

## بررسی تاثیر هیدروژل ها بر روی رئولوژی سیال حفاری پایه آبی در جایگزین کردن سیال پایه روغنی

میلاذ سلیمانی<sup>۱</sup>، کتایون رضایی پرتو<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، تهران، ایران

۲- استادیار پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: rezaeepartok@ripi.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۱

### چکیده

سیالات پایه روغنی خطرات بسیاری زیادی برای محیط زیست دارند. پایه اصلی این سیالات گازوییل می باشد که به نسبت با مواد شیمیایی دیگر مخلوط می شود تا رئولوژی مناسب یک سیال حفاری را دارا باشد. در حین حفاری یک چاه نفت پسماند های حفاری ممکن است چه از طریق چاه و چه از سطح باعث آلودگی زیست محیطی شوند، به گونه ای که حجم زیادی از مواد شیمیایی خطرناک از سطح وارد سفره های آبی منطقه حفاری می شود. در این مطالعه به امکانسنجی و آزمایشات لازم جهت استفاده از هیدروژل ها با هدف ساخت یک سیال پایه آبی بدون ضرر برای محیط زیست و جایگزینی آن به جای گل های پایه روغنی در یکی از میدانهای نفتی واقع شده در جنوب کشور پرداخته شده است، بطوریکه سیال حفاری باید تمام شرایط جهت حمل خرده های حفاری، ایجاد فشار هیدرو استاتیک مناسب چاه، دیواره سازی، جلوگیری از فعال سازی شیل ها را دارا باشد. بدین صورت که ابتدا پارامترهای رئولوژی گل بدون حضور هیدروژل اندازه گیری شده و پس از آن مقادیر متفاوت از این هیدروژل را در ساخت گل استفاده نموده و مجدداً پارامترهای گل حفاری را اندازه گیری می کنیم.

### کلمات کلیدی

"محیط زیست"، "سیالات پایه روغنی"، "رئولوژی"، "هیدروژل"

## The Effect of Hydrogels on the Rheology of Water Base Drilling Fluid in Oil Base Fluid Replacement

Milad Soleimani<sup>1</sup>, Katayoon Rezaeeparto<sup>2\*</sup>

1. Msc Student, Damavand Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2\*. Assistant professor, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

\*Email Address: rezaeepartok@ripi.ir

### Abstract

Oil base fluids pose many hazards to the environment. The core of these fluids is gas oils, which are mixed with other chemicals to provide the proper rheology of a drilling fluid. During the drilling of an oil well, drilling waste may contaminate both the well and the surface, so that large volumes of hazardous chemicals enter the aquifers from the surface. In this study, we investigate the feasibility of using hydrogels for the purpose of making an environmentally friendly aqueous base fluid and replacing it with an oil base fluid in one of the oil fields located in the south of the country, The drilling fluid must have all the requirements for remove cuttings, creating the proper hydrostatic pressure for the well, maintain well bore stability, preventing shale activation. First, the rheological parameters of the mud fluid were measured without the presence of hydrogels, and then we used different amounts of this hydrogel in the mud production and again, we measured the drilling mud parameters.

### Keywords

"Environment", "Oil base fluid", "Rheology", "Hydrogel"

## ۱- مقدمه

مقادیر متفاوت از این هیدروژل را در ساخت گل استفاده نموده و مجدداً پارامترهای گل حفاری را اندازه گیری می کنیم (سلیمانی، ۱۳۹۸).

## ۲- هیدروژل

هیدروژل ها شبکه های پلیمری سه بعدی با اتصالات عرضی هستند که قابلیت جذب بسیار زیاد آب را حتی زیر فشار دارند. این ترکیبات بدون انحلال می توانند مقدار زیادی آب را جذب نمایند. هیدروژل ها به روش شیمیایی و فیزیکی شبکه می شوند (Punnida, 2018). توجه روز افزون به هیدروژل های فیزیکی به دلیل راحتی نسبی فرایند و نبود شبکه ساز در سنتز آن هاست، در حالی که انواع شیمیایی آن به دلیل استحکام مکانیکی خوب مورد توجه قرار می گیرد (خوئی، ۱۳۹۱). امروزه استفاده از هیدروژل ها به عنوان فناوری جدید جهت ازدیاد برداشت (EOR) در کشور های توسعه یافته از اهمیت فراوانی برخوردار است. از مشکلات اساسی در حفاری چاه های نفت و گاز در مدت طولانی، تولید آب اضافی است که باعث ایجاد مشکلات فراوانی در عرصه تولید می شود (مجتهدی، ۱۳۸۴). برای کاهش تولید آب اضافی و افزایش تولید هیدرو کربن ها، فناوری و راهکار های مختلفی استفاده می شود که یکی از این روش تزریق هیدروژل به ویژه هیدروژل های نانو کامپوزیتی بر پایه پلیمرهای طبیعی چون نشاسته، کربوکسی متیل سلولز و زانتان می توان اشاره کرد. نه تنها در زمینه ازدیاد برداشت، بلکه در بحث سیالات حفاری نیز امکان استفاده از هیدروژل ها می باشد (جمشیدی، ۱۳۹۶).

## ۳- آزمایش های تعیین رئولوژی

در بحث تعیین و بهینه سازی رئولوژی یک سیال حفاری، پارامترهایی وجود دارد که هر کدام از این ها یکی از شرایط سیال حفاری را کنترل می کند. این پارامترها شامل وزن مخصوص، PH، عصاره گل (Water Lost)، اندود گل (Mud Cake)، ویسکوزیته پلاستیکی (Plastic Viscosity)، نقطه واروی (Yield Point) و خاصیت ژله ای (Gel Strength) می باشد. لذا یک گل مشابه گل چاه می سازیم و مقادیر مختلف هیدروژل را به آن اضافه می کنیم و مجدداً تمام تست های مربوط به پارامترهای رئولوژی را می گیریم.

## • محاسبه تغییرات وزن مخصوص گل حفاری

برای محاسبه وزن مخصوص، از دستگاه ترازو (Mud Balance) استفاده می شود. با اضافه کردن مقادیر مختلف هیدروژل، به ثبت و بررسی تغییرات وزن مخصوص می پردازیم.

جدول ۱- تغییرات وزن مخصوص

وزن گل (PCF)	نوع گل حفاری
۷۲	نمونه واقعی گل چاه
۷۲	نمونه گل با ۰.۱ گرم هیدروژل
۷۲	نمونه گل با ۰.۵ گرم هیدروژل

گل حفاری سیالی است که از ترکیب یک مایع همچون آب و یا گازوئیل و یا یک گاز با مواد افزودنی دیگر تشکیل شده و برای حمل و انتقال مواد حفر شده در سیستم های حفاری، به سطح زمین از آن استفاده می گردد (ابراهیم زاده، ۱۳۸۵). همچنین از آن برای روان سازی و خنک کردن مته ی حفاری، پاک سازی چاه های حفر شده، کنترل فشار و بهبود عملکرد سیمان حفاری و بالابردن کارایی ابزار در حفره چاه استفاده می کنند (Anvaripour, 2005). یکی از مهم ترین و کاربردی ترین استفاده از گل روغنی، زمان حفاری سازند هایی است که از شیل تشکیل شده اند. شیل ها به دلیل ویژگی های خاص خود عامل بسیاری از مشکلات در حین عملیات حفاری می باشند (Zaferanieh, 2003). برخی از عوامل مکانیکی مثل فشار گل حفاری، تنش های حرارتی، حرکت رشته حفاری (ضربه زدن و مکش) و یا حرکت پلاستیکی شیل و عوامل شیمیایی مثل آبگیری یا دفع آب، می توانند باعث تغییر شکل و یا تخریب شیل ها و در نهایت ایجاد مشکلات در عملیات حفاری شوند. زمانی که آب در این سازند ها نفوذ کند، به سرعت متورم می شوند و پس از آن شروع به ریزش می کنند. سیال پایه روغنی به دلیل ویژگی های رئولوژی منحصر به فرد، امکان آب گیری و تورم را از شیل ها گرفته و سبب پایداری دیواره چاه می شود (Shadizadeh, 2005). از آنجایی که سیالات پایه روغنی خطرات زیست محیطی فراوانی دارند، امروزه صنعت حفاری به دنبال جایگزین مناسبی برای این گونه سیالات پر مخاطره است. یکی از راهها، استفاده از مواد پلیمری و نانو ذرات در سیال پایه آبی است که تمام پارامترهای مورد نیاز چاه و امکان بهینه سازی این پارامترها وجود داشته باشد (Bourgone, 1986). در بهینه سازی پارامترهای گل محدودیت هایی وجود دارد بگونه ایی که سیال حفاری باید بتواند تمام شرایط جهت حمل کننده ها، ایجاد فشار هیدرو استاتیک مناسب چاه، دیواره سازی، جلوگیری از فعال سازی شیل ها و ... را دارا باشد. لذا استفاده از موادی چون پلیمر ها و هیدروژل ها این کمک را به ما می کنند تا با استفاده از آن بتوان پارامتر های ایده آل را در سیال حفاری ایجاد کرد بدون آن که تغییری بر روی دیگر پارامترها داشته باشد (Bayer, 1972). در این مطالعه تاثیر هیدروژل (FG BEANS) بر روی رئولوژی گل حفاری یکی از میدان های نفتی جنوب مورد بررسی قرار گرفته است (Nisoc, 1986). در مبحث بهینه سازی رئولوژی گل باید به گونه ایی عمل نمود که تمام پارامترهای لازم برای شرایط چاه در نظر گرفته شود. پارامتر هایی همچون قدرت حمل کننده ها، معلق نگه داشتن کننده ها، ویسکوزیته سیال و قطر اندود گل و میزان از دست دادن عصاره گل در تعیین نوع مواد استفاده شده در تهیه گل حفاری تاثیر دارد (قرقانی، ۱۳۹۳). با استفاده از هیدروژل ها میتوان مقدار خروج عصاره گل (WATER LOST) و قطر اندود گل و دیگر پارامترهای گل حفاری را تغییر داد. هیدروژل ها شبکه های پلیمری سه بعدی با اتصالات عرضی هستند که قابلیت جذب بسیار زیاد آب را حتی زیر فشار دارند. در این مطالعه به تاثیر هیدروژل بر روی پارامترهای سیال حفاری می پردازیم. در ابتدا پارامترهای رئولوژی گل بدون حضور هیدروژل (FG BEANS) اندازه گیری شده و پس از آن

این پارامترها را ابتدا بدون استفاده از هیدروژل اندازه گیری کرده و سپس با مقادیر مختلف از حضور هیدروژل مجدداً اندازه گیری می کنیم.

#### جدول ۳- تغییرات مقادیر ویسکوزیته پلاستیکی

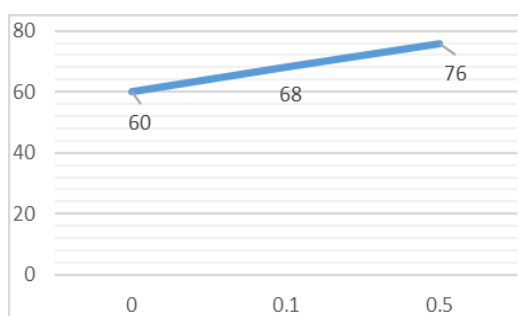
، نقطه واروی و خاصیت ژله ایی

نوع گل حفاری	PV	YP	GS
نمونه واقعی گل چاه	۱۶	۳۹	۱۶/۱۹
نمونه گل با ۰.۱ گرم هیدروژل	۱۹	۴۰	۱۸/۲۱
نمونه گل با ۰.۵ گرم هیدروژل	۲۲	۴۳	۲۴/۳۰

جدول ۳ به خوبی بیانگر تاثیر حضور هیدروژل بر روی پارامترهای حمل کنده ها در حالت استاتیک و دینامیک می باشد. خاصیت ژله ای (Gel Strength) و ویژگی از سیال حفاری است که توانایی معلق نگه داشتن کنده ها در حالت استاتیک را بیان می کند. همچنین نقطه واروی سیال نیز توانایی سیال در حمل کنده ها در وضعیت دینامیک را بر عهده دارد. با توجه به داده های خروجی آزمایش، می توان دریافت که با افزایش مقادیر حجمی هیدروژل، قابلیت حمل کنده ها در وضعیت دینامیک و استاتیک بیشتر می شود (ابراهیم زاده ۱۳۸۵).

#### • تغییرات ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته ظاهری سیال همان مقاومت سیال در مقابل جاری شدن است. برای ثبت ویسکوزیته ظاهری، حجم ثابت سیال حفاری را از یک ارفیس (قیف مارش) عبور می دهند. مدت زمان عبور کامل سیال را به عنوان ویسکوزیته ظاهری در نظر می گیرند (موسوی، ۱۳۹۷). در این آزمایش، مقادیر مختلفی از هیدروژل را به سیال حفاری اضافه کرده و ویسکوزیته ظاهری را ثبت می نماییم و نمودار شکل ۱ بیانگر افزایش این پارامتر می باشد.



شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته ظاهری

#### ۴- نتایج آزمایشات

با توجه به آزمایش های انجام شده بر روی گل حفاری در یکی از میداین جنوب کشور، ملاحظه می شود که اضافه کردن مقادیر مختلف هیدروژل باعث تغییر پارامترهای حفاری می شود که عبارت اند از:

#### • محاسبه تغییرات عصاره گل (Water Lost) و اندود گل (Mud Cake) با دستگاه فیلتراسیون استاندارد API

برای محاسبه این دو پارامتر باید با فشار ۱۰۰ پام و مدت زمان سی دقیقه نمونه ها را مورد آزمایش قرار داد تا مقدار عصاره خارج شده و ضخامت اندود گل را بتوان اندازه گیری کرد.

نوع گل حفاری	مقدار عصاره گل	مقادیر اندود گل
نمونه واقعی گل چاه	۱۲ سی سی	۱ میلی متر
نمونه گل با ۰.۱ گرم هیدروژل	۱۱ سی سی	۱.۵ میلی متر
نمونه گل با ۰.۵ گرم هیدروژل	۷ سی سی	۲ میلی متر

جدول ۲- تغییرات مقادیر عصاره و اندود گل حفاری

همانطور که از جدول ۲ مشاهده می شود، افزایش مقادیر هیدروژل سبب می شود تا مقدار عصاره کمتری از گل حفاری تحت فشار هیدرواستاتیک درون چاه خارج شود و در ضمن حضور هیدروژل سبب می شود تا اندود گل ضخیم تری بر روی دیواره چاه تشکیل شود.

#### • محاسبه تغییرات ویسکوزیته پلاستیکی (PV) و نقطه واروی سیال (YP) و خاصیت ژله ای (GS)

خواصی چون ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واروی، و خاصیت ژله ای با دستگاهی به نام VG METER اندازه گیری می شود. در این دستگاه مقاومت فنر در برخورد با سیال در حال گردش در دور های مختلف اندازه گیری می شود. هر یک از این خواص، ویژگی خاصی از سیال را نشان می دهند (وطنی، ۱۳۸۵). ویسکوزیته پلاستیکی مقاومت سیال در مقابل جاری شدن را بیان می کند: [۱] هر چه این مقدار بیشتر باشد سیال نیاز به نیروی بیشتری جهت جاری شدن دارد. نقطه واروی نیز توانایی حمل کنده ها در حالت دینامیک به ما نشان می دهد: [۲] و در نهایت خاصیت ژله ای نیز توان معلق نگه داشتن ذرات در حالت استاتیک را نشان می دهد: [۳].

$$PV = \theta_{F..} - \theta_{P..} \quad (1)$$

$$Yield = \theta_{P..} - PV \quad (2)$$

$$Gel = \theta_F / \theta_P \quad (3)$$

مقاومت فنر دستگاه به ازای ۶۰۰ دور در دقیقه  $\theta_{F..}$

مقاومت فنر دستگاه به ازای ۳۰۰ دور در دقیقه  $\theta_{P..}$

مقاومت فنر دستگاه به ازای ۶ دور در دقیقه  $\theta_F$

مقاومت فنر دستگاه به ازای ۳ دور در دقیقه  $\theta_P$

بودن گردش سیال حفاری) و حالت دینامیک (در گردش بودن سیال حفاری) است.

#### ۵- نتیجه گیری

هدف اصلی این مطالعه، امکان سنجی و انجام آزمایشات سیال حفاری به جهت استفاده از هیدروژل ها برای جایگزینی سیال پایه آبی به جای سیال پایه روغنی می باشد. یکی از موارد استفاده از سیال پایه روغنی، هنگام برخورد به لایه های شیلی است.

نتایج به دست آمده، موید کارکرد درست و تاثیر گذار هیدروژل بر روی گل حفاری است، به گونه ای که بدون تاثیر در پارامترهایی چون فشار هیدرواستاتیک، سبب جلوگیری از نفوذ عصاره گل حفاری به سازند، دیواره سازی بهتر، تمییز سازی بهتر چاه و معلق نگه داشتن بهتر ذرات می شود که می توان با استفاده از هیدروژل در سیال پایه آبی جایگزینی مناسب برای سیال های پایه روغنی در نظر گرفت تا از آلودگی های محیط زیستی جلوگیری شود.

#### • کاهش میزان خروج عصاره گل حفاری

با توجه به جدول ۲، با افزایش مقدار هیدروژل در گل حفاری، مقدار کمتری از آب سیال حفاری وارد سازند می شود و این امر در قسمت هایی از چاه که از شیل تشکیل شده اند سبب جلوگیری از ریزش شیل ها می شود، زیرا با ورود آب باعث فعال شدن شیل ها و در نهایت منجر به ریزش آن ها می شود.

#### • افزایش ضخامت اندود گل

افزایش به اندازه و مناسب اندود گل سبب می شود تا دیواره چاه از پایداری بهتری برخوردار شود و از ریزش رس ها جلوگیری می کند.

#### • قدرت حمل کنده ها در حالت استاتیک و دینامیک

یکی از پارامترهای مهم در ساخت سیال حفاری، قدرت معلق نگه داشتن ذرات و کنده های چاه در حالت استاتیک و دینامیک می باشد. همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می شود، با افزایش مقدار هیدروژل در گل حفاری، خاصیت ژله ای و نقطه واروی بیشتر می شود، که سبب معلق نگه داشتن بهتر ذرات جامد و کنده ها در حالت استاتیک (قطع

#### منابع

- ابراهیم زاده، ک.، ۱۳۸۵. اصول مهندسی حفاری، انتشارات صانعی شهپرزادی.
- موسوی، م.، ۱۳۸۷. فناوری حفاری زیر فشار تعادل مخزن و هرزروی سیال اولین کنگره ملی صنعت حفاری ایران، تهران.
- جمشیدی، ه.، ۱۳۹۶. مروری بر هیدروژل ها: انواع، روش های تهیه و کاربردها، تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.
- وطنی، ع.، موسوی، م.، ۱۳۸۵. فناوری حفاری با فشار زیر تعادلی، اولین کنگره مهندسی نفت ایران، تهران، انجمن مهندسی نفت ایران.
- خوئی، س.، ۱۳۹۱. هیدروژلها به عنوان حامل در سامانه های کنترل شده، تهران، دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده شیمی، گروه شیمی پلیمر.
- قرقانی، س.، مقدسی، ج.، ۱۳۹۳. بررسی آسیب های سازند در حفاری UBD و هرزروی، نخستین کنفرانس بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی با رویکرد توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس.
- مجتهدی، م.، ۱۳۸۴. تحقیق در خصوص بهینه ترین روش حفاری فروتعادلی در سازند آسماری در میدانهای گچساران، مارون و لب سفید، پروژه تحقیقاتی، پژوهشگاه صنعت نفت.
- سلیمانی، م.، رضایی پرتو، ک.، ۱۳۹۸. تاثیر دانه های پلیمری هوشمند بر روی رئولوژی گل حفاری چاه ۰۰۸ میدان چلینگر، همایش بین المللی توسعه فناوری در نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی.
- Bourgone, Jr. AT. et al. 1986. Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series, ISBN: 1555630014.
- NISOC, 8211, Ahwaz & Bibi Hakimeh Reservoir study, 1998.
- Shadizadeh, S.R., Zaferanieh, M. 2005. The Feasibility Study of Using Underbalanced Drilling in Iranian Oil Fields, SPE/IADC 97317.
- Punnida, N., Akimasa, M. et al. 2018. Controlling the degradation of an oxidized dextran-based hydrogel independent of the mechanical properties, Carbohydrate Polymers, DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.09.081.
- Beyer, A.H., Millhone, R.S. and Foote, R.W. 1972. Behavior of Foam as a Well Circulating Fluid, Paper SPE 3986, Presented at the SPE Annual Fall Meeting, San Antonio, TX.
- Anvaripour, M.A. 2005. Underbalanced Drilling Technology, MSc Seminar, University of Tehran.
- Zaferanieh, M. 2003. The Feasibility Study of Using Underbalanced Drilling In Iranian Oil Fields, MSc Thesis, Petroleum University of Technology.