





دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی نفت گرایش حفاری و بهره‌برداری

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی و بومی‌سازی افزایه‌های سیمان حفاری مطابق با شرایط چاه‌های ایران

مهسا مهدوی‌راد

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر عزت‌الله کاظم‌زاده

خرداد ۱۳۹۵

ب

با نام و یاد یگانه‌نمایش‌گر؛ او که در گذران سیر زندگی و کسب دانش، همواره حضورش را در قلب خویش و در بطن

کارهایم حس کردم.

و به نام بزرگ پدر برای تمام محظرات خوب و امیدوارکننده که صدای کرشم را بنما و دست حمایتش بر شانه‌هایم بود

و به نام آرایش‌بخش مادر، در سپاس برای عمرش که به از خود گذشتگی و بزرگواری و تربیت سپری شده و برای

مهرش که قلمم را گرم می‌کند.

به نام ارجمند استاد آموزگار و یاری‌دهنده بی‌دریغ سال‌های تحصیل و نوشتن رساله‌هایم پیش رو.

و به نام نامی دوست برای تمام محظرات که در شهری دور از خانه و خانواده، از بار غربت بردل و جانم کاست.

تقدیر و تشکر

شایسته می دانم از زحمات کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف تدوین این پایان نامه مریاری نمودند تشکر نموده و مراتب قدردانی خویش را ابراز نمایم.

بدون شک راهبانی ها و مهرورزی های استادان گرانقدر جناب آقایان دکتر بنزاد تخمچی و دکتر عزت الله کاظم زاده و دکتر حمید سلطانیان که در به ثمر

رسانیدن این پایان نامه نقش قابل توجهی داشته اند. این سطور ناچیز را به تمامی این بزرگواران تقدیم می دارم. باشد که مورد قبول واقع شود.

بهمین بر خود لازم می دانم از کمک ها و راهبانی های جناب آقای مهندس یاسر پورمطاهری کمال تشکر و قدردانی را به جا آورم. در پایان از جناب

آقایان مهندس سعید قریشی، مهدی کرببی، وحید تاجیک و کارکنان محترم آزمایشگاه سیان حارثی پژوهشگاه صنعت نفت به خاطر مساعدت ایشان

تشکر و قدردانی می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **مهسا مهدوی راد** دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی حفاری و بهره‌برداری نفت دانشکده معدن، نفت، ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه طراحی و بومی‌سازی افزایه‌های سیماتن حفاری مطابق با شرایط چاه‌های ایران تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخم‌چی و دکتر عزت‌الله کاظم‌زاده متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده‌است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده‌است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده‌است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده‌است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده‌است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.

تاریخ

مهسا مهدوی راد

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

لطماتی که افزایش‌های بی‌کیفیت یا کم‌کیفیت به عملیات سیمان‌کاری چاه نفت و گاز وارد می‌کنند، بالغ بر میلیون‌ها دلار است. به دلیل کیفیت نامطلوب افزایش‌هایی که در حال حاضر در صنعت سیمان-کاری استفاده می‌شوند، آمار چاه‌هایی که سیمان‌کاری آن‌ها به مشکل برخورد می‌کنند، در حال افزایش است.

در این پایان‌نامه متدولوژی کنترل کیفیت سه قلم از افزایش‌های سیمان حفاری مورد بررسی قرار گرفته است. سعی بر آن بوده که پارامترهای اصلی افزایش‌های سیمان که بر خصوصیات آن مثل زمان میکس، خواص رئولوژیکی، زمان نیم‌بندش و مقاومت تراکمی سیمان حفاری تأثیر می‌گذارد، مطرح و بهینه شوند. روش ارزیابی عملکرد سه قلم افزایش سیمان حفاری شامل کندگر، کنترل‌کننده افت صافی و پراکنده‌ساز با هدف تولید نیمه صنعتی و صنعتی آن‌ها از نتایج فاز مطالعاتی این پایان‌نامه می‌باشد. این روش شامل چند مرحله آزمایشی است که زمان هر آزمایش و شرایط آن مشخص است. در این روش همچنین پارامترهای اصلی و جانبی هر افزایش معین می‌گردد و در نهایت شرایط شکست یا موفقیت افزایش از لحاظ کیفی ارائه می‌گردد. روش ارائه شده به کمک نتایج به دست آمده از افزایش‌های شاخص D800، R5، R8، D167، Halad9، Halad413 و D65 تأیید شده سپس افزایش‌های بومی سازی شده توسط آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرند در نهایت با نمونه شاخص مقایسه می‌شوند.

در این فرآیند، کندگرهای LTR-B، MTR-E و HTR-G مورد تأیید قرار گرفتند. در ارزیابی پراکنده-سازهای بومی سازی شده افزایش‌های ۱۲۶۳، ۱۲۶۵ و ۱۲۶۶ جهت کاربرد در سیمان G و D، ۱۲۶۷ جهت کاربرد در سیمان هایدنسی و ۱۲۶۸ در تمامی حالات مطلوب شناخته شدند. افزایش‌های کنترل‌کننده افت صافی L-FLC، MT-FLC-M (در صورت اصلاح خواص رئولوژیکی)، MT-FLC-I، HT-FLC-J و HT-FLC-R در فاز اولیه برای تولید نیمه‌صنعتی به فاز بعدی تولید راه پیدا کردند.

واژه‌های کلیدی: کدگر، افت صافی، خواص رئولوژی، زمان نیم‌بندش مقاومت تراکمی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: کلیات تحقیق
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ ضرورت انجام تحقیق
۵	۳-۱ مروری بر پژوهش‌های پیشین
۵	۱-۳-۱ شیمی سیمان، افزایش‌ها و واکنش‌های آن‌ها
۶	۲-۳-۱ خصوصیات سیمان و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها
۸	۳-۳-۱ کاربرد افزایش‌ها و روش‌های آزمایشگاهی ارزیابی آن‌ها
۹	۴-۱ ساختار پایان‌نامه
۱۱	فصل ۲: تئوری و مطالعات کتابخانه‌ای
۱۲	۱-۲ مقدمه
۱۲	۲-۲ سیمان پرتلند
۱۲	۱-۲-۲ نماد گذاری شیمیایی
۱۲	۲-۲-۲ ترکیب سیمان پرتلند
۱۳	۳-۲-۲ طبقه‌بندی سیمان پرتلند
۱۴	۳-۲ مکانیزم عملکرد افزایش‌ها
۱۴	۱-۳-۲ پراکنده‌سازها
۲۴	۲-۳-۲ عوامل کنترل کننده هرزروی سیال
۲۷	۳-۳-۲ کنگرها
۳۵	۴-۲ جمع‌بندی

۳۷	فصل ۳: روش‌ها و وسایل آزمایشگاهی
۳۸	۱-۳ مقدمه
۳۸	۲-۳ آماده‌سازی دوغاب
۳۸	۳-۳ ترازوی گل
۴۰	۴-۳ کانسیستومتر اتمسفریک
۴۱	۵-۳ کانسیستومتر تحت فشار
۴۲	۶-۳ دستگاه اندازه‌گیری مقاومت تراکمی (UCA)
۴۳	۷-۳ فیلتر پرس استاتیکی
۴۳	۸-۳ جمع‌بندی
۴۵	فصل ۴: آزمایش، تجزیه و تحلیل
۴۶	۱-۴ مقدمه
۴۸	۲-۴ ارزیابی کندگر
۴۸	۱-۲-۴ مشخصات نمونه شاخص
۵۰	۲-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما پایین
۶۱	۳-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما متوسط
۶۴	۴-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما بالا آب شیرین
۷۰	۵-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما بالا آب شور
۷۱	۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی
۷۲	۱-۳-۴ مشخصات نمونه شاخص

۷۳	۲-۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی در آب شیرین
۸۴	۳-۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی در آب نمک
۹۲	۴-۴ ارزیابی افزایش پراکنده ساز
۹۲	۱-۴-۴ معرفی نمونه شاخص
۹۳	۲-۴-۴ ارزیابی پراکنده ساز در آب شیرین
۹۶	۳-۴-۴ ارزیابی پراکنده ساز در آب نمک
۱۰۳	۵-۴ جمع بندی
۱۰۵	فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۶	۱-۵ مقدمه
۱۰۶	۲-۵ نتیجه گیری
۱۰۸	۳-۵ پیشنهادات
۱۱۰	منابع

فهرست جداول

۱۳	جدول ۲-۱: لیست اختصاری ترکیبات شیمیایی
۱۵	جدول ۲-۲: ترکیبات سیمان
۱۵	جدول ۳-۲: کاربرد کلاس‌های مختلف API سیمان
۵۲	جدول ۴-۱: مرحله اول کنترل کیفیت کندگر دما پایین
۵۴	جدول ۴-۲: مرحله دوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین
۵۴	جدول ۳-۴: مرحله سوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین
۵۵	جدول ۴-۴: نتایج ارزیابی نمونه‌های شاخص در مرحله اول
۵۸	جدول ۵-۴: نتایج نمونه‌های شاخص در مرحله دوم ارزیابی
۵۹	جدول ۶-۴: نتایج نمونه‌های شاخص در مرحله سوم ارزیابی
۶۰	جدول ۷-۴: نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله اول
۶۱	جدول ۸-۴: نتایج ارزیابی نمونه بومی سازی شده در مرحله دوم
۶۳	جدول ۹-۴: نتایج آزمایش پایلوت بر LTR-B
۶۴	جدول ۱۰-۴: فرمولاسیون ارائه شده جهت ارزیابی کندگر دما متوسط
۶۵	جدول ۱۱-۴: نتایج ارزیابی نمونه شاخص D800 در دمای متوسط
۶۷	جدول ۱۲-۴: نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در دمای متوسط
۶۸	جدول ۱۳-۴: مرحله اول روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین
۶۸	جدول ۱۴-۴: مرحله دوم روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین

۶۸	جدول ۴-۱۵ : مرحله سوم روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین
۶۹	جدول ۴-۱۶ : نتایج شاخص در مرحله اول ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین
۷۰	جدول ۴-۱۷ : نتایج شاخص در مرحله دوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین
۷۰	جدول ۴-۱۸ : نتایج شاخص در مرحله سوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین
۷۱	جدول ۴-۱۹ : نتایج نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله اول
۷۱	جدول ۴-۲۰ : نتایج نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله دوم
۷۱	جدول ۴-۲۱ : نتایج نمونه بومی سازی شده در مرحله سوم
۷۲	جدول ۴-۲۲ : نتایج تولید نیمه صنعتی
۷۳	جدول ۴-۲۳ : روش ارزیابی دما بالا در آب شور
۷۴	جدول ۴-۲۴ : نتایج نمونه شاخص در دما بالا و آب نمک
۷۴	جدول ۴-۲۵ : نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده
۷۶	جدول ۴-۲۶ : مرحله اول ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین
۷۷	جدول ۴-۲۷ : مرحله دوم ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین
۷۷	جدول ۴-۲۸ : نتایج مرحله اول ارزیابی نمونه شاخص
۷۸	جدول ۴-۲۹ : نتایج مرحله دوم ارزیابی نمونه شاخص
۷۹	جدول ۴-۳۰ : ترکیب افزایه‌های بومی سازی شده در ارزیابی مرحله اول
۸۴	جدول ۴-۳۱ : نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله اول
۸۷	جدول ۴-۳۲ : مرحله اول ارزیابی FLC در آب نمک
۸۷	جدول ۴-۳۳ : مرحله دوم ارزیابی FLC در سیمان سنگین و آب
۸۸	جدول ۴-۳۴ : نتایج مرحله اول ارزیابی FLC شاخص در آب نمک

۹۰	جدول ۳۵-۴ : نتایج مرحله دوم ارزیابی FLC شاخص در آب نمک
۹۱	جدول ۳۶-۴ : ترکیبات نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله اول ارزیابی در آب نمک
۹۳	جدول ۳۷-۴ : نتایج ارزیابی مرحله اول نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده در آب نمک
۹۴	جدول ۳۸-۴ : ترکیبات نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده در مرحله دوم
۹۴	جدول ۳۹-۴ : نتایج مرحله دوم ارزیابی نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده
۹۶	جدول ۴۰-۴ : روش ارائه شده جهت ارزیابی پراکنده‌ساز آب شیرین
۹۶	جدول ۴۱-۴ : نتایج ارزیابی D-65 در آب شیرین
۹۷	جدول ۴۲-۴ : ترکیبات نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده جهت ارزیابی در آب شیرین
۹۷	جدول ۴۳-۴ : نتایج ارزیابی نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب شیرین
۹۸	جدول ۴۴-۴ : فرمولاسیون سیمان جهت ارزیابی پراکنده‌ساز در آب نمک اشباع
۹۹	جدول ۴۵-۴ : نتایج ارزیابی D-65 در آب نمک اشباع
۱۰۱	جدول ۴۶-۴ فرمولاسیون ارزیابی پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب نمک
۱۰۲	جدول ۴۷-۴ نتایج ارزیابی نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب نمک

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ واکنش دانه های سیمان ۱۶
- شکل ۲-۲ داده های رئولوژیکی برای یک دوغاب خالص و همراه با پراکنده ساز ۱۷
- شکل ۳-۲ لخته شدن و پخش شدگی ۱۸
- شکل ۴-۲ جذب پلی انیون روی سطح ذرات سیمان. ۱۹
- شکل ۵-۲ نمایش شماتیک پایداری پخش سیمان توسط یک پلیمر جذب شده. ۱۹
- شکل ۶-۲ پتانسیل زتا و جذب هم‌دما برای یک سوسپانسیون سیمان رقیق شده (77°F , $^{\circ}\text{C}$) ۲۰
(25)
- شکل ۷-۲ نمایش شماتیک از پلیمر شاخه دار (لیگنوسولفونات) در آب و پخش شدگی القایی در غلظت های پایین پلیمر خطی ۲۰
- شکل ۸-۲ مقدار نقطه واروی و ویسکوزیته پلاستیکی دوغاب کلاس G در 120°F ۲۱
- شکل ۹-۲ اثر غلظت NaCl بروی توانایی پخش کنندگی PNS ۸/۱۵ lb/gal سیمان کلاس G، $^{\circ}\text{F}$ ۲۱
۷۷
- شکل ۱۰-۲ سه فرآیند مختلف ته نشینی دوغاب سیمان ۲۵
- شکل ۱۱-۲ ساختار شیمیایی پایه لیگنوسولفانات ۲۸
- شکل ۱۲-۲ اثر کندکنندگی لیگنوسولفانات ۲۹
- شکل ۱۳-۲ ساختارهای مولکولی کندگرهای اسید هیدروکسی کربوکسیلیک. ۳۰
- شکل ۱۴-۲ عملکرد کندکنندگی گلوکوهیتونات ۳۱
- شکل ۱۵-۲ ساختار کندگرهای ساکاریدی ۳۲
- شکل ۱۶-۲ زمان بندش های معمولی که توسط CMHEC به دست آمده است (با استفاده از سیمان class H و class A) ۳۳

۳۴	شکل ۱۷-۲ ساختار الکیلن فسفونات
۳۴	شکل ۱۸-۲ عملکرد کندکنندگی organophosphonate
۳۹	شکل ۱-۳ دستگاه مخلوط کن سیمان
۳۹	شکل ۳-۲ ترازوی گل
۴۰	شکل ۳-۳ ویسکومتر
۴۱	شکل ۴-۳ کانسیستومتر اتمسفریک
۴۲	شکل ۵-۳ کانسیستومتر تحت فشار
۴۳	شکل ۶-۳ دستگاه UCA
۴۷	شکل ۴-۱ روش کار
۴۹	شکل ۲-۴ نمایش زمان نیم‌بندش ۴ ساعته بر اساس تابعی از غلظت کندگر و BHCT
۵۰	شکل ۳-۴ مقایسه کندگر D800 و D13 در حساسیت به نوع سیمان همراه
۵۵	شکل ۴-۴ زمان نیم‌بندش D800 در F1 و L1
۵۶	شکل ۵-۴ زمان نیم‌بندش مطلوب برای دماهای مختلف دوغاب ۱۵/۸ lb/gal آب شیرین حاوی D800
۵۶	شکل ۶-۴ روابط عمق چاه و زمان نیم‌بندش مورد نیاز بر حسب نوع سیمان
۵۷	شکل ۷-۴ زمان نیم‌بندش R5 در F1 و L1
۵۹	شکل ۸-۴ زمان نیم‌بندش L2 F1 D800
۶۱	شکل ۹-۴ زمان نیم بندش LTR-A در L1
۶۱	شکل ۱۰-۴ زمان نیم‌بندش LTR-B در L1
۶۲	شکل ۱۱-۴ زمان نیم‌بندش LTR-B در L2

۶۳	شکل ۴-۱۲ زمان نیم‌بندش LTR-B در PILOT L1
۶۴	نمودار ۴-۱۳ مقایسه زمان نیم‌بندش D800، R5 و LTR-B
۶۵	شکل ۴-۱۴ زمان نیم‌بندش D800 در دمای ۱۸۵ درجه فارنهایت
۶۶	شکل ۴-۱۵ زمان نیم‌بندش MTR-E F1 F3
۶۹	شکل ۴-۱۶ زمان نیم‌بندش برای D800 و R8 در دمای ۲۱۵ درجه فارنهایت
۷۰	شکل ۴-۱۷ زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۷۰ درجه فارنهایت
۷۰	شکل ۴-۱۸ زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۲۵ درجه فارنهایت
۷۲	شکل ۴-۱۹ زمان نیم‌بندش نمونه بومی سازی شده HTR-G
۷۴	شکل ۴-۲۰ مقایسه زمان نیم‌بندش HTR-G با HTR-F در آب نمک.

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

۲-۱ ضرورت انجام تحقیق

۳-۱ مروری بر پژوهش‌های پیشین

۳-۱ شیمی سیمان، افزایه‌ها و واکنش‌های آن‌ها

۲-۳-۱ خصوصیات سیمان و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها

۳-۳-۱ کاربرد افزایه‌ها و روش‌های آزمایشگاهی ارزیابی آن‌ها

۴-۱ ساختار پایان‌نامه

۱-۱ مقدمه

عملیات سیمان کاری در چاه‌ها تعیین‌کننده طول عمر چاه است. تعیین مدت زمان تولید چاه بدون نیاز به تعمیر، به کیفیت این عملیات بستگی دارد. تغییرات وسیع شرایط محیطی چاه‌های نفت و گاز باعث می‌شود که در عملیات سیمان کاری به گستره‌ای وسیع از افزایش‌ها که هر کدام خواصی از سیمان را برای مطابقت با شرایط موجود کنترل می‌کنند، نیاز باشد. کیفیت افزایش‌های مصرفی، ارتباط مستقیمی با موفقیت‌آمیز بودن عملیات سیمان کاری چاه دارد، لذا افزایش‌ها پیش از استفاده در عملیات میدانی باید در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت کنترل کیفیت شوند تا از عملکرد صحیح آن‌ها اطمینان حاصل شود. امروزه شرکت‌های بسیاری در زمینه تولید افزایش‌های سیمان حفاری فعال هستند؛ اما روش و استاندارد مدونی برای کنترل کیفیت این افزایش‌ها موجود نیست و روش‌های مورد استفاده در آزمایشگاه کنترل کیفیت بر مبنای نیازهای عملیاتی و به صورت تجربی است. هدف از انجام این پژوهش، ارائه روشی جهت کنترل کیفیت این افزایش‌ها بر مبنای منطق علمی و شرایط کاربردی است. در این مطالعه متدولوژی کنترل کیفیت افزایش‌های سیمان حفاری شامل افزایش‌های کندگر^۱، پراکنده‌ساز^۲ و عوامل کنترل‌کننده افت صافی^۳ بررسی می‌شود. سپس روش‌های ارائه‌شده توسط نمونه‌های شاخص، رد یا تأییدشده و کیفیت نمونه‌های بومی‌سازی شده توسط این روش‌ها کنترل می‌شود و با نمونه‌های شاخص مقایسه می‌گردد.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

دو مرحله برای حصول عملیات سیمان کاری مطمئن و مطلوب وجود دارد. مرحله اول، استفاده از تجهیزات میدانی و کادر مجرب برای پمپاژ سیمان به درون چاه و مرحله دوم، طراحی و فرمولاسیون

^۱ retarder

^۲ dispersant

^۳ fluid-loss control agents

دوغاب سیمان با مطلوب‌ترین کارایی می‌باشد. ضعف هرکدام از این موارد به عدم موفقیت عملیات سیمان‌کاری می‌انجامد. کیفیت پایین افزایش‌های سیمان حفاری منجر به عدم مصرف یا افزایش مصرف افزایش‌ها شده است تا عملکرد آن‌ها جبران شود. از سوی دیگر با توجه به طراحی افزایش‌های مربوطه در محیط‌های متفاوت عملیاتی، نمونه‌هایی متعدد از عدم سازگاری بین افزایش‌های به‌کاررفته با یکدیگر و سیال مخزن دیده‌شده‌اند که نتیجه آن کاهش فرآیندهای طراحی‌شده خواهد بود که مستقیماً تأثیر خود را بر بازده تولید نفت برجا، نرخ تولید و عمر چاه‌های حفرشده می‌گذارد. خواص رئولوژیکی نامطلوب، قدرت ژله‌ای بالا و افت صافی زیاد، عدم هیدراته شدن سیمان و همچنین عدم سیمان‌شدگی در فضای حلقوی، ضعف در تفکیک لایه‌ای، مقاومت فشاری پایین در پاشنه‌های لوله جداری و آستری همگی به طراحی نامطلوب دوغاب سیمان و کیفیت پایین افزایش‌ها برمی‌گردد (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۰).

اکثر افزایش‌ها شدیداً تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان قرار می‌گیرند که بسیار متغیر است. در نتیجه طیف بزرگی از نتایج با طراحی یکسان دوغاب به‌دست می‌آید. پارامترهای مهم سیمان توزیع اندازه ذرات، پخش فازهای آلومینات و سیلیکات، واکنش فازهای هیدراته، نسبت گچ به نیم هیدراته شدن، مجموع سولفات‌ها و آلکالی آزاد، طبیعت شیمیایی، مقدار و سطح ویژه محصولات هیدراتسیون اولیه می‌باشند. پارامترهای مهم دیگر شامل دما، غلظت افزایش، فشار، انرژی مخلوط کردن و نسبت آب به سیمان هستند (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل پیچیدگی فرآیند هیدراتاسیون سیمان و تعداد پارامترهای زیاد تأثیرگذار، تنها روش کاربردی طراحی دوغاب سیمان از طریق آزمون آزمایشگاهی و کنترل کیفیت دوغاب قبل از عملیات سیمان‌کاری است.

در زمینه افزایش‌های سیمان‌کاری، کمبود مواد بومی و سازگار با شرایط محیطی چاه‌های ایران از یک‌سو و بازدهی پایین مواد افزودنی وارداتی پرمصرف از سوی دیگر، تهدیدی جدی در عملیات

سیمان کاری محسوب می شود. در گذشته، بسیاری از شرکت های داخلی برای سیمان کاری چاه های نفت از افزایه های تولیدی شرکت های خارجی استفاده می کردند که معمولاً دستورالعمل کنترل کیفیت محصولاتشان در دسترس خریداران قرار نمی گرفت. با توجه به تحریم های صورت گرفته، امروزه استفاده از این افزایه های خارجی توجیه اقتصادی خود را از دست داده اند و شرکت های ایرانی به فکر تولید بومی این افزایه ها هستند. دانش فنی و تولید پنج قلم افزایه های سیمان حفاری در داخل کشور با حمایت شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب تدوین شده است. افزایه های سیمان یکی از پرمصرف ترین اقلام کاربردی عملیات حفاری چاه های نفت و گاز است که با تولید انبوه یکی از این افزایه ها هزینه های سیمان کاری به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

لطماتی که افزایه های بی کیفیت یا کم کیفیت به عملیات سیمان کاری چاه وارد می کند، بالغ بر میلیون ها دلار است. به دلیل کیفیت نامطلوب افزایه هایی که در حال حاضر استفاده می شوند آمار چاه هایی که سیمان کاری آن ها با شکست مواجه می شوند رو به افزایش است. تدوین روش استاندارد جهت کنترل کیفیت افزایه های سیمان حفاری گامی در جهت ارتقای کیفیت این افزایه ها و جلوگیری از شکست عملیات سیمان کاری محسوب می شود. در صورت کیفیت نامطلوب افزایه تنظیم زمان نیم بندش، ممکن است سیمان قبل از قرار گرفتن در فضای حلقوی در لوله های پمپاژ سفت شود. در این صورت سیمان بسته شده باید حفاری شود و به دلیل سختی بالای سیمان سرمته مدام می شکند و باید تعویض شود. برعکس، اگر پس از گذشت چند روز از پمپاژ، سیمان استحکام کافی را نگیرد. هزینه سیمان هدر شده، اجاره روزانه دکل و حفاری مجدد سیمان، حفاری چاه جدید و... بسیار قابل ملاحظه و به واقع جبران ناپذیر است. سیمان کاری موفق، به انتقال خوب گل بستگی دارد که بهترین انتقال در صورت پمپاژ دوغاب سیمان در یک جریان ناآرام است. افزایه پراکنده ساز، رئولوژی دوغاب سیمان را کنترل می کند و یک اغتشاش القایی در سرعت های پایین پمپ ایجاد می کند و اجازه کم کردن محتوی سیمان را بدون این که پمپ کردن آن مشکل شود، می دهند. در صورت

نامطلوب بودن این افزایه علاوه بر ایجاد مشکل در پمپاژ دوغاب، ته‌نشینی رخ داده و دانسیته دوغاب سیمان در ستون یکسان نیست. در صورت عدم کنترل افت صافی رئولوژی، زمان نیم‌بندش و چگالی دوغاب سیمان تغییر خواهد کرد.

۳-۱-۳ مروری بر پژوهش‌های پیشین

محققین بسیاری در زمینه سیمان و خصوصیاتش و افزایه‌های آن به مطالعه پرداخته‌اند که در ادامه به بیان آن‌ها پرداخته شده است.

۱-۳-۱ شیمی سیمان، افزایه‌ها و واکنش‌های آن‌ها

اریک نلسون در کتاب سیمان‌کاری چاه به بیان شیمی سیمان و افزایه‌های آن پرداخته است و تمامی واکنش‌های هیدراسیون سیمان به همراه افزایه‌ها را بررسی کرده است (Nelson, 1999). فینک روش‌های بسیاری برای آنالیز ترکیب شیمیایی سیمان ارائه کرده است که شامل روش‌های پراش اشعه x ، آنالیز تفاضل گرمایی^۲، کالری‌سنجی اسکن تفاضلات^۳ (DSC)، آنالیز گرانی‌سنج دمایی^۴، طیف‌سنجی جذب اتمی و هدایت کالری‌سنجی (هم‌دما)^۵ است. روش‌های پتانسیل سنجی^۶ آنالیز اشعه x فلوروسنس^۷، آنالیز برانگیختگی نوترون، تشدید طیف مغناطیسی هسته‌ای، طیف جذب مادون قرمز، الکترون میکروسکوپی، تخلخل‌سنجی جیوه، پتانسیل زتا و... می‌باشند (Fink, 2012). الیامی به توصیف

^۱ X-ray diffraction

^۲ Differential Thermal Analysis (DTA)

^۳ differential scanning calorimeter

^۴ thermo gravimetry

^۵ conduction calorimetry (isothermal)

^۶ potentiometric methods

^۷ X-Ray fluorescence analysis

شیمی سیمان و مکانیزم هیدراسیون آن و شیمی افزایش‌های کندگر، پراکنده‌ساز، کنترل‌کننده افت صافی، منبسط‌کننده‌ها و عوامل پاراگاز و مکانیزم عملکرد آن‌ها پرداخته است (Al-Yami, 2015).

۱-۳-۲ خصوصیات سیمان و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها

سیمان باید به گونه‌ای طراحی شود که خصوصیات قابل قبولی را فراهم کند. از جمله می‌توان به خصوصیات همچون توانایی مخلوط شدن، پایداری، رئولوژی، هرزروی سیال، زمان نیم‌بندش کافی و... اشاره کرد.

ساندرز و والکر مقاومت سیمان و افزایش‌های آن را تحت شرایط دمابالای چاه آزمایش کردند. به این نتیجه رسیدند که مقاومت سیمان در دمای (۲۴۰-۲۲۰) درجه فارنهایت به بالا کاهش می‌یابد (Saunders and Walker, 1954). متکالف مقاومت فشاری سیمان به همراه افزایش‌های مختلف در زمان‌های ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت، در دمای (۲۴۰-۲۲۰) درجه فارنهایت و فشار psi (۱۰۲۰۰-۳۰۰۰) را اندازه گرفت (Metcalf, 1977). کب و همکاران تأثیر عوامل نمونه‌گیری از نمونه سیمان، حمل و نقل ترکیبات سیمانی از قایق به دریا و دکل و تغییرپذیری سیمان خالص را بر روی زمان نیم‌بندش بررسی کردند (Cobb et al., 1985). ارتباط بین زمان نیم‌بندش سیمان و مقاومت فشاری توسط سایینز و ساتن مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق بیان شد که رشد مقاومت فشاری به سرعت پس از بندش اولیه اتفاق می‌افتد. زمان نیم‌بندش کوتاه شاید اجازه دهد مقاومت در دوره زمانی کوتاه، سریع‌تر رشد کند اما در ۲۴ ساعت بی‌اثر است. برای زمان نیم‌بندش ۳ تا ۸ ساعت، طول زمان نیم‌بندش اثر قابل توجهی روی رشد مقاومت ۲۴ ساعته برای شرایطی که دمای استاتیک ته چاه^۱ منتهای دمای استاتیک بالای ستون سیمان (ΔT) کمتر از 60°F (33°C) باشد، ندارد. در مواردی که اختلاف دمایی بیشتر از 33°C (90°F) باشد، طول زمان نیم‌بندش اثر بیشتری بر روی رشد مقاومت می‌گذارد (Sabins and Sutton, 1986).

^۱ BHST: Bottom Hole Static Temperature

کب^۱ از روش طیف‌سنجی UV/VIS برای تعیین مقادیر هفت افزایه پراکنده‌ساز، کندگر، کنترل کننده هرزروی سیال به صورت تک تک و هم‌زمان استفاده کرده است (Cobb, 1986). دهاب و عمر برای تهیه دوغاب‌های سیمان از آب دریا، آب شیرین و آب مقطر استفاده کردند. سیمان تهیه‌شده با آب دریا مقاومت بیشتری نسبت به دو نوع دوغاب دیگر در مدت عمل‌آوری یک، دو و سه روزه از خود نشان می‌دهد. همچنین بررسی آن‌ها بر روی تأثیر افزودنی‌هایی از قبیل کلرید کلسیم، لیگنوسولفانات و بنتونیت بر روی دوغاب سیمان نشان می‌دهد که در یک غلظت معین از هرکدام از این افزودنی‌ها، با افزایش زمان عمل‌آوری، مقاومت فشاری سیمان افزایش می‌یابد؛ اما در یک‌زمان ثابت، با افزایش غلظت هرکدام از این افزایه‌ها، از مقاومت فشاری کاسته می‌شود (Dahab and Omar, 1989). نوک و رایوراو، چهار ترکیب مختلف از سیمان G را در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس مورد مقایسه قرار دادند. هدف آن‌ها بررسی تأثیر ماسه سیلیسی^۲ بر روی دوغاب سیمان بود. آزمایش‌های آن‌ها در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، نشان می‌دهد که مقادیر مقاومت فشاری بدون حضور سیلیس بسیار پایین بوده و با افزودن سیلیس به دوغاب سیمان، افزایش می‌یابد (Noik and Rivereau, 1999).

مطالعه دیگری در زمینه تأثیر افزودنی‌ها در سال ۲۰۰۲ توسط میرزا بر روی خاکستر زغال‌سنگ^۳ انجام شده است. این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از خاکستر زغال‌سنگ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار اتمسفر، باعث کاهش در مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۱ روزه، در مقایسه با دوغاب مرجع در صورت یک مقدار متعادل در نسبت آب به سیمان، شده است؛ اما هنگامی که دوغاب به تکامل می‌رسد، اختلاف بین افزایش در مقاومت دوغاب مرجع و دوغاب خاکستر زغال‌سنگ کاهش

^۱ Cob

^۲ Silica Sand

^۳ Fly Ash

می‌باید (Mirza, 2002). یومئوکافر و ژوئل، مدلی طراحی کرده‌اند که زمان نیم‌بندش را در یک غلظت مشخص افزایه تعیین می‌کند. زمان نیم‌بندش پیش‌بینی‌شده مطابقت خوبی با مقادیر آزمایشگاهی دارای خطای کمتر از ۱۰٪ دارد. این محققین بیشترین حساسیت زمان نیم‌بندش را دمای گردشی ته چاه عنوان کردند و بیان کردند زمان نیم‌بندش دوغاب سیمان به غلظت کندگر و دما وابسته است (Umeokafor and Joel, 2010).

لبیب‌زاده و ذهبی‌زاده تغییرات هم‌زمان دما و فشار بر روی مقاومت فشاری سیمان کلاس G را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما و فشار، توسعه مقاومت فشاری اولیه و همچنین زمان رسیدن به مقاومت فشاری حداکثر در سیمان در زمان سریع‌تری اتفاق می‌افتد. توسعه سریع‌تر در مقاومت فشاری اولیه باعث کاهش در زمان فاز انتقال می‌شود. این موضوع می‌تواند امکان مهاجرت گاز را به درون ستون سیمان کاهش دهد (لبیب‌زاده و ذهبی‌زاده، ۱۳۹۰).

۱-۳-۳ کاربرد افزایه‌ها و روش‌های آزمایشگاهی ارزیابی آن‌ها

در سال ۱۹۳۷ برای اولین بار API، کمیته‌ای را برای مطالعه سیمان‌های حفاری تأسیس کرد. این مؤسسه در سال ۱۹۹۷ اولین کد مربوط به آزمایش‌های تشخیص کیفیت سیمان‌های حفاری را ارائه داد (API, 1999). بنسبت، یک آزمایش ساده بر روی زمان نیم‌بندش سیمان‌های کلاس G و H چاه نفت در دمای چرخشی بالا (126°C) (258°F) انجام داد. این آزمایش بر اساس جدول آزمایش زمان نیم‌بندش 29L7 که در مشخصات API 10 با دمای 126°C BHCT است. سیمان‌هایی که زمان نیم‌بندش طولانی (۲۰۰-۳۰۰ دقیقه‌ای) و خیلی طولانی (بیش از ۳۰۰ دقیقه‌ای) دارند، برای به کار بردن در دماهای چرخشی ته چاهی بالا، مناسب هستند. سیمان‌هایی که زمان نیم‌بندش متوسط (۱۰۰-۲۰۰ دقیقه‌ای) و کوتاه‌تر از آن (کمتر از ۱۰۰ دقیقه) دارند قابلیت استفاده در دماهای بالا را با

استفاده از افزایه‌ها دارند و هزینه نهایی آن‌ها بیشتر از سیمان‌های دمابالا می‌شود (Bensted, 1993). کریستین و همکارانش، روش محاسبه صافاب سیمان موردنیاز جهت جلوگیری ایجاد انسداد توسط سیمان در برابر سازندهای نفوذپذیر به هنگام سیمان‌کاری را ارائه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند کاهش صافاب سیمان بر اساس API کمتر از ۲۵ ml / ۳۰ min باعث کاهش تهاجم و نفوذ گاز و نیز کاهش نفوذپذیری سیمان می‌شود (Christian et al., 1975). بهفر و همکارانش تأثیر افزایه‌های کنترل هرزروی دوغاب سیمان حفاری را بررسی کردند و به‌منظور بررسی کاهش توان اعمال فشار هیدرو استاتیک ستون دوغاب سیمان و کاهش مهاجرت گاز و نفوذپذیری سیمان این افزایه‌ها را مورد بررسی قراردادند (بهفر و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۱ ساختار پایان‌نامه

در این تحقیق در فصل اول که کلیات تحقیق نام دارد، موضوع به‌سادگی بیان شده و هدف تحقیق و ضرورت انجام تحقیق شرح داده شده است و در ادامه، مروری بر پژوهش‌های پیشین در این زمینه انجام گرفته است. در فصل دوم به نام تئوری و مطالعات کتابخانه‌ای، مباحث نظری موردنظر پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین نمونه‌های شاخص انتخاب شده‌اند و خصوصیات آن‌ها بیان شده است. در فصل سوم آزمایش‌های انجام گرفته شرح داده شده و در فصل چهارم نتایج آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل شده است. همچنین نتایج پژوهش خلاصه شده و روی آن بحث انجام گرفته است. در فصل آخر هم نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادهای این پایان‌نامه به‌صورت خلاصه آورده شده است.

فصل دوم: تئوری و مطالعات کتابخانه‌ای

۱-۲ مقدمه

۲-۲ سیمان پرتلند

۱-۲-۲ نماد گذاری شیمیایی

۲-۲-۲ ترکیب سیمان پرتلند

۳-۲-۲ طبقه بندی سیمان پرتلند

۳-۲ مکانیزم عملکرد افزایشه ها

۱-۳-۲ پراکنده سازها

۲-۳-۲ عوامل کنترل کننده هرزروی سیال

۳-۳-۲ کندگرها

۴-۲ جمع بندی

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا راجع به خصوصیات سیمان پرتلند و طبقه‌بندی آن توضیح داده می‌شود. سپس به بیان نحوه‌ی عملکرد افزایه‌های سیمان مورد بررسی در این پژوهش، که شامل افزایه‌های کندگر، پراکنده‌ساز و کنترل‌کننده‌ی افت صافی هستند، پرداخته می‌شود.

۲-۲ سیمان پرتلند

سیمان پرتلند معمول‌ترین سیمان هیدرولیکی است که با هیدراسیون می‌بندد و مقاومت فشاری می‌گیرد. هیدراسیون شامل واکنش‌های شیمیایی بین آب و ترکیبات سیمان است. بنابراین در هر دو محیط آب و هوا شروع به بستن و مقاومت گرفتن می‌کند.

۱-۲-۲ نمادگذاری شیمیایی

نمادگذاری شیمیایی مخصوصی توسط شیمی‌دان‌های سیمان ثبت شده است. فرمول شیمیایی بسیاری از ترکیبات سیمان شامل مجموعی از اکسیدها می‌باشد. اختصارات برای اکسیدهایی که بیشترین برخورد را با آن‌ها داریم، آورده شده‌اند. لیستی از اختصارات درجدول ۱-۲ نشان داده شده‌است.

جدول ۱-۲ لیست اختصاری ترکیبات شیمیایی

حروف اختصاری	C	A	S	Fe	Mg	H	Na	K	Li	P	F	T
ترکیب شیمیایی	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	H ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	P ₂ O ₅	FeO	TiO ₂

۲-۲-۲ ترکیب سیمان پرتلند

سیمان پرتلند اساساً شامل ۴ ترکیب است: تری کلسیم سیلیکات (C_3S)، دی کلسیم سیلیکات (C_2S)، تری کلسیم آلومینات (C_3A) و تترا کلسیم آلومینوفریت (C_4AF). این ترکیبات در کوره، در دمای بالاتر از ۱۵۰۰

درجه سانتی گراد، طی واکنش‌های بین آهک، سیلیکا، آلومینا و اکسید آهن شکل می‌گیرند (Nelson, 1999).

وقتی که مواد خام برای ساخت سیمان انتخاب می‌شوند، در نظر گرفتن ناخالصی‌ها که می‌توانند اثر مهمی روی خواص نهایی سیمان بگذارند، مهم است. این ناخالصی‌ها شامل مگنیزیا (M)، ترکیبات فلورین، فسفات‌ها، اکسید سرب، اکسید روی و آلکالی‌ها می‌باشند. چنین ناخالصی‌هایی پس از سفت شدن در کوره در فازهای اصلی سیمان قرار دارند و موجب تغییر در واکنش‌پذیری آن می‌شوند. مگنزیای اضافی ($>5\%$) می‌تواند موجب تأخیر در انبساط شود که موجب از هم گسیختگی سیمان سفت‌شده می‌شود. چنین شرایطی با نام "شرایط تخریبی"^۱ شناخته می‌شود. حضور بیشتر از 0.1% فلورین در مواد خام، معمولاً به شکل کلسیم فلوراید منجر به کاهش چشمگیر مقاومت سیمان می‌شود. فسفات در مقادیر 0.2% تا 0.25% درصد اثر مثبت مقاومتی دارد. اگرچه در غلظت‌های بیش از 0.5% اثر تخریبی دارد. اکسیدهای سرب و روی به خواص سیمان آسیب می‌زنند. اثر آلکالی‌ها متغیر است، مقدار کل آلکالی با اکسید سدیم نمایش داده می‌شود (N)، به دلیل واکنش‌های معکوس با انواع خاصی از گروه‌های سیلیسی، به طور کلی نباید از 0.6% بیشتر شوند (Nelson, 1999).

۲-۳-۲ طبقه‌بندی سیمان پرتلند

سیمان پرتلند تحت استانداردهای شیمیایی و فیزیکی خاصی تولید شده است که به کاربرد آن‌ها بستگی دارد. برای ارتقای ثبات عملکرد بین تولیدات سیمان، سیستم طبقه‌بندی و مشخصات از طریق ایجاد گروه‌های مختلف موجود است. بهترین سیستم شناخته شده ASTM و API است. ترکیبات سیمان در جدول ۲-۲ نمایش داده شده است و جدول ۳-۲ کاربردهای مختلف سیستم (API) سیمان را نشان می‌دهد.

^۱ unsoundness

جدول ۲-۲ ترکیبات سیمان. (API, 1997)

ترکیبات					دانه بندی	کلاس API
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	SqCm/ Gram	
53	24	8	8	3.5	1500-1900	A
44	32	5	12	2.9	1500-1900	B
58	15	8	8	4.1	2000-2400	C
50	26	5	13	3.0	1200-1500	E و D
52	27	3	12	3.2	1400-1600	G
52	25	5	12	3.3	1400-1600	H

جدول ۳-۲ کاربرد کلاس‌های مختلف API سیمان (API, 1997)

آب (gal/sack)	وزن دوغاب (lbm/ gal)	عمق چاه (ft)	دمای استاتیک (F)	طبقه بندی API
5.2	15.6	0 to 6000	80 to 170	A (Portland)
5.2	15.6	0 to 6000	80 to 170	B (Portland)
6.3	14.8	0 to 6000	80 to 170	C (High early)
4.3	16.4	6000 to 12000	170 to 260	D (Retarded)
4.3	16.4	6000 to 14000	170 to 290	E (Retarded)
4.3	16.2	10000 to 16000	230 to 320	F (Retarded)
5.0	15.8	0 to 8000	80 to 20-0	G (Basic)
4.3	16.4	0 to 8000	80 to 200	H (Basic)

۳-۲ مکانیزم عملکرد افزایشها

در این قسمت مکانیزم و چگونگی عملکرد افزایشهایی که به کنترل کیفیت آن‌ها در این پژوهش بررسی شده، پرداخته شده است. این افزایشها شامل کندگر، پراکنده ساز و کنترل کننده افت صافی می‌باشند.

۱-۳-۲ پراکنده سازها

دوغاب سیمان چاه از مواد جامد معلق با غلظت زیاد در آب تشکیل شده است. محتوی جامدات دوغاب می‌تواند تا ۷۰٪ هم باشد. رئولوژی چنین سوسپانسیون‌هایی به رئولوژی مایع اصلی^۱، کسر حجمی جامد (حجم ذرات/ حجم کل) و واکنش‌های بین ذرات در دوغاب سیمان مرتبط است. سیال درون شبکه‌ای، یک محلول آبدار با نمونه‌های یونی بسیار و افزایش‌های آلی می‌باشد؛ بنابراین رئولوژی آن با آب بسیار متفاوت است.

¹ supporting liquid

محتوی جامدات به طور مستقیم تابعی از دانسیته دوغاب است. واکنش‌های ذرات اصولاً به توزیع بار ذرات بستگی دارد. همچنین پراکنده‌ساز سیمان در صنعت تحت عنوان "کشار کننده بسیار قوی"^۱، شناخته می‌شود و بار سطحی ذرات را تنظیم می‌کند تا به خواص رئولوژیکی مطلوب دوغاب دست پیدا کند. در این قسمت راجع به خواص الکتریکی دانه‌های سیمان در یک محیط آبی، ارتباط بین رفتار ویسکوپلاستیکی بینگهام دوغاب و جاذبه‌های بین ذرات و در نهایت اثرات پراکنده‌ساز روی رئولوژی دوغاب و همگنی آن بحث شده است. هیدرولیز C-S-H در واکنش ۲-۳ نشان داده شده است که منجر به ایجاد یک سطح باردار شده است.



یون‌های آزاد کلسیم در محلول با گروه‌های باردار منفی روی سطوح ذرات واکنش می‌دهند. ممکن است یک یون کلسیم دو گروه Si-O را به خود متصل کند (Thomas and Double, 1981)، که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. پل‌زدگی^۲ به دلیل مساحت سطح^۳ زیاد سیمان و رقابت بین یون‌های کلسیم بین محل‌های جذب^۴ رخ می‌دهد. ممکن است بخشی از دانه سیمان بار مثبت داشته باشد و با کلسیم جذب شده باشد در حالی که بخش دیگر آن بار منفی داشته باشد. در نتیجه بین دو قسمت باردار مخالف برهم کنش‌هایی ایجاد می‌شود. اگر پل‌زدگی اتفاق نمی‌افتاد، دانه‌های سیمان به طور کامل با بارهای مثبت پوشیده می‌شدند و منجر به پراکنش خودبه‌خودی^۵ می‌شد.

الف) ویسکوپلاستیسیته دوغاب‌های سیمان و مکانیزم انتشار

هنگامی که پودر سیمان و آب با هم مخلوط می‌شوند، از طریق دوغاب، ساختاری تشکیل می‌شود که از اعمال یک بازه تنش برشی^۶ داده شده بر روی جریان، جلوگیری می‌کند و مقدار نقطه واروی^۱ نشان دهنده

¹ superplasticizers

² bridging

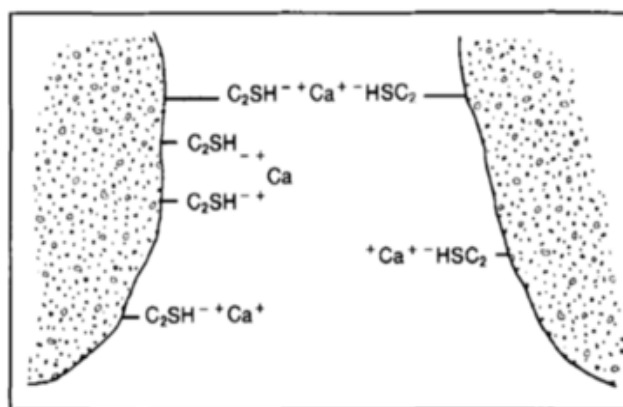
³ Surface Area

⁴ Adsorption sites

⁵ spontaneous dispersion

⁶ Shear stress

آن است. این نتیجه اثر متقابل بین ذرات می باشد. در تنش های برشی پایین کمتر از مقدار نقطه واروی، دوغاب به عنوان یک جامد رفتار می کند. تنش های برشی ممکن است از تغییر شکل های جزئی^۲، فشرده شدن و بالاخره خزش^۳ جلوگیری کند ولی جریان ایجاد نخواهد کرد. بالاتر از مقدار نقطه واروی، دوغاب شبیه مایع رفتار می کند که در مدل بینگهام ویسکوزیته پلاستیکی کافی دارد. (Wilkinson, 1960) همان - طور که می توان در شکل ۲-۲ مشاهده کرد (Baret, 1988). منحنی های تنش برشی / سرعت برشی^۴ آزمایشگاهی تقریباً به صورت خطی هستند.



شکل ۲-۱ واکنش دانه های سیمان (Nelson, 1999)

شیب خط "ویسکوزیته پلاستیکی" است و عرض از مبدا "مقدار نقطه واروی" است. اگرچه "ویسکوزیته ظاهری" که همان نسبت تنش برشی به سرعت برشی می باشد، ثابت نیست و با افزایش تنش برشی کاهش پیدا می کند. این پلاستیسیته^۵ نتیجه شکستن یک ساختار باردار تحت تنش است. یک بار که مقدار نقطه واروی بیشتر شود، دوغاب دیگر مثل یک واحد منفرد رفتار نمی کند، به بخش هایی شکسته می شود و توده های^۶ ذرات، بین هم حرکت می کنند. این توده ها شامل آب درون شبکه ای به تله افتاده می باشند. در نتیجه

^۱ yield point

^۲ Finite deformations

^۳ creep

^۴ shear rate

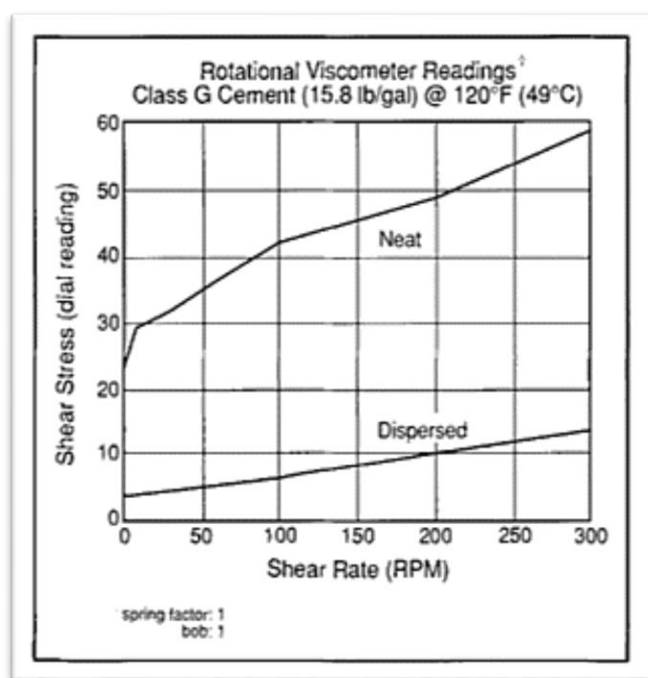
^۵ plasticity

^۶ aggregates

حجم مؤثر^۱ فاز منتشر شده بزرگتر از دانه‌های سیمان است. حجم فاز منتشر شده^۲ فاکتور کلیدی است که رئولوژی پراکنش را تعیین می‌کند. برای مثال، آنالیز مرحله اول منجر به رابطه انیشتن می‌شود (Einstein, 1926) که در معادله ۱-۲ به نمایش درآمده است.

$$(1-2)$$

ویسکوزیته انتشار^۳ (μ)، توسط ویسکوزیته سیال پایه ایجاد می‌شود (μ_0) و تنها به نسبت حجمی^۴ بستگی دارد (Φ_s) که توسط فاز پراکنده شده اشغال می‌شود. در مدل‌های پیچیده‌تر (Petrie, 1976)، برای پراکنده‌های متمرکز^۵، نسبت حجمی فاز پراکنده، پارامتر تعیین‌کننده باقی می‌ماند. بنابراین ویسکوزیته بالای دوغاب به توده‌های ذرات بزرگ سیمان مرتبط است.



شکل ۲-۲ داده‌های رئولوژیکی برای یک دوغاب خالص (Neat) و همراه با پراکنده‌ساز (Dispersed)

(Baret, 1988)

در شکل ۲-۳ مشاهده می‌شود که شکسته شدن توده می‌تواند توسط برش یا اضافه کردن یک پراکنده‌ساز

¹ effective volume

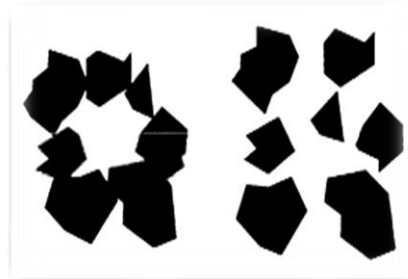
² dispersed phase

³ viscosity of dispersion

⁴ volume fraction

⁵ concentrated dispersion

میسر باشد. هر دو عمل کسری از آب به تله افتاده در توده‌ها را آزاد می‌کند، بنابراین حجم مؤثر فاز پراکنده کاهش می‌یابد و ویسکوزیته دوغاب کاهش می‌یابد. در صورت انتشار ذرات جداگانه، هنگامی که همه‌ی توده‌ها تخریب شوند ویسکوزیته به حداقل می‌رسد (Shaw, 1980).



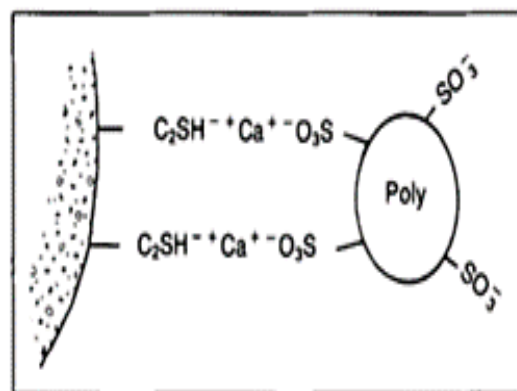
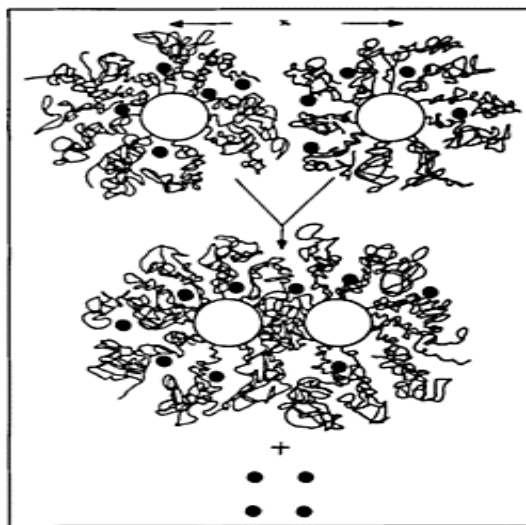
شکل ۲-۳ لخته‌شدن^۱ و پخش‌شدگی (Nelson, 1999)

هنگامی که سیمان در آب دوغاب می‌شود، بخش‌های باردار مثبت و منفی روی سطوح دانه‌های سیمان وجود دارند. این قسمت‌ها با همدیگر واکنش می‌دهند تا یک شبکه ساختاری پیوسته را ایجاد کنند. در غلظت‌های بالای جامدات، برای پمپ‌پذیری دوغاب، این شبکه باید شکسته شود. هنگامی که پلی‌انیون‌های مشخصی به دوغاب اضافه می‌شوند، به مکان‌های حاوی بار مثبت جذب می‌شوند و بنابراین مانع فعل و انفعالات ذرات می‌شود. واضح است پلی‌کاتیون‌ها هم می‌توانند همین عملکرد را با واکنش دادن با محل‌های باردار منفی داشته باشند. اما در این عمل با جذب کلسیم رقابت می‌کنند و بنابراین فرآیند هیدراسیون سیمان را معیوب می‌کنند.

یک گروه هیدرولیز شده سیلانول یا آلومینول روی سطح دانه سیمان ($\text{Si-O}^- + \text{Ca}^+$) یک بار منفی را حمل می‌کند که ممکن است به یک یون کلسیم جذب شود. همان‌طور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، ممکن است یک مولکول پلی‌انیون در آن‌جا جذب شود و بارهای منفی زیادی را بیاورد. مقادیر جذب شده همان‌طور که در جذب هم‌دما در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، با غلظت پراکنده‌ساز تغییر می‌کند. ذرات سیمان به طور یکنواخت دارای بار منفی می‌شوند. این اثر ممکن است با اندازه‌گیری پتانسیل زتا

^۱ flocculation

مشاهده شود. پتانسیل زتا تابعی از بار ذرات سوسپانسیون رقیق شده سیمان است. همچنین نشان می‌دهد که برای پلی نفتالن سولفونات هنگامی که جذب به شرایط پایا می‌رسد مقدار بار سطحی کاهش می‌یابد (Andersen, 1986, Defosse, 1985). ذرات باردار یکدیگر را دفع می‌کنند در نتیجه توده‌ها شکسته می‌شوند و دوغاب پراکنده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود، پلیمرهای غیریونی و تا اندازه‌ای پلی‌الکترولیت، دفع ذرات توسط مکانیزمی غیر از دفع الکتروستاتیکی تأمین می‌شود. مشارکت آنتروپی و آنتالپی ممکن است مانع حصار زنجیری پلیمر شود. بنابراین از تماس نزدیک بین دو ذره با پوشش یک لایه پلیمری جذب شده جلوگیری می‌کند (Hunter, 1987, Derham et al., 1974).



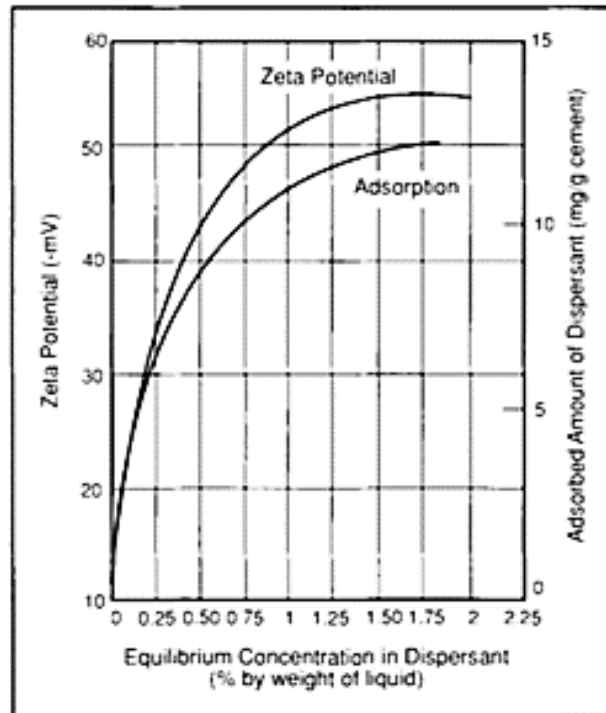
شکل ۲-۵ نمایش شماتیک پایداری پخش سیمان توسط یک پلیمر جذب شده. آرایش پایینی انرژی آزاد بیشتری دارد (Nelson, 1999)

شکل ۲-۴ جذب پلی‌انیون روی سطح ذرات سیمان. (Nelson, 1999)

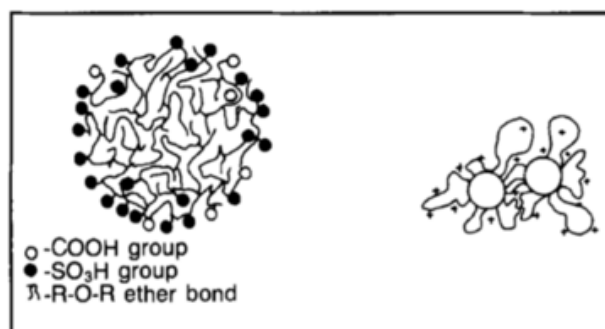
ب) ترکیب شیمیایی پراکنده‌ساز سیمان

سولفونات‌ها رایج‌ترین پراکنده‌ساز سیمان هستند. ترکیب شیمیایی پراکنده‌ساز سیمان در شکل ۲-۷ قابل مشاهده است. اگر چه بعضی از پلیمرهای خطی که به خوبی مولکول‌های آلی کوچک، گروه‌های آنیونی زیادی را حمل می‌کنند هم مؤثر هستند. پلی ملامین سولفونات (PMS) اغلب در صنعت تولید (Malhotra and Malanka, 1979) و در اندازه‌ای محدودتر در سیمان کاری چاه استفاده می‌شود. به دلیل محدودیت پایداری شیمیایی این محصول تنها در دماهای کمتر از 185°F (85°C) مؤثر است. ساختار اصلی واحد در

شکل ۸-۲ نشان داده شده است. شکل ۹-۲ اثر غلظت NaCl بروی توانایی پخش‌کنندگی PNS را نشان می‌دهد.



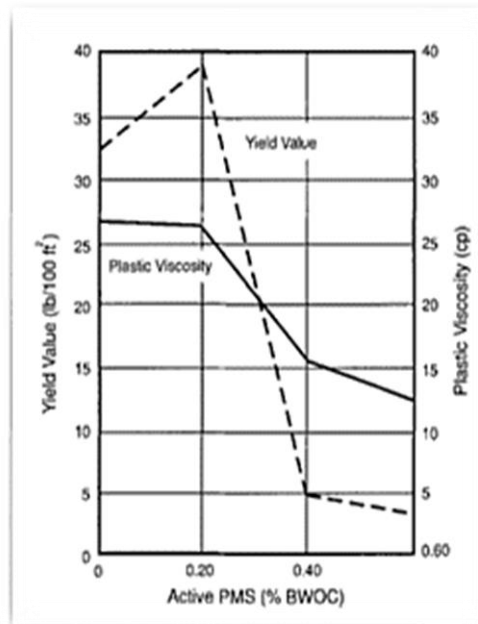
شکل ۶-۲ پتانسیل زتا و جذب هم‌دما برای یک سوسپانسیون سیمان رقیق شده (C° 25، F° 77)
(Nelson, 1999)



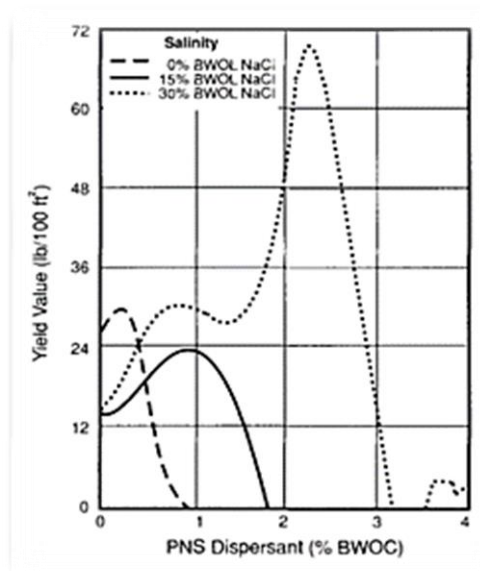
شکل ۷-۲ نمایش شماتیک از پلیمر شاخه‌دار (لیگنوسولفونات) در آب و پل‌شدگی القایی در غلظت‌های پایین پلیمر
خطی (Nelson, 1999)

لیگنوسولفانات‌ها رایج‌ترین پراکنده‌سازی هستند که در فرمول‌های گل حفاری استفاده می‌شوند (Lummus and Azar, 1986). ولی در دوغاب‌های سیمان هم مؤثر هستند (Detroit, 1978). اگرچه به دلیل اینکه به صورت هم‌زمان به عنوان کندگر هم عمل می‌کنند در دماهای پایین‌تر نمی‌توانند استفاده شوند. سایر

مشتقات نظیر اسیدهای کربوکسیلیک لیگنین (Every and Jacob, 1978) به عنوان پراکنده‌ساز سیمان مؤثرتر از اسیدهای لیگنوسولفونیک هستند، اما آن‌ها نیز زمان نیم‌بندش را به تأخیر می‌اندازند.



شکل ۸-۲ مقدار نقطه واروی و ویسکوزیته پلاستیکی دوغاب کلاس G در 12°F (49°C) (Nelson, 1999)



شکل ۹-۲ اثر غلظت NaCl بروی توانایی پخش‌کنندگی PNS ۸/۱۵ lb/gal سیمان کلاس G، 77°F (25°C) (Nelson, 1999)

مشتقات لیگنین از محصولات جانبی صنعت کاغذ سازی به دست می‌آید. آن‌ها ارزان قیمت هستند. توجه به این نکته مهم است که عملکرد برخی لیگنوسولفانات‌ها به کیفیت سیمان بسیار حساس است و برخی مشکلات در ژل‌شدگی ممکن است رخ دهد.

پلی استرین سولفونات‌ها پراکنده‌سازهای مؤثر سیمان هستند. اگرچه به دلیل هزینه‌ی بالای آن‌ها به ندرت به این منظور استفاده می‌شوند (Biagini et al., 1982). پلی‌اکریلات‌ها و (Macwilliams and Wirt, 1978) کوپلی‌مرها هم اگر به همراه ترکیبات غیر آلی مثل فلزات قلیایی یا نمک‌های آمونیوم کربنات-ها، بی‌کربنات‌ها، گزالات‌ها، سیلیکات‌ها، آلومینات‌ها و بورات‌ها استفاده شوند، خواص میعانی خوبی دارند. پلی ساکاریدهای هیدروکسیلات که وزن کمی دارند و از هیدرولیز نشاسته، سلولز یا همی‌سلولزها^۱ (Rixom, 1978) و پلیمرهای غیر یونی دیگر نظیر مشتقات سلولز، پلیمرهای اکسید اتیلن، پلی‌وینیل‌الکل و پلی‌گلیکول (Burge, 1978) خواص پخش‌کنندگی دارند. اگر چه تأخیر در زمان نیم بندش هم یک اثر جانبی است. مواد شیمیایی غیرپلیمری مثل اسیدهای هیدروکسی‌کربوکسیلیک خواص پخش‌کنندگی قوی دارند. همان طور که پیش از این هم گفته شد آن‌ها کندگرهای قویی هستند (Double, 1983). یک مثال معمولی سیتریک اسید است که معمولاً در سیستم‌های سیمان نمکی استفاده می‌شود (Massenger, 1978).

ج) ته‌نشینی ذرات و آب آزاد

ته‌نشینی دوغاب، گرادیان دانسیته دوغاب از بالا تا پایین ظرف، و آب آزاد، لایه‌ای از ذرات غیرسنگین مایع روی دوغاب، از اثرات جانبی اضافه کردن پراکنده‌ساز می‌باشند. امکان دارد آب آزاد وجود داشته‌باشد و زیر آن یک دوغاب همگن باشد. همچنین ممکن است ته‌نشینی بدون تشکیل یک لایه جداگانه آب داشته‌باشیم. در ادامه به تعریف واژه‌های آب آزاد و ته‌نشینی می‌پردازیم:

آب آزاد: هنگامی که ذرات سیمانی در یک سوسپانسیون کاملاً پخش نشده‌اند، آن‌ها به وسیله نیروهای الکتروستاتیکی واکنش می‌دهند. یک ساختار لخته‌ای به وجود می‌آید که وزن ذرات را تحمل می‌

¹hemicellulose

کنند. اگر فضای آنالوس در چاه به اندازه‌ی کافی باریک باشد، وزن ذرات به دیواره‌ها منتقل می‌شود و دوغاب خودنگهدار می‌شود. چنین مواردی نادر هستند در نتیجه وزن ذرات سیمان به ته شبکه ژل منتقل می‌شود و ساختار تغییر شکل می‌یابد. آب از پایینی‌ترین قسمت دوغاب با فشار خارج می‌شود و به لایه‌های بالاتر با تنش کمتر می‌رود. توانایی لایه‌های بالایی برای جا دادن آب اضافی محدود است بنابراین ممکن است روی دوغاب یک لایه آب تشکیل شود.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد پراکنده‌سازها با خنثی کردن بارهای مثبت مانع از فعل و انفعالات بین ذرات سیمان می‌شوند. هنگامی که فرآیند تکمیل شد، ذرات از طریق واکنش‌های دو لایه‌ای همدیگر را دفع می‌کنند. به دلیل محتوی یونی بالای محیط، بازه فعالیت چنین نیروهایی بسیار کوتاه است. بنابراین نیروهای دفع کننده باعث روان شدن توده‌های ذرات می‌شوند. در یک دوغاب کاملاً پراکنده شده، ذرات آزادند که حرکت کنند و جذب میدان گرانش می‌شوند و در ته ظرف جمع می‌شوند. در واقعیت، این شرایط ایده‌آل هیچ وقت اتفاق نمی‌افتد، در عوض یک گرادیان دانسیته تشکیل می‌شود. برای آن سه توضیح ممکن است ارائه شود و همه آن‌ها مفهوم پاشیدگی متنوع^۱ را در خود جا می‌دهند. ذرات ریز و درشت یکسان رفتار نمی‌کنند: الف) ذرات ریزتر هنوز ته‌نشین نشده‌اند. ب) ذرات ریزتر به دلیل حرکت براونی ته‌نشین نمی‌شوند. ج) ژل لخته شده وجود دارد اما به اندازه کافی قوی نیست تا ذرات بزرگتر را حمایت کند.

د) جلوگیری از آب آزاد و ته‌نشینی دوغاب

ستون‌های سیمان غیر همگن قابل قبول نیستند مخصوصاً هنگامی که چاه به شدت زاویه‌دار یا افقی باشد. در چنین شرایطی مقاومت مکانیکی کافی سیمان بسته شده و جداسازی زونی مناسب به خطر می‌افتد. در محیط میدان، کنترل غلظت افزایه در بازه کم دشوار است. بنابراین معمولاً "عوامل ضد رسوب"^۲ اضافه می‌شوند تا بازه غلظتی که در آن مقدار نقطه واروی و آب آزاد کم به دست آید را بزرگتر کند. عوامل ضد رسوب موادی هستند که کمی از مقدار نقطه واروی را به حالتی که با شرایط پمپاژ و فشار اصطکاکی که سازند چاه

^۱poly dispersity

^۲ anti settling agent

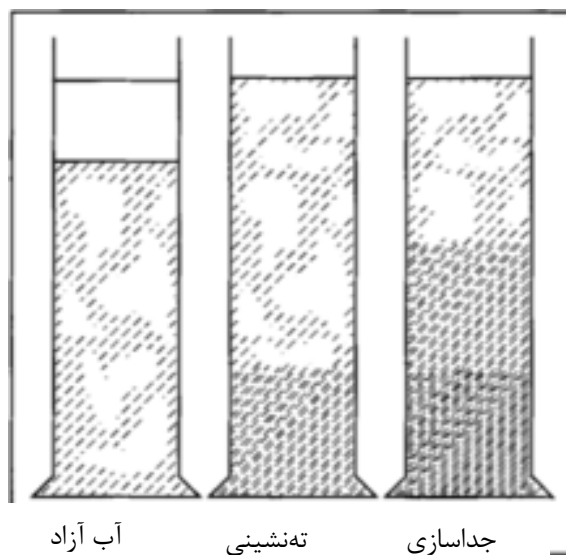
می تواند تحمل کند سازگار باشد، برمی گرداند.

شاید بنتونیت برای کاهش ته نشست دوغاب استفاده شود (Morgan and Dumbauld, 1954). بنتونیت توانایی این را دارد که مقادیر زیادی آب را جذب کند و در نتیجه همگنی دوغاب حفظ می شود. پلیمرهای حل پذیر در آب بسیار، با افزایش ویسکوزیته آب درون شبکه ای، ته نشست را کاهش می دهند. رایج ترین مواد مشتقات سلولز مثل هیدروکسی اتیل سلولز هستند. آب دریا و سیلیکات ها می توانند پایداری دوغاب را بهبود ببخشند (Childs et al., 1984) به علاوه نمک های فلزی مثل NiCl و MgCl سراسر حجم دوغاب ساختار هیدروکسیدی ضعیف ولی وسیعی می سازند (Deffose, 1985, Kar, 1986). اثر افزایش ضد رسوب می تواند توسط اندازه گیری گرادیان دانسیته در یک ستون سیمان بسته شده ارزیابی شود. یک دوغاب آزمایشی در یک استوانه قرار داده می شود و اجازه می دهیم تا ببندد. یک قطعه نازک از سیمان بسته شده از بالا، وسط و ته ستون استخراج می شود. اختلاف وزنی بین این قطعات نشانه ای از درجه ته نشست دوغاب است. شکل ۲-۱۰ سه فرآیند مختلف ته نشینی دوغاب سیمان را نشان می دهد.

۲-۳-۲ عوامل کنترل کننده هرزروی سیال

هنگامی که دوغاب سیمان در مجاورت یک سازند تراوای تحت فشار قرار می گیرد، فرآیند فیلتراسیون رخ می دهد. فاز آبدار دوغاب به درون سازند می رود و ذرات سیمان را پشت سر خود جا می گذارد. چنین فرآیندی معمولاً تحت عنوان "هرزروی سیال"^۱ شناخته می شود. اگر هرزروی سیال کنترل نشود، پیامدهای جدی بسیاری ممکن است رخ دهد که می تواند منجر به ناموفق شدن عملیات شود. هنگامی که حجم فاز آبدار کاهش پیدا می کند، دانسیته دوغاب افزایش یافته در نتیجه عملکرد دوغاب (رئولوژی، زمان نیم بندش و غیره) با طراحی اصلی اختلاف پیدا می کند. اگر سیال تا حدی به سازند هرز رود، دوغاب غیرقابل پمپاژ می شود.

^۱ fluid loss



شکل ۱۰-۲ سه فرآیند مختلف ته نشینی دوغاب سیمان (Nelson, 1999)

سرعت API هرزروی سیال یک دوغاب سیمان خالص معمولاً از ۱۵۰۰ mL/30min بیشتر می‌شود. برای حفظ عملکرد کافی دوغاب، اغلب سرعت هرزروی سیال کمتر از ۵۰ mL/30min مورد نیاز است. برای رسیدن به چنین نتیجه‌ای موادی که تحت عنوان "عوامل هرزروی سیال" هستند شامل طراحی دوغاب می‌شوند. در حال حاضر مکانیزم‌های دقیقی که عوامل کنترل‌کننده هرزروی سیال مطابق آن‌ها عمل می‌کنند کاملاً درک نشده است، اگرچه فرآیندهای بسیاری شناخته شده‌اند. هنگامی که در سراسر سازند هرزروی سیال آغاز می‌شود، یک کیک فیلتر از جامدات سیمان روی سطح سازند رسوب می‌کند. عوامل هرزروی سیال با کاهش تراوایی کیک فیلتر و افزایش ویسکوزیته فاز آبدار، سرعت فیلتراسیون را کاهش می‌دهد. دو دسته اصلی از افزایش‌های هرزروی سیال وجود دارند: مواد دانه‌ریز^۱ و پلیمرهای حل‌پذیر در آب^۲.

الف) مواد دانه‌ریز

اولین عامل کنترل‌کننده هرزروی سیال برای دوغاب سیمان بنتونیت است (Cutforth, 1949). به دلیل ساینده کوچک صفحات، بنتونیت می‌تواند وارد کیک فیلتر شود و بین ذرات سیمان قرار بگیرد. در نتیجه تراوایی

^۱ finely divided materials

^۲ water-soluble polymers

فیلتر کیک کاهش پیدا می‌کند. به علاوه سیستم‌های دانه‌ریز مثل پودر کربنات، آسفالتین‌ها، رزین‌های ترمو پلاستیکی و غیره برای کنترل کردن هرزروی سیال استفاده می‌شود. سیمان‌های لاتکسی^۱ کنترل بسیار خوبی برای هرزروی سیال از خود نشان می‌دهند. لاتکس‌ها پلیمرهای امولسیون هستند که معمولاً از سوسپانسیون‌های شیری ذرات کروی پلیمری بسیار ریز تهیه می‌شوند. (قطر آن‌ها معمولاً بین ۲۰۰ nm تا ۵۰۰ است). اکثر پخش کننده‌های لاتکسی^۲ شامل حدود ۵۰% جامدات می‌شوند. مشابه بنتونیت، چنین ذرات ریزی می‌توانند به طور فیزیکی حفرات کوچک را در فیلتر کیک سیمان مسدود کنند.

ب) پلیمرهای حل‌پذیر در آب

پلیمرهای حل‌پذیر در آب به عنوان عوامل هرزروی سیال در اوایل دهه‌ی ۱۹۴۰ هنگامی که برای اولین بار در سیالات حفاری استفاده شدند، مورد توجه قرار گرفتند. امروزه چنین موادی به صورت گسترده به عنوان عوامل کنترل کننده هرزروی سیال برای دوغاب‌های سیمان چاه استفاده می‌شوند. به بیان کلی، آن‌ها همزمان با افزایش ویسکوزیته فاز آبی و کاهش تراوایی فیلتر کیک عمل می‌کنند. ویسکوزیته محلول پلیمری به غلظت و وزن مولکولی وابسته است. کاهش تراوایی فیلتر کیک پارامتر مهم‌تر در خصوص کنترل هرزروی سیال است. هنگامی که یک دوغاب شامل عامل کنترل هرزروی کافی می‌باشد تا سرعت هرزروی سیالی ۲۵ mL/30 min فراهم کند، تراوایی فیلتر کیک مربوطه تقریباً ۱۰۰۰ برابر کمتر از دوغاب سیمان خالص است (Binkley et al., 1957)، چون ویسکوزیته آب درون شبکه‌ای به حداکثر می‌رسد و پنج برابر می‌شود. سائز حفرات در کیک فیلتر سیمان می‌تواند توسط تخلخل‌سنج جیوه^۳ ارزیابی شود. پلیمرهای حل‌پذیر در آب می‌توانند توده‌های کلوییدی با اتصال ضعیف در محلول تشکیل دهند که به اندازه کافی پایدار هستند تا در فشار کیک فیلتر به صورت گوه‌ای در بیایند (Christian, 1976) همچنین چنین پلیمرهایی ممکن است به سطوح دانه‌های سیمان جذب شوند و در نتیجه سائز حفرات را کاهش دهند. احتمال رخ دادن این دو

^۱ latex cements

^۲ latex dispersions

^۳ mercury porosimetry

رویداد به صورت همزمان بیشتر است. دوغاب‌های سیمان که شامل پلیمرهای حل‌پذیر در آب هستند باید به خوبی پخش شده باشند تا کنترل هرزروی سیال بهینه حاصل شود. پلیمرهای سولفوناته آروماتیک یا نمک تقریباً همیشه به همراه این مواد اضافه می‌شوند. پراکنده‌سازها فشردن دانه‌های سیمان (و شاید توده‌های پلیمری) در یک فیلتر را بهبود می‌بخشند. پراکنده‌سازها تراوایی یک فیلتر سیمان را کاهش می‌دهند و می‌توانند به تنهایی تا درجه‌ای هرزروی سیال را کنترل کنند. اگرچه ممکن است این موضوع به ذهن برسد که پراکنده شدن بیش از حد و ته‌نشینی دوغاب ممکن است به صورت غیرواقعی نتایج تست API هرزروی سیال را بهبود بخشد. گروه‌های بسیاری از پلیمرهای حل‌شدنی در آب به عنوان عوامل کنترل‌کننده هرزروی سیال مفید شناخته شده‌اند.

۲-۲-۳ کندگرها

مکانیزم کند کردن بستن سیمان پرتلند مسئله‌ای است که هنوز در آن اختلاف نظر وجود دارد. نظریه‌های بسیاری پیشنهاد شده است اما هیچ کدام از آن‌ها قادر نیستند فرآیند کندشدگی را به تنهایی به طور کامل توضیح دهند. دو فاکتور اصلی که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: (۱) طبیعت شیمیایی کندگر و (۲) اینکه کندگر در کدام فاز سیمان (آلومینات یا سیلیکات) عمل می‌کند. چهار نظریه کلی پیشنهاد داده شده‌اند که در زیر به صورت خلاصه آورده شده است.

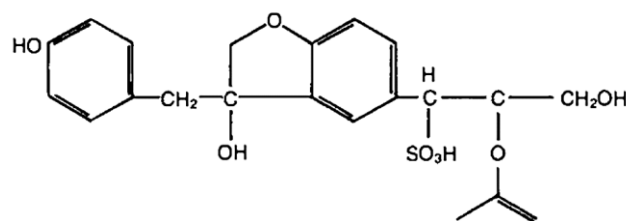
- نظریه جذب: کندکنندگی به دلیل جذب کندگر به سطح محصولات هیدراسیون می‌باشد در نتیجه از تماس با آب جلوگیری می‌شود.
- نظریه رسوب: کندگر با کلسیم و یا یون‌های هیدروکسیل در فاز آبی واکنش می‌دهد و یک لایه ناتراوا و نامحلول دور دانه‌های سیمان تشکیل می‌دهد.
- نظریه هسته‌زایی: کندگر جذب هسته محصولات هیدراسیون می‌شود و رشد آینده آن‌ها را مختل می‌کند.

- نظریه مختلط: یون‌های کلسیم توسط کندگر کی‌لیت^۱ می‌شوند و از تشکیل هسته جلوگیری می‌کنند.

این احتمال وجود دارد که تمامی اثرات بالا به گونه‌ای در فرآیند کندکنندگی مؤثر باشند. برخلاف عدم قطعیت مکانیزم کندکنندگی، تکنولوژی شیمیایی آن بسیار خوب پیشرفت کرده است. کلاس‌های شیمیایی اصلی کندگرها همانند مکانیزم‌های پیشنهادی به صورت جداگانه در زیر توضیح داده شده‌اند.

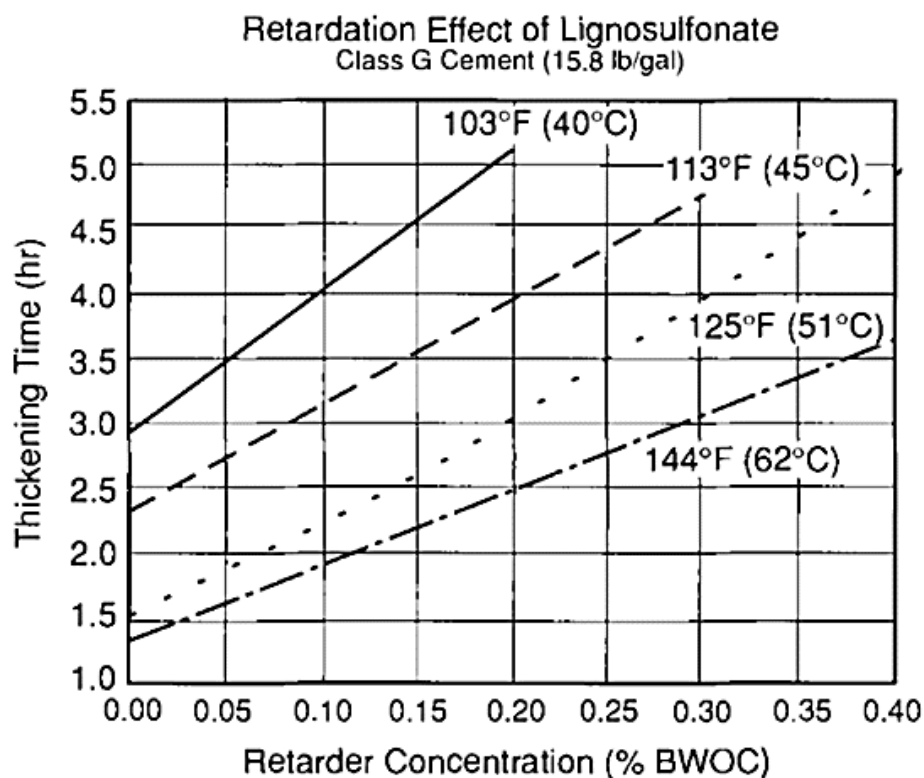
الف) لیگنو سولفانات‌ها

رایج‌ترین کندگر استفاده شده برای سیمان چاه نفت نمک‌های سدیم و کلسیم اسیدهای لیگنو سولفانات هستند. در شکل ۱۱-۲ ساختار شیمیایی لیگنوسولفانات نشان داده شده است. لیگنوسولفانات‌ها پلیمرهایی هستند که از پالپ چوب به دست می‌آیند. بنابراین آن‌ها معمولاً خام هستند و شامل مقادیر متفاوتی از ترکیبات ساکاریدند. در شکل ۱۲-۲ اثر کندکنندگی لیگنوسولفانات قابل مشاهده است کندگرهای لیگنوسولفانات در تمام سیمان‌های پرتلند مؤثر هستند و معمولاً در غلظت‌های بین ۰/۱ تا ۱/۵ BWOC اضافه می‌شود. میزان غلظت افزوده لیگنوسولفانات به محتوی کربوهیدرات و ساختار شیمیایی و طبیعت سیمان بستگی دارد. و تا دمای °F ۲۵۰ (°C ۱۲۲) دمای چرخشی ته چاه (BHCT) مؤثر هستند. بازه دمایی مؤثر لیگنوسولفانات هنگام ترکیب با سدیم بورات می‌تواند تا °F ۶۰۰ (°C ۳۱۵) بالا رود.



شکل ۱۱-۲ ساختار شیمیایی پایه لیگنوسولفانات (Nelson, 1999)

^۱chelated



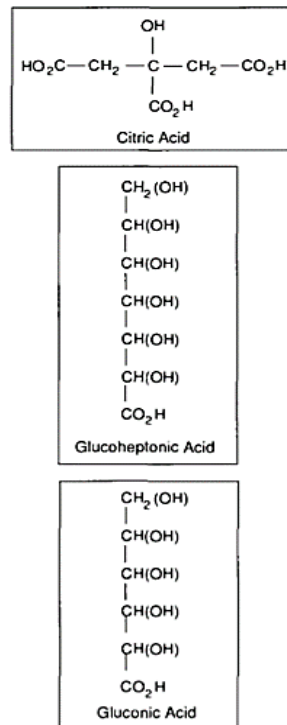
شکل ۲-۱۲ اثر کندکنندگی لیگنوسولفانات (Nelson, 1999)

کندگرهای لیگنوسولفانات بهترین عملکرد خود را با سیمان‌هایی با مقدار C_3A کم دارند. هنگامی که C_3A در حضور افزایه‌های آلی مثل لیگنوسولفانات هیدراته می‌شود غلظت افزایه‌های محلول سریعاً افت پیدا می‌کند. در ابتدا محصولات هیدراسیونی C_3A اثر جذب بسیار قویتری نسبت به محصولات C_3S دارند (Blanke et al., 1963, Rossington and Runk, 1968). در سیستم سیمان پرتلند هیدراسیون C_3A می‌تواند مانع مقدار زیادی لیگنوسولفانات شود که به سطوح محصولات هیدراسیونی C_3S نرسند، در نتیجه اثر افزایه کاهش پیدا می‌کند (Young, 1969).

ب) اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک

اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک شامل گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل در ساختار مولکولی‌شان هستند. نمک‌های گلوکونات و گلوکوهپتونات به طور وسیعی در این طبقه‌بندی استفاده شده‌اند و اثر

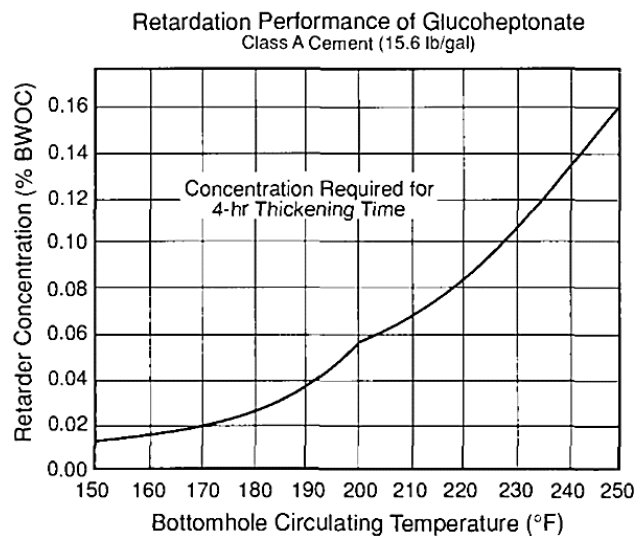
کندکنندگی بسیار قوی دارند و میتوانند به آسانی منجر به بیش کندشدگی^۱ در دماهای دینامیکی ته چاهی کمتر از ۲۰۰°F (۹۳°C) شوند. در شکل ۲-۱۳ ساختارهای مولکولی کندگرهای اسید هیدروکسی کربوکسیلیک قابل مشاهده است. همانطور که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است، این مواد در دماهای نزدیک به ۳۰۰°F (۱۵۰°C) مؤثر هستند.



شکل ۲-۱۳ ساختارهای مولکولی کندگرهای اسید هیدروکسی کربوکسیلیک (Nelson, 1999)

یکی از اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک دیگر با یک اثر کندکنندگی قوی اسید سیتریک است. به عنوان یک عامل کاهنده اصطکاک نیز مؤثر است، و معمولاً در غلظت‌های بین ۰/۱ تا ۰/۳ BWOC استفاده می‌شود. عملکرد کندکنندگی اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک و نمک‌های آنها معمولاً به حضور گروه‌های آلفا یا بتا هیدروکسی کربوکسیلیک (به ترتیب $\text{HC-C-CO}_2\text{H}$ و $\text{HO-C-C-CO}_2\text{H}$) که قدرت بسیاری در کی‌لیت شدن یک کاتیون فلزی مثل کلسیم را دارا می‌باشند، بستگی دارد (Double, 1983). اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک همانند لیگنوسولفانات‌ها در سیمان‌های حاوی C_3A کمتر، بهتر عمل می‌کنند.

^۱ Over retardation

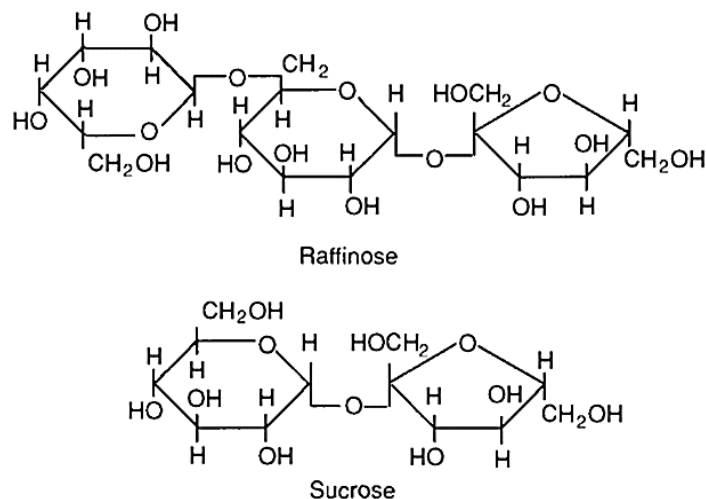


شکل ۲-۱۴ عملکرد کندکنندگی گلوکوهیپتونات (Nelson, 1999)

پ) ترکیبات ساکاریدی

ترکیبات ساکاریدی (که به اصطلاح به آن شکر می‌گویند) به عنوان کندگرهای بسیار مرغوب برای سیمان پرتلند شناخته شده‌اند. بهترین کندگرها در این گروه آن‌هایی هستند که شامل حلقه‌های ۵ عضوی مثل ساکاروز و رافینوز هستند (Bruere, 1966, Previte, 1971, Thomas et al., 1983) چنین ترکیباتی معمولاً در سیمان کاری چاه استفاده نمی‌شوند زیرا درجه کندکنندگی آن‌ها به تغییرات جزئی غلظت بسیار حساس است.

عملکرد کندکنندگی ترکیبات ساکاریدی به طور کامل بررسی شده است و نشان داده شده است که به حساسیت ترکیبات به درجه‌ی هیدرولیز قلیایی بستگی دارد. شکرها به اسیدهای ساکاریدی شامل گروه-های هیدروکسی کربونیل (HO-C-C=O) تبدیل می‌شوند که به شدت به سطوح ژل C-S-H جذب می‌شوند (Taplin, 1960). گمان می‌شود هنگامی که محل‌های هسته‌زایی ژل C-S-H توسط آنیون‌های اسیدی شکر جذب شده آلوده شوند، مانع هیدراسیون می‌شوند (Milestone, 1979). در شکل ۲-۱۵ ساختار کندگر-های ساکاریدی به نمایش در آمده است.

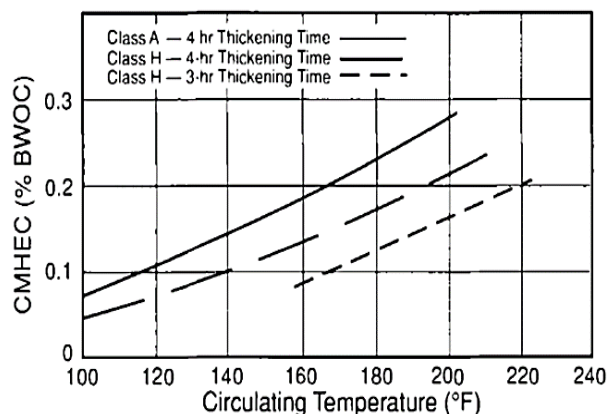


شکل ۲-۱۵ ساختار کندگرهای ساکاریدی (Nelson, 1999)

ج) مشتقات سلولزی

پلیمرهای سلولزی پلی ساکاریدهایی هستند که از چوب یا گیاهان دیگر گرفته می‌شوند و در شرایط قلیایی دوغاب سیمان پایدار هستند. کندکنندگی بندش احتمالاً نتیجه جذب پلیمر به سطح سیمان هیدراته شده است. محل‌های فعال اتصالات اکسید اتیلن و گروه‌های کربوکسیل است. رایج‌ترین کندگر سلولزی کربوکسی متیل هیدروکسی اتیل سلولز است (Shell and Wynnee, 1958). CMHEC یک کندگر مؤثر در دماهای بالا حداکثر تا 250°F (120°C) است (Rust and Wood, 1966).

در شکل ۲-۱۶ زمان بندش‌های معمولی که توسط CMHEC به دست آمده است (با استفاده از سیمان class A و class H) را، نشان می‌دهد. چند اثر ثانویه با CMHEC مشاهده شده است. اغلب به عنوان عامل کنترل‌کننده افت صافی استفاده می‌شود. به علاوه، CMHEC ویسکوزیته دوغاب را میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.



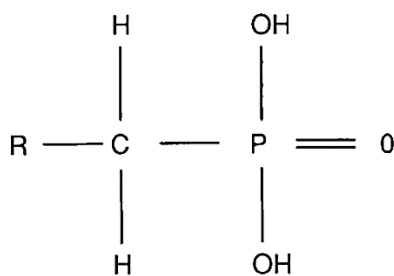
شکل ۲-۱۶ زمان بندش‌های معمولی که توسط CMHEC به دست آمده است (با استفاده از سیمان class A و

(Nelson, 1999) (class H

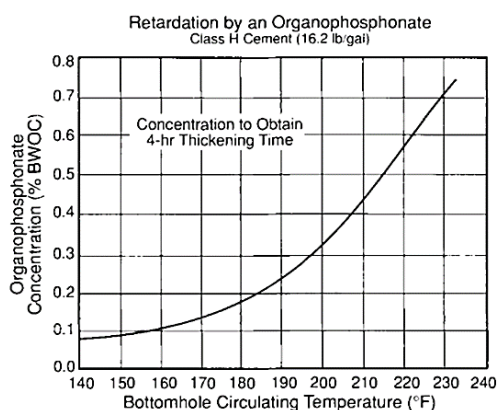
(د) ارگانوفسفونات‌ها^۱

اخیراً اسیدها و نمک‌های الکیلن فسفونیک‌ها به عنوان افزایه‌های کندگر بندش سیمان چاه شناخته شده‌اند. چنین موادی بسته به استحکام مولکولی پایداری هیدرولیکی بسیار خوبی دارند و در دماهای دینامیکی تا حداکثر ۴۰۰ °F (۲۰۴ °C) مؤثر هستند (Sutton et al., 1985, Nelson, 1984 and 1987). ارگانوفسفات‌ها برای استفاده در سیمان‌کاری چاه مفید هستند به دلیل اینکه ظاهر آن به تغییرات اندک ترکیب حساس نیست و تمایل دارد ویسکوزیته سیمان سنگین وزن را کاهش دهد. در مورد مکانیزم عملکرد آن اطلاعات بسیار کمی در دسترس است. اگرچه این احتمال وجود دارد که شبیه انواع دیگر کندگر، گروه‌های فسفونات به سطح سیمان هیدراته شده جذب شوند. شکل ۲-۱۷ ساختار الکیلن فسفونات را نشان می‌دهد. داده‌های عملکرد ارگانوفسفات که هم اکنون در میدان استفاده می‌شود در شکل ۲-۱۸ نشان داده شده است.

^۱organophosphate



شکل ۱۷-۲ ساختار الکیلن فسفونات (Nelson, 1999)



شکل ۱۸-۲ عملکرد کندکنندگی organophosphonate (Nelson, 1999)

و) ترکیبات غیرآلی

ترکیبات غیرآلی بسیاری، هیدراسیون سیمان پرتلند را به تأخیر می‌اندازد. گروه‌های اصلی مواد شامل: اسیدها و نمک‌ها (بوریک، فسفریک، هیدروفلوریک و کرومیک)، سدیم کلرید (غلظت $< 20\% \text{ BWOC}$) و اکسیدهای سرب و روی می‌باشند. در سیمان‌کاری چاه، اکسید روی (ZnO) گاهی برای کندکنندگی سیمان تیکسوتروپیک^۱ استفاده می‌شود. به دلیل اینکه روی رئولوژی دوغاب اثر نمی‌گذارد همچنین روی سیستم هیدراسیون C3A گچ تأثیری ندارد (Ramachandaran, 1986) اثر کندکنندگی ZnO به رسوب کردن هیدروکسید روی بر روی دانه‌های سیمان نسبت داده می‌شود. Zn(OH)_2 قابلیت حل شدگی پایینی دارد ($K=1.8 \cdot 10^{-13}$) و به عنوان یک ژل کلویدی ته‌نشین می‌شود در نتیجه لایه ایجاد شده تراوایی پایینی دارد. اثر کندکنندگی هنگامی که هیدروکسید روی، دلمه مانند به کلسیم هیدروکسید روی‌های کریستالی

^۱ thixotropic

تبدیل شد، تمام می‌شود. که در معادله ۲-۵ قابل مشاهده است.



سدیم تترابورات دکاهیدرات (borax: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) معمولاً به عنوان کمک‌کندگر^۱ استفاده می‌شود و توانایی گسترش بازه دمای مؤثر اکثر کندگرهای لیگنوسولفونات را حداکثر تا ۶۰۰°F (۳۱۵°C) دارد، اگرچه برای اثرگذاری افزایش‌های پلی آمینی کنترل‌کننده هرزروی مضر است.

۲-۴ جمع‌بندی

سیمان پرتلند معمول‌ترین سیمان هیدرولیکی است که با هیدراسیون می‌بندد و مقاومت فشاری می‌گیرد. بر اساس استاندارد API سیمان پرتلند طبقه‌بندی شده‌است که بر اساس عمق، دما و فشار موجود در چاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزایش‌های سیمان خواص آن را جهت استفاده در چاه بهبود می‌بخشند. افزایش‌های پراکنده‌ساز، کندگر و عوامل کنترل‌کننده هرزروی سیال در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پراکنده‌سازها، بار سطحی ذرات را تنظیم می‌کند تا به خواص رئولوژیکی مطلوب دوغاب دست پیدا کنند. سولفونات‌ها رایج‌ترین پراکنده‌ساز سیمان هستند. این افزایش‌ها پایداری دوغاب را بهبود می‌بخشند و از ته‌نشینی ذرات و ایجاد آب آزاد جلوگیری می‌کنند. هنگامی که در سراسر سازند هرزروی سیال آغاز می‌شود، یک کیک فیلتر از جامدات سیمان روی سطح سازند رسوب می‌کند. عوامل هرزروی سیال با کاهش تراوایی کیک فیلتر و افزایش ویسکوزیته فاز آبدار سرعت فیلتراسیون را کاهش می‌دهد و به دو دسته اصلی مواد دانه ریز و پلیمرهای حل‌پذیر در آب تقسیم می‌شوند. پی بردن به مکانیزم کند کردن بستن سیمان پرتلند نیازمند توجه به دو فاکتور اصلی طبیعت شیمیایی کندگر و فاز سیمان که کندگر در آن عمل می‌کند می‌باشد. کندگرهای رایج سیمان حفاری عبارتند از: لیگنوسولفونات‌ها، اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک، ترکیبات ساکاریدی، مشتقات سلولزی، ارگانوفسفونات‌ها و ترکیبات غیر آلی.

^۱retarder aid

فصل سوم: روش‌ها و وسایل آزمایشگاهی

۱-۳ آماده سازی دوغاب

۲-۳ ترازوی گل

۳-۳ کانسیستومتر اتمسفریک

۴-۳ کانسیستومتر تحت فشار

۵-۳ فیلتر پرس استاتیکی

۶-۳ جمع بندی

۱-۳ مقدمه

در این فصل به بیان روش‌ها و وسایل مورد استفاده برای اندازه‌گیری پارامترهای سیمان پرداخته شده است. که شامل دستگاه مخلوط کن جهت آماده سازی دوغاب سیمان، ترازوی گل برای اندازه‌گیری دانسیته سیمان، دستگاه ویسکومتر با هدف تعیین خواص رئولوژیکی دوغاب سیمان، دستگاه کانسیستومتر اتمسفریک و تحت فشار برای سنجش مدت زمان مجاز برای پمپاژ دوغاب، دستگاه فیلتر پرس استاتیکی جهت محاسبه مقدار افت صافی و دستگاه UCA به منظور تعیین پیوسته مقاومت تراکمی سیمان می‌باشند.

۲-۳ آماده‌سازی دوغاب

دوغاب آماده شده توسط دستگاه مخلوط‌کن^۱ آماده می‌شود. این دستگاه در شکل ۱-۳ قابل مشاهده است. سرعت مخلوط‌کن طبق استاندارد API روی 4000 ± 200 دور در دقیقه تنظیم شده است. تمامی افزایه‌ها به محلول دوغاب اضافه شده‌اند. جهت یکسان‌سازی شرایط دوغاب‌ها به منظور مقایسه آن‌ها ترتیب اضافه کردن افزایه‌ها در مورد تمامی دوغاب‌ها یکسان می‌باشد. بعد از اضافه کردن افزایه‌ها پودر سیمان با سرعت یکنواخت به محلول اضافه می‌شود. مدت زمان اضافه شدن پودر سیمان به محلول و تشکیل دوغاب تحت عنوان "زمان میکس"^۲ توسط اپراتور اندازه‌گیری می‌شود سپس به مدت 1 ± 35 ثانیه با سرعت 12000 ± 500 دور در دقیقه دوغاب هم زده می‌شود. بعد از این مدت دوغاب برای انجام آزمایش‌های لازم آماده می‌شود. پس از آماده‌سازی دوغاب دانسیته‌ی آن توسط ترازوی گل^۳ اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۳ ترازوی گل

ترازوی گل برای سنجش دانسیته (وزن مخصوص) دوغاب سیمان به کار می‌رود. جنس این وسیله از فلز است. دریک جام استوانه‌ای و یک اهرم مدرج با تیغه متحرک روی آن به استوانه متصل شده است. جام

^۱Mixer

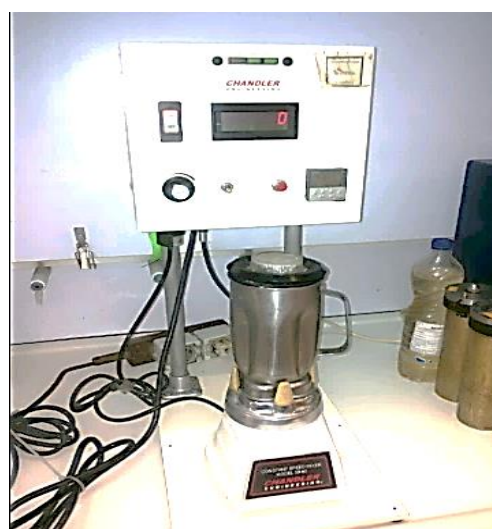
^۲ Mixing Time

^۳ Mud balance

استوانه‌ای دارای یک در پوش است که بالای آن یک سوراخ ریز تعبیه شده است. همچنین این دستگاه یک زبانه دارد که با حرکت دادن آن می‌توان بالانس ایجاد کرد. به جام استوانه‌ای یک صفحه باریک خط کش گونه متصل است که برای نمایش وزن دوغاب به کار می‌رود. نمونه این دستگاه در شکل ۲-۳ مشاهده می‌شود. برای استفاده از این دستگاه ابتدا دوغاب را پس از مخلوط کردن کامل درون جام استوانه‌ای می‌ریزیم و به آن ضربه می‌زنیم تا هوای دوغاب خارج شود. سپس در پوش جام را گذاشته و هوای روی دوغاب و دوغاب اضافی از سوراخ بالایی درب خارج می‌شود. با گرفتن سوراخ در پوش با انگشت شصت ترازو را مرطوب می‌کنیم که همه جای دستگاه به صورت یکنواخت مرطوب باشد تا دانستیه دقیق بدست آید



شکل ۲-۳ ترازوی گل



شکل ۳-۱ دستگاه مخلوط کن سیمان

استفاده از دستگاه ویسکومتر که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، خواص رئولوژی دوغاب سیمان را بر حسب سرعت‌های برشی مختلف اندازه گیری می‌شود. مقدار سرعت برشی را یک بار از کم به زیاد^۱ ($\theta_3 \theta_6 \theta_{100} \theta_{200} \theta_{300}$) و یک بار از زیاد به کم^۲ ($\theta_{300} \theta_{200} \theta_{100} \theta_6 \theta_3$) تغییر می‌دهیم. دوره‌های بالا برای محاسبه ویسکوزیته پلاستیکی^۳ (PV) و دوره‌های پایین برای محاسبه ژل شدگی استفاده می‌شود. مقدار مطلوب ویسکوزیته پلاستیکی بین ۱۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. منفی در آمدن این عدد نشانه ته نشینی می‌باشد.

Ramp up-^۱

Ramp down^۲

Plastic viscosity^۳

باشد. مقدار مطلوب نقطه واروی تا ۲۰ می باشد. معادلات ۱-۳ و ۲-۳ طریقه محاسبه PV و Yp را نشان می - دهند.

$$Y'_P = (\Theta_{300} - \Theta_{100}) \times 1.5 \quad (1-3)$$

$$PV = \Theta_{300} - Y_P \quad (2-3)$$



شکل ۳-۳ ویسکومتر

۳-۴ کانسیستومتر اتمسفریک

. این دستگاه برای اندازه گیری کانسیستنی دوغاب سیمان در فشار ۱ atm و تادمای ۲۰۰°F استفاده می شود، لازم به ذکر است که دوغاب سیمان قبل از تست های افت صافی ، رئولوژی و UCA مطابق استاندارد API دوغاب به مدت ۲۰ دقیقه داخل این دستگاه قرار می گیرد. جنس این دستگاه از فولاد ضد زنگ است که از داخل به دو قسمت تقسیم شده است. در یک قسمت موتور و تسمه انتقال نیرو قرار دارد و قسمت دیگر خود یک مخزن روغن مخصوص است که لیوان های برنجی دوغاب سیمان از قسمت بالایی در آن جای می گیرد.

^۱ Yield Point

لیوان‌ها با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه می‌چرخند. روغن درون وان با دو المنت گرمازا که هریک ۶۰۰ وات قدرت دارد گرم می‌شود. دمای آب با یک ترموستات روی هر عدد دلخواه بین دمای محیط و 200°F به طور خودکار کنترل می‌شود. این دستگاه دارای کلید اصلی موتور و گرم کننده است و زمان‌سنج برای اندازه‌گیری زمان در بدن دستگاه نصب شده است. در شکل ۳-۴ یک نمونه دستگاه کانسیستومتر اتمسفریک نشان داده شده است.



شکل ۳-۴ کانسیستومتر اتمسفریک

۳-۵ کانسیستومتر تحت فشار

اصول کار این دستگاه به این صورت است که دوغاب تازه ساخته شده سیمان، در داخل یک لیوان فولادی ریخته می‌شود و این مجموعه در یک اتاق فشار گذاشته می‌شود. صفحه دواری که در کف محفظه فشار است و با یک الکتروموتور و با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه می‌چرخد لیوان را با همین سرعت می‌چرخاند ولی همزن همواره در حالت سکون و به این ترتیب دوغاب پیوسته در حال هم خوردن است. به تدریج که دوغاب نیم‌بند می‌شود، همزن را در جهت حرکت لیوان منحرف می‌کند. انحراف همزن با دستگاهی به نام پتانسیل‌سنج که بالای لیوان هم زمان قرار می‌گیرد به برق مستقیم تبدیل و بر صفحه کنترل دستگاه ظاهر می‌شود. با شروع

آزمایش درب محفظه فشار بسته می‌شود و اطراف لیوان و پتانسیل سنج را روغن پر می‌کند. یک پمپ، فشار لازم را بر روغن اعمال می‌کند. این فشار از دیافراگم گفته شده به دوغاب منتقل می‌شود. پایان آزمایش زمانی است که کانسیستنسوی دوغاب سیمان از صفر به ۱۰۰ cp برسد. نمونه این دستگاه در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵ کانسیستومتر تحت فشار

۳-۶ دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری (UCA)

با استفاده از این دستگاه می‌توان مقاومت تراکمی دوغاب سیمان را در فشار و درجه‌های حرارت مختلف تعیین کرد. ابتدا دوغاب سیمان در لیوان مخصوص این دستگاه ریخته می‌شود و در داخل اتوکلاو قرار گرفته و درجه حرارت مورد نظر به آن اعمال می‌شود. فشار لازم برای آزمایش از این دستگاه به لیوان وارد می‌شود.

اعمال فشار از طریق فشار هوا روی ستون آب است وپمپ این دستگاه، تا ۲۰۰ برابر فشار هوا را افزایش می- دهد با این دستگاه می توان مقاومت تراکمی سیمان شش تا پنج سال دائم اندازه گیری کرد. شکل ۳-۶ این دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۳-۶ دستگاه UCA

۳-۷ دستگاه فیلتر پرس استاتیکی

با استفاده از این دستگاه می توان مقدار افت صافی دوغاب سیمان را در دما و فشارهای مختلف اندازه گیری کرد. اساس کار این دستگاه به این صورت است که حدود ۶۰ سی سی از دوغاب تهیه شده به لیوان مخصوص دستگاه منتقل می شود و از بالا تحت فشار گاز نیتروژن قرار می گیرد؛ در نتیجه فاز آبی دوغاب با عبور از یک صافی از آن جدا و حجم آن پس از خروج از ظرف پس از ۳۰ دقیقه اندازه گیری می شود. مقدار این حجم بیانگر مقدار از دست رفته فاز مایع دوغاب در حین عملیات سیمان کاری است. سیال خروجی جمع آوری و برای اندازه گیری از استوانه مدرج استفاده می شود. حجم سیال عبوری بعد از گذشت ۳۰ دقیقه در عدد ۲ ضرب و به عنوان افت صافی گزارش می شود.

۳-۶ جمع بندی

در این فصل دستگاه های مورد استفاده در انجام این پژوهش تشریح شدند. برای هر مرحله از آزمایش های

سیمان استانداردهای API تعیین شده‌اند که تمامی آزمایش‌ها بر اساس این استانداردها انجام شده‌اند. برای آماده سازی دوغاب ابتدا افزایه‌ها به محلول اضافه می‌شوند سپس خود سیمان اضافه شده و به مدت ۳۵ ثانیه دوغاب در دور ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط می‌شود. اندازه‌گیری وزن دوغاب باید بلافاصله پس از آماده سازی آن صورت گیرد و از اهمیت بالایی برخوردار است. با استفاده از دستگاه کانسیستومتر اتمسفریک به دوغاب به مدت بیست دقیقه حرارت داده می‌شود تا دوغاب برای انجام تست‌هایی نظیر UCA، FLC و ویسکومتر آماده گردد. دستگاه کانسیستومتر تحت فشار مدت زمان نیم‌بندش دوغاب را اندازه می‌گیرد و مشخص می‌کند دوغاب تا چه زمانی قابلیت پمپاژ دارد. دستگاه فیلتر پرس استاتیکی میزان افت صافی دوغاب را اندازه می‌گیرد

فصل چهارم: آزمایش، تجزیه و تحلیل

۱-۴ مقدمه

۲-۴ ارزیابی کندگر

۱-۲-۴ مشخصات نمونه شاخص

۲-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما پایین

۳-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما متوسط

۴-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما بالا آب شیرین

۵-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما بالا آب شور

۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی

۱-۳-۴ مشخصات نمونه شاخص

۲-۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی در آب شیرین

۳-۳-۴ ارزیابی کنترل کننده افت صافی در آب نمک

۴-۴ ارزیابی افزایش پراکنده ساز

۱-۴-۴ معرفی نمونه شاخص

۲-۴-۴ ارزیابی پراکنده ساز در آب شیرین

۳-۴-۴ ارزیابی پراکنده ساز در آب شیرین

۵-۴ جمع بندی

۴-۱ مقدمه

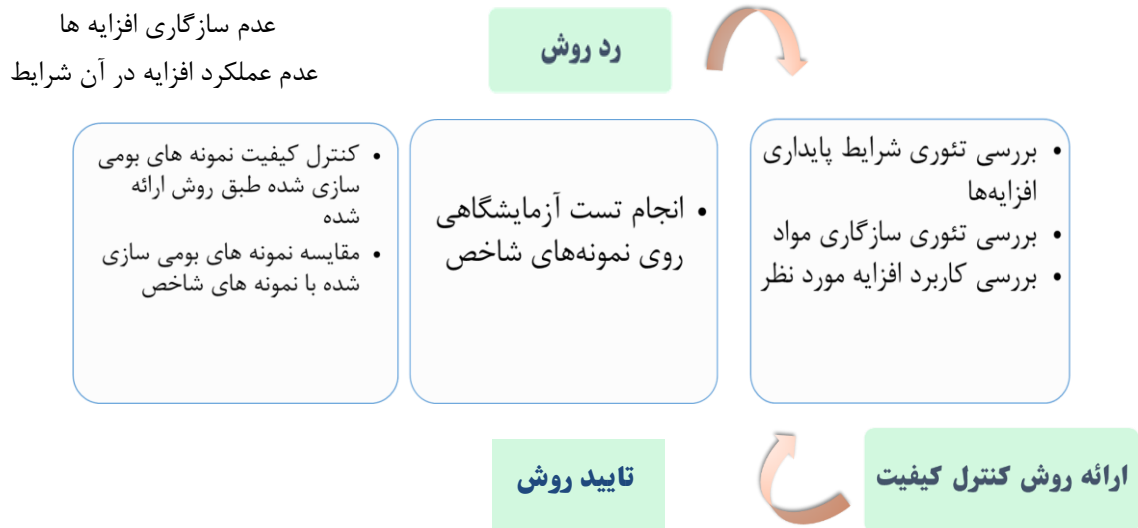
در این فصل به ذکر آزمایش‌های کنترل کیفی و تست‌های اولیه و کاربردی در آزمایشگاه حفاری بر اساس روش منتخب که ارائه شده است می‌پردازیم. افزایش‌های مورد نظر عبارتند از:

- کندگر دما بالای سیمان
- کندگر دما متوسط سیمان
- کندگر دما پایین سیمان
- کنترل‌کننده افت صافی آب شیرین
- کنترل‌کننده افت صافی آب شور
- پراکنده‌ساز سیمان برای آب نمک
- پراکنده‌ساز سیمان برای آب شیرین

همان‌طور که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود طبق برنامه ارائه شده جهت کنترل کیفیت افزایش مورد نظر در مورد نمونه‌های شاخص شده آزمایش‌های مربوط انجام می‌گیرند تا پارامترهای مذکور در برنامه اندازه‌گیری شوند و بررسی شوند. در صورت نیاز در هر مرحله اصلاحاتی بر روی متدولوژی و فرمولاسیون طراحی شده انجام می‌پذیرد و تست‌ها تکرار می‌شوند. تا زمانی که نمونه شاخص به پارامترهای مطلوب دست یابد. در مرحله بعد افزایش‌های بومی‌سازی شده با همان متدولوژی کنترل کیفیت نمونه‌های شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با توجه به مراحل اولیه تولید افزایش‌های بومی بسیاری از افزایش‌ها کیفیت مطلوب را نداشته و باید اصلاحی در ترکیب شیمیایی آن‌ها صورت گیرد تا عملکرد قابل قبولی داشته باشد. تعدادی از افزایش‌ها مورد تأیید قرار گرفته و به تولید پایلوت (نیمه صنعتی) رسیدند که نتایج آن‌ها آورده شده است. و سازگاری آن‌ها با یکدیگر مورد ارزیابی قرار داده شده است. در نهایت توجیه فنی اقتصادی تولید بومی افزایش‌های سیمان حفاری به اختصار توضیح داده شده است. در این فصل سعی بر این بوده است که به سوال‌های زیر، در طی آزمایش‌ها پاسخ داده شود:

- مشخص کردن پارامترهای تأثیرگذار بر روی نتایج هر افزایش و نحوه تأثیرگذاری آن‌ها (مانند دما، نوع آب، نوع سیمان، سازگاری با افزایش‌های دیگر و...)
- تعیین تست‌های مورد نیاز برای کنترل کیفیت افزایش
- نتایج اصلی و جانبی هر افزایش
- تشابه نمونه‌های بومی سازی شده با نمونه‌های شاخص و مقایسه عملکرد آن‌ها

لازم به ذکر است تمامی افزایش‌ها به جز افزایش‌های بومی مورد استفاده در فرمولاسیون‌ها از کیفیت مطلوب برخوردار می‌باشند. و در مورد تمامی سیمان‌ها تست کنترل کیفیت طبق دستور العمل API انجام شده است. به منظور به حداقل رساندن خطاهای آزمایشگاهی نوع آب مورد استفاده در تمامی فرمول‌ها، آب شهری در آزمایشگاه می‌باشد. در صورت مشاهده کف در همه دوغاب‌ها از یک نوع ضد کف استفاده شده است. همه دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه به تازگی مورد کالیبراسیون قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۱ روش کار

عملکرد کندگرها به دما حساس هستند طوری که ترکیب شیمیایی کندگرهای مورد استفاده در بازه دمایی مختلف با هم متفاوت است. در این پژوهش به منظور بررسی دقیق تر کندگرها به سه دسته دما پایین، دما متوسط و دما بالا طبقه‌بندی شدند. طبقه‌بندی به سه دسته صرفاً جهت شناسایی بیشتر است. منظور از دما

پایین تا دمای 165°F ، دما متوسط از 165°F - 180°F و دما بالا بیشتر از 200°F می باشد. عملکرد پراکنده ساز-ها و عوامل کنترل افت صافی به سیستم آب وابسته هستند و برای دستوالعمل آن ها کنترل کیفیت آب شور و آب شیرین به صورت جداگانه ارائه شده است. به طور کلی تعداد ۱۲۹ تست انجام شد که در ادامه به بیان آن ها پرداخته شده است.

۴-۲ ارزیابی کندگر

طبقه بندی کندگر بر اساس دمای ته چاهی صورت گرفته است و به سه دسته کندگر دما پایین، دما متوسط و دما بالا تقسیم شده اند.

۴-۲-۱ مشخصات نمونه شاخص

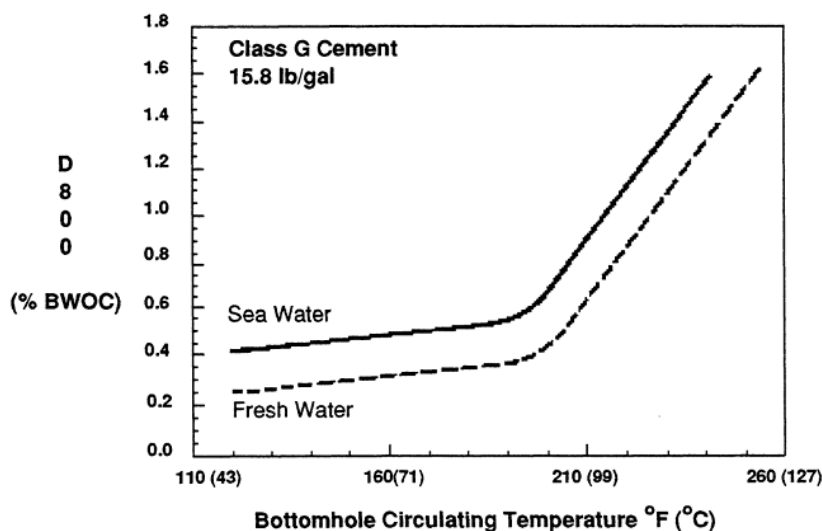
جهت انتخاب نمونه شاخص برای بررسی عملکرد نمونه های بومی سازی شده سعی بر جامع تر بودن شاخص به منظور استفاده آن در دماهای متنوع و در عمق های مختلف بوده است. نمونه شاخص D800 برای این منظور استفاده شد. کندگر D800 برای بهینه کردن زمان نیم بندش سیستم سیمان در بازه دمای چرخشی ته چاه (52°C تا 125°C) تا 250°F استفاده می شود و اگر به همراه کمک کندگر استفاده شود این بازه تا 310°F (154°C) هم قابل افزایش است. بازه دمایی بهینه برای D800 بین 125°F تا 250°F درجه فارنهایت می باشد. کندگر در بازه دمایی پایدار است و اغلب مستقل از کیفیت سیمان می باشد. هنگامی که به همراه کمک کندگرهای D93 و L10 استفاده می شود بازه دمایی تا 310°F (154°C) افزایش پیدا می کند. اما تأثیر D800 کاهش می یابد.

همانند بسیاری از کندگرهای لیگنوسولفانات، D800 نیز یک پراکنده ساز مؤثر می باشد. اثر پراکنده سازی آن بیشتر از D13 است، بنابراین دوغاب های مخلوط شده با D800 مقدار پراکنده ساز کمتری نیاز دارند تا مخلوط شدگی و جریان مغشوش مناسب فراهم شود. توجه شود که اگرچه D800 در دمای 250°F (125°C) بدون کمک کندگر مؤثر است، اما ممکن است بالای 220°F (104°C) با بعضی سیمان ها ژل شدگی رخ

دهد. همچنین به دلیل اینکه D800 کندگر قدرتمندی می باشد در دماهای پایین حتما باید تست مقاومت انجام شود تا اطمینان حاصل شود سیمان در بالای ستون می بندد.

مقدار غلظت مورد نیاز (BWOC) D800 برای زمان نیم بندش ۴ ساعته در بازه دمایی ۱۲۵ F تا ۲۰۰ °C (۵۲ تا ۹۳) %۰/۲۵ تا %۰/۶ است. به دلیل اینکه از نظر دمایی ثابت است می توان در دماهای بالا استفاده شود ولی در دماهای بالاتر از ۱۸۵ F (۸۵ °C) تا دمای ۲۵۰ F (۱۲۱ °C) غلظت از %۰/۴ تا ۲% افزایش می یابد.

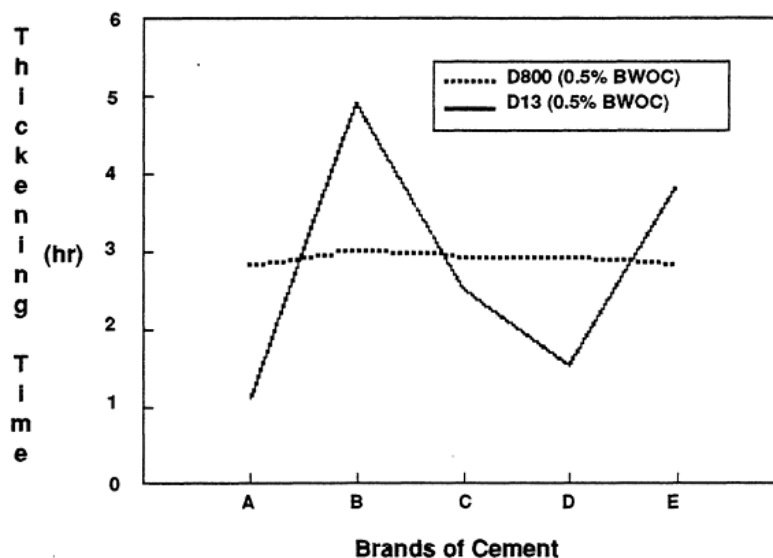
شکل ۲-۴ زمان نیم بندش ۴ ساعته را بر اساس تابعی از غلظت کندگر و دمای چرخشی ته چاهی نشان می دهد. بین ۱۲۵° و ۱۸۵° F (۵۲ و ۸۵ °C) تنها تغییرات کوچکی در غلظت برای دستیابی به زمان بندش مطلوب مورد نیاز است. ولی بین ۱۸۵° F تا ۲۵۰ F (۸۵ °C تا ۱۲۱ °C) تغییرات نسبتاً بزرگی در غلظت کندگر مورد نیاز است تا با افزایش دمای چرخشی ته چاه به زمان نیم بندش مورد نظر برسد.



شکل ۲-۴ نمایش زمان نیم بندش ۴ ساعته بر اساس تابعی از غلظت کندگر و BHCT (DS، ۱۹۹۱)

D800 بر روی اغلب سیمان های API اثر کندکنندگی دارد و با همه ی افزایش های سیمان سازگار است. این ماده ویسکوزیته دوغاب سیمان را کاهش می دهد و بر روی خواص کنترل هرزروی سیال اثر نمی گذارد. بر

خلاف افزایه D13 مشکل ژل شدگی به ندرت درمورد دوغاب‌هایی که شامل D800 هستند اتفاق می‌افتد. D800 حساسیت کمتری به تغییرات دمایی، غلظتی و کیفیت سیمان دارد. D800 را می‌توان در دوغاب‌های آب شیرین و آب شور استفاده کرد. غلظت آن در آب نمک از ۳٪ (آب دریا) تا ۳۷٪ (آب نمک اشباع) متغیر است. D800 با اغلب سیمان‌های API و افزایه‌های سیمان داول شلومبرژه سازگار است. می‌تواند با آب شیرین، آب دریا یا آب نمک اشباع مخلوط شود. شکل ۳-۴ مقایسه کندگر D13 و D800 در حساسیت به نوع سیمان همراه را نشان می‌دهد. به طور کلی، دوغاب‌های آب دریا و آب نمک اشباع به غلظت D800 بیشتری نیازمند هستند. بنابراین لازم است تا تست مقاومت تراکمی را انجام دهیم تا مشخص شود آیا سیمان در ستون‌های بالایی می‌بندد.



شکل ۳-۴ مقایسه کندگر D13 و D800 در حساسیت به نوع سیمان همراه. (DS، ۱۹۹۱).

۲-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما پایین

ارزیابی کندگر دما پایین در سه مرحله صورت می‌گیرد. جهت مقایسه دقیق‌تر از نمونه R5 شرکت هالیبرتون نیز به همراه نمونه D800 به عنوان نمونه شاخص استفاده شده است. مرحله اول شامل تعیین قدرت کندکنندگی کندگر در ساده‌ترین شرایط می‌باشد. تنها سیمان و آب به همراه افزایه مورد استفاده مورد

آزمایش قرار می‌گیرد که در جدول ۱-۴ نشان داده شده است. در مرحله دوم جهت بررسی کاربردی و همخوانی افزودنی بومی شده کندگر دما پایین با سایر افزودنی‌های دیگر، بکارگیری آن در فرمولاسیون‌های دوغاب‌های سیمان سبک وزن حاوی بنتونیت و آب دریا جهت ارزیابی قدرت کندکنندگی افزایه می‌باشد. در مرحله سوم امکان استفاده از افزایه را در در عمق‌های کمی بیشتر که دما بالاتر است (175°F) و از سیمان کند شده D استفاده شده است، می‌سنجیم.

جدول ۱-۴ مرحله اول کنترل کیفیت کندگر دما پایین

شرایط تست	تست‌های موردنیاز	فرمولاسیون سیمان		
		سیمان G دلجان (lb)	کندگر دما پایین (lb/sk)	آب شیرین (gal/sack)
T:125 F SW: 118 P:5100 Psi	زمان میکس TT CS	۱۱۰	۰/۲۲	۶/۱
T: 125 F SW: 118 P:5100 Psi	زمان میکس TT CS	۱۱۰	۰/۴۴	۶/۱

به طور کلی دو روش خشک و تر برای افزودن بنتونیت به دوغاب موجود است. در روش خشک بنتونیت ابتدا با سیمان خشک مخلوط می‌شود و سپس در آب حل می‌شود. در روش تر (بنتونیت پیش هیدراته) ابتدا بنتونیت در آب خیس و سپس به سیمان اضافه می‌شود. تجربیات نشان می‌دهند یک گرم بنتونیت پیش هیدراته معادل چهار تا پنج گرم بنتونیت خشک از خود فعالیت نشان می‌دهد زیرا تبلور بنتونیت در آب شیرین بهتر از هر نوع آب دیگری می‌باشد و چون سیمان منبعی غنی از کلسیم است. در هنگام اختلاط سیمان و بنتونیت در آب، بنتونیت مجبور است در آبی متبلور شود که یون کلسیم آن زیاد است و به دلیل ساختار لایه‌ای آن تبلور دانه‌های آن در چنین آبی بسیار کمتر از تبلور در آب شیرین است. برای پیش هیدراته کردن بنتونیت می‌توان هم از آب شیرین و هم آب دریا استفاده کرد. گرچه مقدار تبلور در آب دریا مشابه حالتی است که یون‌های کلسیم موجود در سیمان ایجاد می‌کنند. برای جلوگیری از این پدیده و عملکرد بهتر بنتونیت، هنگام تهیه دوغاب، ابتدا بنتونیت را در آب حل کرده و سپس نمک را اضافه می‌کنیم.

آزمایش‌ها نشان داده‌اند نمک در غلظت ۵/۰ تا ۵ درصد برای سیمان‌های بنتونیتی حالت یک تسریع‌کننده را دارد، یعنی در عین حال که مقاومت تراکمی اولیه سیمان را افزایش می‌دهد اثری محسوس بر زمان نیم‌بندش آن ندارد. اگر غلظت نمک در دوغاب بنتونیتی ۲ تا ۴ درصد باشد، کاهشی که در گرانیروی ایجاد می‌کند تا مدتی زیاد باقی می‌ماند و می‌توان دوغاب را به راحتی در چاه قرار داد. این مطلب برای سیمان‌های بنتونیتی شیرین صادق نیست. دوغاب‌های سیمان‌های بنتونیتی شور، به دلیل داشتن کلسیم لیگنو سولفانات، جدایش آبی اندکی دارند لذا می‌توان ستون‌هایی بلند از آن‌ها را در سیمان کاری اولیه و در مجاورت دیواره‌های نفوذپذیر چاه قرار داد.

در دوغاب‌ها از نمک برای اتصال محکم‌تر سیمان بسته شده و بخش‌های نمکی و شیل‌ها و افزایش حجم سیمان بسته شده استفاده می‌شود. در سازندهای نمکی دوغاب ساخته شده از آب شیرین باعث حل شدن بخشی از نمک می‌شود و از اتصال سنگ و سیمان جلوگیری می‌کند و به گشاد شدن چاه می‌انجامد. انجام عملیات سیمان کاری دوغاب‌های نمکی به کمک دوغاب‌های پر نمک نتایج بهتری در پی داشته است. برای حفاظت از بخش‌های شیلی از پوسته پوسته شدن و ریزش هنگام سیمان کاری و جلوگیری از پل‌شدگی در فضای حلقوی نیز هرزروی دوغاب می‌توان به دوغاب‌های سیمانی، نمک افزود. ثابت شده است که دوغاب‌های سیمانی حاوی ۵ تا ۱۰ درصد نمک می‌توانند در کاهش پدیده پوسته پوسته شدن و ایجاد کانال در لایه‌های شیلی مؤثر باشند. نمک معمولی علاوه بر آن که به عنوان ماده وزن افزا، شتابگر و یا کندگر استفاده می‌شود می‌تواند رقیق‌کننده و پراکنده‌ساز در بسیاری از ترکیبات سیمان کاری باشد.

اثرات غلظت متفاوت نمک بر دوغاب‌های سیمان به روشنی مشخص شده‌اند وقتی که غلظت نمک در دوغاب سیمان افزایش پیدا می‌کند (۲ تا ۸ درصد آب) به عنوان یک تندکننده عمل می‌کند. غلظت‌های ده تا هجده درصد معادل ناحیه انتقالی‌اند که در این غلظت‌ها نمک اثری قابل ملاحظه بر دوغاب نشان نمی‌دهد. در غلظت‌های بزرگتر از ۱۸ درصد به صورت افزایشی، اثر کندکنندگی بیش‌تر نمک بر زمان نیم‌بندش و کاهش استحکام تراکمی به چشم خواهد خورد. باید توجه داشت هنگامی که سیمان با آب محتوی نمک

مخلوط شود گاهی در دوغاب کف ایجاد می کند که باعث بروز مشکل در کنترل وزن و حجم دوغاب می شود و باید به دوغاب مواد ضد کف اضافه کرد.

مرحله دوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین و بررسی امکان استفاده از آن در سیمان سبک که در جدول ۲-۴ قابل مشاهده است. هنگام طراحی دوغاب سیمان این نکته را نیز باید در نظر داشت که بنتونیت اثر کندگر را کم می کند. مرحله سوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین و استفاده از آن به همراه سیمان D، در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۲-۴ مرحله دوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین و بررسی امکان استفاده از آن در سیمان سبک						
شرایط	تست های مورد نیاز	فرمولاسیون سیمان				
		سیمان G دلیجان (lb)	LTR (lb/sk)	بنونتیت (lb/sk)	نمک (lb/sk)	آب (gal/sk)
T:125 °F SW: 93 PCF P:5000 Psi	زمان میکس TT CS	۱۱۰	۰/۵۵	۱۰/۵	۳/۳	۱۵/۹۸

جدول ۳-۴ مرحله سوم کنترل کیفیت کندگر دما پایین و استفاده از آن به همراه سیمان D				
شرایط	تست های مورد نیاز	فرمولاسیون سیمان		
		سیمان D تهران (lb)	LTR (lb/sk)	آب (gal/sack)
T:175 °F SW: 123 PCF P: 5000 Psi	زمان میکس TT CS	۱۱۰	۰/۱۱	۵

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن ها

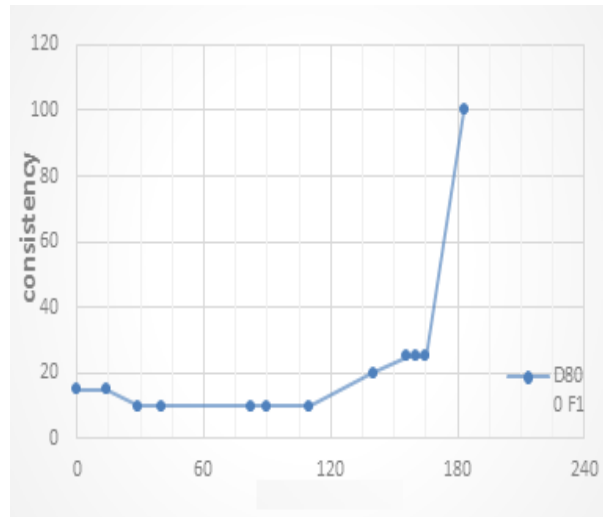
نتایج مرحله اول ارزیابی: آنچه که در مورد دوغاب های حاوی کندگر در دمای پایین اهمیت بیشتری دارد رسیدن به مقاومت تراکمی کافی می باشد. بنابراین در مورد تمامی دوغاب ها به تست مقاومت توجه ویژه ای می شود. به دلیل قدرت کندکنندگی بالای D800، این افزایه تنها در فرمولاسیون اول تست شده است. با توجه به شکل ۴-۱ مشاهده می شود که برای یک زمان نیم بندش ۴ ساعته در دمای ۱۲۵ °F حدوداً مقدار ۰/۲

پوند بر کیسه از این افزایه اضافه می شود. نتایج ارزیابی نمونه‌های شاخص در مرحله اول، در جدول ۴-۴ قابل مشاهده است.

رخداد مطلوب این است که دوغاب در حین زمان نیم‌بندش و عملیات پمپاژ با ویسکوزیته پایین بماند و به دنبال آن یک افزایش سریع در ویسکوزیته داشته باشد و سیمان ببندد و به مقاومت تراکمی قابل توجهی برسد (Eoff et al., 1995). شکل ۴-۴، نمودار زمان نیم‌بندش افزایه‌ی D800 را نشان می‌دهد. که ۱۰ دقیقه نهایی دوغاب غیر قابل پمپاژ می‌شود و به اصطلاح نمودار زمان نیم‌بندش تقریباً RAS است. مطابق استاندارد API هنگامی که دوغاب به ۱۰۰ BC برسد غیرقابل پمپاژ می‌شود ولی در عمل کانسیستنسی ۷۰ BC به صورت تجربی در نظر گرفته می‌شود تا به پمپ‌ها فشاری وارد نشود. در این نمودار نیم ساعت اول به جای روند افزایشی کانسیستنسی روند کاهشی مشاهده می‌شود. دلیل این امر آن است که افزایه D800 با اعمال دما فعال می‌شود و به دلیل خاصیت پراکنده‌کنندگی کانسیستنسی را کاهش می‌دهد. زمان نیم‌بندش دوغاب مطلوب و معادل ۱۸۳ دقیقه می‌باشد.

جدول ۴-۴ نتایج ارزیابی نمونه‌های شاخص در مرحله اول

افزایه و فرمولاسیون آن	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 125 °F P:5100 psi	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 125 °F
D800 /F1 L1	۱۰	۱۱۸	۱۸۳	۲۸۷۵
R5 /F1 L1	۱۰	۱۱۸	۱۶۹	۲۰۸۹
R5 /F2 L1	۸	۱۱۸	۲۶۶	۱۴۷۵



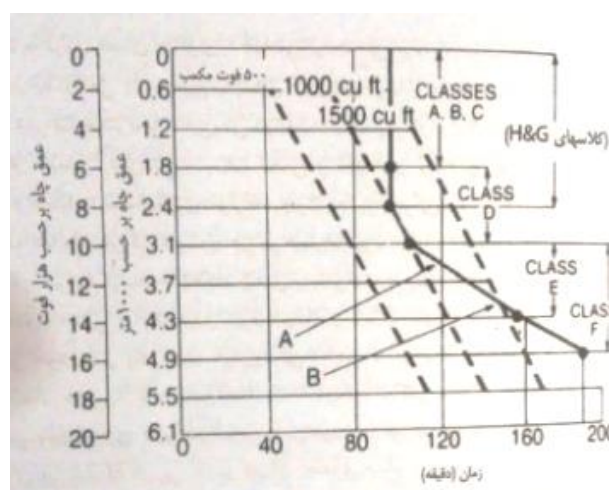
شکل ۴-۴ زمان نیم‌بندش D800 در دمای ۱۲۵ درجه فارنهایت F1 و L1

شرکت داول شلومبرژه زمان مورد نیاز برای نیم‌بندش دوغاب سیمان را بر اساس دانسیته دوغاب طبقه‌بندی کرده است. در مورد دوغاب‌هایی با دانسیته ی ۱۵/۸ پوند بر گالن اطلاعات زمان نیم‌بندش در شکل ۴-۵ به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دمای ۱۲۵°F زمان نیم‌بندش ۱۴۶ دقیقه می‌باشد در مرحله ۱ با مقدار ۰/۲۲ کندگر به زمان نیم‌بندش ۱۸۳ دقیقه نزدیک می‌باشد. در شکل ۴-۶ نیز رابطه عمق چاه و زمان نیم‌بندش مربوط نشان داده شده است.

15.8 lb/gal Slurry Density
Fresh-Mix Water

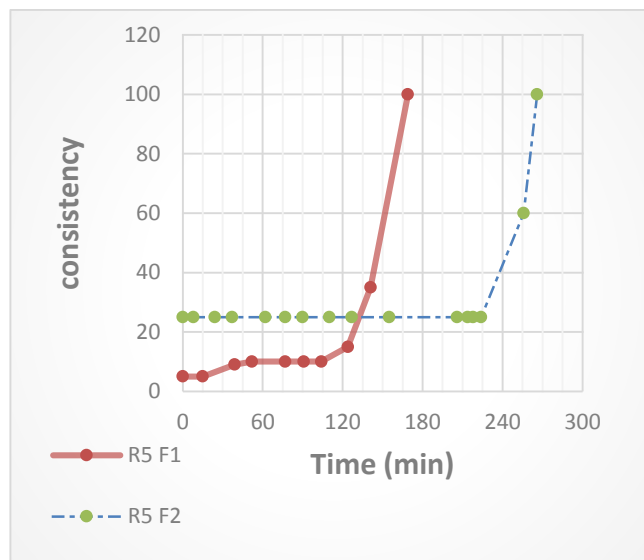
D800 %	API Sch. 5 125°F (52°C)	API Sch. 6 144°F (62°C)	API Sch. 7 185°F (85°C)	API Sch. 8 215°F (102°C)	API Sch. 9 245°F (118°C)
0.2	2:26	2:07	1:45	-	-
0.3	5:33	4:56	3:10	1:50	-
0.4	-	6:53	5:03	1:40	-
0.5	-	-	-	2:46	-
0.8	-	-	-	3:00	1:25
1.0	-	-	-	4:17	-
1.2	-	-	-	4:41	2:00
1.5	-	-	-	-	2:01
1.7	-	-	-	-	2:22
2.0	-	-	-	-	6:00

شکل ۴-۵ زمان نیم‌بندش مطلوب برای دماهای مختلف دوغاب ۱۵/۸ lb/gal آب شیرین حاوی D800 (DS، ۱۹۹۱)



شکل ۴-۶ روابط عمق چاه و زمان نیم‌بندش مورد نیاز بر حسب نوع سیمان (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۰)

همان‌طور که در شکل ۴-۷ مشاهده می‌شود، بندش افزایه R5 در هر دو فرمولاسیون تقریباً به صورت RAS بوده و زمان نیم‌بندش آن هم مطلوب و مناسب می‌باشد. در فرمولاسیون ۲ به دلیل مقدار مصرف بیشتر، زمان نیم‌بندش افزایش پیدا کرده است. زمان نیم‌بندش نه به صورت خطی بلکه به صورت نمایی به غلظت کندگر وابسته است (Bensted et al., 1991) به نظر می‌رسد ترکیب شیمیایی افزایه R5 با D800 متفاوت باشد و از نوع کندگر لیگنو سولفانات نباشد. زیرا با اعمال دما ویسکوزیته تغییری نکرده و خاصیت پراکنده‌کنندگی ندارد.



شکل ۴-۷ زمان نیم‌بندش R5 در دمای ۱۲۵ درجه فارنهایت

برای نگهداری یک رشته جداری، به استحکام اولیه بسیار اندک سیمان نیاز است. در رشته جداری‌های سطحی هنگامی که به وزن‌های بالای روی مته برای حفاری تجهیزات شناورساز به کار رفته در سیمان‌کاری نیاز است، باید رشته جداری سطحی و غلاف سیمانی احاطه‌کننده نیروی اضافی را تحمل کنند استانداردهای کلی صنعت بیان می‌کند که مقاومت تراکمی $3/45 \text{ MPa}$ (500 psi) برای نگه داشتن لوله جداری درچاه و تولید حالت ارتجاعی کافی برای تکان‌های وزنی ناشی از عملیات حفاری لازم است و مقدار مقاومت تراکمی $13/8 \text{ MPa}$ (2000 psi) برای عملیات مشبک کاری مورد نیاز است (سابینز و ساتن، ۱۹۸۶).

دمای عمل‌آوری در توسعه استحکام بسیار مهم و تأثیرگذار است. برای استفاده صحیح از اطلاعات استحکام به دست آمده از انجام آزمایش‌ها و حصول زمان WOC قابل قبول باید از دماهای اعمال شده بر سیمان در شرایط ته چاهی آگاهی کافی داشت. در اکثر نواحی جغرافیایی، مقدار دمای ایستای ته چاهی به خوبی و در حدی قابل قبول به کمک دمای سطح همراه با شیب تغییرات دما برحسب عمق تعیین می‌شود. در اکثر نواحی، دمای سازند در عمق لوله‌های جداری سطحی معادل میانگین دمای سطح به علاوه ۲ درجه فارنهایت به ازای هر ۱۰۰ فوت عمق است. مشخصاً دمای عمل‌آوری سیمان تقریباً معادل دمای سازند نخواهد بود، در حقیقت حتی مقداری ثابت نیز ندارد و مقدار دمای عمل‌آوری سیمان را برخی متغیرهای

پیچیده شامل دمای گل حفاری، دمای دوغاب سیمان و دمای سیال جابه‌جاکننده، به همراه گرمای هیدراسیون سیمان تعیین می‌کنند. (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۰)

مطابق جدول ۴-۴ مقاومت تراکمی تمامی نمونه‌ها مورد تأیید می‌باشند. کاهش مقاومت تراکمی در مورد R5 F2 به دلیل افزایش مقدار کندگر می‌باشد. جدول ۴-۵ نتایج نمونه‌های شاخص که در مرحله دوم ارزیابی بدست آمده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵ نتایج نمونه‌های شاخص در مرحله دوم ارزیابی				
افزایه و فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 125 °F P=5000 psi	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 125 °F
D800 /F1	۳۵	۹۲	۲۲۰	۵۸۸

چون بتنوتیت از سیمان سبک‌تر است و نیز آبی بیشتر از سیمان برای حل شدن لازم دارد وزن دوغاب کاهش می‌یابد. بدیهی است هر چه غلظت بتنوتیت در سیمان افزایش یابد کاهش وزن دوغاب هم بیشتر خواهد بود. با افزایش غلظت بتنوتیت گرانروی ظاهری دوغاب افزایش پیدا می‌کند، ولی این افزایش خطی و یکنواخت نیست. برای درصد بتنوتیت بیش از ۱۰ درصد استفاده از رقیق‌کننده‌ها الزامی است. با افزایش غلظت بتنوتیت در سیمان، صافاب دوغاب کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت این افزایه مقدار آب لازم را نیز باید افزایش داد در نتیجه مقاومت سنگ سیمان در برابر حملات آب‌های سولفاته کم می‌شود. در حقیقت مهم‌ترین عیب استفاده از بتنوتیت در سیمان‌کاری همین خاصیت است. بتنوتیت استحکام سنگ سیمان را کاهش می‌دهد که این نیز یکی دیگر از عیوب آن می‌باشد. اگر چه مقاومت فشاری سیمان‌های بتنوتیتی نیز مانند سنگ خالص، با گذشت زمان و افزایش دما زیادتر می‌شود، در درجه حرارت‌های بالا (۱۱۰ درجه سانتیگراد) نباید درصد بالایی از این افزایه را به کار برد زیرا تنزل استحکام سیمان در این شرایط قابل توجه است. کاهش استحکام اولیه سنگ سیمان بتنوتیتی تنها در هنگام مشبک‌کاری لوله‌های جداری و سنگ سیمان پشت آن‌ها، حسن به شمار می‌رود. در این - گونه مواقع اگر استحکام اولیه سنگ سیمان کمتر باشد

در مقابل لرزش‌های ناشی از انفجار و مشبک شدن بهتر از یک سنگ سیمان عمل می‌کند.

به طور کلی آمیختن بنتونیت با سیمان سبب کاهش زمان نیم‌بندش آن می‌شود. ولی برای این

کاهش و مقدار آن نمی‌توان قاعده‌ای کلی بیان کرد.

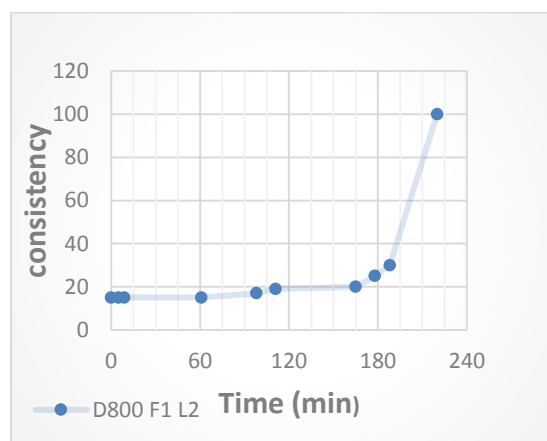
همان‌طور که در شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود، منحنی زمان‌بندش این افزایه تقریباً به صورت RAS

بسته است و مدت زمان پمپاژ نیز مناسب می‌باشد. مقدار مقاومت تراکمی به دلیل سبک بودن سیمان و

استفاده از افزایه بنتونیت کاهش پیدا کرده است اما برای ادامه حفاری کافی می‌باشد. ولی در صورت وجود

عملیات مشبک‌کاری می‌توان از افزایه‌های سبک دیگر که بر روی مقاومت تراکمی اثر کاهشی ندارند استفاده

کرد. در جدول ۴-۶ نتایج به دست آمده از نمونه‌های شاخص در مرحله سوم ارزیابی قابل مشاهده است.



شکل ۴-۸ زمان نیم‌بندش D800 F1 L2

جدول ۴-۶ نتایج نمونه‌های شاخص در مرحله سوم ارزیابی

CS-24HR (psi) (حمام آب) at 170 oF	TT (min) @ 125 oF P=5000 psi	دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	فرمولاسیون افزایه
0	-	۱۲۴	۱۵	D800 /F1

سیمان کلاس D سیمان کند شده می‌باشد با وجود مقدار مصرف بسیار پایین این افزایه، سیمان پس از ۲۴

ساعت در دمای ۱۷۰°F مقاومت نگرفت و نبسته بود. لذا استفاده از این افزایه به همراه سیمان کلاس D

مردود اعلام شده و تست ادامه پیدا نکرد. مرحله سوم ارزیابی مورد تأیید قرار نگرفته و حذف می‌شود.

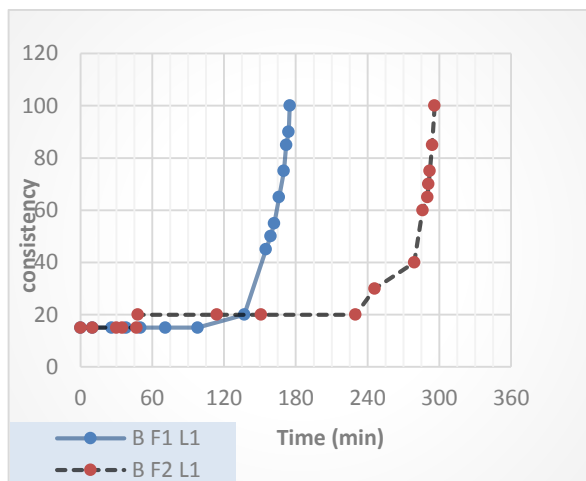
(ب) نتایج کنترل کیفیت نمونه‌های بومی‌سازی شده

دو نمونه کندگر بومی سازی شده دما پایین LTR-A و LTR-B موجود هستند. که در دو مرحله ارائه شده و تأیید شده، آزمایش شده‌اند. این نتایج در جدول ۷-۴ قابل مشاهده است.

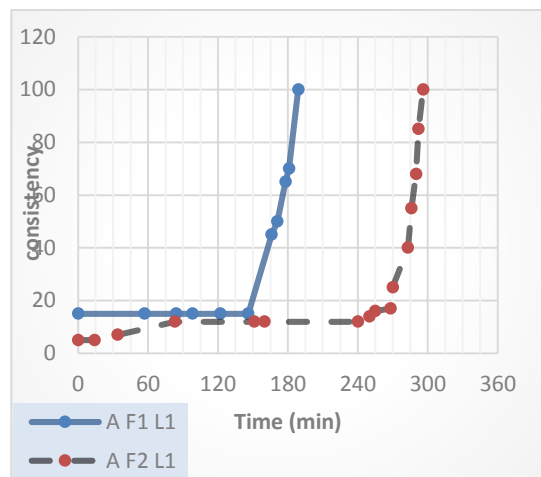
جدول ۷-۴ نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده LTR-A و LTR-B در مرحله اول.

افزایه /فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 125 oF P=5100 psi	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 125 oF
LTR-A F1	۱۰	۱۱۸	۱۸۹	۲۲۷۵
LTR-A F2	۱۵	۱۱۸	۲۹۶	۲۱۶۷
LTR-B F1	۱۵	۱۱۸	۱۷۵	۲۰۸۴
LTR-B F2	۱۵	۱۱۸	۲۹۶	۱۳۳۴

همان‌طور که در شکل ۹-۴ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان مصرف کندگر LTR-A رتولوژی بیشتر، کاهش می‌یابد این بدین معنی است که این افزایه خاصیت پراکنده‌سازی دارد و احتمالاً ترکیب مشابهی با D800 داشته باشد. با افزایش میزان مصرف، مدت زمان پمپاژ دوغاب نیز افزایش می‌یابد. مدت زمان پمپاژ دوغاب باید با توجه به شرایط چاه و مقاومت مورد نیاز تعیین شود که مختص عملیات سیمان است. شکل ۴-۱۰ اطلاعات زمان نیم‌بندش LTR-B را نشان می‌دهد. با توجه به عملکرد مشابه نمونه‌های بومی سازی شده (LTR-A و LTR-B) با نمونه‌های شاخص و نمودار زمان نیم‌بندش قائم الزاویه آن‌ها در زمان نیم‌بندش این دوغاب‌ها دارای عملکرد قابل قبولی هستند.



شکل ۴-۱۰ زمان نیم‌بندش LTR-B در L1

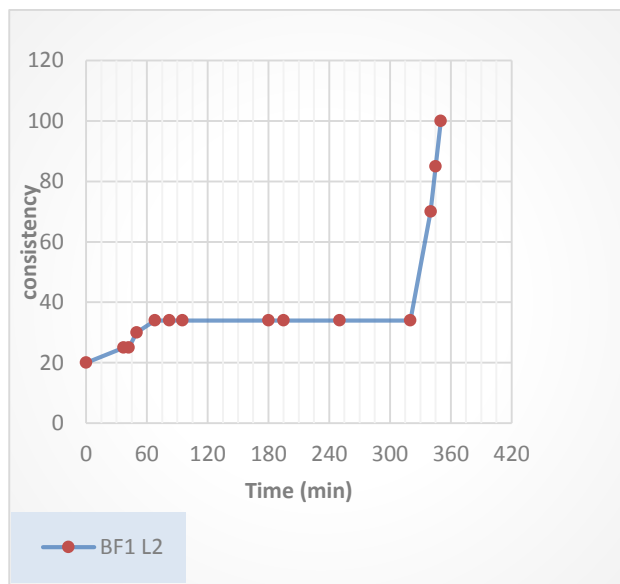


شکل ۴-۹ نمودار زمان نیم بندش LTR-A در L1

با مقایسه نتایج R5 F1 L1، LTR-A F1 L1 و LTR-B F1 L1 به مشابهت بیشتر نمونه بومی سازی شده LTR B نسبت به LTR A با نمونه شاخص می‌توان دست یافت. لذا ادامه آزمایش‌ها با این کندگر ادامه می‌یابد. نتایج ارزیابی نمونه بومی‌سازی شده LTR-B در مرحله دوم، در جدول ۴-۸ آورده شده است. در شکل ۴-۱۱ زمان نیم‌بندش LTR-B در فرمولاسیون اول و مرحله دوم مشاهده می‌شود. با در نظر گرفتن نتایج جدول نمونه کندگر دما پایین LTR-B عملکردی مشابه نمونه شاخص داشته است. ولی زمان میکس آن طولانی بوده و باید خواص رئولوژیکی آن اصلاح شود که در تولید پایلوت این افزایه، این مشکل دوباره مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش بر روی نمونه پایلوت این افزایه در جدول ۴-۹ زیر آورده شده است. همچنین نمودار زمان نیم‌بندش LTR-B در شکل ۴-۱۲ نمایش داده شده است.

جدول ۴-۸ نتایج ارزیابی نمونه بومی سازی شده LTR-B در مرحله دوم

توضیحات	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 125 °F	TT (min) @ 125 °F P=5000 psi	دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	افزایه /فرمولاسیون
دوغاب ژل شده و کف‌دار	۵۸۸	۲۲۰	-۹۳	۷۰	LTR-B F1 L2



شکل ۴-۱۱ زمان نیم‌بندش LTR-B در L2

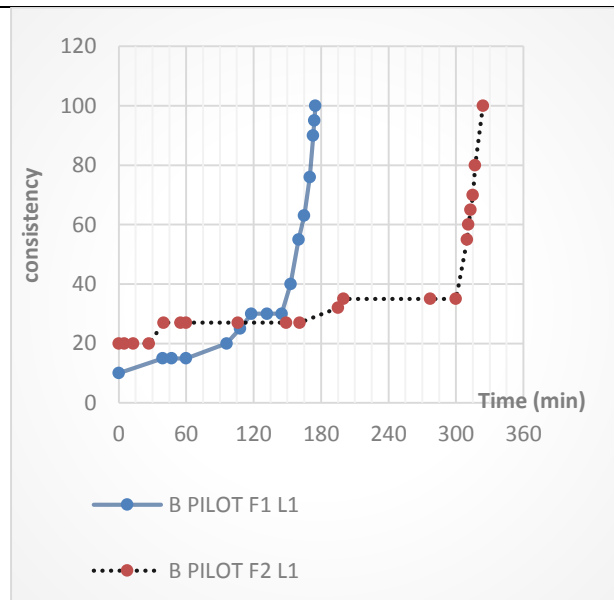
ج) مقایسه افزایش بومی سازی شده با نمونه شاخص

شکل ۴-۱۳ مقایسه زمان نیم‌بندش R5، D800 و LTR-B را نشان می‌دهد. با توجه به بی‌تأثیر بودن دما در رئولوژی و عدم خاصیت پراکنده‌کنندگی به نسبت افزایش D800، احتمال می‌رود ترکیب شیمیایی R5 و LTR-B مشابه باشند. افزایش‌ها به ترتیب قدرت کندکنندگی LTR-B، D800 و R5 می‌باشند. رئولوژی پایین D800 به دلیل ترکیب شیمیایی و لیگنوسولفونات بودن این افزایش است.

جدول ۴-۹ نتایج نمونه پایلوت را نشان می‌دهد که در صورت استفاده از کندگر دما پایین LTR-B در فرمول ۱ مرحله دوم دوغاب شدیداً hard to mix شده و استفاده از آنتی فوم هم در دوغاب چاره‌ساز نیست. لذا باید اصلاحاتی در ترکیب شیمیایی این افزایش انجام شود. در صورت استفاده از این افزایش به این نکته دقت شود که این افزایش با بنتونیت و آب نمک سازگاری ندارد و نباید در این فرمولاسیون استفاده شود.

جدول ۹-۴ نتایج آزمایش پایلوت بر LTR-B

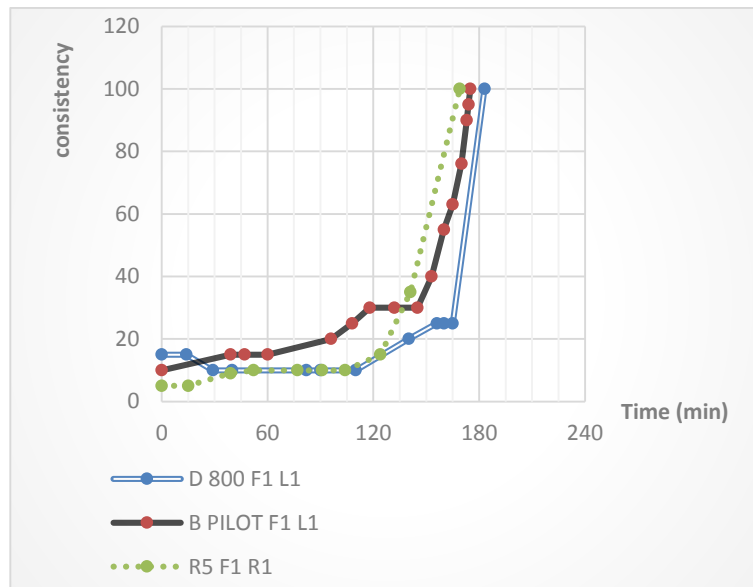
افزایه / فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 125 °F P=5100 psi	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 125 °F
LTR-B PILOT F1 L1	۱۵	+۱۱۷	۱۷۵	۱۹۵۰
LTR-B PILOT F2 L1	۱۵	+۱۱۷	۳۲۴	۱۵۰۰



شکل ۱۲-۴ زمان نیم‌بندش LTR-B در PILOT L1.

۳-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما متوسط

روش ارزیابی مشابه دستور العمل شرکت داول شلومبرژه می‌باشد. در این روش تنها از آب و سیمان و کندگر در فرمولاسیون جهت ارزیابی قدرت کندگر و میزان مصرف بهینه آن استفاده می‌شود. جدول ۱۰-۴، فرمولاسیون ارائه شده جهت ارزیابی کندگر دما متوسط را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳ مقایسه زمان نیم‌بندش D800، R5 و LTR-B

جدول ۴-۱۰ فرمولاسیون ارائه شده جهت ارزیابی کندگر دما متوسط

تست‌های مورد نیاز	شرایط	فرمولاسیون سیمان			فرمولاسیون
		آب (gal/sack)	LTR (lb/sack)	سیمان G دلیجان (lb)	
زمان میکس TT CS	T:185 °F SW: 118 P=5100 Psi	۶/۱	۰/۲۲	۱۱۰	۱
زمان میکس TT CS	T: 185 °F SW: 118 P=5100 Psi	۶/۱	۰/۳۳	۱۱۰	۲
زمان میکس TT CS	T:185 °F SW: 118 P=10000 Psi	۶/۱	۰/۴۴	۱۱۰	۳

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن‌ها

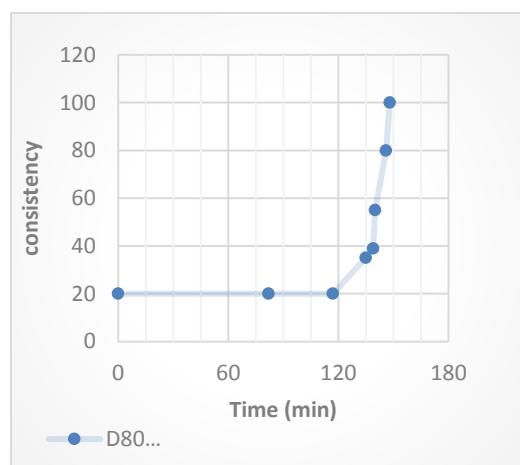
جدول ۴-۱۱ نتایج ارزیابی نمونه شاخص D800 در دمای متوسط را نشان می‌دهد. از آنجایی که دما افزایش پیدا کرده است با استفاده از شکل ۴-۲، این افزایه بیشتر از فرمولاسیون ۱ (که در کندگر دما پایین مورد استفاده بود) می‌باشد. با توجه به شکل ۴-۳ برای یک زمان نیم‌بندش ۴ ساعته، مقدار مصرف این افزایه در دمای ۱۸۵°F کمتر از ۰/۴ است. پس در مورد نمونه شاخص با کمک کاتالوگ تنها فرمولاسیون کاربردی در

این دما فرمولاسیون ۲ می‌باشد. ولی از آن‌جا که قدرت کندکنندگی افزایش‌های بومی نامعلوم است مقادیر کمتر و بیشتر از این فرمولاسیون هم در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۱-۴ نتایج ارزیابی نمونه شاخص D800 در دمای متوسط

افزایه /فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 185 °F P=10000 psi	CS-24HR (psi) (حمام آب) at 185 °F
D800 F1	۱۳	۱۱۸	۱۱۱	-
D800 F2	۱۰	+۱۱۷	۱۴۸	۲۴۷۷

همان‌طور که در شکل ۴-۱۴ مشاهده می‌شود، نمودار زمان نیم‌بندش و مقدار آن برای افزایش D800 مطلوب بوده و فرمولاسیون ۲ برای این افزایش مورد تأیید قرار می‌گیرد. مقدار زمان نیم‌بندش D800 با این میزان مصرف در کاتالوگ ۱۹۰ دقیقه می‌باشد. که با اختلاف سی دقیقه‌ای مشابه نتیجه به دست آمده می‌باشد.

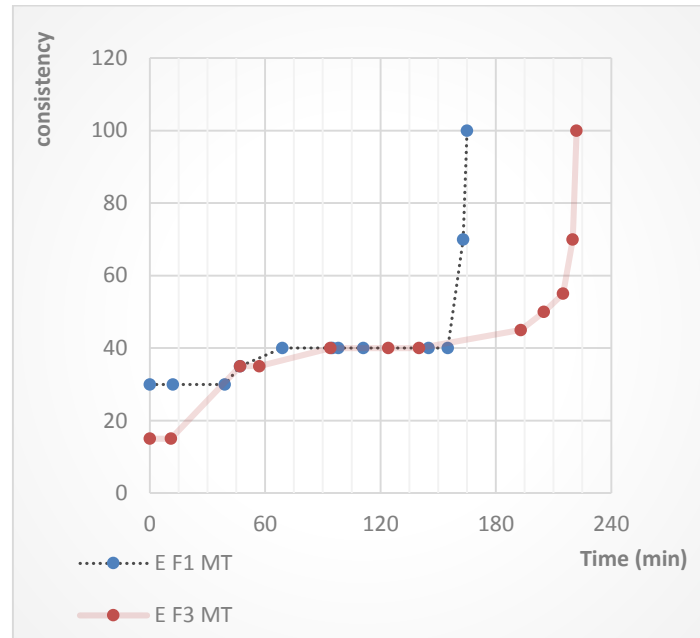


شکل ۴-۱۴ زمان نیم‌بندش D800 در دمای ۱۸۵ درجه فارنهایت

(ب) نتایج کنترل کیفیت نمونه‌های بومی سازی شده

همان‌طور که در جدول ۴-۱۲ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان مصرف افزایش‌های MTR C و MTR D، میزان تأثیر کندکنندگی تغییر محسوسی نکرده است و حتی در برخی موارد تأثیر معکوس از خود نشان می‌دهد (دوغاب MTR C F2 و MTR D F3) با توجه به این مسئله افزایش‌های MTR C و MTR D از نظر

کیفی مردود اعلام شده و آزمایش مقاومت تراکمی برای این افزایه‌ها انجام نگردیده است. نمونه MTR E در مقایسه با نمونه شاخص (جدول ۴-۱۱) از نظر زمان‌بندش دارای قدرت کندکنندگی بیشتری بوده است و از نظر مقاومت تراکمی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. با توجه به نتایج فوق می‌توان کندگر E را به عنوان کندگر دما متوسط معرفی نمود. شکل ۴-۱۵ زمان نیم‌بندش MTR-E F1 F3 نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۵ زمان نیم‌بندش MTR-E F1 F3

۴-۲-۴ کنترل کیفیت کندگر دما بالا آب شیرین.

کنترل کیفیت کندگر دما بالا در آب شیرین شامل سه مرحله است. در مرحله اول، کندگر با مقدار (lb/sk) ۰/۴۴ به همراه سیمان G و آب در دمای ۲۱۵°F و دانسیته ۱۱۸ پوند بر فوت مکعب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای جلوگیری از افت استحکام در ترکیبات سیمان کاری معمولاً از آرد سیلیکا^۱ و یا ذرات بسیار ریز سیلیکا^۲ استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که در درجه حرارت‌های بالاتر از ۲۳۰°F تمام سیمان‌های ساخته شده استحکام تراکمی خود را از دست می‌دهند (سلطانیان و همکاران). هر چه دما بالاتر باشد

^۱ Silica Flour

^۲ Micro Silica

افت استحکام تراکمی بیش تر خواهد بود. چنین افت استحکامی که با افزایش قابلیت نفوذپذیری در سیمان همراه است به دلیل تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته در سیمان بسته شده به وجود می‌آید. افزودن ماده‌ای مثل بنتونیت که به نسبت زیادی آب نیاز دارد باعث تسریع افت استحکام می‌شود.

جدول ۴-۱۲ نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در دمای متوسط.

افزایه /فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 125 °F P=5100 psi	CS-24HR (psi) Cured at water Bath at 125 °F
MTR-C F1	۱۴	۱۱۸	۱۲۵	-
MTR-C F2	۱۰	۱۱۸	۱۰۴	-
MTR-C F3	۱۰	۱۱۸	۱۴۵	-
MTR-D F1	۱۵	۱۱۷	۱۱۱	-
MTR-D F2	۱۰	۱۱۸	۱۵۳	-
MTR-D F3	۱۰	۱۱۸	۱۵۴	-
MTR-E F1	۱۲	۱۱۷	۱۶۵	۲۷۵۰
MTR-E F3	۱۰	۱۱۸	۲۲۲	۳۴۰۰

در مرحله دوم، که دمای ارزیابی ۲۷۰°F است، برای جلوگیری از افت استحکام، آرد سیلیکا هم در فرمولاسیون ارزیابی به کار رفته است. به دلیل این که در دماهای بالا و اعماق بیشتر، فشار هیدرواستاتیکی سیمان بیشتر از فشار سازند می‌شود و احتمال هرزروی سیال بیشتر می‌شود، لزوم استفاده از عامل کنترل افت صافی D167 (به مقدار ۵۵٪ پوند بر کیسه) وجود دارد. همچنین در بسیاری موارد کندگر نقش معکوس روی افزایه‌های هرزروی سیال مخصوصاً در طراحی‌های دما بالا می‌گذارد (Eoff et al., 1995). به همین دلیل در فرمولاسیون کنترل کیفیت این مرحله به بررسی سازگاری آن پرداخته شده است.

مرحله سوم ارزیابی تقریباً همانند مرحله دوم می‌باشد با این تفاوت که سازگاری افزایه کندگر دما بالا با پراکنده‌ساز D65، نیز کنترل شده است. واکنش کندگر با افزایه‌های دیگر در طراحی دوغاب بسیار مهم هستند. اثرات زیان‌آور کندگر روی ویسکوزیته مشاهده شده است که دوغاب به شدت ویسکوز یا رقیق شده است. در مورد دوغاب‌های به شدت ویسکوز فشار اضافی پمپاژ مورد نیاز است که می‌تواند منجر به ترک برداشتن سازند شود و دوغاب رقیق منجر به ته نشینی در دوغاب و ایجاد آب آزاد گردد.

در دماهای بالا آنچه اهمیت بیشتری دارد، زمان پمپاژ مناسب می باشد. زیرا با افزایش دما واکنش های هیدراسیونی سیمان تسریع پیدا می کنند. ابتدا آزمایش زمان میکس سپس آزمایش زمان نیم بندش و در صورت مطلوب بودن تست مقاومت انجام می گیرد. جدول ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵ مراحل ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین را نشان می دهد.

جدول ۴-۱۳ مرحله اول روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین					
تست های مورد نیاز	شرایط	فرمولاسیون سیمان			سیمان G دلیجان (lb)
		آب (gal/sack)	HTR (lb/sk)		
زمان میکس TT CS	T:215 F SW: 118	۶٫۱	۰٫۴۴		۱۱۰

جدول ۴-۱۴ مرحله دوم روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین						
تست های مورد نیاز	شرایط	فرمولاسیون سیمان				سیمان E تهران (lb)
		آب (gal/sack)	FLC (lb/sk)	سیلیکا (lb/sk)	HTR (lb/sk)	
زمان میکس TT CS	T:270 F SW: 118	۷٫۶۸	۰٫۵۵	۴۰	۰٫۳۳	۱۱۰

جدول ۴-۱۵ مرحله سوم روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین							
تست های مورد نیاز	شرایط	فرمولاسیون سیمان					سیمان G دلیجان (lb)
		آب (gal/sack)	D-65 (lb/sk)	FLC D167 (lb/sk)	آرد سیلیکا (lb/sk)	HTR (lb/sk)	
زمان میکس TT CS	T:225 F SW:115	۸٫۶	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۴۰	۰٫۴۴	۱۱۰

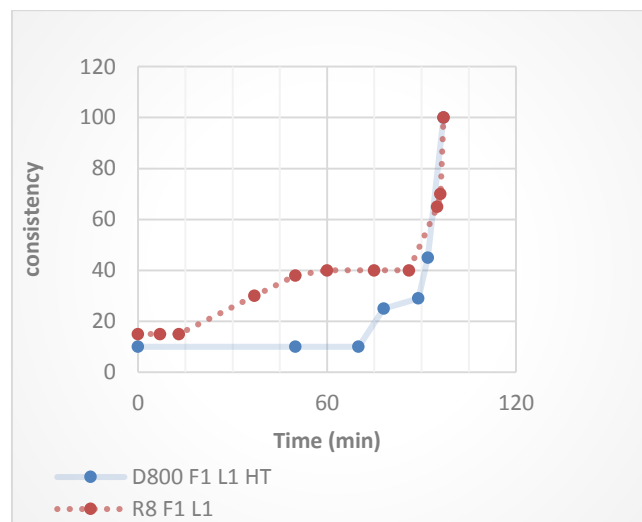
الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن ها

جهت بررسی و مقایسه بهتر و دقیق تر علاوه بر نمونه شاخص D800، نمونه R8 شرکت هالیرتون نیز انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۴-۱۶ نتایج شاخص در مرحله اول ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین را،

نشان می‌دهد. و همچنین شکل ۱۶-۴ زمان نیم‌بندش برای D800 و R8 در دمای ۲۱۵ درجه فارنهایت را نشان می‌دهد.

جدول ۱۶-۴ نتایج شاخص در مرحله اول ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین

CS-24HR (psi) @ 215 °F P:3000 psi	TT (min) @ 215 °F P:12000 psi	دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	افزایه / فرمولاسیون
۳۲۱۶	۹۷	۱۱۷	۱۳	D800 F1
۳۱۶۷	۹۷	۱۱۷	۱۰	R8 F1

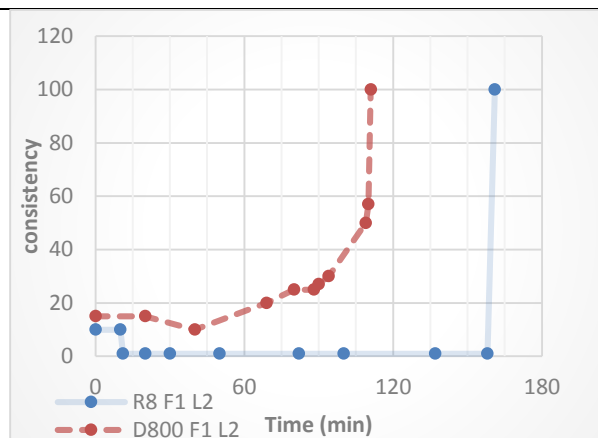


شکل ۱۶-۴ زمان نیم‌بندش برای D800 و R8 در دمای ۲۱۵ درجه فارنهایت

جدول ۱۷-۴ نمایانگر نتایج شاخص در مرحله دوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین است. در شکل ۴-۱۷ نیز می‌توان نمودار زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۷۰ درجه فارنهایت، را مشاهده نمود. علت قائم الزاویه نبودن منحنی زمان نیم‌بندش D800 در این نمودار آن است که این افزایش در دماهای بیشتر از ۲۵۰°F برای عملکرد مناسب نیاز به کمک کندگر دارد. در جدول ۱۸-۴ نتایج شاخص در مرحله سوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین و در شکل ۱۸-۴ نمودار زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۲۵ درجه فارنهایت نشان داده شده است. نتایج نمونه‌ای شاخص در هر سه مرحله مطلوب بوده و به بررسی نتایج نمونه‌های بومی سازی شده می‌پردازیم.

جدول ۱۷-۴ نتایج شاخص در مرحله دوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین

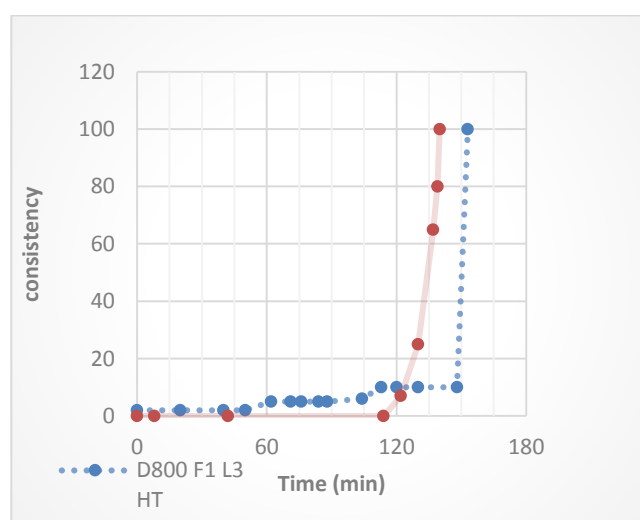
افزایه /فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 270 °F P=12000 psi	CS-24HR (psi) @ 270 °F P=3000 ps
D800 F1 L2	۱۶	۱۱۹	۱۰۲	۱۱۸۳
R8 F1 L2	۲۸	۱۱۷	۱۶۱	۱۵۲۵



شکل ۱۷-۴ زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۷۰ درجه فارنهایت

جدول ۱۸-۴ نتایج شاخص در مرحله سوم ارزیابی کندگر دما بالا در آب شیرین

فرمولاسیون /افزایه	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 225 °F P=12000 psi	CS-24HR (psi) @ 225 °F P=3000 psi
D800 F1 L3	۱۷	۱۱۵	۱۵۳	۱۸۴۷
R8 F1 L3	۱۵	۱۱۴	۱۴۰	۱۱۵۴



شکل ۱۸-۴ زمان نیم‌بندش D800 و R8 در دمای ۲۲۵ درجه فارنهایت

ب) نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده

نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله اول در جدول ۴-۱۹ قابل مشاهده است. دو افزایه کندگر دما بالای آب شیرین HTR-F و HTR-G مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. افزایه HTR-F دارای قدرت پراکنده‌سازی زیادی می‌باشد که سبب ایجاد ته‌نشینی و حالت دو فازی در دوغاب‌های سیمان می‌نماید. از این رو سایر آزمایش‌ها برای این افزایه، به علت ته‌نشینی زیاد قابل انجام نیست و فرآیند کنترل کیفیت این افزایه متوقف می‌شود. جدول ۴-۲۰ نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله دوم را نشان می‌دهد. نتایج نمونه بومی‌سازی شده در مرحله سوم در جدول ۴-۲۱ قابل مشاهده است. شکل ۴-۱۹ نمودار زمان نیم‌بندش نمونه بومی‌سازی شده HTR-G را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۹ نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله اول

افزایه / فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 215 °F P=12000 psi	CS-24HR (psi) @ 215 °F P=3000 psi
G L1	۱۰	۱۱۸	۸۸	۲۳۱۳

جدول ۴-۲۰ نتایج نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله دوم

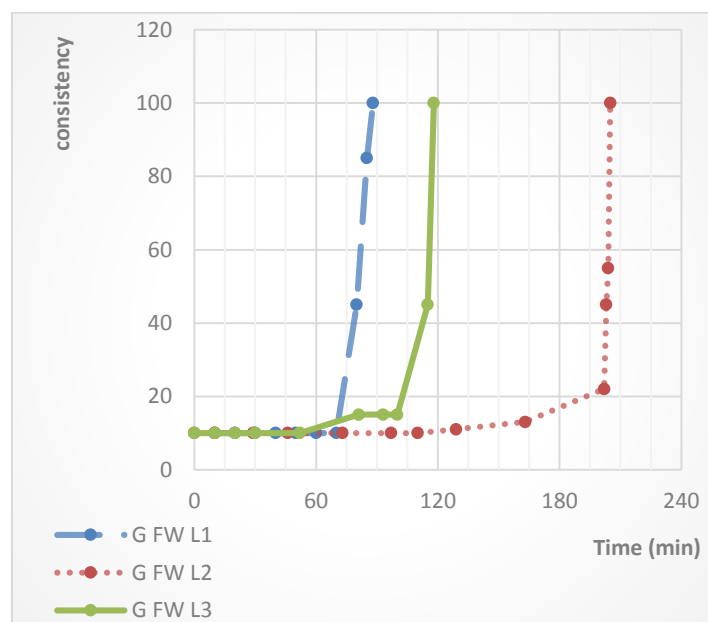
افزایه / فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 270 °F P=12000 psi	CS-24HR (psi) @ 270 °F P=3000 psi
G L2	۱۶	۱۱۹	۲۰۵	۱۴۰۳

جدول ۴-۲۱ نتایج نمونه بومی‌سازی شده در مرحله سوم

افزایه / فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 225 °F P=12000 psi	CS-24HR (psi) @ 225 °F P=3000 psi
G L3	۱۷	۱۱۴	۱۱۸	۱۳۵۷

نمونه کندگر دما بالای HTR-G از نظر عملکرد مشابه دوغاب شاخص می‌باشد. با مقایسه دوغاب‌های مختلف مشخص می‌شود که نمونه HTR-G در سیمان کلاس E خاصیت کندکنندگی بیشتری نسبت به نمونه شاخص D800 دارد. ولی در سیمان کلاس G این رابطه به صورت معکوس به دست می‌آید. با در نظر گرفتن

مجموع نتایج حاصل، نمونه بومی سازی شده HTR-G به عنوان نمونه کندگر دما بالا در آب شیرین از کارایی لازم برخوردار است. نتایج تولید نیمه صنعتی که در جدول ۴-۲۲ آمده است، نیز تأیید کننده همین مطلب است.



شکل ۴-۱۹ زمان نیم‌بندش نمونه بومی سازی شده HTR-G

جدول ۴-۲۲ نتایج تولید نیمه صنعتی:

CS-24HR (psi) P:3000 psi		TT (min) @ 185 °F P:10000 psi		دوغاب دانسیته (PCF)	زمان میکس (sec)	
T=270 °F	T= 215 °F	T=270 °F	T= 215 °F			
-	۲۲۰۰	-	۸۰	۱۱۸	۱۳	G L1
۳۲۰۰	-	۱۵۹	-	۱۱۸	۳۵	GL2

۴-۲-۵ کنترل کیفیت کندگر دما بالا در آب شور

جدول ۴-۲۳ روش ارزیابی کندگر دما بالا در آب شور را، نشان می‌دهد. در این مرحله سازگاری افزایه در آب دریا بررسی می‌شود. به دلیل اینکه نمک در غلظت‌های پایین به عنوان شتابگر عمل می‌کند در فرمولاسیون

دو، میزان مصرف افزایه نسبت به آب شیرین به دو برابر افزایش پیدا کرده است. فرمولاسیون یک تنها به منظور بررسی قدرت کندکنندگی افزایه با قدرت کندکنندگی نامعلوم طراحی شده است.

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن‌ها

همان‌طور که در مشخصات D800 گفته شده بود در آب حاوی نمک، درصد مصرف کندگر افزایش پیدا می‌کند. و تنها از فرمولاسیون ۲ برای نمونه شاخص استفاده می‌شود. از آنجا که در مرحله پیش، قدرت کندکنندگی افزایه بومی سازی شده بیشتر از نمونه شاخص می‌باشد. فرمولاسیون شماره ۱ تنها برای سنجش قدرت کندکنندگی افزایه بومی سازی شده قرار داده شده است. نتایج نمونه‌های بومی سازی شده در جدول ۴-۲۵ نشان داده شده است. در شکل ۴-۲۰ مقایسه نمونه شاخص و بومی سازی شده، قابل مشاهده است. دوغاب HTR F با وجود میزان مصرف کمتر نسبت به نمونه شاخص از نظر زمان نیم‌بندش مشابه آن عمل کرده است. مقاومت تراکمی هر دو افزایه بومی بیشتر از نمونه شاخص بوده است. افزایه HTR-F در شرایط آب دریا در میزان مصرف پایین عملکرد مناسبی دارد. به دلیل قدرت پراکنده‌سازی زیاد افزایه HTR-F استفاده از فرمول ۲ در مورد افزایه HTR-F به دو فاز شدن و ته نشینی دوغاب منجر شد.

به دلیل کاربرد افزایه HTR-G در هر دو نوع آب شور و آب شیرین، شباهت بیشتر به نمونه شاخص D800 و جامع‌تر بودن آن، این افزایه به عنوان کندگر مناسب دما بالا معرفی می‌شود.

جدول ۴-۲۳ روش ارزیابی دما بالا در آب شور

تست‌های مورد نیاز	شرایط	فرمولاسیون سیمان			
		آب (gal/sack)	نمک (lb/sk)	HTR (lb/sk)	سیمان G دلیجان (lb)
زمان میکس TT CS	T:215 F SW: 118	۶/۱	۲/۰۲	۰/۳	۱۱۰
زمان میکس TT CS	T:215 F SW: 118	۶/۱	۲/۰۲	۰/۸۸	۱۱۰

۴-۳ ارزیابی افزایه کنترل کننده افت صافی

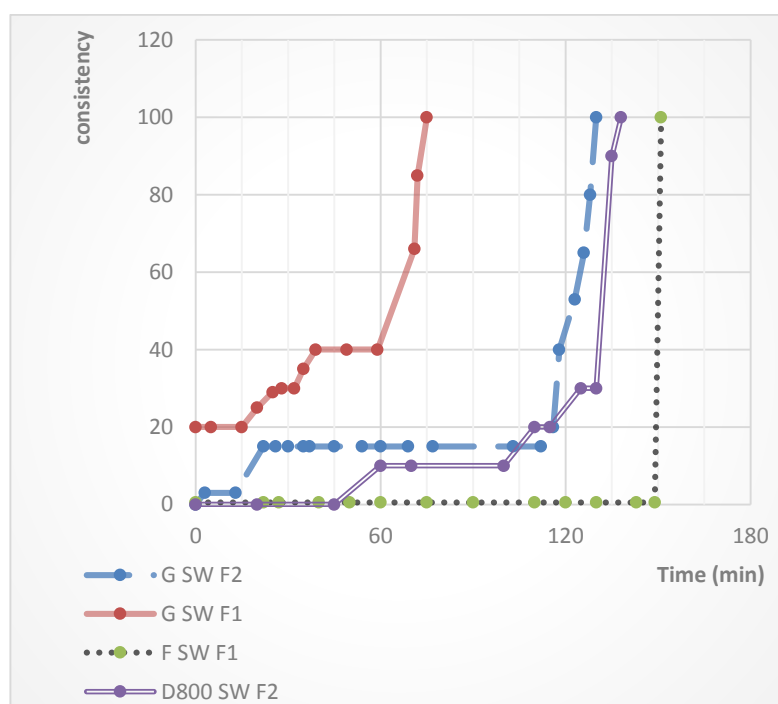
افزایه‌های کنترل کننده افت صافی در آب شیرین و آب نمک مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. دمای مورد ارزیابی در این قسمت به نوع افزایه مورد استفاده و شرایط عملیاتی بستگی دارد.

جدول ۴-۲۴ نتایج نمونه شاخص در دمای بالا و آب نمک.

افزایه / فرمولاسیون	Initial Mixing Time (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 215 °F P:12000 psi	CS-24HR (psi) @ 215 °F P:3000 psi
D800 HTR SW F2	۱۸	+۱۱۷	۱۳۸	۲۰۰۵

جدول ۴-۲۵ نتایج نمونه‌های بومی سازی شده.

افزایه / فرمولاسیون	زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	TT (min) @ 215 °F P:12000 psi	CS-24HR (psi) @ 215 °F P:3000 psi
HTR-F F1 SW	۱۸	۱۱۸	۱۵۰	۳۲۶۲
HTR-G F1 SW	۱۰	۱۱۸	۷۵	-
HTR-G F2 SW	۱۰	۱۱۸	۱۳۰	۲۸۳۴



شکل ۴-۲۰ مقایسه زمان نیم‌بندش HTR-G با HTR-F در آب نمک.

۴-۳-۱ مشخصات نمونه شاخص

جهت اعتبار سنجی متدلوژی کنترل کیفیت از سه افزایه FLC شاخص D167، Halad9 و Halad413 در این قسمت استفاده شده است که به بیان خصوصیات آنها می‌پردازیم:

• افزایه D167

این افزایه یک پلیمر حل‌پذیر در آب است. بازه دمایی تحت پوشش این افزایه، 80°F تا 400°F (27°C تا 204°C) است. D167 در آب‌هایی با ۰ تا ۳۷٪ نمک قابل استفاده است و در دوغاب‌هایی با دانسیته ۱۲ تا ۱۹/۵ پوند بر گالن مصرف می‌شود. عملکرد این افزایه در دماهای 27°C تا 204°C حساسیت بسیار کمی به نوع سیمان استفاده شده دارد. همچنین حساسیت‌هایی در آب دریا مشاهده شده است.

• افزایه Halad-9

این افزایه، ترکیبی از مشتقات سلولز و پراکنده‌ساز است که برای کنترل افت صافی سیمان استفاده می‌شود. این افزایه کنترل افت صافی متوسطی در دمای چرخشی ته چاهی کمتر از 200°F (93°C) فراهم می‌کند. این افزایه همچنین اثر کندکنندگی در سیمان دارد. غلظت مورد استفاده آن ۰/۴٪ تا ۱/۵٪ می‌باشد.

• افزایه Halad-413

Halad-413 یک پلیمر مصنوعی است که به صورت پودر قهوه‌ای تیره برای کنترل هرزروی فیلتراسیون در تمامی شرایط سیمان‌کاری استفاده می‌شود. این افزایه یک کندگر ملایم است که خاصیت کندکنندگی آن در دماهای پایین کمتر است. این افزایه در دماهای بالاتر از 400°F (204°C) پایدار باقی می‌ماند و در دوغاب‌های آب دریا و دوغاب‌هایی که شامل $2\% \text{CaCl}_2$ ، NaCl یا $5\% \text{KCl}$ تا میزان اشباع‌شدگی باشند، کنترل افت صافی فراهم می‌کند. Halad-413، ویسکوزیته سیمان را افزایش نمی‌دهد و می‌توان در سیمان-های چگال از ۹ آن استفاده کرد. این افزایه با تمام کندگرهای سیمان سازگار است. و مخصوصاً در دماهای بالا هنگام استفاده از پاراگاز مؤثر می‌باشد. غلظت آن در دماهای 80°F تا 400°F (27°C تا 204°C) ۰/۲٪ تا ۳٪ می‌باشد.

۴-۳-۲ ارزیابی کنترل کننده افت صافی در آب شیرین

جهت بررسی عملکرد این افزایه، در مرحله اول تنها از آب و سیمان استفاده شده است. مقادیر افزایه ۰/۵۵ و ۰/۷۷ پوند بر کیسه می باشد. در مرحله دوم ارزیابی از افزایه های کندگر و پراکنده ساز نیز استفاده شده است. افزایه های مورد استفاده در این مرحله، افزایه شاخص می باشند. در دمای پایین دو افزایه شاخص، D800 و CR-450 مورد استفاده قرار گرفته اند. همچنین افزایه شاخص پراکنده ساز D-65 مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۴-۲۶ مرحله اول ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین را، نشان می دهد.

جدول ۴-۲۶ مرحله اول ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین.

شرایط تست	فرمولاسیون سیمان		
	آب شیرین (gal/sack)	FLC LT (lb/sack)	سیمان G دلجان (lb)
SW:115PCF	۶/۶۸	۰/۲۲	۱۱۰
SW:115PCF	۶/۶۸	۰/۳۳	۱۱۰
SW:115PCF :	۶/۶۸	۰/۵۵	۱۱۰
SW: 115 PCF	۶/۶۸	۰/۷۷	۱۱۰

تست های مورد نیاز زمان میکس ، وزن دوغاب، خصوصیات رئولوژیکی، مقاومت تراکمی، افت صافی API، زمان نیم بندش

به دلیل فرآیندهای پیچیده هیدراسیون و به دلیل پلیمری بودن ذرات این افزایه، فرآیند کنترل کیفیت افزایه کنترل کننده افت صافی کمی پیچیده تر از کندگر می باشد. به دلیل توانایی تأثیرپذیری پارامترهای سیمان، تعداد زیاد افزایه ها و تست های متعدد مورد نیاز در این مرحله، رد شدن افزایه در یک فرمولاسیون دلیل بر نامرغوب بودن افزایه نمی باشد. و باید با مقادیر افزایه ها بازی کرد تا به فرمولاسیون مطلوب دست یافت. لذا در مرحله کنترل کیفیت نمونه های بومی سازی شده تنها اعداد موجود در فرمولاسیون به نسبت پاسخ اولیه افزایه تغییر می یابند. این جدول ها در قسمت مربوط موجود می باشند. مرحله دوم ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین در جدول ۴-۲۷ قابل مشاهده است

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن ها

نمونه شاخص مورد استفاده در مرحله اول، Halad-9 و D-167 می باشند. نمونه شاخص استفاده شده در

فرمولاسیون ۱ و ۲ نمونه D167 و نمونه استفاده شده در فرمولاسیون ۳ و ۴ Halad-9 است. دمای انجام آزمایش در مورد هر افزایش، به خصوصیات آن افزایش بستگی دارد و در بدترین شرایط^۱ در نظر گرفته شده است. نتایج مرحله اول ارزیابی نمونه شاخص، در جدول ۴-۲۸ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۲۷ مرحله دوم ارزیابی کنترل افت صافی در آب شیرین.

شرایط	فرمولاسیون سیمان					
	آب (gal/sack)	D-65	CR-450	D800	FLC LT	سیمان G دلیجان (lb)
SW=115	۶/۶۸	۰/۶۶	۰/۴۴	-	۰/۵۵	۱۱۰
SW=115	۶/۶۸	۰/۴۴	۰/۴۴	-	۰/۶۶	۱۱۰
SW=115	۶/۶۸	۰/۸۸	۰/۵۵		۱/۱	۱۱۰
SW=115	۶/۶۸	۰/۵۵		۰/۱۱	۱/۱	۱۱۰

تست‌های مورد نیاز زمان میکس، وزن دوغاب، خصوصیات رئولوژیکی، مقاومت تراکمی، افت صافی API، زمان نیم بندش

جدول ۴-۲۸ نتایج مرحله اول ارزیابی نمونه شاخص

TT [100 BC] (min) P:5000 psi		API FL (cc)		CS-24 Hours (psi) P: 3000 psi		خواص رئولوژیکی (pv/yp)		دوغاب دانسیته (PCF)	زمان میکس (sec)	
T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T= 165 oF	T= 80 oF		
		۱۰۰۰	-	-	-	۲۲/۸	-	ژل	۱۱۵	۱۰
		۴۰۰	-	-	-	۳۰/۴	-	ژل	۱۱۵	۱۵
-	-	-	۵۰۰	-	-	-	۴۰/۴۴	کمی ژل	۱۱۴	۱۰
-	-	-	۳۵۰	-	-	-	۵۱/۱۲	۷۳/۶،۵	۱۱۴	۱۳

همان‌طور که در جدول ۴-۲۸ مشاهده می‌شود، خواص رئولوژیکی دوغاب و مقدار افت صافی مطلوب نمی‌باشند. در دماهای پایین ژل شدگی و با افزایش دما مقادیر PV و YP بالایی مشاهده می‌شود. مقدار افت صافی API دوغاب باید کمتر از ۱۰۰ سی سی باشد، این مطلب در مورد دوغاب‌های شاخص مرحله اول صادق نیست. به نظر می‌رسد افزایش کنترل افت صافی به همراهی افزایش‌های دیگر برای عملکرد مطلوب نیاز دارد.

^۱ Worse Case

در مرحله دوم نیز از افزایشهای شاخص Halad-9 و D167 استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴-۲۹ نشان داده شده است. نمونه شاخص Halad-9 میزان مصرف بیشتری نسبت به افزایش D167 داشته و در دمای ۲۰۰ درجه فارنهایت فاقد کارایی می باشد و در دمای پایین کاربرد دارد. افزایش D167 در دو فرمول اول و افزایش Halad-9 در دو فرمول دوم آزمایش شده اند. نمونه شاخص Halad-9 میزان مصرف بیشتری نسبت به افزایش D167 داشته و در دمای ۲۰۰ درجه فارنهایت فاقد کارایی می باشد و در دمای پایین کاربرد دارد.

جدول ۴-۲۹ نتایج مرحله دوم ارزیابی نمونه شاخص.

TT (min) P:5000 psi		API FL (cc)		CS 24 Hours (psi) P: 3000 psi		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	
T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T=165 oF	T=200 oF	T=165 oF	T= 80 oF			
۹۵	-	۹۲	-	۲۲۳۱	-	۲/۵۰	-	۳/۵۷	۱۱۵	۱۲	۱
-	-	*۵۴	-	-	-	۴/۴۵	-	۴,۵/۶۴	۱۱۵	۱۵	۲
-	-	N C	-	-	-	-	۳/۴۱	۱۴/۱۹۸	۱۱۵	۳۰	۳
-	۳۴۰	-	۴۶	-	۲۰۴۶	-	۱۴/۷۲	۴۳/۲۰۸	۱۱۶	۲۶	۴

در فرمولاسیون شماره ۳ که از کندگر CR-450 استفاده شده است، قادر به کنترل هرزروی سیال نبوده. به نظر می رسد افزایش CR-450 و Halad-9 سازگاری نداشته و نباید به همراه هم در یک فرمولاسیون استفاده شوند. به دلیل اینکه در فرمولاسیون ۱ و ۲ سازگاری D167 با CR450 مشاهده شده، فرمولاسیون ۳ در مورد افزایشهای بومی سازی شده به کار می رود تا سازگاری آنها نیز با این افزایش مورد ارزیابی قرار گیرد. جدول ۴-۳۰ ترکیب افزایشهای بومی سازی شده در ارزیابی مرحله اول را، نشان می دهد.

جدول ۴-۳۰ ترکیب افزایش‌های بومی سازی شده در ارزیابی مرحله اول.

آب (gal/sk)	CR-450 (lb/sk)	D800 (lb/sk)	D-65 (lb/sk)	FLC FW	سیمان G دلیجان (lb)	افزایه و فرمولاسیون	
۶,۶	-	۰,۳۳	۰,۵۵	۰,۷۷	۱۱۰	LT FLC-H	۱
۶,۶	-	۰,۳۳	۰,۷۷	۰,۶۶	۱۱۰		۲
۶,۶	-	۰,۳۳	۰,۷۷	۰,۳۳	۱۱۰		۳
۶,۶	-	۰,۳۳-	۰,۷۷	۰,۱۱	۱۱۰		۴
۶,۶	-	۰,۱۱	۰,۵۵	۱,۱	۱۱۰	LT FLC-L	۱
۶,۶	-	۰,۲۲	۱,۱	۰,۸۸	۱۱۰		۲
۶,۶	-	-	۱,۱	۰,۶۶	۱۱۰		۳
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۸۸	۰,۸۸	۱۱۰	MT FLC-I	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۱,۱	۰,۳۳	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۸۸	۰,۵۵	۱۱۰	MT FLC-K	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	-	۰,۵۵	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۸۸	۰,۳۳	۱۱۰		۳
۵,۵۶	-	-	۰,۷	۰,۷۷	۱۱۰	MT FLC-M	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۸۸	۰,۵۵	۱۱۰	MT FLC-N	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۱,۱	۱,۱	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۸۸	۱,۱	۱۱۰	MT FLC-O	۱
۵,۵۷	-	-	۰,۴۴	۰,۷۷	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴۴	-	۰,۳۳	۱,۱	۱۱۰	MT FLC-T	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۶۶	۱,۱	۱۱۰	MT FLC-U	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۷۷	۱,۶۵	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴	--	۰,۸۸	۱,۱	۱۱۰	HT FLC-J	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۶۶	۱,۱	۱۱۰	HT FLC- P	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۶۶	۱,۶۵	۱۱۰		۲
۶,۵۵	۰,۴	-	۰,۶۶	۰,۸۲۵	۱۱۰		۳
۶,۵۵	۰,۴	-	۱,۱	۱	۱۱۰	HT FLC-Q	۱
۶,۵۵	۰,۴	-	۱,۱	۱	۱۱۰	HT FLC-R	۲
۶,۵۵	۰,۴۹۵	-	۱,۱	۰,۵	۱۱۰		۳
۶,۵۵	۰,۴۴	۰-	۰,۶۶	۱,۱	۱۱۰	HT FLC- V	۱

مطابق جدول ۴-۳۱ برای ارزیابی افزایش LT FLC-H در فرمولاسیون شماره یک با مقادیر ۰/۷۷ FLC و ۰/۵۵

پراکنده‌ساز D-65 در دمای پائین ژل‌شدگی مشاهده شد. ساختار پلیمری FLC، ویسکوزیته دوغاب را افزایش

می‌دهد، بنابراین برای رفع ژل‌شدگی فرمولاسیون یک با کاهش FLC به ۰/۶۶ و افزایش D-65 به ۰/۷۷ به فرمولاسیون دو، تغییر داده شد. و ژل‌شدگی مشاهده شد. در فرمولاسیون سه، با وجود کاهش FLC به ۰/۳۳ ژل‌شدگی دوغاب همچنان پابرجا باقی ماند. در فرمول نهایی مقدار FLC تا ۰/۱۱ کاهش پیدا کرد و در نهایت ژل‌شدگی از بین رفت ولی این مقدار توانایی کنترل افت صافی را نداشته و افت صافی API به صورت N C به دست آمده است. این افزایش رئولوژی دوغاب را به شدت افزایش می‌دهد و به منظور عدم تأثیر روی خواص رئولوژیکی باید در مقادیر بسیار پایین مصرف شود، که این مقادیر قابلیت کنترل افت صافی را دارا نمی‌باشند.

کیفیت افزایش دما پایین LT FLC L با مقادیر ۱/۱ FLC، ۰/۵۵ پراکنده ساز D-65 و ۰/۱۱ D800 کنترل شد و در دمای پایین مقدار زیادی ژل‌شدگی مشاهده شد، تا حدی که امکان به دست آوردن خواص رئولوژیکی وجود نداشت. در فرمولاسیون دو، FLC به ۰/۸۸، پراکنده ساز به ۱/۱ و D800 به ۰/۲۲ (به دلیل خاصیت پخش‌کنندگی D800، به منظور از بین بردن ژل ایجاد شده) تغییر یافت و مجدداً ژل‌شدگی در دوغاب مشاهده شد. و بعد از گذشت ۲۴ ساعت میزان مقاومت تراکمی صفر بوده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند با وجود حذف ژلگی دوغاب، مقادیر خواص رئولوژیکی آن بالا D800 حذف و میزان مصرف نمونه کنترل‌کننده افت صافی کمتر شد. با حذف کندگر دوغاب سیمان مقاومت گرفته است. ولی شروع مقاومت‌گیری بعد از ۱۶ ساعت بوده که بیانگر تأثیر کندکنندگی نمونه بر روی دوغاب سیمان است. این مسئله در زمان‌بندش نیز، خود را نشان می‌دهد. که بعد از گذشت ۱۰ ساعت، نمونه هنوز به صورت دوغاب بوده است. در صورت اعمال تصحیح‌های لازم بر روی نمونه، MT FLC-L می‌تواند به عنوان نمونه کنترل-کننده افت صافی در آب شیرین استفاده شود.

نمونه‌های کنترل‌کننده افت صافی HT FLC-Q، FLC-P و برای استفاده در آب شیرین و نمونه HT FLC-J و MT FLC-M و HT FLC-R، برای

هر دو سیستم آب شیرین و آب شور طراحی گردیده‌اند.

افزایه MT FLC-I در فرمولاسیون اول با مقدار ۰/۸۸ FLC، ۱/۱ D65 و ۰/۲۲ کندگر، امکان میکس شدن و تهیه دوغاب وجود نداشت. سیمان توسط آب پذیرفته نمی شد و بر روی آب مانده بود. در مرحله بعد مقدار FLC به ۰/۳۳ و مقدار D65 به ۱/۱ تغییر پیدا کرد. برای حذف اثر عدم سازگاری کندگر و FLC نیز، افزایه کندگر حذف شد. در دمای ۸۰°F ژل شدگی و هنگامی که دوغاب در کانسیستومتر اتمسفریک به مدت ۲۰ دقیقه تا دمای ۱۸۰°F حرارت داده شد هنوز اندکی ژل شدگی قابل مشاهده است. علی رغم غلیظ بودن دوغاب، آزمایش افت صافی بر روی آن انجام شد تا مشخص شود، آیا نمونه بومی سازی شده توانایی کنترل افت صافی را دارد یا خیر. با توجه به اینکه مقدار افت صافی برابر با سی سی ۱۰۴ است، که با اختلاف از مقدار مطلوب افت صافی، قابل پذیرش است. مقدار مقاومت تراکمی نیز مطلوب می باشد. این افزایه به دلیل فراهم نکردن خواص رئولوژیکی مناسب از نظر کیفی مورد تأیید نیست. به نظر می رسد افزایه MT FLC-I، می بایست از نظر تأثیر بر روی خواص رئولوژیکی اصلاح شود تا عملکرد آن از نظر کنترل افت صافی قابل قبول باشد.

در مرحله اول کنترل کیفیت، افزایه MT FLC-K، با مقدار ۰/۵۵ FLC، ۰/۸۸ D65 و ۰/۴ CR-450 قبل از افزودن پودر سیمان، با افزودن نمونه پراکنده ساز D65 به محلول، ژل غلیظی تشکیل می شود. با کمتر کردن مقدار مصرف نمونه FLC مجدداً مشکل ژل شدگی مشاهده شده است. این افزایه از نظر کیفی مورد تأیید نمی باشد.

جهت بررسی عملکرد MT FLC-M فرمولاسیون یک طراحی شد. با توجه به عملکرد این نمونه در دمای ۱۸۰°F، می توان با اعمال تصحیح های لازم در خواص رئولوژیکی، از این نمونه به عنوان نمونه نهایی استفاده کرد. در واقع این نمونه نیز مانند سایر نمونه های قبلی از نظر پارامترهای رئولوژیکی نیاز به اصلاح دارد تا بتوان از آن به عنوان یک کنترل کننده افت صافی استفاده نمود.

در مورد نمونه MT FLC-N همانند سایر نمونه های قبلی، مشکل اصلی عدم ارائه رئولوژی مناسب همراه با عدم کنترل افت صافی در دوغاب سیمان می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، نمونه مورد

استفاده به علت ایجاد ویسکوزیته زیاد در دوغاب فرمولاسیون ۲ و امکان افزایش مقدار مصرف، ادامه آزمایش‌ها مقدور نمی‌باشد.

نمونه MT FLC-O جهت کاربرد در آب شیرین طراحی شده است. این نمونه نیز تأثیر زیادی در غلظت دوغاب سیمان داشته و امکان ادامه آزمایش‌ها در دماهای مختلف و مقادیر مصرف مختلف وجود ندارد.

به عنوان نتیجه‌گیری در بخش نمونه های کنترل کننده افت صافی دما متوسط، از نمونه‌های MT FLC-I و MT FLC-M در صورت اصلاح تأثیرات مخرب رئولوژیکی، می‌توان با انجام آزمایش‌های تکمیلی به عنوان کنترل کننده افت صافی استفاده نمود.

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های خواص رئولوژی، مقاومت تراکمی و میزان افت صافی در دمای ۲۰۰ °F نمونه HT FLC-J، در آب شیرین از کارایی لازم برخوردار می‌باشد. از آنجایی که نمونه HT FLC-J در آب شیرین از کارایی لازم برخوردار می‌باشد لذا در دوغاب آب شور با درجه‌های اشباع ۳۵ درصد و ۱۵ درصد، مورد بررسی قرار گرفت. در این دوغاب‌ها از حداکثر پراکنده‌ساز جهت ایجاد رئولوژی مناسب استفاده شد. ولی دوغاب‌های ساخته شده کاملاً ژل شدند. با توجه به قاعده کلی که جهت کنترل افت صافی در سیستم های حاوی آب شور، میزان افزایه بیشتری نسبت به سیستم آب شیرین مورد نیاز است و با توجه به غلظت بالای رئولوژی، امکان کاهش میزان مصرف افزایه HT FLC-J وجود ندارد.

افزایه دیگر در این بخش، HT FLC-P است که مخصوص آب شیرین می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود از نظر رئولوژی دوغاب‌های ساخته شده با این افزایه، در مقایسه با فرمولاسیون یک HT FLC-J بسیار مناسب‌تر می‌باشد. ولی متأسفانه علی‌رغم به کارگیری میزان مصرف مناسب از این افزایه در ترکیب دوغاب سیمان هیچ گونه کنترل افت صافی در آن مشاهده نشد. حتی به درخواست تولید-کننده، در فرمولاسیون دوم به صورت مخلوط خشک با سیمان استفاده شد. ولی در نتیجه نهایی تأثیری مشاهده نشد.

افزایه HT FLC-Q به صورت مایع تولید شده و جهت استفاده در دوغاب آب شیرین استفاده می‌-

شود. نتایج حاصل از آزمایش فرمولاسیون یک نشان می‌دهد که دوغاب ساخته شده کاملاً ژل شده و قابلیت انجام سایر آزمایش‌ها را ندارد.

افزایه HT FLC-R نیز به صورت مایع و جهت استفاده در سیستم آب شیرین و آب نمک طراحی شده است. فرمول ۱۱ سیون یک کاملاً ژل شده است. در فرمولاسیون دو، میزان مصرف افزایه به نصف کاهش یافته تا میزان ژل شدگی کاهش یابد. در نتیجه کاهش میزان مصرف افزایه HT FLC-R، میزان ژل شدگی کاهش و امکان انجام آزمایش‌های افت صافی و مقاومت فراهم شد. که نتایج به دست آمده، بیانگر موفقیت افزایه در این آزمایش‌ها است. جهت تنظیم زمان بندش میزان افزایه کندگر CR450 به طور جزئی افزایش یافته و زمان بندش برابر با ۱۳۵ دقیقه ثبت شده است.

به عنوان نتیجه‌گیری از بخش افزایه‌های دما بالا در آب شیرین، نمونه HT FLC-J شیرین و HT FLC-R مایع از کارایی خوبی برخوردار بوده ولی سایر نمونه‌ها فاقد کارایی لازم می‌باشند.

جدول ۴-۳۱ نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله اول

24 HR CS (psi) P: 3000 psi		TT	API FL (cc)		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			دوغاب دانسیته (PCF)	زمان میکس (sec)		
T= 200 oF	T= 180 oF		T=200 oF P= 1000 psi	T=180 oF P= 1000 psi	T=200 oF	T=180 oF	T= 80 oF				
-	-	-	-	-	-	-	ژل	-	۳۴	LT FLC-H	۱
-	-	-	-	-	-	-	ژل	-	۴۰		۲
-	-	-	-	-	-	-	ژل	-	۲۳		۳
-	-	-	-	N C	-	۲۹/۱۸	۱۱/۲۵	۱۱۵	۱۴	LT FLC-L	۴
-	-	-	-	-	-	-	ژل	۱۱۵	۱۸۰		۱
-	-	-	-	-	-	-	ژل	۱۱۵	۶۰		۲
-	۱۸۷۰	۶۶۵>	-	۶۰	-	۱۰۷/۱۸	۱۸۳/۲۹	۱۱۵	۱۶		۳
-	-	-	-	-	-	-	-	-	غیر قابل میکس	MT FLC-I	۱
-	۲۱۴۲	-	-	۱۰۴	-	کمی ژل	ژل	۱۱۵	۴۵		۲
-	-	-	-	-	-	-	ژل	-	۱۲۰	MT FLC-K	۱
-	۲۱۴۲	-	-	۱۰۴	-	-	ژل	-	<۱۲۰		۲
-	-	-	-	N C	-	ژل	۲۰۱/۳۲	۱۱۵	۷۰		۳
-	-	-	۱۹۰	۸۸	-	-	ژل	۱۱۹	۱۵۰	MT FLC-M	۱
-	-	-	-	N C	-	۳۶/۳	۹۹/۸	۱۱۵	۸	MT FLC-N	۱

ادامه جدول ۴-۳۱ نتایج ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده در مرحله اول

24 HR CS (psi) P: 3000 psi		TT	API FL (cc)		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			دوغاب دانسیته (PCF)	زمان میکس (sec)		
T= 200 oF	T= 180 oF		T=200 oF P= 1000 psi	T=180 oF P= 1000 psi	T=200 oF	T=180 oF	T= 80 oF				
-	-		-	۴۸۱	-	۹۷/۲۳	ژل	۱۱۵	۵۰		۲
-	-		-	۳۲۸	-	-	-	۱۱۵	غیر قابل میکس	MT FLC-O	1
-	-		۳۴۶	-	-	-	-	۱۱۹	غیر قابل میکس		۲
-	-		-	۱۳۳	-	۲۸/-۱	۴۵/-۱	۱۱۵	۱۲	MT FLC-T	۱
-	-		۲۲۷	-	۳۸,۲۵/۲,۷۵	-	۷۵/۴	۱۱۴	۲۰	MT FLC-U	۱
۲۳۰۰	-		۵۳	-	۸۳/۷	-	۱۳۰/۱۰,۲۵	۱۱۴	۲۵		۲
۵۵	-	-	۲۲۵۲	-	۷۴/۸	-	۱۰۷/۷	۱۱۵	۲۰	HT FLC-J	۱
N C	-	-	-	-	۲۴/۱	-	۴۷,۲۵/-۰,۲۵	۱۱۳	۱۲		۱
N C	-	-	-	-	۳۹/۳	-	۷۰,۵/۲,۵	+۱۱۳	۱۲	HT FLC- P	۲
N C	-	-	-	-	-	-	۳۵,۲۵/۰,۷۵	۱۱۳	۱۲		۳
N C	-	-	-	-	ژل	-	ژل	-	غیر قابل میکس	HT FLC-Q	۱
۱۴	-	-	-	-	ژل	-	ژل	-	غیر قابل میکس	HT FLC-R	۱
۸۳	-	۱۳۵	۲۳۰۰	-	۱۳۴/۲۸	-	۱۵۷,۵/۱۴,۵	+۱۱۳	۳۵		۲
	۲۷	۳۶	۸۶	۲۷۵۷	-	۵۸/۴,۵	۹۵/۸	۱۱۴	۲۰	HT FLC-V	۳

۳-۳-۴ ارزیابی کنترل افت صافی در آب نمک

مرحله اول ارزیابی در آب نمک: با توجه به عدم کنترل افت صافی افزایه به همراه آب و سیمان که در آب شیرین هم مورد ارزیابی قرار گرفت، این مرحله از چرخه ارزیابی حذف شد. در مرحله اول از FLC، کندگر، پراکنده ساز نمک و سیمان G و D و آب استفاده شد. ارزیابی این افزایه در سیمان D به منظور بررسی آن، جهت استفاده در سیمان هایدنسی می باشد. فرمولاسیون ارزیابی در جدول آورده شده است. به منظور بررسی سازگاری و عملکرد، از هر دو افزایه ی کندگر شاخص CR-450 و اسید بوریک در این ارزیابی استفاده شد. در چهار فرمولاسیون اول FLC، عنوان کندگر شاخص، پراکنده ساز، نمک به مقدار ۸/۱۴ (lb/sk) و آب استفاده شده است. در سه فرمولاسیون آخر مقدار نمک به ۱۸/۲۶ (lb/sk) افزایش پیدا کرده است. و در آخرین فرمولاسیون سیمان D تهران مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق جدول ۳۳-۴ در مرحله ی دوم FLC در آب شور، سیمان D و هایدنسی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن ها

نتایج مرحله ی اول: نمونه های شاخص مورد استفاده در ارزیابی افزایه ی کنترل افت صافی آب شور D167 و Halad413 می باشند. در فرمولاسیون یک، مقادیر خواص رئولوژیکی نامناسب به همراه افت صافی بالا مشاهده شد در فرمولاسیون بعدی جهت کنترل افت صافی، مقدار FLC افزایش پیدا کرد. باز هم این مشکل مشاهده شد، زمان نیم بندش ده دقیقه ای احتمال می دهد نتیجه به دست آمده مربوط به عدم سازگاری افزایه ی D167 با اسید بوریک باشد. در فرمولاسیون بعدی افزایه شاخص کندگر به CR-450 تغییر داده شد و دوغاب حاصله با وجود اندکی ژل شدگی در دوغاب در دمای بالا مقدار کنترل افت صافی مناسبی را دارا بود. به دلیل زمان نیم بندش ناکافی تست ها ادامه داده نشدند. بقیه تست ها با Halad413 ادامه داده شدند. ژل شدگی و عدم کنترل افت صافی در دمای بالا در فرمولاسیون ۴ مشاهده شد. در فرمولاسیون ۵ مقدار نمک افزایش پیدا کرد و با مقدار ۱/۱ FLC، ۰/۴۴ پراکنده ساز و ۰/۲۲ کندگر اسید بوریک، ژل شدگی و افت صافی بالا حاصل شد در مرحله ی بعد کندگر به CR-450 تغییر داده شد و مقدار FLC نیز افزایش پیدا کرد. همه

پارامترهای به دست آمده در این مرحله مطلوب و مورد تأیید می‌باشند. در فرمولاسیون بعد سازگاری افزایش با سیمان D تهران در حضور نمک و آب، بررسی شده است. و پارامترهای آن مورد تأیید است. عمده کاربرد سیمان D در دوغاب‌های آب نمک و برای وزن های بالاتر از PCF ۱۲۰ که توسط نمک سنگین می شود، می باشد.

جدول ۳۲-۴ مرحله اول ارزیابی FLC در آب نمک

سیمان G (lb)	دلیجان	سیمان D تهران (lb)	FLC (lb/sk)	اسید بوریکی (lb/sk)	CR-450 (lb/sk)	نمک (lb/sk)	D-65 (lb/sk)	آب (gal/sk)
۱	۱۱۰	-	۰٫۵۵	۰٫۲۲	-	۸٫۱۴	۰٫۸۸	۶٫۴۸
۲	۱۱۰	-	۰٫۸۸	۰٫۲۲	-	۸٫۱۴	۱٫۱	۶٫۴۸
۳	۱۱۰	-	۰٫۸۸	-	۰٫۲۲	۸٫۱۴	۱٫۱	۶٫۴۸
۴	۱۱۰	-	۱٫۱	۰٫۲۲	-	۸٫۱۴	۰٫۵۵	۶٫۴۸
۵	۱۱۰	-	۱٫۱	۰٫۲۲	-	۱۸٫۲۶	۰٫۴۴	۶٫۳۵
۶	۱۱۰	-	۱٫۳۲	-	۰٫۴۴	۱۸٫۲۶	۰٫۴۴	۶٫۳۵
۷	-	۱۱۰	۱٫۶۵	-	-	۱۸٫۲۶	-	۶٫۴۸

جدول ۳۳-۴ مرحله دوم ارزیابی افزایش کنترل افت صافی در سیمان سنگین و آب

سیمان D تهران (lb)	FLC (lb/sk)	اسید بوریکی (lb/sk)	نمک (lb/sk)	هایدنس (lb/sk)	D-65 (lb/sk)	آب (gal/sk)
۱	۰٫۴۴	۰٫۲۴۲	۱۵٫۸۴	۷۰٫۴	۰٫۸۸	۵٫۶۸
۲	۰٫۴۴	۰٫۲۷۵	۱۵٫۸۴	۷۰٫۴	-	۵٫۶۸
۳	۰٫۴۴	۰٫۱۶۵	۱۵٫۸۴	۷۰٫۴	۰٫۸۸	۵٫۶۸
۴	۱٫۳۲	۰٫۲۷۵	۱۵٫۸۴	۷۰٫۴	۰٫۸۸	۵٫۶۸
۵	۱٫۳۲	۰٫۰۵۵	۱۵٫۸۴	۷۰٫۴	-	۵٫۶۸

جدول ۴-۳۴ نتایج مرحله اول ارزیابی FLC شاخص در آب نمک

TT [100 BC] (min) P:5000 psi		API FL (cc)		CS-24 Hours (psi) P: 3000 psi		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	- افزایه	
T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T= 80 °F				
-	-	۳۶۷	-	-	-	۷۰/۳۲	-	۵۹/۴	۱۱۸	۱۰	D167	۱
۱۰	-	۱۳۶	-	۲۵۲۲	-	۹۲/۲۹	-	۸۶/۶	۱۱۸	۱۰	D167	۲
۱۰۰	-	۸۱	-	-	-	کمی ژل	-	۵۳/۴	۱۱۸	۱۰	D167	۳
-	-	۸۹۸	-	-	-	کمی ژل	-	۴۷/۷	۱۱۹	۱۲	Halad9	۴
-	-	۷۷۴	-	-	-	ژل	-	۳/۲/۵	۱۱۷	۱۰	Halad9	۵
-	-	۵۰	-	۲۲۰۰	-	۱۰/۱۵	-	۴۳/۲/۵	۱۱۷	۱۲	Halad9	۶
-	-	-	۱۰۰	-	۵۰۰	-	۱۸/۱	۳۳/۲	۱۱۸	۱۰	Halad9	۷

نتایج ارزیابی FLC شاخص در آب نمک مرحله ی دوم: جدول ۴-۳۵ نتایج مرحله ی دوم ارزیابی افزایش کنترل افت صافی در سیمان D و هایدنسی و آب نمک اشباع ۳۰٪ می باشد. در دو فرمولاسیون اول در فرمولاسیون یک ته نشینی شدید در ویسکومتر و کانسیستومتر مشاهده شد. در فرمولاسیون دو ته نشینی بسیار شدید در کف ویسکومتر و دیواره ی کانسیستومتر مشاهده شد. به دلیل ته نشینی بسیار زیاد تست ها ادامه پیدا نکردند. با وجود تغییر فرمولاسیون افزایش نتیجه مناسب حاصل نشد عملکرد افزایش پراکنده ساز به نوع سیمان وابسته است. افزایش شاخص D167 در سیمان D هایدنسی سازگاری ندارد و عملکرد خود را از دست می دهد. جهت ادامه تست ها افزایش ی شاخص Halad413 انتخاب شد. فرمولاسیون ۲ با نتایج مورد نظر مورد تأیید می باشد. اندکی ته نشینی مشاهده شده در ویسکومتر به دلیل سنگینی هایدنس و عدم واکنش آن با سایر مواد موجود در دوغاب می باشد.

جدول ۴-۳۵ نتایج مرحله دوم ارزیابی FLC شاخص در آب نمک

TT [100 BC] (min) P:5000 psi		API FL (cc)		C S -24 Hours (psi) P: 3000 psi		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)		
T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T= 80 °F				
-	-	-	-	-	-	-	۸۹/۱۱	ژل	۱۴۸	۲۸	D167	۱
-	-	-	-	-	-	-	۹۲/۱۷	ژل	۱۴۹	۵۰		۲
-	۴۸	-	۹۵	-	-	-	۹۱/۶/۵	۱۹۲/۱۱	۱۴۹	۳۰		۳
-	-	-	۲۰	-	۰	-	۸۵/۱/۵	۱۸۴/۱۷	۱۵۰	۷۵	Halad413	۱
-	۳۱۵	-	۳۲	-	۳۰۵۳	-	۱۰۲/۰	۸۴/-۱/۵	۱۵۰	۲۰		۲

ب) ارزیابی افزایش‌های کنترل افت صافی بومی‌سازی شده در آب شور

جدول ۴-۳۶ مقادیر ترکیبات نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله اول ارزیابی را نشان می‌دهد

جدول ۴-۳۶ ترکیبات نمونه‌های بومی‌سازی شده در مرحله اول ارزیابی در آب نمک

آب (gal/sk)	CR450 (lb/sk)	نمک (lb/sk)	D800	اسید بوریک (lb/sk)	D-65 (lb/sk)	FLC (lb/sk)	سیمان D تهران (lb)	سیمان Gدلیجان (lb)		
۶/۴۹	-	۱۸/۲۶	۰/۲۲		۰/۸۸	۰/۵۵	-	۱۱۰	LT FLC-L	۱
۶/۴۹	-	۸/۱۴	۰/۲۲		۰/۸۸	۰/۵۵	-	۱۱۰		۲
۶/۴۹	-	۸/۱۴	۰/۲۷۵		۱/۱	۰/۷۷	-	۱۱۰		۳
۶/۲۳	-	۱۸/۲	-	۰/۲۲	۰/۴۴	۱/۱	-	۱۱۰	MT FLC-M	۱
۶/۲۳	-	۱۸/۲	-	۰/۲۲	۰/۸۸	۰/۶۶	-	۱۱۰		۲
۶/۳۵	۰/۴۴	۱۸/۲۶	-		۰/۴۴	۱/۳۲	-	۱۱۰	MT- FLC-U	۱
۶/۴۹	-	۱۸/۲۶	-	۰/۲۲	۰/۸۸	۱/۱	-	۱۱۰	HT FLC-J	۱
۶/۴۹	-	۸/۱۴	-	۰/۲۲	۱/۱	۱/۱	-	۱۱۰		۲
۶/۴۹	-	۷/۳۷	-	۰/۲۲	۱/۱	۰/۵	-	۱۱۰	HT FLC-R	۱
۶/۴۹	-	۷/۳۷	-	۰/۳۸۵	۱/۱	۰/۵	-	۱۱۰		۲
۶/۳۵	-	۱۸/۲۶	-	۰/۲۲	۰/۴۴	۱/۱	-	۱۱۰	HT FLC-S	۱
۶/۳۵	۰/۴۴	۱۸/۲۶	-	-	۰/۴۴	۱/۳۲	-	۱۱۰		۲
۶/۴۹	-	۱۸/۲۶	-	-	-	۱/۶۵	۱۱۰	-		۳
۶/۳۵	۰/۴۴	۱۸/۲۶	-	-	۰/۴۴	۱/۳۲	-	۱۱۰	HT FLC-V	۱

جدول ۴-۳۷ نتایج ارزیابی مرحله اول نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده در آب نمک را نشان می‌دهد.

فرمولاسیون یک و دو در افزایش LT FLC-L در مورد تمامی ترکیبات یکسان است تنها میزان اشباع آب نمک متفاوت می‌باشد. (۱۵٪ و ۳۳٪). نتایج هر دو فرمولاسیون ژل شدگی و خواص رئولوژیکی نامطلوب را ارائه می‌دهند. اگرچه دوغاب ۱۵٪ اشباع خواص رئولوژیکی بهتری دارد. هیچکدام از دوغاب‌ها افت صافی را کنترل نمی‌کنند. در فرمولاسیون ۳ با افزایش FLC و پراکنده ساز خواص رئولوژیکی بهبود می‌یابد ولی عدم کنترل افت صافی موجب رد کیفیت شدن افزایش می‌شود.

نمونه MT FLC-M در آب نمک کارایی ندارد زیرا ضمن تولید ژل بسیار غلیظ نمی‌تواند افت صافاب دوغاب سیمان را کنترل کند. ترکیب فرمولاسیون افزایه MT-FLC-U با توجه به فرمولاسیون ۲ آب شیرین طراحی شد. و به دلیل وجود نمک میزان پراکنده‌ساز کمتری به کار برده شد (زیرا نمک خاصیت پراکنده‌سازی دارد). نتایج نیز مشابه آب شیرین می‌باشد و مقدار خواص رئولوژیکی مطلوب نمی‌باشد و عملکرد آن برای استفاده در دوغاب سیمان قابل قبول نمی‌باشد. افزایه HT FLC-J در دمای بالا کاملاً به صورت ژل می‌باشد و با توجه به ترکیب سیستم آب شیرین آن امکان تغییر مقادیر موجود نمی‌باشد. این افزایه در سیستم‌های نمکی مردود اعلام شد. نتایج حاصل از به کار گیری افزایه HT FLC-R در سیستم آب نمک ۱۵ درصد در جدول نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل دوغاب مذکور در دمای گردشی ته چاهی 20°F فاقد کارایی بوده و کاملاً ژل گردیده است. با توجه به نتایج حاصل از آب شیرین در مرحله قبل امکان کاهش مصرف افزایه HT FLC-R و کم کردن میزان ژل‌شدگی وجود ندارد. این افزایه برای استفاده در سیستم‌های نمکی نامطلوب است و عملیات سیمان‌کاری را تهدید می‌کند. از نتایج حاصل از ارزیابی افزایه ی HT FLC-V به نظر می‌رسد این افزایه اثر کندگر را خنثی می‌کند و به دلیل کاهش زمان نیم‌بندش و مقاومت تراکمی پایین در دمای ۲۰۰ درجه فارنهایت مورد تأیید نمی‌باشد.

در فرمولاسیون اول ارزیابی HTR FLC-S عدم کنترل افت صافی مشاهده می‌شود. در فرمولاسیون بعدی با تعویض افزایه ی کندگر شاخص از اسید بوریک به CR-450 کنترل افت صافی اصلاح شد. و مشخص شد این افزایه با کندگر اسید بوریک سازگاری ندارد. نتایج به دست آمده مطلوب می‌باشند و این افزایه مطلوبیت استفاده در دوغاب سیمان را دارا می‌باشد در فرمولاسیون بعدی مطابق ارزیابی نمونه شاخص، جهت بررسی آمادگی استفاده از این افزایه در سیمان D هایدنسی، تنها از آب و سیمان و این افزایه استفاده شده است نتایج تطابق این افزایه را با ترکیب سیمان D و آب تأیید می‌کنند.

به عنوان نتیجه‌گیری این بخش می‌توان تنها افزایه ی HTR FLC-S را برای استفاده در دوغاب‌های آب شور

مناسب اعلام کرد

جدول ۴-۳۷ نتایج ارزیابی مرحله اول نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده در آب نمک

API FL (cc) P= 1000 p		TT (100BC) (min) T= 200 °F P= 5000 psi	CS 24 Hours (psi) P= 3000 psi		خواص رئولوژیکی (pv/yp)			زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	
T= 200 °F	T= 170 °F		T= 200 °F	T= 170 °F	T=200 °F	T=170 °F	T= 80 °F			
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۱۵	۱۳	
۲۶۹	-	-	-	-	-	-	۱۱۲/۱۴	۱۱۵	۲۰	LT FLC-L
۱۷۷	<۲۴۰	-	۵۳۰	-	-	۹۴/۱۶	۸۱/۱۰	۱۱۵	۱۰	
-	-	-	-	-	-	۱۷۲/۳۰	ژل	۱۱۸	۱۵	MT FLC-M
N C	-	-	-	-	-	ژل	ژل	۱۱۸	۲۰	
۵۵	-	-	۱۷۰۰	-	-	۳۴/۲/۵	۹۳/۹	۱۱۸	۱۵	MT FLC-U
-	-	-	-	-	-	کاملاً ژل	--	۹۸/۴۱	۱۶	HT FLC-J
-	-	-	-	-	-	کاملاً ژل	-	۱۰۸/۳	۱۵	
-	-	-	-	-	-	ژل	-	۱۵۴/۵/۱۵/۵	۲۸	HT FLC-R
-	-	-	-	-	-	ژل	-	-	۲۸	
۷۳۸	-	-	-	-	-	۶۱/۲۷	-	۴۸/۵/۵	۱۳	HT FLC-S
۴۶	-	-	۱۸۰۰	-	-	۱۷/۰/۵	-	۴۰/۳/۵	۱۵	
-	۴۸	-	-	۰	-	-	۲۴/-۱	۴۰/۵/۱/۵	۲۰	
۲۷	۳۶	-	۸۶	۲۷۵۷	-	۵۸/۴/۵	۹۵/۸	۱۱۴	۲۰	HT FLC-V

جدول ۳۸-۴ ترکیبات نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده در مرحله دوم جهت ارزیابی افزایش در آب شور و سیمان هایدنسی

سیمان D (lb)	FLC (lb/sk)	D-65 (lb/sk)	اسید بوریک (lb/sk)	نمک (lb/sk)	هایدنس (gal/sk)	آب (gal/sk)
۱۱۰	۱/۳۲	۰/۸۸	۰/۲۷۵۵	۱۵/۸۴	۷۰/۴	۶/۳۵
HT FLC-S						

جدول ۳۹-۴ نتایج مرحله دوم ارزیابی نمونه‌های FLC بومی‌سازی شده

زمان میکس (sec)	دانسیته دوغاب (PCF)	خواص رئولوژیکی (pv/yp)			CS 24 Hours (psi) P= 3000 psi		TT (100BC) (min)	API F L (cc) P= 1000 psi		HT FLC-S
		T=200 oF	T=170 oF	T= 80 oF	T= 200 oF	T= 170 oF		T= 200 oF P= 5000 psi	T= 170 oF	
۷۰	۱۵۰	۱۰۸/۶	۲۶۴/۹	-	-	۰	-	-	۱۶	-

با توجه به اینکه در مرحله قبل تنها یک افزایش در آب نمک مورد تأیید قرار گرفت. در این مرحله فقط همان افزایش مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش مورد نظر با وجود افت صافی مناسب در ۲۴ ساعت مقاومت نگرفته است. این افزایش مورد تأیید نمی‌باشد.

۴-۴ ارزیابی افزایش پراکنده‌ساز

ارزیابی پراکنده‌ساز بر اساس سیستم آب مورد استفاده صورت گرفته است.

۱-۴-۴ معرفی نمونه شاخص

نمونه شاخص D65 با اکثر افزایش‌های سیمان کاری سازگاری دارد و قابلیت استفاده در آب نمک تا حد اشباع را دارد ولی با افزایش غلظت نمک موجود در دوغاب مقدار پراکنده‌ساز بیشتری نسبت به آب شیرین مورد نیاز است. D65 معمولاً به صورت ترکیب خشک با پودر سیمان در دوغاب میکس می‌شود ولی در صورت نیاز می‌تواند به صورت مستقیم به محلول اضافه شود. این افزایش یک اثر کند کنندگی روی دوغاب سیمان دارد و ممکن است در صورت استفاده در غلظت‌های بالا ته نشینی ذرات سیمان مشاهده شود. D65 به کنترل افت

صافی کمک می‌کند. و استفاده از آن در دوغاب های حاوی FLC سودمند می‌باشد.

مقدار مصرف افزایه D65 به کاربرد آن و نوع سیمان مورد استفاده بستگی دارد. سیمان‌هایی که به راحتی پراکنده می‌شوند مقادیر کمتر و سیمان‌هایی که پراکنده‌سازی آن‌ها دشوارتر است مقادیر بیشتری نیاز دارند. غلظت D65 باید با دقت طراحی شود زیرا مقادیر زیاد آن منجر به بیش پراکندگی می‌شود. ذرات اضافی حاصل از پدیده ی بیش پراکندگی ته‌نشین می‌شوند و منجر به آب آزاد اضافی می‌گردند. در مواردی که بیش پراکندگی دوغاب مسئله‌ساز است می‌توان از افزایه D604M به جای D65 استفاده کرد. همچنین استفاده از افزایه ضد رسوب D153 یک راه حل مناسب می‌باشد. به دلیل اینکه D65 ویسکوزیته دوغاب را کاهش می‌دهد. چک کردن دانسیته دوغاب از روی ظاهر دوغاب کار خطرناکی می‌باشد و کنترل کردن دانسیته دوغاب کاملاً ضروری می‌باشد. برای سیمان G دایکرهاف (که خاصیت ژل شدگی ندارد) مقدار ۳/۰٪ D65 مورد نیاز است. در حالی که برای سیمان G ایتالسمنتی (که خاصیت ژل شدگی دارد) ۶/۰٪ D65 استفاده می‌شود.

۴-۴-۲ ارزیابی افزایه پراکنده‌ساز در آب شیرین

به دلیل ذرات باردار موجود در پراکنده‌ساز، اعمال دما تأثیر چندانی روی عملکرد افزایه نمی‌گذارد و طبقه-بندی افزایه‌های پراکنده‌ساز بر اساس نوع آب موجود در دوغاب و میزان نمک موجود می‌باشد. همچنین باردار بودن این ذرات به بازه مصرف این افزایه اهمیت زیادی بخشیده است. زیرا در هر دو حالت بیشتر و یا کمتر از این بازه، کلوییدی شدن ذرات و ته نشینی آن‌ها مشاهده خواهد شد. به همین منظور در برنامه ارزیابی این افزایه تنها از سیمان و آب استفاده شد تا اثر سایر افزایه ها حذف گردد و بازه عملکرد افزایه به دست آید.

جدول ۴-۴۰ روش ارائه شده جهت ارزیابی پراکنده ساز آب شیرین

آب (gal/sk)		
۵/۸۳	۰/۲۲	۱۱۰
۵/۸۳	۰/۳۳	۱۱۰

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن‌ها

در جدول ۴-۴۱ نتایج ارزیابی D-65 ارائه شده است. لازم است به این نکته توجه داشت که با افزایش دما مقدار رئولوژی اندکی افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصله، عملکرد نمونه شاخص در ترکیب دوغاب سیمان حاوی آب شیرین کاملاً رضایت بخش می‌باشد و روش ارائه شده مورد تأیید قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۴۱ نتایج ارزیابی D-65 در آب شیرین

24 Hours CS (psi) T= 125 °F P= ATM	TT (100BC) (min) T= 125 °F P= 5160 psi	خواص رئولوژیکی (pv/yp)		دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	
		T=95 °F	T= 80 °F			
۳۶۲۵	۱۱۸	۴۱/۲۱	۳۷/۱۴	۱۱۹	۸	۱
۳۶۶۶	۹۵	۲۶/۶	۲۲/۰/۵	۱۱۹	۱۲	۲

ب) ارزیابی نمونه‌های پراکنده ساز بومی شده در آب شیرین

ترکیبات ارزیابی نمونه‌های بومی سازی شده مشابه روش ارائه شده ولی با مقادیر کمی متفاوت می‌باشد که در جدول ۴-۴۲ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۴-۴۳ مشاهده می‌شود پراکنده ساز ۱۲۶۳ به مقدار غلظت بسیار حساس است. از آنجا که دقت اندازه‌گیری وزنی در شرایط میدانی نسبت به شرایط آزمایشگاهی پایین‌تر است. با وجود فراهم کردن مقاومت تراکمی مناسب استفاده از چنین افزایش‌های بسیار خطرناک می‌باشد. و این افزایش مورد تأیید قرار نمی‌گیرد. مقدار مناسب افزایش ۱۲۶۵ در سیمان G دلیجان حدوداً ۰/۳۳ پوند بر کیسه است که شرایط ایده‌آل را فراهم می‌کند با توجه به جدول ۴-۴۳ این افزایش از نظر عملکرد مورد تأیید می‌باشد.

جدول ۴-۴۲- ترکیبات نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده و ارزیابی آن‌ها در آب شیرین

آب	س پراکنده‌ساز	(lb)	(lb/sk)	(gal/sk)
۱	۱۱۰	۰/۱	۵/۷۲	
۲	۱۲۶۳	۱۱۰	۰/۲	۵/۶۳
۳		۱۱۰	۰/۱۳	۵/۶۳
۱	۱۲۶۵	۱۱۰	۰/۲۲	۵/۸۳
۲		۱۱۰	۰/۳۳	۵/۸۳
۱	۱۲۶۶	۱۱۰	۰/۲۲	۵/۸۳
۲		۱۱۰	۰/۲۲	۵/۸۳
۳	۱۲۶۷	۱۱۰	۰/۳۳	۵/۸۳

جدول ۴-۴۳- نتایج ارزیابی نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب شیرین

CS 24 Hours (psi) T: 125 °F P: ATM	T T (۱۰۰ BC) (min) T: 125 °F P: 5160 psi	خواص رئولوژیکی (pv/yp)		دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	
		T=95 °F	T= 80 °F			
-	-	۴۳/۳۷	۵۷/۱۴	۱۱۸	۱۰	۱
-	-	-	۲۳/-۲	۱۱۹	۱۰	۱۲۶۳ ۲
۳۰۴۰	-	۶۲/-۸	۲۷/۰	۱۱۹	۱۲	۳
-	-	۲۰/-۶	۱۷/۰	۱۱۹	۱۰	۱
۱۸۱۲	۱۳۴	۱۷/۵	۱۰/۰	۱۱۹	۱۰	۱۲۶۵ ۲
۸۱۰	-	۳۵/۱۹	۳۳/۵	۱۱۹	۱۲	۱۲۶۶ ۱
-	-	۶۹/۹	۲۶/۲,۵	۱۱۹	۱۰	۱۲۶۷ ۲
۱۶۲۵	۴۵	۳۶/۶	۲۳/۲,۵	+۱۱۹	۱۰	۳

افزایه ۱۲۶۶ از لحاظ خواص رئولوژیکی شرایط مناسبی را فراهم می‌کند ولی مقاومت تراکمی ایجاد شده با حضور این افزایه نسبت به نمونه شاخص بسیار پایین است و به علت تأثیر مخرب، این افزایه مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد. با توجه به جدول ۴-۴۳ به نظر می‌رسد افزایه ۱۲۶۷ از نوع لیگنوسولفانات بوده زیرا با توجه به زمان نیم‌بندش ۴۵ دقیقه‌ای خاصیت کندکنندگی زیادی دارا می‌باشد و کیفیت مطلوبی ندارد.

۴-۴-۳ ارزیابی پراکنده ساز در آب نمک

با توجه به وابستگی عملکرد پراکنده ساز به نوع سیمان در ارزیابی این افزایه از دو نوع سیمان G و D استفاده شده است. در فرمولاسیون یک تنها از ترکیب افزایه و آب و نمک و سیمان استفاده شده است. به دلیل مشاهده ی ژل شدگی مقدار پراکنده ساز افزایش پیدا کرد. در فرمولاسیون ۳، پراکنده ساز در آب نمک و سیمان D مورد ارزیابی قرار می گیرد. به دلیل خاصیت ژل شدگی در سیمان G میزان پراکنده ساز در آن دو برابر سیمان D می باشد. در فرمولاسیون ۴ افزایه در سیمان D هایدنسی و آب نمک اشباع ارزیابی می گردد.

جدول ۴-۴ فرمولاسیون سیمان جهت ارزیابی پراکنده ساز در آب نمک اشباع

آب (gal/sk)	نمک (lb/sk)	اسید بوریک (lb/sk)	هایدنس (lb/sk)	پراکنده ساز (lb/sk)	۱ (lb)	۲ (lb)	۳ (lb)
۵/۴۳	۱۵/۴	-	-	۱/۱	-	۱۱۰	۱
۵/۴۳	۱۵/۴	-	-	۱/۶۵	-	۱۱۰	۲
۵/۴۳	۱۵/۴	-	-	۰/۵۵	۱۱۰	-	۳
۵/۶۹	۱۵/۷۳	۰/۱۱	۷۳/۴۸	۰/۵۵	۱۱۰	-	۴

الف) نتایج نمونه شاخص و تحلیل آن ها

نمونه شاخص D65 در دوغاب های شماره ۱ و ۲ که با سیمان کلاس G برنامه شده اند عملکرد خوبی ندارد و دوغاب دارای ژل نسبتاً زیادی است. بنابراین آزمایش مقاومت تراکمی آن ها انجام نگردید. این نمونه همچنین در سیمان کلاس D و دوغاب شماره ۳ در دمای بالاتر (۱۶۵ درجه فارنهایت) مقاومت تراکمی برابر با ۲۳۰۹ پوند بر اینچ مربع از خود نشان می دهد که با توجه به وزن و دمای آزمایش میزان مناسبی می باشد. دوغاب شماره ۴ ترکیب سیمان سنگین وزن با استفاده از سیمان کلاس D در دمای بالاتر را نشان می دهد که در این سیستم دوغاب، عملکرد نمونه شاخص قابل قبول بوده است.

جدول ۴-۴۵ نتایج ارزیابی D-65 در آب نمک اشباع

CS 24 Hours (psi)		خواص رئولوژیکی (pv/yp)				دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)	
T: 165 °F P: 3000 psi	T: 125 °F P: ATM	T= 165 °F	T=125 °F	T=95 °F	T= 80 °F			
-	-	-	-	-	۵۲/۲۸	۱۲۳	۱۲	۱
-	-	-	-	-	ژل	۱۲۳	۲۰	۲
۲۳۰۹	-	۲۹/۴	-	-	۳۶/-۱	۱۲۴	۱۲	۳
۲۸۴۲	-	۷۲/۱۵	-	-	۱۱۶/۵	۱۵۲	۳۵	۴

(ب) ارزیابی نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب نمک

مطابق جدول ۴-۴۷، می‌توان گفت که پراکنده‌ساز ۱۲۶۳ در آب نمک ۴٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌گونه که در مورد افزایش ۱۲۶۳ مشاهده می‌شود. دما تأثیر چندانی بر روی عملکرد پراکنده‌ساز نمی‌گذارد. در نتایج جدول ۴-۴۷ خواص رئولوژیکی و مقاومت تراکمی مناسبی مشاهده شده‌اند و بیانگر عملکرد مطلوب این افزایش می‌باشد. این افزایش جهت کاربرد در آب دریا از نظر کیفی مورد تأیید است.

پراکنده‌ساز ۱۲۶۴ در آب نمک ۳۵٪ (آب نمک اشباع) مورد ارزیابی قرار گرفته است. از آنجا که عملکرد پراکنده‌ساز به نوع سیمان حساس است. در فرمولاسیون اول ارزیابی با سیمان G و lb/sk ۱/۱ پراکنده‌ساز خواص رئولوژیکی مطلوبی مشاهده نشد. از آنجا که مقدار پراکنده‌ساز هم زیاد است و امکان افزایش بیشتر وجود ندارد این افزایش قدرت پراکنده‌سازی کافی برای عملکرد در سیمان G را دارا نمی‌باشد. در مرحله بعد این احتمال داده شد که خواص رئولوژیکی نامطلوب مربوط به مقدار زیاد پراکنده‌ساز باشد لذا مقدار پراکنده‌ساز به نصف کاهش پیدا کرد این افزایش به همراه هایدنس در سیمان D مورد ارزیابی قرار گرفته است و از کندگر شاخص اسیدبوریک به منظور اثر پراکنده‌سازی مختصر آن نیز استفاده شده است. در این فرمولاسیون نیز عملکرد رئولوژیکی مناسبی مشاهده نشد. در فرمولاسیون بعد با کاهش میزان

دیسپرست ته نشینی به شدت افزایش پیدا کرد. به طوری که در ترازوی گل دانسیته طراحی شده برای دوغاب سیمان به دست نیامد.

در ارزیابی ۱۲۶۵ در آب نمک اشباع، در سیمان G با مقدار ۱/۱ lb/sk خواص رئولوژیکی و مقاومت تراکمی مطلوبی مشاهده شد. در سیمان D که خاصیت ژل شدگی ندارد مقدار پراکنده ساز کاهش یافته است. نتایج حاصل از فرمولاسیون ۲ مطلوب می باشند. در فرمولاسیون ۳ کاربرد افزایش در سیمان هایدنسی بررسی می شود و با وجود اندکی ته نشینی (که در مورد سیمان های هایدنسی طبیعی هستند) خواص رئولوژیکی نسبتاً مناسبی دارد. ولی قدرت پراکنده سازی این افزایش زیاد است و در سیمان D هایدنسی بعد از ۲۴ ساعت مقاومت گیری نشده است. به طور کلی می توان گفت این پراکنده ساز در آب شور و سیمان G و سیمان D کاربرد دارد.

فرمولاسیون یک، ارزیابی پراکنده ساز ۱۲۶۶ در آب نمک اشباع در سیمان G را نشان می دهد. خواص رئولوژیکی مطلوب به دست آمدند ولی به دلیل خاصیت پراکنده سازی زیاد ۱۲۶۶ دوغاب بعد از ۲۴ ساعت مقاومت صفر را دارا بود. در فرمولاسیون بعدی مقدار پراکنده ساز به بیشتر از نصف کاهش پیدا کرد و مقاومت ۱۱۸۳ psi به دست آمد. در فرمولاسیون ۳ افزایش در سیمان D و آب نمک اشباع مورد ارزیابی قرار گرفت و عملکرد مناسبی از خود نشان داد. در فرمولاسیون ۴ کاربرد افزایش در سیمان D هایدنسی ته نشینی و مقدار نقطه واروی بالایی را نشان می دهد. این افزایش در سیمان D و آب نمک اشباع کاربرد دارد.

نتایج ارزیابی پراکنده ساز ۱۲۶۷ نشان می دهد استفاده از این افزایش در سیمان G خواص رئولوژیکی مطلوب ولی مقاومت تراکمی صفر را نشان می دهد. در مورد سیمان D نیز همین نتیجه مشاهده می شود. ولی در سیمان D هایدنسی با کاهش میزان پراکنده ساز به مقاومت تراکمی قابل توجهی (۴۰۱۵ psi) دست یافته شد. سازگاری پراکنده ساز ۱۲۶۸ با سیمان G در جدول قابل مشاهده می باشد. مشکل ته نشینی در سیمان D و سیمان D هایدنسی با کاهش پراکنده ساز مرتفع گردید و عملکرد مناسب این افزایش در هر دو مورد تأیید می باشد. این افزایش جهت استفاده در سیستم نمکی سیمان G، سیمان D و سیمان D هایدنسی مناسب

است.

جدول ۴-۴۶ فرمولاسیون ارزیابی پراکنده ساز بومی شده در آب نمک

سیمان D تهران (lb)	سیمان G دلیجان (lb)	پراکنده ساز (gal/sk)	هایدنس (lb/sk)	اسید بوریک (lb/sk)	نمک (lb/sk)	آب (gal/sk)
۱۱۰	-	۰/۱۳	-	-	۲/۰۲	۶/۰۹
۱۱۰	-	۰/۵۵	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۵۶
۱۱۰	-	۰/۲۲	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۵۶
-	۱۱۰	۱/۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
-	۱۱۰	۱/۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۱۶۵	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۲۷۵	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹
-	۱۱۰	۱/۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
-	۱۱۰	۰/۳۳	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۱۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۱۱	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹
-	۱۱۰	۱/۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
-	۱۱۰	۰/۵۵	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۵۵	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹
۱۱۰	-	۰/۳۳	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹
-	۱۱۰	۱/۱	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
-	۱۱۰	۱/۶۵	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۵۵	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۳۳	-	-	۱۵/۴	۵/۴۳
۱۱۰	-	۰/۵۵	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹
۱۱۰	-	۱۰/۳۲	۷۳/۴۸	۰/۱۱	۱۵/۷۳	۵/۶۹

جدول ۴-۴۷ نتایج ارزیابی نمونه‌های پراکنده‌ساز بومی‌سازی شده در آب نمک

CS 24 Hours (psi)			خواص رئولوژیکی (pv/yp)				دانسیته دوغاب (PCF)	زمان میکس (sec)		
T= 165 °F P: 3000 Psi	T= 165 °F P: ATM	T= 125 °F P: ATM	T=165 °F	T=125 °F	T=95 °F	T= 80 °F				
-	-	۳۰۱۶	-	-	۳۰/۲۳	۲۷/۲	۱۱۸	۱۲	۱۲۶۳	۱
-	-	-	-	-	-	۴۸/۳۲	۱۵۲	۲۰	۱۲۶۴	۱
۳۰۴۵	-	-	-	-	-	۱۳۲/۵	+۱۵۱	۲۰		۲
-	-	۲۵۴۰	-	-	۵۳/۱/۵	۴۰/-۲	۱۲۵	۱۲		۳
-	-	۲۱۶۶	-	-	ژل	۵۷/۳	۱۲۳	۱۰	۱۲۶۵	۱
-	۲۰۶۳	-	-	-	-	۴۶/-۰/۵	۱۲۴	۱۲		۲
۱۵۷	-	-	-	-	-	۱۲۱/-۱/۵	۱۵۲	۱۴		۳
-	-	۰	-	۳۹/۲	-	۴۹/۵/۳/۵	+۱۲۳	۱۳	۱۲۶۶	۱
-		۱۱۸۳	-	۳۶/۳	-	۳۳/۴	۱۲۵	۱۰		۲
-	۱۶۰۰	-	-	۲۴/-۱/۵	-	۲۴/-۱/۵	۱۲۴	۱۸		۳
۰	-	-	۹۰/-۵	-	-	-	+۱۵۱	۱۵		۴
-	-	۰	-	۲۹/۲/۵	-	۴۶/۴/۵	+۱۲۴	۱۲	۱۲۶۷	۱
-	۰	-	۱۸/۱	-	-	۴۱/۲	۱۲۵	۱۰		۲
۰	-	-	۶۴/-۴	-	-	۱۰۰/۸/۵	+۱۵۱	۲۰		۳
۴۰۱۵	-	-	۵۷/۲	-	-	۱۱۰/۲/۵	+۱۵۲	۱۵		۴
-	-	-	-	ژل	-	۳۳/۴/۳/۵	+۱۲۳	۱۴	۱۲۶۸	۱
-	-	۳۴۵۹	-	۶۶/۷۵/۱۹/۲۵	-	۳۴/۵/۱/۵	+۱۲۳	۱۰		۲
-	-	-	۳۲/۲۵/۱/۷۵	-	-	۳۸/۲۵/-۱/۲۵	+۱۲۳	۱۳		۳
۲۷۵۰	-	-	۳۳/۴	-	-	۳۳/۷۵/۱/۲۵	+۱۲۳	۱۰		۴
۵۰		-	۶۹/۷۵/۳/۷۵	-	-	۸۷/۷۵/-۱/۷۵	+۱۵۰	۱۳		۵
۳۱۷۰		-	۱۰۴/۲۵/۹/۷۵	-	-	۱۳۱/۲۵/۴/۷۵	+۱۵۰	۲۰		۶

۴-۵ جمع‌بندی

به دلیل نیاز مبرم صنعت سیمان کاری به افزایش‌های خارجی ۹ این افزایش‌ها به قیمتی بیشتر از قیمت واقعی تهیه می‌شوند. در صورت استفاده از افزایش‌های بومی سازی شده قیمت تهیه مواد عملیات سیمان کاری به یک سوم کاهش پیدا می‌کند. به دلیل شرایط زمین‌شناسی خاص ایران، چاه‌های ایران بازه دمایی و فشاری خاص خود را دارا می‌باشند. استفاده از افزایش‌های بومی‌سازی شده نه تنها قیمت تهیه اقتصادی‌تری دارند بلکه به دلیل تطابق بیشتر این افزایش‌ها با شرایط چاه‌های نفت و گاز ایران، هزینه‌های ناشی از شکست عملیات سیمان کاری همچون هدر رفتن سیمان، اجاره‌ی دکل، نیروی انسانی، عملیات اصلاحی سیمان کاری و... کاهش پیدا می‌کنند

روش ارزیابی عملکرد سه قلم افزایش سیمان حفاری شامل کندگر، کنترل کننده افت صافی و پراکنده‌ساز با هدف تولید نیمه صنعتی و صنعتی آن‌ها از نتایج فاز مطالعاتی این فصل می‌باشد. این روش شامل چند مرحله آزمایشی است که زمان هر آزمایش و شرایط آن مشخص است. در این روش همچنین پارامترهای اصلی و جانبی هر افزایش معین می‌گردد و در نهایت شرایط شکست یا موفقیت افزایش از لحاظ کیفی ارائه می‌گردد. روش ارائه شده به کمک نتایج به دست آمده از افزایش‌های شاخص D800، R5، R8، D167، Halad9، Halad413 و D65 تأیید شده سپس افزایش‌های بومی سازی شده توسط آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرند در نهایت با نمونه شاخص مقایسه می‌شوند. در این فرآیند، کندگرهای LTR-B، MTR-E و HTR-G مورد تایید قرار گرفتند. در ارزیابی پراکنده‌سازهای بومی سازی شده افزایش‌های ۱۲۶۳، ۱۲۶۵ و ۱۲۶۶ جهت کاربرد در سیمان G و D، ۱۲۶۷ جهت کاربرد در سیمان هایدنسی و ۱۲۶۸ در تمامی حالات مطلوب شناخته شدند. افزایش‌های کنترل کننده افت صافی LTR-B، LT FLC-M، MT FLC-M (در صورت اصلاح خواص رئولوژیکی)، MT FLC-I، HT FLC-J و HT FLC-R و HT FLC-S در فاز اولیه برای تولید نیمه‌صنعتی به فاز بعدی تولید راه پیدا کردند.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ مقدمه

۲-۵ نتیجه گیری

۳-۵ پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

در این فصل مباحثی که در این پژوهش مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت جمع‌بندی شده و نتیجه‌گیری کلی توضیح داده می‌شود. سوالات مطرح شده در پژوهش به طور خلاصه در این بخش پاسخ داده می‌شوند و یافته‌های حین آزمایش‌ها و آنالیز نتایج بیان می‌گردد. همچنین سوالات و کارهایی که می‌توانند در آینده در ادامه این مطالعه مورد بررسی قرار بگیرند شرح داده می‌شوند.

۵-۲ نتیجه‌گیری

- طبقه‌بندی کندرها بر اساس دمای چرخشی چاه مورد نظر برای سیمان‌کاری می‌باشند و BHCT یکی از پارامترهای اصلی در ارزیابی عملکرد کندگر می‌باشد.
- تست‌های مورد نیاز برای ارزیابی یک کندگر تست زمان میکس، زمان نیم‌بندش و مقاومت تراکمی می‌باشند.
- ارزیابی کندگر در دمای پایین در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله ی اول شامل تست در سیمان G و آب در دمای ۱۲۵ درجه ی فارنهایت و مرحله ی دوم، بکارگیری آن در فرمولاسیون‌های دوغاب‌های سیمان سبک وزن حاوی بنتونیت و آب دریا جهت استفاده از افزایه در سیمان بنتونیتی می‌باشد. با استفاده از این روش دو افزایه بومی‌سازی شده LTR-A و LTR-B مورد ارزیابی قرار گرفتند و افزایه ی LTR-B در مرحله اول در صورت اصلاح خواص رئولوژیکی عملکرد مشابهی با نمونه شاخص دارد در مرحله دوم عدم سازگاری افزایه LTR-B با بنتونیت و نمک مشاهده شد.
- در ارزیابی کندگر دما متوسط روشی مشابه با ارزیابی شرکت داول شلومبرژه ارائه شد و کندگر MTR-E به عنوان کندگر دما متوسط مورد تأیید قرار گرفت.

- در ارزیابی کندگر دما بالا ابتدا افزایش در سیمان خالص در دمای ۲۱۵ درجه فارنهایت مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس در سیمان به همراه آرد سیلیکا و کنترل افت صافی در دمای ۲۷۰ درجه فارنهایت بررسی شد. در مرحله بعد سازگاری با افزایش پراکنده ساز در دمای ۲۲۵ درجه فارنهایت کنترل شد. در مرحله آخر نمونه در سیمان خالص با سیستم آب نمک در دمای ۲۱۵ درجه فارنهایت تست شد. افزایش HTR-G بومی به عنوان افزایش کندگر دما بالای آب شیرین مورد تأیید معرفی شد.
- طبقه بندی افزایش های کنترل کننده افت صافی بر اساس دمای عملکرد و سیستم آب می باشد. در این پژوهش طبقه بندی بر اساس سیستم آب صورت گرفته است.
- به دلیل پلیمری بودن ساختار FLC و تأثیر گذاشتن آن روی تمامی واکنش ها و در نتیجه خواص سیمان، تست های مورد نیاز در ارزیابی افزایش کنترل افت صافی عبارتند از: زمان میکس اولیه، وزن دوغاب، خصوصیات رئولوژیکی، افت صافی API، زمان نیم بندش و مقاومت تراکمی
- ارزیابی افزایش کنترل کننده افت صافی در آب شیرین با حضور کندگر و پراکنده ساز شاخص صورت پذیرفت. افزایش های L- FLC، MT FLC-M، (در صورت اصلاح خواص رئولوژیکی)، MT FLC-I، HT FLC-J و HT FLC-R در فاز اولیه تولید مورد تأیید قرار گرفتند.
- ارزیابی افزایش کنترل کننده افت صافی در آب نمک، سیمان D و G کندگر و پراکنده ساز انجام شد. و افزایش بومی سازی شده HT FLC-S کیفیت لازم را نشان داد
- طبقه بندی پراکنده ساز تنها بر اساس سیستم آب می باشد و دمای ته چاهی عملکرد آن را چندان تحت تأثیر قرار نمی دهد. ارزیابی این افزایش در سیستم آب شیرین تنها در سیمان خالص انجام گرفت. و افزایش های ۱۲۶۶، ۱۲۶۵ و ۱۲۶۷ برای کاربرد در دوغاب آب شیرین

مناسب به نظر رسیدند. نمونه ی ۱۲۶۵ به تولید پایلوت رسید.

- در ارزیابی پراکنده ساز در سیستم آب شور در مرحله اول از ترکیب افزایه با سیمان G و سیمان D و در نهایت استفاده از پراکنده ساز در فرمولاسیون سیمان D هایدنسی و آب نمک اشباع استفاده شده است. در ارزیابی پراکنده سازهای بومی سازی شده افزایه های ۱۲۶۳، ۱۲۶۵ و ۱۲۶۶ جهت کاربرد در سیمان G و D، ۱۲۶۷ جهت کاربرد در سیمان هایدنسی و ۱۲۶۸ در تمامی حالات مطلوب شناخته شدند.
- سازگاری افزایه ها با هم و دقت به خواص آنها قبل از استفاده در فرمولاسیون بسیار مهم می باشد. برخی از افزایه ها چند منظوره هستند و اگرچه با یک عملکرد اصلی معرفی می شوند ولی تأثیرات دیگری نیز می توانند داشته باشند. در این مورد به طور کلی می توان گفت افزایه کندگر به فرآیند پخش کنندگی کمک می کند ولی ممکن است مانع از عملکرد صحیح افزایه کنترل افت صافی شود. افزایه پراکنده ساز نیز به فرآیند کندکنندگی و کنترل افت صافی کمک می کند. افزایه کنترل افت صافی رئولوژی دوغاب سیمان را افزایش می دهد و سازگاری آن با افزایه کندگر حتماً باید مورد آزمایش قرار بگیرد.

۳-۵ پیشنهادات

- پارامترهای زیادی در بررسی افزایه های سیمان حفاری تأثیر دارند، یکی از این پارامترها ترکیب شیمیایی افزایه مورد نظر است که در این مطالعه لحاظ نشده است، ارائه متدولوژی کنترل کیفیت، بر اساس طبقه بندی افزایه ها، که در فصل دوم همین پایان نامه بررسی شده، در مطالعات بعدی باعث ارتقای دقت و کارایی بیشتر روش می شود.
- از آنجایی که افزایه های بومی سازی شده جایگزین افزایه های شاخص می شوند برای استفاده

همزمان آن‌ها در فرمولاسیون سیمان لازم است سازگاری افزایش‌های بومی‌سازی شده مورد تأیید، (LTR B، LT FLC-L و ۱۲۶۵)، (MTR E، MT FLC-M، MT FLC-I و ۱۲۶۵)، (HTR G، HT FLC-R، HT FLC-J، HT FLC-S، ۱۲۶۵ و ۱۲۶۸)، ابتدا به صورت دوجه‌دو سپس با هم در فرمولاسیون دوغاب امتحان شود.

- دستگاه فیلتر پرس استاتیکی میزان افت صافی را هنگامی که دوغاب پشت لوله جداری قرار می‌گیرد و ساکن می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. در فازهای بعدی و نهایی افزایش‌ها برای اندازه‌گیری مقدار افت صافی، بهتر است هرزروی سیال دوغاب حین پمپاژ سیمان توسط دستگاه فیلتر پرس دینامیکی محاسبه شود.

منابع

- سلطانیان ح.، مرتضوی خ. و مجتهدی ج.، (۱۳۹۰) " مبانی مهندسی سیمان کاری چاه‌های نفت و گاز". جلد اول، چاپ دوم، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت ایران، ۱۶، ۱۱۲، ۲۳۳، ۲۴۱.

لبیب زاده م. و ذهبی زاده ب.، (۱۳۹۰) "بررسی تغییرات مقاومت فشاری سیمان چاه‌های نفت و گاز تحت اثر تغییرات دما و فشار درون چاه کامل"، ششمین کنگره ملی مهندس عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

ولی الله بیشه ب. و بهفر ر.، (۱۳۸۹) " اثر FLC در بهبود سیمان چاه نفت"، سیمان، شماره ۱۵۳، دوره ۱۷: ص ۲۹.

Al-Yami, A. S., Aramco, S. (2015) "An Overview of Different Chemicals Used Oil and Gas Wells", **SPE-175259-MS**.

Andersen, P. J. (1986) " The Effect of Superplasticizers and Air-Entraining Agents on the Zeta Potential of Cement Particles" **Cem. Concr. Res.**, 197, pp 688.

API. (1997). "**RPI 10B Recommended Practice for Testing Cement Wells**" Washington DC, API.

Bakchoutov, V. S., Al-Vardi, K. H., Pin-Khoan, T., Nikolaeva, M. K. (1980). "Study of the Grain Composition of OilWell Cements". Proc. Seventh Intl. Cong. Chem. cement, 5, pp.203.

Baret, J. F. (1988). "Dispersants and Antisettling Arriesgent for Oilwell cement slurries". **R.Soc.Chem**, 67, pp.57-61.

Barnes, P. (1983). **Structure and Performance of cements**. Applied Science Publishers Ltd, vol 1, pp 55-80.

Barret, P., Bertrandie, D. (1980). " Fundamental Hydration Kinetic Features of the Major Cement Constituents: Tricalcium Silicate (Ca_2SiO_5) and Beta-DicalciumSilicate (BCa_2SiO_4)". **Chim. Phys**, 83, pp 765-775.

Bensted, J. (1993). A Simple Retarder Response Test for Oilwell cemens at High Temperature., **Cem. Concr. Res**, 23, pp 1245-1249.

- Bensted, J., BP Intl. Ltd., (1991). "Retardation of Cement Slurries to 250 °F", **SPE** 23073, pp 379.
- Biagini, S., Ferrari, G., Maniscalco, V., Casolaro, M., Tanzi, M. C., Rusconi, L. (1982). "Sulfonated Polystyrene as Superplasticizer cement", **Cem. Concr. Res.**, 168 pp 345-354.
- Binkley, G. W., Dumbauld, G. K., Collins, R. E. (1957) "Factors Affecting the Rate of Deposition of Cement in Unfractured Perforations During Squeeze-cementing Operations". **SPE** 891-G, 213, pp 51-58
- Blanke, B., Rossington, D. R., Weinland, L. A. (1963). "Adsorption of Admixtures on Portland Cement". **J. Amer. Ceramic Soc.**, 46, pp 395-399.
- Bruere, G. M. (1966). "Set-Retarding Effects of Sugars in Portland Cement Pastes". **Nature**, 212, pp 502-503.
- Burge, T. (1978). "*Additive for Mortar and Concrete*". U.S. Patent No. 4,069,062.
- Childs, J. D., Brothers, L. E., Taylor, M. J. (1984). "Method of Preparing a Lightweight Cement Composition from Sea water" U.S. Patent No. 4,450,009.
- Christian, W. W., Chatterji, J., Ostroot, G. W. (1976). "Gas Leakage in Primary cementing-A Field Study and Laboratory Investigation" **SPE-5517-PA**, vol 28, pp 1361-1369.
- Cob, A. (1986). "Improved Analysis Techniques Quantitatively Determine Critical Organic Additives Simultaneously In Cement Blends". **PETSOC**, 86, pp 37-48.
- Cobb, J. A., Pace, R. S. (1985). "Elements Affecting the Thickening Time of a Cement Blend". **SPE** 14195, ATCE, 22-26 September, Las Vegas, Nevada
- Cutforth, H. G. (1949). "Low Water-Loss Cement Slurries and Method of Cementing a Well it". U.S. Patent No. 2,598,675.
- Dahab, A. S., Omar, A. E. (1989). "Rheology and Stability of Saudi Cement for Oil Well Cementing". **J. King Saud Univ.**, vol 1, (1,2), 273-286.
- Defosse, C. (1985). "Cement Slurry Compositions for Cementing Oil Wells. Adapted to Control Free Water and Corresponding Cementing Process" French Patent, No. 2, 540, 097
- Derham, K. W., Goldsbrough, J., Gordon, M. (1974). "Pulse-Induced Critical Scattering {PICS} from Polymer Solutions" **Pure and Appl. Chem.**, 38, pp 97-115.
- Detroit, W. J. "*Lignosulfonate Derivatives*" U.S. Patent No. 4,219,471.
- Double, D. D. (1983). "New Developments in Understanding the Chemistry of Cement

Hydration". **Trans.Royal Soc.**, vol510, pp 1511-1520

DS. (1991) "Cementing Materials Manual, Retarde D800", Section 11.C.1, pp.1-5.

Einstein, A. (1926). "**Investigation on Theory of Brownian Movement**" Vol. 1, Dover Publications, pp 15

Eoff, L. S., Baker Performance Chemicals, Inc., Doug Buster, Halliburton Energy Services. (1995) " High Temperature Synthetic Cement Retador" International Symposium on Oilfield Chemistry, 105, San Antonio, Texas.

Every, R. L., Jacob, J. T. (1978). "Production of Raw Mix Cement Slurries Having Reduced Water Content" U.S.Patent No.4, pp 115-139.

Fink, K. J. (2012). "**Petroleum Engineering's Guide to Oil field Chemical and Fluids**" Vol 1,. Elsevier, pp 61-114

Frigione, G., Marra, S. (1976). "Relationship Between Particle Size Distribution and Compressive Strength in Portland Cement". **Cem. Concr. Res**, 6, pp 113-127.

Hunt, L. P. (1986). "Prediction of Thickening Time of Well Cements from Blaine Air Permeability". **Cem. Concr. Res**, 16, pp 190-198.

Hunt, L. P., & Elsapass, C. W. (1986). "Particle-Size Properties of Oil-Well Cements" **Cem. Concr. Res**, 16, pp 805-812.

Hunter, R. J. (1987). "**Foundation of Colloid Science**" Vol 1,. Oxford: Clarendon, pp 55-70.

Jawed, I., Skanly, J. (1978)." Alkalins in Cement: A Review of Effects of Alkalins on the Hydration and Performance of Portland Cement" **Cem. Concr. Res**, 8, 37-51.

Jennings, S. S., Siddiqui, S. (2004). "New Test Method for Evaluating Quality of Set Well Cements and to Optimize Additive Use". Annual Technical Conference and Exhibition, pp 254 Houston, Texas.

Lerch, W. (1946)."*Portland Cement Res. Laboratory Bull*" pp 10.

Locher, F. W., Richartz, W., Sprung, S. (1980). Setting of Cement. Effect of Adding Calcium Sulfate.**ZKG**, 33, pp 271-277.

Lummus, J. L., Azar, J. J. (1986). "**Drilling Fluids Optimization**" Vol 1, Penn Well Publishing Co., pp 101-124.

MacWilliams, D. C., Wirt, J. R. (1978). "Aqueous Suspension". U.S.Patent No.4126,pp 480.

Malhotra, V. M., Malanka, D. (1979). "**Superplasticizers in Concrete**".Vol 1, Detroit: American Concrete Inst., pp 156.

- Massenger, J. V. (1978). "Cementing Against Evaporite". U.S.Patent No.4, 089, pp 376.
- Metcalf, S. A. (1977). "The Effect Of Pressure On The Set Properties Of Cements With Various Additives" SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition, pp732, Denver, Colorado
- Milestone, N. B. (1979). "Hydration of Tricalcium Silicate in the Presence of Lignosulphonates, Glucose, and Sodium Glueconate" **J. Amer. Ceramic Soc**, 62, pp 321-324.
- Mirza, J. (2002). "Basic Rheological and Mechanical Properties of High-Volume Fly Ash Grouts" **CONSTR BUILD MATER**, , 16, 6, , pp 353-363.
- Morgan, B. E., Dumbauld, G. K. (1954). "Bentonite Cement Proving Successful in Premananet-Type Squeeze Operations". **World Oil**, 121, pp 220.
- Nelson, E. B. (1984). "Well Treating Composition". U.K.Patent Application GB 2,157,pp 279.
- Nelson, E. B. (1987). "Well Treating Process and Composition". Candian Patent N. 1,216, pp 742.
- Nelson, E. B. (1999). "**Well Cementing**" Vol 1. Schlumberger Educational Services, pp 19-72.
- Noik, C., Rivereau, A. (1999). "Oilwell Cement Durability". **ATCE** ,55, pp 3-6.
- Older, I., Skalny, J. (1971). "Influence of Calcium Chloride on Paste Hydration of Tricalcium Silicate. **J.Amer Ceramic Soc**, 54, pp 362-364.
- Older, I., Skalny, J. (1973). "Hydration of Tricaium Silicate at Elevated Temperatures". **J.Appl.Chent.Biotechnol**, 23, pp 661-667.
- Ost, B. W. (1974). "Optimum Sulfate Content of Portant Cements" **Amer. Ceramic Soc. Bull**, 53, No 8, pp 579-580.
- Petrie, E. M. (1976). "Effect of Surfactant on the Viscosity of Portland Cement Water Dispersions" **Ind.Eng.Chem.Prod.Res.Dev**, 15, No.4, pp 242-249.
- Previte, R. W. (1971). "Some Insights on the Mechanism of Saccharide Set Retardation of Portland Cement" **Cem. Concr. Res**, 1, pp 301-316.
- Ramachandran, V. S. (1986). "Admixture and Addition Interactions in the Cement-Water System" **Cem. Concr. Res**, 1, pp 13-38.
- Ramachandran, V. S., Beaudoin, J. J. (1980). "Hydration of C4AF+Gypsum: Study of VariousFactors". *Seventh Intl.Cong.Chem.Cement*, pp. 11/25-11/30, Paris.
- Rixom, M. R. (1978). "**Chemical Admixture for Concrete**". Vol 1, London: E and F.

N. Spon, pp 100-120.

Rossington, D. R., Runk, E. J. (1968). "Adsorption of Amixtures on Portland Cement Hydration Products". **J.Amer.Ceramic Soc**, 51, pp 46-50.

Rust, C. F., Wood, W. D. (1966). "Labratory Evaluation and Field Testing of Silica CMHEC-Cement Mixtures" **JPT**,15,48, 25-29.

Sabins, F. L., Sutton, D. L. (1986). "The Relationship of Thickening Time, Gel Strength, and Compressive Strength of Oilwell Cements" **SPE-11205-PA** , pp 143-152.

Saunders, D. C., Walker, W. A. (1954). "Strength Of Oil Cements And Additives Under High Temperature Well Conditions" Fall Meeting of the Petroleum Branch of AIME,pp 105-113, San Antonio, Texas.

Shaw, D. J. (1980). "**Introduction to Colloidand Surface Chemistry**" Forth edition, Eited by Duncan J. Shaw, Oxford, , pp 290-297.

Shell, F. J., Wyneee, R. A. (1958). "Application of Low-Water-Loss Cement Slurries" **API**, 1, 12, pp 875.

Sprung, S., Kuhlmann, K., Ellerbrock, H. G. (1985). "Particle Size Distribution and Properties of Part II:Water Demand of Portlamd Cement" **ZKJ**, 11, pp 275.

Sudaks, L. G., Zozulya, R. A., Kokurkina, A. V., Sorokina, V. A. (1978). "Alkalies, Microstructure and Activity of Industrial-Grade Cement Clinkers" **Tsement**, 12, pp 11-12.

Sutton, D. L., Sabins, F. L., Love, R. (1985). "Well Cementing Method and Composition". European Patent Appl. No.853,069, pp 268.

Taplin, J. H. "Discussion of "Some chemical additions and admixtures in cement paste 472 and concrete" by HE Vivian." *4th Internationnal Congress*, vol. 473, pp. 909-926.

Thomas, N. L., Birchall, J. D. (1983). "The Retarding Action of Sugars on Cement Hydration" **Cem. Concr. Res**, 13, pp 830-842.

Thomas, N. L., Double, D. D. (1981). "Calcium and Silicon Concentrations in solution During the Early Hydration of Portland Cement and Tricalcium Silicate" **Cem. Concr. Res**, 11, pp 675-685.

Umeokafor, C. V., and O. F. Joel. (2010) "Modeling of cement thickening time at high temperatures with different retarder concentrations" Nigeria Annual International Conference and Exhibition, SPE.

Wilkinson, W. L. (1960) "Non-Newtonian Fluids" Pergamon Press, pp 139.

Young, J. F. (1969). "Influence of Tricalcium Aluminate on the Hydration of Calcium

Silicate" **J.Amer.Ceramic** **Soc,** 52, pp 44-46.

Abstract

The quality of cementing operations defines how long the well can be productive without remedial operations. Additives modify the behavior of the cement system, ideally allowing successful slurry placement between the casing and the formation, rapid compressive strength development, and adequate zonal isolation during the lifetime of the well. Many of nowadays additives have low efficiency so high quantities should be used to fulfill the cement slurry properties. Low quality additives will result in undesirable characteristic in cement slurry such as poor rheological properties, high gel strength, high fluid loss, poor hydration of cement in annulus space, weak zonal isolation, insufficient compression strength, so the quality of any cement additive definitely must control in laboratory before field operations. In this study quality control procedure have been proposed for retarders, dispersants, fluid loss controls. The method is corrected then by index additives. Synthetic additives have been qualified by the same method and compare to index additives.

Keywords: : Fluid Loss, Thickening Time, Retarder Rheological Properties , Compressive Strength



Faculty of Mining , Petroleum and Geophysics Engineering
MSc Thesis in Drilling and production of petroleum engineering

**"Designing and localization cement additives base on Iran
well conditions"**

Mahsa Mahdavirad

Supervisors:

Dr Behzad Tokhmechi

Dr Ezzatolah Kazemzadeh

June 2016