

اثر حرارت و آلاینده‌های (Mg^{++} ، Ca^{++}) روی گل پلیمری XC، PHPA در شرایط واقعی چاه

حمید سلطانیان

فارغ‌التحصیل کارشناس ارشد گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

جمال رستمی

استادیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۱۰/۳، تاریخ تصویب ۸۱/۷/۲۰)

چکیده

با توجه به پیشرفت علوم به ویژه تکنولوژی گل حفاری و نیز هزینه‌های زیادی که در آنها صرف می‌شود، بهینه سازی و کنترل خواص سیالیت گل‌های حفاری جهت افزایش راندمان گل حفاری و کاهش هزینه‌های مربوطه با توجه به پیشرفت علوم بویژه مواد جدید و درک بهتر فرایند حفاری و همچنین قابلیت مدل‌سازی فیزیکی و کامپیوتری امری ضروری می‌باشد. مشخصات فیزیکی و کارایی گلهای متداول در حفر چاه‌های عمیق تحت دما و آلاینده‌های زیاد تغییر نموده و گل قادر به انجام وظایف اصلی در حمل مواد حفر شده نمی‌باشد. جهت تصحیح این خواص می‌توان از راه‌های مختلفی استفاده نمود و یکی از روش‌های بهبود خواص گلهای استفاده از پلیمرها در گل حفاری می‌باشد. در این مقاله تأثیر دو نوع پلیمر XC و PHPA بر رفتار رئولوژیکی و فیزیکی گل پایه آبی و تأثیر دما بر روی گل بنتونیتی و گل‌های پلیمری (تهیه شده با آب‌های مختلف) و همچنین تأثیر دو نوع آلاینده $CaCO_3$ و $MgSO_4$ (که اصولاً همراه با آب دریا هستند و یا از طریق سیمان کاری چاه و سازندها وارد گل می‌شوند) بر رفتار و خواص گل مذکور مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای ایجاد شرایط واقعی چاه و امکان اعمال فشار و دمای بالا، از دستگاه گرانیوی سنج دوار Fann مدل $50^\circ C$ در آزمایشات و مطالعات رئولوژی استفاده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد که پلیمرهای XC و PHPA در مقابل نمک‌های محلول در سیستم ایجاد گرانیوی کرده و در برابر انواع آلودگی‌ها مقاوم می‌باشند و در سرعت برشی بالا، مشخصات اولیه گرانیوی را حفظ می‌نمایند. همچنین افزایش دما در گل بنتونیتی باعث افزایش تنش برشی و در گل‌های پلیمری XC و PHPA باعث کاهش آن می‌گردد و فقط در گل پلیمری XC تهیه شده با آب نمک اشباع تغییرات گرانیوی از روند مشخصی تبعیت نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: گرانیوی، تنش برشی، افت صافی، نقطه واروی

مقدمه

حفاری ایده‌آل می‌بایست در برابر آلودگی‌های مختلف مخصوصاً کلسیم و منیزیم پایدار باشد [۲]. محدودیتهای فراوان و عدم کارایی مناسب گل‌های حفاری بنتونیتی موجب میشود سیالات دیگری بعنوان جایگزین آنها مد نظر قرار گیرند. از اینرو استفاده از گل‌های پلیمری مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته است که علاوه بر ایجاد گرانیوی در سیستم، در برابر آلودگی‌های مختلف پایدار و خوبی افت صافی را کنترل می‌نماید. گل‌های پلیمری ممکن است فقط از پلیمرها و مواد وزن افزا ساخته شده باشند و یا برای رسیدن گل به مقداری مناسب از نظر ویسکوزیته و قدرت ژله‌ای، از مقداری بنتونیت پیش

تجارب گذشته حفاری نشان می‌دهد که گل حفاری بنتونیتی به رغم کنترل و ایجاد خواص سیالیت، در شرایطی خاص قادر به حفظ خواص مطلوب نبوده و بعضاً موجب ایجاد اشکالاتی در امر حفاری و کاهش راندمان آن می‌شود. افزایش سرعت حفاری نیاز به سیالی دارد که در سرعت‌های برشی و حرارت زیاد (در انتهای ستون حفاری و نازل‌های سر مته حفاری) از کمترین گرانیوی و در فضای حلقوی از گرانیوی بهینه برخوردار باشد تا بتوانند به بیرون چاه هدایت نموده و هنگام \downarrow گرانیوی از ریزش و بازگشت مته جلوگیری نماید. همچنین گل

حفریه‌های بدون رس و بهبود کار گل‌های حفاری در آورده است [۸].

PHPA اغلب برای معرفی پلیمر پلی اکریل آمید- پلی اکریلات بکار می‌رود و محصول نهائی آن پلیمری است که از پلیمریزاسیون پلی اکریل آمید- پلی اکریلات حاصل می‌شود. خصوصیات PHPA تابعی از وزن ملکولی و نسبت گروه کربوکسیل به گروه آمید می‌باشد. پلی اکریل آمید به تنهایی در آب نامحلول است، بنابراین باید با اکریلات سدیم کوپلیمر شود تا در آب قابل حل گردد. نسبت پلی اکریلات سدیم به اکریل آمید در شروع پروسه نسبت دو گروه فعال را در پلیمر بدست آمده تعیین می‌کند. با توجه به اتصال کربن- کربن، این پلیمر پایداری حرارتی بالا داشته و در برابر باکتری مقاوم است. بعلاوه از آنجا که PHPA آنیوتیک است می‌تواند تحت تاثیر سطوح کاتیونی مانند سطوحی که در رس وجود دارد قرار گیرد [۱۲].

آلاینده‌ها

آلوده کننده به موادی اطلاق می‌شود که بطور ناخواسته وارد سیستم گل شده و تغییراتی در خواص سیالیت آن ایجاد می‌کنند (مانند یونهای کلسیم و منیزیم)، بطور خلاصه میتوان منشاء آلودگی‌های سیستم گل حفاری را به شرح زیر بیان کرد [۳].

- ۱- آلودگی ناشی از سیمان کاری چاه
 - ۲- آلودگی ناشی از مواد شیمیایی که برای بهبود گل حفاری به آن افزوده می‌شوند.
 - ۳- آلودگی ناشی از مواد جامد سازنده‌های در حال حفاری مانند سنگهای گچی و رسی.
- برای بررسی اثر یون‌های کلسیم و منیزیم روی گل‌های پلیمری XC و PHPA آزمایشاتی با مقادیر مختلف از CaCO_3 و MgSO_4 انجام شده است.

هدف اصلی این مطالعه، بررسی پلیمرها در شرایط دمایی بالا و در حضور آلاینده‌های (Ca^{++} ، Mg^{++}) می‌باشد تا بتوان پلیمر مناسبی (از میان پلیمرهای مختلف) که در شرایط فوق مقاوم بوده و همچنین بتواند خواص سیال را در حد مطلوبی نگه دارد مشخص و انتخاب گردد. لذا پلیمرهای PHPA و XC مختلفی را که توسط شرکتهای

هیدراته (به دلیل کاهش هزینه و بهبود وضعیت افت صافی) استفاده شود [۷].

پلیمرهائی که در گل حفاری استفاده می‌شوند

۱- پلیمرهای بسط دهنده

که شامل سدیم پلی اکریل هستند. معروفترین این نوع پلیمر، پلی اکریل آمید بطور جزئی هیدرولیز شده (PHPA) می‌باشد.

۲- پلیمرهای کلونیدی

شامل سدیم کربوکسی متیل سلولز (CMC) و هیدروکسی اتیل سلولز (HEC) و نشاسته است.

۳- پلیمرهای با زنجیره طولانی

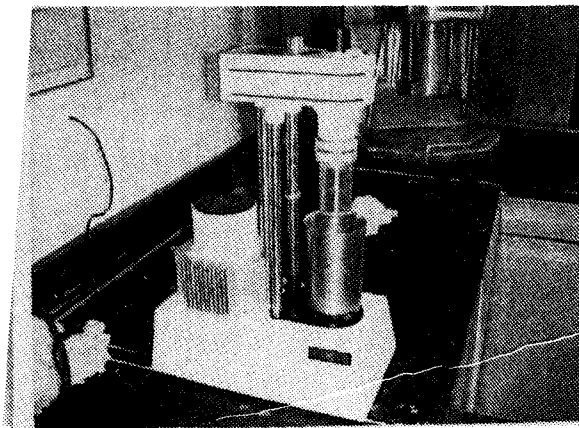
که از پلیمرهای حیوانی بوده و بخوبی در آب حل می‌گردند. معروفترین آن زانتان (XC) است. پلیمرها در بیشتر انواع گل‌های حفاری برای کنترل خواص ویسکوزیته، افت صافی، بعنوان منعقد کننده، پراکنده کننده، بازدارنده شیل و همچنین جهت روانکاری استفاده می‌شوند [۱۰].

ساختار پلیمرهای XC و PHPA

ساختار این پلیمرها به صورت خطی، شاخه‌دار یا مشبک رده‌بندی می‌شود. پلیمرهای خطی شامل CMC (کربوکسی متیل سلولز)، PHPA (پلی اکریل آمید هیدرولیز شده جزئی)، HEC (هیدروکسی اتیل سلولز) و پلیمرهای شاخه‌دار شامل نشاسته و صمغ گزانتان می‌باشد [۸].

زانتان (XC) یک پلیمر طبیعی، محلول در آب بوده و دارای ساختار شاخه‌ای با وزن ملکولی ۲-۳ میلیون و بصورت آنیونیک می‌باشد. پلیمر زانتان، ساختارهای ژل مانند ایجاد می‌کند و هرچه برش زیاد باشد ویسکوزیته آن کاهش پیدا می‌کند. وقتی عمل برش متوقف می‌شود ویسکوزیته اولیه آن دوباره بازیافت می‌شود. در سرعتهای بالای برش، ویسکوزیته گل کاهش می‌یابد و در سرعتهای کم برش باندهای هیدروژنی دوباره تشکیل می‌شود و چسبندگی دوباره افزایش پیدا می‌کند. غلظت مورد استفاده از زانتان برای ایجاد خصوصیات تیکسوتروپیک بستگی به آب مورد استفاده دارد. زانتان ویژگیهای متعددی دارد که آنرا بصورت یک پلیمر ایده‌آل برای

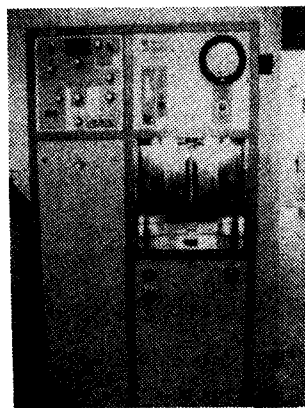
ساخت کارخانه فن می‌باشد که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌شود. این مدل می‌تواند در شش سرعت ۳، ۶، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ دور در دقیقه کار کند [۴].



شکل ۱: دستگاه گرانیوی سنج دوار مدل ۳۵.

۲- گرانیوی سنج دوار مدل ۵۰C

این مدل از نظر نحوه طراحی شبیه مدل ۳۵ است. با این برتری که با استفاده از این دستگاه می‌توان شرایط واقعی چاه یعنی درجه حرارت و فشار بالا را بر روی نمونه اعمال و تغییرات ویسکوزیته را برحسب شدت برش بدست آورد [۴].



شکل ۲: دستگاه گرانیوی سنج دوار مدل ۵۰ سی.

۳- دستگاه فیلتر پرس

با استفاده از این دستگاه می‌توان مقدار افت صافی سیال را در شرایط استاندارد تعیین کرد. موادی که در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند شامل بنتونیت، رس نمکی، آب مقطر، آب دریا، آب نمک اشباع، پلیمر XC،

باروید، بیکر، مگوبار و MI تولید شده بطور مجزا مورد آزمایش قرار گرفته و از بین آنها بهترین نوع PHPA و XC (تولید شده از شرکت بیکر) را که در درجه حرارت بالا و در حضور آلاینده‌ها توان حفظ خواص خود را دارند انتخاب و آزمایشات تکمیلی بر روی این دو نوع پلیمر ادامه یافت.

در صنعت نفت ایران این تحقیقات برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفته و در سایر کشورها نیز تنها استفاده از این مواد پلیمری بطور محدود در حال مطالعه و انجام است.

تجهیزات و مواد مورد استفاده

تجهیزات مهم مورد استفاده عبارتند از:

۱- گرانیوی سنج دوار مدل ۳۵

اطلاعات دقیق‌تر درباره گرانیوی و کنترل آن را می‌توان بوسیله دستگاه گرانیوی سنج دوار، بدست آورد. این دستگاه که گرانیوی را برحسب سانتی پویز، اندازه‌گیری می‌کند، می‌تواند دلیل غیر عادی بودن و علت تغییرات گرانیوی را هم تعیین کند. گرانیوی سنج دوار همچنین می‌تواند، استحکام ژله‌ای (قدرت ژله‌ای شدن) گل، را هم اندازه‌گیری کند. بطور کلی گرانیوی سنج دوار در مطالعه سیالات کمپلکس^۱، نظیر آنها که از خود آثار تیکسوتروپیک^۲ نشان می‌دهند بکار می‌رود. در این دستگاه، سیال مورد آزمایش در فضای حلقوی بین دو استوانه هم محور، محصور شده و همواره تحت یک نرخ نیروی برشی یکنواخت و دقیق قرار می‌گیرد. استوانه توخالی بیرونی، با سرعت دورانی ثابت به گردش در می‌آید و گشتاور ناشی از نیروی بازدارنده گرانیوی سیال که در اثر چرخش استوانه بیرونی ایجاد می‌شود، روی استوانه توپر درونی اعمال می‌شود. این گشتاور بوسیله یک فنر حلزونی گرد، بالانس می‌شود. انحراف عقربه را (که ناشی از گشتاور وارد بر استوانه درونی است) هم می‌توان مستقیماً روی یک صفحه مدرج منتقل کرد و هم می‌توان آنرا روی یک دستگاه ثبات، ثبت نمود. در گرانیوی سنج، اندازه تنش برشی متناسب با دور بر دقیقه استوانه خارجی می‌باشد. گرانیوی سنج دوار در نمونه‌ها و مدل‌های مختلفی عرضه شده است. رایج‌ترین آنها VG meter مدل ۳۵

تیکسوتروپیک گل است. این سنجش، سنجش نیروی جاذبه ملکولی، تحت شرایط ساکن یا استاتیک است. هنگامی که نقطه واروی کاهش می‌یابد، قدرت زله‌ای نیز معمولاً کم می‌شود. ولی کم بودن نقطه واروی، لازمه آن نیست که قدرت زله‌ای باید صفر باشد [۲].

تعیین مقادیر نقطه واروی، ویسکوزیته ظاهری و ویسکوزیته پلاستیکی در آزمایشگاه

برای نشان دادن خواص رئولوژیکی گل‌های حفاری غالباً مدل پلاستیک بینگهام بکار می‌رود. معادله ریاضی این مدل به صورت زیر است [۲].

$$S.S = S.S|_{SR=0} + P.V \times S.R \quad (2)$$

$$S.S|_{SR=0} = Y_p \quad (3)$$

وقتی از دستگاه گرانروی سنج دوار Fann استفاده می‌شود SR متناسب با rpm (دور در دقیقه) و SS متناسب با dial reading (درجه انحراف) دستگاه است در این صورت معادله فوق به شکل زیر در می‌آید:

$$\theta = Y_p + PV \times \frac{\omega}{300} \quad (4)$$

معادله فوق نشان می‌دهد که درجه انحراف "θ" تابعی از سرعت دوران یا ω است (PV و Y_p پارامترهای معادله هستند).

برای بدست آوردن مقادیر این پارامترها کافی است به ازاء دو مقدار دلخواه از ω مقادیر متناظر θ اندازه‌گیری شده و سپس با داشتن دو معادله و دو مجهول، ضرایب مربوطه محاسبه گردد [۲].

$$\omega_1 = 600 \text{ rpm} \rightarrow \theta = \theta_{600}$$

$$\omega_2 = 300 \text{ rpm} \rightarrow \theta = \theta_{300}$$

$$\omega_{600} = Y_p + PV \times \frac{600}{300} \quad (5)$$

$$\omega_{300} = Y_p + PV \times \frac{300}{300} \quad (6)$$

از حل معادلات بالا خواهیم داشت:

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (7)$$

پلیمر PHPA، کربنات کلسیم و سولفات منیزیم می‌باشد.

مدل پلاستیک بینگهام

مدلی که اغلب برای نشان دادن خواص جریان یک گل حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل پلاستیک بینگهام است. این مدل نشان می‌دهد که یک نیروی اولیه برای حرکت در آمدن سیال لازم است که بعد از اعمال این نیرو یک نرخ ثابت تنش برشی با افزایش نرخ نیروی برشی مشاهده می‌گردد. معادله این مدل بصورت زیر است:

$$SS = Y_p + PV \times SR \quad (1)$$

که در آن SS تنش برشی^۴، SR نرخ نیروی برشی^۵، Y_p نقطه واروی^۶ و PV گرانروی پلاستیکی^۷ می‌باشد. واحد گرانروی پلاستیکی سانتی پویز و نقطه واروی $\frac{lb_f}{100ft^2}$ می‌باشد [۲].

مفاهیم پارامترهای اندازه‌گیری شده

۱- گرانروی پلاستیکی (PV)

گرانروی پلاستیکی، بخشی از مقاومت مقابل جریان است که بر اثر اصطکاک مکانیکی بوجود می‌آید [۲]. این اصطکاک ناشی از عوامل ذیل می‌تواند باشد:

الف) برخورد جامدات با یکدیگر

ب) برخورد جامدات با مایعی که آنها را محاط می‌کند.

ج) اصطکاک ناشی از حرکت لایه‌های سیال روی یکدیگر.

۲- نقطه واروی (Y_p)

یکی دیگر از اجزاء مقاومت در برابر جریان در گل حفاری، نقطه واروی می‌باشد. در سیالاتی که از نوع پلاستیکی بوده یا از قانون بینگهام پلاستیک تبعیت می‌کنند، برای به حرکت درآوردن سیال، از زمانی که فشاری بر مایع وارد می‌شود تا هنگامی که فشار به نقطه‌ای برسد که در آن نقطه مایع شروع به حرکت کند، آن نقطه را نقطه واروی می‌گویند [۲].

۳- قدرت زله‌ای (GL)

سنجش قدرت زله‌ای، مشخص کننده خاصیت ماسیدن یا

دقیقه و در بعضی موارد ۷/۵ دقیقه صورت می‌گیرد.

۲- فیلتراسیون استاندارد دما و فشار بالا

که در شرایط ۵۰۰ psi و دمای ۳۰۰°F و ظرف مدت ۳۰ دقیقه انجام می‌شود.

لازم به تذکر است که جهت بدست آوردن داده‌های مربوط به هر کدام از نمونه‌ها دستگاه کالیبره شده است و خطای ناشی از آزمایش بسیار جزئی و قابل اغماض می‌باشد.

تاثیر غلظت‌های مختلف از آلاینده‌های (Mg⁺⁺، Ca⁺⁺) روی خواص گل پلیمری XC و PHPA با آب نمک اشباع

در این سری از آزمایشات از دو نوع آلاینده (CaCO₃، MgSO₄) که اصولاً در هنگام حفاری از طریق سازندها وارد گل می‌شوند (یا اینکه نوعاً در آب مورد استفاده وجود دارند) استفاده گردیده است تا نمونه گل مورد آزمایش به حالت واقعی نزدیکتر باشد. در این آزمایشات غلظت‌های مختلف آلاینده بر روی گل پایه که متشکل از ۲۱ پوند بر بشکه رس نمکی و ۳۵۰^{CC} آب نمک اشباع و مقادیر مختلف از پلیمر XC یا PHPA شرکت بیکر (۱ تا ۴ گرم) می‌باشد استفاده گردیده است. علت استفاده از آب نمک اشباع در این آزمایشات متداول بودن این ترکیب در حفاری چاهها بوده و بدین ترتیب می‌توان تمامی مشکلات استفاده از پلیمرها در این نوع گل را مورد آزمایش قرار داد.

شکل (۳) و (۴) تاثیر مقدار آلاینده‌ها را روی گرانیوی ظاهری گل پلیمری XC و PHPA را نشان می‌دهند. همانطور که از شکل پیداست با افزایش مقدار پلیمر مصرفی و آلاینده‌ها گرانیوی ظاهری افزایش می‌یابد.

این دو شکل بخوبی نشان می‌دهند که پلیمرهای XC و PHPA در مقابل آلاینده‌ها مقاوم هستند چون در غیر اینصورت پلیمرهای XC و PHPA به دلیل آنیونی بودن با یونهای کاتیونیک موجود در سیستم (Ca⁺⁺ و Mg⁺⁺) پیوند برقرار نموده و باعث رسوب دادن پلیمرها و در نتیجه باعث کاهش در گرانیوی ظاهری می‌شدند.

شکل (۵) و (۶) تاثیر مقدار آلاینده‌ها روی گرانیوی پلاستیکی گل را نشان می‌دهند که با افزایش مقدار پلیمر مصرفی گرانیوی پلاستیکی گل‌های پلیمری XC و

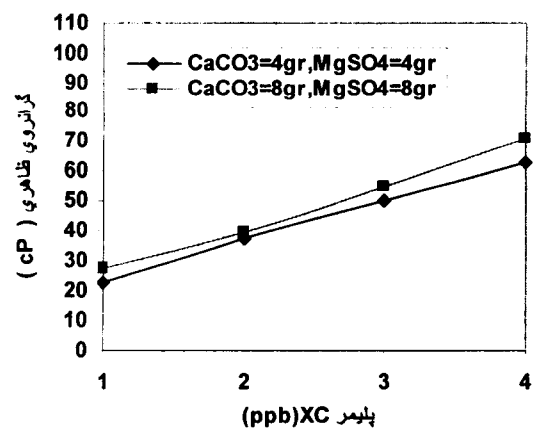
$$Y_p = \theta_{300} - PV \quad (۸)$$

بنابه تعریف ویسکوزیته ظاهری^۸ (AV) عبارتست از ویسکوزیته یک سیال غیر نیوتنی در SR معادل rpm ۶۰۰ اگر درجه انحراف برای rpm ۶۰۰ را θ_{600} و این مقادیر در فرمول زیر قرار داده شود آنگاه مقدار ویسکوزیته ظاهری به صورت زیر بدست می‌آید.

$$AV = U_e \Big|_{SR=600rpm} = 300 \times \frac{\text{dial reading}}{\omega} = 300 \times \frac{\theta_{600}}{600} = \frac{1}{2} \theta_{600} \quad (۹)$$

اندازه‌گیری افت صافی^۹ (FL) گل و خاصیت اندود کردن دیواره

افت صافی یا خاصیت اندود کردن دیواره چاه بوسیله دستگاه فیلتر پرس بررسی و تعیین می‌شود. آزمایش به این طریق است که سرعت عبور فاز مایع گل حفاری از یک کاغذ صافی استاندارد، تحت شرایط ویژه‌ای از فشار، درجه حرارت، زمان و همچنین ضخامت اندودی که گل در اثر فیلتراسیون ظرف این مدت روی کاغذهای صافی بجا می‌گذارد اندازه‌گیری می‌شود [۳]. فیلتراسیون گل‌های حفاری را معمولاً تحت دو شرایط متفاوت اندازه‌گیری می‌کنند.

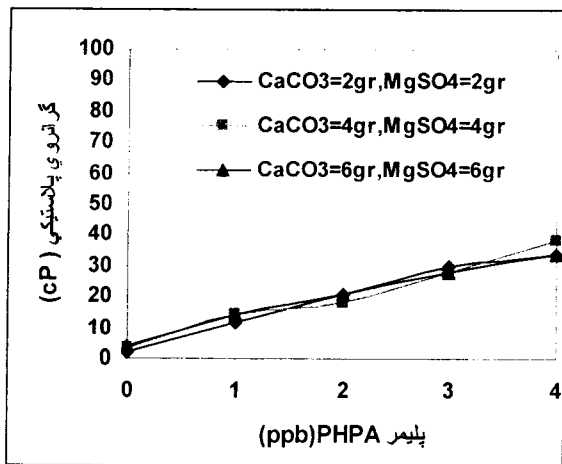


شکل ۳: اثر آلاینده‌ها بر گرانیوی ظاهری گل پلیمری XC.

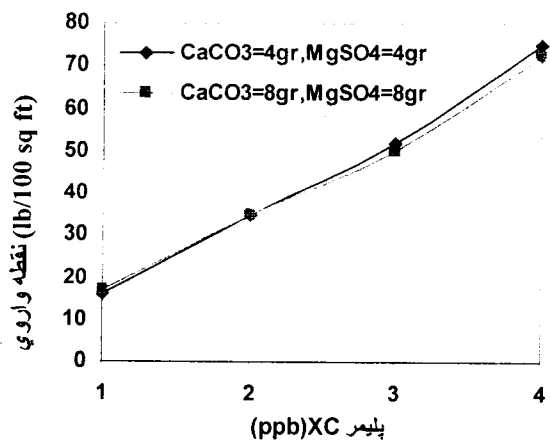
۱- فیلتراسیون استاندارد API

که در شرایط ۱۰۰ psi و دمای اتاق و ظرف مدت ۳۰

و افزایش آلاینده‌ها تاثیر چندانی در خواص نقطه واروی گل ندارد و همچنین شکل (۸) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آلاینده‌ها در حالتی که مقدار پلیمر مصرفی در حدود یک پوند بر بشکه می‌باشد تقریباً بی تاثیر است ولی در مقادیر بیشتر از یک پوند بر بشکه از روند خاصی تبعیت نمی‌کند.

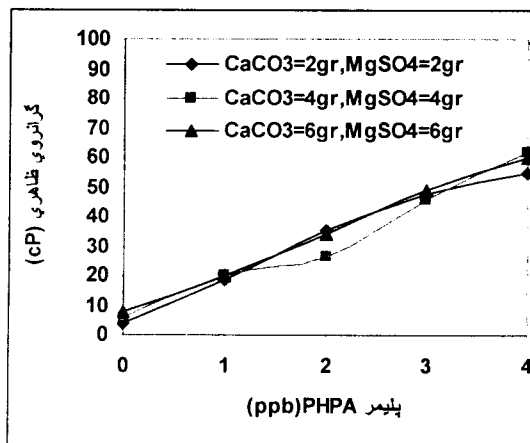


شکل ۶: اثر آلاینده‌ها بر گرانروی پلاستیکی گل پلیمری PHPA.



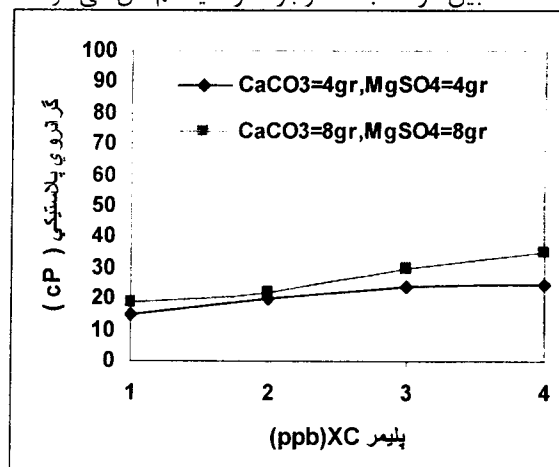
شکل ۷: اثر آلاینده‌ها بر نقطه واروی گل پلیمری XC.

شکل (۹) و (۱۰) تاثیر غلظت‌های مختلف آلاینده‌ها و پلیمرهای XC و PHPA را بر روی افت صافی نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل (۹) پیداست با افزایش مقدار پلیمر XC و آلاینده‌ها افت صافی ثابت بوده و همچنین شکل (۱۰) نشان می‌دهد که با به کار بردن یک پوند بر بشکه از پلیمر PHPA افت صافی بشدت کاهش



شکل ۴: اثر آلاینده‌ها بر گرانروی ظاهری گل پلیمری PHPA.

PHPA افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش مقدار آلاینده‌ها برای گل پلیمری XC (شکل ۵) مقدار گرانروی پلاستیکی افزایش می‌یابد که دلیل آن بالا رفتن درصد جامدات موجود در گل می‌باشد. برای گل پلیمری PHPA این افزایش گرانروی بسیار جزئی بوده و این روند کاملاً هم منطقی بنظر می‌رسد. علت این رفتار به خاطر ساختار ملکولی پلیمر PHPA می‌باشد که موجب کاهش اصطکاک بین ذرات جامد موجود در سیستم گل می‌شود.



شکل ۵: اثر آلاینده‌ها بر گرانروی پلاستیکی گل پلیمری XC.

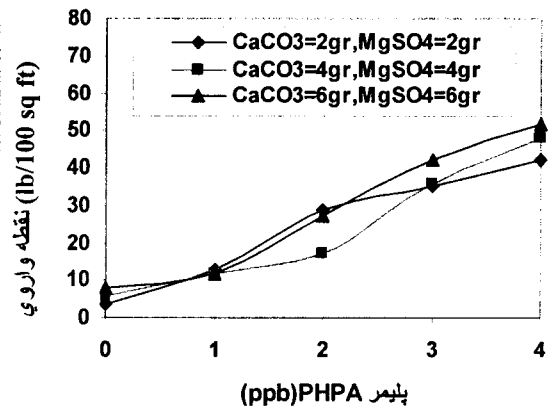
شکل (۷) و (۸) نیز تاثیر غلظت‌های مختلف از پلیمرهای XC و PHPA و آلاینده‌ها روی خواص نقطه واروی را نشان می‌دهد. همانگونه که از نمودار شکل (۷) پیداست افزایش پلیمر XC باعث افزایش نقطه واروی سیال می‌شود

اثر حرارت بر گل بنتونیتی و گل های پلیمری PHPA و XC

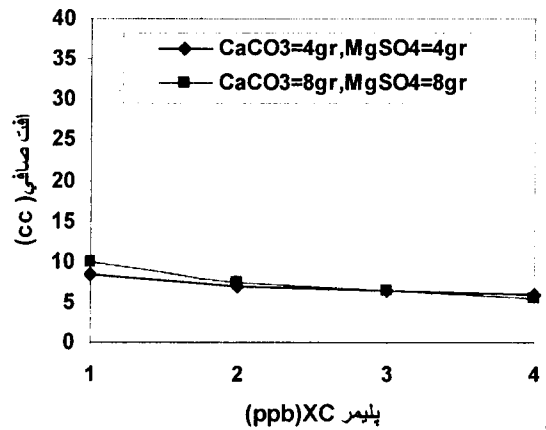
تغییر خواص گل (گل بنتونیتی، گل پلیمری XC و گل پلیمری PHPA) در پنج دمای ۸۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ درجه فارنهایت بررسی شده است. آزمایش خواص گل در این دماها توسط دستگاه گرانیوی سنج Fann مدل C ۵۰ انجام شد. در این آزمایش گل بنتونیتی متشکل از ۱۰ پوند بر بشکه بنتونیت و ۳۵۰^{CC} آب مقطر می باشد، و گل پلیمری XC و PHPA هر کدام در سه نمونه تهیه شده که نمونه اول آن متشکل از ۱۰ پوند بر بشکه بنتونیت، ۳۵۰^{CC} آب مقطر و یک پوند بر بشکه پلیمر و نمونه دوم آن متشکل از ۱۰ پوند بر بشکه رس نمکی، ۳۵۰^{CC} آب دریا و یک پوند بر بشکه پلیمر و نمونه سوم آن متشکل از ۱۰ پوند بر بشکه رس نمکی، ۳۵۰^{CC} آب نمک اشباع و یک پوند بر بشکه پلیمر می باشد.

براساس نتایج آزمایشات در شکل (۱۱) افزایش دما باعث افزایش تنش برشی (با افزایش تنش برشی گرانیوی ظاهری، گرانیوی پلاستیکی و نقطه واروی افزایش می یابد، چون سه پارامتر فوق تابعی از تنش برشی می باشد) در گل بنتونیتی می گردد. این در حالی است که در مورد گل های پلیمری XC و PHPA با آب های مختلف (شکل ۱۲ تا ۱۷) به جزء گل پلیمری XC با آب نمک اشباع (که جهت گیری مشخص مشهود نبوده) روند تغییرات بعکس گل های بنتونیتی و کاهش است. علت افزایش تنش برشی در گل بنتونیتی، افزایش بی نظمی در سیستم ساختار مولکولی در رسها شده و لذا با بهم خوردن اتصال صفحات رسی، صفحات بصورت لب به لب یا لب به رویه قرار گرفته و پدیده کلوخه ای شدن بوجود می آید که این امر باعث افزایش گرانیوی گل و در نتیجه موجب کاهش راندمان حفاری می گردد. علت کاهش تنش برشی در گل های پلیمری PHPA و گل های پلیمری XC با آب دریا و آب مقطر آن است که با افزایش دما اتصالات بین پلیمر و ذرات رسی شکسته شده و در واقع مولکولها در فاز مایع پخش می گردند که این امر باعث کاهش گرانیوی یا تنش برشی و در نتیجه موجب افزایش راندمان حفاری می گردد.

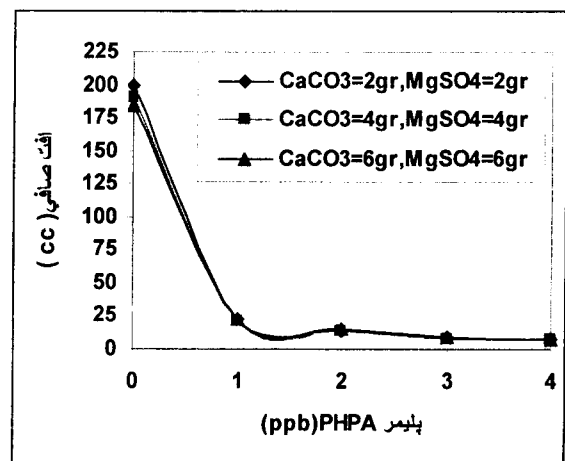
می یابد و مصرف بیشتر از آن تاثیری بر کاهش افت صافی ندارد و با افزایش آلاینده ها افت صافی ثابت می باشد.



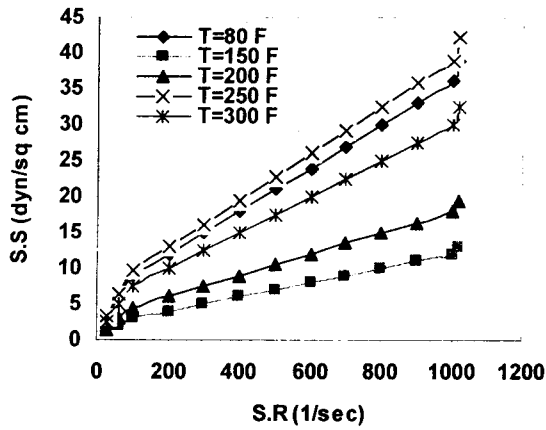
شکل ۸: اثر آلاینده ها بر نقطه واروی گل پلیمری PHPA.



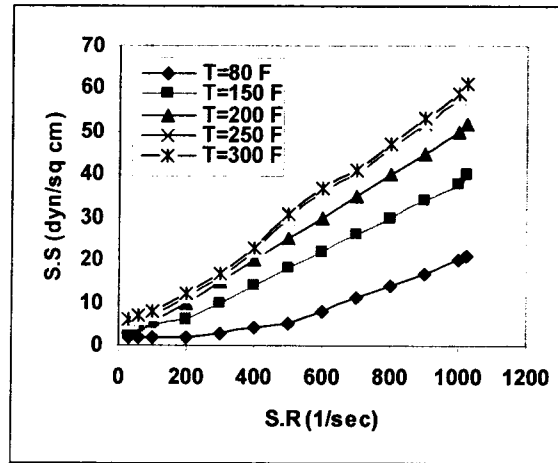
شکل ۹: اثر آلاینده ها بر افت صافی گل پلیمری XC.



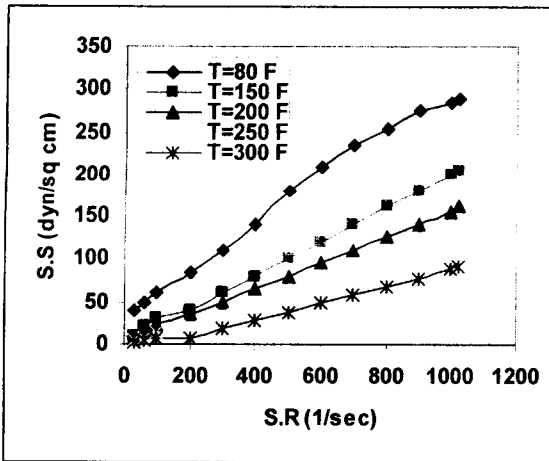
شکل ۱۰: اثر آلاینده ها بر افت صافی گل پلیمری PHPA.



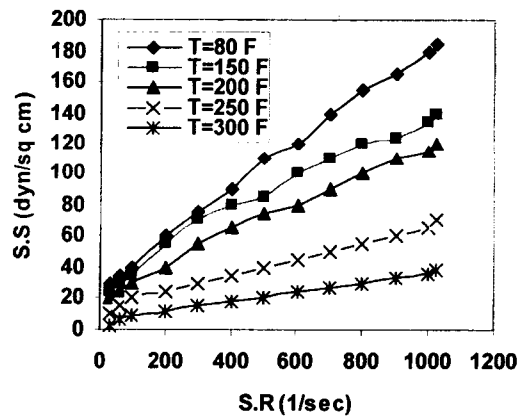
شکل ۱۰: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری XC در فشار ثابت P=200psi (گل با آب نمک اشباع).



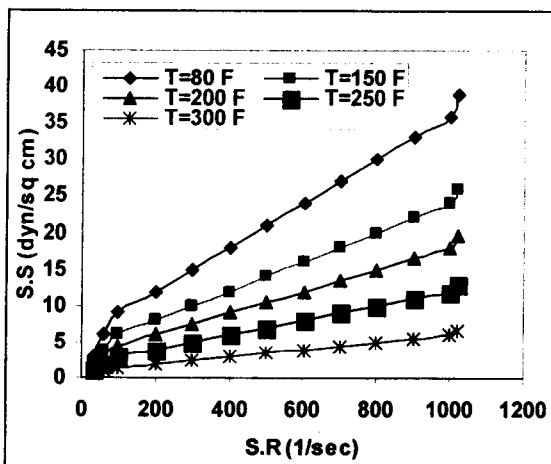
شکل ۱۱: اثر حرارت بر منحنی جریان گل بتونیتی در فشار ثابت P=200psi.



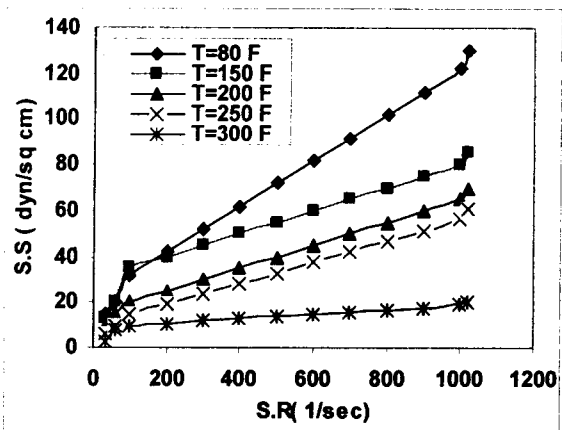
شکل ۱۴: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری PHPA در فشار ثابت P=200psi (گل با آب مقطر).



شکل ۱۵: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری XC در فشار ثابت P=200psi (گل با آب مقطر).



شکل ۱۶: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری PHPA در فشار ثابت P=200psi (گل با آب دریا).



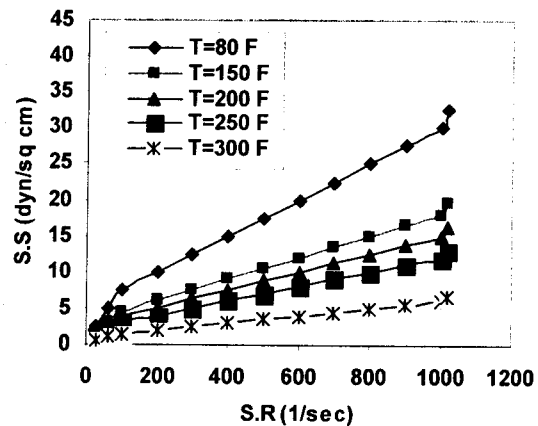
شکل ۱۷: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری XC در فشار ثابت P=200psi (گل با آب دریا).

۳- پلیمرهای XC و PHPA در مقابل نمکهای محلول در سیستم ایجاد گرانیوی کرده و در برابر آلاینده‌های (Mg^{++}, Ca^{++}) مقاوم می‌باشند و همچنین با افزایش مقدار پلیمر مصرفی به گل پایه خواص رئولوژیکی و تیکسوتروپیک گل بهبود می‌یابد.

۴- براساس نتایج بدست آمده، پلیمرهای XC و PHPA تولید شده از شرکت بیکر ماده افزودنی خوبی برای اصلاح خواص رئولوژی گل حفاری در شرایط دمای بالا و حضور آلاینده‌ها می‌باشد. به طور کلی گل‌های تهیه شده از پلیمرهای XC و PHPA رفتار سیال و خواص بهتری جهت استفاده در گل‌های حفاری برای استفاده در چاه‌های عمیق و تحت شرایط دما و فشار بالا از خود نشان داده و می‌توان از این ماده در آینده در مقیاس صنعتی جهت استفاده در عملیات حفاری در کشور استفاده نمود.

فهرست علائم

- ω : سرعت دوران (rpm)
 θ : درجه انحراف (dial reading)
 μe : گرانیوی (سانتی پواز cP)
 API : استاندارد انجمن بین‌المللی نفت آمریکا
 PV : ویسکوزیته پلاستیکی (سانتی پواز cP)
 AV : ویسکوزیته ظاهری (سانتی پواز cP)
 Y_p : نقطه واروی $\left(\frac{lb_f}{100ft^2}\right)$
 FL : افت صافی (سی سی)
 SS : تنش برشی $\left(\frac{lb_f}{100ft^2}\right)$
 SR : نرخ برش (S⁻¹)



شکل ۱۷: اثر حرارت بر منحنی جریان گل پلیمری PHPA در فشار ثابت P=200psi (گل با آب نمک اشباع).

نتیجه گیری

با توجه به هدف اولیه مطالعات و نتایج آزمایشات انجام شده بر روی گل‌های حفاری با استفاده از پلیمرهای XC و PHPA بصورت زیر خلاصه می‌گردد.

۱- گل‌های بنتونیتی موجود و متداول حفاری تحت شرایط دما و فشار بالا خواص خود را از دست داده و نتیجتاً راندمان عملیات حفاری را کاهش داده و بعضاً می‌توانند باعث ایجاد مشکلات و تحمل هزینه‌های زیادی به حفاری شوند. استفاده از انواع خاصی از پلیمرها جهت تنظیم خواص مهم گل حفاری می‌تواند در این زمینه راهگشا بوده و از وقوع این مشکلات جلوگیری بعمل آورد.

۲- افزایش دما برای گل بنتونیتی باعث افزایش تنش برشی و در نتیجه موجب افزایش نقطه واروی، گرانیوی ظاهری و خواص ژله‌ای گل می‌گردد و راندمان عملیات حفاری را کاهش می‌دهد اما در مورد گل‌های پلیمری XC و PHPA روند تغییرات بعکس گل‌های بنتونیتی و کاهشی است و موجب افزایش راندمان حفاری می‌گردد.

مراجع

- 1- James, L. and Lummus, J. (1986). *Drilling fluids optimization a practical field approach*. Penn Well Publishing Company, PP. 122-128.
- 2 - Walter, R. (1953) . *Composition and properties of oil well drilling fluids*. Gulf Publishing Company, PP.

- 295-305.
- 3 - Darley, H. and George, R . (1988). *Composition and properties of drilling and completion fluids*. Gulf Publishing Company, PP. 86-91.
 - 4 - Mocray, W. (1976). *Oil well drilling technology*. University of Oklahoma Norman, PP.121-124.
 - 5 - Hale, H. and Cowan, M. (1995). *Universal fluids for drilling and cementing wells*. United States Patent, PP.. 151-153.
 - 6 - Jones, F., Timothy, H., Hughes, W. and Trevor, M. (1994). *Analysis of drilling fluids*. United States Patent, PP. 33-35.
 - 7 - Plomk, F. and Johann, P. (1992) .“Water-based muds using synthetic polymers developed for high temperature drilling.” *Oil and Gas Journal* , Vol. 95, No. 5, PP. 23-25.
 - 8 - Beihoffer, H. (1992). “Cationic polymer drilling fluid can sometimes replace oil based mud.” *Oil and Gas Journal* , Vol. 93, No. 13, PP. 33-35.
 - 9 - Zakarov, L. and konovalon, J. (1992) , “Silicon-based additives improve mud rheology.” *Oil and Gas Journal*, Vol. 91, No. 15, PP. 17-21.
 - 10 - Welch , R. (1992). “Cationic polymer mud solves gumbo problems in north sea.” *Oil and Gas Journal*, Vol. 86, No. 5, PP. 25-28.
 - 11- Elward, R. (1992). “Rheologically stable, Nontoxic, high-temperature water based drilling fluid.” *Society of Petroleum Engineers*, PP. 286-291.
 - 12 - Retz , R. H. (1991). “An environmentally acceptable and field practical cationic polymer mud system.” *Society of Petroleum Engineers*, PP. 123-125.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Shear Thinning
 - 2 - Complex Fluids
 - 3 - Thixotropic
 - 4 - Shear Stress
 - 5 - Shear Rate
 - 6 - Yield Point
 - 7 - Plastic Viscosity
 - 8 - Apparent Viscosity
 - 9- Fluid Loss
-