

# سبک‌سازی نفت خام سنگین با استفاده از بیوسورفکتنت رامنولیپید تولید شده از باکتری سودوموناس آئرو جینوزا ATCC28793

رضا حاجی محمدی، حسین امانی و مرتضی حسینی\*

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲

## چکیده

استفاده از بیوسورفکتنت‌ها به‌جای سورفکتنت‌های شیمیایی در صنعت نفت به لحاظ اثرات زیست محیطی حائز اهمیت می‌باشد. رامنولیپیدها به‌عنوان یکی از موثرترین بیوسورفکتنت‌ها برای کاهش ویسکوزیته نفت سنگین و به تبع آن افزایش درجه API آن به‌شمار می‌روند. در این تحقیق ابتدا بیوسورفکتنت رامنولیپید از باکتری سودوموناس آئرو جینوزا ATCC28793 استخراج گردید و سپس با استفاده از IR اسپکتروسکوپی و کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) شناسایی شد. نتایج به‌دست آمده از ساخت امولسیون‌های آب در نفت نشان داد که ویسکوزیته و درجه API نفت خام سنگین به ترتیب از مقدار اولیه ۲۳۶۰ mPa.s و ۱۸ به مقدار نهایی ۹۳۰ mPa.s و ۲۸ رسید. علاوه بر آن شاخص امولسیون (E24) در غلظت ۰.۸ w/v از رامنولیپید ۹۸٪ بود. آزمایش‌ها نشان داد که امولسیون‌های ساخته شده در pH بین ۸ تا ۱۴، دمای ۳۰ تا ۹۰ °C و ماکزیمم غلظت نمک ۰.۸ w/v پایدار بودند. قطر متوسط ذرات پخش شده آب در نفت با استفاده از دستگاه DLS اندازه گرفته شد و بین ۷۰-۵۰ μm بود. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد رامنولیپید تولید شده توانایی بالایی در کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین و افزایش درجه API آن دارد، بنابراین می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای سورفکتنت‌های شیمیایی و سنتزی در صنعت نفت و پتروشیمی و کاربردهای زیست محیطی داشته باشد.

**کلمات کلیدی:** بیوسورفکتنت رامنولیپید، سودوموناس آئرو جینوزا، نفت سنگین، ویسکوزیته، سبک‌سازی

## مقدمه

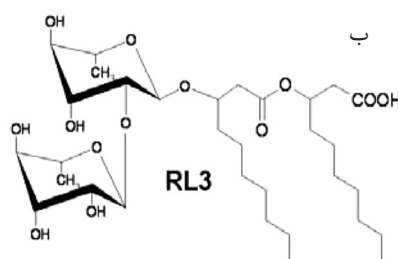
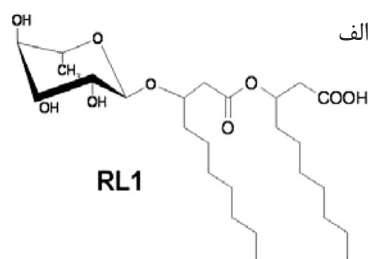
[۱]. این مواد می‌توانند با تشکیل میکروامولسیون، هیدروکربن‌های نامحلول را در خود حل کنند. به این دلیل هر ساله کاربردهای آنها مخصوصاً در زمینه‌های نفتی، غذایی و دارویی بیشتر توسعه می‌یابد [۳]. [۳]. مهمترین ویژگی بیوسورفکتنت‌ها سمیت پایین، فعالیت در محدوده وسیعی از دما، pH، غلظت نمک و تجزیه پذیری بالای آنها نسبت به

بیوسورفکتنت‌ها ترکیبات آلی تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان هستند که دارای دو بخش هیدروفوب و هیدروفیل هستند و می‌توانند کشش سطحی بین مایعات را کاهش دهند [۱] و

نفت خام،  $a$  و  $b$  مقادیر ثابت می‌باشند [۱۰].

$$\mu = a \times \frac{b}{API} \quad (1)$$

همان‌طور که از رابطه ۱ نیز استنباط می‌شود با کاهش ویسکوزیته درجه API آن افزایش پیدا می‌کند. از طرفی تبدیل نفت خام سنگین به حالت امولسیون می‌تواند در حذف ناخالصی‌هایی که در فرایند جداسازی دخیل هستند موثر باشد. با ساخت امولسیون‌های نفتی عملیات انتقال نفت خام از یک منطقه به منطقه دیگر با استفاده از پمپ و جریان نفت خام سنگین در داخل لوله‌ها، به سهولت انجام می‌پذیرد [۱۱]. همچنین با کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین در حالت امولسیون، درجه API آن به شدت افزایش پیدا خواهد کرد. زیرا در این حالت نیروهای بین‌مولکولی در مواد موجود در نفت خام سنگین ضعیف شده و به راحتی از هم جدا می‌شوند [۱۲]. بنابراین دلایل ذکر شده لزوم تبدیل نفت خام سنگین به نفت سبک را با ساخت امولسیون‌های نفتی مشخص می‌کند. سورفکتانت‌های شیمیایی نظیر تریتون X100 و سدیم دودسیل سولفات (SDS) مهمترین سورفکتانت‌های شیمیایی هستند که در صنعت نفت برای کاهش کشش سطحی بین مایعات و ویسکوزیته نفت خام استفاده می‌شوند [۱۳]. به عنوان مثال مورسی و همکاران در مورد کاربرد سورفکتانت‌های شیمیایی در صنعت نفت به نتایج قابل توجهی دست یافتند [۱۴].



شکل ۱ ساختار شیمیایی مونو (الف) و دی رامنولیپید (ب) [۸].

سورفکتانت‌های شیمیایی است [۱ و ۴]. بسیاری از باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها طیف وسیعی از بیوسورفکتانت‌ها را تولید می‌کنند [۵]. رامنولیپیدها<sup>۱</sup> و سورفکتین<sup>۲</sup> دو مورد از مهمترین بیوسورفکتانت‌هایی هستند که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند [۶]. رامنولیپیدها گلیکولیپیدهای آنیونی متشکل از L-رامنوز و اسیدهای چرب بتا هیدروکسی هستند [۷]. این بیوسورفکتانت در ساختارهای مختلف تولید می‌شود. مهمترین رامنولیپیدهای شناسایی شده که توسط گونه‌های مختلف باکتری<sup>۳</sup> سودوموناس آئروجینوزا تولید می‌شود، عبارتند از:

مونورامنولیپید

(L-rhamnosyl-3-hydroxydecanoyl-3-hydroxydecanoate)

دی رامنولیپید

L-rhamnosyl-L-rhamnosyl-3-hydroxydecanoyl-3-hy-

(droxydecanoate)

ساختار شیمیایی دو نوع رامنولیپید در شکل ۱ نشان داده شده است.

نفت خام سنگین نفتی است که غلظت و وزن مخصوص بالایی دارد و به دلیل چسبندگی بالا، به سادگی در چاه استخراج نفت جریان پیدا نمی‌کند. در تعریف دقیق به هر نوع نفت خام مایعی که درجه API آن پایین‌تر از ۲۰ باشد نفت خام سنگین گفته می‌شود [۹]. روابط ریاضی زیادی در مورد ارتباط بین ویسکوزیته و درجه API<sup>۴</sup> در نفت خام وجود دارد. ستارین و همکارانش رابطه ۱ را برای نفت خام سنگین ارائه کردند. در این رابطه  $\mu$  ویسکوزیته

1. Rhamnolipid  
2. Surfactin  
3. Pseudomonas Aeruginosa  
4. American Petroleum Institute

قبل از شروع فرایند در دمای °C ۱۲۰، فشار ۱۵ psi به مدت ۲۰ min اتوکلاو شد. تولید رامنولیپید در یک ارلن مایر ۲۵۰ mL شامل ۲۰۰ mL از محیط کشت اصلی و ۲۰ mL از محیط کشت حاوی باکتری در داخل شیک انکوباتور (MEHR TAJHIZ Co, IRAN) با دور ۱۲۰ rpm و دمای °C ۳۷ و به مدت ۷ روز انکوباسیون انجام شد [۱۶]. پس از اتمام فرایند انکوباسیون محیط کشت حاوی محصول در یک سانتریفیوژ (BEHDAD, IPX, I) با دور ۳۴۵۰ rpm و به مدت ۴۵ min سانتریفیوژ شد تا بیومس تولید شده توسط میکروارگانسیم‌ها، جداسازی شود. در مرحله بعدی pH فاز آبی به دست آمده با استفاده از محلول ۱ مولار  $H_3PO_4$  واقعی است.

#### شناسایی رامنولیپید تولید شده

محصول به دست آمده توسط دو روش کروماتوگرافی لایه نازک<sup>۲</sup> (Silica Gel plate SG005) و آی-آر اسپکتروسکوپی<sup>۴</sup> شناسایی گردید. در این روش فاز متحرک شامل کلروفرم: متانول: استیک اسید (۶۵:۱۵:۲) و فاز سکون شامل استیک اسید: سولفوریک اسید: انیس آلدئید (۱۰۰:۲:۱) بود [۱۷]. تمامی اعداد به دست آمده در روش کروماتوگرافی لایه نازک میانگین ۳ بار آزمایش می‌باشند. همچنین دستگاه آی آر با مشخصات

(Bruker FT-IR spectrometer, Dresden, Germany with KBr disks) برای شناسایی رامنولیپید تولید شده استفاده گردید.

#### آماده‌سازی و تعیین شاخص امولسیون‌ها

در این مطالعه، نفت خام سنگین از شرکت ملی نفت ایران به عنوان فاز پیوسته مورد استفاده قرار گرفت. خواص این فیزیکی نفت خام در جدول ۱ آورده شده است. برای تعیین شاخص امولسیون، ۵ mL از نفت خام سنگین ( $\mu = 2360$  mP.s, API=۱۸) با ۵ mL از رامنولیپید با غلظت‌های مختلف (۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰٪) در یک لوله آزمایش مخلوط شد تا مجموع حجم‌های آب و نفت به ۱۰ mL برسد.

اما با توجه به اینکه رامنولیپیدها دارای خصوصیتی نظیر کاهش در کشش سطحی، زیست تخریب‌پذیری و غیر سمی بودن، توانایی بالایی در تمیز کاری، تثبیت فرمولاسیون آب/روغن (W/O)<sup>۱</sup> در صنایع دارویی، چندبرابر کردن استخراج نفت یا فرایند ازدیاد برداشت در صنایع مثل نفت و پتروشیمی دارند، می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های مهم برای کاهش ویسکوزیته نفت خام استفاده شود [۱] و ۳ و ۴]. اما از آنجایی که مطالعات کمی در مورد کاهش ویسکوزیته نفت خام و بالابردن درجه API آن توسط بیوسورفکتنت‌ها که مزیت‌های فراوانی نسبت به سورفکتنت‌های شیمیایی دارند، انجام شده است و همچنین در صنایع پتروشیمی و نفت بیشتر از سورفکتنت‌های شیمیایی مثل Tween، Span، SDS برای بالا بردن کیفیت نفت خام سنگین استفاده می‌شود، این تحقیق می‌کوشد تا با استفاده از بیوسورفکتنت رامنولیپید تولید شده از باکتری سودوموناس آئروچینوا ATCC28793 این کمبود را جبران و گامی در توسعه این صنعت بردارد.

#### روش کار

##### تولید رامنولیپید

محیط کشت اصلی شامل:  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , ۰/۰۵ gr/L،  $NaNO_3$ , ۱/۵ g/L، KCl, ۰/۱ g/L و

روغن آفتاب گردان با نسبت (C/N) برابر با ۱۲/۸ بود. باکتری سودوموناس آئروچینوزا در محیط کشت لاکتوز برات<sup>۲</sup> رشد کرده بود. ترکیبات نمک‌های معدنی که در آب دیونایز آماده شده بود، شامل:

$KH_2PO_4$ , ۱ g/L،  $NH_4NO_3$ , ۱ g/L

$K_2HPO_4$ , ۱ g/L

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , ۰/۲ g/L

$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ , ۰/۲ g/L

$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , ۰/۰۵ g/L بود [۱۵]. تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان (Darmstadt, Germany) خریداری شده بود. همه مواد

1. Water in Oil  
2. Lactose Broth  
3. Thin Layer Chromatography  
4. Fourier Transform Infrared

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نفت خام سنگین.

ASTM	مقدار	پارامترهای فیزیکی
ASTM D 4052	۰/۹۴	وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )
ASTM D 1288	۱۹/۵	درجه API
ASTM D 4006	۰/۰۵	مقدار آب (Vol. %)
ASTM D 5663	-۱۵	نقطه ریزش (°C)
ASTM D 4446	۲۲۷۰	ویسکوزیته (cP)

امولسیون‌ها از یک حمام آبی و خشک کننده<sup>۲</sup> با مشخصات

(Binder, FDL series, maximum wide temperature range. measures at 300 °C)

استفاده گردید

#### اندازه‌گیری اندازه ذرات

برای اندازه‌گیری سایز ذرات آب در داخل نفت سنگین از دستگاه

DLS (Nanotracc Wave, MicrotraccSandiego, CA)

استفاده گردید. همچنین برای مشاهده چگونگی توزیع قطرات آب در داخل نفت سنگین از یک میکروسکوپ الکترونی با مشخصات (Zenith Microlab 1000B, U.K.) استفاده شد.

#### بحث و نتایج

##### بازده رامنولیبید

بازده تولید رامنولیبید پس از ۷ روز انکوباسیون ۲ g/L بود. همچنین بازده تولید رامنولیبید نسبت به سوپسترات مصرفی (YP/S) و نسبت تولید رامنولیبید به بیومس تولید شده (YP/X) به ترتیب ۰/۲ و ۲/۶ (g/g) بود.

##### نتایج آنالیز کروماتوگرافی لایه نازک و آی-آر

شکل ۲ نتایج آی آر مربوط به رامنولیبید تولید شده را نشان می‌دهد. یک باند پهن کششی در  $3400 \text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده گروه (OH) در ملکول هست.

مخلوط لوله‌های آزمایش به مدت ۱ hr در دستگاه سونیکاتور (Sonopuls HD 3200, 15 Watt, Bandelin Electronic, Germany) هم زده شد. سپس به مدت ۲۴ hr در حالت سکون نگه داشته شدند. پس از آن شاخص امولسیون<sup>۱</sup> (E24) با استفاده رابطه ۲ محاسبه گردید [۱۸].

$$E 24 = \frac{H_e}{H_t} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $H_e$  ارتفاع نفت امولسیفیکه شده و  $H_t$  طول کل محلول می‌باشد.

##### اندازه‌گیری ویسکوزیته و درجه API

ویسکوزیته امولسیون‌های ساخته شده با استفاده از دستگاه ویسکومتر (PT-1230, IRAN, 2013) اندازه گرفته شد. در مرحله بعد برای اندازه‌گیری درجه API ابتدا با استفاده از روش استاندارد (ASTM D 4052) وزن مخصوص امولسیون اندازه گرفته شده و سپس با استفاده از رابطه ۳ درجه API مخلوط اندازه گرفته شد [۱۹].

$$API = \left( \frac{141.5}{SPG} \right) - 131.5 \quad (3)$$

که در آن SPG<sup>۲</sup> وزن مخصوص امولسیون می‌باشد.

##### بررسی پایداری امولسیون‌ها

در این قسمت لوله یا لوله‌های آزمایشی که دارای شاخص امولسیون ۱۰۰٪ می‌باشند برای بررسی پایداری در شرایط مختلف دما (۱۳۰-۳۰ °C)، pH (۱)، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴) و غلظت نمک (۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴٪w/v) انتخاب شدند. برای تنظیم pH از محلول ۱ مولار HCl و محلول ۱ نرمال NaOH استفاده شد. همچنین برای گرمایش

1. Emulsification Index  
2. Specific gravity  
3. Deryer

دستگاه دیجیتالی تنسیومتر<sup>۳</sup> میزان کاهش در کشش سطحی رامنولپید در آب را اندازه گرفته و با رسم نمودار کاهش در کشش سطحی در برابر غلظت رامنولپید و ۳ بار تکرار منحنی به دست آمده، مقدار CMC برای این ماده ۱۸۰ mg/L به دست آمد. نتایج گزارش شده از مطالعات سایر محققان در مقالات نشان می‌دهد، مقدار CMC برای رامنولپید مابین ۱۰ الی ۲۳۰ mg/L به دست آمده است [۲۰].

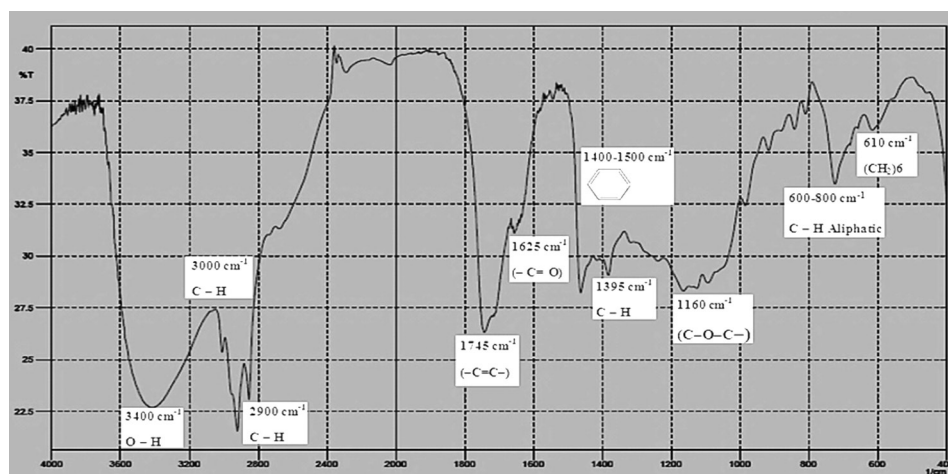
#### مطالعه پایداری امولسیون‌ها

نتایج این قسمت در شکل ۳ ارائه شده است. مقدار E24 برای ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ w/v٪ از بیوسورفکتنت رامنولپید به ترتیب ۰، ۶۳، ۷۸، ۸۹، ۹۸ و ۱۰۰٪ می‌باشد. همان‌گونه که از شکل پیداست با افزایش غلظت رامنولپید E24 افزایش می‌یابد به طوری که در ۸٪ وزنی تقریباً و ۱۰٪ وزنی از رامنولپید فاز آبی به طور کامل در فاز نفت خام سنگین پخش شده است. همچنین این امولسیونها بسته به غلظت رامنولپید، حتی به مدت ۷۲ hr نیز پایدار بودند. شکل ۴ مقادیر E24 و E72 را برای غلظت‌های مختلف رامنولپید در فاز آبی و نفت را که پس از ۳ بار تکرار آزمایش به دست آمده‌اند، نشان می‌دهد.

مقادیر جذب در طول موج‌های ۳۰۰۰، ۲۹۰۰ و  $1395\text{ cm}^{-1}$  و  $1160\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب نشان‌دهنده گروه کششی (CH-) مربوط به گروه‌های  $\text{CH}_2$  و  $\text{CH}_3$  مربوط به آلیفاتیک می‌باشد. مقدار جذب در طول موج  $610\text{ cm}^{-1}$  وجود گروه  $(\text{CH}_2)_n$  که در آن n برابر ۶ می‌باشد. همچنین جذب‌های موجود در طول موجهای  $1625\text{ cm}^{-1}$  و  $1745\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب وجود گروه‌های (C=O) و (C-O-C-) را ثابت می‌کند. همچنین جذب‌های ضعیف در نواحی  $3000\text{ cm}^{-1}$  و  $1400-1500\text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده باند غیر اشباع (C=C-) مربوط به زنجیر آلیفاتیک می‌باشد. مقایسه اعداد به دست آمده در این تحقیق با اعداد گزارش شده در مقالات تولید ماده رامنولپید را تایید می‌کند [۲۰ و ۲۱]. جدول ۲ مقادیر به دست آمده برای آنالیز کروماتوگرافی لایه نازک را نشان می‌دهد. در این آنالیز ۲ نقطه با فاکتور تاخیر<sup>۱</sup> (Rf)  $0/33$  و  $0/69$  بر روی کاغذ مربوطه ظاهر شد که نشان‌دهنده وجود مونو و دی رامنولپید در ماده به دست آمده می‌باشد. آنالیزهای گزارش شده برای این ماده در سایر مقالات نیز موید تولید این ماده می‌باشد [۲۲].

#### تعیین غلظت بحرانی میسل (CMC)<sup>۲</sup>

برای تعیین غلظت بحرانی میسل با استفاده از

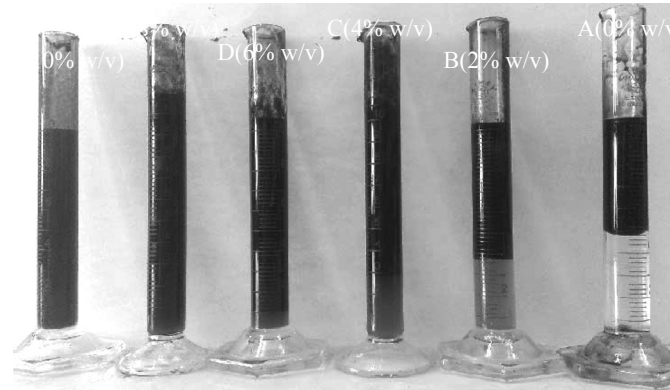


شکل ۲ منحنی IR رامنولپید تولید شده.

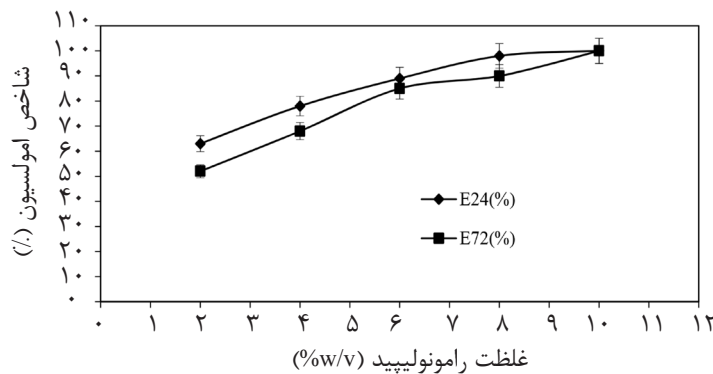
1. Retardation Factor (Rf)
2. Critical Micelle Concentration
3. Tensiometer

جدول ۲ نتایج مقادیر  $R_f$  برای رامنولپید تولید شده و گزارش شده در مقالات.

$R_{f1}$	$R_{f2}$	نمونه های رامنولپید
۰/۳۴	۰/۷	رامنولپید تولید شده در این تحقیق
۰/۳۵	۰/۶۸	رامنولپید گزارش شده در مقالات



شکل ۳ روند افزایش پایداری امولسیون‌های نفت در آب با افزایش غلظت رامنولپید.



شکل ۴ مقادیر E72 و E24 برای رامنولپید تولید شده.

به دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است با استفاده از نتایج به دست آمده می‌توان گفت رامنولپید در مقایسه با سورفکتنت‌های شیمیایی توانایی بالایی در ساخت امولسیون‌های نفتی و همچنین تبدیل نفت خام سنگین به نفت سبک را دارد.

#### تاثیر غلظت نمک

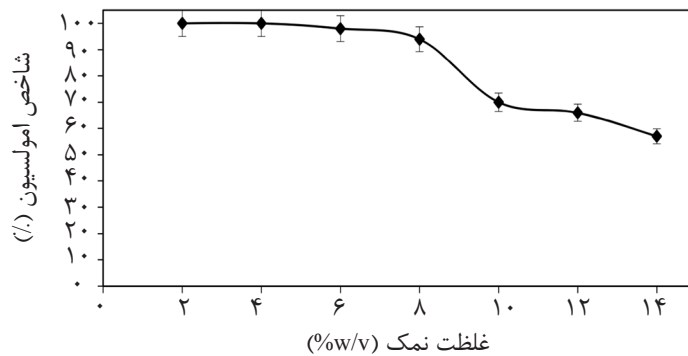
شکل ۵ تاثیر غلظت نمک بر پایداری امولسیون‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود تا غلظت ۸٪ نمک امولسیون‌ها پایدار بوده و بالاتر از این غلظت به آرامی پایداری امولسیون‌ها کاهش یافته تا جایی که در ۱۴٪ از نمک طعام مقدار E24 به ۵۷٪ کاهش یافته است.

#### بررسی ویسکوزیته و درجه API

لوله‌های آزمایش E و F که به ترتیب دارای مقادیر E24 برابر با ۹۸ و ۱۰۰٪ می‌باشند، برای ارزیابی میزان کاهش در ویسکوزیته و افزایش درجه API مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به روابط ریاضی ۱، ۲ و ۳ مربوطه ملاحظه شد ویسکوزیته نفت خام از ۲۳۶۰ به ۹۳۰ mPa.s کاهش یافته است. همچنین درجه API آن از ۱۸ به ۲۸ افزایش پیدا کرده است. نتایج این قسمت نشان داد با توجه به اعداد به دست آمده برای ویسکوزیته و درجه API، نفت سنگین به نفت سبک تبدیل شده است. این قسمت از تحقیق با سورفکتنت‌های شیمیایی Fatty Acid و TritonX100 نیز انجام شد که نتایج

جدول ۳ مقایسه تاثیر بیوسورفکتنت رامنولیپید تولید شده با سایر سورفکتنت ها و بیوسورفکتنت ها.

سورفکتنت/ بیوسورفکتنت	اولیه °API	ثانویه °API	ویسکوزیته اولیه (mPa.s)	ویسکوزیته ثانویه (mPa.s)
رامنولیپید	۱۸	۲۸	۲۳۶۰	۹۳۰
X100 تریتون	۱۸	۲۷/۷	۲۳۶۰	۸۶۰
اسید چرب	۱۸	۲۵	۲۳۶۰	۱۱۰۰



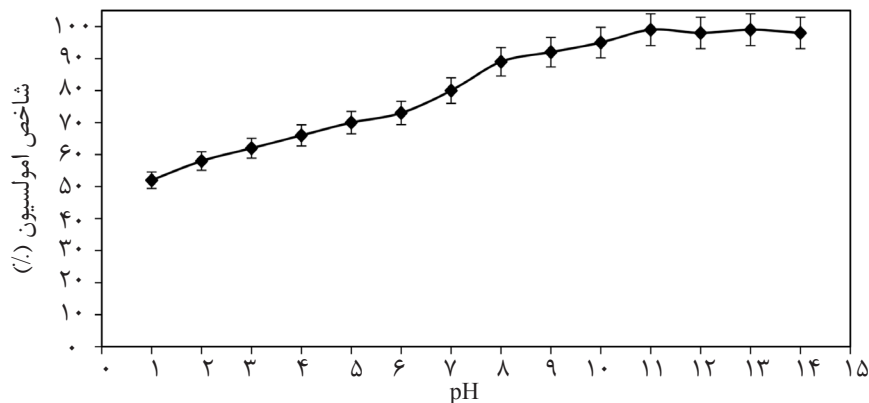
شکل ۵ تاثیر غلظت نمک بر پایداری امولسیون ها.

pH های پایینتر از ۸ امولسیون ها پایدار نبودند و با کاهش pH تا ۱ مقدار E24 به ۵۲٪ کاهش یافته است. ولی در pH بین ۸-۱۴ امولسیون ها نسبتاً پایدار بودند. به طوری که تا pH نزدیک ۱۳ تغییری در پایداری امولسیون ها مشاهده نمی شود و در pH های نزدیک ۱۳ مقدار E24 برابر ۹۹٪ می باشد. مکانیزم این ناپایداری امولسیون ها در pH های زیر ۸ بدین صورت توضیح داده می شود که با افزایش یون  $H^+$  در محلول و به دلیل وجود یون های  $OH^-$  در محلول فاز آبی سیستم بیشتر شده و در نتیجه نیروی جدایش بین درفاز آبی و نفت تقویت شده و جدایش دو فاز تسهیل می شود.

کاهش مقدار E24 با افزایش غلظت نمک می تواند به دلیل افزایش غلظت یون های نمک در داخل محلول باشد که در نتیجه تعادل فاز سیستم را به هم زده و باعث می شود تا فاز آبی و نفت از هم جدا شوند [۲۳]. همچنین افزایش غلظت نمک باعث می شود نیروهای دافعه بین ملکول های بیوسورفکتنت و یون های تولید شده زیاد شده و دو فاز از هم جدا شوند.

#### تاثیر pH

پایداری امولسیون ها شدیداً وابسته به pH می باشد. در ۸ %w/v از رامنولیپید pH محلول برابر ۶ بود. شکل ۶ تاثیر pH بر پایداری امولسیون ها را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است، در



شکل ۶ تغییرات پایداری امولسیون ها با pH.

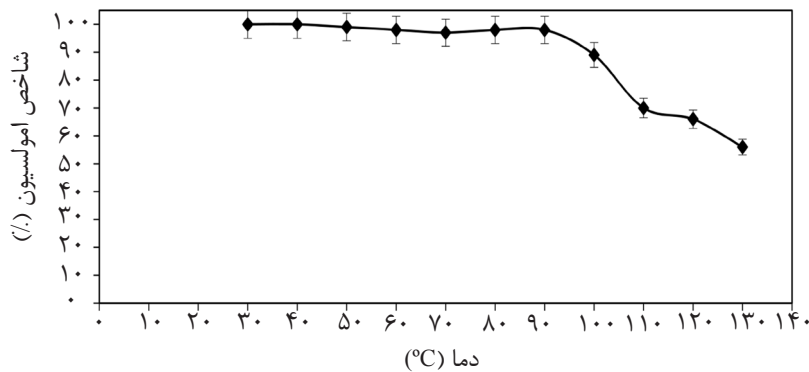
## تأثیر دما

شکل ۷ نتایج مربوط به این قسمت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش دما تا  $90^{\circ}\text{C}$  تأثیری در پایداری امولسیون‌ها مشاهده نمی‌شود. ولی با افزایش دما از  $90^{\circ}\text{C}$  تا  $130^{\circ}\text{C}$  پایداری امولسیون‌ها کاهش یافته تا اینکه مقدار E24 در  $130^{\circ}\text{C}$  به  $56\%$  کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث تخریب بیوسورفکتانت رامنولپید شده و خاصیت کاهش در کشش، تشکیل میسل در درون محلول‌ها را از بین می‌برد که نتیجه آن جدایی بین دو فاز آب و نفت شده و مقدار E24 با افزایش دما کاهش می‌یابد.

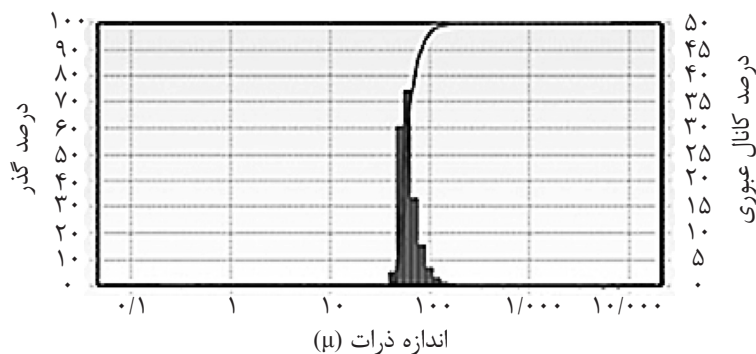
## اندازه‌گیری اندازه ذرات

مطابق با تئوری اسوالد رایپنینگ<sup>۱</sup> با افزایش غلظت فاز آبی در فاز نفت قطر متوسط قطرات پخش

شده در داخل فاز آلی (نفت) رفته رفته بیشتر می‌شود [۲۴]. با توجه به اینکه مقدار E24 در لوله آزمایش F مقدار  $100\%$  را نشان می‌دهد، بنابراین برای اندازه‌گیری توزیع ذرات و همچنین قطر متوسط آنها از این لوله آزمایش استفاده شد. شکل ۸ چگونگی توزیع ذرات آب در داخل نفت را که با استفاده از یک میکروسکوپ الکترونی گرفته شده است نشان می‌دهد. مطابق با شکل قطر متوسط ذرات پخش شده در داخل فاز نفت تقریباً  $50-70\ \mu\text{m}$  می‌باشد که پس از ۳ بار تکرار و به صورت میانگین محاسبه شده است. همچنین برای اثبات این ادعا از تست DLS نیز برای اندازه‌گیری اندازه ذرات استفاده شد که شکل ۹ این محدوده سایز را برای این امولسیون تایید می‌کند.

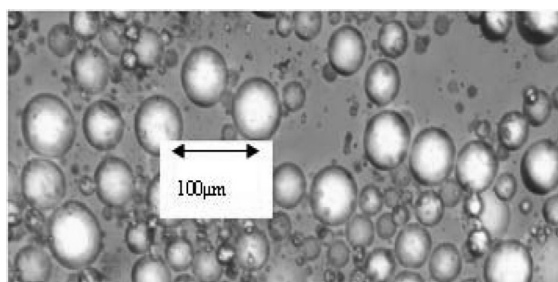


شکل ۷ تغییرات پایداری امولسیون‌ها با دما.



شکل ۸ تست DLS مربوط به لوله آزمایش F.





شکل ۹ تصویر میکروسکوپی از چگونگی پخش ذرات آب در نفت لوله آزمایش F.

و غلظت نمک (۰-۸ w/v) پایدار بودند. بنابراین بیوسورفکتنت رامنولیپید می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای سورفکتنت‌های شیمیایی در صنعت نفت و همچنین فرایندهای زیست محیطی داشته باشد.

#### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران انجام شد. نویسندگان این مقاله بدین وسیله کمال تشکر و قدردانی را از این شرکت جهت این حمایت مالی دارند.

#### نتیجه‌گیری

در این تحقیق بیوسورفکتنت رامنولیپید از گونه سودوموناس آئروجینوزا تولید و سپس با استفاده از آی آر اسپکتروسکوپی و کروماتوگرافی لایه نازک شناسایی گردید. در مرحله بعد با غلظت‌های ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ w/v از رامنولیپید، امولسیون‌های مختلفی از آب و نفت خام سنگین تهیه گردید. با استفاده از امولسیون‌های به دست آمده ملاحظه شد ویسکوزیته نفت خام سنگین از ۲۳۶۰ به ۹۳۰ mpa.s کاهش یافت. همچنین امولسیون‌های تشکیل شده در محدوده وسیعی از دما (۳۰-۹۰ °C)، pH (۸-۱۴)

#### مراجع

- [1]. Liley J. R., Penfold R. K., Thomas I. M., Tucker J. T., Petkov P. S., Stevenson I. M., Banat I. M., Marchant R., Rudden M., Terry A. and Grillo I. I., "Self-assembly in dilute mixtures of non-ionic and anionic surfactants and rhamnolipid biosurfactants," *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 1, No. 487, pp. 493-503, 2017.
- [2]. Sachdev D. P. and Swaranjit S. C., "Biosurfactants in agriculture," *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 97, No. 3, pp. 1005-1016, 2013.
- [3]. Shoeb E., Faiza A., Uzma B., Jameela A. and Samina I., "Classification and industrial applications of biosurfactants," *Academic Research International*, Vol. 4, No. 3, p. 243, 2013.
- [4]. Paniagua-Michel J. and Alberto R., "Marine bioremediation-A sustainable biotechnology of petroleum hydrocarbons biodegradation in coastal and marine environments," *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, Vol. 6, No. 273, pp. 347-359, 2015.
- [5]. Kosaric N. and Sukan F. V., "Biosurfactants: production and utilization—processes, technologies, and economics," *CRC Press*, Vol. 159, No.3, pp. 234-245, 2014.
- [6]. Mukherjee S., Palashpriya D. and Ramkrishna S., "Towards commercial production of microbial surfactants," *Trends in Biotechnology*, Vol. 24, No. 11, pp. 509-515, 2006.
- [7]. Radzuan M. N., Ibrahim M. B. and James W., "Production and characterization of rhamnolipid using palm oil

- agricultural refinery waste*," *Bioresource Technology*, Vol. 4, No. 225, pp. 99-105, 2017.
- [8]. Mawgoud A., Mohammad A., Lépine F. and Déziel E., "*Rhamnolipids: diversity of structures, microbial origins and roles*," *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 86, No. 5, pp. 1323-1336, 2010.
- [9]. Lozano D. C., Jorge A., Rafael C. H., Jáder E. G. and Enrique M. O., "*APPI (+)-FTICR mass spectrometry coupled to partial least squares with genetic algorithm variable selection for prediction of API gravity and CCR of crude oil and vacuum residues*," *Fuel*, Vol.1, No. 193, pp. 39-44, 2017.
- [10]. Sattarina M., Modarresi H., Bayata M. and Teymoria M., "*New viscosity correlations for dead crude oils*," *Petroleum & Coal*, Vol. 2, No. 49, pp. 33-39, 2007.
- [11]. Martínez P., Rafael M., Beatriz Z., Elizabeth M., César B., Juan L. and Jorge A., "*Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review*," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 75, No. 3, pp. 274-282, 2011.
- [12]. Li S., Dolanimiti O., Tiegang F., Julie. and Orlando J., "*Carboxymethylated lignins with low surface tension toward low viscosity and highly stable emulsions of crude bitumen and refined oils*," *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 5, No. 482, pp. 27-38, 2016.
- [13]. Saien J. and Mahdis B., "*Understanding the effect of different size silica nanoparticles and SDS surfactant mixtures on interfacial tension of n-hexane–water*," *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 2, No. 224, pp. 158-164, 2016.
- [14]. Morsy A. and Salwa M. I., "*Role of surfactants in nanotechnology and their applications*," *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, Vol. 3, No. 5, pp. 237-260, 2014.
- [15]. Nayak A. S., Vijaykumar M. H. and Karegoudar T. B., "*Characterization of biosurfactant produced by Pseudoxanthomonas sp. PNK-04 and its application in bioremediation*," *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 63, No. 1, pp. 3-79, 2009.
- [16]. Soberón C., Gloria F. and Déziel E., "*Production of rhamnolipids by pseudomonas aeruginosa*," *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 68, No. 6, pp. 718-725, 2005.
- [17]. Reddy K., Sathi M., Yahya K. K., Archana M. G. and Bee H., "*Utilization of mango kernel oil for the rhamnolipid production by Pseudomonas aeruginosa DR1 towards its application as biocontrol agent*," *Bioresource Technology*, Vol. 5, No. 221, pp. 291-299, 2016.
- [18]. Azizollah E., Najmeh T. and Sharareh L., "*Isolation of biosurfactant producing bacteria from oily skin areas of small animals*," *Jundishapur Journal of Microbiology*, Vol. 12, No. 12, pp. 401-404, 2012.
- [19]. Ophus K., "*Removal of hydrocarbons from particulate solids*," US patent., (US 20130062258 A1), 2014.
- [20]. Rahman P. K., Pasirayi G., Auger V. and Ali Z., "*Production of rhamnolipid biosurfactants by Pseudomonas aeruginosa DS10129 in a microfluidic bioreactor*," *Biotechnology and Applied Biochemistry*, Vol. 55, No. 1, pp. 45-52, 2010.
- [21]. Rikalović M. G., Gojgić G., Vrvic M. M. and Karadžić I., "*Production and characterization of rhamnolipids from Pseudomonas aeruginosa san-ai*," *J. Serb. Chem. Soc.*, Vol. 77, No. 1, pp. 27-42, 2012.
- [22]. Lan G., Fan Q., Liu Y., Chen C., Li G., Liu Y., and Yin X., "*Rhamnolipid production from waste cooking oil*

using *Pseudomonas SWP-4*," Biochemical Engineering Journal, Vol. 101, No. 1, pp. 44-54, 2015.

[23]. Tadros T. F., "Emulsion formation and stability," (book), John Wiley & Sons Publication, pp. 34-42, 2013.

[24]. Beletskaya I. P., Alexander N. K., Irina A. K., and Alexey R. K., "Efficient and recyclable catalyst of palladium nanoparticles stabilized by polymer micelles soluble in water for Suzuki-Miyaura reaction, Ostwald ripening process with palladium nanoparticles," Synlett, Vol. 3, No. 10, pp. 1547-1552, 2008.