





دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه :

نفت و ژئوفیزیک

مهندسی نفت- حفاری و بهره‌برداری

بررسی عملکرد الکل‌های اتیلن گلیکول در سیالات پایه آبی جهت جلوگیری از تورم

شیل‌های فعال در مقیاس آزمایشگاهی (مطالعه موردی: میدان نفتی آزادگان)

محمود پیرقره‌باغی

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر محمد مهدی اسکندری

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲

تقديم به

خانواده

عزیزم

بامشکر

از خانواده عزیز و صبورم، اساتید محترم، پرسنل شرکت ملی حفاری ایران و مناطق

نفت خنیر جنوب مخصوصاً آقایان عبدالامیر شتارجی، جاسم دشت بزرگی و سعید

نعمادایی و خانم هاموسوی و یوسفی و دیگر عزیزانی که کمک شایانی در تهیه این اثر نمودند.

تعهدنامه

اینجانب محمود پیرقره‌باغی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت-حفاری و بهره‌برداری دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی عملکرد الکل‌های اتیلن گلیکول در سیالات پایه آبی جهت جلوگیری از تورم شیل‌های فعال در مقیاس آزمایشگاهی (مطالعه موردی: میدان نفتی آزادگان) تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخم‌چی و دکتر محمد مهدی اسکندری متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

هدف از این تحقیق طراحی یک سیال پایه آبی گلایکولی بهینه برای کاهش تورم نمونه‌های شیلی سازند فهلپان و گدوان مربوط به میدان آزادگان است. پیش از ساخت و طراحی سیال پیشنهادی، جهت مطالعه و بررسی تأثیر حضور گلایکول، نوع و غلظت نمک در عملکرد گلایکول و تأثیر دما بر تورم نمونه‌های بنتونیتی، چند سیال مبنا تهیه شد و تأثیر این سیالات بر تورم نمونه‌های بنتونیتی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش مربوط به تأثیر گلایکول حاکی از کاهش تورم نمونه‌های بنتونیتی در سیال حاوی گلایکول می‌باشد. در آزمایش مربوط به تأثیر نوع و غلظت نمک بر تورم شیل مشاهده شد که در صورت استفاده از پتاسیم کلرید تورم بیشتر نسبت به استفاده از سدیم کلرید کاهش می‌یابد. پس از انجام آزمایش‌های مبنا، یک سیال حفاری گلایکولی طراحی و بر روی نمونه‌های بنتونیتی و میدانی آزمایش شد و اثبات شد که سیال پیشنهادی عملکرد بهتری در کاهش تورم شیل مورد بررسی دارد.

کلمات کلیدی: سیالات پایه آبی گلایکولی، دمای ابری شدن، لایه واحد رس، هیدراته شدن رس و تبادل کاتیونی.

مقالات مستخرج از پایان نامه

- مطالعه آزمایشگاهی تأثیر گلايکول و نقطه ابری شدن آن بر تورم شیل‌های فعال در سیالات حفاری پایه آبی گلايکولی سازگار با محیط زیست، کنفرانس بین المللی معدن، زنجان، ۹۲.
- بررسی آزمایشگاهی تأثیر پتاسیم کلرید و سدیم کلرید در حفاری شیل‌های تورمی در سیالات حفاری پایه آبی گلايکولی سازگار با محیط زیست، کنفرانس بین المللی معدن، زنجان، ۹۲.
- بررسی عملکرد سیال حفاری پایه-آبی گلايکولی پیشنهادی در کاهش تورم نمونه‌های بنتونیتی در مقیاس آزمایشگاهی، پژوهشگاه صنعت نفت-مجله پژوهش نفت.

فهرست

فصل اول.....	۱
۲-۱ مروری بر روند استفاده از سیالات حفاری در حفاری شیل‌ها.....	۲
۳-۱ معرفی روش تحقیق.....	۷
۴-۱ ساختار پایان‌نامه.....	۷
فصل دوم.....	۹
۱-۲ شیل.....	۱۰
۲-۲ ساختار هر لایه واحد رس.....	۱۰
۳-۲ انواع رس.....	۱۱
۱-۳-۲ ایلیت‌ها.....	۱۱
۲-۳-۲ کلریت‌ها.....	۱۱
۳-۳-۲ کائولینیت‌ها.....	۱۱
۴-۳-۲ مونت موریلونیت‌ها.....	۱۱
۴-۲ هیدراته شدن رس‌ها.....	۱۲
۵-۲ کاهش تورم شیل از طریق تبادل کاتیونی.....	۱۴
۶-۲ سیال حفاری گلایکولی.....	۱۵
۷-۲ شیمی گلایکول.....	۱۶
۱-۷-۲ گلایکول‌های ساده.....	۱۶
۲-۷-۲ پلی‌گلایکول‌ها.....	۱۶
۸-۲ مکانیسم عملکرد گلایکول در سیال حفاری.....	۱۷
۹-۲ مکانیسم بازدارندگی گلایکول.....	۱۸
۱-۹-۲ کاهش فعالیت تورمی آب.....	۱۸
۲-۹-۲ مسدود کردن منافذ از طریق ذرات پلی‌گلایکول نامحلول.....	۱۹
۳-۹-۲ جذب سطحی پلی‌گلایکول بر روی رس.....	۱۹
۴-۹-۲ افزایش گرانیروی صافاب.....	۱۹
۱۰-۲ پارامترهای تأثیرگذار در نقطه ابری شدن.....	۲۰
۱-۱۰-۲ تأثیر غلظت گلایکول بر نقطه ابری شدن گلایکول.....	۲۰

۲۱	۲-۱۰-۲ تأثیر pH بر نقطه ابری شدن گلایکول.....
۲۱	۲-۱۰-۳ تأثیر نوع نمک بر نقطه ابری شدن گلایکول.....
۲۲	۲-۱۱ انتخاب نوع پلی گلایکول مصرفی.....
۲۳	۲-۱۲ مزایای استفاده پلی گلایکول.....
۲۳	۲-۱۲-۱ جلوگیری از تویی شدن مته.....
۲۳	۲-۱۲-۲ کاهش گشتاور.....
۲۳	۲-۱۲-۳ کاهش چسبیدن لوله‌های حفاری.....
۲۴	۲-۱۳ مدل‌های حرکتی سیال.....
۲۵	۲-۱۳-۱ مدل نیوتنی.....
۲۶	۲-۱۳-۲ مدل بینگهام پلاستیک.....
۲۶	۲-۱۳-۳ مدل پاورلا.....
۲۷	۲-۱۴ مواد مصرفی در ساخت سیال حفاری گلایکولی پیشنهادی.....
۲۹	۲-۱۴ تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه.....
۲۹	۲-۱۴-۱ ترازوی گِل.....
۲۹	۲-۱۴-۲ گرانروی سنج دوار.....
۳۰	۲-۱۴-۳ پارامترهای قابل اندازه‌گیری توسط گرانروی سنج دوار.....
۳۰	۲-۱۴-۳-۱ گرانروی ظاهری.....
۳۰	۲-۱۴-۳-۲ ویسکوزیته پلاستیکی و نقطه واروی.....
۳۱	۲-۱۴-۳-۳ محاسبه شاخص رفتار جریان و شاخص سازگاری.....
۳۱	۲-۱۴-۳-۴ قدرت ژلاتینی.....
۳۲	۲-۱۴-۴ کوره چرخشی.....
۳۳	۲-۱۴-۵ دستگاه تورم سنج خطی دینامیکی.....
۳۴	۲-۱۴-۵-۱ طریقه کار با دستگاه.....
۳۷	۲-۱۴-۶ تراکم کننده.....
۳۸	۲-۱۴-۷ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب.....
۳۸	۲-۱۴-۷-۱ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب API مدل 300 LPLT.....
۳۹	۲-۱۴-۷-۲ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب فشار بالا و دما بالا مدل 175CT.....

۴۰	pH متر ۸-۱۴-۲
۴۱	مخلوط کن چندتایی ۹-۱۴-۲
۴۲	ترازوی دیجیتال ۱۰-۱۴-۲
۴۳	فصل سوم
۴۴	۱-۳ معرفی میدان مورد مطالعه
۴۴	۱-۱-۳ مشخصات میدان مورد مطالعه
۴۴	۲-۱-۳ موقعیت جغرافیای میدان آزادگان
۴۶	۳-۱-۳ سازندهای تشکیل دهنده میدان نفتی آزادگان
۴۸	۲-۳ سازندهای مورد مطالعه و تهیه نمونه جهت مطالعات آزمایشگاهی
۵۰	فصل چهارم
۵۱	۱-۴ تعیین نقطه ابری شدن
۵۱	۲-۴ انجام آزمایشهای مینا
۵۲	۱-۲-۴ بررسی تأثیر گلایکول در تورم شیل
۵۳	۲-۲-۴ بررسی تأثیر نوع نمک در حضور گلایکول بر روی تورم شیل
۵۴	۳-۲-۴ بررسی تأثیر غلظت نمک در حضور گلایکول بر روی تورم شیل
۵۵	۴-۲-۴ بررسی تأثیر دما در تورم شیل
۵۶	۳-۴ طراحی سیال حفاری گلایکولی
۵۹	۴-۴ بررسی تأثیر دما در عملکرد سیال گلایکولی
۶۰	۵-۴ بررسی قرصهای بازیافت شده
۶۳	۶-۴ بررسی عملکرد سیال طراحی شده بر روی نمونههای میدانی
۶۵	۷-۴ اندازه گیری خواص رئولوژی و پارامترهای دیگر سیالات
۶۶	۸-۴ برآورد هزینه ی سیال طراحی شده بر اساس ارز سال ۱۳۹۰
۷۱	فصل پنجم
۷۲	۱-۵ نتیجه گیری
۷۳	۲-۵ پیشنهادها
۷۵	پیوست ها
۷۸	مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱ ساختار لایه واحد رس ۱۰
- شکل ۲-۲ هیدراته شدن رس ناشی از آبپوشی شدن کاتیون‌های بین لایه واحدهای رس ۱۳
- شکل ۲-۳ جایگزینی پتاسیم بین لایه واحدهای رس ۱۵
- شکل ۲-۴ اتیلن گلایکول و پروپیلن گلایکول ۱۶
- شکل ۲-۵ تعدادی پلی گلایکول با مونومرهای تشکیل دهنده ۱۷
- شکل ۲-۶ کاهش درصد آب موجود بین لایه واحدها ۱۹
- شکل ۲-۷ تأثیر غلظت پلی اتیلن گلایکول ۲۰,۰۰۰ بر نقطه ابری شدن گلایکول ۲۰
- شکل ۲-۸ تأثیر pH بر نقطه ابری شدن پلی اتیلن گلایکول ۲۰,۰۰۰ ۲۱
- شکل ۲-۹ تأثیر غلظت و نوع نمک در نقطه دمای ابری شدن پلی اتیلن ۲۲
- شکل ۲-۱۰ نمایش نرخ برشی و تنش برشی ۲۴
- شکل ۲-۱۱ مدل نیوتنی ۲۵
- شکل ۲-۱۲ سیال بینگهام پلاستیک ۲۷
- شکل ۲-۱۳ مدل پاورلا ۲۷
- شکل ۲-۱۴ ترازوی گِل ۲۹
- شکل ۲-۱۵ گرانیوینج دوار ۳۰
- شکل ۲-۱۶ کوره چرخشی ۳۲
- شکل ۲-۱۷ Aging Cell ۳۳
- شکل ۲-۱۸ تورم سنج خطی دینامیکی ۳۴
- شکل ۲-۱۹ Cup Assemblies ۳۴
- شکل ۲-۲۰ Main Assemblies ۳۵
- شکل ۲-۲۱ پنجره Zero/Start/Stop ۳۶
- شکل ۲-۲۲ شیوه گذاشتن قرص در Cup ۳۶
- شکل ۲-۲۳ تراکم کننده ۳۷

- شکل ۲- ۲۴ قرص‌های آزمایشگاهی ۳۸
- شکل ۲- ۲۵ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب API ۳۹
- شکل ۲- ۲۶ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب فشار بالا و دما بالا ۴۰
- شکل ۲- ۲۷ pH متر ۴۰
- شکل ۲- ۲۸ مخلوط کن چند تایی ۴۱
- شکل ۲- ۲۹ ترازوی دیجیتال ۴۲
- شکل ۳- ۱ موقعیت جغرافیایی میدان نفتی آزادگان ۴۵
- شکل ۳- ۲ مدل لایه‌ای مخزنی میدان نفتی آزادگان ۴۸
- شکل ۳- ۳ نمونه‌های میدانی ۴۹
- شکل ۴- ۱ وضعیت گلایکول قبل و بعد از دمای ابری شدن در محلول ۵۱
- شکل ۴- ۲ بررسی تأثیر گلایکول در تورم شیل ۵۲
- شکل ۴- ۳ بررسی تأثیر نوع نمک در حضور گلایکول بر روی تورم شیل ۵۳
- شکل ۴- ۴ بررسی تأثیر غلظت نمک در حضور گلایکول بر روی تورم شیل ۵۵
- شکل ۴- ۵ تأثیر دما در تورم نمونه‌های بنتونیتی ۵۶
- شکل ۴- ۶ تأثیر عملکرد سیال حفاری شده بر روی قرص‌های بنتونیتی ۵۸
- شکل ۴- ۷ ارزیابی پلیمرها و گلایکول موجود در سیال حفاری در دمای بالا ۶۰
- شکل ۴- ۸ قرص مربوط به محفظه حاوی سیال شاهد ۶۱
- شکل ۴- ۹ قرص مربوط به محفظه حاوی سیال پایه روغنی ۶۲
- شکل ۴- ۱۰ قرص مربوط به محفظه سیال حفاری پایه-آبی گلایکول ۶۲
- شکل ۴- ۱۱ بررسی عملکرد سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های سازند فلهیان میدان آزادگان ۶۳
- شکل ۴- ۱۲ بررسی عملکرد سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های سازند گدوان میدان آزادگان ۶۴

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ مشخصات کاتیونی کاتیون‌های جذب شده توسط رس‌ها ۱۳
- جدول ۱-۴ فرمولاسیون سیال پیشنهادی ۵۷
- جدول ۲-۴ فرمولاسیون سیال پایه روغنی ۵۸
- جدول ۳-۴ سیال پایه آبی گلاکولی ۶۵
- جدول ۴-۴ سیال پایه روغنی ۶۵
- جدول ۵-۴ قیمت خریداری مواد مصرفی توسط شرکت ملی نفت ایران ۶۷
- جدول ۶-۴ هزینه ۳۵۰ ml سیال پایه روغنی ۶۸
- جدول ۷-۴ هزینه ۳۵۰ ml سیال پیشنهادی ۶۹

علائم و نشانه‌ها

A	سطح مقطع
AV	ویسکوزیته ظاهری
H	ارتفاع
K	شاخص سازگاری مدل پاورلا
N	شاخص رفتار جریان و سرعت زاویه‌ای
OBM	سیال حفاری پایه روغنی
PV	ویسکوزیته پلاستیکی
V	سرعت
WBGm	سیال حفاری پایه آبی گلایکولی
YP	نقطه واروی
rpm	دور بر دقیقه
ρ	دانسیته
τ	تنش برشی
γ	نرخ برشی
F	نیرو
μ	ویسکوزیته
Θ_N	عدد خوانده شده از عقربه گرانروی سنج دوار در سرعت زاویه‌ای N

فصل اول

(کلیات)

۱-۱ مقدمه

مطالعه اطلاعات حفاری مربوط به ۱۰ سال گذشته نشان می‌دهد در حدود ۳۰٪ هزینه‌های اضافی در طول حفاری مربوط به ناپایداری چاه می‌باشد. مستند به همین اطلاعات، حداقل ۹۰٪ ناپایداری‌های رخ داده شده مربوط به سازندهای شیلی است. همچنین بیشتر از ۷۵٪ حفاری‌ها در دنیا در سازندهای شیلی انجام شده‌اند [۱]. همین امر مطالعه و تحقیق در مورد شیل‌ها را ضروری می‌سازد. در گذشته برای حل مشکلات ناپایداری مربوط به حفاری شیل‌ها ناشی از سیالات حفاری پایه آبی، از سیالات حفاری پایه روغنی استفاده می‌کردند. سیالات پایه روغنی کارایی بالایی دارند ولی مشکلات زیست محیطی این سیالات، استفاده از آنها را محدود ساخته است؛ بنابراین سیالات حفاری پایه آبی بیشتر مورد توجه‌اند [۲]. سیالات پایه آبی روزبه‌روز برای حفاری سازندهای شیلی بهینه‌سازی می‌شود تا جایگزین مناسبی برای سیالات پایه روغنی باشد. نمونه بارز سیالات پایه آبی، سیال پایه - آبی گلیکولی است که در بسیاری از میادین نفت و گاز جایگزین سیالات پایه روغنی شده است.

۱-۲ مروری بر روند استفاده از سیالات حفاری در حفاری شیل‌ها

سیالات حفاری پایه روغنی جهت غلبه بر یکسری کاستی‌ها و خصوصیات نامطلوب سیالات حفاری پایه آبی طراحی شده‌اند. در این نوع سیالات فاز پیوسته می‌تواند نفت خام، دیزل و یا گازوئیل باشد. این سیالات در دوره زمانی ۱۹۳۵ تا ۱۹۵۰ میلادی بیش‌ترین کاربرد را داشته‌اند [۳ و ۴]. از مزایای استفاده از سیالات حفاری پایه روغنی می‌توان به سرعت بالای حفاری، کاهش گشتاور لوله‌های حفاری، کاهش توپی شدن مته^۱ و کاهش احتمال چسبیدن لوله به دیواره چاه به دلیل ضخامت بالای کیک گل^۲ اشاره کرد.

از کاربردهای مهم سیالات حفاری پایه روغنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: [۴ و ۵]:

^۱ Bit balling

^۲ Mud cake

- حفاری شیل‌های تورمی
- حفاری سازندهای دما بالا که استفاده از سیالات پایه آبی ممکن نیست.
- حفاری سازندهای تولیدی
- حفاری سازندهای فشار پایین و سازندهای رسی، شیلی و نمکی حساس به آب
- استفاده به عنوان سیال تعمیر و تکمیل چاه.

سیال پایه روغنی در تمامی نقاط دنیا جلوگیری از تورم شیل‌ها را به همراه دارد؛ به عنوان مثال کاربرد سیالات پایه روغنی در نواحی فرا ساحلی^۳ خلیج مکزیک، ساحل ایالت اورگان^۴، وایومینگ^۵، آفریقای غربی، ونزوئلا، شرق میانی، آسیای غربی و بیابان صحرا^۶ سبب کنترل بالای شیل‌های تورمی شده است [۵]. هزینه بالای تهیه سیالات پایه روغنی، محدودیت‌های محیط زیستی، مشکلات دفع بقایای این سیالات بعد از استفاده و نیاز به ایمنی بالا به هنگام استفاده، از محدودیت‌های بزرگ این سیالات می‌باشد [۶]. لذا استفاده از این سیالات با محدودیت مواجه شده است.

برای حل محدودیت‌های محیط‌زیستی سیالات پایه روغنی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. از روش‌های پیشنهادی می‌توان به روش cuttings cleaning and cutting injection اشاره کرد که برای حل مشکلات زیست محیطی سیالات پایه روغنی، توسط شرکت نفتی بریتیش پترولیوم پیشنهاد شده است. از روش‌های پیشنهادی دیگر می‌توان به کاربرد سیالات حفاری پایه آبی بهینه‌سازی شده اشاره کرد که عملکردی نزدیک به سیالات پایه روغنی دارند و از نظر زیست محیطی نسبت به سیالات پایه روغنی آسیب کمتری وارد می‌کنند. سیالات پایه آبی پیشنهادی به دو دسته تقسیم می‌شوند [۷]:

- سیالات پایه آبی حاوی پلیمرهای کاتیونی

³ Offshore

⁴ Oregon

⁵ Wyoming

⁶ Sahara

• سیالات پایه آبی حاوی مواد گلایکولی

از سیالات پایه آبی حاوی کاتیون‌های پلیمری می‌توان به سیال حفاری پایه آبی پلیمر - پتاسیم کلرید اشاره کرد که در سال ۱۹۶۹ میلادی اولین بار توسط شرکت نفتی شل^۷ در نواحی کوهپایه‌ای کانادا استفاده شد. همچنین این سیال در چاه‌های فرا ساحلی اسپانیا، پرتقال، برونئی و دریای شمال مورد استفاده قرار گرفت و نتایج به دست آمده در شیل‌های حساس به آب نشان داد که مشکلات مربوط به دهانه چاه تا حد زیادی کاهش پیدا کرده است. استفاده روزمره این سیال جایگزین سیال پایه روغنی، کاهش قابل توجه هزینه‌های حفاری و تمیزسازی چاه را به همراه دارد [۸]. از مشکلات عمده سیالات حفاری پایه آبی پلیمرهای کاتیونی می‌توان به مشکلات زیست محیطی اشاره کرد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که پلیمر PHPA (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide) موجود در این سیالات در اثر هیدرولیز آکرامید گاز آمونیاک آزاد می‌کند که از جمله مشکلات زیست محیطی می‌باشد و برای سلامتی انسان و محیط زیست مشکل‌آفرین می‌باشد. البته باید اشاره کرد که مشکلات زیست محیطی این سیالات در حد سیالات پایه روغنی نمی‌باشد. از دیگر مشکلات زیست محیطی می‌توان به مشکلات استفاده از مواد کاتیونی مصرفی اشاره کرد که بر موجودات دریایی تأثیر بیشتری دارد. این سیالات قابلیت آلوده کردن آب‌های زیرزمینی و سطحی را دارند لذا دفع ضایعات و بقایای سیالات حفاری پلیمر-پتاسیم کلرید مشکل است. همچنین پلیمرهای موجود در این سیالات گرانبه‌ای را ایجاد می‌کنند که استفاده از این سیالات را با مشکل مواجه می‌سازد. از طرف دیگر به دلیل رسانایی بالایی که دارند موجب ایجاد خطا در عملیات نمودارگیری می‌شود [۶ و ۷ و ۹ و ۱۰].

در سال ۱۹۹۰ میلادی سیال حفاری پایه آبی-گلایکولی جهت کاهش ناپایداری شیل‌ها و جایگزین سیالات حفاری پایه روغنی پیشنهاد شد [۶]. از نتایج مطلوب این سیال می‌توان به کاهش ضخامت کیک گل، کاهش فیلترات گل، افزایش سرعت حفاری و پایداری دیواره چاه اشاره کرد [۱۱].

⁷ Shell

سیال حفاری گلایکولی توسط شرکت نفتی بریتیش پترولیوم^۸ در سال ۱۹۹۳ میلادی در چند چاه فلات قاره انگلستان^۹ مورد استفاده قرار گرفت سپس عملکرد گلایکول در جلوگیری از تورم و هزینه عملیات حفاری نسبت به سایر چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل بازدارندگی تورم را در سازندهای شیلی و کاهش هزینه‌های حفاری را نشان داده است. همچنین نشان می‌دهد افزودن مقدار ناچیز گلایکول (۳٪ حجمی) به سیال پلیمری عملکرد بالای سیال حفاری در جلوگیری از تورم را در پی داشته است. با انجام آزمایش تجزیه بیولوژیکی^{۱۰} گلایکول، نتایج حاصل غیر سمی بودن گلایکول را نشان داد که سازگاری گلایکول با محیط زیست را اثبات می‌کند [۷].

در سال ۱۹۹۴ میلادی مطالعه آزمایشگاهی نمونه‌های لاندن کلی^{۱۱} در حضور سیال حفاری پایه آبی گلایکولی انجام گرفت. پس از بازیابی نمونه‌ها از سیال گلایکولی، تأثیر سختی^{۱۲} مورد آزمایش قرار گرفت که سطح بالای بازدارندگی تورم^{۱۳} را نشان داد. همچنین آنالیز جذب سطحی نمونه‌ها نشان داد که گلایکول جایگزین آب در سطح نمونه‌های شیل شده است [۱۲].

در سال ۲۰۰۷ میلادی سیال حفاری پایه-آبی گلایکولی بر روی نمونه‌های شیلی میدان نفتی مارون-ایران و نمونه شیلی مربوط به بیرون زدگی سازند گورپی مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های شیلی میدان نفتی مارون مربوط به چاه ۲۸۱ مارون و اعماق ۱۲۱۶ و ۱۲۲۱ متر بوده است. از طریق آزمایش استحکام خرده‌های حفاری^{۱۴} درصد بازیافت خرده‌های شیلی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش استحکام خرده‌های حفاری در سیال پایه روغنی نیز انجام شد و نتایج هر دو سیال باهم مقایسه شد. همچنین خواص رئولوژی و کیفیت کیک گل نیز برای هر دو سیال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر عملکرد خیلی نزدیک سیال حفاری پایه آبی گلایکولی نسبت به سیال پایه روغنی بود.

⁸ British Petroleum

⁹ UK Continental Shelf

¹⁰ Biodegradation

¹¹ London Clay

¹² Hardening Effect

¹³ Inhibition Swelling

¹⁴ Cutting Integrity Test

ضخامت کیک گل سیال گلایکولی هرچند ضخیم‌تر از سیال پایه روغنی بود ولی نسبت به دیگر سیالات پایه آبی که در گذشته استفاده می‌شد نازک‌تر و ضخامت کمتری داشت [۱۳].

در سال ۲۰۰۹ میلادی سیال گلایکولی بر روی نمونه‌های شیلی نهر عمر^{۱۵} در یکی از میادین خلیج فارس مورد آزمایش قرار گرفت. در مطالعه و بررسی انجام شده، آزمایش سختی^{۱۶}، آزمایش استقامت نمونه‌ها^{۱۷} و آزمایش تورم نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل بیانگر عملکرد مطلوب سیال گلایکولی بود [۱۴].

در سال ۲۰۱۰ میلادی سیال حفاری پایه آبی-گلایکولی بر روی خرده‌های شیلی مربوط به سازندهای کژدمی، داریان و آسماری میدان نفتی مارون- ایران مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی حاکی از پایین بودن پراکندگی و هیدراته شدن^{۱۸} خرده‌های حفاری بود که امکان جایگزینی سیال حفاری پایه روغنی را با سیال پایه-آبی گلایکولی را بیان می‌کرد [۱۵].

در سال ۲۰۱۱ میلادی سیال حاوی گلایکول بر روی نمونه‌های مورو^{۱۹} و فایت ویل^{۲۰} متعلق به دوره زمین‌شناسی می‌سی‌سیپین مربوط به آرکانزاس شمالی و نمونه‌های شیلی بارنت^{۲۱} مربوط به آمریکای شمالی مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آزمایشگاهی بیانگر عملکرد قابل قبولی در جلوگیری از تورم نمونه‌ها در مقایسه با سیال پایه روغنی بوده است [۱۶].

سیال حفاری گلایکولی در سال ۲۰۱۳ میلادی نیز در شرایط بدون دما و با فرمولاسیون کاملاً متفاوت از تحقیق فعلی بر روی نمونه‌های تورمی توسط دستگاه تورم سنج خطی دینامیکی^{۲۲} مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از کاهش تورم نمونه‌ها بود [۱۷].

¹⁵ Nahr Umr

¹⁶ Bulk Hardness test

¹⁷ Slake Durability test

¹⁸ Dispersion and Hydration

¹⁹ Morrow

²⁰ Fayetteville

²¹ Barnett

²² Linear Dynamic Swellmeter

۱-۳ معرفی روش تحقیق

با توجه به اینکه سیال حفاری گلايکولی نتایج موفقیت‌آمیزی در میادین نفتی از خود نشان داده است، در این تحقیق تأثیر عملکرد سیال گلايکولی بر روی نمونه‌های شیلی میدان نفتی آزادگان مورد بررسی قرار گرفته است. با مطالعه‌ای که در برنامه حفاری روزانه، اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی چاه‌های میدان آزادگان صورت گرفت، سازندهای فلهیان و گدوان جهت مطالعه آزمایشگاهی انتخاب شد. سیال گلايکولی مطابق با فرمولاسیون پیشنهادی طراحی و تهیه شد و تأثیر این سیال بر تورم نمونه‌های شیلی سازندهای مذکور آزمایش شد. با توجه به اینکه سیال حفاری پایه-آبی گلايکولی جایگزین سیالات پایه روغنی می‌باشد جهت مقایسه عملکرد سیال پیشنهادی، سیال پایه روغنی مطابق با فرمولاسیون میدانی تهیه شد و همانند سیال گلايکولی بر روی نمونه‌های شیلی آزمایش شد و نتایج حاصل با نتایج حاصل از سیال گلايکولی مورد مقایسه قرار گرفت.

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

در این فصل پس از اینکه دلایل استفاده از سیالات پایه-آبی جایگزین سیالات پایه روغنی ذکر شد، نتایج حاصل از استفاده سیالات گلايکولی در موارد متعدد ذکر شد.

در فصل دوم تحقیق حاضر ساختار کانی‌های رسی معرفی و علت تورم رس در مجاورت آب توضیح داده شده است. همچنین در این فصل سیال حفاری گلايکولی معرفی و مکانیزم عملکرد گلايکول در جلوگیری از تورم نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه همین فصل به انواع مدل‌های حرکتی سیال اشاره شده است و رابطه بین تنش برشی و نرخ برشی برای هر سیال توضیح داده شده است. در بخش انتهایی فصل دوم به تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایشگاه اشاره شده است.

در فصل سوم موقعیت جغرافیایی و سازندهای میدان نفتی مورد مطالعه معرفی شده است. در بخش پایانی این فصل نحوه نمونه‌گیری و تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی توضیح داده شده است.

در فصل چهارم نتایج آزمایشگاهی ذکر شده است. در این فصل ابتدا نتایج حاصل از سیالات مبنا برای درک بهتر تأثیر نوع نمک و غلظت آن در کاهش تورم، دما و تأثیر گلایکول ذکر شده است سپس به نتایج آزمایش سیالات حفاری گلایکولی و سیال پایه روغنی بر روی نمونه‌های بنتونیتی و شیلی اشاره شده است.

در فصل پنجم نتایج مربوط به تحقیق حاضر ذکر شده است همچنین پیشنهادهایی مبتنی بر نتایج حاصل ارائه شده است.

خلاصه فصل اول

در این فصل نتایج حاصل از آزمایش سیال گلایکولی در مطالعات مختلف ذکر شده است. مشاهده شد که در صورت استفاده از سیال گلایکولی برای حفاری نمونه‌های شیلی، تورم شیل کاهش یافته نمونه‌های تورمی پایداری بیشتری برخوردار خواهند بود. از روی نتایج حاصل می‌توان گفت که سیال حفاری گلایکولی در اغلب سازندهای شیلی دنیا می‌تواند جایگزین مناسبی برای سیال پایه روغنی باشد.

فصل دوم

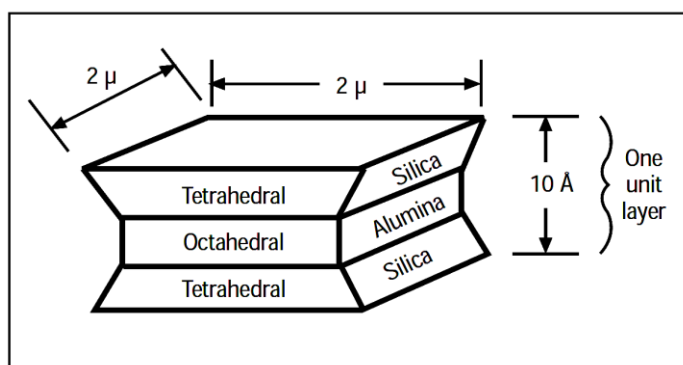
(پیش زمینه)

۲-۱ شیل

شیل به سنگ‌های رسوبی گفته می‌شود که حاوی کانی‌های رسی باشد. به طور عمومی اصطلاح رس برای توصیف رسوبات، خاک‌ها و یا سنگ‌های حاوی ذرات معدنی بسیار ریز و مواد ارگانیکی که قطر کمتر از ۲ میکرون دارند بکار می‌رود. رس‌ها در طبیعت به صورت ساختار توده‌ای و یا لایه‌ای می‌باشند و هر لایه واحد در حدود ۱۰ آنگستروم می‌باشد. لایه‌های رس از طریق جذب سطحی آب را جذب می‌کنند و متورم می‌شوند این پدیده تا جایی پیش می‌رود که لایه واحدهای به هم متصل شده از هم جدا شده و پراکنده شوند [۱۸].

۲-۲ ساختار هر لایه واحد رس

هر ذره رس شامل تعدادی لایه واحدهای رس موازی می‌باشد. هر لایه واحد رس ترکیبی از صفحات هرمی (تترائدری) سیلیکا و صفحات هشت وجهی (اکتائدری) آلومینا یا ماگnezیا می‌باشد. لایه واحدهای رس معمولاً به صورت دو و سه لایه می‌باشند. لایه واحدهای رسی سه لایه‌ای متشکل از دو لایه صفحه‌ای تترائدری و یک لایه صفحه‌ای اکتائدری که در میان دو صفحه تترائدری قرار می‌گیرد، می‌باشد مانند مونت موریلونیت‌ها، کلریت و ایلیت. لایه واحدهای رسی دو لایه‌ای حاوی یک صفحه تترائدری و اکتائدری می‌باشد مانند کائولن [۱۸].



شکل ۲-۱ ساختار لایه واحد رس

۲-۳ انواع رس

رس‌ها انواع زیادی دارند. سه نوع مهم آنها از نظر مهندسی حفاری به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود [۱۸].

۱. رس‌های سوزنی شکل غیر تورمی مانند آتاپولوژیت

۲. رس‌های ورقه‌ای شکل و غیر تورمی یا کم تورم مانند ایلیت، کلریت و کائولینیت

۳. مونت موریلونیت‌های ورقه‌ای شکل و به شدت تورمی

۲-۳-۱ ایلیت‌ها

در این رس‌ها Al^{3+} جایگزین Si^{4+} می‌شود که بار منفی ایجاد خواهد کرد و کاتیون جذب شده توسط لایه واحدها، K^+ است. فاصله بین لایه واحدها در این حالت $2/8$ آنگستروم است و قطر یونی K^+ ، $2/66$ آنگستروم می‌باشد لذا یون‌های K^+ اجازه می‌یابند به راحتی و به مقدار کافی بین لایه واحدها قرار بگیرند و یک زنجیر تشکیل دهند که مانع از تورم این کانی رسی شود.

۲-۳-۲ کلریت‌ها

از لحاظ ساختاری هر لایه واحد آن از سه لایه صفحه‌ای تشکیل شده است. و در حالت خالص آنها بدون تورم خواهند بود.

۲-۳-۳ کائولینیت‌ها

کائولینیت‌ها رس تورم ناپذیر محسوب می‌شوند. لایه واحدهای کائولینیت‌ها توسط پیوند هیدروژنی به شکل متراکم در کنار هم نگه داشته شده‌اند و از تورم جلوگیری می‌کند.

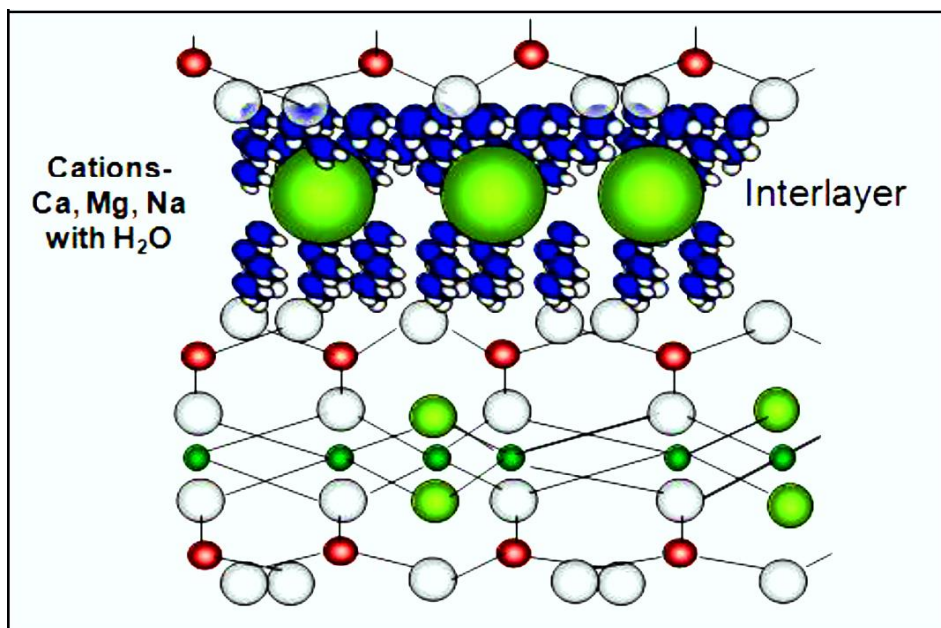
۲-۳-۴ مونت موریلونیت‌ها

اگر یک اتم منیزیم جانشین یک اتم آلومینیوم در لایه واحد شود در نهایت به دلیل ظرفیت پایین منیزیم، در ساختار لایه واحد بار منفی ایجاد می‌شود. بار منفی ایجاد شده در لایه‌های رس از طریق جذب کاتیون‌های مثبت روی سطوح خارجی لایه واحد رس جبران خواهد شد. کاتیون جذب شده توسط لایه واحدهای دارای بار منفی، می‌تواند تک ظرفیتی مانند Na^+ باشد و یا چند ظرفیتی مانند Ca^{2+} باشد. با توجه به مقادیر قابل توجه کاتیون جذب شده سدیم مونت موریلونیت، کلسیم مونت موریلونیت و یا... خواهیم داشت. عمومی‌ترین خاصیت مونت موریلونیت‌ها جذب آب و تورم بین لایه‌ای می‌باشد.

اگر در ساختار مونت موریلونیت‌ها بجای آلومینیوم باقیمانده کاتیون‌های دیگری جایگزین شود به این گروه اسمکتیت گفته می‌شود.

۲-۴ هیدراته شدن رس‌ها

شیل‌ها می‌توانند حاوی چندین نوع کانی رسی در مقادیر مختلف و متفاوت باشند. در نتیجه فعالیت تورمی شیل بستگی به نوع و مقادیر مختلف رس می‌باشد. کانی‌های رسی تورمی شیل‌ها، مونت موریلونیت‌ها و اسمکتیت‌ها هستند. وقتی رس خشک در تماس با آب قرار می‌گیرد با توجه به نوع و میزان کاتیون‌های متصل به لایه واحدها شروع به جذب آب می‌کند و یک غشای ضخیمی از آب به دور لایه واحد رس تشکیل می‌شود که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است [۱۸].



شکل ۲-۲ هیدراته شدن رس ناشی از آب‌پوشی شدن کاتیون‌های بین لایه واحدهای رس

جدول ۲-۱ مشخصات کاتیونی کاتیون‌های جذب شده توسط رس‌ها [۱۸]

ترتیب تبادل کاتیونی در غلظت‌های یکسان یونی	کاتیون‌های متداول در رس	قطر یونی (Å)	قطر آب‌پوشی (Å)
۱	Al^{3+}	۱	۱۸
۲	Ca^{2+}	۱/۹۸	۱۹/۲
۳	Mg^{2+}	۱/۳	۲۱/۶
۴	K^{+}	۲/۶۶	۷/۶
۵	Na^{+}	۱/۹	۱۱/۲
۶	Li^{+}	۱/۵۶	۱۴/۶

جدول ۲-۱ آب‌پوشی شدن چند کاتیون متداول موجود در سطح لایه واحدهای رس را نشان می‌دهد.

کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند Ca^{2+} بین لایه واحدها پیوند قوی‌تری نسبت به کاتیون‌های تک ظرفیتی

مانند Na^+ ایجاد خواهد کرد لذا از فاصله گرفتن بیش از حد لایه واحدها از هم جلوگیری می‌کند و جذب آب توسط لایه واحدها را کاهش خواهد داد. اگر کاتیون‌های موجود در سطح لایه واحدها تک ظرفیتی باشند به دلیل تراکم بیشتر این کاتیون‌ها و پیوند ضعیف بین لایه واحدها لذا جذب آب افزایش و تورم بیشتر خواهد شد به عنوان مثال یک کاتیون Ca^{2+} به اندازه دو واحد بار منفی را خنثی خواهد کرد و Na^+ یک واحد بار منفی را خنثی خواهد کرد. بنابراین در شرایط یکسان Na^+ جذب شده توسط رس دو برابر Ca^{2+} خواهد شد. طبق جدول ۱-۲ مشاهده می‌شود دو کاتیون Na^+ قطر آب‌پوشی تقریباً $22/4$ آنگستروم خواهد داشت درحالی‌که Ca^{2+} قطر آب‌پوشی $19/2$ آنگستروم خواهد داشت [۱۸].

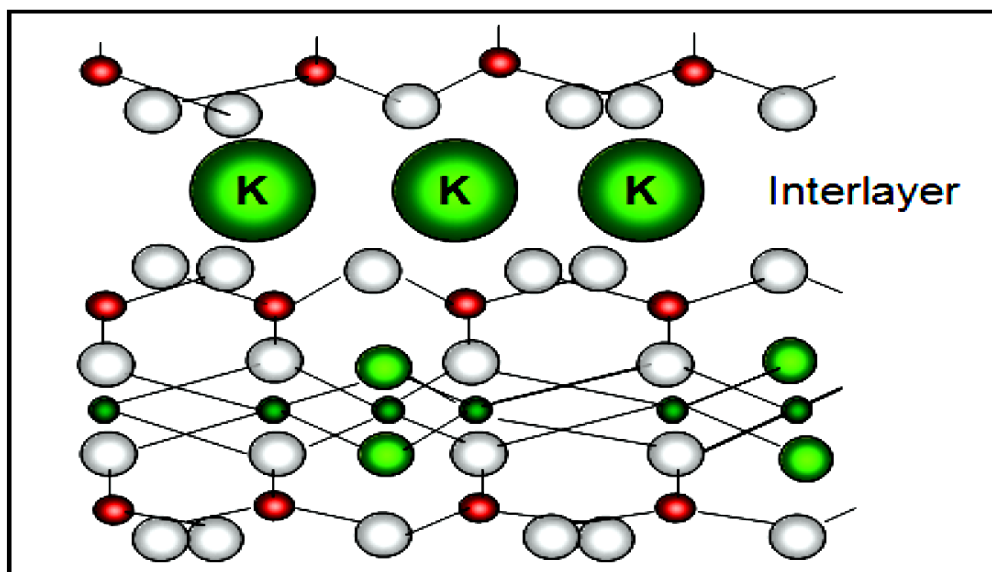
در جدول ۱-۲ کاتیون تک ظرفیتی K^+ به صورت استثنا می‌باشد و با وجود اینکه تک ظرفیتی می‌باشد قطر آب پوشی کوچکی دارد. مشاهده می‌شود حتی دو کاتیون پتاسیم، جذب آب کمتری نسبت به کاتیون‌های دو ظرفیتی خواهند داشت.

۲-۵ کاهش تورم شیل از طریق تبادل کاتیونی

اگر بتوان کاتیون بین لایه واحدها را با یک کاتیون که قطر آب پوشی کوچکی دارد جایگزین کرد می‌توان تا حدودی از تورم رس جلوگیری کرد [۱۸].

تبادل کاتیونی بین لایه واحدهای رس و سیال حفاری در غلظت‌های مساوی کاتیون‌ها در جدول ۱-۲ اشاره شده است. اگر سازند شیلی دارای کانی رسی حاوی کاتیون Na^+ باشد و سیال حفاری دارای کاتیون Mg^{2+} باشد با شرط تساوی غلظت هر دو کاتیون، طبق جدول ۱-۲، Mg^{2+} جایگزین Na^+ خواهد شد [۱۸].

طبق جدول ۱-۲ پتاسیم شعاع آب پوشی کوچکتری دارد همچنین با وارد شدن پتاسیم بین لایه واحدهای رس پدیده تثبیت یونی^{۲۳} رخ می‌دهد و ساختار لایه واحد رس خاصیتی مشابه ایلیت پیدا خواهد کرد که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در نتیجه در تبادل کاتیونی، یون پتاسیم عملکرد بالایی را نشان خواهد داد.



شکل ۳-۲ جایگزینی پتاسیم بین لایه واحدهای رس

۲-۶ سیال حفاری گلیکولی

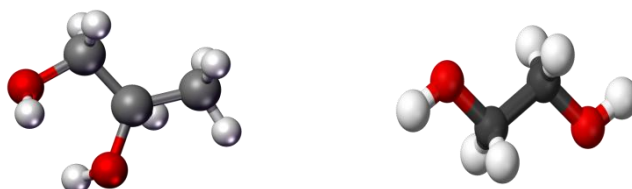
به طور کلی گلیکول در نسبت وزنی بین ۳ و ۱۰ درصد وزنی به سیال پلیمر- پتاسیم کلرید جهت بهینه‌سازی عملکرد آن افزوده می‌شود. هر چند گلیکول را می‌توان با نمک‌هایی که حاوی یون‌های Na^+ یا Ca^{2+} می‌باشند استفاده کرد اما بهترین عملکرد آن به همراه یون K^+ خواهد بود. سیال حفاری پایه-آبی گلیکول موجب بهبود شرایط دهانه چاه می‌شود همچنین با ایجاد یک لایه نازک اطراف خرده‌های حفاری از واپاشی رس در فضای سیال حفاری جلوگیری می‌کند. در نتیجه سرعت حفاری را افزایش و مشکلات حفاری را کاهش خواهد داد [۹].

²³ Ione Fixation

۷-۲ شیمی گلیکول

۱-۷-۲ گلیکول‌های ساده

گلیکول‌ها از خانواده الکل‌های پلی هیدریک می‌باشد که شامل اتم‌های کربن و هیدروژن می‌باشد که دو گروه هیدروکسیل بر روی دو اتم کربن قرار می‌گیرد. دو گلیکول مهم رایج در صنعت عبارتند از: اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول که به ترتیب از راست به چپ در شکل نشان داده شده است [۱۹].

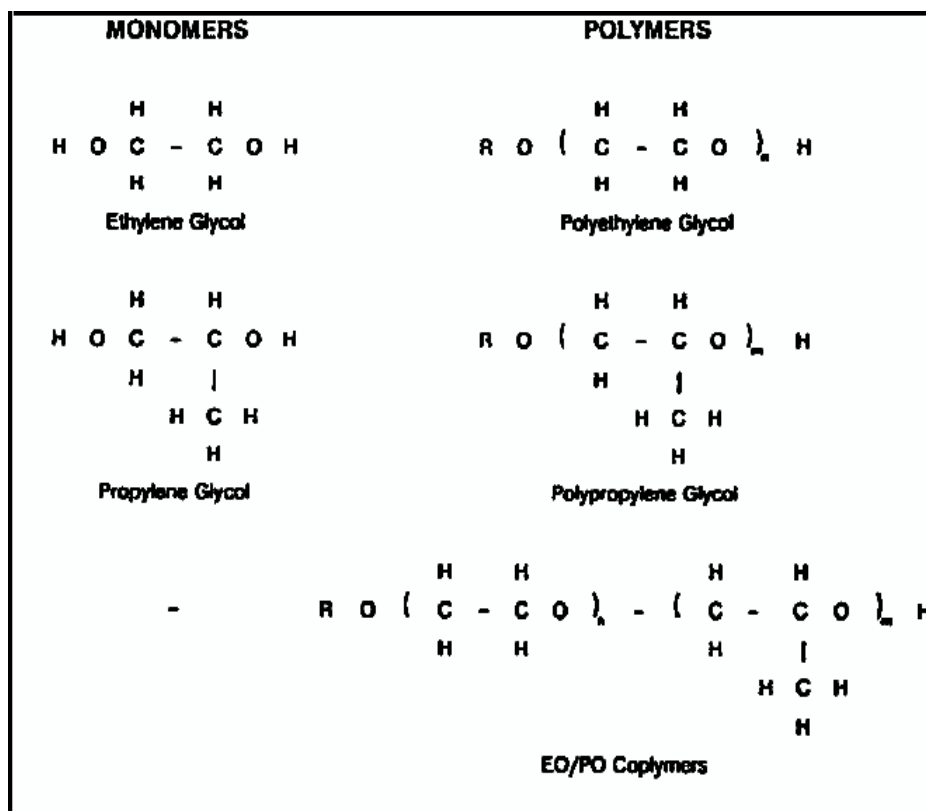


شکل ۲-۴ اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول

در شکل ۲-۴ کره‌های مشکی بیانگر کربن، سفید نشان دهنده هیدروژن و قرمز نشان دهنده اکسیژن می‌باشد.

۲-۷-۲ پلی گلیکول‌ها

پلی گلیکول‌ها شکل پلیمری گلیکول‌های ساده می‌باشند که خواص آنها به وزن مولکولی و ساختار شیمیایی زنجیره پلیمری بستگی دارد با افزایش وزن مولکولی پلی گلیکول‌ها ویسکوزیته افزایش خواهد یافت [۱۹].



شکل ۲-۵ تعدادی پلی گلیکول با مونومرهای تشکیل دهنده

R در شکل ۲-۵ می تواند هیدروژن یا یک گروه آلکیل باشد. پلی اتیلن گلیکول ها، پلیمرهای چگال از اتیلن اکساید و آب هستند که مهم ترین نوع تجاری از گروه پلی اترها نیز می باشند. با وجود این که پلی اتیلن گلیکول ها با وزن های مولکولی متفاوت دارای موارد مصرف مختلفی هستند، خواص فیزیکی آن ها در وزن های مختلف مولکولی متفاوت می باشد در حالی که خواص شیمیایی آنها تقریباً یکسان است. شماره هایی که همراه با نام پلی اتیلن گلیکول می آیند نمایانگر وزن مولکولی متوسط آن محصول است.

۲-۸ مکانیسم عملکرد گلیکول در سیال حفاری

به طور معمول تمام پلی پروپیلن گلیکول های قابل حل در آب و بعضی پلی اتیلن گلیکول ها، مخصوصاً پلی اتیلن گلیکول های سبک، با دما حالت معکوس انحلال در آب را نشان می دهند. اگر به محلول پلی گلیکول و آب دما داده شود در نهایت محلول اولیه تبدیل به دو فاز جدا می شود که پلی گلیکول

به صورت فاز نامحلول متشکل از ذرات بی‌نهایت کوچک در خواهد آمد و فاز پلی‌گلیکول به صورت ابر در فاز آب دیده خواهد شد. چون جدا شدن پلی‌گلیکول از آب به صورت ابری می‌باشد که در فضای محلول پراکنده شده است لذا به نقطه دمایی که پس از حرارت دادن پلی‌گلیکول شروع به جدا شدن از آب می‌کند «نقطه دمایی ابری شدن»^{۲۴} گفته می‌شود. پلی‌گلیکول در نقطه دمایی ابری شدن مخصوصاً وقتی که از محلول جدا می‌شود به صورت آب‌گریز می‌باشد. به محض اینکه دمای محلول به زیر دمای ابری شدن کاهش یافت، گلیگول خاصیت نامحلولی خود را از دست خواهد داد و از دو فاز شدن خارج خواهد شد و به صورت تک فاز و محلول آب و گلیکول در خواهد آمد. دمای ابری شدن - گلیکول تابعی از نوع و غلظت گلیکول و دیگر مواد نامحلول مخصوصاً الکترولیت‌ها می‌باشد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است پلی‌گلیکول مورد استفاده اگر در دمای نزدیک دمای ابری شدن مورد استفاده قرار گیرد بیش‌ترین بازده را خواهد داشت [۱۰، ۱۵ و ۱۹].

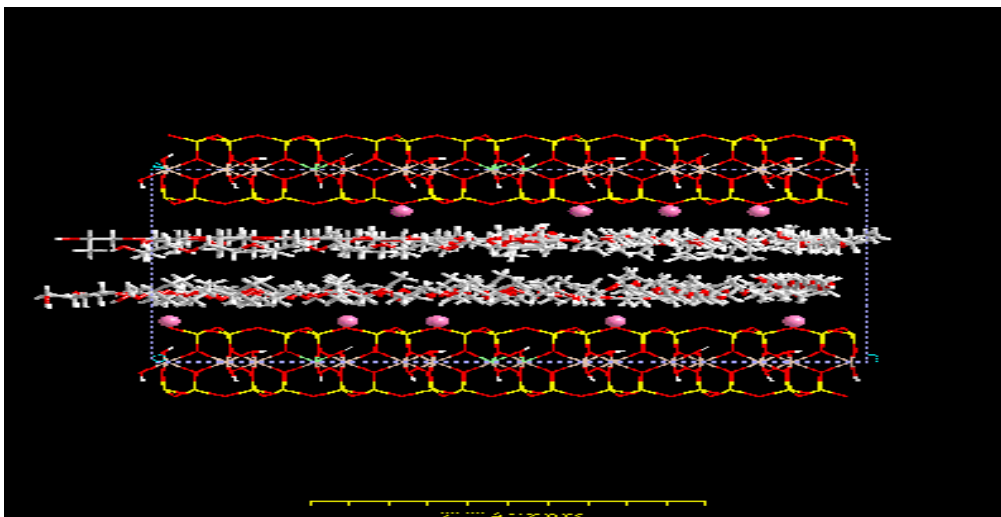
۹-۲ مکانیسم بازدارندگی گلیکول

پلی‌گلیکول‌ها در سیال حفاری به شکل‌های زیر از تورم جلوگیری می‌کنند که هر کدام به اختصار توضیح داده می‌شود [۹].

۹-۲-۱ کاهش فعالیت تورمی آب

گلیکول فعالیت شیمیایی صافاب را کاهش می‌دهد. البته تأثیر این حالت در مواقعی که غلظت پلی‌گلیکول بین ۳-۵٪ باشد ناچیز است. با توجه به شکل ۲-۶ پلی‌گلیکول از طریق نفوذ بین لایه واحدهای رس درصد آب موجود بین لایه واحدها را کاهش می‌دهد. در نتیجه باعث کاهش تورم و هیدراته شدن شیل می‌شود [۹].

²⁴ Cloud Point Temperature



شکل ۲-۶ کاهش درصد آب موجود بین لایه واحدها

۲-۹-۲ مسدود کردن منافذ از طریق ذرات پلی گلايکول نامحلول

خاصیت ابری شدن بعضی گلايکول ها یک ویژگی کلیدی در جلوگیری از تورم شیل می باشد. بنابراین از این خاصیت پلی گلايکول می توان در ساخت سیال حفاری بازدارنده تورم شیل کمک گرفت. گلايکول ها از طریق مسدود کردن منافذ سازند، تراوایی شیل را کاهش خواهد داد در نتیجه نفوذ سیال به داخل سازند با محدودیت مواجه خواهد شد [۹].

۳-۹-۲ جذب سطحی پلی گلايکول بر روی رس

پس از اینکه گلايکول داخل چاه به نقطه ابری شدن رسید و از محلول جدا شد، گلايکول در حضور آب تلاش می کند جذب سطوح شیل شود. این پدیده به طور قابل ملاحظه ای سبب کاهش تورم رس می شود. این ویژگی گلايکول در سیالات حفاری گلايکولی به عنوان یک مکانیسم کلیدی در کاهش تورم نسبت داده شده است [۹ و ۱۰].

۴-۹-۲ افزایش گرانیوی صافاب

افزایش ویسکوزیته صافاب حاوی پلی گلايکول در سیال پایه آبی می تواند به عنوان یک بازدارنده تورم شیل عمل کند. طبق قانون دارسی میزان جریان سیال با ویسکوزیته صافاب نسبت عکس دارد.

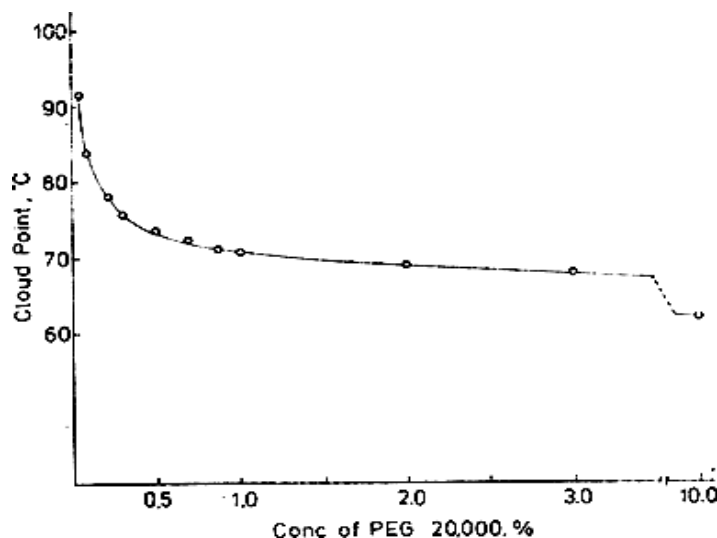
پلی‌گلایکول در سیال موجب افزایش گرانروی شده در نتیجه نفوذ آب به داخل سازند را کاهش خواهد داد [۱۰].

۲-۱۰ پارامترهای تأثیرگذار در نقطه ابری شدن

در دمای ابری شدن گلایکول در سیال حفاری پارامترهای مختلفی می‌تواند تأثیرگذار باشد. پارامترهای تأثیرگذار عبارتند از: غلظت پلی‌گلایکول، وزن مولکولی پلی‌گلایکول، شیمی پلی‌گلایکول مورد استفاده و نوع و غلظت دیگر مواد محلول به ویژه الکترولیت‌هایی از قبیل سدیم کلرید و پتاسیم کلرید [۱۹]. حال به بررسی چند مورد از آنها می‌پردازیم. گلایکول مورد آزمایش در این بررسی، پلی‌اتیلن گلایکول ۲۰,۰۰۰ می‌باشد [۲۰].

۲-۱۰-۱ تأثیر غلظت گلایکول بر نقطه ابری شدن گلایکول

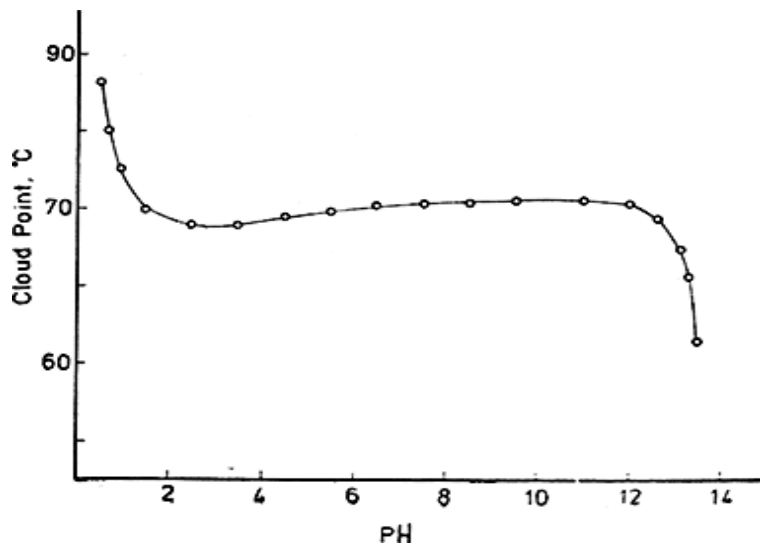
دمای ابری شدن پلی‌گلایکول محلول به غلظت پلی‌گلایکول بستگی دارد. شکل ۲-۷ تأثیر غلظت پلی‌اتیلن گلایکول آزمایشی را بر دمای ابری شدن گلایکول نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با افزایش غلظت گلایکول آزمایشی، نقطه ابری شدن کاهش پیدا کرده است. می‌توان گفت نقطه ابری شدن گلایکول‌ها با غلظت آن در محلول رابطه عکس دارد.



شکل ۲-۷ تأثیر غلظت پلی‌اتیلن گلایکول ۲۰,۰۰۰ بر نقطه ابری شدن گلایکول در حضور ۰/۲ مولار Na_2SO_4 [۲۰]

۲-۱۰-۲ تأثیر pH بر نقطه ابری شدن گلائیکول

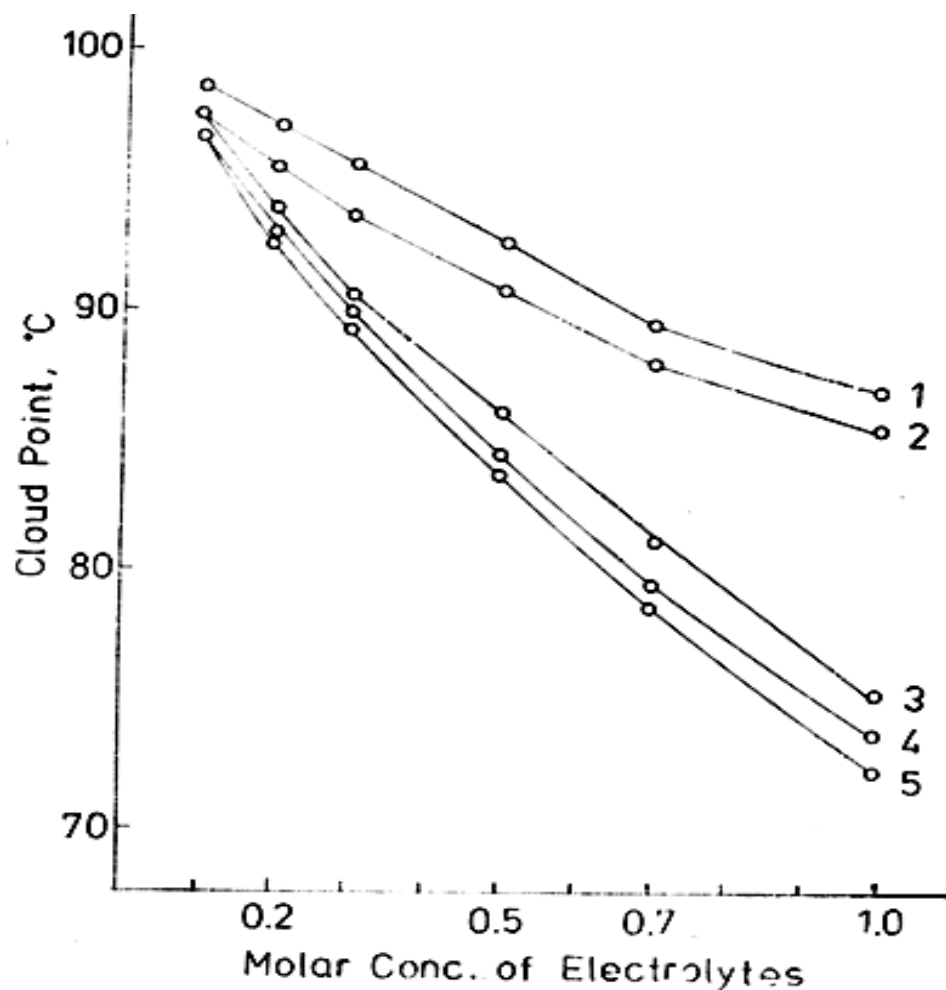
شکل ۲-۸ نشان می‌دهد که محیط‌های خیلی اسیدی و خیلی قلیایی بر نقطه دمایی ابری شدن گلائیکول تأثیرگذار می‌باشد. در محیط‌های خیلی اسیدی نقطه ابری شدن افزایش و در محیط‌های خیلی بازی نقطه ابری شدن کاهش می‌یابد.



شکل ۲-۸ تأثیر pH بر نقطه ابری شدن پلی‌اتیلن گلائیکول ۲۰,۰۰۰ با غلظت ۱٪ در محلول در حضور ۰/۲ مولار Na_2SO_4 [۲۰]

۲-۱۰-۳ تأثیر نوع نمک بر نقطه ابری شدن گلائیکول

شکل ۲-۹ تأثیر نوع و غلظت چند نوع نمک در نقطه ابری شدن گلائیکول آزمایشی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود علاوه بر اینکه نوع نمک در ابری شدن گلائیکول تأثیرگذار است؛ با افزایش غلظت هر نمک، نقطه ابری شدن گلائیکول در محلول کاهش می‌یابد.



1. LiCl 2. NH₄Cl 3. NaCl

4. KCl 5. CsCl

شکل ۲-۹ تأثیر غلظت و نوع نمک در نقطه دمای ابری شدن پلی اتیلن

گلیکول ۲۰,۰۰۰ [۲۰]

۲-۱۱ انتخاب نوع پلی گلیکول مصرفی

پلی گلیکول‌ها با وزن مولکولی کم برای ساخت سیال حفاری پلی گلیکول مناسب می‌باشد. زیرا پلی گلیکول‌ها با وزن مولکولی کم مایع هستند و به راحتی در آب حل می‌شوند. همچنین پلی گلیکول‌ها دارای وزن مولکولی کم نسبت به پلی گلیکول‌های سنگین در منافذ بیشتری از سازند نفوذ می‌کنند و مسدود شدن درصد بالای منافذ را در پی خواهد داشت [۱۵].

۱۲-۲ مزایای استفاده پلی گلايکول

علاوه بر اینکه گلايکول در جلوگیری از تورم، پایداری و استحکام شیل مؤثر است، موارد دیگری را نیز می‌تواند سبب شود که به بررسی چند مورد از آنها می‌پردازیم.

۱-۱۲-۲ جلوگیری از توپی شدن مته

گلايکول سطح فولاد را توسط یک فیلم آب‌گریز^{۲۵} می‌پوشاند، در نتیجه فولاد از آب حفظ خواهد شد. این پوشش از توپی شدن مته و BHA^{۲۶} جلوگیری می‌کند و روان کاری هرچه بهتر آنها را در بر خواهد داشت [۱۹].

۲-۱۲-۲ کاهش گشتاور

هنگام حفاری، رشته حفاری به واسطه گردشی که می‌کند به طور مداوم با سطح بدون جداری^{۲۷} چاه و سطح دارای جداری تماس سایشی پیدا می‌کند همچنین علاوه بر ساییده شدن، گشتاور نیز افزایش می‌یابد. در بالای دمای ابری شدن، گلايکول به صورت فیلمی جذب سطح جداری و سازند می‌شود. فیلم ایجاد شده نقش روان کننده را بازی خواهد کرد و از سایش بیش از حد جلوگیری خواهد کرد. لذا از اعمال گشتاور اضافی خواهد کاست [۱۹].

۳-۱۲-۲ کاهش چسبیدن لوله‌های حفاری

در حفاری سازندهای تراوا اگر فشار سیال حفاری از فشار سازند بیشتر باشد بخش مایع سیال به درون سازند نفوذ کرده و بخش جامد تحت عنوان کیک گِل در دیواره چاه تشکیل خواهد شد. در اطراف کیک گِل یک اختلاف فشار ناشی از فشار سازند و فشار سیال حفاری ایجاد خواهد شد. زمانی که رشته حفاری در حال چرخش است فیلمی از سیال حفاری را به دور خود حفظ خواهد کرد. لذا

²⁵ Hydrophobic

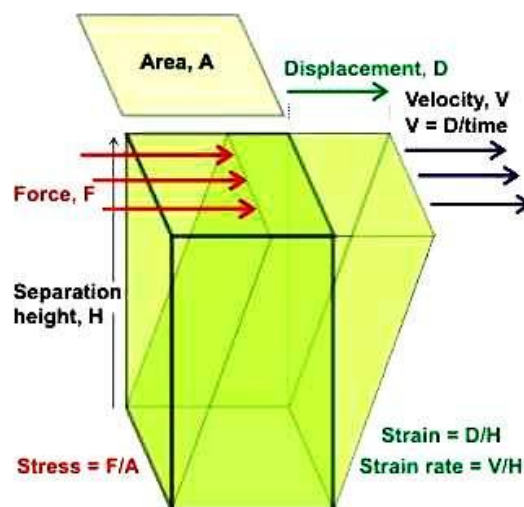
²⁶ Bottom hole assembly

²⁷ Casing

اختلاف فشار دور لوله از بین خواهد رفت. ولی هنگامی که حفاری متوقف شده است این اختلاف فشار تأثیر کرده و موجب چسبیدن لوله‌های حفاری به دیواره چاه یا کیک گِل خواهد شد. بنابراین سیال حفاری باید به صورت مهندسی طراحی شود تا کیک گِل نازک و ناتراوایی در دیواره چاه تشکیل شود. تا مشکل چسبیدن لوله به دیواره چاه بر طرف شود. استفاده از مواد مسدودکننده منافذ سازند، می‌تواند سبب تشکیل ضخامت کم کیک گِل شود. پلی‌گلايکول‌ها می‌تواند علاوه بر تشکیل ضخامت نازک کیک گِل سبب ایجاد یک سطح روان بین کیک گِل و سطح رشته حفاری شود در نتیجه احتمال چسبیدن لوله به دیواره چاه را به کمترین مقدار خود خواهد رساند [۱۹].

۲-۱۳ مدل‌های حرکتی سیال

پیش از اینکه مدل‌های حرکتی مورد بررسی قرار گیرد نرخ برشی و تنش برشی معرفی می‌شود. مطابق شکل ۲-۱۰ اگر سیال را بین دو صفحه موازی با سطح مقطع A و فاصله H در نظر گرفته شود سپس یکی از صفحات را ساکن و دیگری تحت نیروی F با سرعت V کشیده شود نرخ برشی γ و تنش برشی τ را می‌توان به صورت روابط ۲-۱ و ۲-۲ بیان کرد:



شکل ۲-۱۰ نمایش نرخ برشی و تنش برشی

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1-2)$$

$$\gamma = \frac{V}{H} \quad (2-2)$$

مهندسين حفاری برای محاسبه افت فشار اصطکاکی در طول چاه از نمونه‌های حرکتی مختلفی استفاده می‌کنند که عبارتند از: مدل نیوتنی، مدل بینگهام پلاستیک و مدل پاورلا [۲۱].

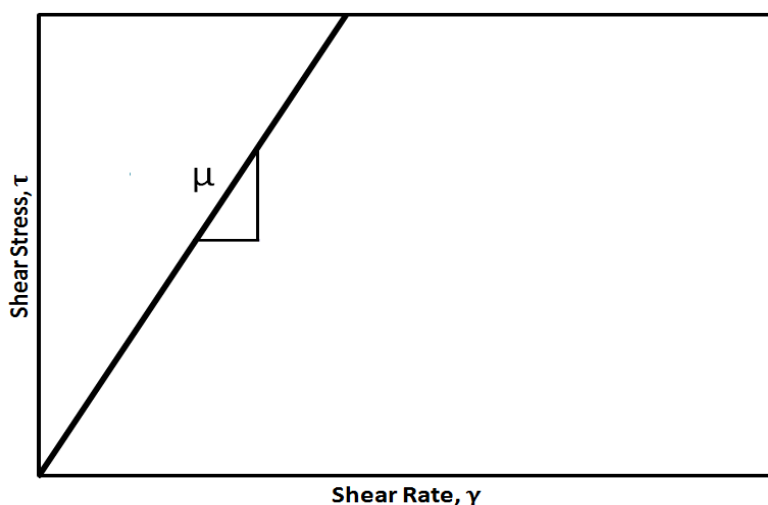
۲-۱۳-۱ مدل نیوتنی

در این سیالات گرانروی سیال به صورت نسبت تنش برشی به نرخ برشی تعریف می‌شود. در سیالات نیوتنی به محض اعمال نرخ برشی، تنش برشی نیز اعمال می‌شود. این مدل حرکتی سیال در سرعت‌های برشی نسبتاً پایین رخ می‌دهد. آب، گاز و نفت را می‌توان سیال نیوتنی در نظر گرفت [۲۱].

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3-2)$$

بنابراین می‌توان برای مدل نیوتنی رابطه ۲-۴ تعریف کرد.

$$\tau = \mu \cdot \gamma \quad (4-2)$$



شکل ۲-۱۱ مدل نیوتنی

رابطه ۴-۲ نشان دهنده رابطه خطی بین نرخ برشی و تنش برشی می‌باشد که در شکل ۱۱-۲ نیز نشان داده شده است و تنها زمانی صادق است که سیال جریان آرام داشته باشد.

۲-۱۳-۲ مدل بینگهام پلاستیک

مدل بینگهام پلاستیک یک مدل استاندارد در صنعت حفاری می‌باشد. این مدل حرکتی همانند مدل نیوتنی می‌باشد با این تفاوت سیال برای اینکه جریان یابد نیاز به یک تنش برشی اولیه می‌باشد که در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است؛ به این تنش برشی اولیه نقطه واروی τ_0 گفته می‌شود. با این اوصاف می‌توان رابطه ۵-۲ را برای مدل حرکتی بینگهام پلاستیک نوشت. در این مدل، ویسکوزیته سیال را ویسکوزیته پلاستیکی μ_p گفته می‌شود [۲۱].

$$\tau = \mu_p \cdot \gamma + \tau_0 \quad (۵-۲)$$

۲-۱۳-۳ مدل پاورلا

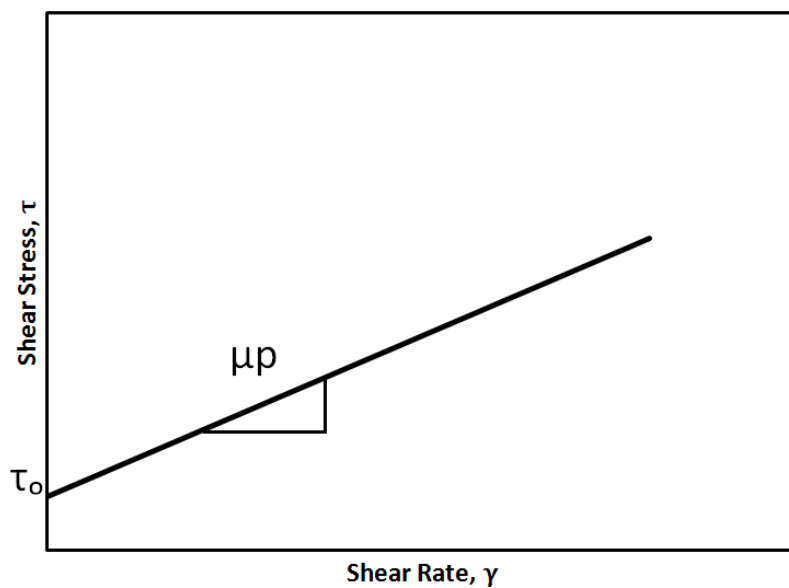
مدل پاورلا برای تفسیر خصوصیات سیال شبه پلاستیک، دایلتنت و نیوتنی بکار می‌رود. در این مدل حرکتی رابطه ۶-۲ صادق می‌باشد [۲۱].

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad (۶-۲)$$

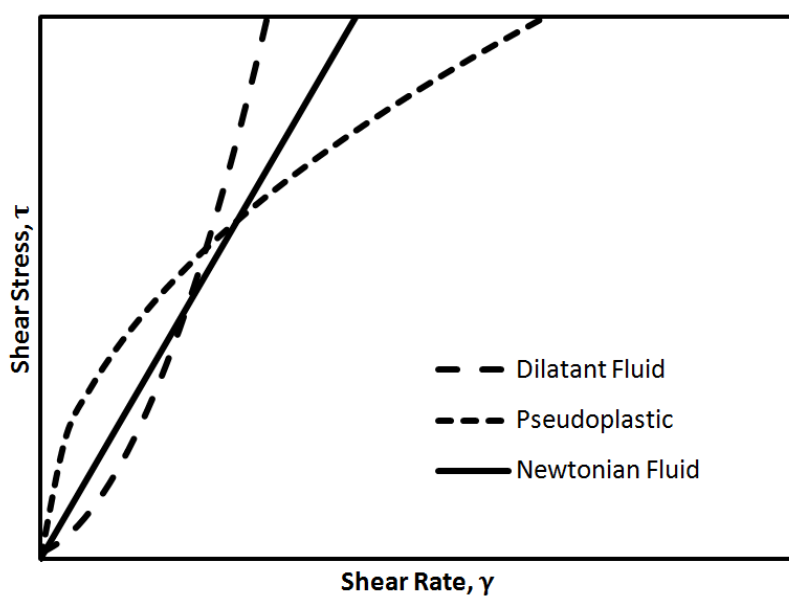
در رابطه ۶-۲، n شاخص رفتار جریان^{۲۸} و k شاخص سازگاری^{۲۹} می‌باشد. در این مدل حرکتی برای سیالات دایلتنت $n > 1$ ، برای سیالات نیوتنی $n = 1$ و برای سیالات شبه پلاستیک $n < 1$ می‌باشد و در شکل ۱۳-۲ نشان داده شده است.

²⁸ Flow Behavior Index

²⁹ Consistency Index



شکل ۲-۱۲ سیال بینگهام پلاستیک



شکل ۲-۱۳ مدل پاورلا

۲-۱۴ مواد مصرفی در ساخت سیال حفاری گلیکولی پیشنهادی

در فرمولاسیون سیال پیشنهادی مواد مختلفی بکار برده شد. موارد استفاده و کاربرد هر ماده در زیر

توضیح داده شده است [۲۲].

آب: در ساخت سیال حفاری پیشنهادی اولین ماده مورد استفاده آب می‌باشد. که امکان انحلال مواد مختلف را فراهم می‌کند همچنین به سیال حفاری امکان پمپ کردن و جریان را می‌دهد.

سودا اش (Na_2CO_3): برای کنترل سختی آب از سودا اش استفاده می‌شود.

کاستیک (NaOH): این ماده برای کنترل pH سیال مورد استفاده قرار می‌گیرد. pH یک پارامتر مهم در هیدراته شدن پلیمرها می‌باشد و باید در یک حد مشخصی نگه داشته شود.

XC (*Xanthomonas Campestris*) پلیمر: این پلیمر از فعالیت باکتریایی بدست می‌آید و بعنوان یک ماده ویسکوز کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

PHPA (*Partially Hydrolyzed Polyacrylamide*): یک پلیمر سنتزی با زنجیره طولانی است. این پلیمر خاصیت بازدارندگی تورم شیل را دارد. وقتی PHPA به سطح رس می‌چسبد از هیدراته شدن و پراکندگی رس جلوگیری می‌کند.

PAC-LV (*Polyanionic Cellulose-Low Viscose*): پلیمر طبیعی اصلاح شده است که برای کنترل افت صافاب به کار می‌رود.

PAC-R: پلیمر طبیعی اصلاح شده است که برای کنترل گرانروی به کار می‌رود.

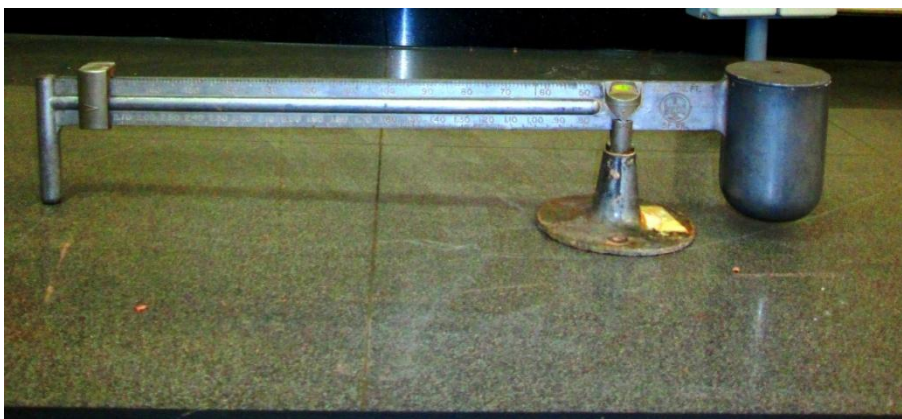
پتاسیم کلرید (KCl): یک ماده بازدارنده تورم خیلی خوب محسوب می‌شود و از طرق جابه‌جایی یونی سبب پایداری شیل خواهد شد.

گلایکول: بعنوان یک ماده بازدارنده تورم شیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در کاهش تویی شدن مته و گشتاور رشته حفاری می‌تواند مؤثر باشد

۱۴-۲ تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه

۱-۱۴-۲ ترازوی گِل^{۳۰}

این وسیله جهت به دست آوردن وزن مخصوص یا چگالی سیال حفاری پایه روغنی و پایه آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل ۱۴-۲ نشان داده شده است. معمولاً جهت کالیبر کردن ترازوی گِل از آب شیرین استفاده می‌شود که دانسیته آن ۸/۳۳ ppg می‌باشد. نکته قابل توجه هنگام استفاده از این وسیله این است که حباب‌های گاز که در فضای سیال پراکنده شده است باید با اعمال ضرباتی به بدنه وسیله خارج گردد تا ایجاد خطا نکند.



شکل ۱۴-۲ ترازوی گِل

۲-۱۴-۲ گرانروی سنج دوار^{۳۱} مدل 35SA

جهت اندازه‌گیری دقیق خصوصیات و پارامترهای حرکتی سیال حفاری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. دستگاه دارای یک گیربکس سه سرعت و یک موتور برق دو سرعت است که با ترکیب آنها با یکدیگر شش سرعت برای دستگاه امکان‌پذیر است که می‌توان از طریق آن خصوصیات و پارامترهای حرکتی سیال حفاری را ارزیابی کرد. شکل ۱۵-۲ نمونه‌ای از گرانروی سنج دوار را نشان می‌دهد [۲۳].

³⁰ Mud balance

³¹ Viscometer



شکل ۲-۱۵ گرانروی سنج دوار

۲-۱۴-۳ پارامترهای قابل اندازه‌گیری توسط گرانروی سنج دوار

با توجه به مدل‌های سیال مد نظر می‌توان خواص رئولوژی سیالات مختلف را بررسی کرد [۲۳].

۲-۱۴-۳-۱ گرانروی ظاهری^{۳۲}

اگر سیال حفاری سیال نیوتنی فرض شود گرانروی سیال توسط رابطه ۲-۷ از طریق گرانروی سنج دوار محاسبه خواهد شد.

$$\mu_a = 300 \frac{\theta_N}{N} \quad (Y-2)$$

μ_a : گرانروی ظاهری (cp)

N : سرعت زاویه‌ای اعمال شده به سیال حفاری توسط گرانروی سنج دوار (rpm)

θ_N : عدد خوانده شده از عقربه گرانروی سنج دوار در سرعت زاویه‌ای N

۲-۱۴-۳-۲ ویسکوزیته پلاستیکی و نقطه واروی^{۳۳}

گرانروی پلاستیکی مدل سیال بینگهام پلاستیک از رابطه ۲-۸ اندازه‌گیری می‌شود.

³² Apparent Viscosity

³³ Yield Point

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (8-2)$$

PV : ویسکوزیته پلاستیکی (cp)

θ_{600} : عدد خوانده شده از روی عقربه گرانیروی سنج دوار در سرعت زاویه‌ای ۶۰۰ rpm

θ_{300} : عدد خوانده شده از روی عقربه گرانیروی سنج دوار در سرعت زاویه‌ای ۳۰۰ rpm

نقطه واروی برای اندازه‌گیری نیروهای الکتروشیمیایی یا نیروی جاذبه موجود اجزای تشکیل‌دهنده سیال در حالت سکون می‌باشد. نقطه واروی از طریق گرانیروی سنج دوار به صورت رابطه ۲-۹ محاسبه خواهد شد.

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (9-2)$$

۲-۱۴-۳ محاسبه شاخص رفتار جریان و شاخص سازگاری

ثابت‌های مدل جریانی سیال پاورلا، شاخص رفتار جریان (n) و شاخص سازگاری (K) به وسیله ویسکومتر از طریق روابط ۲-۱۰ و ۲-۱۱ محاسبه می‌شود [۲۴].

$$n = 3.322 \log \left(\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \right) \quad (10-2)$$

$$K = 510 \frac{\theta_{300}}{(511)^n} \quad (11-2)$$

۲-۱۴-۳ قدرت ژلاتینی^{۳۴}

همانند نقطه واروی، پارامتری برای اندازه‌گیری نیروهای الکتروشیمیایی یا نیروی جاذبه موجود اجزای تشکیل‌دهنده سیال حفاری است با این تفاوت که در حالت دینامیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. هنگامی که گرانیروی سنج دوار به سیال حفاری سرعت ۳۰۰ rpm اعمال می‌کند، دستگاه را خاموش

³⁴ Gel Strength

کرده و بعد از ۱۰ ثانیه دستگاه را با سرعت زاویه‌ای ۳ rpm روشن می‌کنند و حداکثر انحراف عقربه گرانروی سنج دوار در این حالت خوانده می‌شود که به آن ژل ۱۰ ثانیه گفته می‌شود. حال اگر حداکثر انحراف عقربه بعد از ۱۰ دقیقه خوانده شود به آن ژل ۱۰ دقیقه گفته می‌شود.

۲-۱۴-۴ کوره چرخشی^{۳۵} مدل 704ES

این وسیله که در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است، از طریق چرخش و گرما دادن به سیال امکان شبیه‌سازی سیال گردشی چاه را فراهم می‌کند. از طریق این وسیله می‌توان موارد زیر را ارزیابی کرد [۲۵]:

- بررسی و ارزیابی سیالات حفاری که عملکرد آنها بر مبنای تغییر واکنش می‌باشد. مانند سیالات حفاری پایه آبی گلیکولی
- بررسی پایداری مواد تشکیل‌دهنده سیال حفاری.
- بررسی پایداری سیالات حفاری. مانند سیالات حفاری امولسیون نفتی



شکل ۲-۱۶ کوره چرخشی

برای ارزیابی سیال حفاری، سیال باید در محفظه‌ای قرار داده شود تا اولاً امکان چرخش توسط کوره

³⁵ Roller Oven

چرخشی به سیال داده شود و ثانیاً محدودیت‌های اعمال دما را بر طرف سازد همچنین به دلیل اعمال دماهای بالا امکان رعایت موارد ایمنی را نیز فراهم نماید. برای این منظور از Aging Cell استفاده می‌شود که در شکل ۱۷-۲ نشان داده شده است [۲۶].



شکل ۱۷-۲ Aging Cell

۲-۱۴-۵ دستگاه تورم سنج خطی دینامیکی

این دستگاه که در شکل ۱۸-۲ نشان داده شده است، امکان بررسی واکنش بین کانی‌های رسی و سیالات در شرایطی که سیال در حال حرکت است را فراهم می‌کند. این دستگاه امکان مشاهده خصوصیات تورمی و آمادگی برای مشکلات موجود در حفاری سازندهای شیلی و مارلی مانند توپی شدن مته، گیر کردن لوله‌های حفاری و دیگر مشکلات را با قابلیت بالا فراهم می‌کند. از ویژگی‌های این دستگاه می‌توان به قابلیت بررسی خصوصیات تورمی هشت نمونه به طور همزمان پرداخت که تغییرات ایجاد شده نسبت به زمان گزارش می‌شود [۲۷].

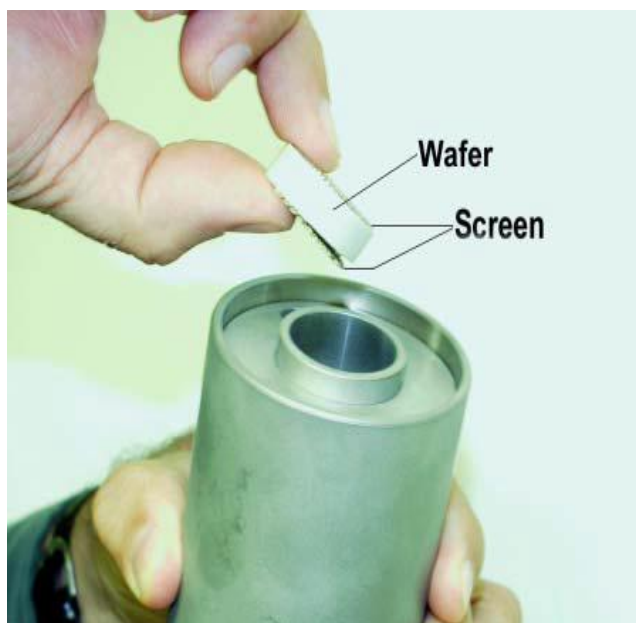


شکل ۲- ۲۰ Main Assemblies

پس از اینکه قسمت‌های مختلف دستگاه بسته شد، نرم‌افزار مربوط به دستگاه را از طریق نمایشگر دستگاه راه‌اندازی کرده و گزینه Zero/Start/Stop انتخاب می‌شود. و پنجره‌ای مطابق شکل ۲-۲۱ باز خواهد شد. از پنجره باز شده گزینه صفر هر محفظه را انتخاب و گزینه Apply زده می‌شود، سپس Cup را از دستگاه جدا کرده و قرص آماده شده را همانند شکل ۲-۲۲ در Cup دستگاه قرار داده و مجدداً در جای قبلی قرار داده می‌شود.



شکل ۲-۲۱ پنجره Zero/Start/Stop



شکل ۲-۲۲ شیوه گذاشتن قرص در Cup

پس از تزریق سیال به هر محفظه گزینه Start مربوط به هر محفظه را از پنجره Zero/Start/Stop را انتخاب می‌کنیم با این عمل دستگاه شروع به ثبت تغییرات تورم نسبت به زمان خواهد کرد [۲۷].

Main Assemblies علاوه بر اینکه تغییرات تورم را انتقال می‌دهند اعمال دما به نمونه و خاصیت مغناطیسی را نیز بر عهده دارند. اعمال خاصیت مغناطیسی به محفظه‌ها موجب چرخش Magnetic Stir Bar موجود در محفظه‌ها شده و موجب شبیه‌سازی خاصیت دینامیکی سیال حفاری خواهد شد. تغییرات دما از طریق ترمومتر در محفظه‌ها ثبت می‌شود [۲۷].

۲-۱۴-۶ تراکم کننده^{۳۶}

جهت مطالعه خواص تورمی نمونه‌های شیلی توسط دستگاه تورم سنج نیاز به تهیه قرص‌های شیلی می‌باشد. تهیه قرص‌های شیلی از طریق تراکم کننده امکان‌پذیر می‌باشد. همان طور که در شکل ۲-۲۳ نشان داده شده است این وسیله امکان ساخت همزمان دو قرص را فراهم می‌کند [۲۷].



شکل ۲-۲۳ تراکم کننده

³⁶ Compactor

برای ساخت هر قرص شیلی، ۱۰ گرم نمونه آسیاب شده و پودر شده را در محفظه دستگاه ریخته سپس به مدت ۳۰ دقیقه تحت فشار ۶۰۰۰ psi قرار داده می‌شود در نهایت قرص سفت و محکمی مطابق شکل ۲-۲۴ حاصل خواهد شد.



شکل ۲-۲۴ قرص‌های آزمایشگاهی

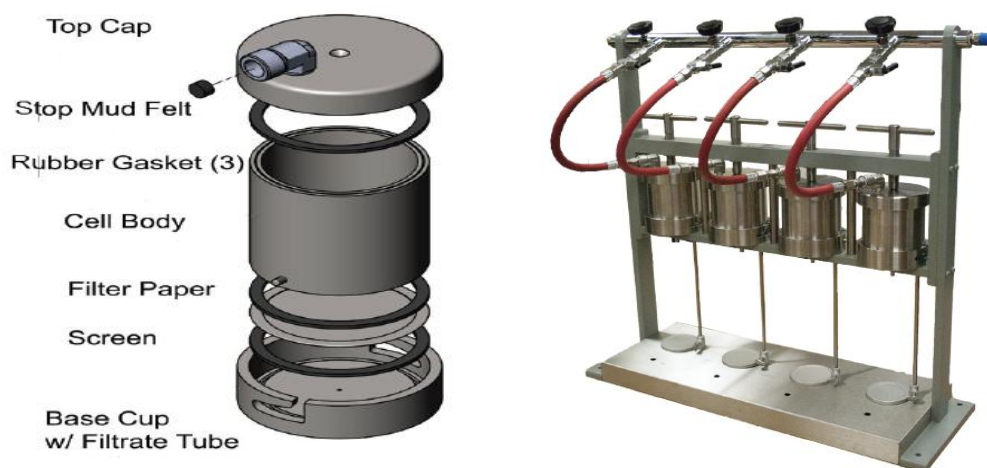
۲-۱۴-۷ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب^{۳۷}

برای اندازه‌گیری هرز روی بخش مایع سیال حفاری به داخل سازند و ارزیابی خصوصیات کیک گِل تشکیل‌شده در دیواره چاه آزمایش افت صافاب انجام می‌شود.

۲-۱۴-۷-۱ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب API مدل 300 LPLT

این دستگاه دارای محفظه‌های متعددی می‌باشد که هر محفظه دارای قسمت‌های مختلفی می‌باشد که به ترتیب در شکل ۲-۲۵ نشان داده شده است. پس از اینکه قسمت‌های مختلف محفظه‌ها بسته شد سیال حفاری در محفظه مربوطه ریخته می‌شود و آزمایش افت صافاب انجام می‌شود [۲۸].

³⁷ Mud Filtration Loss



شکل ۲-۲۵ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب API

در آزمایش اندازه‌گیری افت صافاب از طریق این دستگاه سیال تحت فشار ۱۰۰ psi به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده می‌شود و حجم مایع خارج‌شده اندازه‌گیری می‌شود [۲۸].

۲-۷-۱۴-۲ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب فشار بالا و دما بالا^{۳۸} مدل 175CT

از طریق این دستگاه که در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است افت صافاب در دما و فشار بالا اندازه‌گیری می‌شود. قسمت تحتانی محفظه دستگاه دارای سوراخ کوچکی می‌باشد که بر روی آن کاغذ صافی قرار می‌گیرد. پس از اینکه سیال داخل محفظه ریخته شد کلاهک بالایی محفظه بسته‌شده و قسمت اعمال‌کننده فشار در قسمت فوقانی دستگاه بسته خواهد شد. فشار اعمال‌شده به دستگاه از طریق کپسول‌های CO₂ و N₂ کوچک تأمین می‌شود که قابلیت اعمال فشار تا ۱۲۰۰ psi را امکان‌پذیر می‌کند [۲۹].

³⁸ High Pressure, High Temperature



شکل ۲-۲۶ دستگاه اندازه‌گیری افت صافاب فشار بالا و دما بالا

۲-۱۴-۸ pH متر

از طریق این دستگاه خاصیت اسیدی و بازی بودن سیال حفاری اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲-۲۷ pH متر

۹-۱۴-۲ مخلوط کن چندتایی^{۳۹} مدل 9B29X

اکثر سیالات حفاری مورد استفاده در میادین نفت و گاز سیالات پایه مایع می‌باشد. برای مخلوط کردن پلیمرها یا رزین‌ها، مواد جامد و وزن افزای غیرقابل حل، انواع نمک‌ها و رس‌ها در سیالات پایه مایع از مخلوط کن استفاده می‌شود که امکان ساخت سیال همگن و یکنواختی را فراهم می‌کند. برای تهیه سیالات در آزمایشگاه از مخلوط‌کن‌های مختلفی استفاده می‌شود. جهت تهیه سیالات آزمایشگاهی در این تحقیق از مخلوط‌کن چندتایی استفاده شد. مخلوط کن چندتایی دارای پنج پره و پنج لیوان گِل می‌باشد که امکان ساخت پنج سیال حفاری را به طور همزمان فراهم می‌کند [۳۰].



شکل ۲-۲۸ مخلوط کن چند تایی

³⁹ Multi Mixer

۲-۱۴-۱۰ ترازوی دیجیتال

برای اینکه بتوان در آزمایشگاه افزایه‌های سیال حفاری را با دقت بالایی وزن کرد از ترازوی دیجیتال استفاده می‌شود. با توجه به اینکه بعضی از مواد مانند کاستیک دارای حساسیت بالایی می‌باشند و افزودن مقداری کم یا زیاد از آن موجب ایجاد خطا می‌شود لذا در اندازه‌گیری‌ها باید دقت شود و از ترازوی دیجیتال استفاده شود.



شکل ۲-۲۹ ترازوی دیجیتال

خلاصه فصل دوم

در این فصل با مطالعه‌ای که بر روی ساختار کانی‌های رسی صورت گرفت، مکانیسم عملکرد گلایکول در کاهش تورم نمونه‌های شیلی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد مکانیسم اصلی گلایکول در بازدارندگی تورم با ابری شدن گلایکول در سیال همراه است. همچنین خاصیت ابری شدن علاوه بر کاهش تورم از تپیی شدن مته جلوگیری کرده و روان کاری رشته حفاری و مته را نیز به همراه خواهد داشت. در این فصل عوامل تأثیرگذار مختلف در تغییر نقطه دمایی ابری شدن گلایکول نیز مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد نوع نمک، خاصیت اسیدی یا قلیایی بودن سیال و غلظت گلایکول می‌تواند بر ابری شدن گلایکول تأثیرگذار باشد.

فصل سوم

(داده‌های تحقیق)

۳-۱ معرفی میدان مورد مطالعه

۳-۱-۱ مشخصات میدان مورد مطالعه

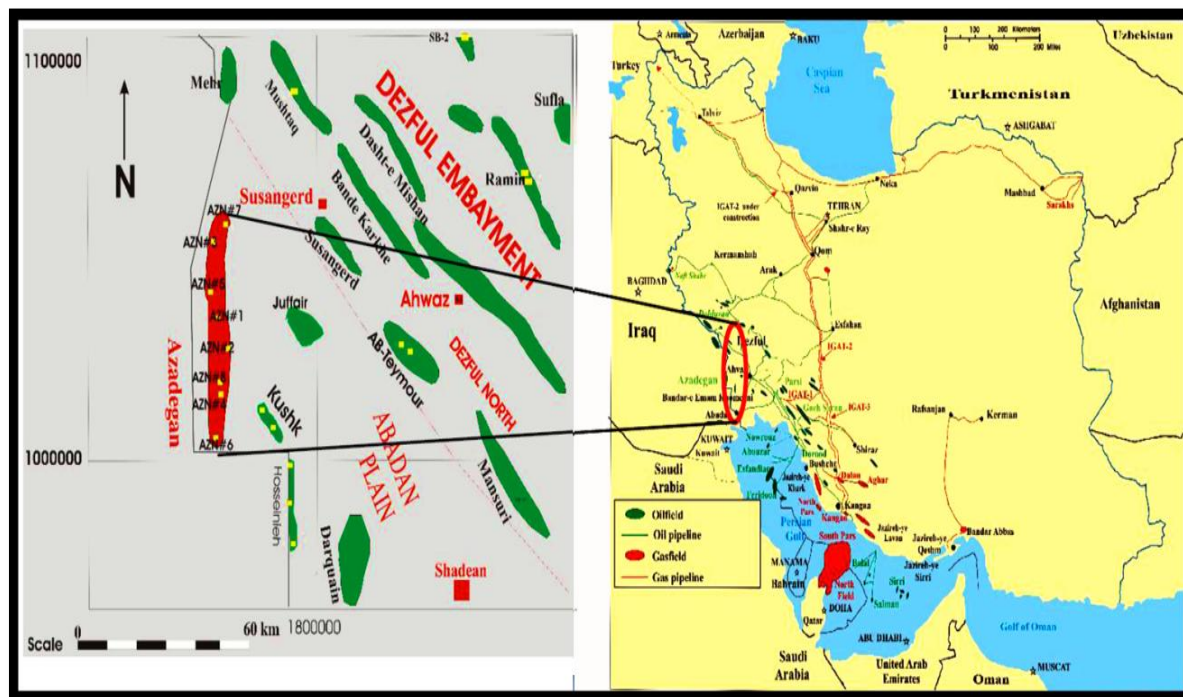
میدان عظیم آزادگان یکی از میادین بزرگ توسعه نیافته جهان می باشد که در سال ۱۳۷۸ توسط شرکت ملی نفت ایران کشف گردید. میدان نفتی آزادگان به دو قسمت آزادگان شمالی و جنوبی تقسیم می شود. آزادگان شمالی دارای مساحتی در حدود ۴۶۰ کیلومترمربع می باشد که در تالاب هورالهویزه واقع شده است. حجم نفت در جای این میدان ۳۰ میلیارد بشکه تخمین زده شده است که از نفت در جای تخمین زده شده، ۶ درصد آن از طریق انرژی طبیعی مخزن قابل برداشت می باشد [۳۱] و [۳۲].

در ابتدا، طرح توسعه میدان به کنسرسیومی متشکل از شرکت نفت ژاپنی Inpex و نفتیران سپرده شد ولی به دلیل مشکلاتی (بهانه شرکت جهت افزایش دستمزد و شرایط غیرعادی بازار کالا) با نظر شرکت ملی نفت ایران بخش گسترده ای از وظایف شرکت Inpex صلب گردید و به شرکت نفت نیکو واگذار گردید. شرکت نیکو چندین مرحله تقاضای افزایش هزینه سرمایه داشت که مورد تأیید شرکت ملی نفت واقع نشد. در نهایت طرح توسعه میدان با قابلیت برداشت ۲۰ هزار بشکه به شرکت مناطق نفت خیز جنوب واگذار شد. طرح توسعه میدان باهدف تولید روزانه ۲۰ هزار بشکه در عرض ۶ ماه توسط شرکت مناطق نفت خیز جنوب محقق شد [۳۱]. جهت توسعه میدان آزادگان توسط مناطق نفت خیز جنوب در سازندهای شیلی از سیال پایه روغنی استفاده شد. هدف از این تحقیق بررسی عملکرد سیال پایه روغنی و گلایکولی در جلوگیری از تورم نمونه های شیلی میدان می باشد.

۳-۱-۲ موقعیت جغرافیای میدان آزادگان

مطابق شکل ۳-۱ میدان عظیم آزادگان در ناحیه دزفول شمالی، در مجاورت و به موازات خط مرزی ایران و عراق در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غرب میدان نفتی جفیر و ۸۰ کیلومتری غرب اهواز واقع

شده است. این میدان دارای وسعتی حدود ۷۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. طاقدیس آزادگان فاقد هرگونه رخنمون می‌باشد و امتداد آن شمالی- جنوبی می‌باشد و با طاقدیس دارخوین دارای روند مشابهی می‌باشد. در طاقدیس آزادگان کلیه سازندها با توالی معمول زمین‌شناسی بر روی هم قرار گرفته‌اند که بدون گسل و گسستگی می‌باشد [۳۳].



شکل ۳- ۱ موقعیت جغرافیایی میدان نفتی آزادگان [۳۲ و ۳۳]

۳-۱-۳ سازندهای تشکیل دهنده میدان نفتی آزادگان

سازندهای میدان نفتی آزادگان به ترتیب از سطح زمین تا عمق با ذکر ضخامت و ترکیب هر لایه توضیح داده شده است.

آقاجاری: این سازند دارای ضخامت ۱۲۴۰ تا ۱۳۹۰ متر می باشد که جنس آن ماسه سنگ آهکی، چرت، ژئپس و مارل به صورت رگه مانند وجود دارد.

گچساران: این سازند دارای ضخامت ۴۲۰ تا ۵۸۰ متر می باشد. جنس این سازند لایمستون، انیدریت و نمک می باشد.

آسماری: این سازند دارای ضخامت ۳۰۰ تا ۳۴۰ متر می باشد و به دو قسمت آسماری بالایی و پایینی تقسیم می شود. آسماری بالایی بیشتر از ماسه سنگ به همراه چند لایه آرژیلیس تشکیل شده است. آسماری پایینی از آهک و اندکی لایمستون به همراه لایه های ماسه ای تشکیل شده است. این سازند در اکثر میادین ایران سازند تولیدی محسوب می شود ولی در میدان آزادگان سازند تولیدی محسوب نمی شود.

پابده: دارای ضخامت ۱۹۰ تا ۴۶۰ متر می باشد که از آرژیلیس لایمستون و مارل تشکیل شده است.

گورپی: این سازند به دو قسمت تقسیم می شود قسمت اول دارای ضخامت ۲۱۰ تا ۳۳۰ متر می باشد. جنس این قسمت از سازند اندکی آرژیلیس و میکریتیک لایمستون می باشد. قسمت دوم دارای ضخامت ۴۰ تا ۶۰ متری می باشد و از جنس لایمستون شیلی می باشد.

ایلام: ضخامت این سازند ۷۰ تا ۱۱۰ متر می باشد و از جنس میکریتیک لایمستون، اغلب آرژیلیس، بندرت پیریت و لایمستون می باشد.

لافان: این سازند دارای ضخامت تقریبی ۷ متر می باشد و از جنس شیل پیریتی می باشد.

سروک: ضخامت این سازند ۶۱۰ تا ۶۷۰ متر می‌باشد و از جنس لایمستون و لایمستون دولیمیتی می‌باشد.

کژدمی: این سازند به دو قسمت تقسیم می‌شود قسمت اول دارای ضخامت ۲۰۰ تا ۲۲۰ متر می‌باشد و از مارل و لایمستون میکریتیکی تشکیل شده است. قسمت دوم دارای ضخامت ۳۵ تا ۶۵ متر می‌باشد و از جنس ماسه آرژیلیس می‌باشد.

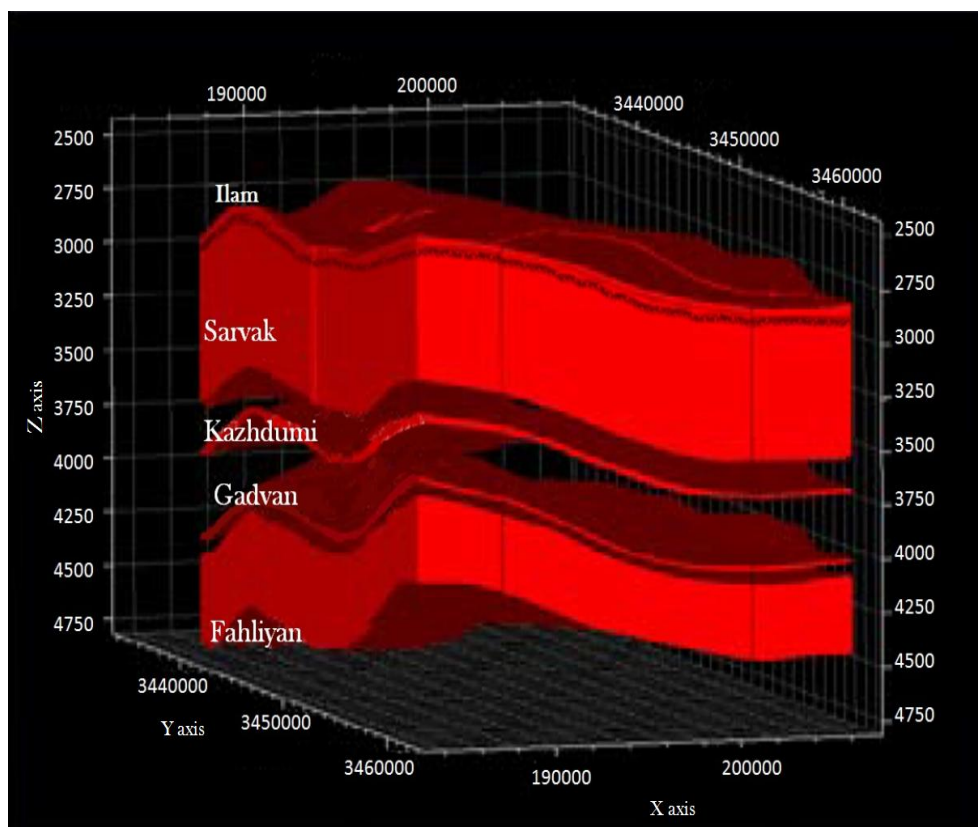
گدوان: این سازند به سه قسمت تقسیم می‌شود قسمت اول دارای ضخامت ۲۸۰ تا ۳۷۰ متر می‌باشد و از جنس آهک تمیز، مارل و آهک آرژیلیس می‌باشد. قسمت میانی دارای ضخامت ۱۱ تا ۱۶ متر می‌باشد و از جنس آهک تمیز می‌باشد. قسمت سوم دارای ضخامت ۵۵ تا ۷۰ متر می‌باشد و از ماسه آرژیلیس به همراه شیل و رگه‌های ماسه تمیز تشکیل شده است.

فهلپان: این سازند دارای ضخامت متوسط ۲۶۵/۵ متر می‌باشد و از جنس میکریتیک لایمستون، اغلب آرژیلیس، مارل و در بعضی قسمت‌ها از پیریت تشکیل شده است.

گرو: ضخامت این سازند به طور متوسط دارای ضخامت ۲۸۵/۵ متر می‌باشد و از جنس آهک و شیل کربناتی تشکیل شده است.

۳-۱-۴ سازندهای نفتی میدان آزادگان

چهار لایه ی «سروک»، «کژدمی»، «گدوان» و «فهلپان» سازندهای قابل بهره‌برداری این میدان شناخته شده‌اند. همچنین با ادامه حفاری‌های اکتشافی، سازند «ایلام» این میدان نیز قابل بهره‌برداری شناخته شده است. شکل ۳-۲ نمونه شبیه سازی شده سازندهای نفتی میدان آزادگان می‌باشد [۳۱].



شکل ۳-۲ مدل لایه‌ای مخزنی میدان نفتی آزادگان [۳۱]

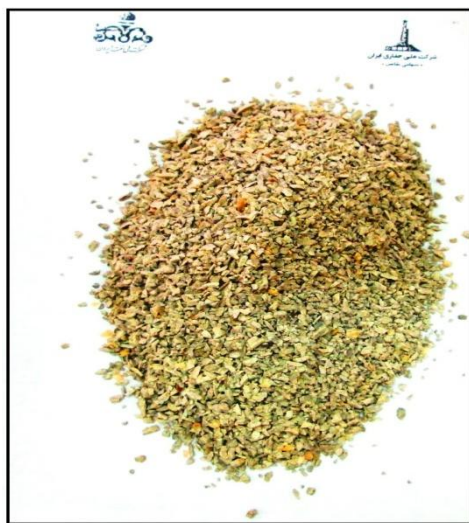
با مطالعه‌ای که بر روی سیال مخزنی حاصل از چاه‌های ۴، ۵ و ۶ مربوط به سازندهای گدوان و بخش زیرین کژدمی انجام شد، نوع سیال مخزنی مربوط به این سازندها پارافینی و پارافینی-نفتنی تعیین شد [۳۳].

۳-۲ سازندهای مورد مطالعه و تهیه نمونه جهت مطالعات آزمایشگاهی

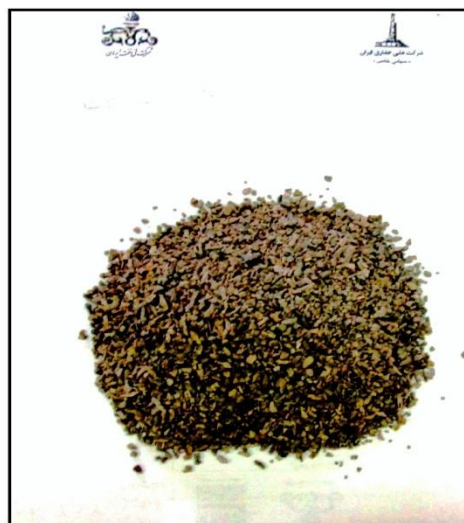
با مطالعه اطلاعات زمین‌شناسی، پتروفیزیکی منطقه و گزارش‌های روزانه چاه‌های مجاور میدان آزادگان سازندهای مشکل‌ساز و حاوی شیل‌های فعال تعیین شد. سپس نمونه‌های مربوط به سازندهای فهلیان و گدوان جهت مطالعه و بررسی این تحقیق انتخاب شد.

نمونه‌های تهیه‌شده مربوط به چاه ۲۸ آزادگان شمالی و دکل حفاری ۳۴ فتح می‌باشد. سازندهای فهلیان و گدوان در چاه ۲۸ آزادگان شمالی در عمق متوسط ۴۲۰۰ متری واقع شده است.

برای تهیه نمونه‌های میدانی جهت مطالعه آزمایشگاهی از خرده‌های حفاری استفاده شد که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. نحوه تهیه خرده‌های حفاری به این شکل می‌باشد که همزمان با عملیات حفاری، خرده‌های حفاری کنده شده از سازند به وسیله مته، توسط سیال حفاری به سطح زمین حمل شده و بر روی الک لرزان ریخته می‌شود؛ خرده‌های حفاری از روی الک لرزان جمع‌آوری شده سپس توسط آب نمک شستشو داده شد و خشک گردید و برای مطالعات آزمایشگاهی آماده شد.



نمونه‌های سازند گدوان



نمونه‌های سازند فهلپیان

شکل ۳-۳ نمونه‌های میدانی

خلاصه فصل سوم

در این فصل موقعیت جغرافیای و سازندهای تشکیل‌دهنده میدان آزادگان توضیح داده شد. همچنین توضیح داده شد که بر اساس مطالعات اکتشافی صورت گرفته، سازندهای ایلام، سروک، کژدمی، فهلپیان و گدوان سازندهای تولیدی میدان آزادگان هستند. سازندهای فهلپیان و گدوان برای مطالعه آزمایشگاهی این تحقیق انتخاب شدند. شرح داده شد که از خرده‌های سطحی حاصل از حفاری سازندهای مذکور برای مطالعه آزمایشگاهی نمونه‌گیری صورت گرفته است.

فصل چهارم

(مراحل و نتایج کارهای آزمایشگاهی)

۴-۱ تعیین نقطه ابری شدن

برای انجام کارهای آزمایشگاهی از مخلوط چند پلی گلایکول با نقطه دمای ابری شدن متفاوت استفاده شد. جهت تعیین نقطه ابری شدن گلایکول موجود در آزمایشگاه ابتدا ۳۵۰ میلی لیتر آب را با ۳۵ گرم پتاسیم کلرید و ۱۷/۵ میلی لیتر گلایکول مخلوط کرده سپس در یک بشر ریخته و بر روی هیتر قرار داده شد. از دماسنجی نیز جهت اندازه گیری نقطه ابری شدن استفاده شد که توسط پایه گیره دار در فضای محلول ثابت قرار می گرفت.

پس از اینکه به محلول دما داده شد در دمای ۳۹ درجه سلسیوس محلول شروع به ابری شدن کرد و در دمای ۴۵ درجه سلسیوس مطابق شکل ۴-۱ به اوج خود رسید و محلول کدر یکنواختی حاصل شد.



قبل از ابری شدن



بعد از ابری شدن

شکل ۴-۱ وضعیت گلایکول قبل و بعد از دمای ابری شدن در محلول

۴-۲ انجام آزمایش های مبنا

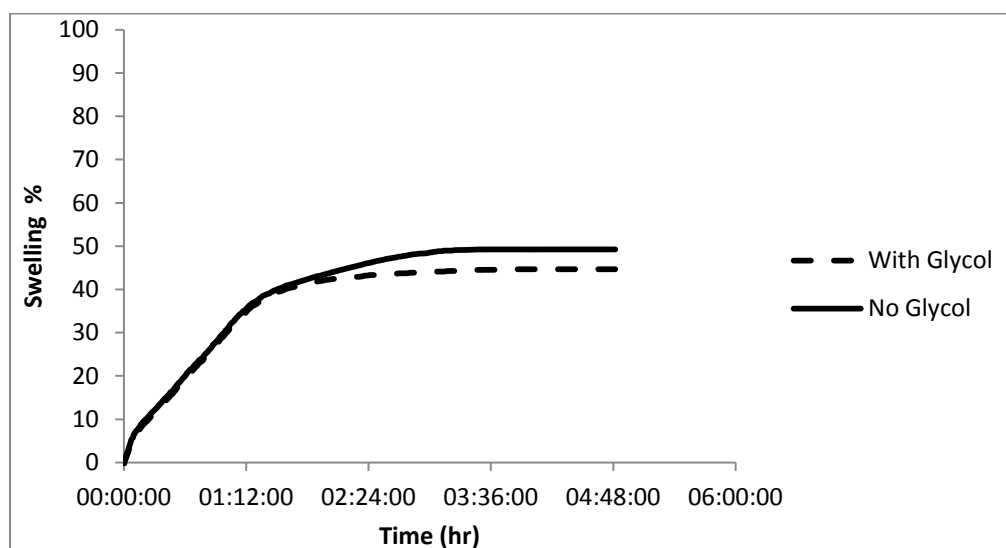
پیش از اینکه سیال حفاری پایه آبی گلایکولی طراحی و ساخته شود چند آزمایش مبنا انجام شد. هدف از انجام این آزمایش ها بررسی صحت عملکرد گلایکول در کاهش تورم نمونه های تورمی و تأثیر

نوع و غلظت نمک مصرفی در حضور گلیکول جهت کاهش تورم نمونه‌های شیلی می‌باشد. همچنین تأثیر دما در تورم نمونه‌های شیلی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۲-۱ بررسی تأثیر گلیکول در تورم شیل

برای بررسی این موضوع دو نمونه سیال تهیه شد. سیال اول با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب، ۳۵ گرم پتاسیم کلرید و ۱۷/۵ میلی‌لیتر گلیکول تهیه شد همچنین سیال دوم با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب و ۳۵ گرم پتاسیم کلرید تهیه شد. سپس میزان تورم قرص‌های بنتونیتی توسط این سیالات در دمای ۵۵ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت.

ابتدا قرص‌های آزمایشگاهی توسط تراکم کننده تهیه شد سپس در سلول‌های مجزای تعبیه شده در دستگاه تورم سنج قرار داده شد سپس سیالات به صورت جداگانه به سلول‌ها تزریق شدند. با این عمل قرص‌های ساخته شده در تماس با سیال مربوطه بوده و متناسب با سیال متورم می‌شوند. نتایج آزمایش به صورت درصد تورم، نسبت به زمان توسط دستگاه تورم سنج در زمان‌های مختلف گزارش شد و در نهایت اطلاعات به دست آمده از طریق نرم‌افزار «میکروسافت آفیس-اکسل» به صورت شکل ۴-۲ گزارش شد.

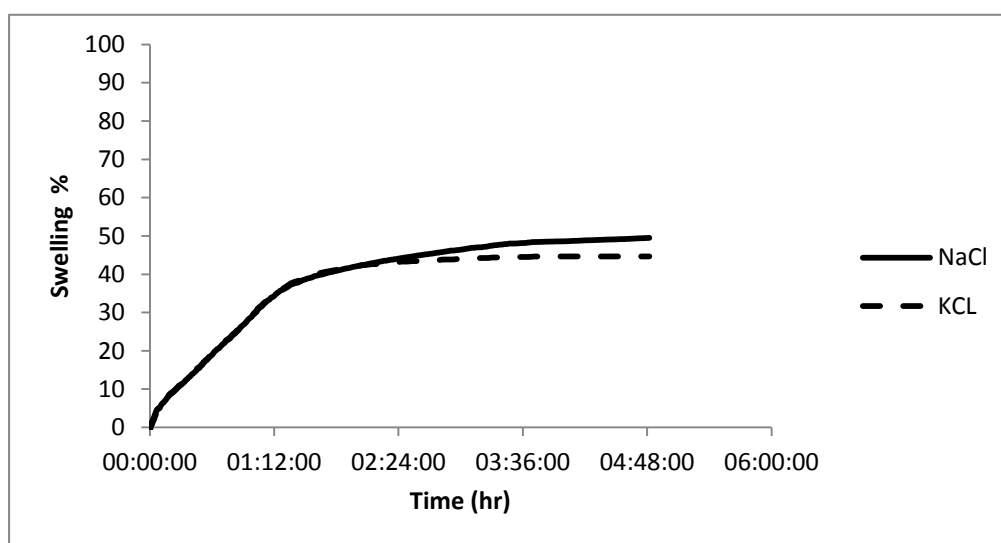


شکل ۴-۲ بررسی تأثیر گلیکول در تورم شیل

مشاهده می‌شود در دو نمونه قرص شیلی مشابه، نتایج متفاوتی حاصل شده است. سیالی که حاوی گلائیکول می‌باشد پس از رسیدن به دمای ابری شدن تورم کمتری نشان می‌دهد. با توجه به اینکه دما توسط دستگاه تدریجی اعمال می‌شود مادامی که دما به نقطه ابری شدن گلائیکول رسید، تورم نمونه کاهش می‌یابد. در دمای پایین‌تر از دمای ابری شدن به دلیل غلظت پایین گلائیکول لذا کاهش تورم چشمگیری مشاهده نمی‌شود.

۲-۲-۴ بررسی تأثیر نوع نمک در حضور گلائیکول بر روی تورم شیل

برای بررسی این موضوع دو نمونه سیال مبنا تهیه شد. سیال اول با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب، ۳۵ گرم پتاسیم کلرید و ۱۷/۵ میلی‌لیتر گلائیکول تهیه شد همچنین سیال دوم با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب، ۳۵ گرم سدیم کلرید و ۱۷/۵ میلی‌لیتر گلائیکول تهیه شد. سپس میزان تورم قرص‌های بنتونیتی توسط این سیالات در دمای ۵۵ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل به صورت تغییرات تورم نسبت به زمان توسط دستگاه تورم سنج گزارش شد. از طریق نرم‌افزار «میکروسافت آفیس - اکسل» اطلاعات حاصل به شکل نمودار تورم - زمان که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است رسم شد.

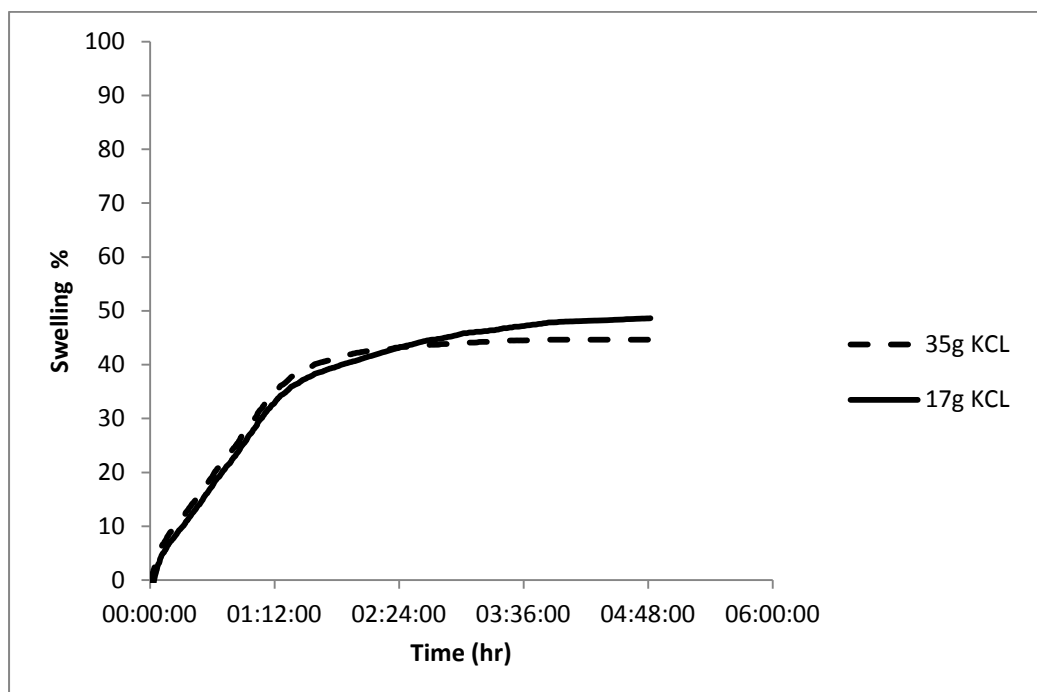


شکل ۳-۴ بررسی تأثیر نوع نمک در حضور گلائیکول بر روی تورم شیل

مشاهده می‌شود با وجود اینکه تورم نمونه بنتونایتی در سیال حاوی پتاسیم کلرید نسبت به زمان ثابت شده است ولی تورم نمونه بنتونایتی در سیال حاوی سدیم کلرید نسبت به زمان با شیب بیشتری افزایش می‌یابد که حاکی از عملکرد بهتر پتاسیم کلرید می‌باشد. زیرا پتاسیم شعاع آب‌پوشی کوچک‌تری نسبت به سدیم دارد همچنین با جایگزینی پتاسیم در ساختار رس کانی رسی تبدیل به ساختاری با خصوصیات ایلیت می‌شود که تورم‌پذیری کمتری پیدا می‌کند. از طرف دیگر با توجه به اینکه بیشتر تورم‌ها مربوط به یون‌های تک ظرفیتی می‌باشد و پتاسیم نسبت به آنها قابلیت جایگزینی بالایی دارد لذا پتاسیم کاتیون مورد استفاده بهتری برای سیال حفاری پایه آبی گلایکولی و حفاری شیل‌ها می‌باشد. هدف از این آزمایش نمایش جایگزینی کاتیون‌های سیال حفاری در ساختار بنتونایت (سدیم مونت‌موریلونیت) و کاهش تورم صورت گرفته است لذا در سیال حاوی سدیم کلرید بدلیل مشابهت کاتیونی جایگزینی رخ نخواهد داد ولی در سیال حاوی پتاسیم کلرید بدلیل تفاوت کاتیونی سیال آزمایشی و نمونه بنتونایتی، جایگزینی کاتیونی رخ خواهد داد و پایداری صورت خواهد گرفت. پس می‌توان گفت که نتایج حاصل مستقل از اندازه مول‌های نمک مصرفی می‌باشد.

۴-۲-۳ بررسی تأثیر غلظت نمک در حضور گلایکول بر روی تورم شیل

پس از اینکه از طریق آزمایش نوع نمک، برتری پتاسیم کلرید نسبت به سدیم کلرید در جلوگیری از تورم نمونه بنتونایتی اثبات شد. تأثیر غلظت پتاسیم کلرید بر تورم نمونه بنتونایتی مورد آزمایش قرار گرفت. برای بررسی این موضوع دو نمونه سیال تهیه شد. سیال اول با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب، ۳۵ گرم پتاسیم کلرید و ۱۷/۵ میلی‌لیتر گلایکول تهیه شد. سیال دوم با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب، ۱۷ گرم پتاسیم کلرید و ۱۷/۵ میلی‌لیتر گلایکول تهیه شد. سپس میزان تورم قرص‌های بنتونایتی توسط این سیالات در دمای ۵۵ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل به صورت تغییرات تورم نسبت به زمان گزارش شد و در شکل ۴-۴ نمایش داده شده است.

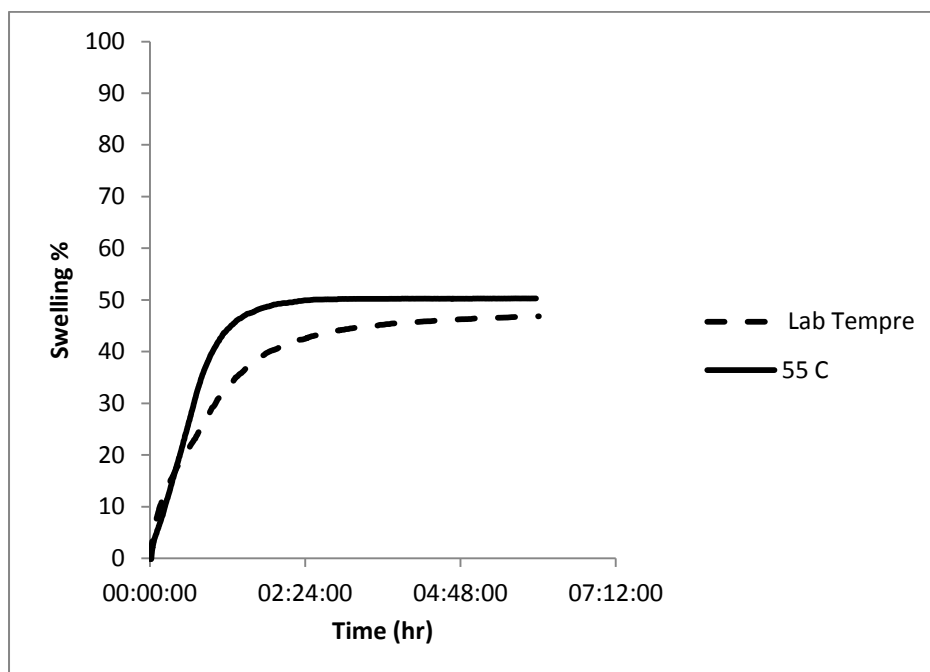


شکل ۴-۴ بررسی تأثیر غلظت نمک در حضور گلايکول بر روی تورم شیل

مشاهده می‌شود در سیالی که غلظت پتاسیم کلرید پایین می‌باشد تورم نسبت به زمان با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. در غلظت‌های پایین پتاسیم کلرید مورد استفاده به دلیل تبادل کاتیونی پایین بین نمونه بنتونایتی و سیال، لذا یون سدیم بیشتری در ساختار بنتونایت (سدیم مونت موریلونیت) باقی‌مانده و آب بیشتری جذب خواهد شد؛ بنابراین تورم افزایش پیدا کرده است.

۴-۲-۴ بررسی تأثیر دما در تورم شیل

جهت بررسی تأثیر دما در تورم نمونه‌های شیلی دو سیال با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب و ۳۵ گرم پتاسیم کلرید تهیه شد و در دو محفظه جدا بر روی نمونه‌های بنتونایتی آزمایش شد. با این تفاوت که یکی از محفظه‌ها تحت دمای آزمایشگاه و دیگری تحت دمای ۵۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ تأثیر دما در تورم نمونه‌های بنتونیتی

افزایش دما پیوند بین لایه واحدها را سست کرده در نتیجه تورم نمونه‌ها را افزایش خواهد داد. همچنین بخش دیگر تورم را می‌توان به انبساط نمونه به دلیل دما نسبت داد.

۴-۳ طراحی سیال حفاری گلیکولی

پس از اینکه آزمایش‌های سیالات مینا انجام شد و نتایج مربوط به آنها حاصل شد سیال پیشنهادی برای کمترین تورم نمونه‌های شیلی طراحی شد. سیال پیشنهادی پس از چندین بار طراحی و آزمایش مکرر سیالات بر روی نمونه‌های بنتونیتی و مقدارهای مختلف مواد و جابه‌جایی ترتیب افزودن مواد، پیشنهاد شده است. فرمولاسیون سیال پیشنهادی برای تهیه یک بشکه آزمایشگاهی (۳۵۰ میلی‌لیتر) به صورت جدول ۴-۱ می‌باشد.

جدول ۴- ۱ فرمولاسیون سیال پیشنهادی

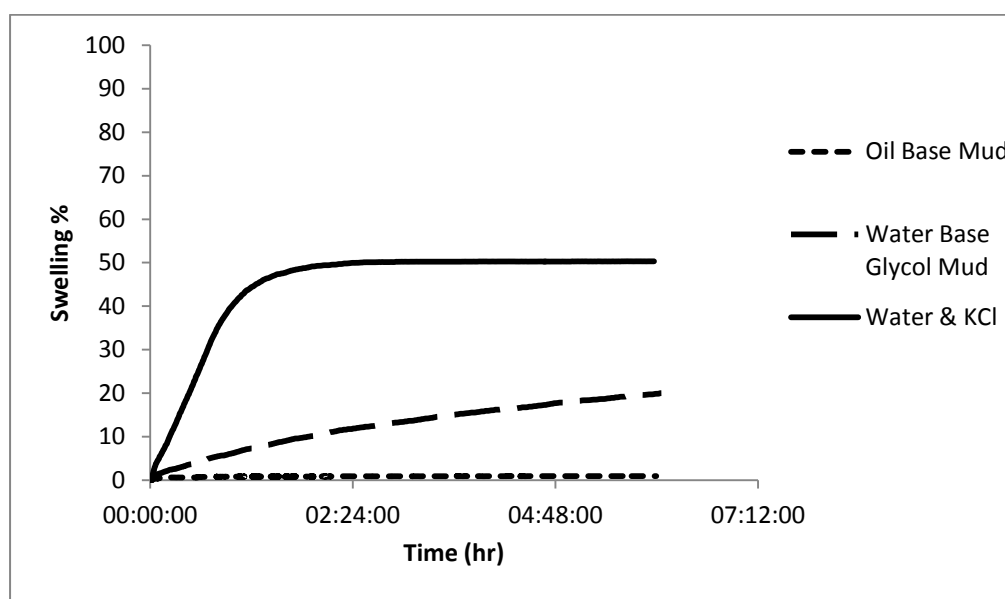
ترتیب افزودن مواد	مواد	مقدار ماده افزوده شده	زمان اختلاط (دقیقه)
۱	آب	۳۳۰ ml	-
۲	سودا اش	۰/۵ g	۵
۳	پلیمر PHPA	۲ g	۲۰
۴	پتاسیم کلرید	۲۱ g	۱۰
۵	پلیمر XC	۰/۵ g	۲۰
۶	پلیمر سنتزی Pac-LV	۳ g	۲۰
۷	پلیمر سنتزی Pac-R	۱ g	۱۰
۸	کاستیک	۰/۲ g	۵
۹	گلایکول	۱۷/۵ ml	۱۰

تهیه نمونه‌های میدانی کار بسیار مشکل و نیازمند صرف هزینه و زمان می‌باشد. لذا پیش از اینکه سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های اصلی آزمایش شود، ابتدا عملکرد سیال طراحی شده بر روی قرص‌های بنتونایتی بررسی شد. تا از اسراف و دورریزی نمونه‌های میدانی جلوگیری شود سپس سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های میدانی مورد آزمایش قرار گرفت. جهت ارزیابی سیال پیشنهادی، سیال شاهد حاوی ۳۵۰ میلی‌لیتر آب و ۳۵ گرم پتاسیم کلرید و سیال پایه روغنی با فرمولاسیون جدول ۴-۲ طراحی شد. هدف از به‌کارگیری سیال شاهد نشان دادن بیش‌ترین تورم می‌باشد تا عملکرد سیال پیشنهادی بررسی شود. در تهیه سیال شاهد از پتاسیم کلرید استفاده شد که پتاسیم کلرید یک بازدارنده محسوب می‌شود همچنین در آزمایش مربوط به تأثیر نوع نمک مشاهده شد که تورم بنتونایت در سیال حاوی پتاسیم کلرید تا حد زیادی کاهش یافته است. با این اوصاف هدف از به‌کارگیری پتاسیم کلرید فقط صرفه‌جویی در زمان می‌باشد تا نمونه بنتونایتی از لحاظ تورم سریع پایدار شود.

جدول ۴-۲ فرمولاسیون سیال پایه روغنی

ترتیب افزودن مواد	مواد	مقدار ماده افزوده شده	زمان اختلاط (دقیقه)
۱	گازوئیل	۱۸۷/۵ ml	-
۲	Primary Emulsifier	۱۰/۵ ml	۱۰
۳	آهک	۱۲ ml	۱۰
۴	F.L.C	۱۳ g	۱۵
۵	Calcium Chloride Brine(83.5 pcf)	۱۴۰ ml	۱۵
۶	Secondary Emulsifier	۳/۵ ml	۱۵
۷	Viscofier	۰/۵ g	۱۵

سه قرص بنتونایتی برای آزمایش تأثیر سیالات تهیه شده در تورم نمونه های بنتونایتی آماده شد و در سه محفظه جداگانه دستگاه تورم سنج قرار داده شد و سیالات تهیه شده در محفظه های مربوطه تزریق شد. نتیجه حاصل از تورم سنج به صورت نمودار درصد تورم-زمان در شکل ۴-۶ بیان شده است.



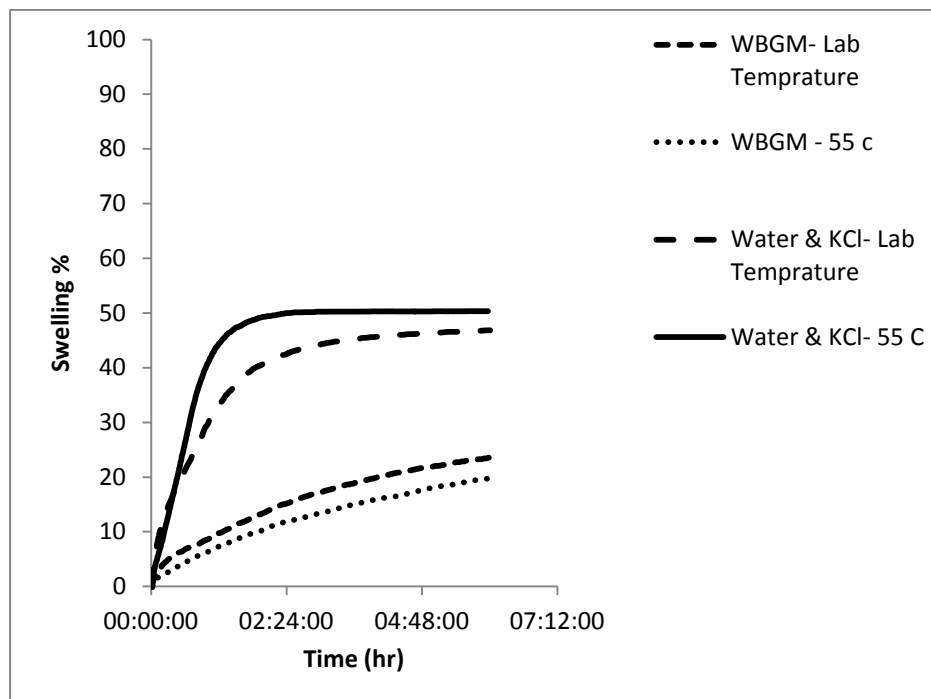
شکل ۴-۶ تأثیر عملکرد سیال حفاری شده بر روی قرص های بنتونایتی

با توجه به شکل ۴-۶ سیال شاهد به دلیل اینکه فاقد گلايکول و مواد بازدارنده (بجز پتاسیم کلرید) می باشد لذا جذب آب توسط کانی های رسی قابل تورم افزایش یافته و تورم افزایش می یابد. تورم قرص بنتونایتی مربوط به سیال پایه روغنی تقریباً بدون تورم می باشد که برتری سیال پایه روغنی به وضوح مشاهده می شود ولی به دلیل مشکلاتی که به همراه دارند از جمله مشکل زیست محیطی لذا استفاده از آنها با محدودیت مواجه است. تورم قرص مربوط به محفظه سیال حفاری گلايکولی نسبت به سیال شاهد خیلی کم می باشد و حاکی از عملکرد هرچه بهتر پلیمرها، پتاسیم کلرید و گلايکول موجود در سیال می باشد. ولی نسبت به سیال پایه روغنی اختلاف تورم دیده می شود که تلاش ها برای کاهش این اختلاف همچنان توسط شرکت های نفتی روزه روز انجام می گیرد.

۴-۴ بررسی تأثیر دما در عملکرد سیال گلايکولی

جهت بررسی عملکرد سیال گلايکولی در تورم قرص های شیلی، سیال گلايکولی با فرمولاسیون جدول ۴-۱ تهیه شد. همچنین سیال شاهدی جهت نشان دادن عملکرد سیال گلايکولی استفاده شد. سیال شاهد از افزودن ۳۵ گرم پتاسیم کلرید به ۳۵۰ میلی لیتر آب حاصل شد.

در این آزمایش چهار قرص بنتونایتی مشابه آماده شد و در چهار محفظه مجزای دستگاه تورم-سنج قرار گرفت. سیال گلايکولی تهیه شده در دو محفظه از دستگاه تزریق شد با این تفاوت که یکی از نمونه ها در دمای ۵۵ درجه سلسیوس (دمای بالاتر از نقطه ابری شدن گلايکول) و دیگری در دمای آزمایشگاه (۲۴ درجه سلسیوس) مورد آزمایش قرار گرفت. سیال شاهد نیز در دو محفظه دیگر تورم-سنج تزریق شد و تحت دماهای مشابه سیال گلايکولی بر روی نمونه های بنتونایتی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل به صورت شکل ۴-۷ گزارش شد.



شکل ۴-۷ ارزیابی پلیمرها و گلیکول موجود در سیال حفاری در دمای بالا

مشاهده می‌شود قرصی که در تماس با سیال شاهد ۵۵ درجه سلسیوس می‌باشد تورم بیشتری نشان می‌دهد. علت این امر را می‌توان تأثیر انبساط ناشی از دمای اعمال شده دانست. دما علاوه بر اینکه پیوند بین لایه واحدها را سست می‌کند فاصله بین لایه واحدها را نیز افزایش می‌دهد که جذب بالای آب توسط نمونه را منجر می‌شود. قرص مورد آزمایش با سیال حفاری پایه آبی گلیکولی، با اعمال دما تورم کمتری را نشان می‌دهد زیرا با افزایش دما، گلیکول موجود در سیال ابری شده و موجب مسدود شدن منافذ نمونه‌های تورمی می‌شود و از تورم نمونه جلوگیری می‌کند.

۴-۵ بررسی قرص‌های بازیافت شده

پس از اینکه سیالات پایه روغنی، پایه آبی گلیکولی و سیال شاهد بر روی قرص‌های شیلی سازند فلهیان توسط دستگاه تورم سنج آزمایش شد، قرص‌های شیلی از دستگاه تورم سنج بازیافت شدند و از نظر ظاهری مورد بررسی قرار گرفتند.

شکل ۴-۸ مربوط به قرص محفظه سیال شاهد می‌باشد. مشاهده می‌شود قرص به دلیل تورم و جذب آب دارای ترک و شکاف‌های زیادی می‌باشد. که حاکی از سست و ناپایداری قرص می‌باشد. به دلیل اینکه در سیال شاهد مواد بازدارنده تورم و جود ندارد لذا جذب آب توسط لایه واحد رسی متورم شونده به قدری می‌باشد که موجب از بین رفتن پیوند بین لایه واحدها شده و ایجاد شکاف در قرص می‌شود.



شکل ۴-۸ قرص مربوط به محفظه حاوی سیال شاهد

شکل ۴-۹ مربوط به قرص محفظه سیال پایه روغنی می‌باشد. مشاهده می‌شود قرص، فاقد هر گونه ترک و شکاف می‌باشد. سیال پایه روغنی به دلیل اینکه آب یا مواد متورم کننده کانی‌های رسی ندارد لذا تغییر محسوسی در شکل ظاهری قرص مشاهده نمی‌شود. در نتیجه به دلیل تورم ناچیز قرص شیلی پایداری خیلی بالایی خواهد داشت.



شکل ۴-۹ قرص مربوط به محفظه حاوی سیال پایه روغنی

شکل ۴-۱۰ مربوط به قرص محفظه سیال پایه-آبی گلیکولی می‌باشد. به دلیل اینکه قرص شیلی نسبت به سیال شاهد آب کمتری جذب کرده است لذا پیوند بین لایه واحدهای رسی تا حد زیادی حفظ شده است. بنابراین شکافی در سطح قرص مشاهده نمی‌شود ولی به دلیل جذب مقداری آب می‌توان ترک‌های ریزی را در سطح قرص مشاهده کرد.

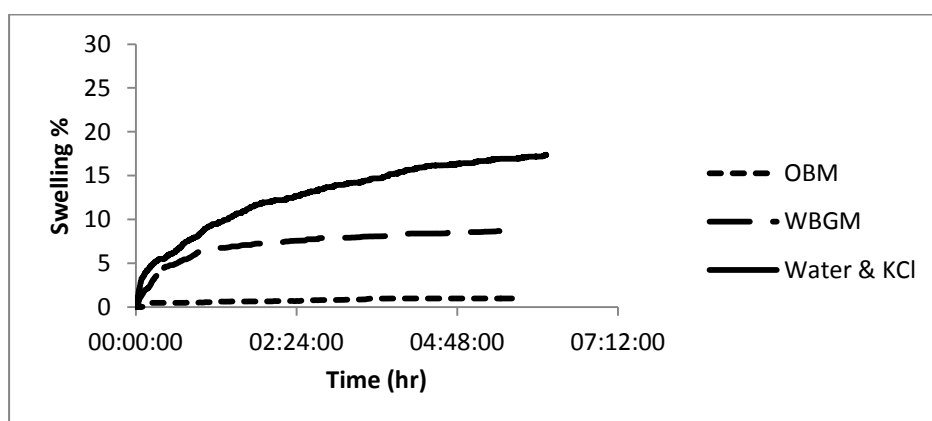


شکل ۴-۱۰ قرص مربوط به محفظه سیال حفاری پایه-آبی گلیکول

۶-۴ بررسی عملکرد سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های میدانی

پس از اینکه سیال طراحی شده بر روی قرص‌های بنتونایتی آزمایش شد و عملکرد سیال طراحی شده در جلوگیری از تورم قرص‌های بنتونایتی نسبت به سیال پایه روغنی و سیال شاهد سنجیده شد. نوبت به بررسی عملکرد سیال پیشنهادی بر روی نمونه‌های میدان نفتی آزادگان رسید.

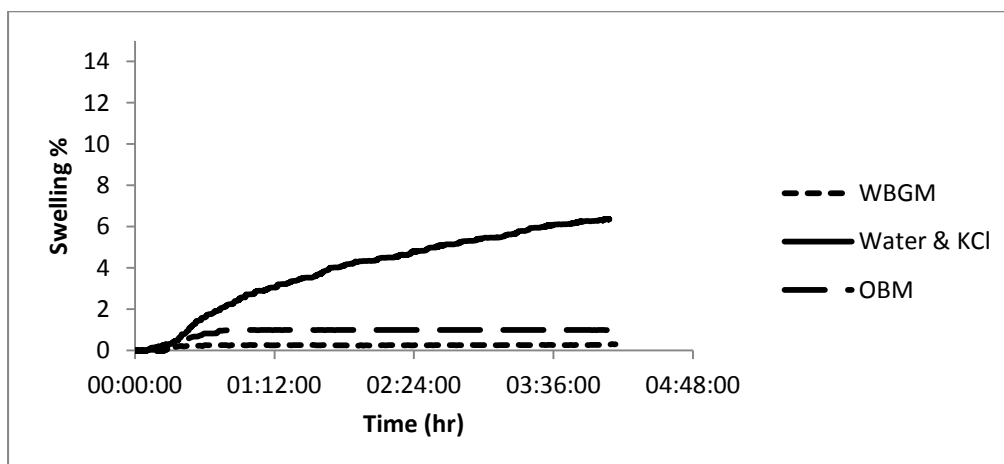
ابتدا نمونه‌های مربوط به سازند فلهیان، در آزمایشگاه توسط آسیاب و الک (مش ۱۰۰) به پودر یکنواختی تبدیل شد و در نهایت از پودر حاصل توسط دستگاه تراکم کننده، قرص‌های شیلی مشابهی جهت بررسی و مطالعه تغییرات تورم نسبت به زمان تهیه شد. سه قرص شیلی از نمونه‌های سازند فلهیان تهیه شد و در سه محفظه جدای دستگاه تورم سنج قرار داده شد. سیال پیشنهادی با فرمولاسیون جدول ۴-۱ و سیال پایه روغنی با فرمولاسیون جدول ۴-۲ تهیه شد همچنین جهت ارزیابی عملکرد سیال پیشنهادی، سیال شاهد نیز با فرمولاسیون ۳۵۰ میلی‌لیتر آب و ۳۵ گرم پتاسیم کلرید تهیه شد سپس در سه محفظه مجزای دستگاه تورم سنج که حاوی قرص‌های شیلی مشابهی بودند تزریق شدند. نتایج حاصل از آزمایش توسط نمودار درصد تورم-زمان گزارش شد که در شکل ۴-۱۱ نتایج حاصل رسم شده است. در نمونه‌های میدانی با وجود اطلاع از اینکه تورم کمتری از بنتونایت خواهند داشت از پتاسیم کلرید در تهیه سیال شاهد استفاده شد و دلیل این امر به خاطر حفظ تشابه در آزمایش مربوط به نمونه‌های بنتونایتی و نمونه‌های میدانی بود.



شکل ۴-۱۱ بررسی عملکرد سیال طراحی شده بر روی نمونه‌های سازند فلهیان میدان آزادگان

مشاهده می‌شود که در مراحل پایانی آزمایش تورم قرص شیلی در ارتباط با سیال پیشنهادی با شیب خیلی کمی افزایش می‌یابد درحالی‌که تورم قرص شیلی در ارتباط با سیال شاهد با شیب خیلی بیشتری نسبت به سیال پیشنهادی افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد تورم قرص شیلی مربوط به سیال پیشنهادی تا درصد خیلی بالایی کاهش یافته است.

همچنین سیال حفاری طراحی‌شده برای کاهش تورم و پراکندگی شیل، بر روی نمونه‌های سازند گدوان نیز آزمایش شد. برای این منظور از نمونه‌های مربوط به سازند گدوان سه قرص تهیه شد؛ سپس در محفظه‌های مجزا در دستگاه تورم سنج قرار داده شد. سیالات مورد آزمایش همانند سیالات آزمایشی نمونه‌های سازند فلهیان تهیه شد و در محفظه‌های مربوطه تزریق شد. نتایج حاصل از آزمایش در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲ بررسی عملکرد سیال طراحی‌شده بر روی نمونه‌های سازند گدوان میدان آزادگان

مشاهده می‌شود هر سه قرص شیلی مشابه خصوصیات تورمی متفاوتی دارند با توجه به شکل سیال حفاری پایه-آبی گلایکولی پیشنهادی در جلوگیری از تورم و پراکندگی در نمونه‌های شیلی مربوط به سازند گدوان عملکرد خیلی بالایی داشته است. سیال حفاری پیشنهادی در جلوگیری از تورم قرص‌های شیلی سازند گدوان، عملکردی مشابه سیال پایه روغنی دارد که نشان دهنده عملکرد بهتر سیال پیشنهادی را دارد.

۷-۴ اندازه‌گیری خواص رئولوژی و پارامترهای دیگر سیالات

جهت اندازه‌گیری دانسیته سیالات تهیه‌شده در آزمایشگاه از ترازوی گِل استفاده شد. دانسیته هر دو سیال پایه روغنی و سیال پیشنهادی ۶۴ pcf اندازه‌گیری شد. افت صافاب از طریق آزمایش افت صافاب گِل تعیین شد؛ برای این منظور از دو دستگاه HPHT و API استفاده شد همچنین جهت تعیین خاصیت اسیدی و بازی سیال پیشنهادی از دستگاه pH متر استفاده شد. نتایج حاصل در جدول ۳-۴ درج شده است.

جدول ۳-۴ سیال پایه آبی گلیکولی

نماد	واحد	قبل از چرخش حرارتی	بعد از چرخش حرارتی
ρ	(pcf)	۶۴	-
PV	(cp)	۴۰	۲۰
YP	(lb/100ft ²)	۱۲	۶
AV	(cp)	۴۶	۲۳
Gel Strength (10min)	(lb/100ft ²)	۱۲	۵
Gel Strength (10sec)	(lb/100ft ²)	۷	۲
N		۰/۸۲	۰/۸۲
K	(dyne*sec ⁻ⁿ /cm ²)	۱۵۶/۳۷	۷۸/۱۸
pH		۱۰/۳۰	۹/۵۲
API filtration	(cc/30min)	۱۱/۶۰	-

خواص رئولوژی سیالات برای مدل‌های حرکتی سیال نیوتنی، بینگهام پلاستیک و پاورلا توسط ویسکومتر در دمای آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. برای مشاهده عملکرد سیال در وضعیت دینامیک و دمای بالا، سیال پیشنهادی و سیال پایه روغنی در دستگاه کوره چرخشی به مدت ۴ ساعت تحت دمای ۹۴ درجه سلسیوس قرار داده شد سپس خواص رئولوژی سیالات تهیه‌شده توسط

ویسکومتر در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تعیین شد. نتایج حاصل از بررسی‌های خواص رئولوژی سیالات در جدول‌های ۳-۴ و ۴-۴ درج شده است.

جدول ۴-۴ سیال پایه روغنی

نماد	واحد	قبل از چرخش حرارتی	بعد از چرخش حرارتی
ρ	(pcf)	۶۴	-
PV	(cp)	۱۸	۱۵
YP	(lb/100ft ²)	۱۵	۱۰
AV	(cp)	۲۵	۲۰
Gel Strength(10min)	(lb/100ft ²)	۷	۶
GelStrength(10sec)	(lb/100ft ²)	۶	۴
N		۰/۶۱	۰/۶۸
K	(dyne*sec ⁻ⁿ /cm ²)	۳۶۳/۵۶	۱۸۳/۵۶
HPHT	(cc/30min)	-	۳

از نتایج حاصل می‌توان تأثیر دما بر خواص رئولوژی را مشاهده کرد و می‌توان گفت سیال طراحی شده بیشتر تحت تأثیر دما می‌باشد. اندازه‌گیری‌های مربوط به pH نشان می‌دهد که سیال طراحی شده خاصیت قلیایی دارد و دمای ابری شدن گلیکول در سیال طراحی شده کاهش خواهد یافت.

۴-۸ برآورد هزینه‌ی سیال طراحی شده بر اساس ارز سال ۱۳۹۰

قیمت مواد مصرفی برای ساخت سیالات حفاری در جدول ۴-۵ درج شده است و مطابق با قیمت‌هایی می‌باشد که توسط شرکت ملی نفت ایران جهت خرید مواد به شرکت‌های تولیدکننده پرداخت می‌شود.

جدول ۴- ۵ قیمت خریداری مواد مصرفی توسط شرکت ملی نفت ایران

ماده	مقدار ماده	قیمت ماده (ریال)
سودا اش	۲۵ Kg	۲۰۱۳۰۰
پلیمر PHPA	۲۵ Kg	۱۷۰۸۰۰۰
پتاسیم کلرید	۲۵ Kg	۲۰۶۱۸۰
پلیمر XC	۲۵ Kg	۱۹۴۲۲۴۰
پلیمر سنتزی Pac-LV	۲۵ Kg	۱۵۸۶۰۰۰
پلیمر سنتزی Pac-R	۲۵ Kg	۲۴۰۳۰۰۰
کاستیک	۵۰ Kg	۷۶۲۵۰۰
گلایکول	۵۵ gal	۹۷۶۰۰۰۰
گازوئیل	۱ lit	۸۰۰۰
Primary Emulsifier	۵۵ gal	۹۳۹۴۰۰۰
آهک	۲۵ Kg	۱۵۸۶۰۰۰
F.L.C	۲۵ Kg	۴۸۱۹۰۰
کلسیم کلرید	۲۵ Kg	۱۵۲۵۰۰
Secondary Emulsifier	۵۵ gal	۹۹۵۴۴۰۰
Viscofier	۲۵ Kg	۱۳۵۴۲۰۰

در هزینه مواد مایع اعلام شده، حجمها به صورت گالن اعلام شده است. هر گالن آمریکایی معادل ۳۷۸۵ میلی لیتر در نظر گرفته می شود.

هزینه هر بشکه از سیال پیشنهادی و سیال پایه روغنی با استفاده از جدول ۴-۵ محاسبه شد و در جدول ۴-۶ درج گردیده است. هنگام انجام محاسبات ابتدا جرم و حجم داده شده بر حسب کیلوگرم و گالن در جدول ۴-۵ به گرم و میلی لیتر تبدیل شد سپس هزینه هر گرم و هر میلی لیتر از

مواد به کار برده شده محاسبه شد و در نهایت مقدار مواد مصرفی دخالت داده شده و هزینه نهایی محاسبه شد. در فرمولاسیون سیال پایه روغنی ساخته شده آب نمک کلسیم کلرید ۸۳/۵ pcf وجود دارد. جهت محاسبه جرم کلسیم کلرید مصرفی از موازنه جرم استفاده شد و مقدار آن ۸۸/۹۹ گرم محاسبه شد. طریقه محاسبه مقدار کلسیم کلرید موجود در آب نمک در پیوست ۱ اشاره شده است.

در آزمایشگاه وزن و مواد مصرفی بر حسب گرم و میلی لیتر می باشد. از طریق رابطه ۴-۱ مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس میدانی تبدیل می شود و می توان از طریق آن هزینه هر بشکه سیال حفاری مورد استفاده در میادین نفت و گاز را محاسبه کرد.

$$\frac{1 \text{ Pound (lb)}}{1 \text{ Barel (bbl)}} = \frac{1 \text{ Gram (g)}}{350 \text{ Mil Liter (ml)}} \quad (۴-۱)$$

در رابطه ۴-۱ مشاهده می شود هر بشکه سیال حفاری و هر پاوند ماده مصرفی مورد استفاده در میادین نفت و گاز به ترتیب معادل ۳۵۰ میلی لیتر سیال آزمایشگاهی و ۱ گرم ماده مصرفی در آزمایشگاه می باشد.

جدول ۴-۶ هزینه ۳۵۰ ml سیال پایه روغنی

مواد	مقدار ماده مصرف شده	قیمت ماده در سیال (ریال)
گازوئیل	۱۸۷/۵ ml	۱۵۰۰
Primary Emulsifier	۱۰/۵ ml	۴۷۳/۸۲
آهک	۱۲ g	۷۶۱/۲۸
F.L.C	۱۳ g	۱۹/۲۸
کلسیم کلرید	۸۸/۹۹ g	۵۴۲/۸۴
Secondary Emulsifier	۳/۵ ml	۱۳۳/۷۴
Viscofier	۰/۵ g	۲۸/۰۸
قیمت کل		۳۴۵۹/۰۴

جدول ۴-۷ هزینه ۳۵۰ ml سیال پیشنهادی

مواد	مقدار ماده مصرف شده	قیمت ماده در یک بشکه
سودا اش	۰/۵ g	۲/۰۱
پلیمر PHPA	۲ g	۱۳۶/۶۴
پتاسیم کلرید	۲۱ g	۱۷۳/۱۹
پلیمر XC	۰/۵ g	۳۸/۸۴
پلیمر سنتزی Pac-LV	۳ g	۱۹۰/۳۲
پلیمر سنتزی Pac-R	۱ g	۹۶/۱۲
کاستیک	۰/۲ g	۳/۰۵
گلایکول	۱۷/۵ ml	۸۲۰/۴۶
قیمت کل		۱۴۶۰/۶۳

طبق محاسبات نهایی مشاهده می‌شود هزینه ساخت ۳۵۰ میلی‌لیتر سیال پایه روغنی ۳۴۵۹/۰۴ ریال می‌باشد و در مقابل هزینه ساخت ۳۵۰ میلی‌لیتر ۱۴۶۰/۶۳ ریال می‌باشد. با مقایسه‌ای که در هزینه ساخت ۳۵۰ میلی‌لیتر سیال پیشنهادی و سیال پایه روغنی انجام گرفت مشاهده می‌شود که هزینه ساخت سیال پایه روغنی ۲/۳۷ برابر سیال پیشنهادی می‌باشد. سیال گلایکولی از طریق سیستم‌های حفاری معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که سیال پایه روغنی به دلیل وجود مواد اشتعال‌زا مانند گازوئیل، Primary Emulsifier و Secondary Emulsifier جهت برقراری ایمنی نیاز به استفاده از یکسری تجهیزات ویژه دیگری می‌باشد که علاوه بر هزینه بالای مواد مصرفی در ساخت سیال، هزینه اضافی در حفاری یک چاه اعمال خواهد کرد.

خلاصه فصل چهارم

در این فصل با انجام آزمایش تأثیر نوع و غلظت نمک، مشاهده شد که پتاسیم کلرید برای کاهش تورم نمونه‌های شیلی در سیال گلیکولی مناسب است. پس از این که سیال حفاری گلیکولی طراحی شد، به همراه سیال پایه روغنی بر روی نمونه‌های سازند فلهلیان و گدوان مورد آزمایش قرار گرفت و نتیجه تأثیر هر دو سیال بر روی کاهش تورم مورد مقایسه قرار گرفت. در نتایج مربوط به نمونه‌های سازند فلهلیان، مشاهده شد سیال گلیکولی کاهش تورم بالایی در نمونه‌ها به همراه دارد ولی نسبت به سیال پایه روغنی کاهش تورم کم می‌باشد. سیال پایه روغنی و گلیکولی بر روی نمونه‌های سازند گدوان نیز آزمایش شد و مشاهده شد که نمونه‌ها برای هر دو سیال کاهش تورم تقریباً یکسانی دارند.

فصل پنجم

(نتیجه‌گیری و پیشنهادها)

۵-۱ نتیجه گیری

مستند به مطالعات صورت گرفته به نتایج زیر اشاره می گردد:

- نوع نمک به کار برده شده به همراه گلايکول مهم می باشد. مشاهده شد که پتاسیم کلرید نسبت به سدیم کلرید در عملکرد سیال حفاری پایه-آبی گلايکولی نقش مؤثری را ایفا می کند. غلظت نمک در سیال حفاری گلايکولی از موارد دیگری می باشد که در کاهش تورم نمونه های شیلی می تواند مؤثر باشد.
- سیال حفاری گلايکولی در دمای بالا برخلاف سیال شاهد عملکرد بهتری نشان داد. مشاهده شد تورم نمونه بنتونایتی برای سیال گلايکولی در دمای بالا نسبت به دمای آزمایشگاه کاهش یافته است.
- سیال گلايکولی به تنهایی برای جلوگیری کامل از تورم شیل مؤثر نمی باشد ولی با کاهش تورم شیلی که دارد می تواند تا حدودی از مصرف نمک های کلریدی بکاهد. در نتیجه از مشکلات زیست محیطی مربوط به دفع کردن این نمک ها در محیط زیست را خواهد کاست.
- با بررسی تأثیر نقطه ابری شدن در عملکرد سیالات گلايکولی، نشان داده شد که در دماهای پایین تر از نقطه ابری شدن گلايکول تأثیر چندانی در جلوگیری تورم ندارد لذا باید دقت شود نقطه ابری شدن گلايکول متناسب با سازند مورد حفاری باشد تا گلايکول بالاترین عملکرد را داشته باشد.
- سیال حفاری پایه آبی گلايکولی از نظر بازدارندگی تورم و خواص رئولوژی با سیال پایه روغنی مقایسه شد. سیال پیشنهادی نسبت به سیال پایه روغنی بازدارندگی خوبی به همراه داشته و خواص رئولوژی خوبی به همراه دارد.

- از طریق برآورد هزینه ساخت، مشاهده می‌شود استفاده از سیال حفاری گلايکولی علاوه بر اینکه برای حفظ محیط زیست مناسب می‌باشد از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد.
- در خلال آزمایش‌ها و استفاده از گلايکول در مراحل مختلف کار نشان داد که گلايکول‌های قابل حل در آب، در دمای آزمایشگاه خاصیت انحلال خیلی خوبی در آب دارد و به آسانی در آب حل می‌شود.

۲-۵ پیشنهادها

مستند به مطالعات صورت گرفته پیشنهادها زیر ارائه می‌گردند:

- در حفاری چاه‌های میادین نفت و گاز دمای ابری شدن گلايکول به گونه‌ای تنظیم که سیال هنگام خروج از نازل‌های مته ابری شود تا گلايکول بیش‌ترین عملکرد را داشته باشد. با توجه به اینکه دمای اعمال شده توسط دستگاه تورم سنج به نمونه‌های آزمایشی تدریجی می‌باشد لذا پیشنهاد می‌شود در صورت امکان پیش از اینکه سیال در دستگاه تورم سنج قرار داده شود و آزمایش انجام گیرد به سیال دمای متناسب با دمای مورد نظر داده شود تا عملکرد گلايکول به بیش‌ترین مقدار خود برسد و تأثیر گلايکول به طور واضح‌تری دیده شود و به شرایط واقعی نزدیک‌تر باشد.
- در دماهای ابری شدن کم و زیاد، تأثیر گلايکول در جلوگیری از تورم قرص‌های شیلی مورد مقایسه و مطالعه قرار گیرد.
- سیال پیشنهادی در جلوگیری از تورم دیگر سازندهای شیلی میدان مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد تا در صورت امکان تعداد فرمولاسیون‌های به‌کاربرده شده در میدان کاسته شود و از لحاظ زمانی و اقتصادی صرفه‌جویی صورت گیرد.

- جهت تأمین نیازهای مورد انتظار سیال در عمق‌های مختلف و دماهای مختلف نیاز به تغییر درصد مواد به‌کاربرده شده است. لذا برای نمونه‌های چند چاه سیال پیشنهادی در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گیرد و مطابق با نتایج حاصل شبکه عصبی طراحی شود تا برای حفر چاه‌های جدید در میدان مورد مطالعه بهینه‌ترین فرمولاسیون سیال پیش‌بینی شود.
- تأثیر سیال پیشنهادی در آسیب سازند تولیدی مورد مطالعه قرار گیرد تا در صورت نیاز فرمولاسیون سیال پیشنهادی بهینه‌سازی شود.
- با توجه به اینکه هدف این تحقیق بهینه‌سازی خواص رئولوژی نیست لذا بهینه‌سازی آن پیشنهاد می‌شود.

پیوست‌ها

پیوست یک

محاسبه مقدار کلسیم کلرید موجود در آب نمک مورد استفاده در فرمولاسیون سیال پایه روغنی.

برای محاسبه مقدار کلسیم کلرید خالص از موازنه جرم رابطه (یک-۱) استفاده شد و مقدار کلسیم کلرید خالص بکار برده شده محاسبه شد.

$$m_{H_2O} + m_{CaCl_2} = m_{fluid} \quad (\text{یک-۱})$$

$$m = \rho v \quad (\text{یک-۲})$$

$$\rho_{H_2O} v_{H_2O} + \rho_{CaCl_2} v_{CaCl_2} = \rho_{fluid} v_{fluid} \quad (\text{یک-۳})$$

در رابطه (یک-۳) ρ_{H_2O} دانسیته آب، v_{H_2O} حجم آب، ρ_{CaCl_2} دانسیته کلسیم کلرید و v_{CaCl_2} حجم کلسیم کلرید محلول می باشد.

در محاسبات چگالی آب 1 g/ml و چگالی کلسیم کلرید 2.15 g/ml در نظر گرفته شد و دانسیته آب نمک $83/5 \text{ pcf}$ به $1/34 \text{ g/ml}$ تبدیل شد. حجم آب نمک مورد استفاده در فرمولاسیون سیال پایه روغنی هم 140 سانتیمتر مکعب می باشد. از طریق اعمال مقادیر پارامترها در رابطه (یک-۳) به صورت رابطه (یک-۴) تبدیل شد.

$$1 v_{H_2O} + 2.15 v_{CaCl_2} = (1.34) \times 140 \quad (\text{یک-۴})$$

مجموع حجم آب و کلسیم کلرید برابر 140 سانتیمتر مکعب می باشد.

$$v_{H_2O} + v_{CaCl_2} = 140 \quad (\text{یک-۵})$$

از طریق رابطه می‌توان نوشت:

$$1 (140 - v_{CaCl_2}) + 2.15 v_{CaCl_2} = 1.34 \times 140 \quad (\text{یک-۶})$$

از حل رابطه (یک-۶) حجم کلسیم کلرید مصرفی برابر با ۴۱/۳۹ سانتیمتر مکعب محاسبه شد. برای به دست آوردن جرم از رابطه (یک-۲) استفاده شد که برابر با ۸۸/۹۹ گرم محاسبه شد.

- [1] Steiger P., Leung P., (1992), "Quantitative Determination of the Mechanical Properties of Shales", **J. of SPE Drilling Engineering**., Volume 7, Number 3 pages 181-185.
- [2] Chenevert M, Pernot V., (1998), "Control of Shale Swelling Pressure Using Inhibitive Water-Base Muds", SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Number of Pages 11, New Orleans, Louisiana, USA.
- [3] Caenn R, Darley H, Gray G R., (2011), "**Composition and properties of drilling and completion fluids**", Sixth Edition, Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, USA, pages 65-66.
- [4] Azar J.J, Robello S., (2007), "**Drilling Engineering**", PennWell Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, pages 45-47.
- [5] Lyons W.C, Plisga G.J., (2011), "**Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering**", Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, USA, chapter 4, page 115.
- [6] Patel A, Stamatakis E, Young S, Friedheim J., (2007), "Advances in Inhibitive Water-Based Drilling Fluids-Can they Replace Oil-Based Mud ?", SPE International Symposium on Oilfield Chemistry Conference, Number of Pages 8.Houston. Texas, USA.
- [7] Reid P.I, Elliott G.P, Minton R.C, Chambers B.D, Burt D.A., (1993), "Reduced Environmental Impact and Improved Drilling Performance With Water-Based Muds Containing Glycols", SPE/EPA Exploration & Production Environmental Conference, pages 453-463, San Antonio, Texas, USA.
- [8] Clark R.K, Scheuerman R.F, Rath, Van Laar H.G., (1976), "Polyacrylamide/Potassium-Chloride Mud for Drilling Water-Sensitive Shales", **J. of Petroleum Technology**, Volume 28, Number 6, pages 719-727.
- [9] Brady M.E , B Craster, Getliff J. M, Reid P. I., (1998), "Highly Inhibitive, Low-Salinity Glycol Water-Base Drilling Fluid For Shale Drilling In Environmentally

Sensitive Locations”, SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Number of Pages 10, Caracas, Venezuela.

[10] Bland R.G, Smith G.L, Hughes B, Eagark P, Unocal., (1995), "Low Salinity Polyglycol Water-Based Drilling Fluids as Alternatives to Oil-Based Muds", SPE/IADC Drilling Conference, pages 405-418 Amsterdam, Holland.

[11] Devereux S, (1998), "**Practical Well Planning & Drilling Manual**" PennWell Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, page 224.

[12] Aaton M.S, Elliott G.P., (1994), "Water-Based Glycol Drilling Muds: Shale Inhibition Mechanisms" European Petroleum Conference, pages 107-113, London, UK.

[13] Samaei S.M, Tahmasbi K., (2007), "The Possibility of Replacing Oil-Based Mud With the Environmentally Acceptable Water-Based Glycol Drilling Mud for the Iranian Fields", SPE E&P Environmental and Safety Conference, Number of Pages 11, Galveston, Texas, USA.

[14] Donham F, Young S., (2009) "High Performance Water Based Drilling Fluids Design", Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Number of Pages 14 Ravenna, Italy.

[15] Saki Y, Dinarvand N, Habibnia B, Shahbazi K, (2010), "Experimental Investigation of Possibility of Replacing Oil-Based Muds With Environmentally Friendly Water-Based Glycol Muds in Maroon Oil Field", Trinidad and Tobago Energy Resources Conference, Number of Pages 13, Port of Spain, Trinidad.

[16] Deville P, Fritz B, Jarrett M, (2011), "Development of Water-Based Drilling Fluids Customized for Shale Reservoirs", **J. of SPE Drilling & Completion**, Woodland, Texas, USA, Volume 26, Number 4, pages 484-491.

[17] Hanyi Z, Zhengsong Q, Weien H, Caojie., (2013), "Successful Application of Unique Polyamine High Performance Water-Based Drilling Fluid in Bohai Bay Shale Formations", International Petroleum Technology Conference, Number of Pages 12, Beijing, China.

[18] M-I SWACO - Schlumberger, (1998), "**Drilling Fluid Manual**", Schlumberger, chapter 4, part B, pages 1-12.

[19] Bland R.G, Hughes B., (1994), "Quality Criteria in Selecting Glycols as Alternatives to Oil-Based Drilling Fluid Systems", Second International Conference on Health, Safety & Environment In Oil & Gas Exploration & Production, pages 399-411, Jakarta, Indonesia.

[20] Han S.K, Jhun B.J, (1984), "**Effect of Additives on the Cloud Point of Polyethylene Glycols**", College of Pharmacy, Basan National University, Busan, Korea, Arch. Pharm, Res. Vol 7, No 1.

[21] ASME Shale Shaker Committee., (2011), "**Drilling Fluids Processing Handbook**", Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, USA, pages 33-34.

[۲۲] ساکی ی.، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد "بررسی آزمایشگاهی سیال حفاری پایه-آبی با قابلیت عملکرد بالا در حفاری شیل ها و مارل های فعال"، دانشگاه صنعت نفت و دانشگاه کرتین.

[23] Fann Instrument Company., (2013), "**Model 35 Viscometer Instruction Manual**", Houston, Texas, USA 5-9.

[24] Bourgoyne A.T, Millheim K.K, Chenevert M.E, Young F.S., (1986), "**Applied Drilling Engineering**", Society of Petroleum Engineers Textbook Series, page 138.

[25] Fann Instrument Company., (2011), "**Roller Oven Instruction Manual**" Houston, Texas, USA, pages 5-6.

[26] Fann Instrument Company., (2013), "**600 °F High Temperature Aging Cell Instruction Manua** " Houston, Texas, USA, page 5.

[27] Ofite Company., (2013), "**Dynamic Linear Swellmeter with Compactor Software Version 3.07 Instruction Manual**" Houston, Texas, USA, pages 2-27.

[28] Fann Instrument Company., (2013) "**Series 300 LPLT Filter Press (API Filter Press)**" Houston, Texas, USA, pages 1-4.

[29] Fann Instrument Company., (2012), "**High-Pressure, High-Temperature Filter Press Instruction Manual**", Houston, Texas, USA, pages 9.

[30] Fann Instrument Company., (2012), "**Mixers & Shearing Devices for Preparation of Drilling Fluids**", Houston, Texas, USA, page 1.

[۳۱] عاقبتی ر., (۱۳۸۷) "معرفی یک میدان: طرح توسعه میدان آزادگان" نشریه فنی تخصصی اکتشاف و تولید شرکت ملی نفت ایران، شماره ۵۱، ص ۶-۸.

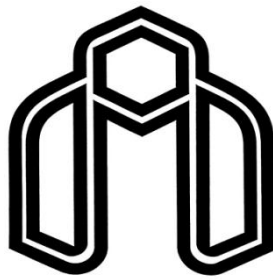
[۳۲] مدیریت برنامه ریزی تلفیقی., (۱۳۸۷) "طرح ها و پروژه های توسعه ای /بخش بالادستی: شرکت مهندسی و توسعه نفت" نشریه فنی تخصصی اکتشاف و تولید شرکت ملی نفت ایران، شماره ۵۱، ص ۱۱-۱۲.

[۳۳] علیزاده ب، سعادت ج، صمصامی ج، حسینی س.ج، گندمی ا.ر، (۱۳۹۰) "مطالعات نفت های مخازن بورگان و گدوان در میدان نفتی آزادگان با استفاده از روش کروماتوگرافی" سی امین گردهمایی علوم زمین، تعداد صفحات ۷، تهران، ایران.

Abstract

The aim of this research is Investigation of Water-based Glycol Mud (WBGM) performance on Fahliyan and Gadvan formations of Azadeghan oil field. Before design of WBGM for this formations, base fluids were tested on bentonite samples for determination of the best type of salt and representation of glycol performance. Results represented KCl has better performance in reduction of swelling in comparison to NaCl salt. Also glycol base fluid test, displayed the reduction of swelling. After base fluids tests, WBGM was designed and tested on formation samples of Azadeghan field. Results prove the suggested fluid reduces swelling in WBGM.

Keywords: Oil-based muds, Water-based glycol muds, Cloud point temperature, Unit layer of clay, Clay hydration and Cation exchange.



Shahrood University

School of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering

**Investigation of ethylene glycol alcohol application in water-based
drilling fluids to prevent shale swelling in laboratory scale**

(case study: Azadeghan Oil Field)

Mahmood Pirqarehbaghi

Supervisors

Dr. B. Tokhmchi

Dr. M.M. Eskandari

September 2013