



## بررسی عوامل موثر در شوئیدگی<sup>۱</sup> رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

خلیل شهبازی<sup>۱</sup> گروه مهندسی نفت - دانشگاه صنعت نفت  
مهدی آرزومند<sup>۲</sup> گروه مهندسی نفت - شرکت ملی حفاری ایران

مهران مکتوندی<sup>۳</sup> گروه مهندسی نفت - شرکت ملی حفاری ایران  
مصطفی مرادی نژاد<sup>۴</sup> گروه مهندسی نفت - شرکت ملی حفاری ایران

چکیده

امروزه افزایش عمق چاه‌های نفت و گاز تاثیر بسزایی در میزان خرابی رشته حفاری و هزینه‌های تمام شده عملیات حفاری دارد. چنانچه این خرابی‌ها منجر به بریدن رشته حفاری<sup>۳</sup> در چاه گردند هزینه‌های حفاری چاه‌ها افزایش قابل توجهی خواهند یافت. عوامل مختلفی در خرابی رشته حفاری موثرند. این عوامل ممکن است به صورت تکی و یا دسته‌جمعی باعث تخریب رشته حفاری شوند. از جمله مهمترین نمونه‌های خرابی می‌توان به شوئیدگی رشته حفاری اشاره نمود. این تحقیق با هدف بررسی مشکل خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان در اثر شوئیدگی‌های متوالی انجام گرفته است. عملیات حفاری این چاه با ۲۴ مورد شوئیدگی در حفاری حفاره‌های ۲۶" و ۱۷ ۱/۲" تا عمق ۲۷۵۹ متری مواجه گردیده بطوری که شش مورد از آنها منجر به بریدن رشته حفاری در قسمت متعلقات تحتانی<sup>۳</sup> شده است. مجموعاً ۱۷ درصد از شوئیدگی‌ها در لوله‌های حفاری و در ناحیه قرار گرفتن گوه<sup>۴</sup> و ۸۳ درصد دیگر در ناحیه متعلقات تحتانی رشته حفاری رخ داده است. بررسی عوامل ایجاد شوئیدگی رشته حفاری در این چاه نشان داد که با توجه به خصوصیات فیزیکی لوله‌های حفاری و متعلقات تحتانی بکار رفته در حفاری این چاه و همچنین بررسی مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در عملیات حفاری مانند بیشترین وزن اعمال شده روی مته، گشتاور و فشار ستون سیال حفاری، خستگی رشته حفاری در اثر ارتعاشات شدید مهمترین علت ایجاد شوئیدگی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی رشته حفاری، شوئیدگی، بریدن، متعلقات تحتانی رشته حفاری

### مقدمه

به‌طور ساده، شوئیدگی را می‌توان تشکیل حفاره یا شکاف در رشته حفاری تعریف نمود. این امر افت فشار سیستم گردش سیال حفاری را به‌دنبال دارد. مقدار افت فشار به اندازه و محل سوراخ بوجود آمده وابسته است. هر اندازه سوراخ ایجاد شده در رشته حفاری بزرگتر باشد، افت فشار نیز بیشتر خواهد شد. در صورتی که در این مرحله، حفاری قطع شده و رشته از چاه خارج گردد، می‌توان محل سوراخ ایجاد شده را تشخیص داده و ابزار خراب شده را از رشته حفاری خارج نمود. اما اگر حفاری تحت این شرایط ادامه پیدا کند، سوراخ ایجاد شده به‌صورت محیطی گسترش یافته تا زمانی که سطح مقطع فولاد باقی مانده از لوله توان مقاومت در برابر نیروهای وارده ناشی از شرایط حفاری را نداشته باشد. در این مرحله، لوله بریده می‌شود. بریدن رشته حفاری، عملیات مانده‌یابی، کج کردن مسیر چاه و یا در بدترین شرایط از دست دادن چاه را می‌تواند به‌دنبال داشته باشد. هزینه‌های تحمیل شده ناشی از بریدگی، ده برابر هزینه‌های شوئیدگی تخمین زده می‌شود [۲]. براساس آخرین تحقیقات صورت گرفته، عواملی که باعث خرابی رشته حفاری می‌شوند را می‌توان به دو گروه عمده

پیش از سال ۱۹۳۰، جهت حفر چاه‌ها از وزن لوله‌های حفاری جهت تامین وزن روی مته استفاده می‌شد و این موضوع باعث می‌گردید لوله‌ها در زمان حفاری تحت نیروهای تراکمی شدیدی قرار گیرند و از آنجا که لوله‌های حفاری تحمل بارهای تراکمی را نداشتند در حین حفاری خم می‌شدند. لوله‌های خم شده در اثر چرخش حین حفاری سریعاً دچار خستگی، شکستگی و یا سوراخ شدگی می‌گردید. در اوایل دهه ۱۹۳۰ مطالعات صورت پذیرفته منجر به تغییر در طراحی رشته حفاری شد. در طرح جدید که امروزه نیز مورد استفاده قرار دارد، جهت تامین وزن روی مته از لوله‌های وزنه استفاده می‌شود. این لوله‌ها استحکام بالا و مقاومت زیادتری نسبت به لوله‌های حفاری در برابر بارهای محوری و نیروهای تراکمی دارند. در سال ۱۹۳۴ ابزار پیوند<sup>۵</sup> به لوله‌های حفاری جوشکاری شده و جایگزین ابزار پیوند پیچی شدند. استفاده از لوله‌های وزنه برای تامین وزن روی مته و همچنین جوشکاری ابزار پیوند به لوله‌های حفاری، میزان خرابی لوله‌ها را در اثر خستگی ناشی از خم شدگی به‌شدت کاهش داد. [۹-۳].

طراحی رشته‌ای که بتواند احتمال خرابی ناشی از مکانیزم‌های دسته ۲ را صفر کند، وجود ندارد. چرا که یا نمی‌توان مرزی را مشخص کرد که در تنش‌های کمتر از آن، این دسته باعث تخریب رشته نشوند و یا این مرز در تنش‌های بسیار پایین قرار دارد که طراحی براساس آن عملی نیست. خرابی ناشی از خستگی رشته حفاری تحت شرایط سخت عملیاتی از جمله مهمترین عوامل تاثیرگذار در افزایش هزینه‌های حفاری ناشی از خرابی رشته به شمار می‌آید.

### مکانیزم خستگی

از لحظه‌ای که یک قطعه تحت تاثیر نیروهای متناوب قرار می‌گیرد، تخریب ناشی از خستگی در یک ناحیه کوچک آغاز می‌شود. این خرابی‌ها موضعی و در حد میکروسکوپی و به صورت جمع شونده و برگشت‌ناپذیر عمل می‌کنند. نیروهای متناوب در رشته حفاری عمدتاً ناشی از چرخش رشته و در شرایطی است که قسمتی از آن کج، خم و یا دچار ارتعاشات شده باشد. این نیروهای متناوب باعث ایجاد ترک در سطح رشته می‌شوند که به آن ترک خستگی گویند. فرآیند تشکیل ترک خستگی را می‌توان به مراحل دوره نهفتگی، دوره تشکیل ترک و دوره رشد ترک تفکیک نمود. در دو مرحله اول به دلیل کوچکی ترک، دستگاه‌های بازرسی قادر به ثبت آثار سطحی آن نیستند. اما در مرحله آخر ترک شروع به رشد می‌کند و سرعت رشد نیز به شرایط حفاری بستگی دارد. در صورتی که سرعت رشد ترک زیاد باشد و دوره بازرسی طولانی، قبل از اینکه ترک ناشی از خستگی توسط دستگاه‌های بازرسی و با چشم غیر مسلح تشخیص داده شود، آنقدر رشد می‌کند که باعث سوراخ‌شدگی ابزارآلات درون رشته حفاری خواهد شد. [۴-۵].

### محل تشکیل ترک خستگی در رشته حفاری [۱-۲]

- ۱- بدنه لوله‌های حفاری: در ناحیه اتصال لوله به ابزار پیوند که در فاصله ۱۶ تا ۲۴ اینچی نرینگی و مادگی قرار دارد و همچنین در محل قرار گرفتن گوه.
- ۲- ابزار پیوند متعلقات تحتانی رشته حفاری: آخرین پیچ رزوه در گیر در ناحیه ابزار پیوند نرینگی و مادگی
- ۳- محل‌هایی با تغییرات سریع سطح مقطع: مانند بدنه پایدارکننده‌ها جایی که مقطع با شیب تند تغییر می‌یابد و در محل‌هایی که تیغه‌ها به بدنه جوش می‌شوند.

### ارتعاشات رشته حفاری

ارتعاشات یکی از عوامل مهمی است که باعث اعمال تنش‌های شدید در رشته حفاری می‌شود. دوران رشته حفاری آنچنانکه در

عوامل ساختاری ناشی از شرایط تولید اجزای رشته حفاری و عوامل عملیاتی ناشی از شرایط حفاری تقسیم کرد. عوامل ساختاری که باعث تخریب رشته حفاری می‌شوند مربوط به زمان تولید لوله‌های حفاری و وزنه، تبدیل‌ها<sup>۶</sup>، ضربه‌زن‌ها<sup>۷</sup> و مته‌ها می‌شود که شامل مجموعه‌ای از خواص فیزیکی، شیمیایی، متالورژیکی و مکانیکی است. براساس آنالیزهای صورت پذیرفته بر روی مواد تخریب شده معلوم شده است که کمتر از یک درصد خرابی‌ها ناشی از عوامل ساختاری است و بالغ بر نود و نه درصد خرابی اجزای رشته حفاری ناشی از عوامل عملیاتی و شرایط حفاری چاه است [۱، ۲].

### مکانیزم‌های خرابی لوله‌های حفاری

مکانیزم‌های تخریب رشته‌های حفاری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند که مقابله با هر کدام از آن‌ها نیازمند اتخاذ استراتژی مخصوص به خود است. اساس تقسیم‌بندی این مکانیزم‌ها بر پایه تنش اعمال شده در زمان خرابی می‌باشد.

### مکانیزم‌های دسته ۱ [۱، ۲]

براساس جداول استاندارد API اجزا حفاری دارای حد تحمل مشخصی هستند، لذا همواره برآیند نیروهای وارده باید کمتر از حد تحمل مشخص شده در جدول استاندارد باشد. چنانچه به هر دلیلی برآیند نیروهای وارده از این حد تجاوز کند، رشته حفاری آسیب خواهد دید. این دسته از نیروها که باعث آسیب رشته حفاری می‌شوند عبارت‌اند از:

- ۱- نیروهای کششی
- ۲- نیروهای پیچشی
- ۳- ترکیبی از نیروهای کششی و پیچشی
- ۴- نیروهای فشار هیدرولیکی از درون و یا بیرون رشته حفاری

### مکانیزم‌های دسته ۲

چنانچه خرابی در رشته حفاری در شرایطی اتفاق افتد که برآیند نیروهای وارده بر آن کمتر از حد تحمل مشخص شده در جداول استاندارد باشد، مکانیزم‌های عمل‌کننده، دسته ۲ هستند. جلوگیری از خرابی رشته حفاری ناشی از عملکرد مکانیزم‌های دسته ۲ به سادگی دسته ۱ نیست. شکست‌های ایجاد شده ناشی از عملکرد این دسته به صورت ناگهانی و غیر منتظره است. براساس آمارهای موجود در حدود ۸۰٪ تا ۹۰٪ خرابی‌های ایجاد شده در رشته حفاری ناشی از عملکرد این مکانیزم‌هاست که عبارت‌اند از:

- ۱- خستگی<sup>۸</sup>
- ۲- خوردگی سولفیدی<sup>۹</sup>
- ۳- خوردگی تحت تنش<sup>۱۰</sup>



هندسی رشته حفاری خارج از محور چاه قرار گیرد. در اثر چرخش حین حفاری، رشته شروع به لنگ زدن می کند. هر چه سرعت چرخش رشته حفاری افزایش یابد نیروی جانب مرکز افزایش یافته و شعاع لنگ زدن بیشتر می شود بطوری که در شدیدترین حالت، شعاع لنگ زدن با شعاع چاه برابر می شود و رشته از محل ابزار پیوند لوله های حفاری با بدنه چاه تماس پیدا کرده و دچار سایش می شود. هر چه قطر چاه بزرگتر باشد، شعاع لنگ زدن افزایش یافته و شدت نیروهای متناوب وارده شده بیشتر خواهد شد. از آنجایی که با افزایش عمق چاهها لازم است قطر چاه نیز در قسمت فوقانی<sup>۱۴</sup> افزایش یابد، بنابراین با افزایش قطر و عمق چاه، میزان خستگی ناشی از ارتعاشات عرضی نیز افزایش می یابد.

### بررسی موردی شوئیدگی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

چاه شماره دو میدان پلنگان در امتداد چاه شماره یک و در نزدیکی شهر دزفول قرار گرفته است. این چاه که یک چاه توصیفی است با هدف آگاهی از خصوصیات سنگ مخزن و همچنین دستیابی دقیق تر به سطح تماس سیالات و در نهایت تولید نفت از لایه بالایی سازند سروک در قسمت شرقی این میدان نفتی برنامه ریزی شده است.

#### تاریخچه حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان

حفاری چاه شماره دو میدان پلنگان در تاریخ ۸۷/۰۹/۰۱ با حفاری حفاره "۳۶" آغاز گردید. پس از راندن جداری های "۲۸"، "۲۰"، "۱۳ ۳/۸"، "۹ ۵/۸" و آستری "۷" به ترتیب در عمق های ۶۰، ۸۰۰، ۲۸۱۶، ۳۱۱۴ و ۴۳۳۶ متری، حفاری این چاه تا عمق نهایی ۴۷۷۱ متری با مقدار ۴۳۵ متر حفاره باز در تاریخ ۸۸/۰۳/۲۶ به پایان رسید. در طول مدت حفاری این چاه ۲۴ مورد شوئیدگی در حفاره های "۲۶" و "۱۷ ۱/۲" روی داده است بطوری که شش مورد از آنها منجر به بریدن رشته حفاری گردید. ۸ مورد از شوئیدگی ها و ۳ مورد از بریدن ها در قسمت بالایی چاه و تا عمق ۶۷۱ متری و مابقی از عمق ۶۷۱ تا ۲۷۵۹ متری به وقوع پیوسته است. جدول ۱ بطور خلاصه جزئیات خرابی های رشته حفاری و شکل ۱ توزیع خرابی رشته حفاری را حین عملیات حفاری چاه نشان می دهد. همچنین در شکل های ۲ و ۳ به ترتیب سهم هر حفاره و سهم هر یک از ابزار رشته حفاری در بریدن و شوئیدگی نشان داده شده است.

#### بررسی لیتولوژی سازند

تمامی خرابی های ایجاد شده در چاه شماره ۲ میدان پلنگان در

سطح مشاهده می شود در درون چاه به حرکات پیچیده تبدیل می شود که به متغیرهای زیادی وابسته است. ارتعاشات ممکن است بوضوح قابل مشاهده باشند مانند بالا جستن رشته<sup>۱۱</sup> و یا ممکن است پنهان بوده و فقط زمانی که باعث شکست ابزارهای حفاری شد قابل مشاهده گردد.

#### منابع اصلی ایجاد ارتعاشات در رشته حفاری

۱- سرعت دورانی مته: عامل اصلی ایجاد ارتعاشات، سرعت دورانی مته است. در صورتیکه سرعت دورانی مته با فرکانس طبیعی رشته برابر باشد و ارتعاشات در این شرایط میرا نشود، انرژی میز دوار بجای اینکه صرف حفاری شود توسط رشته جذب شده و باعث شکست رشته حفاری می شود.

۲- درگیر شدن مته/سازند: اثرات متقابل مته/سازند یکی دیگر از منابع تولید ارتعاشات هستند. برخورد دندانهای مته با سازند و عکس العمل سازند باعث ایجاد ارتعاشات در رشته حفاری می شود. ۳- اثر پمپ های گل و درگیر شدن پایدارکننده و سازند نیز از دیگر منابع تولید ارتعاشات به شمار می رود.

#### انواع ارتعاشات مکانیکی رشته حفاری

##### ۱- ارتعاشات محوری رشته حفاری

ارتعاشات محوری رشته حفاری عمدتاً ناشی از درگیری مته و سازند است. در صورتی که شدت ارتعاشات محوری به حداکثر خود برسد، تماس مته با سازند قطع شده و به صورت کوبش و ضربات متناوب بین آن دو عمل می کند که به آن بالا پریدن مته<sup>۱۲</sup> گویند. در صورتی که ارتعاشات محوری شدید باشد، آثار آن در سطح به صورت لرزش هایی در دکل قابل مشاهده خواهد بود.

##### ۲- ارتعاشات پیچشی رشته حفاری

قسمتی از ارتعاشات پیچشی رشته حفاری ناشی از تغییرات شدت درگیری مته و سازند و بخش دیگر ناشی از تماس و درگیری رشته حفاری با بدنه چاه است. این درگیری ها باعث می شود سرعت چرخش رشته حفاری از بالا تا پایین تغییر کرده و نوسانات آن در مواردی بقدری شدید شود که در یک لحظه مته متوقف شده و در لحظه ای دیگر سرعت چرخش مته به چندین برابر سرعت میز دوار یا گرداننده فوقانی برسد. به این پدیده گیر و رفع گیر<sup>۱۳</sup> گویند. این نوع ارتعاشات به صورت نوسانات شدید گشتاور قابل مشاهده است.

##### ۳- ارتعاشات عرضی رشته حفاری

کجی و خمیدگی لوله ها باعث می شود تا مرکز جرم و مرکز

تحمیلی کششی، پیچشی و تراکمی حین عملیات حفاری می‌تواند نقش و تاثیر مکانیزم‌های دسته ۱ را در میزان آسیب وارده به رشته حفاری مشخص نماید. جداول شماره ۲، ۳ و ۴ مشخصات فیزیکی لوله‌ها و متعلقات رشته حفاری بکار رفته در حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان را نشان می‌دهند.

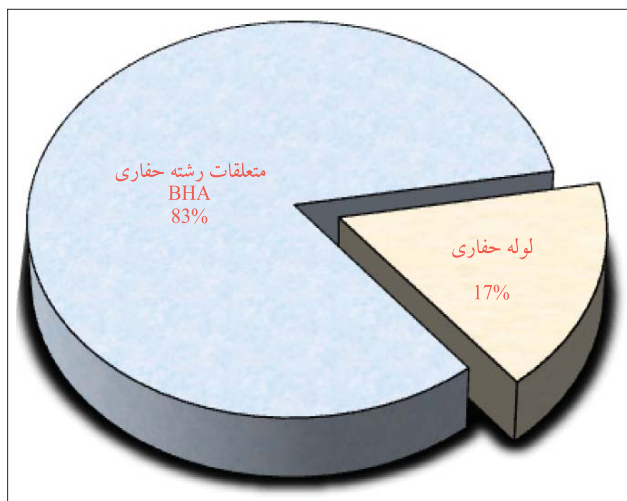
هنگام حفاری، نیروهای زیادی بر رشته حفاری اعمال می‌شوند. مقادیر این نیروها در برخی شرایط خاص عملیاتی مثل گیر لوله‌ها گاه به اندازه‌ای زیاد می‌شوند که از حد توان ابزارآلات رشته حفاری خارج می‌شود. شوئیدگی، بریدن، له‌شدن<sup>۵</sup>، پارگی<sup>۶</sup> و خم‌شدن، مهمترین آسیب‌های رشته حفاری است که بیشتر از سه پارامتر مهم اعمال شده "کشش، پیچش و فشار سیالات" حین عملیات حفاری ناشی می‌گردد. جدول ۵ حداکثر نیروهای وارده بر رشته حفاری حین عملیات حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان را تا عمق ۲۷۷۲

سازند آغاچاری رخ داده است. سازند آغاچاری از نظر لیتولوژی شامل ماسه سنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای خاکستری، رگه‌های گچ، مارل‌های قرمز و سیلتستون است. از نظر گسترش جغرافیایی، ضخامت سازند آغاچاری از ۶۱۰ تا ۳۰۴۸ متر متغیر بوده و در میدان پلنگان ضخامت سازند آغاچاری ۲۸۲۸ متر است.

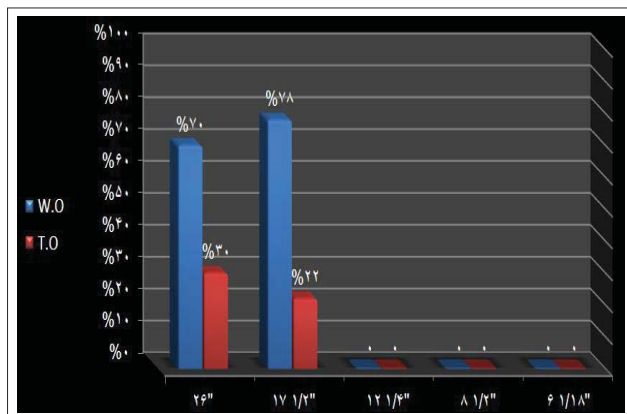
### بررسی عوامل ایجاد شوئیدگی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

#### ۱- نقش مکانیزم‌های دسته ۱ در تخریب رشته حفاری

جهت بررسی مکانیزم‌های دسته ۱ و نقش آنها در ایجاد خستگی و نهایتاً تخریب رشته حفاری، خصوصیات رشته حفاری و همچنین پارامترهای مهم عملیاتی که باعث اعمال نیرو بر رشته حفاری می‌شوند، مورد نیاز است. تجزیه و تحلیل خصوصیات رشته حفاری از لحاظ مقدار توان تحمل آنها در مقابل حداکثر نیروی‌های



شکل ۱ | توزیع خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان



شکل ۲ | سهم هر حفره چاه شماره ۲ میدان پلنگان در بریدن و شوئیدگی

شماره	حفره	اندازه	عمق	سازند	نوع خرابی رشته حفاری
۱	۲۶"	۱۷ ۱/۲"	۲۹۹	آغاچاری	بریدن جار
۲	۲۶"	۱۷ ۱/۲"	۳۳۴	آغاچاری	تبدیل بین لوله‌های ۵" و لوله‌های وزنه ۸ ۱/۲"
۳	۲۶"	۱۷ ۱/۲"	۳۴۳	آغاچاری	شوئیدگی روزه‌های لوله‌های وزنه ۹ ۳/۴" و ۸ ۱/۲"
۴	۲۶"	۱۷ ۱/۲"	۳۴۴	آغاچاری	بریدن پایدارکننده از ناحیه مادگی
۵	۲۶"	۱۷ ۱/۲"	۵۲۱	آغاچاری	بریدن استابیلایزر از ناحیه مادگی
۶	۲۶"	۲۶"	۵۲۹	آغاچاری	شوئیدگی پین لوله وزنه ۱۱"
۷	۲۶"	۲۶"	۵۳۱	آغاچاری	شوئیدگی پین لوله حفاری سنگین
۸	۲۶"	۲۶"	۵۶۲	آغاچاری	شوئیدگی تبدیل بین مته و لرزه گیر
۹	۲۶"	۲۶"	۵۷۲	آغاچاری	شوئیدگی محل سلیپس لوله‌های حفاری
۱۰	۲۶"	۲۶"	۵۸۷	آغاچاری	شوئیدگی محل سلیپس لوله‌های حفاری
۱۱	۲۶"	۲۶"	۶۷۱	آغاچاری	شوئیدگی محل سلیپس لوله‌های حفاری
۱۲	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۸۱۵	آغاچاری	شوئیدگی بدنه لوله‌های حفاری سنگین (HWDP)
۱۳	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۸۳۸	آغاچاری	شوئیدگی باکس لوله‌های وزنه ۹ ۳/۴"
۱۴	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۰۸۹	آغاچاری	شوئیدگی لوله‌های حفاری سنگین در ناحیه سلیپس
۱۵	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۷۶۴	آغاچاری	شوئیدگی لوله‌های حفاری سنگین در ناحیه سلیپس
۱۶	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۷۸۱	آغاچاری	بریدگی لوله‌های وزنه ۱۱"
۱۷	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۸۰۴	آغاچاری	بریدن تبدیل بین لوله‌های حفاری سنگین و لوله‌های وزنه ۸ ۱/۲"
۱۸	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۸۷۷	آغاچاری	بریدن لوله‌های حفاری سنگین
۱۹	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۱۹۱۸	آغاچاری	شوئیدگی لوله‌های حفاری سنگین
۲۰	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۲۳۳۳	آغاچاری	شوئیدگی تبدیل بین لوله‌های وزنه و لوله‌های حفاری سنگین
۲۱	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۲۳۳۳	آغاچاری	شوئیدگی ناحیه سلیپس لوله‌های حفاری ۵"
۲۲	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۲۵۳۳	آغاچاری	شوئیدگی تبدیل لوله‌های وزنه ۸ ۱/۲" و ۹ ۳/۴"
۲۳	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۲۷۵۹	آغاچاری	شوئیدگی ناحیه سلیپس لوله‌های حفاری ۵"
۲۴	۱۷ ۱/۲"	۱۷ ۱/۲"	۲۷۷۲	آغاچاری	شوئیدگی ناحیه سلیپس لوله‌های حفاری ۵"



وزن گل حفاری و درصد جامدات بکار رفته در آن به ترتیب pcf ۷۷ و ۱۴ درصد و کمترین مقدار PH گل ۹، گزارش شده است. بررسی‌ها نشان داده است که خواص گل حفاری استفاده شده جهت حفاری این چاه با برنامه پیش‌بینی شده انطباق دارد. همچنین با توجه به کاربرد ماسه‌زدا<sup>۱۸</sup> و سیلت‌زدا<sup>۱۹</sup> در حفاری سازندهای حاوی شن و سیلت و کنترل مناسب جامدات، از فرسایش پوشش داخلی رشته حفاری جلوگیری به عمل آمده است. مقدار PH گل نیز که مهمترین فاکتور تاثیر گذار در خوردگی رشته حفاری و از بین رفتن پوشش داخلی است در حد نرمال و طبق برنامه پیش‌بینی است.

### ۳- بررسی نقش نیروهای تراکمی در خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

در صورتی که وزن اعمال شده بر روی مته از وزن لوله‌های وزنه بکار رفته در رشته حفاری بیشتر باشد، لوله‌های حفاری تحت نیروی تراکمی محوری قرار می‌گیرند و از آنجایی که لوله‌های حفاری برای تحمل بار تراکمی محوری طراحی نشده‌اند، در اثر اعمال نیروی تراکمی حین حفاری خم خواهند شد. انحراف رشته حفاری حین چرخش از راستای قائم باعث خواهد شد رشته تحت تاثیر نیروهای متناوب کششی و تراکمی قرار گرفته و همین امر باعث ایجاد خستگی در رشته حفاری خواهد شد. جدول ۶ مشخصات ساق حفاری و بیشترین وزن اعمالی روی مته را حین حفاری حفاره‌های ۲۶" و ۱۷ ۱/۲" در چاه شماره ۲ نشان می‌دهد. با توجه با جدول ۶، بیشترین پتانسیل وزن اعمالی توسط لوله‌های وزنه ۷۲۰۰۰ تا ۸۷۰۰۰ lbs است که با در نظر گرفتن اثرات وزن گل حفاری (نیروی ارشمیدوس) به ازای بیشترین وزن گل حفاری (۷۷ pcf)، این مقدار وزن به ۷۰۴۸۵ تا ۸۵۱۷۰ Lbs کاهش می‌یابد. شکل ۴ بیشترین

متری نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تمامی اطلاعات عملیاتی استفاده شده در این تحقیق از واحد نمودارگیری<sup>۱۷</sup> مستقر در محل حفاری چاه شماره ۲ اتخاذ شده است که این موضوع نشان‌دهنده دقت اطلاعات استفاده شده است.

### تجزیه و تحلیل اثرات مکانیزم دسته ۱ در خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

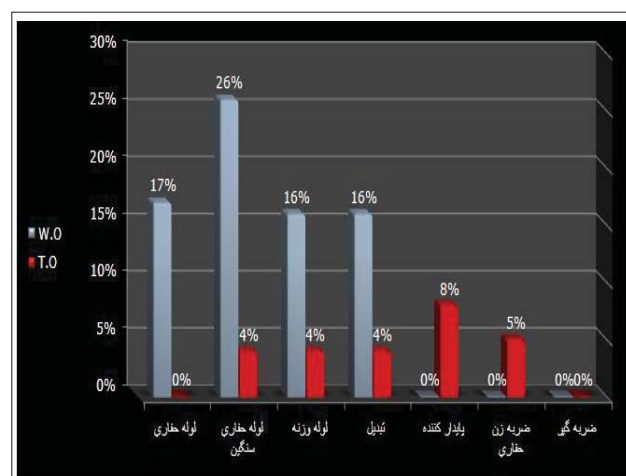
۱- بیشترین فشار اعمالی ناشی از ستون گل حفاری در عمق ۲۷۷۲ متری برابر با ۵۱۰۰ پام است. از آنجا که مقاومت مچالگی و ترکیدگی لوله‌های حفاری، لوله‌های حفاری سنگین و لوله‌های وزنه از فشار تحمیلی ناشی از ستون گل بسیار بیشتر است لذا این عامل نمی‌تواند باعث آسیب رساندن به لوله‌ها و متعلقات رشته حفاری شود. ۲- مقاومت کششی و پیچشی لوله‌ها و متعلقات رشته حفاری بسیار بالاتر از بیشترین نیروی اعمالی کششی (۳۶۰،۰۰۰ پوند) و پیچشی (۳۱۷۳۳ پوند فوت) ناشی از حفاری حفاره‌های ۲۶" و ۱۷/۲" است لذا این عامل نیز نمی‌تواند باعث آسیب جدی به رشته حفاری گردد. از آنجا که برآیند نیروهای عملیاتی وارده از حد تحمل رشته حفاری کمتر است بنابراین مکانیزم‌های دسته ۱ نمی‌تواند عامل اصلی تخریب‌های پی‌درپی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان باشند.

### ۲- بررسی نقش سیال حفاری در خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

سیال حفاری استفاده شده جهت حفاری حفاره‌های ۲۶" و ۱۷/۲" چاه شماره ۲ میدان پلنگان از نوع پایه آبی بوده است. بیشترین

مشخصات فیزیکی لوله‌های حفاری سنگین (HWDP) در چاه شماره ۲ میدان پلنگان					
Nominal Size (in)	Inside Diameter (in)	Wall Thickness (in)	Torsional Yield (Lb-ft)	Torsional Yield (Lb-ft)	Pipe Weight (۳۰Ft/Lb)
۵	۳	۱,۰۰۰۷۶	۱۲۶۶۷۵۰	۵۱۴۰۸	۶۷۰,۹

مشخصات فیزیکی لوله‌های حفاری استفاده شده در چاه شماره ۲ میدان پلنگان						
مشخصات لوله‌های حفاری (DP)						
Pipe OD (in)	Pipe Material Grade	Upset Style	Pipe Tensile Yield Strength (Lb)	Pipe Torsional Yield Strength (Lb-ft)	Minimum Collapse Pressure (psi)	Minimum Internal Yield Pressure (psi)
۵	۱۳۵-S	IEU	۷۱۲۰۷۰	۷۴۱۰۰	۱۵۶۶۷	۱۷۱۰۵



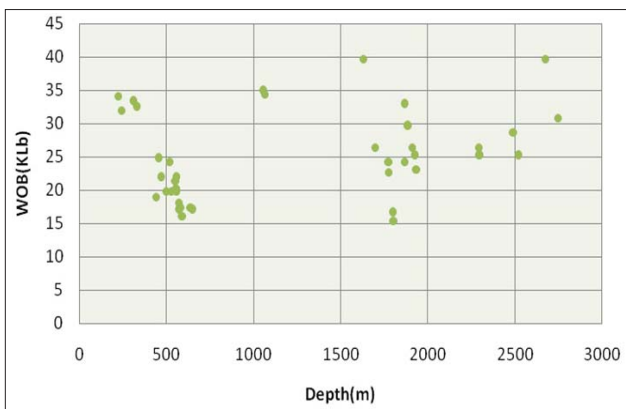
شکل ۳ | سهم هر یک از ابزار رشته حفاری در بریدن و شوئیدگی در چاه شماره ۲ میدان پلنگان



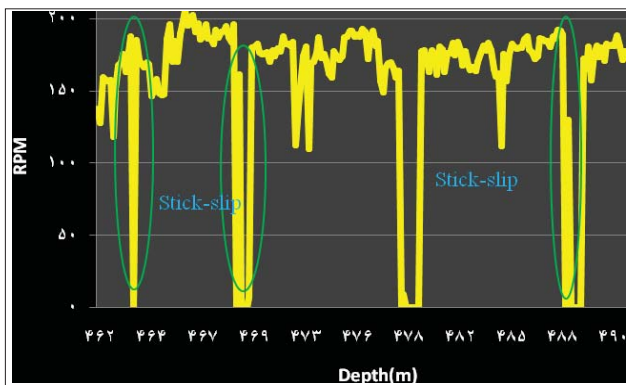
نیروی ارادی تراکمی ناشی از اثرات وزن روی مته، بر لوله‌های حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان اعمال نشده است.

#### ۴- بررسی اثرات ارتعاشات پیچشی در خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

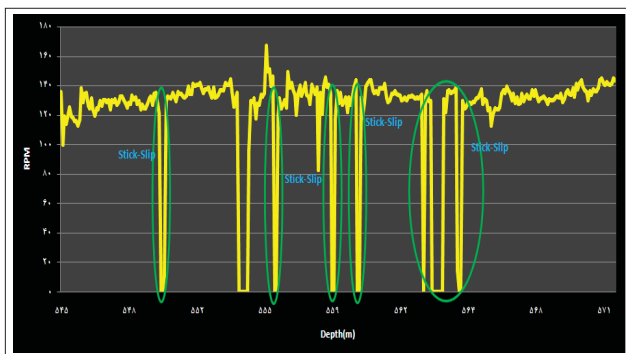
از جمله روش‌های بررسی میزان ارتعاشات پیچشی رشته



شکل ۴ | بیشترین وزن‌های اعمال شده بر روی مته حین حفاری تا عمق ۲۸۰۰ متری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان



شکل ۵ | تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری حین حفاری حفره ۲۶"



شکل ۶ | تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲"

وزن‌های اعمال شده روی مته حین حفاری حفره‌های ۲۶" و ۱۷ ۱/۲" در چاه شماره ۲ میدان پلنگان تا عمق ۲۸۰۰ متری را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، بالاترین وزن بکار رفته حین حفاری تا عمق ۲۸۰۰ متری برابر با ۳۹۶۰۰ پوند و مربوط به عمق ۱۶۳۱ متری است. با مقایسه جدول ۶ و شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت که در هیچ عمقی از وزن لوله‌های حفاری برای تامین وزن روی مته استفاده نگردیده است. بنابراین هیچ‌گونه

جدول ۴ | مشخصات فیزیکی لوله‌های وزنه استفاده شده در حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان

مشخصات لوله‌های وزنه (DC)						
Nominal Size (in)	Inside Diameter (in)	Connection	Minimum Make up Torque (Lb-ft)	Number of Spirals	Direction	Nominal Weight (Lb/Ft)
۱۱	۳	Regular	۱۱۰۷۷۸	۳	To The Right	۲۲۹
۹۳/۴	۳	Regular	۹۱۷۸۹	۳	To The Right	۲۲۹
۸۱/۲	۳	Regular	۶۹۲۶۶	۳	To The Right	۱۶۹

جدول ۵ | حداکثر نیروهای وارده بر رشته حفاری تا عمق ۲۷۷۲ متری حین عملیات حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان

Maximum Tensile Yield Strength(Lb)	Maximum Torsional Yield(Lb-ft)	Maximum Hydrostatic Pressure(psi)
۳۶۰,۰۰۰	۳۱۷۳۳	۶۲۵۰

جدول ۶ | مشخصات ساق حفاری بکار رفته در حفاری حفره‌های ۲۶" و ۱۷ ۱/۲" در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

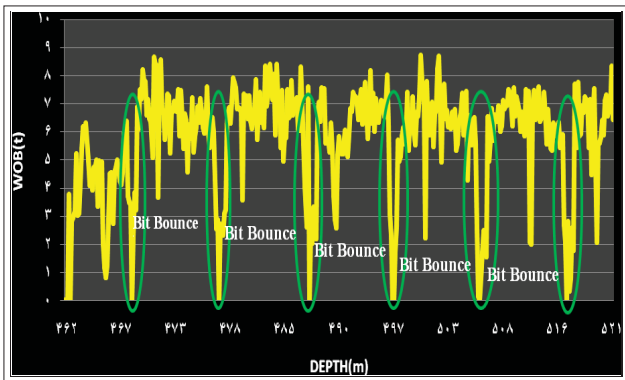
WT, LB	Length (Meter)	HWD 5" (JT)	XOS	8 1/2" DC (JT)	Jar	XOS	17 1/2" Stab	9 1/2" DC (JT)	11" DC (JT)	Shock Sub	17 1/2" Bit	Sequence Of Wash out
83000	119.29	-	√	3	√	√	-	6	3	-	√	1
83000	121.31	-	√	3	√	√	√	6	3	-	√	2
83000	116.17	-	√	3	-	√	√	6	3	-	√	3
83000	116.17	-	√	3	-	√	√	6	3	√	√	4
74000	253.4	15	√	4	-	√	√	4	3	√	√	5
74000	253.1	15	√	4	-	√	√	4	3	√	√	6
72000	257.93	27	√	4	-	√	√	5	2	√	√	7
72000	359.48	27	√	4	-	√	√	5	2	√	√	8
72000	352.80	27	√	4	-	√	-	5	2	-	√	9
72000	252.58	5	√	4	-	√	√	5	2	√	√	10
72000	251.95	5	√	4	-	√	√	5	2	√	√	11
72000	245.55	15	√	4	-	√	√	5	2	√	√	12
78000	265.26	15	√	4	-	√	√	5	2	√	√	13
87000	127.83	-	√	4	-	√	√	5	3	√	√	14



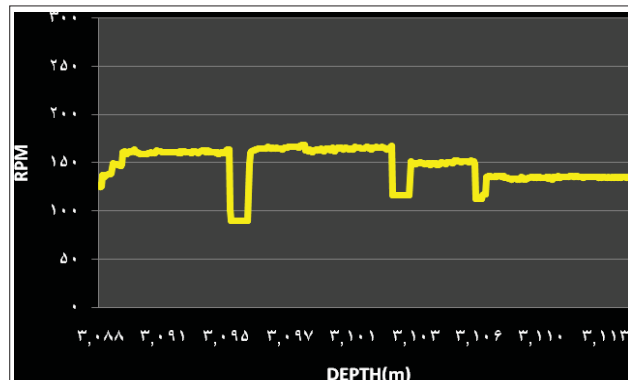
حفاری، تهیه نمودارهای سرعت دورانی<sup>۲۰</sup> و گشتاور<sup>۲۱</sup> نسبت به عمق و یا زمان است. شکل‌های شماره ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و تغییرات سرعت دوران رشته حفاری را نسبت به عمق برای تمامی حفره‌های چاه شماره ۲ نشان می‌دهند.

در شکل‌های ارائه شده به وضوح می‌توان در حفاری حفره‌های ۲۶" و ۱۷ ۱/۲" اثرات ارتعاشات پیچشی را بصورت گیر و رفع گیر مشاهده نمود. مهمترین دلایل ایجاد ارتعاشات پیچشی در رشته

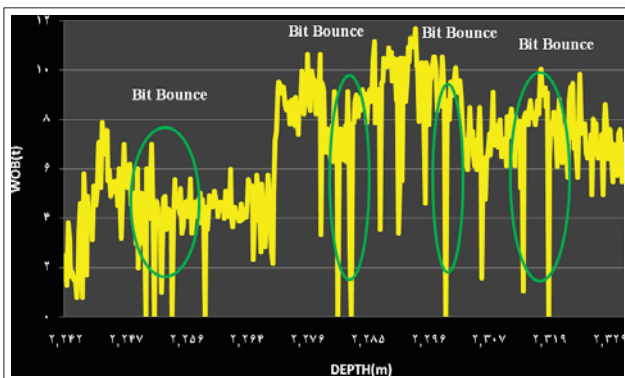
تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره ۲۶" | شکل ۱۰



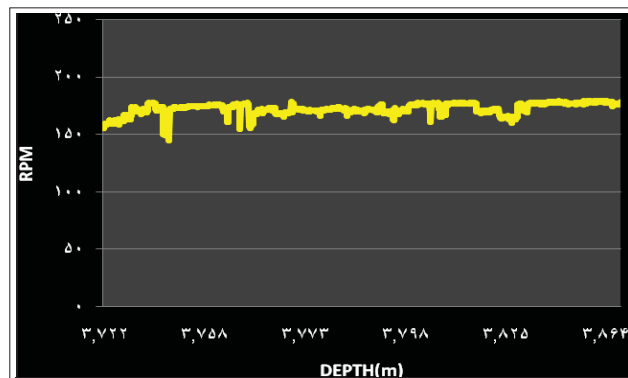
تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره ۲۶" | شکل ۱۰



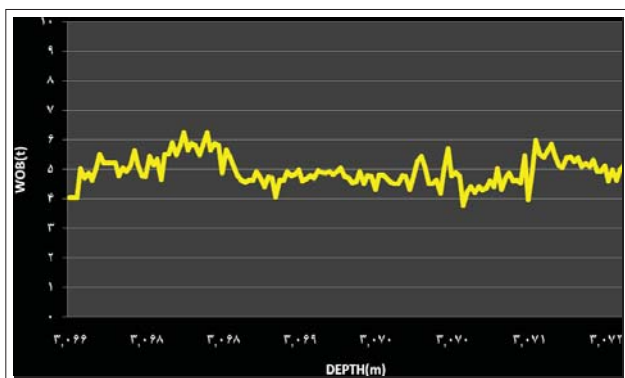
تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" | شکل ۷



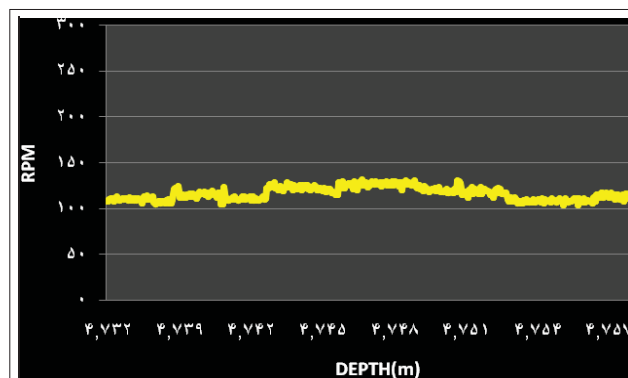
تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" | شکل ۱۱



تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" | شکل ۸



تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" | شکل ۱۲



تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری حین حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" | شکل ۹

محوری رشته حفاری با کاهش چشمگیری مواجه شده است. با توجه به این که در حفاری این حفره‌ها هیچ گونه شوئیدگی در رشته حفاری مشاهده نشده است، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش اثرات نوسانات محوری یکی از مهمترین عوامل موثر در کاهش خستگی رشته حفاری به شمار می‌آید که نتیجه آن نیز کاهش خرابی‌ها و افزایش طول عمر رشته حفاری است.

### نتیجه‌گیری

۱- با توجه به خصوصیات فیزیکی لوله‌های حفاری و همچنین متعلقات تحتانی بکار رفته در حفاری چاه شماره ۲ میدان پلنگان، نمی‌توان ضعف کیفی این وسایل و پایین بودن قابلیت عملیاتی آنها را در حفاری این چاه عامل ایجاد شوئیدگی رشته حفاری دانست. ۲- بررسی مهمترین پارامترهای اعمالی در عملیات حفاری این چاه مانند بیشترین گشتاور و کشش وارده به رشته حفاری و همچنین فشار ستون سیال حفاری، نشان داده است که این نیروها بسیار کمتر از مقاومت قابل تحمل اجزای رشته حفاری است.

۳- با توجه به استفاده از گل پایه آبی در حفاری این چاه، از آنجا که مهمترین خصوصیات تاثیر گذار گل در پدیده شوئیدگی، از جمله PH و درصد جامدات گل در اندازه مطلوب بوده‌اند، لذا خواص گل حفاری نمی‌تواند تاثیر زیادی در خرابی‌های پیاپی رشته حفاری داشته باشد.

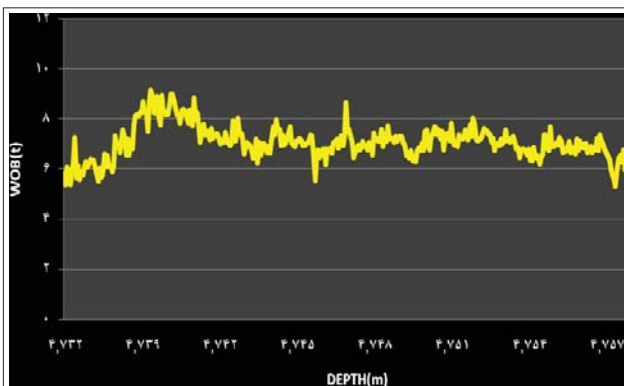
۴- وجود لرزه گیر<sup>۳۳</sup> در رشته حفاری نیز به دلیل عدم استفاده به موقع آن (پس از گذشت ۱۳ روز از عملیات حفاری) نتوانست مانع از ایجاد شوئیدگی‌های مکرر رشته حفاری شود. در این فاصله زمانی لرزش‌های ناشی از ارتعاشات شدید، خستگی لازم جهت ایجاد ترک را در سراسر رشته حفاری ایجاد کرده و اثرات استفاده از ضربه گیر را به شدت کاهش داده است.

متعلقات تحتانی رشته حفاری رخ دهد. تغییرات سرعت دورانی رشته حفاری در حفاری حفره‌های "۱۲ ۱/۴"، "۸ ۱/۲" و "۶ ۱/۸" بطور یکنواخت بوده و نوسانات بسیار کمتری در مقایسه با آنچه که در حفاری حفره‌های "۲۶" و "۱۷ ۱/۲" وجود داشته است، مشاهده می‌شود. به دلیل کاهش نوسانات پیچشی در حفاری این حفره‌ها، اثرات گیر و رفع گیر بطور کامل از بین رفته که نتیجه آن عدم مشاهده شوئیدگی در این سه حفره است.

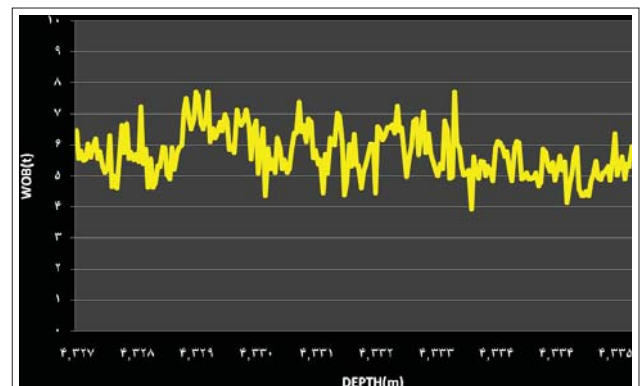
### ۵- بررسی اثرات ارتعاشات محوری در خرابی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان

آثار ارتعاشات محوری را در سطح می‌توان به صورت نوسانات وزن‌نما<sup>۳۳</sup> و لرزش میز دوار مشاهده کرد. هرچه دامنه ارتعاشات محوری بیشتر گردد و شدت نیروی دینامیکی افزایش یابد، شدت نوسانات و لرزش‌ها نیز افزایش می‌یابد. شکل‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارتعاشات محوری رشته حفاری را حین حفاری حفره‌های "۲۶"، "۱۷ ۱/۲"، "۱۲ ۱/۴"، "۸ ۱/۲" و "۶ ۱/۸" در چاه شماره ۲ میدان پلنگان بصورت تغییرات وزن روی مته نسبت به عمق نشان می‌دهند.

در شکل‌های ارائه شده به وضوح می‌توان در حفاری حفره‌های "۲۶" و "۱۷ ۱/۲" اثرات ارتعاشات محوری را بصورت بالا پریدن رشته حفاری مشاهده نمود. در این دو حفره درگیری مته و سازند به حدی زیاد شده است که رشته حفاری با تمام وزنی که دارد به بالا پرتاب شده و ارتباط خود را با سازند برای لحظاتی از دست داده است. درگیری مته و سازند باعث ایجاد نیروهای تراکمی در رشته حفاری شده و از آنجا که در حفاری این دو حفره، این نیروها بطور مداوم بر رشته حفاری اعمال شده‌اند، ارتعاشات محوری رشته حفاری را به شدت دچار خستگی کرده است. در حفاری حفره‌های "۲۶"، "۱۷ ۱/۲"، "۱۲ ۱/۴"، "۸ ۱/۲" و "۶ ۱/۸" نوسانات



شکل ۱۴ | تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره "۶ ۱/۸"



شکل ۱۳ | تغییرات وزن روی مته حین حفاری حفره "۸ ۱/۲"





افزایش شعاع لنگ زدن و همچنین افزایش ارتعاشات پیچشی رشته حفاری خواهد شد به طوری که کاهش قطر چاه در همان عمق به  $1/4$ ، باعث کاهش بسیار زیاد ضایعات وارده به رشته حفاری می گردد. این موضوع برای چاه شماره ۲ میدان پلنگان نیز صدق می کند.

#### پیشنهادها

- ۱- استفاده به موقع از جاذب ارتعاشات در رشته حفاری
- ۲- استفاده از موتورهای درون چاهی جهت کاهش درگیری رشته حفاری / سازند
- ۴- استفاده از مته های مناسب در حفاری این گونه چاه ها
- ۵- کنترل بهینه پارمترهای حفاری در جهت کاهش ارتعاشات رشته حفاری
- ۶- تعیین بازه زمانی مناسب جهت بازرسی رشته حفاری
- ۷- استفاده از فشارسنج های کالیبره شده جهت تشخیص به موقع شوئیدگی و جلوگیری از بریدن رشته حفاری
- ۸- استفاده از واحد نمودارگیری گل حفاری
- ۹- انجام تحقیقاتی در زمینه طراحی دینامیکی رشته حفاری

۵- خستگی رشته حفاری در اثر ارتعاشات شدید پیچشی و محوری مهمترین علت ایجاد شوئیدگی رشته حفاری در چاه شماره ۲ میدان پلنگان می باشد.

۶- به دلیل ارتعاشات شدید رشته حفاری، ترک های خستگی به سرعت تشکیل شده که با تداوم نیروهای اعمالی دوره های نهفتگی و تشکیل ترک بسیار کوتاه شده و همین امر باعث گردید که فرصت لازم برای مشاهده آثار وجودی ترک در سطح از دست رفته و قبل از تشخیص به موقع، شوئیدگی در رشته حفاری واقع شود.

۷- به علت نزدیکی متعلقات تحتانی به منبع تولید ارتعاشات، تمامی موارد بریدگی رشته حفاری در این چاه مربوط به این قسمت است چرا که نیروهای ایجاد کننده ارتعاشات از پایین و از قسمت مته به بالا منتقل می شدند.

۸- عامل اصلی ایجاد شوئیدگی در قسمت متعلقات تحتانی رشته حفاری ارتعاشات محوری و عامل اصلی بریدن آنها ارتعاشات پیچشی است.

۹- همواره بیشترین موارد شوئیدگی و بریدن رشته حفاری مربوط به حفاهای  $26$  و  $17/1/2$  است. افزایش قطر چاه باعث

#### پانویس ها

- |   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
| <sup>1</sup> Wash out                   | <sup>9</sup> Sulfide Stress Cracking (SSC)    | <sup>17</sup> Mud Logging      |
| <sup>2</sup> makvandimehran@yahoo.com   | <sup>10</sup> Stress Corrosion Cracking (SCC) | <sup>18</sup> Desander         |
| <sup>3</sup> Twist off                  | <sup>11</sup> Jumping                         | <sup>19</sup> Desilter         |
| <sup>4</sup> Bottom Hole Assembly (BHA) | <sup>12</sup> Bit Bounce                      | <sup>20</sup> Desander         |
| <sup>5</sup> Slips Area                 | <sup>13</sup> Stick                           | <sup>21</sup> Desilter         |
| <sup>6</sup> Upset Area                 | <sup>14</sup> Top Hole                        | <sup>22</sup> Weight Indicator |
| <sup>7</sup> Sub                        | <sup>15</sup> Collapse                        | <sup>23</sup> Shock Sub        |
| <sup>8</sup> Fatigue Failure            | <sup>16</sup> Burst                           |                                |

#### منابع

- [۱] شوراب، ح، مشکلات رشته حفاری، گزارش شماره پ ۴۶۱۵، ۱۳۷۴، انتشارات اداره کل حفاری
- [۲] مردان، ح، آنالیز دینامیکی رشته حفاری، زمستان ۱۳۸۵، انتشارات شرکت ملی حفاری
- [3] Brett, J.F.: "The Genesis of Torsional Drillstring Vibrations," SPE Drilling Engineering, September 1992, pp: 168-174
- [4] Sananikone, P.; Kamoshima, O. and White D.B.: "A Field Method for Controlling Drillstring Torsional Vibrations," IADC/SPE Paper No. 23891, presented at 1992 IADC/SPE Drilling Conference, Feb. 18-21, New Orleans
- [5] Aldred, W.D. and Sheppard, M.C.: "Drillstring Vibrations: A New Generation Mechanism and Control Strategies," SPE Paper No. 24582, presented at 1992 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Oct. 4-7, 1992, Washington DC
- [6] Nicholson, J.W.: "An Integrated Approach to Drilling Dynamics Planning, Identification and Control," IADC/SPE Paper No. 27537, presented at 1994 IADC/SPE Drilling Conference, Feb. 15-18, Dallas
- [7] Fear, M.J and; Abbassian, F.: "Experience in the Detection and Suppression of Torsional Vibration from Mud Logging Data," SPE Paper No. 28908, presented at 1994 European Petroleum Conference, Oct. 25-27, London
- [8] Detournay, E., and Defourny, P.: "A Phenomenological Model for the Drilling Action of Drag Bits," Int.J.Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. , Vol.29, No.1(1992) 13
- [9] Gallagher, J.; Waller, M.; and Ruzska, J.: "Performance Drilling: A Practical Solution to Drillstring Vibration," IADC/SPE paper No. 27538 presented at the 1994 IADC/SPE Drilling Conference, Feb. 15-18, Dallas