

بررسی آزمایشگاهی تهیهی گل حفاری فوق‌سبک جهت استفاده در مخزن آسماری

عبدالصمد رحمتی*، مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی شرکت ملی نفت ایران • سیدرضا شادی‌زاده، دانشگاه صنعت نفت

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۱۲/۰۱

واژگان کلیدی:

هرزروی، حفاری زیرفشار تعادلی، حباب‌های شیشه‌ای، گل امولسیون پایه آبی، شرایط استاندارد API

از مشکلات عملیات حفاری در مناطق نفت‌خیز جنوب ایران هرزروی گل در مخزن آسماری است که علت آن استفاده از گل سنگین و وجود شکاف‌های طبیعی در مخزن آسماری است. اخیراً جهت کنترل هرزروی، حفاری زیرفشار تعادلی به کار گرفته شده اما هنوز کنترل صدمات وارده به مخزن (ناشی از مشکلات هرزروی) از مسائل مهم است. کنترل هرزروی در سازند آسماری با استفاده از مواد سبک‌کننده‌ی گل حفاری سبب جلوگیری از هرزروی می‌شود. حباب‌های شیشه‌ای^۱ موادی هستند که اخیراً در چندین منطقه‌ی نفتی دنیا جهت کاهش وزن گل به کار گرفته شده‌اند. هدف این مقاله ساخت گل حفاری در آزمایشگاه به‌همراه حباب شیشه‌ای جهت کاهش وزن گل و همچنین بررسی تأثیرات آن روی خصوصیات گل طراحی شده برای سازند آسماری است. ابتدا خصوصیات گل میدان پاریسی به‌عنوان یکی از میادین کشور که مشکلات زیادی در زمینه‌ی هرزروی داشت و گل مورد استفاده در آن گل امولسیونی پایه آبی بود تهیه شد. سپس با وسایل آزمایش گل حفاری پایه آبی در شرایط استاندارد API^۲ بهترین فرمولاسیون گل امولسیونی پایه آبی با داشتن خصوصیات مناسب تهیه گردید و پس از آن تأثیر حباب شیشه‌ای روی سیال و همچنین افزایه‌های دیگر نیز در آزمایشگاه آزمایش شد. نتایج حاصل نشان داد که حباب‌های شیشه‌ای وزن گل امولسیونی پایه آبی را تا ۴۳ پوند بر فوت مکعب کاهش داده و از نظر تغییر خصوصیات هیچ تأثیری روی سیال پایه ندارند؛ مگر اینکه درصد حباب‌های شیشه‌ای از ۵۰ درصد حجمی در سیال افزایش یابد.

مقدمه

مقابله با این پدیده امری ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از راهکارها استفاده از گل با وزن کم است که در این مقاله گل امولسیونی پایه آبی بررسی می‌شود. هرزروی گل حفاری بر اساس عوامل آن به دو نوع طبیعی و القایی (با ثانویه) تقسیم می‌شود. روش‌های مختلفی برای کنترل و از بین بردن هرزروی وجود دارد که با توجه به شدت آن، روش مناسب انتخاب می‌شود. جدول ۱- انواع هرزروی را نشان می‌دهد.

۱-۱- هرزروی طبیعی

این نوع هرزروی در سازندهایی با نفوذپذیری طبیعی و اولیه‌ی حاصل از تخلخل، درز و شکاف‌ها رخ می‌دهد. این درزها و شکاف‌ها قبل از آغاز حفاری در سازند وجود داشته‌اند.

هرزروی طبیعی در سه نوع سازند زیر رخ می‌دهد:

- سازندهایی با نفوذپذیری زیاد ماتریکس مثل شن‌ها و ماسه‌های درشت
- سازندهایی با شکاف‌ها و گسل‌های اولیه مثل سازندهای تکتونیزه در اطراف گنبد‌های نمکی و ...

هدر رفتن گل حفاری از دهانه‌ی چاه به سازند را هرزروی می‌گویند که نباید آنرا با صافاب گل که از دست رفتن آب گل حفاری است اشتباه کرد. در هرزروی همه‌ی ترکیبات گل اعم از فاز پیوسته و ناپیوسته به درون سازند هدر می‌رود. هرزروی ممکن است از دو بشکه در ساعت تا هرزروی کامل رخ دهد. هرزروی زمانی انجام می‌شود که فشار ستون هیدرواستاتیک گل از فشار سازند بیشتر شود، درز و شکاف موجود در سنگ سازند، سیال حفاری را جذب کند و هیچ سیالی برای چرخش مجدد به سطح زمین بازنگردد. سیالی که در انتهای چاه هرز می‌رود به مشکلی گران و خطرناک تبدیل می‌شود. هرزروی گل حفاری می‌تواند به ناپایداری چاه، گرفتگی لوله‌ی حفاری و کاهش کنترل چاه منجر گردد. هرزروی گل در بهترین حالت به توقف عملیات حفاری و جانشین‌سازی پر هزینه‌ی تجهیزات استفاده شده منجر می‌گردد.

۱- بررسی انواع هرزروی گل حفاری و راه‌حل‌ها

هرزروی از عوامل مهم هدر رفتن گل حفاری است و بنابراین

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (s.rahmati777@gmail.com)

■ سازندهای حاوی فضاهای غارمانند مثل سازندهای آهکی و دولومیتی

۱-۱-۱- روش‌های مقابله با هرزروی گل

تغییر دادن خواص گل حفاری به خصوص چگالی می‌تواند به رفع این مشکل کمک کند و حتی در بعضی مواقع این مشکل را به‌طور کامل رفع کند. مثلاً در این مناطق می‌توان از هوا و گاز به‌عنوان گل حفاری استفاده کرد. فایده‌ی اصلی این نوع گل‌ها اقتصادی بودن عملیات حفاری به‌علت سرعت زیاد حفاری است. از فواید دیگر آنها آسیب کمتر به سازند و صرفه‌جویی در مخارج مبارزه با هرزروی گل است. بالا آوردن کنده‌های حفاری، خنک کردن مته و لوله‌های حفاری به‌اندازه‌ی کافی و راضی‌کننده توسط گازها انجام می‌شود اما معلق نگه‌داشتن کنده‌ها، ساختن دیواره‌ی چاه و کنترل فشار سازندی توسط آنها انجام نمی‌گیرد. به‌طور کلی در سازندهایی با فشار زیاد یا سازندهای حاوی آب، از هوا و گاز به‌عنوان گل حفاری استفاده نمی‌شود. از دیگر معایب استفاده از گاز و هوا به‌عنوان گل حفاری، خطر انفجار یا آتش‌سوزی است. راه‌حل بعدی، استفاده از گل‌های با وزن کمتر است. گل‌های با وزن کم در حفاری بالای فشار تعادلی، گل‌های امولسیون هستند. به‌طور کلی در صنعت حفاری دو نوع امولسیون استفاده می‌شود؛ یکی امولسیون روغن در آب و دیگری امولسیون آب در روغن که به امولسیون معکوس معروف است. امولسیون روغن در آب جزء گل‌های پایه آبی محسوب می‌شود. در صورتی که امولسیون آب در روغن در حیطه‌ی گل‌های پایه روغنی قابل بحث و بررسی است [۲].

۱-۲- هرزروی القایی یا ثانویه

به هرزروی گل در سازندهایی با نفوذپذیری ثانویه هرزروی القایی گفته می‌شود. در اثر نیروی هیدرولیکی گل و غلبه‌ی آن بر مقاومت سازند، شکاف‌هایی در آن ایجاد می‌گردد. دلیل اصلی این نوع هرزروی ورود گل به این نوع شکاف‌هاست. وقتی چگالی شکاف‌های ثانویه معادل چرخشی گل حفاری (ECD) بیشتر از شیب شکست سازند می‌شود این نوع هرزروی ایجاد می‌گردد. از دیگر عوامل ایجاد شکاف‌های ثانویه، فشارشکن (surge pressure) است که در حین پایین رفتن لوله رخ می‌دهد. اگر لوله با سرعت زیادی پایین برود گل نیرویی به سازند وارد می‌کند که سبب شکسته شدن آن می‌شود. همچنین در اثر افزایش وزن گل یا افزایش سرعت حفاری، شکاف‌های ثانویه در سازند ایجاد می‌گردد. راه‌های جلوگیری از نفوذپذیری ثانویه و شکست سازند عبارتند از:

■ به حداقل رساندن اثرات فشار مکشی (swab) و فشار (surge)

- جلوگیری از گلی شدن مته
- کنترل سرعت حفاری برای کاهش مقدار خرده‌های حفاری در فضای حلقوی و انطباق نرخ نفوذ حفاری (ROP) با مقدار گالن در دقیقه (GPM) برای کاهش فشار ایجاد شده در فضای حلقوی
- به حداقل رساندن چگالی معادل چرخشی گل حفاری با کنترل خواص رئولوژی گل به‌خصوص کاهش گرانیروی آن
- کنترل صافاب گل
- کاهش مقدار بشکه‌ای که در دقیقه پمپ می‌شود
- عدم اعمال پس فشار (back pressure) روی فضای حلقوی از طریق چوک مانی فولد [۲]

۱-۲-۱- روش‌های مقابله با هرزروی ثانویه

- برای مقابله با هرزروی ثانویه سه روش وجود دارد:
- استفاده از مواد کنترل هرزروی (LCM) در گل حفاری
- استفاده از ماده‌ای مسدود کننده به نام مگنست
- سیمان کاری منطقه‌ی هرزروی [۳]

۲- حفاری در مخازن تخلیه شده و مستعد هرزرفت گل حفاری

در چند سال اخیر نیاز به حفاری و تولید بیشتر از مخازنی که طی سالیان متوالی تا حد تخلیه از آنها برداشت شده افزایش یافته است. حفاری این میادین نیازمند استفاده از گل حفاری با چگالی کم و وزن مخصوص در حد $s.g^y=1$ (۳۳/۸ پوند بر گالن) مثل بخار، فوم و سیالات هوازده یا نیتروژن دار شده است. این نوع گل‌ها سبب حداکثر شدن استخراج می‌شوند؛ در حالی که حداقل آسیب‌های سازندی را از هجوم گل حفاری و فیلتره‌ی گل به‌همراه دارند. با این حال از دیدگاه در دسترس بودن گل‌های مورد نیاز برای حفاری این‌گونه مخازن، محدودیت‌هایی وجود دارد. با وجود نیاز به حفاری بیشتر در مخازنی با فشار کم، جهت به حداقل رساندن آسیب‌های وارده بر آنها و نیز در ناحیه‌هایی که احتمال هرزروی زیاد است و مخازنی که در معرض آسیب‌های غیرقابل برگشت مربوط به مسائل تطابق و هم‌خوانی سنگ-سیال یا سیال-سیال هستند، از روش حفاری زیرتعادلی بسیار استفاده می‌شود.

۲-۱- مزایا و معایب حفاری زیر فشار تعادلی

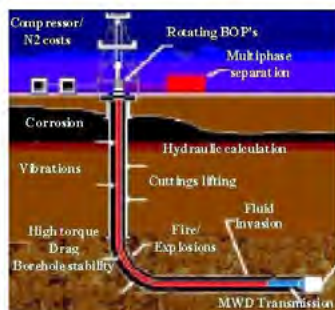
فهرست مزایای حفاری زیر فشار تعادلی گسترده‌اند. از این میان به مواردی از جمله حداقل کردن آسیب به ذخایر هیدروکربنی تحت فشار یا سازندهای کم فشار هیدروکربنی مستعد هرزروی شدید و مخازنی که به‌دلیل مشکلات

عمر مته‌ی حفاری گردند. در جایی دیگر ترکیب گل‌های مذکور با مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی گل حفاری، برای

شکل ۱ | تقسیم‌بندی هرزروی گل با توجه به شدت آن [۱]

نوع سازند	تقسیم‌بندی	نرخ هرزروی (بشکه/ساعت)
متخلخل، تراوا، ماسه‌ای	چکه‌ای	< ۲۵
ماسه‌ی درشت و شنی	جزیی	۲۵-۱۰۰
شکستگی‌ها، گسل‌ها، غار، رگه‌های بلند و حفره‌ها	شدید	> ۱۰۰

- سیالات هوازده تراکم پائین هستند
- محاسبات پیچیده هیدرولیک
- ارتعاش رشته حفاری
- افزایش اصطکاک و پیچش لوله‌های حفاری
- کاهش کارایی بالا آمدن کنده‌ها
- افت امواج و سیگنال در حین حفاری
- ممکن است پایداری چاه با مشکل مواجه شود
- پیمان خوردگی
- پیمان آتش سوزی/انفجار
- هزینه‌های سنگین برای تعمیرات



شکل ۱ | معایب سیالات هوازده [۴]

سازگاری سنگ-سیال یا سیال-سیال به‌طرز برگشت‌ناپذیری آسیب دیده‌اند اشاره می‌شود. این اجتناب به‌نوبه‌ی خود به رفع یا حداقل کردن مشکلات گیر کردن جزیی لوله‌های حفاری (که به تأخیر و کاهش زمان منجر می‌شود) کمک می‌کند. سایر مزایا بدون ترتیبی خاص عبارتند از: افزایش نرخ حفاری برای نوع خاصی از سنگ‌ها، عمر بیشتر مته، کاهش ورقه‌ای شدن ته چاه در مقایسه با روش حفاری فراتعادلی که بر کنده‌های قدیمی سائیده شده و ممکن است با فشار، وارد سازند گردند و امکان برش مداوم سنگ جدید که با گل حفاری زدوده می‌شود. حفاری زیرفشار تعادلی می‌تواند به حذف عملیات‌های پرهزینه‌ی انگیزش چاه (مانند اسیدکاری جهت از بین بردن آسیب به سازند) نیز کمک کند.

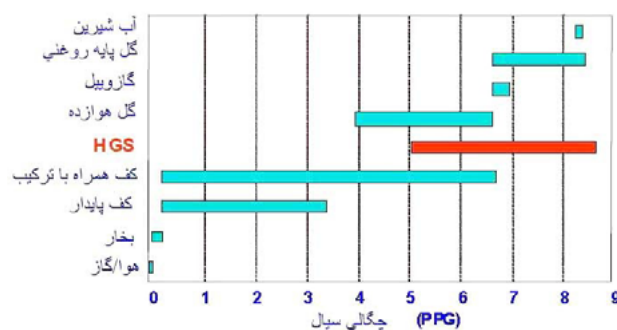
معایب این روش عبارتند از ناپایداری حفره، موضوعات کنترل چاه و تعیین گل وارد شده به سازند (kick) که در زمان انتخاب حفاری زیرفشار تعادلی نیازمند وزن‌دهی است. هزینه‌ی اجاره‌ی کمپرسورها نیز می‌تواند هزینه‌ی عملیات حفاری روزانه را در مقایسه با استفاده از سایر سیالات بسیار افزایش دهد. در شکل-۱ سایر معایب استفاده از حفاری زیرفشار تعادلی نشان داده شده است [۴].

۳- حباب‌های شیشه‌ای و مزایای استفاده از آنها در حفاری زیرفشار تعادلی به‌جای سیالات هوازده

اکثر عملیات‌های حفاری در مخازنی با فشار کم و تخلیه شده در شرایط زیرتعادلی انجام می‌شود و به‌دلیل مسائل و مشکلات مربوط به دوفازی شدن و تراکم شدن گل حفاری، مسئولان امر راغب به استفاده از گل‌های حفاری هوازده نیستند. از آنجا که به کاربردن گل‌های هوازده، شرایطی سخت و پیچیدگی‌های خاصی را بر عملیات حفاری اعمال می‌کند یک راه کاهش چگالی گل حفاری در عین حفظ مزایای استفاده از گل‌های هوازده، استفاده از حباب‌های شیشه‌ای درون گل است. طبق شکل-۲ این ماده‌ی افزاینده‌ی جدید، می‌تواند جهت کاهش وزن به هر سیستم گل حفاری اضافه گردد. به‌عبارت دیگر گل حفاری با چگالی کم، کم‌ویش مستقل از طبیعت فاز مایع آنست؛ یعنی از دیدگاه تخصصی می‌تواند از آب، آب شور، گازوئیل یا مایعات دیگر به‌دست آید. در شکل-۳ محدودده‌ی چگالی این ماده نشان داده شده است. گل‌های حفاری با چگالی کم که حاوی حباب‌های شیشه‌ای توخالی هستند در کنار افزایش نرخ نفوذ مته و جلوگیری از مشکلات مربوط به حفاری فراتعادلی می‌توانند از آسیب‌های احتمالی وارده به سازند (در اثر هجوم ذرات جامد یا فیلتره‌ی گل) مانع به‌عمل آورده و باعث افزایش طول



شکل ۲ | راهکار حباب شیشه‌ای جهت کاهش وزن گل حفاری [۵]



شکل ۳ | محدودده‌ی چگالی گل‌های حفاری [۵]

سیلیکات قلیایی-آهکی ساخته شده‌اند. حباب‌های شیشه‌ای مواد توخالی مهندسی‌سازی هستند که در بسیاری از صنایع، از قبیل هوا-فضا و اتومبیل‌سازی استفاده شده‌اند و ضمن حفظ استحکام مفید، سبب کاهش وزن می‌گردند. همچنین حباب‌های شیشه‌ای به دلیل مقاومت زیادشان (به نسبت وزن)، در دکل‌های شناور روی سطح دریا استفاده می‌شوند. این مواد از لحاظ شیمیایی غیرفعال هستند و به‌جز مواردی در حضور اسید هیدروفلوریک مقاومت ضد آبی و مقاومت گرمایی و فشاری زیادی دارند. حباب‌های شیشه‌ای با داشتن ضخامت پوسته‌ی ۲-۰/۵ میکرون می‌توانند فاز تخریب تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ‌مربع را تحمل کنند که این ویژگی استفاده‌ی آنها در چاه‌های عمیق (حتی تا عمق بیش از ۱۰۰۰۰ فوت) را امکان‌پذیر می‌کند. جدول ۲- خواص حباب‌های شیشه‌ای میان‌تهی را نشان می‌دهد.

۵- اطلاعات مربوط به چاه پارسی-A

از آنجا که مقایسه‌ی داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های میدانی، نیازمند اطلاعات میدانی بود که مشکلات زیادی در زمینه‌ی هرزروی دارد و مخزن آن به دلیل فشار کم به گل سبک نیاز دارد، داده‌های یکی از چاه‌های میدان پارسی را که مخزن آسماری آن گل حفاری با وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب نیاز داشت ارزیابی شد. در ادامه اطلاعات حفاری این چاه آمده است.

هدف از حفاری این چاه تولید نفت از دامنه‌ی جنوبی مخزن آسماری میدان پارسی بوده است. دستگاه حفاری برای نخستین بار در تاریخ ۱۳۵۱/۰۳/۱۲ شروع به حفاری این چاه کرد و پس از پایان حفاری، چاه با هرزروی ۳۵ بشکه در ساعت تکمیل گردید. پس از گذشت دو سال به دلیل مشکلات تولیدی، چاه مذکور تعمیر شد. پس از مدتی این چاه برای حل مشکل تولید گاز اضافی و افزایش فشار جریانی، در برنامه‌ی تعمیر به‌صورت جهت‌دار قرار گرفت و به دلیل بروز هرزروی‌های شدید در مخزن، از حفاری زیرفشار تعادلی استفاده گردید. به‌طور کلی گل مورد استفاده در مخزن آسماری گل امولسیون با وزن ۵۵/۵ پوند بر فوت مکعب بوده است. در ادامه خصوصیات و نحوه‌ی ساخت گل امولسیونی مورد استفاده در چاه پارسی توضیح داده شده است [۷].

روش ساخت گل امولسیونی گازوئیل در آب با نسبت ۷۰/۳۰ با ترکیب زیر جهت حجم یک‌صد بشکه مطابق روش زیر است:

حذف هرزروی گل در مناطق مخزنی و نواحی مستعد هرزروی استفاده می‌شوند. گل‌های حفاری حاوی حباب‌های شیشه‌ای، حفاری فروتعادلی یا نزدیک به شرایط تعادلی را بدون استفاده از هوا یا گازهای دیگر ممکن می‌سازند. از دیگر ویژگی‌های جذاب و مهم این گل‌ها، امکان استفاده‌ی عملی و کاربردی از تجهیزات استاندارد گل حفاری است.

۴- خصوصیات و کاربرد حباب‌های شیشه‌ای

حباب‌های شیشه‌ای میان‌تهی یک سلولی، از جنس شیشه برو

جدول ۲ | خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حباب‌های شیشه‌ای [۶]

چگالی	۰/۳۵-۰/۶۳ گرم بر سی سی
پایداری شیمیایی	به‌طور کلی خصوصیات شیمیایی حباب‌های شیشه‌ای شبیه مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن یعنی soda-lime borosilicate glass است
عامل تراکم (نسبت چگالی حجم به چگالی صحیح ذرات)	متغیر در بازه‌ی ۵۵-۶۸ درصد
جذب نفت	۰/۲-۰/۶ گرم نفت بر سی سی
پایداری الکتریکی	تغییرات قابل‌ارزیابی در خصوصیات حباب‌ها ممکن است در دمای بیش از ۱۱۱۲ درجه‌ی فارنهایت (۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) رخ دهد و بستگی به دما و مدت زمان در معرض دما قرار گرفتن دارد
درصد وزنی حلالیت اسیدی گل	۹۹/۹۵ درصد
ترکیبات فرار	حداکثر ۰/۵ درصد وزنی
آلکاننتی (خاصیت قلیایی)	حداکثر ۰/۵ میلی‌اکی‌والانت بر گرم
پی‌اچ	پی‌اچ زمانی که با ۰/۵ حجمی آب بدون یون مخلوط شود ۹/۹-۹/۱ است
شکل ظاهری	پودر سفید رنگ
مقامت برهم آمدگی	۱۸-۲۰ هزار پوند بر فوت مکعب
اندازه	۹۰-۱۰ میکرون

جدول ۳ | خصوصیات گل امولسیونی مورد استفاده در چاه پارسی [۷]

Mw(pcf)	Vis(sec)	Pv(c.p)/ Yp (Ib/100ft ²)	PH	F.L(cc)	Gel 10s (Ib/100ft ²) /Gel 10 min (Ib/100ft ²)	Temperature (f)
۵۲-۵۵/۵	۷۵-۵۱	۲۰-۴۰/۴-۲۴	۸/۵	N.C	۳-۲/۴	۱۲۰-۱۰۰

به خصوصیات اندازه‌گیری شده در دمای ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت بررسی می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش در جدول ۴- قابل مشاهده است.

امولسیون گازوئیل در آب در کنار امولسی‌فایر فقط در نسبت ۵۰/۵۰ (آب/گازوئیل) نتایج نسبتاً خوبی داشته است. اما با افزایش نسبت آب به گازوئیل، پایداری امولسیون ضعیف‌تر می‌شود و به‌علت جدا شدن مقدار زیادی آب از آن قابل استفاده نیست. تمامی آزمایش‌ها در حالت استاتیک انجام شده است.

۶-۲- ساخت گل امولسیونی با نسبت ۷۰/۳۰ و اندازه‌گیری متغیرهای آن در دو وزن متفاوت

در این قسمت با استفاده از دی.ام.انی آب شور و با توجه به فرمول ۱- گل امولسیونی با نسبت ۷۰/۳۰ گازوئیل در آب بدون حباب شیشه‌ای تهیه گردید و یک مرتبه در دمای ۷۷ درجه‌ی فارنهایت اتاق و سپس با انجام عملیات رولینگ پس از ۴ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه‌ی فارنهایت نتایج متغیرهای آن در دمای ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت ثبت شد. همچنین مراحل مذکور جهت تهیه‌ی گل امولسیونی به‌همراه حباب شیشه‌ای نیز انجام گردید. طبق شکل ۴- گل‌های ساخته شده پس از ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۲

۳۰ بشکه آب + ۱۲ تا ۱۵ گالن دی.ام.انی + ۷۰ بشکه گازوئیل

همچنین جهت تهیه‌ی پیل غلیظ از ماده‌ی اکسی‌پلیمر به‌میزان ۰/۲۵-۰/۵ پوند در بشکه استفاده می‌شود.

۶- روش انجام آزمایش‌ها

ابتدا درصدهای متفاوت گازوئیل در آب بدون افزودن هیچ‌گونه افزایه‌ی بررسی می‌شود. سپس گل امولسیونی پایه آبی با نسبت ۷۰/۳۰ گازوئیل در آب ساخته شده و خصوصیات آن اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله‌ی بعد میزان حباب شیشه‌ای که باید با نسبت ۷۰/۳۰ به گل امولسیونی افزوده شود و وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب به‌دست آید بررسی می‌گردد. در نهایت شروع به افزودن افزایه‌های رایج با روش ترکیب‌های متفاوت کرده تا گل امولسیونی با نسبت ۷۰/۳۰ با وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب و ایده‌آل از نظر خواص رئولوژی و عصاره به‌دست آید. لازم به‌ذکر است تمامی روش‌های انجام آزمایش بر اساس استاندارد API انجام شده است [۸].

۶-۱- امولسیون گازوئیل در آب (با دی.ام.انی آب شیرین)

در این قسمت نسبت درصد ترکیب گازوئیل در آب با توجه

۴ | بررسی گل امولسیونی در نسبت‌های متفاوت در دمای ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت

نسبت گازوئیل به آب (درصد)	۵۰/۵۰	۵۵/۴۵	۶۰/۴۰	۶۵/۳۵	۷۰/۳۰	۷۵/۲۵	۸۰/۲۰
ارتفاع (میلی لیتر)	۵۲۵	۵۳۰	۵۱۰	۴۷۰	۳۵۰	۴۰۰	۳۶۰
پایداری اولیه	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار
جدایی روغن/آب پس از ۳۰ دقیقه	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/
جدایی روغن/آب پس از ۶۰ دقیقه	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/
جدایی روغن/آب پس از ۲ ساعت	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۰/	۰۲/	۰۳/
جدایی روغن/آب پس از ۸ ساعت	۹۵/	۶۵/	۰۵/	۰۵/	۰۵/	۰۵/	۰۵/
جدایی روغن/آب پس از ۲۴ ساعت	۳۲۵/	۲۳۵۵/	۵۵/	۲۵/	۱۰۷/	۰۵/	۰۵/
دور در دقیقه ۶۰۰	۵۳	۵۸	۶۵	۷۸	۱۸۵	۲۸۰	
دور در دقیقه ۳۰۰	۳۰	۳۵	۴۰	۵۰	۱۳۵	۲۱۰	
پلاستیک ویسکوزیتی (سنتی پویز)	۲۰	۲۱	۲۵	۲۶	۵۵	۷۰	
نقطه‌ی واروی (پوند بر ۱۰۰ فوت مربع)	۱۳	۱۴	۱۵	۲۵	۸۰	۱۴۵	
ژل اولیه (پوند بر ۱۰۰ فوت مربع)	۲	۳	۳	۳	۲۲	۶۳	
ژل ثانویه (پوند بر ۰۰۱ فوت مربع)	۳	۴	۴	۵	۳۳	۶۶	

ساعت کاملاً همگن و پایدار بودند. نتایج ثبت شده در شکل-۵ قابل مشاهد است.

(۳٪ حجمی) آب + (۱٪ حجمی) دی.ام.ئی + (۰.۷٪ حجمی) گازوئیل (۱)

(۱۹٪ حجمی) آب + (۱٪ حجمی) دی.ام.ئی + (۴۵٪ حجمی) گازوئیل + (۳۵٪ حجمی) حباب شیشه‌ای (۲)

شکل-۵ نشان‌دهنده‌ی اینست که گل‌های امولسیون با نسبت ۷۰/۳۰ با وزن ۵۵/۵ پوند بر فوت مکعب و همین گل با اضافه کردن حباب شیشه‌ای تا وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب از نظر خواص رئولوژی بسیار به هم نزدیک هستند. از آنجا که این آزمایش‌ها در دو دمای اتاق و دمای ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت انجام شده بود، گل امولسیون با وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب و در دمای اتاق بیشترین رئولوژی را از خود نشان داد که علت آن سرد بودن گل و غلظت زیاد حباب شیشه‌ای استفاده شده جهت ساخت گل بود. این موضوع نشان‌دهنده‌ی تأثیر دما و غلظت بر خواص رئولوژی گل حفاری است. ملاحظه می‌شود که هرچه درصد حجمی حباب شیشه‌ای بیشتر باشد به علت افزایش غلظت حباب شیشه‌ای و افزایش اصطکاک بین ذرات آن خواص رئولوژی نیز افزایش می‌یابد.

۳-۶- بررسی کنترل عصاره‌ی گل امولسیونی پایه آبی همراه حباب شیشه‌ای

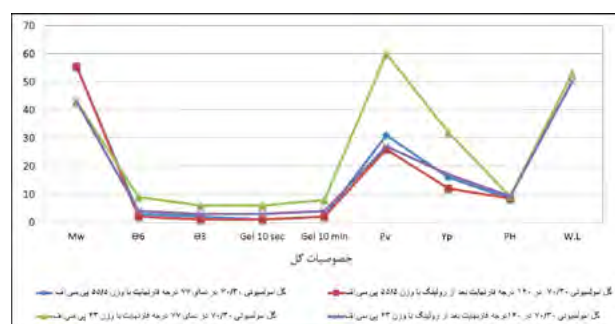
هنگام آزمایش گل امولسیونی با نسبت ۷۰/۳۰ به همراه حباب شیشه‌ای با وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب مشخص شد که حباب شیشه‌ای به تنهایی و بدون استفاده از مواد کمکی دیگر در کنترل عصاره مؤثر است. به طوری که گل امولسیونی با نسبت ۷۰/۳۰ بدون حباب شیشه‌ای (که در آن افزایش جهت کنترل هدرروی آب به کار نرفته بود) در آزمایش هدرروی آب آن تا پایان ۳۰ دقیقه عصاره از آن خارج می‌شد اما در گلی که حباب شیشه‌ای در آن اضافه شد پس از ۳۰ دقیقه در فشار ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع، عصاره‌ی خارج شده از آن حدود ۵۰ سی‌سی شد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر حباب شیشه‌ای در کنترل عصاره‌ی گل است. در شکل-۶ فیلتر کیک حاصل از آزمایش نشان داده شده است.

۴-۶- بررسی تأثیر مواد افزودنی در گل امولسیونی پایه آبی با روش ترکیب متفاوت بدون حضور حباب شیشه‌ای

در روابط ۳- تا ۱۴ سعی شده با جابجا کردن افزایش‌ها (یعنی ترکیب‌های متفاوتی از افزایش‌ها در ساخت گل امولسیونی) و همچنین به کار بردن میزان متفاوت افزایش‌ها رفتار خواص



شکل ۴ | گل‌های امولسیونی ساخته شده همراه حباب شیشه‌ای و بدون حباب شیشه‌ای



شکل ۵ | مقایسه‌ی تغییرهای گل‌های امولسیونی ساخته شده

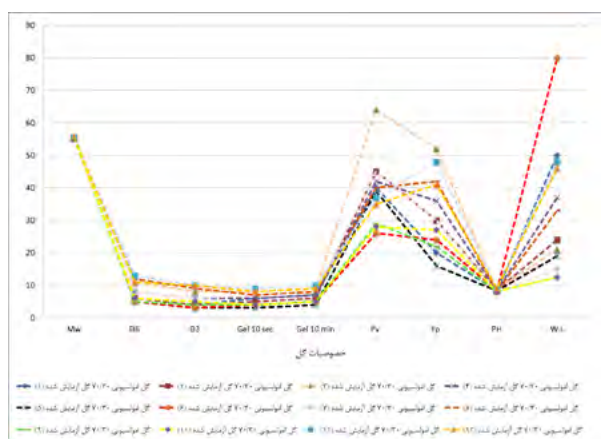


شکل ۶ | فیلتر کیک حاصل از گل امولسیونی

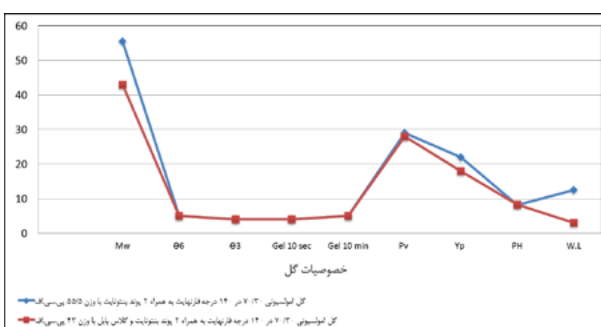
استارچ مخلوط شده و هنگامی که هر دو مستقیماً با آب مخلوط می‌گردند. همان‌گونه که از نتایج آزمایش‌ها مشخص شده در بین همه‌ی گل‌های ساخته شده گل‌های ۱۰ و ۹ و ۶ بهترین خصوصیات را دارند. برای ساختن گل امولسیون بهتر است ابتدا گل بدون افزودن افزایه‌های پلیمری (که رئولوژی گل را افزایش می‌دهند) ساخته شود و سپس امولسیون مکانیکی اضافه گردد. از میان مواد اضافه شده، بنتونایت هم خواص رئولوژی بهتری دارد و هم نسبت به دیگر ترکیبات کنترل عصاره‌ی خوبی از خود نشان داده و بهتر است ابتدا بنتونایت به آب اضافه شود و سپس دی.ام.ئی و در نهایت گازوئیل اضافه گردند.

۶-۵- ساخت گل امولسیونی به همراه حباب شیشه‌ای و با استفاده از امولسیون مکانیکی

آب + بنتونایت (۲ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل + حباب شیشه‌ای (۱۵) فرمول ترکیب-۱۵ بدین دلیل انتخاب شد که بنتونایت بهترین کنترل عصاره را دارد. در این ترکیب حباب شیشه‌ای اضافه شد تا گل امولسیونی با نسبت گازوئیل در آب ۷۰/۳۰ با وزن ۴۳ پوند بر فوت مکعب به دست آید که نتایج این گل امولسیونی پس از



شکل ۷ | مقایسه‌ی گل امولسیونی با ترکیب‌های متفاوت



شکل ۸ | مقایسه‌ی گل امولسیونی به همراه حباب شیشه‌ای و بدون حباب شیشه‌ای به همراه ۲ پوند بنتونایت

رئولوژی آنها بررسی شود. گل‌های امولسیونی ساخته شده در هر فرمولاسیون به مدت چهار ساعت در دمای ۲۰۰ درجه‌ی فارنهایت در دستگاه رولینگ قرار داده شد و پس از بیرون آوردن از کپسول در دمای ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت، متغیرهای آنها آزمایش شده و نتایج آن در شکل ۷- ارائه گردیده است.

- آب + PHPA^۵ (۰/۵ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل (۳)
 آب + PHPA (۰/۵ پوند) + استارچ در دمای بالا (۲ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل (۴)
 آب + PHPA (۰/۵ پوند) + استارچ در دمای بالا (۳ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل (۵)
 آب + استارچ در دمای بالا (۲ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۶)
 آب + دی.ام.ئی + استارچ در دمای بالا (۲ پوند) + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۷)
 آب + دی.ام.ئی + گازوئیل + استارچ در دمای بالا (۲ پوند) + PHPA (۰/۵ پوند) (۸)
 آب + دی.ام.ئی + استارچ در دمای بالا (۱ پوند) + Pac.LV^۱ (۱ پوند) + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۹)
 آب + استارچ در دمای بالا (۱ پوند) + Pac.LV (۱ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۱۰)
 آب + بنتونایت (۲ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۱۱)
 آب + دی.ام.ئی + بنتونایت (۲ پوند) + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۱۲)
 آب + دی.ام.ئی + C.M.C L.V (۲ پوند) + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۱۳)
 آب + C.M.C L.V (۲ پوند) + دی.ام.ئی + گازوئیل + PHPA (۰/۵ پوند) (۱۴)

با مقایسه‌ی گل‌های امولسیونی ساخته شده و نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به خواص آنها در شکل ۷- مشخص شد که گل‌هایی که در آنها PHPA مستقیماً با آب مخلوط شده نسبت به سایر گل‌ها رئولوژی بیشتری دارند. به دلیل اینکه PHPA و استارچ در گل‌های ۱- تا ۳- مستقیماً با آب مخلوط شده، این گل‌ها نسبت به سایر گل‌های ساخته شده خواص رئولوژی بیشتری از خود نشان داده‌اند.

در خصوص گل‌های ۱۲- و ۱۱- و ۱۰- و ۷- و ۵- نیز علت افزایش نقطه‌ی واروی و پلاستیک ویسکوزیتی، اضافه کردن مستقیم امولسی‌فایرهای مکانیکی به آب بوده است. در نتیجه PHPA باعث افزایش رئولوژی می‌شود؛ به خصوص وقتی که با

در پایان گل سازی به گل اضافه کرد تا خواص رئولوژی گل چندان افزایش نیابد (۰/۲۵-۰/۵ پوند در بشکه مناسب) است. در خصوص سایر امولسیون های مکانیکی بهتر است بنتونایت ۲ پوند در بشکه و استارچ در دمای زیاد ۲ پوند در بشکه استفاده شود، این دو ماده ابتدا به آب افزوده و مخلوط گردند و سپس سایر افزودنی های گل امولسیونی اضافه شوند.

■ امولسی فایرهای مکانیکی نظیر بنتونایت، استارچ و ... به عنوان امولسی فایرهای کمکی جهت ساختن امولسیون آب در روغن به کار رفته اند. این مواد به تنهایی قادر نیستند امولسیونی پایدار بسازند و توسط آنها می توان مقدار گرانیروی و نقطه ی واروی گل را به مقدار دل خواه تنظیم کرد.

■ باید توجه کرد که بنتونایت در مخزن استفاده نمی شود. ماده ی بنتونایت نیز یکی از امولسی فایرهای مکانیکی است و در پایدار کردن امولسیون های آب در روغن در کنار ماده ی دی.ام.ئی بسیار مؤثر است. افزودن برخی از مواد مانند استارچ، PAC و CMC باعث کاهش نرخ نفوذ حفاری می شود و بهتر است برای کاهش هزینه های گل سازی فقط از آب، گازوئیل، دی.ام.ئی و جاباب شیشه ای استفاده کرد.

■ در مورد گل امولسیونی روغن در آب، با افزایش گازوئیل، گرانیروی نیز افزایش می یابد.

چهار ساعت در دمای ۲۰۰ درجه ی فارنهایت و عملیات رولینگ در دمای ۱۴۰ درجه ی فارنهایت ثبت شد. این ترکیب پس از ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۲ ساعت کاملاً همگن و پایدار بود. در شکل ۸- گل امولسیونی با وزن ۵۵/۵ پوند بر فوت مکعب به همراه ۰/۵ پوند PHPA با گل امولسیونی ۴۳ پوند بر فوت مکعب (که در ساختن هر دو ترکیب ۲ پوند بنتونایت به کار رفته بود) ارزیابی شدند.

در پایان مشخص شد که برای افزودن PHPA باید در پایان گل سازی آنرا به گل اضافه کرد تا خواص رئولوژی گل چندان افزایش نیابد (غلظت ۰/۲۵-۰/۵ پوند در بشکه مناسب است). به همراه مقدار ۲ پوند در بشکه بنتونایت (جهت بهتر شدن خصوصیات گل) و ۲ پوند در بشکه استارچ در دمای زیاد؛ ابتدا این دو ماده را به آب افزوده و مخلوط می کنند و سپس سایر افزودنی های گل امولسیونی اضافه می شوند.

نتیجه گیری

■ با افزودن جاباب شیشه ای کافی به سیال امولسیونی روغن در آب با نسبت ۷۰/۳۰ می توان چگالی گل حفاری پایه را تا ۴۳ پوند بر فوت مکعب کاهش داد.

■ در مورد گل امولسیونی ۷۰/۳۰ جهت افزودن PHPA باید آنرا

پانویس ها

- | | | |
|-----------------------------------|--|--|
| 1. Glass Bobbles | 5. Gallon Per Minute | 9. Polyanionic Cellulose Low Viscosity |
| 2. American Petroleum Institute | 6. Lost Circulation Material | 10. Carboxy Methyl Cellulose |
| 3. Equivalent Circulating Density | 7. Specific Gravity | |
| 4. Rate Of Penetration | 8. Partially Hydrolyzed Polyacrylamide | |

منابع

- [1]. Schlumberger, " WELL CONTROL MANUAL " R,revision: 0, 13-33 , Issued (07/10/1999).
- [2]. Coussot P, Bertrand F, Herzhaft B. Rheological behavior of drilling muds, characterization using MRI visualization. Oil & gas science and technology. 2004; 59(1):23-9.
- [3]. M-I, " Drilling Fluids Engineering Manual " V ,ersion 2 , Revision No:A-1, 14.9 , (04 , 2001) .
- [4]. Medley Jr GH, Maurer WC, Liu G, Garkasi AY. Development and Testing of Underbalanced Drilling Products. final report, Contract No DEAC21-94MC31197, US DOE, Morgantown, West Virginia (September 1995). 1995.
- [5]. Wong A, Arco MJ. Use of hollow glass bubbles as a density reducing agent for drilling. Presented by the CADE/CAODC Drilling Conference Technical Committee, Calgary, Alberta Canada. 2001.
- [6]. Arco, M.J. et. al, " Field Application of Glass Bubbles as a Density-Reducing Agent " , Paper SPE 62899 Was Prepared for presentation at the 2000 Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas , Texas, (1-4 October, 2000), 1-4.
- [7]. اطلاعات مربوط به " گزارش روزانه " و " برنامه تعمیر چاه-پارسی شماره A"، اداره کل حفاری مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، (فروردین ۱۳۸۸).
- [8]. American Petroleum Institute , " Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water-Based Drilling Fluids " , API Recommended Practice 13B-1 Second Edition, Washington, D.C. 20005, (September. 1997), 1-23.