA و عوامل موثر در طراحی آن و شناخت بکارگیری فنی در مراحل طراحی بسیار حائز اهمیت است بطوریکه وقتی به داده های حفاری پارس جنوبی پرداختیم، متوجه شدیم که طراحی مناسب اولیه و همچنین ریسک حاصل از آن همیشه اصل نخواهد بود بلکه انتخاب صحیح و بکارگیری مناسب BHA Tools و فراگیری دانش استفاده از آن یکی از مهمترین مراحل قدم گذاشتن به شروع حفاری است فلذا با در نظر گرفتن عوامل کلیدی می توان زمان حفاری و برداشت مناسب از مخازن نفت و گاز را برای آینده بهینه محسوب کرد. بطوریکه با توجه به تاثیر عواملی مثل وزن مته، و میزان چرخش و وزن گل بر روی نرخ نفوذ، عامل BHA و استفاده از یک چیدمان برتر برای داشتن راندمان بالای حفاری بیشتر به چشم می خورد. در این پروژه نیز با در نظر گرفتن روابط آماری که بین عوامل تاثیر گذار بر نرخ نفوذ حفاری وجود دارد می توان نتیجه گرفت که فاز انتخابی برای داشتن راندمان بالا کدام فاز می باشد و سپس به این طریق چاه بهینه را در فاز انتخابی از بین چاه های رانده شده در آن فاز انتخاب کرده و چیدمان BHA TOOLS آن را گزارش دهیم. این نتیجه با توجه به آمار تجربی که از کارهای حفاری صورت گرفته شده است، بسیار منطقی و صحیح بوده و می توان نوع چیدمان صحیح و طراحی بکار گرفته شده در آن BHA TOOLS را در تجربیات چاه های آتی گنجانند. در انتها نیز با توجه به روالی که در بدست آوردن چیدمان موفق برای BHA TOOLS در بین فاز ها و چاه های رانده شده آن بکار گرفتیم ، برنامه ای در محیط برنامه ریزی مطلب تهیه شده است که این روال دستی را، کامل کرده است.

در نهایت نتایج بدست آمده نشان می دهد که در مورد قطر مته "81/2 سومین عملیات از فاز ششم با نرخ نفوذ 27/82 و در قطر "12 1/4 چهارمین عملیات با نرخ نفوذ 21/81 و در قطر مته "24 عملکرد چاه اول از همه مناسب تر است.

۵-۳- پیشنهادات:

- ۱- به منظور بالا بردن دقت طراحی و مقایسه نتایج، بهتر است از نرم افزارهای مربوط در طراحی مانند Drilling office که در انحصار کمپانی شلمبرژه است استفاده شود چرا که هم از خطاهای دستی و هم از خطاهای محاسباتی بدور است و هم در زمان کمتری به یک تجربه طراحی می رسیم.
- ۲- استفاده از روشهای آنالیز رگرسیونی خطی و غیر خطی چند متغیره در ارزیابی راندمان حفاری و بهینه سازی آن مورد استفاده قرار گیرد.
- ۳- استفاده از روش های هوشمند مثل شبکه های عصبی، فازی، الگوریتم ژنتیک، بکار گرفته شود.
- ۴- برای بهینه سازی واقعی تر راندمان، باید علاوه بر عوامل موثر قابل کنترل و غیر قابل کنترل در نرخ نفوذ، هزینه های مربوطه نیز مدنظر قرار گیرد.

مراجع و منابع

مراجع و منابع

- مطیعی، ه، ۱۳۶۰، "اصول طراحی چاههای انحرافی و روش‌های محاسبه انحراف چاهها"، گزارش فنی شماره پ ۳۷۳۶، انتشارات داخلی، شرکت ملی نفت ایران- مناطق نفت خیز .
- جان احمد، ک، ۱۳۷۸، " اصول طراحی چاههای افقی"، G/NISOC No.49، انتشارات داخلی، شرکت ملی نفت- مناطق نفت خیز .
- جورج اسکوئیت و چارلز گیسون، ۱۹۸۲، "اصول مقدماتی چاه‌پیمائی برای زمین‌شناسان"، ترجمه: علی صیرفیان، ۱۳۷۴، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- جوردکانی، ح، ۱۳۷۸، " خودآموز برنامه نویسی دلفی ۴"، چاپ اول، انتشارات بهینه.
- والی، ع، ۱۳۷۵، "حفاری افقی، طراحی چاه و انتخاب مخزن"، اهواز شرکت ملی نفت ایران، سیمای آموزشی مناطق نفت خیز.
- اداره عملیات مهندسی نفت مناطق نفت خیز، ۱۳۷۴، "ارزیابی حفاری چاههای افقی در میداین مختلف مناطق نفت خیز جنوب"، اهواز شرکت ملی نفت ایران.
- اسماعیلی، س، ۱۳۸۱، "ارائه یک مدل کامپیوتری جهت بهینه سازی طراحی چاههای افقی و پیش بینی تولید چاهها قبل از حفاری".
- اصلو، م، ۱۳۷۰، "مهندسی حفاری"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، .
- کوری باتاچاریا و ریچارد جانسون، ۱۳۶۹، ترجمه: آشوب میکائیلی، مرکز نشر دانشگاهی.
- توفیقی، ۱، ۱۳۷۰، "فرهنگ نفت و گاز"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، آذرماه.
- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب اهواز، گزارشات آماری شماره ۴۹، ۱۳۷۰.
- نجم آبادی، س، ۱۳۷۲، گزارشات نهایی زمین شناسی چاه های میدان گازی پارس جنوبی، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران.

Agip Iran B.V., 2005, "Final Drilling & Testing Report".

Bill, S. & Philip, L. 2002. " Innovative 3d Visualization Tool Promotes Development – Drilling Efficiency, Practical Drilling Technology", Oil & Gas Journal., PP. 206-221.

Burton,B., 1995, "Estimate Damage Effects On Horizontal Wells", Hart's Petroleum Engineer International.

Collins,D.,1996, "Single-Size Reduction Offers Workover, Completion Advantages", Hart's Petroleum Engineer International.

Collier,F.B.,Pickett,S.L.,Sharma,A.K.,andAndstewerat,T.L.,Nov.1995, "Horizontal Wells Optimize Waterflood", Hart's Petroleum Engineer International.

Donald,D.C.,2001, "Successful Horizontal Well Program In Wilmington Field", Presented By Don. Clarke At The EAGE/AAPG., PP.327-343.

Hawker. D.P., 1999, "Geosteering Horizontal Wells Using High Speed Chromatographic Gas Ratios", AAPG., PP.201-2218.

Harry,D., 1997, " Medium-Short-Radius Horizontal Wells Strike Pay Dirt In Arkansas", Hart's Petroleum Engineer International.

Harrison,W.B., 1998, "Horizontal Drilling For Oil & Gas In The Michigan Basin", AAPG., PP. 234-248.

"Historical Perspective" 1997, Hart's Petroleum Engineer International.

Jean. L., 2001. "Estimates Of Oil Reserves", AAPG., PP.421-435.

Konopczynski, M.R., Hughes,J.,and Best,J.E., 1996, "Brief:A Novel Approach To Initiating Multilateral Horizontal Wells", Journal of Petroleum Science & Engineering , PP. 260-276.

Keckler, D., 1994, "Surfer For Windows Tutorial", Pub. Golden Software Inc.

Mohan, K., 2000. "Exploitation & Optimization Of Reservoir Performance In Hunton Formation", Oklahoma , AAPG., PP. 179-195.

Morrissey,F.,1996, "Horizontal Well Strategy Taps Attic Oil", Oil&Gas Journal, PP. 135-152.

Moore, P.L.,1986, "Drilling Practices Manual Second Edition", Pennwell Publishing Company.

Nguyen, J.P., 1996, "Drilling,Oil And Gas Field Development Techniques", Chapter1 Edition Technip, Paris.

Pollastro,R.M.,2003, "Total petroleum system of the paleozonic and Jurassic . Greater Ghawar Uplift and Adjoining Provinces of Central Saudi Arabia and Northern Persian Gulf." U.S. Geological survey Bulletin, 2202-H.

Shelkholesml , B.A. , Schlottman , B. W. , Seldel , F.A.,and Button , D.M., 1991, "Drilling And Production Aspects Of Horizontal Wells In Austin Chal" . Journal of Petroleum Science & Engineering, PP. 375-389.

Schlumberger,1981, "From well evaluation conference", Abu Dhabi.

Szabo, F.. and Keradpir, A., 1978. "Permian and Teriassic stratigraphy of zagros basin, southwest Iran" ;jour. Petrol.Geol., 1 , no.12,p.57-82.

Theming,D.,1996. " Planning And Evaluation Are Crucial Mutilateral Wells". Hart`s Petroleum Engineer International.

Zeigler, M.A., 2001, 'Late Permian to Holocene Paeo- facies Evolution of the Arabian Plate and its Hydrocarbon occurances". GeoArabia, Vol. 6, No. 3, pp. 445-504, Gulf Petrolink, Bahrain.

پیوست - الف

چینه شناسی میدان پارس جنوبی

الف-۱- پرمین

اولین رسوبگذاری گسترده بعد از کوهزایی هرسی نین، رسوبات کلاستیکی کربونیفر میانی - پایانی تا پرمین پیشین بوده که در ایران به نام سازند فراقان و در عربستان سعودی سازند اونایزه نامیده می شود. این سازند ها شامل رسوبات مختلفی از ماسه های بادی ، رودخانه ای ، آبرفتی ، پرکننده کانال تا نزدیک ساحل و رسوبات دریایی کم عمق هستند. قاعده سازند اونایزه شامل ماسه سنگهای دانه ریز تا دانه درشت است. منشا این ماسه سنگها از حرکت دوباره سنگهای پالئوزوئیک قدیمی تر است.

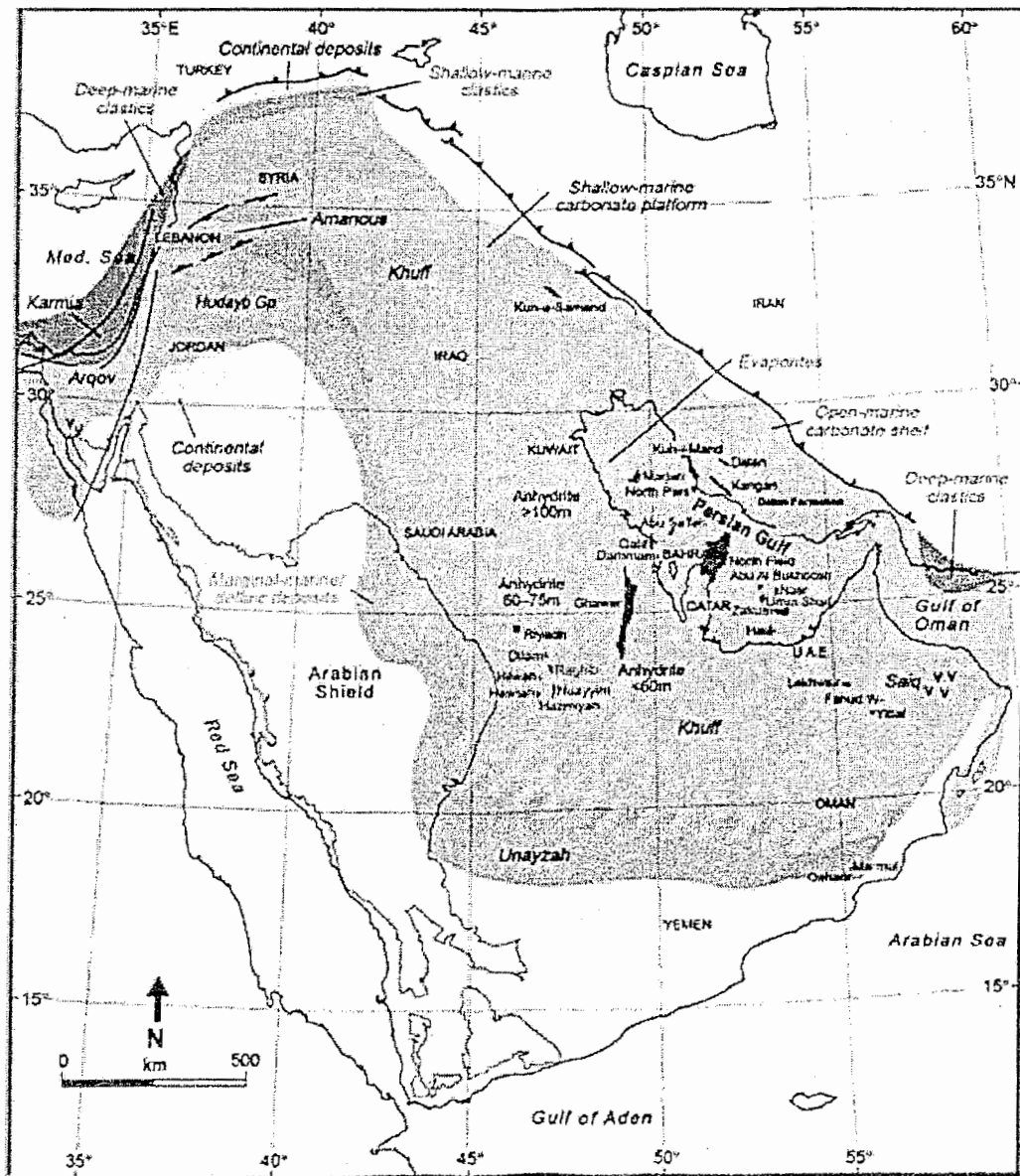
در کوههای زاگرس سنگهای پرمین پایینی در چندین نقطه ، مانند اشتران کوه ، کوه دینار، کوه سورمه، و کوه فراقان رخنمون دارند. ضخیم ترین رخنمون ، مربوط به کوه فراقان در ۸۰ کیلومتری شمال بندرعباس است. در این رخنمون مقاطع کلاسیکی حدود ۳۴۰ متر ضخامت دارند که در گذشته به نام سازند فراقان نامیده می شود. اخیراً^۱ با توجه به شناسایی گونه های پالینومورف سن دونین تا پرمین زیرین را برای آن در نظر گرفتند. از آن پس فقط سکانس های پرمین تحتانی را که از ماسه سنگ، سیلتستون و شیل تشکیل شده اند را به نام سازند فراقان می نامند.

در پرمین پایانی ، با توجه به باز شدن نئوتتیس و ریفت قاره ای در امتداد درز زاگرس ، یک پیشروی با سیکل منطقه ای با محیط رسوبی کربناته بوجود می آید. در طول این دوره زمانی ، سکانس ضخیم کربناته و انیدریتی سازند دالان رسوب می کنند که تا اوایل تریاس ادامه میابد. این سازند به سه بخش^۲ قابل تقسیم است [Szabo and kheradpir, 1978] (شکل الف-۱).

الف) بخش کربناته زیرین (غیر رسمی) : دارای لیتولوژی آهک و دولومیت است. ضخامت آن در مقطع تیپ حدود ۲۷۵ متر و در چاه شماره یک پارس جنوبی حدود ۳۲۳ متر می باشد.

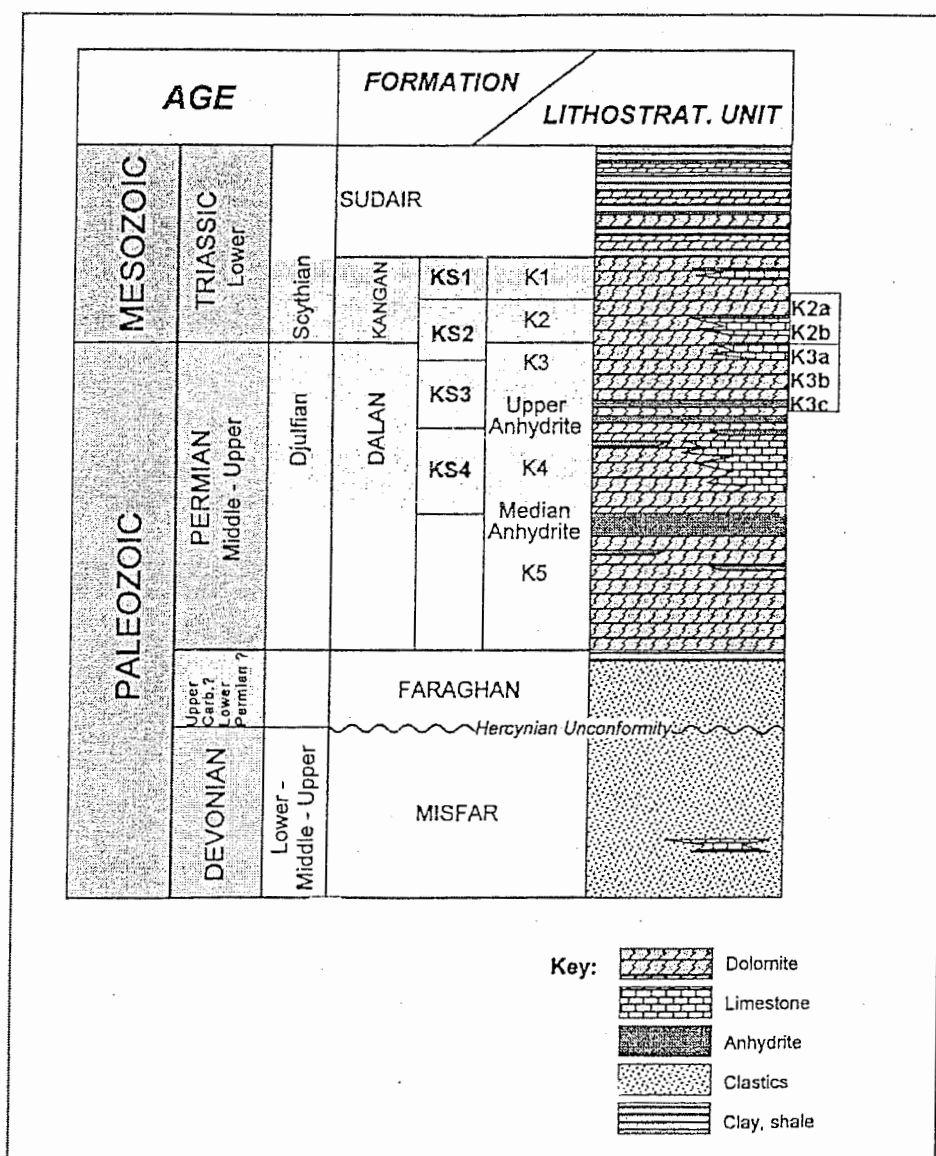
ب) بخش تبخیری نار (رسمی) : از انیدریت و دولومیت تشکیل شده است. ضخامت آن در مقطع تیپ حدود ۲۲۵ متر و در چاه شماره یک پارس جنوبی ۱۵۷/۷ متر می باشد.

در خلیج فارس و عربستان به واحد های k3, k4, k5 تقسیم می شوند. واحد k3 بر اساس تغییرات رخساره ای، اختصاصات سنگ شناسی و مشخصات مخزنی به سه زیر واحد k3a, k3b, k3c تقسیم نموده اند. این سه زیر واحد اساساً دولومیتی بوده و حاوی سیمان انیدریتی و بین لایه های آهکی، آهک دولومیتی و دولومیت آهکی است (شکل الف- ۲).



شکل الف-۱- حوضه رسوبی پرمین پایانی (دالان) [Ziegler, 2001]

مرز پرمو- تریاس بجز چند نقطه محدود در اغلب نواحی زمین با یک هیاتوس کوتاه تا طولانی مواجه بوده است. شناسایی این مرز در میدان پارس جنوبی به آسانی قابل تشخیص نمی باشد. با مطالعات چینه شناسی و فسیل شناسی که توسط مارو و ویرگون^۱ در روی دو چاه در میدان پارس جنوبی و روی و مسه^۲ که بر روی رخنمون های کوه دنا و سورمه انجام شد، اشکوپ دوراشامین (بالاترین بخش پرمین) دارای نبود چنه شناسی است.



شکل الف-۲- چینه شناسی میدان پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر [Schlumberger, 1981]

1-Marro & Virgone, 1999

2- Rouyer & Masse, 2002

رسوبات معادل سازند دالان در عربستان سعودی سازند خوف نامیده می شود که دارای رسوبات آبهای کم عمق و محدود با فونای دریایی است. به سمت شرق و شمال شرق ، در قطر ، عمان ، امارات متحده عربی و ایران ، رخساره های مخزنی کمتر در محیط های محصور شده تشکیل شده اند و بیشتر با فونا های دریایی باز هستند.

ضخامت رسوبات کربناته و تبخیری از ۸۵ متر در حاشیه غربی حوضه (ربع الخالی) در جنوب غربی عربستان تا بالای ۸۵۰ متر در ایران و منطقه خلیج فارس می رسد.

الف-۲- تریاس

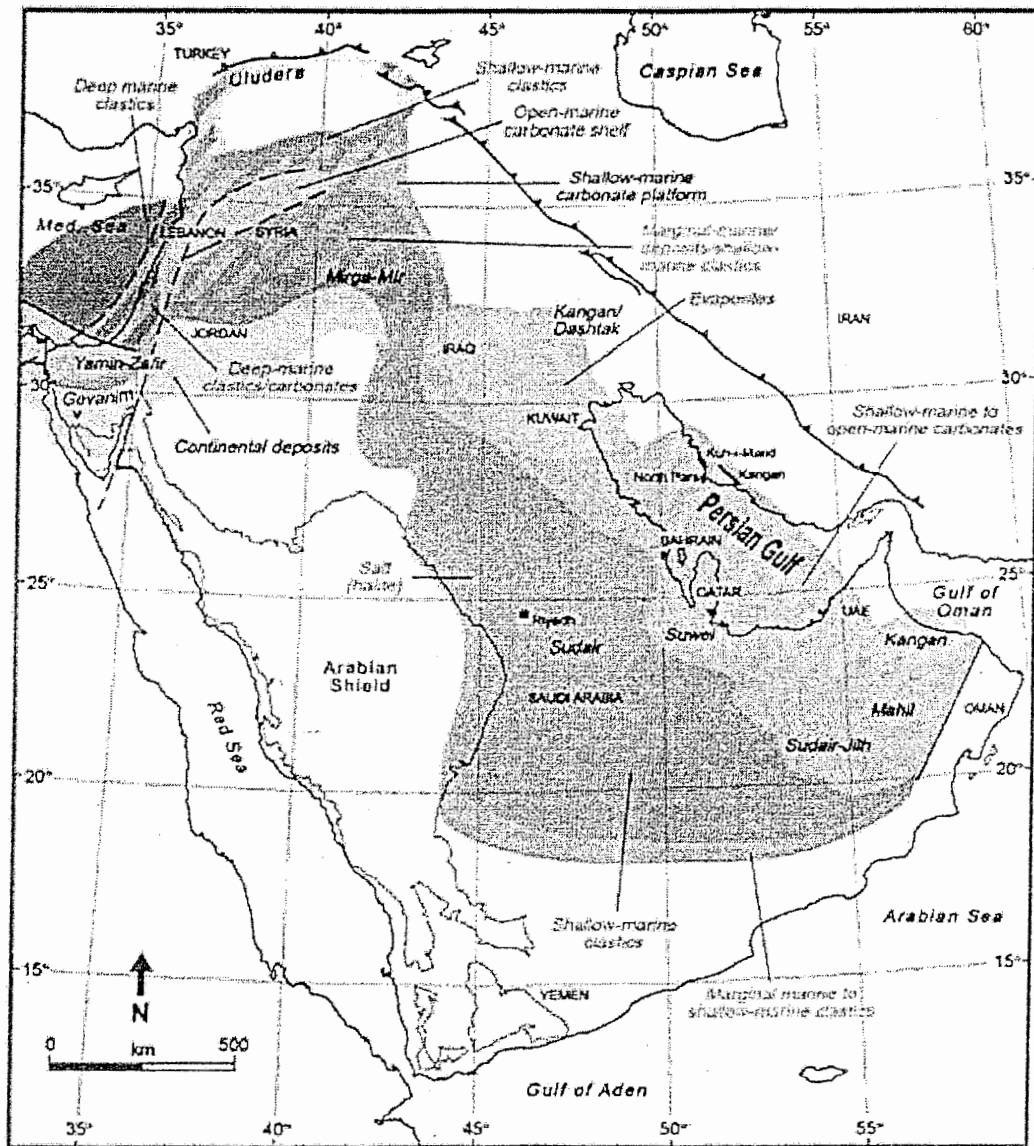
در ابتدای تریاس ویدنبال رسوبات کربناته دالان ، تبخیریها و کربناته های سازند کنگان اغلب در همان محیط مشابه محیط قبلی رسوب کردند. سازند کنگان به واحد های k_1, k_2 قابل تقسیم می باشند.

ضخامت آن در مقطع تیپ حدود ۲۵۰ متر می باشد [Szabo and kheradpir .1978].

این سازند به وسیله شیل ها ، انیدریتها، و کربناته های سازندهای تشتک و خانه کت (سورمه) پوشیده می شوند (شکل الف-۳). واحد k_2 معدل بخش زیرین سازند کنگان، بر اساس تغییرات رخساره ای و اختصاصات سنگ شناسی به دو زیر واحد مجزا k_{2a}, k_{2b} تقسیم می شوند. بخش زیرین آن k_{2b} در قسمت زیرین و میانی آهکی و در بالا آهک تا آهک دولومیتی است. بخش بالایی این توالی از واحد دولومیتی متوسط لایه و دولومیت آهکی با نودولهای بزرگ انیدریتی تشکیل شده است (شکل الف-۱).

مهمترین حرکات در تریاس پایانی در ایران جدا کردن پلاتفرم پالئوزوئیک به دو بخش مجزا است. خط جدا کننده آنها خط تراست زاگرس یا درز زاگرس است.

بخش شمالی ، شامل شمال، مرکز و بخش های شرقی ایران می باشد که دارای چندین وقایع تکتونیکی ، تغییر در رخساره و ضخامت رسوبات، ناپیوستگی ، فورانهای آتشفشانی همراه با متامورفیسم است. بنابراین تاریخچه زمین شناسی مناسبی برای حفظ هیدروکربور نمی باشد.



شکل الف-۳- حوضه رسوبی تریاس زیرین (کنگان) [اقتباس از Konert et al, 2001]

پارس جنوبی بخشی از منطقه جنوبی است و اغلب رسوبگذاری در آن در کل مزوزوئیک و دوره تریاری ادامه یافت. رسوبات تریاس در این میدان از پایین تا بالا شامل کنگان و دشتک می باشد (شکل الف-۳).

سازند دشتک از سنگهای شیل ، انیدریت ، دولومیت ، آهک تشکیل شده و در طی توسعه چاه ها در این میدان گهگاهی گل های سست همراه با کمی گاز و آب نیز به ثبت رسیده است. پایین ترین بخش سازند دشتک به نام ممبر شیلی آگار که شامل شیل های قرمز و قهوه ای و در زیر آن بالاترین بخش سازند کنگان قرار گرفته است که غیر رزرواری است. بخش رزرواری سازند کنگان اساساً در قسمت پایینی و میانی آن واقع شده که از بخش آهکی و دولومیتی ساخته شده است.

الف-۳- ژوراسیک

رسوبات ژوراسیک در این میدان اغلب شامل رسوبات کربناته و تبخیری هستند. کربناته های سازند سورمه دارای خواص مخزنی خوبی در این بخش هستند و انیدریت هیث که بخش نفوذ ناپذیر می باشد روی آن قرار دارد (شکل الف-۴). اما هیچ هیدروکربور اقتصادی در سنگهای این بخش از میدان یافت نشده است. غیبت هیدروکربور ها در سیستم ژوراسیک این میدان دلایل مختلفی می تواند داشته باشد، که از آن جمله نابالغ بودن سنگ منشا است و شاید احتمالاً عمق تدفین برای ایجاد هیدروکربور کافی نباشد. در مناطق شمال شرقی زاگرس ، در مرکز، شمال و بخش های شرقی ایران ، سنگهای ژوراسیک دارای ضخامتی از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر دارند، در حالی که متوسط ضخامت رسوبات ژوراسیک در منطقه خلیج فارس کمتر از ۱۰۰۰ متر است که این نشان دهنده سوبسیدانس های بزرگ و هورست و گرابن در گوشه شمال شرقی در نئوتیس می باشد.

الف-۴- کرتاسه

در میدان پارس جنوبی ، واحد چینه شناسی کرتاسه زیرین اغلب سنگهای کربناته با بین لایه های شیلی است. این فاصله زمانی شامل سازند های فهلیان، گدوان و داریان است. سازند فهلیان از آهکهای روشن با مقداری آسفالت تشکیل شده است، سازند گدوان از شیل و آهک گل پشتهایان خاکستری

روشن تشکیل شده است، مقداری نفت از این سازند (عضو آهکی خلیج) در میدان ال-شاهین در سواحل قطر تولید شده است. در میدان پارس جنوبی اگرچه سازند گدوان کیفیت مخزنی قابل قبولی دارد، اما هیچ هیدروکربوری در این توالی تا به حال گزارش شده است (شکل الف-۴).

سازند داریان (شویبا) در میدان پارس جنوبی / گنبد شمالی قطر از دو لایه آهکی که بوسیله واحد شیلی از هم جدا می شوند، تشکیل شده است. بالای سازند داریان با یک سطح فرسایشی همراه است که نشان دهنده افق کرتاسه زیرین است. در هر دو لایه کربناته سازند داریان وجود ذخایر هیدروکربوری ثابت شده است، ولی لایه آهکی بالایی دارای کیفیت مخزنی بهتری است. در این منطقه آهک داریان دارای رنگ روشن، بخش بایوکلاستی و چالکی است که اغلب دارای دانه های ریز با کیفیت مخزنی متوسط تا خوب است.

کرتاسه میانی شامل سازند های کژدمی و سروکاست. سازند کژدمی در این منطقه اساساً از شیل تشکیل شده است. در بعضی از چاه های پارس جنوبی، ماسه سنگ دانه ریز در قاعده این سازند مشاهده می شود که ادامه ماسه سنگهای بورگان هستند. ضخامت سازند سروک و ممبر های آن در این منطقه کاهش می یابد.

رسوبگذاری شلف در طول کرتاسه پایانی گسترش پیدا می کند، مارل، شیل و آهک، ایلام و گورپی از رسوبات ته نشین شده در این دوره هستند. در بخش جنوبی حوضه رسوبگذاری (عمان)، با توجه به نزدیکی با بالا آمدگی (منشا) رسوبات تخریبی فراوانی وجود دارد، در بخش مرکزی حوضه، پلاتفرم کربناته کم عمق توسعه یافته بود. در حالی که نزدیک لبه حوضه، پای کوههای زاگرس، رسوبات تخریبی دانه درشت ته نشین شده اند (شکل الف-۴).

الف-۵- ترشیاری

در طول پالئوسن تا اوایل ائوسن حوضه پلت فرمی کم عمق تبخیری- کربناته گسترش وسیعی داشته است، در نتیجه رسوبات انیدریتی جهرم/ ساچون در این منطقه ته نشین شده اند.

در بقیه مدت زمان ائوسن ، منطقه بوسیله محیط دریایی باز پوشیده می شوند. در اوایل تا اواسط الیگوسن یک افت ناگهانی در سطح آب دریا اتفاق می افتد، که حوضه رسوبگذاری را باریکتر از قبل می کند. و روند شمال غرب - جنوب شرق شلف کربناته - تبخیری با مقداری رسوبات تبخیری در غرب حوضه شکل گرفت. سازند آسماری در اینچنین محیط رسوبگذاری تشکیل شده است که بصورت خیلی ضعیفی در این میدان دیده می شود . این سازند بیشتر در نیمه جنوبی خلیج فارس غالب است. عضو ماسه سنگی اهواز بیشتر در بخش غربی منطقه خوزستان ، شامل فروافتادگی دزفول و شمال غربی خلیج فارس گسترش دارد.

در طول میوسن، رسوبات تبخیری و کربناته در محیط رسوبی باریکی ادامه میابد که شامل سازندهای گچساران و میشان هستند (شکل الف-۴) .

در طی میوسن تا پلیوسن ، سازندهای آجاجاری و بختیاری در سمت کوه های زاگرس تشکیل می شوند. و سرانجام از حوضه رسوبگذاری وسیع ، خلیج فارس باقی مانده که شکل امروزی را به خود گرفته است. [نجم آبادی، ۱۳۷۲].

| Geologic Time Units | | SOUTH PARS | | | | NORTH QATAR | |
|---------------------|--------------------|---------------|---|-------------------------|----------------|---|--|
| Period | Epoch/Age | Group | Formations and Lithostratigraphic Units | | Group | Formations and Lithostratigraphic Units | |
| TERTIARY | Oligocene-Miocene | Fars | Mishan (Guti Mbr.) | | Hasa | Fars | |
| | | | Gachsaran | | | Lower Fars | |
| | Paleocene-Eocene | | Asmari | | | Dammam | |
| | | | Jahrum | | | Rus | |
| | | Sachun Equiv. | Anh. Facies.* | | Umm er Radhuma | | |
| CRETACEOUS | Campa.-Santonian | Bangestan | Ilam | Ilam (Halul) | Aruma | Aruma (Halul) | |
| | Laffan | | | Aruma (Laffan) | | | |
| | Ceno. Turonian | | Sarvak | Mishrif Equiv. | Wasia | Mishrif | |
| | Alb.-Cenomanian | | | Ahmadi Mbr. | | Khatiyah | |
| | Albian | | Mauddud Mbr. | | Mauddud | | |
| | Aptian | | Kazhdomi | | Nahr Umr | | |
| | Barremian - Aptian | Gadvan | Dariyan | | Thamama | Hawar-Shuaiba | |
| | Neocomian | | Upper | Kharab | | | |
| Lower | | Khalij Mbr. | | Lekhwaib | | | |
| | | Fahliyan | | | Sulay-Yamama | | |
| JURASSIC | Malm | Khaimi | Hith | | Riyadh | Hith | |
| | | | Surmeh | Arab Equiv. | | Arab A-D | |
| | | | | Up. Dolomite ** | Diyab | | |
| | | | | Up. Limestone ** | Hanifa | | |
| | Cherty Zone ** | | | Upper Araej | | | |
| | Mid. Limestone ** | | | Tuwaiq | Uwainat | | |
| | Mand Mbr. | | | | Lower Araej | | |
| | Low. Limestone ** | | Izhara | | | | |
| | Low. Surmeh Shale | | Hamlah | | | | |
| | Dogger | | | Lithotis Bed | | Gulailah | |
| TRIASSIC | Liasic | Kazerun | Neyriz | | El Sirr | Khal Anhydrite | |
| | | | Dashtak | Dashtak (B-C Intervals) | | Sudair | |
| | | | | Evaporite B | | K1 | |
| | | | | Low. Evaporite B | | K2 | |
| | | | | Up. Sudair | | K3 | |
| | | | | Massive Anhydrite | | Upper Anhydrite | |
| | | | | Low. Sudair | | K4 | |
| | | | Aghar Shales | Median Anhydrite | | | |
| | | | Kangan | Kangan | | K5 | |
| | | | | KG1 | | Haushi | |
| PERMIAN | Middle-Upper | Dehram | Dalan | Upper | UD3 | | |
| | | | | UD4 | | | |
| | Nar Mbr. | | | | | | |
| | Lower | | Farghan | | | | |

شكل الف-4- ستون چينه شناسي عمومي گنبد پارس جنوبي- شمال قطر [Pollastro,2003]

یکسری اطلاعات حفاری مربوط به تعدادی از چاه های منطقه پارس جنوبی

| | | |
|------------------------------|------------------------------|--|
| Operator : Total South Pars | Well : SPD3-01 | Coordinates : North : 29495.16.96 |
| Country : Iran Offshore | type : Development, deviated | East : 613596.73 |
| Field : South Pars | status : Producing | Ref : International ED 77 Datum, UTM Zone 35 |
| Reservoir : Khuff K2 K3 & K4 | | Central Meridian 51 deg. East |

| | |
|----------------------------------|--|
| Drilling Rig : Sajaari-2 (SGD) | |
| Rig type : Jack-up | |
| RT elevation : 32.85 m above MSL | |
| Water depth : 66 m | |

| |
|---|
| Total Measured Depth : 4457m MCBRT |
| Total Vertical Depth : 3094m TYDRRT |
| Departure at TD : 2960m |
| Max. Inclination : 5th deg. at 4429m MD |

| |
|-----------------------------------|
| Spud date : December 2nd, 2000 |
| Reached TD : September 12th, 2002 |
| Completion : October 5th, 2002 |
| Duration : 314 days |

| Drilling Program Realisation | Duration (days) | From (mMSRT) | To (mMSRT) | Mud Type | Mud Weight (SG) | Remarks |
|------------------------------|-----------------|--------------|------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| moving | 0.0 | - | - | | - | |
| 32" phase | 0.7 | 99 | 194 | Sea Water + Guar Gum | 1.03 | |
| 23 1/2" phase | 8.9 | 194 | 1005 | Sea Water + Guar Gum | 1.03 | |
| 17" phase | 10.7 | 1005 | 1810 | SW pre-hydrated bentonite polymer | 1.17 | |
| 12 1/4" phase | 14.6 | 1810 | 3268 | Gel/PAC/Starch Mud | 1.13-1.20 | |
| 8 1/2" phase | 19.1 | 3268 | 4457 | Salt saturated polymer | 1.45 | |
| completion | 3.0 | | | Treated Fresh Water | 1 | Can't seal - pooh completion gun lost |
| testing | 18.4 | | | | | |

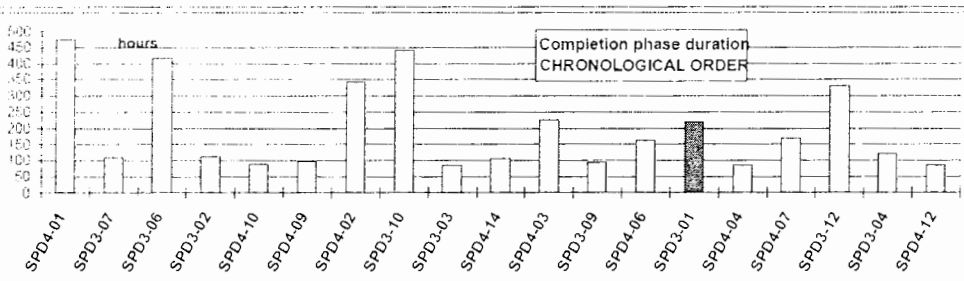
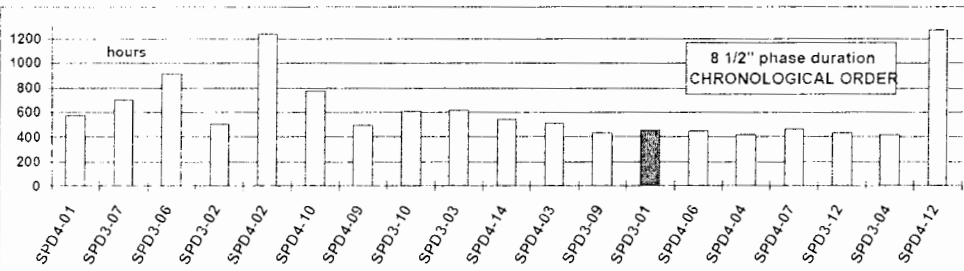
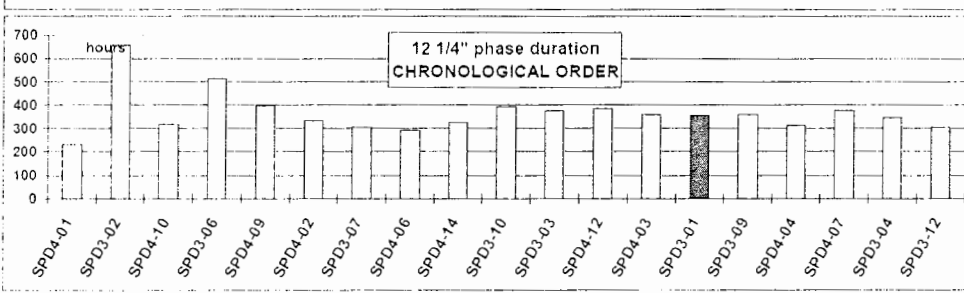
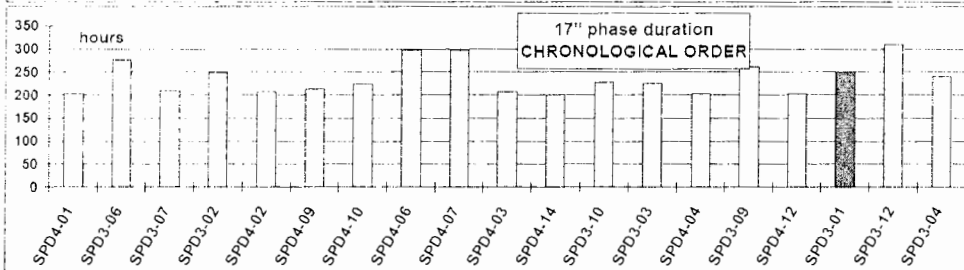
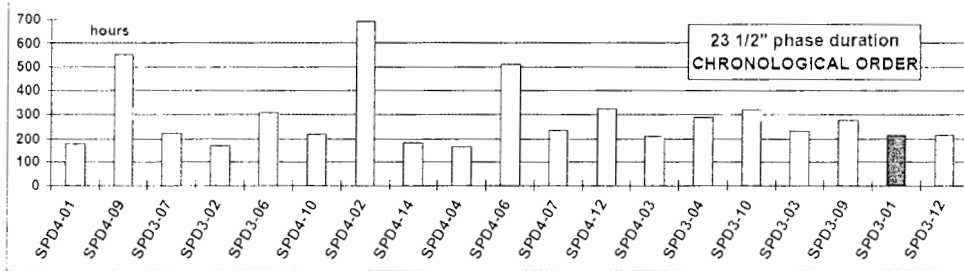
| Casing Program Realisation | Top (mMSRT) | Shoe (mMSRT) | Formation | Weight (lb/ft) | Grade | Connection | FIT / SBT (SG/EMW) |
|----------------------------|-------------|--------------|-------------------|----------------|---------------|------------|--------------------|
| 28" CP | 21 | 188 | Fars Group | 257 | X-56 | RL-4S | - |
| 18 5/8" casing | 21 | 1060 | Laffan Equivalent | 114 | K-55 | BTC | 1.50 |
| 13 3/8" casing | 21 | 1904 | Hith | 68 | L-80 | BTC | 1.50 |
| 10 3/4" casing x | 21 | XO | | 55.5 | C-90 | Vam Top | - |
| 8 5/8" casing | 349 | 3263 | Sudar | 47 | L-80 | Vam Top | 1.85 |
| 7" liner (28%Cr) | 3114 | XO | | 26 | SM2535-100Ksi | Vam Top I | - |
| 7" liner (12%Cr) | 3851 | 4456 | Nar | 29 | L-80 | Vam Top | - |

| Reservoir Layer | Perforations | Guns | Stimulation | Gas rate |
|-----------------|--------------|-----------------------|---|----------|
| K2 | 3889-3901 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | Refer to Well Services and Geosciences Report | |
| K2 | 3898-3922 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K2 | 3923-3937 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 3954-3954 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 3989-3995 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 4010-4016 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 4038-4044 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 4051-4057 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 4055-4095 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K3 | 4130-4136 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4148-4250 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4254-4272 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4277-4288 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4291-4300 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4304-4320 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |
| K4 | 4324-4334 | 2 7/8" Enerjets 8 spf | | |

شکل الف-۵- اطلاعات عمومی (چاه ۱ فاز ۲) را نشان می دهد [Agip Iran B.V.2005]

| SOUTH PARS | | 2.1 WELL ARCHITECTURE SCHEMATIC | | Date | Mar-02 |
|---|---------------------------|---------------------------------|-----------|------|---|
| Depth (m) | Casing Equipment | Casings | Cementing | | |
| All depths are RKB, i.e. 32.85m above MSL | | | | | |
| 0 | Rotary Table Well Head | | | | |
| 99 | Sea bed | | | | |
| 188 | 26" CP Shoe | | | | 32" Hole, 95m drilled length 26" Casing, X56, 267 lb/ft, RL-4S Cemented with 47m ³ of 1.9 S.G. slurry up to sea bed |
| 349 | 10 3/4" x 9 5/8" X80 | | | | 23 1/2" Hole, 811m drilled length 18 5/8" Casing, K55, 114 lb/ft, BTC Cemented with 54m ³ of lead slurry @ 1.50 S.G. followed by 23m ³ of tail slurry @ 1.50 S.G. Top cement job from cement basket at 168m up to surface with 11m ³ of 1.90 S.G. slurry Mud prior to casing, 1.00 S.G. Gel muc |
| 895 | 13 3/8" DV | | | | |
| 1000 | 18 5/8" CSG Shoe | | | | 17" Hole, 805m drilled length 13 3/8" Casing, L90, 68 lb/ft, BTC First Stage cemented with 56m ³ lead slurry @ 1.6 S.G. in fresh water w/ paragas 13m ³ of tail slurry @ 1.9 S.G. in sea water Second Stage cemented with 22m ³ of lead slurry @ 1.92 S.G. in sea water Mud prior to casing, 1.21 S.G. Gel Polymer mu |
| 1804 | 13 3/8" CSG Shoe | | | | |
| 3104 | Top of 7" Liner PKR | | | | |
| 3114 | Top of 7" Liner PBR | | | | |
| 3263 | 9 5/8" Casing Shoe | | | | 12 1/4" Hole, 1455m drilled length 10 3/4" Casing, C90, 55.5 lb/ft, Yam Top x 9 5/8" Casing, L80, 47 lb/ft, Yam Top Cemented with 67m ³ lead slurry @ 1.25 S.G. in fresh water w/ paragas 40m ³ of tail slurry @ 1.90 S.G. in treated fresh water w/ paragas Mud prior to casing, 1.18 S.G. Gel Polymer Starch mu |
| 3667 | X/O Nipple | | | | 8 1/2" Hole, 1189m drilled length 7" CRA Liner, 28% Chrome, 26 lb/ft, Yam Top Lx 7" Liner, 13% Chrome, 29 lb/ft, Yam Top Cemented with 27m ³ tail slurry @ 1.9 S.G. in fresh water w/ paragas Mud prior to liner, 1.45 S.G. Salt Sat. Marb Polymer mu |
| 4456 | 7" Liner Shoe | | | | Completion Packer fluid: Treated Fresh Water |
| 4457 | TD | | | | |
| Note: gun 2 7/8" lost in 7" liner | | | | | |

شکل الف-۶- مقطع شماتیک سیستم چاهی از فاز پارس جنوبی را نشان می دهد [Agip Iran B.V.2005]



شکل الف-۷- گزارش نهایی زمان حفاری چاه های گاز توسعه ای حفاری شده در منطقه پارس جنوبی را نشان می دهد [Agip Iran B.V.2005]



BOTTOM HOLE ASSEMBLY

BHA No. 1 Sidetrack No. Job No. 0660-70850

Company TOTAL SOUTH PARS Rig Contractor & No. JDC Depth In 88 (m)

Well Name & No. SFD3:SPD3-01 Field SOUTH PARS Depth Out 194 (m)

BIT DATA

| Item No. | Bit No. | Size (in) | Mfr. | Type | Serial No. | Nozzles G2nd or TFA | Gauge Length (m) | Depth In (m) | Depth Out (m) | Bit Length (m) |
|----------|---------|-----------|------|---------|------------|---------------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 1 | | 17.500 | STC | MSDSSHC | LW 2878 | 1 110 | | 88 | 194 | 0.40 |

COMPONENT DATA

| Item No. | Component Description | Mfr. | Serial No. | Gauge OD (in) | OD (in) | ID (in) | Fishing Neck Length (m) | Component Length (m) | Cumulative Length (m) |
|----------|------------------------|-------|------------|---------------|---------|---------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| 2 | HOLE OPENER | GRANT | 46420 | 32.000 | 9.000 | 3.000 | 0.27 | 2.15 | 2.55 |
| 3 | FLOAT SUB | BHI | FS 2-1 | | 9.938 | 3.060 | | 0.89 | 3.45 |
| 4 | DRILL COLLAR-3 | RIG | | | 9.188 | 3.120 | 0.43 | 26.70 | 30.15 |
| 5 | CROSSOVER SUB | RIG | PB 2-2 | | 9.375 | 3.000 | 0.38 | 0.76 | 30.91 |
| 6 | DRILL COLLAR-3 | RIG | | | 7.813 | 2.875 | 0.52 | 27.52 | 58.42 |
| 7 | CROSSOVER SUB | RIG | HPB 1-1 | | 6.938 | 2.875 | 0.47 | 1.03 | 59.45 |
| 8 | HEAVY WT DRILL PIPE 12 | RIG | | | 7.000 | 3.313 | 0.57 | 111.25 | 170.70 |

STABILIZER DATA

| Item No. | Stabilizer Description <small>Describe "BHM Stabilizer" for New Trak Runs!</small> | Spiral | Blade Length (in) | Blade Width (in) | Gauge Length (in) | Gauge In (in) | Gauge Out (in) |
|----------|---|--------|-------------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | | | | | | | |

DRILLPIPE DATA

| Drillpipe | Grade | OD (in) | ID (in) | Wt/Ft (lbs/ft) | Conn. | Length (m) | BHA Weight (tonnes) | In Air | In Mud |
|-----------|-------|---------|---------|----------------|-------|------------|---------------------|--------|--------|
| Upper | G 105 | 7.000 | 4.000 | 27.44 | FH-FH | | Total | | |
| Lower | HWDP | 7.000 | 3.313 | | FH | | Below Jars | N/A | N/A |

WEIGHT DATA

Survey Sensor to Bit (m) Hole Drag: Up (tonnes) Down (tonnes)

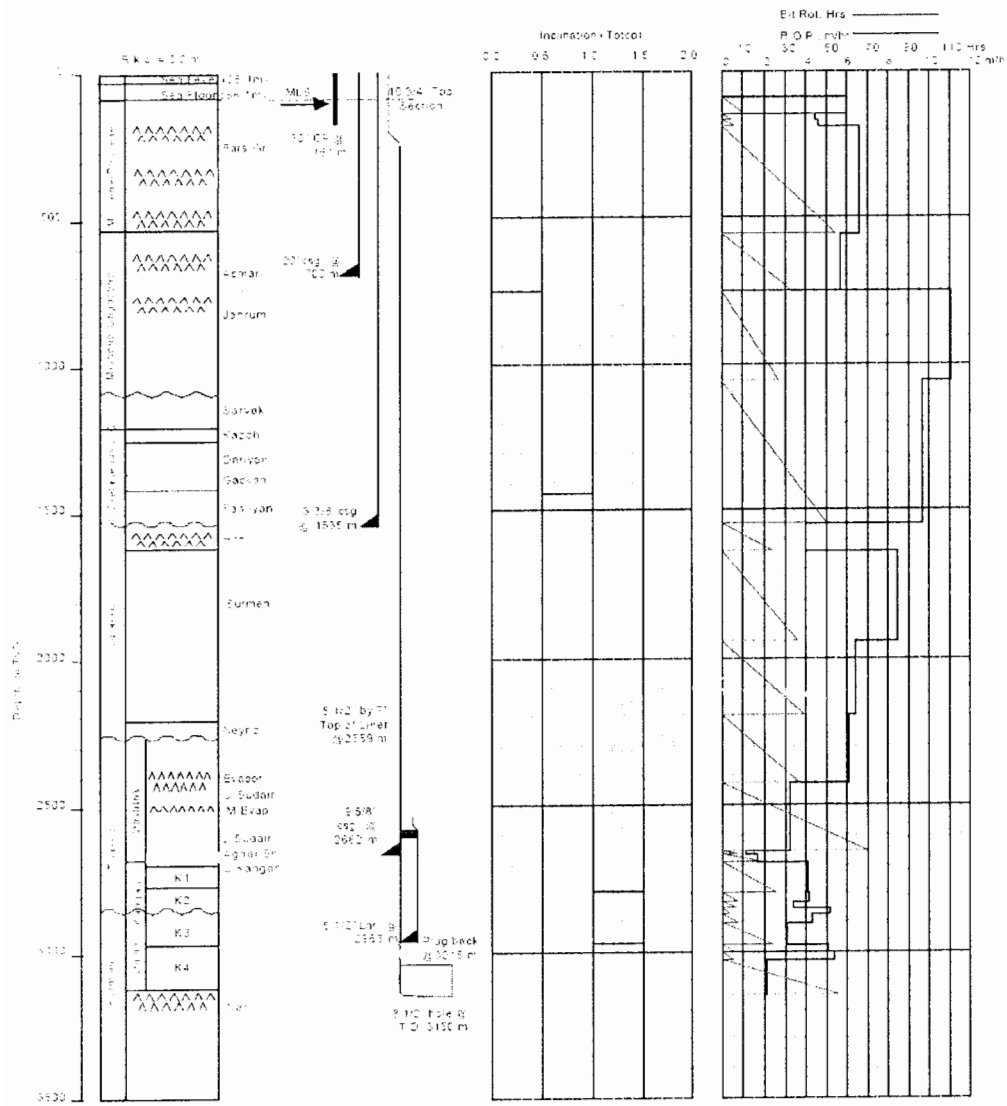
Objective For Running BHA CLEAN OUT CONDUCTOR PIPE AND OPEN HOLE TO 32" TO 188m

BHA Results GOOD

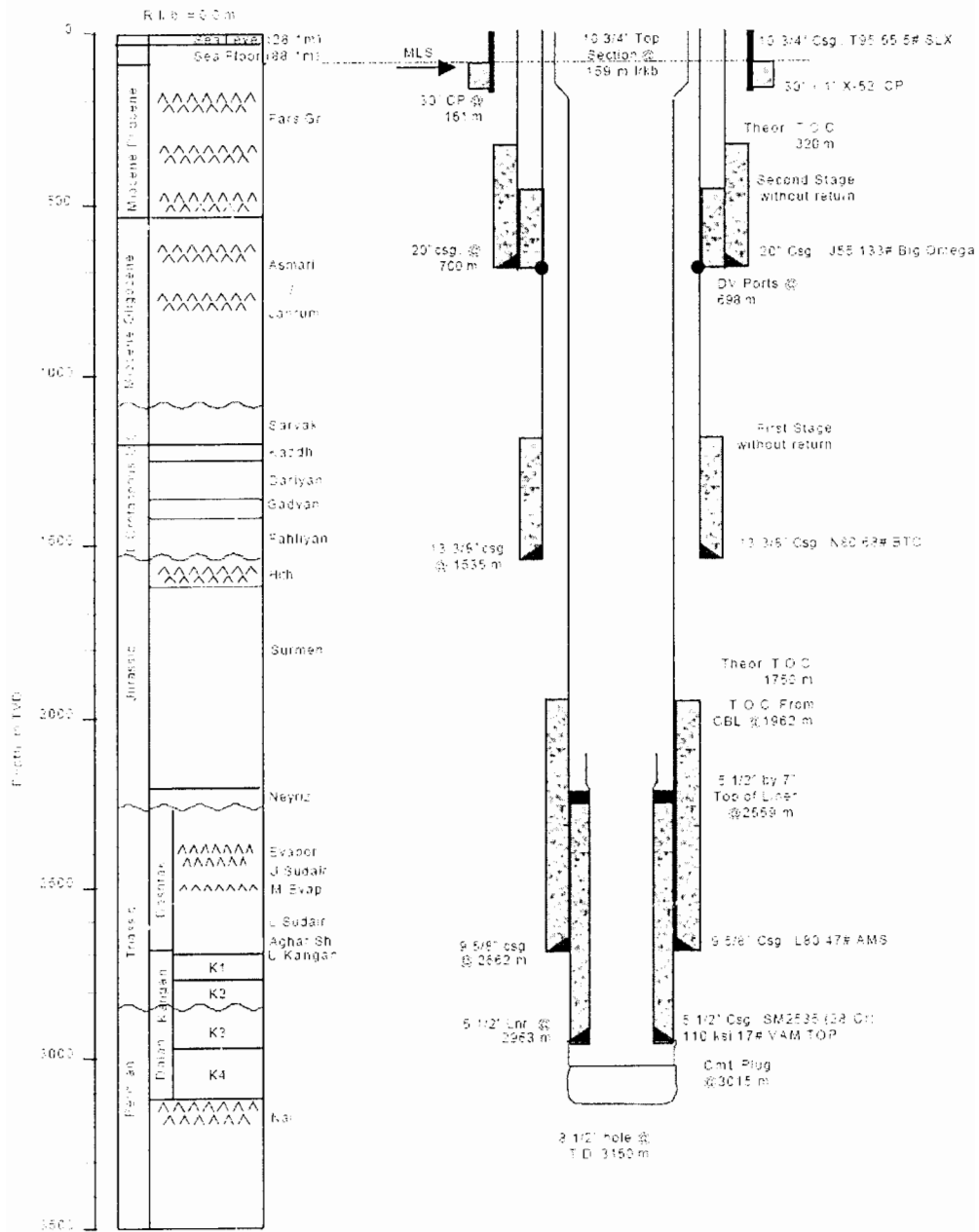
Reason for POOH TD

Page 1 of 1 BHI Representative

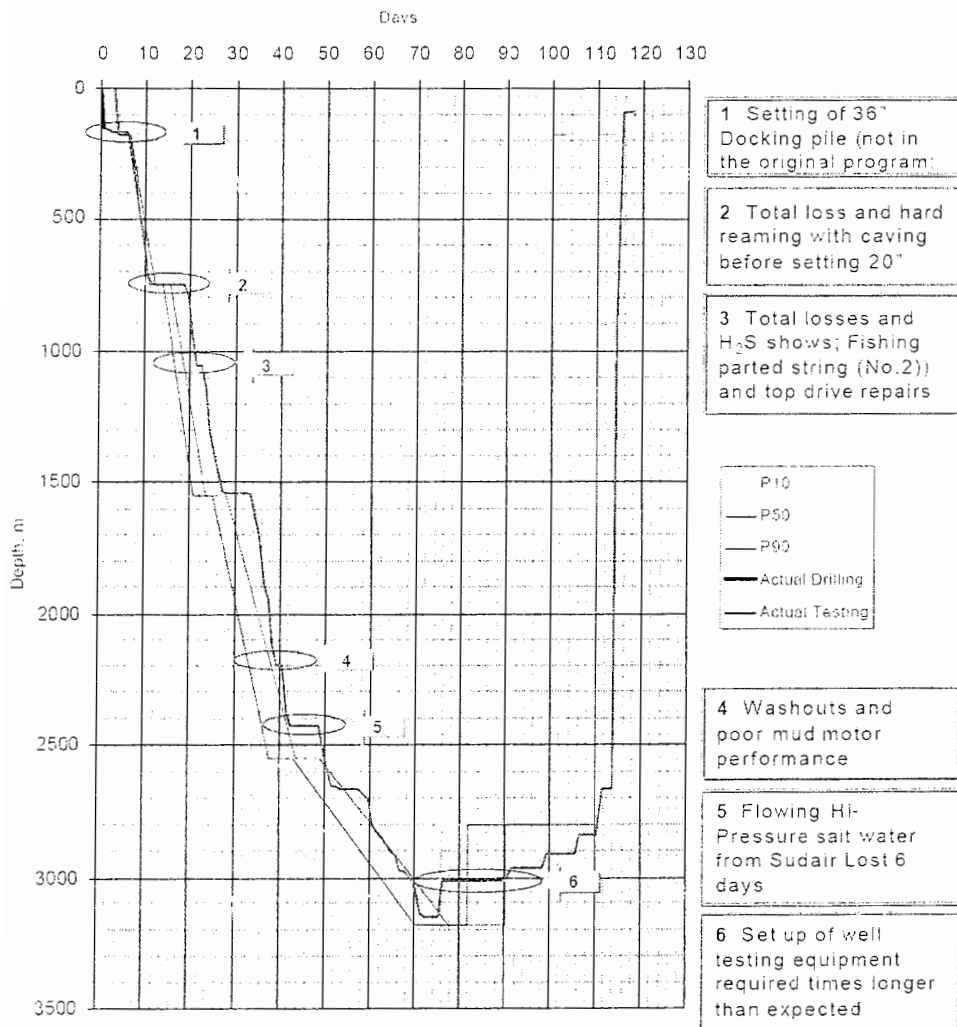
شکل الف-۸- شرح چیدمان BHA (چاه ۱ فاز ۲) برای مته ۱۷.۵" را نشان می دهد [Agip Iran B.V.2005]



شکل الف-۹- پروفیل چاه برای نشان دادن شیب و نرخ نفوذ (ROP) [Agip Iran B.V.2005]



شکل الف-۱۰- مقطع لوله جداری بعد از پایان حفاری [Agip Iran B.V.2005]



شکل الف-۱۱- تغییرات زمان سپری شده بر حسب عمق [Agip Iran B.V.2005]

پیوست - ب

همانطور که در فصل ۳ اشاره شد نوع و طراحی مته در طراحی BHA یک عامل تاثیرگذار می باشد که ما در اینجا به شناخت انواع این مته ها، و شناخت بعضی اصطلاحات حفاری می پردازیم.

ب-۱- مته های مخروطی یا کاج غلطان

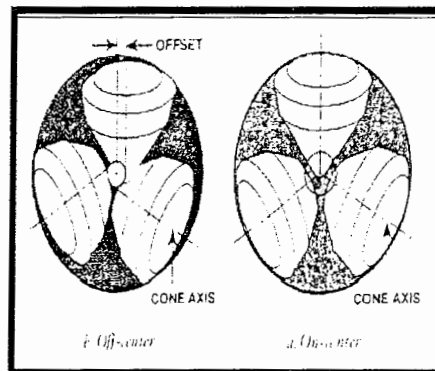
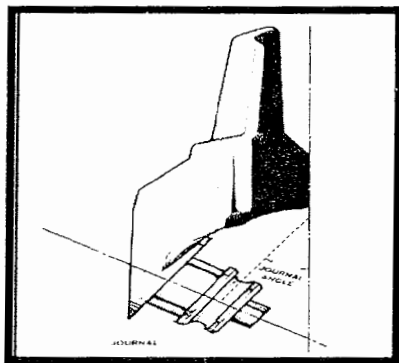
این مته ها خود به دو گروه مته های دندان فلزی^۱ و مته های دکمه ای^۲ تقسیم می شوند. مته های دکمه ای می توانند هزینه دو تا سه برابر بیش از مته های دندان داشته باشند لیکن دوام و نرخ نفوذ آنها خصوصاً در لایه های زبر و ساینده می تواند بسیار مفید باشد. بعنوان مثال یک مته دکمه ای تنگستن کاربیدی می تواند توپک سیمانی^۳ و طوقه شناور^۴ را حفاری کرده و در ادامه، حفاری سازند را نیز بطور مؤثر انجام دهد [gean, 2001].

در طراحی مته های مخروطی، عواملی همچون دندانها، زاویه محور کاج^۵، یاتاقانها، زاویه کاجها نسبت به هم یا برون مرکزی مورد بررسی قرار گیرند. تعداد، محل و ترکیب دندانها یا دکمه، همچنین زاویه مخروطها بر اساس طراحی هر مته، به نوع سازند وابسته است.

ب-۲- مته های دندان ای

جدول ب-۱ خصوصیات مته های دندان ای را براساس نوع سازند نشان می دهد. عموماً مته های سازند نرم از دندانهای کمتر و در عین حال بلندتری برخوردارند. همچنین وجود برون مرکزی^۶ و عدم چرخش مخروطها حول یک مرکز در مته های مخروطی مخصوص سازندهای نرم سبب ایجاد یک نوع پیچش در عمل تراشیدن^۷ خواهد شد که در حفاری سازندهای نرم بسیار مؤثر می باشد. رعایت فاصله زیاد بن دندانها از ایجاد توپی شدن مته^۸ در حفاری سازندهای نرم جلوگیری می کند. ضمن اینکه در سازندهای سخت، همانطور که در جدول (ب-۱) بیان شده است، فاصله دندانها کمتر و طول آنها نیز کوتاه تر می باشد. چرا که نیازمند اعمال وزن و نیروی بیشتر جهت شکستن سنگ و غلبه بر مقاومت فشاری آن می باشد. شایان ذکر است که مته های دکمه ای به دلیل استفاده از تنگستن کاربید و سختی بیشتر آنها، از مورد استفاده وسیع تر و نتیجه مطلوبتری در سازندهای سخت برخوردار می باشند. در اشکال ب-۱ و ب-۲ نیز می توان اثر برون مرکزی در مته سازند نرم و زاویه journal را در مته مشاهده کرد [gean, 2001].

| | | | | |
|-------------------|--------------|---------------|----------------|-----------|
| 1-Steel tooth bit | 2-Insert bit | 3-Cement plog | 4-float collar | 5-Journal |
| 6- offset | 7-Scraping | 8-Bit balling | | |



شکل ب-۱- اثر برون مرکزی در مته ی سازند نرم [Burton, 1995] شکل ب-۲- تعریف زاویه Journal

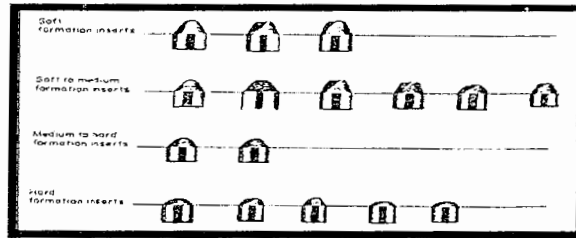
جدول ب-۱- خصوصیات مته های دندانها ای بر اساس نوع سازند [Burton, 1995]

| فاصله دندانها | ارتفاع دندانها | زاویه تیزی دندانها | زاویه ژورنال (درجه) | زاویه بیرون زدگی (درجه) | سازند |
|---------------|----------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| دور | بلند | ۴۲-۳۹ | ۳۳-۳۲ | ۵-۲ | نرم IADC, IXX |
| متوسط | متوسط | ۴۵-۴۳ | ۳۶-۳۲ | ۳-۲ | متوسط IADC, 2XX |
| نزدیک | کوتاه | ۵۰-۴۵ | ۳۶-۳۳ | ۲-۰ | سخت IADC, 3XX |

ب-۳- مته های دکمه ای

حاوی دکمه هایی بصورت اسکنه ای^۱، مخروطی^۲ و نیمه کروی^۳ از جنس تنگستن کاربید می باشند و اساساً به منظور حفاری سازندهای سخت ساخته شده و سپس برای همه سازندها گسترش یافتند.

1-Chisel 2-Conical 3- Hemispherical



شکل ب-۳- انواع دکمه های تنگستن کاربیدی [Burton, 1995]

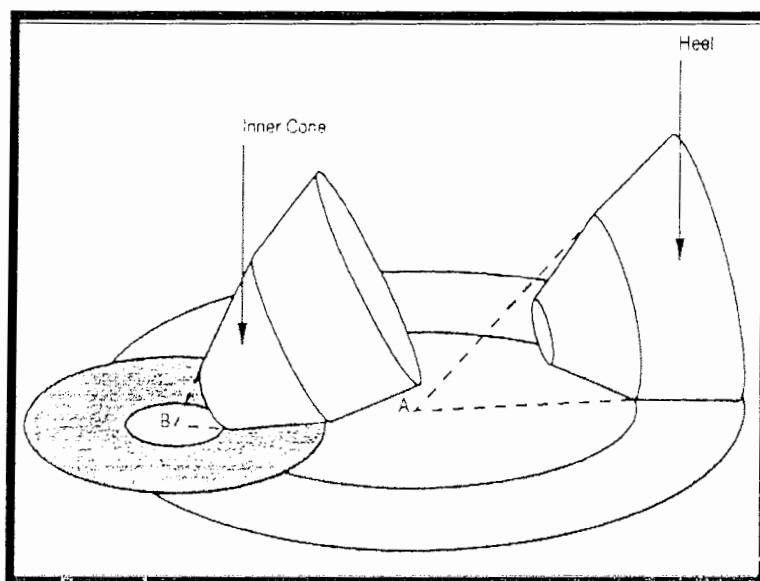
جدول ب-۲ نیز خصوصیات مته های دکمه ای را نسبت به نوع سازند نشان می دهد.

جدول ب-۲- خصوصیات مته های دکمه ای براساس نوع سازند [Burton, 1995]

| سازند | زاویه بیرون زدگی (درجه) | زاویه ژورنال (درجه) | ارتفاع دندانها | فاصله دندانها | تعداد دندانها |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|
| نرم IADC, 4XX,5XX | ۵-۲ | ۳۲-۳۳ | بلند | دور | کم |
| متوسط IADC, 6XX | ۳-۰ | ۳۲-۳۶ | متوسط | متوسط | متوسط |
| سخت IADC, 7XX,8XX | ۲-۰ | ۳۶ | کوتاه | نزدیک | زیاد |

ژورنال مته بصورت سطح دارای قابلیت باربری مته تعریف می شود، زاویه ژورنال نیز بصورت زاویه بین خط عمود بر محور ژورنال و محور مته تعریف می شود. اندازه این زاویه مستقیماً بر ابعاد مخروط تأثیر می گذارد.

همانطور که در شکل ب-۴ مشخص است تغییر زاویه ژورنال بر شکل و اندازه دندانها یا دکمه ها تأثیر گذار خواهد بود چرا که عدم تداخل آنها می بایست لحاظ شود به همین علت ناحیه مشکی رنگ در شکل می بایست حذف گردد. همچنین طراحی لغزش مخروط ها سبب می شود مته علاوه بر عملکرد تراشیدن توسط مخروط داخلی، عملکرد بیل زدن نیز توسط مخروط خارجی داشته باشد.



شکل ب-۴ - اثر لغزش مخروط بر عملکرد مته [Harry, 1997]

عملکرد همزمان دو فرآیند تراشیدن و بیل زدن به خردایش سنگ در سازندهای نرم کمک خواهد کرد اما در سازندهای سخت، جایی که فرسودگی دندانها افزایش می یابد، مؤثر نخواهد بود [Harry, 1997].

ب-۴- یاتاقانها^۱

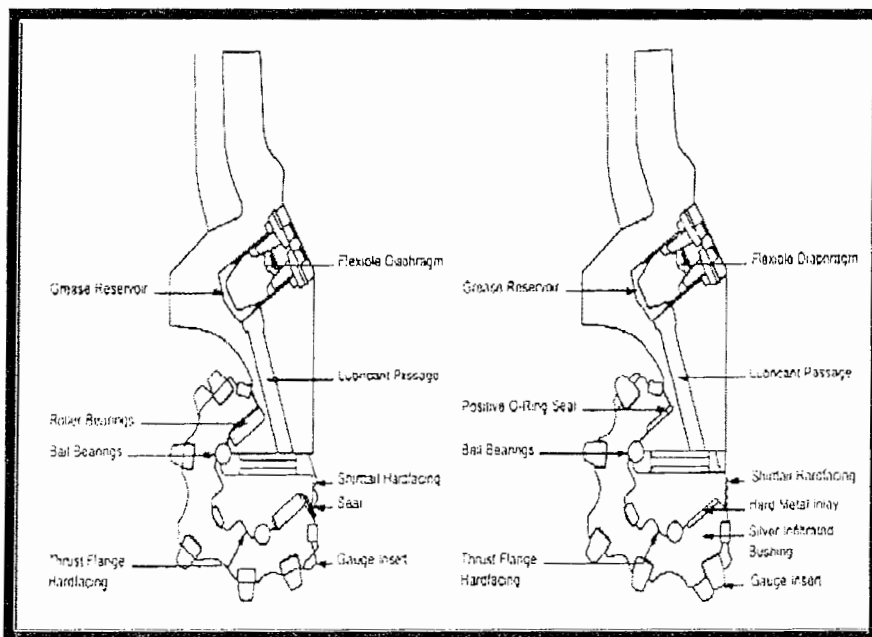
- مخروطها توسط سه نوع یاتاقان بر روی ژورنال نصب می شوند [Harry, 1997]:
۱. یاتاقان استوانه ای^۲: که در بخش خارجی مخروط نشاندن شده و پشتیبانی بارهای عمودی، وزن روی مته، را بر عهده دارد.
 ۲. یاتاقان ساچمه ای یا توپی^۳: که در برابر نیروهای جانبی یا thrust مقاوم بوده و به حفظ مخروط روی ژورنال کمک می کند.
 ۳. یاتاقان اصطکاکی^۴: در قسمت جلوی تجهیزات نشاندن شده و پشتیبانی بارهای عمودی یا وزن روی مته را بر عهده دارد.

تمام یاتاقانها می بایست از فولاد سخت تهیه شود تا در مقابل بارهای شدید ناشی از خردایش، مقاوم باشند. بدین منظور از عملیات حرارتی برای مقاوم سازی فولاد استفاده می کنند.

1-Bearing 2-Roller bearing 3-Ball bearing 4-Friction bearing

نکته بسیار مهم در طراحی یاتاقان ها، فاصله قابل دسترس می باشند. بطور ایده آل یاتاقان ها باید برای پشتیبانی نیروهای وارده، به اندازه کافی بزرگ باشند لیکن این مسأله باید با رعایت مقاومت ژورنال و پوسته مخروط در نظر گرفته شود. مسأله دیگر این است که از عدم خوردگی یاتاقان قبل از خوردگی دندانها یا دکمه ها مطمئن شویم. (شکل ب-۵) مته های مخروطی را نشان می دهد.

یاتاقان های اولیه، توسط سیال حفاری روانکاری می شدند اما در اواخر ۱۹۵۰، مته های دارای یاتاقان درزگیری شده^۱ برای افزایش عمر یاتاقان مته های دکمه ای معرفی شدند. این امر از خوردگی یاتاقان توسط جامدات گل جلوگیری می کند و عمل روغنکاری توسط مخزن گریس صورت می پذیرد.



شکل ب-۵ - مته های مخروطی با یاتاقان های Journal و Seated [Harry, 1997]

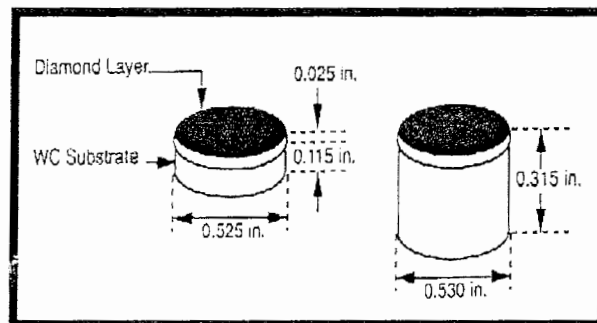
برخی سازنده ها، افزایش ۲۵٪ در عمر این نوع یاتاقان ها را ادعا می کنند. یاتاقان های ژورنال حاوی یاتاقانهای استوانه ای نبوده و مستقیماً بر روی ژورنال می نشینند که مزیت آن افزایش سطح تماس و انتقال مستقیم نیرو از مخروط به ژورنال می باشد.

ب-۵- مته های الماسه

یک مته الماسه ممکن است قیمتی معادل چهار تا پنج برابر مته های دکمه ای داشته باشد لیکن تحت شرایط مناسب، استفاده از آنها ممکن است با افزایش نرخ نفوذ و کاهش round trip مثبتی به همراه داشته باشد. هنگامی که نرخ حفاری با مته های مخروطی به زیر مقادیری مثل سه تا پنج فوت در ثانیه سقوط می کند، استفاده از یک مته الماسه، ممکن است بهترین راه باشد. همچنین در سرعت های بالای چرخش که سبب بازمانی یاتاقان ها و محدودیت در استفاده از مته های مخروطی می شود، استفاده از آنها به همراه موتورهای درون چاهی می تواند مطلوب باشد.

مته های الماسه ممکن است طبیعی^۱ یا کریستال فشرده (PDC)^۲ و یاپایدار در دمای بالا (TSP)^۳ باشند. عناصر مؤثر در طراحی مته های PDC عبارتند از جنس تیغه های برنده و بدنه مته Cutter Rake، پروفیل مته، تعداد تیغه برنده و برآمدگی آنها. مته های الماسی پلی کریستالین (PDC)^۴ حاوی ۹۵-۹۰٪ الماس بوده که بصورت فشرده روی بدنه مته قرار داده می شوند. به دلیل محدودیت در استفاده از این نوع مته در دمای بالا، مته های الماسه پایدار در دمای بالا^۵ (TSP) بوجود آمدند. مته های PDC طی دو مرحله دما بالا و فشار بالا بصورت صفحه گرد ساخته شده و سپس توسط کبالت بر روی پایه ای از جنس تنگستن نشانده می شوند.

در مته های TSP با حذف عامل پیوستگی (کبالت) که سبب ناپایداری PDC در دمای بالا می گردد، مقاومت آن در برابر افزایش دما، بیشتر می شود. بدنه این مته ها به دو شکل بدنه ماتریسی و بدنه فولادی می باشد. (شکل ب-۶) برنده های مته را نشان می دهد.

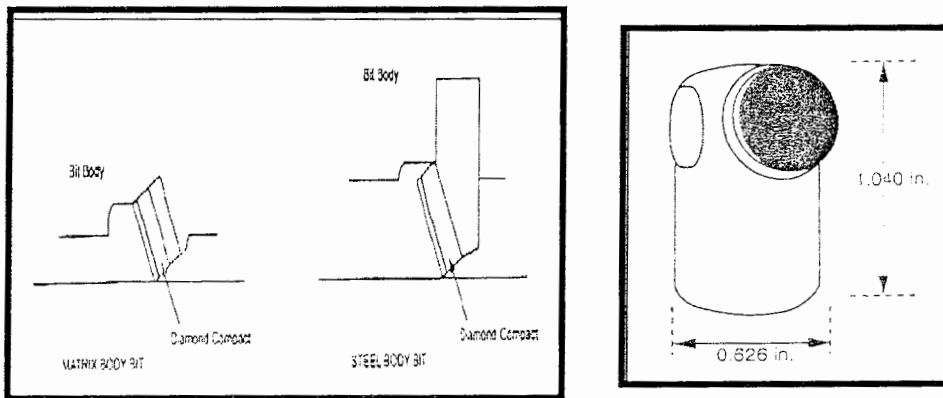


شکل ب-۶- برنده های مته PDC [Harry, 1997]

- | | | |
|------------------------------------|---|---|
| 1- Natural diamond bits | 2- Polycrystalline diamond bit | 3- Thermally stable polycrystalline diamond bit |
| 4- Polycrystalline diamond compact | 5- Thermally stable polycrystalline diamond | |

در نوع بدنه فولادی که تیغه ها به شکل میخ مانند^۱ می باشد (شکل ب-۷) دارای مزیت جایگزینی در صورت صدمه دیدن می باشند. ضمن اینکه مقاومت کمتری در برابر خوردگی نسبت به نوع بدنه ماتریس دارند [Harry, 1997].

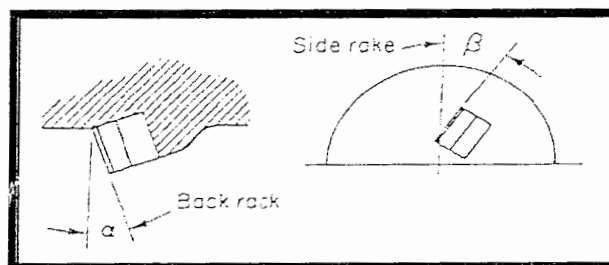
اما نوع بدنه ماتریس ضمن برخورداری از مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، گرانش نیز می باشند. زاویه نصب برنده ها (Cutter Rake) نیز به دو صورت Back Rake و Side Rake می باشد. شکل ب-۸ و ب-۹ زاویه Back Rake تعیین کننده ابعاد خرده تولید شده می باشد.



شکل ب-۷- برنده Stud [Harry, 1997] شکل ب-۸- نصب برنده ها بر روی مته [Harry, 1997]

در یک WOB ثابت، زاویه کوچکتر، خرده بزرگتر و ROP بیشتری خواهد داشت اما در برخورد با سازندهای سخت نسبت به شکست، آسیب پذیر تر می باشد. بالعکس زاویه بزرگتر، خرده کوچکتری تولید کرده و در عین حال مقاومت بیشتری در برابر شکست خواهد داشت.

Back Rake همچنین با تسریع در دور کردن خرده تولیدی از جلوی مته به تمیز کاری مؤثر پیشانی مته کمک می کند. Side Rake نیز در کناره های مته و مقابل فضای حلقوی در تماس با سازند استفاده می شود [Harry, 1997].



شکل ب-۹- جهت برنده ها در مته های PDC [Harry, 1997]

1- Stud 2-Cutter Rake

در صورت استفاده هر یک از انواع مته، بررسی و ثبت شرایط آن، پس از رانش و بیرون آوردن آن، به منظور بررسی عملکرد مته و بهبود فرآیند انتخاب مته، بررسی نتایج پارامترهای اعمال شده و بهینه سازی حین عملیات، لازم و ضروری می باشد. بدین منظور برای یک شکل بودن ثبت شرایط مته پس از حفاری، IADC این سیستم را استاندارد کرده است [Harry, 1997]. از آنجا که بررسی عملکرد مته می تواند برای قضاوت پارامترهایی همچون: مقدار، سرعت و هزینه حفاری مورد استفاده قرار گیرد، لذا انجام آن بسیار حائز اهمیت می باشد. استفاده از روش انرژی مخصوص برای بهبود فرآیند انتخاب مته و همچنین استفاده از هزینه حفاری هر مته برای تعیین زمان بیرون کشیدن آن می تواند مفید باشد.

ب-۶- انرژی مخصوص^۱

انرژی مخصوص یک روش ساده برای برآورد و انتخاب مته فراهم می کند که در واقع بصورت انرژی مورد نیاز برای کردن واحد حجم سنگ تعریف می شود و عبارتست از تقسیم انرژی مکانیکی صرف شده (E) در مته ظرف یک دقیقه بر واحد حجم (V). بنابراین [Harry, 1997]:

$$E = W \times 2\pi R \times N \quad (in-lb) \quad (ب-۱)$$

که در آن:

W = وزن روی مته (lb) و R = شعاع مته (in) و N = سرعت گردش (rpm) می باشد.

حجم سنگ کنده شده در یک دقیقه نیز برابر خواهد بود با:

$$V = (\pi R^2) \times PR \quad (in^3) \quad (ب-۲)$$

که در آن: $PR = \left(\frac{ft}{hr}\right)$ نرخ نفوذ می باشد.

با تقسیم رابطه ب-۱ بر ب-۲، عبارت انرژی مخصوص حاصل خواهد شد:

$$SE = \frac{E}{V} = \frac{W \times 2\pi R \times N}{\pi R^2 \times PR} = 10 \frac{WN}{R \times PR} \frac{lb \times in}{in^3} \quad (ب-۳)$$

که در آن:

F=(ft) مقدار فاصله شده

$$PR = \frac{F}{t} \quad (ب-۴)$$

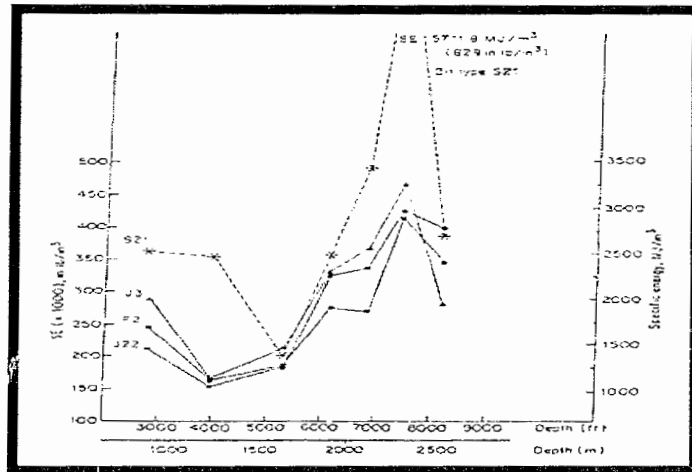
1- Specific Energy

زمان حفاری (hr) $t =$

$$\Rightarrow SE = 10 \frac{WN}{RF} 14 \quad (\text{ب-۵})$$

شایان ذکر است که SE جزو خصوصیات ذاتی سنگ محسوب نمی شود بلکه بیشتر به نوع و طراحی مته وابسته است.

این بدین معنی است که برای یک سازند با مقاومت معلوم، مته مخصوص سازند نرم، SE کاملاً متفاوتی از مته مخصوص سنگ سخت خواهد داشت لذا این ویژگی ما را در انتخاب بهتر و دقیق تر مته، راهنمایی می کند. یک مته با کمترین SE در مقطع خاص، اقتصادی ترین مته خواهد بود. شکل ب-۱۰ که انرژی مخصوص چهار مته J22, F2, H3, S21 را در مقابل عمق نشان می دهد، خلاصه اطلاعات حفاری از ۴۳ چاه با عمق میانگین 8700 ft می باشد. اگر از ملاک حداقل انرژی مخصوص برای انتخاب مته استفاده کنیم، جدول ب-۳ مته های منتخب را نشان خواهد داد.



شکل ب-۱۰- مقایسه عملکرد چهار نوع مته بر اساس میزان SE [Harry, 1997]

جدول ب-۳- مته های انتخاب شده بر اساس حداقل SE [Harry, 1997]

| مته انتخابی | عمق (m) |
|-------------|-----------|
| J22 | 2500-5750 |
| F2 | 5770-7800 |
| J3 | 7800-8600 |

حد بالای سرعت چرخش معمولاً توسط محدودیت های رشته حفاری تعیین می گردد. محاسبات نشان داده است، سرعت چرخشی که سبب بوجود آمدن ارتعاش در رشته حفاری می شود به شکست^۱ رشته حفاری منجر خواهد شد. سرعت چرخش یا مته های یاتاقان اصطکاکی دکمه ای^۲ ابتدا در محدوده ۴۵-۶۰ دور در دقیقه بوده لیکن تغییر در روغنکاری و طراحی یاتاقان امکان افزایش این سرعت را تا میزان ۱۲۰ دور در دقیقه نیز فراهم نموده است [Harry, 1997].

عمل برش^۳ در مته های سازند نرم می تواند با سرعتهای بیش از ۲۵۰-۳۰۰ دور در دقیقه مناسب باشد. ضمن اینکه حدود بالاتر سرعت چرخش با موتورهای درون چاهی قابل دسترس خواهد بود. اما افزایش سرعت چرخش می تواند فرسایش دندانهای مته را نیز افزایش دهد.

اعمال وزن بیشتر بر روی مته ضمن افزایش نرخ نفوذ، مته را سریعتر فرسوده می کند همچنین باعث فرسودگی سریعتر یاتاقان های خارجی^۴ نیز خواهد شد [Harry, 1997].

با افزایش وزن، تغییرات انحراف چاه خصوصاً در مواقعی که مته کند^۵ شده است می توان مشکل ساز شود. مگر اینکه مته و لوله های طوق مته بطور مطلوبی پایدار نگه داشته شوند. پایدار مطلوب همچنین به رانش صحیح مته، افزایش عمر یاتاقان و کاهش فرسودگی دندانهای مته کمک می کند. ساخت دندانهای یاتاقان های پیشرفته، امکان استفاده از وزن اعمالی بیشتر در سازندهای سخت را فراهم آورده است. در سازندهای سخت ممکن است وزنه های زیاد از قبیل ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ برای غلبه برای مقاومت فشاری سنگ مورد نیاز باشد. لیکن سرعت چرخش بالا در اینگونه سازندها می تواند سبب اعمال بارهای ناگهانی شده و منجر به خرد شدن دندانهای مته و بازمانی زودتر از موعد اتصالات رشته حفاری گردد [Harry, 1997].

در سازندهای حاوی لایه های شیبدار یا لایه های متناوب سخت و نرم، وزن کم نیز ممکن است برای انحراف چاه مسأله ساز باشد. بهترین راه حفاری چاه بصورت قائم، با ایجاد هیدرولیک کافی جهت تمیزکاری ته چاه و استفاده از مته تیز^۶ حتی با وزن اعمالی کم خواهد بود. استفاده مناسب از پایدار کننده ها و لوله های طوق مته قطور نیز می تواند احتمال پا سگی^۷ یا انحراف ناخواسته چاه را کاهش دهد. بهترین عملکرد مته های مخروطی با استفاده از لوله های طوق مته ۱/۴" در چاه ۱/۴" و ۱۲ و ۳/۴" در چاه ۱/۲" مشاهده شده است. ضمن اینکه در هر یک از این موارد سرعت بیش از حد در فضای حلقوی می تواند منجر به سوراخ شدگی لوله^۸ گردد.

1-failure 2-Friction bearing insert bit 3-Shearing 4-Outer bearing 5-Dull 6-Sharp
7-dogleg 8-wash out

روشهای متعددی برای پیش بینی وزن و سرعت چرخش بهینه حفاری و دستیابی به کمترین هزینه حفاری هر فوت وجود دارد. برنامه های مختلفی بر اساس وزن و سرعت چرخش متغیر، وزن متغیر و سرعت چرخش ثابت، وزن ثابت و سرعت چرخش ثابت معرفی شده اند. اساس تمام این روشها رابطه موجود تعیین هزینه حفاری هر فوت می باشد سپس روابط بر مبنای نرخ نفوذ بصورت تابعی از وزن و سرعت چرخش بیان می شود. نهایتاً عمر مته بصورت تابعی از وزن و سرعت چرخش بیان می گردد. مور این فرآیند را با استفاده از روابط قید شده انجام داده و وزن بهینه را بصورت زیر بیان کرده است [Harry, 1997]:

$$W_{opt} = \left[\frac{C_r K''}{(b-1)N(B + C_r T_r)} \right] \quad (6-ب)$$

رابطه فوق یک معادله ساده شده است و در آن فرض شده است که C_r یک عدد ثابت است و سرعت چرخش تغییر نمی کند.

مثلاً با استفاده از داده های عددی زیر می توان وزن بهینه را تعیین نمود:

$$\text{Well depth} = 10000 \text{ ft}$$

$$\text{Bit Weight} = 5000 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$\text{Bit Cost} = 2000 \frac{\$}{\text{hr}}$$

$$\text{Rotary Speed} = 75 \text{ rpm}$$

$$\text{Rig Cost} = 2000 \frac{\$}{\text{hr}}$$

$$\text{Bit Wear} \rightarrow b = 1.5$$

$$\text{Round Triptime} = 1 \frac{\text{hr}}{1000 \text{ ft}}$$

$$\text{Bitlife} = 100 \text{ hr}$$

$$\text{Average drilling Rate} = 10 \frac{\text{ft}}{\text{hr}}$$

به کمک رابطه موجود خواهیم داشت:

$$\frac{K''}{N} = (100 \times 5000)^{1.5} \quad (7-ب)$$

و با استفاده از رابطه داریم:

$$W_{opt} = \left[\frac{(2000)(100)(5000)^{1.5}}{0.5[2000 + (2000)(10)]} \right] \quad (8-ب)$$

برای نشان دادن تأثیر b ، با تغییر تابع فرسودگی مته خواهیم داشت:

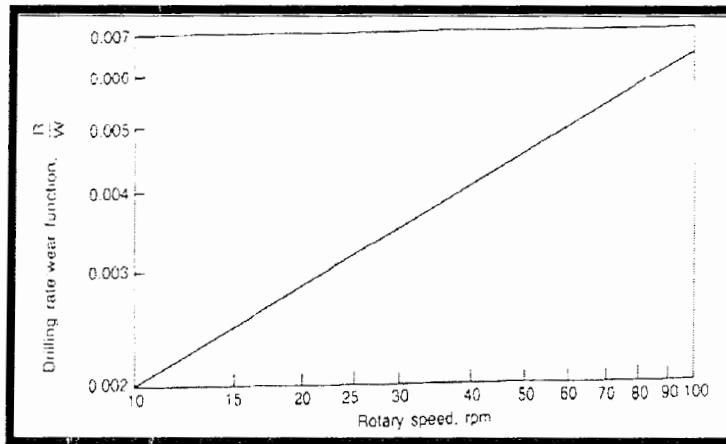
$$W_{opt} = \left[\frac{(2000)(100)}{1(22000)} \right]^{0.5} \times 5000 = 15076 \frac{lb}{in} \quad (\text{ب-۹})$$

تغییر ۳۳٪ در تابع فرسودگی مته (b) باعث کاهش بیش از ۵۰٪ در وزن اعمال شده بر مته خواهد شد. از رابطه ب-۶ در می یابیم که با افزایش هزینه دستگاه حفاری، وزن بهینه اعمال بر مته افزایش می یابد. نتایج بدست آمده در مثال فوق بیش از حداقل قابل انتظار در عمل می باشد. وزن روی مته ۷۰۰۰ پوند بر اینچ برای مته های دکمه ای یاتاقان اصطکاکی^۱ غیر معمول نیست. وزنه های بیشتر نیز برای سازندهای سخت بکار برده می شوند. اما تحت هر شرایطی، مؤثر بودن افزایش اعمال وزن به تمیزکاری کافی ته چاه وابسته است. رابطه همچنین می تواند، در صورت ثابت نگه داشتن وزن، برای بهینه سازی سرعت چرخش نیز استفاده شود. البته اگر مقدار a در رابطه معادل یک در نظر گرفته شود. محدودیت در سرعت چرخش توسط قدرت میز دوار، گشتاور رشته حفاری و یا برخی محدودیت های یاتاقان وجود خواهد داشت. اگر مقدار a در رابطه کمتر از یک در نظر گرفته شود، سرعت چرخش بهینه (Nopt) می تواند بصورت زیر محاسبه شود [Harry .1997]:

$$N_{opt} = \frac{aC_r k''}{(1-a)(B + C_r T_r) W^h} \quad (\text{ب-۱۰})$$

حل معادله فوق به ارتباط بین نرخ حفاری و سرعت چرخش وابسته است. این ارتباط می تواند از تجارب عملیاتی همانند شکل زیر برآورد شود. شیب خط در شکل مزبور که نسبت $\frac{R}{W}$ (نرخ حفاری بر تابع فرسودگی) در مقابل N (سرعت چرخش) را بر روی کاغذ لگاریتمی نشان می دهد، برابر مقدار a می باشد. با فرض $a=0.5$ و استفاده از داده های مثال قبل، سرعت چرخش بهینه بصورت زیر قابل محاسبه خواهد بود، فرض می کنیم وزن روی مته ۵۰۰۰ پوند بر اینچ و عمر مته ۱۰۰ ساعت در نظر گرفته شود:

1-Insert friction bearing bits



شکل ب-۱۱- روش تعیین ارتباط بین سرعت چرخش و نرخ نفوذ [Harry, 1997]

$$\frac{K''}{W^h} = (100)(75) \quad (ب-۱۱)$$

$$N_{opt} = \frac{(0.5)(2000)(100)(75)}{0.5[2000 + (2000)(10)]} = \frac{2000(100)(75)}{22000} = 682rpm$$

طرح مثال های فوق بر این امر تأکید می کند که اگر تنها مسائل اقتصادی مدنظر قرار گیرند، مقادیر بالایی از وزن و سرعت چرخش بدست خواهد آمد.

همچنین به منظور اندازه گیری نرخ نفوذ و تعیین وزن بهینه می توان از ^۱ Drill-off test استفاده کرد که در آن حفار ابتدا مقدار معینی وزن بر روی مته اعمال می کند، سپس ترمز را گرفته گردش و چرخش را در یک نرخ ثابت برقرار می کند. تحت این شرایط مته اجازه می یابد بخشی از وزن اعمال شده را جهت حفاری و نفوذ مصرف کند.

هنگام نفوذ مته، تکیه رشته حفاری بر ته چاه کم و در مقابل، وزن آویزان از قلاب^۲ زیاد می شود. این فرآیند کشیدگی رشته حفاری را افزایش خواهد داد. افزایش کشیدگی سبب ادامه حفاری اگر چه با میزان وزن اعمالی کمتر، خواهد شد، کمترین زمان برای افت مقدار معینی از وزن مثلاً (۵۰۰۰ پوند) می باشد. زمان مورد نیاز برای حفاری با مقدار وزن معین (معمولاً ۲۰۰۰-۵۰۰۰ پوند) به دقت تعیین می گردد. این فرآیند توسط مثال زیر بیان می شود.

جدول ب-۴ اطلاعات مورد نیاز در این مثال را نشان می دهد. چاهی به قطر ۵/۸" و عمق ۱۰۳۶۰ فوت با رشته حفاری شامل ۶۳۰ فوت لوله طوق مته و ۹۷۳۰ فوت لوله حفاری با قطر خارجی ۵" و سرعت چرخش ۱۳۰-۱۳۵ دور در دقیقه و هیدرولیک مته ۴۳۴ اسب بخار در حال حفاری می باشد.

1-Drill-off test 2--hock

جدول ب-۴- نمونه Drill – off test در شیل ماسه ای

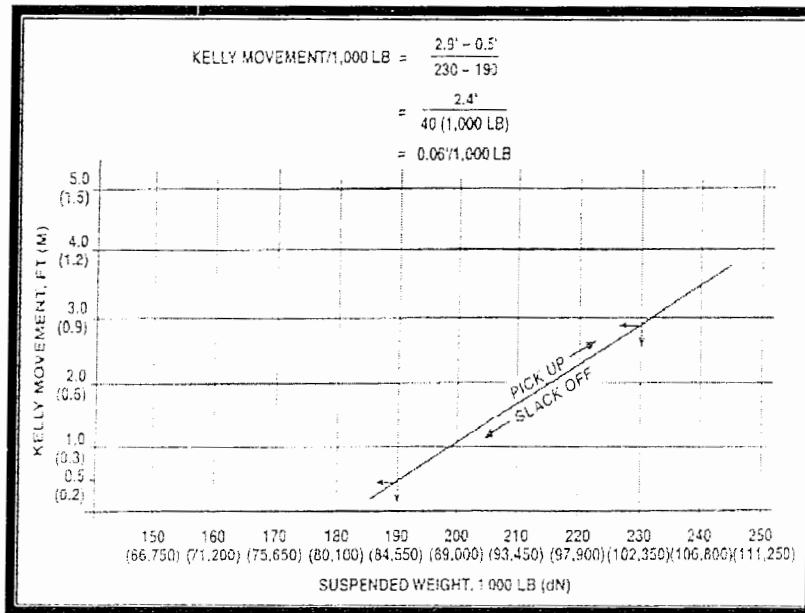
[Harry ,1997]

| محدوده وزن (۱۰۰۰ پوند) | Drill – Off زمان (second) |
|---------------------------|---------------------------------|
| ۷۰-۶۵ | ۲۶ |
| ۶۵-۶۰ | ۲۶ |
| ۶۰-۵۵ | ۲۵ |
| ۵۵-۵۰ | ۲۸ |
| ۵۰-۴۵ | ۳۱ |
| ۴۵-۴۰ | ۳۴ |
| ۴۰-۳۵ | ۳۶ |
| ۳۵-۳۰ | ۵۲ |
| ۳۰-۲۵ | ۷۰ |

بهترین رانش و نفوذ مربوط به وزن ۶۰۰۰۰ پوند به مدت ۲۵ ثانیه ثبت شده است. نتایج بدست آمده می تواند برای محاسبه نرخ نفوذ مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور ابتدا نمودار بلند کردن مته از چاه^۱ و بارگذاری^۲ را رسم کرده و کشیدگی رشته حفاری را به ازای مقدار وزن معین ثبت می کنیم (شکل ب-۱۲).

1-Picking up

2- Slack off



[Harry, 1997]

شکل ب-۱۲- نمودار بلند کردن مته و بارگذاری

حرکت لوله چند بر^۱ به ازای هر ۱۰۰۰ پوند بالا کشیدن یا بارگذاری طبق رابطه زیر تعیین می

گردد:

$$D = \frac{H_2 - H_1}{W_2 - W_1} \quad (\text{ب-۱۲})$$

که در آن:

D = (slack off) پایین رفتن لوله چند بر به ازای هر ۱۰۰۰ پوند بارگذاری

H_2 = (ft) ارتفاع لوله چند بر، بعد از بالا بردن

H_1 = (ft) ارتفاع لوله چند بر قبل از بالا بردن

w_1 = وزن آویزان شده قبل از بالا بردن، picking up (1000lb افزایش)

w_2 = وزن آویزان شده بعد از بالا بردن، picking up (1000lb افزایش)

برای دقت بیشتر از نقاط انتهایی استفاده می کنیم که نشان دهنده وزن حداکثر و وزن صفر روی مته می باشد. با توجه به شکل خواهیم داشت:

I-Kelly

$$D = \frac{2.9 - 0.5}{230 - 90} = 0.06 \text{ ft} / 1000 \text{ lb}$$

(Slacked off) یعنی ۰/۰۶ فوت به ازای هر ۱۰۰۰ پوند پایین بردن لوله. داده های وفق می تواند برای محاسبه بهترین نرخ نفوذ مورد استفاده قرار گیرد:

$$R = 3600 \times \frac{D \times W}{T} \quad (\text{ب-۱۳})$$

که در آن:

$$R = \left(\frac{\text{ft}}{\text{hr}} \right) \text{ نرخ نفوذ} \quad T = (\text{s}) \text{ زمان انجام آزمایش}$$

میزان پایین بردن به ازای هر ۱۰۰۰ پوند $D =$ وزن اعمال شده (افزایش ۱۰۰۰ lb) $W =$

با استفاده از بهترین رانش - ۲۵ ثانیه توسط ۵۰۰۰ پوند وزن - نرخ نفوذ برابر خواهد بود:

$$R = 3600 \times \frac{0.06 \times 5}{25} = 43.2 \frac{\text{ft}}{\text{hr}}$$

این آزمایش همچنین می تواند برای تعیین سرعت چرخش بهینه، با تغییر در میزان rpm و وزن و هیدرولیک ثابت، مورد استفاده قرار گیرد. بطور مشابه تأثیر افزایش هیدرولیک مته نیز با سرعت چرخش و وزن مناسب می تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. برای از بین بردن تأثیرات مربوط به خصوصیات سازند می توان از معدل گیری چندین آزمایش بهره گرفت [Harry, 1997].

ب-۷- تراوایی^۱

وجود تراوایی سبب ایجاد کیک حفاری در دیواره چاه خواهد شد که می تواند مزایایی همچون حفظ دیواره چاه و همچنین نشت گیری دیواره چاه برای جلوگیری از تراوایی بیشتر گل را در پی خواهد داشت. علی رغم این مزایا تراوایی اضافی می تواند سبب بروز مشکلاتی نظیر گیر کردن رشته حفاری، تغییر در خصوصیات ترشوندگی سازند و ایجاد اشکال در تفسیر لاگها شود. از طرفی تکه خرد شده توسط مته، قابل جدا شدن نیست مگر اینکه اختلاف فشار اعمال شده بر آن برداشته شود. تراوایی^۲ آنی و میزان ذرات کلونیدی گل تعیین کننده سرعت خنثی شدن اثر اختلاف فشار یا پایین نگه داشته شدن سنگ خرد شده^۳ می باشد.

اگر سیال حفاری دارای تراوایی آنی باشد، فشار اطراف تکه خرد شده (Chip) فوراً خنثی می شود. اما اگر گل شامل میزان ذرات جامد کلونیدی بیش از حد باشد (که در حقیقت باعث عدم ایجاد تراوایی آنی خواهد شد)، تشکیل کیک سبب عدم خنثی شدن اختلاف فشار خواهد شد. لذا تکه خرد شده در کف چاه و در مجاورت مته طی چرخش های بعدی باقی خواهد ماند.

اثر تراوایی بر نرخ نفوذ می تواند توسط رابطه زیر برآورد شود:

$$ROF_2 = ROF_1 \times \left(\frac{WL_2 + 35}{WL_1 + 35} \right) \quad (\text{ب-۱۴})$$

که در آن:

$$WL_1, WL_2 = \left(\frac{Cm^3}{30 \text{ min}} \right) \text{ تراوایی اولیه و نهایی}$$

$$ROF_1, ROF_2 = \left(\frac{ft}{hr} \right) \text{ نرخ نفوذ اولیه و نهایی}$$

1-Water loss

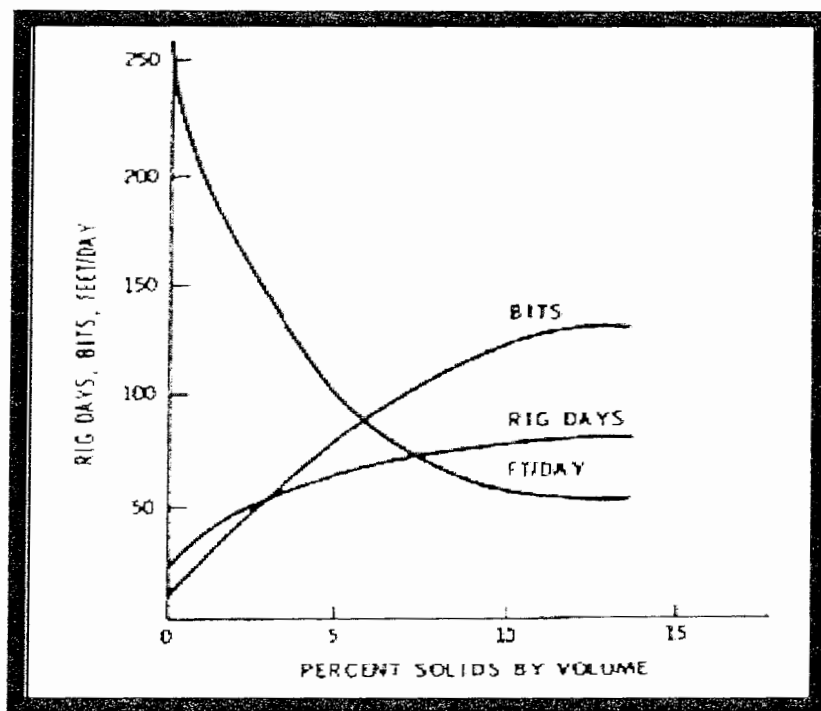
2-Spurt loss

3-Chip hold down

ب-۸- نوع و میزان جامدات^۱

مقدار، ابعاد و نوع ذرات جامد بر خصوصیات گل و به تبع آن بر نرخ نفوذ بسیار مؤثر می باشد. تأثیر میزان ذرات جامد بر نرخ نفوذ و پیشرفت حفاری در شکل های ب-۱۳ تا ب-۱۵ نشان داده شده است.

با استفاده از تجهیزات مناسب جداسازی جامدات (Sre) می توان مقدار ذرات جامد گل را در شرایط کنترل شده حفظ کرد.

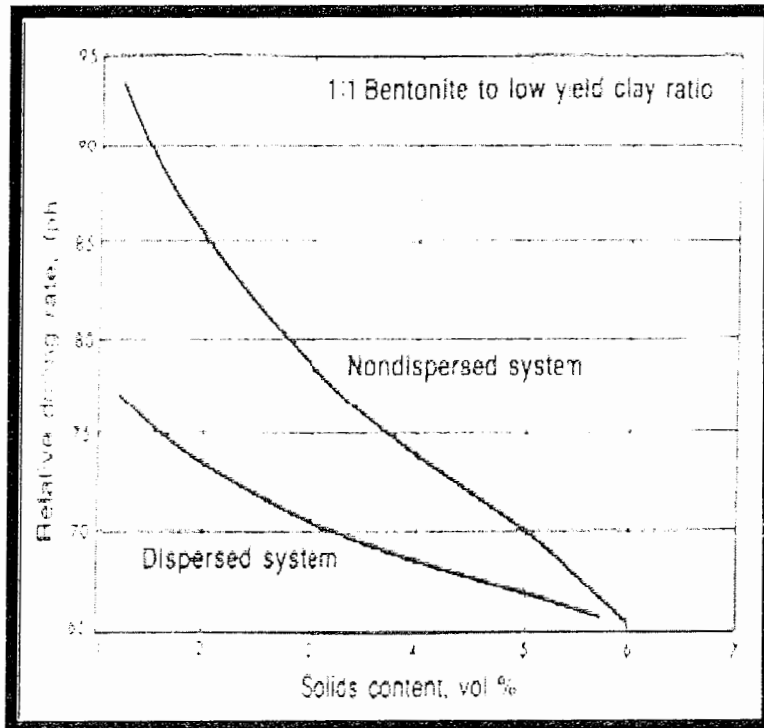


شکل ب-۱۳ - تأثیر میزان ذرات جامد گل بر عملکرد حفاری [Jean,2001]

1-Solid content

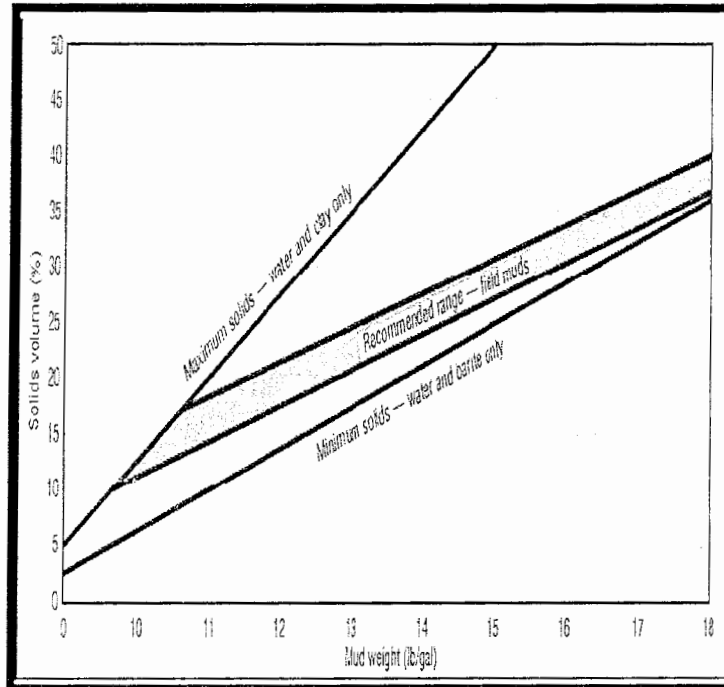
2-Solid removal equipment

علاوه بر میزان ذرات جامد گل، نوع و حالت توزیع آنها نیز بر نرخ حفاری تأثیر گذار است. شکل ب-۱۴ که نتایج آزمایشات لوموس می باشد، تأثیر پراکندگی^۱ ذرات جامد بر نرخ حفاری را نشان می دهد.



شکل ب-۱۴- تأثیر پراکندگی ذرات جامد بر نرخ نفوذ [Jean.2001]

توجه کنید که در میان درصد حجمی ذرات جامد کمتر از ۳٪، نرخ نفوذ در سیستم غیرپراکنده به مراتب بیشتر می باشد. شکل ب-۱۵ محدوده ذرات جامد پیشنهادی را برای گلپای آب پایه نشان می دهد.



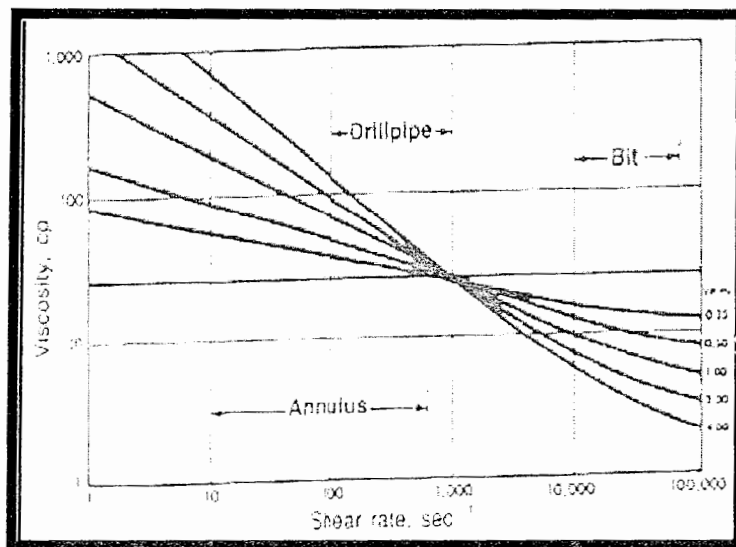
شکل ب-۱۵ - محدوده پیشنهادی ذرات جامد در گلپای آب پایه [Jean.2001]

ب-۹- گرانروی^۱

یک سیال غلیظ یا گرانرو، سخت تر از یک سیال رقیق پمپ می شود. لذا گرانروی بیشتر به فشار بیشتری برای گردش نیاز دارد بنابراین افزایش گرانروی فشار گردش را کاهش می دهد و به تبع آن BHHP یا هیدرولیک قابل دسترس در مته کاهش می یابد. تمیز کاری مؤثر چاه افت کرده و در نتیجه نرخ نفوذ کاهش خواهد یافت. تاثیر گرانروی جریان آرام بر نرخ حفاری، تنها توسط افت فشار اضافی حین گردش در فضای حلقوی می باشد که گل گرانروتر می شود. این فشار اضافی، فشار مؤثر هیدرواستاتیکی در فضای حلقوی را افزایش داده و از جنبه اثر وزن گل که قبلاً اشاره شد نرخ حفاری را تحت تأثیر قرار می دهد. رژیم جریان گل حفاری در هنگام عبور از مته متلاطم می باشد و خواص جریان گرانرو و آرام در این حالت صادق نمی باشد.

1-Viscosity

اما از آنجا که گرانروی پلاستیک وسیله ای برای تعیین نسبت میزان ذرات جامد گل می باشد می تواند برای نشان دادن گرانروی گل در جریان متلاطم مورد استفاده قرار گیرد. در صورت ثابت ماندن خصوصیات گل، یک گل رقیق در نرخ برش بالا^۱ نرخ نفوذی بیشتر از گل غلیظ خواهد داشت [Jean,2001]. شکل ب-۱۶ پنج گل با گرانروی مشابه را که نسبت نقطه تسلیم (واروی) به گرانروی پلاستیک در آنها متفاوت است، نشان می دهد.



شکل ب-۱۶- گرانروی در مقابل نرخ برش [Jean,2001]

با افزایش نسبت نقطه واروی به گرانروی پلاستیک $\left(\frac{YP}{PV}\right)$ ، گل خواص رقیق شونده در مقابل برش را پیدا خواهد کرد. دقت کنید که گل با مشخصات $\frac{YP}{PV} = 4$ در نرخ برش بالا رقیق تر می باشد. این نوع گل‌های عموماً گل‌هایی با میزان جامدات فلوکوله شده کم یا حاوی برخی پلیمرها برای غلیظ کردن می باشند. شکل زیر نیز تأثیر نرخ برش را بر گرانروی چندین سیستم گل نشان می دهد. رقیق شدن در اثر برش باعث کاهش گرانروی شده لذا نرخ نفوذ افزایش و امکان توپیی شدن مته نیز کاهش می یابد. توجه داشته باشید که گل‌های غیر پراکنده کم جامد بیشتر از گل‌های پراکنده، به برش (Shear) حساس اند. در هر حال استفاده از گلی با گرانروی کمتر در مته ولی دارای ساختاری مقاوم تر برای حمل خرده های حفاری در فضای حلقوی، مطلوب ترین حالت خواهد بود.

1-High shear rate 2-shear thin

ب-۱۰- نوع فاز مایع^۱

فاز اصلی سیال حفاری می تواند تأثیر مهمی بر نرخ نفوذ داشته باشد. هوا و گاز از سیالات سبک وزن بوده و تأثیر آنها بر نرخ نفوذ اشاره شد. افزودن نفت به گل‌های آب پایه در سازندهای دارای دما و بالا و سازندهای حاوی شیل‌های مستعد پوست اندازی^۲ یا چسبیدن^۳ می تواند باعث افزایش نرخ نفوذ شود. همچنین کاهش اصطکاک، سبب کاهش احتمالی چسبندگی رشته حفاری و تجهیزات درون چاهی (BHA) و چرخش آزادانه آن و همچنین افزایش مؤثر وزن روی مته خواهد شد. ضمن اینکه امکان ایجاد پدیده تویی شدن مته نیز در رسها و شیل‌های هیدراته کاهش یابد [Harry, 1997].

گل‌های نفت پایه گرانتر از گل‌های آب پایه بوده و استفاده از آن به شرایط خاص محدود می شود. سازندهای حل شونده در آب، حفاظت از سازندهای تولید کننده، بروز مسائل خوردگی شدید، چاه‌های عمیق و دارای دمای بالا، مغزه گیری و جلوگیری از گیر کردن تجهیزات درون چاهی از جمله موارد استفاده از گل‌های پایه روغنی می باشد. در صورت استفاده از مته های مخروطی یا مته های الماسه عادی، نرخ حفاری در گل‌های پایه روغنی با کاهش میزان جامدات و اجازه تراوایی زیاد، قابل دسترسی خواهد بود. نرخ حفاری برای مته های PDC در گل‌های پایه روغنی بیش از گل‌های آب پایه می باشد. تأثیر گل‌های پایه روغنی بر نرخ نفوذ هنگام استفاده از مته های مخروطی می تواند ناشی از این مسأله باشد که نفت هنگام عبور از مته، همانند آب در اثر برش رقیق تر نمی شود. در مته های PDC نیز علت افزایش نرخ نفوذ با گل‌های پایه روغنی، به روغنکاری زیر مته توسط این نوع گل‌ها مربوط می شود. اثر میزان نفت بر نرخ نفوذ در صورتیکه درصد حجمی نفت کمتر از ۳۰٪ باشد بصورت زیر قابل تخمین خواهد بود [Harry, 1997]:

$$ROP_2 = ROP_1 \left[\frac{\sin(10.6Vol_1\% - 483) + 10.33}{\sin(10.6Vol_2\% - 483) + 10.33} \right] \quad \text{(ب-۱۵)}$$

در آن:

$ROP_2, ROP_1 = \left(\frac{ft}{hr} \right)$ نرخ نفوذ ابتدایی و نهایی

درصد حجمی میزان نفت $Vol_1\%, Vol_2\%$

همچنین افزایش درصد نفت در سیال حفاری می تواند باعث کاهش عملکرد توپی شدن مته گردد. ترکیب اثر ویژگیهای مختلف سیال حفاری بر نرخ نفوذ می تواند توسط عدد رینولدز (Re) بیان گردد:

$$Re = \frac{Kq\gamma}{d_n M_f} \quad (\text{ب-۱۶})$$

که در آن :

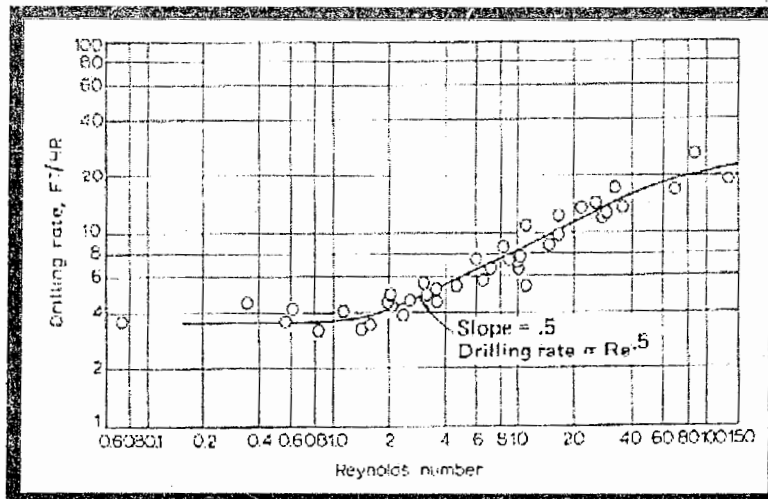
دبی جریان (gal/min) $q =$

گرانروی سیال عبوری از فواره (CP) $M_f =$

ثابت تناسب $K =$ وزن مخصوص گل به $\gamma = \left(\frac{lb}{gal}\right)$

قطر فواره مته (in) $d_n =$

رابطه فوق در شکل ب-۱۷ نیز نشان داده شده است. طبق شکل مشاهده می شود که در کمتر از مقادیر ۲ برای عدد رینولدز، نرخ نفوذ افزایشی را نشان نمی دهد..



شکل ب-۱۷- رابطه بین عدد رینولدز و نرخ حفاری [Jean,2001]

پیوست - ج

ج-۱- نمودارهای ROP

همانطور که در فصل چهارم اشاره شد ما برای بدست آوردن فاز بهینه در بین فاز های منطقه پارس جنوبی ابتدا ارتباط نرخ نفوذ " به عنوان یک فاکتور اصلی طراحی " با ورن گل (MW)، وزن روی مته (WOB)، سرعت چرخش را استخراج کردیم و سپس به پیدا کردن فاز بهینه پرداختیم. که در جداول ج-۱ تا ج-۶ بعضی از جداول مربوطه، در ادامه این فصل آمده است. که داده های مربوط به جداول ج-۱ و ج-۲ مربوط به داد های موثر بر روی نرخ نفوذ مته های " 8.5" و " 12.5" و برای چاه های مختلف می باشد و داد های مربوط به جداول ج-۳ تا ج-۶ نیز مربوط به محاسبات آماری برای مته " 5/875" ، " 6" ، " 8.5" ، " 26" می باشد.

جدول ج-۱ - داده های موتور بر نرخ نفوذ متدل ۸ اینچی برای حاد های مختلف.

| 8.5 | Well | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB(lb/in2) | RPM | Meter Drilled | |
|----------|----------|-----------|----------|-------------|-----|---------------|-----|
| Phase 1 | SPD1_01 | 1.20 | 1.42 | | | 3 | |
| | | 4.82 | 1.43 | | | 123 | |
| | | 3.78 | 1.45 | | | 208 | |
| | | 3.33 | 1.42 | | | 143 | |
| | | 5.97 | 1.43 | | | 188 | |
| | | 4.70 | 1.4 | | | 336 | |
| | | 8.38 | 1.45 | | | 134 | |
| | | | 1.45 | | | | |
| | | SPD1_021 | 1.33 | 1.3 | | | 6 |
| | | | 4.95 | 1.32 | | | 282 |
| 3.00 | 1.12 | | | | 45 | | |
| 5.79 | 1.45 | | | | 567 | | |
| 0.00 | 1.43 | | | | 0 | | |
| 0.71 | 1.42 | | | | 27 | | |
| 1.26 | 1.42 | | | | 29 | | |
| 4.78 | 1.42 | | | | 239 | | |
| 7.64 | 1.45 | | | | 168 | | |
| 0.00 | 1.42 | | | | | | |
| SPD1_031 | 0.00 | 1.43 | | | 54 | | |
| | 5.58 | 1.45 | | | 519 | | |
| | 0.00 | 1.45 | | | 353 | | |
| | 0.00 | 1.42 | | | 54 | | |
| SPD1_051 | | 1.43 | | | | | |
| | 5.504274 | 1.43 | | | 322 | | |
| | | 1.43 | | | 289 | | |
| | | 1.43 | | | 356 | | |
| SPD1_071 | 1.33 | 1.45 | | | 2 | | |
| | 4.12 | 1.42 | | | 318 | | |
| | 4.40 | 1.42 | | | 612 | | |
| | 0.00 | 1.42 | | | | | |
| | 5.84 | 1.43 | | | 216 | | |
| | 0.00 | 1.43 | | | | | |
| | 0.00 | 1.43 | | | | | |
| Phase 2 | SPD3-01 | 1.5 | 1.43 | 12 | 60 | 3 | |
| | | 6.2667 | 1.43 | 14 | 100 | 611 | |

| | | | | | |
|---------|--------|------|-----|-----|-----|
| | 6.9277 | 1.43 | 12 | 100 | 575 |
| SPD3-02 | 6.64 | 1.45 | 6.5 | 70 | 548 |
| | 6.5635 | 1.45 | 9 | 110 | 594 |
| SPD3-03 | 6.9233 | 1.45 | 6 | 60 | 45 |
| | 4.4444 | 1.45 | 6 | 110 | 80 |
| | 6.2706 | 1.45 | 10 | 110 | 533 |
| | 4.1102 | 1.45 | 12 | 120 | 263 |
| | 5.0677 | 1.45 | 14 | 120 | 347 |
| SPD3-04 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | 8.1589 | 1.45 | 11 | 90 | 616 |
| | 9.0364 | 1.45 | 12 | 115 | 497 |
| SPD3-06 | 5.6477 | 1.57 | 88 | 70 | 497 |
| | 8.1333 | 1.45 | 9 | 70 | 244 |
| | 2.6667 | 1.45 | 5 | 110 | 4 |
| | 4.5263 | 1.45 | 7.5 | 100 | 43 |
| | 5.6462 | 1.45 | 7.5 | 100 | 367 |
| SPD3-07 | 0.9333 | 1.43 | 17 | 150 | 14 |
| | 5 | 1.43 | 13 | 120 | 110 |
| | 3.6512 | 1.45 | 18 | 130 | 157 |
| | 5.31 | 1.45 | 12 | 100 | 468 |
| | 5.8462 | 1.45 | 12 | 110 | 380 |
| SPD3-09 | 7.8413 | 1.45 | 14 | 60 | 494 |
| | 8.6842 | 1.45 | 14 | 120 | 660 |
| SPD3-10 | 0.8571 | 1.45 | 6 | 70 | 3 |
| | 11.6 | 1.45 | 8 | 90 | 58 |
| | 6.6842 | 1.45 | 10 | 80 | 381 |
| | 2.1739 | 1.45 | 10 | 135 | 25 |
| | 6.0078 | 1.45 | 12 | 120 | 769 |
| SPD3-12 | 3 | 1.45 | 10 | 70 | 3 |
| | 7.8052 | 1.45 | 15 | 80 | 601 |
| | 10.336 | 1.45 | 15 | 120 | 584 |
| Phase 3 | | | | | |
| SPD4-01 | 7.519 | 1.45 | 10 | 120 | 297 |
| | 7.6129 | 1.45 | 9 | 115 | 118 |
| | 10 | 1.43 | 3 | 115 | 5 |
| | 7.75 | 1.43 | 9 | 115 | 124 |
| | 6.5846 | 1.43 | 8 | 115 | 214 |
| | 9.68 | 1.38 | 10 | 80 | 121 |
| SPD4-02 | 5.1931 | 1.45 | 5 | 110 | 605 |
| | 5.1333 | 1.45 | 10 | 120 | 308 |
| | 3.6 | 1.45 | 8 | 120 | 306 |
| SPD4-03 | 8.6835 | 1.45 | 9 | 70 | 343 |

| | | | | | |
|-----------|---------|------|----|-----|-----|
| | 4.81 | 1.45 | 9 | 70 | 77 |
| | 9.4894 | 1.45 | 7 | 70 | 223 |
| | 9.0156 | 1.45 | 11 | 120 | 577 |
| SPD4-04 | 6 | 1.45 | 5 | 70 | 3 |
| | 10.93 | 1.45 | 10 | 70 | 623 |
| | 5.2663 | 1.45 | 11 | 80 | 524 |
| | 5.6471 | 1.45 | 9 | 115 | 48 |
| SPD4-06 | 5.8572 | 1.13 | 10 | | 41 |
| | 8.1709 | 1.15 | 12 | | 813 |
| | 12.145 | 1.19 | 12 | | 504 |
| SPD4-07 | 1.2 | 1.45 | 8 | 60 | 30 |
| | 5.4364 | 1.45 | 9 | 90 | 598 |
| | 7.32 | 1.45 | 11 | 110 | 564 |
| SPD4-09 | 11.111 | 1.45 | 7 | 60 | 50 |
| | 8.4348 | 1.45 | 12 | 60 | 582 |
| | 6.2128 | 1.45 | 11 | 115 | 584 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 24.4 | 1.45 | 3 | 50 | 122 |
| SPD4-10 | 2 | 1.45 | 12 | 125 | 10 |
| | 1 | 1.45 | 7 | 50 | 1 |
| | 4.2921 | 1.45 | 8 | 90 | 573 |
| | 4.75763 | 1.45 | 10 | 110 | 628 |
| SPD4-12 | 3.75 | 1.45 | 5 | 50 | 15 |
| | 2 | 1.85 | 10 | 100 | 38 |
| | 6.6999 | 1.85 | 10 | 100 | 345 |
| SPD4-14 | 3 | 1.45 | 9 | 80 | 6 |
| | 5.8615 | 1.44 | 10 | 90 | 381 |
| | 5.82614 | 1.45 | 5 | 90 | 134 |
| | 4.6825 | 1.45 | 8 | 100 | 295 |
| | 3.4054 | 1.45 | 9 | 100 | 63 |
| | 5.25 | 1.45 | 8 | 90 | 336 |
| | 4 | 1.45 | 7 | 90 | 4 |
| Phase 4&5 | | | | | |
| SP7 | 1.62 | 1.43 | 15 | 120 | 30 |
| | 4.12 | 1.43 | 7 | 155 | 105 |
| | 4.14 | 1.43 | 7 | 120 | 29 |
| | 3.38 | 1.43 | 7 | 120 | 22 |
| | 5.14 | 1.43 | 7 | 120 | 18 |
| | 4.29 | 1.43 | 7 | 85 | 30 |
| | 3.06 | 1.43 | 6 | 140 | 75 |
| | 5.09 | 1.43 | 7 | 85 | 28 |
| | 5.4 | 1.43 | 7 | 85 | 27 |

| | | | | | | |
|----------------|---------|----------|-------|-------|-----|-----|
| | | 2.13 | 1.43 | 11 | 150 | 119 |
| | SP8 | 2.7 | 1.36 | 7 | 100 | 50 |
| | | 2.6 | 1.45 | 7 | 120 | 37 |
| | | 1.9 | 1.45 | 9 | 100 | 37 |
| | | 1.3 | 1.45 | 9 | 80 | 5 |
| | | 3 | 1.45 | 9 | 80 | 72 |
| | | 4.4 | 1.45 | 9 | 100 | 254 |
| Phase 8 | | | | | | |
| | SPD9-01 | 17.4 | 1.37 | 14 | 289 | 118 |
| | | 23 | 1.37 | 12 | 289 | 216 |
| | | 36.1 | 1.37 | 13 | 240 | 184 |
| | SPD9-02 | 0.7 | 1.37 | 10 | 80 | 3 |
| | | 7.5 | 1.37 | 12 | 256 | 204 |
| | | 14.5 | 1.37 | 14 | 236 | 335 |
| | SPD9-05 | 20 | 1.37 | 10 | 238 | 4 |
| | | 26.79 | 1.37 | 12 | 309 | 418 |
| | SPD9-07 | 26.23 | 1.37 | 19 | 256 | 435 |
| | SPD9-09 | 13.2 | 1.37 | 15 | 240 | 11 |
| | | 18.58 | 1.37 | 9 | 280 | 74 |
| | | 27.43 | 1.37 | 14 | 280 | 336 |
| | | | 1.37 | | | |
| | | | 1.37 | | | 0 |
| | SPD9-11 | 6.5 | 1.37 | 16 | 276 | 33 |
| | | 30 | 1.37 | 15 | 276 | 123 |
| | | 19.36 | 1.37 | 12 | 315 | 456 |
| | SPD9-13 | 3.3 | 1.37 | 15 | 236 | 4 |
| | | 34.7 | 1.37 | 15 | 266 | 403 |
| | SPD9-15 | 3.08 | 1.37 | 10 | 302 | 8 |
| | | 20.83 | 1.37 | 14 | 286 | 479 |
| Phase 7 | | | | | | |
| | SPD8-01 | 6.88848 | 1.83 | 26.46 | 164 | 3 |
| | | 26.91384 | 1.74 | 32.57 | 174 | 495 |
| | SPD8-02 | 2.410968 | 0.169 | | | 532 |
| | SPD8-05 | 8.281416 | 1.41 | 15 | 275 | 543 |
| | SPD8-07 | 4.264152 | 1.43 | 15 | 276 | 356 |
| | | 2.343912 | 1.42 | 15 | 250 | 222 |
| | SPD8-09 | 4.154424 | 1.41 | 17 | 286 | 507 |
| | | 4.352544 | 1.41 | 14 | 276 | 173 |
| | | 8.446008 | 1.41 | 10 | | 109 |
| | | 0 | | | | 0 |
| | SPD8-11 | 22.15896 | 1.74 | 33.07 | 276 | 472 |
| | SPD8-13 | 3.493008 | 1.4 | 15 | 266 | 436 |

| | | | | | |
|----------------|----------|------|----|-----|-----|
| | 4.75488 | 1.41 | 14 | 266 | 312 |
| SPD8-14 | 8.058912 | 1.41 | 15 | 266 | 316 |
| | 9.192768 | 1.41 | 15 | 276 | 93 |
| SPD8-15 | 3.00228 | 1.41 | 17 | 204 | 299 |
| | 5.21208 | 1.41 | 17 | 266 | 244 |
| Phase 6 | | | | | |
| SPD7-02 | 10.15 | 1.41 | 8 | 265 | 464 |
| SPD7-03 | 11.47 | 1.41 | 12 | 280 | 506 |
| | 27.82 | 1.41 | 9 | 297 | 217 |
| SPD7-05 | 16.67 | 1.41 | 12 | 280 | 727 |
| SPD7-07 | | 1.41 | 13 | 270 | 502 |
| SPD7-09 EOWR | 22.42 | 1.41 | 14 | 315 | 630 |
| SPD7-11EOWR | 12.35 | 1.14 | 12 | 194 | 147 |
| | 12.95 | 1.41 | 10 | 214 | 202 |
| | 18.93 | 1.41 | 14 | 214 | 284 |
| SPD7-13 EOWR | 12.85 | 1.41 | 16 | 319 | 602 |
| SPD7-14T2 | 6.67 | 1.41 | 15 | 295 | 92 |
| | 23.15 | 1.41 | 15 | 100 | 426 |

جدول ج ۱۲-۲ داده های موتور بر نرخ نفوذ شده ۱۲ اینچ برای حدهای مختلف

| 12.5 | | | | | | | |
|---------|----------|-------|-----------|----------|-----|-----|---------------|
| Phase 1 | | Well | ROP(m/hr) | MW(kg/l) | WOB | RPM | Meter Drilled |
| | SPD1_01 | 6.00 | | | | | 3 |
| | | 1.65 | 73 | | | | 14 |
| | | 8.71 | 73 | | | | 257 |
| | | 10.64 | 75 | | | | 750 |
| | | 6.14 | 77 | | | | 270 |
| | | 7.73 | 77 | | | | 116 |
| | SPD1_021 | | 73 | | | | |
| | | 3.20 | 71 | | | | 71 |
| | | 9.04 | 74 | | | | 549 |
| | | 7.21 | 80 | | | | 602 |
| | | 4.12 | 81 | | | | 138 |
| | SPD1_031 | 0.00 | 70 | | | | 3 |
| | | 5.14 | 70 | | | | 239 |
| | | 9.33 | 71 | | | | 784 |
| | | 6.27 | 71 | | | | 229 |
| | | | 75 | | | | 18 |
| | | | 80 | | | | 0 |
| | SPD1_051 | | 62.4 | | | | 107 |

| | | | | | |
|----------------|----------|------|-------|---------|------|
| | 5.75 | 71 | | | 184 |
| | | 79 | | | 824 |
| | | 79 | | | 366 |
| SPD1_071 | | 72 | | | 140 |
| | 11.11 | 75 | | | 862 |
| | 7.34 | 77 | | | 288 |
| | 6.33 | 80 | | | 272 |
| | | 77 | | | 0 |
| SPD1_081 | | 69 | 8 | 60 | |
| | | 69 | 8 | 60 | |
| | | 69 | 8 | 60 | |
| | | 69 | 8 | 60 | |
| | 5 | 69 | 8 | 60 | 10 |
| | 10.58884 | 73 | 5 - 7 | 120 | 205 |
| | 7.117517 | 74 | 5 | 120 | 321 |
| | 8.9 | 75 | 13 | 800 MTR | 406 |
| | 4.291667 | 75 | 12 | 90 | 103 |
| | 0.6 | 75 | 10.00 | 800 MTR | 157 |
| | 0.59 | 75 | 15.00 | 90 | 8 |
| Phase 2 | | | | | |
| SPD3-01 | 6.5714 | 1.16 | 15 | 100 | 2 |
| | 8.3345 | 1.16 | 7.5 | 100 | 1084 |
| | 11.468 | 1.16 | 7.5 | 100 | 372 |
| SPD3-02 | 1.4737 | 1.13 | 20 | 60 | 14 |
| | 6.4138 | 1.14 | 5 | 105 | 279 |
| | 9.9871 | 1.14 | 11.5 | 100 | 774 |
| | 2.1429 | 1.13 | 5 | 140 | 69 |
| | 2 | 1.13 | 5.5 | 120 | 20 |
| | 9.6764 | 1.15 | 12.5 | 100 | 912 |
| | 7.1515 | 1.18 | 12.5 | 80 | 118 |
| SPD3-03 | 8.2 | | | | 41 |
| | 8.0627 | 1.16 | 8.5 | | 1028 |
| | 6.2953 | 1.18 | 11.5 | | 469 |
| SPD3-04 | 0.0667 | 1.13 | 10 | 100 | 1 |
| | 11.716 | 1.13 | 13 | 90 | 375 |
| | 10.93 | 1.11 | 18 | 100 | 705 |
| | 9.8378 | 1.18 | 15 | 100 | 364 |
| SPD3-06 | 1 | 1.13 | 12 | 90 | 1 |
| | 5.6398 | 1.13 | 10 | 100 | 203 |
| | 6.2695 | 1.14 | 7.5 | 100 | 442 |
| | 7.6977 | 1.15 | 10 | 90 | 662 |

| | | | | | |
|----------------|--------|-----------|-----|-----|------|
| | 3.875 | 1.15 | 6.5 | 90 | 31 |
| | 3.6701 | 1.17 | 7 | 90 | 178 |
| SPD3-07 | 1.7143 | 1.13 | 13 | 70 | 6 |
| | 12.44 | 1.15 | 20 | 90 | 1244 |
| | 6.4333 | 1.15 | 15 | 180 | 193 |
| SPD3-09 | 0.4 | 1.16 | 14 | 70 | 1 |
| | 11.241 | 1.16 | 15 | 70 | 1332 |
| | 9.098 | 1.18 | 15 | 80 | 232 |
| SPD3-10 | 8.1985 | 1.15 | 15 | 60 | 1115 |
| | 5.9844 | 1.18 | 15 | 70 | 383 |
| SPD3-12 | 2 | 1.12 | 10 | 60 | 2 |
| | 10.212 | 1.15 | 16 | 90 | 1062 |
| | 6.8667 | 1.18 | 22 | 100 | 412 |
| Phase 3 | | | | | |
| SPD4-01 | 11.6 | 1.13 | 7 | 50 | 58 |
| | 8.1258 | 1.14 | 8 | 50 | 646 |
| | 7.4545 | 1.2 | 7 | 50 | 246 |
| SPD4-02 | 10.25 | 1.13 | 5 | 70 | 41 |
| | 8.0148 | 1.14 | 7 | 90 | 1086 |
| | 8.7857 | 1.19 | 9 | 50 | 369 |
| SPD4-03 | 6.7273 | 1.14 | 10 | 70 | 37 |
| | 7.7778 | 1.14,1.17 | 10 | 70 | 35 |
| | 9.1861 | 1.18 | 10 | 100 | 1061 |
| | 5.8423 | 1.45 | 12 | 100 | 383 |
| SPD4-04 | 8.444 | 1.14 | 10 | 60 | 38 |
| | 9.2954 | 1.17 | 9 | 190 | 1306 |
| | 5.75 | 1.18 | 9 | 190 | 161 |
| SPD4-06 | 11.4 | 1.19 | 10 | | 57 |
| SPD4-07 | 9.5 | 1.15 | 8 | 40 | 38 |
| | 2.9167 | 1.13 | 11 | 180 | 70 |
| | 5.9394 | 1.14 | 8 | 190 | 98 |
| | 10.055 | 1.16 | 9 | 180 | 920 |
| | 5.6389 | 1.18 | 15 | 180 | 203 |
| | 2.9091 | 1.16 | 5 | 70 | 80 |
| SPD4-09 | 4 | 1.13 | 8 | 70 | 2 |
| | 4 | 1.13 | 8 | 80 | 2 |
| | 10 | 1.13 | 5 | 80 | 400 |
| | 8.0404 | 1.14 | 5 | 60 | 398 |
| | 4.8963 | 1.16 | 12 | 60 | 661 |
| SPD4-10 | 2 | 1.13 | 10 | 80 | 6 |
| | 7.9286 | 1.14 | 15 | 80 | 222 |
| | 8.4413 | 1.15 | 15 | 110 | 899 |

| | | | | | |
|---------|--------|------|----|-----|-----|
| | 6.2133 | 1.19 | 10 | 110 | 233 |
| SPD4-12 | 2 | 1.15 | 10 | 70 | 2 |
| | 5.7377 | 1.14 | 15 | 100 | 175 |
| | 5.75 | 1.15 | 10 | 70 | 115 |
| | 0.5 | 1.15 | 1 | | 0.5 |
| | 9.6196 | 1.15 | 10 | 80 | 784 |
| | 5.5077 | 1.18 | 10 | 90 | 358 |
| SPD4-14 | 8.8 | 1.13 | 10 | 70 | 44 |
| | 0.5362 | 1.14 | 12 | 90 | 260 |
| | 10.727 | 1.14 | 7 | 90 | 177 |
| | 8.8939 | 1.17 | 10 | 90 | 587 |
| | 8.2 | 1.2 | 10 | 90 | 410 |

Phase 4&5

| | | | | | |
|-----|------|------|----|-----|-----|
| SP7 | 4 | 1.17 | 20 | 110 | 96 |
| | 8.49 | 1.15 | 5 | 50 | 310 |
| | 6.41 | 1.2 | 5 | 50 | 253 |
| | 6.11 | 1.28 | 7 | 50 | 229 |
| | 3.29 | 1.65 | 7 | 50 | 230 |
| | 1.13 | 1.65 | 14 | 130 | 9 |
| SP8 | 5.3 | 1.17 | 15 | 100 | 16 |
| | 7.9 | 1.25 | 8 | 80 | 458 |
| | 5.5 | 1.25 | 12 | 80 | 165 |
| | 2.5 | 1.27 | 12 | 110 | 126 |
| | 3.4 | 1.3 | 15 | 100 | 326 |

Phase 8

| | | | | | |
|---------|-------|-------|----|-----|-----|
| SPD9-01 | 15.7 | 1.13 | 17 | 231 | 260 |
| | 4 | 1.13 | 7 | 60 | 2 |
| | 32.2 | 1.19 | 16 | | 809 |
| | 15.8 | 1.41 | 14 | 189 | 379 |
| SPD9-02 | 36.4 | 1.15 | 20 | 231 | 996 |
| | 9.1 | 1.41 | 18 | 227 | 140 |
| | 36.6 | 1.41 | 25 | 234 | 375 |
| SPD9-05 | 30.32 | 1.13 | 20 | 225 | 934 |
| | 15.33 | 1.25 | 20 | 225 | 460 |
| | 17.32 | 1.332 | 14 | 215 | 71 |
| SPD9-07 | 15.69 | 1.13 | 15 | 230 | 215 |
| | 37.07 | 1.13 | 15 | 220 | 430 |
| | 35.74 | 1.15 | 12 | 220 | 504 |
| | | 1.15 | 0 | | 0 |
| | 22.87 | 1.26 | 15 | 250 | 510 |
| | 23.13 | 1.37 | 14 | 247 | 369 |
| | 10.57 | 1.36 | 15 | 220 | 325 |

| | | | | | |
|---------|----------|-------|-------|-----|------|
| SPD9-09 | 24.83 | 1.13 | 2 | 139 | 221 |
| | 0 | 1.12 | | | 0 |
| | 24.47 | 1.12 | 15 | 206 | 104 |
| | 22.59 | 1.15 | 22 | 139 | 712 |
| | 15.38 | 1.28 | 18 | 250 | 183 |
| SPD9-11 | 13.94 | 1.33 | 19 | 250 | 327 |
| | 24.38 | 1.09 | 15 | 237 | 202 |
| | 42.11 | 1.16 | 10 | 219 | 80 |
| | 27.33 | 1.23 | 12 | 222 | 328 |
| | 0 | 1.13 | 7 | 175 | 0 |
| | 0 | 1.13 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 1.13 | 8 | 175 | 0 |
| | 0 | 1.23 | 6 | 175 | 0 |
| | 27.92 | 1.29 | 11 | 215 | 215 |
| | 0 | 1.29 | 3 | 155 | 0 |
| | 0 | 1.29 | 3 | 225 | 0 |
| SPD9-13 | 14.28 | 1.32 | 21 | 225 | 544 |
| | 17.81 | 1.33 | 10 | 215 | 57 |
| | 17.3 | 1.14 | 20 | 230 | 754 |
| SPD9-15 | 20.9 | 1.41 | 16 | 247 | 651 |
| | 12.26 | 1.1 | 15 | 180 | 38 |
| SPD8-01 | 34.54 | 1.15 | 23 | 207 | 1012 |
| | 19.47 | 1.25 | 18 | 220 | 74 |
| | 16.35 | 1.35 | 18 | 220 | 103 |
| | 17.38 | 1.33 | 20 | 215 | 259 |
| SPD8-02 | 21.09216 | 9.58 | 50.71 | 235 | 1027 |
| | 12.89304 | 11.74 | 33.07 | 233 | 529 |
| SPD8-05 | 6.11124 | 1.14 | 18 | 222 | 1141 |
| | 2.471928 | 1.41 | 18 | 261 | 457 |
| SPD8-07 | 2.1336 | | 8 | | 3 |
| | 4.06908 | 1.32 | 30 | 160 | 1084 |
| | 2.91084 | 1.41 | 15 | 134 | 537 |
| SPD8-09 | 5.337048 | 1.15 | 20 | 217 | 1162 |
| | 4.261104 | 1.15 | 11 | 289 | 72 |
| | 2.526792 | 1.47 | 15 | 266 | 416 |
| SPD8-11 | 6.986016 | 1.16 | 20 | 275 | 1171 |
| | 3.590544 | 1.41 | 20 | 276 | 535 |
| SPD8-13 | 0.82296 | 9.41 | 35.27 | | 3 |
| | 27.70632 | 9.58 | 48.5 | 250 | 1146 |
| | 17.6784 | 11.74 | 44.09 | 212 | 426 |
| | 5.096256 | 1.16 | 25 | 218 | 1097 |

Phase 7

| | | | | | |
|---------|----------|-------|----|-----|------|
| | 3.273552 | 1.415 | 18 | 261 | 633 |
| SPD8-14 | 6.467856 | 1.16 | 25 | | 997 |
| | 2.237232 | 1.41 | 12 | 265 | 360 |
| SPD8-15 | 7.519416 | 1.165 | 20 | 213 | 1142 |
| | 4.315968 | 1.41 | 18 | 261 | 436 |

Phase 6

| | | | | | |
|--------------|-------|------|----|-----|------|
| SPD7-02 | 13.49 | 1.24 | 15 | 245 | 821 |
| | 2.9 | 1.65 | 17 | | 214 |
| | 8.48 | 1.65 | 8 | 194 | 255 |
| SPD7-03 | 3.33 | 1.13 | 18 | 200 | 11 |
| | 22.57 | 1.16 | 20 | 200 | 1232 |
| | 9 | 1.41 | 12 | 287 | 448 |
| SPD7-05 | 27.3 | 1.15 | 23 | 241 | 1134 |
| | 8.09 | 1.41 | 17 | 246 | 678 |
| SPD7-07 | 29.25 | 1.15 | 23 | 235 | 1015 |
| | 20 | 1.15 | 16 | 275 | 146 |
| | 9.76 | 1.41 | 14 | | 364 |
| SPD7-09 EOWR | 20.1 | 1.15 | 18 | 222 | 1134 |
| | 10.48 | 1.41 | 17 | 218 | 492 |
| SPD7-11EOWR | 13.12 | 1.13 | 23 | 252 | 489 |
| | 15.52 | 1.41 | 15 | 240 | 1022 |
| SPD7-13 EOWR | 14.86 | 1.13 | 20 | 225 | 1093 |
| | 13.57 | 1.41 | 20 | 207 | 519 |
| SPD7-14T2 | 22.46 | 1.15 | 18 | 213 | 867 |
| | 14.51 | 1.41 | 18 | 238 | 792 |

جدول ج-۳ - محاسبات آماری برای سنه ۲۰۸۸/۲۰۸۹ اینچي در فاز های مختلف

| Phase 1 | ROP | MW | WOB | RPM |
|---------------------------|----------|----------|-----|-----|
| Standard Deviation | | 36.71175 | | |
| Average | 3.578125 | 76.28 | 5 | 60 |
| Coefficients of Variance | | 0.481276 | | |
| Correlations Coefficients | | 1 | | |

جدول ج-۴ - محاسبات آماری برای سنه ۶ اینچي در فاز های مختلف

| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|---------|---------|----------|
| Standard Deviation | | 0 | 1 | 150.1111 |
| Average | 4.920167 | 1.41 | 5 | 273.3333 |
| Coefficient of Variance | | 0.70922 | 0.2 | 0.549187 |
| Correlation Coefficient | | | -0.5687 | 0.081234 |

جدول ج-۵ - محاسبات آماری برای سنه ۱۰ اینچي در فاز های مختلف

| Phase 1 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 2.1326 | | |
| Average | 2.95 | 90.62121 | | |
| Coefficient of Variance | | 0.023533 | | |
| Correlation Coefficient | | 0.063072 | | |
| Phase 2 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.253533 | 13.99183 | 29.33528 |
| Average | 5.765455 | 1.406667 | 12.95455 | 96.06061 |
| Coefficient of Variance | | 0.180237 | 1.080071 | 0.305383 |
| Correlation Coefficient | | -0.00922 | 0.007122 | -0.12852 |
| Phase 3 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.2529 | 2.652547 | 27.17341 |
| Average | 6.578733 | 1.410238 | 8.47619 | 89.35897 |
| Coefficient of Variance | | 0.179332 | 0.312941 | 0.304093 |
| Correlation Coefficient | | -0.19947 | -0.20504 | -0.22015 |
| Phase 4 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.02136 | 2.227667 | 24.4949 |
| Average | 3.391875 | 1.431875 | 8.1875 | 110 |
| Coefficient of Variance | | 0.014918 | 0.272081 | 0.222681 |
| Correlation Coefficient | | -0.06394 | -0.56883 | -0.1194 |

| Phase 2 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 0.077942 | 2.504541 | 63.04322 |
| Average | 16.18 | 1.3875 | 12.5 | 253.5833 |
| Coefficient of Variance | | 1.805075 | 0.200363 | 0.248609 |
| Correlation Coefficient | | 0.194619 | -0.02782 | -0.15935 |
| Phase 7 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 4.225418 | 6.886222 | 40.10131 |
| Average | 7.28992 | 3.276188 | 18.07333 | 251.5 |
| Coefficient of Variance | | 2.101901 | 0.381016 | 0.159449 |
| Correlation Coefficient | | 0.779695 | 0.810777 | -0.31547 |
| Phase 8 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 4.55E-16 | 2.485043 | 50.41976 |
| Average | 18.37895 | 1.37 | 13.21053 | 260.5263 |
| Coefficient of Variance | | 1.8139 | 0.188111 | 0.19353 |
| Correlation Coefficient | | -4.5E-17 | 0.259777 | 0.376456 |

جدول ج-۶ - محاسبات آماری برای متغیرهای آنتیپی در فازهای مختلف

| Phase 1 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
|-------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Standard Deviation | | 31.11637 | 6.324555 | 32.04164 |
| Average | 5.98 | 67 | 10 | 96.66667 |
| Coefficient of Variance | | 0.464423 | 0.632456 | 0.331465 |
| Correlation Coefficient | | -0.02653 | -0.9112 | -0.87734 |
| Phase 123 | ROP | MW(sg) | WOB | RPM |
| Standard Deviation | | 0.028026 | 6.863753 | 47.48099 |
| Average | 5.122 | 1.043636 | 8 | 89 |
| Coefficient of Variance | | 0.026854 | 0.857969 | 0.533494 |
| Correlation Coefficient | | 0.209127 | 0.508221 | 0.764736 |

پیوست - د

د-۱) برنامه نرم افزاری مطلب برای ارائه مدل بهینه

```
%% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
%% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
    datamat(100,68)=0;
%% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
disp('Enter a number to exit new file enter 0, if you want to
continue enter another number')
a=input('Enter another number:')
%% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
x=0
while a==1
    %% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
    row=input('Number of Rows:')
    datamat(x,1:row)
    b=input('Enter Row:')
    c=input('Enter Item:')
    for i=1:row
        %% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
        datamat(x+i,1)=b
        datamat(x+i,2)=c
        datamat(x+i,3)=i
    end
    %% درکسره مدل مقاله کارانه استلغان
    d=input('Enter Row:')
    r=input('Enter Row:')
    datamat(x+i,d+3)=r
    w=input('Enter Row:')
    datamat(x+i,14)=w
    m=input('Enter Row:')
```

```

        datamat(x+1,15)=m
        p=input('Enter P=?');
        datamat(x+1,16)=p
    end
end
end
x=row+x
disp('If you want to add new wall enter 1 & if you want to
take out enter another number')
a=input('Enter whether number ?')
end
--- dat 11 lahen toone jilena taran shaf
--- dat 12a potawokhat
--- dat 13a bharapata dar side dar had phase
--- dat 14a dar 4 summat
hmat(8,10)=0
summat(8,10)=0
for j=4:13
    for i=1:100
        if datamat(i,j)~=0
            hmat(datamat(i,2),j-3)=hmat(datamat(i,2),j-3)+1
            summat(datamat(i,2),j-3)=summat(datamat(i,2),j-
3)+datamat(i,j)
        end
    end
end
end
-----

--- in matlab: JMI 3 Average had phase va dar dar side nichasebe
---
for j=4:13
    for i=1:x
        datamat(i,j+13)=summat(datamat(i,2),j-3)
        if hmat(datamat(i,2),j-3)~=0
            datamat(i,j+23)=summat(datamat(i,2),j-
3)/hmat(datamat(i,2),j-3)
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    --
    for i=1:x
        for j=4:13
            if datamat(i,j)~=0
                datamat(i,j+33)=datamat(i,j)-datamat(i,j+23)
            end
        end
    end
end
-----
--
zmat1(1,2)=0
zmat2(1,2)=0
zmat3(1,2)=0
G=0
corremat(8,10)=0
for i=1:x
    if datamat(i,2)~=datamat(i+1,2)
        G=G+1
    end
end
end

for k=1:G
    for j=4:13
        for i=1:x
            if datamat(i,j)~=0
                zmat1(i,1)=datamat(i,j+33)
                zmat1(i,2)=datamat(i,14)
            end
        end
    end
    col1=zmat1(:,1)
    col2=zmat1(:,2)
end
end
B=0
sci=length(col1)

```

```

for i=1:sc1
    if coll(i)~=0
        B=B+1
        col3(B)=coll(i)
        col4(B)=col2(i)
    end
    col5=abs(col3')
    col6=abs(col4')
    Rcor = corrcoef(col5,col6)
    corremat(k,j-3)=Rcor(1,2)
end

-----

for k=1:G
    for j=4:13
        for i=1:x-1
            if datamat(i,j)~=0
                zmat1(i,1)=datamat(i,j+33)
                zmat1(i,2)=datamat(i,15)
            end
        end
        col1=zmat1(:,1)
        col2=zmat1(:,2)
    end
    B=0
    sc1=length(col1)
    for i=1:sc1
        if coll(i)~=0
            B=B+1
            col3(B)=col1(i)
            col4(B)=col2(i)
        end
    end
    col5=abs(col3')
    col6=abs(col4')
    Rcor = corrcoef(col5,col6)
    corremat(k,j-3)=corremat(k,j-3)+Rcor(1,2)
end

```

```

-----
for k=1:G
    for j=4:13
        for i=1:x
if datamat(i,j)~=0
                zmat1(i,1)=datamat(i,j+33)
                zmat1(i,2)=datamat(i,16)
            end
        end
        col1=zmat1(:,1)
        col2=zmat1(:,2)
        end
        B=0
        scl=length(col1)
        for i=1:scl
            if col1(i)~=0
                B=B+1
                col3(B)=col1(i)
                col4(B)=col2(i)
            end
        end
        end
        col5=abs(col3')
        col6=abs(col4')
        Rcor = corrcorr(col5,col6)
        corremat(k,j-3)=corremat(k,j-3)+Rcor(1,2)
        end
-----
*** -----
for i=1:x
    for j=37:46
        if datamat(i,j)~=0
            datamat(i,j+10)=datamat(i,j)-
            datamat(i,j)*corremat(datamat(i,2),j-36)
        end
    end
end
-----
*** -----

```


end
end
end
end

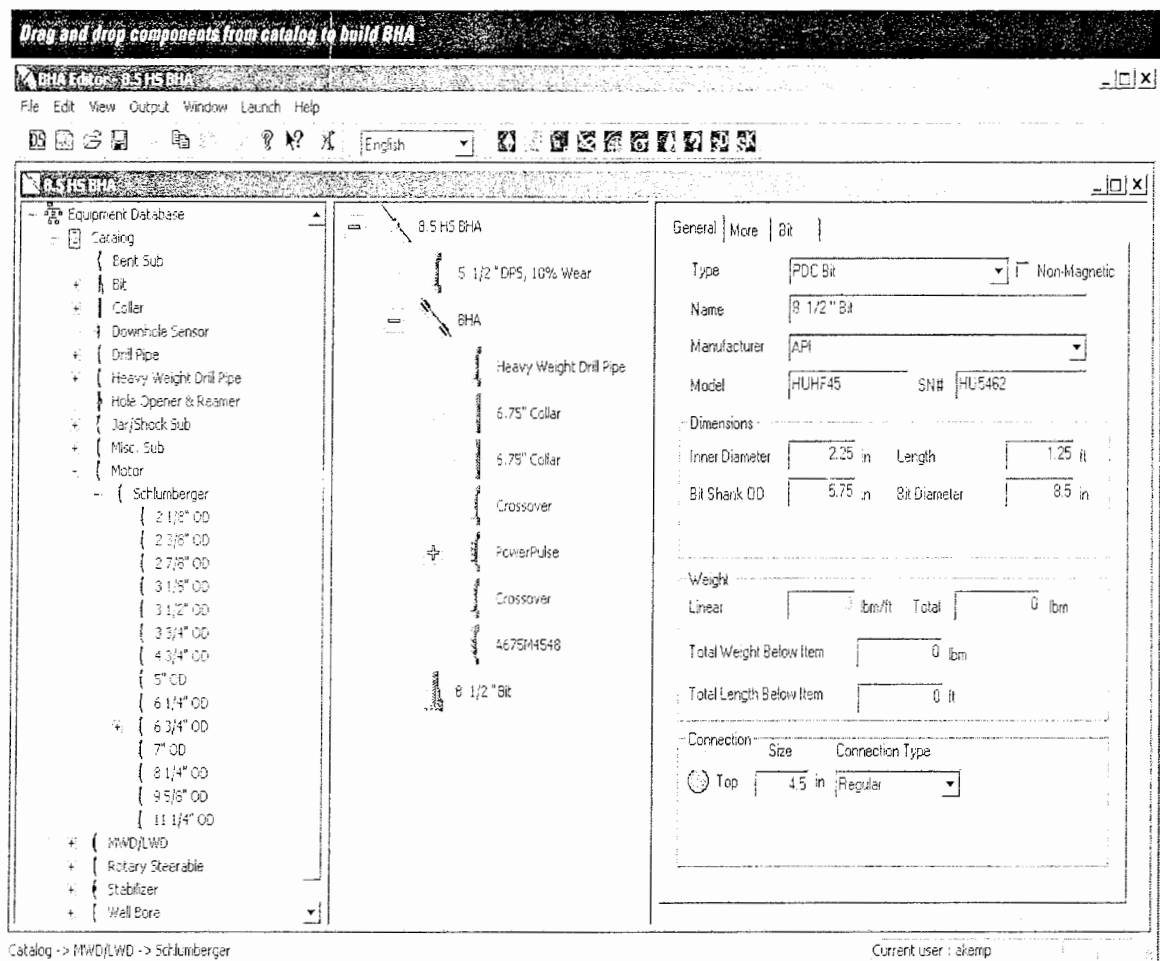
پیوست-ه

با توجه به اتمام این پایان نامه به این مهم می‌رسیم که استفاده از نرم افزارهای مربوطه در طراحی BHA TOOLS مناسب، هم دقت کار را بالا می‌برد و هم از لحاظ زمانی و هزینه بسیار به صرفه اقتصادی است فلذا به علت دسترسی نداشتن به این نرم افزار کلیدی "Drilling office" و انحصاری بودن آن در شرکت **Schlumberger** به مختصری از جزئیات آن و آن هم فقط در طراحی BHA در چاه اشاره می‌کنیم، چراکه نرم افزار جامعی در طراحی برای مهندسان حفاری محسوب می‌شود که از اشاره کردن در موارد دیگر خودداری می‌شود.

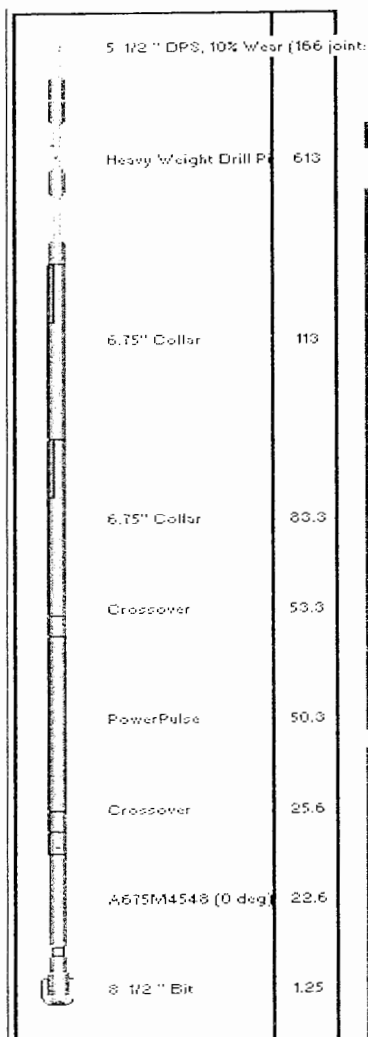
ویرایشگر BHA در نرم افزار Drilling office کمکی است در جهت ایجاد مجموعه Bottom hole assembly و مطالعه ژئوفیزیکی چاه برای مطالعه هیدرولیکی و گشتاور پیچشی و آنالیز ضربه ای بکار می‌رود. اجزا و ابزارها می‌توانند در جهت بالا بردن کارایی تغییر یابند تا پایگاهی از تجهیزات و سایت نگهداری سوار کرده باشند.

از مشخصات کاربردی این نرم افزار می‌توان :

- ۱- استفاده از drag and drop برای ساخت BHA و دیاگرام هندسی چاه.
- ۲- شامل کاتالوگ های فراگیر که همه tools و motors های شلومبرژه را شامل می‌شود.
- ۳- ذخیره کردن tools های مشتری برای استفاده از کاتالوگ.
- ۴- استفاده از یک database منفرد که اجازه دسترسی برای ایجاد و به روز کردن یک well bore geometry و نصب قابل دسترس برای هیدرولیکها و ایمنی حفاری در گشتاورها و drag module می‌دهد.



شکل ه-۱- ترکیبات drop, Droq از یک کاتالوک برای ساخت BHA را نشان می دهد. [www.slb.com]



OIL AND GAS CO.
HORIZONTAL
PLATFORM 1
EXTENDED REACH
BOREHOLE 1
8.5 HS BHA

BHA DESCRIPTION

| ELEMENT | LENGTH (ft) | OD (in) | ID (in) |
|-----------------------------|-------------|---------|---------|
| 8 1/2" Bit | 1.25 | 8 1/2 | - |
| A675M4548 (0 deg) | 21.33 | 6 3/4 | 5 1/2 |
| Crossover | 3.00 | 6 3/4 | 2 13/16 |
| PowerPulse | 24.70 | 6 3/4 | 5 6/55 |
| Crossover | 3.00 | 6 3/4 | 2 13/16 |
| 6.75" Collar | 30.00 | 6 3/4 | 2 7/8 |
| 6.75" Collar | 30.00 | 6 3/4 | 2 7/8 |
| Heavy Weight Drill Pipe (1) | 500.00 | 5 1/2 | 3 3/8 |
| 5 1/2" DPS, 10% Wear (166) | 5000.00 | 5 5/12 | 4 2/3 |

Bit to Direction & Inclination Sensor = 34.88 ft

DRILLING OVERVIEW

| | | | |
|-----------------|-------|------------|----|
| Depth in: | 0.00' | Depth out: | 0. |
| Inclination in: | | To: | |
| Direction in: | | To: | |

شکل ه-۲- گزارش شماتیک یک BHA را نمایش می دهد.. [www.slb.com]

Well Design یکی از محتواهای drilling office است که در طراحی چاه و خط سیر sidetrack بکار می رود. که از مشخصه های این آیکون می توان کمترین انحنای و دیگر متدهای محاسباتی برای محاسبه موقعیت Bottom Hole و محاسبه انحراف مغناطیسی و نمایش مقارن بودن نقشه های چند منظوره و نه تنها شما می توانید هنگام ورود به پایگاه اطلاعاتی اطلاعات مسیر انحراف چاه را اصلاح کنید ، همزمان نیز می توان بقیه موارد را نیز اصلاح کرد، و.....

Tracking Logbook through multiple targets with markers and survey tools assigned in worksheet

File Edit View Output Format Add Options Window Launch Help

English

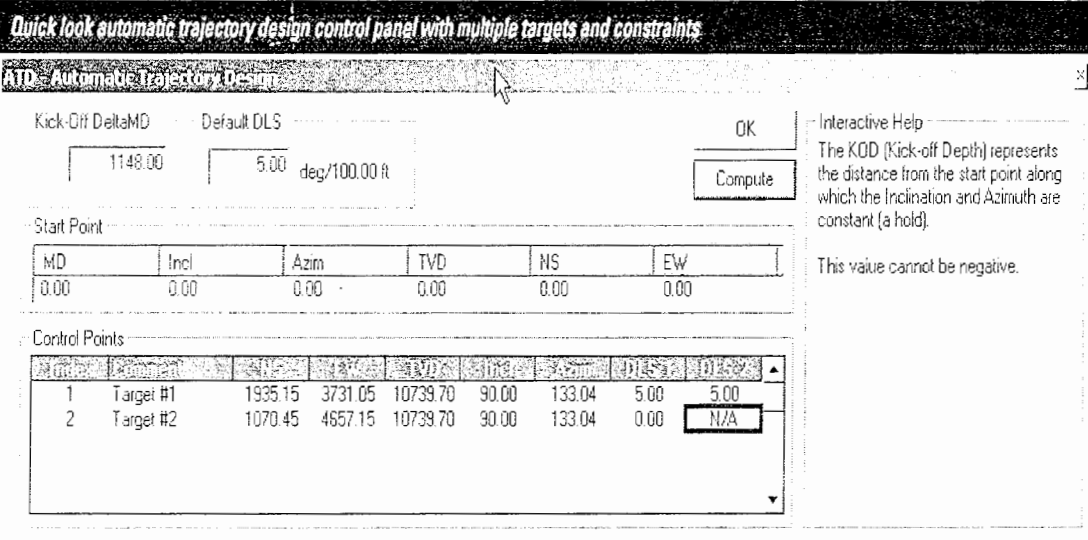
Horizontal Ref: 471113/Borehole 8-13 Elevation Ref: Borehole: Rotary Kasey Bushing

| Comment | MD (ft) | INCL (°) | Azim (°) | TVD (ft) | VSEC (ft) | NS (ft) | EW (ft) | DLS (°/100ft) | TF (°) | BR (°/100ft) | TR (°/100ft) | θMD (ft) | Survey Tool |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------|---------|---------------|--------|--------------|--------------|----------|---------------|
| 1 Well | 0.00 | 0.00 | 47.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | 47.3 | | | SLB_NSQ+MSHOT |
| 2 Sea Bed | 110.00 | 0.00 | 47.28 | 110.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.3 | 0.00 | 0.00 | 110.00 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 3 20" Casing Point | 500.00 | 0.00 | 47.28 | 500.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.3 | 0.00 | 0.00 | 500.00 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 4 13 3/8" Casing Point | 1100.00 | 0.00 | 47.28 | 1100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.3 | 0.00 | 0.00 | 1100.00 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 5 MCP | 1148.00 | 0.00 | 47.28 | 1148.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.3 | 0.00 | 0.00 | 1148.00 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 6 BDC #112-S1 | 2000.85 | 23.55 | 47.28 | 2053.56 | 155.51 | 129.45 | 140.19 | 2.50 | 0.0 | 1.50 | 0.00 | 941.65 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 7 Top Azma | 6281.83 | 23.55 | 47.28 | 5938.00 | 1552.71 | 1292.60 | 1399.81 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 4291.78 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 8 Top Beta | 7868.04 | 23.55 | 47.28 | 7597.00 | 1539.44 | 1514.55 | 1748.46 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 5478.68 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 9 KIP-EL | 10441.46 | 23.55 | 47.28 | 9719.81 | 2874.41 | 2392.82 | 2581.26 | 0.00 | 28.1 | 0.00 | 0.00 | 8351.82 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 10 8 5/8" Casing Point | 10500.00 | 23.81 | 54.50 | 9773.41 | 2594.40 | 2407.72 | 2609.61 | 5.00 | 79.5 | 0.53 | 12.33 | 58.54 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 11 Base of the Driftacout | 10530.22 | 24.23 | 58.12 | 9801.00 | 2505.44 | 2414.55 | 2619.87 | 5.00 | 76.2 | 0.77 | 12.21 | 89.26 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 12 Top Beta | 11291.61 | 75.54 | 106.50 | 10700.00 | 3734.26 | 2135.46 | 3491.24 | 5.00 | 24.3 | 3.59 | 5.47 | 1453.15 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 13 Target #1 | 12207.58 | 90.00 | 133.04 | 12738.70 | 3546.70 | 1935.15 | 3731.95 | 5.00 | 0.0 | 3.75 | 4.85 | 1768.12 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 14 Target #2 | 13474.81 | 90.00 | 133.04 | 10739.70 | 4755.42 | 1070.45 | 4657.15 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 1267.03 | SLB_NSQ+MSHOT |
| 15 MCP | 14089.33 | 30.00 | 133.04 | 10739.70 | 5147.78 | 350.93 | 5106.46 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 614.72 | SLB_NSQ+MSHOT |

Ready Current user: akemp VSEC Origin: (0.00 N, 0.00 E) VSEC Azim: 62.70

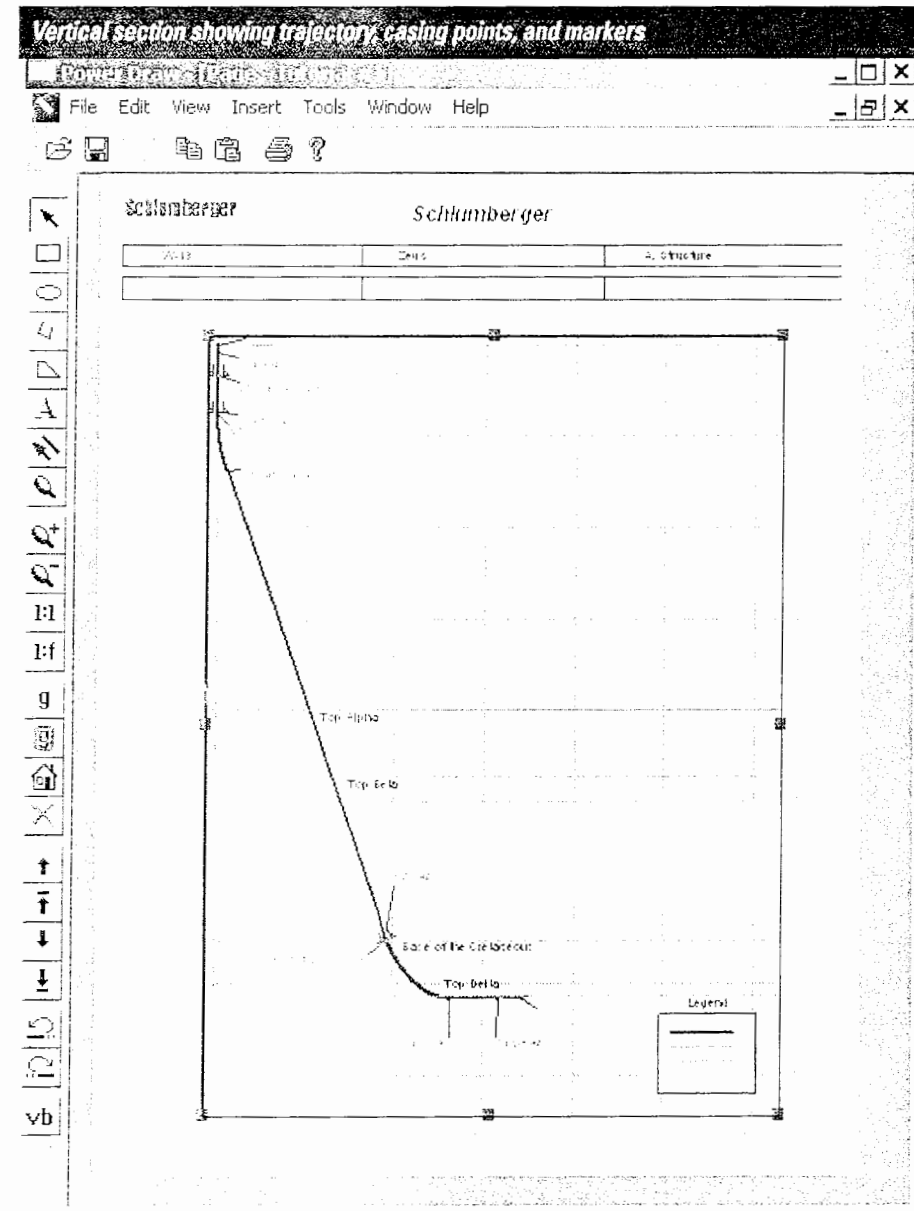
شکل ۳- خط سیر طراحی در میان اهداف چند گانه را با ذکر Marker, Survey tool ها در یک

Works sheet نمایش می دهد..[www.slb.com]

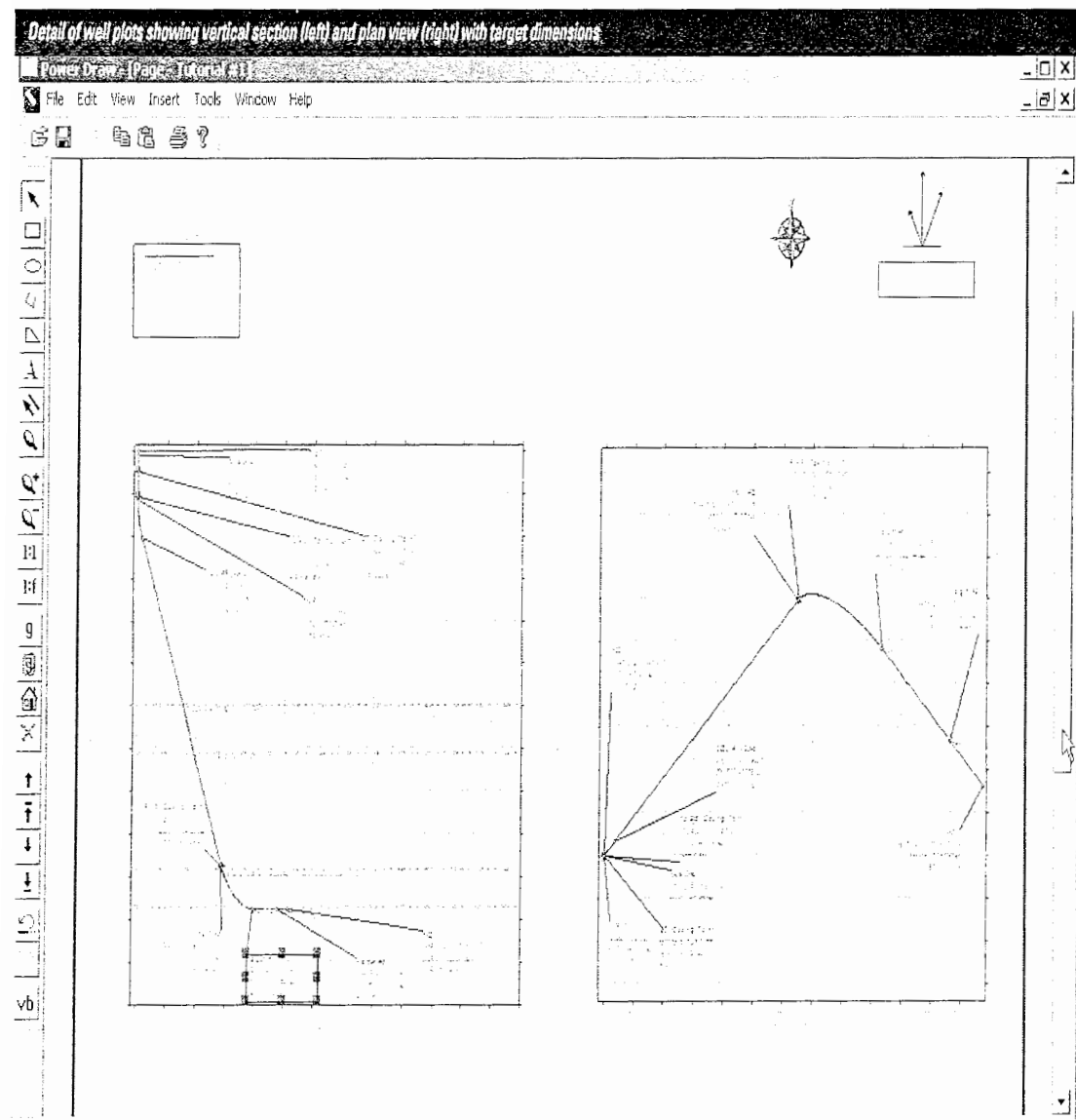


شکل ۴-۴- دید سریع از یک خط سیر اتماتیکی برای کنترل طراحی با اهداف چند منظوره و اضطراری را

نمایش می دهد... [www.slb.com]



شکل ه-۵- نمایش خط سیر بخش عمودی از نقاط لوله جداره (casing) و marker ها را نشان می دهد.
[www.slb.com].



شکل ه-۶- نمایش جزئیات یک plot از چاه را در بخش عمودی (شکل چپ) و نمایش یک plan (شکل راست) را با اهداف اندازه گیری نشان می دهد. [www.slb.com]