بررسی پارامتر پایداری با زمان و تعیین فرمولاسیون بهینه سیالات حفاری افرونی پایه روغنی

سید صالح موسوی دهقانی[۱]، عزت‌اله کاظم‌زاده[۲*] و محمد سلیمانی[۲]

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، ایران

۲- پژوهشکده مهندسی نفت، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۲

چکیده

تهیه سیالات حفاری از مهم‌ترین بخش‌های عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز محسوب می‌شود که استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و سودمند در تولید آنها می‌تواند عملکرد و بازدهی آن‌ها را به مقادیر ایده‌آل نزدیک‌تر کند. سیالات حفاری پایه افرونی گازی کلوئیدی دارای تکنولوژی پیشرفته میکروحباب‌های افرونی و مختص حفاری فروتعادلی، یکی از جدیدترین فناوری‌های استفاده شده در حفاری مخازن کم فشار می‌باشند. با تهیه سیال حفاری افرونی پایه روغنی می‌توان خواص مثبت و بسیار با ارزش سیالات حفاری روغنی را در کنار خواص ویژه سیالات حفاری افرونی همچون کنترل هرزروی، یک جا به‌دست آورد. پایداری با زمان از مهم‌ترین ویژگی‌های سیالات حفاری افرونی محسوب می‌شود که می‌تواند بر خواص مطلوب رئولوژیکی و کنترل هرزروی در این نوع سیالات تأثیرگذار باشد. در این تحقیق سیال افرونی تهیه شده با غلظت ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت و ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر دارای بیشترین پایداری در مقابل زمان، کم‌ترین افت بازدهی و کم‌ترین تغییرات اندازه حباب افرونی می‌باشد که این غلظت‌ها به‌عنوان فرمولاسیون بهینه سورفکتانت و پلیمر ارائه می‌شوند.

کلمات کلیدی: سیال حفاری افرونی پایه روغنی، میکرو حباب افرونی، حفاری فروتعادلی، خواص رئولوژیکی، هرزروی.

مقدمه

در مواردی که هدف بهره‌برداری از منابع بسیار ارزشمندی چون منابع هیدروکربوری باشد، رقابتی حریصانه در دسترسی سریع‌تر، ارزان‌تر و ایمن‌تر به این مواد گران‌بها و حیاتی آغاز می‌شود. ابداع و به‌کارگیری تکنولوژی‌های کارآمد در صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز برگ برنده‌ای در دستان مجریان این صنعت است.

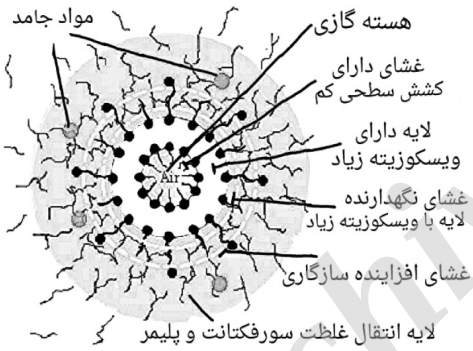
*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی kazemzadehe@ripi.ir

Archive of SID
www.SID.ir

سیال یا گل حفاری[1] موثرترین بخش از عملیات حفاری می‌باشد و تحقیق و پژوهش در رابطه با خواص و متغیرهای سیال حفاری از اصول اولیه در اجرای این فعالیت گسترده می‌باشد. با استخراج مداوم از مخازن نفت و گاز به مرور زمان این مخازن دچار افت فشار خواهند شد و به اصطلاح تخلیه[2] می‌شوند و علاوه‌بر این مخازن کم فشار، سازندهایی[3] وجود دارند که به صورت معمول دارای فشار کمی هستند. به‌علت وجود هوا در سیالات حفاری پایه افرونی گازی کلوئیدی[4] و ایجاد چگالی کم، از آن‌ها در عملیات حفاری فرو تعادلی[5] استفاده می‌شود.

در این سیالات حفاری از مواد سورفکتانت[6] جهت تولید حباب‌های افرونی و همچنین از پلیمرها به‌عنوان مواد پایدارکننده این حباب‌ها استفاده شده است. در عملیات حفاری که از سیالات حفاری افرونی با پایه آب استفاده می‌شود، حتی نفوذ مقدار کمی از آب به درون سازندهای حساس به آب (شیل[7]) می‌تواند عامل به‌وجود آمدن مشکلاتی شود که در سیالات حفاری افرونی با پایه روغن در صورت نفوذ ناخواسته سیال حفاری به درون سازند هم آن‌چنان مشکل خاصی پدیدار نمی‌شود. مخصوصا در حفاری بخش مخزن تماس سطحی خوبی بین این سازندها و سیال حفاری افرونی با پایه روغن برقرار می‌شود که در اثر ترشوندگی مناسب زاویه تماس کمتر بین آن‌ها می‌تواند در افزایش انسداد منافذ[8] سازند و کاهش آسیب سازند موثر واقع شود [۱]. استفاده از سیالات حفاری پایه روغنی همواره راه حلی مناسب جهت حفاری سازندهای شیلی بوده است و کاربرد این نوع سیالات دارای مزایایی مثل روانکاری و جلوگیری از پدیده گلی شدن مته[9] در نتیجه افزایش سرعت حفاری است [۲]. یک حباب افرونی از لحاظ اندازه قطر در گستره ۱۰۰-۱۰ µm و از لحاظ ضخامت در گستره ۴-۱۰ µm قرار می‌گیرد و از لحاظ پایداری در مقابل زمان، دما و فشار و دیگر خواص همچون خواص رئولوژیکی می‌تواند غیر قابل مقایسه با یک حباب معمولی باشد [۳].

سیال حفاری دارای حباب‌های میکرونی با پایه آب (WMDF)[10] جزئی از سیالات حفاری افرونی می‌باشند که دارای یک سیستم پیچیده از جریان‌های چند فازی[11] است که از سه فاز گاز (هوا یا نیتروژن)، مایع (آب یا روغن) و جامد (مواد افزودنی) تشکیل شده. حباب میکرونی موجود در این سیالات حفاری دارای سورفکتانت و پلیمر هستند و در توضیح ساختار آن می‌توان به فاز گازی که به‌وسیله دو لایه به نام‌های لایه دارای ویسکوزیته بالا و لایه انتقال غلظت سورفکتانت و پلیمر و سه غشاء (سطح) به نام‌های غشای دارای کشش سطحی کم، غشای نگهدارنده لایه با ویسکوزیته زیاد و غشای افزاینده سازگاری اشاره کرد [۱]. شکل ۱ مشخص‌کننده ساختار این میکروحباب پایه آبی در سیال حفاری است.



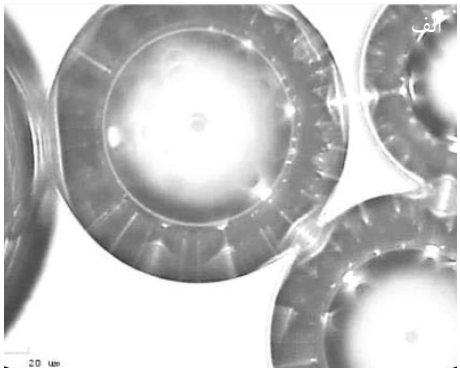
شکل ۱ ساختار یک WMDF با لایه‌ها و غشاهای مشخص شده [۱].

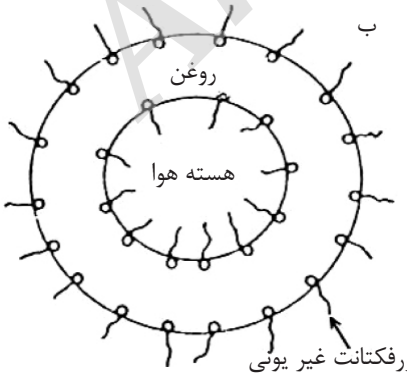
افرون‌های گازی کلوئیدی (CGA) میکروحباب‌های یکدست و یکنواختی هستند که نه تنها به واسطه ساختار هندسی خود با کف‌های معمولی متفاوت هستند بلکه در مورد ویژگی‌های رئولوژیکی و مشخصه‌های طول عمر و تخلیه[12] نیز با کف‌های معمولی تفاوت عمده دارند [۴].

1. Mud or Drilling Fluid
2. Depleted Reserves
3. Formation
4. Colloidal Gas Aphron (CGA)
5. Under Balance Drilling
6. Surfactant
7. Shale
8. Pore Blocking)
9. Bit Balling
10. Water-Based Micro-Bubble Drilling Fluid
11. Multiphase Flow System
12. Drainage

Archive of SID
www.SID.ir

اصولا کف‌های معمولی سیستم‌های مایع - گاز - مایع هستند که درون ساختار های چند وجهی آنها لایه بسیار نازکی از مایع وجود دارد و این لایه‌ها هم به نوبه خود در برگیرنده فاز گازی می‌باشند. اما در حباب‌های میکرونی (افرون‌ها) مقدار بیشتری از فاز مایع ساختارهای کروی احاطه‌کننده فاز گازی را تشکیل داده است که به پایداری بیشتر در مقابل زمان می‌انجامد، افرون‌ها می‌توانند یک اختلاف فشار قابل توجهی را در هنگام عبور از محیط‌های متخلخل به‌وجود آورند [۵]. در صورت استفاده از مواد افزاینده گرانروی روغن، مثل پلیمرهای قابل حل در روغن، روغن دارای گرانروی بالا در بین دو غشای سورفکتانت‌ها قرار خواهد گرفت و افرون‌های پایه روغنی را دارای عملکردهای مشابه افرون‌های پایه آبی خواهد کرد، عملکردهایی چون کنترل هرزروی، انسداد منافذ، ویژگی‌های رئولوژیکی خاص افرون‌ها LSRV[1] و HYSST (High Yield Stress Shear Thinning)، خاصیت پل‌زنی[2] افرون‌ها و غیره [۶]. شکل ۲ نشان‌دهنده افرون پایه روغنی ساخته شده در آزمایشگاه و همچنین یک طرح از ساختار این افرون‌ها می‌باشد. سیو و همکارش [۸] در مورد پایداری سیالات افرونی تحقیقات گسترده‌ای انجام دادند، همچنین آن‌ها در مورد عوامل موثری چون زمان اختلاط، نوع سورفکتانت و گرانروی برروی پایداری مطالبی با جزئیات زیاد نوشتند، تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در رابطه با پایداری اغلب با پارامتری با عنوان زمان نیمه عمر CGA[3] انجام گرفتند. زمان نیمه‌عمر با محاسبه مدت زمان تخلیه نصف مایع استفاده شده در ساخت سیال افرونی به‌دست می‌آید. برای اولین بار توسط گروکک و همکاران در سال [۹] تولید افرون‌های گازی کلوئیدی در روغن مورد بحث قرار گرفت. گروکک پیشنهادی هم برای ساختار افرون پایه روغنی و هم ترکیباتی برای ساخت سیال حفاری بر پایه روغن ارائه داد. بروندالن و کورد [۱۰] پایداری سیالات افرونی را نسبت به زمان، دما و فشار مورد تحقیق قرار دادند، آن‌ها تغییرات اندازه حباب‌ها را نسبت به تغییرات ضخامت لایه خامه‌ای[4] بررسی کردند. در این تحقیق سیالات حفاری افرونی پایه روغنی دارای حباب‌های افرونی با هسته هوا و یک فیلم روغنی احاطه‌کننده اطرف هسته در یک محیط پیوسته روغنی ساخته می‌شوند. بدیهی است که پایداری در مقابل زمان از جمله مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که یک سیال حفاری باید داشته باشد تا در طول مدت زمان حفاری بتواند خواص مطلوب خود را حفظ کند.





شکل ۲ الف) تصویر میکروسکوپی (بزرگ‌نمایی ۴۰×) از افرون‌های گازی کلوئیدی پایه روغنی ب) طرحی از ساختار افرون گازی کلوئیدی پایه روغنی [۷].

1. Low Shear Rate Viscosity
2. Bridging
3. Half-life
4. Creamed Layer

Archive of SID

www.SID.ir

از جملـه خـواص مطلـوب یـک سـیال حفـاری افرونـی می‌تـوان بـه خـواص رئولوژیکـی[1] و کنتـرل هـرزروی[2] اشـاره کـرد و بـا از بیـن رفتـن میکـرو حباب‌هـای یـک سـیال حفـاری افرونـی ایـن خـواص از بیـن خواهنـد رفـت. تحقیـق صـورت گرفتـه پیرامـون پایـداری ایـن نـوع سـیالات نسـبت بـه زمـان، شـامل تغییـرات حجـم کـف و مایـع تخلیـه شـده نسـبت بـه زمـان، نیمه‌عمـر، درصـد هـوای حبـس شـده[3] و درصـد بازدهـی[4] می‌باشـد. پایدارتریـن سـیال افرونـی نسـبت بـه زمـان، دارای بیشـترین نیمه‌عمـر می‌باشـد و از ایـن طریـق یـک فرمولاسـیون بهینـه جهـت سـاخت سـیالات افرونـی پایـه روغنـی به‌دسـت می‌آیـد. همچنیـن حباب‌هـای افرونـی بعـد از گذشـت زمـان دچـار تغییراتـی در انـدازه می‌شـوند کـه بـا تهیـه تصاویـر میکروسـکوپی اثـر زمـان بـر انـدازه افـرون هـا مشـخص می‌شـود.

مواد و روش‌ها

در ایـن کار جهـت تولیـد سـیالات افرونـی پایـه روغنـی از یـک سـورفکتانت و پلیمـر قابـل حـل در روغـن معدنـی پارافیـن مایـع اسـتفاده می‌شـود. در سـاخت نمونـه سـیالات افرونـی از یـک سـورفکتانت غیـر یونـی بـا نـام DTS و یـک پلیمـر بـه نـام DTVP اسـتفاده می‌شـود. در جـدول ۱ خـواص مـواد مـورد اسـتفاده در تهیـه نمونـه سـیالات حفـاری افرونـی پایـه روغنـی آورده شـده اسـت. تولیـد سـیال CGA پایـه روغنـی بـا اسـتفاده از دسـتگاه همـزن[5] دارای سـرعت‌های چرخـش متفـاوت صـورت می‌گیـرد، ایـن دسـتگاه دارای سـه محـور بـا موتـور مجـزا می‌باشـد. در شـکل ۳ تصویـری از ایـن دسـتگاه آورده شـده اسـت. بعـد از تهیـه سـیال CGA پایـه روغنـی، بـه منظـور مشـاهده و تجزیـه تحلیـل تغییـرات انـدازه، توزیـع انـدازه و ضخامـت پوسـته افرون‌هـا، از یـک دسـتگاه میکروسـکوپ نـوری اسـتفاده می‌شـود. در شـکل ۴ تصاویـری از ایـن دسـتگاه آورده شـده اسـت.

نمونه‌های مورد آزمایش

سـیالات سـاخته شـده در ایـن تحقیـق دارای سـه غلظـت از سـورفکتانت DTS و سـه غلظـت از پلیمـر DTVP می‌باشـند همچنیـن مقـدار cc ۲۰۰ پارافیـن مایـع به‌عنـوان مایـع پایـه اسـتفاده می‌شـود. در جـدول ۲ غلظت‌هـای مختلـف از سـورفکتانت و پلیمـر اسـتفاده شـده جهـت تهیـه سـیالات حفـاری افرونـی پایـه روغنـی آورده شـده اسـت.

جدول ۱ خواص مواد به‌کار رفته در تهیه سیال حفاری افرونی پایه روغنی.

سورفکتانت DTS

خاصیت	واحد	توضیح
حالت فیزیکی	-	مایع
رنگ	-	کهربایی
جرم مولکولی متوسط	g/mol	۳۵۰
مقدار HLB[6]	-	۸/۸
دانسیته در دمای ۲۵ °C	g/cc	۱/۰۲
دمای اشتعال	°C	۹۴
دمای جوش	°C	۱۵۰

پلیمر DTVP

خاصیت	واحد	توضیح
حالت فیزیکی	-	تیکه‌ای (لاستیک)
رنگ	-	زرد روشن
جرم مولکولی متوسط	g/mol	۵۰۰۰۰۰
دانسیته نوع بی‌نظم[7]- دمای ۵۲ °C	g/cc	۰/۹۵
سختی	-	۱۰۰-۵
حلالیت	-	در حلال‌های غیرقطبی
دمای انتقال شیشه‌ای (TG)	°C	-۶۲

1. Rheological Properties
2. Lost Circulation
3. Gas Holdup %
4. Yield
5. Mixer
6. Hydrophile-Lipophile Balance
7. Amorphous

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۳ دستگاه مولد افرون.

شکل ۴ الف) نمایی کلی از میکروسکوپ نوری ب) لنزها و محل قرارگیری نمونه سیال ج) صفحه نمایش.

جدول ۲ غلظت‌های مواد استفاده شده در تهیه سیالات حفاری افرونی پایه روغنی.

غلظت سورفکتانت DTS (درصد مولی)	غلظت پلیمر DTVP (kg/m^3)
۱/۷۱	۴/۹۹
۲/۱۴	۱۰/۰۱
۲/۵۶	۱۵/۰۱

روش انجام آزمایشات

در ابتدا مقدار مورد نظر از پلیمر DTVP توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود. ۲۰۰ cc از پارافین مایع درون یک بشر ریخته می‌شود و بر روی یک دستگاه هم‌زن مغناطیسی[1] قرار داده می‌شود. جهت تسریع حل شدن پلیمر DTVP درون پارافین مایع، دمای پارافین مایع به حدود ۵۰°C برده می‌شود و بعد از آن پلیمر در مقدار خواسته شده توسط مخلوط کن مغناطیسی در پارافین مایع حل می‌شود. حل کامل پلیمر در مایع پایه حدود ۵ hr به طول می‌انجامد که در آخر به‌صورت یک محلول یکدست و شفاف در خواهد آمد. به منظور افزودن سورفکتانت DTS در مقدار مورد نظر می‌بایست محلول پلیمری (محلول شامل پلیمر و پارافین مایع) به دمای محیط برسد. سپس محلول نهایی دارای سورفکتانت را درون یک کاپ در زیر مخلوط کن سرعت بالا قرار می‌دهیم. به‌دلیل موثر بودن سرعت اختلاط[2] (سرعت مخلوط کن) و زمان اختلاط[3]، از سرعت ۶۰۰۰ rpm و مدت زمان ۵ min جهت ساخت نمونه سیالات افرونی پایه روغنی استفاده می‌شود. بعد از تهیه هر نمونه سیال افرونی، کل سیال افرونی تولید شده درون یک استوانه مدرج با ظرفیت ۲۵۰ cc ریخته می‌شود. با گذشت زمان تغییراتی در حجم کف و مایع تخلیه شده ایجاد می‌شود که با رسم نمودار این تغییرات بحث و تحلیل درباره پایداری با زمان در هر نمونه سیال افرونی و تأثیر غلظت‌های سورفکتانت و پلیمر انجام می‌شود.

1. Magnetic Stirring Hot Plate
2. Mixing Speed
3. Mixing Time

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

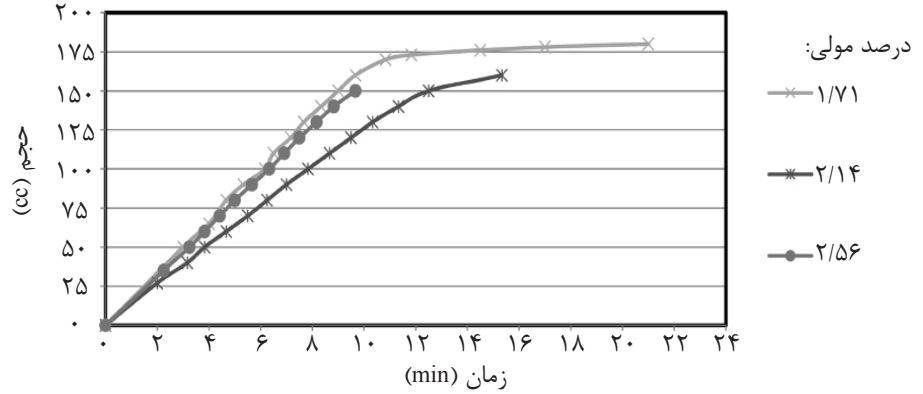
در این تحقیق مطالعات صورت گرفته پیرامون پایداری سیالات حفاری افرونی پایه روغنی نسبت به زمان، شامل تغییرات حجم مایع تخلیه شده و نیمه‌عمر مربوط به هر سیال افرونی، درصد بازدهی، درصد هوای حبس شده و تغییرات اندازه افرون‌ها با زمان می‌باشد. عوامل متعددی در تغییرات اندازه افرون‌ها نسبت به زمان موثر هستند. از جمله این عوامل می‌توان به ماهیت و مقدار مواد اولیه استفاده شده جهت تولید سیال افرونی، مشخصات دستگاه سازنده افرون و دیگر شرایط اشاره کرد. با گذشت زمان، مایع موجود در سیال افرونی در سطح پایین نمونه سیال تخلیه و جمع می‌شود که خود دلیلی بر تأثیرگذاری جاذبه زمین بر تغییرات اندازه افرون‌ها با زمان است. تفاوت در اندازه افرون‌ها موجب به‌وجود آمدن افرون‌ها در دانسیته‌های مختلف می‌شود، افرون‌های بزرگ‌تر به سمت بالای سیال حرکت می‌کنند و افرون‌های کوچک‌تر به سمت پایین سیال حرکت می‌کنند.

تأثیر سورفکتانت DTS بر تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان

در این تحقیق به منظور کشف اثر سورفکتانت DTS بر پایداری سیال حفاری افرونی پایه روغنی از غلظت‌های موجود در جدول ۲، جهت تولید نمونه سیالات استفاده شده است. تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان را می‌توان به سرعت تخلیه نیز تعبیر کرد. در زیر نمودارهای مربوطه آورده شده است (اشکال ۵-۷). با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که در هر سه غلظت پلیمر DTVP کم‌ترین سرعت تخلیه مایع مربوط به نمونه سیالات افرونی دارای غلظت ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS می‌باشد که به‌عنوان غلظت بهینه سورفکتانت جهت ساخت سیالات حفاری افرونی پایه روغنی به‌دست می‌آید.

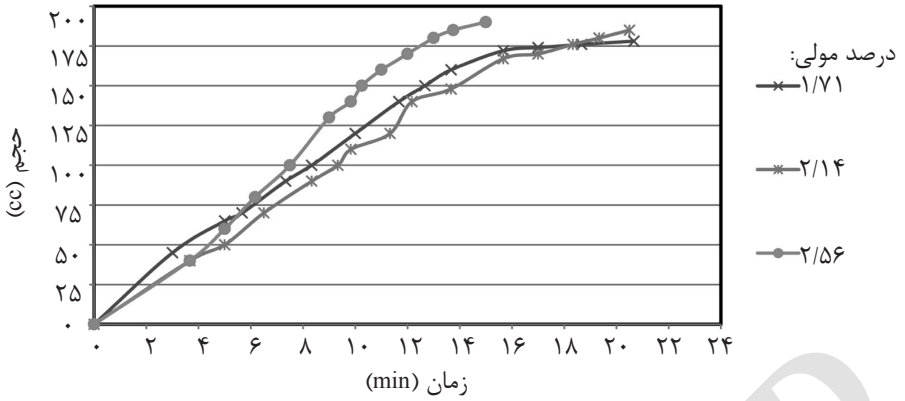
تأثیر پلیمر DTVP بر تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان

به منظور تعیین اثر غلظت پلیمر DTVP بر پایداری سیال حفاری افرونی پایه روغنی، غلظت‌های موجود در جدول ۲، جهت تولید نمونه سیالات مورد استفاده قرار گرفتند. در زیر نمودارهای مربوطه آورده شده است. با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۰ این نتیجه به‌دست می‌آید که به جز سیال افرونی دارای غلظت ۱/۷۱ ٪ مولی سورفکتانت که در آن غلظت ۱۰/۰۱ kg/m^3 پلیمر دارای سرعت کمتر تخلیه مایع می‌باشد، کم‌ترین نرخ حجم مایع تخلیه شده مربوط به سیالات دارای ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP می‌باشد و این غلظت پلیمر به‌عنوان غلظت بهینه جهت ساخت سیالات حفاری افرونی پایه روغنی حاصل می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که غلظت بیشتر پلیمر می‌تواند سرعت تخلیه مایع در سیالات افرونی را از طریق مقاوم ساختن پوسته افرون‌ها در مقابل تخلیه سریع مایع بهبود ببخشد.

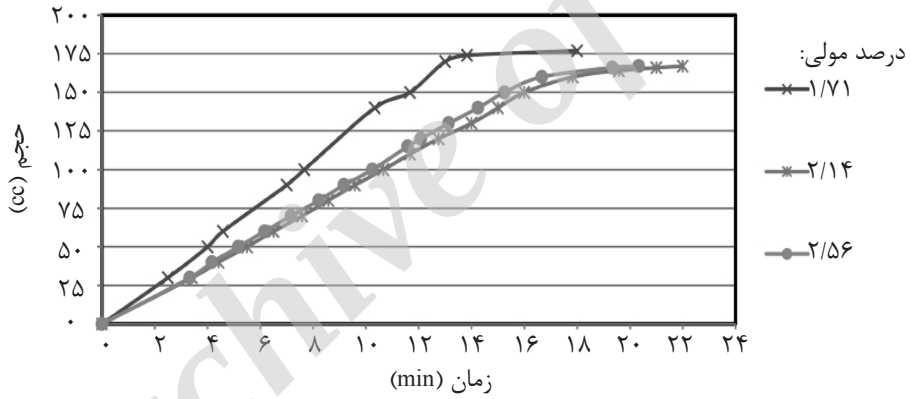


شکل ۵ تأثیر سورفکتانت DTS بر تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان در سیالات افرونی دارای غلظت ۴/۹۹ kg/m^3 پلیمر DTVP.

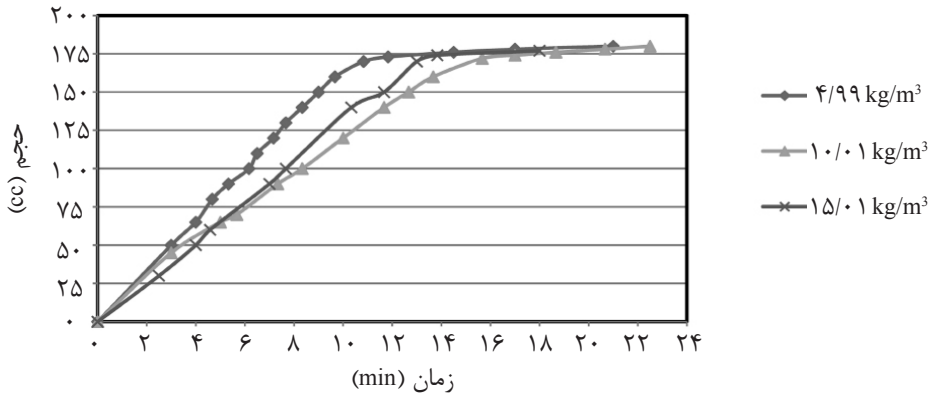
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶ تأثیر غلظت سورفکتانت DTS بر تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان در سیالات افرونی دارای غلظت ۱۰/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP.



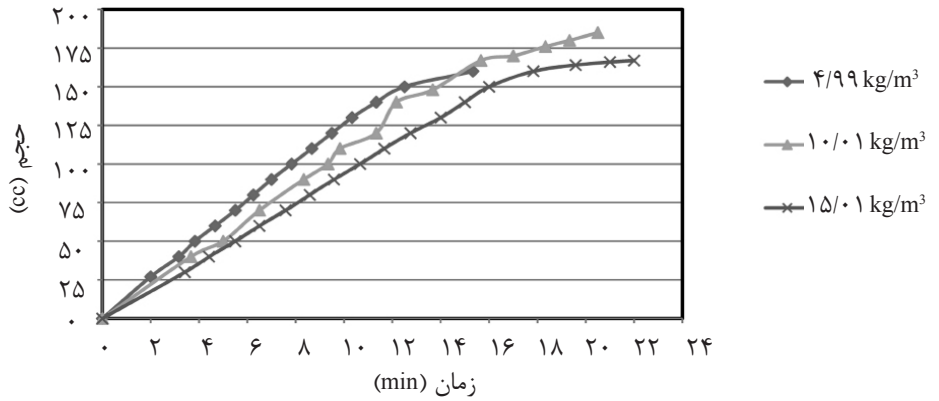
شکل ۷ تأثیر غلظت سورفکتانت DTS بر تغییرات حجم مایع تخلیه شده نسبت به زمان در سیالات افرونی دارای غلظت ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP.



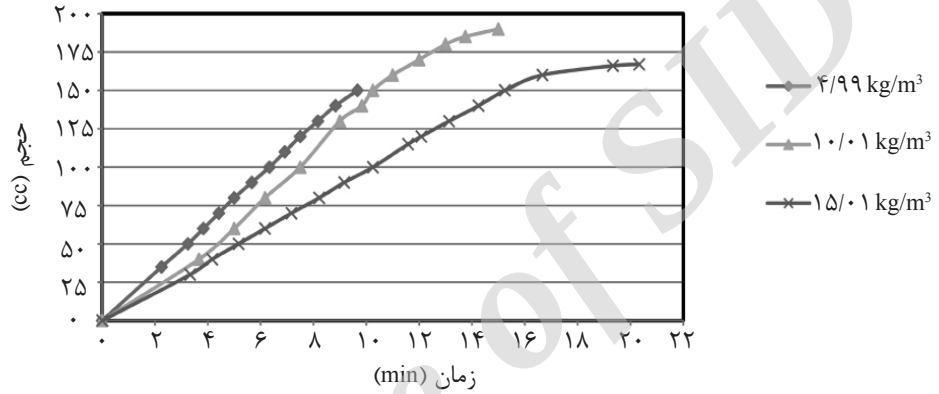
شکل ۸ تأثیر غلظت پلیمر DTVP بر سرعت تخلیه سیالات افرونی دارای غلظت ۱/۷۱ ٪ مولی سورفکتانت DTS.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹ تأثیر غلظت پلیمر DTVP بر سرعت تخلیه سیالات افرونی دارای غلظت ۲/۱۴ ٪ مولی سورفکتانت DTS.



شکل ۱۰ تأثیر غلظت پلیمر DTVP بر سرعت تخلیه سیالات افرونی دارای غلظت ۲/۵۶ ٪ مولی سورفکتانت DTS.

تأثیر پلیمر DTVP و سورفکتانت DTS بر زمان نیمه‌عمر

از آنجا که زمان نیمه‌عمر رابطه عکس با سرعت تخلیه مایع دارد لذا بیشترین زمان نیمه‌عمر نیز مربوط به سیال افرونی دارای غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر است. نتایج به‌دست آمده از زمان نیمه عمر این سیالات نیز نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد، این نتایج در جدول ۳ ارائه می‌شوند.

درصد هوای حبس شده

درصد هوای حبس شده نشان‌دهنده مقدار حجم افرون تولید شده است و که رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

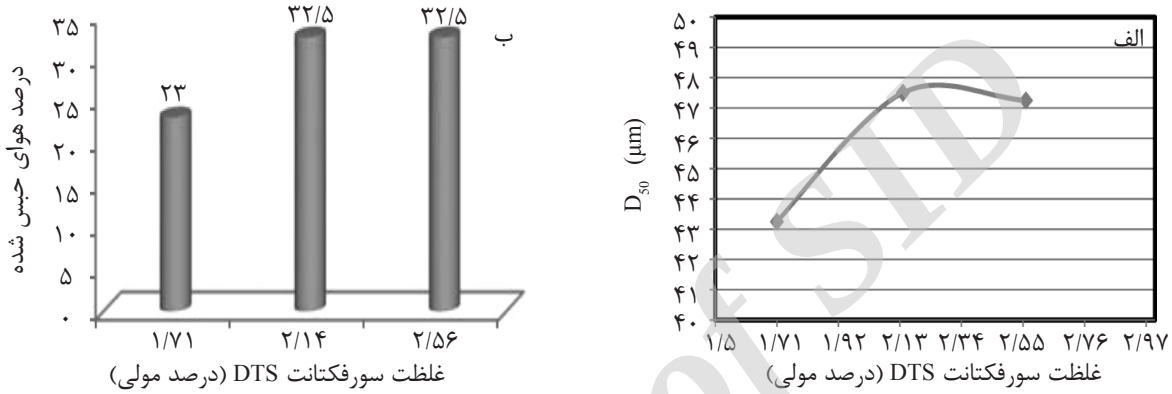
$$\%\ \text{هوای حبس شده} = [(V_f - V_i)/V_i] \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، V_i حجم اولیه سیال افرونی (محلول پایه) و V_f حجم نهایی سیال افرونی شده می‌باشد. در (شکل ۱۱ و ۱۲) تأثیر سورفکتانت DTS و پلیمر DTVP بر درصد هوای حبس شده آورده شده است. همچنین به منظور تعیین تغییرات قطر متوسط افرون‌ها نسبت به تغییرات غلظت سورفکتانت و پلیمر نمودارهای رسم شده است که در این نمودارها از D_{50} یعنی قطری که ۵۰٪ از تعداد افرون‌ها دارند استفاده شده است. در این بررسی از غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر استفاده شده است. با توجه به ثابت بودن حجم محلول پایه در همه نمونه‌ها و شکل ۸ و شکل ۹ و همچنین معادله شماره ۱ (افزایش هوای حبس شده یعنی افزایش حجم نهایی سیال) مشخص می‌شود که غلظت‌های بیشتر سورفکتانت DTS موجب افزایش هوای حبس شده و همچنین افزایش قطر متوسط افرون‌ها شده است. در غلظت‌های بیشتر پلیمر DTVP، بزرگ‌تر شدن قطر متوسط افرون‌ها و کاهش حجم هوای حبس شده در سیالات افرونی پایه روغنی اتفاق می‌افتد که در یک حجم ثابت از محلول پایه باید به معنی بیشتر شدن ضخامت پوسته افرون‌ها باشد.

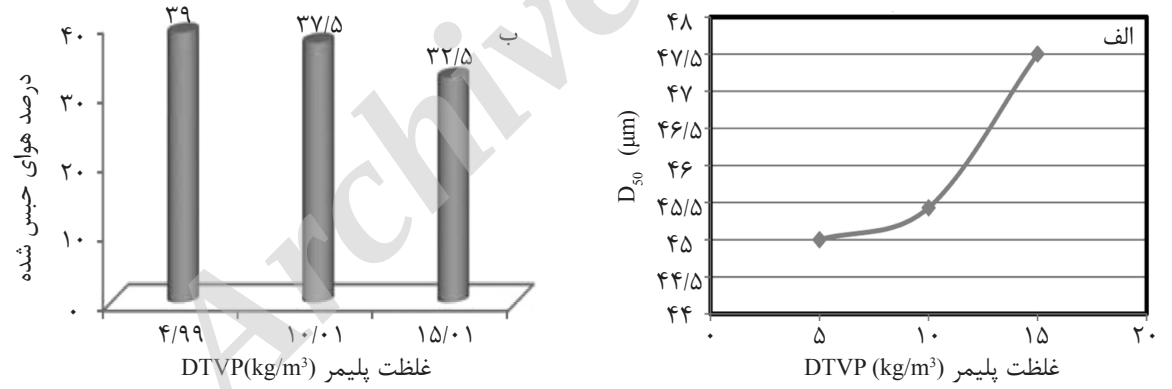
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳ زمان‌های نیمه عمر (min) سیالات افرونی پایه روغنی در غلظت‌های متفاوت از سورفکتانت DTS و پلیمر DTVP.

غلظت پلیمر DTVP (kg/m^3) / غلظت سورفکتانت DTS (درصد مولی)	۴/۹۹	۱۰/۰۱	۱۵/۰۱
۱/۷۱	۶/۱۶	۸/۳۳	۷/۶۶
۲/۱۴	۷/۸۴	۹/۳۳	۱۰/۶۶
۲/۵۶	۶/۳۳	۷/۵	۲۰/۱۴



شکل ۱۱ تأثیر غلظت سورفکتانت DTS بر الف) تغییرات قطر متوسط افرون ب) درصد هوای حبس شده در سیالات دارای ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP.



شکل ۱۲ تأثیر غلظت پلیمر DTVP بر الف) تغییرات قطر متوسط افرون ب) درصد هوای حبس شده در سیالات افرونی دارای ۲/۱۴ ٪ مولی سورفکتانت DTS.

درصد بازدهی

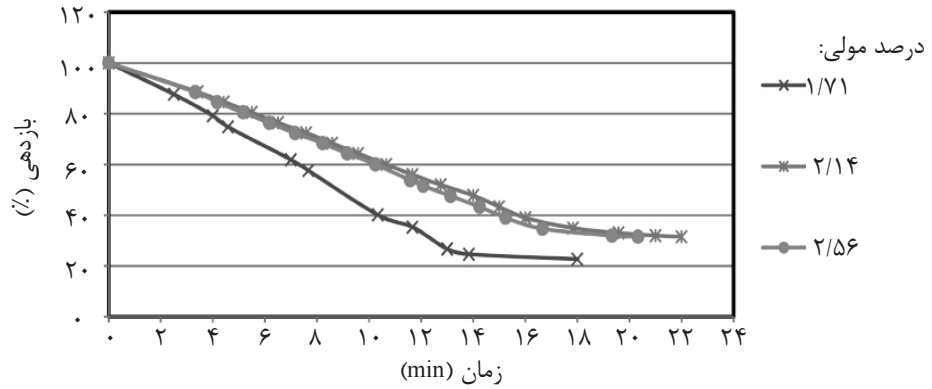
کمیت دیگری به نام بازدهی (بعضی منابع از لفظ خامه‌ای شدن نیز استفاده کرده‌اند) وجود دارد که معیاری برای پایداری کف افرونی در مقابل تخریب است. افت (کاهش) بازدهی نشان‌دهنده از بین رفتن مقدار کف افرونی با زمان است. درصد بازدهی از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

$$\text{بازدهی}(\%) = [(V_t - V_d)/V_t] \times 100 \quad (۲)$$

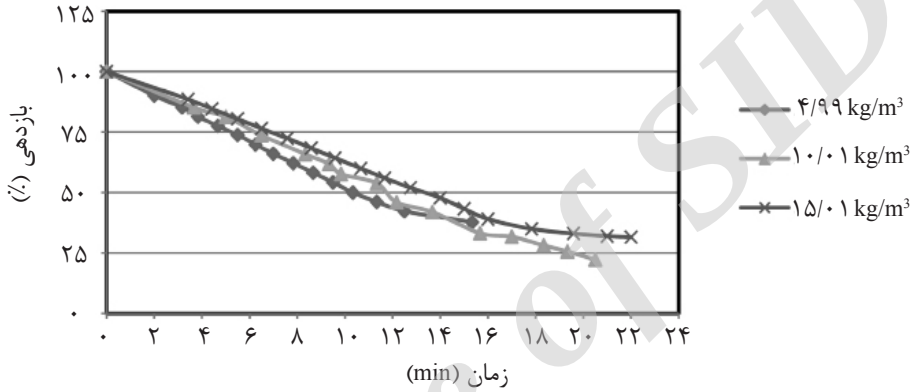
در رابطه ۲، V_d حجم مایع تخلیه شده و V_t حجم کل سیال افرونی می‌باشند. در اشکال ۱۳و ۱۴ تأثیر سورفکتانت DTS و پلیمر DTVP آورده شده است. در این بررسی از غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر استفاده شده است. با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که غلظت ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS و ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP دارای کم‌ترین سرعت تخریب کف افرونی می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۳ تأثیر غلظت سورفکتانت DTS بر درصد بازدهی سیالات دارای ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP.



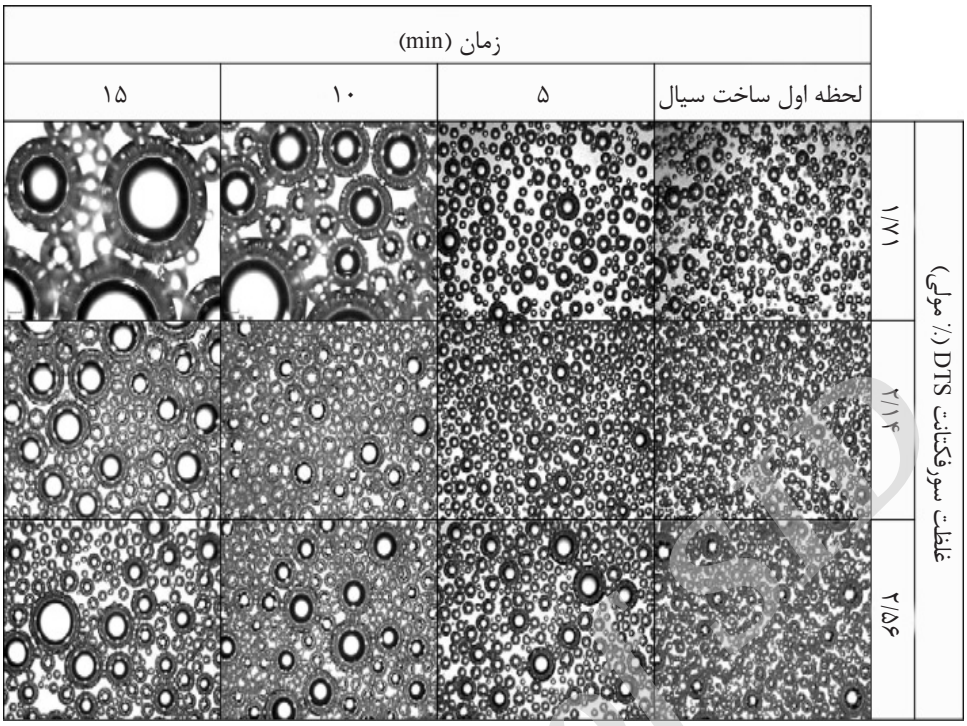
شکل ۱۴ تأثیر غلظت پلیمر DTVP بر درصد بازدهی سیالات دارای ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS.

تغییر اندازه افرون با زمان

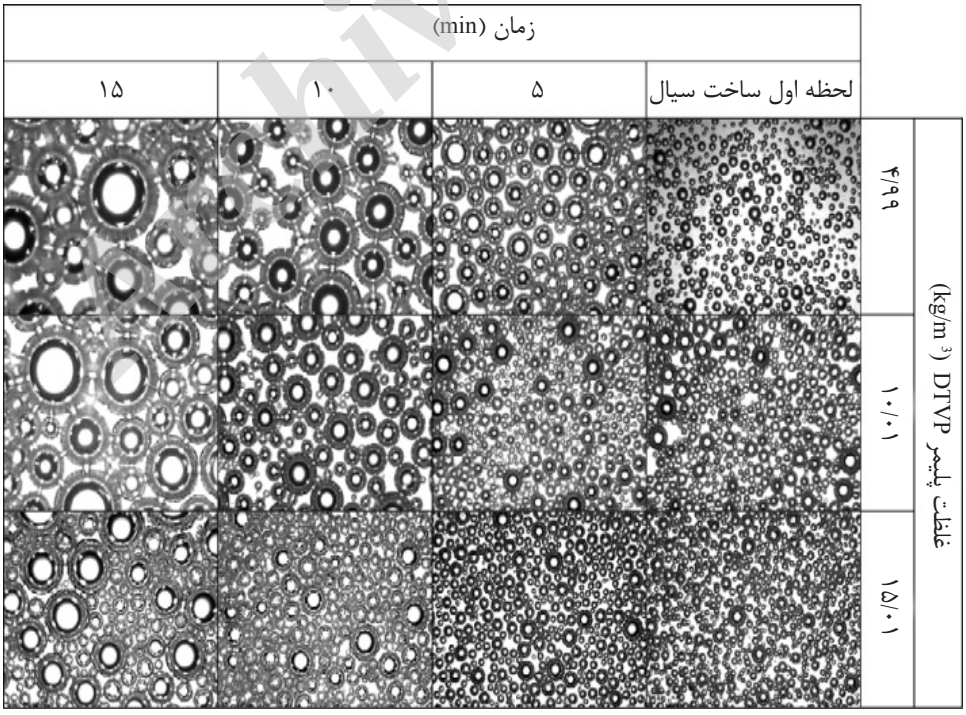
در زمان‌های مختلف از نمونه سیال افرونی پایه روغنی دارای غلظت بهینه سورفکتانت DTS و پلیمر DTVP تصاویر میکروسکوپی تهیه می‌شود. تصاویر در اولین لحظه بعد از ساخت و گذشت زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ min، گرفته می‌شوند این تصاویر در شکل ۱۵ و شکل ۱۶ آورده شده است. برداشتی کلی که از مشاهده این تصاویر می‌توان داشت این است که افرون‌ها بعد از گذشت زمان از لحاظ اندازه بزرگ‌تر می‌شوند. بدیهی است که با گذشت زمان و بزرگ‌تر شدن حباب‌های افرونی پوسته آن‌ها نازک‌تر می‌شود و توانایی کم‌تری در مقابل تغییرات فشار و گذشت زمان از خود نشان می‌دهند و این به معنای شروع ناپایداری افرون‌ها و سیال افرونی می‌باشد. اما با به‌دست آوردن توزیع اندازه حباب‌های افرونی در مقابل تعداد آن‌ها و توزیع اندازه حباب‌های افرونی در مقابل درصد تجمعی[1]، می‌توان تغییرات افرون‌ها را با گذشت زمان را از لحاظ کمی محاسبه و توسط نمودار رسم کرد. از داده‌های مربوط به درصد تجمعی تعداد افرون‌ها می‌توان جهت محاسبه قطر میانگین افرون‌ها یا D_{50} استفاده کرد. نمودارهای مربوط در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ آورده شده است. در شکل ۱۹ تصاویری از تغییرات حجم مایع تخلیه شده و حجم کف نسبت به زمان در نمونه سیال افرونی پایه روغنی دارای غلظت بهینه آورده شده است. اولین نتیجه حاصل از این تحقیق این است که سیالات حفاری افرونی با غلظت ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS و ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP دارای بیشترین پایداری با زمان و کم‌ترین تغییرات بازدهی هستند و این غلظت‌ها به‌عنوان غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر به‌دست می‌آیند.

1. Cumulative Bubble Size Distribution

Archive of SID
www.SID.ir

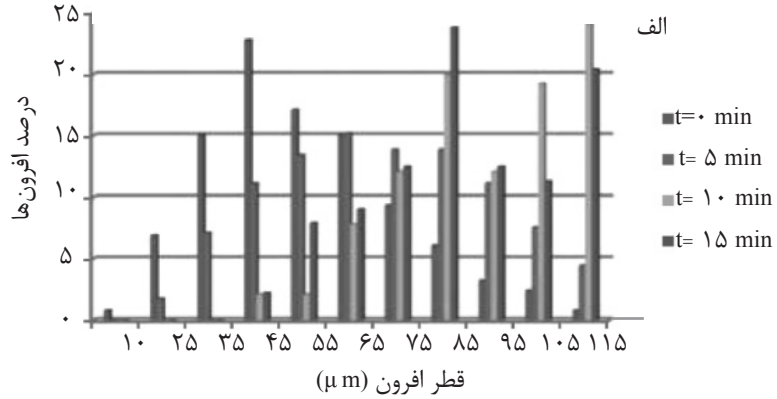


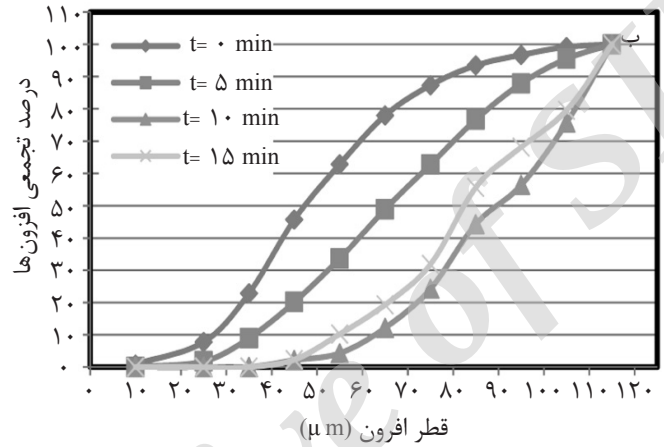
شکل ۱۵ تصاویر میکروسکوپی (بزرگ‌نمایی 4X) تغییرات اندازه افرون‌ها با زمان در سیالات افرونی پایه روغنی دارای غلظت ۱۵/۰۱ kg/m ^{3} پلیمر DTVP و غلظت‌های متفاوت سورفکتانت DTS.



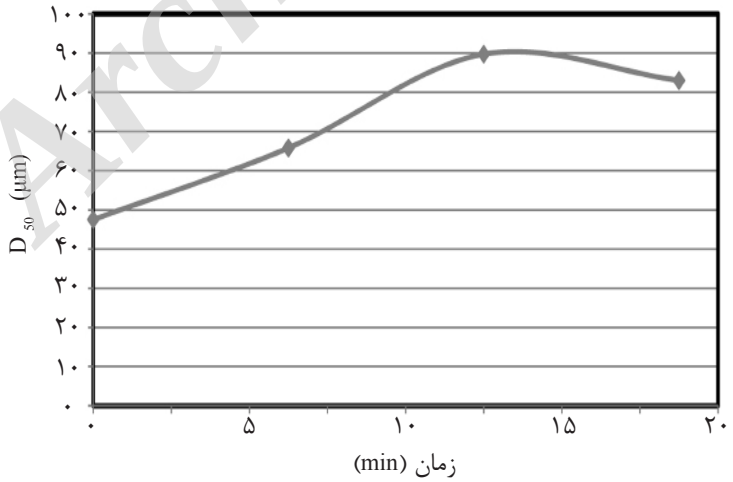
شکل ۱۶ تصاویر میکروسکوپی (بزرگ‌نمایی 4X) تغییرات اندازه افرون‌ها با زمان در سیالات افرونی دارای غلظت ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS و غلظت‌های متفاوت پلیمر DTVP.

www.SID.ir



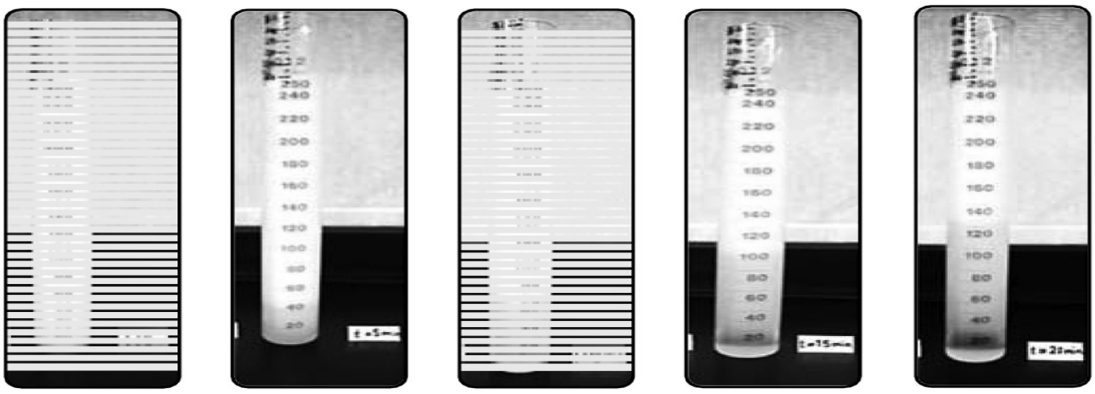


شکل ۱۷ توزیع اندازه قطر افرون‌ها نسبت به زمان برحسب الف) درصد تعداد افرون‌ها ب) درصد تجمعی تعداد افرون‌ها در سیال افرونی دارای ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP و ۲/۱۴ ٪ مولی سورفکتانت DTS.



شکل ۱۸ تغییرات قطر متوسط حباب افرونی با گذشت زمان در سیال افرونی با غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۹ تصاویر تغییرات حجم کف و مایع تخلیه شده نسبت به زمان در سیال دارای غلظت بهینه سورفکتانت و پلیمر.

دیگر نتیجه حاصل شده این است که غلظت‌های بیشتر سورفکتانت DTS موجب افزایش هوای حبس شده و افزایش قطر متوسط افرون‌ها می‌شود و غلظت‌های بیشتر پلیمر DTVP موجب کاهش هوای حبس شده، افزایش قطر متوسط افرون‌ها و در نتیجه افزایش ضخامت پوسته افرون‌ها می‌شود. و همچنین آخرین نتیجه این تحقیق این است که گذشت زمان موجب بزرگ‌تر شدن اندازه حباب‌های افرونی خواهد شد و این که تغییرات اندازه افرون‌ها در سیال دارای غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر دارای مقدار کم‌تری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق تولید سیالات حفاری افرونی پایه روغنی، بررسی پارامتر پایداری در مقابل زمان و به‌دست آوردن فرمولاسیونی بهینه جهت ساخت این نوع از سیالات بوده است. شرایط ساخت سیال افرونی پایه روغنی تفاوت زیادی با سیال افرونی پایه آبی دارد. تفاوت این شرایط را می‌توان در نوع مواد اولیه، روش ساخت سیال افرونی پایه روغنی و تعیین خواص آن‌ها دانست. نتایج کلی حاصل از این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

- سیالات حفاری افرونی پایه روغنی در غلظت‌های ۲/۱۴٪ مولی سورفکتانت DTS و ۱۵/۰۱ kg/m^3 پلیمر DTVP دارای بیشترین پایداری در مقابل زمان هستند و این غلظت‌ها به‌عنوان غلظت‌های بهینه به‌دست آمدند.
- افزایش غلظت پلیمر DTVP باعث افزایش زمان نیمه‌عمر و پایداری سیال افرونی پایه روغنی می‌شود.
- تخریب کف افرونی در غلظت‌های بهینه سورفکتانت و پلیمر به کم‌ترین میزان خود خواهد رسید.
- افزایش غلظت سورفکتانت DTS موجب افزایش هوای حبس شده و افزایش پلیمر DTVP موجب کاهش هوای حبس شده در سیالات افرونی پایه روغنی خواهد شد همچنین افزایش غلظت سورفکتانت و پلیمر به افزایش قطر متوسط افرون‌ها منجر می‌شود.
- با افزایش غلظت پلیمر و با توجه به کاهش هوای حبس شده و افزایش قطر متوسط حباب‌های افرونی در سیالات افرونی پایه روغنی می‌توان افزایش ضخامت پوسته افرون‌ها را نتیجه‌گیری کرد که یکی از دلایل پایداری سیال افرونی در غلظت‌های بیشتر پلیمر را نشان می‌دهد.
- رشد اندازه قطر افرون‌ها به ناپایداری افرون‌ها منجر می‌شود.

علائم و نشانه‌ها

V_i: حجم اولیه سیال افرونی (محلول پایه)

V_f: حجم نهایی سیال افرونی

V_d: حجم مایع تخلیه شده

V_t: حجم کل سیال افرونی

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1]. Li-hui, Z., Xiao-qingH., Li-xiaF. and Xiang-chunW., *"The multiphase flow system used in exploiting depleted reservoirs: water-based Micro-bubble drilling fluid,"* J. Phys.: Conf. Ser., 2009. 147: p. 012022.

[۲]. عادل‌زاده م. ر. و حائری ز.، اصول مهندسی حفاری: مبانی نظری و کاربردی در صنعت با تجارب صنعتی ۱۳۸۹، ستایش.

[۳]. رحمانی ع. ا.، افرون‌ها: شیمی سطح شناورسازی (فلوتاسیون) افرونی ۱۳۸۵، دانشگاه تهران: جهاد دانشگاهی، واحد تهران.

[4]. Spinelli L. S., Neto G. R., Freire L. F. A., Monteiro V., Teixeira Lomba R. F., Cunha Michel R. and Lucas E., *"Synthetic-based aphrons: Correlation between properties and filtrate reduction performance,"* Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 353, Issue 1, pp. 57-63, 2010.

[5]. Oliveira R. C., Oliveira J. F. and Moudgil B. M., "*Optimizing micro-foam rheology for soil remediation*," in Surface and Colloid Science. Springer. pp. 298-302, 2004.

[6]. Shivhare S., "*A study of the rheology, stability and pore blocking ability of non-aqueous colloidal gas aphron drilling fluids*," Publisher University of Alberta, 2011.

[7]. Growcock F. B., Simon G. A., Rea A. B., Leonard R. S., Noello E. and Castellan R., "*Alternative aphron-based drilling fluid*," in IADC/SPE Drilling Conference., Society of Petroleum Engineers (SPE), 2004.

[8]. Save S. V. and Pangarkar V. G., *"Characterisation of colloidal gas aphrons,"* Chemical Engineering Communications, Vol. 127, No. 1, pp. 35-54, 1994.

[9]. Growcock F. B., Khan A. M. and Simon G. A., "*Application of water-based and oil-based aphrons in drilling fluids*," in International Symposium on Oilfield Chemistry. 2003, Society of Petroleum Engineers (SPE).

[10]. Bjorndalen N. and Kuru E., *"Physico-chemical characterization of aphron-based drilling fluids,"* Journal of Canadian Petroleum Technology, Vol. 47, No. 11, pp. 7-9, 2008.

Archive of SID

www.SID.ir