

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوش مصنوعی

پیش بینی و تشخیص گیر کردن رشته حفاری با استفاده از پردازش سیگنال گشتاور

نگارنده: فاطمه سادات روحانی

استاد راهنما

دکتر حمید حسن پور

استاد مشاور

دکتر بهزاد تخم‌چی

بهمن ۱۳۹۵



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

دانشکده : کامپیوتر و فناوری اطلاعات

گروه : هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه سادات روحانی به شماره دانشجویی ۹۳۰۸۶۴۴

تحت عنوان:

پیش بینی و تشخیص گیر کردن رشته حفاری با استفاده از پردازش سیگنال گشتاور

در تاریخ ۹۵/۱۱/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	آقای دکتر بهزاد تخمچی		آقای دکتر حمید حسن پور

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	آقای مهندس علی بازقندی		آقای دکتر پیمان کبیری
			خانم دکتر سعیده فردوسی

تقدیم بہ

مقدس ترین واثرہ مادر لغت نامہ دلم، مادر مہربانم کہ زندگیم را دیدیون مہر و عطاوت

آن می دانم.

پدر، مہربانی مشفق، بردبار و حامی.

ہم سرم کہ نشانہ لطف الہی در زندگی من است.

برادر و خواہرم بہراہان، ہمیشگی و پشتوانہ ہای زندگیم

مشکر و قدردانی

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، جلیل تر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌بایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب و غیضه از باب "من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل":

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای پروفور حسن پور که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سمرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند و با حسن خلق و فروتنی، از بیچ لطفی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی، جناب آقای دکتر تخم‌چی، که زحمت مشاوره این پایان نامه را متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پرونده به نتیجه مطلوب نمی‌رسید؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ سرکار خانم دکتر فردوسی و جناب آقای دکتر کبیری که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب **فاطمه سادات روحانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پیش بینی و تشخیص گیر کردن رشته حفاری با استفاده از پردازش سیگنال گشتاور تحت راهنمایی آقای دکتر حمید حسن پور متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. 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

گیر رشته لوله حفاری یکی از مشکلات پرهزینه و وقت گیر عملیات حفاری است که اگر سریع رفع نشود باعث خسارت مالی زیادی می شود. تا کنون روش دقیق تشخیص گیر رشته لوله حفاری در لحظه وقوع معرفی نشده است. مطالعات نشان می دهد که پارامترهای حین حفاری و ساختار زمین در وقوع گیر رشته لوله حفاری موثر هستند. گشتاور رشته حفاری یکی از این پارامترهاست که بر اثر چرخش رشته لوله حفاری تولید می شود. مهندس حفار با تحت نظر گرفتن پارامترهای حفاری به کنترل عملیات و تشخیص گیر لحظه ای رشته لوله حفاری می پردازد. این روش با توجه به امکان بروز خطای انسان و عدم دقت کافی، ضعف بسیاری دارد. تجارب نشان می دهد که گشتاور در لحظه وقوع گیر، ناگهان زیاد می شود و مته حفاری آهسته تر می چرخد. بنابراین با شناسایی تغییرات سوزنی شکل مشترک سیگنال گشتاور و سرعت چرخش مته، می توان لحظه وقوع را تشخیص داد. روش های مختلفی برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل معرفی شده اند. در روش پیشنهادی، روش اپراتور غیر خطی انرژی هموار شده مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش تغییرات مثبت و منفی سیگنال تشخیص داده می شوند. در این پژوهش، روشی برای تشخیص تغییرات مثبت گشتاور و تغییرات منفی چرخش مته معرفی شده است. از معیارهای دقت دسته بندی و خطای دسته بندی برای ارائه نتایج استفاده شده است و نتایج شبیه سازی بیانگر کارایی بالای روش پیشنهادی، نسبت به روش های موجود می باشد. به علاوه، نشان داده شده است که روش پیشنهادی به زمان کوتاهی برای آنالیز یک سیگنال نیاز دارد، بنابراین می توان از آن در سیستم های آنلاین استفاده کرد. در بخش دوم این پژوهش، روش جدیدی برای شناسایی مرز لایه های مختلف زمین، به عنوان نقاط پارامتر موثر در این موضوع، قطعه بندی می شود. به طور کلی دو روش برای قطعه بندی وجود دارد؛ قطعه بندی ثابت و تطبیقی. روش های قطعه بندی ثابت نتایج ضعیفی دارند. در این پژوهش از روش جدید

تبدیل موجک و بعد فرکتال برای قطعه بندی تطبیقی استفاده می‌شود. نشان داده شده است که مرزهای قطعه بندی سیگنال گشتاور، با دقت خوبی مرز لایه های سنگی مسیر چاه را مشخص می‌کند. این پژوهش می‌تواند گام بلندی در جهت رسیدن به حفاری هوشمند بهینه شده باشد.

کلمات کلیدی: گشتاور، حفاری هوشمند، تشخیص گیر رشته لوله حفاری، پردازش سیگنال، هوش مصنوعی در صنعت حفاری، تشخیص لایه های زمین در مسیر چاه

فهرست مطالب

پیشگفتار	۱
کلیات :	۳
هوش مصنوعی روشی نوین در حل مسائل صنعت نفت	۳
مقدمه	۴
اهمیت تشخیص گیر رشته لوله	۴
دلیل استفاده از هوش مصنوعی در حل مشکلات نفت	۵
اهداف پژوهش	۷
روش شناسی پژوهش	۷
فرضیات	۸
ساختار پایان نامه	۸
فصل اول:	۱۱
حفاری نفت و اصلاحات پرکاربرد در صنعت نفت	۱۱
۱-۱ تاریخچه	۱۲
۲-۱ پیشینه حفاری نفت در ایران	۱۴
۳-۱ مهندسی حفاری	۱۵
۴-۱ سازند	۱۶
۵-۱ دکل حفاری	۱۶
۶-۱ روشهای حفاری	۲۰
۱-۶-۱ حفاری ضربهای	۲۰
۲-۶-۱ حفاری دورانی	۲۱
۳-۶-۱ حفاری عمودی	۲۱

- ۲۱ ۴-۶-۱ حفاری انحرافی
- ۲۲ ۵-۶-۱ حفاری افقی
- ۲۲ ۶-۶-۱ حفاری چند جانبه
- ۲۳ ۷-۱ رشته حفاری
- ۲۵ ۸-۱ لوله حفاری
- ۲۵ ۹-۱ گیر رشته لوله
- ۲۶ ۱۰-۱ اصطلاحات مهم و متداول در صنعت نفت
- ۲۶ ۱-۱۰-۱ گشتاور
- ۲۶ ۲-۱۰-۱ سر مته
- ۲۶ ۳-۱۰-۱ سیال حفاری
- ۲۷ ۴-۱۰-۱ سیستم کنترل چاه
- ۲۸ ۵-۱۰-۱ سرعت حفاری
- ۲۸ ۶-۱۰-۱ قلاب
- ۲۸ ۷-۱۰-۱ وزن روی مته و وزن روی هوک
- ۲۸ ۸-۱۰-۱ پمپاژ گل
- ۲۹ ۹-۱۰-۱ لوله‌های جداری
- ۲۹ ۱۰-۱۰-۱ نیروی کشش قلاب
- ۲۹ ۱۱-۱۰-۱ سرعت چرخش مته
- ۲۹ ۱۲-۱۰-۱ ضربه کوب
- ۳۰ ۱۳-۱۰-۱ زمان تاخیر

۳۰	..... ۱۰-۱۴ فشار
۳۰	..... ۱۱-۱ نمودار گیری
۳۱	..... ۱۲-۱ مشکلات حفاری نفت
۳۱	..... مهمترین مشکلات در حین حفاری چاههای نفت عبارتند از:
۳۱	..... ۱-۱۲-۱ ورود سیالات از سازندها به درون چاه
۳۱	..... ۱-۱۲-۲ از دست رفتن گل
۳۲	..... ۱-۱۲-۳ گیر کردن ابزار حفاری درون چاه
۳۲	..... ۱-۱۲-۴ ریزش لایهها درون چاه
۳۳	..... ۱۳-۱ گزارش روزانه
۳۳	..... ۱۴-۱ معرفی میدان نفتی مورد مطالعه

فصل دوم : مروری بر پژوهشهای انجام گرفته درباره گیر رشته لوله حفاری با

۳۷	..... تکنیکهای هوش مصنوعی
۳۸	..... مقدمه
۳۸	..... ۱-۲ پیشینه مطالعات
۴۷	..... فصل سوم : تکنیکهای پردازش سیگنال
۴۷	..... شناسایی تغییرات سوزنی شکل
۴۷	..... و قطعه بندی
۴۸	..... مقدمه
۴۸	..... ۱-۳ شناسایی تغییرات سوزنی شکل
۴۹	..... ۱-۱-۳ مزایای شناسایی تغییرات سوزنی شکل

- ۳-۱-۲ روشهای شناسایی تغییرات سوزنی شکل ۵۰
- ۳-۱-۲-۱ روش تشخیص تجربی ۵۱
- ۳-۲-۱-۲ روشهای تشخیص اتوماتیک ۵۱
- ۳-۱-۲-۲-۱ استفاده از ویژگیهای ظاهری ۵۱
- ۳-۲-۱-۳ استفاده از پردازش سیگنال ۵۴
- ۳-۲-۱-۳ استفاده از مقدار مطلق ۵۴
- ۳-۲-۱-۳ روش اپراتور غیر خطی انرژی ۵۵
- ۳-۲-۱-۳ روش اپراتور غیر خطی انرژی هموار شده ۵۶
- ۳-۲-۱-۳ روش تبدیل موجک ثابت ۵۶
- ۳-۲-۱-۳ استفاده از توزیع زمان-فرکانس ۵۷
- ۳-۲-۱-۳ قطعه بندی سیگنال ۵۸
- ۳-۲-۱-۳ روشهای قطعه بندی ۵۸
- ۳-۱-۲-۳ قطعه بندی ثابت ۵۸
- ۳-۱-۲-۳ قطعه بندی ۵۹
- ۳-۱-۲-۳ روش *varri* ۵۹
- ۳-۲-۱-۲-۳ روش اپراتور غیر خطی انرژی ۶۰
- ۳-۳-۱ فرکتال ۶۱
- ۳-۳-۱ تعریف و ویژگیهای فرکتال ۶۱
- ۳-۳-۲ کاربردهای فرکتال ۶۳
- ۳-۳-۳ بعد فرکتال و الگوریتم های محاسبه آن ۶۴

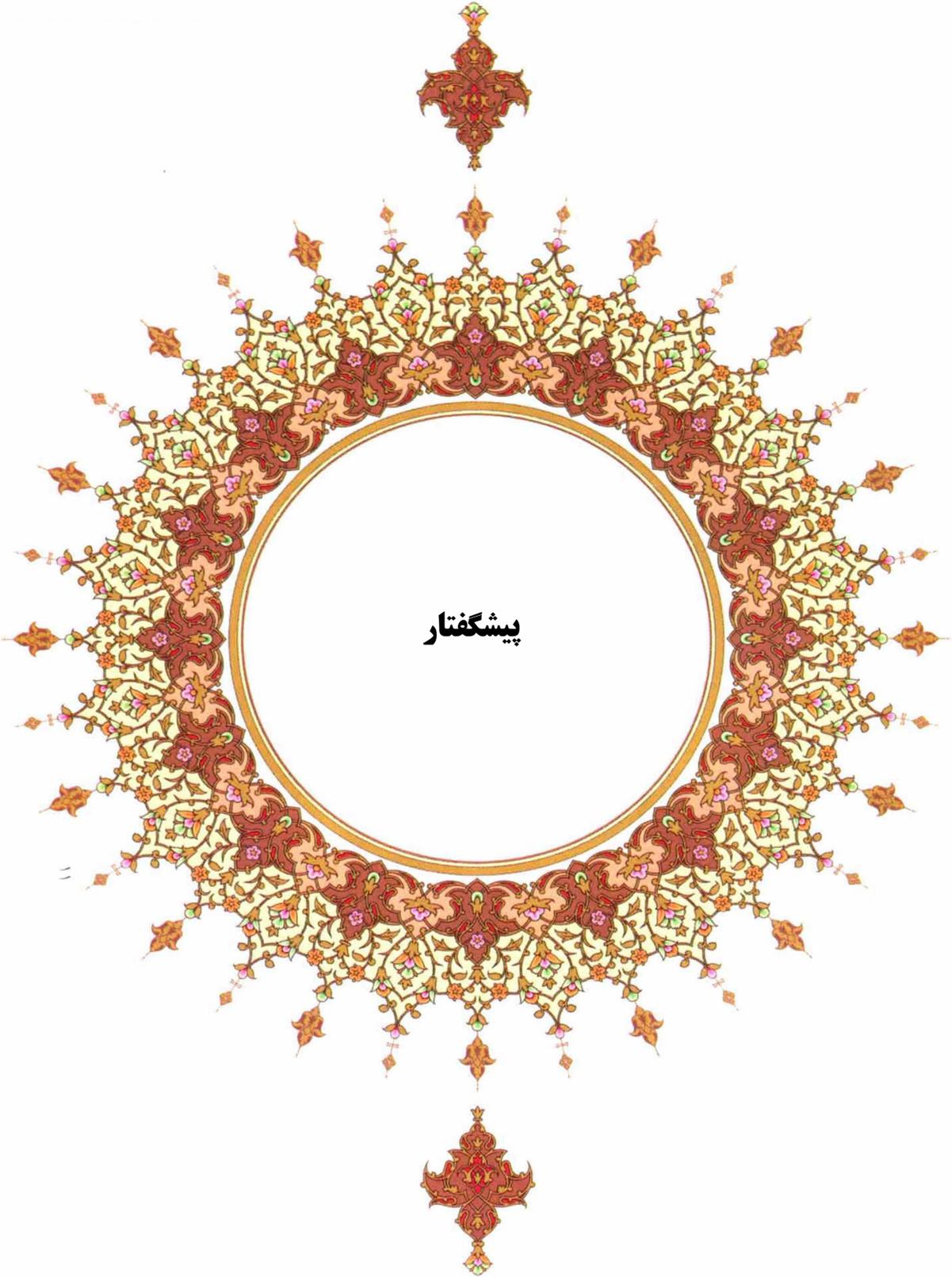
۶۴	..... ۴-۳-۳ بعد فرکتال در پردازش سیگنال
۶۵	..... ۵-۳-۳ روشهای محاسبه بعد فرکتال یک سیگنال
۶۵	..... ۱-۵-۳-۳ الگوریتم هیگوچی
۶۷	..... ۲-۵-۳-۳ الگوریتم کانتز
۶۸	..... ۳-۵-۳-۳ الگوریتم پطروسیان
۶۹	..... ۴-۳-۳ قطعه بندی با بعد فرکتال
۷۱	..... فصل چهارم : روش پیشنهادی برای پیشبینی و تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری
۷۲	..... مقدمه
۷۲	..... ۱-۴-۱ بخش اول؛ تشخیص لحظه گیر رشته لوله حفاری
۷۳	..... ۱-۴-۱ پارامترهای مورد توجه
۷۵	..... ۲-۴-۱ مراحل روش پیشنهادی
۷۵	..... ۳-۴-۱ ساختار روش پیشنهادی
۷۶	..... ۴-۴-۱ پیاده سازی الگوریتم
۷۶	..... ۵-۴-۱ معرفی پایگاه داده
۷۷	..... ۶-۴-۱ پیش پردازش
۷۷	..... ۷-۴-۱ انتخاب تغییرات سوزنی شکل مثبت یا منفی
۷۸	..... ۸-۴-۱ معیارهای کمی ارزیابی و درجه اهمیت
۸۰	..... ۹-۴-۱ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی
۸۱	..... ۱۰-۴-۱ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از دادههای چاه سالم
۸۴	..... ۱۱-۴-۱ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از دادههای چاه دارای گیر رشته لوله حفاری

- ۴-۱-۱۲ نتایج روش شناسایی لحظه گیر رشته لوله حفاری..... ۸۶
- ۴-۱-۱۳ ارزیابی روش پیشنهادی حین تشخیص غلط ۸۷
- ۴-۲-۲ بخش دوم؛ پیش بینی گیر رشته لوله حفاری ۹۱
- ۴-۲-۱ مراحل روش پیشنهادی برای تشخیص لایه‌های زمین ۹۲
- ۴-۲-۲ پارامترهای مورد توجه ۹۳
- ۴-۲-۳ ساختار روش پیشنهادی ۹۳
- ۴-۲-۴ پیاده سازی الگوریتم ۹۴
- ۴-۲-۵ معرفی پایگاه داده ۹۵
- ۴-۲-۶ پیش پردازش ۹۵
- ۴-۲-۷ انتخاب پنجره مناسب ۹۶
- ۴-۲-۸ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی ۹۶
- ۴-۲-۹ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی ۹۷
- ۴-۲-۱۰ نتایج روش شناسایی مرز لایه‌های زمین در مسیر حفاری ۹۹
- ۴-۲-۱۱ ارزیابی روش پیشنهادی حین تشخیص غلط ۹۹
- ۴-۲-۱۲ ارزیابی روش قطع‌بندی با استفاده از روش *varri* ۱۰۰
- فصل پنجم : نتیجه گیری ۱۰۳
- ۵-۱ نتایج حاصل ۱۰۴
- ۵-۲ محدودیت های پژوهش ۱۰۵
- ۵-۳ پیشنهادات برای کارهای آینده ۱۰۶
- مراجع ۱۰۷

فهرست اشکال و جداول

- شکل ۱-۱) شمای دکل حفاری نفت ۱۸
- شکل ۲-۱) انواع حفاری از حیث مسیر دسترسی به مخزن ۲۳
- شکل ۳-۱) شمای رشته حفاری و اجزای آن ۲۴
- شکل ۴-۱) وضعیت گیر رشته لوله حفاری ۲۶
- شکل ۵-۱) گزارش برنامه نمودار گیری یک چاه ۳۱
- شکل ۱-۳) نمونه ای از شناسایی تغییرات سوزنی شکل در سیگنال شامل سه نوع سوزن شکل متفاوت ۴۹
- شکل ۲-۳) قطعه بندی سیگنال صوت ۵۸
- شکل ۳-۳) قطعه بندی سیگنال به روش ثابت ۵۹
- شکل ۴-۳) تصاویر فرکتال های مربوط به ترتیب از چپ به راست: مثلث سرپینسکی، خم کخ و کانتور ۶۳
- شکل ۱-۴) نمودار پارامترهای گشتاور، RPM، وزن روی مته، هوک لود، فشار پمپ و نرخ گل ورودی به چاه هنگام وقوع گیر لوله ۷۳
- شکل ۲-۴) الف) سیگنال گشتاور ب) سیگنال RPM ۷۴
- شکل ۳-۴) سیگنال مصنوعی تولید شده شامل تغییرات سوزنی شکل ۸۰
- شکل ۴-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل مثبت سیگنال مصنوعی ۸۱
- شکل ۵-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل منفی سیگنال مصنوعی ۸۱
- شکل ۶-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۷ ۸۲
- شکل ۷-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) گشتاور و ب) RPM برای چاه سالم شماره ۷ ۸۲
- شکل ۸-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۵ ۸۳
- شکل ۹-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) گشتاور و ب) RPM برای چاه سالم شماره ۵ ۸۳
- شکل ۱۰-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه شماره ۲۰ دارای گیر رشته حفاری ۸۴
- شکل ۱۱-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) گشتاور و ب) RPM برای چاه شماره ۲۰ دارای گیر رشته حفاری ۸۴
- شکل ۱۲-۴) نتیجه شناسایی نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۲۰ ۸۵

- شکل ۴-۱۳) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه شماره ۱۸ دارای گیر رشته حفاری ۸۵
- شکل ۴-۱۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه شماره ۱۸ دارای گیر رشته حفاری ۸۶
- شکل ۴-۱۵) نتیجه شناسایی نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۱۸ ۸۶
- جدول ۴-۱) ماتریس درهم‌ریختگی شناسایی وقوع گیر رشته حفاری ۸۶
- جدول ۴-۲) معیار های کارایی روش تشخیص وقوع گیر رشته حفاری ۸۷
- شکل ۴-۱۶) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۱۲ ۸۸
- شکل ۴-۱۷) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه سالم شماره ۱۲ ۸۸
- شکل ۴-۱۸) نتیجه شناسایی نادرست نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۱۲ ۸۹
- شکل ۴-۱۹) دلیل شناسایی نادرست وقوع گیر رشته حفاری برای چاه شماره ۱۲ الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM ۹۰
- شکل ۴-۲۰) گزارش زمین شناسی حین عملیات حفاری با استفاده از کنده های حفاری ۹۲
- شکل ۴-۲۱) گیر رشته لوله حفاری حین عوض شدن لایه های سنگی ۹۳
- شکل ۴-۲۲) سیگنال مصنوعی تولید شده برای قطعه بندی ۹۶
- شکل ۴-۲۳) قطعه بندی سیگنال مصنوعی توسط تغییرات بعد فرکتال ۹۷
- شکل ۴-۲۴) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۱ توسط تغییرات بعد فرکتال با طول پنجره ۲۰۰ ۹۸
- جدول ۴-۳) مرز لایه های بدست آمده توسط روش قطعه بندی سیگنال گشتاور بوسیله بعد فرکتال ۹۸
- جدول ۴-۴) نتایج بدست آمده برای شناسایی مرز لایه های زمین توسط قطعه بندی سیگنال گشتاور با بعد فرکتال ۹۹
- شکل ۴-۲۵) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۵ توسط تغییرات بعد فرکتال با طول پنجره ۲۰۰ ۹۹
- جدول ۴-۵) نتایج بدست آمده برای شناسایی مرز لایه های زمین توسط قطعه بندی سیگنال گشتاور با بعد فرکتال ۱۰۰
- شکل ۴-۲۶) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۱ توسط روش varri با طول پنجره ۲۰۰ ۱۰۱



پیشگفتار

هوش مصنوعی را می‌توان به عنوان کاربردی‌ترین ابزار از علوم و مهندسی تعریف کرد که با استفاده از ابزار مبتنی بر رفتار هوشمندانه انسان، مسائل پیچیده را حل می‌کند. هوش مصنوعی در مقایسه با روش‌های محاسباتی دیگر آسان‌تر است زیرا قادر است زمان را بر اساس نیاز پرسنلی کاهش دهد و از همه مهم‌تر هزینه‌های عملیاتی را کمتر کند.

هوش مصنوعی یک حوزه بزرگ و پر اهمیت در اکتشاف و تولید نفت می‌باشد. در طول سال‌های این علم تاثیر زیادی در صنعت گذاشته است و همچنان به رشد خود در زمینه نفت و گاز ادامه می‌دهد. اولین حضور هوش مصنوعی در این صنعت برای تفسیر چاه نفت، مربوط به سال ۱۹۸۹ بوده که از شبکه‌های عصبی برای تشخیص نوع سرمته حفاری استفاده شد و رابط شبیه ساز مخزن هوشمند طراحی شد. تا به امروز مسائل زیادی از این صنعت توسط تکنیک‌های هوش مصنوعی حل شده است که از آن جمله می‌توان به شناخت الگوی لرزه‌نگاری، خصلت‌نمایی مخازن، پیش‌بینی تخلخل و نفوذ پذیری، پیش‌بینی خواص PVT، تشخیص درست سرمته‌های حفاری، تخمین افت فشار در لوله‌ها و چاه، بهینه‌سازی تولید چاه، عملکرد چاه نفت، مدیریت یکپارچه^۱ و عملیات تصمیم‌گیری عمومی و بسیاری دیگر اشاره کرد.

^۱ portfolio



کلیات :
هوش مصنوعی روشی نوین در
حل مسائل صنعت نفت

کارشناسان خبره اذعان دارند که بسیاری از مشکلاتی که در روند حفاری چاه‌های نفت ثبت شده‌اند، قابل اجتناب است و نشانه‌های وقوع آن در داده‌های ثبت شده قبل از بروز مشکل، قابل مشاهده می‌باشد [۱]. این موضوع ما را به سمت پردازش بی‌درنگ اطلاعات در حفاری سوق می‌دهد. در حال حاضر تمرکز دنیا بر استفاده از نرم افزارهایی است که اطلاعات آنی از حفاری دریافت کند و با پردازش آنها، روند حفاری را بهینه سازی نماید. چشم انداز جهانی صنعت نفت رسیدن به حفاری بهینه، بلادرنگ، بدون دخالت انسان و هوشمند در برابر شرایطی است که ممکن است در حین حفاری پیش آید.

اهمیت تشخیص گیر رشته لوله

عملیات حفاری نفت و گاز بسیار گران می‌باشد و از این رو تعجب‌آور نیست که اشتباهات و حوادث در طول حفاری سبب ایجاد هزینه زیادی شود. حوادث ممکن است منجر به از دست دادن تجهیزات گران قیمت و متعاقب آن، تاخیر عملیات برای روزها و یا هفته‌ها گردد [۱]. یکی از مشکلات پرهزینه و وقت‌گیر عملیات حفاری گیر رشته لوله حفاری است که اگر سریع اقدام و گیر لوله‌ها آزاد نشود، خسارت مالی زیادی به همراه دارد. به طور کلی، محدودیت در گردش لوله و عدم وجود حرکت بالا و پایین در رشته حفاری را گیر لوله حفاری می‌گویند. در عملیات حفاری در زیر سطح دریا، گیر لوله‌ها به تنهایی می‌تواند هزینه توسعه یک چاه را به اندازه ۳۰ درصد افزایش دهد [۲]. بیشتر آمارها نشان می‌دهد که اگر گیر لوله در ساعات اولیه وقوع شناسایی شود مشکل راحت‌تر حل می‌گردد [۳]. همچنین نیروهای درون چاهی که مانع چرخش یا خروج لوله‌ها از چاه می‌شوند را می‌توان گیر لوله حفاری تعریف نمود [۲]. پس از گیرکردن یک رشته در عملیات حفاری، تلاش‌های زیادی برای بیرون آوردن آن صورت می‌گیرد. از جمله روش‌های مرسوم و شناخته شده آزادسازی رشته‌های حفاری، روش افزایش کشش رو به بالا و افزایش وزن رو به پایین می‌باشند که تا حدودی وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند؛ ولی در بیشتر مواقع منجر به

آزادسازی رشته حفاری از چاه می‌شوند [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 حفاری در چاه و انجام عملیات مانده یابی و در بدترین حالت، مسدود کردن قسمت گیر و حفاری چاه انحرافی برای انجام ادامه عملیات حفاری می‌باشد [۵]. این امر باعث تغییر برنامه حفاری، افزایش زمان و هزینه بسیاری خواهد شد. عوامل زیادی در گیر لوله موثر هستند که به دو گروه گیر مکانیکی و گیر نیروهای تفاضل فشاری تقسیم بندی می‌شوند.

گیر مکانیکی هنگامی صورت می‌گیرد که رشته حفاری قابلیت حرکت محدود دارد ولی نمی‌توان رشته حفاری را از چاه بیرون کشید. در ایجاد این نوع گیر عوامل فیزیکی از جمله ریزش دیواره چاه، تورم شیل و لایه‌های نمکی غیره نقش اصلی را دارند و از طریق اختلال در گردش گل تشخیص داده می‌شود. تمیز سازی کافی و مناسب چاه یک عامل اساسی در فرآیند حفاری محسوب می‌شود به طوری که اگر خرده‌های حفاری به صورت مناسب از چاه خارج نشوند، اطراف رشته حفاری ته نشین شده و باعث گیر لوله‌های وزنه و پایدار کننده‌ها می‌شود [۶].

در مورد گیر اختلاف فشاری می‌توان گفت که این نوع گیر در اثر اختلاف فشار ناشی از فشار هیدرواستاتیک ستون سیال حفاری داخل چاه و فشار سیال سازند در پشت دیوار چاه، زمانی به وجود می‌آید که این اختلاف فشار در طرفین باعث تشکیل کیک گل حفاری ضخیم شود. معمولاً عکس العمل سریع جهت آزاد سازی لوله بعد از اینکه لوله حفاری گیر می‌کند مهمترین اقدام می‌باشد [۷].

دلیل استفاده از هوش مصنوعی در حل مشکلات نفت

در حوزه مهندسی چاه‌های نفت، مشکلات بی‌شماری وجود دارند که برای حل بسیاری از آن‌ها از روش‌های سنتی تحلیلی و یا عددی استفاده می‌شود. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری‌های رایانه،

بسیاری از کسب و کارها هنوز هم در حال مبارزه با مشکل مدل‌سازی و دسترسی به داده‌ها هستند. به خصوص مشکلات مربوط به حوزه حفاری و تکنولوژی چاه‌های نفت، حتی با عنایت به مدت زیاد فعالیت این عرصه و حجم نسبتاً بالای اطلاعات و تجربه، به طور کامل حل نشده‌اند. به عنوان مثال، می‌توان گفت که به طور معمول برنامه‌ریزی به گونه‌ای است که ۵-۱۰٪ از کل زمان حفاری احتمالاً مربوط به مشکلات ناشی از بی‌ثباتی چاه می‌شود [۸]. بنابراین ارتباط‌های پیچیده و زیادی وجود دارند که می‌توانند منجر به مشکلات گوناگون چاه‌های نفت شوند که اثرات آنها می‌تواند خیلی پیچیده باشد. حل این‌گونه مسائل نیاز به داده‌ها و زمان زیاد دارد. اگرچه در بسیاری از شرکت‌های نفتی پایگاه داده‌های وسیعی از سیستم‌ها، تجزیه و تحلیل‌ها و تبدیل داده‌ها به هم دارند اما هنوز هم می‌توان روند استخراج داده‌ها و دانش بیشتر، را بهبود داد. میزان زیادی از اطلاعات برای استفاده‌های آماری صرف می‌شود بدون اینکه استدلال خاصی برای استخراج دانش شود چرا که دانش فراوان و ارزشمندی در پشت این داده‌ها پنهان است. علاوه بر این، به طور کلی تجربه‌های ارزشمند بدست آمده از موارد مختلف ذخیره و به منظور استفاده مجدد در موقعیت‌های آینده، سیستماتیک نمی‌شوند. گاهی افرادی در شرکت‌ها هستند که به شیوه‌های سنتی و تجربی بهترین راه حل را برای مسائل دارند که اغلب دانش و تجربه آنها حین خروج آنها از شرکت (بازنشستگی و یا ترک کار) از بین می‌رود. هدف کنونی در صنعت نفت یافتن روشی برای استفاده مجدد از تجارب گذشته است تا مسائل جدید را حل کند. همچنین مسائل پیچیده‌ای نیز وجود دارند که روش‌های سنتی گذشته به تنهایی قادر به حل و مدل‌سازی آنها نیست. در این روش باید دانش پنهان در داده‌های پیشین استخراج گردد و سپس از ترکیب آن با اطلاعات موجود، برای مشکلات راه حل یافت. در واقع با استفاده از پایگاه داده‌های موجود باید بتوان مشکلات را مدل‌سازی نموده و از داده‌های موجود و دانش پیشین برای آنها راه حل ساخت [۹].

اهداف پژوهش

به طور کلی اهداف این پروژه را می‌توان به صورت موارد زیر بیان نمود:

۱. استفاده از زمان و هزینه کمتر برای حفاری و در نتیجه عملیات حفاری موفق‌تر
۲. پیشگیری از وقوع مشکل و دستیابی به حفاری بهنگام در دریافت و تحلیل اطلاعات
۳. امکان کنترل از راه دور چاه‌های نفت و حذف پرسنل انسانی از محل‌های پر خطر
۴. پیش بینی وقوع مشکل و امکان تغییر پارامترهای موثر در جهت رفع آن با اختصاص زمان کافی

روش شناسی پژوهش

گیر رشته لوله حفاری اگر سریع شناسایی و رفع نشود ضرر مالی زمانی زیادی ایجاد می‌کند. برای رفع این مشکل این پژوهش شامل دو قسمت است. در مرحله اول، تشخیص آنی لحظه وقوع گیر حفاری با استفاده از پارامترهای حین حفاری به ویژه سیگنال گشتاور است. همچنین در مرحله دوم با تشخیص مرز لایه‌های سنگی زمین حین عملیات حفاری، از بروز گیر حفاری جلوگیری می‌کند. بیشتر گیر لوله های حفاری در نقاطی اتفاق می افتد که لایه‌های سنگی زمین تغییر می کند [۱۰].

در هنگام گیر نمودن لوله حفاری در چاه، احتمال آزاد سازی لوله‌ها با گذشت زمان کم می‌شود. لذا واکنش نادرست به راحتی می‌تواند شرایط را بدتر کرده و هزینه‌های سنگین به بار آورد. پس در قدم اول باید گیر پیش آمده به سرعت شناسایی شود و سپس نسبت به آزاد سازی آن اقدام گردد. [۱۱]

در حال حاضر اطلاعات مربوط به تغییر لایه‌ها با استفاده از نمونه حفاری شده از ته چاه که توسط گل حفاری به سطح زمین می‌رسد و با در دست داشتن ضریب مته حفاری، عمق حفاری و میزان پمپ گل حفاری در چاه، مشخص می‌شود. همچنین از آنجا که چاه‌های حفر شده در فواصل نزدیک و یا در سازند-های مشترک به لحاظ زمین شناسی بسیار شبیه به هم هستند، در هنگام حفر چاه‌های توسعه‌ای و یا توصیفی، اطلاعات چاه‌های همجوار نیز برای تخمین و تعیین عمق راس سازندهای موجود در چاه، که

می‌بایست حفاری شوند، نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس نقاط دقیق تغییر لایه‌های زمین را در لحظه حفاری نمی‌دانیم.

فرضیات

از آنجا که در حین حفاری اطلاعات دقیق بهنگام داخل چاه، کمک شایانی به تحلیل و کنترل شرایط می‌کند داشتن این اطلاعات ضروری می‌نماید. اما داشتن تمام اطلاعات داخل چاه بسیار مشکل و پرهزینه است بنابراین می‌خواهیم با استفاده از اطلاعاتی که در سطح زمین (بالای چاه) با آسانی قابل استحصال است، شرایط داخل چاه را با تقریب خوبی تخمین بزنیم و با داشتن این اطلاعات از بروز مشکل‌گیر کردن رشته حفاری جلوگیری کنیم. برای تحقق این موضوع از تکنیک‌های پردازش سیگنال استفاده می‌کنیم. پارامتر مهمی که در این پژوهش مورد توجه قرار دارد و قابلیت ضبط لحظه‌ای آن در سطح زمین وجود دارد نیروی گشتاور رشته لوله حفاری است که در گزارشات روزانه ثبت می‌شود. پس به نظر می‌رسد با پردازش سیگنال گشتاور و ساخت سری‌های زمانی از آن بتوان به الگویی از مشکلات یاد شده رشته حفاری برسیم.

ساختار پایان نامه

این پژوهش مشتمل بر پنج فصل است. در فصل اول به تعریف مفاهیم اولیه حفاری، اصطلاحات عمومی، مشکلات حفاری در مهندسی نفت و همین‌طور به معرفی منطقه مورد مطالعه و چاه‌هایی که داده‌های پژوهش از آنها تامین شده‌اند، خواهیم پرداخت. از آنجا که طرح این پژوهش بر مبنای بکارگیری و نقش روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در جلوگیری از بروز گیر رشته لوله حفاری، به منظور بهبود فرآیند حفاری چاه‌های نفت است، لذا در فصل دوم چند نمونه از این روش‌ها را بررسی خواهیم کرد و پژوهش‌های پیشین در این زمینه را مرور خواهیم نمود. در فصل سوم مفاهیم شناسایی تغییرات سوزنی شکل و قطعه بندی سیگنال بیان می‌شوند همین‌طور مفهوم بعد فرکتال که در قطعه بندی مورد استفاده

قرار گرفته است، بررسی می‌شود. در فصل چهارم روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج و تجزیه و تحلیل آن در دو بخش ارائه می‌شود. در بخش اول رویکرد پیشنهادی برای تشخیص آنی گیر رشته لوله حفاری و در بخش دوم روش پیشنهادی برای شناسایی مرز لایه‌های زمین در مسیر حفاری چاه نفت، به منظور پیش بینی امکان وقوع گیر رشته لوله حفاری معرفی می‌شود. میزان مقبولیت روش را با بررسی نتایج حاصل مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل پنجم نیز به جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای ادامه کار خواهیم پرداخت.



فصل اول:
حفاری نفت و اصلاحات
پر کاربرد در صنعت نفت

۱-۱ تاریخچه

به چاهی که جهت اکتشاف و استخراج نفت در زمین حفر شود، چاه نفت می‌گویند. در اغلب چاه‌های نفت علاوه بر نفت خام، آب شور و گاز طبیعی نیز وجود دارد. اولین چاه نفت جهان در سال ۳۴۷ میلادی در چین حفر شد. در این چاه برای حفاری از چوب بامبو استفاده گردید و عمق این چاه ۲۴۰ متر بود. تقریباً در تمام چاه‌های نفت مقداری گاز طبیعی وجود دارد، ولی در چاه‌های گاز اثری از نفت دیده نمی‌شود [۱۲].

اولین چاه تجاری نفت در سال ۱۸۵۹ حفاری شد. پیشرفت سریع صنایع، مطرح شدن نفت به عنوان منبع سرشار انرژی، افزایش تقاضای روز افزون آن و احتیاج به چاه‌های نفت بیشتر باعث شد تحول حفاری ضربه‌ای که از سال ۱۸۰۰ آغاز شده بود به تدریج آهنگ سریع‌تری یابد به نحوی که تجهیزات بهتر و کارآمدتری ساخته شود. همچنین نیروی بخار بکار گرفته شد و مهارت‌های فنی حفاران نیز به تدریج بالا رفت. قبل از آن حفاری ضربه‌ای تنها در حفاری چاه‌های آب بکار برده می‌شد. نمونه‌های شکسته شده توسط ماشین گل‌کش از ته چاه خارج می‌شد. دستگاه‌های حفاری ضربه‌ای دستگاه‌های ساده‌ای هستند که برای پژوهش‌های آبیاری بسیار مناسب هستند. از این دستگاه‌ها بیشتر برای چاه‌هایی که در داخل سنگ‌های مقاوم حفر می‌شود، استفاده می‌کنند. اصول کار حفاری ضربه‌ای خرد کردن سنگ‌هاست که این عمل به وسیله مته‌ای به نام مته حفاری انجام می‌شود. مته‌ها بطور منظم از ارتفاع ثابتی روی سنگ فرود می‌آیند. دستگاه مجهز به یک خرک چهار قطبی و یا یک دکل است که مته‌های حفاری به وسیله یک قرقره برگشت روی آن آویزان می‌شوند. در حفاری چاه‌های نفت، در ابتدا از این نوع روش استفاده می‌گردید که کم‌کم با پیشرفت تکنولوژی و در اختیار قرار گرفتن تجهیزات جدیدتر، روش‌های مختلف پدیدار گشت.

عمیق‌ترین چاهی که تاکنون با روش ضربه‌ای حفر شده است در ایالت نیویورک توسط شرکت گاز طبیعی ایالت نیویورک در سال ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۳ به عمق ۱۱۱۴۵ فوت بود که به نفت نرسید. از مزیت‌های این روش، اقتصادی بودن برای تعبیه گمانه‌های با قطر زیاد (تا ۶۰ سانتیمتر) در انواع مواد است. از محدودیت‌های این روش حفاری وجود تجهیزات سنگین و بسیار بزرگ است که در سنگ‌های مستحکم به کندی انجام می‌شود. البته این مساله نیز باید یادآوری شود که نمونه‌گیری به صورت مغزه در این روش امکان‌پذیر نمی‌باشد [۱۲].

ابداع روش حفاری دورانی، جهشی در صنعت حفاری به وجود آورد. در اواخر قرن نوزدهم شکل‌های ساده این روش به کار گرفته شد اما با طی روند تکاملی و پیشرفت سریع در ساخت دکل‌ها، مته‌ها و پمپ‌ها در سال ۱۹۳۰ تقریباً به طور کامل جانشین حفاری ضربه‌ای برای چاه‌های نفت شدند.

این روش در مقایسه با حفاری ضربه‌ای، می‌توانست تا اعماق خیلی بیشتری از زمین نفوذ کند و همچنین از لایه‌هایی از زمین که از سنگ‌های خیلی سخت تشکیل شده نیز بگذرد و در عین حال راندمان پیشرفت کار و بازده آن را به طرز چشم‌گیری افزایش دهد. حفاری یک چاه تا عمق حداکثر ۷۵۰ متر با روش ضربه‌ای بیش از یکسال طول می‌کشد، درحالی که اکنون حفاری یک چاه تا عمق ۶۰۰۰ متر با روش دورانی یک مسئله عادی به نظر می‌رسد، آن هم در مدتی کمتر از یکسال. اکنون با این روش رکورد حدود ۱۲۰۰۰ متر نیز بدست آمده است. در این روش جهت انجام آزمایش‌های مختلف نمونه‌های خاک و سنگ مورد نیاز را می‌توان برداشت نمود و همچنین درون چاه نیز می‌توان آزمایشات برجا را انجام داد. امروزه کاربرد دستگاه‌های حفاری چرخشی بسیار متداول شده است. این دستگاه‌ها را می‌توان در هر نوع زمینی بکار برد. ولی در زمین‌های نرم کاربرد آنها بهتر بوده و سرعت و راندمان بالاتری در این زمین‌ها بدست می‌آید. پیشروی این دستگاه‌ها در داخل سنگ‌های سخت به کندی صورت می‌گیرد. در این روش سر مته

فولادی که متصل به انتهای لوله فولادی است، از سر چاه به کمک موتور، حرکت دورانی می‌کند. گل حفاری از داخل لوله به درون چاه تزریق شده و از اطراف لوله به سر چاه باز می‌گردد [۱۲].

از ویژگی‌های منابع عمیق نفت و گاز، فشار فزاینده آنهاست که خود از مسائل عمده حفاری است. امروزه وسایل دستگاه‌های حفاری و چاه‌های نفت برای مقابله با فشارهای بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ اتمسفر ساخته می‌شوند و تنها تکنیک دورانی امکان حفاری در چنین مخازنی را می‌دهد.

از گل حفاری جهت خنک کردن سر مته استفاده می‌شود. همچنین این گل وظیفه حمل خرده سنگ‌هایی که به وسیله سر مته از ته چاه تراشیده شده است، به سر چاه را نیز بر عهده دارد. از وظایف دیگر گل حفاری جلوگیری از فشار طبقات و لایه‌های سست و ریزش آنها به داخل چاه نیز می‌باشد.

علاوه بردستگاه‌های حفاری خشکی که در دشت‌ها، کوهستان‌ها و بیابان‌ها کار می‌کنند دستگاه‌های حفاری دریایی در آنها به کار می‌پردازند و مته‌های خود را به کف دریا رسانده و حفاری می‌کنند. این دستگاه‌ها به صورت پایه‌دار و یا شناور ساخته می‌شوند. وسایل شناور امروزه توانسته‌اند در آب‌هایی تا عمق ۱۵۰۰ متر حفاری کنند. با استفاده از دستگاه‌های مدرن و پیشرفته تکنیک حفاری انحرافی می‌توان مته حفاری را کنترل و جهت چاه‌های انحرافی را در هر سمت یا زاویه دلخواه تنظیم کرد. امروزه به جز کارکنان صنعت حفاری و نفت، میلیون‌ها نفر در ارتباط با تولید ماشین‌آلات، وسایل و مواد مورد احتیاج این صنعت در صنایع مختلف معدنی، ذوب فلز، ماشین‌سازی، سازه، ابزار دقیق، الکترونیکی، الکتریکی و شیمیایی مشغول به کار هستند.

۱-۲ پیشینه حفاری نفت در ایران

اولین حلقه چاه اکتشافی در ایران در سال ۱۲۸۷ با عمق ۳۶۰ متری توسط شرکت اکتشاف داری در نفتون مسجد سلیمان در استان خوزستان فوران کرد. با این چاه میدان نفتی عظیم مسجد سلیمان کشف

شد که این خود آغاز صنعت نفت ایران و خاورمیانه بود. بعد از این تاریخ عملیات حفاری به منظور توسعه منطقه مسجد سلیمان و نیز اکتشاف منابع جدید نفت گسترش پیدا کرد. در سال ۱۳۰۴ میدان نفتی هفتگل و از آن به بعد میدان‌های گچساران، آغاچاری و پازنان کشف شد. عملیات حفاری تا سال ۱۳۳۲ توسط شرکت نفت ایران و انگلیس انجام می‌شد. پس از کودتای ۲۸ مرداد و انعقاد قرارداد کنسرسیوم، حضور شرکت‌های حفاری به میزان قابل توجهی در ایران افزایش یافت و در سال ۱۳۵۱ با گران شدن قیمت نفت تعداد دکل‌های حفاری به طور ناگهانی رو به فزونی گذاشت [۱۳].

پس از پیروزی انقلاب اسلامی، در سال ۱۳۵۸ از بهم پیوستن بیش از ۳۰ شرکت مختلف، شرکت ملی حفاری ایران تشکیل شد که طبق اساسنامه خود، عهده‌دار اجرای عملیات حفاری در تمام ایران است.

۳-۱ مهندسی حفاری

مخازن زیرزمینی نفت و گاز در اعماق زمین وجود دارند. برای استفاده از این منابع فسیلی باید به این مخازن دسترسی پیدا کرد که حفاری چاه تنها راه است. کندن چاه و رسیدن به هدف مورد نظر را حفاری می‌گویند. حفاری چاه‌های نفت و گاز به علت ریسک بالای عملیات و خطرات موجود جز پیچیده‌ترین، دشوارترین، پرهزینه‌ترین، تخصصی‌ترین و پرچالش‌ترین موانع توسعه یک میدان است. بنابراین به حفاری بسیار اهمیت داده می‌شود. قبل از حفاری با حدس و فرضیات مختلف لایه‌ها و عمق‌ها تعیین می‌شود. زمین شناس، مهندس راه و ساختمان، حفار و کارگران دست به دست هم می‌دهند تا حفاری به طور مداوم انجام شود. چون هزینه دکل و لوازم حفاری خیلی گران است، بنابراین حفاری در سه نوبت و بطور ۲۴ ساعته انجام می‌گیرد.

۴-۱ سازند

به مجموعه‌ی رسوبات سنگ شده‌ای گفته می‌شود که برخی از ویژگی‌های آن‌ها مانند سن، نوع فسیل، جنس، پیوستگی (قطع شدگی در آن دیده نشود و گسلی آن را قطع نکرده باشد)، ضخامت، رنگ و دیگر ویژگی‌ها تا حدودی مشترک است. در این میان سن و نوع فسیل سازند از اهمیت بیشتری برخوردار است. ممکن است برخی از این ویژگی‌ها در یک سازند مشترک نباشد. به طور مثال سازند آسماری در میدان اهواز و مارون دارای ضخامت‌های متفاوتی است اما به دلیل آن که سایر ویژگی‌های سازند همچنان در میدان‌های مختلف یکسان است، آن را یک سازند واحد می‌شناسند. یک سازند ممکن است از یک یا چند لایه‌ی رسوبی تشکیل شده باشد. البته لایه‌های یک سازند کاملاً به هم پیوسته هستند.

۵-۱ دکل حفاری

بطور کلی دکل‌های حفاری به دو دسته ضربه‌ای و چرخشی تقسیم می‌شوند. پیش‌تر در مورد دکل‌های ضربه‌ای توضیحاتی ارائه شد. در این قسمت به توضیح درباره دکل‌های حفاری چرخشی می‌پردازیم:

دکل‌های حفاری چرخشی به دو دسته خشکی^۱ و دریایی^۲ تقسیم می‌شوند. دکل‌های حفاری خشکی به دو دسته ثابت^۳ و سیار تقسیم می‌شوند که دکل‌های سیار به دو دسته تاشو^۴ و پرتابل^۵ تقسیم می‌شوند که دکل پرتابل به طور سرهم بر روی کامیون سوار می‌شود و به محل مورد نظر برده می‌شود سپس بازوهای هیدرولیکی برپا می‌شود این نوع دکل برای حفر چاه‌های کم عمق استفاده می‌شود. امروزه از دکل‌های ثابت کمتر استفاده می‌شود چون این دکل‌ها بعد از حفر چاه در محل باقی می‌مانند، مثل بعضی از چاه‌های اکتشافی در مسجد سلیمان. بیشتر چاه‌های نفت و گاز در خشکی را با دکل‌های تاشو حفر می‌کنند. اجزای دکل به صورت تکه تکه به محل برده می‌شود و در آنجا توسط پین‌هایی به هم متصل می‌شود.

¹ Land

² Marine

³ Conventional

⁴ Jackknife

⁵ Portable Mast

دکل‌های حفاری دریایی بر اساس طرز استقرار آنها در دریا - کف آنها به دریا متصل باشد یا نه - به دو دسته ثابت^۱ و شناور^۲ تقسیم می‌شوند. دکل‌های شناور شامل دو دسته نیمه شناور^۳ و کشتی حفاری^۴ است. دکل‌های نیمه شناور در آب‌های عمیق (عمق حدود ۶۰۰ فوت) که امکان رسیدن پایه‌های دکل به کف دریا وجود ندارد و تلاطم امواج زیاد است استفاده می‌شود. کشتی حفاری یک کشتی بسیار بزرگ است که شامل دکل حفاری و تجهیزات مربوطه می‌شود. حفاری با کشتی در مناطق آرام که تلاطم امواج زیادی ندارند انجام می‌شود.

دکل‌های ثابت دارای پایه می‌باشند و به کف دریا متصل می‌شوند و معمولاً برای آب‌های با عمق کمتر از ۳۵ فوت استفاده می‌شود و شامل سه دسته سکوی Jack up, Barge و platform می‌باشد. دکل‌های Jack up به صورت پایه بالا توسط یدک کش به محل برده شده و پایه‌ها در آن جا به وسیله جک‌های هیدرولیکی پایین برده و به کف دریا متصل می‌شوند. این نوع دکل در مناطق طوفانی که تلاطم امواج زیاد است استفاده می‌شود.

دکل‌های Barge معمولاً در باتلاق‌ها و جاهایی که عمق آب کمتر از ۲۰ فوت است استفاده می‌شود. نوع دیگر دکل‌های حفاری دریایی ثابت سکوی^۵ می‌باشد.

ذکر این نکته ضروری است که وسایل کنترل فوران سرچاهی در دکل‌های دریایی در کف دریا نصب گردیده و توسط لوله‌های انعطاف‌پذیری به خود دکل متصل می‌شوند.

در روش حفاری چرخشی سنگ به وسیله مته خرد می‌شود و به وسیله گل حفاری بالا آورده می‌شود. نیروی لازم جهت چرخش مته توسط وسیله‌ای به نام میز دوار^۶ تامین می‌گردد. میز دوار روی سکوی

¹ Bottom Support

² Floating

³ Semisubmersible

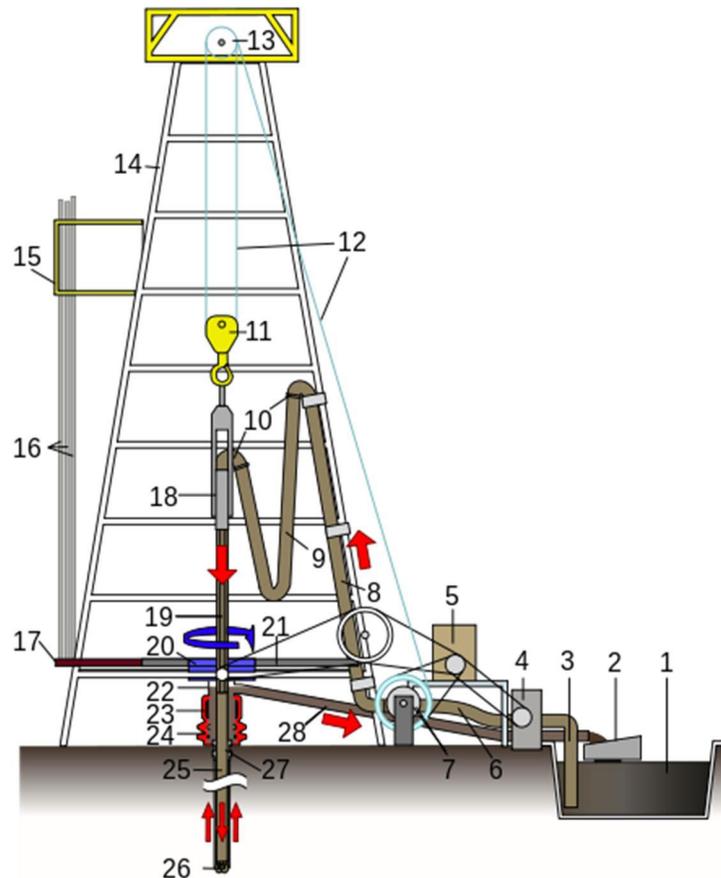
⁴ Drillship

⁵ Platform

⁶ Rotary Table

حفاری^۱ که معمولاً در ارتفاع ۶،۹ و یا ۱۲ متری سطح زمین قرار دارد و انرژی الکتریکی یا مکانیکی دریافتی را به انرژی دورانی تبدیل می‌کند. نیروی دورانی توسط رشته حفاری^۲ به مته^۳ منتقل می‌شود. در ضمن وسایل کنترل فوران سرچاهی زیر سکوی حفاری قرار دارند.

برای حفاری یک چاه از سیستم دورانی با دکل‌های با قدرتهای مختلف برای اعماق متفاوت استفاده می‌شود. در حفاری دریایی (سکوی نفت) نیز قطعات مشابه دکل‌های حفاری هستند با این تفاوت که برای سیستم‌های حفاری در محیط دریایی تغییر یافته‌اند. تجهیزات مرتبط با دکل حفاری تا حدودی به نوع دکل حفاری بستگی دارند، اما آنچه عمومی است در شکل شماره ۱-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱ شمای دکل حفاری نفت

- ¹ Rig Floor
- ² Drill String
- ³ bit

۱. مخزن گل tank
۲. الک های لرزان Shale shakers
۳. مکندۀ پمپ گل Suction line
۴. پمپ گل Mud pump
۵. موتور یا منبع نیرو Motor or power source
۶. شلنگ لرزان Vibrating hose
۷. دستگاه کشنده Draw-works
۸. استند پایپ Standpipe
۹. شلنگ کلی Kelly hose
۱۰. زانویی استند پایپ Goose-neck
۱۱. قسمت متحرک Traveling block
۱۲. خط حفاری Drill line
۱۳. تاج دکل Crown block
۱۴. جرثقیل Derrick
۱۵. رکینگ برد Racking Board (اصطلاحاً "مانکی برد" هم می گویند)
۱۶. استند Stand
۱۷. ست بک Setback
۱۸. سویول Swivel (که در دکل های جدید با "تاپ درایو" جایگزین شده است)
۱۹. کلی Kelly drive
۲۰. میز دوآر Rotary table

۲۱. سطح Drill floor

۲۲. Bell nipple

۲۳. فوران گیر (حلقوی) Blowout preventer (BOP) Annular type

۲۴. فوران گیر (قطع کننده لوله‌ها) Blowout preventer (BOP) Pipe ram & blind ram

۲۵. رشته حفاری Drill string

۲۶. مته حفاری Drill bit

۲۷. درچه چاه یا (دریچه کیسینگ) Casing head or Wellhead

۲۸. خط جریان Flow line

۱-۶ روش‌های حفاری

روش‌های حفاری که برای حفر چاه مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

۱-۶-۱ حفاری ضربه‌ای

حفاری ضربه‌ای^۱ جزء متداول‌ترین و رایج‌ترین روش‌های حفاری در گذشته محسوب می‌شد. مته‌ی حفاری به صورت سقوط آزاد به داخل چاه رها شده و در اثر برخورد با سنگ آن را خرد می‌کند و خرده سنگ‌ها را به وسیله گل‌کش از داخل چاه خارج می‌نمایند که از عمده مشکلات این روش متوقف شدن حفاری در هنگام خارج نمودن خرده سنگ‌ها از داخل چاه است. در حال حاضر از این روش به منظور حفاری چاه‌های آب کم عمق استفاده می‌شود و عملاً برای حفر چاه‌های نفت غیر قابل استفاده می‌باشد.

^۱ Cable Tool drilling

۱-۶-۲ حفاری دورانی

در حفاری دورانی^۱ از مته‌های متنوع زیادی استفاده می‌شود. مته‌ها با حرکت چرخشی روی سنگ باعث خرد شدن و ساییده شدن سنگ می‌شود که انرژی لازم برای به چرخش در آوردن مته و لوله توسط سیستم دورانی تامین می‌گردد. از مهمترین عواملی که باعث بالا بردن سرعت حفاری می‌شود گل حفاری است که در عملیات حفاری همانند خون در بدن انسان می‌باشد که به هنگام چرخش مته از نازل‌ها - سوراخ - موجود بر روی مته خارج شده و کنده‌های حفاری^۲ را به دلیل داشتن خاصیت حمل‌کنندگی به سطح زمین می‌آورد. این عمل باعث بالا رفتن سرعت حفاری می‌شود و از گیر کردن مته در چاه جلوگیری می‌کند. امروزه تقریباً در همه جای دنیا برای حفر چاه‌های نفتی یا گازی از سیستم حفاری دورانی استفاده می‌گردد.

هنگام برنامه‌ریزی برای حفاری چاه نفت، ممکن است از روش‌های متفاوتی استفاده شود که سازند، مخزن، تجهیزات حفاری و نوع چاه مشخص کننده روش حفاری خواهند بود. انواع روش‌های حفاری از نظر مسیر حفاری در شکل شماره ۱-۲ نمایش داده شده است و عبارتند از:

۱-۶-۳ حفاری عمودی

در حفاری عمودی^۳ مسیر چاه به صورت عمود نسبت به سطح زمین انجام می‌شود. اما در هر حفاری یک انحراف از مسیر^۴ وجود دارد که در روش عمودی این انحراف باید خیلی کم و در حد یک تا دو درجه باشد.

۱-۶-۴ حفاری انحرافی

¹ Rotary Drilling

² Cutting

³ vertical drilling

⁴ drift

در حفاری انحرافی^۱ مسیر حفاری نسبت به محور عمود بر سطح زمین دارای زاویه است و حتی ممکن است به هنگام حفاری عمودی در یک قسمت رشته‌های حفاری به دیواره چاه گیر کنند و آزاد کردن آنها ممکن نباشد و اجبار به قطع آن قسمت از لوله‌های حفاری که به دیواره چاه گیر کرده است، باشد و پس از سیمان کردن آن قسمت با استفاده از روش حفاری انحرافی این منطقه را دور زده و دوباره به مسیر حفاری قبلی بازگشت.

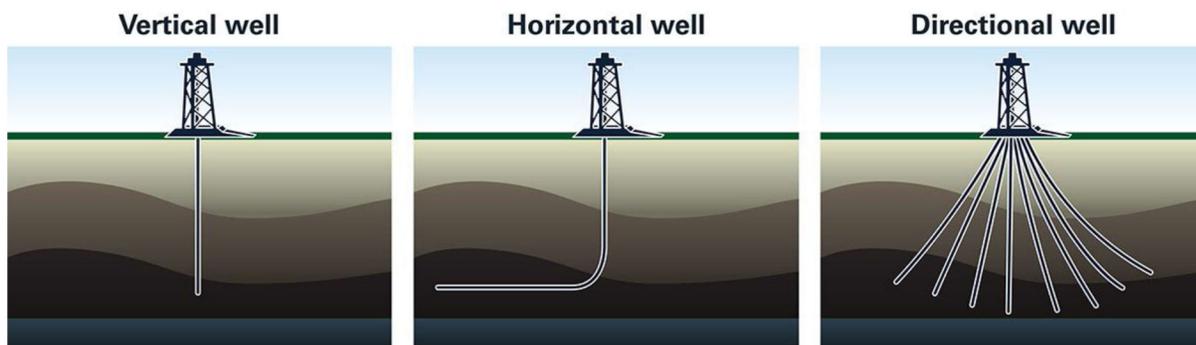
۱-۶-۵- حفاری افقی

در حفاری افقی^۲ با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور چاه حفر انجام می‌شود. این نوع حفاری می‌تواند در سنگ مخزن بسیار باصرفه باشد چرا که سطح تماس مخزن را با چاه افزایش داده و در نتیجه باعث برداشت بیشتر و بهتر از مخزن شود، اما این روش نیاز به تکنولوژی بالایی دارد.

۱-۶-۶- حفاری چند جانبه

حفاری چند جانبه^۳ بیشتر در چاه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر سطح دریا^۴ یا همان سکوه‌های نفتی و گازی دریایی قرار دارند. در این روش از یک سکو در جهت‌های مختلف، حفاری انجام می‌شود به صورتی که همزمان می‌توان چندین نقطه در یک مخزن یا مخازن مختلف را حفاری کرد.

¹ Slant well
² Horizontal drilling
³ Multilateral Drilling
⁴ offshore

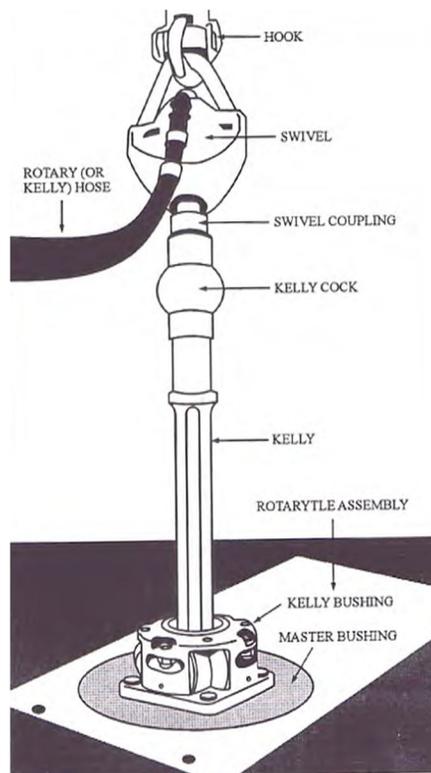


شکل ۱-۲) انواع حفاری از حیث مسیر دسترسی به مخزن

۷-۱ رشته حفاری

بین مته و سطح، جایی که گشتاور تولید می‌شود، رشته حفاری وجود دارد. در حالی که رشته حفاری وسیله‌ای برای انتقال نیرو است، عملکردهای دیگری نیز دارد. به طور کلی رشته حفاری شامل لوله‌های حفاری (لوله‌های حفاری معمولی و لوله‌های حفاری سنگین) و متعلقات تحتانی رشته حفاری^۱ می‌باشد. به این قسمت‌های اصلی باید هرزگرد^۲، Kelly, Kelly Sever Sub را نیز اضافه نمود. در شکل شماره ۱-۳ اجزای رشته حفاری قابل مشاهده است.

^۱ BHA
^۲ Swivel



شکل (۱-۳) شمای رشته حفاری و اجزای آن

متعلقات تحتانی رشته حفاری شامل قسمت‌های زیر است:

- ۱ - مته و طوق مته^۱
- ۲ - ضربه گیر^۲
- ۳ - تراشنده‌ها^۳
- ۴ - ضربه کوب‌ها^۴
- ۵ - تثبیت کننده‌ها^۵
- ۶ - لوله‌های سنگین^۱

¹ Bit Sub
² Shock Sub
³ Reamers
⁴ Jar
⁵ Stablizers

۸-۱ لوله حفاری

قسمت عمده رشته حفاری را لوله حفاری^۲ تشکیل می‌دهد که شامل بدنه و دو محل اتصال (پین و باکس) جهت اتصال^۳ به لوله‌های بالایی و پایینی می‌باشد. لوله‌هایی که مستقیماً بالای لوله‌های وزنه بسته می‌شوند دارای عمر مفید کمتری در قیاس با دیگر لوله‌ها می‌باشند. بنابراین محل لوله‌های حفاری در رشته حفاری مرتباً باید عوض گردد.

۹-۱ گیر رشته لوله

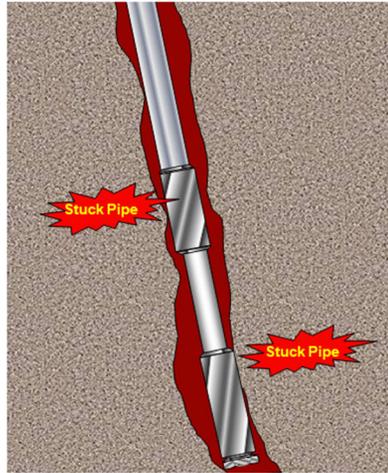
تعلیق روند برنامه ریزی شده چاه، زمانی که نیروهای درون چاهی مانع بیرون کشیدن رشته حفاری یا ابزار آلاتی که به منظور انجام عملیات مشخص در مدت زمان محدود و معینی درون چاه رانده شده‌اند را گیر کردن رشته لوله^۴ حفاری می‌گویند [۵]. متداول‌ترین حادثه در حفاری گیر کردن رشته‌های حفاری دیواره چاه است که به آن *stucking* می‌گویند. گیر رشته‌ی حفاری یکی از بزرگترین مشکلاتی است که ممکن است در حین حفاری اتفاق بیافتد و هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند. در شکل شماره ۴-۱ وضعیت گیر لوله مشخص شده است

¹ Drill Collars

² Drill Pipe

³ Connection

⁴ Stuck pipe



شکل ۱-۴) وضعیت گیر رشته لوله حفاری

۱-۱۰ اصطلاحات مهم و متداول در صنعت نفت

۱-۱۰-۱ گشتاور

نیروی حاصل از دوران و یا نیروی دورانی حرکت را گشتاور^۱ می‌نامند که با یکای پوندفوت شناخته می‌شود. به بیان دیگر مقاومت رشته حفاری در مقابل چرخیدن گشتاور نام دارد که در اثر اصطکاک، اصطکاک در بیرینگ‌های مته و یا در اثر اصطکاک بین لوله‌های حفاری و دیواره چاه به وجود می‌آید.

۱-۱۰-۲ سر مته

سر مته‌های مختلفی در حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند که دارای اندازه‌ها و قطرهای مختلف می‌باشند. دارای انواع مختلفی مانند کاج‌دار، الماس طبیعی و مصنوعی است که هر کدام کاربردها، مزیت‌ها و معایب خاص خود را دارند.

۱-۱۰-۳ سیال حفاری

برای عملیات حفاری وجود سیال حفاری ضروری می‌باشد. بیشتر سیالات حفاری به صورت مایع هستند. ضروری‌ترین وظایف سیال حفاری عبارت است از:

¹ torque

- خنک کردن و روان کردن مته و رشته حفاری
- تمیز کردن کف چاه
- بالا آوردن کنده‌های حفاری از ته چاه
- بالانس کردن فشار سازند
- حمایت از دیواره چاه با تشکیل اندود گل

۱-۱۰-۴ سیستم کنترل چاه

گل حفاری که به داخل چاه وارد می‌شود اولین سد جهت جلوگیری از فوران چاه می‌باشد. فوران چاه گاهی به صورت فوران گاز، نفت و یا آب نمک همراه با غرش شدید در هوا می‌باشد. در صورتی که گاز وجود داشته باشد احتمال آتش گرفتن چاه و ذوب شدن دکل وجود دارد. فوران چاه ممکن است به قیمت جان پرسنل تمام شود. علاوه بر آن میلیون‌ها دلار هزینه از بین خواهد رفت و همچنین باعث آلودگی شدید هوا می‌شود. در واقع چاهی که همواره از گل پر باشد و آن گل نیز دارای وزن کافی باشد هرگز فوران نخواهد کرد. اما در بعضی از موارد سیالات سازند با ورود به داخل گل و کاهش وزن گل احتمال وقوع kick را فراهم می‌کنند. kick دارای نشانه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال سطح گل موجود در مخازن افزایش پیدا می‌کند یا در حالی که پمپ‌ها خاموش هستند گل از چاه خارج می‌شود. در واقع فوران‌گیر^۱ چیزی نیست جز شیرها و دریچه‌های بزرگی که امکان کنترل از راه دور آنها وجود دارد. وقتی این شیرها بسته شود پوشش بسیار قدرتمندی را بر روی چاه ایجاد کرده و از خارج شدن سیالات جلوگیری می‌کند.

^۱ BOP

۱-۱۰-۵ سرعت حفاری^۱

پارامتر ROP ضریب نفوذ مته در زمین را مشخص می‌کند و به عواملی از جمله استحکام سنگ، خلل و فرج دار بودن سنگ^۲، کانی شناسی سنگ و نیز مته به کار رفته برای حفاری بستگی دارد.

۱-۱۰-۶ قلاب^۳

از این ابزار در سیستم‌های میزهای گردان استفاده می‌شود و برای آویزان کردن traveling block مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۱۰-۷ وزن روی مته^۴ و وزن روی هوک^۵

وزن روی مته در واقع عبارت است از اختلاف وزن روی قلاب زمانی که به ته چاه^۶ نرسیده و وزن روی قلاب در حالت حفاری. برای اینکه مته بهتر حفاری نماید باید بر اساس نوع آن مته وزن مناسب روی آن قرار داده شود که معمولاً در برنامه‌ریزی چاه این مطلب ذکر می‌شود..

۱-۱۰-۸ پمپاژ گل^۷

پمپ‌ها باید به گونه‌ای کار کنند که گل را با حداقل انرژی و بهترین نرخ جریان برای بدست آوردن بهترین هیدرولیک وارد چاه نمایند. طراح چاه برای هر قطر از چاه میزان جریان گل را معین می‌کند و حفار نیز سعی می‌کند تا پمپ‌ها را به گونه‌ای تنظیم نماید تا به میزان جریان گل خواسته شده برسد.

¹ rate of penetration

² porosity

³ hook

⁴ WOB

⁵ WHO

⁶ off bottom

⁷ pump rate

۱-۱۰-۹ لوله‌های جداری

لوله‌های جداری^۱ وظایف مختلفی را برعهده دارند به عنوان مثال جدا کردن سازندهای مختلف از یکدیگر و جلوگیری از امتزاج سیالات سازندهای مختلف. این لوله‌های جداری توسط سیمان به دیواره چاه می‌چسبند و از بالا نیز نگه داشته می‌شوند.

۱-۱۰-۱۰ نیروی کشش قلاب^۲

به مجموع نیرویی گفته می‌شود که قلاب را به طرف پایین می‌کشد. این نیرو شامل وزن رشته حفاری در هوا، حلقه‌های مته و تجهیزات جانبی آن است. البته این نیرو توسط نیروهای کاهش دهنده وزن همچون اصطکاک جداری با دیواره چاه و نیروهای شناور در طول رشته حفاری ناشی از غوطه‌وری در گل حفاری، کاهش می‌یابد.

۱-۱۰-۱۱ سرعت چرخش مته^۳

RPM پارامتر اندازه‌گیری فرکانس چرخش، حول یک محور ثابت در یک دقیقه است. از آن به عنوان یک پارامتر برای اندازه‌گیری سرعت چرخش یک جز مکانیکی مانند رشته حفاری یا به طور خاص، مته استفاده می‌شود.

۱-۱۰-۱۲ ضربه کوب

هرگاه در حین عملیات حفاری یا تکمیلی چاه رشته حفاری درون چاه گیر کند برای آزاد سازی آن در قدم اول از ضربه کوب استفاده می‌شود. جار یک شوک کنترل شده رو به بالا یا پایین در طول رشته حفاری جهت آزاد سازی آن وارد می‌کند.

¹ Casing

² Hook load

³ Revolutions per minute

۱-۱۰-۱۳ زمان تاخیر^۱

به مدت زمانی که طول می کشد گل از نوک مته به بالا برسد را لگ تایم گویند. در واقع چون کنده‌های حفاری به وسیله گل حفاری بالا می آیند این زمان باید محاسبه شود تا لایه‌های زمین را بتوان تخمین زد.

۱-۱۰-۱۴ فشار

فشار گل حفاری^۲ در داخل رشته لوله حفاری با این پارامتر اندازه گیری می شود.

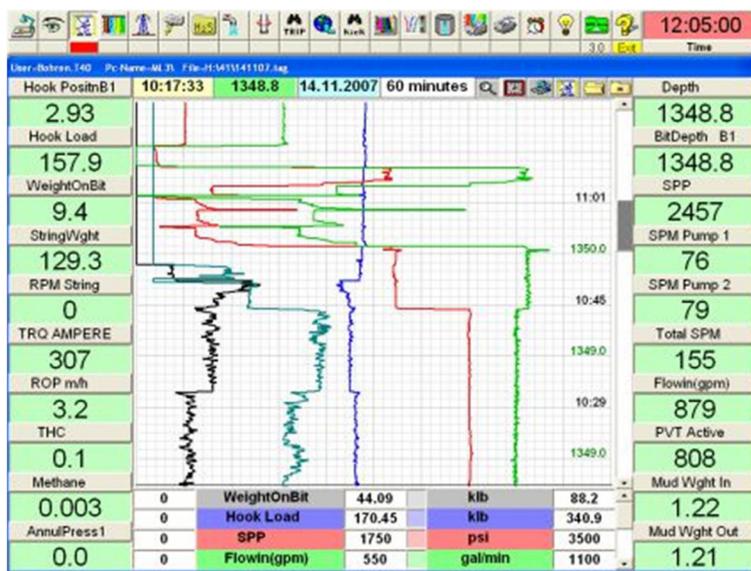
۱-۱۱ نمودار گیری

نمودارگیری^۳ از گل حفاری عبارت از آنالیزهای پیوسته همزمان با حفاری بر روی سیال حفاری و کنده‌های سازندهای حفاری شده، نظارت همه جانبه بر عملیات حفاری و نیز انجام محاسبات فنی و تخصصی و تحلیل‌های سر چاهی است که نهایتاً اطلاعات بسیار با ارزشی را از وضعیت زیر سطحی لایه‌های زمین و نیز وضعیت عملیات حفاری بر روی دکل را به ارمغان دارد. واحد نمودارگیری با استفاده از سنسورهای سطحی که در قسمت‌های مختلف دکل و مخازن نصب شده، تمامی پارامترهای مهم مورد نیاز را ثبت کرده و با استفاده از مانیتورهای مختلف در اختیار افراد مورد نیاز قرار می‌دهند. حجم مخازن گل، محاسبه ضربان پمپ‌های گل، فشار، عمق، وزن سیال حفاری، دمای سیال حفاری، وزن رشته حفاری، گشتاور رشته حفاری و دوران رشته حفاری داده‌های بدست آمده از این فرآیند است. شکل شماره ۱-۵ نمونه ای از خروجی این برنامه را نشان می‌دهد.

¹ Lag time

² spp

³ Mud Logging



شکل ۱-۵) گزارش برنامه نمودار گیری یک چاه

۱۲-۱ مشکلات حفاری نفت

مهم‌ترین مشکلات در حین حفاری چاه‌های نفت عبارتند از:

۱-۱۲-۱ ورود سیالات از سازندها به درون چاه

گلی که به داخل چاه فرستاده می‌شود دارای فشار مشخصی است که با استفاده از این فشار، سازندها و سیالات موجود در این سازندها را کنترل می‌کنند. اگر فشار گل کمتر از فشار سازند باشد، باعث می‌شود سیالات موجود در این سازندها به درون چاه نفوذ کنند. اگر این سیال گاز یا بخار آب باشد بسیار خطرناک است؛ حتی اگر سیال وارد شده مایع باشد نیز زیان آور است و باعث تغییر ماهیت گل می‌شود و می‌تواند گل را از بین ببرد. به پدیده وارد شدن سیالات از سازندها به داخل گل blow out گویند.

۱-۱۲-۲ از دست رفتن گل

این فرآیند عکس فرآیند blow out است؛ یعنی فشار گل به حدی زیاد است که گل حفاری به داخل سازند نفوذ می‌کند و باعث هدر رفتن گل حفاری^۱ می‌شود. اگر این امر در لایه‌ی مخزن اتفاق بیافتد، باعث پرشدن خلل و فرج مخازن نفت و گاز با بخش‌های جامد گل حفاری که در اصطلاح گل کبره‌ای^۲ نام دارد شده و از میزان بهره‌دهی مخزن کاسته می‌شود. در بهترین حالت از دست رفتن گل حفاری باعث ایجاد خسارت مالی می‌شود. باید یادآور شد که گل حفاری پیچیده‌ترین سیالی است که بشر به آن دست یافته است و ماده ارزان قیمتی نیست.

۱-۱۲-۳ گیر کردن ابزار حفاری درون چاه

ممکن است در حین حفاری یا امور مربوطه که درون چاه انجام می‌شود، برخی از ابزارهای حفاری درون چاه گیر کرده و یا به درون آن پرتاب شوند. متداول‌ترین این حوادث گیر کردن رشته‌های حفاری به دیواره چاه است که به آن sticking می‌گویند. همچنین ممکن است قطعه‌ای به درون چاه پرتاب شود که در این صورت باید با روش‌ها و ابزارهای مانده یابی^۳ آن قطعه را خارج کرد.

۱-۱۲-۴ ریزش لایه‌ها درون چاه

در حین حفاری ممکن است به لایه‌هایی برسیم که بسیار سست هستند و به درون چاه ریزش کنند، یا ممکن است لایه‌ای که حفاری می‌کنیم از جنس رس باشد و در تماس با آب گل حفاری با آن سازند، افزایش حجم پیدا کند و چاه را مسدود کند. روشی که برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود این است که تا جایی که امکان دارد از گلی با پایه‌های روغنی استفاده شود و سازند نیز سریعاً توسط لوله جداری پوشانده شود. اما اگر سازند، سست باشد به درون چاه ریزش می‌کند و ممکن است باعث مدفون شدن مته حفاری

¹ Mud loss

² mud cake

³ Fishing

نیز شود. روشی که برای جلوگیری از این مشکل پیشنهاد می‌شود این است که گل حفاری را طوری طراحی کنند که در محل سازند سست، گل کبره زیادی ایجاد شود و مانع ریزش سازند شود.

۱-۱۳ گزارش روزانه

در تمامی دکل‌های حفر چاه نفت برای ثبت پارامترهای حفاری جهت استفاده آنها در مراحل بعدی و زیر نظر گرفتن وضعیت موجود ته چاه می‌بایست گزارشات منظم تهیه گردد. این گزارشات بر اساس لحظه ثبت، ساعت و روز تهیه می‌گردد تا در صورت وقوع حوادث مانند گیرکردن رشته لوله حفاری، هرزروی سیال حفاری و تغییر سازند برای گروه‌های مختلفی که در منطقه حضور دارند استفاده گردند. از روی این گزارشات می‌توان برای پیش‌بینی پارامترهای حفاری برای برنامه‌ریزی در چاه‌های مجاور استفاده می‌شود.

۱-۱۴ معرفی میدان نفتی مورد مطالعه

میدان‌های نفتی ایران مشتمل بر مخازن، حوضه‌ها و میدان‌های نفتی واقع در قلمرو خاکی و آبی کشور ایران است. برخی از این میادین در حال حاضر فعال و تعدادی نیز غیرفعال و یا در حال توسعه می‌باشند. مالکیت کلیه میادین نفت و گاز ایران، در اختیار شرکت ملی نفت ایران است، که هم‌اکنون عملیات تولید از این میادین توسط چهار شرکت تابعه آن؛ بنام‌های شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، شرکت نفت فلات قاره ایران، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران و شرکت نفت و گاز اروندان انجام می‌گیرد. بر اساس آمار رسمی منتشر شده وزارت نفت ایران مجموع ذخایر استحصال شدنی نفت خام و میعانات گازی ایران بیش از ۱۵۴۰۸ میلیارد بشکه برآورد می‌شود [۱۴]. که این میزان معادل ۱۰٪ درصد از مجموع کل ذخایر نفت خام موجود در جهان محسوب می‌شود [۱۵].

بزرگترین میدان نفتی ایران میدان نفتی اهواز است. این میدان با ذخیره درجای ۶۵.۵ میلیارد بشکه و ذخیره قابل برداشت ۳۷ میلیارد بشکه، به‌عنوان سومین میدان بزرگ نفتی جهان شناخته می‌شود. میدان نفتی گچساران با ذخیره درجای ۵۲.۹ میلیارد بشکه و ذخیره نهایی ۲۳.۷ میلیارد بشکه نفت خام، دومین میدان نفتی ایران به شمار می‌آید. سومین میدان نفتی کشور، میدان نفتی مارون است، که معادل ۴۶.۷ میلیارد بشکه نفت خام، در مخازن آسماری، بنگستان و خامی آن جای دارد. میدان نفتی آزادگان با ذخیره درجای ۳۲ میلیارد بشکه، چهارمین میدان نفتی ایران و بزرگترین میدان مشترک کشور می‌باشد. این میدان در لایه اصلی خود یعنی سروک، با میدان مجنون عراق مشترک است. میدان نفتی آغاچاری با در اختیار داشتن ۳۰.۲ میلیارد بشکه نفت خام درجا، پنجمین میدان نفتی ایران محسوب می‌شود. چهار میدان اهواز، مارون، آغاچاری و گچساران در مجموع بیش از ۲ میلیون بشکه از ظرفیت تولید روزانه نفت کشور را به خود اختصاص می‌دهند. ظرفیت تولید نفت خام میدان آزادگان نیز بطور میانگین معادل ۴۰ هزار بشکه در روز است. میدان نفتی اهواز در استان خوزستان و در جنوب غربی ایران می‌باشد. این میدان، تاقدیسی به طول ۶۷ و عرض ۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود که از شمال با میدان رامین، از شرق با میدان مارون، از جنوب با میادین شادگان و منصوری و از غرب با میادین آب تیمور و سوسنگرد مجاور است. این میدان که دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی (به موازات رشته کوه زاگرس) می‌باشد، دارای سه مخزن آسماری، بنگستان و خامی است. در افق آسماری به صورت دو تاقدیس مجزا از هم (زین اسبی) در می‌آید. سازند آسماری در میدان نفتی اهواز در جنوب فروافتادگی دزفول شامل بخش ماسه سنگی اهواز می‌باشد. مخزن بنگستان از جنس آهک‌های رستی با تخلخلی کمتر از مخزن آسماری و مخزن خامی از جنس آهک، شیل و انیدرت می‌باشند. که از مخازن آسماری و بنگستان روزانه حدود ۸۰۰ هزار بشکه نفت استخراج می‌شود. میزان نفت درجا در ۴ میلیارد بشکه است. همچنین میزان تولید مخزن اهواز- بنگستان ۳۱ میلیارد بشکه و میزان نفت قابل برداشت از آن ۳ انباشتی از این مخزن ۹۳۵ میلیون

بشکه اعلام شده است. مخزن بنگستان شامل دو مخزن عمده به نام ایلام و سروک است. هم اکنون میزان تولید از مخزن ایلام ۱۲ درصد و میزان تولید از مخزن سروک ۸۸ درصد است.

میدان نفتی یاران یکی از میادین نفتی ایران است که در فاصله ۱۳۰ کیلومتری غرب اهواز در نقطه صفر مرزی با عراق قرار دارد و با میدان مجنون عراق، در مخزن نفتی مشترک است. طول این میدان نفتی ۴۸ کیلومتر و عرض آن ۲۵ کیلومتر است. میزان نفت درجای میدان یاران در حدود ۲۲ میلیارد بشکه برآورد می‌شود. سازندهای سروک از میدان نفتی یاران مخزن نفتی آن می‌باشد. هم‌اکنون از چاه یاران ۱ روزانه حدود ۱۵۰۰ بشکه نفت با درجه خلوص ۲۳ تولید می‌شود، نفت تولیدی با تجمیع با نفت میدان آزادگان، به واحد بهره‌برداری اهواز ۳ ارسال می‌گردد. پروژه طرح توسعه این میدان هم‌اکنون در حال اجرا می‌باشد. پیمانکار اصلی این طرح شرکت نفت و گاز پرشیا است. تولید نهایی این میدان به ۳۰ هزار بشکه در روز خواهد رسید [۱۶].



فصل دوم:

مروری بر پژوهش‌های انجام

گرفته درباره گیر رشته لوله

حفاری با تکنیک‌های هوش

مصنوعی

همان‌طور که در فصل اول بیان شد، مشکلات حفاری باعث بالارفتن هزینه و زمان حفاری می‌شوند. هوش مصنوعی قادر به حل مسائل بسیار پیچیده صنایع نفت است و به عنوان ابزاری سودمند می‌تواند به مهندسين نفت در حل برخی از مشکلات و مسائل اساسی مانند تشخیص گیر رشته لوله حفاری و جلوگیری از وقوع آن، یاری دهد. این ابزار جدید می‌تواند به مهندسين و محققين در شناسایی مشکلاتی که در مهندسی نفت به وسیله روش‌های متداول محاسباتی قابل حل نبودند، کمک کند. هوش مصنوعی یکی از جدیدترین ابزارهایی می‌باشد که راه خود را در صنعت نفت و گاز به عنوان یک روش تحلیلی جایگزین یافته است. در این فصل، مطالعات انجام گرفته در زمینه مشکل گیر رشته لوله حفاری، علی-الخصوص با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی، جمع آوری شده و مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در گذشته چندین روش در زمینه گیر لوله حفاری ارائه شده‌اند. بعضی از این روش‌ها زمانی موثر هستند که گیر لوله اتفاق افتاده باشد. این روش‌ها انفعالی هستند که در گذشته مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات دیگری در این زمینه در جهت پیش بینی گیر لوله انجام شده‌اند که به روش‌های فعال یا پیش-بینی‌کننده شناخته می‌شوند. این روش‌ها در جهت جلوگیری از رخ دادن گیر لوله حفاری به کار برده می‌شوند.

۱-۲ پیشینه مطالعات

وارن^۱ در سال ۱۹۴۰ یک مقاله پایه در مورد علل وقوع، جلوگیری و رفع گیر لوله نوشت و در آن علل اصلی گیر کردن رشته لوله حفاری را سیال حفاری و مشکلات آن، چسبیدن لوله حفاری به جداره و عوامل زمین شناسی معرفی کرد [۱۷].

¹ warren

تاکنون مطالعات بسیاری برای پیش بینی و تشخیص گیر رشته لوله حفاری معرفی شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد:

- تجزیه و تحلیل‌های آماری
- استفاده از رگرسیون منطقی
- شبکه‌های عصبی
- منطق فازی
- ماشین‌های بردار پشتیبان
- روش یادگیری فعال
- روش مبتنی بر مورد

در سال ۱۹۸۷، کینگزبوک^۱ و همکارانش به بررسی عوامل اصلی گیر لوله حفاری در چاه‌های خلیج مکزیک پرداختند. آنها ۱۳۱ چاه دارای مشکل گیر حفاری، را بررسی آماری نمودند و در مجموع ۲۲۱ پارامتر را استخراج کردند و با استفاده از آن توانستند به پیش بینی امکان گیر کردن لوله بر اساس تحلیل آماری پارامترهای حفاری در چاه‌های اطراف پردازند. تحقیقات آنها نشان داد که با استفاده از الگوهای حاکم بر چاه‌های سالم - دچار مشکل گیر لوله نشده باشند - می‌توان برنامه‌های قابل اتکایی برای چاه‌های آینده داشت که امکان مشکل گیر لوله را کمتر کند [۱۸].

در سال ۱۹۹۰ بردلی^۲ و همکارانش مقاله‌ای در مورد بررسی مشکل گیر لوله در چاه‌های نفت شمال و خلیج مکزیک منتشر کردند که در آن از اطلاعات ۹۸ چاه برای بررسی این مشکل پرداختند. آنها علت ۷۰ درصد از گیر لوله را علل مکانیکی تشخیص دادند و نشان دادند که ۵۰ درصد از گیر لوله هنگامی رخ می‌دهد که رشته حفاری ثابت و بدون چرخش است و فقط مته می‌چرخد [۱۹].

¹ Kingsborough

² Bradley

در سال ۱۹۹۱، جاردین^۱ و همکارانش به بررسی عوامل دخیل در گیر لوله پرداختند و زنگ خطری برای جلوگیری از گیر لوله طراحی کردند که بر اساس دو پارامتر نیروی کششی پایین مته^۲ و گشتاور^۳ طراحی شده بود [۲۰].

در سال ۱۹۹۴ بیگلر^۴ و کوهن^۵ یک بانک اطلاعاتی از چاه‌های خلیج مکزیک ایجاد کردند که شامل ۷۳ چاه بدون مشکل گیر و ۵۴ چاه دارای مشکل گیر رشته لوله‌ها بود. مبنای مطالعه آن‌ها تحلیل‌های اولیه مقایسه‌ای برای ۲۲ پارامتر حفاری بود. این تحلیل‌ها با تلفیق متغیرهای حفاری انجام گردید. آن‌ها نه تنها احتمال گیر لوله‌ها را پیش‌بینی کردند، بلکه توانستند مکانیسم آن را نیز شناسایی کنند [۲۱].

در سال ۱۹۹۴ هوارد^۶ و گلوور^۷ با استفاده از تکنیک آماری تفکیک چند متغیره^۸ توانستند مدل‌های پیش-بینی گیر رشته لوله‌ها را ترقی بخشند. این کار را با آزمایش در ۱۰۰۰ چاه خلیج مکزیک و دریای شمال انجام شد. آن‌ها در ابتدا داده‌ها را به سه دسته شامل بدون گیر رشته لوله، گیر بر اساس اختلاف تفاضل فشار و گیر مکانیکی تقسیم کردند و دقت ۵۴ درصد بدست آوردند. سپس با تغییر دسته‌ها به دو حالت چاه سالم و چاه دارای مشکل گیر رشته لوله، دقت مدل خود را تا ۸۰ درصد بالا بردند. این مدل‌ها برای جلوگیری از گیر لوله‌ها یا انجام عملیات آزاد سازی استفاده می‌شد [۲۲].

در سال ۱۹۹۴ ویزنی^۹ از روش رگرسیون منطقی^{۱۰} برای شناسایی و پیش‌بینی گیر رشته لوله حفاری استفاده کرد. وی دو مدل احتمالاتی برای پیش‌بینی گیر لوله، یکی برای چاه‌های حفر شده با گل پایه

¹ Jardine

² Hook load

³ torque

⁴ Biegler

⁵ Kuhn

⁶ Howard

⁷ Glover

⁸ Multi variate discrimal analysis

⁹ wisnie

¹⁰ Logistic Regression

روغنی و دیگری برای چاه‌های حفر شده با گل پایه آبی طراحی کرد و از روش مونت کارلو^۱ برای حل مساله استفاده کرد و توزیع نمونه‌ها را نرمال در نظر گرفت. پایگاه داده شامل اطلاعات ۳۱۱ چاه حفر شده در خلیج مکزیک بود. وی اعلام کرد مقبولیت روش تنها برای مواقعی بالا است که توزیع نمونه‌ها واقعا نرمال باشد و پیشنهاد بررسی استفاده از رگرسیون منطقی را برای توزیع‌های غیر نرمال هم داد [۲۳].

در سال ۲۰۰۷، یاریم^۲ و همکارانش ابتکار یک شرکت^۳ را برای حل مشکل گیر لوله شرح دادند و نشان دادند که ۵۴ درصد از حوادث گیر لوله در زمان چرخش برای بیرون کشیدن رشته حفاری از چاه رخ می‌دهد. آن‌ها با استفاده از روش آماری و بررسی تمام گیر رشته لوله حفاری پیش آمده در شرکت هالیبرتون، نشان دادند که برای اجتناب از گیر لوله تمرکز گروه باید بر هندسه چاه، فشار دیفرانسیل و شرایط سازند و گل حفاری باشد. سپس یک دوره آموزشی برای مهندسان و پرسنل عملیات شرکت برگزار کردند و به آموزش همین نکات به آن‌ها پرداختند. سپس نشان دادند که با تمرکز بر این نکات در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ نسبت به مدت زمان مشابه سال‌های قبل، ۲۵٪ کمتر مشکل گیر لوله پیش آمد و هزینه حدود ۲۰۰ هزار دلار کاهش یافت [۲۴].

در سال ۲۰۰۶، سیرووری^۴ و همکارانش برای پیش‌بینی و جلوگیری از گیر لوله حفاری شرکت هالیبرتون از شبکه‌های عصبی استفاده کردند. روش آن‌ها فقط به گیر لوله به دلیل نیروهای تفاضل فشاری پرداخت. آن‌ها از یک شبکه پیشخور^۵ چهار لایه برای تجزیه و تحلیل مکانیزم گیر لوله حفاری استفاده کردند. در لایه اول، ده پارامتر پردازش شده به شبکه عصبی وارد می‌شد و سپس در طی دو لایه مخفی پردازش شده و در لایه آخر با دو خروجی صفر و یک که مقادیر نمادینی از حفاری دچار گیر لوله و حفاری بدون گیر لوله است، مشخص می‌گردید. پارامترهای ورودی شامل مقادیر ثبت شده در حین حفاری بود که قبل از

¹ Monte Carlo method

² Yarim

³ schlumberger drilling company

⁴ Siruvuri

⁵ Feed forward

ارائه به شبکه عصبی، پیش پردازشی برای حذف داده‌های پرت و نرمال سازی آنها انجام شده بود. برای آموزش شبکه عصبی از ۵۰۰۰ داده استفاده شد و برای وزن دهی به گره‌ها از روش گرادیان نزولی استفاده گردید. برای بررسی نتایج روش، آن‌ها هفت نوع خطا را محاسبه کردند و که متوسط مربعات خطا^۱ کمترین مقدار خطای ثبت شده برای روش آنها بود. این مقاله از دو پایگاه داده مجزا بر اساس گل حفاری استفاده شده، گل پایه آب و گل پایه روغنی، استفاده کرد و توانست نتایج قابل قبولی با درصد خطای پایین ارائه دهد [۲۵].

سال ۲۰۰۹ موریلو و همکارانش از منطق فازی برای پیش بینی و پیشگیری وقوع گیر رشته لوله‌های حفاری استفاده کردند. آنها برای دسته بندی پارامترهای حفاری، نوع گل، انواع گیر رشته لوله و روش‌های مختلف حفاری از منطق فازی استفاده کردند. سپس برای پیش‌بینی از یک شبکه عصبی استفاده کردند [۲۶].

در سال ۲۰۱۲، پورداد و همکارانش از روش ماشین بردار پشتیبان برای دسته بندی پارامترهای حفاری در سه گروه گیر مکانیکی، گیر دیفرانسیل و بدون گیر استفاده کردند. پارامترهای مورد استفاده آنها گل حفاری و مشخصات آن بود. آنها مدلی ارائه دادند که بتواند انواع گیر رشته لوله را شناسایی و به انواع آن دسته بندی کند تا بتواند بهترین روش حل مشکل را بر اساس داده‌های پیشین ثبت شده، پیشنهاد دهد. یک ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات استفاده شد که برای رسیدن به نتیجه بهینه، کرنل‌ها و ضرایب مختلف را شامل می‌شد. در نهایت تابع گاوسی شعاعی^۲ به عنوان بهترین کرنل انتخاب شد. آنها داده‌های مورد استفاده را از میداین نفتی ایران انتخاب و دقت روش را ۹۵ درصد عنوان کردند [۲۷].

سال ۲۰۱۲ حصیمی و همکارانش به پیش بینی امکان گیر رشته لوله حفاری با شبکه‌های عصبی پرداختند. شبکه طراحی شده آنها یک پرسپترون تک لایه بود که به روش پس انتشار خطا آموزش دید. از

¹ Mean squared error (MSE)

² Gaussian radial basis function

۵۰۰ داده با ۳۵ پارامتر استفاده شد که داده ها از میدان کیش بدست آمده بود و برای معیار ارزیابی از مربع خطا استفاده شد. در این مطالعه دلایل گیر رشته لوله حفاری، اختلاف فشاری، تنگی چاه، هیدرولیک ضعیف گل حفاری، آرایش نامناسب رشته حفاری، کیک گل حفاری و تاثیرات عوامل زمین شناسی معرفی شد [۵].

سال ۲۰۱۲ منظمی و همکارانش به پیش‌بینی گیر رشته لوله حفاری با شبکه عصبی پرسپترون تک لایه پرداختند. آن‌ها صرفاً گیر رشته لوله در چاه‌های جهت‌دار میدان اهواز را مورد بررسی قرار دادند. در مجموع ۴۸ چاه مورد بررسی قرار گرفت که ۳۳ آن‌ها ۷۲ بار در طی حفاری گیر کرده بودند. ۱۱ پارامتر ورودی به شبکه انتخاب شد که اصلی‌ترین عوامل گل حفاری، پارامترهای مکانیکی رشته لوله و نقطه انحراف حفاری معرفی شد.

دو سازند آغاجاری و گچساران مورد بررسی قرار گرفت و عنوان شد که پارامترها برای این میدان تنظیم شدند. در نهایت دقت شبکه ۹۴ درصد اعلام شد [۲۹].

در سال ۲۰۱۳، نراقی و همکارانش به پیش‌بینی امکان گیر رشته حفاری با روش یادگیری فعال پرداختند. تمرکز گروه بر گیر ناشی از نیروهای تفاضل فشاری بود. با بررسی ۱۵۰ مورد گزارش روزانه حفاری آنها به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عامل در گیر لوله، دور بر دقیقه لوله^۱ و قدرت ژل^۲ حفاری است [۳۰].

سال ۲۰۱۵ اوريجی^۳ مقاله‌ای در مورد بررسی تاثیر فشار گل داخل لوله‌های حفاری و گرادیان شکستگی- های سازند بر گیر رشته لوله حفاری پرداخت. به عنوان نتیجه کار او یک سیستم معرفی کرد که با بهره گیری از رابطه‌های فیزیکی فشار و شکستگی به پیش‌بینی امکان گیر رشته لوله حفاری می‌پرداخت. البته نوآوری این بود که چون شکستگی سازند و سنگ‌ها به طور دقیق مشخص نیست، روش تخمینی از

¹ RPM

² gel strength

³ Oriji

شکستگی را در نظر گرفت. در نهایت نشان داد که اگر در حفاری عمیق فشار بالاتر از ۵۰۰ پاسکال شود، رشته لوله گیر می‌کند و اگر فشار تخمین زده شده توسط مدل خیلی بیشتر از فشار هیدرواستاتیک شود، سازند دارای شکستگی است. همین‌طور عنوان کرد که اگر فشار گل حفاری از فشار شکستگی سازند کمتر باشد، موجب فرو ریختن دیواره چاه و گیر کردن رشته لوله حفاری می‌شود [۳۱].

سال ۲۰۱۵، فریرا^۱ و همکاران با استفاده از دو روش بهینه‌سازی نظارت بلادرنگ^۲ و استدلال مبتنی بر مورد^۳، به پیش‌بینی گیر رشته لوله حفاری و پیشگیری از وقوع آن پرداختند. این گروه از محققین سیستم نرم افزاری را ارائه نمودند که در پایگاه دانش خود گزارش لحظه‌ای چندین حفاری را در اختیار داشت. توسط این نرم افزار، شرایط پیش آمده در زمان حفاری با شرایط ضبط شده در پایگاه داده که در آنها مشکلی هنگام حفاری رخ داده است، مقایسه می‌شد سپس بهترین شیوه حفاری مربوط به مهندسی بلادرنگ از پایگاه داده را ارائه می‌داد. تمام روند یاد شده برای حفاری از راه دور و سیستم‌های بلادرنگ بسیار کارآمد عنوان شد [۳۲].

سال ۲۰۱۵ اوپیمی^۴ و همکارانش یک مقاله بازبینی در مورد کاربرد روش‌های هوش مصنوعی در حفاری چاه‌های نفت منتشر کردند. آنها به بررسی مزایا و معایب روش‌های استدلال مبتنی بر مورد، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، منطق فازی، ماشین بردار پشتیبان، سیستم‌های هوشمند و ساخت پایگاه دانش پرداختند و نمونه‌هایی از استفاده از این ابزار را مورد بررسی قرار دادند. سود استفاده از روش‌های هوش مصنوعی صرفه جویی در زمان و هزینه، به حداقل رساندن ریسک عملیات، بهبود بهره‌وری و بهینه‌سازی بخش‌های مختلف عنوان شد. نتیجه‌گیری این مقاله این بود که اینکه ابزار هوش مصنوعی به عنوان یک

¹ Ferreira

² Real time surveillance

³ Case base reasoning

⁴ Opeyemi

ابزار قدرتمند قابلیت حل بسیاری از مشکلات حوزه حفاری چاه‌های نفت و گاز را دارد که با توجه به گستردگی این صنعت هنوز جای کار بسیار است. [۳۳]

سال ۲۰۱۵ هجری^۱ و همکارانش منشر شد که به پیش بینی کشش و گشتاور بی درنگ عملیات حفاری با استفاده از روش‌های یادگیری آماری پرداخت. وی برای پیش بینی از پارامترهای سطح چاه استفاده می‌کرد و از سه روش رگرسیون خودرأه‌انداز، جنگل‌های تصادفی و ماشین بردار پشتیبان استفاده کرد. این پیش‌بینی از مقادیر ناخواسته گشتاور، که ممکن است مشکلات حفاری از جمله گیر رشته لوله حفاری را ایجاد کند، جلوگیری می‌کرد. روش برای پیش بینی ROP هم مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت به بهینه سازی حفاری منجر شد. این روش از داده‌های خلیج مکزیک استفاده شد که بر اساس سازندها دسته بندی شده بود و هر دسته جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. در مقاله عنوان شده که روش برای عملکرد درست وابسته به اطلاعات سازند است. یعنی هر بار فقط برای یک سازند تنظیم شد و جواب درست می‌داد [۳۴].

سال ۲۰۱۶ مقاله‌ای توسط سالمین^۲ و همکارانش منتشر شد که روش جدیدی برای پیش‌بینی گیر لوله حفاری با مدل خودکار بلادرنگ و تجزیه تحلیل داده‌ها ارائه داد. این روش از تمام داده‌های ثبت شده در حفاری‌های پیشین استفاده می‌کرد و با ترکیب دو روش انحراف از اطلاعات بلادرنگ در مدل‌های پیش‌بینی شده با استفاده از نرم افزار مدل سازی کشش و گشتاور^۳ و تجزیه و تحلیل نرخ تغییرات با استفاده از داده‌های بلادرنگ توانست وقوع خطر را پیش‌بینی کند. پارامترهای مورد استفاده در این روش فشار پمپ، سرعت جریان، گشتاور، سرعت چرخشی، بار روی قلاب و وزن روی مته بود. در کنار این مجموعه داده ورودی‌های ثابتی چون پیکر بندی رشته حفاری و بررسی‌های جهت حفاری هم مورد استفاده قرار می‌گرفت [۳۵].

¹ Hegde

² Salminen

³ Torque & drag software



فصل سوم :
تکنیک‌های پردازش سیگنال
شناسایی تغییرات سوزنی شکل
و قطعه بندی

سیگنال تابعی از متغیرهای مستقل مانند زمان، فضا و غیره است که اطلاعات، حالات و رفتار سیستم را در بردارد. سیگنال قلب، سیگنال مغز و سیگنال زلزله نمونه‌هایی از سیگنال می‌باشند. پردازش سیگنال مجموعه عملیاتی است که برای استخراج اطلاعات مورد نظر از یک سیگنال انجام می‌شود. نوعی از پردازش سیگنال که براساس مدارهای دیجیتالی و گسسته و یا نرم افزاری صورت می‌گیرد، پردازش دیجیتالی یا گسسته سیگنال خوانده می‌شود. پردازش سیگنال یک فناوری توانا است که می‌تواند نظریه‌های بنیادی، برنامه‌های کاربردی، الگوریتم‌ها و پیاده‌سازی پردازش و یا اطلاعات موجود در داده‌های فیزیکی، نمادین و یا انتزاعی مختلف را شرح دهد و در آمار، ریاضیات، محاسبات اکتشافی، بازنمایی‌های زبانی، مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل، استخراج اطلاعات و یادگیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنا به گفته اپنهایم و شیفر اصول پردازش سیگنال را در روش‌های محاسبات عددی کلاسیک در قرن ۱۷ می‌توان دید. آن‌ها تکنیک‌های پردازش سیگنال دیجیتال یا دیجیتالی‌سازی سیگنال‌ها را در سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ شرح دادند [۶۴].

عملیات مختلفی به منظور پردازش بر روی سیگنال‌ها انجام می‌شود که از آن جمله می‌شود به عملیات پایه همچون جمع، تفریق، تقویت و تضعیف، فیلتر گذاری، همبستگی، مدلاسیون و دمولاسیون دامنه و تولید سیگنال کمپلکس اشاره کرد.

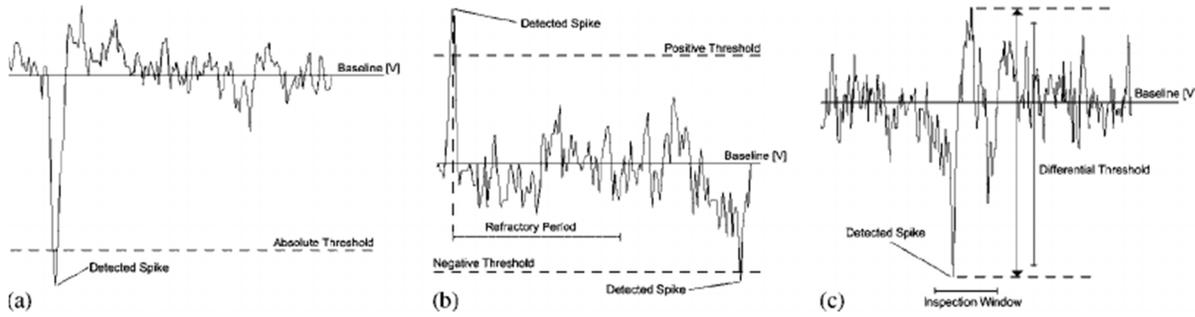
در ادامه به بررسی روش‌هایی از پردازش سیگنال که در این پژوهش مورد نیاز است، می‌پردازیم.

۳-۱ شناسایی تغییرات سوزنی شکل

تغییرات سوزنی شکل^۱ بازتابی از فعل و انفعالات سیگنال هستند که اطلاعات ارزشمندی از رفتار سیگنال را نشان می‌دهند [۳۷]. تغییرات سوزنی شکل رویدادهای محدود مثلی شکل هستند که به وضوح قابل

^۱ spike

تشخیص باشند و دامنه ای حداقل دو برابر نسبت به پنج مقدار قلبی خود داشته باشند [۳۸]. شکل شماره ۱-۳ نمونه‌ای از تغییرات سوزنی شکل یک سیگنال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳) نمونه ای از شناسایی تغییرات سوزنی شکل در سیگنال شامل سه نوع سوزن شکل متفاوت

۱-۱-۳ مزایای شناسایی تغییرات سوزنی شکل

در تکنیک‌های پردازش سیگنال تغییرات سوزنی شکل رویدادهای کوتاه مدت غیرثابت با انرژی لحظه ای زیاد می‌باشند [۳۹]. اصطلاح تغییرات سوزنی شکل به معنی رویدادی در سیگنال است که فرکانس بالای موضعی و انرژی زیاد لحظه‌ای دارد [۴۰]. یکی از کاربردهای شناسایی تغییرات سوزنی شکل سیگنال مغز EEG در تشخیص بیماری صرع بوده و در این علم کاربرد فراوانی دارد [۴۱]. همین‌طور، از الزامات مهم برای توسعه رابط کاربری ماشین‌های هوشمند^۱ است [۴۲]. شناسایی بیماری‌های قلبی و عملکرد ناصحیح بطن‌های چپ و راست قلب با شناسایی تغییرات سوزنی شکل در سیگنال نوار قلب ECG که از مجموع سه موج تشکیل شده است و مجموعاً نشان دهنده‌ی دپلاریزاسیون بطن‌ها^۲ است و مطالعه روی آن صورت می‌پذیرد [۴۰]. توصیف کمی دامنه و طیف تغییرات سوزنی شکل از سیگنالی به سیگنال دیگر و از موضوعی به موضوع دیگر متفاوت است؛ حتی می‌توان آن را متفاوت از زمانی به زمان دیگر برای یک

¹brain machine interfaces (BMIs)

² Complex QRS

موضوع واحد دانست. تشخیص تغییرات سوزنی شکل ساده نیست چرا که با وجود تعریف ساده، دو کارشناس، رویدادهای یکسان یک سیگنال واحد را به عنوان تغییرات سوزنی شکل مشابه تلقی نمی‌کنند، تعداد رویدادهای کاندید برای انتخاب تغییرات سوزنی شکل در سیگنال‌های واقعی بسیار بزرگ است و ریخت شناسی^۱ تغییرات سوزنی شکل و پس زمینه سیگنال‌های مختلف با هم متفاوت است.

تاکنون روش‌های متفاوتی برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل معرفی شده‌اند که این روش‌ها برای اعمال به الگوریتم‌های تطبیق الگو، فیلترهای پیش‌بینی کننده، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش مبنی بر قانون مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۷].

الگوریتم‌های تشخیص تغییرات سوزنی شکل شامل دو مرحله اصلی هستند: الف) مشخص کردن نقاط کاندید و یا تاکید بر تغییرات بالقوه سوزنی شکل و ب) اعمال آستانه گذاری برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل [۴۰].

۳-۱-۲ روش‌های شناسایی تغییرات سوزنی شکل

همان‌طور که بیان گردید، یکی از کاربردهای مهم تشخیص تغییرات سوزنی، کمک به تشخیص حملات صرع در بیماران است. در دهه‌های اخیر نورولوژیست‌ها برای شناسایی تغییرات سوزنی از روش‌های گوناگونی استفاده کرده‌اند که به طور کلی به دو دسته تشخیص تجربی و تشخیص اتوماتیک طبقه‌بندی می‌شود. در ادامه به بررسی این روش‌ها می‌پردازیم.

¹ morphology

۳-۱-۲-۱ روش تشخیص تجربی

قبل از سال ۱۹۸۵ کارشناسان با استفاده از مشاهده امواج مغزی و تکیه بر روش‌های تجربی به تشخیص تغییرات سوزنی شکل پرداختند [۴۳]، که این روش بسیار مبهم و وقت گیر بود [۳۹].

۳-۱-۲-۲ روش‌های تشخیص اتوماتیک

از آن جا که تشخیص تغییرات سوزنی به صورت تجربی دقیق نبوده و نظر کارشناسان مختلف در مورد یک سیگنال واحد یکسان نبود، متخصصان علاقمند شدند تا با استفاده از روش‌های هوشمند و الگوریتم‌های پردازش سیگنال، تغییرات سوزنی شکل را به صورت اتوماتیک شناسایی کنند. به عنوان ابتدایی ترین الگوریتم، روش‌های تقلید معرفی شدند و مورد استفاده قرار گرفتند. [۳۸] در این روش‌ها ابتدا شکل موج به صورت دیجیتال نمایش داده شد تا درک بالاتری، از آنچه کارشناسان به آن تغییرات سوزنی شکل می‌گفتند، بدست آید.

۳-۱-۲-۲-۱ استفاده از ویژگی‌های ظاهری

روش‌های تقلیدی، خاصیت توصیف کردن تغییرات سوزنی شکل را ندارند [۴۴]. گاتمن^۱ و همکارانش در سال ۱۹۷۶ سیگنال را توسط پیدا کردن نقاط اکستریم دامنه سیگنال قطعه بندی کرد. در واقع آنها نقاط اکستریم دامنه یک سیگنال را به عنوان تغییرات سوزنی شکل در نظر گرفتند. سپس آنها مجموعه ای از قوانین ساده را برای حذف نقاط اکستریمی بکار بردند که در اثر نويز ایجاد شده بود. نویسندگان اذعان داشتند که تغییرات سوزنی شکل یک مثلث است که از دو بخش به نام نیم موج^۲ در جهت مخالف هم بوجود آمده است [۴۴]. بنابراین روش‌هایی معرفی شدند که تغییرات سوزنی را با تکیه بر صفات و ویژگی‌های آن تشخیص می‌دهند. ویژگی‌های تغییرات سوزنی شکل، دامنه حداقل شش برابر تغییرات سوزنی

¹ gotman

² half-wave

شکل نسبت به دامنه نمونه‌های پیشین معرفی شد. نمونه‌های پیش از رویداد، پیش زمینه^۱ نامیده می‌شود. معیارهای دیگر مدت زمان وقوع تغییرات سوزنی، وضوح نسبی راس و استفاده از مشتق دوم جهت تیزی راس، برای توصیف تغییرات سوزنی شکل است. در نهایت یک آستانه گذاری برای یافتن تغییرات سوزنی شکل در نظر گرفته شد [۴۵]. ایراد این روش این بود که تغییرات سوزنی شکل با دامنه کوچک و پشت سر هم را تشخیص نمی‌داد.

اولیویرا^۲ و همکارانش از انحراف معیار دامنه سیگنال و مشتقات اول و دوم دامنه برای نرمال سازی دامنه تغییرات سوزنی شکل استفاده کردند؛ شیب سیگنال و نسبت انحنا به کل سیگنال را برای شناسایی تغییرات سوزنی شکل مورد توجه قرار دادند [۴۴]. نوآوری این روش در کوچک کردن مجموعه معیارهایی بود که می‌توانست سیستم شناسایی را بصورت بی درنگ پیاده سازی کند.

فاوره^۳ برای شناسایی تغییرات سوزنی شکل از معیارهای مدت زمان، دامنه و شیب نیم موج‌ها استفاده کرد [۴۶] جزییات نتایج استفاده از این الگوریتم موجود نیست [۴۴].

داوی^۴ و همکارانش از آستانه‌گذاری نیم موج‌ها، دامنه و وضوح قله برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل استفاده کردند در این روش فقط یک سیگنال به طول ۳۲۰ تحلیل شد. [۴۶].

ویت^۵ و همکارانش از ویژگی‌های بصری برای تشخیص تغییرات سوزنی بهره‌نگرفتند. در عوض ویژگی جدیدی با عنوان قدرت لحظه‌ای^۶ و فرکانس تعریف کردند که می‌توانست برای هر نمونه بررسی شود. آنها با مطالعه تغییرات سوزنی شکل که به صورت دستی توسط متخصص مشخص شده بود، دریافتند که فرکانس لحظه‌ای تغییرات سوزنی در مقایسه با واریانس پیش زمینه اطراف آن کم می‌شود اما قدرت

¹ background

² Oliveira

³ Faure

⁴ Davey

⁵ Witte

⁶ Momentary power

لحظه‌ای در همین زمان افزایش می‌یابد. سپس حد آستانه‌ای برای پذیرش و یا رد تشخیص تغییرات مورد استفاده قرار گرفت. اولین بار از این روش برای تشخیص اتوماتیک تغییرات سوزنی شکل در نقشه برداری استفاده شد [۴۷].

سانکار^۱ از یک مدل خودکار پس رونده برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل استفاده کرد. ایده این بود که یک فیلتر پنجره‌ای برای قدرت طیف تعریف شود که می‌توانست با حرکت معکوس روی سیگنال، نقاط غیر ثابت را مشخص کند. سپس با یک آستانه گذاری، نقاط بالقوه تغییرات سوزنی مشخص شده و از فاصله اقلیدسی نقاط بالقوه برای پذیرش یا رد این نقاط استفاده شد [۴۸]. مدل‌های پس رونده خودکار به عنوان یک روش جایگزین تبدیل فوریه معرفی شد چرا که سریع تر بود. این روش نیاز به دانش پیشین داشت و بسیار حساس به شرایط بود.

پیتیل^۲ و همکارانش از طبقه بندی تطبیقی^۳ برای شناسایی تغییرات سوزنی شکل استفاده کردند. آن‌ها از ویژگی‌های میانگین دامنه، تنوع بخشی آنها و قدرت طیف برای تشخیص استفاده نمودند [۴۵]. عملکرد الگوریتم پیشنهادی آنها برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل بسیار ضعیف بود. محققین همچنین عنوان کردند که ویژگی‌های شناختی الگوریتم آنها از روش گاتمن ضعیف تر است [۴۵].

وبر^۴ و همکارانش از شبکه عصبی برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل سیگنال EEG استفاده کردند. پیکر بندی شبکه آنها یک پرسپترون تک لایه با ۶۰ داده ورودی و یک لایه مخفی با ۱۲ گره^۵ بود که در تک گره خروجی تغییرات سوزنی شکل را شناسایی می‌کرد. ۳۶ داده ورودی مربوط به ویژگی‌های متداول از قبیل دامنه، شیب و دیگر ویژگی‌های تغییرات سوزنی و ۲۴ داده ورودی به ویژگی‌های پیش زمینه

¹ Sankar

² Pietila

³ adaptively segment

⁴ Webber

⁵ node

می‌پرداخت. آموزش و تست شبکه با استفاده از سیگنال مغز ده بیمار انجام شد و در طی تکرارهای مختلف با تنظیمات متفاوت شبکه، بیشترین میزان دقت ۷۳/۶٪ بود [۴۹].

۳-۲-۱-۳ استفاده از پردازش سیگنال

در تکنیک‌های پردازش سیگنال برای تشخیص تغییرات سوزنی شکل سه روش الف) مقدار مطلق^۱ ب) اپراتور غیر خطی انرژی^۲ ج) تبدیل موجک ثابت^۳ معرفی شده است که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم:

۳-۲-۱-۳ استفاده از مقدار مطلق

یک روش ساده و معمول در تشخیص است که با اعمال یک حد آستانه بر سیگنال عمل می‌کند. این آستانه می‌تواند هم به مقادیر خام (فیلتر نشده) اعمال شود و یا به قدر مطلق مقادیر اعمال شود. اعمال آستانه به مقادیر قدر مطلق بیشتر حسی است چرا که تغییرات سوزنی شکل می‌توانند مثبت یا منفی باشند [۵۰].

حد آستانه خودکار به صورت زیر مقدار دهی می‌شود:

(۱)

$$\text{Thr} = 4\sigma_N, \sigma_N = \text{median} \left\{ \frac{|x(n)|}{0.6745} \right\}$$

که در آن $x(n)$ نشان دهنده نمونه n ام سیگنال و σ_N یک برآورد از انحراف معیار نویز استاندارد است.

¹ absolute value

² nonlinear energy operator (NEO)

³ stationary wavelet transform

که در آن N تعداد طول سیگنال است و C یک عدد ثابت برای بزرگ‌نمایی است. اما این روش به نوبت بسیار حساس است [۵۳] و نویزها را نیز به عنوان تغییرات سوزنی شکل شناسایی می‌کند.

۳-۱-۲-۳ روش اپراتور غیر خطی انرژی هموار شده

مطالعات بعدی روشی را برای رفع ضعف روش اپراتور غیر خطی انرژی معرفی کردند. این روش با استفاده از یک پنجره هموار کننده خروجی اپراتور غیر خطی انرژی را بهبود می‌بخشد و اپراتور هموار شده غیر خطی انرژی^۱ نام دارد [۴۰]. هموارشدگی اپراتور غیر خطی انرژی بوسیله پیچش^۲ اپراتور غیر خطی انرژی با یک پنجره در حوزه زمان بدست می‌آید و به صورت زیر بیان می‌شود.

(۵)

$$\psi s [x(n)] = \psi [x(n)] \otimes w(n)$$

که در آن \otimes عملگر پیچش و $w(n)$ پنجره است. پنجره بارتلت به طول پنج به صورت [۲،۴،۶،۴،۲] تعریف می‌شود [۳۹].

۳-۱-۲-۴ روش تبدیل موجک ثابت

نظریه تجزیه سیگنال توسط تبدیل موجک در سال ۱۹۹۸ مطرح شد [۵۴] و پس از آن کاربردهای متفاوتی از این روش در پردازش سیگنال‌ها معرفی شد. روش تبدیل موجک برای الگوریتم‌های تشخیص سیگنال‌ها در محیط‌های آلوده به نویز، همانند آشکار سازی لبه و سیستم‌های تشخیص گفتار، بسیار کارآمد است [۵۰]. از تبدیل موجک برای شناسایی تغییرات سوزنی شکل نیز استفاده شده است [۵۵،۵۶]. برای این منظور در ابتدا تبدیل موجک ثابت با مقیاس بزرگ‌نمایی پنج، به صورت متوالی محاسبه می‌شود.

¹ Smoothed nonlinear energy operator

² Convolution

$$W(2^j, n), j = 1, \dots, 5$$

سپس مقیاس $2^{j_{max}}$ با بزرگترین جمع قدر مطلق مقادیر بدست می‌آید:

$$j_{max} = \underset{j \in \{1, \dots, 5\}}{\operatorname{argmax}} \left(\sum_{n=1}^N |w(2^j, n)| \right)$$

حال محاسبه نقطه به نقطه مقدار $p(n)$ بین تبدیل موجک در مقیاس فعلی و تبدیل موجک دو مقیاس قبل تر را با رابطه زیر انجام می‌دهیم:

$$p(n) = \prod_{j=j_{max}-2}^{j_{max}} |W(2^j, n)|.$$

حاصل بدست آمده با یک پنجره بارتلت $W(n)$ پیچش می‌یابد تا هموار شود و قله‌های جعلی آن از بین رود. باز هم مقدار آستانه یک مقیاس بزرگنمایی شده از میانگین حاصل بدست آمده است و بصورت خودکار با رابطه زیر بدست می‌آید [۵۰]:

$$Thr = C \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w(n) \otimes p(n),$$

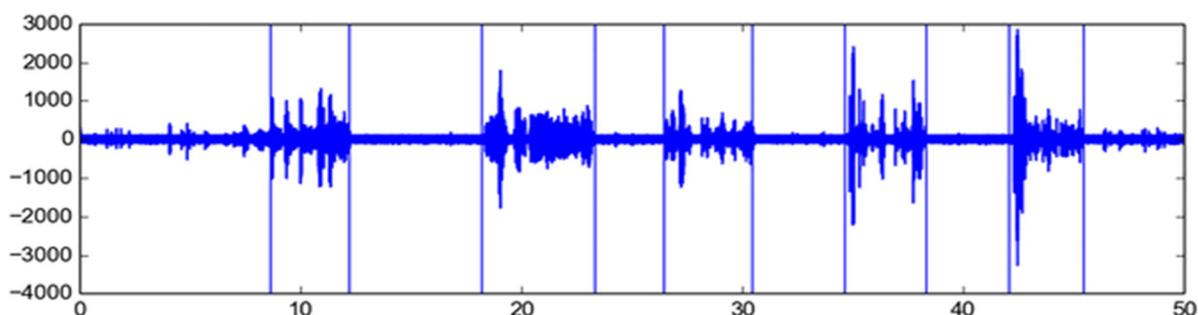
۳-۱-۲-۳-۵ استفاده از توزیع زمان-فرکانس

توزیع زمان-فرکانس برای تجزیه و تحلیل الگوهای غیر ثابت در پس زمینه غیر ثابت، کارآمد است [۶۵]. از آنجا که تغییرات سوزنی شکل اتفاقات فرکانس بالا با انرژی لحظه‌ای زیاد هستند، توزیع زمان-فرکانس می‌تواند به خوبی آن‌ها را از پس زمینه متمایز کند. علاوه بر این تغییرات سوزنی در فرکانس‌های بالای توزیع زمان-فرکانس نسبت به فرکانس‌های پایین متمرکزتر هستند بنابراین ابتدا سیگنال از یک فیلتر بالاگذر عبور داده می‌شود. سپس به منظور کاهش اثر نویز، مجدداً یک فیلتر بر روی سیگنال اعمال می‌-

شود. سپس فرکانس‌های افزایشی سیگنال در توزیع زمان-فرکانس به عنوان تغییرات سوزنی شکل استخراج می‌شود [۲۸].

۳-۲ قطعه بندی سیگنال^۱

در بسیاری از کاربردهای پردازش سیگنال، مانند آنالیز سیگنال EEG و پردازش سیگنال گفتار، گاهی لازم است تا سیگنال مورد بررسی به بخش‌های کوچک تر قطعه بندی شود. این عمل با یافتن مرزهای سیگنال در لحظات تغییر مشخصات آماری آن، از قبیل دامنه یا فرکانس، انجام می‌شود. اصولاً برای قطعه بندی دو رویکرد کلی وجود دارد؛ قطعه بندی ثابت و قطعه بندی تطبیقی [۵۷]. در شکل شماره ۳-۲ نمونه‌ای از قطعه بندی سیگنال صوت قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲) قطعه بندی سیگنال صوت

۳-۲-۱ روش‌های قطعه بندی

از آنجا که قطعه بندی اولین گام برای پردازش‌های یاد شده است، نقش اساسی را در آنالیز این سیگنال‌ها بازی می‌کند. بنابراین یافتن مرز صحیح قطعه بندی، بسیار ضروری است. برای این منظور تکنیک‌های مختلفی موجود است که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.

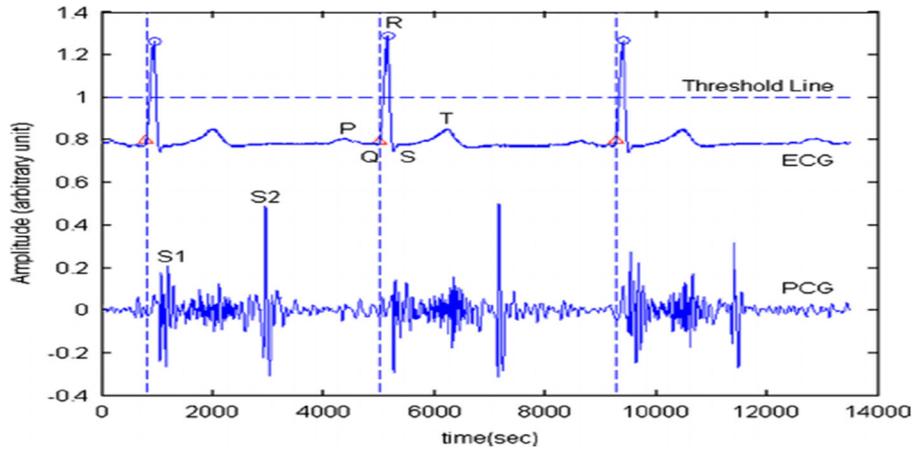
۳-۲-۱-۱ قطعه بندی ثابت

در این روش سیگنال به بخش‌های کوچک‌تر با طول ثابت^۲ تقسیم می‌شوند. این روش قطعه‌بندی ساده-ترین نوع آن است. هر بخش بدست آمده ممکن است شامل ترکیبی از اجزا با دامنه و فرکانس‌های

1 Signal Segmentation

2 Constant segmentation

مختلف باشند [۵۸،۵۹]. در شکل شماره ۳-۳ نمونه‌ای از قطعه‌بندی با طول ثابت سیگنال‌های مغز و قلب قبل مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳) قطعه بندی سیگنال به روش ثابت

این نوع قطعه بندی پیچیدگی کمی دارد و از لحاظ بار محاسباتی بسیار پرسرعت است اما در بیشتر مواقع تمام نیازهای سیستم تحلیل گر را برآورده نمی‌کند [۵۹].

۳-۲-۱-۲-۲) قطعه بندی تطبیقی

با توجه به مشکلات سیستم قطعه بندی ثابت، روش‌هایی معرفی شدند که بتوانند مرزهای صحیح قطعه بندی را به صورت خودکار تشخیص دهند. این دسته از روش‌ها، سیستم‌های قطعه بندی تطبیقی^۱ نام‌گذاری شدند. قطعه بندی تطبیقی بر اساس تغییرات ویژگی‌های آماری همچون دامنه یا تغییرات فرکانس، در سیگنال اصلی انجام می‌شود [۵۸،۵۹]. روش‌های مختلفی برای این دسته معرفی شده‌اند که در ادامه به توضیح آنها می‌پردازیم.

۳-۲-۱-۲-۳) روش *varri*

در این روش دو پنجره پی در پی در طول سیگنال می‌لغزند. در هر پنجره دامنه و تغییرات فرکانس محاسبه می‌شود و برای قطعه بندی تطبیقی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶۰]. این روش بر اساس ترکیبی

1 Adaptive segmentation

از برآورد فرکانس اندازه‌گیری شده با مجموع تفاوت‌های نمونه‌های متوالی سیگنال و مقادیر دامنه سیگنال است که اساس آن را در رابطه زیر دیده می‌شود:

(۹)

$$A_{dif} = \sum_{k=1}^l |x_k|$$

$$F_{dif} = \sum_{k=1}^l |x_k - x_{k-1}|$$

که برای F_{dif} برای برآورد تفاوت فرکانسی و A_{dif} برای محاسبه دامنه است. l و x_k طول پنجره هستند و k^{th} نشان دهنده نقاط سیگنال به ترتیب است. بنابراین اندازه تابع تفاوت (G) بصورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۰)

$$G_m = A_1 |A_{dif_{m+1}} - A_{dif_m}| + F_1 |F_{dif_{m+1}} - F_{dif_m}|$$

در رابطه m تعداد پنجره است. A_1 و F_1 ضرایب ثابت هستند که بنا به استفاده در برنامه‌های مختلف تغییر می‌کنند. ماکسیمم محلی تابع (G) که بالاتر از آستانه باشند، به عنوان مرزهای قطعه بندی مشخص می‌شوند [۵۹].

۳-۲-۱-۲-۳ روش اپراتور غیر خطی انرژی

اپراتور غیر خطی انرژی برای قطعه بندی تطبیقی سیگنال‌های مغزی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵۷،۶۱]. خروجی اپراتور غیر خطی انرژی با ضرب دامنه و فرکانس لحظه‌ای متناسب است. بنابراین دو معیار تغییرات دامنه و فرکانس در تقسیم بندی تطبیقی در نظر گرفته می‌شود. این روش شرایط متقابل را در سیگنال‌های چند جزئی ایجاد می‌کند و در نتیجه ممکن است نتایج تقسیم بندی نادرست شود

[۵۷]. به منظور رفع این مشکل استفاده از تبدیل موجک به منظور یک مرحله پیش پردازش مورد استفاده قرار گرفت [۶۲]. پس از تجزیه سیگنال با تبدیل موجک، چون تغییرات در سیگنال تجزیه شده کمتر از سیگنال اصلی است، مشکل شرایط متقابل را تا حدی کاهش می‌دهد [۵۷].

۳-۳ فرکتال

مندل بروت وقتی که بر روی تحقیقی پیرامون طول سواحل انگلیس مطالعه می‌کرد به این نتیجه رسید که هرگاه در مقیاس بزرگ این طول اندازه گرفته شود بیشتر از زمانی است که در مقیاس کوچکتر باشد. این بی‌نظمی ایجاد شده باعث ایجاد شاخه ریاضی نظریه بی‌نظمی به نام فرکتال^۱ گردید. این واژه برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط ریاضیدان لهستانی، بنویت مندل بروت^۲ مطرح گردید [۶۳]. ما فرکتال‌ها را در زندگی روزمره خود به فراوانی مشاهده می‌کنیم 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 شاخه جدیدی از علوم ریاضی و کامپیوتر محسوب می‌شود که از هر دو منظرگاه ریاضی و کامپیوتر قابل تامل و بررسی است.

۳-۳-۱ تعریف و ویژگی‌های فرکتال

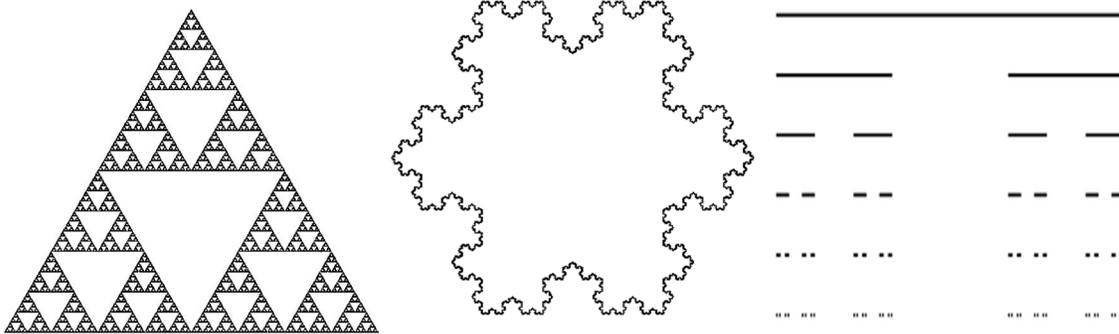
واژه فرکتال مشتق از واژه لاتینی فرکتوس^۳ به معنی سنگی که به شکل نامنظم شکسته و خرد شده، می‌باشد. فرهنگستان لغت و زبان فارسی کلمه برخال را برای فرکتال تصویب کرده‌است. فرکتال‌ها اشکالی-اند که بر خلاف اشکال هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها اولاً سر تاسر نامنظم اند

^۱ fractal

^۲ Mandelbrot

^۳ fractus

و ثانیاً میزان بی‌نظمی آنها در همه مقیاس‌ها یکسان است. مندل بروت در توضیح نظریه خود با انتخاب اصطلاح فرکتال بر یکی از مشخصه‌های اصلی این فرم هندسی که ناشی از ماهیت قطعه، قطعه شونده است، تأکید نموده است. این بدین معناست که هندسه فرکتال بر خلاف هندسه اقلیدسی روش بهتری برای توضیح و ایجاد پدیده‌هایی همانند طبیعت است. فرکتال‌ها انواع عناصری هستند که فرم فضایی آنها صاف نیست؛ بنابراین «نامرتب» نیز نامیده شده‌اند و این نامنظمی در آنها به طور هندسی و در راستای مقیاس‌های گوناگون در داخل هرم تکرار می‌گردد. هر چیز طبیعی در اطراف ما در اصل نوعی فرکتال است. در کنار این تئوری هر سیستمی که بتواند به صورت هندسی متصور و تحلیل شود می‌تواند یک فرکتال باشد. بهترین راه برای تعریف یک فرکتال توجه به صفت‌ها و نشانه‌های آن است. یک فرکتال «نامنظم» است، بدان معنی که در آن هیچ قسمت صاف وجود ندارد. فرکتال «خود مشابه» است، بدین معنی که «اجزا» شبیه کل می‌باشند. جسم فرکتال از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود. در علم ریاضی فرکتال یک شکل مهندسی پیچیده است و دارای جزئیات مشابه در ساختار خود در هر مقیاسی است. میزان بی‌نظمی در آن از دور و نزدیک به یک میزان است. اشکال اقلیدسی با استفاده از توابع ایستا تولید می‌شوند حال آنکه اشکال فرکتال با فرایندی پویا بوجود می‌آیند. فرایندهای پویا دارای حافظه زمانی هستند و رفتار آنها با گذشته مربوط می‌گردد. هندسه فرکتال دارای ساختارهایی با ظرفیت بالا است، درحالی که ظرفیت اشکال اقلیدسی بسیار محدود و حاوی اطلاعات تکراری است. هندسه فرکتال بیان ریاضی از معماری طبیعت است. از فرکتال‌های معروف می‌توان به خم کخ، کانتور و مثلث سر پینسکی اشاره کرد که در شکل شماره ۳-۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۴) تصاویر فرکتال های مربوط به ترتیب از چپ به راست: مثلث سرپینسکی، خم کخ و کانتور

از دید هندسی، فرکتال به شیئی گفته می شود که دارای چهار ویژگی بارز زیر باشد:

- خاصیت خود مشابه
- بسیار پیچیده در مقیاس های کوچک
- صحیح نبودن بعد
- تابع بازگشتی باشد.

۳-۳-۲ کاربردهای فرکتال

از فرکتال ها به منظور آسان سازی در کارهای وابسته به مدل سازی پیچیدگی در زمینه های گوناگون علمی و مهندسی استفاده می شود. از زمینه های مهم کاربردی گرافیک رایانه ای، پردازش تصاویر، نظریه موجک ها را می توان برشمرد. امروزه فرکتال یا بطور عام، هندسه فرکتالی در تئوری اطلاعات، اقتصاد، پزشکی، علوم هوا و فضا، طراحی سخت افزار و بسیاری از زمینه های دیگر علوم مهندسی و تجربی استفاده می شود.

۳-۳-۳ بعد فرکتال و الگوریتم های محاسبه آن

مهم ترین ویژگی فرکتال و هندسه فرکتالی، بعد فرکتال است [۶۴]. در هندسه اقلیدسی، بعد خط یک، بعد مربع دو و بعد مکعب سه است و به طور کلی بعد یک مجموعه به صورت مقدار فضایی که اشغال می کند، توصیف می شود. اما در هندسه فرکتالی چندین نوع بعد مختلف وجود دارد که عبارتند از : بعد توپولوژیکی، بعد تشابهی، بعد هاوس دورف و بعد شمارش جعبه. بعد توپولوژیکی همان مفهوم بعد در هندسه اقلیدسی است. بعد تشابهی از جنبه ای بیشترین سنخیت را با فرکتال ها دارد، چون یکی از خاصیت های فرکتال، تشکیل از راه تکرار است و بعد تشابهی نیز بر اساس تعداد کپی ها از شی اولیه بدست می آید. بعد هاوس دورف دقیق ترین بعد برای فرکتال ها است اما در عمل به سختی قابل محاسبه است. مشکل محاسبه پیچیده بعد هاوس دورف در بعد شمارش جعبه بر طرف شده است. یکی دیگر از ویژگی های 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 می باشند [۶۴]. بعد فرکتال ها از یک سری رابطه های لگاریتمی بدست می آیند.

۳-۳-۴ بعد فرکتال در پردازش سیگنال

بعد فرکتال نسبت یک شاخص آماری از نسبت پیچیدگی جزئیات درونی یک سیگنال را نشان می دهد [۶۵]. مطالعات نشان داد که بعد فرکتال یک ابزار قدرتمند برای تشخیص گذار^۱ سیگنال است. بعد فرکتال یک مشخصه مهم از فرکتالهاست که حاوی اطلاعات مهم ساختار هندسی است. اندازه بعد فرکتال میزان پیچیدگی یک الگو یا مقدار اطلاعات جاسازی شده در آن را نشان می دهد. بعد فرکتال مستقل از بزرگنمایی هست [۵۷]. تجزیه و تحلیل به وسیله بعد فرکتال امروزه به صورت گسترده ای در

¹ transient

پردازش سیگنال‌های پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶۵]. از آنجا که در این روش نیاز به دانش پیشین در مورد ویژگی‌های گذار نیست، بعد فرکتال به طور مستقیم از سیگنال در حوزه زمان محاسبه می‌شود، در نتیجه سرعت محاسبات بسیار بالاست [۵۷]. الگوریتم‌های متفاوتی برای محاسبه بعد فرکتال معرفی شده‌اند.

۳-۳-۵ روش‌های محاسبه بعد فرکتال یک سیگنال

الگوریتم هیگوچی^۱ بعد فرکتال سیگنال را دقیق محاسبه می‌کند اما نسبت به نویز حساس است [۶۶]. الگوریتم کاتز^۲ در مقایسه با الگوریتم هیگوچی حساسیت پایین تری به نویز دارد اما دقت این روش نیز در محاسبه بعد فرکتال کمتر است [۵۹،۶۷]. روش پطروسیان در محاسبه بعد فرکتال ضعیف و به نویز در سیگنال حساس است [۵۹،۶۸].

۳-۳-۵-۱ الگوریتم هیگوچی

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

(۱۱)

$$X(1), X(2), X(3), \dots, X(N)$$

از سری زمانی موجود، یک سری زمانی جدید بر اساس رابطه زیر ساخته می‌شود

(۱۲)

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

¹ Higuchi

² Katz

که در آن [] علامت جزء صحیح است و 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. به عنوان مثال برای $k=3$ و $N=100$ ، سه سری زمانی به شکل زیر تولید می‌شود.

(۱۳)

$$\begin{aligned} X_3^1; & X(1), X(4), X(7), \dots, X(97), X(100), \\ X_3^2; & X(2), X(5), X(8), \dots, X(98), \\ X_3^3; & X(3), X(6), X(9), \dots, X(99). \end{aligned}$$

طول منحنی سری زمانی های بدست آمده در رابطه ۱۴ به صورت زیر تعیین می‌شود:

(۱۴)

$$L_m(k) = \left\{ \left(\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} |X(m+ik) - X(m+(i-1).k)| \right) \frac{N-1}{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor . k} \right\} / k.$$

که در آن، ترم $\frac{N-1}{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor . k}$ عامل نرمال کردن طول منحنی سری‌های زمانی است. میانگین طول منحنی‌های $L_m(k)$ بر مجموعه‌ای از بازه‌های زمانی k را محاسبه و با $\langle L(k) \rangle$ نشان داده می‌شود. 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 $(\ln(L(k)), \ln(\frac{1}{k}))$ تعیین می‌شود. البته توجه شود که مقدار k مهم است [۶۹]. برای انتخاب مقدار مناسب k ، از $k=1$ شروع شده و افزایش می‌یابد. سپس میانگین طول منحنی بدست می‌آید و از روی شیب خط برازش شده به میانگین طول و بازه زمانی، بعد فرکتال تعیین می‌شود. اگر مقدار محاسبه شده پس از چند بار محاسبه تغییر چندانی نکند، k مربوط به

این مرحله k_{max} نامیده می‌شود و محاسبات خاتمه می‌یابد. بعد فرکتال بر حسب k_{max} تعیین می‌شود [۶۹،۷۰].

۳-۳-۵ الگوریتم کاتز

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

(۱۵)

$$FD = \frac{\log_{10}(L)}{\log_{10}(d)}$$

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 نرمال‌سازی فاصله توسط میانگین بین دو داده متوالی، رابطه به فرم زیر نوشته می‌شود:

(۱۶)

$$FD = \frac{\log_{10}\left(\frac{L}{a}\right)}{\log_{10}\left(\frac{d}{a}\right)}$$

اگر در معادله شماره ۱۱، مقدار $n = \frac{L}{a}$ را به عنوان اندازه گام در سری زمانی در نظر بگیریم می‌توان معادله را به فرم زیر نوشت:

(۱۷)

$$FD = \frac{\log_{10}(n)}{\log_{10}\left(\frac{d}{L}\right) + \log_{10}(n)}$$

معادله یاد شده روش شرح داده شده توسط کاتز برای محاسبه بعد فرکتال است [۵۷،۶۸].

۳-۳-۵-۳ الگوریتم پطروسیان

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

۱. روش میانگین؛ میانگین سیگنال محاسبه می‌شود. اگر مقدار هر نقطه بیشتر از مقدار میانگین بود، یک و در غیر این صورت صفر می‌شود.

۲. 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.

۳. روش دیفرانسیل؛ اگر تفاضل دو نمونه متوالی مثبت شود، نمونه مقدار یک می‌گیرد و اگر تفاضل منفی شود مقدار صفر می‌گیرد.

۴. روش دیفرانسیل محلی؛ اگر تفاضل نمونه با اکستریم محلی مثبت باشد، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

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

(۱۸)

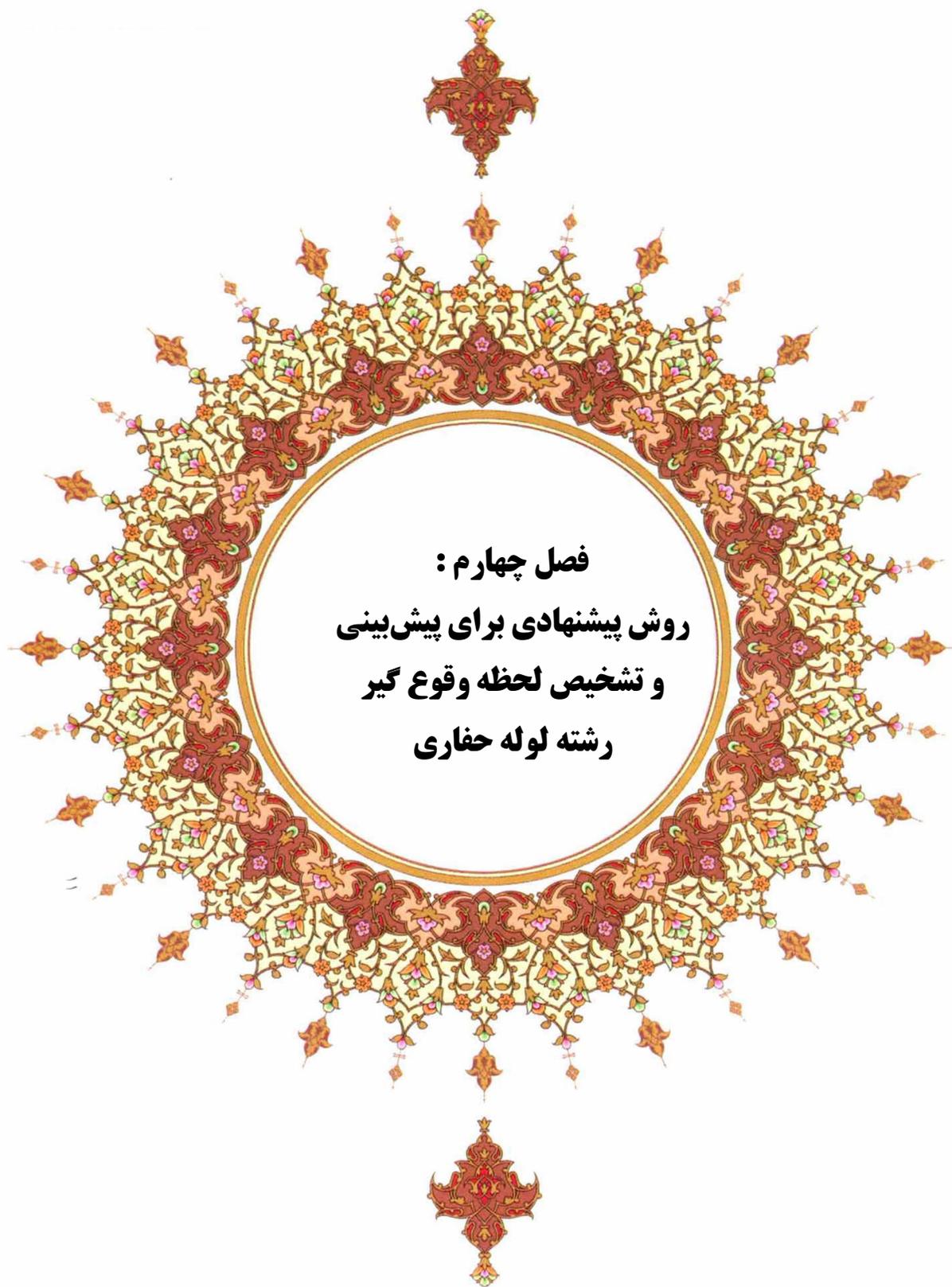
$$D = \frac{\log_{10} n}{\log_{10} n + \log_{10} \left(\frac{n}{n + 0.4N_{\Delta}} \right)}$$

که در آن n طول سیگنال و N_{Δ} تعداد نقاط تغییر علامت در سیگنال باینری است.

۳-۴ قطعه بندی با بعد فرکتال

به عنوان روش جدید در محاسبه مرز قطعه بندی سیگنال، از بعد فرکتال برای قطعه بندی استفاده می-شود. همان طور که عنوان شد بعد فرکتال در سیگنال‌ها، پیچیدگی و جزئیات درونی آن را نشان می‌دهد. بنابراین اگر بعد فرکتال در طول یک سیگنال تغییر کند، ماهیت سیگنال تغییر کرده و نقاط تغییر می-تواند مرز مناسبی برای قطعه بندی سیگنال باشد [۶۲].

بدین منظور، در ابتدا سیگنال با تبدیل موجک ساده می شود سپس باید پنجره ای با طول مناسب برای پیمایش سیگنال انتخاب کرد. در این روش دو پنجره لغزان پی در پی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعد فرکتال برای هر پنجره مشخص می‌شود. تابع (G) تفاوت میان بعد فرکتال محاسبه برای دو پنجره را محاسبه می‌کند که در یک قطعه باید این تفاوت بسیار کم باشد. بنابراین هنگام مواجه با یک قطعه جدید، با توجه به تغییرات ویژگی‌های آماری سیگنال مورد بررسی، بعد فرکتال تغییر می‌کند و این موضوع در تابع (G) نشان داده می‌شود. طول پنجره‌های لغزنده باید طوری انتخاب شود که تابع (G) در مواجه با مرز قطعات مقدار بسیار بالاتر از صفر و در سایر نقاط مقدار تقریباً صفر داشته باشد. برای بالا رفتن دقت پردازش دو پنجره متوالی محاسبه بعد فرکتال، همپوشانی دارند، اما این مساله باعث بالا رفتن بار محاسباتی می‌شود [۵۷]. انتخاب طول پنجره و میزان همپوشانی مناسب، دقت روش را بالا می‌برد.



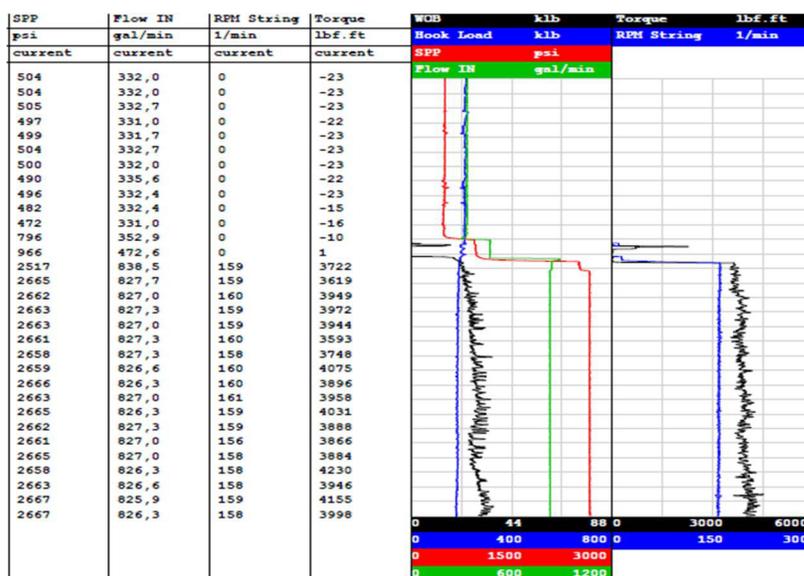
در موضوع حفاری چاه، کمیت‌هایی چون گشتاور، سرعت چرخش مته حفاری، فشار پمپ در واحد زمان متغیر بوده و قابل اندازه‌گیری می‌باشند. همان‌طور که در فصل سوم بیان گردید هر کمیت متغیر با زمان یا مکان که قابل اندازه‌گیری باشد؛ به صورت سری زمانی قابل نمایش است و با علم پردازش سیگنال، قابل پردازش می‌باشد. بنابراین با استفاده از تکنیک‌های یاد شده به پردازش سیگنال‌های حفاری می‌پردازیم. هدف از این پردازش رفع مشکل گیر رشته لوله حفاری است که در دو بخش مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش اول به تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله می‌پردازیم و در بخش دوم به کمک تحلیل سیگنال، گیر رشته لوله حفاری را پیش‌بینی می‌کنیم.

تاکنون روش‌های بسیاری برای پیش‌بینی و تشخیص وقوع گیر رشته لوله حفاری معرفی شده است. در تمامی روش‌های یاد شده اطلاعات یک مخزن یا سازند خاص مورد پردازش قرار می‌گیرد، چرا که تنظیمات پارامترهای حفاری و نوع گل استفاده شده در هر منطقه یا سازند متفاوت است [۷۱]. بنابراین هر روش فقط برای همان منطقه‌ای که اطلاعات را دریافت کرده است پاسخ مطلوب را می‌دهد [۷۲]. در نتیجه یافتن روشی که بدون توجه به سازند یا مخزن، برای حفاری‌های خشکی و دریا بهینه باشد، بسیار کارآمد خواهد بود. در این پژوهش روش معرفی شده در هر دو بخش پیش‌بینی و تشخیص وقوع گیر رشته لوله حفاری مستقل از چاه، منطقه و سازند محل حفاری است و به راحتی می‌تواند برای بهینه‌سازی حفاری چاه‌های نفت در هر منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۱ بخش اول؛ تشخیص لحظه گیر رشته لوله حفاری

بیشتر آمارها نشان می‌دهد که اگر گیر لوله در ساعات اولیه وقوع شناسایی شود مشکل راحت‌تر حل می‌شود [۲۳]. چنانچه عملیات رفع گیر رشته لوله حفاری موفقیت‌آمیز نباشد منجر به عملیات بالاکشیدن و

عقبگرد رشته حفاری از محل گیر لوله‌ها می‌شود که علاوه بر ماندن قسمتی از رشته لوله حفاری، عملیات کج کردن چاه و حفاری مجدد آن در دستور کار قرار می‌گیرد که می‌تواند هزینه‌های سنگینی را در سرجمع هزینه‌های تکمیل چاه تحمیل نماید. امروزه بیشتر حفاری‌ها به صورت جهت‌دار و افقی انجام می‌شود و پیچیدگی حفاری جهت‌دار باعث بالارفتن ریسک گیر رشته حفاری می‌شود. گرچه گیر لوله حفاری، حتی زمانی که بیشتر حفاری‌ها به صورت عمودی انجام می‌شود، نیز وجود داشت [۳۵]. نمودار گرفته شده از لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری در شکل شماره ۴-۱ قابل مشاهده است.

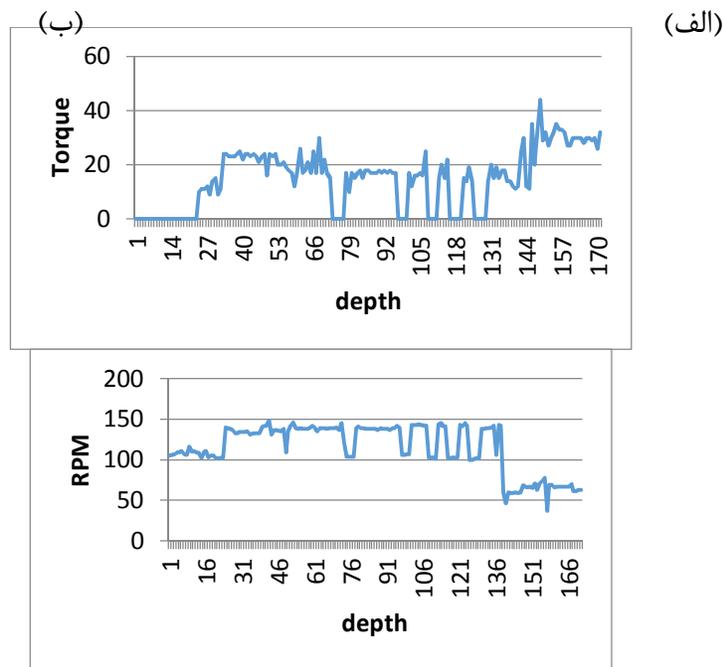


شکل ۴-۱) نمودار پارامترهای گشتاور، RPM، وزن روی مته، هوک لود، فشار پمپ و نرخ گل ورودی به چاه هنگام وقوع گیر لوله

۴-۱-۱-۱ پارامترهای مورد توجه

همان‌طور که در فصل اول عنوان شد؛ گشتاور نیرویی است که در اثر دوران رشته حفاری ایجاد می‌شود. حال اگر رشته لوله گیر کند، از آنجا که نیروی چرخش همچنان به رشته لوله اعمال می‌شود در نتیجه گشتاور به طور لحظه‌ای بالا می‌رود [۷۳]. نیروی گشتاور در وقوع گیر رشته لوله موثر است، و در بسیاری از علل مختلف گیر رشته لوله حفاری عامل شناسایی گیر است. همچنین می‌توان با استفاده از اعمال نیروهایی برای بالا بردن گشتاور، در برخی موارد گیر پیش آمده را برطرف کرد [۷۴].

گشتاور یکی از فاکتورهای مهم در پارامترهای حفاری است و معمولاً با توجه به نوع سازند و سابقه حفاری چاه‌های مجاور، یک محدوده مجاز برای گشتاور تعریف می‌شود که در تمام طول عملیات باید گشتاور در این محدوده نگه داشته شود. به این منظور اندازه‌گیر^۱ گشتاور در کنار تجهیزات دکل در تمام حفاری‌ها وجود دارد. با این حال همچنان مشکل گیر رشته لوله حفاری پا برجاست چرا که، اولاً محدوده تخمین زده شده تقریبی است و ثانیاً شرایط لایه‌های زمین حتی در دو چاه مجاور هم یکسان نیست.



شکل ۴-۲) سیگنال گشتاور (ب) سیگنال RPM

پارامتر دیگری که در روش‌های تشخیص گیر رشته لوله از آن استفاده می‌کنند، سرعت چرخش مته است که آن را RPM می‌نامند. اهمیت RPM از آن جهت است که هر گاه رشته لوله گیر کند، قابلیت چرخش مته کاهش یافته و اصطکاک بوجود آمده از چرخش آن جلوگیری می‌کند. نمونه ای از سیگنال گشتاور و RPM در شکل شماره ۴-۲ نمایش داده شده است.

¹ gauge

۴-۱-۲ مراحل روش پیشنهادی

کارشناسان حفار که سابقه و تجربه بالایی در عملیات حفاری دارند با در نظر گرفتن دو پارامتر گشتاور و RPM، وقوع گیر لوله را تشخیص می‌دهند و با توجه به جنس سازند و لایه‌ها نسبت به رفع آن اقدام می‌کنند. اما اشتباهات انسانی حتی در حضور این کارشناسان خبره، نیز باعث وقوع گیر رشته لوله حفاری می‌شود، چرا که انسان دقت ماشین را در کنترل پارامترها ندارد. همچنین تغییرات این دو پارامتر با توجه به سیاست حفاری، زیاد است و هر تغییر در آن‌ها نشان دهنده گیر رشته لوله حفاری نیست. با در نظر گرفتن نکات یاد شده در مورد گشتاور و RPM، می‌خواهیم با استفاده از تکنیک‌های جدید پردازش سیگنال، وقوع گیر رشته لوله را درست در لحظه وقوع شناسایی کنیم. این کار کمک شایانی به تیم عملیات حفاری برای رفع مشکل و کاهش زمان و هزینه حفاری می‌کند [۷۵،۷۶]. همچنین این کار قدم مهمی برای رسیدن به حفاری هوشمند و حذف انسان از روند حفاری است.

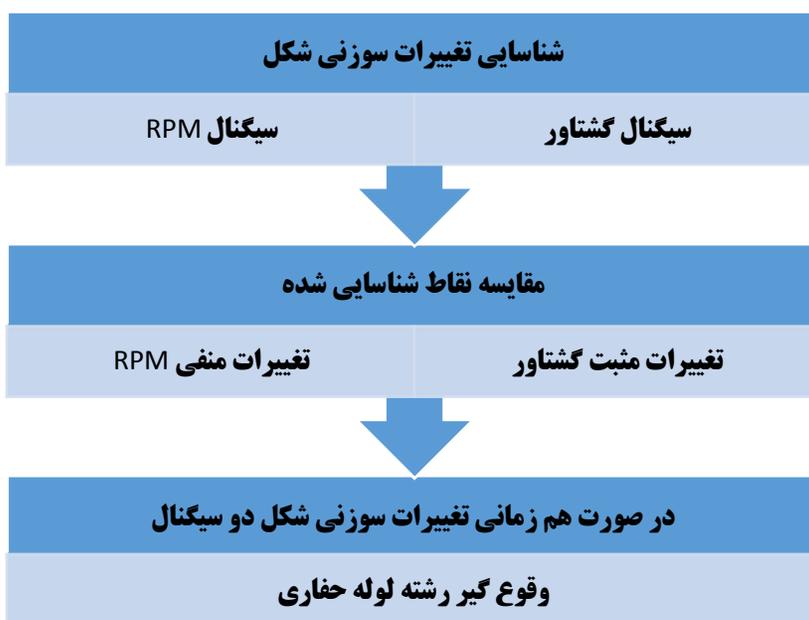
۴-۱-۳ ساختار روش پیشنهادی

بر اساس نکته کلیدی بدست آمده از کارشناسان حفاری، که گیر در لحظه ای رخ می‌دهد که گشتاور ناگهان بالا رود و سرعت گردش مته ناگهان پایین آید، به این نتیجه خواهیم رسید که روشی را ابداع کرده تا این دو تغییر مهم را در سیگنال گشتاور و RPM را شناسایی کند و اگر هر دو باهم اتفاق افتادند، به عنوان لحظه گیر لوله ثبت شود. البته توجه به دو نکته ضروری است که اولاً تغییرات باید ناگهانی باشند و ثانیاً در لحظه وقوع فرکانس بالا و زمان کوتاه را به خود اختصاص دهند. از آنجا که این ویژگی همان تعریف تغییرات سوزنی شکل در سیگنال‌هاست، بنابراین به نظر می‌رسد شناسایی تغییرات سوزنی در دو سیگنال گشتاور و RPM منجر به تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری شود.

۴-۱-۴ پیاده سازی الگوریتم

در فصل سوم به بررسی روش‌های مختلف شناسایی تغییرات سوزنی شکل پرداخته شد. در این پژوهش از روش اپراتور غیر خطی انرژی هموار شده استفاده می‌شود چرا که در شناسایی تغییرات سوزنی شکل پردازش راحت‌تر، سرعت پردازش بیشتر و دقت زیادتر نسبت به سایر روش‌ها دارد [۴۱].

بلوک دیاگرام زیر برای تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری معرفی می‌شود.



۴-۱-۵ معرفی پایگاه داده

برای انجام این پژوهش از گزارشات روزانه یکی از شرکت‌های زیر مجموعه شرکت ملی نفت ایران استفاده شده است. پارامترهای بدست آمده در حین حفاری از جمله گشتاور و RPM ۲۰ چاه از شرکت حفاری در اختیار قرار گرفته است. از آنجا که اطلاعات مربوط به انرژی بالاخص حفاری نفت و گاز محرمانه است، در تحقیقات این حوزه هیچ نامی از شرکت همکار، مخزن مورد بررسی و شماره چاه برده نمی‌شود. این چاه‌ها

از حوزه‌های نفتی جنوب ایران در حوزه نفتی اهواز تهیه شده‌اند. برای سهولت در روند پردازش، چاه‌ها را از شماره یک تا بیست نام گذاری شده‌اند. تعداد ۱۶ مورد از این چاه‌های حفاری سالم برجسب گذاری شده‌اند و ۴ مورد از چاه‌ها دارای مشکل گیر رشته لوله حفاری هستند و چاه دچار مشکل برجسب خورده-اند. در یک مورد از چاه‌های دچار مشکل، بر اثر گیر رشته، لوله حفاری بریده است. اصطلاح بریدن به قطع شدن یا شکستن^۱ رشته لوله حفاری اطلاق می‌شود.

۴-۱-۶ پیش پردازش

باید توجه داشت اطلاعات دریافت شده بر مبنای چاه طبقه بندی شده است و طبق سیاست‌های خاص عملیات حفاری، گاهاً روند حفاری یک چاه روزها به طول انجامیده و منقطع بوده است، بنابراین نوسانات مربوط به قطع عملیات از سیگنال‌ها حذف شده است. صحت اطلاعات به تایید سه کارشناس^۲ خبره این حوزه رسیده است. همچنین اطلاعات مربوط به پارامتر گشتاور و RPM هر کدام از چاه‌ها از نظر کمیت یکسان سازی شده‌اند. چرا که در برخی چاه‌ها بر مبنای فوت پوند و برخی دیگر بر مبنای نیوتن متر مثبت شده است. با استفاده از رابطه زیر این مقادیر یکسان سازی و همگی به فوت پوند تبدیل شدند.

$$۱ \text{ نیوتن متر} = ۰,۷۳۷۵۶۲۱ \text{ فوت پوند}$$

۴-۱-۷ انتخاب تغییرات سوزنی شکل مثبت یا منفی

روش تشخیص تغییرات سوزنی شکل هم تغییرات مثبت و هم تغییرات منفی را شناسایی می‌کند [۴۰]؛ اما از آنجا که ما فقط تغییرات مثبت گشتاور و تغییرات منفی RPM را می‌خواهیم نیاز به راهکاری برای انتخاب داریم.

^۱ Twist off

^۲ کارشناسان از سه شرکت مختلف انتخاب شدند

برای نیل به این هدف ابتدا از سیگنال میانگین می‌گیریم. سپس کفایست نقاطی را به عنوان تغییرات سوزنی مثبت در نظر بگیریم که از میانگین سیگنال بیشتر هستند و نقاطی را به عنوان تغییرات سوزنی منفی در نظر می‌گیریم که از میانگین سیگنال کمتر هستند.

۴-۱-۸ معیارهای کمی ارزیابی و درجه اهمیت

برای سادگی معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های دسته‌بندی، آنها را با مفهوم ماتریس درهم ریختگی^۱ ارزیابی می‌کنیم. این ماتریس چگونگی عملکرد الگوریتم دسته‌بندی را با توجه به مجموعه داده ورودی به تفکیک انواع دسته‌های مساله دسته‌بندی، نمایش می‌دهد.

هر یک از عناصر ماتریس به شرح ذیل می‌باشد:

TN: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها منفی بوده و الگوریتم دسته‌بندی نیز دسته آنها را بدرستی منفی تشخیص داده است.

TP: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها مثبت بوده و الگوریتم دسته‌بندی نیز دسته آنها را بدرستی مثبت تشخیص داده است.

FP: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها منفی بوده و الگوریتم دسته‌بندی دسته آنها را به اشتباه مثبت تشخیص داده است.

FN: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها مثبت بوده و الگوریتم دسته‌بندی دسته آنها را به اشتباه منفی تشخیص داده است.

مهمترین معیار برای تعیین کارایی یک الگوریتم دسته‌بندی دقت یا نرخ دسته‌بندی^۲ است که این معیار دقت کل یک دسته بند را محاسبه می‌کند. در واقع این معیار مشهورترین و عمومی‌ترین معیار محاسبه

¹ Classification Matrix

² Classification Accuracy - Rate

کارایی الگوریتم‌های دسته بندی است که نشان می‌دهد، دسته بندی طراحی شده چند درصد از کل مجموعه رکوردهای آزمایشی را بدرستی دسته بندی کرده است. دقت دسته بندی با استفاده از رابطه آبدست می‌آید که بیان می‌کند دو مقدار TP و TNN مهمترین مقادیری هستند که در یک مسئله دو دسته ای باید بیشینه شوند. (در مسائل چند دسته ای مقادیر قرار گرفته روی قطر اصلی این ماتریس - که در صورت کسر محاسبه CA قرار می‌گیرند - باید بیشینه باشند

معیار خطای دسته بندی¹ دقیقاً برعکس معیار دقت دسته بندی است که با استفاده از رابطه II بدست می‌آید. کمترین مقدار آن برابر صفر است زمانی که بهترین کارایی را داریم و بطور مشابه بیشترین مقدار آن برابر یک است زمانی که کمترین کارایی را داریم.

ذکر این نکته ضروری است که در مسائل واقعی، معیار دقت دسته بندی معیار مناسبی برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های دسته بندی نمی‌باشد، به این دلیل که در رابطه دقت دسته بندی، ارزش رکوردهای دسته‌های مختلف یکسان در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در مسائلی که با دسته‌های نامتعادل سروکار داریم، به بیان دیگر در مسائلی که ارزش دسته ای در مقایسه با دسته دیگر متفاوت است، از معیارهای دیگری استفاده می‌شود.

همچنین در مسائل واقعی معیارهای دیگری نظیر DR و FAR که به ترتیب از روابط III و IV بدست می‌آیند، اهمیت ویژه ای دارند. این معیارها که توجه بیشتری به دسته بند مثبت نشان می‌دهند، توانایی دسته بند را در تشخیص دسته مثبت و بطور مشابه تاوان این توانایی تشخیص را تبیین می‌کنند. معیار DR نشان می‌دهد که دقت تشخیص دسته مثبت چه مقدار است و معیار FAR نرخ هشدار غلط را با توجه به دسته منفی بیان می‌کند

¹ Error Rate

$$I: CA = \frac{TN+TP}{TN+FN+TP+FP}$$

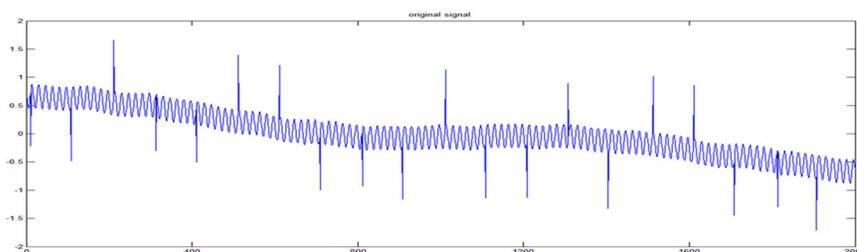
$$II: ER = \frac{FN+FP}{TN+FN+TP+FP} = 1 - CA$$

$$III: DR = \frac{TP}{FN+TP}$$

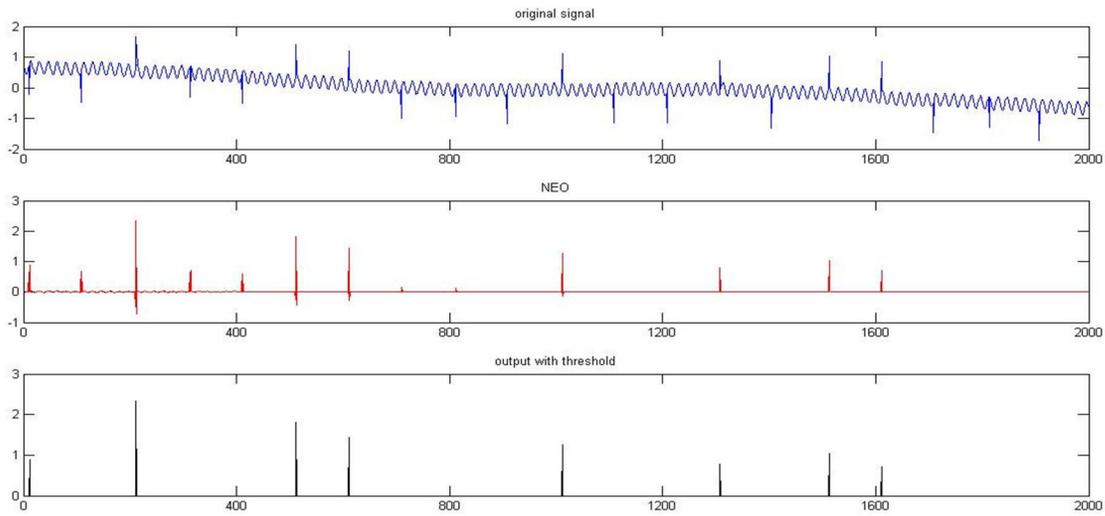
$$IV: FAR = \frac{FP}{TN+FP}$$

۹-۱-۴ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی

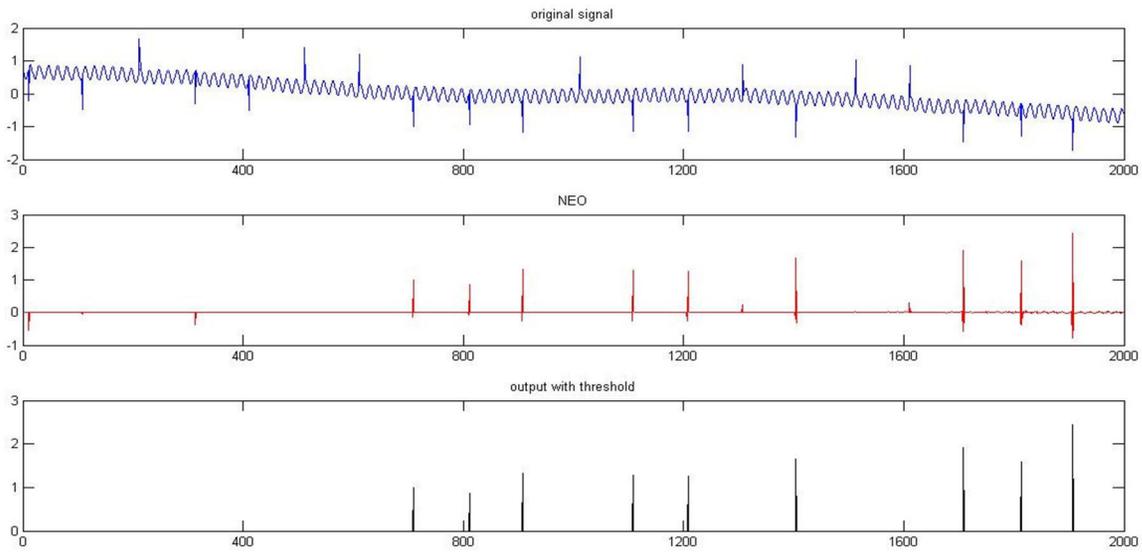
به منظور شناسایی تغییرات سوزنی شکل یک سیگنال مصنوعی همانند شکل شماره ۳-۴ ایجاد کرده و توسط طی دو مرحله تغییرات سوزنی مثبت و منفی آن را شناسایی می کنیم. نتیجه در شکل شماره ۴-۴ و شکل شماره ۵-۴ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۴ سیگنال مصنوعی تولید شده شامل تغییرات سوزنی شکل



شکل ۴-۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل مثبت سیگنال مصنوعی



شکل ۴-۵) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل منفی سیگنال مصنوعی

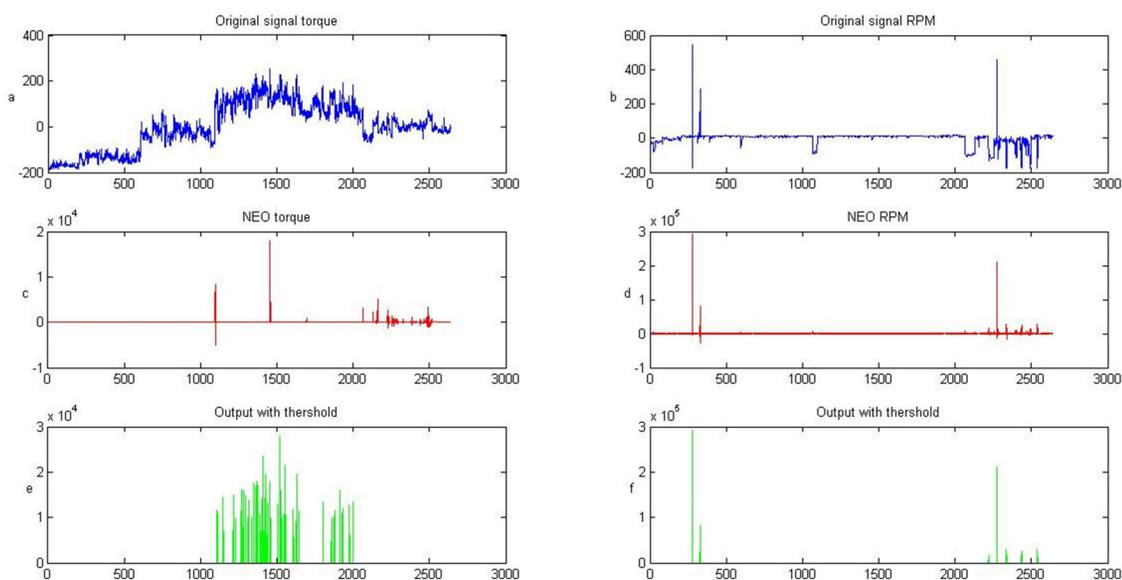
۴-۱-۱۰ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های چاه سالم

حال برنامه را با اطلاعات چاه شماره ۷ که یکی از چاه‌های سالم، طبق برچسب‌گذاری کارشناسان حفاری

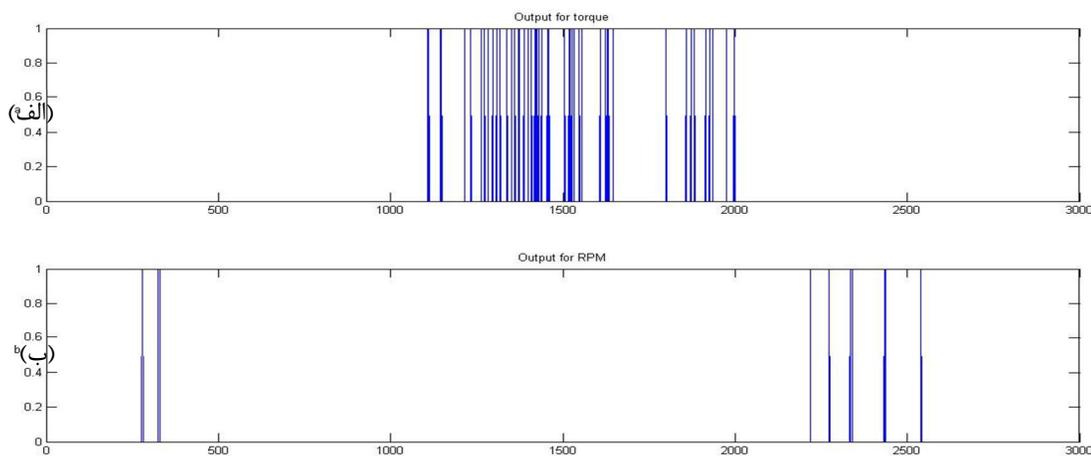
است، اجرا می‌کنیم که نتیجه در شکل شماره ۴-۶ مشاهده می‌شود.

(الف)

(ب)



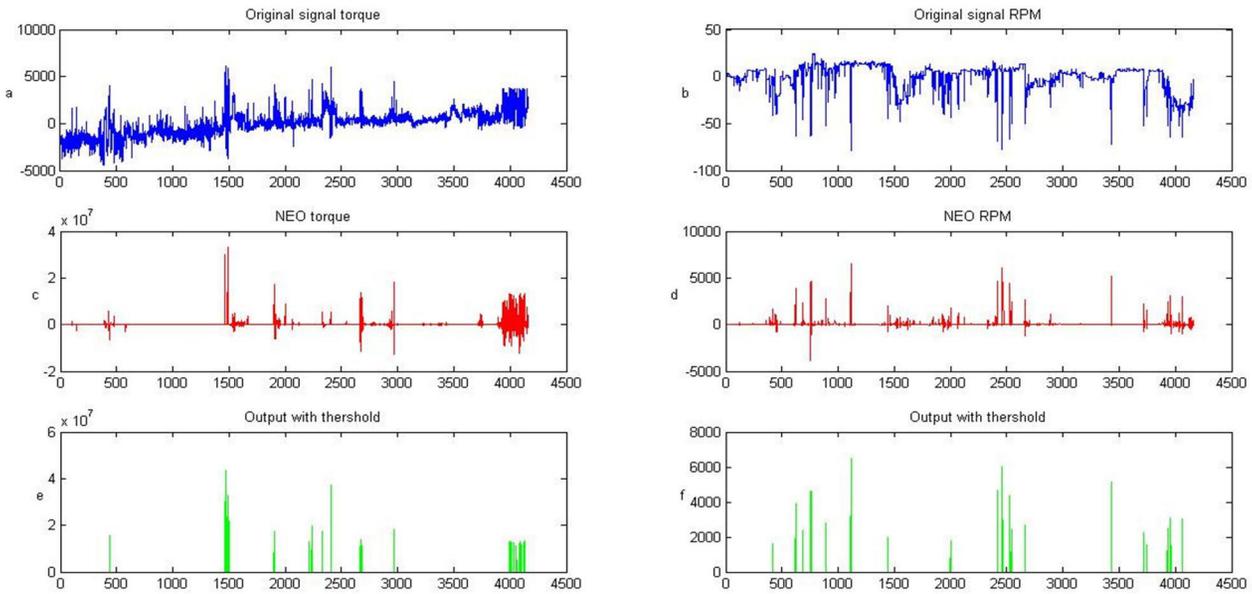
شکل ۴-۶) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۷ در شکل شماره ۴-۷) نتیجه پردازش مورد نظر دو سیگنال گشتاور و RPM با وضوح بیشتر در کنار هم قابل مشاهده است.



شکل ۴-۷) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه سالم شماره ۷ مجدداً برنامه را با اطلاعات چاه شماره ۵ که یکی دیگر از چاه‌های سالم، طبق برچسب‌گذاری کارشناسان حفاری است، اجرا می‌کنیم که نتیجه در شکل شماره ۴-۸) مشاهده می‌شود.

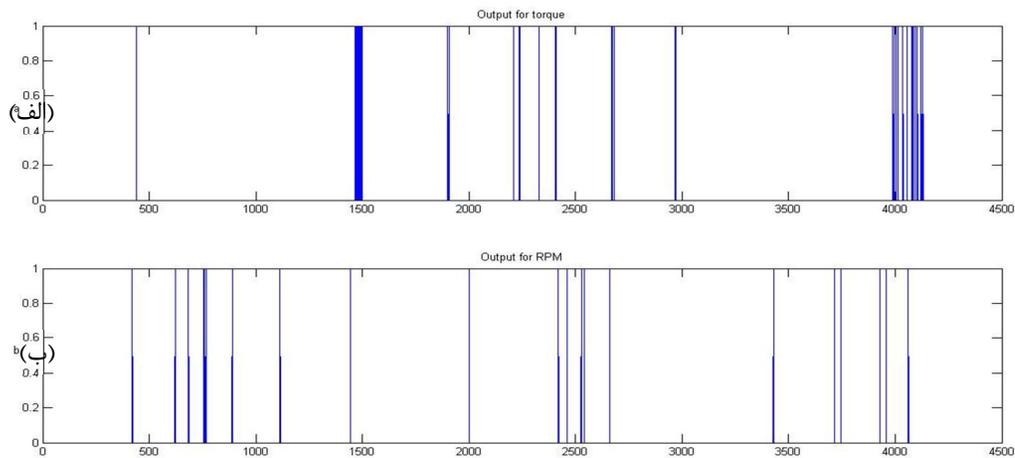
(الف)

(ب)



شکل ۴-۸) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۵

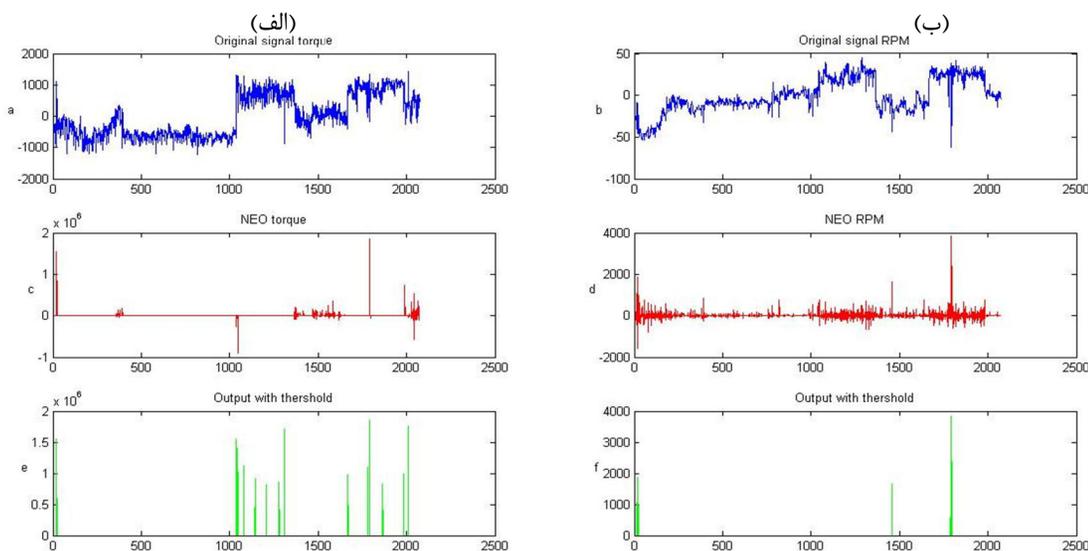
در شکل شماره ۴-۹ نتیجه پردازش مورد نظر دو سیگنال گشتاور و RPM با وضوح بیشتر در کنار هم قابل مشاهده است.



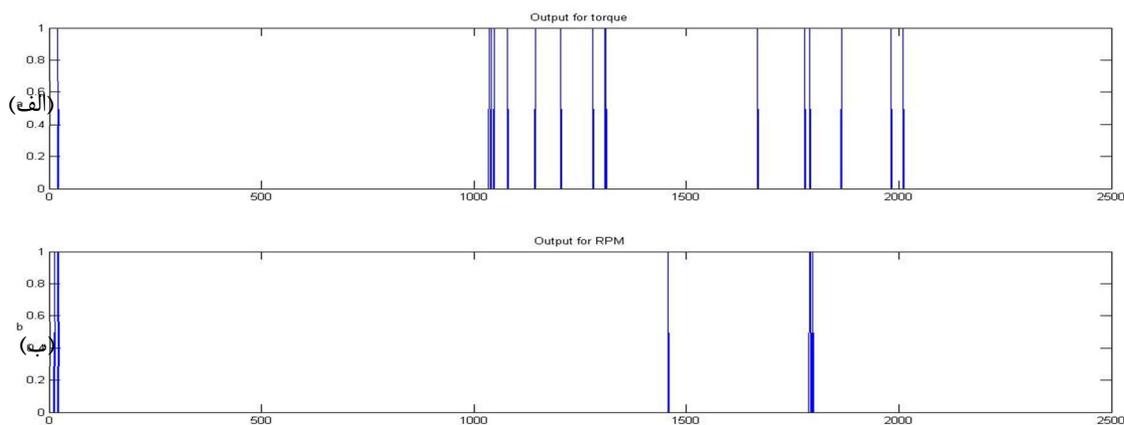
شکل ۴-۹) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه سالم شماره ۵

۴-۱-۱۱ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های چاه دارای گیر رشته لوله حفاری

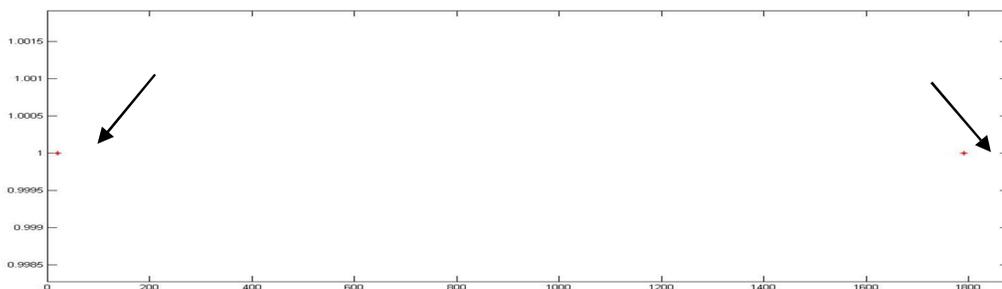
برای بررسی روش پیشنهادی در جهت تشخیص گیر رشته لوله حفاری، برنامه را با داده‌های چاه شماره ۲۰ که طبق برچسب گذاری کارشناسان، دارای مشکل گیر لحظه‌ای معرفی شده است، اجرا می‌کنیم. خروجی برنامه در شکل شماره ۴-۱۰ مشخص شده است.



شکل ۴-۱۰) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه شماره ۲۰ دارای گیر رشته حفاری این چاه در دو عمق دچار گیر لحظه‌ای شده که با اعمال ضربه مشکل برطرف شده است. این مشکلات در گزارشات روزانه منعکس می‌شوند. می‌بینیم که همین اعماق در برنامه پردازشی ما نیز صحیح شناسایی شده‌اند و با ستاره قرمز رنگ مشخص شده‌اند. نتایج در اشکال ۴-۱۱ و ۴-۱۲ مشاهده می‌شوند.

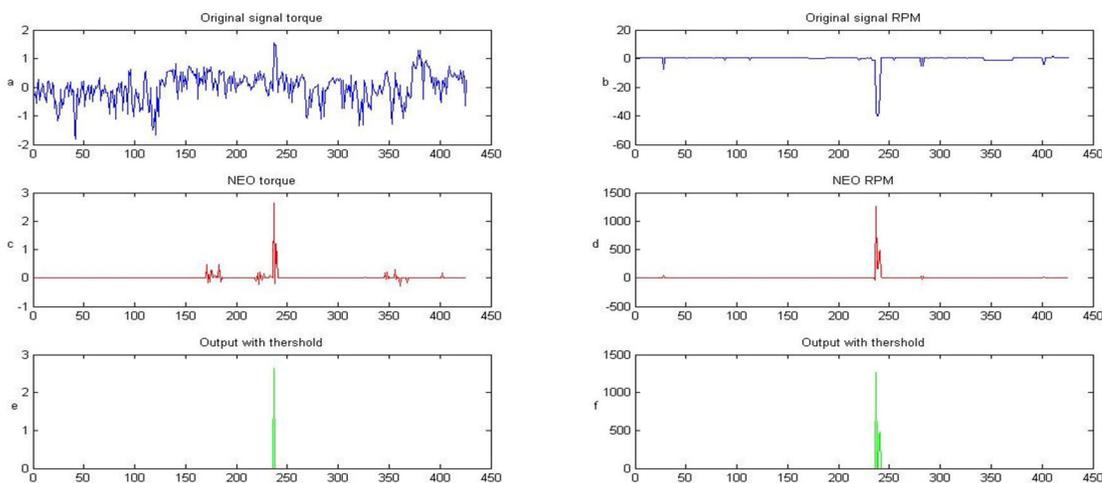


شکل ۴-۱۱) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه شماره ۲۰ دارای گیر رشته حفاری



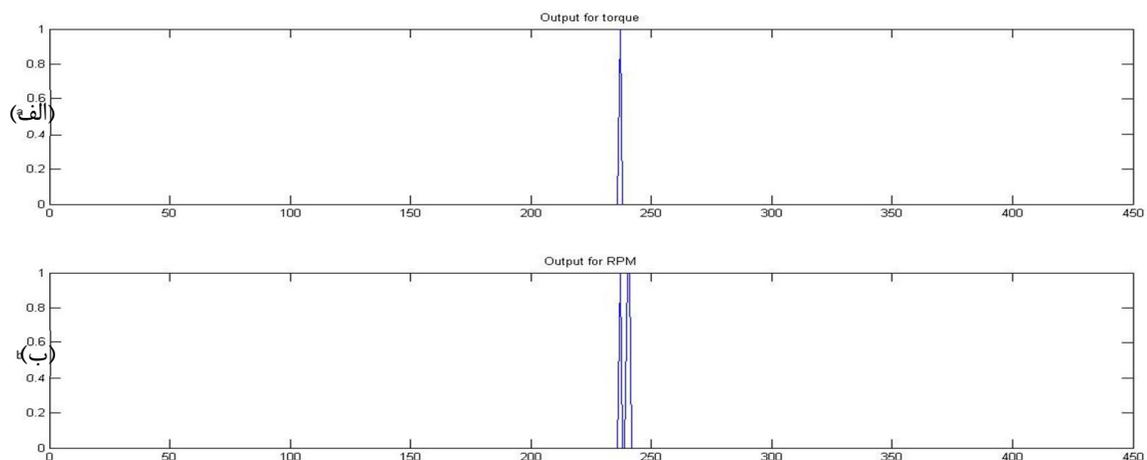
شکل ۴-۱۲) نتیجه شناسایی نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۲۰

مجدداً برنامه را با اطلاعات چاه شماره ۱۸ که یکی دیگر از چاه‌های دارای گیر لحظه‌ای رشته لوله حفاری، طبق برچسب‌گذاری کارشناسان حفاری است، اجرا می‌کنیم که نتیجه در شکل شماره ۴-۱۳ مشاهده می‌شود.

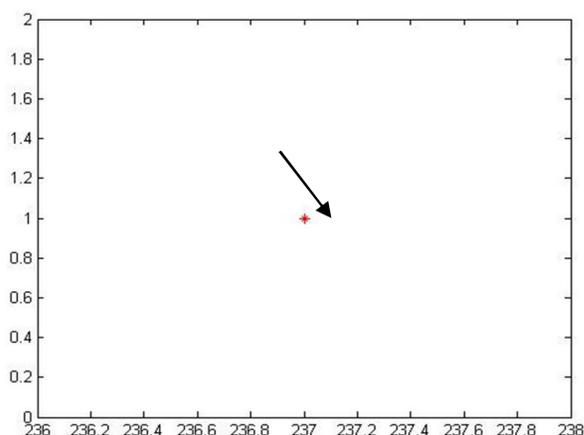


شکل ۴-۱۳) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه شماره ۱۸ دارای گیر رشته حفاری

این چاه در یک عمق دچار گیر لحظه‌ای شده که با اعمال کشش مشکل برطرف شده است. این مشکلات در گزارشات روزانه منعکس می‌شوند. می‌بینیم که همین عمق در برنامه پردازشی ما نیز صحیح شناسایی شده و با ستاره قرمز رنگ مشخص شده است. نتایج در اشکال شماره ۴-۱۴ و ۴-۱۵ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۱۴) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه شماره ۱۸ دارای گیر رشته حفاری



شکل ۴-۱۵) نتیجه شناسایی نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۱۸

۴-۱-۱۲) نتایج روش شناسایی لحظه گیر رشته لوله حفاری

جدول شماره ۴-۱) نتیجه ماتریس در هم ریختگی اجرای برنامه برای اطلاعات بیست چاه ثبت شده را نمایش می دهد.

جدول ۴-۱) ماتریس درهم ریختگی شناسایی وقوع گیر رشته حفاری

حفاری سالم	حفاری دارای مشکل	
۱۵	۱	تشخیص حفاری سالم
۰	۴	تشخیص حفاری دارای مشکل

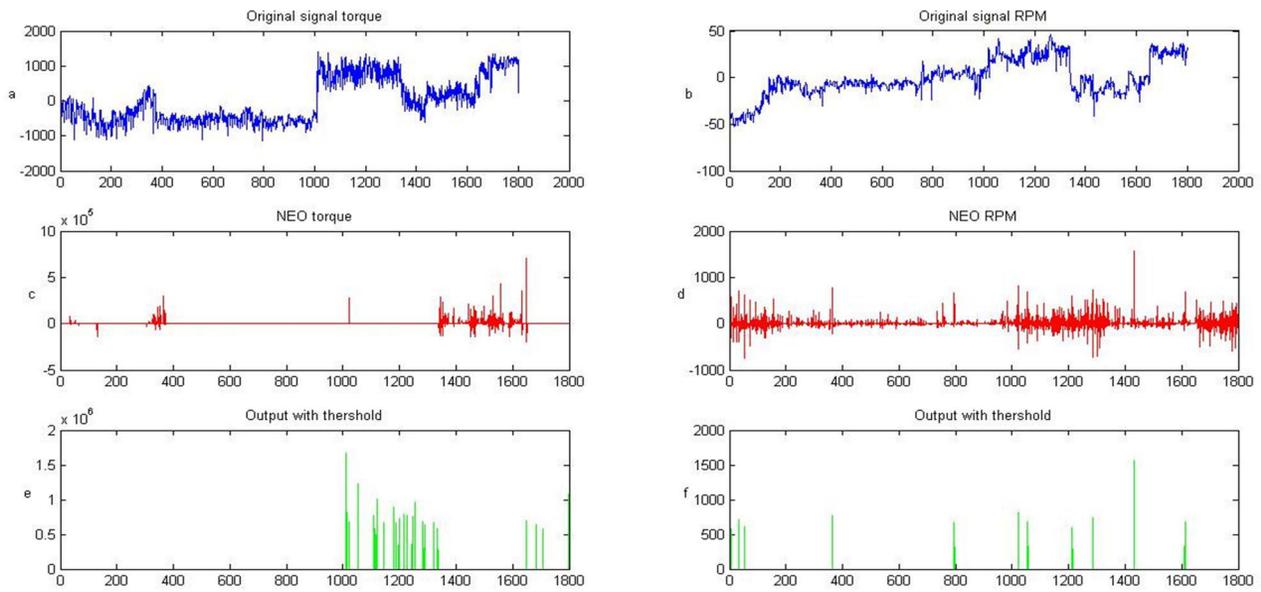
بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تشخیص لحظه گیر رشته لوله حفاری بسیار کارآمد است و تمام چاه‌های دچار مشکل درست تشخیص داده شدند. تنها یک چاه سالم دارای مشکل تشخیص داده شد. جدول شماره ۲، معیارهای محاسبه کارایی برنامه را نشان می‌دهند.

جدول (۲-۴) معیارهای کارایی روش تشخیص وقوع گیر رشته حفاری

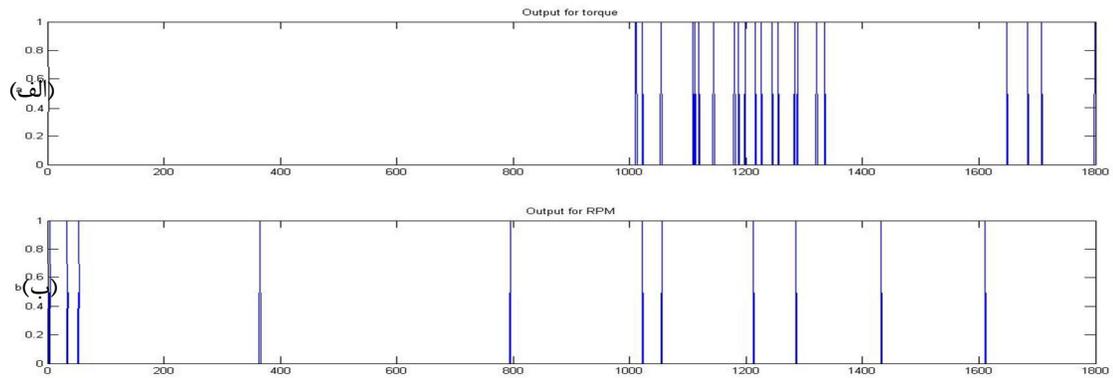
CA	۰.۹۵
ER	۰.۰۵
DR	۰.۹۳
FAR	۰

۴-۱-۱۳ ارزیابی روش پیشنهادی حین تشخیص غلط

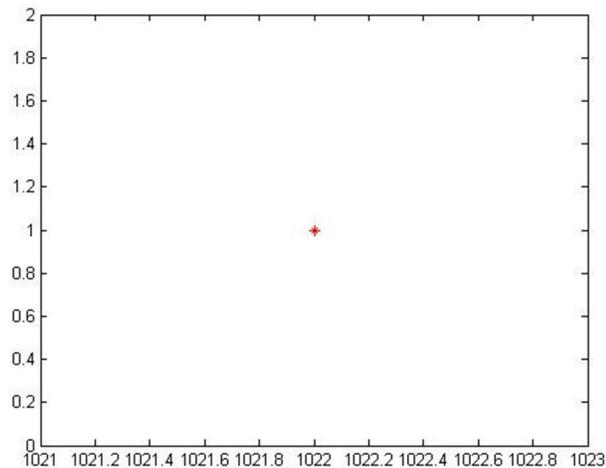
پس از اجرای روش پیشنهادی مشاهده می‌شود که برای چاه شماره ۱۲ از دسته چاه‌های سالم، روش به غلط تشخیص گیر رشته لوله حفاری می‌دهد. شکل شماره ۴-۱۶ خروجی برنامه را برای اطلاعات این چاه نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۱۶) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM برای چاه سالم شماره ۱۲

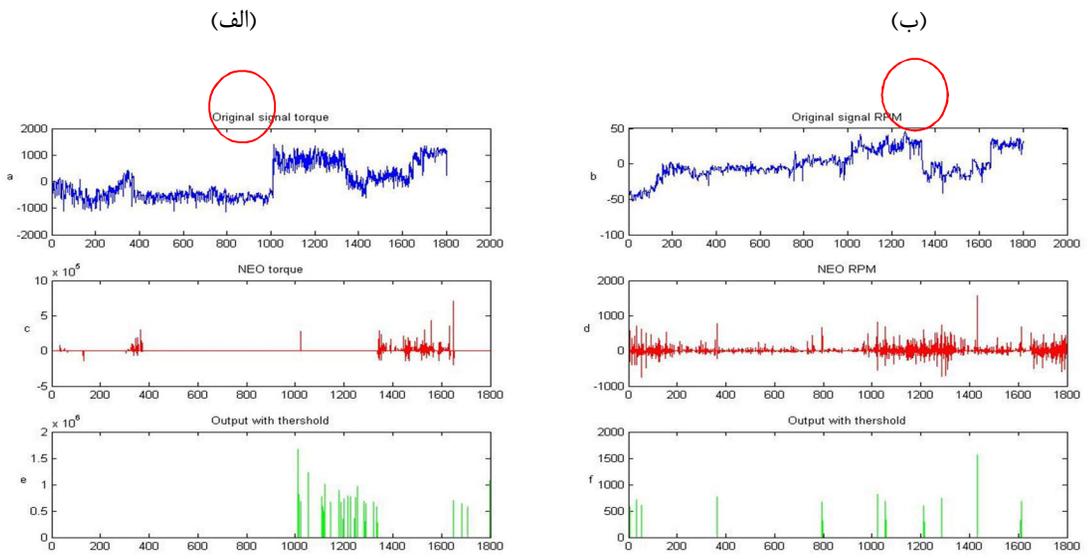


شکل ۴-۱۷) نتیجه شناسایی تغییرات سوزنی شکل الف: گشتاور و ب: RPM برای چاه سالم شماره ۱۲



شکل ۴-۱۸) نتیجه شناسایی نادرست نقطه وقوع گیر رشته لوله حفاری برای چاه شماره ۱۲

همان طور که در عکس شماره ۴-۱۸ مشاهده می شود در عمق ۱۱۹۶ متری که داده شماره ۱۰۲۲ است برنامه یک لحظه گیر رشته لوله حفاری تشخیص می دهد که با توجه به گزارش ثبت شده حین عملیات غلط است. با بررسی بیشتر سیگنال ها برای یافتن علت این خطا متوجه می شویم که در این نقطه، از آنجا که مسیر چاه وارد لایه متفاوتی شده است، روند حفاری کلاً تغییر کرده است. با توجه به تغییر لایه زمین و تغییر میزان نفوذ پذیری که کاهش یافته، گشتاور زیاد شده و کاهش RPM بر اساس تصمیم تیم حفاری بوده است. این تغییر در شکل شماره ۴-۱۹ با دایره قرمز مشخص شده است که منجر به تشخیص نادرست روش پیشنهادی شده است.



شکل ۴-۱۹) دلیل شناسایی نادرست وقوع گیر رشته حفاری برای چاه شماره ۱۲ الف) تغییرات گشتاور ب) تغییرات RPM

۴-۲ بخش دوم؛ پیش بینی گیر رشته لوله حفاری

شناسایی لایه‌های زمین به عنوان نقاط پرخطر وقوع گیر رشته لوله حفاری، گام بعدی این پژوهش برای نیل به هدف پیش بینی امکان گیر رشته لوله حفاری است. آنچه در مورد روند حفاری قابل توجه می‌باشد، این است که با وجود اهمیت زمین شناسی سازند بستر چاه، در برنامه‌ریزی پیش از عملیات، هنوز در حین حفاری چاه نفت اطلاعات دقیقی از ستون سنگ شناسی^۱ مسیر چاه در دسترس نیست. در واقع برای شناسایی لایه‌ها روش‌های دقیقی وجود دارد اما از آنجا که بسیار پرهزینه یا زمان‌بر هستند در صنعت حفاری جایگاه ثابتی ندارند و مورد استفاده دائم قرار نمی‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به داده‌های پتروفیزیک، ژئوفیزیک یا لرزه نگاری سازند، تصویربرداری از مسیر چاه و مغزه‌گیری اشاره کرد. شایان ذکر است تمام این روش‌ها دقت بالایی در پردازش لایه‌های زمین دارند و اطلاعات دقیقی در مورد جنس و ضخامت لایه‌ها می‌دهند.

در حال حاضر اطلاعات سنگ‌شناسی مسیر چاه پس از حفاری و با استفاده از خرده سنگ‌های^۲ به سطح چاه آمده، توسط گل حفاری، در گزارشات روزانه ثبت می‌شود. برای محاسبه به این شیوه نیاز به محاسبه وزن مخصوص گل، عمق حفاری و سرعت پخش گل نیاز است، که توسط زمین شناس حاضر در محل حفاری محاسبه و ثبت می‌گردد. البته این روش دقیق نیست چرا که تمام اندازه‌گیری‌ها با تخمین و نویز همراه هستند و انسان در آن دخالت دارد. نمونه‌ای از این گزارش در شکل شماره ۴-۲۰ قابل مشاهده می‌باشد.

¹ Lithology

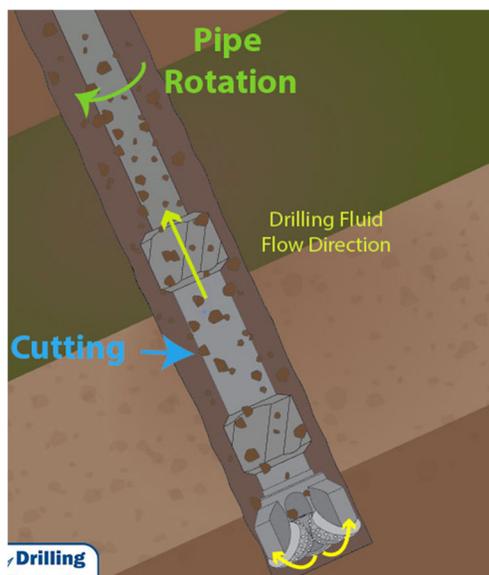
² Cutting

3195	3200	Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 50% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 40%
3195	3200	Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 50% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 50%
3200	3205	Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 60% & Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 40%
Top of Eva B. Mbr. @ 3205m MD [TVD=2393m]		
3205	3207	Anhy: wh, sft, putty, washable. 10% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 50% & Dol: a.a. 40% (poor sample c
3207	3210	Anhy: wh, sft, putty, washable. 20% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 40% & Dol: a.a. 40% (poor sample c
3210	3212	Anhy: wh, sft, putty, washable. 30% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 40% & Dol: a.a. 30% (poor sample c
3212	3225	Anhy: wh, sft, putty, washable. 40% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 30% & Dol: a.a. 30% (poor sample c
3225	3235	Anhy: wh, sft, putty, washable. 30% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 30% & Dol: a.a. 40%
3235	3245	Anhy: wh, sft, putty, washable. 40% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft, sft-md hd, ll, llll, B, A/B. 30% & Dol: lt bn, ctm, gy, md hd, llll, l,
3245	3255	Anhy: wh, sft, putty, washable. 50% & Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 30% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft
3255	3265	Anhy: wh, sft, putty, washable. 60% & Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 20% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft
3265	3272	Anhy: wh, sft, putty, washable. 60% & Dol: lt bn, orm, gy, md hd, llll, l, B/C, A, sm calo, sm sug. 10% & Arg Lst: off wh, lt gy, sft

شکل ۴-۲) گزارش زمین شناسی حین عملیات حفاری با استفاده از کنده های حفاری

۴-۲-۱ مراحل روش پیشنهادی برای تشخیص لایه های زمین

امکان وقوع گیر رشته لوله حفاری در زمان تغییر جنس سنگ های مسیر چاه بیشتر است. بنابراین از آنجا که سنگ های متفاوت نرخ نفوذ پذیری، درجه سختی و وزن مخصوص متفاوت دارند، ایده ای در مورد لایه ها مطرح می شود که تغییر لایه باید در برخی پارامترهای حفاری نمود پیدا کند. با بررسی های بیشتر در رفتار این پارامترها و پرسش از کارشناسان امر مشخص شد، بهترین نمود تغییر در پارامترهایی هستند که در حین عملیات حفاری جهت شناخت خطرات ناشی از سازند همچون هرزروی گل حفاری و شکستگی ها مورد استفاده قرار می گیرند؛ یعنی گشتاور و پارامترهای گل حفاری. بنابراین اگر بر روی سیگنال این داده ها پردازشی به جهت شناسایی تغییرات صورت گیرد، می توان لایه ها را تشخیص داد.



شکل ۴-۲۱) گیر رشته لوله حفاری حین عوض شدن لایه های سنگی

۲-۲-۴ پارامترهای مورد توجه

گشتاور، انعکاس فعالیت رشته لوله حفاری در زمین است، بنابراین واضح است که تغییرات لایه های زمین در نهان آن منعکس شود. در واقع در سنگ های سفت تر یا با درجه نفوذ پذیری کمتر، مقدار گشتاور بیشتر است. عکس این قضیه در مورد سنگ های با نفوذ پذیری بالاتر صدق می کند که گشتاور در طول این لایه های سنگی کمتر می شود. بنابراین در روش پیشنهادی، سیگنال گشتاور بیشترین تاثیر را در شناسایی مرز لایه های سنگی دارد.

۳-۲-۴ ساختار روش پیشنهادی

ایده روش پیشنهادی برای پیش بینی لایه های زمین به عنوان نقاط پر خطر وقوع گیر رشته لوله حفاری، این است که در هر لایه از زمین رفتار پارامترهای یاد شده از نظر ساختاری یکسان است. پس با در نظر گرفتن تغییر رفتار پارامترهای ثبت شده در حین حفاری، حین تغییر لایه های سنگ در مسیر حفر چاه نفت، به این نتیجه می رسیم که اگر سیگنال این پارامترها را قطعه بندی کنیم؛ مرز قطعه بندی همان مرز تغییر لایه سنگی خواهد بود. بنابراین روش پیشنهادی تشخیص مرز لایه های زمین به این صورت مطرح

می‌شود که سیگنال گشتاور را قطعه بندی می‌کنیم مرز قطعات را به عنوان عمق تغییر لایه در نظر می‌گیریم. در زمان تغییر لایه، هشداری به مسئول حفاری داده می‌شود تا از وقوع گیر رشته لوله حفاری پیش‌گیری کند.

۴-۲-۴ پیاده سازی الگوریتم

به منظور شناسایی دقیق لایه های زمین در حین حفاری بلوک دیاگرام زیر پیشنهاد می‌گردد که یک روش کاملاً نوین و ابتکاری برای محاسبه و تشخیص مرز لایه‌های سنگی زمین می‌باشد. در فصل سوم روش‌های مختلف قطعه بندی سیگنال معرفی شد، که با توجه به رفتار سیگنال‌های مورد بررسی از روش تغییر بعد فرکتال برای قطعه بندی استفاده می‌شود، زیرا بعد فرکتال یک سیگنال ماهیت آن را آشکار می‌کند. سپس قطعه بندی با روش *varri* تکرار می‌شود و نتایج مقایسه می‌گردد.



۴-۲-۵ معرفی پایگاه داده

برای انجام این تحقیق داده‌های بدست آمده از گشتاور و زمین شناسی پنج چاه از شرکت های حفاری شرکت ملی نفت ایران در اختیار قرار گرفته است. اما از آنجا که اطلاعات نفت هر کشور بسیار محرمانه است، در تحقیقات این حوزه هیچ نامی از شرکت همکار، مخزن مورد بررسی و شماره چاه برده نمی‌شود. این چاه‌ها از حوزه‌های نفتی خشکی جنوب ایران تهیه شده‌اند. بنابراین برای شناسایی در روند پردازش، چاه‌ها را از شماره یک تا پنج نام گذاری می‌شوند. منبع دریافت این اطلاعات گزارشات ثبت شده از حفاری‌های انجام شده در حوزه نفتی اهواز و آزادگان است. صحت این اطلاعات مورد تایید کارشناسان حین عملیات قرار گرفته است. نرخ نمونه گیری بر مبنای یک متر عمق می‌باشد و تمام مرزها در پنج چاه مورد بررسی برچسب گذاری شده‌اند.

۴-۲-۶ پیش پردازش

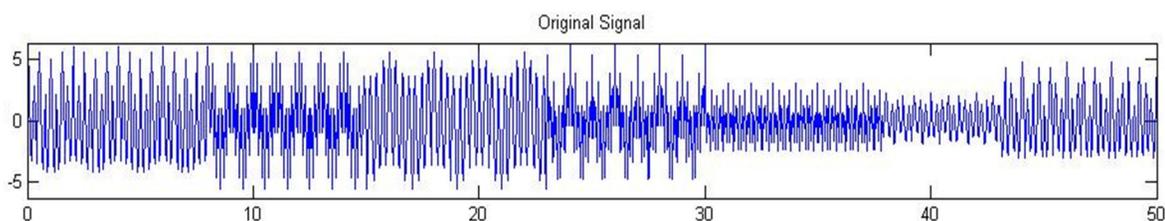
باید توجه داشت اطلاعات دریافت شده بر مبنای چاه طبقه بندی شده است و طبق سیاست‌های خاص عملیات حفاری، گاهاً روند حفاری یک چاه روزها به طول انجامیده و منقطع بوده است، بنابراین نوسانات مربوط به قطع عملیات از سیگنال‌ها حذف شده است. صحت اطلاعات به تایید سه کارشناس خبره این حوزه رسیده است. همچنین اطلاعات مربوط به پارامتر گشتاور هر کدام از چاه‌ها از نظر کمیت یکسان سازی شده‌اند. چرا که گشتاور در برخی چاه‌ها بر مبنای فوت پوند و برخی دیگر بر مبنای نیوتن متر ثبت شده است بنابراین مقادیر یکسان سازی و همگی به فوت پوند تبدیل شدند. همین‌طور به منظور ساده‌سازی شکل سیگنال و بهبود قطعه بندی، در ابتدا سیگنال‌ها توسط تبدیل موجک ساده سازی می‌شوند و سپس مورد محاسبه بعد فرکتال قرار می‌گیرند.

۷-۲-۴ انتخاب پنجره مناسب

در روش پیشنهادی برای قطعه بندی سیگنال گشتاور ، نیاز به انتخاب طول پنجره مناسب و میزان همپوشانی دو پنجره لغزان داریم. این مقادیر به روش سعی و خطا انتخاب شده‌اند. پس از اجراهای متعدد بهترین میزان برای طول پنجره ۲۰۰ الی ۲۵۰ و میزان همپوشانی ۵۰ درصد انتخاب شد.

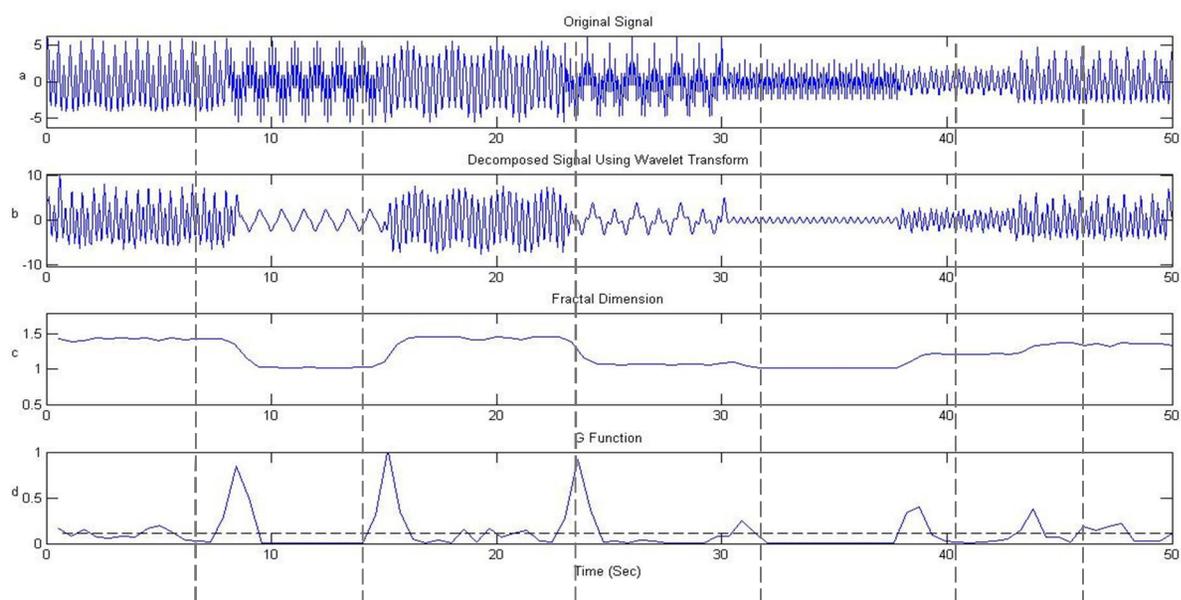
۸-۲-۴ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی

به منظور شناسایی لایه‌های زمین با قطعه بندی، یک سیگنال مصنوعی همانند شکل شماره ۴-۲۲ ایجاد می‌کنیم.



شکل ۴-۲۲ سیگنال مصنوعی تولید شده برای قطعه بندی

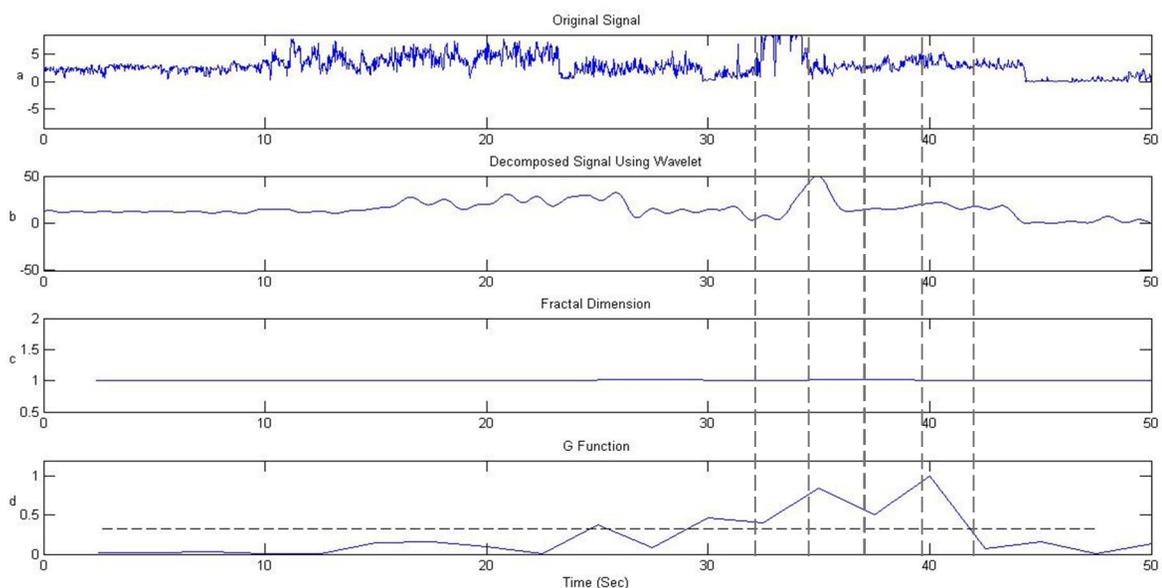
توجه شود که این یک شمای ایده‌آل از نحوه تغییر پارامترهای حفاری در مواجهه با لایه‌های زمین است. بنابراین اگر آن را قطعه بندی کنیم هر قطعه مربوط به یک جنس سنگ خواهد بود. پس با شناسایی مرزهای قطعه بندی آن، تغییر لایه را تشخیص خواهیم داد. نتیجه قطعه بندی این سیگنال در شکل شماره ۴-۲۳ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۲۳) قطعه بندی سیگنال مصنوعی توسط تغییرات بعد فرکتال

۴-۲-۹ ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی

برای مشاهده کارایی روش پیشنهادی در تشخیص لایه‌های زمین آن را به داده‌های ثبت شده حین عملیات حفاری اعمال می‌کنیم. برچسب مرز لایه‌های سنگی، اطلاعات ثبت شده توسط زمین شناس تیم حفاری از روی سنگ‌های آمده به سطح چاه، توسط گل حفاری است. در شکل شماره ۴-۲۴ نتیجه قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره یک مشهود است. طول پنجره ۲۰۰ انتخاب شده است



شکل ۴-۲۴) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۱ توسط تغییرات بعد فرکتال با طول پنجره ۲۰۰

بر طبق اطلاعات زمین شناسی این چاه از ۴ لایه سنگی تشکیل شده است. بنابراین دو نقطه از مرزهای بدست آمده از طریق روش پیشنهادی برای اطلاعات چاه مذکور، اشتباه است. نتیجه پردازش در جدول شماره ۴-۳ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۳) مرز لایه های بدست آمده توسط روش قطعه بندی سیگنال گشتاور بوسیله بعد فرکتال

عمق بدست آمده					
۲۱۰۹	۱۹۹۴	۱۸۶۵	۱۷۴۵	۱۶۵۵	سیگنال گشتاور
*	-	*	*	-	تطبیق نتایج

۱۰-۲-۴ نتایج روش شناسایی مرز لایه‌های زمین در مسیر حفاری

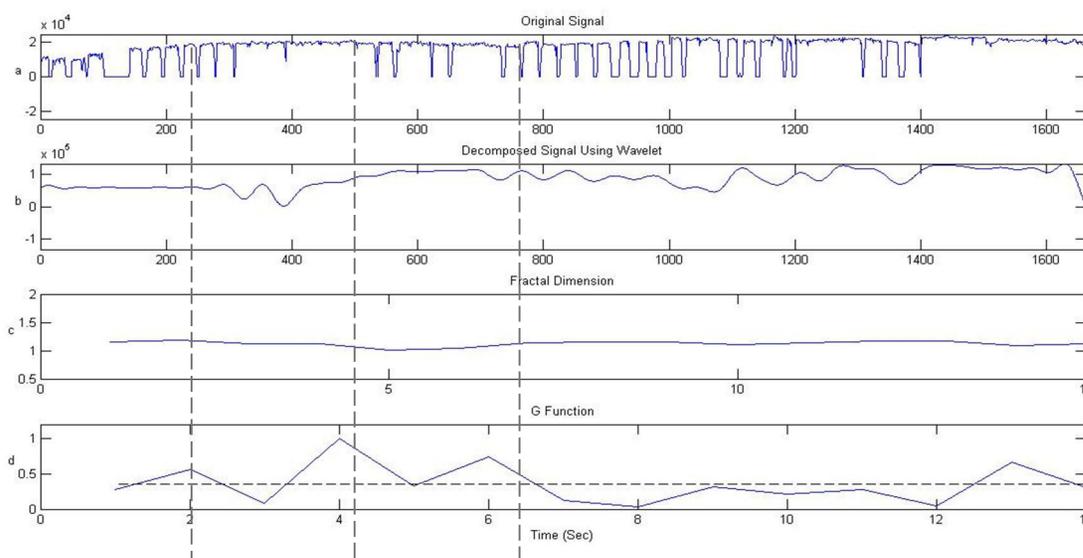
جدول شماره ۴-۴ نتیجه اجرای برنامه برای اطلاعات پنج چاه ثبت شده را نمایش می‌دهد.

جدول ۴-۴) نتایج بدست آمده برای شناسایی مرز لایه‌های زمین توسط قطعه بندی سیگنال گشتاور با بعد فرکتال

۳۱	تعداد کل مرز لایه‌های سنگی
۱۶	تعداد مرزهای شناسایی شده
۱۴	تعداد مرزهای درست تشخیص داده شده
۲	تعداد مرزهای غلط تشخیص داده شده
۱۷	تعداد مرزهای تشخیص داده نشده

۱۱-۲-۴ ارزیابی روش پیشنهادی حین تشخیص غلط

پس از اجرای برنامه با اطلاعات تمام پنج چاه موجود، بدترین نتیجه برای چاه شماره پنج حاصل شد. البته هر ۴ نقطه شناسایی شده در محدوده تغییرات لایه‌های سنگی هستند اما حدود ۱۶ مرز دیگر که طبق اطلاعات زمین شناسی وجود دارد، شناسایی نشده است. خروجی برنامه در شکل شماره ۴-۲۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۲۵) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۵ توسط تغییرات بعد فرکتال با طول پنجره ۲۰۰

مشکل تشخیص نادرست با کم کردن طول پنجره‌ها نیز رفع نمی‌شود. با بررسی علت این ضعف مشخص می‌شود به خاطر ماهیت سیگنال گشتاور که در بسیاری از نقاط مقدار صفر دارد، این مشکل بوجود آمده است. با مراجعه به کارشناسان مشخص شد که این روش حفاری، به منظور بالا بردن نرخ نفوذ انجام می‌شود و در این مواقع فقط مته در انتهای لوله می‌چرخد و نیرویی عمودی از سرچاه به آن وارد نمی‌شود، بنابراین مقدار گشتاور صفر می‌شود.

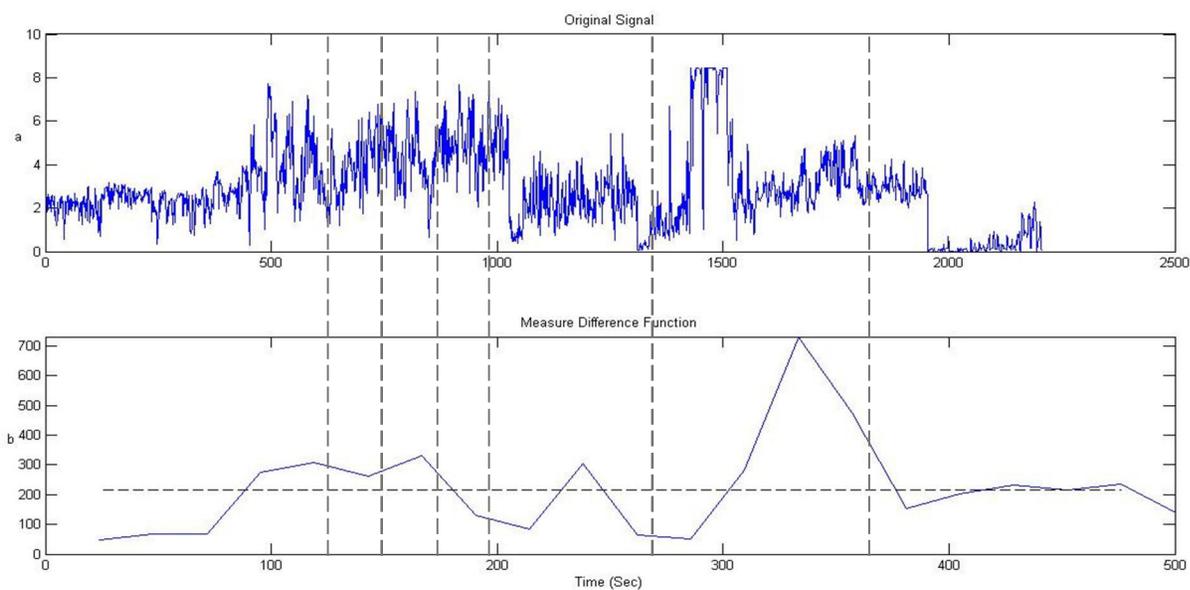
به نظر می‌رسد اطلاعات چاه شماره ۵ باعث پایین آوردن دقت و کارایی برنامه شده است. بنابراین اگر این چاه را از نتایج حذف کنیم جدول شماره ۴-۵ نشان دهنده کارایی برنامه برای تشخیص لایه های زمین خواهد بود.

جدول ۴-۵) نتایج بدست آمده برای شناسایی مرز لایه های زمین توسط قطعه بندی سیگنال گشتاور با بعد فرکتال

۱۱	تعداد کل مرز لایه‌های سنگی
۱۲	تعداد مرزهای شناسایی شده
۱۰	تعداد مرزهای درست تشخیص داده شده
۲	تعداد مرزهای غلط تشخیص داده شده
۱	تعداد مرزهای تشخیص داده نشده

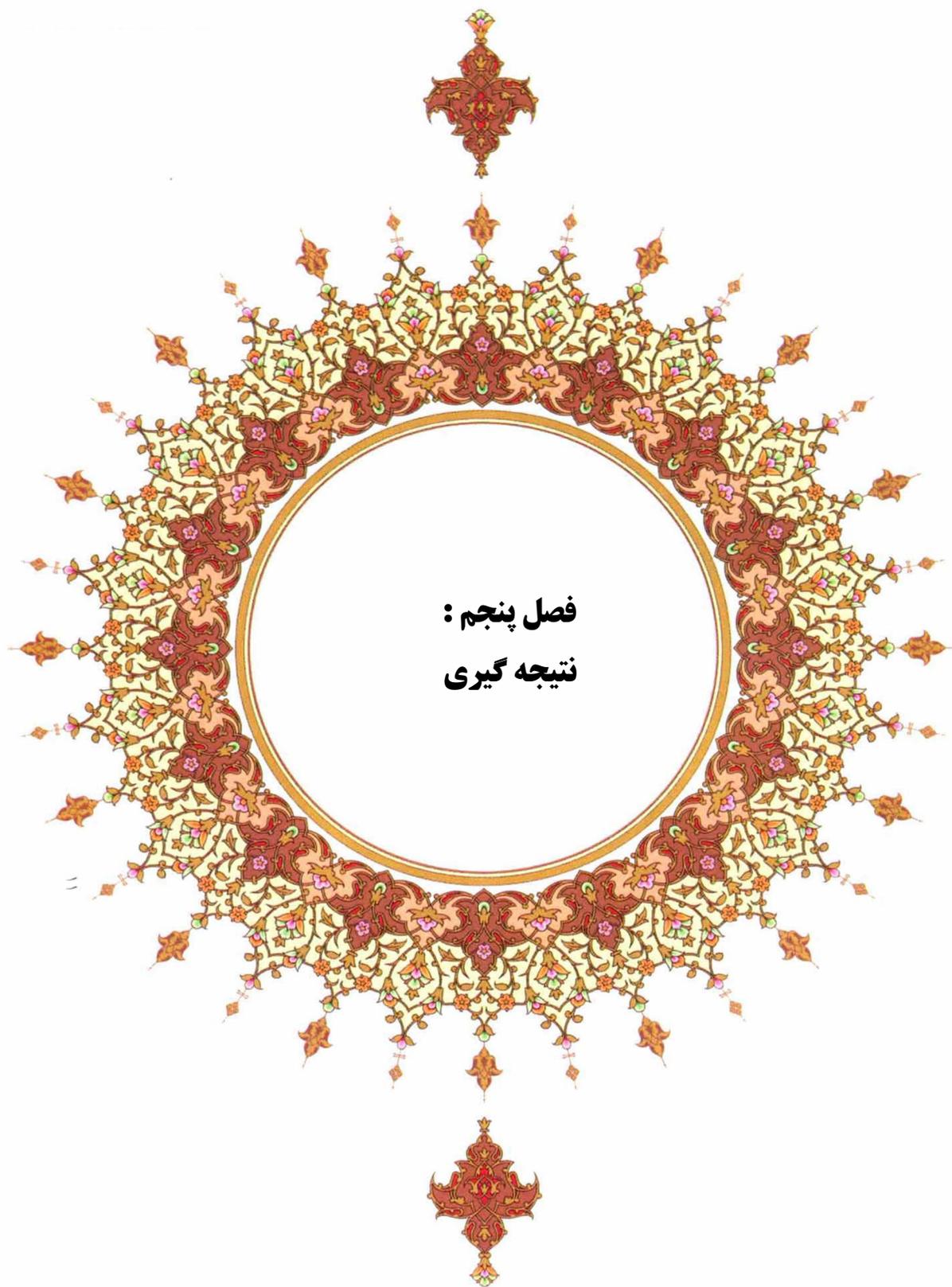
۴-۲-۱۲ ارزیابی روش قطعه‌بندی با استفاده از روش varri

به منظور بررسی تاثیر روش انتخابی قطعه‌بندی در کارایی تعیین مرز لایه‌های زمین، بار دیگر سیگنال گشتاور چاه‌ها را به روش varri و با همان طول پنجره قطعه بندی می‌کنیم. شکل شماره ۴-۲۶ نتیجه قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره یک را با روش قطعه بندی varri نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۲۶) قطعه بندی سیگنال گشتاور چاه شماره ۱ توسط روش varri با طول پنجره ۲۰۰

مشاهده می‌شود که با استفاده از این روش شش مرز شناسایی می‌گردد که تنها یک مورد از آنها درست است و پنج مورد از مرزهای شناسایی شده نادرست می‌باشد، البته دو مرز نیز شناسایی نشده است. بنابراین روش قطعه‌بندی با استفاده از بعد فرکتال، نتیجه بهتری در قطعه بندی سیگنال گشتاور برای شناسایی مرز لایه‌های زمین دارد.



**فصل پنجم :
نتیجه گیری**

۵-۱ نتایج حاصل

این پایان نامه به منظور «تشخیص و پیش بینی گیر رشته لوله حفاری با استفاده از سیگنال گشتاور» انجام شد.

در بخش اول به تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری با استفاده از شناسایی تغییرات سوزنی شکل، پرداخته شد. با بررسی در مورد گیر رشته لوله حفاری مشخص شد که در زمان وقوع گیر، گشتاور رشته حفاری به طور ناگهانی بالا می‌رود و سرعت چرخش مته حول محور خود کاهش می‌یابد. در هنگام نمودارگیری از عملیات حفاری، سرعت چرخش مته را با RPM نمایش می‌دهند. بنابراین تغییرات ناگهانی همزمان سیگنال گشتاور و RPM به عنوان ویژگی لحظه گیر رشته لوله حفاری معرفی شد. از آنجا که تغییرات سوزنی شکل رویدادهایی با انرژی زیاد و فرکانس موضعی لحظه ای هستند، روش تشخیص بر مبنای شناسایی این تغییرات در دو سیگنال یاد شده طراحی شد. ضمن بررسی روش های مختلف تشخیص تغییرات سوزنی شکل، از روش اپراتور غیر خطی انرژی هموار شده برای شناسایی تغییرات استفاده شد. از آنجا که تغییرات در جهت افزایش یا کاهش ناگهانی سیگنال‌ها مد نظر بود، یک روش نوین برای شناسایی تغییرات مثبت و منفی به صورت مجزا معرفی شد. نقاط بدست آمده برای دو سیگنال هم مقایسه گردید و نقاط مشترک به عنوان لحظه گیر رشته لوله حفاری معرفی شد. روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال مصنوعی و سیگنال حفاری دریافت شده از شرکت ملی نفت ایران، مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی نتایج بدست آمده نشان داد روش پیشنهادی برای تشخیص لحظه وقوع گیر رشته لوله حفاری، بسیار کارآمد است. معیار دقت دسته بندی، برای این بخش مقدار ۰.۹۵ و خطای دسته بندی ۰.۰۵ بود.

در بخش دوم، به پیش‌بینی امکان وقوع گیر رشته لوله حفاری پرداخته شد. طبق بررسی‌ها مشخص گردید بیشترین امکان وقوع گیر رشته لوله، در نقاطی است که جنس سنگ تغییر می‌کند. بنابراین روش نوآورانه‌ای برای شناسایی مرز لایه‌های سنگی در مسیر حفر چاه، پیشنهاد شد. در حال حاضر هنگام عملیات حفاری، روش دقیقی برای شناسایی مرز لایه‌های سنگی بکار برده نمی‌شود. ایده پیشنهاد شده این بود که پارامترهای حفاری در لایه‌های مختلف، ساختار متفاوتی به خود می‌گیرند. پارامتر گشتاور

نشان دهنده عملکرد رشته حفاری در زمین است بنابراین از سیگنال گشتاور استفاده شد تا مرز لایه‌های زمین بدست آید. سیگنال گشتاور مورد قطعه بندی قرار گرفت تا هر قطعه گشتاور نشان دهنده یک لایه منحصر به فرد باشد. مرز قطعه‌بندی همان مرز لایه‌های سنگی بود. برای کاهش بار پردازشی و نتیجه بهتر، در ابتدا سیگنال توسط تبدیل موجک ساده سازی شد. سپس از آنجا که بعد فرکتال ویژگی‌های ساختاری سیگنال را منعکس می‌کند؛ از تغییر بعد فرکتال برای قطعه بندی سیگنال استفاده شد. ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های بدست آمده از عملیات حفاری چاه‌های نفت ایران انجام شد. با توجه به نوآوری روش نتایج بدست آمده قابل قبول بود. قطعه بندی سیگنال مجدداً به روش varti انجام گرفت و نتایج بدست آمده حاکی از آن بود که قطعه بندی سیگنال گشتاور با استفاده از تغییرات بعد فرکتال، در شناسایی مرز لایه‌های سنگی کارآمدتر از روش varti می‌باشد.

از آنجا که این پردازش‌ها مستقل از پارامترهای مقداردهی شده بر اساس سازند حفاری بودند، و با توجه به اینکه روش‌های پیشین ارائه شده برای پیش‌بینی و تشخیص گیر رشته لوله حفاری به اطلاعات چاه مورد بررسی وابسته هستند، نوآوری دیگر این پایان نامه عدم وابستگی روش‌های مطرح شده به سازند حفاری بود.

۵-۲ محدودیت های پژوهش

از آنجا که روش پیشنهاد شده در این پایان نامه یک رویکرد نوین در حل مسائل حوزه حفاری نفت به ویژه گیر رشته لوله حفاری است، نیاز به پژوهش‌های بیشتری برای دستیابی به نتیجه بهینه و کارایی بالا است. داده‌های مورد استفاده در این پایان نامه به سبب محرمانه بودن به سختی دریافت شد. داده‌های بدست آمده مخصوصاً برای بخش شناسایی لایه‌های سنگی محدود بود. داده‌های موثر دیگری که ممکن بود در روند اجرای این طرح نتیجه بخش باشند، مانند داده‌های مغزه گیری یا پتروفیزیک در دسترس نبود. بدلیل اینکه پایگاه داده تحقیقات مربوط به انرژی علی‌الخصوص حفاری نفت و گاز محرمانه است، امکان مقایسه نتایج روش پیشنهادی با دیگر پژوهش‌ها با استفاده از پایگاه داده یکسان، وجود نداشت. از آنجا که داده‌های ثبت شده در طی روند حفاری، بار مالی دارند و مبنای پرداخت پول هستند، پیدا کردن

داده‌های سالم و صحیح ثبت شده در حین عملیات، بسیار مشکل بود. داده‌های ثبت شده در گزارشات حفاری با نویز بالا و عدم دقت همراه هستند از این رو نتایج را تحت شعاع قرار می‌دادند. اما بر اساس تعداد چاه‌هایی که اطلاعات آن در اختیار گرفته شده، نتایج حاصل از انجام آنالیز بر روی آنها و مقایسه سیگنال‌ها در هر کدام از چاه‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که برای چاه‌های دیگری که جهت این موضوع ارائه شوند نتایج مشابهی بدست آید.

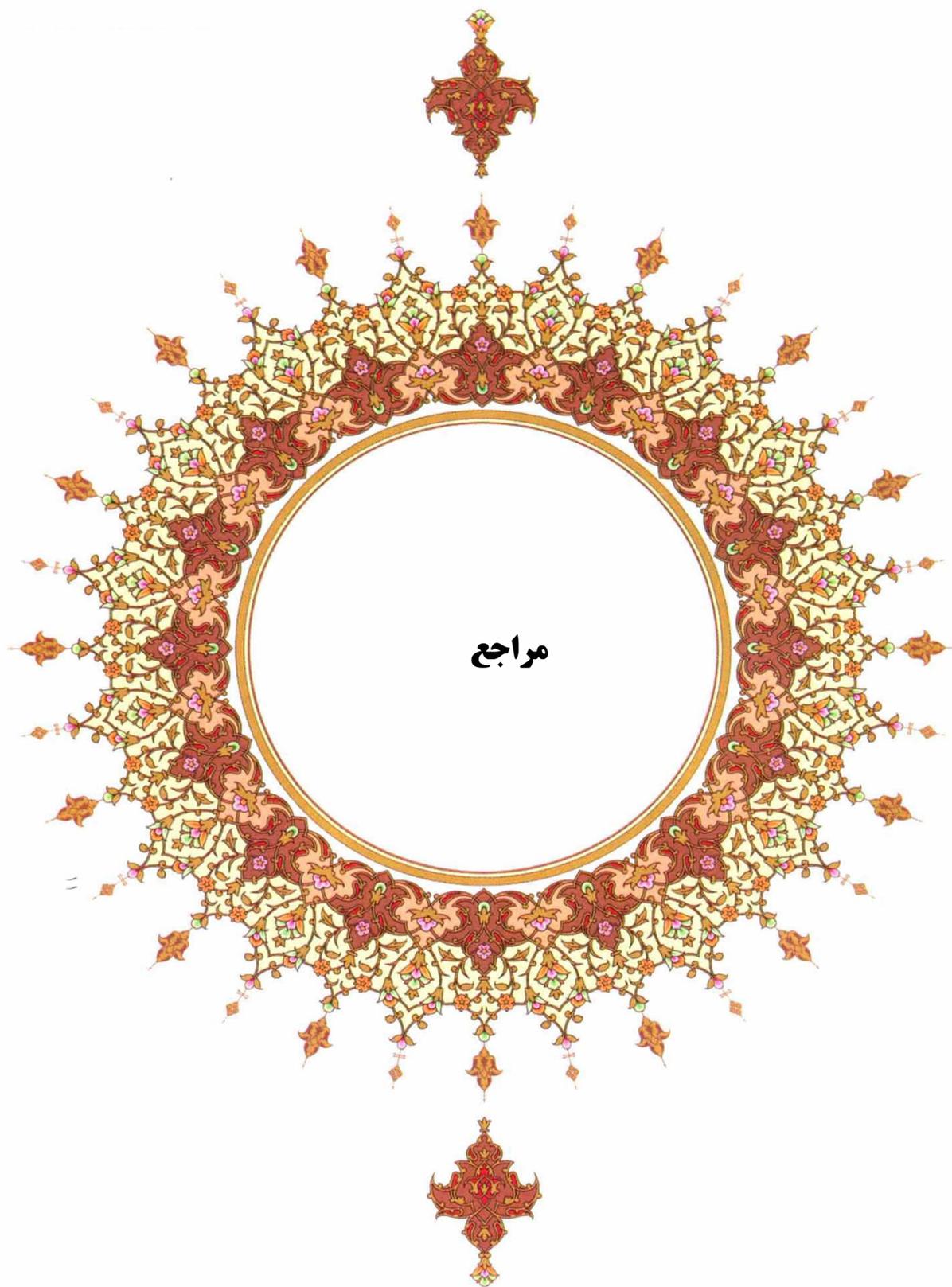
۳-۵ پیشنهادات برای کارهای آینده

استفاده از هوش مصنوعی در حل مسائل حوزه نفتی رویکرد جدیدی است. پژوهشگران در تلاشند تا با استفاده از تکنیک‌های کارآمد این رشته مسائل حل نشده و پیچیدگی‌های موجود حفاری را برطرف کنند. پروژه‌های جهانی با عنوان حفاری هوشمند برای دستیابی به روند بهینه در حوزی نفت و گاز مطرح شده است. در میان تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی، پردازش سیگنال در این حوزه بسیار نوپا است. پارامترهای حفاری در طول عملیات بطور پیوسته ذخیره می‌شوند بنابراین بستر مناسبی برای ورود پردازش سیگنال به این حوزه وجود دارد.

در این پایان نامه به بررسی مشکل گیر رشته لوله حفاری پرداخته شد. در بخش تشخیص وقوع گیر رشته لوله، پیشنهاد می‌شود تاثیر پارامترهای دیگری مانند ویژگی‌های ساختاری رشته لوله، بار روی لوله حفاری و کشش مورد بررسی قرار گیرد.

در بخش تشخیص لایه‌های سنگی، احتمالاً رفتار دیگر پارامترها همچون فشار گل، نرخ حفاری و ویژگی‌های مته حفاری نیز بیانگر مرز لایه‌های زمین خواهد بود. بررسی این پارامترها به عنوان پژوهش‌های آتی معرفی می‌شود.

همچنین می‌توان از تکنیک‌های مشابهی برای شناسایی و رفع مشکلات دیگر حفاری چاه‌های نفت، همچون هرزروی گل حفاری یا تشخیص و پیشگیری از فوران چاه برای حفاری بهینه بهره جست.



1. Nybø, R. "Efficient Drilling Problem Detection." Philosophiae Doctor thesis, NTNU, Trondheim, Norway (2009).
2. منظمي، مهران، و عبدالنبي هاشمي، ۱۳۹۱، پيش بيني گير رشته حفاري چاه هاي جهت دار يكي از ميادين نفتي جنوب غرب ايران با استفاده از شبکه هاي عصبي، اولین کنفرانس بين المللي نفت، گاز، پتروشيمي و نيروگاهي، تهران، http://www.civilica.com/Paper-ICOGPP01-ICOGPP01_654.html
3. Arnaout, Arghad, et al. "Diagnosing drilling problems using visual analytics of sensors measurements." Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2012 IEEE International. IEEE, 2012.
4. ساسان نژاد، ابوطالب، و خليل شهبازي، ۱۳۹۲، رويکرد جديد براي تعيين نقطه آزادسازي در هنگام گير رشته حفاري جهت مانده يابي با استفاده از شبکه هاي عصبي، همایش ملي مهندسي کامپيوتر و توسعه پايدار با محوريت شبکه هاي کامپيوتر، مدل سازي و امنيت http://www.civilica.com/Paper-CESD01-CESD01_209.html
5. حصيمي، امير، و عليرضا ردايي، ۱۳۹۱، کاربرد شبکه هاي عصبي در پيش بيني گير لوله هاي حفاري در ميدان کيش، نخستين همایش ملي مهندسي مخازن هيدروکربوري، علوم و صنايع وابسته، تهران، هم انديشان انرژی کيميا، http://www.civilica.com/Paper-RESERVOIR01-RESERVOIR01_010.html
6. Reid, P.I., Meeten, G.H., Way, P.W., Clark, P., Chambers, B.D., Gilmour, A., and Sanders, M.W., "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 (June 2000).
7. Bradley, W.B., Jarman, D., Plott, R.S., Wood, R.D., Schofield, T.R., Auflick, R.A., and Cocking, D., "Task force approach to reducing stuck pipe costs". Paper SPE 21999, SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands, 11-14 March (1991).
8. Raap, Constantijn, Andrew David Craig, and Daniel Perez Garcia. "Understanding and Eliminating Drill String Twist-Offs by the Collection of High Frequency Dynamics Data." SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2011.
9. Abdollahi, Jafar. *Analysing Complex Oil Well Problems through Case-Based Reasoning*. Diss. Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, 2007.
10. Bourgoyne, Adam T., et al. "Applied drilling engineering." (1986): 113-189.
11. Drilling Fluid Engineering Manual, MI L.L.C., Page: 15.1-15.10. March (1998).
12. <http://www.shana.ir/fa/newsagency/231250/>
13. <http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.php>
14. کامران مصلح، فرید دهقانی، محمدرضا الزامی، رضا میرزا ابراهیمی. «ذخایر نفتی جهان». در استفاده بهینه از منابع گازی در ایران. ISBN 978-964-8427-48-6. ۱۰. ۱۳۸۷. تهران: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۷.
15. Hoyos, Carola. "FT. com The new Seven Sisters: oil and gas giants dwarf western rivals." (2007).

16. https://fa.wikipedia.org/wiki/میدان_نفتی_ایران
17. Warren, J. E. "Causes, Preventions, and Recovery of Stuck Drill Pipe." *Drilling and Production Practice*. American Petroleum Institute, 1940.
18. Hemphkins, W. B., et al. "Multivariate statistical analysis of stuck drillpipe situations." *SPE Drilling Engineering* 2.03 (1987): 237-244
19. Bradley, W. B., et al. "A task force approach to reducing stuck pipe costs." *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers, 1991.
20. Jardine, S. I., D. P. McCann, and S. S. Barber. "An Advanced System for the Early Detection of Sticking Pipe." *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers, 1992.
21. Biegler, M.W. and Kuhn, G.R.: "Advances in Prediction of Stuck Pipe Using Multivariate Statistical Analysis", Presented at the SPE/IADC Conference in Dallas. Tx. 15-18 February 1994
22. J.A. Howard, Enertech Engineering & Research Co., and S.S. Glover, Enertech Europe "Tracking Stuck Pipe Probability While Drilling" paper SPE 27528 presented for Presentation at the 1994 IADC/SPE Drilling conference held in Dallas, Texas 15-16 February 1994
23. Wisnie, A. P., and Zhiwei Zhu. "Quantifying stuck pipe risk in Gulf of Mexico oil and gas drilling." *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 1994
24. Yarim, Gokhan, et al. "Stuck Pipe Prevention--A Proactive Solution to an Old Problem." *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2007
25. Siruvuri, C., S. Nagarakanti, and R. Samuel. "Stuck pipe prediction and avoidance: A convolutional neural network approach." *IADC/SPE Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers, 2006.
26. Murillo, Adriana, Johanna Neuman, and Robello Samuel. "Pipe Sticking Prediction and Avoidance Using Adaptive Fuzzy Logic Modeling." *SPE Production and Operations Symposium*. Society of Petroleum Engineers, 2009
27. Poordad, Saeed, Ali Chamkalani, and Mojtaba Pordel Shahri. "Support vector machine model: a new methodology for stuck pipe prediction." *SPE Unconventional Gas Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2013.
28. Hassanpour, Hamid, Mostefa Mesbah, and Boualem Boashash. "EEG spike detection using time-frequency signal analysis." *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings. (ICASSP'04). IEEE International Conference on*. Vol. 5. IEEE, 2004.
29. http://www.civilica.com/Paper-ICOGPP01-ICOGPP01_654.html
30. Naraghi, Morteza Elahi, Peyman Ezzatyar, and Saeid Jamshidi. "Prediction of drilling pipe sticking by active learning method (ALM)." *Journal of Petroleum and Gas Engineering* 4.7 (2013): 173-183.

31. Boniface, Oriji, and N. M. Marcus. "A Model to Determine the Effect of Pore Pressure and Fracture Gradient on Stuck Pipe Management." *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2015.
32. Ferreira, Ana Paula LA, et al. "Automated Decision Support and Expert Collaboration Avoid Stuck Pipe and Improve Drilling Operations in Offshore Brazil Subsalt Well." *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference, 2015.
33. Bello, Opeyemi, et al. "Application of artificial intelligence methods in drilling system design and operations: a review of the state of the art." *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research* 5.2 (2015): 121-139.
34. Hegde, Chiranth, Scott Wallace, and Ken Gray. "Real Time Prediction and Classification of Torque and Drag During Drilling Using Statistical Learning Methods." *SPE Eastern Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers, 2015.
35. Salminen, Kent, et al. "Stuck Pipe Prediction Using Automated Real-Time Modeling and Data Analysis." *IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2016.
36. Oppenheim, Alan V., and Ronald W. Schaffer. "Digital signal processing. 1975." *Englewood Cliffs, New York*.
37. Tzallas, Alexandros T., Vaggelis P. Oikonomou, and Dimitrios I. Fotiadis. "Epileptic spike detection using a Kalman filter based approach." *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2006.
38. Wilson, Scott B., and Ronald Emerson. "Spike detection: a review and comparison of algorithms." *Clinical Neurophysiology* 113.12 (2002): 1873-1881.
39. Malarvili, M. B., Hassanpour, H., Mesbah, M., & Boashash, B. (2005, August). A HISTOGRAM-BASED ELECTROENCEPHALOGRAM SPIKE DETECTION. In *ISSPA* (pp. 207-210).
40. Mukhopadhyay, Sudipta, and G. C. Ray. "A new interpretation of nonlinear energy operator and its efficacy in spike detection." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 45.2 (1998): 180-187.
41. Hassanpour, Hamid, Mostefa Mesbah, and Boualem Boashash. "EEG spike detection using time-frequency signal analysis." *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings.(ICASSP'04). IEEE International Conference on*. Vol. 5. IEEE, 2004.
42. Obeid, Iyad, and Patrick D. Wolf. "Evaluation of spike-detection algorithms for a brain-machine interface application." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 51.6 (2004): 905-911.
43. Gotman, J., and L. Y. Wang. "State-dependent spike detection: concepts and preliminary results." *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 79.1 (1991): 11-19.
44. Gotman, J., and P. Gloor. "Automatic recognition and quantification of interictal epileptic activity in the human scalp EEG." *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 41.5 (1976): 513-529.

45. Pietilä, T., et al. "Evaluation of a computerized system for recognition of epileptic activity during long-term EEG recording." *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 90.6 (1994): 438-443.
46. Davey, B. L. K., et al. "Expert system approach to detection of epileptiform activity in the EEG." *Medical and Biological Engineering and Computing* 27.4 (1989): 365-370.
47. Witte, H., et al. "Use of discrete Hilbert transformation for automatic spike mapping: a methodological investigation." *Medical and Biological Engineering and Computing* 29.3 (1991): 242-248.
48. Sankar, R., and J. Natour. "Automatic computer analysis of transients in EEG." *Computers in biology and medicine* 22.6 (1992): 407-422.
49. Webber, W. R. S., et al. "Practical detection of epileptiform discharges (EDs) in the EEG using an artificial neural network: a comparison of raw and parameterized EEG data." *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 91.3 (1994): 194-204.
50. Gibson, Sarah, Jack W. Judy, and Dejan Markovic. "Comparison of spike-sorting algorithms for future hardware implementation." *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2008.
51. Kaiser, James F. "On a simple algorithm to calculate the energy of a signal." *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1990. ICASSP-90., 1990 International Conference on*. IEEE, 1990.
52. Malik, Muhammad H., Maryam Saeed, and Awais M. Kamboh. "Automatic threshold optimization in nonlinear energy operator based spike detection." *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the*. IEEE, 2016.
53. Calvagno, Giancarlo, et al. "A multiresolution approach to spike detection in EEG." *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000. ICASSP'00. Proceedings. 2000 IEEE International Conference on*. Vol. 6. IEEE, 2000
54. Mallat, Stephane G. "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 11.7 (1989): 674-693.
55. Kim, Kyung Hwan, and Sung June Kim. "A wavelet-based method for action potential detection from extracellular neural signal recording with low signal-to-noise ratio." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 50.8 (2003): 999-1011.
56. Brychta, Robert J., et al. "Wavelet methods for spike detection in mouse renal sympathetic nerve activity." *IEEE transactions on biomedical engineering* 54.1 (2007): 82-93.
57. Anisheh, S. M., and H. Hassanpour. "Adaptive segmentation with optimal window length scheme using fractal dimension and wavelet transform." *system (stationarity)* 1.4 (2009): 5.
58. Kosar, Karel, Lenka Lhotska, and Vladimir Krajca. "Classification of long-term EEG recordings." *International Symposium on Biological and Medical Data Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 2004.

59. Agarwal, Rajeev, and Jean Gotman. "Adaptive segmentation of electroencephalographic data using a nonlinear energy operator." *Circuits and Systems, 1999. ISCAS'99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on*. Vol. 4. IEEE, 1999.
60. Varri, Alpo. "Digital Processing of the EEG in Epilepsy." *Licentiate Thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finland* (1988).
61. Agarwal, Rajeev, and Jean Gotman. "Adaptive segmentation of electroencephalographic data using a nonlinear energy operator." *Circuits and Systems, 1999. ISCAS'99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on*. Vol. 4. IEEE, 1999.
62. Hassanpour, H., and M. Shahiri. "Adaptive segmentation using wavelet transform." *Electrical Engineering, 2007. ICEE'07. International Conference on*. IEEE, 2007
63. Mandelbrot, Benoit B., and Roberto Pignoni. "The fractal geometry of nature." (1983).
64. http://www.civilica.com/Paper-TDCONF01-TDCONF01_103.html
65. Thomas, Rijil, et al. "Heart sound segmentation using fractal decomposition." *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the*. IEEE, 2016.
66. Smits, Fenne Margreeth, et al. "Electroencephalographic fractal dimension in healthy ageing and Alzheimer's disease." *PloS one* 11.2 (2016): e0149587
67. Katz, Michael J. "Fractals and the analysis of waveforms." *Computers in biology and medicine* 18.3 (1988): 145-156
68. Petrosian, Arthur. "Kolmogorov complexity of finite sequences and recognition of different preictal EEG patterns." *Computer-Based Medical Systems, 1995., Proceedings of the Eighth IEEE Symposium on*. IEEE, 1995.
69. "بررسی توانمندی تحلیل بُعد فراکتال در تشخیص ووشوکاران نخبه با توجه به تفاوت در پایداری وضعیت." فصلنامه et al صابر, . توانبخشی نوین ۹.۵ (۲۰۱۶): ۱۷۸-۱۸۶.
70. Higuchi, Tomoyuki. "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory." *Physica D: Nonlinear Phenomena* 31.2 (1988): 277-283.
71. Jia, Q., and D. R. Schmitt. "Effects of formation anisotropy on borehole stress concentrations: implications to drilling induced tensile fractures." *48th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. American Rock Mechanics Association, 2014.
72. http://www.civilica.com/Paper-ICOGPP01-ICOGPP01_654.html
73. Iversen, Fionn, and Eric Cayeux. "Drilling control method and system." U.S. Patent No. 9,175,557. 3 Nov. 2015.
74. <http://www.drillingformulas.com/stuck-pipe-prevention-book/>
75. Nybo, Roar, Knut Steinar BJORKEVOLL, and Rolv Rommetveit. "Spotting A False Alarm. Integrating Experience And Real-Time Analysis With Artificial Intelligence." *Intelligent Energy Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2008

76. قضاوی, محمدرضا, مازیار محمد زاده, مازیار. "تحلیل رفتار دینامیکی مدل المان محدود تماس رشته حفاری-دیواره چاه با استفاده از مدل ارتقاء یافته تماس." مهندسی مکانیک مدرس ۱۴.۱۱ (۲۰۱۴): ۱۸۵۵-۱۹۴۴.

Abstract

The stuck pipe is one of most important problems that it is costly and time consuming in drilling. If problem not fix, cause financial damage. There isn't an exact method to detect the stuck pipe. Studies show that the parameters and structure of the ground during drill operation is effective in the stuck pipe. One of these parameters is torque that generated by the rotation of the drill string. Engineers monitor drilling parameters to control the operation and diagnostics deals moment stuck pipe. This approach has many weaknesses with regard to the possibility to human mistake and lack sufficient precision. Experience has shown that the torque is suddenly rises, in the moment of stuck and drill bit rotates (rotation per minute RPM) get more slowly. Thus, by detecting torque and rotation per minute spikes, the stuck moment can be detected. Various methods have been introduced to spike detection .in the proposed method, we use smooth nonlinear energy operator. In this method, signal is detected positive and negative changes. In this study , introduced a method for the detection of positive spike for torque and negative spike for RPM. CA and ER measures is used to present and simulation results indicated that proposed method, compared to existing methods. In addition, it has been shown that the proposed method needs little time to analyze a signal, So it can be used in real time drilling systems. In the second part of this study for prediction stuck pipe, a new method introduce to identify various ground boundary layer, as high risk areas in the stuck pipe. In this method, torque signal are segmented as an effective parameters on this topic. There are two methods for segmentation, fixed and adaptive. Segmentation methods have proved poor results. In this study , a new method for segmentation , adaptive wavelet transform and fractal dimension is used. It has been shown that the boundaries between the signal segmentation, with good accuracy stone boundary layer defines the well path. This research can be as a step to optimizing intelligent drilling.

Keywords: torque, intelligence drilling, stuck pipe detection, signal processing, artificial intelligence in oil drilling, ground layers detection



Shahrood University of Technology
Faculty of Computer and Information Technology Engineering

**Prediction & detection Stuck pipe using torque signal
processing**

Fatemeh Sadat Rohani

Supervisor(s):

Prof Hamid Hassanpour

Dr Behzad Tokhmchi

January 2017