

کنترل وزن سیال حفاری با تغییر در برخی پارامترهای تجهیزات کنترل جامدات جهت حفاری سازند سورمه (مطالعه موردی: چاه شماره ۸ فاز ۲۰ میدان گازی پارس جنوبی)

محمدامین دانشفر*^۱، مهدی ارجمند^۲ و ابوطالب قدمی جدول قدم^۳

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- گروه مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج

نویسنده مسئول: * Mdaneshfar38@gmail.com

دریافت: ۹۵/۳/۲۴ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۳

چکیده

وزن سیال حفاری بر اساس فشار و عمق سازندهایی که در آن‌ها حفاری صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود. دو وظیفه اصلی وزن سیال حفاری کنترل فشارهای زیرزمینی و انتقال جامدات و کنده‌های ناشی از عملیات حفاری از درون چاه به سطح زمین می‌باشد. وزن سیال با ایجاد فشاری مساوی فشار سازند مانع فوران چاه و جلوگیری از هرزروی سیال حفاری می‌گردد. تجمع جامدات و کنده‌های حفاری در سیال باعث افزایش وزن سیال می‌گردد. این افزایش وزن منجر به کاهش سرعت حفاری، کاهش عمر مته حفاری، به هم خوردن خواص مختلف سیال، مشکلات مکانیکی و عملیاتی می‌گردد. این مشکلات در نهایت منجر به افزایش هزینه و زمان لازم جهت حفاری یک چاه گردیده که با تنظیم مناسب وزن سیال حفاری می‌توان از بروز آن‌ها جلوگیری نمود. با به کارگیری مناسب روش‌های جداسازی فیزیکی و انتقال جرم می‌توان وزن سیال حفاری را طوری تنظیم کرد تا به شرایط مورد نظر حفاری دست پیدا نمود. در این پژوهش جداسازی، بهبود و کنترل وزن سیال حفاری به عنوان یکی از مهم‌ترین خواص سیال حفاری در سازند سورمه در بخشی از حفره ۱۲/۲۵ اینچ یک چاه گازی در سه مرحله بررسی گردیده است. مرحله اول و دوم مربوط به تغییر در جداساز مکانیکی و مرحله سوم استفاده از جداساز انتقال جرمی بوده است. در این سازند با افزایش وزن سیال، تغییر در توری (مرحله اول) وزن سیال در لایه دولومیت بالایی را کاهش و در حد مطلوب نگه داشته است. با افزایش مجدد وزن سیال در لایه‌چرتی زون، اصلاح لاستیک محافظت کننده توری (مرحله دوم) موجب کاهش وزن سیال در این لایه گردید. در انتها (مرحله سوم) با استفاده از سانتریفیوژ وزن سیال حفاری در لایه‌مند ممبربر روی ۹.۴ PPG متناسب با فشار سازند نگه داشته است. در ادامه حفاری با تغییر سازند به نی ریز و دشتک، نیاز به سیال حفاری با وزن بالاتر (تا ۱۱/۵ PPG)، افزودن مواد وزن افزا به سیال حفاری را جهت ادامه عملیات ضروری نموده است. با نتایج به دست آمده از این تحقیق اهمیت تجهیزات جداسازی جهت حفاری سازندهای مختلف در بخش مدیریت پسماند دکل‌های حفاری نفت و گاز مشخص می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سازند سورمه، وزن سیال، جامدات حفاری، لرزاننده، توری، لاستیک محافظت کننده توری، سانتریفیوژ

۱- مقدمه

پسماند ترکیبی از جامدات افزوده شده به سیال و کنده‌های حفاری شده سازند می‌باشد. بنابراین لازم است جهت حفظ خواص سیال به منظور ادامه حفاری در بخش‌های مختلف سازند و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی این پسماند جداسازی و تصفیه گردد. روش‌های مختلفی در صنعت نفت جهت جداسازی در بخش‌های مختلف به کار می‌رود که روز به روز در حال گسترش بوده و هزینه‌های زیادی جهت تحقیقات بر روی این روش‌ها صورت می‌گیرد. به کارگیری سیستم‌های مختلف جداسازی یکی از روش‌های مؤثر جهت تنظیم خواص سیال است که امروزه در صنعت حفاری مورد استفاده

سیال حفاری را می‌توان به عنوان هرگونه سیالی تعریف نمود که در طول عملیات حفاری درون چاه به گردش در آمده و پس از عبور از رشته حفاری و مته از طریق فضای حلقوی به سطح بر می‌گردد. این سیال ممکن است گل حفاری، هوا، آب و غیره باشد. گل حفاری به عنوان یکی از سیالات حفاری خواص فیزیکی و شیمیایی مختلفی داشته که وزن سیال به عنوان یکی از این خواص در کنترل فشارهای زیرزمینی و انتقال جامدات و کنده‌های حفاری به سطح زمین نقش اساسی ایفا می‌نماید. سیال حفاری برگشتی از چاه دارای پسماندی می‌باشد که این

[۱]. موقعیت حفاری در فاز ۲۰ میدان گازی پارس جنوبی در خلیج فارس در شکل ۱ نشان داده شده است. سازند سورمه معادل سازند عرب یکی از سنگ مخزن‌های مهم گروه خامی برای تجمع مواد هیدروکربوری می‌باشد. این سازند متشکل از لایه‌های کربناته دولومیتی و انیدریتی است که لایه‌های انیدریتی نقش پوشش سنگ را برای لایه‌های دولومیتی ایفا می‌نماید [۲]. سن این سازند در این منطقه ژوراسیک بوده که ساختار زمین‌شناسی آن در چاه شماره ۸ فاز ۲۰ پارس جنوبی (مطالعه موردی این پژوهش) در جدول ۱ آمده است [۷].

۳- نقش وزن سیال در عملیات حفاری

خواص موجود در سیال حفاری وظایف مختلفی را در حفاری یک چاه بر عهده سیال گذاشته است. وزن سیال به عنوان یکی از این خواص در جلوگیری از (فوران چاه و هرزروی سیال حفاری) و انتقال کنده‌های حفاری به سطح زمین نقش اساسی ایفا می‌کند.

۳-۱- جلوگیری از فوران چاه و هرزروی سیال حفاری

سیال حفاری جلوگیری از فوران چاه و هرزروی سیال را به کمک وزن خود انجام می‌دهد. وزن سیال باعث ایجاد فشار هیدرواستاتیک^۶ درون چاه می‌شود. با استفاده از وزن سیال می‌توان این فشار را طوری تنظیم نمود تا فشار سیال با فشار سازند برابر شده و از هرزروی سیال به درون سازند یا ورود سیال سازند به درون چاه (فوران چاه) جلوگیری شود. به عبارت دیگر با ایجاد اختلاف فشار صفر، حفاری تعادلی^۷ ایجاد شده و از مشکلات ناشی از اختلاف فشار مثبت (هرزروی سیال) و منفی (فوران چاه) جلوگیری می‌گردد [۴].

۳-۲- انتقال کنده‌های حفاری به سطح زمین

کنده‌های حفاری^۸ در حالی که به سوی سطح زمین انتقال می‌یابد تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین بوده و پیوسته تمایل به سقوط و بازگشت مجدد به چاه را دارند. طبق قانون اجسام غوطه‌ور هرگاه جسمی در سیالی غوطه‌ور باشد از سوی سیال نیرویی به نام نیروی شناوری^۹ که جهت آن از پایین به بالا یعنی در خلاف

قرار می‌گیرد. جداسازی مکانیکی و جداسازی همراه با انتقال جرم از جمله روش‌های مورد استفاده در بخش کنترل جامدات دکل‌های حفاری نفت و گاز می‌باشد. می‌توان گفت جداسازی جامدات توسط تجهیزات کنترل جامدات مهم‌ترین فاکتور در مدیریت پسماند حفاری^۱ و از مزایای سیستم سیال حفاری می‌باشد که تأثیر مستقیمی بر عملیات حفاری دارد. از جمله جداسازهای کاربردی در بخش کنترل جامدات یک دکل حفاری لرزاننده و سانتریفیوژ می‌باشد که با اصلاح و استفاده به موقع از تجهیزات مذکور می‌توان به شرایط مطلوبی جهت ادامه حفاری دست پیدا نمود. شرکت نفت و گاز پارس^۲ جهت تأمین گاز مورد نیاز فاز ۲۰ پارس جنوبی اقدام به حفاری ۱۱ حلقه چاه گازی در این میدان توسط دکل شماره یک شرکت بین‌المللی حفاری^۳ نموده است. این پژوهش به بررسی تأثیر جداسازهای مکانیکی و انتقال جرم (لرزاننده و سانتریفیوژ) بر روی یکی از خواص سیال حفاری (وزن سیال) در حفاری بخشی از حفره ۱۲/۲۵ اینچ چاه شماره ۸ شامل سازندهای سورمه، نیریز پرداخته است. حفاری در این بخش از چاه به صورت حفاری انحرافی^۴ بوده و نوع سیال حفاری مورد استفاده در این بخش، سیال حفاری پایه آبی^۵ بوده است.

۲- معرفی سازند سورمه در چاه شماره ۸ میدان مشترک گازی پارس جنوبی

منطقه خلیج فارس میزبان تعداد زیادی از میادین عظیم هیدروکربنی خاورمیانه است که میدان پارس جنوبی بزرگ‌ترین ذخیره هیدروکربنی کشور با پتانسیل تولید گاز از مخزن گازی (سازندهای کنگان و دالان) و نفت از لایه نفتی (داریان بالایی و پایینی و بخش مدود سازند سروک) مهم‌ترین و بزرگ‌ترین این میادین می‌باشد. میدان گازی پارس جنوبی بزرگ‌ترین میدان گازی جهان بوده که روی خط مرزی مشترک ایران و قطر قرار داشته و یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی کشور به شمار می‌رود. مساحت این میدان حدود ۹۷۰۰ کیلومتر مربع بوده که سهم متعلق به ایران ۳۷۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد

^۱. Drilling Waste Management (DWM)

^۲. Pars Oil & Gas Company (POGC)

^۳. Drilling Company International 1 (DCI1)

^۴. Directional Drilling

^۵. Water Base Fluid

^۶. Hydrostatic Pressure

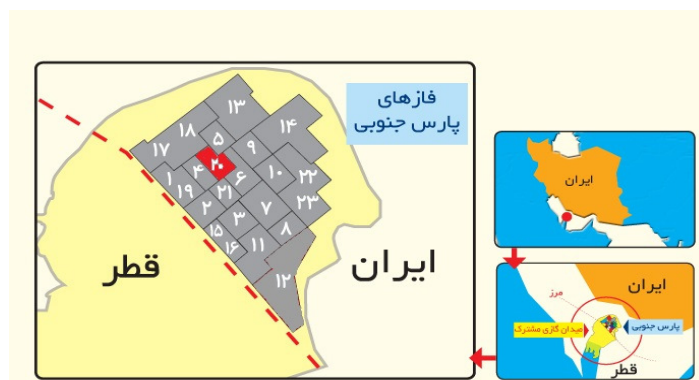
^۷. Balance Drilling

^۸. Drilling Cuttings

^۹. Buoyancy Force

حفاری در چاه و کاهش مشکلات عملیاتی می‌گردد [۶]. حالت حفاری تعادلی (سمت راست) و انتقال کنده‌های حفاری از درون چاه به سطح زمین (سمت چپ) در شکل ۲ نشان داده شده است.

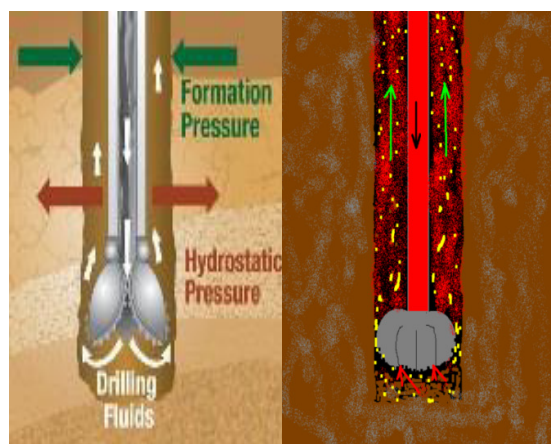
جهت نیروی جاذبه زمین است به جسم وارد می‌شود [۴]. هرچه وزن سیال زیادتر شود یعنی تعداد ذرات جامد آن افزایش یابد اثر شناورسازی سیال روی کنده‌ها زیادتر می‌شود و ظرفیت حمل سیال افزایش می‌یابد. این خاصیت باعث جلوگیری از ته‌نشین شدن کنده‌های



شکل ۱. موقعیت حفاری در فاز ۲۰ میدان پارس جنوبی در خلیج فارس

جدول ۱. ساختار زمین‌شناسی در حفره ۱۲/۲۵ اینچ چاه شماره ۸ فاز ۲۰ پارس جنوبی

اندازه حفره	سازند	عضو	سنگ‌شناسی	عمق عمودی واقعی (متر) True Vertical Depth (TVD)
۱۲/۲۵ اینچ	سورمه	بالایی	دولومیت، انیدریت	۱۵۵۴
		دولومیت بالایی	دولومیت	۱۶۱۱
		سنگ آهک بالایی	سنگ آهک	۱۶۶۰
		چرتی زون	سنگ آهک، چرت	۱۷۶۸
		سنگ آهک میانی	سنگ آهک	۱۸۱۰
		مند ممبر	دولومیت سنگ آهک،	۱۹۲۸
		سنگ آهک پایینی	سنگ آهک	۱۹۹۸
		شیل، آرگ سنگ آهک، سی سنگ آهک (شیل، سورمه) پایینی	شیل، آرگ سنگ آهک، سی سنگ آهک	۲۱۰۴
		لیتیوتیس	دولومیت سنگ آهک،	۲۱۵۴
		نی ریز		
		دشتک		



شکل ۲. حفاری تعادلی (سمت راست) و انتقال کنده‌های حفاری از درون چاه به سطح زمین (سمت چپ)

استفاده می‌شود [۴]. مواد جامد نامحلول در آب حل نشده و تنها در آب معلق می‌مانند. از جمله این مواد می‌توان به کربنات کلسیم، سولفات باریم، فروبار، سولفورسرب و غیره اشاره نمود. به طور کلی جامدات در سیال حفاری می‌تواند شامل ذرات رس با اندازه کوچک‌تر از یک میکرون تا کنده‌های حفاری بزرگ‌تر از یک اینچ باشد. در جدول ۲ محدوده اندازه برخی ذرات و جامدات موجود در سیال حفاری ارائه گردیده است.

۵- اهداف کنترل جامدات و کنده‌های حفاری

به طور کلی مقادیر کم جامدات موجود در سیال حفاری مشکل‌ساز نمی‌باشد اما مسئله اساسی زمانی به وجود خواهد آمد که این جامدات به مقدار زیاد و به طور پیوسته در سیستم سیال گردش نماید. مشکلات ناشی از افزایش کنده‌ها و جامدات که منجر به افزایش وزن سیال حفاری می‌شود عبارتند از:

- کاهش ROP^۱ (حدود ۲۵ درصد)
- کاهش عمر مته حفاری (حدود ۲۰ درصد، به دلیل فرسایش سریع‌تر یا تاقان‌های مته)
- افزایش خطر گیر لوله‌ها به دلیل افزایش ضخامت کیک ایجاد شده در دیواره چاه
- کاهش عمر قطعات پمپ مانند لاینر، پیستون و غیره (حدود ۳۰۰-۴۰۰ درصد)
- به هم خوردن خواص سیال حفاری مانند گرانیروی، وزن سیال و عدم کنترل رئولوژی سیال
- افزایش هزینه و زمان لازم جهت حفاری چاه جلوگیری از مشکلات ذکر شده در نهایت باعث صرفه جویی قابل توجه در هزینه و زمان دکل حفاری می‌شود. روش یا روش‌های انتخابی جهت کنترل جامدات سیال حفاری بستگی به شدت مشکل، نوع سیال و هزینه اقتصادی استفاده از آن‌ها دارد [۴]. کار اصلی در کنترل ذرات جامد، کاهش جامدات سازند در سیال به یک حد کاربردی است که امکان نگه داشتن خواص رئولوژی و فیلتراسیون در محدوده‌ای که کمترین مشکلات حفاری وجود داشته باشد را بدهد [۶].

معلق نمودن کنده‌های حفاری و مواد وزن‌افزا، تشکیل لایه ناتروا (کیک) بر روی دیواره چاه، تهیه اطلاعات زمین‌شناسی از سازند، تحمل بخشی از لوله‌های حفاری، خنک کردن، روانکاری و نگهداری مته حفاری و غیره از دیگر وظایف سیال حفاری می‌باشد که توسط دیگر خواص سیال (گرانیروی، گرانیروی پلاستیکی، نقطه واروی، قدرت ژله ای و غیره) ایجاد می‌شود.

۴- جامدات مخرب وزن افزای سیال حفاری

جامدات موجود در سیال برگشتی از چاه شامل کنده‌های جدا شده از سازند و مواد افزودنی به سیال حفاری می‌باشد. این مواد افزودنی شامل مواد وزن‌افزا، مواد گرانیروی‌ساز، مواد کنترل کننده هرزروی سیال، مواد کنترل کننده فیلتراسیون، افزودنی‌های شوری، مواد روان کننده و غیره می‌باشد. در عملیات حفاری کنده‌های حفاری و مواد جامد نامطلوب منجر به افزایش وزن سیال شده که ممکن است ادامه حفاری را با مشکل روبرو نماید.

۴-۱- کنده‌های حفاری

کنده‌های حفاری قطعات شکسته شده کوچکی از سنگ‌ها و لایه‌های زمین‌شناسی هستند که با سیال حفاری مخلوط شده و هنگام حفاری به وسیله سیال به سطح آورده می‌شوند. این ذرات عموماً ذرات با چگالی کم هستند و علاوه بر ایجاد مشکلات زیست‌محیطی اثر نامطلوبی بر خواص سیال از جمله وزن سیال می‌گذارد.

۴-۲- جامدات نامطلوب وزن افزا

مواد مختلفی جهت افزایش وزن به سیال حفاری اضافه می‌گردد که برخی از آن‌ها مطلوب و برخی نامطلوب می‌باشد. جامدات نامطلوب^۱ وزن‌افزا از نظر شیمیایی بی‌اثر بوده و شامل مواد جامد محلول و نامحلول می‌باشد. جامدات محلول معمولاً نمک‌های شیمیایی مانند کلرید سدیم، کلرید کلسیم، کلرید برم و غیره می‌باشد. از محلول این جامدات بیشتر به عنوان سیالات پرکن^۲ (سیالات ویژه‌ای که در فضای بین لوله^۳ و لوله جداری قرار می‌گیرد) و سیالات تعمیر^۴ (سیال مخصوص که دیواره چاه را در طول عملیات تعمیر، تحت کنترل نگه می‌دارد)

^۱. Inter Solids

^۲. Packer Fluids

^۳. Tubing

^۴. Work Over Fluids

جدول ۲. اندازه برخی ذرات و جامدات موجود در سیال حفاری

نمونه	اندازه (میکرون)	طبقه
باریت، رس و جامد خیلی ریز	۲ میکرون و کمتر	کلوئیدی
باریت، سیلت و جامدات ریز	۲-۷۴ میکرون	سیلت
ماسه و جامدات حفاری	۷۴-۲۰۰۰ میکرون	ماسه
جامدات حفاری، شن	بزرگ‌تر از ۲۰۰۰ میکرون	شن

اجزاء مخلوط تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز شدید و بر اساس اختلاف جرم مولکولی اجزاء از هم جدا می‌شوند. در این روش هرچه جرم مولکولی اجزاء به هم نزدیک‌تر باشد بایستی از دور بالاتر دستگاه استفاده شود. هم‌چنین هیدروسیکلون‌ها که عملکردی شبیه به سانتریفیوژ دارند در مراحل دیگر جهت جداسازی جامدات و کنده‌ها از سیالات حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- عوامل کنترل‌کننده وزن سیال در حفاری چاه‌های نفت و گاز

استفاده مناسب از تجهیزات کنترل جامدات می‌تواند حجم جامدات موجود در سیال حفاری را در بهترین شرایط تا ۹۰ درصد کاهش دهد. آگاهی از اندازه جامدات در سیال حفاری و اینکه هر کدام در چه محدوده‌ای قرار گرفته و با کدام یک از دستگاه‌های کنترل جامدات قابل جداسازی می‌باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. در شکل ۳ محدوده جداسازی جامدات حفاری توسط تجهیزات مختلف کنترل جامدات نشان داده شده است. در دکل حفاری مورد مطالعه این تحقیق جهت جداسازی ذرات در این بخش حفاری از ترکیب لرزاننده و سانتریفیوژ استفاده گردیده است.

۷-۱- لرزاننده^۳

سیال برگشتی از حفاری چاه گاز یا نفت در اولین مرحله تصفیه وارد سیستم لرزاننده‌ها می‌گردد. میزان جداسازی در یک لرزاننده به GF^4 بستگی دارد که با افزایش این پارامتر جداسازی ذرات نیز بیش‌تر خواهد شد. فاکتور G بر اساس نیروی ثقلی از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد [۷].

$$\text{Number of } G = \frac{(\text{stroke, in}) \times (\text{RPM})^2}{7.49 \times 10^4} \quad (1)$$

در این رابطه استروک بر حسب اینچ و RPM^۵ تعداد دور (لغزش) در دقیقه می‌باشد. در دکل‌های حفاری نفت و

۶- جداسازی جامدات و کنده‌های حفاری

روش‌های جداسازی مورد استفاده در صنعت حفاری از روش‌های موجود در صنعت به خصوص صنعت نفت (نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی) مستثنی نبوده و ترکیبی از روش‌های موجود می‌باشد. به طور کلی فرآیندهای جداسازی شامل جداسازی مکانیکی، جداسازی همراه با انتقال جرم، جداسازی شیمیایی و جداسازی بیولوژیکی می‌باشد. در ادامه به صورت خلاصه به روش‌های جداسازی فیزیکی و انتقال جرمی مورد استفاده در بخش کنترل جامدات دکل‌های حفاری اشاره می‌گردد.

۶-۱- جداسازی فیزیکی

این عملیات معمولاً جهت جداسازی اجزاء یک مخلوط ناهمگن به کار می‌رود. در این نوع جداسازی واکنش شیمیایی صورت نمی‌گیرد و اجزاء بایستی ماهیت شیمیایی خود را حفظ کنند. انتقال در روش‌های مکانیکی در اثر اختلاف فشار و نیروهای مکانیکی می‌باشد [۳]. در بخش کنترل جامدات حفاری جهت جداسازی جامدات و کنده‌های حفاری از سیال، از روش غربال کردن^۱ استفاده می‌گردد. اساس کار در این روش اختلاف در اندازه ذرات می‌باشد که با استفاده از لرزاننده‌ها صورت می‌گیرد [۸].

۶-۲- جداسازی همراه با انتقال جرم

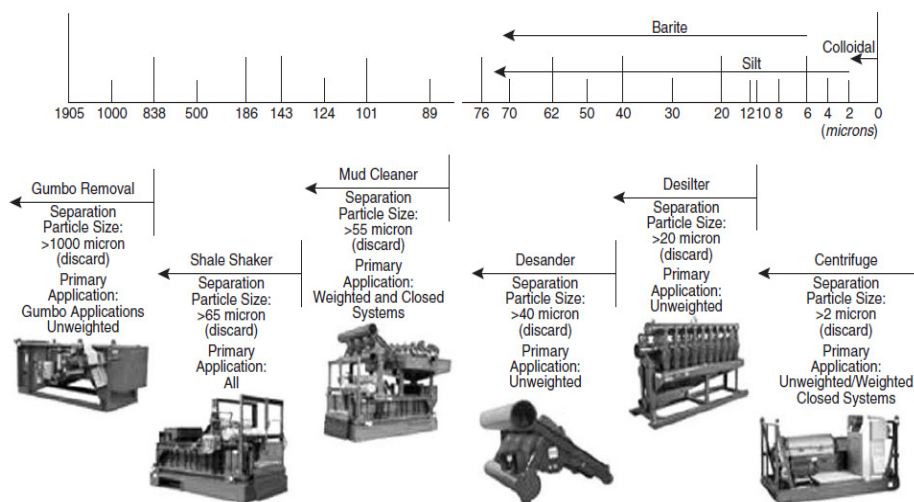
چون در تمامی موارد نمی‌توان جهت جداسازی از روش‌های مکانیکی استفاده نمود جهت تغییر غلظت اجزاء در محلول بایستی روش‌های انتقال جرم^۲ را به کار گرفت. پدیده انتقال در روش‌های انتقال جرم در اثر اختلاف پتانسیل شیمیایی یا اختلاف غلظت می‌باشد. در بخش کنترل جامدات جهت جداسازی سیال حفاری خروجی از مرحله اول (جداسازی مکانیکی) از یکی از تجهیزات انتقال جرمی (سانتریفیوژ) استفاده می‌گردد. در این روش

^۳. Shale Shaker Gravity Factor.
^۴. Revolutions Per Minute

^۱. Screening
^۲. Mass Transfer

نقص اساسی را در جداسازی و جلوگیری از ورود جامدات به سیال حفاری و افزایش وزن سیال حفاری ایفا می‌کند.

گاز بیش از یک لرزاننده مورد استفاده می‌گیرد. در لرزاننده دو عامل توری و لاستیک محافظت کننده توری



شکل ۳. محدوده جداسازی جامدات حفاری توسط تجهیزات کنترل جامدات

حفاری از سیال بر روی توری در شکل ۴ نشان داده شده است.

۷-۱-۱- توری^۱
 برای هر نوع لرزاننده اندازه و شکل روزنه‌های توری اثر قابل توجهی روی جداسازی آن دارد. این بدین معناست که عملکرد یک لرزاننده به طور قابل توجهی توسط بافت توری کنترل می‌شود. توری‌های به کار رفته در لرزاننده‌ها در الگوهای مختلفی گسترش یافته‌اند. الگوهای رایج در صنعت حفاری شامل الگوی مربعی ساده^۲، الگوی مستطیلی ساده^۳ و الگوی مستطیلی اصلاح شده^۴ می‌باشد. جداسازی اقتصادی جامدات حفاری، طول عمر قابل قبول، مقاومت در برابر انسداد روزنه‌ها، ظرفیت زیاد دبی سیال و شناسایی ساده توری از ویژگی‌های مطلوب یک توری لرزاننده به شمار می‌رود. مهم‌ترین عامل در عملکرد مناسب توری لرزاننده جنس توری می‌باشد. توری‌های مناسب جهت استفاده بر روی لرزاننده باید مقاومت لازم در برابر لرزش را داشته باشد. قاب توری باید محکم بوده و شکننده نباشد. علاوه بر این لاستیک خودتوری باید از جنس مناسب بوده تا از خوردگی سریع توری جلوگیری نماید. هریک از مشکلات گفته شده در توری باعث ورود جامدات به سیال و افزایش وزن سیال می‌گردد [۸]. فرآیند جداسازی جامدات و کنده‌های

- عدم دقت مناسب در هنگام سفت کردن پیچ‌های توری به لرزاننده
- عبور حجم سیال بیش‌تر از ظرفیت اسمی توری
- اندازه سوراخ توری

^۱. Screen

^۲. Plain Square Weave

^۳. Plain Rectangular Weave

^۴. Modified Rectangular Weave

^۵. Screen Rubber Protector



شکل ۴. جداسازی جامدات و کنده‌های حفاری از سیال بر روی توری لرزاننده

۷-۲- سانتریفیوژ^۱

سیال حفاری پس از جداسازی توسط لرزاننده‌ها وارد سیستم سانتریفیوژ می‌گردد. در این مرحله دو سانتریفیوژ جامدات با گراویتی بالا^۲ و جامدات با گراویتی پایین^۳ جهت تصفیه سیال و ادامه عملیات حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصول جداسازی توسط سانتریفیوژ طبق قانون استوکس^۴ بر اساس سرعت نهایی ذره و از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد [۱۱].

$$V_t = \frac{Cg(\rho_s - \rho_l)D_s^2}{\mu} \quad (2)$$

در این رابطه V_t سرعت ته‌نشینی نهایی بر حسب $\frac{ft}{sec}$ ، g ثابت گرانش بر حسب $\frac{ft}{sec^2}$ ، D_s قطر جامد بر حسب ft ، ρ_s چگالی جامد بر حسب $\frac{lb}{ft^3}$ ، ρ_l چگالی مایع بر حسب $\frac{lb}{ft^3}$ و μ گرانیوی مایع بر حسب cp می‌باشد. میزان ثابت گرانش C برابر با 2.15×10^{-7} می‌باشد.

در سیال حفاری سنگین همواره از دو سانتریفیوژ در یک سیستم بسته به صورت سری استفاده می‌شود. از سانتریفیوژ اول جهت جداسازی جامدات وزن‌افزای مفید و از سانتریفیوژ دوم که با سرعت بالاتر کار می‌کند برای جداسازی و دور ریز ذرات و جامدات نامطلوب سیال استفاده می‌گردد. نحوه عملکرد سانتریفیوژ در جداسازی جامد از سیال در شکل ۵ نشان داده شده است.

۸- نتایج و بحث

یکی از مهم‌ترین تأثیرات تجهیزات کنترل جامدات بر روی وزن سیال حفاری می‌باشد. افزایش و کاهش وزن سیال حفاری تأثیر مستقیمی بر روی عملکرد سازند

خواهد داشت. بنابراین لازم است تجهیزات جداساز عملکرد مناسبی داشته باشند تا حفاری چاه بدون وقفه ادامه پیدا کند. در حفاری سازند سورمه تأثیر این تجهیزات در کاهش وزن سیال حفاری و نگه داشتن آن در محدوده مورد نظر در سه مرحله بررسی گردیده است.

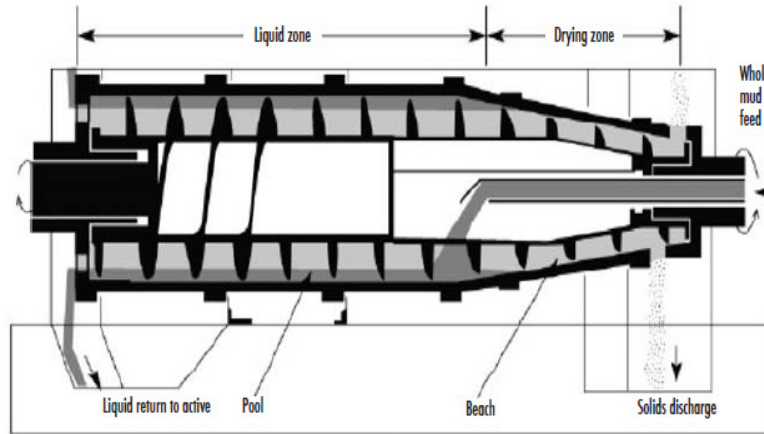
۸-۱- مرحله اول: تغییر در توری لرزاننده

در دکل حفاری مورد مطالعه از پنج لرزاننده که با حرکت خطی^۵ کار می‌کنند استفاده گردیده است. با شروع حفاری در این بخش به دلیل سرعت بالای حفاری میزان پمپ سیال حفاری به درون چاه برابر ۹۰۰-۸۵۰ گالن در دقیقه^۶ بوده است که میزان جامدات و کنده‌های حفاری برگشتی از چاه بر روی لرزاننده‌ها زیاد بوده است. در این بخش جهت نگه داشتن وزن سیال بر روی ۹/۴ پوند در گالن^۷ از ترکیب ۴ نوع توری با API^۸ متفاوت با الگوی مربعی ساده بر روی لرزاننده‌ها استفاده گردید. در جدول ۳ میزان جداسازی توسط هر کدام از توری‌ها ارائه گردیده است.

با توجه به بالا رفتن وزن سیال در لایه دولومیت بالایی^۹، به صورت متناوب بر روی لرزاننده‌های مختلف توری‌های آسیب دیده جهت عملکرد مناسب و کاهش وزن سیال تعویض گردید. با تعویض و اصلاح توری‌ها وزن سیال در لایه سنگ آهگ بالایی^{۱۰} در حد مطلوب نگه داشته شد. اطلاعات مربوط به تغییرات توری‌های لرزاننده در جدول ۴ آمده است [۱۲]. نمودار ۱ مقایسه بین تعداد توری‌های مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال و توری‌های آسیب دیده را نشان داده است.

^۵. Linear Motion
^۶. Gallon Per Minute (GPM)
^۷. Pound Per Gallon (PPG)
^۸. Screen Rubber Protector
^۹. Upper Dolomite
^{۱۰}. Upper Limestone

^۱. Centrifuge
^۲. High Gravity Solids (HGS)
^۳. Low Gravity Solids (LGS)
^۴. Stoke's Law



شکل ۵. نحوه عملکرد سانتریفیوژ در جداسازی سیال از جامد

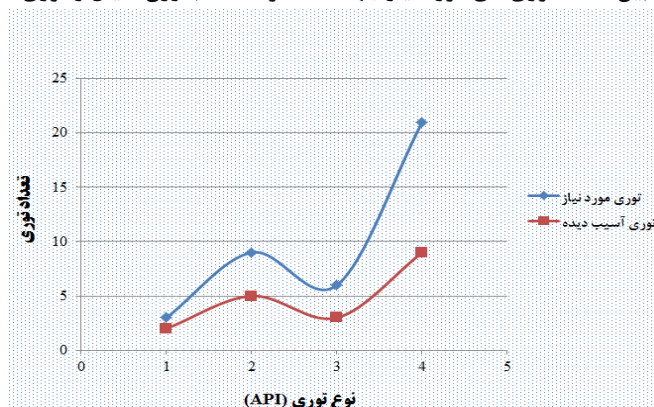
جدول ۳. نوع توری و میزان جداسازی

توری	
نوع توری (API)	میزان جداسازی ذره (میکرون)
۸۰	۱۸۰
۱۰۰	۱۶۲
۱۴۰	۱۰۳
۱۷۰	۸۳

جدول ۴. تعداد توری مورد نیاز و آسیب دیده جهت عملکرد مناسب وزن سیال

نوع توری و تعداد مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال				شماره لرزاننده
API۸۰	API۱۰۰	API۱۴۰	API۱۷۰	
-	-	-	۱۲	لرزاننده شماره ۱
-	-	-	۹	لرزاننده شماره ۲
-	-	۶	-	لرزاننده شماره ۳
-	۹	-	-	لرزاننده شماره ۴
۳	-	-	-	لرزاننده شماره ۵
۳	۹	۶	۲۱	جمع
نوع توری و تعداد توری‌های که آسیب دیده و تعویض گردید				شماره لرزاننده
API۸۰	API۱۰۰	API۱۴۰	۱۷۰API	
-	-	-	۵	لرزاننده شماره ۱
-	-	-	۴	لرزاننده شماره ۲
-	-	۳	-	لرزاننده شماره ۳
-	۵	-	-	لرزاننده شماره ۴
۲	-	-	-	لرزاننده شماره ۵
۲	۵	۳	۹	جمع

نمودار ۱. مقایسه بین تعداد توری‌های مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال و توری‌های آسیب دیده



لرزاننده مشکلی در توری و لاستیک محافظت کننده توری مشاهده نگردید. نوع و جنس سازند باعث افزایش وزن سیال گردید که لازم بود جهت جلوگیری از مشکلات احتمالی کنترل گردد. در این دکل حفاری از دو سانتریفیوژ جهت جداسازی سیال خروجی از جداساز مکانیکی استفاده می‌گردد. در این مرحله سانتریفیوژهای سیستم کنترل جامدات جهت کنترل وزن سیال به کار گرفته شد. با استفاده از دو سانتریفیوژ وزن سیال حفاری پایین آمده و حفاری در لایه‌های سنگ آهک پایینی^۴ و (سورمه، شیل) پایینی^۵ بدون هیچ مشکلی ادامه پیدا نمود. مشخصات فنی سانتریفیوژهای مورد استفاده در این دکل در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است [۱۱].

میزان کارکرد و مقایسه بین عملکرد دو سانتریفیوژ پس از افزایش وزن سیال در لایه‌های مختلف در جدول ۸ و نمودار ۳ آمده است.

در پایان حفاری در این بخش با نزدیک شدن به تغییر سازند و نیاز به سیال با وزن بالاتر سانتریفیوژها از سیستم خارج شده و از لایه لیتیوتیس^۶ شروع به اضافه نمودن مواد وزن‌افزا (کلریدپتاسیم، نمک و باریت) گردید. این افزایش وزن در سازندهای نیریز و دشتک وزن سیال را تا حدی که مورد نیاز است بالا برده است. جدول ۹ حفاری در لایه‌های مختلف این حفره و میزان وزن سیال در این لایه‌ها را نشان داده است. نمودار ۴ نحوه تغییرات وزن سیال در لایه‌های مختلف را نشان داده است.

۸-۲- مرحله دوم: اصلاح و نوسازی لاستیک

محافظت کننده توری

پس از تغییر در سیستم توری لرزاننده با ادامه حفاری وزن سیال حفاری در چرتی زون^۱ افزایش یافت. با کنترل توری‌ها و اصلاح توری‌های آسیب دیده وزن سیال همچنان رو به افزایش بود. با کنترل مجدد لرزاننده‌ها مشخص گردید جامدات و کنده‌های حفاری از فاصله بین بدنه لرزاننده و توری به درون سیال حفاری تصفیه شده وارد شده و موجب افزایش وزن سیال می‌گردد. تا قبل از پیدا نمودن این مشکل حدود ۵۰ بشکه از سیال حفاری به دلیل افزایش وزن از سیستم گردش سیال خارج و سیال جدید جایگزین با وزن مناسب جهت انجام وظایف به درون چاه پمپ گردید. با یک طرح کلیه لاستیک‌های محافظت کننده (چپ، راست، جلو، عقب و زیر توری‌ها) کنترل، تعویض و اصلاح گردید. فضای خالی بین بخش‌های مختلف لرزاننده و توری‌ها جهت جلوگیری از ورود جامدات به سیال حفاری با استفاده از لاستیک‌های محافظت کننده پر شد. با اجرای تغییرات، وزن سیال حفاری به حالت عادی خود در لایه‌سنگ آهک میانی^۲ بازگشت. اطلاعات مربوط به اصلاح لاستیک‌های محافظت کننده توری در جدول ۵ آمده است [۱۱]. نمودار ۲ مقایسه بین تعداد لاستیک محافظت کننده مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال و لاستیک‌های آسیب دیده را نشان داده است

۸-۳- مرحله سوم: به کارگیری سانتریفیوژ

با عبور از لایه سنگ آهک میانی مجدداً وزن سیال در لایه مند ممبر^۳ افزایش یافت. با کنترل مجدد توری‌های

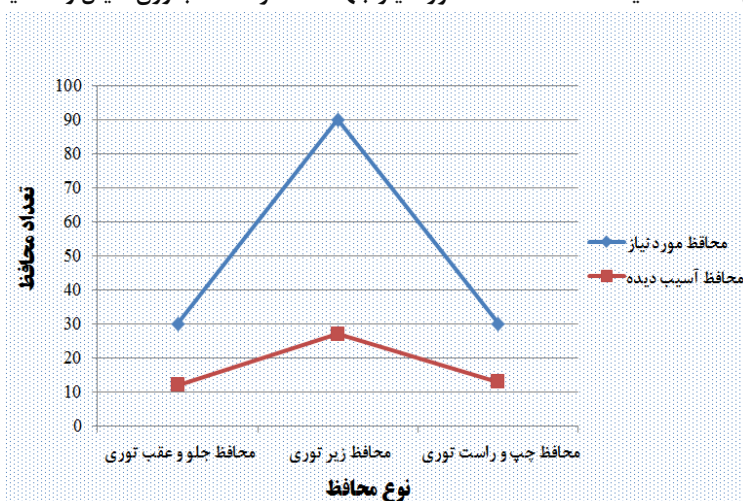
^۴. Lower Limestone
^۵. Lower (Surmeh, Shale)
^۶. Lithiotis Bed

^۱. Cherty Zone
^۲. Middle Limestone
^۳. Mand Member

جدول ۵. نوع و تعداد لاستیک محافظت کننده توری لازم و آسیب دیده

شماره لرزاننده	نوع و تعداد لاستیک محافظت کننده توری لازم جهت عملکرد مناسب وزن سیال حفاری		
	محافظت چپ و راست توری (۴/۵ سانتیمتر)	محافظت زیر توری (۶ سانتیمتر)	محافظت جلو و عقب توری (۲/۵ سانتیمتر)
لرزاننده شماره ۱	۶	۱۸	۶
لرزاننده شماره ۲	۶	۱۸	۶
لرزاننده شماره ۳	۶	۱۸	۶
لرزاننده شماره ۴	۶	۱۸	۶
لرزاننده شماره ۵	۶	۱۸	۶
جمع	۳۰	۹۰	۳۰
شماره لرزاننده	نوع و تعداد لاستیک محافظت کننده آسیب دیده که جهت بهبود وزن سیال حفاری تعویض گردید		
	محافظت چپ و راست توری (۴/۵ سانتیمتر)	محافظت زیر توری (۶ سانتیمتر)	محافظت جلو و عقب توری (۲/۵ سانتیمتر)
لرزاننده شماره ۱	۴	۶	۲
لرزاننده شماره ۲	۱	۶	۲
لرزاننده شماره ۳	۲	۷	۳
لرزاننده شماره ۴	۳	۴	۴
لرزاننده شماره ۵	۳	۴	۱
جمع	۱۳	۲۷	۱۲

نمودار ۲. مقایسه بین تعداد لاستیک محافظت کننده مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال و لاستیک های آسیب دیده



جدول ۶. مشخصات فنی سانتریفیوژ LGS

LGS سانتریفیوژ	
مدل	-N1۰۰۰ x ۴۵۰LW
توان موتور	۳۷.۷/۵ کیلو وات
طول بول	۱۰۰۰ میلی متر
قطر بول	۴۵۰ میلی متر
فاکتور G	۱۲۱۹
ماکزیمم سرعت بول	۲۲۰۰ دور در دقیقه
سرعت دیفرانسیل	۱۷-۳۶ دور در دقیقه

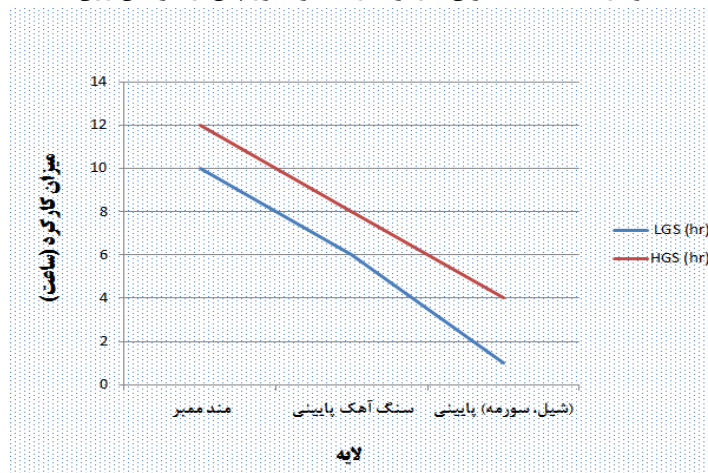
جدول ۷. مشخصات فنی سانتریفیوژ HGS

HGS سانتریفیوژ	
مدل	-N1000 x 450-LW
توان موتور	۳۰.۷/۵ کیلو وات
طول بول	۱۰۰۰ میلی‌متر
قطر بول	۴۵۰ میلی‌متر
فاکتور G	۸۱۵
ماکزیمم سرعت بول	۱۸۰۰ دور در دقیقه
سرعت دیفرانسیل	۱۷-۳۶ دور در دقیقه

جدول ۸. میزان کارکرد سانتریفیوژ HGS و LGS

کارکرد سانتریفیوژ	لایه		
	مند ممبر	سنگ آهک پایینی	(سورمه، شیل) پایینی
LGS (ساعت)	۱۰	۶	۱
HGS (ساعت)	۱۲	۸	۴
جمع (ساعت)	۲۲	۱۴	۵

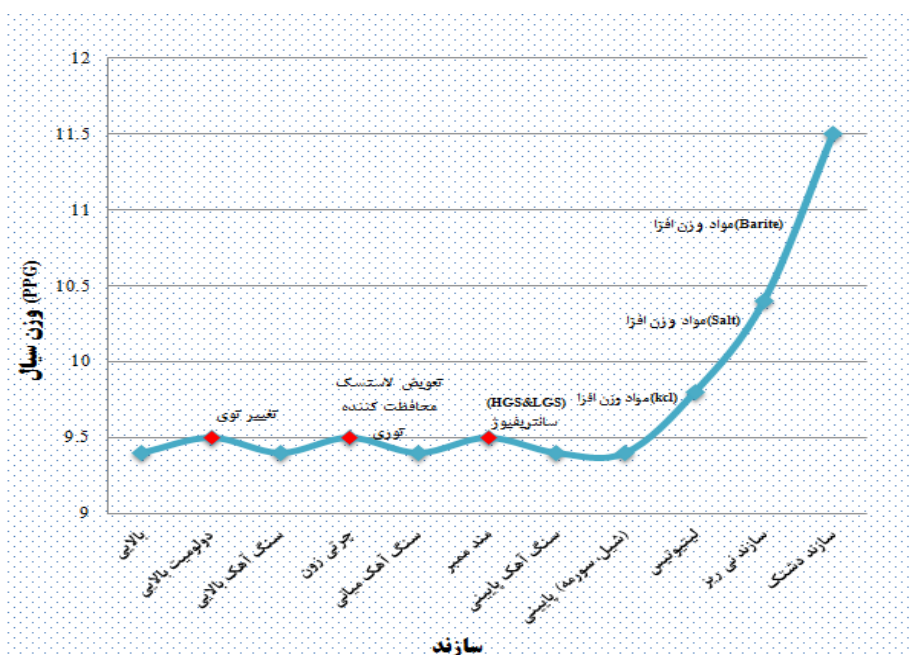
نمودار ۳. مقایسه میزان کارکرد دو سانتریفیوژ پس از افزایش وزن



جدول ۹. حفاری در لایه‌های مختلف حفره ۱۲/۲۵ اینچ و میزان وزن سیال

سازند	وزن سیال (PPG)
بالایی	۹/۴
دولومیت بالایی	۹/۵
سنگ آهک بالایی	۹/۴
چرتی زون	۹/۵
سنگ آهک میانی	۹/۴
مند ممبر	۹.۵
سنگ آهک پایینی	۹/۴
(شیل، سورمه) پایینی	۹/۴
لیتوتیس	۹.۸
سازند نی ریز	۱۰/۴
سازند دشتک	۱۱/۵

نمودار ۴. نحوه تغییرات وزن سیال در لایه‌های مختلف



زون کاهش یافته و بر روی PPG ۹/۴ در لایه‌های بعد از لایه‌های مذکور نگه داشته شده است. در انتهای حفاری در سازند سورمه به کارگیری به موقع سانتریفیوژ در حالیکه مشکلی در جداساز اولیه وجود نداشته است حفاری در لایه‌مند ممبر را با کنترل وزن سیال ادامه داده است. در پایان حفاری در این حفره با تغییر سازند و نیاز به سیال با وزن بالاتر، جهت افزایش وزن سیال از موادی مانند باریت، نمک و کلریدپتاسیم استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق را می‌توان با فرض استفاده و به کارگیری مناسب تجهیزات جداسازی در سایر سازندهای چاه‌های نفت و گاز در مناطق خشکی و دریا تعمیم داد.

منابع

- [۱] حسینی، م و برزنونی، ع (۱۳۹۱) مهندسی سیال حفاری، انتشارات آوا.
- [۲] خداویسی، م، موسوی حرمی، ر، محبوبی، ا، چهراری، ع، (۱۳۹۱) تعیین گروه‌های سنگی پتروفیزیکی سازند سورمه با استفاده از مفهوم واحدهای جریانیهیدرولیکی در یکی از میادین نفتی خلیج فارس، ششمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه کرمان.
- [۳] سهرابی، م و کاغذچی، ط (۱۳۸۷) انتقال جرم، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

۹- نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از داده‌های تجربی عملکرد جداسازهای مکانیکی و انتقال جرم را در جداسازی جامدات و کنده‌های حفاری از سیال جهت نگهداری مطلوب وزن سیال حفاری در سازند سورمه در میدان گازی پارس جنوبی بررسی کرده است. لرزاننده و سانتریفیوژ از جمله جداسازهای صنعت حفاری بوده که نقش مهمی در حفظ خواص مختلف سیال حفاری به عهده دارند. با استفاده به موقع از این تجهیزات در حفاری چاه‌های نفت و گاز می‌توان از هرزروی سیال و فوران چاه با کنترل وزن سیال جلوگیری نمود. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین نوسازی (اصلاح) تجهیزات جداسازی و کنترل وزن سیال حفاری وجود دارد. با اعمال تغییرات در دستگاه‌های جداکننده می‌توان از بروز مشکلات عملیاتی، افزایش هزینه و زمان در دکل حفاری جلوگیری نمود. تعویض به موقع توری‌های آسیب دیده، استفاده از لاستیک‌های محافظت کننده توری به عنوان یک الزام جدید در لرزاننده‌ها و استفاده به موقع از سانتریفیوژ، حفاری در این حفره از چاه را بدون ایجاد هیچگونه خطری به اتمام رسانده است. با تعویض و اصلاح تقریباً ۵۰ درصد از کل توری و لاستیک‌های مورد نیاز جهت عملکرد مناسب وزن سیال، میزان وزن سیال در لایه‌های دولومیت بالایی و چرتی

- [۴] کرمانشاهی، ه.، معماریانی، م.، کمالی، م. (۱۳۹۰) ارزیابی ژئوشیمیایی سازند سورمه به عنوان سنگ منشا احتمالی در میدان پارس جنوبی، مجله علوم زمین، شماره ۸۱، صفحات ۱۳۴-۱۲۹.
- [۵] گلستانی فر، ح و بهشتی ع (۱۳۹۳) مدیریت پسماند در چاه‌های اکتشافی نفت و گاز، انتشارات فرهمند.
- [۶] موزریلیپی، م (۱۳۹۳) مدیریت پسماند حفاری چاه‌های نفت و گاز به روش کنترل جامدات در راستای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، چهارمین همایش ملی مدیریت انرژی و محیط زیست، هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- [۷] نفت و گاز پارس (۱۳۹۴) گزارشات زمین‌شناسی.
- [۸] یار قاسمی دره‌نایی، م.، پروینی، م.، سرافراز، ح.، و محمدی، م (۱۳۹۰) مروری بر فناوری‌های تصفیه آب و پساب در صنایع بالادستی نفت ایران، دومین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی.
- [9] Butterworth, H., and Chimeka, D (2007) Effect of drilled solids on drilling rate and performance, petroleum science&engineering, 55, 271-276.
- [10] Butterworth, H (1991) Shale shakers and Drilling fluid system, American association of drilling engineers, 98-100.
- [11] Ciarapica, F., and Giacchetta, G (2010) The Treatment of Produced Water in Offshore, Comparison Between Traditional Installations and Innovative Systems.
- [12] Drilling Company International (DCI) (2015) Solid Control & Waste Management Daily Reports.

Change Some of Solids Control Equipment Parameters for Control of the drilling fluid Weight for Surmeh Formation Drilling (Case study: well number 8 of phase 20 of Gas south pars field)

M. A. Daneshfar^{*1}, M. Arjmand² and A. Ghadami Jadval Ghadam³

1- Chemical Engineering Ph.D Student, Islamic Azad University, South Tehran Branch

2- Dept., of Chemical Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch

3- Dept., of Petroleum Engineering, Islamic Azad University, Yasouj Branch

* Mdaneshfar38@gmail.com

Recieved: 2016/6/13 Accepted: 2017/2/1

Abstract

The drilling fluid weight is determined according to the pressure and depth of drilling end stage fractures. The control of underground pressure of drilling fluid, as well as, transferring the solids and Cuttings of oil and gas wells are governed by drilling fluid weight. The drilling fluid weight causes to produce a pressure Equal to that of the formation and preventing the overflow of well and loss of drilling fluid. The accumulation of drilling solids and Cuttings in the fluid increase its weight resulting in slower drilling rate and decreasing the drilling bit life and undesirable fluid properties yielding mechanical and operational problems and hence more money and time consuming well driving process, while proper drilling fluid weight adjustment eliminate these problems. The combined physical and mass transfer methods results in better drilling fluid weight adjustment. In the present study the separation and improvement of drilling fluid weight in a 12 1/4" hole of a gas well in three stages was studied. First and second stage is related to change in mechanical separation and third step has been to using separators of mass transfer. In this formation, with enhancement of the fluid weight, the change in the screen (First stage) of the fluid weight at upper dolomite layer has been reduced and is kept at an optimal level. With the further enhancement of the fluid weight in the cherty zone layer, the change in screen rubber protector (second stage) caused the weight loss in this layer. Finally, the weight of the fluid is kept by centrifuge (third stage) in the mand member on 9.4 PPG proportional to the formation pressure. By continue drilling to neyriz and dashtak formations and require to higher drilling fluid weight (up to 11.5 PPG), adding weighting material is recommended. With the result of this study, importance separation equipment for oil and gas drilling rigs in the waste management sector is determined.

Keywords: Surmeh Formation, Fluid Weight, Drilling Solids, Shale Shaker, Screen, Screen Rubber Protector, Centrifuge