

ترکیب ویژه سیال حفاری جهت چاه‌های انحرافی با فشار و دمای بالا

مجید تیمروی، شرکت ملی حفاری ایران

چکیده

مهمترین بخش در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز، حفاری آخرین حفره واقع در مخزن هیدروکربوری است. در چاه‌هایی که دما و فشار مخزن بالا باشد، تماس سیال حفاری با دیواره چاه با قطر کم، تراوایی و شرایط خاص مخزنی، باعث تغییر در خواص سیال می‌گردد. لذا حفظ صافاب و مناسب نگه داشتن خواص حرکتی سیال توسط افزاینده‌های به کار برده شده، در اولویت مهندس طراح ترکیب سیال قرار می‌گیرد. بیشترین تأثیر دما و فشار در خواص پلیمرها بروز می‌کند. لذا، میزان استفاده این مواد، مهمترین بخش طراحی سیال جهت دما و فشار بالاست. برای اینکه بتوان پلیمر بیشتری را برای حفظ صافاب با در نظر داشتن عدم افزایش گرانشی به سیال حفاری افزود، می‌توان از رقیق کننده‌ها استفاده کرد. رقیق کننده‌ها یا تینرها با کم کردن گرانشی سیال اجازه استفاده بیشتر از پلیمرها را به ما می‌دهند و خواص سیال را با شرایط مذکور مناسب می‌سازند.

واژگان کلیدی: سیال حفاری، گرانشی، صافاب، تینرها، افزاینده‌های سیال حفاری، پلیمر

مقدمه

از دیرباز حفاری چاه‌های عمیق و انحرافی یکی از مشکل‌ترین نوع عملیات حفاری بوده است. تماس نزدیک و اصطکاک بالای بین رشته حفاری و دیواره حفره‌های کم قطر^۱ و انحرافی^۲، می‌تواند بر دقت، اهمیت و حساسیت این موضوع بیافزاید.

علاوه بر عوامل مکانیکی، مهمترین عامل و بازیگر پراهمیت عملیات حفاری در شرایط فوق، سیال حفاری است. از سیال حفاری انتظار می‌رود که ابتدا کنده‌های چاه را به خوبی به بالا منتقل کند. دوم، اصطکاک بین رشته حفاری و دیواره را تا حد مطلوبی پایین آورد. سوم، در حین توقف حفاری، کنده‌ها را در خود نگه داشته، از ریزش آنها به ته چاه جلوگیری کند. چهارم، خاصیت پایدارسازی رُس‌های موجود در دیواره را داشته، از تورم لایه‌های شیل جلوگیری کند. آخرین و مهمترین خاصیت اینکه، آب‌دهی آن به دیواره کم باشد؛ یعنی، صافاب کمی داشته باشد. کم بودن میزان صافاب، بیانگر نازک بودن کیک^۳ سیال الحاقی به دیواره چاه است. این مورد، با توجه به قطر کم چاه، از آن جهت مهم است که افزایش ضخامت کیک گل حفاری و سخت شدن آن، حفره را تنگتر نموده و به گیر رشته حفاری^۴ منجر می‌شود که به دنبال آن، مشکلات زیادی در عملیات حفاری آن چاه بوجود می‌آید. [۱]

برای طراحی و تعیین ترکیب سیال حفاری که بتواند در دما و فشار بالای چاه‌های عمیق خواص گفته شده را داشته باشد، باید دقت و حساسیت زیادی صورت گیرد.

معمولاً کنترل خواص سیال در دستگاه‌های حفاری، در سطح (دمای

محیط) و فشار اتمسفر انجام می‌شود، ولی تغییر این خواص در عمق چاه بسیار مهمتر بوده و باید سیال طراحی شده، در شرایط چاه مورد بررسی قرار گیرد.

برای فهم بیشتر موضوع و درک اهمیت آن، به اختصار اثرات وارده به دو خاصیت مهم سیال در ته چاه‌های عمیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- اثر دما و فشار، بر گرانشی سیال حفاری

افزایش دما و فشار، بر گرانشی فاز مایع تمام گل‌های حفاری اثر می‌گذارد. اثر این دو، روی گل‌های امولسیون معکوس بیشتر از گل‌های پایه آبی است. اثر دما و فشار روی گرانشی گل‌های پایه آبی را می‌توان با یک ویسکومتر چرخشی دمای بالا و روی گل‌های سینتیکی با ویسکومتر چرخشی دما - فشار بالا تعیین کرد.

از معادلات API می‌توان برای بررسی اثر دما و فشار استفاده کرد [۲]:

$$\mu_e(T_2) = \mu_e(T_1)^{\left[\frac{\beta(T_2 - T_1)}{T_1 T_2}\right]} \quad (1)$$

ثابت دما (β)، باید در هر نرخ برش برای هر سیال تعیین شود:

$$\mu_e(P_2) = \mu_e(P_1)^{[\alpha(P_2 - P_1)]} \quad (2)$$

ثابت فشار (α)، باید برای هر سیال تعیین شود.

μ = گرانشی (ویسکوزیته)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (mudman_2008@yahoo.com)



P=فشار

T=دما

تغییرات گرانیروی در اثر تغییر دما، در شکل ۱- نشان داده شده است.

است؛ همچنان که ΔP_1 و ΔP_2 اختلاف فشار اعمال شده در دو حالت می باشد. [۲] جهت اختصار، از ذکر اثرات دما و فشار بر روی اصطکاک و سایر خواص سیال حفاری صرف نظر می شود.

۳- مشخصات سیال حفاری مورد نیاز برای شرایط ویژه (دما و فشار زیاد) الف) آب زد دست دادگی کم

در مواجهه با سازندهای مخزنی متخلخل^{۱۱} با تراوایی بالا، سیال حفاری باید کمترین میزان صافاب را داشته باشد. با توجه به تأثیر فشار و دمای گفته شده، کیک گل ایجاد شده در اثر این صافاب، مشکلات عدیده‌ای را برای رشته حفاری به وجود می آورد. عموماً پلیمرها، افزاینده‌های کنترل کننده صافاب در سیال هستند که می توان آنها را از لحاظ تحمل دمایی به دو دسته تقسیم نمود:

A. پلیمرهایی که تحمل دمایی بالاتر از ۲۵۰ درجه فارنهایت را دارند؛ مانند پلی آنیونیک سلولزها^{۱۲}، صمغ زانتان^{۱۳}، کربو کسی متیل سلولز کم لزجت^{۱۴}، استارچ اصلاح شده^{۱۵} و پلی اکریل آمید^{۱۶}.

B. پلیمرهایی که در دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه فارنهایت خاصیت خود را از دست می دهند؛ مانند کربو کسی متیل سلولز پرلزجت، نشاسته سیب زمینی، نشاسته گندم، صمغ طبیعی، نشاسته ذرت و صمغ گوار^{۱۷}.

حال با توجه به شرایط مورد نظر فقط می توان از پلیمرهای نوع اول (A) استفاده کرد. میزان استفاده نیز باید به میزان رفع نیاز سیال حفاری در حفظ آب آن باشد.

ب) خواص حرکتی^{۱۸} ثابت و مقاوم

خواص حرکتی مناسب شامل خاصیت حمل و حفظ کننده‌ها، ایجادافت فشار کم، نداشتن گرانیروی زیاد، خاصیت ژله‌ای مناسب و عدم اعمال وزن گردشی^{۱۹} زیاد است.

خواص حرکتی سیال حفاری به نوع و میزان افزاینده گرانیروی زای مورد استفاده در آن بستگی دارد. همانند دسته بندی قبلی، این افزاینده را نیز به دو دسته قابلیت تحمل دمایی بیشتر و کمتر از ۲۵۰ درجه فارنهایت می توان دسته بندی کرد که در شرایط چاه‌های عمیق و با دمای بالا، فقط می توان از نوع دوم با قابلیت کاربرد در دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه استفاده کرد. میزان افزودن این پلیمرها نیز بستگی به گرانیروی مورد نیاز دارد و تا اندازه‌ای است که در گرانیروی و سیالیت مشکلی ایجاد نکند. [۳]

ج) خواص مربوط به حفره‌های انحرافی شامل روانکاری مطلوب و گرانیروی ایستایی

مورد اول: در حفره‌های انحرافی به دلیل سایش مستمر رشته حفاری با دیواره چاه، اصطکاک بالایی بین این دو ایجاد می شود که سیال حفاری می باید این اصطکاک را تا حدودی کم کند. لذا، افزودن مواد روانکار به سیال، الزامی است. از طرفی، تأثیر این مواد بر روی خواص حرکتی سیال قابل توجه بوده که نباید نادیده گرفته شود.

مورد دوم، مربوط به گرانیروی سیال در وضعیت کم سرعت LSRV^{۲۰}

۲- اثر فشار و دما، بر خاصیت آب زد دست دادگی یا میزان صافاب

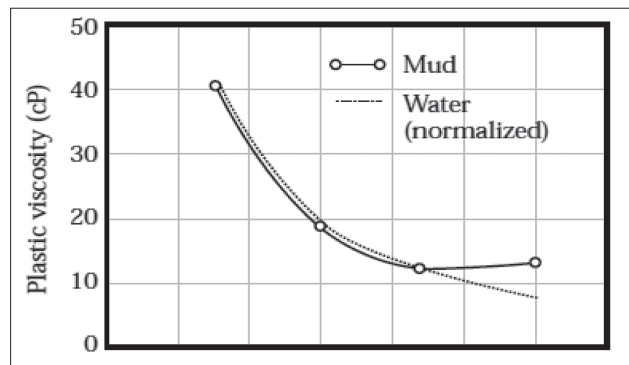
فیلتراسیون^۸، فرایند جداسازی فاز مایع یک سیال، از فاز جامد آن است که توسط عبور سیال از یک واسطه نفوذپذیر مانند ماسه سنگ یا کاغذ صافی^۹ صورت می گیرد. اگر روزه‌های واسطه نفوذپذیر به حد کافی کوچک باشند، در این صورت، تنها، فاز مایع از واسطه عبور کرده و فاز جامد بر روی آن باقی می ماند. زمانی که سیال مورد نظر، گل حفاری است، ذرات جامد می توانند شامل ذرات جامد سازند و مواد وزن افزا باشند.

فیلتراسیون توسط نشست فیلتر کیک^{۱۱} سفت با نفوذپذیری پایین بر روی سطح سازند کنترل می شود تا مانع از هجوم سیال به داخل مناطق نفوذپذیر شود.

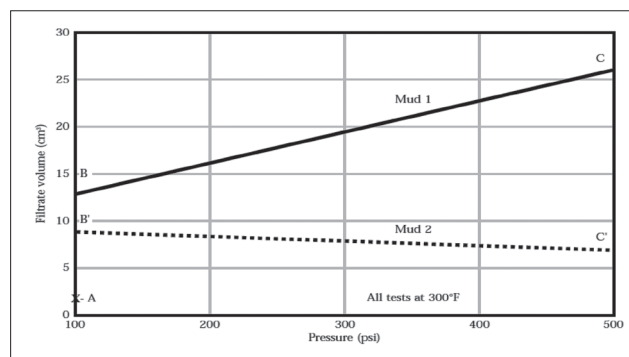
از آنجایی که فشار ستون گل بیشتر از فشار سازند است، تمایل گل برای نفوذ به مناطق نفوذپذیر امری طبیعی است. در حقیقت، گرایان فشار، گل حفاری را مجبور به نفوذ به داخل سازند می کند [۲] (معادله ۳- و شکل ۲-).

$$V_{F2} = V_{F1} \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}} \quad (3)$$

که در این رابطه: V_{F1} و V_{F2} به ترتیب حجم صافاب در حالت دوم و اول



شکل ۱ | تغییرات گرانیروی در اثر تغییر دما برای آب و گل پایه آبی [۲]



شکل ۲ | رابطه میان افزایش فشار و حجم صافاب در سیال حفاری پایه آبی [۲]

گیر لوله‌های حفاری بیشتر می‌شود. [۳]

۵- نتایج و بحث

۱. تعارض میان خواص کنترل صافاب مورد تقاضا و محدودیت استفاده از مواد پلیمری به جهت داشتن گرانروی مناسب کاملاً مشهود است و اینجاست که انتخاب نوع پلیمر و مقدار آن به دقت باید بررسی شود و طراح سیال باید آزمایش‌های اولیه ترکیب سیال ارائه شده را به تکرار مشاهده و بررسی نماید.

۲. ساخت سیال حفاری در مقیاس آزمایشگاهی و تلاش جهت کم کردن میزان صافاب در جدول ۱- آمده است که خود شاهدی بر این مدعا است. افزایه‌های مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده‌اند.

است. زمانی که عملیات پمپاژ سیال به دلایلی متوقف شود، سیال حفاری نباید به کنده‌های موجود در فضای حلقوی اجازه ته‌نشینی سریع دهد. همچنین، پدیده‌ی ته‌نشست باریت^{۱۱} در سطح زیرین انحناى حفاره یکی از مشکلاتی است که حفاره‌های غیر عمودی با آن مواجه هستند (شکل ۳-). لذا، سیال حفاری باید از وقوع این گونه مشکلات جلوگیری کرده، آنها را کاهش دهد. [۳]

لذا، خاصیتی به نام گرانروی در سرعت‌های کم برای سیال حفاری تعریف می‌شود (LSRV). این مقدار، از روی اندازه‌گیری میزان قدرت ژله‌ای سیال با دستگاه گرانروی سنج در دو سرعت ۳ و ۶ دور در دقیقه به دست می‌آید: [۲]

$$LSRV = 2 * \theta_3 - \theta_6 \quad (4)$$

۴- بیان دشواری موجود در طراحی سیال حفاری برای حفاری انحرافی مخزن متخلخل، با دمای بالا و فشار زیاد

۱) برای مقابله با تخلخل باید سیال حفاری طراحی شده بتواند کیک مقاوم و غیر قابل نفوذ بر روی دیواره چاه ایجاد کند، ضمن اینکه این کیک نباید ضخامت زیادی داشته باشد تا سبب گیر اختلاف فشاری گردد. [۳]

۲) به دلیل قطر کم چاه، پلیمرهای استفاده شده برای تأمین خواص حرکتی سیال، نباید به مقداری باشد که گرانروی را بالا برده، باعث اعمال وزن گردش معادل بالا گردند، به این دلیل که فشار هیدرواستاتیکی سیال باتوجه به عمق بالا، زیاد بوده و هرگونه افزایش فشار از طرف سیال حفاری، شکسته شدن سازند مخزن و هرزروی وسیعی را باعث می‌شود و به تبع آن، مشکلات غیر قابل جبرانی را در پی خواهد داشت.

۳) میزان صافاب سیال طراحی شده در دمای بالا و فشار زیاد باید کمترین مقدار خود را داشته باشد، به طوری که پایین‌ترین مقدار آب به سازند راه پیدا کند. برای این منظور، پلیمرهای استفاده شده باید به مقداری باشد که این مورد را برای سیال فراهم کند. [۳]

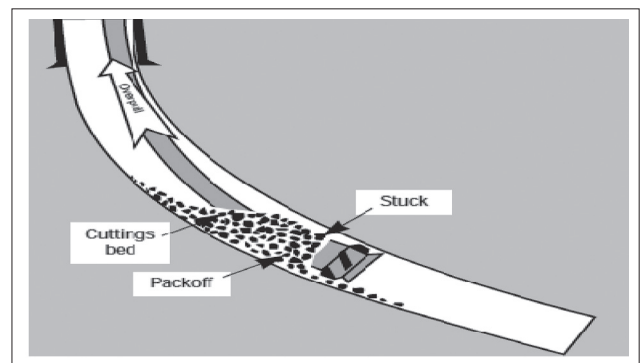
۴) سیال طراحی شده باید لایه‌های شیل موجود در سازند را نیز پایدار کند^{۱۲}، در غیر اینصورت، باتوجه به قطر چاه و فاصله کم مابین رشته حفاری و دیواره چاه، لایه‌های دارای رس و متورم، با فاز آبی سیال حفاری وارد واکنش شده، حفاره را بر رشته حفاری تنگتر می‌کنند و اینجاست که احتمال

افزایه	مورد کاربرد
آب دریا	پایه سیال
کلراید پتاسیم	پایدارکننده شیل + ایجاد شوری لازم جهت حفظ پلیمرها
پلی آتیونیک سلولز	گرانروی زا + کنترل‌کننده صافاب + پایدارکننده شیل
پتوئیت	گرانروی زا
کاستیک	قلیایی کردن سیال
پودر گرافیت	روانکار + پایدارکننده کیک گل
گلیکول	روانکار و پایدارکننده شیل
صمغ زانتان	گرانروی زا و افزایش‌دهنده LSRV

مشخصات سیالات طراحی شده بدون استفاده لیگنیت‌ها:			
مشخصات سیال با وزن ۱۰۰ pcf:			
گرانروی پلاستیکی برحسب PV برحسب cP	نقطه تسلیم (YP) برحسب Lb/100ft ²	میزان صافاب برحسب ML در شرایط (۶۰۰ psi, ۲۶۰°F)	گرانروی پلاستیکی برحسب PV برحسب cP
۲۱	۳۲	۱۳۲	۵
۲۴	۴۱	۱۰۵	۷
۲۹	۴۵	۷۲	۸
۳۸	۵۶	۳۶	۱۰
۵۳	۶۶	۱۴	۱۱
۷۶	۸۲	۸	۱۲

مشخصات سیالات طراحی شده با استفاده از لیگنیت‌ها به میزان ۶ پوند بر بشکه:			
مشخصات سیال با وزن ۱۰۰ pcf:			
گرانروی پلاستیکی برحسب PV برحسب cP	نقطه تسلیم (YP) برحسب Lb/100ft ²	میزان صافاب برحسب ML در شرایط (۶۰۰ psi, ۲۶۰°F)	گرانروی پلاستیکی برحسب PV برحسب cP
۳۴	۱۸	۱۴	۸
۳۶	۲۰	۶	۱۰
۳۹	۲۱	۴	۱۱
۴۱	۳۴	۲	۱۴

ملاحظات: اضافه بر افزایه‌های استفاده شده در جدول ۱، در سیال ساخته شده این جدول (جدول ۳-۳) از لیگنیت به‌منوان رفع‌کننده انقباض پلیمرها استفاده شده است.



شکل ۳: نمای چگونگی انباشت‌کننده‌های حفاری در انحناى انحرافی چاه و گیر رشته حفاری [۲]



در سیالات پلیمری می‌تواند میزان استفاده از آنها را بیشتر کند. متناسب با افزایش حضور پلیمرها در سیال، خاصیت کنترل صافاب آن بالاتر رفته و در حفاری سازندهای متخلخل کارایی بیشتری می‌یابد.

■ خاصیت گرانروی در دور پایین (LSRV)، یکی از مهمترین خواص سیال حفاری طراحی شده برای چاه‌های انحرافی است و نشان‌دهنده قدرت سیال برای حمل‌کننده‌ها در حالت سکون است؛ با افزایش میزان پلیمرهای مرتبط با آن، نظیر صمغ زانتان، خواص بهینه و متناسب شرایط چاه را می‌توان به سیال حفاری بخشید.

■ شرکت‌های معتبر ساخت و مهندسی سیال حفاری، جهت سیال به کار رفته در این نوع حفاری، از نام‌های تجاری استفاده می‌کنند و برای خود، ترکیب مشخص و انحصاری دارند. لذا نمی‌توان جزئی از افزایش‌های سیال مذکور را تهیه و با سایر افزایش‌ها مخلوط کرده و سیال حفاری مناسب ساخت، بلکه باید تمامی افزایش‌ها و چگونگی اختلاط و استفاده آن را از تولیدکننده‌ها درخواست کرد که لازمه این کار، توافق با شرکت‌های مذکور است.

■ یکی از مشکلات حفاری در چاه‌های عمیق و پرفشار، احتمال ورود گاز و هیدروکربن‌ها به چاه در حین حفاری است که خواص سیال حفاری را دچار دگرگونی می‌کند. لذا، در صورت امکان می‌باید تغییرات حاصله در این مورد در آزمایشگاه بررسی گردد.

■ مواد روانکار معمولاً در خواص حرکتی گل حفاری اثر دارند. لذا، باید در هر آزمایش ساخت سیال حضور داشته و خواص مجموعه کامل ترکیبات مورد بررسی قرار گیرد. ■

■ به دلیل اینکه در ایران اغلب، مشکلات سازندهای متخلخل دارای دمای بالا و فشار زیاد در چاه‌های دریا هستند، لذا پایه سیال استفاده شده بیشتر، آب دریاست، بنابراین، جهت آزمایش‌ها از آب دریا استفاده شده است. ضمن اینکه، نتایج آزمایش‌ها بعد از قراردادن سیال در دمای ۲۶۰ درجه فارنهایت و به مدت ۱۶ ساعت در گرم کن دوار حاصل می‌گردد.

نتیجه داده‌های جدول-۲: همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار پلیمرها به سیال، کاهش میزان صافاب و افزایش خاصیت LSRV حاصل می‌شود. ولی گرانروی در آن موقع به حدی است که سیال را نمی‌توان در چاه با قطر کم به کار برد و سیال ساخته شده، قابلیت پمپاژ ۲۳ نداشته، به شکل توده‌ای در آمده است.

■ برای اینکه بتوان به مقدار کافی جهت کنترل صافاب از پلیمرهای مربوطه استفاده کرد، آن‌گونه که گرانروی زیاد در سیال حادث نشود، می‌توان از رقیق‌کننده‌ها (لیگنیت)^{۲۴} استفاده کرد؛ لیگنیت‌ها یا تینرهای سیال حفاری، موادی هستند که گرانروی سیال را از راه تفکیک انعقاد پلیمرها^{۲۵}، کم کرده، ولی بر خاصیت کنترل صافاب توسط آنها اثر ناچیزی می‌گذارند، بدین‌گونه که برای ساخت سیال حفاری، ابتدا مواد گرانروی‌زا و کنترل‌کننده صافاب را به مقدار زیاد جهت کنترل صافاب به سیال افزوده، سپس تینرها جهت رقیق‌سازی به آن افزوده می‌شود. نمونه آزمایش‌ها در جدول-۳ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

■ به کاربردن لیگنیت‌ها یا همان رقیق‌کننده‌ها به‌عنوان کاهش‌دهنده گرانروی

پانویس‌ها

- | | | |
|--|---------------------|--|
| 1. Slime Hole | 10. Filter Cake | 19. ECD (Equivalent Circulation Density) |
| 2. Directional Hole | 11. Permeable | 20. Low Shear Rate Viscosity |
| 3. Mud Cake | 12. PAC | 21. Barite Sag |
| 4. Stuck Pipe | 13. Xanthan Gum | 22. Shale Stabilizing |
| 5. High Pressure-High Temperature Hole | 14. CMC-LV | 23. Pumpable |
| 6. Invert Emulsion | 15. Modified Starch | 24. Lignite |
| 7. HT-HP Rheometer | 16. PHPA | 25. De Flocculation |
| 8. Filtration | 17. Guar Gum | |
| 9. Filter Paper | 18. Rheology | |

منابع

- [1] Ross C. P., 2011 "Applied Clay Science", Volume 54, Issues 3-4, December 2011, Pages 264-273
- [2] MI-SWACO, "Drilling Fluids Engineering Manual Version 2.1. 1998, CHAPTER 4 B
- [3] Zhang J., Baker Atlas and Baker Hughes Drilling Fluids, 2006, "Ion Movement and Laboratory Technique to Control Wellbore Stability" AADE-06-DF-HO-37, Presented presentation at the AADE 2006 Fluids Conference held at the Wyndam Greenspoint Hotel in Houston, Texas, April 11-12, 2006.
- [4] Amoco, 1994, "Drilling fluids manual", Amoco Production Company.
- [5] Schlumberger Oilfield Glossary. <http://www.glossary.oilfield.slb.com>