

به نام خدا

گزارش وضعیت پیشرفت پروژه کاربرد بایوسورفاکتنت برای اهداف ازدیاد برداشت از میادین نفت ایران

گزارش کار فاز های ۰ و ۱ و ۲

تنظیم: دکتر میر حسین طاهری – مدیر گروه توسعه میادین نفت و گاز

ضرورت تاسیس آزمایشگاه مهندسی نفت در پژوهشکده علوم پایه کاربردی

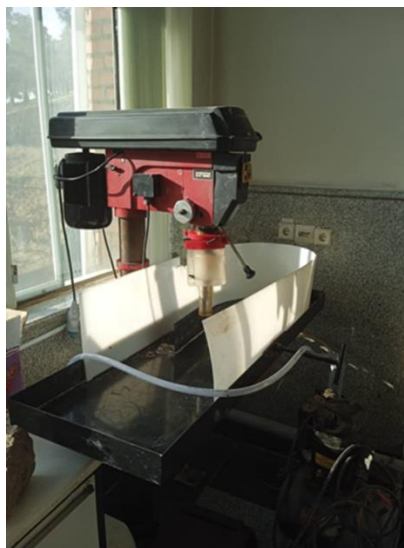
با توجه به اینکه یکی از ماموریت های مهم محول شده به پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاه حرکت به سمت اهداف ازدیاد برداشت از میادین نفت و گاز در حوزه بالادستی است ، لذا دسترسی به زیر ساخت های اساسی نظیر آزمایشگاه مهندسی نفت و نیروی متخصص نقشی مهم و حیاتی در پیش برد اهداف خواهد داشت. پس از محول شدن وظیفه ارزیابی عملکرد بایوسورفاکتنت تولید شده در گروه میکروبیولوژی نفت برای اهداف ازدیاد برداشت از میادین هیدروکربوری به گروه توسعه میادین نفت و گاز در تاریخ ۱۴۰۰/۷/۱ ، ریزنی های متعدد جهت اجرای هر چه سریعتر پروژه با مراکز تحقیقاتی نظیر دانشگاه تهران ، امیرکبیر ، تربیت مدرس و پژوهشگاه صنعت نفت صورت پذیرفت. پس از دریافت پیشنهادات مالی و مدت زمان مورد نیاز برای اجرای آزمایشات از مراکز نامبرده به این نتیجه رسیده شد که با صرف زمان کمتر و هزینه مناسب ، تاسیس آزمایشگاه نفت هدفی مقرون به صرفه و عملیاتی خواهد بود . با توجه به اینکه دانش فنی ساخت تجهیزات مورد نیاز در اختیار محققین گروه توسعه میادین نفت و گاز می باشد و همچنین بخش قابل توجهی از تجهیزات آزمایشگاه در اختیار واحد های دیگر جهاد دانشگاهی بوده و بلا استفاده در هلیجرد کرج نگهداری می شد، تمامی تلاش ها به سمت تجمیع تمامی امکانات در پژوهشکده علوم پایه کاربردی صورت گرفت. این استراتژی منجر به ایجاد یک آزمایشگاه جدید در مجموعه جهاد دانشگاهی شد و به لحاظ اقتصادی صرفه جویی های ریالی قابل توجهی در پی داشته است.

پیشرفت فیزیکی آزمایشگاه نفت

آزمایشگاه مهندسی نفت در تاریخ ۲۲ دی ماه ۱۴۰۰ در طبقه سوم پژوهشکده علوم پایه کاربردی افتتاح شد و بخش قابل توجهی از تجهیزات اشاره شده در ذیل از هلیجرد کرج به آزمایشگاه نفت انتقال داده شد. پس از تعمیرات جزئی ، کلیه تجهیزات عملیاتی و قابل استفاده می باشند. شکل ۱ تصویر تجهیزات انتقال داده شده به آزمایشگاه مهندسی نفت را نشان میدهد.



ب



الف



ت



ج



ج



س

شکل ۱- تجهیزات موجود در آزمایشگاه مهندسی نفت. الف (دستگاه مغزه گیر ، ب) دستگاه برش مغزه ، پ) دستگاه اندازه گیری تخلخل ، ت) دستگاه اندازه گیری تراوایی س) سل آزمایش اشام ، ج) دستگاه شستشوی مغزه

دستگاه سیلاب زنی مغزه و اندازه گیری کشش سطحی و زاویه تماس که از مهمترین تجهیزات مورد نیاز آزمایشگاه نفت می باشد ، توسط آقای دکتر میر حسین طاهری ، مدیر گروه توسعه میادین نفت و گاز ، طراحی و در حال ساخت است. هر دو دستگاه پیشرفت ۹۵ درصدی داشته و در آینده نزدیک برای اجرای آزمایشات مورد استفاده و بهره برداری قرار خواهند گرفت. ساخت این دو دستگاه صرفه جویی اقتصادی بیش از یک میلیارد تومانی برای پژوهشکده داشته است . شکل ۲ وضعیت فعلی دستگاههای اشاره شده را نشان میدهند.



الف



ب

شکل ۲ - الف) دستگاه اندازه گیری کشش سطحی و زاویه تماس ب) متعلقات دستگاه سیلاب زنی مغزه

به طور کلی ، پیشرفت در زیر ساختهای مورد نیاز آزمایشگاه بیش از ۹۵٪ ارزیابی می شود.

هدف و میزان پیشرفت اجرای آزمایشات

به صورت کلی ، هدف از اجرای آزمایشات طراحی شده ارزیابی قابلیت کاربری بایوسوفاکتانت تولید شده برای اهداف ازدیاد برداشت از میادین نفت می باشد. این پژوهش به دنبال پاسخ سوالات ذیل می باشد.

۱. آیا بایوسوفاکتانت تولید شده در شرایط دمایی محیطی و مخزن پایدار می باشد ؟
۲. نقش میزان سطح شوری و سختی آب در پایداری بایوسوفاکتانت چیست ؟
۳. آیا بایوسوفاکتانت تولید شده قابلیت ازدیاد برداشت نفت در شرایط آزمایشگاهی را دارد ؟ چه میزان و تحت چه مکانیزمی؟
۴. در شرایط آزمایشگاهی در نظر گرفته شده ، میزان غلظت بهینه بایوسوفاکتانت در محلول برای تولید نفت بیشتر چه میزان می باشد ؟

لیست مراحل آزمایشات در نظر گرفته شده و میزان درصد پیشرفت در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول 1 لیست مراحل اجرای کار و میزان پیشرفت

WBS	مراحل اجرای کار	درصد وزنی از ۴۰ %	میزان پیشرفت
4.2	عملکرد بایوسوفاکتانت در شرط مخزن	۴۰	
4.2.1	فاز صفر: فراهم سازی اطلاعات و مواد مورد نیاز	۴	۱۰۰
4.2.2	فاز ۱ : آماده سازی سیالات و آنالیز	۴	۱۰۰
4.2.2.1	آماده سازی اب نمک ، اندازه گیری گرانیروی ، چگالی و سطح اسیدی	۲	۱۰۰
4.2.2.2	آماده سازی نفت خام ، فیلتراسیون ، اندازه گیری گرانیروی ، چگالی و آنالیز سطح اسفالتین، رزین، اروماتیک و مواد اشباع	۱	۱۰۰
4.2.2.3	آماده سازی مواد فعال سطحی	۱	۱۰۰
4.2.3	فاز ۲ : آزمایشات تطابق مواد فعال سطحی	۶	۱۰۰
4.2.3.1	آزمایش سطح پایداری در نمک	۲	۱۰۰
4.2.3.2	آزمایش رفتار فازي نفت با محلول حاوی مواد فعال سطحی	۲	۱۰۰
4.2.3.3	آزمایش سطح پایداری دمایی	۱	۱۰۰
4.2.3.4	گزارش کار فاز ۰ و ۱ و ۲	۱	۱۰۰
4.2.4	فاز ۳ : مطالعه اثر متقابل سیال-سیال و سیال-سنگ	۸	
4.2.4.1	اندازه گیری کشش سطحی مابین محلول و هوا	۲	۰
4.2.4.2	اندازه گیری زاویه تماس	۳	۰

۱۰۰	۱	اماده سازی مقطع نازک سنگ ، پاک سازی سنگ و تیمار	4.2.4.2.1
۰	۲	اجرا تست زاویه تماس	4.2.4.2.2
۰	۱	اجرای تست اندازه گیری کشش سطحی مابین محلول و نفت	4.2.4.3
۱۰۰	۱	اجرا تست جذب مواد سطحی برای سطح سنگ (استاتیک – شرایط محیطی)	4.2.4.4
۰	۱	گزارش فاز ۳	4.2.4.5
	۶	فاز ۴ : اماده سازه مغزه	4.2.5
۱۰۰	۱	مغزه گیری ، شستشو، خشک کردن	4.2.5.1
۰	۱	محاسبه تخلخل	4.2.5.2
۰	۱	محاسبه تراوایی	4.2.5.3
۰	۱	عکس برداری سی تی اسکن	4.2.5.4
۰	۱	XRD کانی شناسی مغزه با	4.2.5.5
۰	۱	پیرسازی مغزه	4.2.5.6
۰	۱۲	فاز ۵: مطالعات مغزه	4.2.6
۰	۴	تست اشام	4.2.6.1
۰	۴	تست سیلاب زنی مغزه	4.2.6.2
۰	۴	گزارش فاز ۴ و ۵	4.2.6.3

گزارش فاز صفر و ۱ :

برای بررسی عملکرد کاربرد محلول بایوسورفاکتانت برای اهداف ازدیاد برداشت به صورت پیش فرض از مغزه های کربناته و ترکیب اب سازند در میادین خلیج فارس ، ترکیب اب دریای خلیج فارس و شرایط ترمودینامیکی تقریبی استفاده شده است. همچنین از نمونه نفت پالایشگاه تهران در حالت dead oil برای آزمایشات مورد نظر استفاده شده است. ویژگی های سیالات موجود در جداول ذیل نمایش داده شده اند.

جدول 2 ویژگی های نفت پالایشگاه تهران

Crude oil properties	Unit	Value
API	degree	31.14
Viscosity at 25 °C	cp	16.84
Density at 25 °C	gr/cm ³	0.87
Saturates	%	45.26
Aromatics	%	35.92
Resin	%	15.31
Asphaltene	%	3.51
Total Acid Number (TAN)	mg KOH/mg oil	

جدول 3 ترکیب اب های به کار رفته در فاز ۲

Salt	SW (gr)	2xSW (gr)	2xHardness (gr)	4xHardness (gr)
NaCl	28.4	56.8	20.59	4.97
KCl	0.8	1.6	0.8	0.8
CaCl ₂	1.38	2.76	2.76	5.52
MgCl ₂	6.43	12.86	12.86	25.72
NaHCO ₃	0.1	0.2	0.1	0.1
Na ₂ SO ₄	4.49	8.98	4.49	4.49
TDS (gr)	41.6	83.2	41.6	41.6
Ionic strength (M)	0.83	1.66	0.94	1.15

گزارش فاز ۲ :

آزمایش پایداری^۱ محلول بایوسوفاکتانت

به وجود آمدن رسوبات و کریستال ها در محلول تزریقی و یا ظاهر شدن فاز مایع ثانویه در زمان تزریق مواد شیمیایی در محیط متخلخل باعث به خطر افتادن یکنواختی تزریق مواد در محیط متخلخل به واسطه گیر افتادن فاز های تزریقی و یا تغییر موبیلیتی فازهای همراه (اب و نفت) می شود. برای نیل به حداکثر میزان بهروری در افزایش میزان تولید نفت ، فرمول شیمیایی محلول تزریقی باید مورد مطالعه قرار گیرد و بهینه شود. بنابراین ارزیابی رفتار فازی سیال تزریقی قبل از بکارگیری آن امری مهم به شمار می رود. فاکتور های متعددی از جمله میزان سطح شوری و سختی اب تزریقی ، ترکیب شیمیایی نفت و شرایط ترمودینامیکی در محیط متخلخل، نقش پر رنگی را در نتیجه عملکرد بایوسورفاکتنت در محیط متخلخل ایفا میکنند. آزمایش پایداری محلول بایوسوفاکتانت یکی از روش های سریع و ماثر در ارزیابی پایداری بایوسورفاکتنت در محلول های نمکی می باشند.

¹ Aqueous stability test

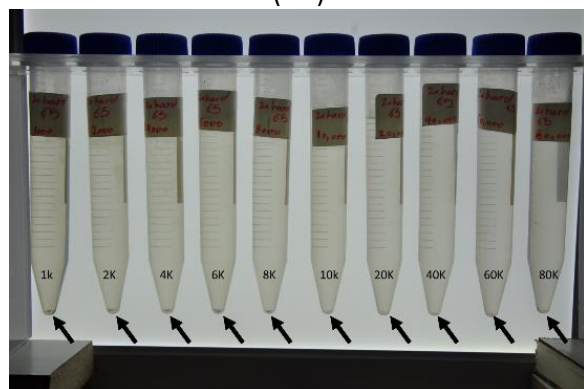
در آزمایش پایداری غلظت های متفاوت محلول بایوسورفاکتانت در آب شور ایجاد می گردد. بدین منظور آب دریا (SW) با ترکیب گزارش شده در فاز صفر با محصول بایو سورفاکتانت در غلظت های ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ppm ترکیب شد. در یک روش مشابه میزان شوری آب دریا به روش رقیق سازی به ۲ (2dSW) و ۴ (4dSW) برابر سطح شوری اولیه آب دریا کاهش یافته تا اثر میزان غلظت نمک در پایداری بایوسورفاکتانت مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این ، میزان پایداری محلول بایوسورفاکتانت در برابر میزان سختی آب با تغییر در غلظت یون های Mg^{2+} و Ca^{2+} به ۲ (2×Hardness) و ۴ (4×Hardness) برابر سطح یون های مذکور در مقایسه با ترکیب آب دریا مورد مطالعه قرار گرفته شد. لازم به ذکر است که میزان سطح شوری در SW و 2×Hardness و 4×Hardness ثابت در نظر گرفته شده است. در نهایت میزان سطح شوری به ۲ برابر سطح شوری آب دریا (2SW) افزایش پیدا نموده تا اثر افزایش غلظت نمک در میزان پایداری محلول بایوسورفاکتانت مورد بررسی قرار گیرد. ترکیب آب های ساخته شده در جدول شماره ۲ ذکر شده است. پایداری تمامی محلول های ساخته شده در شرایط دمایی محیطی و ۶۵ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ تصاویر آزمایش سطح پایداری محلول بایوسورفاکتانت را در غلظت های متفاوت نشان میدهد.



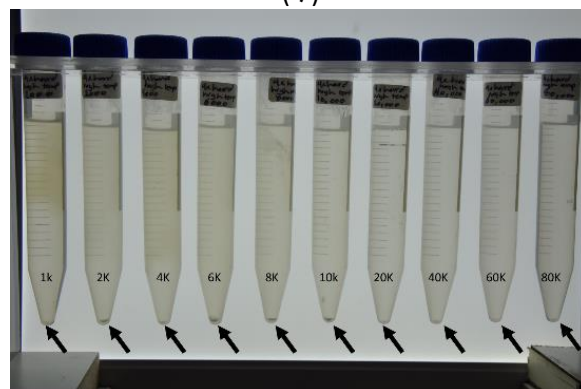
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۳ - شرایط پایداری بایوسورفاکتانت در غلظت های متفاوت محلول با SW (الف)، 2SW (ب)، 2×Hardness (پ) و 4×Hardness (ت). غلظت بایوسورفاکتانت از ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ppm. تمامی محلولها به مدت چهار ماه در کوره تحت دمای ۶۵ درجه سانتیگراد نگهداری شده اند. مواد رسوب کرده در انتهای لوله های فالکون با فلش های سیاه رنگ نمایش داده شده است.

سطح پایداری محلول بایوسورفاکتانت در مدت چهار ماه به صورت منظم تحت نظر قرار گرفت. مشاهدات بصری نشان داد که سطح پایداری محلول بایو سورفاکتانت وابسته به میزان سطح شوری نمی باشد. نتایج آزمایش نشان داد که محلول های SW (شکل ۳-الف)، 2SW (شکل ۳-ب)، 2dSW و 4dSW در شرایط دمایی محیطی و ۶۵ درجه سانتیگراد در غلظت های متفاوت ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ppm پایدار می باشد. برخلاف مشاهدات انجام شده در آزمایش پایداری برای SW و آب دریای رقیق شده ، سطح پایداری محلول سورفاکتانت حساسیت بیشتری

نسبت به میزان سختی اب از خود نشان داد. شکل ۳-پ و ۳-ت رفتار ناپایدار بایو سرفاکتانت برای محلولهای 2×Hardness و 4×Hardness را نشان می دهند. نتایج نشان دادند که هرچه میزان سختی اب محلول بیشتری شود ، رسوبات بیشتری در انتهای لوله های فالكون پدیدار گردید.

آزمایش اسکن شوری^۲

آزمایش اسکن شوری برای تعیین شوری بهینه اب تزریقی و مطالعه کیفی تغییرات نوع وینسور^۳ ایجاد شونده مورد استفاده قرار می گیرد. در این آزمایش، اب شور با حل کردن ۲۰۰ گرم نمک NaCl در یک لیتر آب مقطر^۴ به مدت پنج ساعت به وسیله همزن مغناطیسی^۵ به وجود آمد. سپس به روش تقطیر سازی و اضافه نمودن اب مقطر به محلول نمکی اولیه ، محلول NaCl در غلظت های 1K تا 200k ppm بدست آمد. در تمامی محلول ها 11.11٪ وزنی محصول بایوسورفاکتانت (با فرض اینکه محصول اولیه ۱۰۰٪ خالص می باشد) اضافه شد. در روشی مشابه ، غلظت های 1٪ ، 5.55٪ از محصول بایوسورفاکتانت در محلول NaCl با غلظت های متفاوت حل شد. تمامی محلولها پس از حصول اطمینان از ترکیب شدن کامل محلول NaCl و بایوسورفاکتانت به نسبت ۱:۱ حجمی با نفت خام با ویژگی های نشان داده شده در جدول ۱ در یک لوله ۱۵ میلی لیتری فالكون ترکیب شدند. تمامی محلول ها به مدت زمان ۱ دقیقه با مخلوط کن ورتکس^۶ ترکیب شدند و پس از نام گذاری در رک های مناسب طبقه بندی شده و در کوره به مدت ۲ ماه تحت دمای ۶۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند.

شکل ۴ نتایج به دست آمده از آزمایش اسکن شوری برای ترکیب محلول بایوسورفاکتانت و نفت در شوری و غلظت های متفاوت بایوسورفاکتانت را پس از ۲۴ ساعت تحت دمای ۶۵ درجه سانتیگراد را نشان میدهد. در غلظت 11.11٪ ، با افزایش شوری اب از 5K به 140K ppm ، ضخامت فاز امولسیون ایجاد شده (فاز سوم) افزایش پیدا کرده که نشان دهنده محلول با نوع وینسور III می باشد. اما در شوری های بالاتر از 160k ppm فاز امولسیون ایجاد نشده و محلول نوع II وینسور را تشکیل میدهد. لازم به ذکر است که برای رنج مذکور، مشاهدات بصری ایجاد فاز امولسیون در ستون نفت را تایید نمی کند. در غلظت 11.11٪ در محدوده شوری 80k تا 140K تشکیل فاز امولسیون به صورت قابل ملاحظه ای واضح تر از دیگر شوری ها می باشد. زمانی که سطح غلظت بایوسورفاکتانت به 5.55٪ کاهش میابد، رنج شوری بهینه در محدوده 100k تا 140K ppm قرار میگیرد. در سطح غلظت 1٪ بایوسورفاکتانت ، تشکیل فاز امولسیون برای همه رنج های شوری تضعیف شده است. آزمایش فوق در شرایط محیطی نیز انجام گرفت و هیچ تغییری در رفتار فازی مخلوط محلول بایوسورفاکتانت و نفت مشاهده نشده است. نتایج به دست آمده از تست اسکن شوری نشان میدهد که محلول بایوسورفاکتانت در دماهای بالاتر از عملکرد بهتری برخوردار می باشد و در رنج قابل ملاحظه ای از شوری قابلیت کاربری دارد.

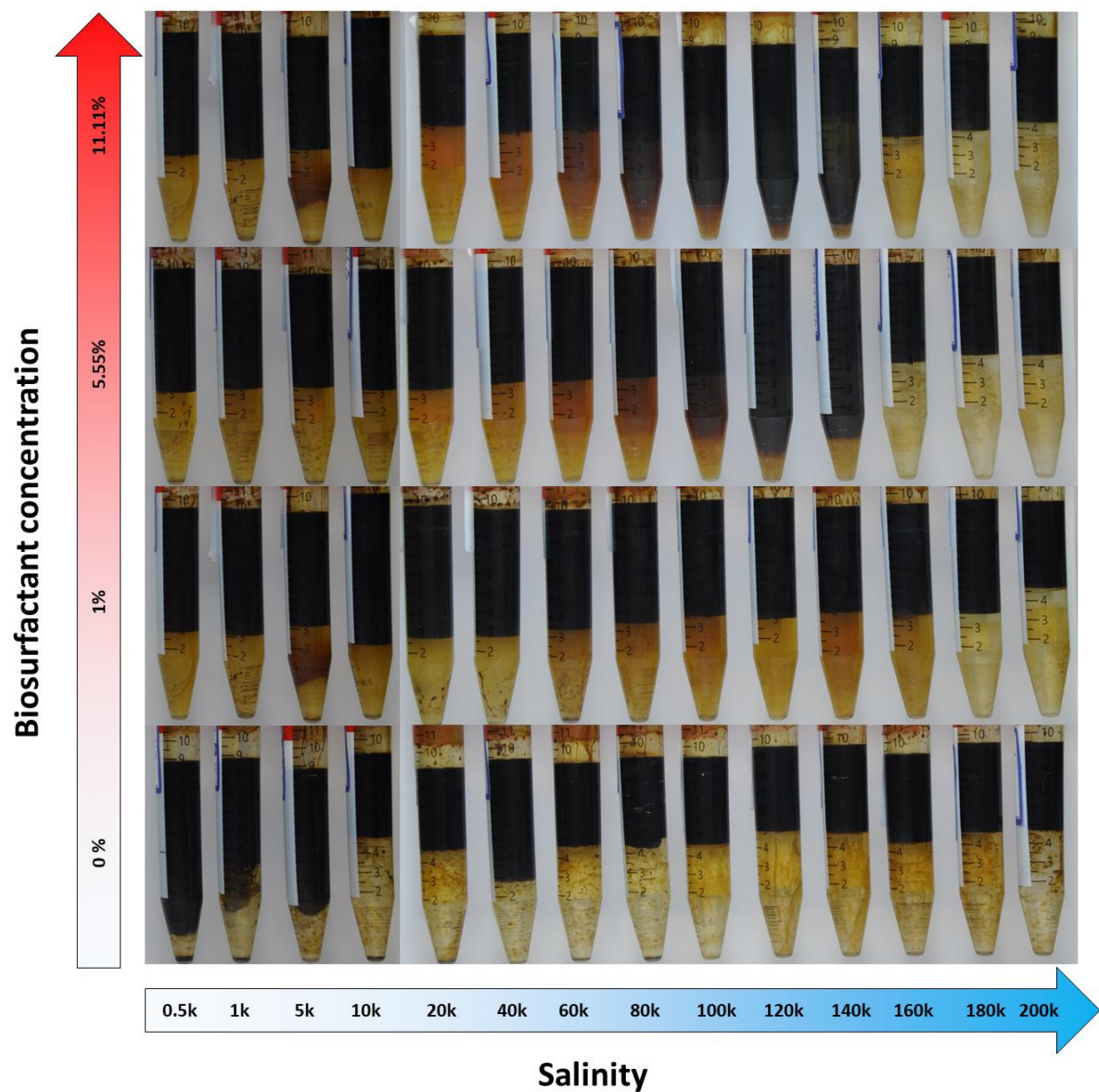
² Salinity scan

³ Microemulsions' Winsor types

⁴ Distilled water

⁵ Stirring magnet

⁶ Vortex mixer



شکل 4 - مطالعات فازی محلول بایوسورفاکتانت در غلظتها و شوری های متفاوت . تصاویر ۲۴ ساعت پس از قرار گرفتن در کوره با دمای ۶۵ درجه سانتیگراد گرفته شده است.