

## تأثیر ترکیب جدیدی از افزایه کنترل افت صاف آب با پخش کننده، بر خواص رئولوژیکی دوغاب بدون نمک، زمان بندش و استحکام سیمان حفاری

محمد خزایی

دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش حفاری دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

محسن ده ودار \*

استادیار دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

### چکیده

هنگامی که دوغاب در پشت لوله‌های جداری فرستاده می‌شود، آب دوغاب ممکن است به واسطه اعمال فشار و دما بر دوغاب، توسط سازند جذب شود. این پدیده می‌تواند باعث هیدراتاسیون ناکافی سیمان و در نتیجه تغییر خواص مکانیکی دوغاب شود. افزایه‌های کنترل کننده صاف آب از نشت مایع به سازند نفوذپذیر جلوگیری می‌کنند تا سیمان بتواند مقدار مناسبی آب را نگه دارد و ایمنی کار تضمین شود. از دست دادن بیش از حد سیال ممکن است فضایی را برای ورود گاز به دوغاب سیمان فراهم نماید به همین علت افزایه‌های کنترل صاف آب برای کاهش مهاجرت گاز نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. گرچه امروزه عوامل بسیاری به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار در این مورد شناسایی شده‌اند اما دو پارامتر آب آزاد و افت صافی دوغاب مهم ترین موارد قلمداد می‌شوند. در این مقاله با استفاده از ترکیب جدیدی از افزایه‌های کنترل کننده صاف آب به صورت ترکیبی از مواد پودری و مایع تلاش شده است تا از افت صافی جلوگیری شود، خواص رئولوژیکی بهبود یابد و همچنین با کاهش زمان انتقالی بندش از مهاجرت گاز هم تا حدود زیادی جلوگیری به عمل آید. علاوه بر رئولوژی و زمان اختلاط مناسب، آب از دست دادگی در دو دمای چرخشی ۱۵۰°F (دمای استاتیک ۱۷۵°F) و ۱۸۰°F (دمای استاتیک ۲۱۰°F) تا ۲۲۰ cc کنترل شد. همچنین با استفاده از این فرمولاسیون می‌توان آب آزاد را به صفر و زمان انتقالی بندش سیمان از BC۳۰ تا BC۷۰ را کاهش داده و به ۲۵ دقیقه رساند.

واژه‌های کلیدی: آب از دست دادگی، دوغاب سیمان حفاری، آب آزاد، مهاجرت گاز، زمان انتقالی بندش، استحکام سیمان.

\* نویسنده مسئول: dehvedar@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

چاه است. دلیل این نوع مکانیسم مهاجرت گاز تلفات آب در برخی سازندها و به دنبال آن یک واکنش هیدراتاسیون ناقص می باشد [۸]. هنگامی که هیدراتاسیون سیمان آغاز می شود ذرات سیمان آب درون ساختار را به تدریج مصرف کرده و یک ساختار توده ای خمیری را به وجود می آورند، که انتقال فشار هیدرواستاتیکی کامل توسط ستون دوغاب سیمان را محدود می کند. تا زمانی که این فشار از فشار سیال سازند بالاتر باشد سیال نمی تواند به درون دوغاب سیمان وارد شود. اعداد مربوط به  $BC^1$  قوام سیمان را نشان می دهد. تا زمانی که دوغاب یک ماده سیال مانند است ( $BC < 30$ ) فشار هیدرواستاتیکی دوغاب مانع از نفوذ سیالات سازندی می شود ولی وقتی سیمان به یک ماده نیمه جامد تبدیل می شود ( $30 < BC < 70$ ) دیگر فشار هیدرواستاتیکی را منتقل نمی کند و در این زمان سیالات سازندی می توانند به داخل دوغاب نفوذ کرده و به سطح برسند [۹]. یکی از نکات مهم در بحث بندش سیمان زمان رسیدن از ۳۰ به ۷۰ BC است. هرچه قدر این زمان کوتاه تر باشد از انتقال گاز و آب سازند به داخل دوغاب جلوگیری می شود.

مخازن هیدروکربنی که توسط سازندهای نمک ضخیم پوشیده شده اند حفاری و سیمان کاری آنها مشکل ساز و پرهزینه در نظر گرفته می شود. دوغاب سیمان، به عنوان یک محلول مبتنی بر آب، با سنگ نمک تعامل می کند، در نتیجه خواص سیمان تغییر می کند که در نتیجه ممکن است یکپارچگی چاه در سازندهای نمک و بهره برداری موفقیت آمیز از مخازن هیدروکربنی را به خطر بیندازد [۱۰]. معمولاً برای سیمان کاری این سازندها دوغاب را با نمک اشباع می کنند و در دیگر سازندها از نمک درون سیمان استفاده نمی شود.

ما در این مقاله قصد داریم با طراحی یک افزایه کنترل کننده آب از دست دادگی<sup>۲</sup> و یک پراکنده کننده مناسب در دوغاب سیمان آب شیرین (بدون نمک) علاوه بر رئولوژی و زمان اختلاط مناسب در شرایط سطح، مانع کاهش آب سیمان داخل چاه و در نتیجه تغییر خواص رئولوژی و مکانیکی غلاف سیمان و کاهش آسیب به سازند شویم، و همچنین زمان نیم بندش بین ۳۰ تا ۷۰ BC را کاهش دهیم که می تواند یکی از عوامل فوق العاده مؤثر در مهاجرت گاز باشد.

اهداف حیاتی فرایند سیمان کاری چاه های نفت و گاز، آب بندی (جلوگیری از ارتباط سیال بین مناطق مختلف)، تأمین ساختاری برای جداری ها و محافظت از جداری ها از سیالات خورنده است [۱]. دستیابی به ترکیبات سیمان برای بسیاری از محیط های چاه می تواند دشوار باشد، به ویژه زمانی که تعدادی از پارامترها (آب از دست دادگی، مقاومت فشاری، آب آزاد و غیره) باید رعایت شوند. شرایط چاه با دمای بالا وضعیت را تشدید می کند [۲]. خواص مورد نیاز برای سنگ سیمانی و دوغاب با توجه به شرایط چاه تعیین می شود. این خواص شامل وزن دوغاب سیمان، رئولوژی دوغاب سیمان، زمان بندش دوغاب سیمان، آب از دست دادگی دوغاب سیمان و مقاومت فشاری سنگ سیمانی می باشد. غلاف سیمانی تنظیم شده باید تنش های ناشی از حوادث چاه را تحمل کند و یکپارچگی را در طول عمر چاه حفظ کند [۳].

مشکل چالش برانگیز در طول سیمان کاری چاه نفت، خروج سیال از سیمان پمپ شده به سازند نفوذپذیر است [۴]. افزودنی از دست دادن سیال یکی از مهم ترین افزودنی ها است که به طور گسترده در سیمان کاری چاه استفاده می شود.

این افزایه ها باعث می شوند از نشست مایع به سازند نفوذپذیر جلوگیری شود تا سیمان بتواند مقدار مناسبی آب را نگه دارد که می تواند ایمنی کار سیمان کاری را تضمین کند [۵]. برای بیش از ۲۰ سال، عوامل کنترل اتلاف سیال به دوغاب سیمان چاه نفت اضافه شده است. به طور کلی به وضوح تصدیق می شود که فقدان کنترل اتلاف سیال ممکن است باعث خرابی سیمان کاری شود و برای تولید مضر باشد [۶]. نفوذ فیلتر دوغاب به لایه های نفوذپذیر می تواند به طور چشمگیری خواص فیزیکی سیمان چاه نفت را تغییر دهد، به سازند آسیب رساند و چسبندگی سیمان به دیواره سازند و لوله جداری را کاهش دهد.

از دست دادن بیش از حد سیال ممکن است فضایی را برای ورود گاز به دوغاب سیمان فراهم کند بنابراین افزودنی های از دست دادن سیال برای کاهش مهاجرت گاز نیز مورد استفاده قرار می گیرند [۷]. سه مکانیسم مختلف مهاجرت گاز در حلقه سیمان تعریف می شود که یکی از آنها مهاجرت گاز بین سیمان و دیواره

<sup>2</sup> Fluid loss control

<sup>1</sup> Burden unit of Consistency

تأثیر ترکیب جدیدی از افزایش کنترل افت صاف آب با ...

افزودن افزایشها به این صورت است که ابتدا مواد پودری و جامد و سپس افزایشهای مایع به آب اضافه می‌شوند. هر کدام از افزایشها باید به مدت ۳۰ تا ۴۵ ثانیه مخلوط شوند. از لحظه ای که سیمان به محلول اضافه می‌شود تا زمانی که سیمان تمام شود زمان اختلاط<sup>۲</sup> محاسبه می‌شود. بعد از اینکه دوغاب آماده شد اولین قدم در تستها اندازه‌گیری وزن دوغاب می‌باشد. وزن دوغاب با استفاده از ماد بالانس<sup>۳</sup> اندازه گرفته شد.

## ۲- مواد و روش آزمایش

در این تحقیق یک کنترل‌کننده آب از دست‌دادگی در دوغاب آب شیرین که ترکیبی از یک ماده پلیمری پودری (FLC1) و یک ماده پلیمری مایع (FLC2) می‌باشد، افزایش پراکنده کننده مایع بسیار قوی، تأخیردهنده، پراکنده کننده پودری (لیگنوسولفانات کلسیم) و سیمان کلاس G استفاده شد.

### ۱-۲- فرمولاسیون دوغاب

فرمولاسیون پایه دوغاب آب شیرین با وزن  $Pcf$  ۱۱۸ که در لوله جداری‌های  $3/4 \text{ in}$  و لاینر  $inv$  استفاده می‌شود معمولاً به صورت جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- فرمولاسیون پایه مورد استفاده در طراحی دوغاب با

وزن  $Pcf$  ۱۱۸

Retarder	Dispersant	Anti-Foam
۰/۲۲	۰/۳	۰/۰۳
lb/sks	lb/sks	Gal/sks

به فرمولاسیونی که در جدول ۱ آورده شده است، می‌توان برخی افزایشهای دیگر مانند کنترل‌کننده آب از دست‌دادگی و پراکنده کننده مایع<sup>۱</sup> هم اضافه کرد. طراحی فرمولاسیون در دمای چرخشی  $150^{\circ}\text{F}$  (دمای استاتیک  $175^{\circ}\text{F}$ ) در هر مرحله تا رسیدن به برنامه نهایی در جدول ۲ آورده شده است.

همانطور که در جدول ۲ آورده شده است دو افزایش جدید شامل کنترل‌کننده آب از دست‌دادگی و پراکنده کننده مایع به فرمولاسیون پایه اضافه شد. مقادیر مطرح شده برای افزایشها در شرایط مختلف مانند دما، عمق چاه و فشار تغییر می‌کنند. در قسمت نتایج مربوط به تستها مقادیر متفاوت افزایشها در شرایط متفاوت بررسی شده است.

### ۲-۲- وسایل و روش انجام تست

#### ۱-۲-۲- آماده سازی دوغاب سیمان

بعد از وزن کشی سیمان، آب و افزایشها با استفاده از مخلوط‌کن برقی عملیات مخلوط کردن دوغاب شروع می‌شود. معمولاً ترتیب

جدول ۲- مراحل طراحی فرمولاسیون نهایی

فرمولاسیون	Retarder lb/sks	Dispersant lb/sks	FLC		Liquid dispersant Gal/sks	Anti-Foam Gal/sks
			FLC1 lb/sks	FLC2 Gal/sks		
۱	۰/۲۲	۰/۳	۰/۱	-	-	۰/۰۳
۲	۰/۲۲	۰/۳	۰/۱۵	-	-	۰/۰۳
۳	۰/۲۲	۰/۳	۰/۱۵	۰/۱	-	۰/۰۳
۴	۰/۲۲	۰/۵	۰/۱۵	۰/۱	-	۰/۰۳
۵	۰/۲۲	۰/۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳
۶	۰/۲۲	۰/۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۳

### ۲-۲-۲- تست تعیین خواص رئولوژیکی

رئولوژی باید در دمای سطح و دمای چرخشی ته چاهی<sup>۴</sup> محاسبه شود. برای اینکه دوغاب به دمای ته چاهی برسد به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از دستگاه کانسیستومتر دما بالا<sup>۵</sup> به دوغاب دما داده می‌شود. سپس با استفاده از ویسکومتر دوار پارامترهای رئولوژیکی بدست آورده می‌شوند. رابطه بین تنش برشی و گرادیان سرعت در دوغاب غیر خطی می‌باشد در نتیجه دوغاب یک سیال غیر نیوتنی است. از طرفی دوغاب سیمان حفاری نوعی از سیالات غیر نیوتنی می‌باشد که ویسکوزیته آن با زمان تغییر می‌کند. این نوع سیال غیر نیوتنی شامل سیالات رئوپکتیک و تیکسوتراپیک می‌شوند. اما از

<sup>4</sup> Bottom Hole Circulate Temperature

<sup>5</sup> Consistometer High Temperature

<sup>1</sup> Liquid dispersant

<sup>2</sup> Mixing Time

<sup>3</sup> Mud Balance

## ۲-۲-۵- استحکام تراکمی

در نهایت بعد از اینکه برنامه سیمان، آزمایش‌های قبلی را به خوبی و طبق برنامه پشت سر گذاشت باید تست استحکام از دوغاب گرفته شود. برای این کار از قالب‌های مکعبی<sup>۴</sup> استفاده می‌شود. دوغاب داخل محفظه مکعبی ریخته می‌شود و سپس درون حمام آب<sup>۵</sup> به مدت ۲۴ ساعت قرار داده می‌شود.

باید دقت شود که محفظه مکعبی کاملاً درز گیری شده باشد که آب داخل حمام آب به دوغاب نفوذ نکند. نکته مهم در تنظیم دمای حمام آب این است که اگر دوغاب مورد نظر مربوط به سیمان راهنما<sup>۶</sup> می‌باشد باید دمای استاتیک پاشنه جداری قبلی اعمال شود. ولی اگر دوغاب مربوط به سیمان دنباله<sup>۷</sup> می‌باشد باید دمای استاتیک پاشنه جداری ته چاه اعمال شود. بعد از اینکه قالب مکعبی ۲۴ ساعت درون حمام آب ماند مکعب‌های تهیه شده از سیمان را بیرون آورده و استحکام این مکعب‌ها با دستگاه تنش تک محوره اندازه گرفته می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج فرمولاسیون مطرح شده

فرمولاسیون موجود در جدول ۱ به دلیل نداشتن افزاینده کنترل آب از دست دادگی نمی‌تواند فیلتراسیون را کنترل کند. همچنین با خروج فاز مایع و در نتیجه کاهش هیدراتاسیون دوغاب و ایجاد آب آزاد، نتیجه تست‌های استحکام فشاری<sup>۸</sup> و رئولوژی هم نمی‌تواند قابل قبول باشد. فرمولاسیون ۶ که در جدول ۲ آورده شده است علاوه بر رئولوژی و زمان اختلاط مناسب، آب از دست دادگی یا فیلتراسیون را در دمای چرخشی ۱۵۰°F (دمای استاتیک ۱۷۵°F) و با تغییر مقدار FLC2 در دمای ۱۸۰°F (دمای استاتیک ۲۱۰°F) تا ۲۲۰°F می‌تواند کنترل کند. همچنین با استفاده از این فرمولاسیون می‌توان آب آزاد را به صفر و زمان انتقالی بندش سیمان از BC<sup>۳۰</sup> تا BC<sup>۷۰</sup> را کاهش داده و به ۲۵ دقیقه رساند.

نتایج رئولوژی دوغاب ساخته شده در دمای چرخشی ۱۵۰°F و ۱۸۰°F در جدول ۳ آورده شده است.

آنجایی که در صنعت باید ویسکوزیته و نقطه تسلیم به صورت عدد نمایش داده شود، فرض می‌شود که مدل دوغاب بینگهام پلاستیک می‌باشد. با استفاده از فرمول‌های زیر ویسکوزیته پلاستیکی و نقطه تسلیم سیمان محاسبه می‌شوند.

$$PV = 1.5 \times (\theta_{300} - \theta_{100})$$

$$YP = \theta_{300} - PV$$

که  $PV$  ویسکوزیته پلاستیک بر حسب سانتی پویز،  $\theta_{300}$  عدد نمایشگر ویسکومتر مربوط به دور ۳۰۰،  $\theta_{100}$  عدد نمایشگر ویسکومتر مربوط به دور ۱۰۰،  $YP$  نقطه تسلیم بر حسب  $\frac{lbf}{100ft^2}$  [۱۱].

## ۲-۲-۳- آب از دست دادگی دوغاب

تست دیگری که باید روی دوغاب سیمان انجام شود اندازه گیری آب از دست دادگی می‌باشد. هنگامی که دوغاب بر روی بستر اعمال می‌شود، آب دوغاب ممکن است به واسطه اعمال فشار و دما بر دوغاب توسط زیر لایه جذب شود. این پدیده می‌تواند باعث هیدراتاسیون ناکافی سیمان و در نتیجه کاهش خواص مکانیکی دوغاب شود [۱۲].

مقدار آب از دست دادگی دوغاب سیمان توسط دستگاهی به نام فیلتر پرس<sup>۱</sup> اندازه گرفته شد. فیلتر پرس در دما و فشار بالا هم قابل استفاده است. مطابق استاندارد API باید ۳۰ دقیقه زمان از لحظه‌ای که شیر پایینی دستگاه باز می‌شود لحاظ شود و در نهایت مقدار آب جمع شده در استوانه بر اساس  $\frac{ml}{30 min}$  گزارش می‌شود [۱۳].

## ۲-۲-۴- زمان بندش

یکی از آزمایشات مهمی که باید با دقت اندازه گیری شود آزمایش تعیین زمان بندش سیمان است که با دستگاه کانسیستومتر فشار و دما بالا<sup>۲</sup> اندازه گرفته می‌شود. خروجی دستگاه به صورت نمودار سه گرافه دما، فشار و BC بر روی کامپیوتر نمایش داده می‌شود. مدت زمانی که BC از ۳۰ به ۷۰ می‌رسد زمان انتقالی<sup>۳</sup> گفته می‌شود [۱۴].

<sup>5</sup> Water Bath

<sup>6</sup> Lead

<sup>7</sup> Tail

<sup>8</sup> Compressive Strength

<sup>1</sup> Filter press

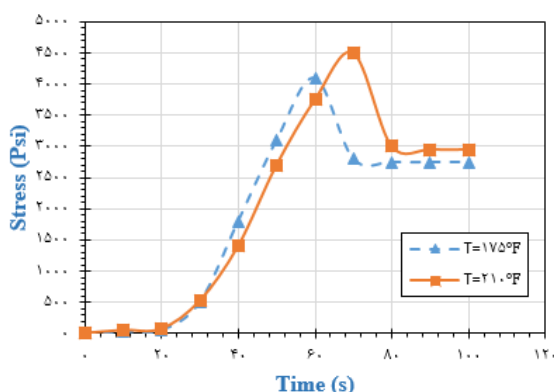
<sup>2</sup> Consistometer HPHT

<sup>3</sup> Transition Time

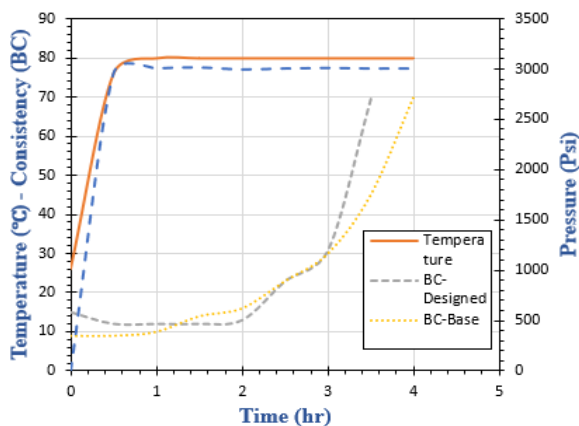
<sup>4</sup> Cube Chamber

جدول ۳. نتایج رئولوژی برای فرمولاسیون مطرح شده در دو دمای ۱۵۰°F و ۱۸۰°F.

Condition	3Θ		6Θ		100Θ		200Θ		300Θ		PV	YP	Gel 10 sec	Gel 10 min
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D				
Surface	8	8	14	13	27	27	40	41	55	42	13	7	<b>16</b>	
Downhole (150 F)	4	5	9	10	18	18	29	30	40	33	7	6	<b>12</b>	
Downhole (180 F)	3	4	6	6	16	16	23	25	37	31.5	5.5	6	<b>16</b>	
Mixing Time	Slurry Weight (pcf)													
16 Sec	118													



شکل ۱- نمودار رسم شده مربوط به مقاومت فشاری غلاف سیمان در دو دمای استاتیک می باشد.



شکل ۲- نمودار بندش دوغاب برای فرمولاسیون پایه و فرمولاسیون طراحی شده

همانطور که از شکل ۲ مشخص است منحنی بندش برای فرمولاسیون مطرح شده در این تحقیق، زمان انتقالی<sup>۴</sup> کوتاهتری

با استفاده از دستگاه ویسکومتر یا رئومتر برای هر سرعت،  $\theta$  دوبار اندازه گرفته شده و برای محاسبه ویسکوزیته پلاستیکی و نقطه تسلیم<sup>۱</sup> از میانگین اعداد استفاده شده است. با توجه به استاندارد API مقدار ویسکوزیته پلاستیکی (PV) باید کمتر از ۱۰۰

$$\text{سانتی پویز و نقطه تسلیم بیشتر از } \frac{5 \text{ } lb_f}{100 \text{ } ft^2} \text{ باشد [۱۵].}$$

برای این فرمولاسیون در دو دمای ۱۵۰°F و ۱۸۰°F و فشار ۱۰۰۰ Psi به ترتیب ۱۹ و ۲۰  $\frac{ml}{30 \text{ } min}$  آب از دست دادگی ثبت شد. با توجه به این نکته که همه آزمایشها در یک وزن دوغاب (۱۱۸ Pcf) انجام شده است و همه افزایشها یکسان می باشد، نسبت آب به سیمان<sup>۲</sup> برای همه ترکیبها یکسان است. همچنین مقاومت فشاری غلاف سیمان در دو دمای استاتیک ۱۷۵°F و ۲۱۰°F اندازه گرفته شد و نمودار مربوطه در شکل ۱ آورده شده است.

یکی دیگر از خواص مهمی که دوغاب سیمان باید داشته باشد کنترل مهاجرت گاز<sup>۳</sup> می باشد. برای کنترل مهاجرت گاز، دوغاب طراحی شده باید چند ویژگی داشته باشد که عبارتند از: کنترل از دست دادن سیال، ته نشین نشدن دوغاب، صفر بودن آب آزاد، انقباض پیدا نکردن سیمان و کاهش زمان انتقالی بندش سیمان از BC۳۰ تا BC۷۰ [۱۶].

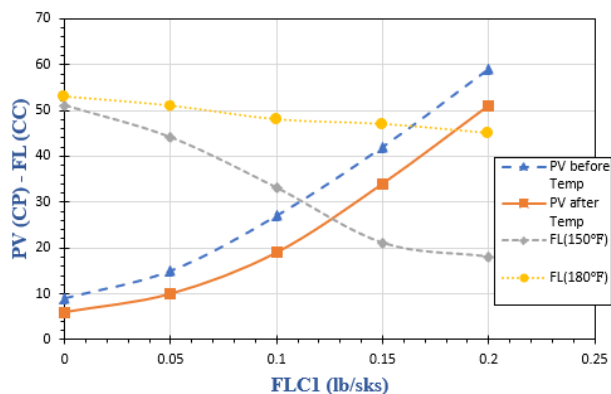
فرمولاسیون مطرح شده با کنترل آب از دست دادگی، ته نشینی و آب آزاد صفر و کاهش زمان انتقالی بندش دوغاب می تواند مانع از نفوذ سیالات سازندی به داخل دوغاب شود.

<sup>3</sup> Gas Migration

<sup>4</sup> Transition Time

<sup>1</sup> Yield Point

<sup>2</sup> water to cement ratio



شکل ۳- تأثیرات افزایش FLC1 بر ویسکوزیته پلاستیکی و آب از دست دادگی.

در دمای °F150 مقدار بهینه FLC1 که فیلتراسیون حدود 20 CC است، 0.15  $\frac{lb}{sks}$  می‌باشد. در دمای °F180 افزایش FLC1 بر کنترل آب از دست دادگی بی تأثیر است. در این دما با افزایش مقدار FLC2 فیلتراسیون کنترل می‌شود که نمودار مربوطه در بخش ۲-۳ آورده شده است.

در سال ۲۰۱۲ جینتانیج و همکاران یک افزایش کنترل کننده آب از دست دادگی معرفی کردند که با افزایش مقدار این ماده، فیلتراسیون کاهش و همچنین با افزایش دما فیلتراسیون افزایش می‌یافت. نتایج افزایش کنترل کننده آب از دست دادگی معرفی شده توسط جینتانیج و همکاران کاملاً مشابه نتایج ذکر شده برای افزایش FLC1 می‌باشد [۱۹].

در سال ۲۰۱۹ اندرسن و همکاران رابطه بین آب از دست دادگی و ویسکوزیته پلاستیکی برای دو ماده کربوکسی متیل هیدروکسی اتیل سلولز و نانوذرات پلی الکترولیت-کمپلکس را به صورت گراف نشان دادند. با افزایش ویسکوزیته پلاستیکی آب از دست دادگی کم می‌شود و بالعکس. با ترکیب CMHEC و PEC ویسکوزیته کاهش یافته است [۲۰].

همانطور که در شکل ۳ مشخص است با افزایش غلظت FLC1 نیز ویسکوزیته پلاستیکی افزایش و آب از دست دادگی کم می‌شود.

تأثیرات مقدار FLC1 بر ژل‌های قبل و بعد از دما، مقاومت فشاری و آب آزاد در شکل ۴ نشان داده شده است:

نسبت به فرمولاسیون پایه دارد و به صورت زاویه راست<sup>۱</sup> می‌باشد. یکی از ویژگی‌های مهم سیمان چاه در رابطه با مهاجرت گاز، مجموعه زاویه راست<sup>۲</sup> است. ویژگی RAS نباید با مشخصه داشتن زمان انتقال ژل کوتاه اشتباه گرفته شود. دوغاب سیمان "RAS" به عنوان یک سیستم به خوبی پراکنده تعریف می‌شود که تمایل به ژل شدن پیشرونده ندارد، اما به دلیل واکنش های هیدراتاسیون سریع، توانایی گیرش بسیار سریع را دارد [۱۷].

با ثابت نگهداشتن مقادیر موجود در فرمولاسیون ۶ جدول ۲، تأثیر غلظت‌های مختلف هر کدام از افزایش‌های معرفی شده بر خواص مختلف دوغاب با وزن  $Pcf_{118}$  مورد بررسی قرار گرفت.

### ۲-۳- تأثیرات افزایش FLC1 بر خواص مختلف دوغاب

ذرات پلیمر FLC1 به سطح فضاهای منافذ سیمانی می‌چسبند و در همان زمان، واکنش با آب باعث افزایش ویسکوزیته دوغاب می‌شود که فضاهای منافذ بین بافتی سیمانی را مسدود می‌کند. جداسازی آب آزاد منجر به تغییر چگالی دوغاب و رسوب ذرات سنگین تر می‌شود که عامل کانال‌گذاری می‌شود. پلیمر FLC1 این ویژگی را دارد که به عنوان عامل تعلیق ذرات عمل کند و نیروی چسبندگی بین ذرات را افزایش دهد که ته نشینی ذرات سیمان را محدود و جداسازی آب آزاد را کنترل می‌کند. پلیمر FLC1 از خانواده سلولز است که دارای شاخه‌های زنجیره بلند و استحکام ژل بالایی است. این خاصیت پلیمرهای زنجیره بلند است که واکنش گیرش را کند می‌کند و دوغاب برای مدت طولانی در حالت مایع باقی می‌ماند. مشاهده شد که این ماده پروفایل بندش زاویه راست را تولید می‌کند. زنجیره طولانی پلیمر پیوند شیمیایی قوی با ذرات و مواد معدنی سیمان ایجاد می‌کند که باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود.

با افزایش FLC1 در دمای 150°F فیلتراسیون کنترل شد ولی در دمای 180°F افزایش این ماده بی تأثیر بود.

در شکل ۳ تأثیر مقدار FLC1 بر ویسکوزیته پلاستیکی و آب از دست دادگی در دو دما نشان داده شده است. با توجه به استاندارد API مقدار فیلتراسیون یا آب از دست دادگی باید زیر 50 CC باشد [۱۸].

<sup>2</sup> RAS

<sup>1</sup> Right Angle

تأثیر ترکیب جدیدی از افزایش کنترل افت صاف آب با ...

این ماده در فرمولاسیون، آب آزاد دوغاب به صفر می‌رسد. آب آزاد دوغاب سیمان یکی از خواصی است که برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیمان کاری استفاده می‌شود و به عنوان فاز آبی جدا شده از دوغاب تعریف می‌شود. در عمل، مطلوب است که آب آزاد دوغاب را به حداقل برسانیم، تا کانال‌هایی را که ممکن است از طریق سیمان تنظیم شده تشکیل شوند و به عنوان مسیرهای بالقوه برای سیالات سازندی تشکیل شوند، حذف کنیم. این کانال‌ها به‌ویژه در چاه‌های افقی و جهت‌دارمضر هستند [۲۱].

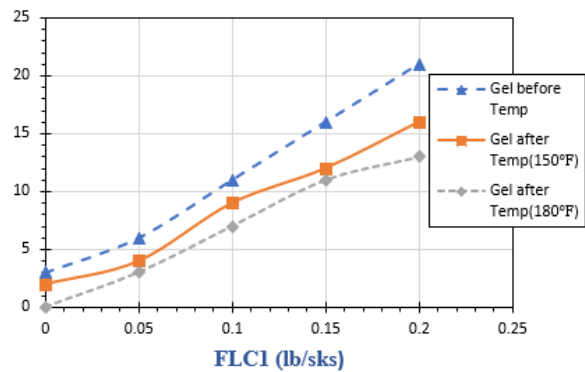
همانطور که از شکل ۴ مشخص است با افزایش مقدار FLC1 زل‌های قبل و بعد دما (زل‌های بعد از ده دقیقه معمولاً باید زیر ۴۰ باشند) و همچنین استحکام غلاف سیمان افزایش می‌یابد. تغییر در مقدار FLC1 تأثیری بر مقدار ته نشینی دوغاب<sup>۱</sup> نداشت. FLC1 به خودی خود باعث افزایش زمان اختلاط دوغاب می‌شود ولی با وجود پراکنده کننده مایع زمان اختلاط این فرمولاسیون پایین است. در سال ۲۰۱۵ سلطانیان و همکاران تأثیر نانوذره اکسید آهن بر روی خواص سیمان را بررسی کردند. افزایش درصد نانوذره اکسید آهن آب آزاد و آب از دست‌دادگی را کاهش داده و همچنین استحکام فشاری را ابتدا افزایش و سپس کاهش داده است [۲۲].

نتایج این تحقیق در مورد خواص آب آزاد و کنترل آب از دست‌دادگی مشابه نتایج افزایش FLC1 می‌باشد در حالی که افزایش FLC1 در هر غلظت باعث افزایش مقاومت فشاری دوغاب می‌شود.

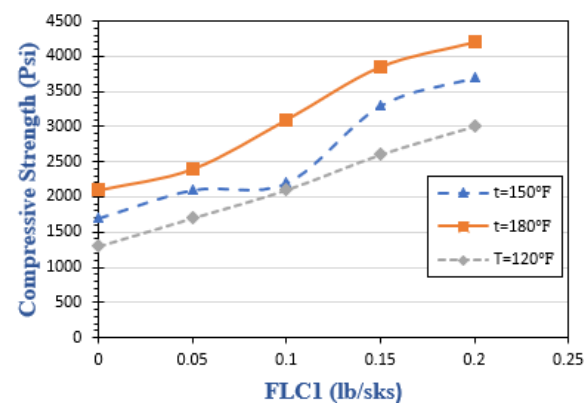
### ۳-۳- تأثیرات افزایش FLC2 بر خواص مختلف دوغاب

پلیمر FLC2 به عنوان عامل کاهش نفوذپذیری به فرمولاسیون اضافه شد و این خاصیت نیز به افزایش مقاومت فشاری دوغاب سیمان کمک می‌کند. همچنین FLC2 کمک می‌کند دوغاب یک کیک نفوذ ناپذیر بر روی دیواره سازند ایجاد کند [۲۳]. در شکل ۵ تأثیر مقدار FLC2 بر ویسکوزیته پلاستیکی و آب از دست‌دادگی در دو دما نشان داده شده است.

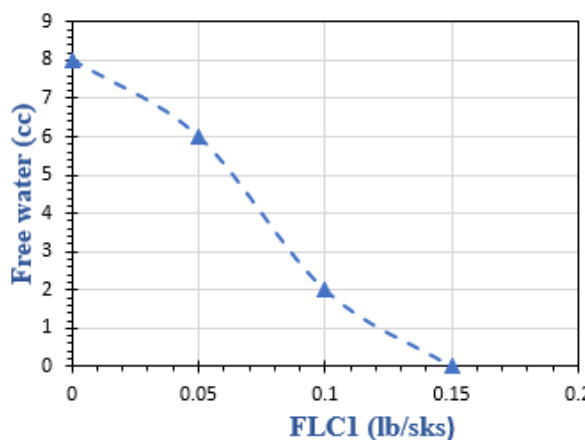
همانطور که از شکل مشخص است برای کنترل فیلتراسیون در دمای ۱۵۰°F مقدار بهینه این افزایش ۰/۱ Gal/sks ولی در دمای ۱۸۰°F، ۰/۳ Gal/sks می‌باشد که در این مقدار زل قبل و بعد از دما و مقدار ته‌نشینی دوغاب مناسب است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴- تأثیرات مقدار FLC1 در فرمولاسیون، بر زل‌های قبل و بعد از دما، مقاومت فشاری و آب آزاد

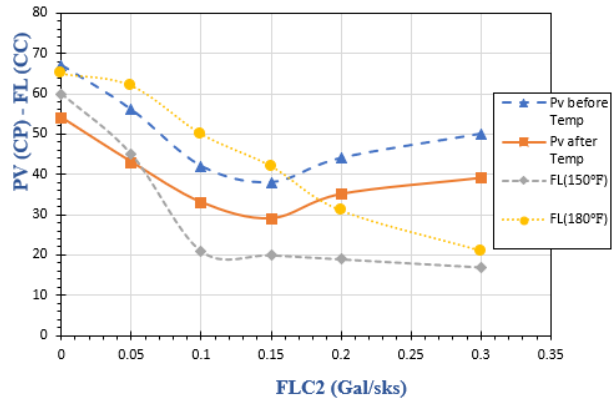
در این شکل با استفاده از سه نمودار تأثیرات مقدار FLC1 در فرمولاسیون، بر زل‌های قبل و بعد از دما، مقاومت فشاری و آب آزاد نشان داده شده است. با افزایش مقدار این ماده زل‌های قبل و بعد از دما و مقاومت فشاری افزایش یافته و آب آزاد به صفر رسیده است. افزایش FLC1 چون یک نوع جاذب آب می‌باشد، با افزایش درصد

<sup>1</sup> Settle

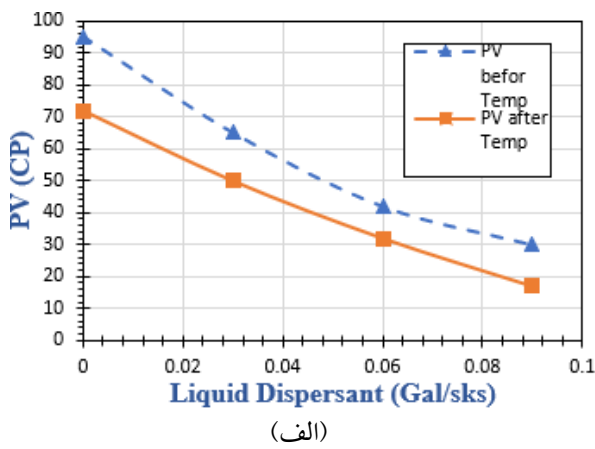
افزایه FLC2 تأثیری روی آب آزاد ندارد و با کاهش یا افزایش این ماده آب آزاد ایجاد نمی‌شود. با افزایش درصد این ماده در فرمولاسیون زمان اختلاط کاهش می‌یابد.

### ۳-۴- تأثیرات افزایش پراکنده‌کننده مایع بر خواص مختلف دوغاب

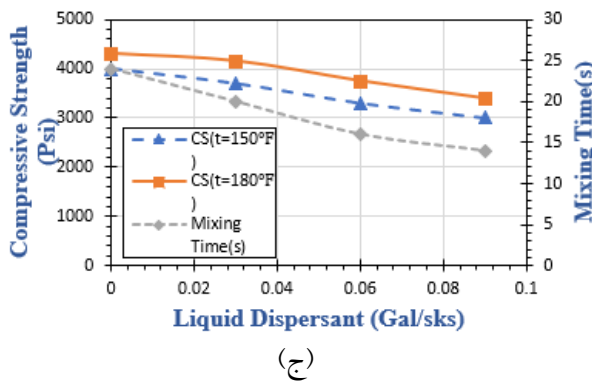
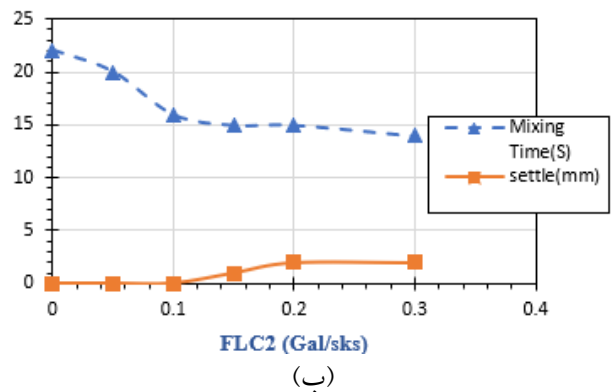
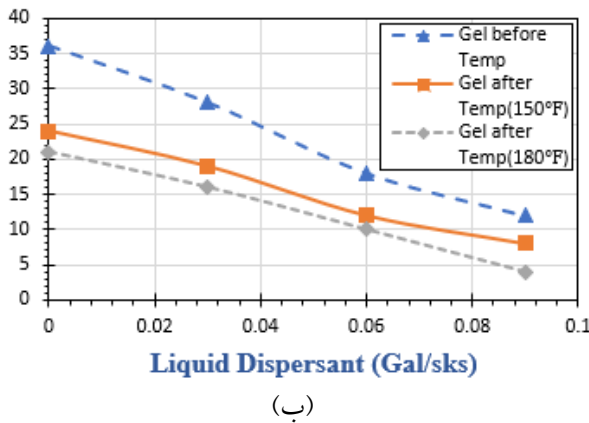
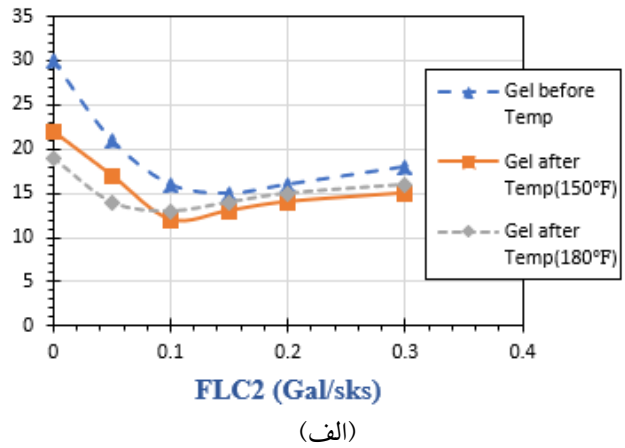
افزایه ای که باعث کاهش صریح ویسکوزیته، زمان اختلاط و ژل قبل از دما شده است یک افزایش پراکنده‌کننده مایع بسیار قوی است. تأثیرات این افزایش بر روی بعضی از خصوصیات دوغاب سیمان در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۵- تأثیرات افزایش FLC2 بر ویسکوزیته پلاستیکی و آب از دست دادگی



تأثیرات FLC2 را بر روی پارامترهای ژل قبل و بعد از دما، زمان اختلاط و ته نشینی دوغاب در شکل ۶ نشان داده شده است:



شکل ۶- تأثیرات FLC2 را بر روی پارامترهای ژل قبل و بعد از دما، زمان اختلاط و ته نشینی دوغاب

همانطور که در نمودار الف نشان داده شده است با افزایش مقدار FLC2 ابتدا ژل کاهش و سپس افزایش یافته است. در نمودار ب هم مشخص است که افزایش درصد FLC2 زمان اختلاط را کاهش و ته نشینی را افزایش داده است.

شکل ۷- تأثیرات افزایش پراکنده‌کننده مایع بر خواص مختلف دوغاب



slurry. International Journal of Concrete Structures and Materials, 13, pp.16.

[2]. Strange, A.F. and Brothers, L.E., 1990, April. Synthetic Polymer Developed for Cement Fluid-Loss Control. In SPE Western Regional Meeting (pp. SPE-20043). SPE.

[3]. Ravi, K., Bosma, M. and Hunter, L., 2003, February. Optimizing the Cement Sheath Design in HPHT Shearwater Field. In SPE/IADC Drilling Conference. OnePetro.

[4]. Newlove, J.C., Portnoy, R.C., Schulz, D.N. and Kitano, K., Exxon Research and Engineering Co, 1984. Fluid loss control in oil field cements. U.S. Patent 4,480,693.

[5]. Jintang, G., Haichuan, L.U., Shuoqiong, L.I.U., Jianzhou, J.I.N. and Yongjin, Y.U., 2012. The novel fluid loss additive HTF-200C for oil field cementing. Petroleum Exploration and Development, 39(3), pp.385-390.

[6]. Baret, J.F., 1988, November. Why cement fluid loss additives are necessary. In SPE International Oil and Gas Conference and Exhibition in China (pp. SPE-17630). SPE.

[7]. Broni-Bediako, E., Joel, O.F. and Ofori-Sarpong, G., 2016. Oil well cement additives: a review of the common types. Oil Gas Res, 2(1), pp.1-7.

[8]. Tao, C., Rosenbaum, E., Kutchko, B.G. and Massoudi, M., 2021. A brief review of gas migration in oilwell cement slurries. Energies, 14(9), p.2369.

[9]. Haijin, Z., Jiansheng, Q., Aiping, L., Jianlong, Z. and Jiaying, X., 2010, June. A new method to evaluate the gas migration for cement slurries. In International

Oil and Gas Conference and Exhibition in China. OnePetro.

[10]. Tabatabaee Moradi, S.S. and Nikolaev, N.I., 2021. Study of Bonding Strength at Salt-cement Interface during Cementation of Salt Layers. International Journal of Engineering, 34(2), pp.581-586.

[11]. Broni-Bediako, E., Joel, O.F. and Ofori-Sarpong, G., 2016. Oil well cement additives: a review of the common types. Oil Gas Res, 2(1), pp.1-7.

[12]. Tao, C., Rosenbaum, E., Kutchko, B.G. and Massoudi, M., 2021. A brief review of gas migration in oilwell cement slurries. Energies, 14(9), p.2369.

[13]. Kamali, M., Khalifeh, M., Saasen, A., Godøy, R. and Delabroy, L., 2021. Alternative setting materials for primary cementing and zonal isolation—Laboratory evaluation of rheological and mechanical properties. Journal of Petroleum Science and Engineering, 201, p.108455.

در نمودار الف و ب نشان داده شده است که با افزایش درصد پراکنده کننده مایع ویسکوزیته و ژل کاهش چشمگیری دارد. در نمودار ج مشخص است که با افزایش بیش از حد این ماده مقداری استحکام فشاری کاهش می‌یابد. همچنین زمان اختلاط هم کاهش یافته است. با توجه به نمودارهای شکل ۷ درصد بهینه افزایش پراکنده کننده مایع  $0.06 \frac{\text{Gal}}{\text{sks}}$  می‌باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله تلاش شده است تا ترکیباتی استفاده شود که تمام استانداردهای رایج در ایران را در طراحی دوغاب آب شیرین پاس نموده و دارای مزیت اقتصادی بالایی باشد.

کنترل کننده‌های مورد استفاده در این مقاله FLC1 به صورت پودر و FLC2 به صورت مایع هستند که باید به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند. قیمت کنترل کننده‌های مورد استفاده در ایران هر کیلوگرم حدود ۲۰ دلار می‌باشد و درصد زیادی هم باید در دوغاب استفاده شود تا نتیجه مطلوب به دست آید. قیمت ترکیب کنترل کننده‌های مورد استفاده در این مطالعه حدود ۳,۵ دلار می‌باشد که درصد استفاده از آنها تقریباً یک سوم درصد دیگر افزایش‌های کنترل کننده آب از دست‌داده می‌باشد.

همچنین تلاش شده است تا با یک افزایش پراکنده کننده مایع خواص رئولوژیکی دوغاب را بهینه سازیم.

استفاده از ترکیبات فوق نه تنها زمان انتقالی را کاهش داده بلکه خواص مکانیکی دوغاب سیمان را بعد از بسته شدن حفظ کرده است. کاهش زمان انتقالی نقش به‌سزایی را در کاهش مهاجرت گاز به داخل دوغاب ایفا می‌کند.

علاوه بر رئولوژی و زمان اختلاط مناسب، آب از دست‌داده‌گی در دو دمای چرخشی  $150^{\circ}\text{F}$  (دمای استاتیک  $175^{\circ}\text{F}$ ) و  $180^{\circ}\text{F}$  (دمای استاتیک  $210^{\circ}\text{F}$ ) تا  $20^{\circ}\text{C}$  کنترل شد.

با استفاده از این فرمولاسیون می‌توان آب آزاد را به صفر و زمان انتقالی بندش سیمان از  $BC30$  تا  $BC70$  را کاهش داده و به ۲۵ دقیقه رساند.

#### ۵- مراجع

[1]. Maagi, M.T., Lupyana, S.D. and Gu, J., 2019. Effect of nano-SiO<sub>2</sub>, nano-TiO<sub>2</sub> and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on fluid loss in oil-well cement

- [14]. Larki, O.A., Apourvari, S.N., Schaffie, M. and Farazmand, R., 2019. A new formulation for lightweight oil well cement slurry using a natural pozzolan. *Advances in Geo-Energy Research*, 3(3), pp.242-249.
- [15]. Awl, M.J., Abdulla, A.S.K. and Tayeb, N.A., 2020. Experimental Investigation on The Effect of PolyVinyl Alcohol on Cement Fluid Loss in Oil Wells. *Kurdistan Journal of Applied Research*, 5(1), pp.128-136.
- [16]. Abbas, G., Irawan, S., Kumar, S. and Elrayah, A.A., 2013. Improving oil well cement slurry performance using hydroxypropylmethylcellulose polymer. *Advanced Materials Research*, 787, pp.222-227.
- [17]. Namkon, L., Abhinav, P., Gary, O.K.C., Juhyuk, M., Min-Hong, Z., Arthur, C.C.H., Klaus, H. and Hau, K.K., 2018. Experimental design of a well cement slurry for rapid gel strength development. *Construction and Building Materials*, 191, pp.1093-1102.
- [18]. Woodland, F., Dankwah, J.R., Amarin, R. and Dabo, K., 2022. Evaluation of the Effect of Water Hyacinth Ash (WHA) as an Additive on Local Portland Cement for Oil Well Cementing. *International Journal of Scientific Development and Research*, 7(8), pp.1-11.
- [19]. Jintang, G., Haichuan, L.U., Shuoqiong, L.I.U., Jianzhou, J.I.N. and Yongjin, Y.U., 2012. The novel fluid loss additive HTF-200C for oil field cementing. *Petroleum Exploration and Development*, 39(3), pp.385-390.
- [20]. Andersen, C.D., Lin, Y.Y. and Liang, J.T., 2019. Polyelectrolyte-Complex Nanoparticles for Fluid-Loss Control in Oilwell Cementing. *SPE Drilling & Completion*, 34(02), pp.103-113.
- [21]. Moradi, S.S.T. and Nikolaev, N.I., 2017. Free fluid control of oil well cements using factorial design. *Journal of engineering research*, 5(1).
- [22]. Soltanian, H., Khalokakaie, R., Ataei, M. and Kazemzadeh, E., 2015. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles improve the physical properties of heavy-weight wellbore cements: A laboratory study. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, pp.695-701.
- [23]. Nelson, E.B. ed., 1990. *Well cementing*. Newnes.

## **The effect of a new combination of FLC and Dispersant on the rheological properties, thickening time and compressive strength of cement slurry without salt**

**Mohammad Khazaei**

**M.Sc., Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University.**

**Mohsen Dehvedar \***

**Assistant Professor, Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University.**

### **Abstract**

A few volumes of the water that exist in the cement slurry may be absorbed by the formation due to enough pressure and temperature exerted on it. This phenomenon can lead to miss-hydration. Filtration control additives are used to bridge the porous media and prevent liquid migration across it. Insufficient filtration control may cause gas migration. In this area, there are many effective parameters but the free water and filtrate volume are essential. In this article, for controlling the filtrate volume, after studying different additives with different formulation, it was tried to couple a powder FLC with a liquid one. The results had a good effect on rheological properties and decreased the transition phase between liquid and solid behavior. The filtrate volume was controlled at 1000 psi between 150F and 180F. The rheological characteristics were controlled in the API range. The mixing time was decreased and the free water was omitted.

**Keywords:** Fluid Loss; Drilling cement slurry; Rheological properties; Gas migration; Compressive Strength; Thickening time.

---

\* Corresponding Author: [dehvedar@aut.ac.ir](mailto:dehvedar@aut.ac.ir)

