

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی گیر اختلاف فشاری رشته حفاری با استفاده از مفاهیم هندسه فرکتال

دانشجو:

مرتضی آروان

اساتید راهنما:

دکتر سجاد نگهبان

دکتر بهزاد تخم‌چی

اساتید مشاور:

دکتر محمد لطفی

مهندس محمدعلی اسدیان

مهرماه ۹۹

شماره: ۲۴۹۹، ۶۱۸۹
تاریخ: ۹۹/۸/۵

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مرتضی آروان با شماره دانشجویی ۹۷۰۲۱۶۴ رشته مهندسی نفت گرایش حفاری تحت عنوان بررسی گیر اختلاف فشاری رشته حفاری با استفاده از مفاهیم هندسه فرکتال که در تاریخ ۹۹/۷/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☒ الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹	☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹	☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴
☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر سجاد نگهبان	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر بهزاد تخمچی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر محمد لطفی مهندس محمد علی اسدیان		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد رداد	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر یوسف شیری	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم به جلوه‌ی مهر پروردگار

پدر و مادری که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر؛

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن‌ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی پر فراز و نشیب زندگی آموختنم. آموزگارانی که برایم انسانیت، زندگی و بودن را معنا کردند.

همچنین؛ **خواهران** عزیزم، همراهان همیشگی و پشتوانه زندگی که مهرشان کمتر از مهر مادری نیست.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم تا از اساتید راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر سجاد نگهبان و جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی کمال تشکر را داشته باشم، زیرا که تجربه لحظات ناب خودباوری، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن و عظمت رسیدن را مدیون حضور پر مهرشان هستم.

همچنین از اساتید مشاور ارجمند جناب آقای دکتر محمد لطفی و جناب آقای مهندس محمدعلی اسدیان که با محبت بی‌دریغ و مهربانی بی‌مثالشان، با صبر و شکیبایی چراغ راه این مسیر بودند صمیمانه متشکرم.

در نهایت از راهنمایی‌ها و زحمات بی‌دریغ دوستان گرانقدر، جناب آقای مهندس محمد نبئی و سرکار خانم مهندس سیده خدیجه ابوالفضلی و تمام عزیزانی که به هر طریق یاری‌گر بنده حقیر بودند، کمال تشکر را داشته باشم.

با آرزوی سلامتی و موفقیت برای این بزرگواران

مرتضی آروان، مهر ماه ۱۳۹۹

تعهد نامه

اینجانب مرتضی آروان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان "بررسی گیر اختلاف فشاری رشته حفاری با استفاده از مفاهیم هندسه فرکتال" تحت راهنمایی جناب آقایان دکتر سجاد نگهبان و دکتر بهزاد تخمچی متعهد می شوم:

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

مرتضی آروان

۹۹/۰۷/۱۲

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

یکی از مشکلات رایج در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز وقوع گیر رشته حفاری است که اگر در زمان مناسب برای رفع آن اقدامات لازم صورت نگیرد می‌تواند منجر به بروز مشکلات زیادی از جمله اتلاف وقت و هزینه بسیار زیاد و یا حتی از دست رفتن چاه گردد. از این جهت تلاش مهندسين و محققين بر حذف وقفه‌های موجود در طول مدت زمان انجام عملیات و همچنین سرعت بخشیدن به تشخیص، جلوگیری و رفع این مهم می‌باشد.

به طور کلی محدودیت در گردش رشته و عدم حرکت رو به بالا و پایین رشته حفاری را، گیر رشته حفاری می‌گویند. اطلاع از شرایط حساس و محتمل وقوع گیر رشته حفاری امکان جلوگیری از بروز این مشکل را با استفاده از تغییر پارامترهای موثر تا حد زیادی فراهم خواهد کرد، پس در قدم اول باید برای جلوگیری از ایجاد این مشکل روشی مناسب اتخاذ گردد که به سرعت بتواند گیر رشته را شناسایی و افراد حاضر در طی عملیات حفاری را از آن با خبر کرد تا از ایجاد این مشکل جلوگیری شود.

تا به امروز روش‌های متفاوتی برای تشخیص و پیش‌بینی گیر رشته حفاری معرفی شده است. در این پژوهش سعی گردید تا با ساخت مدلی در هندسه فرکتال وقوع گیر رشته حفاری پیش‌بینی و مدل‌سازی شود، برای ساخت این مدل از داده‌های عملیات، سیال حفاری، مشخصات مکانیکی لوله‌های حفاری و لوله‌های وزنه، چاه نگاری و تجهیزات درون چاهی مربوط به حفر یکی از میادین جنوب ایران استفاده شد. در این پایان‌نامه ابتدا داده‌های مربوط به وقوع گیر رشته حفاری دسته‌بندی و سپس با استفاده از هندسه فرکتال تخمین و بعد مربوط به پارامترها مورد بررسی قرار گرفت و وقوع گیر رشته حفاری با دقت بالایی پیش‌بینی شد. با انجام عملیات حفاری و نزدیک شدن به نقطه گیر رشته، مقدار بعد فرکتال نیز که حاصل از مقادیر واقعی هریک از پارامترها می‌باشد دارای تغییرات محسوسی است، در نتیجه در حین حفاری افزایش مقدار بعد فرکتال هر پارامتر از حالت استاندارد (بدون گیر) خود می‌تواند نشانه و یا پتانسیل بخش مورد حفاری در ایجاد گیر رشته حفاری باشد، به همین منظور توجه به مقدار بعد

فرکتال و هشدار در مورد افزایش آن به کارکنان دکل به جهت تغییر در مقدار پارامترهای تحت کنترل برای جلوگیری از ایجاد گیر رشته حفاری اجتناب ناپذیر می باشد.

واژگان کلیدی:

مشکلات حفاری، گیر رشته حفاری، بعد فرکتال، فرکتال در صنعت نفت

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه پژوهش.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ اهداف پژوهش.....	۳
۳-۱ ضرورت پژوهش.....	۴
۴-۱ تاریخچه پژوهش.....	۵
۵-۱ روش انجام پژوهش.....	۸
۶-۱ ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم: مبانی پژوهش.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ طبقه‌بندی گیر رشته حفاری.....	۱۰
۱-۲-۲ گیر مکانیکی.....	۱۱
۲-۲-۲ گیر اختلاف فشاری.....	۱۲
۳-۲-۲ گیرهای مرتبط با پروفایل چاه.....	۱۷
۳-۲ سیالات حفاری.....	۱۸
۱-۳-۲ وظایف سیالات حفاری.....	۱۸
۴-۲ پارامترهای موثر سیالات حفاری بر گیر اختلاف فشاری.....	۱۹
۵-۲ فاکتورهای افزایش دهنده نیروی گیر اختلاف فشاری.....	۲۰

۲۰	۶-۲ آزاد کردن لوله‌ها
۲۰	۱-۶-۲ تشخیص نوع گیر
۲۰	۲-۶-۲ تعیین عمق گیر
۲۲	۳-۶-۲ روشهای آزادسازی لوله‌ها
۲۲	۱-۳-۶-۲ آزاد کردن لوله‌ها با ضربه زدن
۲۳	۲-۳-۶-۲ پسگرد
۲۴	۷-۲ فرکتال
۲۶	۱-۷-۲ کاربردهای فرکتال
۲۶	۲-۷-۲ بعد فرکتال
۲۷	۳-۷-۲ روشهای محاسبه بعد فرکتال و الگوریتم‌های آن
۲۷	۱-۳-۷-۲ الگوریتم هیگوچی
۲۹	۲-۳-۷-۲ الگوریتم کاتز
۲۹	۳-۳-۷-۲ الگوریتم پطروسیان
۳۱	فصل سوم: روش‌شناسی و نتایج پژوهش
۳۲	۱-۳ مقدمه
۳۲	۲-۳ سازندها و چینه‌نگاری میدان مورد مطالعه
۳۳	۳-۳ معرفی و پردازش پایگاه داده
۳۵	۱-۳-۳ معرفی پایگاه داده

۳۷	 ۲-۳-۳ پردازش پایگاه داده
۳۸	 ۱-۲-۳-۳ بارگذاری داده‌ها:
۳۹	 ۲-۲-۳-۳ دسته‌بندی داده‌ها:
۴۰	 ۳-۲-۳-۳ نرمال سازی داده‌ها:
۴۰	 ۴-۲-۳-۳ ساختار مدل سازی:
۵۲	 ۴-۳ نتایج و ارزیابی روش شناسایی گیر رشته حفاری مبتنی بر هندسه فرکتال
۵۳	 ۱-۴-۳ بخش اول (تفسیر پارامترها و نتایج):
۵۵	 ۲-۴-۳ بخش دوم (نمودارگیری در لحظه گیر رشته حفاری):
۵۸	 ۳-۴-۳ بخش سوم (تفسیر نمودارها):
۶۳	 فصل چهارم :
۶۳	 نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۶۴	 ۱-۴ نتیجه‌گیری
۶۵	 ۲-۴ پیشنهادها
۶۶	 فهرست منابع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) مکانیسم گیر اختلاف فشاری ۱۳
- شکل (۲-۲) وضعیت BHA، قبل و بعد از گیر اختلاف فشاری ۱۴
- شکل (۳-۲) نیروی هیدرواستاتیک وارد شده به رشته حفاری، ناحیه گیر لوله ۱۵
- شکل (۴-۲) : (الف) لوله حفاری سنگین (ب) لوله وزنه شیاردار (پ) لوله وزنه صاف ۱۷
- شکل (۱-۳) هیستوگرام نرخ نفوذ حفاری (متر بر ساعت) ۴۳
- شکل (۲-۳) هیستوگرام وزن روی مته (Klb) ۴۳
- شکل (۳-۳) هیستوگرام سرعت چرخش مته (RPM) ۴۳
- شکل (۴-۳) هیستوگرام سرعت چرخش موتور درون چاهی (lb.ft) ۴۴
- شکل (۵-۳) هیستوگرام فشار پمپ (PSI) ۴۴
- شکل (۶-۳) هیستوگرام نرخ پمپ شدن سیال (gal/min) ۴۴
- شکل (۷-۳) هیستوگرام وزن گل (PCF) ۴۴
- شکل (۸-۳) هیستوگرام وزن رشته حفاری (Klb) ۴۵
- شکل (۹-۳) هیستوگرام گشتاور حفاری (lb.ft) ۴۵
- شکل (۱۰-۳) هیستوگرام زاویه انحراف مته (Deg) ۴۵
- شکل (۱۱-۳) هیستوگرام آزمون مته (Deg) ۴۵
- شکل (۱۲-۳) هیستوگرام انحراف چاه از نقطه شروع (Deg) ۴۶
- شکل (۱۳-۳) هیستوگرام ویسکوزیته گل (Sec) ۴۶
- شکل (۱۴-۳) هیستوگرام ویسکوزیته پلاستیک (Cp) ۴۶
- شکل (۱۵-۳) هیستوگرام نقطه واروی (lb/100ft²) ۴۶
- شکل (۱۶-۳) هیستوگرام استحکام ژلی اولیه (lb/100ft²) ۴۷

- شکل (۳-۱۷) هیستوگرام استحکام ژلی پس از ۱۰ دقیقه (lb/100ft²) ۴۷
- شکل (۳-۱۸) هیستوگرام درصد نمک موجود در گل (gr/lit) ۴۷
- شکل (۳-۱۹) طراحی مسیر چاه و نقطه گیر با توجه به مختصات جغرافیایی ۴۸
- شکل (۳-۲۰) طراحی مسیر چاه ۴۹
- شکل (۳-۲۱) طراحی مجموعه ته چاهی رشته حفاری نرم افزار Drilling Office ۵۱
- شکل (۳-۲۲) نمودارگیری پارامترهای سیال و حفاری ۵۵
- شکل (۳-۲۳) بررسی مشخصات پارامترها با استفاده از رابطه (۳-۴) ۵۹
- شکل (۳-۲۴) محاسبه بعد فرکتال نرخ نفوذ مته با استفاده از رابطه (۳-۴) ۵۹
- شکل (۳-۲۵) مقدار نرخ نفوذ مته و بعد فرکتال برای نقاط مختلف ۶۰
- شکل (۳-۲۶) محاسبه بعد فرکتال وزن گل با استفاده از رابطه (۳-۴) ۶۰
- شکل (۳-۲۷) مقدار وزن گل و بعد فرکتال برای نقاط مختلف ۶۱

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) لیتولوژی و عمق شروع سازندها در میدان مورد مطالعه..... ۳۳
- جدول (۲-۳) دسته‌بندی انواع چاه‌ها بر حسب عمق..... ۳۴
- جدول (۳-۳) مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل پارامترهای ورودی..... ۴۱
- جدول (۴-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی پژوهش (بعد فرکتال مربوط به هر پارامتر)..... ۵۲

فصل اول:

مقدمه پژوهش

۱-۱ مقدمه

نفت خام و گاز طبیعی، مهمترین منبع تأمین انرژی بشر امروزی هستند، به طوری که نفت خام ۴۵ درصد و گاز طبیعی ۲۵ درصد انرژی دنیا را تأمین می‌کنند از این رو نفت خام و گاز طبیعی در معاملات اقتصادی و سیاسی جهان اهمیت راهبردی دارند و در فرآیند روابط بین‌الملل نقش مهمی ایفا می‌کنند. در توصیف اهمیت ارتقا کیفیت فرآیند حفاری همین بس که ۶۲ درصد ذخایر نفتی و ۴۰ درصد ذخیره گاز جهان در منطقه خاورمیانه و خلیج فارس واقع شده است، لذا، سهم چشمگیر کشور در تأمین نیاز دنیا به انرژی، بر اهمیت ارتقا کیفیت فرآیند حفاری و استخراج این ذخایر تأکید دارد.

در یک قرن گذشته، پیشرفت فناوری موجب افزایش توجه صنعت حفاری به حفر چاه‌های جهت‌دار شده است. به صورتی که امروزه در بهره‌برداری از این ذخایر راهبردی، حفاری جهت‌دار علیرغم هزینه‌های بسیار بالا، به سبب مزایای فراوان، ترجیح داده می‌شود. از طرفی، مشکلات حفاری که همواره بخش جدا نشدنی این فرآیند بوده است، در حفاری‌های جهت‌دار به مراتب بیشتر و کنترل آن در شرایط ایمن سخت‌تر به نظر می‌رسد. لذا، محققین در طی چندین سال گذشته در صدد آن بوده‌اند تا با به کارگیری ابزارها و روش‌های مختلف، مشکلات پیش روی عملیات حفاری را به حداقل برسانند [۱].

گیر رشته حفاری^۱ یکی از متداول‌ترین و مهمترین مشکلات ایجاد شده در مسیر حفاری چاه‌های نفت و گاز می‌باشد. وقوع این پدیده می‌تواند شامل مشکلات کوچکی که سبب افزایش هزینه‌ها می‌شود تا موارد پیچیده‌ای که می‌توانند منجر به نتایج نامطلوبی مانند از دست دادن بخشی از رشته حفاری و یا حتی چاه به صورت کامل گردد، تقسیم می‌شوند [۲]. گیر اختلاف فشاری عمدتاً در سازندهای با تراوایی بالا و دارای شکستگی مانند ماسه‌سنگ، سنگ آهک و دولومیت و در شرایطی که فشار هیدرواستاتیک گل از فشار سازند بیش‌تر باشد، رخ می‌دهد. اگر رشته حفاری به علت ضخیم بودن اندود گل کی در اثر بالا بودن مواد جامد گل و هرزروی سیال حفاری به وجود می‌آید، با دیواره‌ی اندود گل تماس حاصل

¹ Drill String Stuck

کند و حرکت رشته و گردش گل در مقابل سازندهای تراوا متوقف شود، ضخامت اندود گل افزایش یافته و دور رشته را نشت‌بندی می‌کند. همین امر باعث عدم انتقال فشار هیدرواستاتیک گل به ناحیه‌ای از رشته که در تماس با دیواره است، می‌شود که در نتیجه نیروی ناشی از اختلاف فشار بین هیدرواستاتیک گل و سازند، رشته را به صورت کامل به دیواره می‌چسباند.

این مشکل همواره یک خطر اصلی برای عملیات حفاری، مخصوصاً در حفاری چاه‌های جهت‌دار که عمدتاً دارای هزینه‌های بالایی هستند، به حساب می‌آید. گیر رشته حفاری را می‌توان به صورت نیروی درون چاهی که مانع از چرخش و خروج لوله‌ها از چاه می‌شود، تعریف نمود. لذا، می‌توان گیر رشته حفاری را یکی از عمده‌ترین مشکلات در حفاری چاه‌های نفت و گاز به حساب آورد که نه تنها باعث اتلاف وقت در عملیات حفاری می‌گردد، بلکه ممکن است سبب از دست دادن مخزن گردد. بنابراین برای جلوگیری از وقوع این مشکل و حذف آثار مخرب ناشی از آن باید به دنبال راهی برای پیش‌بینی و ممانعت از وقوع این پدیده شد [۳].

۲-۱ اهداف پژوهش

به طور کل، هدف از این پژوهش بررسی و پیش‌بینی گیر رشته حفاری قبل از وقوع آن برای جلوگیری از بروز مشکلات ثانویه در عملیات حفاری و همچنین در زمان بهره‌برداری می‌باشد. این مهم، با درک صحیح و جامع از رابطه عوامل متعدد و موثر بر عملیات حفاری، شرایط زمین‌شناسی، انتخاب صحیح تجهیزات و استفاده از تجربه و تخصص مهندسين هنگام مواجه شدن با این مشکل تاثیر گذار هستند. شناخت کافی و استفاده صحیح از هریک از عوامل فوق و بررسی نقش هریک در وقوع مشکلات حفاری می‌تواند مسیر رسیدن به حفاری پیوسته و بدون توقف را هموار سازد.

پس از در اختیار قرار گرفتن اطلاعات کافی و دقیق از شرایط میدان و چاه‌های مورد مطالعه انتظار می‌رود در پایان این پژوهش بتوان به سوالات زیر پاسخ داد:

- شناخت پارامترهای حفاری چه میزان می‌تواند در پیش‌بینی گیر رشته حفاری موثر باشد؟
- انتخاب صحیح سیال حفاری چه میزان می‌تواند بر پایداری چاه^۱ و مسیر حفاری تاثیرگذار باشد؟
- نقش هندسه فرکتال در بررسی و آنالیز گیر رشته حفاری به چه مقدار موثر است؟

۳-۱ ضرورت پژوهش

وقوع مشکلات در حین انجام عملیات حفاری، که مهمترین آن‌ها گیر رشته حفاری است، میزان هزینه‌ها را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد، از این رو توجه به رفع و مطالعه برای جلوگیری از مشکل گیر رشته حفاری امری ضروری و غیرقابل انکار است. در عملیات حفاری گیر رشته می‌تواند هزینه توسعه چاه را به اندازه ۳۰٪ افزایش دهد [۴]. مشکل گیر رشته حفاری زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که به دلایلی نتوان رشته حفاری را از چاه بیرون آورد. در این صورت تنها راه حل، بریدن رشته^۲ حفاری در چاه و انجام عملیات مانده یابی و در بدترین شرایط، مسدود نمودن قسمت گیر و آماده سازی برای حفاری چاه انحرافی به منظور ادامه‌ی عملیات حفاری می‌باشد [۵]. این مشکل باعث تغییر برنامه حفاری، افزایش زمان و هزینه بسیار زیادی خواهد شد به همین دلیل ضروری است مناطقی که پتانسیل بالایی در ایجاد این مشکل را دارند شناسایی و اقدامات اصلاحی قبل از رسیدن به آن نقاط انجام شود. امروزه بیشتر حفاری‌ها به صورت جهت دار و افقی انجام می‌شود و به علت پیچیدگی حفاری جهت دار درصد ایجاد مشکل گیر حفاری نیز افزایش می‌یابد [۶]. کارشناسان خبره اذعان دارند که بسیاری از مشکلات که در روند حفاری چاه‌های نفت ثبت شده‌اند، قابل اجتناب‌اند و نشانه‌های وقوع آن در داده‌های ثبت شده قبل از بروز مشکل، قابل مشاهده می‌باشد [۷]. این موضوع ما را به سمت پردازش اطلاعات در حفاری هدایت می‌کند. در حال حاضر تمرکز محققین بر استفاده از نرم‌افزارها و روش‌هایی است که

¹ Wellbore stability

² Cut off

اطلاعات آنی از حفاری دریافت کند و با پردازش آن‌ها، روند حفاری را بهینه‌سازی نماید. چشم انداز جهانی صنعت حفاری رسیدن به حفاری بهینه، بدون توقف، بدون دخالت انسان و هوشمند در برابر شرایطی است که ممکن است در حین عملیات حفاری پیش آید. از این رو در این پژوهش روشی اتخاذ شده که پیش‌تر انجام نگرفته و با سرعت و دقت می‌تواند به ساده‌ترین روش ممکن وقوع گیر رشته حفاری را پیش‌بینی کند.

۴-۱ تاریخچه پژوهش

در سال ۱۹۸۵، کینگزبورو^۱ و همکاران با انجام تحلیل استاتیکی گیر لوله‌ها با توجه به پارامترهای حفاری، به این مهم پرداختند [۸]، این کار با مقایسه‌ی چاه‌هایی که در آن‌ها گیر لوله اتفاق افتاده بود و چاه‌های بدون گیر لوله انجام شد، کینگزبورو و همکاران، ۲۲۱ پارامتر را در ۱۳۱ مورد گیر لوله در چاه‌های خلیج مکزیک مورد مطالعه قرار دادند و احتمال گیر لوله‌های حفاری را در چاه‌های اطراف پیش‌بینی کردند. در سال ۱۹۹۴، هاوارد^۲ و گلاور^۳ با استفاده از تکنیک‌های آماری توانستند مکانیسم آن را شناسایی و مدل‌های پیش‌بینی گیر لوله‌ها را ترقی بخشند [۹]، آن‌ها این کار را با آزمایش در ۱۰۰ چاه، در خلیج مکزیک انجام دادند، این مدل‌ها در جلوگیری از گیر لوله‌ها یا عملیات آزادسازی استفاده شد، اخیراً نیز کاربردی از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی گیر لوله‌ها به صورت اختلاف فشاری در خلیج مکزیک توسط شرکت هالیبرتون^۴ به چاپ رسیده است [۱۰]. در گذشته از آزمایش شبیه‌سازی گیر لوله با سیالات حفاری متفاوت و آنالیز آماری چند متغیره [۱۱] برای بررسی شرایط مختلف گیر اختلاف فشاری، استفاده شده است، مکانیسم گیر اختلاف فشاری لوله‌های حفاری توسط هلمیک^۵ و

^۱ Kingsborough

^۲ Howard

^۳ Glover

^۴ Halliburton

^۵ Helmick

لانگلی^۱ در سال ۱۹۵۷ و اُتمنز^۲ در سال ۱۹۵۸ [۱۲] براساس تست‌های آزمایشگاهی بیان شد، آن‌ها تشریح کردند که گیر اختلاف فشاری^۳ زمانی رخ می‌دهد که لوله در مقابل یک لایه با نفوذپذیری بالا متوقف می‌گردد، اندود گل حفاری قسمتی از سطح لوله را می‌پوشاند و لوله توسط اختلاف فشار بین دیواره‌ی چاه و سازند نگه داشته می‌شود. آزمایش‌های آن‌ها همچنین نشان داد نیروی لازم برای حرکت یک لوله فولادی از میان اندود گل، با افزایش اختلاف فشار و زمان، افزایش می‌یابد [۱۳ و ۱۴].

راید^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۰ با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و اطلاعات به دست آمده از سیال حفاری مانند محتوای جامد گل، ترکیبات و نوع گل و خصوصیات سازند، مقدار فیلتراسیون گل حفاری، ضخامت کیک گل توانستند احتمال گیر رشته حفاری را کاهش دهند [۱۵]. پنگ^۵ و بومینگ^۶ در سال ۲۰۰۷ با استفاده از معادله Kozeny-Carman که مشهورترین رابطه تراوایی و تخلخل موثر است و به صورت گسترده در زمینه جریان سیال در محیط‌های متخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرد و هندسه فرکتال^۷، مدل تحلیلی جدیدی برای مقدار تراوایی و ثابت KC، به عنوان تابعی از پارامتر تخلخل و ابعاد فرکتالی پیشنهاد دادند [۱۶]. شاراد و ناوین اگروال^۸ در سال ۲۰۰۸ طراحی جدیدی از لوله‌های وزنه ارائه کردند که سطح تماس رشته حفاری را با اندود حفاری کاهش می‌دهد، در نتیجه نیروی لازم جهت آزادسازی کاهش می‌یابد [۱۷]. شادی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۰ تحقیقاتی انجام دادند که در آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، احتمال گیر لوله در یکی از میداین نفتی ایران تعیین گردید، نتیجه‌ی تحقیقات آن‌ها احتمال ۹۰٪ دقت را در پیش‌بینی گیر لوله در میدان مذکور نشان می‌داد، گیر لوله‌ها به دو نوع دینامیک و استاتیک تقسیم شدند، به صورتی که نوع دینامیک مربوط به زمانی است که گل

¹ Longley

² outmans

³ Differential stuck

⁴ Reid

⁵ Peng

⁶ Boming

⁷ Fractal Geometry

⁸ Agarwal

حفاری در جریان است و حالت استاتیک مربوط به زمان سکون گل حفاری بود [۱۸]. رافائل^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از مدل‌های تحلیلی با هدف کاهش فیلتر گل حفاری و همچنین ضخامت کیک گل تشکیل شده بر روی دیواره‌ی چاه توانستند با کاهش حجم فیلتر و ضخامت کیک گل، مقدار گیر اختلاف فشاری در رشته حفاری را کاهش دهند [۱۹]. اسکندریان در سال ۱۳۹۵ با توجه به داده‌های عملیات حفاری و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سری زمانی مدلی را ساختند که بتواند وقوع گیر رشته حفاری را پیش‌بینی کند، در مدل شبکه عصبی علاوه بر داده‌های مربوط به پارامترهای حفاری و سیال حفاری، داده‌های مربوط به لیتولوژی نیز به عنوان یک ورودی وارد گردید افزودن این ورودی سبب بهبود عملکرد در مدل شبکه عصبی گردید، در این حالت عملکرد شبکه، برای داده‌های آزمون از ۹۲/۸ درصد به ۹۴/۹ برای مجموع دو دسته بهبود یافت که می‌توان نتیجه گرفت که عوامل محیطی و غیرقابل تغییر نیز در عملکرد مدل مؤثرند، لذا به کارگیری پارامترهایی از این دست به ما در کسب نتایج معتبرتر کمک مینماید [۲۰]. روحانی و حسن‌پور در سال ۲۰۱۷ به جهت تشخیص و پیش‌بینی گیر رشته حفاری با استفاده از شناسایی تغییرات سوزنی شکل سیگنال گشتاور و سیگنال چرخش دورانی رشته حفاری، این نتیجه حاصل شد که در زمان وقوع گیر، گشتاور رشته حفاری به صورت ناگهانی بالا می‌رود و سرعت چرخش مته حول محور خود کاهش می‌یابد، بنابراین تغییرات ناگهانی و هم‌زمان سیگنال گشتاور و سرعت چرخش مته به عنوان ویژگی لحظه‌ی گیر رشته حفاری معرفی شد [۲۱]. تان^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از مفاهیم فرکتال مدل سازی عددی خود را برای فضا‌های متخلخل و تراوا بر اساس ویژگی‌های فرکتالی منافذ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل نفوذپذیری فرکتالی تابعی از ابعاد فرکتالی منافذ است [۲۲].

¹ Rafael

² TanXh

۵-۱ روش انجام پژوهش

هدف اصلی این پژوهش ساخت مدلی است که در آن وقوع گیر رشته حفاری با دقت و سرعت بالا پیش‌بینی و کاربر حفاری قبل از وقوع گیر مطلع گردد. در این تحقیق ابتدا با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای، عوامل موثر بر گیر رشته حفاری و نحوه اثرپذیری و تغییرات هریک از عوامل شناسایی و معرفی، سپس با استفاده از الگوریتم‌های فرکتالی موجود و براساس داده‌ها و اطلاعات لازم مدلی یک بعدی در هندسه فرکتال از منطقه و میدان مورد مطالعه تهیه شد. مجموعه داده‌ها بر حسب دسته بندی مطلوب (دسته‌های گیر و عدم گیر)، سبب اطمینان از امکان پیش‌بینی هرچه بهتر به وسیله مدل‌سازی انجام شده با استفاده از داده‌های موجود می‌گردد، در ادامه هندسه فرکتال در پیش‌بینی گیر رشته حفاری به عنوان روشی نوین در مدل‌ها و تحقیقات معرفی شده تا به امروز، مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۶-۱ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه پیش رو در چهار فصل تهیه و تنظیم شده است:

فصل اول: بیان گر کلیات پایان‌نامه از جمله هدف و ضرورت تحقیق، تاریخچه و روش انجام پژوهش است. **فصل دوم:** تعاریف مسأله و عوامل موثر در ایجاد گیر رشته حفاری و همچنین دسته بندی داده‌ها و پارامترهایی که در ساخت مدل به کار رفته‌اند، معرفی می‌گردد. این پارامترها شامل پارامترهای حفاری (مانند پارامترهای عملیاتی و پارامترهای مسیر چاه) و پارامترهای سیال حفاری می‌باشد. **فصل سوم:** روش تحقیق بیان و ابزارها و مدل‌های به کاررفته در پژوهش معرفی و نتایج به دست آمده از این پژوهش به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. **فصل چهارم:** نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی که پس از انجام این تحقیق قابل ارائه و انجام است، بیان خواهد شد.

فصل دوم:

مسابقات پرورش

۲-۱ مقدمه

گیر لوله یکی از عمومی‌ترین مشکلاتی است که در حین عملیات حفاری رخ می‌دهد. این پدیده از مشکلات کوچکی که موجب افزایش نسبی هزینه‌ها تا موارد پیچیده‌ای که می‌تواند منجر به نتایج نامطلوبی مانند از دست دادن قسمتی از رشته حفاری یا چاه به صورت کامل گردد، رده‌بندی می‌شود. اگر در اثر عملیات حفاری لوله‌ها بریده شوند و دیگر امکان بازیابی رشته نباشد باید از بالای مانده، چاه را مسدود و از بالاتر کنارگذر^۱ زد. برای جلوگیری از گیر لوله‌ها باید یک استراتژی مناسب و کاربردی که بتواند با سرعت و دقت بالا مشکل گیر را پیش‌بینی کند اتخاذ نمود [۲۳].

اگر لوله‌ای گیر کند، عملیات آزادسازی آن باید سریعاً انجام شود زیرا با گذشت زمان، احتمال آزاد شدن لوله‌ها بسیار پایین می‌آید و گیر شدیدتر می‌شود. ضمناً، اگر به دلیل عدم درک درست از شرایط گیر، استراتژی اتخاذ شده نادرست باشد ممکن است شدت گیر را به سرعت افزایش دهد. با بررسی انواع گیر رشته حفاری و دلایل بروز آن‌ها می‌توان علاوه بر دسته‌بندی انواع مکانیسم گیر، نتیجه گرفت که کدام نوع گیر در عملیات پیش‌رو محتمل‌تر است تا بتوان در صورت بروز به راحتی لوله‌ها را آزاد کرد [۲۴].

۲-۲ طبقه‌بندی گیر رشته حفاری

گیر لوله‌ها را می‌توان به سه دسته کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

- **گیر مکانیکی:** توسط عوامل فیزیکی مانند ریزش دیواره چاه یا مچالگی^۲ آن پیش می‌آید و در زمان بروز، حرکت لوله و گردش گل امکان‌پذیر نمی‌باشد.

^۱ Side Track

^۲ Collapse

- **گیر اختلاف فشاری:** همانگونه که از نامش پیداست، ناشی از اختلاف بسیار زیاد فشار هیدرواستاتیک گل و فشار سازند می‌باشد، این نوع گیر در مقابل سازندهای تراوا که ضخامت کیک‌گل در مقابل آنها زیاد است پیش می‌آید و لوله در کیک گل می‌چسبد. در این نوع گیر نیز حرکت لوله امکان‌پذیر نیست ولی گردش گل انجام می‌شود.
- **گیر ناشی از پروفایل چاه:** این نوع گیر بیشتر در چاه‌های انحرافی و در حین لوله بالا یا لوله پایین رخ می‌دهد. در این نوع گیر عموماً حرکت لوله به یک سمت آزاد و از سمت دیگر امکان‌پذیر نمی‌باشد در حالی که مشکلی برای گردش گل وجود ندارد [۲۵].

۲-۱-۲ گیر مکانیکی

گیر مکانیکی معمولاً هنگامی اتفاق می‌افتد که رشته حفاری در حال حرکت است و به طور معمول با عدم گردش گل مشخص می‌شود. عامل اصلی در این نوع گیر ریزش دیواره چاه یا ته‌نشینی مواد جامد پشت رشته حفاری است که ممکن است بنا به دلایل زیر رخ دهد:

- **ته‌نشینی کنده‌های حفاری و مواد جامد موجود در گل (مشکل در تمیزسازی حفره):** اگر کنده‌های حفاری از چاه خارج نشوند، با افزایش درصد جامد گل سبب رسوب ذرات اطراف رشته حفاری و در نهایت منجر به گیر لوله می‌گردد. این مشکل بیشتر در چاه‌های انحرافی و یا حفاری سیمان مشاهده می‌شود به‌علاوه این که در قسمت‌هایی از چاه که دچار ریزش شده‌اند بخاطر کاهش سرعت گل، کنده‌ها ممکن است رسوب کنند.
- **شیل‌های ریزشی:**^۱ شیل‌ها از مشکل‌سازترین بخش‌های تحت حفاری هستند زیرا همانند یک غشا نیمه تراوا عمل می‌کنند و اختلاف پتانسیل شیمیایی موجود بین سیال حفاری و سیال سازند باعث جابه‌جایی سیال حفاری به داخل شیل‌ها و برعکس می‌گردد، این پدیده در اغلب موارد باعث متورم شدن شیل‌ها و عدم پایداری آنها می‌شود.

¹ Sloughing Shales

- **ریزش سازندهای در حال شکستگی:** هنگام حفاری چاه‌های نفت و گاز تعادل تنش‌ها به هم خورده و تعدادی تنش جدید در اطراف چاه القا می‌گردد. در اینگونه سازندها چون گل درون چاه به سبب دلایلی توانایی جبران تنش ناشی از حفاری را ندارد، دیواره چاه دچار تنش برشی شده و ریزش می‌کند. وضعیت زمانی بدتر می‌شود که حفاری در منطقه‌ای تحت تنش‌های تکتونیکی^۱ انجام شود، در چنین مناطقی چون اختلاف بین تنش‌ها (تنش تفاضلی) از حد معمول خیلی بزرگتر است، دیواره چاه به شدت دچار ریزش خواهد شد [۲۶، ۲۷ و ۲۸].
- **گیرهای مرتبط با سیمان‌کاری:** در هنگام لوله پایین برای حفاری سیمان، ابتدای سیمان زمانی مشخص می‌شود که رشته در حال پایین رفتن در نزدیکی‌های مقدار محاسبه‌ای بالای سیمان قرار بگیرد. ممکن است سیمان کاملاً دچار بندش نشده باشد و رشته حفاری به واسطه وزن خود تا حد امکان درون سیمان نرم فرو رود. در این حالت با شروع حفاری و افزایش فشار ناشی از روشن کردن پمپ توسط مجموعه تجهیزات ته چاهی، سیمان دچار بندش سریع گردد و لوله‌ها گیر کنند.
- **افتادن تجهیزات درون چاه:** به هنگام عملیات حفاری اگر ابزاری درون چاه بیفتد به علت کوچک شدن فضای دالیزی و همچنین افزایش سطح تماس این عامل می‌تواند باعث ایجاد گیر رشته حفاری در طول مسیر چاه گردد.

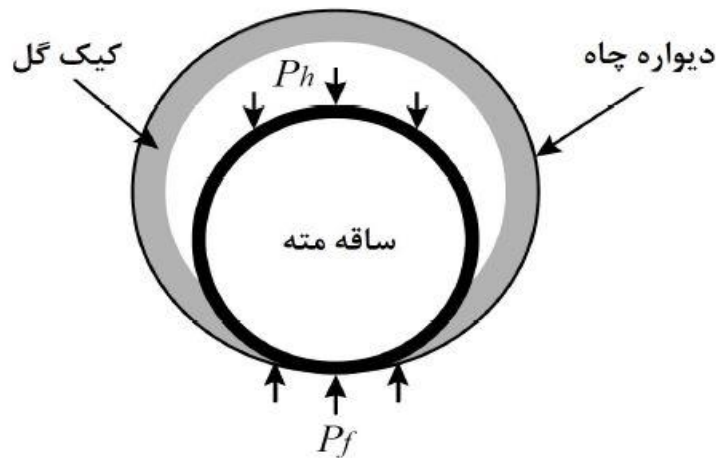
۲-۲-۲ گیر اختلاف فشاری^۲

گیر اختلاف فشاری همانگونه که از نامش پیداست، به علت چسبیدن رشته حفاری به دیواره چاه به دلیل اختلاف فشار بالای گل و سازند در مقابل سازندهای تراوا (ماسه سنگ، سنگ آهک و دولومیت) رخ می‌دهد. در مقابل لایه‌های تراوا کیک گل تشکیل لایه‌ای ضخیم و چسبنده روی دیواره چاه می‌دهد که ممکن است رشته حفاری که از مرکز چاه دور شده است را درگیر کند. بیشتر گیرهایی که در حین

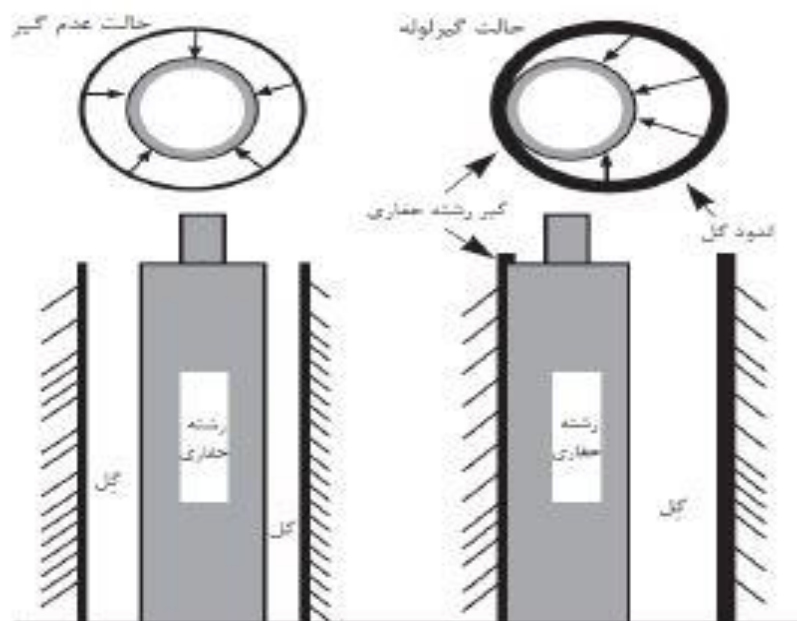
^۱ Tectonically Stressed Formations

^۲ Differential pressure sticking

عملیات حفاری رخ می‌دهد ناشی از چسبیدن رشته حفاری به دیواره چاه (گیر اختلاف فشاری) و کمتر مربوط به گیرهای مکانیکی و گیرهای مربوط به پروفایل چاه می‌باشد [۶۱]. گیر اختلاف فشاری عمدتاً زمانی اتفاق می‌افتد که لوله حفاری برای اتصال به لوله جدید و یا اندازه‌گیری زاویه انحراف متوقف شده است. در گیر اختلاف فشاری چون یک طرف رشته حفاری به دیواره‌ی چسبیده است، مقداری از فضای دالیز برای گردش گل باز است ولی امکان حرکت لوله رو به بالا و پایین و همچنین چرخش آن وجود ندارد (شکل ۱-۲).



شکل (۱-۲) مکانیسم گیر اختلاف فشاری [۲۹]، (P_h فشار سیال، P_f فشار سازند)



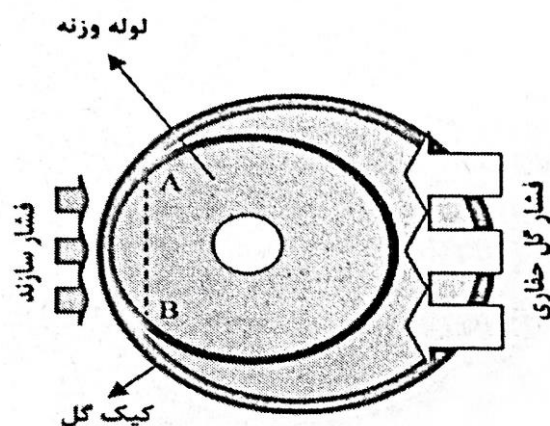
شکل (۲-۲) وضعیت BHA، قبل و بعد از گیر اختلاف فشاری [۳۰]

این نوع گیر در سازندهای با تراوایی بالا رخ می‌دهد و در سازندهای شیلی و کم‌تراوا به وجود نمی‌آید. اگر لوله‌ها برای مدت کوتاهی حرکت نداشته باشند، در اثر اختلاف فشار ستون گل و فشار سازند رشته حفاری خصوصاً لوله‌های وزنه، به دیواره چاه چسبیده و در اندود گل تشکیل شده روی دیواره فرو رفته و گیر می‌کنند. برای اینکه گیر اختلاف فشاری حادث شود وجود سه شرط زیر الزامیست:

- بیشتر بودن فشار هیدرواستاتیک گل از فشار سازند
- وجود یک لایه متخلخل و تراوا (مانند ماسه سنگ)
- متوقف بودن رشته حفاری (در حین اتصال لوله یا داده‌برداری در حین حفاری انحرافی)

گیر اختلاف فشاری از پارمترهای مربوط به خصوصیات گل و خصوصیات سازند تاثیر می‌پذیرد. رشته حفاری بدون چرخش در مرکز چاه قرار دارد و در اطراف آن گل فشار یکنواختی را در تمام جهات اعمال می‌کند. به محض انحراف رشته از مرکز چاه و اولین تماس با کیک گل روی دیواره، فشار گل در دو طرف لوله نابرابر شده و لوله را به دیواره می‌چسباند (شکل ۲-۲). لوله در کیک گل فرو رفته و گیر

می‌کند. هرچه ضخامت کیک گل بیشتر باشد، میزان فرو رفتگی لوله بیشتر شده و بخش بیشتری از رشته لوله را درگیر می‌کند. زمانی که لوله داخل کیک فرو می‌رود، از طرف کیک گل فشار سازند به لوله وارد شده و از سمت آزاد فشار گل اعمال می‌شود که لوله را محکم به دیواره می‌چسباند. بنابراین هرچه اختلاف فشار دو طرف لوله یا در حقیقت همان فشار هیدرواستاتیک گل بیشتر باشد، شدت گیر بیشتر شده و نیروی بیشتری برای آزاد کردن آن مورد نیاز است [۳۰ و ۳۱].



شکل (۳-۲) نیروی هیدرواستاتیک وارد شده به رشته حفاری، ناحیه گیر لوله [۳۲]

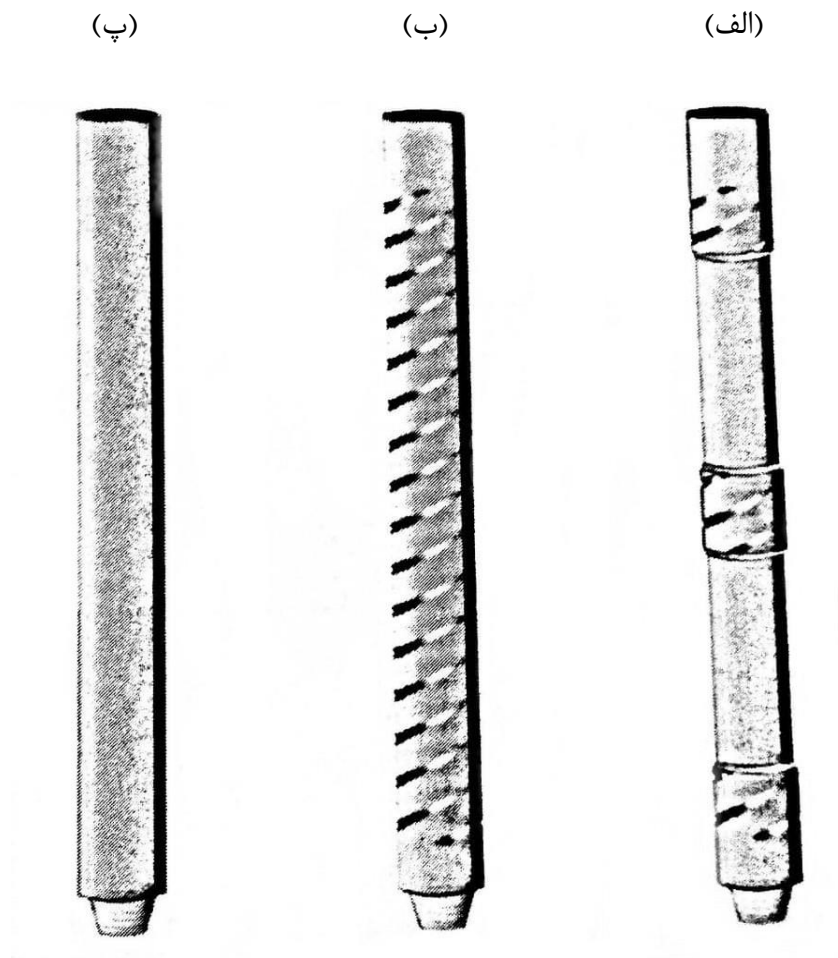
ناحیه‌ای که لوله گیر می‌کند در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. فاصله A-B عرض معادل گیر نام دارد که تابع عمق گیر، ضخامت کیک گل، قطر لوله وزنه و قطر چاه می‌باشد. عمق گیر تابع ضخامت کیک گل، انحراف چاه و ساختار BHA می‌باشد. هرچه درصد جامدات گل بالاتر و گل دارای خصوصیات فیلتراسیون بدی باشد، ضخامت کیک گل افزایش خواهد یافت. نیرویی که لوله را در دیواره نگه می‌دارد در واقع حاصل ضرب اختلاف فشار گل و سازند در سطح گیر می‌باشد. مقطع گیر در محاسبات به صورت مستطیلی در نظر گرفته می‌شود که دارای عرض معادل گیر و طول گیر می‌باشد. با این حساب اضافه کشش روی سطح با حاصل ضرب نیروی ناشی از اختلاف فشار در ضریب اصطکاک بین لوله و کیک گل برابر خواهد بود. (ضریب اصطکاک برای گل‌های پایه آبی بین ۰/۲ تا ۰/۳۵ و در گل‌های پایه روغنی

بین ۰/۱ تا ۰/۲ می‌باشد). وزن گل سبب ایجاد اختلاف فشار می‌گردد به طوری که اگر در طول نسبتاً زیادی از لوله امتداد یابد، سبب ایجاد چندین هزار پوند نیرو می‌شود که برای جلوگیری از حرکت لوله کافی است. به هر حال برای رخداد گیر اختلاف فشاری باید اندود گل موجود باشد، زیرا اندود گل به صورت طبیعی به وجود نمی‌آید. علامت گیر اختلاف فشاری عدم قابلیت چرخش رشته‌ی حفاری یا حرکت آن‌ها به سمت بالا و پایین است. این در حالی است که گردش گل برقرار است.

کلیه عوامل مربوط به گیر اختلاف فشاری را نمی‌توان محدود کرد ولی استفاده از وزن گل کمتر تا جایی که برنامه حفاری اجازه می‌دهد، استفاده از گل با فیلتراسیون و درصد جامدات کم و استفاده از کمترین متراژ لوله‌های وزنه مورد نیاز در رشته حفاری می‌تواند تا حد زیادی از گیر کردن لوله‌ها جلوگیری کند. از طرف دیگر کاهش سطح گیر با قرار دادن پایدارکننده^۱ در BHA، استفاده از لوله وزنه‌های مارپیچ^۲ و لوله‌های حفاری سنگین (با سطح جانبی ۲۳٪) به جای لوله وزنه‌های صاف کمک شایانی به جلوگیری از گیر اختلاف فشاری می‌کند. (لوله‌های وزنه مارپیچ دارای شیارهایی روی بدنه می‌باشند که حدود ۵۰٪ از سطح جانبی آن‌ها را کاهش داده و بعد از گیر اجازه عبور گل از درون شیارها و اعمال فشار به طرف گیر را می‌دهد (شکل ۴-۲). این لوله‌ها نسبت به لوله‌های ساده ۱۰٪ افت وزن پیدا می‌کنند.

¹ Stabilizer

² Spiral Drill Collar



شکل (۲-۴): (الف) لوله حفاری سنگین، سطح تماس ۲۳٪ (ب) لوله وزنه شیاردار (مارپیچ)، سطح تماس ۶۶٪
(پ) لوله وزنه صاف، سطح تماس ۱۰۰٪ [۳۴]

۲-۲-۳ گیرهای مرتبط با پروفایل چاه

این نوع گیرها عموماً در چاه‌های انحرافی و در هنگام پیمایش رخ می‌دهد. در اینگونه موارد قطر چاه، مارپیچ بودن چاه، وجود پایدار کننده و سختی رشته حفاری اجازه ورود رشته به داخل چاه و یا خروج از آن را نمی‌دهد. هرچه تغییرات زاویه و سفتی چاه بیشتر باشد، احتمال گیر کردن لوله‌ها بیشتر خواهد شد. چاه‌های انحرافی با پروفایل نوع S بیشترین احتمال گیر لوله‌ها را دارند چرا که به خاطر تغییرات زیاد زاویه چاه، اصطکاک لوله روی دیواره موقع پیمایش به مقداری می‌رسد که ممکن است لوله‌ها گیر کنند [۳۶].

۲-۳ سیالات حفاری

سیالات حفاری یکی از مهمترین مقوله‌ها در صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز می‌باشد. سیال حفاری نقش بسیار مهمی در عملیات حفاری ایفا می‌کند و عدم توجه به آن می‌تواند مشکلات زیادی از جمله هرزروی سیال حفاری، گیر لوله‌های حفاری، فوران چاه و کاهش سرعت حفاری را به دنبال داشته باشد [۳۳].

طبق تعریف به تمامی ترکیباتی که به منظور کمک به عملیات حفاری و خروج کنده‌ها و خرده‌های حفاری از چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیال حفاری گفته می‌شود. زمانی که بخش عمده یک سیال حفاری، مایع باشد (آب یا نفت) و سوسپانسیونی از جامدات در این مایع وجود داشته باشد، عبارت گل حفاری به جای سیال حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع گل حفاری یک سیستم کلوئیدی است که از دو فاز مایع و جامد تشکیل می‌گردد [۳۲ و ۳۴].

مقدار فشار فراتعدادی در ناحیه‌های پرخطر با ریسک بالا عملیات حفاری به خصوصیات و ویژگی‌های سازند، اندازه چاه، تجهیزات درون چاهی، زاویه چاه و سطح تماس بین لوله و سازند تراوا وابسته است که تغییر در خصوصیات سازند قابل انجام نیست. همچنین در مواردی که چاه باید پایدار بماند و یا در مقابل سازندهای با فشار بالا کنترل شود استفاده از گل با وزن بالا غیرقابل اجتناب است. بنابراین باید خصوصیات گل را طوری تغییر داد که از وقوع گیر اختلاف فشاری جلوگیری کند [۳۳].

۲-۳-۱ وظایف سیالات حفاری

هزینه سیال حفاری در یک چاه گاهی ممکن است تا یک میلیون دلار هم برسد و بدیهی است با توجه به مطالب گفته شده توجه جدی به نوع و خصوصیات سیال استفاده شده یک چاه به جهت انجام هرچه بهتر وظایف اهمیت شایانی دارد، مهمترین وظایف سیالات حفاری عبارتند از [۳۲، ۳۴ و ۳۵]:

- تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده‌های حفاری به سطح زمین
- خنک کردن مته و لوله‌های حفاری
- روان کردن مته و لوله‌های حفاری
- اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش آن
- کنترل فشارهای زیرسطحی
- معلق نگه داشتن کنده‌های حفاری و مواد وزن‌افزای گل به هنگام خاموشی پمپ‌های گل
- ترخیص شن و کنده‌های حفاری روی الک لرزان
- تحمل بخشی از وزن لوله‌های حفاری و لوله‌های جداری با استفاده از نیروی شناوری
- کاهش آسیب به سازند
- انتقال توان هیدرولیک پمپ‌های گل به مته

۲-۴ پارامترهای موثر سیالات حفاری بر گیر اختلاف فشاری

گل حفاری به عنوان یکی از مهمترین بخش‌های حفاری، می‌تواند بر وقوع یا عدم وقوع پدیده‌ی گیر اختلاف فشاری موثر باشد. برخی از پارامترهای موثر سیال حفاری بر گیر اختلاف فشاری عبارتند از [۳۳]:

- نوع گل
- وزن گل فراتعادلی
- محتوای جامد گل حفاری
- هرزروی گل
- فرمولاسیون گل

- اندود گل

۲-۵ فاکتورهای افزایش دهنده نیروی گیر اختلاف فشاری

عواملی که باعث افزایش شدت گیر اختلاف فشاری می‌شوند عبارتند از [۳۲]:

- اندود گل ضخیم و تراکم‌پذیر
- افزایش قطر لوله برای یک چاه با اندازه مشخص
- افزایش سطح تماس لوله با دیواره چاه

۲-۶ آزاد کردن لوله‌ها

برای اینکه بتوان رشته لوله گیر کرده را آزاد کرد در ابتدا باید نوع گیر و سپس علت آن را فهمید تا بتوان با اتخاذ استراتژی مناسب و تعیین عمق گیر لوله‌ها را در کمترین زمان ممکن آزاد کرد.

۲-۶-۱ تشخیص نوع گیر

پیدا کردن نوع گیر با استفاده از شواهد مهمترین قدم در آزادسازی لوله‌ها می‌باشد. در بعضی از انواع گیر ممکن است گردش گل به راحتی انجام شود (گیر اختلاف فشاری و گیرهای مرتبط با پروفایل چاه) ولی در برخی دیگر (گیر مکانیکی) امکان پذیر نباشد. با توجه به کلیه پارامترهای حفاری مانند وضعیت چرخش، آزادی و گردش گل قبل و بعد از وقوع گیر می‌توان نوع گیر را مشخص کرد.

۲-۶-۲ تعیین عمق گیر

مهمترین فاکتور بعد از شناسایی نوع گیر برای آزادسازی لوله‌ها تعیین عمق گیر می‌باشد. در مراحل اولیه برای اثبات ابزار جهت آزادسازی لوله نیاز به دانستن عمق گیر می‌باشد تا ابزار و روش مورد استفاده

حتما محل گیر را پوشش دهد. از طرف دیگر به منظور انجام عملیات خصوصا برای آزادسازی لوله‌ها نیاز به دانستن عمق گیر می‌باشد تا کشش روی سطح به اندازه‌ای باشد که نقطه خنثی حتما در محل گیر قرار بگیرد. برای یافتن عمق گیر دو روش وجود دارد:

• ابزار تعیین نقطه آزاد^۱

یکی از ابزارهای است که از قدیم (دهه ۱۹۵۰) برای پیدا کردن محل گیر یا همان نقطه آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم کابلی جهت بازیابی رشته حفاری به عمیق‌ترین نقطه چاه فرستاده می‌شود و با اعمال کشش و گشتاور به لوله، می‌تواند پیچش و کشیدگی را در هر عمقی تعیین نماید. برای تعیین دقیق محل گیر باید نتایج حاصل از پیچش و کشش لوله‌ها باهم مقایسه شده و سپس با استفاده از نمودار عمق برحسب درصد نیروی کشش و گشتاور اعمال شده به پایین رشته حفاری، عمق نقطه آزاد رشته حفاری تعیین گردد.

• کشش لوله‌ها

در این روش از قانون ساده هوک در مورد مواد الاستیک برای تعیین محل گیر استفاده می‌شود. در این روش ابتدا رشته را که گیر کرده است با نیرویی اضافه می‌کشند و تغییر طول (افزایش) رشته را اندازه گرفته و از طریق فرمول زیر محل تقریبی گیر را مشخص می‌کنند:

$$L_f = \frac{\Delta L \times 10^6}{K \times \text{Over pull}} \quad (۱-۲)$$

$$K = \frac{1.5}{W_{DP}(lb/ft)}$$

برای لوله های حفاری :

^۱ Free Point Indicator Tools (FPIT)

$$K = \frac{1.4}{W_{csg}(lb/ft)} \quad \text{برای لوله جداری و مغزی :}$$

در این فرمول، L_f طول آزاد لوله یا عمق گیر براساس فوت، ΔL تغییر طول (اینچ) بر اثر اعمال نیرو (بر حسب پوند) می‌باشد، K ضریب وزن برای لوله‌های حفاری، جداری و مغزی بوده و W وزن واحد طول بر حسب پوند بر فوت می‌باشد [۳۷ و ۳۸].

۲-۶-۳ روش‌های آزادسازی لوله‌ها

- آزاد کردن لوله‌ها با کوبه^۱ زدن
- پسگرد^۲

۲-۶-۳-۱ آزاد کردن لوله‌ها با ضربه زدن

کوبه به عنوان یکی از عناصر کلیدی در آزادسازی لوله‌ها از اهمیت خاصی در محل قرار گرفتن در BHA، چگونگی مسلح کردن و ضربه زدن برخوردار می‌باشد. تصمیم به استفاده از جار باید با بررسی دقیق صورت گیرد چرا که ممکن است یک حفار کم تجربه در زمانیکه رشته حفاری در حین لوله بالا گیر کرده است، با ضربه زدن ندانسته به سمت بالا نه تنها مشکلی راه حل نکند بلکه سبب وخیم‌تر شدن اوضاع شود.

در گیر اختلاف فشاری زمانی که استفاده از اسید، آب نمک و روان کننده موفقیت آمیز نبود، تنها چیزی که لوله‌ها را آزاد می‌کند، جار زدن مداوم است. بنابراین محل قرار گیری جار در رشته حفاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که اگر وزن زیر یا بالای آن برای ضربه زدن مناسب نباشد، جار درست عمل نخواهد کرد و هیچ‌گاه فرصتی برای تعویض و یا تصحیح محل آن وجود نخواهد داشت. جارها انواع مختلفی دارند که از این دست می‌توان به جارهای مکانیکی و هیدرولیکی اشاره کرد. جارهای مکانیکی ساده بوده و به محض کشیدن رشته رو به بالا و یا در اثر اعمال وزن رو به پایین ضربه می‌زنند. این در

¹ Jar

² Back off

صورتی است که جارهای هیدرولیکی در همان لحظه ضربه نزده و ممکن است تا حتی هشت دقیقه بعد از تحریک ضربه بزنند. زمان تاخیر برای جارهای سریع بیست تا شصت ثانیه و برای جارهای کند دو تا هشت دقیقه است.

۲-۶-۳-۲ پسگرد

اگر تلاش برای آزاد کردن لوله‌ها با جار زدن و اثبات سیال روان کننده ممکن نباشد، باید قسمتی از رشته حفاری را که بالای نقطه گیر است پسگرد کرده و بالا بیاوریم. سپس با ابزار مانده‌یابی پایین رفته و برای آزاد کردن باقیمانده رشته از چاه تلاش کنیم. زمانی که عمق گیر با استفاده از روش‌های مربوطه تعیین شد، می‌توان لوله‌ها را توسط یکی از روش‌های زیر پسگرد کرده و بالا کشید:

پسگرد مکانیکی:

در این نوع پسگرد که به پسگرد کور^۱ نیز معروف است، پس از تعیین محل گیر، به اندازه وزن رشته حفاری بالای نقطه گیر، لوله‌ها کشیده می‌شود تا نقطه خنثی روی محل گیر قرار بگیرد. با این کار هیچ‌گونه تنش تراکمی به محل گیر وارد نخواهد شد و با اعمال گشتاور چپ‌گرد توسط میز دوار و لوله چندبر^۲ سعی در باز کردن رشته از ضعیف‌ترین قسمت می‌شود. اگر محاسبات درست انجام شده باشد و لوله‌ها در هنگام اتصال با گشتاور^۳ مناسب سفت شده باشند، لوله از نزدیک‌ترین اتصال آزاد بالای نقطه گیر باز خواهد شد.

پسگرد الکتریکی:

در این نوع پسگرد که به Shooting Back Off نیز معروف است، برای پیدا کردن محل گیر به روش ساده کشیدن لوله‌ها اکتفا نکرده و با راندن نمودار نقطه آزاد محل گیر را دقیقاً مشخص می‌کنند. مرحله

^۱ Blind Back Off

^۲ Kelly

^۳ Torque

بعد پیدا کردن نزدیک‌ترین اتصال آزاد بالای نقطه گیر می‌باشد که این کار با راندن نمودار^۱ CCL انجام می‌گیرد. این نمودار ساختار ساده‌ای داشته و محل افزار اتصال لوله‌ها را با زدن تیک روبه‌روی هر کدام مشخص می‌کند [۳۹].

۲-۷ فرکتال

مندلبروت^۲ وقتی که بر روی تحقیقی پیرامون طول سواحل انگلیس مطالعه می‌کرد به این نتیجه دست یافت که هرگاه در مقیاس بزرگ این طول اندازه گرفته شود بیشتر از حالتی است که در مقیاس کوچک اندازه‌گیری شود. این بی‌نظمی ایجاد شده باعث ایجاد شاخه ریاضی در نظریه بی‌نظمی به نام فرکتال^۳ گردید. این واژه برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط ریاضی‌دان لهستانی، بنیوت مندلبروت مطرح گردید [۴۰].

هندسه فرکتال‌ها حوزه‌ای از ریاضیات می‌باشد که به کمک آن می‌توان اشکال مختلفی را با استفاده از فرمول‌ها ایجاد کرد. فرکتال‌ها به وفور در زندگی روزمره مشاهده می‌شوند، درخت‌ها، کوه‌ها، پراکنده شدن برگ‌های پاییزی روی زمین و خیلی از موارد دیگر که به راحتی از کنار آن‌ها می‌گذریم، نمونه‌های بارزی از فرکتال‌ها هستند. فرکتال شاخه‌ی جدیدی از علوم ریاضی و کامپیوتر محسوب می‌شود که از هر دو منظرگاه قابل تامل و بررسی است. فرکتال یک شکل هندسی چندجزئی است که می‌توان آن را به قسمت‌هایی تقسیم نمود، به طوریکه هر قسمت یک کپی از کل شکل می‌باشد. به سختی می‌توان باور کرد که فرکتال‌ها در عین پیچیدگی و کاربرد در عالی‌ترین سطوح ریاضی، بتواند به شکل یکی سرگرمی جالب مورد استفاده قرار گیرد. در واقع هندسه فرکتالی، حرکت اشکال در فضا را ثبت می‌کند

¹ Casing Collar Locator

² Mandelbrot

³ Fractal

و ناهموازی دنیا و انرژی و تغییرات دینامیک آن را نشان می‌دهد. واژه فرکتال از ریشه یونانی کلمه فرکتوس^۱ به معنای تکه تکه شده و بخش‌بخش آمده است و یک نام علمی برای یک دسته‌ی متنوع از اشیا هندسی یا مجموعه‌هایی می‌باشد که دارای همه یا اکثر ویژگی‌های زیر باشد :

- مجموعه‌ای است که دارای یک ساختار ظریف و دارای جزئیاتی مستقل از اندازه است.
- مجموعه‌ای است که از نظر هندسه اقلیدسی کلاسیک بسیار بی‌قاعده و نامنظم است.
- مجموعه به نوعی خود تشابهی دارد، این تشابه می‌تواند تقریبی یا آماری باشد.
- بعد هاوس دورف^۲ مجموعه اکیدا بزرگتر از بعد توپولوژیکی آن می‌باشد.
- مجموعه می‌تواند به صورت بازگشتی تعریف شود.

ویژگی آخر تعریف اصلی فرکتال است که توسط مندلبروت ارائه شده اما به هر حال این ویژگی برای همه مجموعه‌هایی که باید به عنوان فرکتال در نظر گرفته شوند، به اثبات نرسیده است.

مندلبروت در توضیح نظریه خود با انتخاب اصطلاح فرکتال بر یکی از مشخصه‌های اصلی این فرم هندسی که ناشی از ماهیت قطعه قطعه شوندگی است، تاکید نموده است، این بدین معناست که هندسه فرکتال برخلاف هندسه اقلیدسی روش بهتری برای توضیح و ایجاد پدیده‌هایی همانند طبیعت است. فرکتال‌ها انواع عناصری هستند که شکل فضایی آن‌ها صاف نیست، بنابراین نامرتب نیز نامیده شده‌اند و این نامنظمی در آن‌ها به طور هندسی و در راستای مقیاس‌های گوناگون تکرار می‌گردد. یک فرکتال نامنظم است، بدان معنی که در آن هیچ قسمت صاف وجود ندارد. فرکتال خودمشابه است، بدین معنی که اجزا شبیه کل می‌باشد و جسم فرکتالی از دور و نزدیک به صورت یکسان دیده می‌شود. در علم ریاضی فرکتال یک شکل مهندسی پیچیده است و دارای جزئیات مشابه در ساختار خود در هر مقیاسی است. اشکال اقلیدسی با استفاده از توابع استاتیک تولید در صورتی که اشکال فرکتالی با فرآیندی

¹ Fractus

² Hausdorff

دینامیک تولید می‌شوند. فرآیندهای دینامیک دارای حافظه زمانی هستند و رفتار آن‌ها با گذشته مربوط می‌گردد. ظرفیت اشکال هندسه اقلیدسی بسیار محدود و حاوی اطلاعات تکراری است در حالی که هندسه فرکتال دارای ساختارهایی با ظرفیت بالا است [۴۱ و ۴۲].

۲-۷-۱ کاربردهای فرکتال

اگرچه سن فرکتال‌ها هنوز به نیم قرن نرسیده است، اما روزبه‌روز کاربردها و استفاده‌های متنوع آن‌ها در اکثر زمینه‌های علوم تجربی، فنی و مهندسی و حتی زمینه‌های هنری افزوده می‌شود. از فرکتال‌ها به منظور آسان‌سازی در کارهای وابسته به مدل‌سازی در زمینه‌های گوناگون علمی استفاده می‌شود [۴۱].

۲-۷-۲ بعد فرکتال^۱

یکی از ویژگی‌های مهم هندسه فرکتالی این است که دارای خاصیت بی‌نظمی در اندازه‌های مختلف می‌باشد و این در حالی است که هندسه اقلیدسی دارای چنین ویژگی نیست. به عنوان یک نتیجه، از بین ویژگی‌های متعدد فرکتال‌ها، بعد فرکتال مهم‌ترین آن‌ها است.

در هندسه اقلیدسی، بعد نقطه صفر، بعد خط یک، بعد مربع دو و بعد مکعب سه است و به طور کلی بعد یک مجموعه به صورت فضایی که اشغال می‌کند، توصیف می‌شود اما در هندسه فرکتالی چندین نوع بعد مختلف وجود دارد که عبارتند از:

- **بعد توپولوژیکی:** همان مفهوم بعد در هندسه اقلیدسی است.
- **بعد تشابهی:** بیش‌ترین سنخیت را با فرکتال‌ها دارد، چون یکی از خاصیت‌های فرکتال، تشکیل از راه تکرار است و بعد تشابهی نیز براساس تعداد تکرارها از شی اولیه به‌دست می‌آید.

¹ Fractal Dimension

- **بعد هاوس دورف:** دقیق‌ترین بعد برای فرکتال‌ها است اما در عمل به سختی قابل محاسبه است.

- **بعد شمارش جعبه:** مشکل محاسبه پیچیده بعد هاوس دورف در بعد شمارش جعبه برطرف شده است.

یکی دیگر از ویژگی‌های فرکتال بعد کسری یا اعشاری است که از میان چهار بعد ذکر شده، بعدهای تشابهی، هاوس دورف و شمارش جعبه دارای مقدار کسری یا اعشاری می‌باشند. بعد فرکتال‌ها از مجموعه‌ای از رابطه‌های لگاریتمی به دست می‌آیند [۴۱].

۳-۷-۲ روش‌های محاسبه بعد فرکتال و الگوریتم‌های آن

الگوریتم هیگوچی^۱ بعد فرکتال یک سیگنال را دقیق محاسبه می‌کند اما نسبت به نویز حساس است [۴۳].

الگوریتم کاتز^۲ در مقایسه با الگوریتم هیگوچی حساسیت کمتری نسبت به نویز دارد اما دقت این روش نیز در محاسبه بعد فرکتال کمتر است [۴۴ و ۴۵]. روش پطروسیان در محاسبه بعد فرکتال ضعیف و به نویز در سیگنال نیز حساس است [۴۴ و ۴۶].

۱-۳-۷-۲ الگوریتم هیگوچی

در این روش یک سری زمانی محدود مانند $X(i)$ در نظر گرفته می‌شود که داده‌ها در فواصل زمانی یکسانی از یکدیگر قرار دارند.

$$X(1), X(2), X(3), \dots, X(n) \quad (2-2)$$

از سری زمانی موجود، یک سری زمانی جدید براساس رابطه زیر تولید می‌گردد:

¹ Higuchi

² Katz

$$X_k^m ; X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots, X(m + [\frac{N-m}{k}] \cdot k); (m = 1, 2, 3, \dots k) \quad (3-2)$$

در رابطه (۳-۲)، [] علامت جز صحیح، m و k هر دو اعداد طبیعی هستند و به ترتیب نشان دهنده مدت اولیه (Initial Time) و مدت فاصله (Interval Time) می‌باشند. برای هر بازه زمانی k عدد سری زمانی جدید به دست می‌آید.

طول منحنی سری زمانی‌های به دست آمده طبق رابطه زیر (۴-۲) تعیین می‌شود:

$$L_m(k) = \frac{\left\{ \left(\sum_{i=1}^{[\frac{N-m}{k}]} |X(m+ik) - X(m+(i-1) \cdot k)| \right) \frac{N-1}{[\frac{N-m}{k}] \cdot k} \right\}}{K} \quad (4-2)$$

که در آن، ترم $\frac{N-1}{[\frac{N-m}{k}] \cdot k}$ عامل نرمال کردن طول منحنی سری‌های زمانی است. میانگین طول منحنی - های $L_m(k)$ بر مجموعه‌ای از بازه‌های زمانی k را محاسبه و با $\langle L_k \rangle$ نشان داده می‌شود که اگر $\langle L_k \rangle$ با k رابطه توانی با توان D داشته باشد، یعنی $\langle L(k) \rangle \propto k^{-D}$ ، آن‌گاه D همان بعد فرکتال سری زمانی است.

برای محاسبه D شیب خط برازش شده به نقاط $\left(\ln(L(k)), \ln\left(\frac{1}{k}\right) \right)$ تعیین می‌شود. البته توجه شود که مقدار k مهم است [۴۷]. برای انتخاب مقدار مناسب k از $k=1$ شروع شده و افزایش می‌یابد. سپس میانگین طول منحنی به دست می‌آید و از روی شیب خط برازش شده به میانگین طول و بازه زمانی، بعد فرکتال تعیین می‌شود. اگر مقدار محاسبه شده پس از چندبار محاسبه تغییر چندانی نکرد، k مربوط به این مرحله k_{max} نامیده می‌شود و محاسبات خاتمه می‌یابد و بعد فرکتال بر حسب k_{max} تعیین می‌گردد [۴۷ و ۴۸].

۲-۷-۳-۲ الگوریتم کاتز

در این روش بعد فرکتال سری زمانی با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$F_D = \frac{\log_{10} L}{\log_{10} d} \quad (۵-۲)$$

که در آن L طول سری زمانی یا جمع فواصل بین نقاط متوالی و d تخمینی از فاصله بین اولین نمونه و داده با بیشترین فاصله است. با نرمال سازی فاصله توسط میانگین بین دو داده متوالی، رابطه به فرم زیر به وجود می‌آید:

$$F_D = \frac{\log_{10} \frac{L}{a}}{\log_{10} \frac{d}{a}} \quad (۶-۲)$$

که در معادله (۲-۲)، مقدار $n = \frac{L}{a}$ را به عنوان اندازه گام در سری زمانی در نظر می‌گیرند می‌توان معادله را به فرم زیر بیان کرد:

$$F_d = \frac{\log_{10} n}{\log_{10} \frac{d}{L} + \log_{10} n} \quad (۷-۲)$$

معادله یاد شده روش شرح داده شده توسط کاتز برای محاسبه بعد فرکتال است [۴۹ و ۴۶].

۲-۷-۳-۳ الگوریتم پطروسیان

در این روش یک تخمین سریع از بعد فرکتال به دست می‌آید. در ابتدا چهار روش برای تبدیل سیگنال به یک سیگنال باینری مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- روش میانگین: میانگین سیگنال محاسبه می‌شود. اگر مقدار هر نقطه بیشتر از مقدار میانگین

بود، یک و در غیر این صورت صفر می‌شود.

- روش محدوده اصلاح شده: اگر مقدار نقطه خارج از محدوده متوسط به علاوه و منهای انحراف از معیار مشخصی بود، یک و در غیر این صورت صفر می‌شود.
- روش دیفرانسیل: اگر تفاضل دو نمونه متوالی مثبت شود، نمونه مقدار یک می‌گیرد و اگر تفاضل منفی شود مقدار صفر می‌گیرد.
- روش دیفرانسیل محلی: اگر تفاضل نمونه با اکستریم محلی مثبت باشد، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

بعد از به دست آوردن سیگنال باینری، برای محاسبه بعد فرکتال از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$D = \frac{\log_{10} n}{\log_{10} n + \log_{10} \left(\frac{n}{n + 0.4 N_{\Delta}} \right)} \quad (۸-۲)$$

در رابطه بالا، n طول سیگنال، N_{Δ} تعداد نقاط تغییر علامت در سیگنال باینری و D مقدار بعد فرکتال می‌باشد.

فصل سوم:

روش‌شناسی و نتایج پژوهش

۳-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا پردازش و محاسبات بر روی داده‌های مربوط به پارامترهای عملیات و سیال حفاری انجام و نمایش داده می‌شود. سپس نمودارهای آماری از فراوانی داده‌ها رسم می‌گردد. پس از بیان اطلاعات داده‌ها با استفاده از هندسه فرکتال و مدل‌سازی انجام شده با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به محاسبه بعد فرکتال هر پارامتر، گیر لوله توسط این ابزارها بررسی و تحلیل می‌شوند.

با توجه به مطالب بیان شده در تاریخچه پژوهش (بخش ۱-۴) تاکنون روش‌های زیادی برای پیش‌بینی و تشخیص وقوع گیر رشته حفاری معرفی شده است. در تمامی روش‌های یاد شده اطلاعات یک مخزن یا سازند خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد، چرا که اطلاعات پارامترهای حفاری و نوع گل استفاده شده در هر منطقه یا سازند متفاوت است، بنابراین هر روش فقط برای همان منطقه‌ای که اطلاعات را دریافت کرده است پاسخ مطلوب را می‌دهد [۵۴]. در نتیجه یافتن روشی که بدون توجه به سازند یا مخزن، برای حفاری‌های خشکی و دریایی بهینه باشد، بسیار کارآمد خواهد بود. در این پژوهش روش استفاده شده که پیش‌تر معرفی نشده است، گیر رشته حفاری را با سرعت و اطمینان از نتایج حاصل از آن با مفاهیم هندسه فرکتال که به صورت مستقل از چاه، منطقه و سازند مورد حفاری است، به راحتی می‌تواند برای بهینه‌سازی و حفاری ایمن‌تر چاه‌های نفت و گاز در هر منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲ سازندها و چینه‌نگاری میدان مورد مطالعه

حوضه رسوبی زاگرس، خلیج فارس که بیش‌ترین مقدار ذخایر هیدروکربنی جهان را نسبت به حوضه‌های رسوبی دیگر داراست علاوه بر ایران و خلیج فارس در کشورهای عمان، عربستان سعودی، امارات متحده عربی، کویت، عراق، سوریه و جنوب شرق ترکیه گسترش دارد [۵۰].

جدول (۱-۳) لیتولوژی و عمق شروع سازندها در میدان مورد مطالعه

نام گروه یا سازند	لیتولوژی	عمق شروع (متر)
گروه فارس	انیدریت، مارل، سنگ آهک، دولومیت	۲۵۰/۹
آسماری بخش غار	ماسه سنگ، دولومیت، شیل	۹۶۸
آسماری میانی	ماسه سنگ، دولومیت، سنگ آهک	۱۳۲۶/۸
جهرم	سنگ آهک، دولومیت	۱۴۷۸/۱
ایلام	سنگ آهک، لایه‌های نازک شیل	۲۴۷۶/۸
لافان	سنگ آهک، شیل	۲۶۴۲
سروک	سنگ آهک، مارل	۲۷۰۲/۶
کژدمی	شیل، لایه‌های نازک سنگ آهک، ماسه سنگ	۲۸۲۳/۶
داریان	سنگ آهک	۳۰۷۰
گدوان بالایی	سنگ آهک، مارل	۳۲۰۲
گدوان بخش خلیج	سنگ آهک	۳۲۲۵/۶
گدوان پایینی	شیل، ماسه سنگ، سنگ آهک	۳۲۴۸/۶
فهلپان	سنگ آهک، دولومیت، چرت	۳۲۹۹/۹

۳-۳ معرفی و پردازش پایگاه داده

به منظور به دست آوردن داده‌های مورد نیاز این پژوهش، گزارشات روزانه حفاری، داده‌های مربوط به سیال حفاری، اطلاعات ابزار مورد استفاده در رشته حفاری، داده‌های مخزنی، نمودارگیری، زمین‌شناسی، گزارشات مته، گزارشات تجهیزات ته‌چاهی و گزارشات سازند مربوط به حفر چاه‌های یکی از میادین

جنوبی ایران مطالعه گردید. با توجه به اهمیت داده‌های ورودی این مطالعات با دقت نظر فراوان و صرف زمان صورت پذیرفت.

طی مطالعات گزارشات ثبت شده، ۱۶ پارامتر به عنوان پارامترهای ورودی به دست آمد که در ادامه معرفی خواهند شد. در مجموع ۱۰۵۸ مجموعه داده که هر کدام شامل ۲۸ پارامتر است، به دست آمد. از این تعداد مجموعه داده ۱۳۶ مجموعه مربوط به موارد رخداد گیر و ۹۲۲ مجموعه مربوط به عدم رخداد گیر در چاه‌های حفاری طبقه‌بندی شد. اکثر چاه‌های میدان مورد مطالعه در دسته چاه‌های عمیق قرار دارند در جدول (۲-۳) تقسیم بندی انواع چاه‌ها تا رسیدن به عمق مورد نظر بیان گردیده است [۵۱].

جدول (۲-۳) دسته‌بندی انواع چاه‌ها بر حسب عمق

نوع چاه	عمق میانگین (متر)
کم عمق	کمتر از ۲۰۰۰ متر
متعارف	بین ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰
عمیق	بین ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰
خیلی عمیق	بیشتر از ۵۰۰۰

۳-۳-۱ معرفی پایگاه داده

داده‌های ورودی شامل پارامترهای عملیات حفاری، پارامترهای حفاری مرتبط با مسیر چاه و پارامترهای سیال حفاری می‌باشند.

- **سرعت چرخش مته:** بیانگر تعداد دفعات چرخش مته حفاری در هر دقیقه است که به طور مستقیم در میزان حفاری موثر می‌باشد.
- **نرخ نفوذ حفاری:** میزان پیش‌روی مته حفاری درون سنگ‌های تحت حفاری به عنوان نرخ نفوذ حفاری تعریف و با واحدهای فوت بر دقیقه و یا متر بر ساعت شناخته می‌شود [۵۱].
- **وزن روی مته:** وزن روی مته یکی از پارامترهایی مهم عملیات حفاری است که بر روی نرخ حفاری تاثیر به‌سزایی دارد این پارامتر معمولاً با واحد تن و یا کیلوپوند بیان می‌گردد. اثر وزن روی مته بر سرعت حفاری در سازندهای مختلف متفاوت است. اعمال بیش از حد وزن روی مته نه تنها سبب افزایش نرخ حفاری نخواهد شد، بلکه ممکن است باعث آسیب به مته و عملیات حفاری شود [۵۲].
- **سرعت چرخش موتور درون چاهی:** علاوه بر چرخش کل رشته حفاری، با توجه به نوع حفاری با قرار دادن موتور درون چاهی نوعی چرخش به مته و تجهیزات انتهایی رشته حفاری به وسیله انرژی هیدرولیک گل اعمال می‌گردد. این موتور در جهت‌دهی به حرکت رشته حفاری در مسیر طراحی شده کمک خواهد کرد.
- **نرخ پمپ شدن سیال حفاری:** بیانگر حجم گل حفاری است که توسط پمپ گل در هر دقیقه به درون چاه فرستاده می‌شود. این پارامتر بر حسب گالن بر دقیقه (GPM) بیان می‌شود.
- **زاویه انحراف مته:** نشان دهنده میزان انحراف یا کج شدگی مته حفاری از خط قائم است و با واحد درجه بیان می‌گردد.

- **میزان انحراف چاه از نقطه شروع:** با شروع حفاری و با توجه به انحراف و آزمون مت، چاه از حالت کاملاً عمود خارج می‌شود و در هر عمق، چاه نسبت به نقطه شروع مقداری انحراف جانبی بر حسب متر یا فوت خواهد داشت.
- **چگالی گل:** وزن گل یا چگالی گل جهت کنترل فشارهای زیرسطحی و پایداری چاه به کار می‌رود. این پارامتر با واحدهای پوند بر گالن (PPG) یا پوند بر فوت مکعب (PCF) بیان می‌گردد [۵۲].
- **میزان نمک (کلر) موجود در گل:** جهت جلوگیری از حل شدن نمک موجود در طبقات زمین و پیشگیری از ریزش جداره چاه و همچنین جهت جلوگیری از باد کردن لایه‌های شیل استفاده می‌شود [۵۲].
- **فشار پمپ:** این فشار، فشار عملیاتی است و تعیین کننده فشار سیال در چاه و مقابل سازند خواهد بود. حالت فراتعادلی زیاد موجب افزایش افت صافی و ضخیم‌تر شدن اندود گل حفاری می‌گردد. بنابراین افزایش آن احتمال گیر اختلاف فشاری را افزایش می‌دهد.
- **گران‌روی قیف مارش گل حفاری (FV):** این پارامتر جهت بیان درجه غلظت گل به کار می‌رود. گران‌روی قیف مارش، میزان زمان لازم بر حسب ثانیه جهت خروج ۰/۹۴۶ لیتر گل حفاری از قیف مارش است. هنگامی که نفوذپذیری اندود گل کم و مقدار گران‌روی روی صافاب گل پایین باشد، ضخامت اندود گل افزایش می‌یابد و در پی آن گیر لوله حفاری اتفاق می‌افتد [۵۳].
- **گران‌روی پلاستیکی (PV):** گران‌روی پلاستیکی بر تمیزکاری چاه و فشار پمپ موثر است. با افزایش مقدار جامدات در گل حفاری، ضریب اصطکاک میان ذرات و تنش‌های برشی (گران-روی پلاستیکی) افزایش می‌یابد. بنابراین خطر وقوع گیر اختلاف فشاری بالا می‌رود. روش‌هایی

مانند رقیق‌سازی با آب، به کارگیری تجهیزات جداکننده جامدات و استفاده از مواد شیمیایی برای کاهش گران‌روی پلاستیکی موثر می‌باشد.

- **نقطه واروی (YP):** نقطه واروی یک معیار برای مقاومت داخلی سیال در شرایط اولیه جریان می‌باشد. این مقاومت به وسیله نیروهای جاذبه الکتریکی ذرات کلئیدی به وجود می‌آید. این پارامتر در جابه‌جایی ذرات جامد و کنده‌های حفاری موثر است [۳۰].

- **استحکام ژلی اولیه یا ده ثانیه^۱ (IGS) و استحکام ژلی بعد از ده دقیقه (10 min GS):** استحکام ژلی گل حفاری به صورت توانایی گل حفاری در معلق نگه داشتن ذرات جامد تعیین می‌گردد. استحکام ژلی تابعی از مقدار و نوع جامدات معلق، زمان، دما و مواد شیمیایی موجود در گل می‌باشد. استحکام بندش نامناسب منجر به ته‌نشینی کنده‌های حفاری و دیگر جامدات گل می‌گردد که این موارد در نهایت وقوع گیر را در پی خواهد داشت.

- **عمق چاه (MD):** منظور از عمق چاه، عمق اندازه‌گیری شده در حین عملیات حفاری می‌باشد. اگر چه عمق چاه را برخلاف خصوصیات گل حفاری، نمی‌توان کنترل کرد اما اگر دمای گل شاخصی از دمای زمین در عمق حفاری باشد و به علت این که با افزایش عمق چاه، طول لوله حفاری افزایش و کنترل شرایط نیز مشکل‌تر می‌گردد، در نتیجه امکان وقوع گیر نیز افزایش می‌یابد. لذا این پارامتر نیز به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود [۳۰].

۳-۲-۳ پردازش پایگاه داده

برای انجام این پژوهش از گزارشات روزانه یکی از شرکت‌های نفتی فعال در ایران استفاده شده است. از آن جا که اطلاعات مربوط به صنعت نفت و گاز هر کشور محرمانه است در تحقیقات این پژوهش هیچ نامی از شرکت همکار، میدان، مخزن و شماره چاه‌های مورد مطالعه برده نخواهد شد. این اطلاعات از حوزه‌های نفتی جنوب ایران تهیه شده‌اند. تعدادی از این چاه‌ها دارای حفاری، تکمیل و تولید سالم

¹ Initial Gel Strength

هستند و هیچ‌گونه گیر رشته حفاری در آن‌ها ثبت نشده است از طرفی تعداد دیگری از این چاه‌ها نیز دارای گیر رشته حفاری هستند. در یکی از این چاه‌ها گیر شدیدتری به صورت گیر اختلاف فشاری رخ می‌دهد که در نهایت برای دور شدن از مانده درون چاه رشته حفاری بریده شده^۱ و ادامه حفاری از مسیر دیگری ادامه می‌یابد.

پردازش بر روی داده‌های مرتبط با هر پارامتر ورودی انجام و از طریق روش‌های آماری مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین برای هر دسته از داده‌ها انجام شد که نتایج آن در جدول شماره (۳-۳) بیان شده است.

جهت پیاده‌سازی مدل‌های هندسه فرکتال در نرم‌افزار MATLAB مراحل متعددی نیاز است:

- بارگذاری داده‌ها
- دسته‌بندی داده‌ها
- نرمال‌سازی داده‌ها
- ساختار مدل سازی

۳-۲-۱ بارگذاری داده‌ها:

برای بارگذاری داده‌ها، چندین فایل به صورت اکسل^۲ از داده تهیه می‌شود. نرم‌افزار متلب این فایل‌ها را به صورت ماتریس شناسایی و فراخوانی می‌کند.

^۱ Twist Off

^۲ Excel

۳-۲-۲ دسته‌بندی داده‌ها:

طبق حالات مسئله داده‌ها باید به داده‌های گیر و عدم گیر تقسیم شوند، برای این کار از کارشناسان خبره در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز استفاده شده است. داده‌ها به دسته‌های گیر و عدم گیر طبقه‌بندی می‌شوند.

به عنوان روشی نوین در محاسبه مرز قطعه‌بندی تغییرات، از بعد فرکتال برای قطعه‌بندی استفاده می‌شود. بعد فرکتال پیچیدگی و جزئیات درونی تغییرات پارامترها را نشان می‌دهد. بنابراین اگر بعد فرکتال در طول تغییرات یک دسته از پارامترها تغییر کند، ماهیت پارامتر تغییر کرده و نقاط تغییر می‌تواند مرزی مناسب برای قطعه‌بندی باشد [۵۰].

برای دستیابی به این مهم، ابتدا باید داده‌ها نرمال‌سازی شوند تا به صورت همگن در بازه‌ای مشخص قرار بگیرند سپس باید پنجره‌هایی با طول بهینه برای بررسی تغییرات بعد فرکتال هر پارامتر انتخاب گردد. در این پژوهش طبقه‌بندی پنجره‌ها به روش آزمون و خطا انتخاب شده است که پس از اجراهای متعدد و به دلیل حجم بالای داده‌ها و مقادیر زیاد بعد فرکتال‌های به دست آمده و همچنین نوسانات غیرمحسوس در هنگام حفاری سالم به سه دسته قبل از وقوع گیر، به محض دریافت اولین نشانه‌های وقوع گیر و در لحظه وقوع گیر طبقه‌بندی و بعد فرکتال برای هر پنجره مشخص می‌شود. برای بالا رفتن دقت پردازش دو پنجره متوالی جهت محاسبه بعد فرکتال، بهتر است همپوشانی داشته باشند اما باید توجه کرد این مسئله باعث بالا رفتن بار محاسباتی می‌شود اما از طرفی انتخاب طول پنجره و میزان همپوشانی مناسب، دقت روش را بالا می‌برد [۵۶].

همچنین باید توجه داشت که عملیات حفاری به دلایل مختلف روزها و ماه‌ها به طول می‌انجامد و منقطع بوده، بنابراین نوسانات مربوط به توقف عملیات حفاری از داده‌ها حذف شده است.

۳-۲-۳-۳ نرمال سازی داده‌ها:

اختلاف در دامنه تغییرات و ابعاد پارامترهای مورد استفاده در مدل، باعث ایجاد مشکلاتی در فرآیند محاسبات خواهد شد. برای رفع این مشکل، باید از روش‌های نرمال‌سازی استفاده شود تا با استفاده از آن‌ها داده‌ها همگن شوند. به جهت انجام فرآیند نرمال‌سازی داده‌ها در این پژوهش از دو روش استفاده شد که روش دوم به دلیل دقت بیشتر و بهتر برای این کار انتخاب گردید.

در روش اول به جهت نرمال‌سازی داده‌ها رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفت.

$$X = 2 \times \left(\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) - 1 \quad (۱-۳)$$

در رابطه شماره (۱-۳)، X مقدار میانی هریک از پارامترهای ورودی و x_{max} و x_{min} کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر هر ستون از داده‌ها را مشخص می‌کند.

در روش دوم، که روش استفاده شده در این پژوهش می‌باشد با استفاده از اکسل، مقادیر میانگین و انحراف معیار برای هر دسته از داده‌ها محاسبه و سپس با استفاده از توابع موجود در اکسل به صورت تقسیم میانگی بر انحراف معیار داده‌ها نرمال‌سازی می‌شوند [۶۰].

۳-۲-۳-۴ ساختار مدل سازی:

برای تعیین ساختار کد از روش‌های متعددی آزمون گرفته شد که در نهایت رابطه (۴-۳) برای تعیین بعد در هندسه فرکتال انتخاب شد تا با توجه به مقادیر پارامترها و ورودی‌های رابطه بهینه‌ترین مقدار بعد هندسه فرکتال تعیین گردد [۵۶، ۵۷، ۵۸ و ۵۹].

$$D = 1 - \frac{\Delta \log N_r}{\Delta \log(r)} \quad (۲-۳)$$

$$-D = \frac{\Delta \log N}{\Delta \log(r)} \quad (۳-۳)$$

$$-D = \frac{\Delta \log \left[N + \frac{f}{r} \right]}{\Delta \log r} \quad (4-3)$$

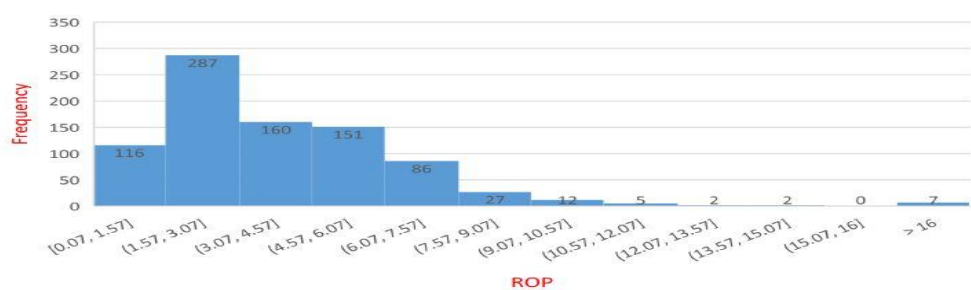
در روابط بالا، N تعداد گام‌ها و r اندازه جداکننده (اندازه گام)، Δ مقدار شیب و f مقدار باقیمانده می‌باشد.

جدول (۳-۳) مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل پارامترهای ورودی

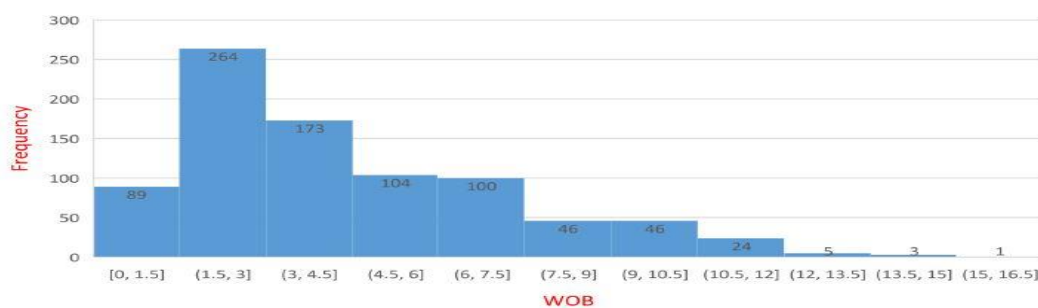
نام پارامتر	حداکثر	میانگین	حداقل
نرخ نفوذ حفاری (m/hr)	۵۷/۵۶	۴/۰۹۶	۰/۰۷
وزن روی مته (Klb)	۱۵/۹۶	۴/۴۳۸	۰
سرعت چرخش مته (RPM)	۴۷	۲۳/۸۱۲	۰
سرعت چرخش موتور درون چاهی (RPM)	۲۳۵/۴	۱۸۰/۳	۱۶/۱
فشار پمپ (Psi)	۲۸۰۸	۲۱۲۷/۴	۰
نرخ پمپ شدن سیال (gal/min)	۲۲۰	۱۴۷	۱۵
وزن گل (pcf)	۷۱/۷	۶۲/۸	۵۴/۳
وزن رشته حفاری (Klb)	۲۱۹/۱	۱۴۸/۹	۷۴/۶

۰	۷۳/۱	۱۸۰۹/۶	گشتاور (lb.ft)
۱۰/۱۵	۶۳/۲۵	۸۰/۳	زاویه انحراف مته (deg)
۳۰۰	۳۰۳/۸۷	۳۰۸	آزیموت مته (deg)
۰	۳/۴۶	۸	انحراف چاه از نقطه شروع (deg/30m)
۳۰	۵۳/۷۵	۱۱۰	گرانروی سیال (قیف مارش گل) (sec)
۳	۱۵/۵۱	۳۵	گرانروی پلاستیکی (cp)
۲	۷/۶۵	۱۶	نقطه واروی گل (lb/100ft ²)
۱	۵/۴۳	۱۴	استحکام ژلی اولیه (lb/100ft ²)
۲	۱۰/۴۶	۲۶	استحکام ژلی پس از ۱۰ دقیقه (lb/100ft ²)
۲	۶/۸۷	۱۲/۵	میزان نمک موجود در گل (gr/lit)

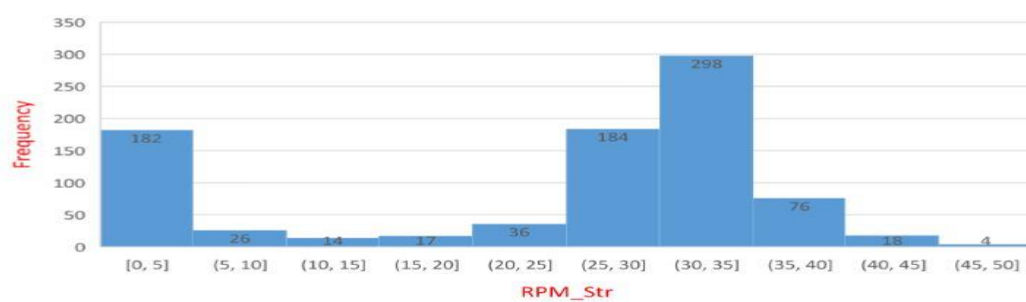
در ادامه جهت نمایش فراوانی داده‌های مرتبط با هر پارامتر، به جهت دسته‌بندی هرچه بهتر مقادیر هر یک از داده‌ها به هنگام ورود در مدل‌سازی انجام شده و همچنین توزیع متغیرهای کمی (عمق) را براساس متغیرهای کیفی (مقدار برداشت شده از داده‌های مربوطه) به جهت توزیع مناسب داده‌های نمودار هیستوگرام (مستطیلی) هریک از پارامترهای ورودی رسم گردید.



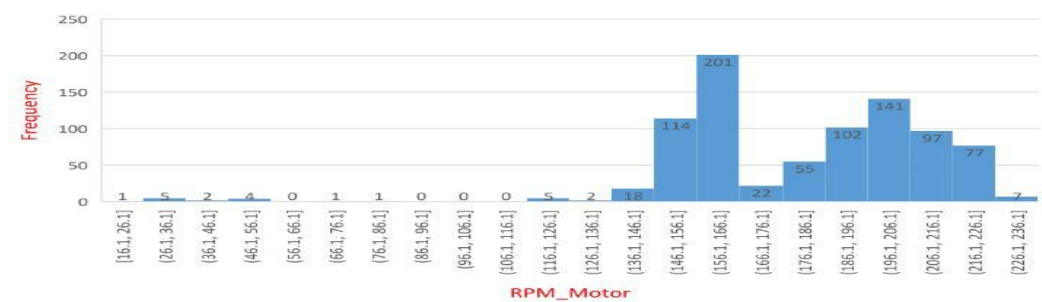
شکل (۱-۳) هیستوگرام نرخ نفوذ حفاری (متر بر ساعت)



شکل (۲-۳) هیستوگرام وزن روی مته (Klb)



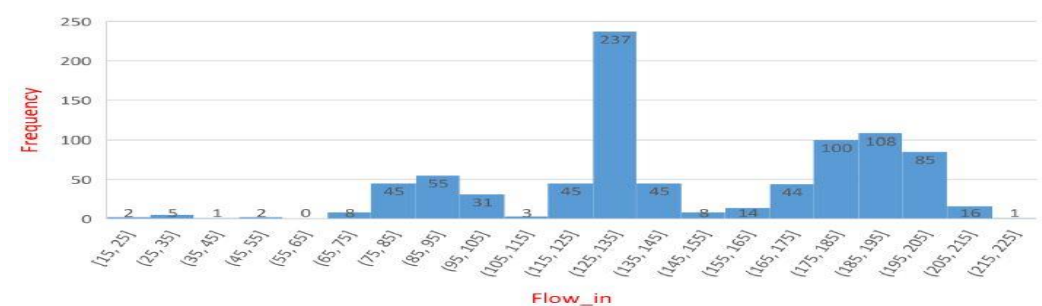
شکل (۳-۳) هیستوگرام سرعت چرخش مته (RPM)



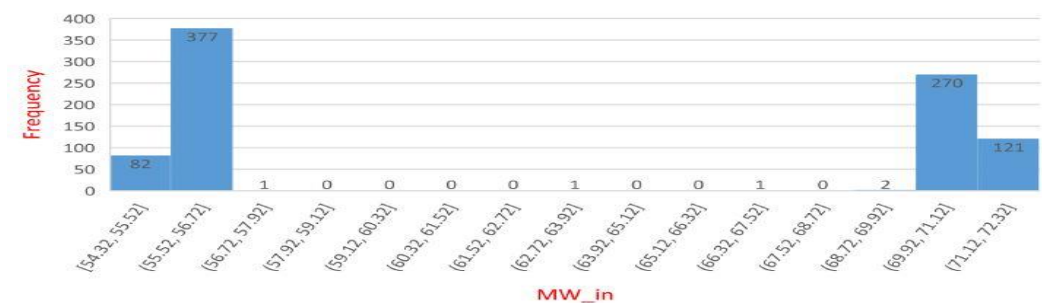
شکل (۳-۴) هیستوگرام سرعت چرخش موتور درون چاهی (RPM)



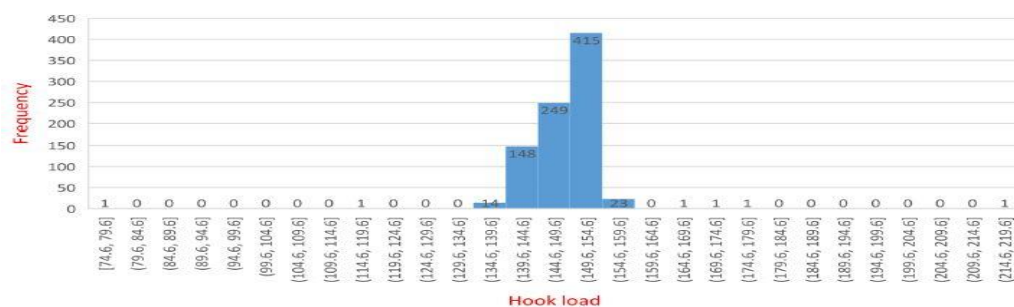
شکل (۳-۵) هیستوگرام فشار پمپ (PSI)



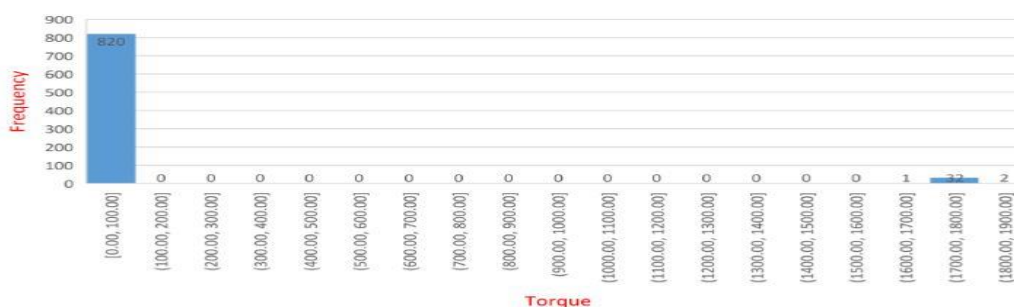
شکل (۳-۶) هیستوگرام نرخ پمپ شدن سیال (gal/min)



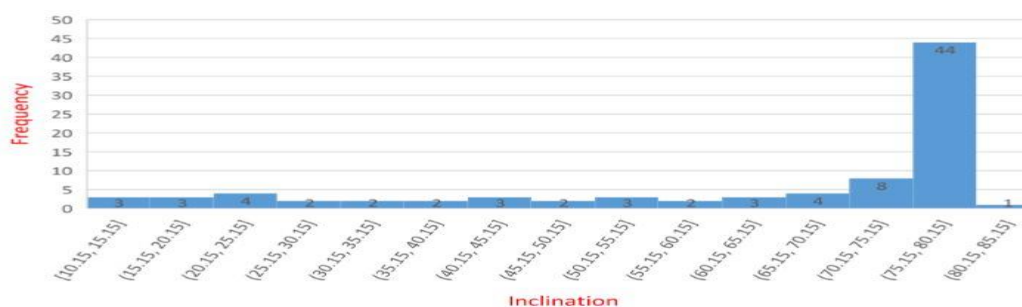
شکل (۳-۷) هیستوگرام وزن گل (PCF)



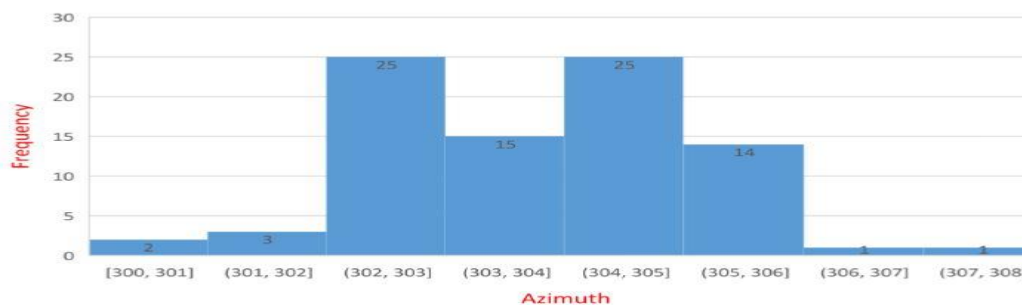
شکل (۸-۳) هیستوگرام وزن رشته حفاری (Klb)



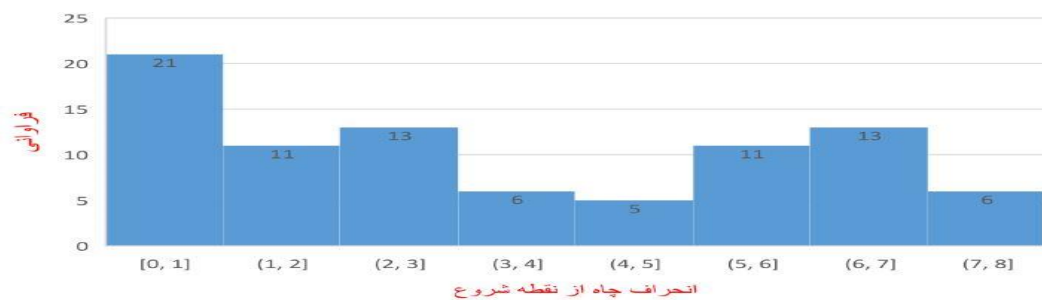
شکل (۹-۳) هیستوگرام گشتاور حفاری (lb.ft)



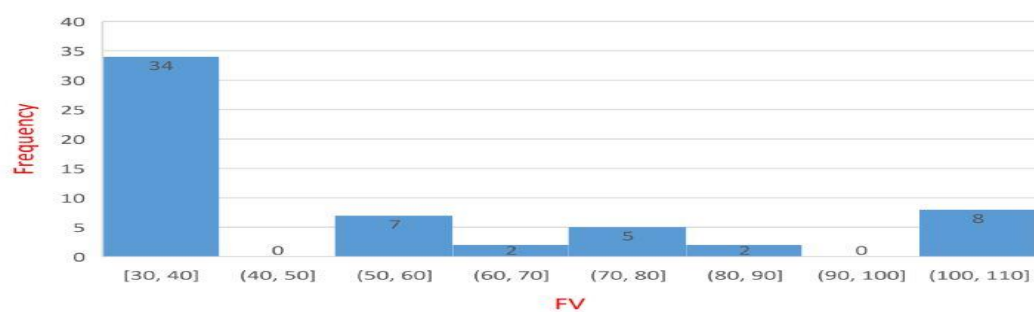
شکل (۱۰-۳) هیستوگرام زاویه انحراف مته (Deg)



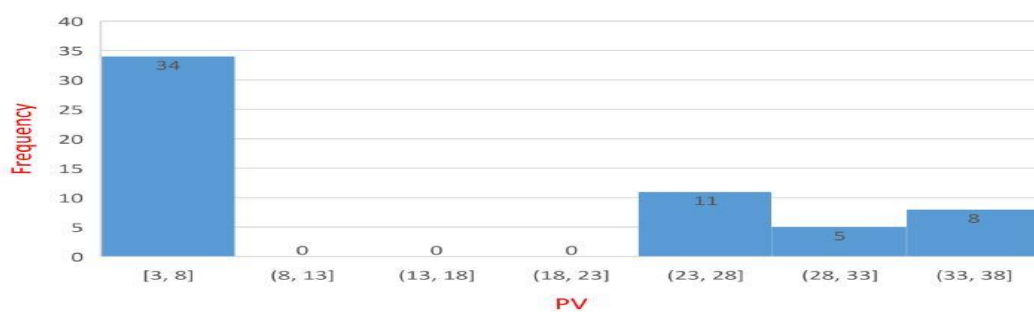
شکل (۱۱-۳) هیستوگرام آزیموت مته (Deg)



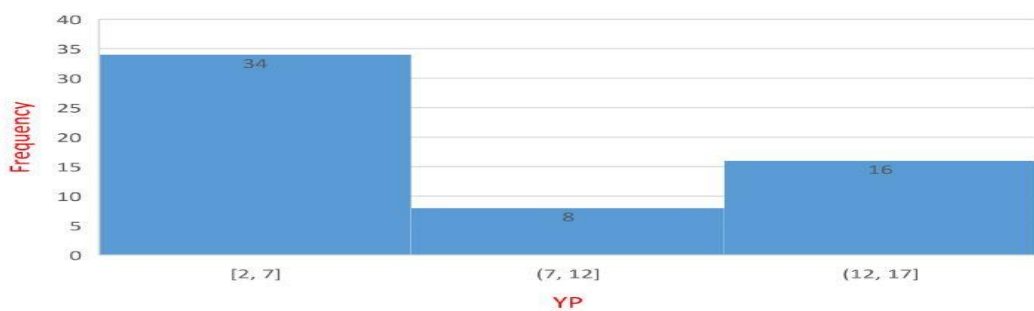
شکل (۱۲-۳) هیستوگرام انحراف چاه از نقطه شروع (Deg/30m)



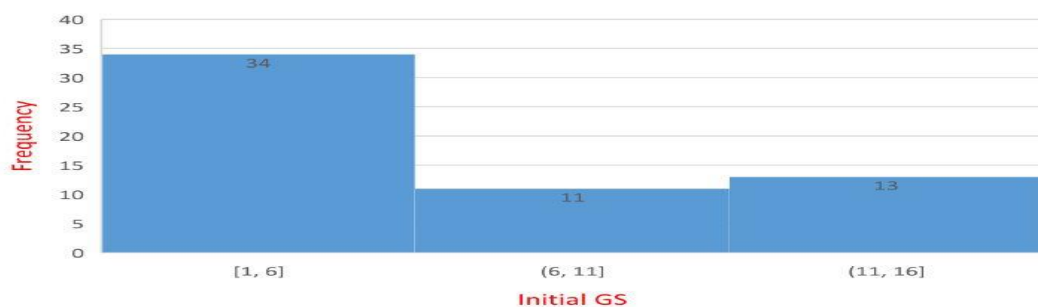
شکل (۱۳-۳) هیستوگرام ویسکوزیته گل (Sec)



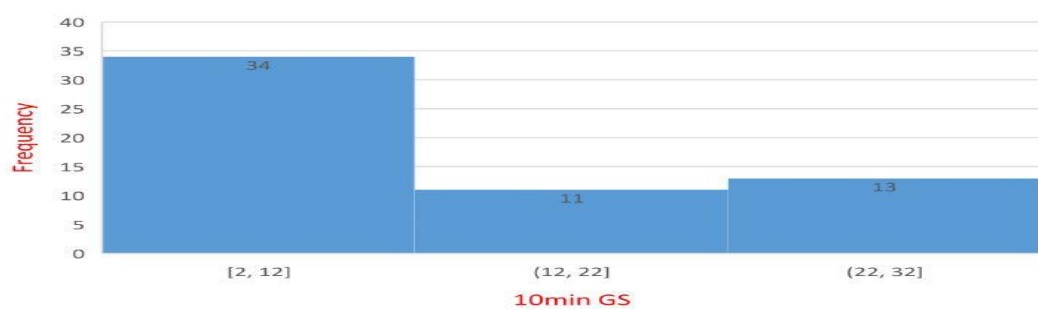
شکل (۱۴-۳) هیستوگرام ویسکوزیته پلاستیک (Cp)



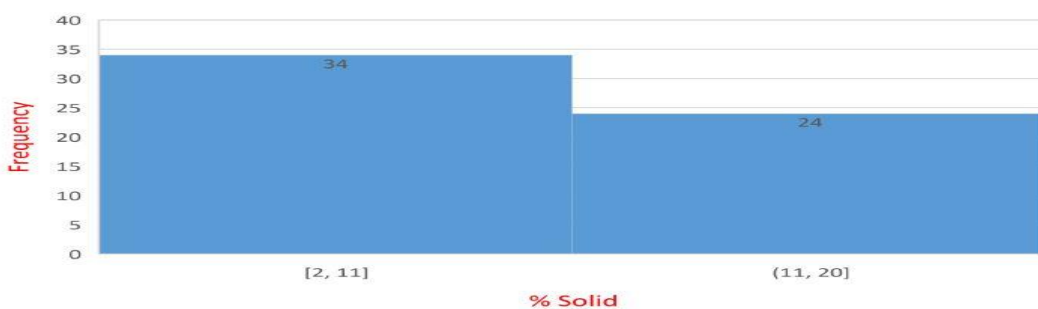
شکل (۱۵-۳) هیستوگرام نقطه واروی (lb/100ft²)



شکل (۱۶-۳) هیستوگرام استحکام ژلی اولیه (lb/100ft2)



شکل (۱۷-۳) هیستوگرام استحکام ژلی پس از ۱۰ دقیقه (lb/100ft2)

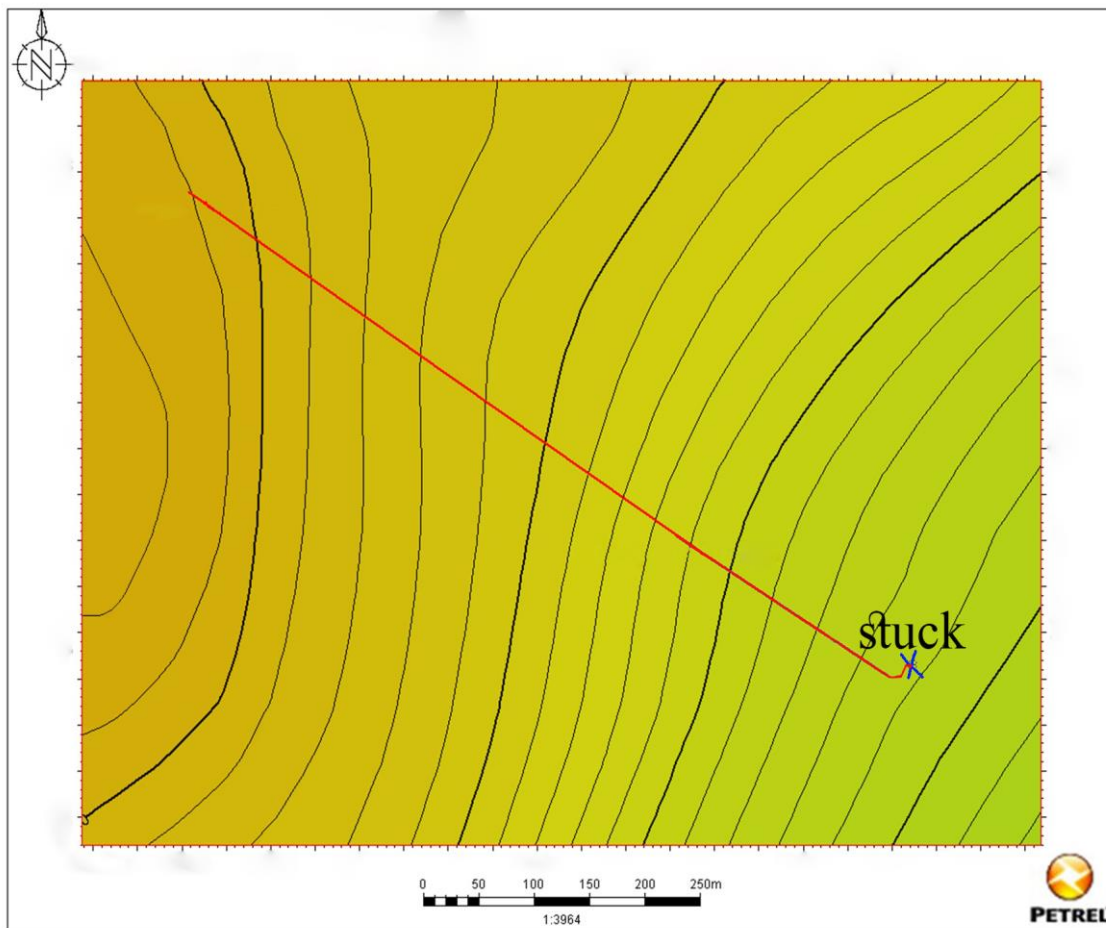


شکل (۱۸-۳) هیستوگرام درصد نمک موجود در گل (gr/lit)

در نرم افزار پترل^۱ به جهت طراحی مختصات چاه مورد نظر، مسیر حفاری و نقطه گیر رشته با توجه به مختصات جغرافیایی و مسیر چاه از پارامترهای زاویه انحراف مته و آزمون در بخش های مختلف تحت

¹ Petrel

حفاری استفاده شده است. توجه به این نکته ضروری است که به دلیل محرمانه بودن داده‌های میدان و چاه مورد نظر مختصات جغرافیایی از روی نمودار حذف گردید.

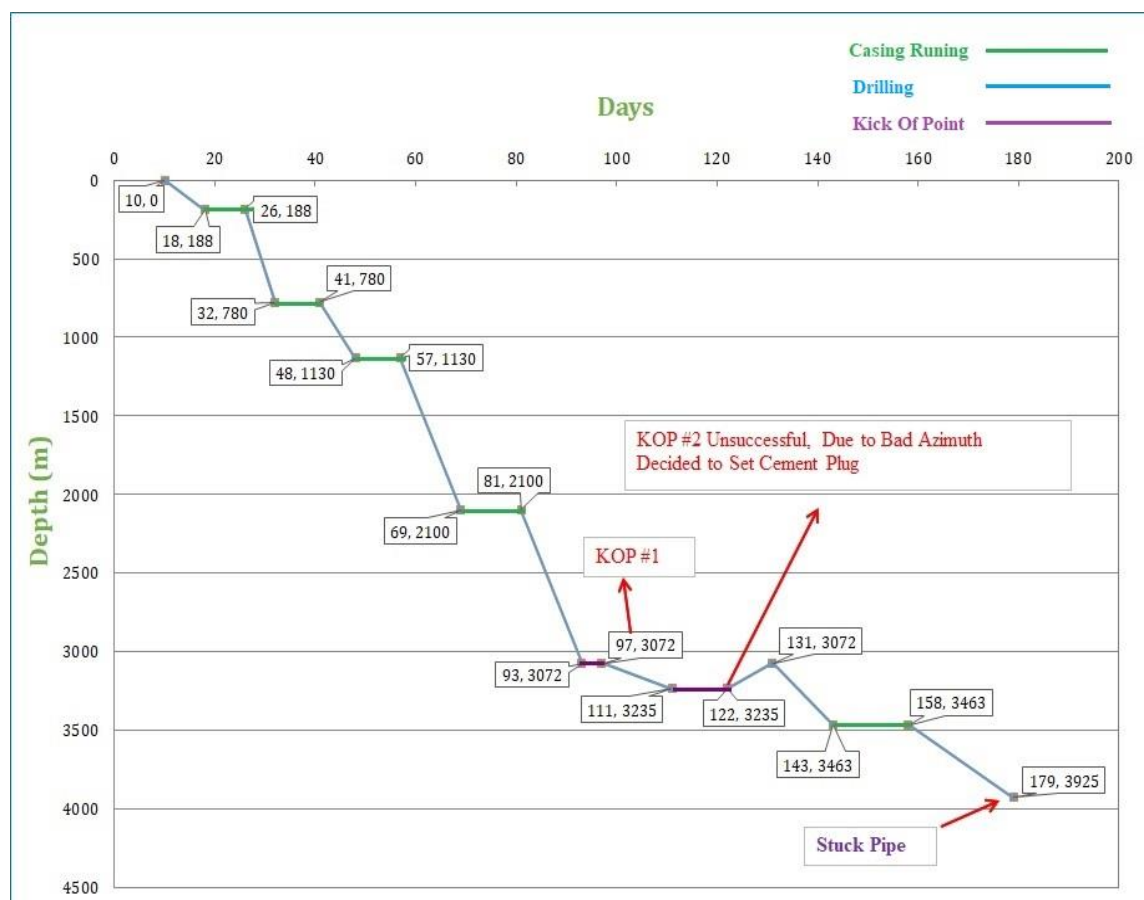


شکل (۳-۱۹) طراحی مسیر چاه و نقطه گیر با توجه به مختصات جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار پترل

در شکل (۳-۲۰) طراحی مسیر چاه و نقاط مختلف آن با توجه به عمق هر یک از بخش‌ها نمایش داده شده است. چاه مورد نظر دارای ۲ نقطه زاویه سازی در عمق‌های ۳۰۷۲ و ۳۲۳۴ در طول چاه تا رسیدن به مخزن می‌باشد که در زاویه‌سازی دوم در عمق ۳۲۳۴ متری به دلیل مقدار آزیموت نامناسب چاه

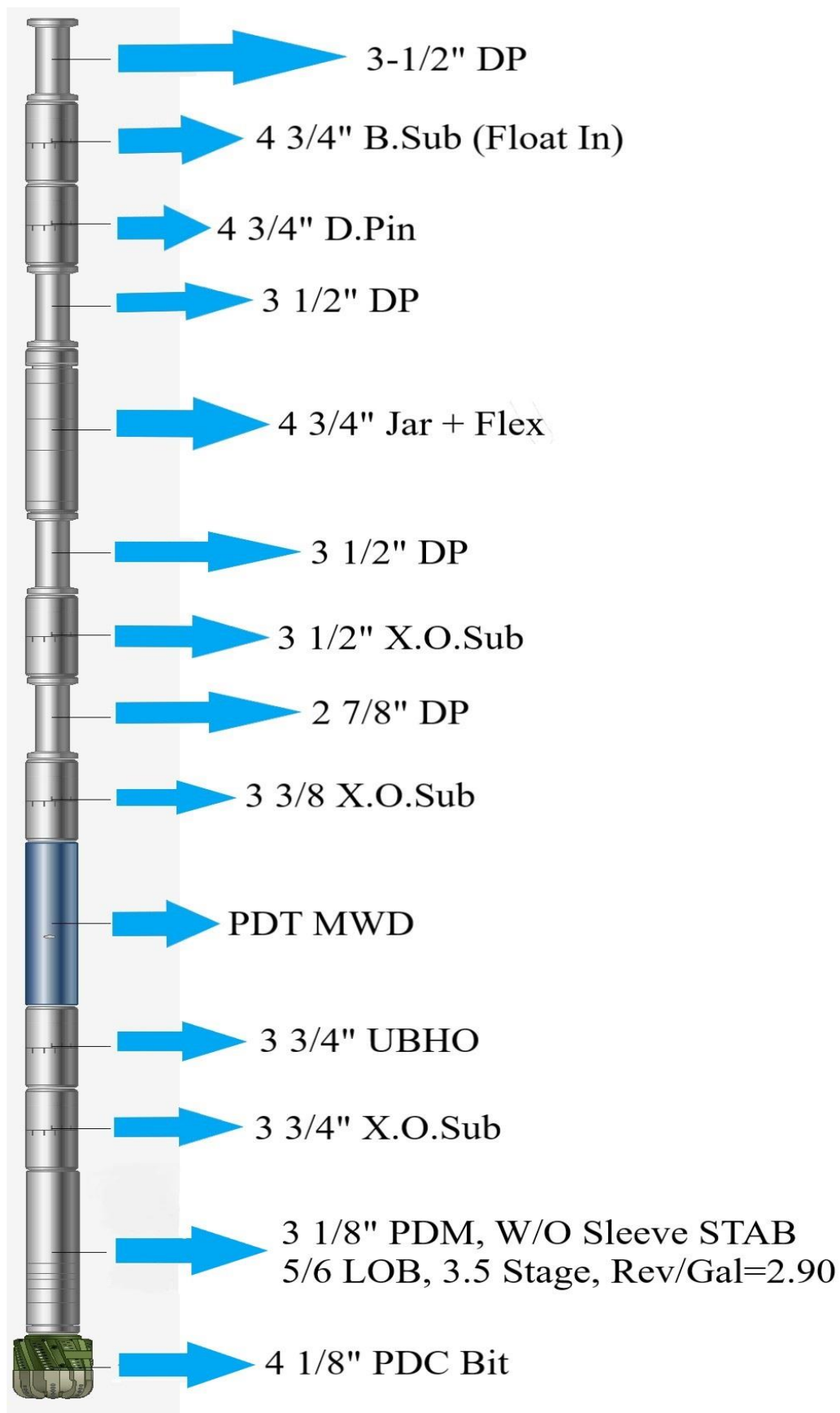
عملیات سیمان و مسدود کردن مسیر چاه انجام و بازگشت به نقطه زاویه سازی اول در عمق ۳۰۷۲ متری و ایجاد آزمون بهینه‌تر تا رسیدن به مخزن انجام شده است.

نرم افزار Drilling Office یکی از نرافزار های قدرتمند شرکت شلمبرژر در زمینه حفاری می باشد. این نرم افزار برای برنامه ریزی و طراحی چاه های نفت و گاز مورد استفاده قرار گرفته و به صورت سیستم یکپارچه، ابزار مورد نیاز را در دسترس مهندسان حفاری قرار می دهد تا در حداقل زمان و با کمترین هزینه و خطا، محاسبات مربوط به عملیات حفاری را انجام دهند. محاسبات مربوط به عملیات حفاری شامل طراحی مسیر چاه، محاسبات نزدیکی و تداخل دو چاه در یک منطقه، طراحی مجموعه ته چاهی، محاسبات هیدرولیک، محاسبات مربوط به حفاری انحرافی، محاسبات گشتاور، کشش و نمایش ۳ بعدی مسیر چاه طراحی شده، تنها بخشی از کارایی های این نرم افزار قدرتمند است.



شکل (۲۰-۳) طراحی مسیر چاه حفاری شده

به جهت آگاهی از مجموعه ته‌چاهی و وجود بخش‌های مختلف به کار رفته در آن با استفاده از نرم‌افزار Drilling Office رشته حفاری طراحی و در شکل شماره (۳-۲۱) آورده شده است.



شکل (۲۱-۳) طراحی مجموعه ته چاهی رشته حفاری نرم افزار Drilling Office

۳-۴ نتایج و ارزیابی روش شناسایی گیر رشته حفاری مبتنی بر هندسه

فرکتال

روش پیشنهادی، برای پیش‌بینی و تشخیص نقاط پر خطر و دارای پتانسیل ایجاد گیر رشته حفاری، به این صورت است که، در هر قسمت از عملیات حفاری و هر لایه از زمین، رفتار داده‌های یاد شده از نظر ساختاری یکسان است، پس با در نظر گرفتن تغییر رفتار پارامترهای ثبت شده در حین حفاری می‌توان به این نتیجه رسید که تغییر در میزان بعد فرکتال همان تغییر در پارامترها و لایه‌های زمین است. پنجره‌های تعیین شده به جهت تعیین مقدار بعد فرکتال شامل سه بخش که بخش اول (قبل از وقوع گیر) از عمق ۳۰۷۰ تا ۳۸۱۰ متری، پنجره دوم (اولین نشانه‌های وقوع گیر) از عمق ۳۸۱۰ تا ۳۹۲۵ متری و پنجره سوم (لحظه وقوع گیر) در عمق ۳۹۲۵ متری تعیین شد.

جدول (۳-۴) نتایج حاصل از مدل‌سازی پژوهش (بعد فرکتال مربوط به هر پارامتر)

نام پارامتر	قبل از وقوع گیر	اولین نشانه وقوع گیر	لحظه وقوع گیر
نرخ نفوذ حفاری (ROP)	۱/۱۰۵۱	۱/۶۷۴۵	۱/۸۶۹۲
وزن روی مته (WOB)	۱/۰۸۷۴	۱/۳۵۵۸	۱/۶۷۴۵
سرعت چرخش مته (RPM_Str)	۱/۰۸۷۴	۱/۲۱۲۵	۱/۶۲۴۸
سرعت چرخش موتور درون چاهی (RPM_Motor)	۱/۵۵۴۳	۱/۵۷۷۳	۱/۵۸۶۶
فشار پمپ (SPP)	۱/۶۲۹۸	۱/۶۳۹۵	۱/۶۴۹۴

نرخ پمپ شدن سیال (Flow_In)	۱/۵۳۱۷	۱/۵۳۶۱	۱/۵۴۷۴
وزن گل (Mw)	۱/۵۰۹۵	۱/۵۱۸۳	۱/۵۲۹۴
وزن رشته حفاری (Hookload)	۱/۰۵۰۳	۱/۰۵۲۴	۱/۷۲۶۵
گشتاور رشته حفاری (Torque)	۱/۰۵۰۳	۱/۱۷۶۳	۱/۷۰۰۲

توضیح و تفسیر نتایج در سه بخش تنظیم شده است، بخش اول که شامل تفسیر هر یک از پارامترهای موجود در جدول (۲-۳)، بخش دوم شامل نمودارگیری‌های انجام شده در لحظه گیر، و بخش سوم نیز شامل توضیح و تفسیر مدل‌سازی انجام شده با نتایج حاصل از آن می‌باشد.

۳-۴-۱ بخش اول (تفسیر پارامترها و نتایج):

- رشته حفاری باید ثابت باشد تا گیر اختلاف فشاری رخ دهد.
- در زمان اتصال قسمت‌های مختلف رشته حفاری که در حالت سکون است، اگر رشته به دیواره چسبیده شود در نتیجه گیر اختلاف فشاری رخ می‌دهد.
- در حفاری انحرافی هنگامی که رشته حفاری چرخش ندارد و چرخش فقط در قسمت پایین رشته (موتور درون چاهی) اعمال می‌شود و همچنین به دلیل مقدار کم نرخ نفوذ مته، احتمال ایجاد گیر اختلاف فشاری بالا می‌رود.
- برای پیش‌بینی و تشخیص گیر اختلاف فشاری می‌توان، با توجه به سوابق حفاری چاه‌های مجاور، در نقاطی که مقدار نرخ نفوذ مته افزایش پیدا کرده، نشان دهنده تغییر لایه‌های زمین،

مقاومت پایین سازند و یا تخلخل بیشتر آن است، در این مواقع نیز امکان ایجاد گیر اختلاف فشاری بسیار بالا است.

- در پارامترهای مربوط به گل حفاری، سریعاً به محض دریافت اولین تغییرات در پارامترهای گل باید بررسی شود کدام عوامل روی کیفیت گل تاثیرگذار خواهد بود.
- گیر اختلاف فشاری ناشی از تمیزسازی مناسب چاه نیست بلکه ناشی از عدم کیفیت مناسب کیک گل در دیواره چاه می‌باشد.
- اگر جریانی از طریق سازند به چاه وارد شود، در صورت وجود گل بنتونیتی درصد نمک بالا می‌رود، باید سریعاً تست‌های گل انجام شده بررسی شود تا مقدار درصد استاندارد پارامترهای مختلف نسبت به هرزروی جریان از چاه به سازند و ضخامت کیک گل مشخص و یا به بیانی دیگر، باید بررسی شود در زمان وقوع گیر رشته حفاری و یا در روزهای قبل در مراحل مختلف عملیات اگر گیر رخ داده است، وضعیت پارامترهای گل که در تشکیل کیک گل موثر بوده چه مقداری داشته‌اند.
- به هنگام ثابت بودن رشته حفاری احتمال گیر لوله‌ها وجود دارد اما زمانی که مقدار نرخ نفوذ متعادل باشد احتمال گیر لوله‌ها بسیار زیاد است. به بیانی دیگر اگر گیر لوله اتفاق بیفتد قابلیت حرکت و چرخش از رشته حفاری گرفته شده و مقدار نرخ نفوذ متعادل به صفر می‌رسد.
- به هنگام اعمال وزن زیاد بر روی رشته حفاری به علت افزایش سطح تماس دیواره چاه با رشته حفاری احتمال وقوع گیر بیشتر می‌شود.
- به طور معمول برای پارامتر گشتاور حد بالایی در عملیات حفاری تعریف می‌شود سپس با اعمال نیرو، رشته به حرکت و چرخش در می‌آید، به هنگام رسیدن گشتاور به حد تعریف شده سرعت چرخش رشته کم و مقدار گشتاور نیز پایین می‌آید، این عمل موجب حفاری چاه می‌شود اما اگر حد بالای گشتاور با مقدار چرخش کم رشته آغاز شود، باعث توقف رشته حفاری و اصطلاحاً گیر می‌گردد. در هنگام گیر رشته حفاری مقدار سرعت چرخش متعادل کم و زیاد و

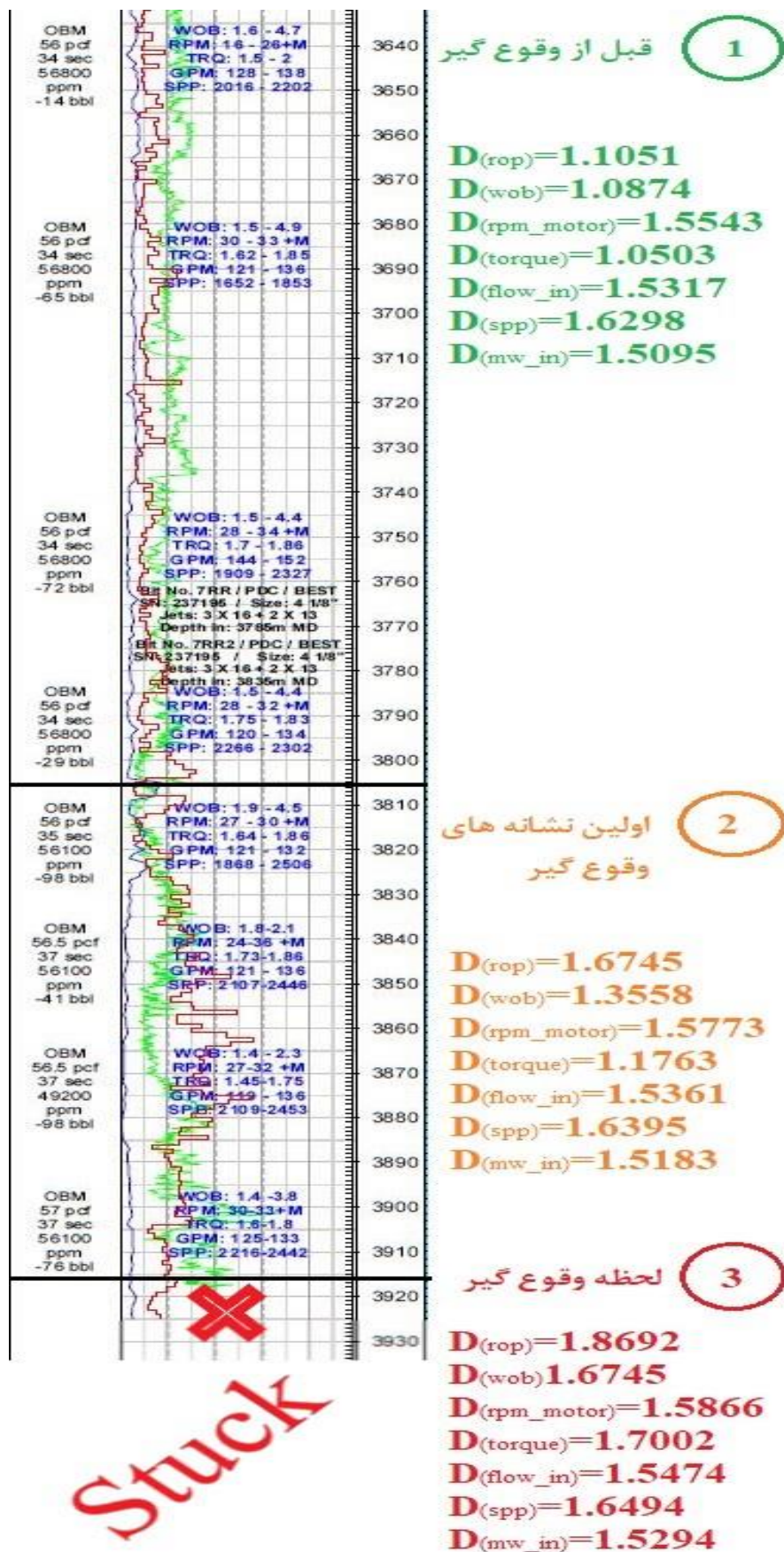
نمودار آن به شکل سینوسی در می‌آید (تمامی نکات یاد شده در تحلیل مقدار گشتاور نیز موثر و تعریف می‌شود).

- مقدار سرعت چرخش موتور درون چاهی به دبی سیالی خروجی از آن مربوط است (رابطه خطی برقرار است). این مقدار توسط مشخصات موتور درون چاهی داده می‌شود و شرکت سازنده مقدار استاندارد آن را تعریف می‌کند. در گیر اختلاف فشاری تغییرات زیادی در مقدار سرعت چرخش موتور درون چاهی وجود ندارد زیرا لوله ها گیر و موتور و مته در حالت آزاد هستند.
- اگر مقدار فشار پمپ در حین حفاری زیاد شود می‌تواند نشانه‌ای از وقوع گیر باشد، زیرا افزایش فشار پمپ نشان دهنده افزایش خرده های حفاری در فضای دالیزی می‌باشد.
- هرچه میزان دبی جریان ورودی به چاه افزایش پیدا کند، افت فشار دالیز نیز افزایش پیدا کرده و احتمال وقوع گیر رشته حفاری زیاد می‌شود (معادل مفهوم ECD).
- افزایش وزن گل احتمال وقوع گیر اختلاف فشاری را افزایش می‌دهد.
- با افزایش وزن رشته حفاری سطح تماس رشته با دیواره چاه افزایش پیدا کرده و عدم حرکت و چرخش رشته حفاری احتمال وقوع گیر را افزایش می‌دهد.

۳-۴-۲ بخش دوم (نمودارگیری در لحظه گیر رشته حفاری):

MUD DATA	0 ROP (min/m) 100
TYPE	
MW (pcf)	0 GR (GAPI) 100
Vis (Sec.)	
Salinity (ppm)	0 WOB (Klbs) 60
LOSS (bbls)	
GAIN (bbls)	

شکل (۳-۲۲) نمودارگیری پارامترهای سیال و حفاری



ادامه شکل (۳-۲۲) نمودارگیری پارامترهای سیال و حفاری

از عمق ۳۸۱۰ متری در نمودارگیری انجام شده و عمق پیش‌بینی شده به جهت تغییر رفتار در بعد فرکتال توسط مدل‌سازی انجام شده اولین نشانه‌های ایجاد گیر رشته حفاری دیده می‌شود، که در همین عمق مقدار بعد فرکتال نیز تغییر می‌کند، در این عمق مقدار نرخ نفوذ مته به شدت کاهش و همچنین مقدار وزن روی مته در حال افزایش است که این موارد نشانه‌های ایجاد گیر هستند، از عمق ۳۸۱۰ متری تا عمق ۳۸۷۲ متری مقدار نرخ نفوذ مته در حال افزایش است و در عمق ۳۸۷۵ متری به بیش‌ترین مقدار موجود خود می‌رسد و مجدداً تا عمق ۳۹۲۵ که نقطه گیر رشته می‌باشد کاهش یافته و گیر رشته اتفاق می‌افتد، در حفاری انحرافی از آن جایی که رشته حفاری چرخش ندارد و چرخش فقط در قسمت پایین رشته حفاری توسط موتور درون چاهی ایجاد می‌گردد مقدار نرخ نفوذ با سرعت چرخش موتور درون چاهی رابطه خطی و مستقیم دارد و به هنگام ایجاد گیر رشته حفاری سرعت چرخش مته کم و زیاد و به شکل سینوسی در می‌آید و در نهایت گیر رشته حفاری اتفاق می‌افتد. مقدار هرزروی گل از طریق چاه به سازند از عمق ۳۸۱۰ متری تا لحظه وقوع گیر (۳۹۲۵ متر) مقدار بسیار زیادی (۷۶ بشکه) و در حدود دو برابر مقدار گل ورودی به چاه از طریق تانک‌های گل می‌باشد، این مورد نشان دهنده اندود گل ناموثر در چاه می‌باشد که باعث آسیب بسیار زیاد به سازند و لایه‌های مخزنی می‌شود افزایش مقدار هرزروی گل نشان دهنده عدم وجود کیک گل موثر تشکیل شده بر روی دیواره چاه است که این مورد باعث ایجاد گیر رشته حفاری می‌گردد.

با توجه به مقادیر به دست آمده از طریق نمودارگیری (شکل ۳-۲۲) و مقادیر به دست آمده حاصل از مدل‌سازی انجام شده می‌توان به ۲ نکته پی برد:

- مقادیر حاصل از مدل‌سازی انجام شده در این پژوهش برای محاسبه بعد فرکتال در نقاط مختلف تعریف شده (قبل از وقوع گیر، به محض دریافت اولین نشانه‌های وقوع گیر، در لحظه وقوع گیر رشته) با توجه به کاهش و یا افزایش مقدار واقعی پارامترها که حاصل از نمودارگیری

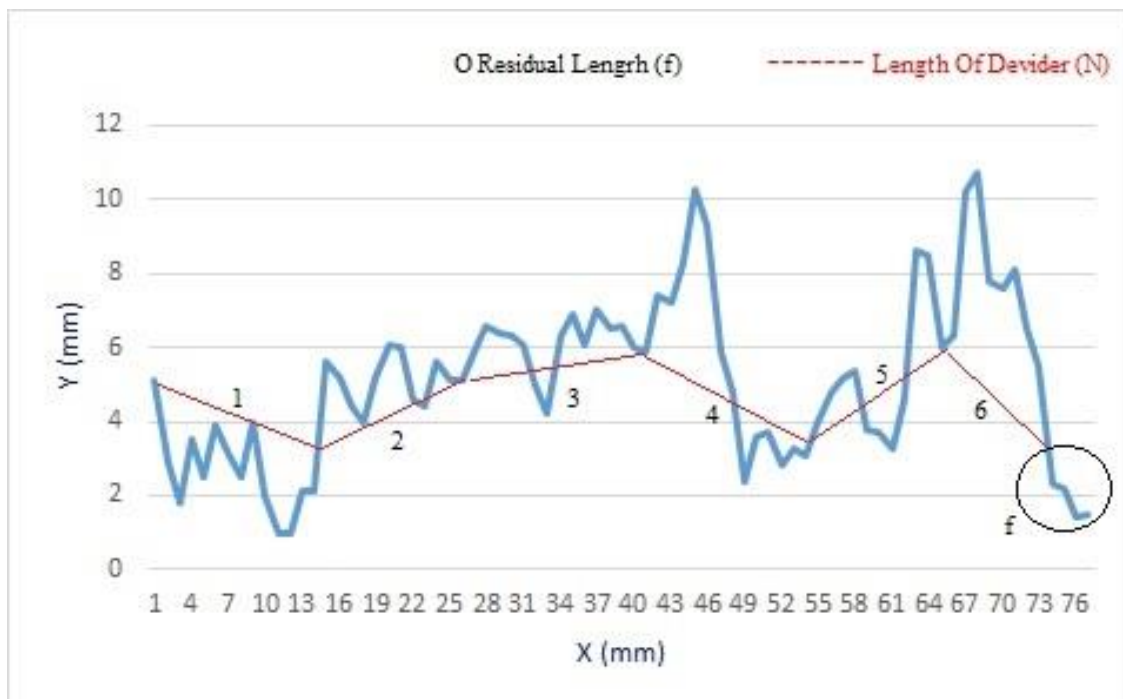
در حین عملیات حفاری هستند، به صورت کامل با مقادیر به دست آمده از مدل سازی تطبیق کامل دارد و قابل اطمینان هستند.

- همه پارامترها در حالت حفاری سالم (بدون گیر) دارای کمترین مقدار بعد فرکتال هستند، با انجام عملیات حفاری و نزدیک شدن به نقطه گیر رشته، مقدار بعد فرکتال نیز که حاصل از مقادیر واقعی هریک از پارامترها می باشد دارای روندی افزایشی است، در نتیجه در حین حفاری افزایش مقدار بعد فرکتال هر پارامتر از حالت استاندارد (بدون گیر) خود می تواند نشانه و یا پتانسیل بخش مورد حفاری در ایجاد گیر رشته حفاری باشد، به همین منظور توجه به مقدار بعد فرکتال و هشدار در مورد افزایش آن به کارکنان دکل به جهت تغییر در مقدار پارامترها تحت کنترل برای جلوگیری از ایجاد گیر رشته حفاری اجتناب ناپذیر می باشد.

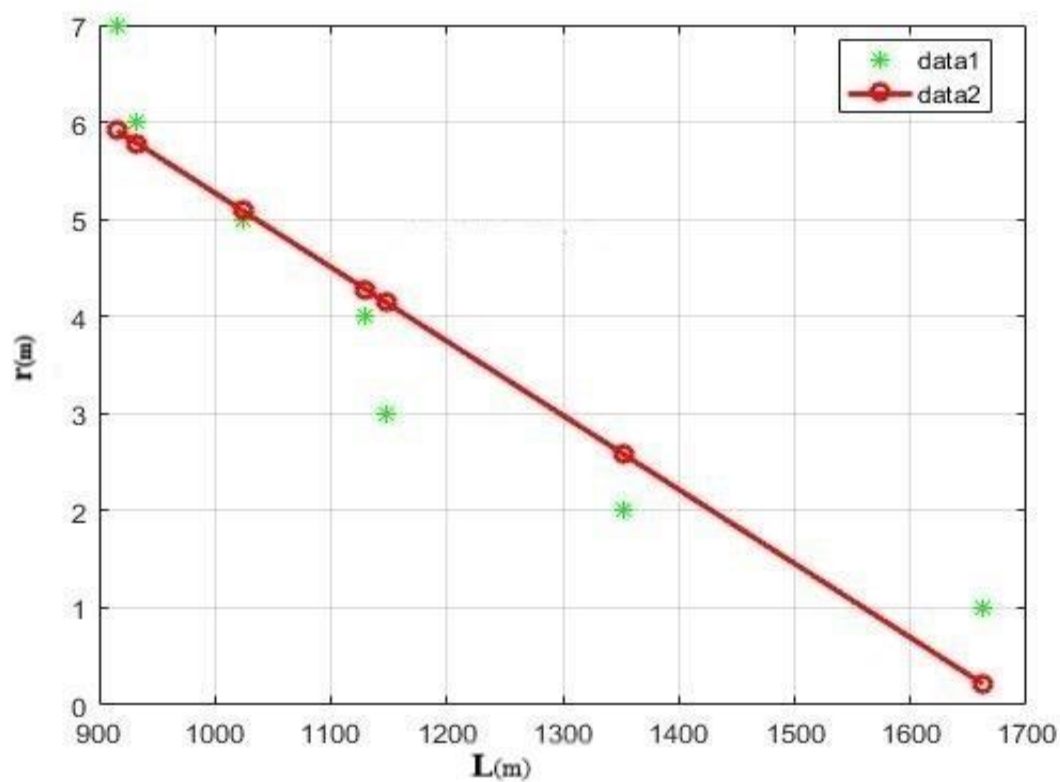
۳-۴-۳ بخش سوم (تفسیر نمودارها):

برای محاسبه بعد فرکتال مربوط به هر پارامتر اولین قدم بررسی میزان تغییر پذیری هر یک از آنها می باشد. برای این کار ابتدا باید داده های دسته بندی شده که هر یک دارای مقادیر متفاوتی در عمق های متفاوت هستند مانند شکل (۳-۲۱) با استفاده از یک جداکننده^۱ (خط کش) که آن را با r نشان می دهند، بررسی می شود. هرچه اندازه جداکننده کوچکتر باشد طول به دست آمده بزرگتر خواهد بود یا به عبارتی دیگر با کوچکتر شدن اندازه جداکننده نمودار پوشش کامل می یابد و دقت در بررسی نوسانات نمودار بالاتر می رود، طبیعی است که بیشترین مقدار طول زمانی در دسترس خواهد بود که اندازه جداکننده به شکل دیفرانسیلی باشد. به ازای هر بار محاسبه با اندازه های متفاوت جداکننده یک طول به دست می آید که در نمودار شماره (۳-۲۲) نمایش داده شده است، با هربار اندازه گیری ممکن است بخشی از نمودار باقی بماند که مقدار آن از مقدار جداکننده کوچکتر باشد که آن را با F نشان می دهند ($F < r$).

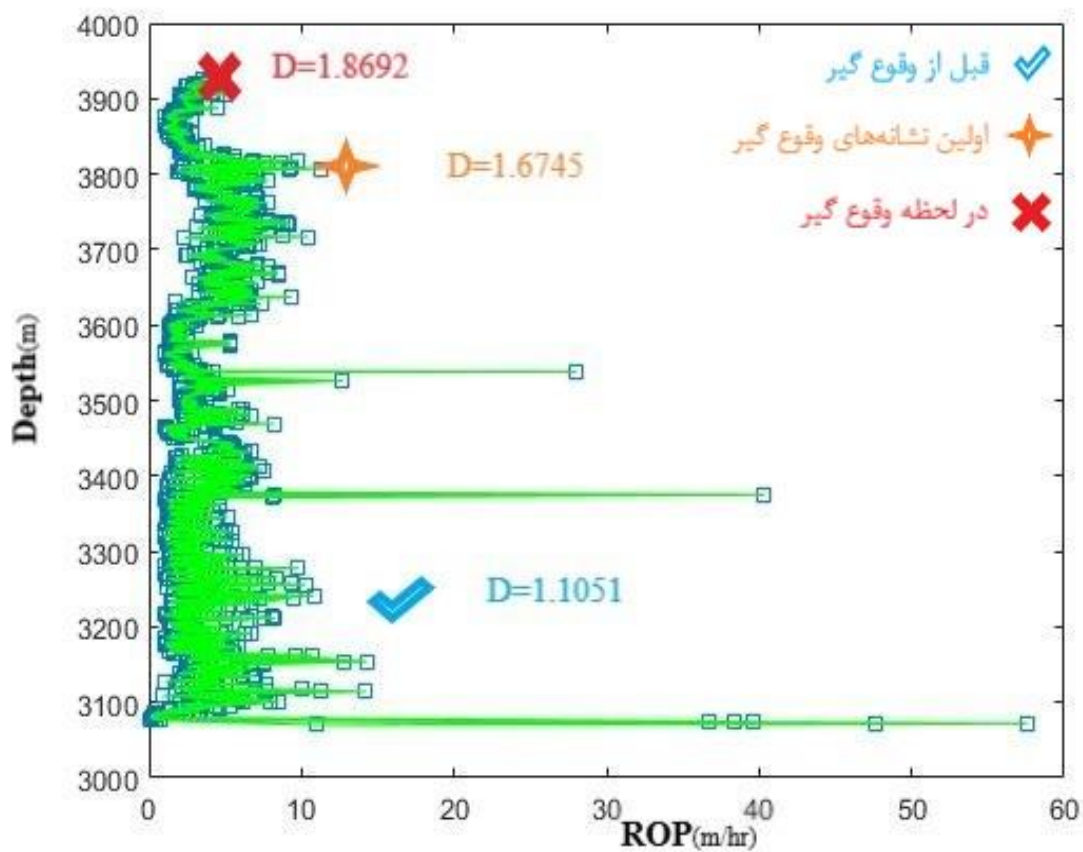
¹ Devider



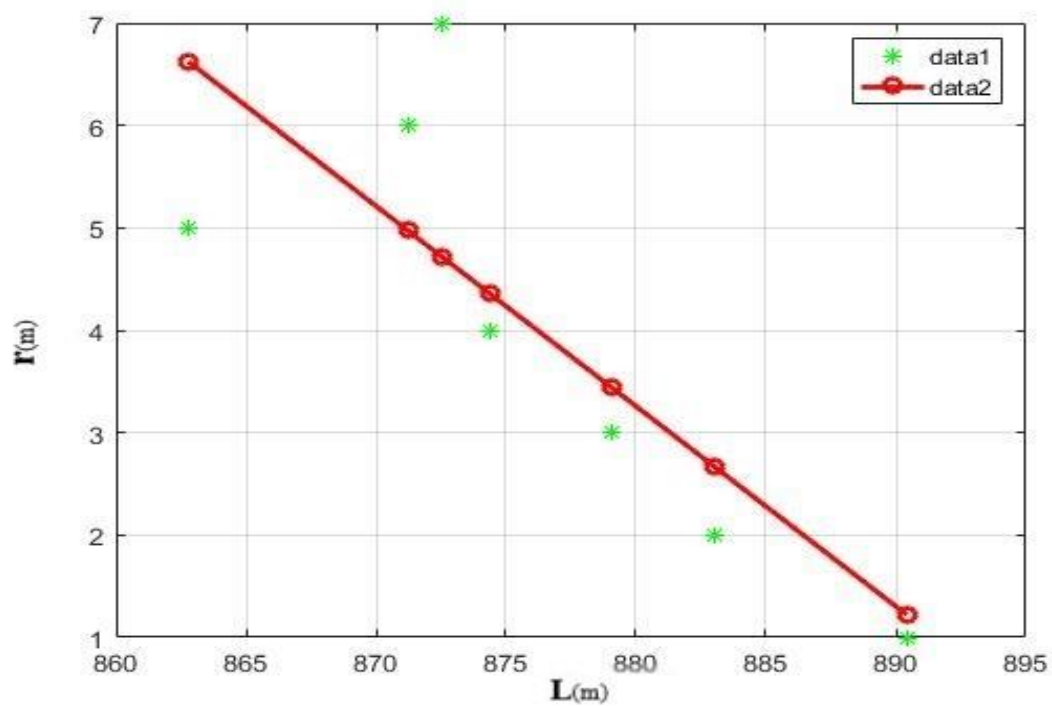
شکل (۳-۲۳) بررسی مشخصات پارامترها با استفاده از رابطه (۳-۴)



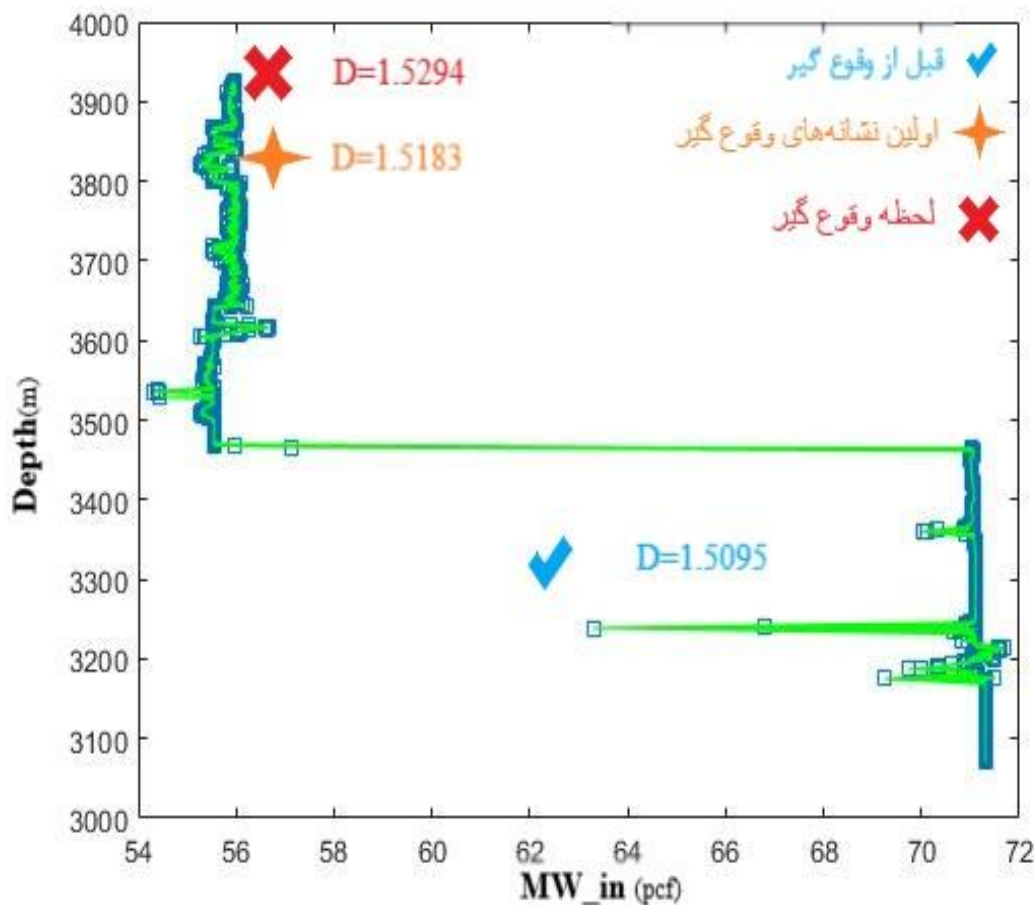
شکل (۳-۲۴) محاسبه بعد فرکتال نرخ نفوذ مته با استفاده از رابطه (۳-۴)



شکل (۳-۲۵) مقادیر نرخ نفوذ مته و بعد فرکتال برای نقاط مختلف



شکل (۳-۲۶) محاسبه بعد فرکتال وزن گل با استفاده از رابطه (۳-۴)



شکل (۲۷-۳) مقادیر وزن گل و بعد فرکتال برای نقاط مختلف

مقدار بعد فرکتال برای پارامترهای مهم در ایجاد گیر رشته حفاری به طریق بالا محاسبه و در جدول شماره (۲-۳) جمع‌آوری شده‌اند، نمودارهای بالا برای پارامتر نرخ نفوذ مته و وزن گل ورودی به چاه به جهت نمایش و روش کار آورده شد، باقی پارامترها نیز به همین صورت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بیان گردید. مزیت این روش نسبت به روش‌های قبلی دقت و سرعت بالای این روش است که به صورت دقیق تغییر در مقدار بعد فرکتال را می‌تواند به صورت برخط و در حین عملیات حفاری توسط سیستم هوشمند دکل اندازه‌گیری و بر روی کنسول حفار نمایش داده شود تا هر زمان با تغییر در بعد فرکتال هر پارامتر نقاط حساس و دارای پتانسیل گیر رشته حفاری با دقت بسیار بالا شناسایی و با هشدار به حفار و کارکنان دکل از وقوع گیر رشته حفاری جلوگیری گردد. با پیشرفت علم در مهندسی حفاری

نیاز به سیستم‌های هوشمند بیشتر از گذشته در عملیات حفاری با توجه به هزینه‌های سنگین در هنگام مواجهه با مشکلات حفاری احساس می‌شود. روش معرفی شده می‌تواند به سادگی از بروز جدی‌ترین و هزینه‌برترین مشکل در هنگام عملیات حفاری جلوگیری کند تا قبل از بروز مشکل کارکنان دکل حفاری از وقوع آن باخبر و از بروز حادثه به سرعت و دقت هرچه تمام‌تر جلوگیری کنند.

مدل‌سازی انجام شده برای تشخیص انواع گیرهای رشته حفاری اعم از اختلاف فشاری، مکانیکی و گیرهای ناشی از پروفایل چاه است، به طور کلی با معرفی پارامترهای مربوط در حوزه تحت حفاری، به سرعت پتانسیل منطقه را در وقوع گیر بررسی و نتایج را ارائه دهد تا بتوان برنامه‌ریزی کامل‌تری به جهت حفاری چاه‌های میدان مورد نظر انتخاب کرد و هم در حین حفاری سریعاً گیر رشته تشخیص داده شود تا با استفاده از تغییر پارامترها از وقوع گیر رشته حفاری جلوگیری کرد زیرا مدل‌سازی انجام شده هیچ‌گونه وابستگی به حوزه، میدان و چاه با شرایطی مشخص ندارد.

فصل چہارم:

بیچہ گیری و بیستہادہ

۴-۱ نتیجه گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته در پژوهش می توان بیان کرد:

- همه پارامترها در حالت حفاری سالم (بدون گیر) دارای کمترین مقدار بعد فرکتال هستند، با انجام عملیات حفاری و نزدیک شدن به نقطه گیر رشته، مقدار بعد فرکتال نیز که حاصل از مقادیر واقعی هریک از پارامترها می باشد دارای روندی افزایشی است، در نتیجه در حین حفاری افزایش مقدار بعد فرکتال هر پارامتر از حالت استاندارد (بدون گیر) خود می تواند نشانه و یا پتانسیل بخش مورد حفاری در ایجاد گیر رشته حفاری باشد، به همین منظور توجه به مقدار بعد فرکتال و هشدار در مورد افزایش آن به کارکنان دکل به جهت تغییر در مقدار پارامترها تحت کنترل برای جلوگیری از ایجاد گیر رشته حفاری اجتناب ناپذیر می باشد.
- به جهت تعیین گیر رشته حفاری می توان نگاه ویژه ای به مقادیر حاصل از مدل سازی انجام شده و بعد فرکتال مقادیر سیال حفاری، گشتاور و نرخ نفوذ مته داشت.
- به محض دریافت تغییرات در مقدار بعد فرکتال پارامترهای سیال حفاری باید به سرعت کیفیت سیال حفاری با روش های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گیرد.
- براساس مدل سازی انجام شده مقدار بعد فرکتال در لحظه وقوع گیر اختلاف فشاری افزایش یافته و به بیش ترین مقدار خود می رسد.

۲-۴ پیشنهادها

- با توجه به اهمیت گیر رشته حفاری و عواقب آن در فرآیند عملیات حفاری، استفاده از روش پیش‌بینی گیر رشته حفاری برای هر چاه توصیه می‌شود.
- از آن‌جا که روز به روز با پیشرفت تکنولوژی کار با ماشین و استفاده از سیستم‌های هوشمند افزایش و عامل انسانی دخیل در پروژه‌ها کاهش می‌یابد استفاده از این روش هوشمند و برخط می‌تواند دقت، و شرایط حفاری ایمن‌تر را افزایش دهد.
- بررسی دقیق و آزمایشگاهی پارامترهای گل برای تهیه کیک گل با کیفیت بسیار بالا به جهت جلوگیری از گیر رشته حفاری در مطالعات آینده توصیه می‌گردد.
- استفاده از پارامترها با استفاده از هندسه فرکتال و تعیین بعد فرکتال هر پارامتر به صورت برخط در نقاط حساس و دارای پتانسیل ایجاد گیر تا بتواند به صورت دقیق و حساس لایه‌های پرخطر زمین را تشخیص و از وقوع گیر رشته حفاری با هشدار دادن به کاربر حفاری جلوگیری کند بسیار کارآمد خواهد بود.

فهرست منابع

- [1] NIOC website- access: www.nioc.ir.
- [2] MI L. L. C., (1998), "Drilling Fluid Engineering Manual". MI Drilling Fluids Company.
- [3] Jardine, S. I., McCann, D. P., Barber, S. S., (1992), "An Advanced System for the Early Detection of Sticking Pipe," paper SPE 23915 presented at SPE Drilling Conference, New Orleans.
- [۴] منظمی، م.، هاشمی، ع.، (۱۳۹۱)، "پیش‌بینی گیر رشته حفاری چاه‌های جهت دار یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران با استفاده از شبکه عصبی"، اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران. http://www.civilica.com/Paper-ICOGPP01-ICOGPP01_654.html
- [۵] حصیمی، آ.، ردایی، ع.، (۱۳۹۱) "کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی گیر لوله‌های حفاری در میدان کیش"، نخستین همایش ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع وابسته، تهران. http://www.civilica.com/Paper-RESERVOIR01-RESERVOIR01_010.html
- [6] Salminen, Kent, et al. (2016), "Stuck Pipe Prediction Using Automated Real-Time Modeling and Data Analysis." IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- [7] Nybø, R. "Efficient Drilling Problem Detection. (2009), " Philosophiae Doctor thesis, NTNU, Trondheim, Norway.
- [8] Hempkins, W. B., Kingsborough, R. H., Lohec, W. E., Nini, C. J., (1987), "Multivariate Statistical Analysis of Stuck drill pipe situations", SPE drilling engineering.
- [9] Howard, J. A., Glover, S. S., (1994), "Tracking Stuck Probability While drilling", Paper SPE 27528 Presented for presentation at the 1994 IADC/SPE Drilling Conference held in dallas, Texas.

- [10] Halliday, W. S., Clapper, D. K., (1989), “Toxicity and performance testing of non-oil spotting fluid for differential stuck pipe”, SPE/IADC Drilling Conference. New Orleans, Louisiana, Paper SPE 18684, pp. 521-528.
- [11] Biegler, m. w., Kuhn, G. R., (1994), “Advances in prediction of stuck pipe using multivariate statistical analysis”, Presented at the SPE/IADC conference in Dallas.
- [12] Outmans, H, D., (1958), “Mechanics of Differential Pressure Sticking of Drill Collars”, Trans, AIME 213,265.
- [13] Miri, R., Sampaio, J., Afshar, M. and Lourenco, A., (2007), “Development of Artificial Neural Networks to Predict Differential Pipe Sticking in Iranian Offshore Oil Fields”, Paper SPE 138533 presented at the 2337 International oil conference and Exhibition in Mexico held in Veracruz, Mexico.
- [14] Reid, P. I., Meeten, G. H., Way, P. W., Clark, P., Chambers, B. D., Gilmour, A., Sandres, M. W., (2000) , “Differential Sticking, mechanisms and a simple wellsite test for Monitoring and Optimizing Drilling Mud Properties”.
- [15] Reid, P.I., Meeten, G.H., Way, P.W., Clark, P., Chambers, B.D., Gilmour, A., and Sanders, M.W., (2000), “Differential-sticking mechanisms and a simple wellsite test for monitoring and optimizing drilling mud properties”, Journal of SPE Drilling & Completion, Volume 15, Number 2, pp. 97-104.
- [16] Peng X.U, Boming Y.U, (2007) , “Developing a new form of permeability and Kozeny–Carman constant for homogeneous porous media by means of fractal geometry”, Journal Of Elsevier Ltd, [Volume 31, Issue 1](#), Pages 74-81, (January 2008).
- [17] Agarwal, S. and Agarwal, N., (2008), “Auto Release Drill Collars”, Paper SPE 112348 presented at the Indian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Mumbai, India.
- [18] Shadizadeh, S. R., Karimi, F. and Zoveidavianpoor, M., (2010), “Drilling Stuck Pipe Prediction in Iranian Oil Fields: An Artificial Neural Network Approach”, Iranian Journal of Chemical Engineering Vol. 7, No. 4, IACHE.

[19] Rafael R.A, Beethoven G.S, Renalle C.A, Luciana V.A, (2016) "Mathematical Modeling of the Differential Sticking Coefficient of Clay Drilling Fluids", Journal Of Petroleum Science And Technology, volume 6, number1, pages 1 to 13.

[۲۰] اسکندریان س، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد، پیش بینی و جلوگیری از مشکل گیر رشته حفاری با استفاده از شبکه عصبی و سری های زمانی، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۲۱] روحانی ف، (۱۳۹۶)، "تشخیص وقوع گیر رشته حفاری با تحلیل سیگنال گشتاور"، پژوهش نفت، ۹۷، ۱۲۸-۱۱۶.

[22] Tan X.H, Kui M.Q, Li X.p, Mao Z.L, Xiao H, (2017) "Permeability and porosity models of bi-fractal porous media", International Journal of Modern Physics B Vol. 31.1750219 (11 pages).

[23] Bourgoyne, Adam T., et al. (1986), "Applied drilling engineering", 113-189.

[24] Affonso M., (2012), PhD thesis, "A Decision Support Model for Differential Sticking Avoidance", Department Of Petroleum Engineering, Curtin University.

[25] Miri, R., Sampaio, J., Afshar, M. and Lourenco, A., (2007), "Development of Artificial Neural Networks to Predict Differential Pipe Sticking in Iranian Offshore Oil Fields", Paper SPE 138533 presented at the 2337 International oil conference and Exhibition in Mexico held in Veracruz, Mexico.

[۲۶] مودنی ع، نبئی م، (۱۳۹۳)، مهندسی حفاری، جلد اول، چاپ یکم، انتشارات بامداد امید، تهران، ص ۵۳۷.

[27] Anadrill, (1997), "Stuck-Pipe Prevention", Self Learning Course. Anadrill.

[28] Rabia, H., (1985), "Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practice", Graham & Trotman, USA.

[۲۹] آزاد ا، و یوسفی راد س، (۱۳۹۷)، بررسی آزمایشگاهی رفع گیر اختلاف فشاری با تغییر در خواص و افزایه‌های موجود در سیال حفاری، نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۴، ص ۸۶۳.

[30] Katarzyna S., (2014), Master Thesis, "Drilling through the over-pressured formations on Skarv field", Faculty Of science and Technology, University Of Stavenger, Norway.

[31] Schlumberger, Stuck-Pipe Prevention, self-learning course, 1997.

[۳۲] عادل‌زاده، م. ر.، (۱۳۸۵)، "اصول مهندسی حفاری"، انتشارات ستایش ۸۱۹. صفحه.

[33] Yilmaz D., (2013), Master thesis, "Discrete phase simulations of drilled cuttings transport process in highly deviated wells", Department of Petroleum Engineering, Louisiana state University, USA.

[۳۴] مطوریان، ر.، ملایری، م. ر.، (۱۳۸۸)، "سیالات حفاری"، شرکت نفت فلات قاره ایران، روابط عمومی، ۲۱۶ صفحه.

[35] Hemphkins, W. B., Kingsborough, R. H., Lohec, W. E., Nini, C. J., (1987), "Multivariate Statistical Analysis of Stuck drill pipe situations", SPE drilling engineering.

[36] Baker Hughes., (1995), "Drilling Engineering Workbook", Baker Hughes INTEQ.

[37] Kessler, C., Dorffer, D., Crawford, D., Dehart, R. and Weiser, J., (2009), "Case Histories of a New Wireline Logging Tool for Determination of Free Point in Support of Drilling and Pipe Recovery Operations", SPE/IADC 119907, presentation at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands.

[38] Mohanna, A., Voghell, M., Alali, A., Bakir, R. and Al-Mousa, A., (2012), "A Step Change in Fishing Efficiency: Recovering Stuck Pipe Using the Fishing Agitation Tool", SPE 160880, presentation at the SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition held in Al-Khobar, Saudi Arabia.

[39] Drilling Fluid Engineering Manual, MI L.L.C., Page: 15.1-15.10. March (1998).

[40] Mandelbrot, Benoit B., and Roberto Pignoni. "The fractal geometry of nature." (1983).

[۴۱] روحانی ف، (۱۳۹۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، پیش بینی و تشخیص گیر رشته حفاری با استفاده از پردازش سیگنال گشتاور، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[42] Dubuc, B., Quiniou, J.F., Roques-Carmes, C., Tricot, C. and Zucker, S.W. (1989). "Evaluating the fractal dimension of profiles. Phys", Rev. A 39 (3): 1500-1512.

[43] Smits, Fenne Margreeth, et al. (2016), "Electroencephalographic fractal dimension in healthy ageing and Alzheimer's disease." PloS one 11.2 :e0149587.

[44] Agarwal, Rajeev, and jeat Gotman, (1999), "Adaptive segmentation of electroencephalographic data using a nonlinear energy operator." Circuits and Systems, Proceedings of the International Symposium on. Vol. 4.

[45] Katz, Michael J. (1988), "Fractals and the analysis of waveforms", Computers in biology and medicine 18.3: 145-156.

[46] Petrosian, Arthur. (1995), "Kolmogorov complexity of finite sequences and recognition of different preictal EEG patterns." Computer-Based Medical Systems, 1995., Proceedings of the Eighth IEEE Symposium on.

[47] Miller, S.M., McWilliams, P.C. and Kerkerling, J.C. (1990). "Ambiguities in estimating fractal dimensions of rock fracture surfaces", Hustrulid, W., Johnson, G.A., Rock Mech. Contribution Challenges. Balkema, Rotterdam. pp. 471-478.

[48] Higuchi, Tomoyuki. (1988), "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory.", International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 4, No. 4, August 2014, pp. 585~592.

[49] Anisheh, S. M., and H. Hassanpour, (2009) "Adaptive segmentation with optimal window length scheme using fractal dimension and wavelet transform", International Journal Engineering, Vol. 22, No. 3, 257-268.

[۵۰] درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۹) "زمین‌شناسی ایران؛ چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم"،
موسسه انتشارات امیرکبیر. تهران. ص ۴۳۴.

[51] Dipl. I., Prassl. W. F., "Drilling Engineering", Curtin University of Technology.

[52] Tobenna, C. U., (2010), "Hole Cleaning and Hydraulics", University of Stavanger, Norway.

[53] Amoco Production Company, "Drilling Fluids Manual".

[54] Jia, Q., and D. R. Schmitt. (2014), "Effects of formation anisotropy on borehole stress concentrations: implications to drilling induced tensile fractures", 48th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. American Rock Mechanics Association.

[55] Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M., (1996), "Neural Network Design". PWS Publishing Company.

[56] Lotfi M. and Tokhmechi B, (2019), "Fractal-wavelet-fusion-based re-ranking of joint roughness coefficients", Journal of Mining and Environment (JME), Shahrood University of Technology.

[57] Maerz, N.H., Franklin, J.A. and Bennett, C.P. (1990). Joint roughness measurement using shadow profilometry. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. (27): 329-343.

[58] Li, Y. and Huang, R. (2015). "Relationship between joint roughness coefficient and fractal dimension of rock fracture surfaces", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 75: 15-22.

[59] Bae, D., Kim, K., Koh, Y. and Kim, J. (2011). "Characterization of joint roughness in granite by applying the scan circle technique to images from a borehole televiewer", Rock Mech. Rock Eng. 44: 497- 504.

[60] Hassanpour, H., and M. Shahiri. (2007), "Adaptive segmentation using wavelet transform", Electrical Engineering., International Conference on. IEEE, Volume: 1, Pages: 562-569

[61] Baker Hughes, (1995), “Drilling Engineering Workbook”, Baker Hughes INTEQ.

Abstract

The economies of oil-rich countries often depend on rising drilling rates, exploitation and crude oil production. Therefore, it is important for engineers and researchers to eliminate the existing interruptions and also to accelerate this. Among the effective factors in delaying the drilling process of reservoirs, we can mention the problems created during drilling operations. One of the common problems in drilling operations for oil and gas wells is the occurrence of drilling rigs, which if not taken at the right time to solve it can lead to many problems such as wasting time and money or even losing the well.

In general, the restriction in the rotation of the string and the lack of up and down movement of the drill string is called drill string stuck. Know the sensitive and possible conditions of the drill string stuck by changing the effective parameters, we can greatly prevent this problem. Drilling string stuck, is also present when most drillings are not done vertically, so incorrect reaction can easily change the normal conditions of drilling operations and incur very high costs, so the first step is to quickly identify the stuck. And then proceeded to release it.

These days, various methods have been introduced to detect and predict drill string stuck. In this research, an attempt was made to predict and investigate the occurrence of drill string stuck in the fractal geometry by constructing a model. To create this modeling, the parameters of operation, drilling fluid, mechanical specifications of drilling pipes and weight pipes, well logging and bore hole assembly (BHA), related to drilling one of the wells in the fields of southern Iran were used. In this thesis, first the data related to the occurrence of drill string stuck were categorized and studied, then using different algorithms in fractal geometry was estimated and the related dimension was analyzed and the occurrence of drill string stuck was predicted with high accuracy. All parameters in the safe drilling mode have the lowest value of fractal dimension, When done performing drilling operations and approaching the stuck point, the value of the fractal dimension which is the result of the actual values of each parameter has an increasing trend, As a result, during drilling increasing the amount of fractal dimension of each parameter from its safe drilling can be a sign or potential of the part to be drilled in creating the drilling string stuck, Therefore, it is inevitable to pay attention to the amount of fractal dimension

and warn about its increase to the rig staff in order to change the amount of controlled parameters to prevent the drill string stuck.

Keywords: Drilling problem, Drill string Stuck, Fractal dimension, Fractal in petroleum industry.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

M.Sc Thesis in Petroleum engineering

Evaluation Differential Sticking Pipe by Using Fractal Concepts

By:

Morteza Arevan

Supervisors:

Dr. Sajjad Negahban

Dr. Behzad Tokhmechi

Advisor:

Dr. Mohammad Lotfi

Eng. MohammadAli Asadian

October 2020