

ساختار، خواص رئولوژی، فیلتراسیون و کنترل هرزروی سیالات حفاری افرونی

حمیدرضا پورعباسی*، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت • شهاب‌الدین تقی‌پور، دانشگاه صنعت نفت

چکیده

حفاری مخازن تخلیه شده، همواره با مشکلات عملیاتی و مباحث مربوط به هزینه‌های حفاری همراه است. اغلب این مشکلات مربوط به هرزروی غیرقابل کنترل گل حفاری یا احتمال گیر لوله‌ها یا مباحث مرتبط با تولید است که حتی امکان دارد همین موارد سبب جلوگیری از گسترش بیشتر این نوع مخازن شوند. علاوه بر آن، استفاده از سیالات ارزان قیمت سنتی موجب آسیب جدی به این مخازن می‌شود. با توجه به شرایط فعلی، به کارگیری روش‌های مناسب حفاری ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه در مورد به کارگیری فن آوری سیال حفاری افرون به عنوان راه حل مؤثری جهت غلبه بر مشکلات مذکور بحث می‌شود که طی آن در خصوص ساختار این نوع سیال، مطالعات آزمایشگاهی انجام شده روی خواص متعدد سیالات حفاری افرونی از جمله خواص جریان‌ی، میزان هرزروی، پایداری و تجربه‌ی استفاده از این نوع سیال در سراسر جهان بحث خواهد شد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۴/۱۰/۱۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۴/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۳/۲۹

واژگان کلیدی:

سیال حفاری، افرون، خواص جریان‌ی، هرزروی، پایداری سیال

مقدمه

بازده حفاری و جلوگیری از بخش عمده‌ی مشکلات یادشده، نوع جدیدی از سیالات حفاری با عنوان سیالات پایه افرونی پیشنهاد داده شد که این سیالات حفاری توسعه یافته، قابلیت‌های زیادی در عملیات حفاری و آزمایش چاه در سازندهای پیچیده یا در مخازن کم فشار دارند. سیالات پایه افرونی از اوایل سال ۲۰۰۰ میلادی وارد صنعت حفاری شدند و تاکنون در بیش از ۳۰۰ چاه مشکل‌دار در سراسر دنیا با موفقیت استفاده شده‌اند. این سیالات با توجه به خواص منحصر به فرد خود می‌توانند بسیاری از مشکلات حفاری (به خصوص در مخازن تخلیه شده و انحرافی) نظیر هرزروی، ناپایداری دیواره‌ی چاه، گیر فشاری و بسیاری مشکلات دیگر را برطرف کنند.

با توجه به قدمت صد ساله‌ی حفاری در ایران، اکثر مخازن قدیمی موجود یا تخلیه شده‌اند یا در حال تخلیه شدن هستند. از دیگر ویژگی‌های میدین ایران، وجود مخازن شکاف‌دار با تراوایی زیاد است که حفاری در آنها بسیار دشوار بوده و منجر به از دست رفتن سرمایه و آسیب‌های جبران‌ناپذیر به مخازن خواهد شد. انتخاب بهترین مواد شیمیایی، تنظیم خواص فیلتراسیون و پایداری آنها، دستیابی به فن آوری نوین در طراحی، تهیه و بومی‌سازی ترکیبات سیالات پایه افرونی از جمله مهم‌ترین مزیت‌ها و کاربردهای این نوع از سیالات حفاری محسوب می‌شود.

امروزه دسترسی به منابع نفت و گاز در اعماق کم، به ندرت اتفاق می‌افتد. از سویی با توجه به هزینه‌های تولید در اعماق کم یا متوسط، احتمال دسترسی به منابع کم‌هزینه، بسیار اندک خواهد بود و از سوی دیگر با پیشرفت در زمینه‌ی لرزه‌نگاری سه‌بعدی، نگاه محققان متوجه منابع هیدروکربنی در اعماق بیشتر و در زیر مخازن کم عمق شده است. از طرفی در برخی موارد لازمی دسترسی به مخازن عمیق، انجام عملیات حفاری در مخازن کم عمق و کم فشار است. بعضاً وزن گل لازم جهت حفاری مناطق عمیق بسیار بیشتر از مناطق کم فشار با عمق کم است و همین مطلب موجب مشکلات عدیده‌ای در حفاری این مناطق می‌شود. اغلب این مشکلات مربوط به هرزروی غیرقابل کنترل سیال حفاری و گیر لوله‌ها یا مباحث مرتبط با آسیب سازند و کاهش تولید است که حتی امکان دارد همین موارد مانع از گسترش بیشتر این نوع مخازن نیز بشوند. به حداقل رساندن آسیب سازند همیشه به عنوان اولویتی مهم جهت بهینه‌سازی تولید مطرح بوده است.

از سویی استفاده از راهکارهای معمول در حفاری این نواحی مانند حفاری فروتعدالی یا استفاده از سیالات پایه روغنی با محدودیت‌های مکانی، هزینه‌ای و محیط‌زیستی همراه است و از سوی دیگر به کارگیری این روش‌ها تضمین قابل قبولی برای رفع کامل مشکلات احتمالی نیست. برای حداکثرسازی

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (hamidreza.poorabbasi@modares.ac.ir)

۱- شرح ساختار افرون

برجسته ترین ویژگی گل های افرونی، خواص رئولوژی و وجود حباب در آنهاست. حباب های هوا با افزایش دور هم زدن در طول اضافه کردن سورفکتانت به سیال پایه به وجود می آیند و دیگر به شلنگ های فشار قوی و کمپرسور که در حفاری های زیر تعادلی^۲ برای تولید گل های فومی و دمیدن هوا استفاده می شوند احتیاجی نیست [۱]. سورفکتانت های موجود در سیال باعث می شوند هوای وارد شده به گل، به صورت حباب های بسیار پایدار یا همان افرون در آیند. افرون از دو عنصر اساسی تشکیل شده است [۲]:

■ هسته مرکزی: اگر این هسته از مایع تشکیل شده باشد به آن پلی افرون^۳ و اگر از گاز تشکیل شده باشد به آن افرون گازی کلئیدی^۴ می گویند.

■ یک لایه محافظ نازک آبکی و یک پوشش آب گریز خارجی: در لایه محافظ آبکی، مولکول های

سورفکتانت به گونه ای قرار گرفته اند که مانند یک مانع مؤثر، از به هم پیوستن افرون ها جلوگیری می کنند (شکل-۱). سطح داخلی این لایه محافظ شامل مولکول های سورفکتانتی است که سر آب دوست آنها به داخل لایه محافظ و سر آب گریزشان به سمت هسته مرکزی افرون جهت گیری کرده اند [۳].

همان طور که در شکل-۱ نشان داده شده برخلاف افرون ها که توسط پوسته ای دو لایه محافظت می شوند، حبابی معمولی که توسط سورفکتانت ها در سیال پایدار شده، توسط فیلم نازکی از سورفکتانت ها از محلول آبی اطراف خود جدا می گردد [۴].

در تصویری که سببا^۵ [۳] در ۱۹۸۷ از ساختار افرون ها ترسیم کرد، گل های افرونی پایه آبی، دو لایه اضافی خارج از لایه سطحی داخلی دارند (شکل-۲) [۳].

در گل های افرونی پایه نفتی، ساختار افرون ها کمی متفاوت است. گروک و همکاران^۶ [۵] در ۲۰۰۳ پیشنهاد کردند که یک لایه محافظ قطبی، محیط اطراف سطح داخلی را پوشاند و فقط یک لایه خارجی دیگر روی این سطح قرار گیرد (شکل-۳) [۵].

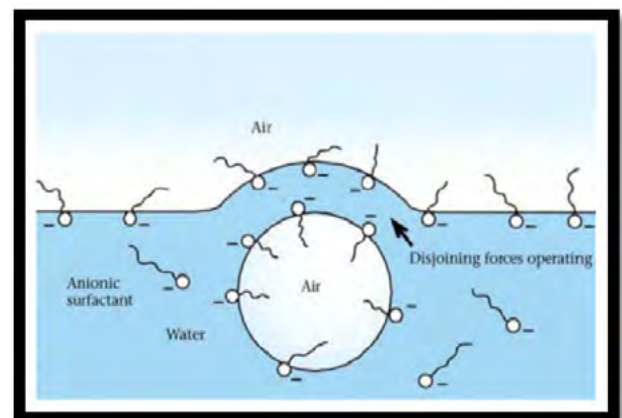
۲- ترکیب سیالات حفاری پایه افرونی

جدول-۱ موادی را نشان می دهد که عموماً اجزای تشکیل دهنده یک سیال افرونی پایه آبی هستند. سورفکتانت ها به سیستم اضافه شده اند تا غلظت حباب ها در گل های افرونی به مقدار مشخصی برسد که عموماً در شرایط محیطی ۱۴-۸ درصد حجمی، حباب ها گل افرونی را تشکیل می دهند [۴].

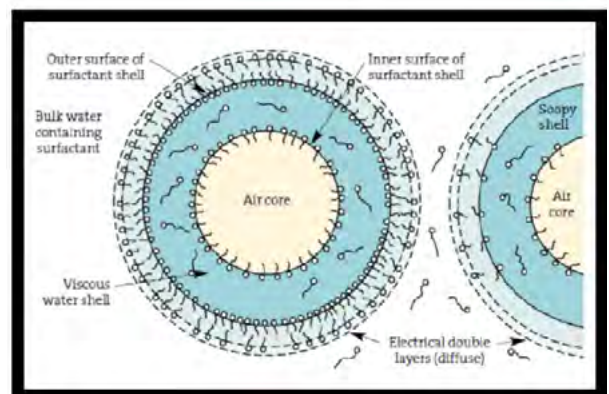
جدول-۲ فرمولاسیون یک سیال حفاری افرونی پایه روغنی را نشان می دهد. در این نوع سیالات سورفکتانت ها را هم می توان برای تولید و هم برای پایداری افرون ها به گل اضافه کرد [۴].

۱ | اجزای تشکیل دهنده یک گل افرونی پایه آبی [۴]

Component	Function	Concentration
Base fluid (fresh water or brine)	Provides continuous phase for system	0.97 bbl/final bbl
Soda ash	Hardness buffer	0.25 lbm/bbl
Biopolymer blend	Viscosifier	5.0 lbm/bbl
Polymer blend	Fluid-loss control and thermal stabilization	5.0 lbm/bbl
pH buffer	pH buffer	0.5 lbm/bbl
Surfactant	Aphronizer	1.0 lbm/bbl
Biocide	Biocide	5.0 gal/100 bbl
Polymer/Surfact Blend*	Aphron Stabilizer	1.0 lbm/bbl
Polymer*	Shale Inhibitor	1.0 lbm/bbl
Oligomer*	Defoamer	1.0 lbm/bbl
*Optional Component		



شکل ۱ | ساختار ارائه شده سببا برای یک حباب هوای معمولی پایدار شده توسط مولکول های سورفکتانت در آب [۲]



شکل ۲ | ساختار پیشنهادی سببا برای افرون ها [۳ و ۲]

در ۱۹۹۲ ماتسوشیتا و همکاران^۷ [۸] دریافتند که افرون‌های حاصل از سورفکتانت‌های یونی پایدارتر از افرون‌هایی هستند که از سورفکتانت‌های غیر یونی حاصل شده‌اند. در ۱۹۹۴ سیو و پانگارکار^۸ انواع مختلفی از سورفکتانت‌های یونی را بررسی کرده و دریافتند که با افزایش طول شاخه‌ی آلکیلی، پایداری گل‌های افرونی افزایش می‌یابد [۹]. کاردوسو و همکاران^۹ نشان دادند سیالاتی که شامل سدیم دو دسیل سولفات^{۱۰} هستند، بدون اینکه به نوع پلیمر استفاده شده وابسته باشند، در یک غلظت بهینه، بهترین عملکرد را در کاهش هرزروی گل دارند [۱۰].

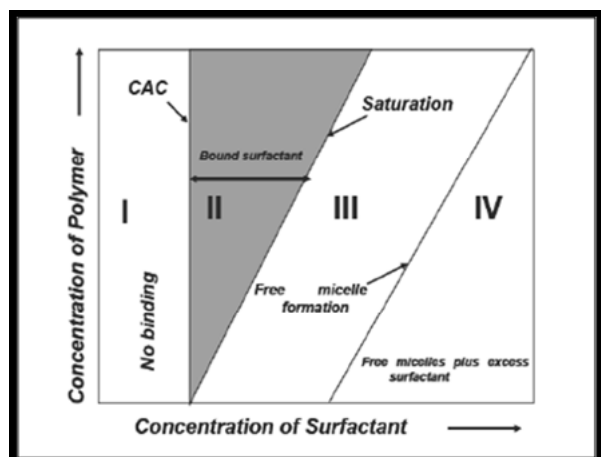
۴- خواص فیزیکی-شیمیایی سیالات حفاری پایه افرونی

۴-۱- فیلتراسیون

تشکیل یک فیلتر کیک با استفاده از مواد پل‌زننده روی

جدول ۲ | اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گل افرونی پایه‌نفتی [۴]

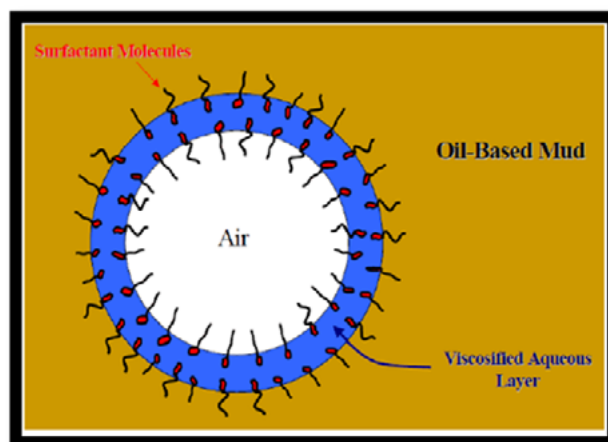
Component	Function	Concentration
Oil or synthetic fluid	Continuous phase	0.97 bbl/final bbl
Clay or Polymer Blend	Viscosifier	15.0 lbm/bbl
Surfactant	Aphron Generator	1.0 lbm/bbl
Water	Polar Activator	10.0 lbm/bbl
Polymer*	Filtration Control Agent	1.0 lbm/bbl
Polymer/Surfact Blend*	Aphron Stabilizer	1.0 lbm/bbl
*Optional Component		



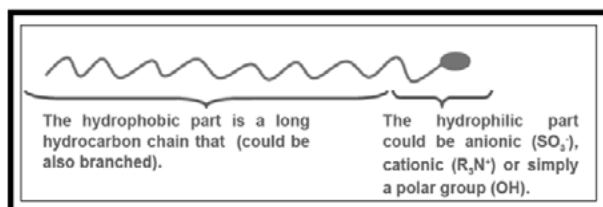
۶ | اثر غلظت پلیمر در گل‌های سورفکتانتی تشریح شده توسط اوده [۱۳]

۲-۱- ماده‌ی فعال سطحی

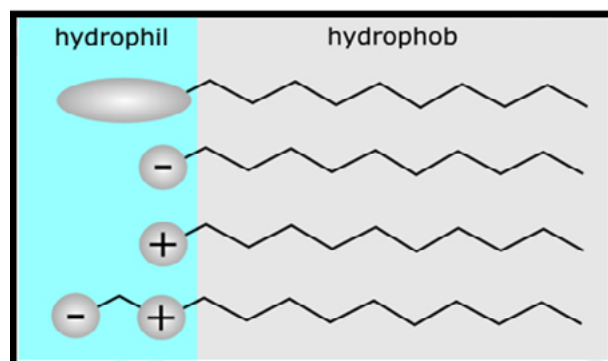
سورفکتانت‌ها به‌عنوان مواد فعال‌سطحی یک قسمت آب‌دوست و یک قسمت آب‌گریز دارند (شکل-۴). منطقی‌ترین روش برای طبقه‌بندی مواد فعال‌سطحی، دسته‌بندی آنها بر اساس رفتار یونی در محلول آبی است. در شکل ۵-نمایی از انواع سورفکتانت‌ها نشان داده شده است. از سورفکتانت‌ها برای انجام عملیات‌های متفاوت در سیالات حفاری استفاده می‌شود. سورفکتانت‌ها بیشتر به‌عنوان امولسیون‌کننده و مرطوب‌کننده‌ی سطوح به کار می‌روند [۷].



شکل ۳ | ساختار پیشنهادی برای گل‌های افرونی پایه‌نفتی [۵]



شکل ۴ | ساختار پیشنهادی مولکول سورفکتانت [۶]



شکل ۵ | نمایی از انواع سورفکتانت‌ها بر اساس نوع بار سر آنها

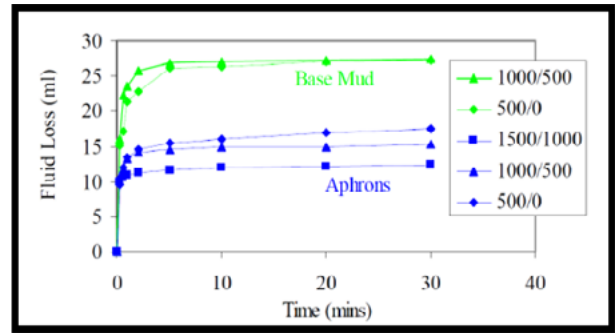
ناگهانی است (شکل-۷). در حالی که در سازندی با قطر کوچکتر (حدود ۱۵ میکرون) سرعت فیلتراسیون نیز کاهش می‌یابد (شکل-۸).

۲-۴- خواص رئولوژی

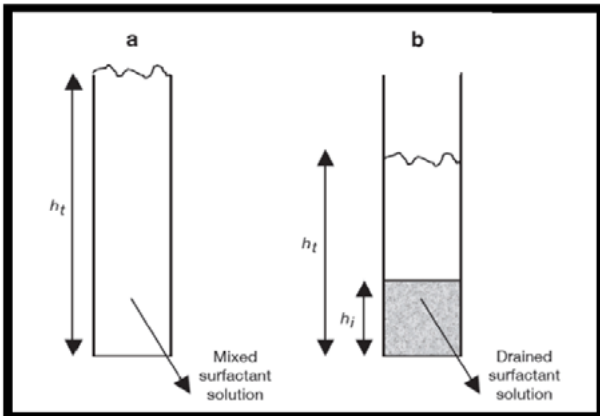
از مهم‌ترین خواص سیال حفاری، رئولوژی آنست که در طول عملیات حفاری تحت نظارت و کنترل قرار دارد. به خواصی از گل که مشخصات جریانی آنرا در شرایط متفاوت جریانی وصف می‌کند رئولوژی گل گفته می‌شود. سیالات غیرنیوتونی گرانیوی ثابتی ندارند و با نرخ برش و تغییر سرعت، گرانیوی آنها تغییر خواهد کرد. در شکل-۹ نمونه‌ای از تغییر گرانیوی ظاهری این نوع سیالات بر حسب مقدار برش نشان داده شده است.

برای پیش‌بینی رفتار گل در نرخ‌های برشی زیاد و کم، از

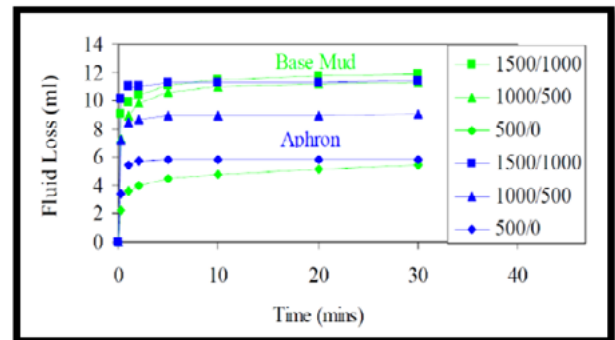
سازند، بهترین روش برای کاهش و کنترل نفوذ گل به سازند است [۱]. مقدار هرزروی سیال، به ماهیت سازند و قطر حفرات بستگی دارد. در سازندهایی با حفرات درشت و اشباع شده از آب نمک (مانند کتون-لایم‌استون) با میانگین قطر ۲۷ میکرون کارآیی مؤثر میکرو حباب‌های افرون، کاهش فیلتر



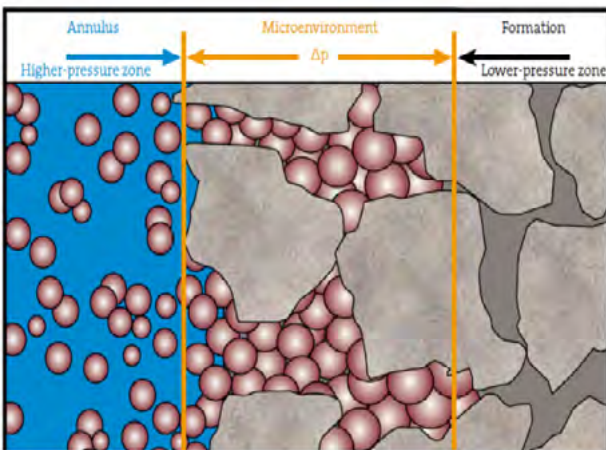
شکل ۷ | توانایی افرون‌ها در کاهش هرزروی سیال حفاری در سازندهایی با نفوذ زیاد [۴]



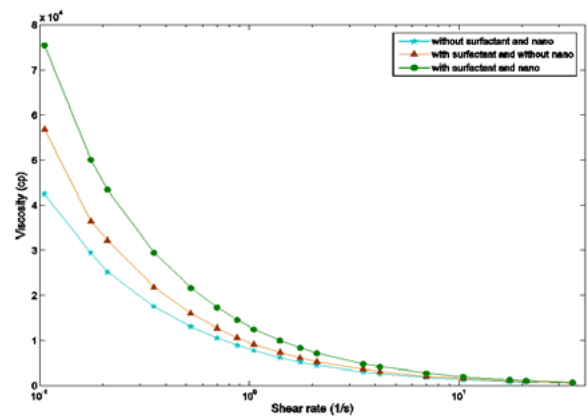
شکل ۱۰ | فرآیند تخلیه سیالات حفاری افرونی [۱۵]



شکل ۸ | توانایی افرون‌ها در کاهش هرزروی سیال حفاری در سازندهایی با نفوذ کم [۴]



شکل ۱۱ | مکانیسم پل زدن و بستن حفرات توسط افرون‌ها [۴]



شکل ۹ | تغییرات گرانیوی ظاهری سیالات حفاری با سرعت برشی [۴]

است؛ چراکه کورو و بی-جورن دالن^{۲۰} با بررسی پایداری گل‌های افرونی به این نتیجه رسیدند که با افزایش گرانروی سیال پایه، پایداری سیالات حفاری پایه‌افرونی نیز افزایش می‌یابد [۱۵]. در ۱۹۹۰ امیری و وودبرن^{۲۱} گزارش کردند که پس از ۱۰ دقیقه شکل حباب‌ها از کروی به چندوجهی تغییر می‌کنند [۱۸].

۵- مکانیسم پل زدن افرون‌ها

اغلب مخازن، آب‌دوست هستند که این موضوع موجب می‌شود نیروی موئینگی، عاملی مقاومت‌کننده در مقابل ورود حباب‌های آب‌گریز به داخل حفرات آب‌دوست باشد. پس تنها یک نیروی مؤثر خارجی می‌تواند عاملی جهت ورود حباب‌ها به داخل سازند باشد. بک^{۲۲} نشان داد که فشار مورد نیاز جهت فشردن شدن یک حباب از شعاع اولیه‌ی خود به حفره‌ای با شعاعی کمتر، از معادله‌ی ۳- به‌دست می‌آید [۱۹]:

$$\Delta P = 2\delta \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3)$$

که در آن ΔP فشار موئینگی، δ کشش بین سطحی، r_1 شعاع موئینگی و r_2 شعاع اولیه‌ی حباب است. در شکل ۱۱- نحوه‌ی بستن حفرات سازند توسط افرون‌ها نشان داده شده است [۱۹].

نتیجه‌گیری

- از مهم‌ترین شاخص‌های کارآیی سیال پایه‌افرونی، حضور میکروحباب‌های هوا در طراحی و تهیه‌ی این نوع سیال است.
- حضور مولکول‌های پلیمر در کنار مواد فعال‌سطحی سبب تغییرات قابل توجه در محلول و خواص سطحی مواد فعال‌سطحی در مقایسه با سامانه‌های صرفاً پلیمری می‌شود.
- در سیالات حفاری افرونی، نقش و عملکرد افرون‌ها مانند مواد پل‌زننده در فرآیند اندودن و کنترل هرزروی است؛ به‌طوری که در سازندهای قابل نفوذ و سازندهایی که حفره‌های ریز دارند، افرون‌ها با پل‌زدن و بستن حفره‌ها، از هرزروی سیالات حفاری جلوگیری کرده و سبب کاهش آسیب به سازند می‌شوند.
- برای رسیدن به ساختاری پایدار برای گل‌های افرونی، ضخامت فیلمی که از حباب‌ها محافظت می‌کند باید ۱۰-۴ میکرون باشد. عامل مؤثر دیگر بر پایداری گل‌های افرونی، نرخ انتقال مولکول‌های ماده‌ی فعال سطحی از پوسته‌ی با گرانروی زیاد آبی به سیال پایه است که این فرآیند به‌دلیل گرادیان دمایی و ریزش مایع سبب به‌وجود آمدن گرادیان کشش سطحی روی پوسته می‌شود. ■

دو تعریف گرانروی پلاستیک و تنش در نقطه‌ی تسلیم استفاده می‌کنند که در ادامه تشریح خواهد شد.

گرانروی پلاستیک^۴: گرانروی پلاستیک نشان‌گر گرانروی‌های نرخ‌های برشی زیاد است. در نتیجه گرانروی پلاستیک در پیش‌بینی رفتار گل در مته کمک می‌کند. گرانروی پلاستیک توسط معادله‌ی ۱- محاسبه می‌شود:

$$\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (1)$$

تنش در نقطه‌ی تسلیم^۵: مقدار تنش در نقطه‌ی تسلیم (با واحد lb/100ft²) از معادله‌ی ۲- محاسبه می‌شود. هر چیزی که سبب تغییر در گرانروی‌های نرخ برشی کم شود توسط نقطه‌ی تسلیم منعکس و نشان داده می‌شود. به‌همین دلیل نقطه‌ی تسلیم، شناساگری خوب برای رفتار جریان در ناحیه‌ی حلقوی چاه است.

$$\tau_y = \theta_{300} - \mu_p \quad (2)$$

در معادلات ۱ و ۲، μ_p گرانروی پلاستیک، τ_y تنش در نقطه‌ی تسلیم و θ_{300} و θ_{600} به ترتیب گرانروی ظاهری در دورهای ۶۰۰ و ۳۰۰ rpm هستند.

۳-۴- پایداری سیال حفاری پایه‌افرونی

گل افرونی پایدار، گلی است که حباب‌های موجود در آن عمدتاً اندازه‌ای متوسط دارند و به‌طور یکنواخت در فاز مایع گل پراکنده شده‌اند. معمولاً در گل‌های افرونی، ۳۰-۱۰ درصد و در گل‌های فومی، ۹۰-۷۰ درصد حجم گل را حباب‌های هوا تشکیل می‌دهند. برای اندازه‌گیری سرعت ته‌نشینی موجودی مایع^{۱۶} گل‌های افرونی، گل را به داخل استوانه‌ای مدرج ریخته و ارتفاع کلی^{۱۷} آن را ثبت می‌کنند. به‌دلیل از بین رفتن حباب‌های هوا، ارتفاع کلی گل به‌مرور زمان کم می‌شود و از سوی دیگر، سیال پایه‌ی گل هم به‌دلیل نیروی جاذبه از حباب‌های هوا جدا شده و در قسمت پایین ظرف جمع می‌گردد (شکل ۱۰- [۴]).

در ۱۹۸۹ لانگ^{۱۸} روی توزیع اندازه‌ی حباب‌های افرونی و مقدار پایداری آنها کار کرد [۱۶]. آزمایش‌های او شامل اثر غلظت و نوع سورفکتانت و الکترولیت بر پایداری سیالات حفاری افرونی با زمان است. در ۱۹۹۷ نیز جارگی و همکاران^{۱۹} [۱۷] نشان دادند که با افزایش غلظت سورفکتانت، پایداری گل‌های افرونی هم افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش گرانروی

1. s_taghipour00@yahoo.com	9. Cardoso et al	17. Ht
2. Under Balance Drilling	10. Sodium dodecyl sulfat(SDS)	18. Longe
3. Poly-aphron	11. Nagarajan	19. Jauregi et al
4. Colloidal gas aphron	12. Ogugbue and Rathan	20. BJORNDALEN and Kuru
5. Sebba	13. Welan gum	21. Amiri and Woodburn
6. Growcock et al	14. Plastic viscosity	22. Beck
7. Matsushita et al	15. Yield point	
8. Save and Pangarkar	16. Drainage rate	

- [1] C.D. Ivan, J.L. Quintana, L.D. Blake, Aphron-base drilling fluid: evolving technologies for lost circulation control, in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 2001.
- [2] C. Ivan, F. Growcock, J. Friedheim, Chemical and physical characterization of Aphron-based drilling fluids, in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, 2002.
- [3] F. Growcock, A. Belkin, M. Fosdick, M. Irving, B. O'Connor, T. Brookey, Recent advances in aphron drilling fluids, in: IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA, 2006.
- [4] T. Brookey, " Micro-Bubbles": New Aphron Drill-In Fluid Technique Reduces Formation Damage in Horizontal Wells, in: SPE Formation Damage Control Conference,, Lafayette, Louisiana, 1998.
- [5] F. Ramirez, R. Greaves, J. Montilva, Experience using micro-bubbles-aphron drilling fluid in mature reservoirs of Lake Maracaibo, in: International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, 2002.
- [6] A. Rea, E. Alvis, B. Paiuk, J. Climaco, V. Manuel, L. Eduardo, I. Jorge, Application of aphrons technology in drilling depleted mature fields, in: SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago, 2003.
- [7] C. White, P. Adrian, C. Ivan, S. Maikranz, R. Nouris, Aphron-based drilling fluid: Novel technology for drilling depleted formations in the North Sea, in: SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands, 2003.
- [8] F. Sebba, Foams and biliquid foams-aphrons, Wiley New York, 1987.Pages 56-87
- [9] F.B. Growcock, A.M. Khan, G.A. Simon, Application of water-based and oil-based aphrons in drilling fluids, in: International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas, 2003.
- [10] I.D. Robb, Anionic Surfactants, Plenum, New York, 1981.Pages 110-115.
- [11] R.W. Wunderlich, Obtaining samples with preserved wettability," in Interfacial Phenomena in Petroleum Recovery, Surfactant Science Series, 36, N. R. Marrow, ed New York: Marcel Dekker, 1991, pp. 289 - 317.
- [12] K. Matsushita, A. Mollah, D. Stuckey, C. Del Cerro, A. Bailey, Predispersed solvent extraction of dilute products using colloidal gas aphrons and colloidal liquid aphrons: aphron preparation, stability and size, Colloids and Surfaces, 69 (1992) 65-72.
- [13] S.V. Save, V.G. Pangarkar, Characterisation of colloidal gas aphrons, Chemical Engineering Communications, 127 (1994) 35-54.
- [14] J. Cardoso, L. Spinelli, V. Monteiro, R. Lomba, E. Lucas, Influence of polymer and surfactant on the aphrons characteristics: Evaluation of fluid invasion controlling, Express Polymer Letters, 4, No.8 (2010) 474-479.
- [15] R. Nagarajan, Association of nonionic polymers with micelles, bilayers, and microemulsions, The Journal of Chemical Physics, 90 (1989) 1980-1994.
- [16] C.E. Ogugbue, M.P. Rathan, S.N. Shah, Experimental Investigation of Biopolymer and Surfactant Based Fluid Blends as Reservoir Drill-In Fluids, in: SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Mumbai, India 2010.
- [17] F. Odeh, Polymer and Surfactantinteraction, , in: Lecture Note. Dept. of Chemistry, Clarkson University, 2006.
- [18] D. Rastrilla, M. Argentina SA, J. Pena, J.M. Seheult, Rheologically Enhanced Xanthan System Replaces Invert Emulsion, Petroleum Engineer International Conference, Hosuston, Texas, October1997.
- [19] N. BJORNDALEN, E. Kuru, Stability of Microbubble-Based Drilling Fluids Under Downhole Conditions, Journal of Canadian Petroleum Technology, 47 , No(6) (2008) 40-47