

# بررسی نقش امولسیون کننده تولیدی به وسیله باسیلوس لیچنیفورمیس ACO4 در کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین نوروز

افشین فرح‌بخش، مجید تقی‌زاده\*<sup>+</sup>

بابل، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۴۸۴

باقر یخچالی

تهران، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری

کامیار موقرنژاد

بابل، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۴۸۴

**چکیده:** در این مقاله از سویه میکروبی جدید باسیلوس لیچنیفورمیس ACO4 برای تولید امولسیون کننده زیستی استفاده شده است. بر اساس پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام شده، ماده امولسیون کننده تولیدی توسط این سویه توان بالایی در امولسیون سازی نفت سنگین در آب را داشته و به همین منظور برای تشکیل امولسیون نفت خام سنگین میدان نوروز ایران در مقیاس نیمه صنعتی به کار گرفته شده است. با تشکیل امولسیون نفت در آب در شرایط بهینه دما، درصد آب و درصد امولسیون کننده، ویسکوزیته نمونه نفت سنگین از ۱۰۰۰۰ cP به ۸۳۰ cP کاهش یافته و بدین وسیله شرایط آسان‌تر و کم هزینه تر انتقال نفت سنگین در خط لوله فراهم شده است. امولسیون تولیدی از خط لوله نیمه صنعتی ساخته شده عبور داده شده و با بررسی و مقایسه میزان رسوب گذاری برای نفت و امولسیون، اثر امولسیون سازی بر روی کاهش رسوب گذاری بررسی شد. این میزان کاهش چشمگیر در ویسکوزیته نفت سنگین و رسوب در مسیر انتقال، انرژی لازم برای انتقال را بسیار کم می‌کند. با به کار بردن سرما طی فرایند امولسیون سازی، پایداری نسبی ۲۴ ساعته برای امولسیون قابل انتقال فراهم شد که این پایداری تا حدود ۷۲ ساعت ادامه داشت.

**واژه‌های کلیدی:** امولسیون کننده زیستی، نفت خام سنگین، امولسیون نفت در آب، کاهش ویسکوزیته.

**KEY WORDS:** Bioemulsifier, Heavy crude oil, Oil / water emulsion, Viscosity reduction.

## مقدمه

برای تلفیق بهتر ترکیب‌های نفتی در محیط‌های آبی و تشکیل امولسیون نفت در آب مناسب هستند و در صنعت نفت نیز بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۳].

فرایند تشکیل و پایداری امولسیون نفت در آب، نتیجه پوشیده شدن

امولسیون کننده‌های زیستی گروهی از ترکیب‌های فعال کننده سطحی هستند که از فرایندهای میکروبی به دست می‌آیند و توانایی تشکیل امولسیون‌های پایدار آب در نفت و یا نفت در آب را دارا می‌باشند. برخی از این امولسیون کننده‌ها که دارای ساختار پلیمری هستند،

\*E-mail: m\_taghizadehfr@yahoo.com

\*عهده دار مکاتبات

در این مقاله با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، سوبیه میکروبی *باسیلوس لیچنیفورمیس ACO4* به عنوان مناسب‌ترین سوبیه برای تولید ماده امولسیون کننده مورد استفاده قرار گرفته است. به‌علاوه، از آنجا که امولسیون پایدار نفت در آب طی تعدادی فرایندهای منظم و حساس و در شرایط بهینه ای قابل تشکیل است، با بررسی پژوهش‌های مشابه، فرایند مناسب امولسیون‌سازی و شرایط بهینه آن انتخاب و به طور دقیق در مقیاس نیمه صنعتی مورد آزمایش قرار گرفته است [۱۳، ۱۲].

بعد از انتخاب سوبیه و فرایند امولسیون‌سازی مناسب، سامانه سیکی خط لوله انتقال نفت بر اساس انجام محاسبات شدت جریان حجمی و فشار سیال، پمپ مناسب و افت فشار در طول لوله، قطر و طول لوله، حجم مخازن و انتخاب جنس لوله و اتصالات با جانمایی مناسب تجهیزات، ساخته شده و توسط آن، شرایط بهینه دما، درصد آب و درصد امولسیون کننده (به‌دست آمده از نتیجه‌های آزمایشگاهی) برای تشکیل امولسیون پایدار نفت در آب در مقیاس نیمه صنعتی مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه‌های به دست آمده از این آزمایش‌ها با هدف بررسی امکان صنعتی ساختن فرایند امولسیون‌سازی نفت سنگین و کاهش ویسکوزیته و در نتیجه انتقال راحت‌تر آن توسط خط لوله‌های صنعتی، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

### بخش تجربی

#### سوبیه میکروبی و محیط کشت

از سوبیه گرم مثبت، اسپورساز و بومی *باسیلوس لیچنیفورمیس ACO4* (موجود در آرشیو میکروبی پژوهشگاه صنعت نفت ایران) که از لحاظ شکل شناسی و فیزیولوژیکی و آنالیز 16S rRNA مورد شناسایی قرار گرفته است [۳]، به‌عنوان منبع تولید کننده ماده امولسیون کننده استفاده شد. برای تولید ماده امولسیون کننده، این سوبیه فوق در محیط کشتی با ترکیب‌های  $(\text{g L}^{-1})$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ۱/۸،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ۱/۲،  $\text{NaCl}$  ۰/۱،  $\text{NaNO}_3$  ۴، ۱۵ گلوکز، ۰/۵ اوره،  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ۰/۱ و  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  مایه‌گذاری شده و برای رشد و تهیه ماده امولسیون کننده برای انجام آزمایش‌ها در مقیاس نیمه صنعتی، حدود ۱۵ ارلن به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر از محیط کشت فوق در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور مدل VELP-FTC-90E قرار گرفت.

به منظور جلوگیری از تشکیل لخته‌های ژله‌ای شکل در اثر تشکیل هیدروکسیدهای آهن و منیزیم و در نتیجه تار شدن محیط کشت،

قطره‌های روغن و آب با امولسیون کننده در یک ترکیب و ساختار منظم است. بخش آب گریز امولسیون کننده به سطح قطره روغن متصل می‌شود و قسمت آب دوست آن در تماس با فاز آبی قرار می‌گیرد که نتیجه آن تشکیل یک امولسیون یکنواخت نفت در آب است. تشکیل این‌گونه امولسیون‌ها باعث کاهش چشمگیر ویسکوزیته ترکیب‌های نفتی و راحتی در انتقال ترکیب‌های ویسکوز با خط لوله می‌شود [۵، ۴].

برای کاهش ویسکوزیته نفت سنگین به روش تشکیل امولسیون نفت در آب می‌توان از امولسیون کننده‌های شیمیایی و یا زیستی استفاده نمود. از جمله افزودنی‌های شیمیایی که برای این منظور استفاده می‌شود می‌توان به سدیم هیدروکسید، آمونیاک و امولسیون کننده‌های آنیونی و غیر آنیونی اشاره کرد. هر یک از امولسیون کننده‌های شیمیایی و زیستی نقش ویژه‌ای در فرایند امولسیون‌سازی بازی می‌کنند که حضور هم زمان این مواد را برای دستیابی به امولسیون مناسب و پایدار ضروری می‌سازد. حضور امولسیون کننده‌های زیستی، ویسکوزیته نفت را به‌طور چشمگیری کاهش داده و استفاده از امولسیون کننده‌های شیمیایی، پایداری بالایی برای امولسیون ایجاد می‌کند [۷، ۶].

برای انتقال نفت سنگین با خط لوله و آسانی انجام این عملیات، باید برخی از ویژگی‌های فیزیکی نفت سنگین اصلاح شود تا قابل پمپ کردن شود. براین اساس لازم است ویژگی‌های فیزیکی نفت سنگین مانند API و ویسکوزیته به‌ترتیب تا حدود ۱۹ درجه و cP ۳۵۰۰ در دمای لوله، بهبود یابد. یکی از روش‌های مناسب برای دستیابی به این ویژگی‌ها، استفاده از آب با ویسکوزیته بسیار پایین‌تر از نفت، به عنوان فاز پیوسته در امولسیون و تشکیل امولسیون پایدار نفت در آب می‌باشد [۹، ۸].

در پژوهش‌های انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی، سوبیه‌های میکروبی مختلفی جهت تولید امولسیون کننده‌های زیستی مناسب مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که اکثر آنها گونه‌های سوبیه بومی *باسیلوس لیچنیفورمیس*<sup>(۱)</sup> بوده‌اند [۳، ۲].

تبدیل نفت سنگین به شکل امولسیون پایدار نفت در آب علاوه بر ایجاد شرایط فیزیکی لازم، باعث کاهش انرژی مصرفی و هزینه‌های پمپ کردن در مسیر انتقال می‌شود. این فرایند همچنین در کاهش رسوب ترکیب‌های سنگین نفتی در زمان عبور از خط لوله و جلوگیری از گرفتگی‌های موضعی و کاهش شدت جریان با گذشت زمان، بسیار اثر گذار است [۱۱، ۱۰].

(۱) *Bacillus licheniformis*



شکل ۱- رسوب دارای ماده امولسیون کننده پس از سانتریفوژ.

#### ساخت خط لوله در مقیاس نیمه صنعتی

خط لوله واحد نیمه صنعتی به صورت سیکلی و بر اساس ویژگی‌های خط لوله ۸ اینچی انتقال نفت سنگین از ری به نیروگاه منتظر قائم طراحی شد. این خط لوله از جنس کربن استیل، به طول ۴/۸ متر و قطر ۵ سانتیمتر متصل به پمپ دنده‌ای غلیظ کش بوده که برای انتقال نفت سنگین با ویسکوزیته ۱۰۰۰۰ cP و با شدت جریان ثابت حدود ۰/۲ kg/s مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲). این واحد جهت ورود و خروج سیال و امکان نمونه‌گیری، به مسیرهای خروجی و شیرهای نمونه‌گیر در نقطه‌های گوناگون مجهز شد. همچنین برای انجام فرآیند امولسیون سازی مخزن دوجداره به حجم ۳۰ لیتر نیز بر بالای این خط لوله قرار گرفت.

#### تهیه امولسیون پایدار نفت سنگین در آب

در این مرحله برای تشکیل امولسیون پایدار نفت در آب، ابتدا در مقیاس آزمایشگاهی امولسیون‌هایی در شرایط گوناگون دما و درصد های متفاوت از آب و امولسیون کننده ساخته شد تا بر اساس نتیجه‌های به دست آمده، شرایط بهینه عملیاتی مشخص شده و در مقیاس نیمه صنعتی به کار گرفته شود. در مرحله‌ی آزمایشگاهی، جهت تشکیل امولسیون نفت در آب نمونه‌ای از نفت سنگین میدان نوروز مطابق فرآیند شکل ۳ با مقدارهای گوناگونی از آب (۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد وزنی) و ماده امولسیون کننده (۱/۷۶، ۱/۳۲ و ۰/۸۹ درصد وزنی) در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد، مخلوط شد

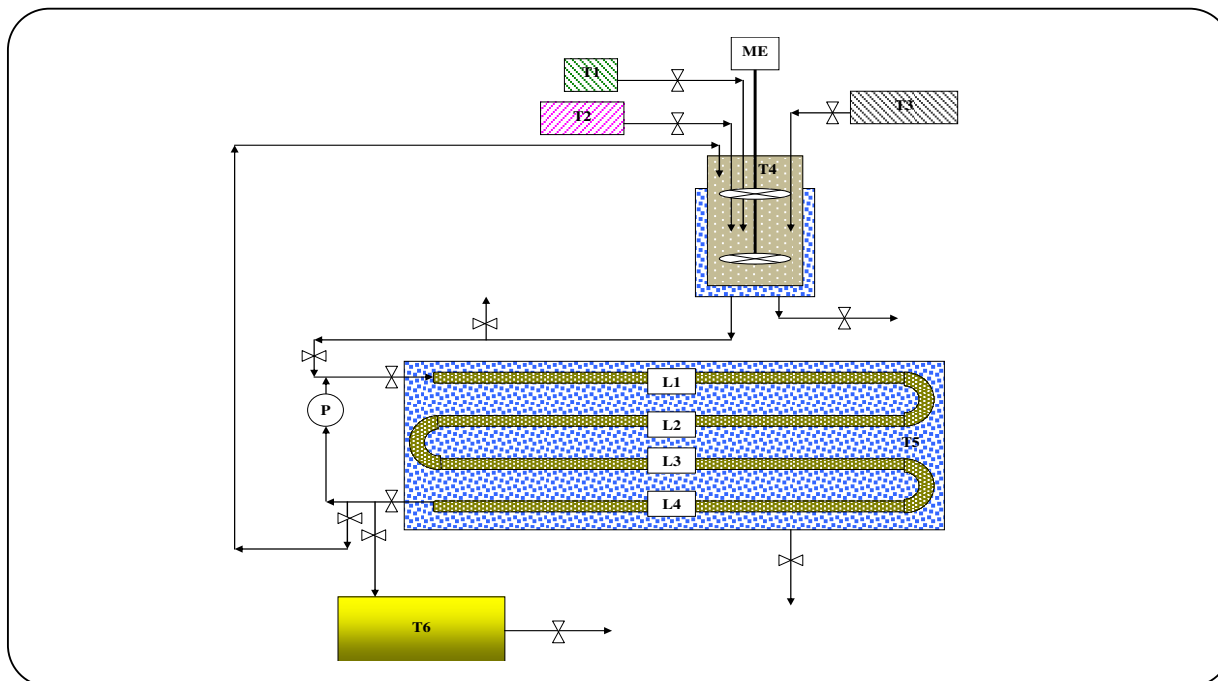
قبل از ضد عفونی نمودن محیط کشت، ابتدا شش ترکیب  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ،  $\text{NaCl}$ ،  $\text{NaNO}_3$ ، گلوکز و اوره با هم در آب حل و در دمای  $120^\circ\text{C}$  و فشار ۱۵۰ psi به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند (محلول A). سپس آهن سولفات و منیزیم سولفات نیز به‌طور جداگانه در کمی آب حل و با صافی یکبار مصرف سرسرنگی ضد عفونی شدند (محلول B). با ترکیب دو محلول A و B محیط کشت استریل و مناسب برای مایه‌گذاری سویه تهیه شد. برای تهیه محیط کشت جامد،  $20\text{ gL}^{-1}$  آگار به محیط کشت مایع اضافه شد. از محیط کشت مایع برای تولید ماده امولسیون کننده و انجام آزمایش‌های امولسیون‌سازی و از محیط کشت جامد برای تهیه آرشيو سویه و نگهداری نمونه خالص، استفاده شد.

#### تهیه و خالص سازی امولسیون کننده زیستی

برای استخراج ماده امولسیون کننده، محیط کشت تهیه شده پس از اتوکلاو، به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد تا ذره‌های جامد مازاد از آن جدا شده و ترکیب به نسبت خالصی از محیط کشت و ماده امولسیون کننده تولید شود [۴، ۲]. پس از سانتریفوژ کردن و جدا نمودن لایه بالایی، ۱۴ لیتر محلول امولسیون کننده و محیط کشت به دست آمد که برای اطمینان از استریل شدن و استخراج کامل امولسیون کننده، لایه بالایی دوباره در شرایط فشار و بخار مورد نظر قرار گرفت. برای جداسازی امولسیون کننده از محیط کشت ۷۰ میلی لیتر سولفوریک اسید ۹۸٪ به نسبت حجمی ۱/۲۰۰ به لایه بالایی به دست آمده افزوده شده و دوباره در شرایط ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. در اثر این عملیات ماده امولسیون کننده به صورت رسوب قهوه ای رنگ بر روی دیواره لوله سانتریفوژ ظاهر شده که از آن به عنوان ماده امولسیون کننده زیستی برای تهیه امولسیون نفت در آب استفاده شد (شکل ۱).

در این مرحله ۸۳ گرم ماده جامد امولسیون کننده تولید شد که برای استفاده آسان‌تر در فرآیند امولسیون سازی به نسبت وزنی ۱ به ۲۰ درون ۱۶۶۰ گرم آب ضد عفونی شده حل و به عنوان محلول امولسیون کننده زیستی مورد استفاده قرار گرفت.

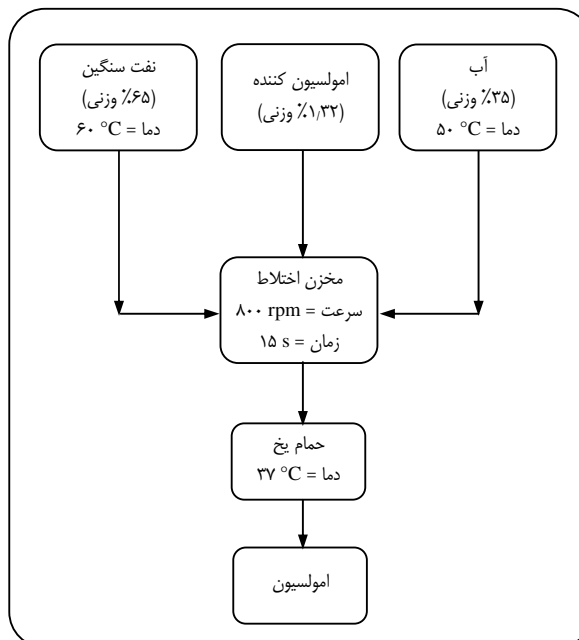
امولسیون کننده زیستی تولید شده دارای ویژگی‌هایی مانند آب دوستی، حلالیت در آب، ساختار ژله ای و ظاهری کرمی رنگ است که پس از جداسازی، رسوب آن به رنگ قهوه‌ای متمایل می‌شود.



شکل ۲- شمایی از خط لوله واحد نیمه صنعتی ساخته شده: T1: مخزن ذخیره سازی آب، T2: مخزن ذخیره سازی ماده امولسیون کننده، T3: مخزن ذخیره سازی نفت خام، T4: مخزن تهیه مخلوط امولسیون، T5: مخزن همدمای خط لوله، T6: مخزن تخلیه، ME: موتور همزن، P: پمپ، L1-4: خطوط سیکلی انتقال و عبور امولسیون.

و میزان ویسکوزیته امولسیون‌های تهیه شده توسط ویسکومتر و میزان Brook Field مدل DV-II+Pro اندازه‌گیری شد. براساس شرایط بهینه آزمایشگاهی و فرایند شکل ۳ برای تشکیل امولسیون نفت در آب، آب و ماده امولسیون کننده با درصدهای وزنی به ترتیب برابر ۳۵ و ۱/۳۲ با نفت سنگین در مقیاس نیمه صنعتی مخلوط شده و ویسکوزیته امولسیون تشکیل شده در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد.

برای دستیابی به دقت بیشتر، آزمایش در مقیاس نیمه صنعتی ۶ بار انجام شد که در هر بار ۸۷ کیلوگرم آب، ۲۶۵ گرم امولسیون کننده زیستی و ۶۳ گرم امولسیون کننده شیمیایی (Tween 80) تا دمای ۵۰ درجه سانتیگراد گرم شده و به آرامی در حین خوردن به ۱۶/۲۵ کیلوگرم نفت سنگین با ویسکوزیته cP ۱۰۰۰۰ که تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد گرم شده بود، افزوده شد. در مجموع، در این مرحله در حدود ۱۵۲ کیلوگرم امولسیون نفت درآب تهیه شد که در هر مرتبه ۲۵ کیلوگرم از آن وارد مخزن دوجداره واقع در بالای خط لوله شده و برای پایدارسازی بیشتر قبل از ورود به خط لوله توسط جداره دوم مخزن مورد شوک سرما قرار گرفت.



شکل ۳- مرحله‌های فرایند امولسیون‌سازی نفت سنگین در آب (امولسیون کننده شامل ۲۰ درصد Tween 80 و ۸۰ درصد امولسیون کننده زیستی می‌باشد).

جدول ۱- مقدارهای ویسکوزیته امولسیون نفت در آب در مرحله‌ی آزمایشگاهی.

شماره آزمایش	امولسیون کننده (درصد وزنی)	آب (درصد وزنی)	دما (°C)	ویسکوزیته امولسیون (cP)
۱	۱/۷۶	۳۰	۲۵	۱۴۷۴
۲	۱/۷۶	۳۵	۳۵	۳۲۷
۳	۱/۷۶	۴۰	۴۵	۱۸۲
۴	۱/۳۲	۳۰	۳۵	۴۸۳
۵	۱/۳۲	۳۵	۴۵	۱۱۴
۶	۱/۳۲	۴۰	۲۵	۱۵۷۸
۷	۰/۸۹	۳۰	۴۵	۵۳۶
۸	۰/۸۹	۳۵	۲۵	۲۸۳۳
۹	۰/۸۹	۴۰	۳۵	۴۹۲

آزمایشگاهی با توجه به پژوهش‌های قبلی [۱۲] و با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی عملیات نیمه صنعتی و صنعتی، انتخاب شده‌اند.

#### تشکیل امولسیون در مقیاس نیمه صنعتی

امولسیون نفت در آب مطابق فرایند بیان شده در شکل ۳، در مقیاس نیمه صنعتی و در شرایط بهینه (دمای ۴۵ درجه سانتیگراد، میزان امولسیون کننده ۱/۳۲٪ و میزان آب ۳۵٪) تشکیل شد. افزودن آرام - آرام مخلوط آب و امولسیون کننده به نفت و جلوگیری از کف کردن ترکیب در حین هم خوردن باعث ایجاد امولسیون پایدار با ویسکوزیته پایین تر می‌شود. درحالی که افزودن نفت به مخلوط آب و امولسیون کننده باعث تشکیل امولسیون آب در نفت شده که نتیجه آن افزایش ناگهانی ویسکوزیته و لجنی شدن امولسیون است. تولید امولسیون نفت در آب و جلوگیری از تشکیل امولسیون آب در نفت از موارد بسیار مهم در انجام این فرایند است که با رعایت دقیق مراحل گوناگون امولسیون‌سازی قابل دستیابی است. در اثر تشکیل این امولسیون میزان ویسکوزیته نفت سنگین از cP ۱۰۰۰۰ تا cP ۸۳۰ کاهش یافت (جدول ۲).

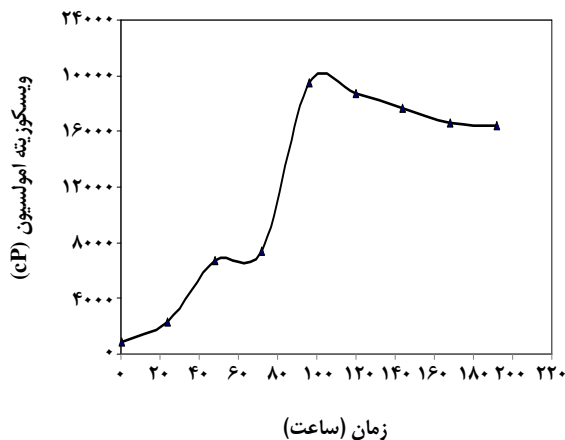
نتیجه‌ها نشان می‌دهند که در اثر تشکیل امولسیون، میزان ویسکوزیته نفت از cP ۱۰۰۰۰ تا حدود cP ۸۳۰ تغییر کرده که این تغییر بیانگر ۹۱/۷٪ کاهش ویسکوزیته و در نتیجه اثبات کننده تشکیل امولسیون نفت در آب است. تغییر ویسکوزیته تا این میزان، شرایط فیزیکی جدیدی را برای نفت سنگین فراهم می‌آورد که می‌تواند به راحتی در خط لوله منتقل شود.

امولسیون تهیه شده پس از ۲۰ دقیقه چرخش در مسیر خط لوله، نمونه گیری شده و میزان ویسکوزیته آن در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. همچنین برای بررسی پایداری امولسیون، مخلوط تا ۱۹۲ ساعت در این مسیر به چرخش درآمده و در زمان‌های مختلف میزان ویسکوزیته نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. استفاده بی‌درنگ از حمام یخ پس از تشکیل امولسیون، باعث افزایش استحکام بیشتر اتصال‌های ایجاد شده بین سه ماده آب، نفت و امولسیون کننده می‌شود. شوک سرمای داده شده بر امولسیون، نقش به‌سزایی در پایداری امولسیون تشکیل شده برای مدت زمان زیاد داشته، به گونه ای که این امولسیون می‌تواند تا چندین روز در همان ویسکوزیته پایین باقی مانده و ساختار امولسیونی خود را حفظ کند.

#### نتیجه‌ها و بحث

##### تشکیل امولسیون در مقیاس آزمایشگاهی

جدول ۱ نتیجه‌های به‌دست آمده در شرایط مختلف آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. همان گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، در آزمایش شماره ۵ میزان ویسکوزیته نفت خام از cP ۱۰۰۰۰ به cP ۱۱۴ کاهش یافته که بیشترین کاهش ویسکوزیته را در میان آزمایش‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس شرایط بهینه تشکیل امولسیون برابر ۳۵٪ وزنی آب و ۱/۳۲٪ وزنی امولسیون کننده و دمای ۴۵ درجه سانتیگراد تعیین می‌شود که در مرحله‌ی نیمه صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شایان گفتن است مقدارهای پارامترهای استفاده شده در مرحله‌ی

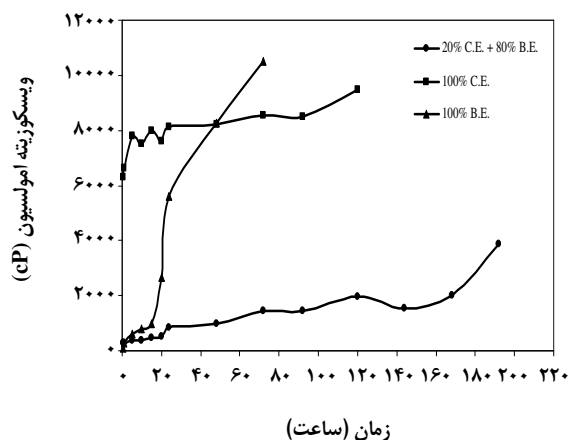


شکل ۵ - تغییرهای ویسکوزیته برحسب زمان برای نشان دادن میزان پایداری امولسیون.

امولسیون کننده شیمیایی تنها و ترکیب ۲۰ درصد وزنی امولسیون کننده شیمیایی و ۸۰ درصد وزنی زیستی، میزان کاهش ویسکوزیته امولسیون و پایداری آن مقایسه شده است (شکل ۴). در این آزمایش میزان آب و امولسیون کننده به ترتیب ۴۰ و ۱/۷۶ درصد وزنی و دمای اندازه‌گیری ویسکوزیته در زمان‌های مختلف، ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. بررسی نمودارها در شکل ۴ نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب امولسیون کننده شیمیایی و زیستی بهترین انتخاب برای دستیابی به ویسکوزیته کم و پایداری بالاست.

برای بررسی پایداری امولسیون تشکیل شده در شرایط خط لوله و دستیابی به مدت زمان ممکن برای انتقال نفت امولسیون شده از مکانی به مکان دیگر، مخلوط امولسیون به داخل خط لوله منتقل شده و پس از انجام عملیات هواگیری، فرایند پمپ کردن و حرکت چرخشی آن آغاز شد. مخلوط در حال عبور توسط حمام آب در اطراف لوله، با دمای محیط هم دما شده و هر ۲۴ ساعت، ویسکوزیته آن با استفاده از نمونه‌گیری و توسط دستگاه ویسکومتر اندازه‌گیری شد (شکل ۵).

با گذشت زمان و در اثر چرخش و برخورد با دیواره لوله و پره‌های پمپ، مخلوط از حالت امولسیون نفت در آب خارج شده و دو فاز می‌شود. در اثر دو فاز شدن امولسیون، میزان ویسکوزیته سریعاً افزایش یافته و حرکت سیال در داخل لوله بسیار دشوار می‌شود. با توجه به کاهش ویسکوزیته و پایداری نسبی آن تا ۷۲ ساعت پس از تشکیل، و افزایش ناگهانی آن بعد از این زمان، می‌توان نتیجه گرفت که در ۷۲ ساعت اولیه امولسیون به شکل

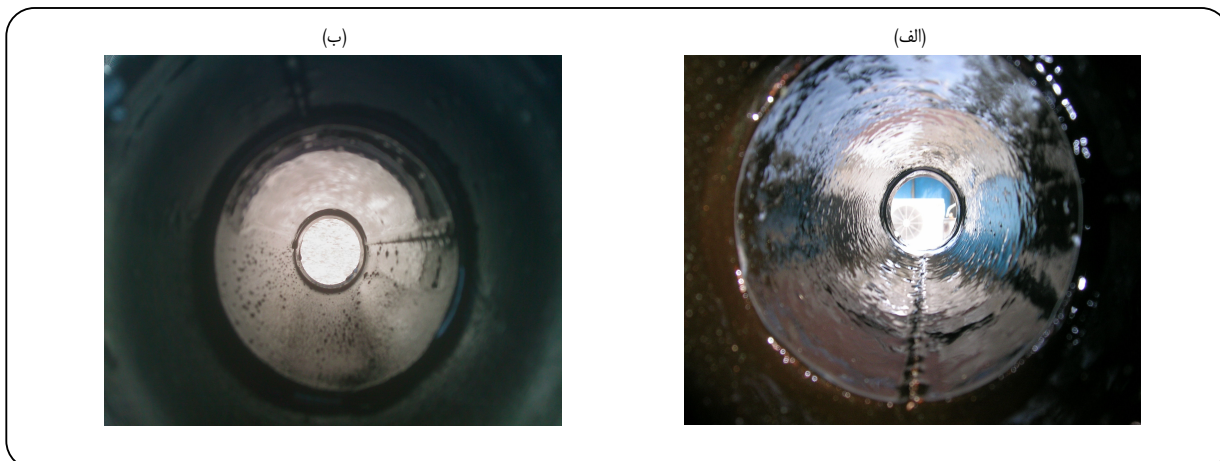


شکل ۴ - اثر امولسیون کننده شیمیایی (C.E.)، امولسیون کننده زیستی (B.E.) و مخلوط امولسیون کننده شیمیایی و زیستی بر پایداری امولسیون در شرایط ۴۰٪ وزنی آب و ۱/۷۶٪ وزنی امولسیون کننده و دمای محیط.

برای بررسی بیشتر و اثبات تشکیل امولسیون، نمونه‌ای از نفت سنگین و امولسیون تشکیل شده در زیر میکروسکوپ عکس‌برداری شد که نتیجه بررسی این عکس‌ها نشان داد که بافت نفت سنگین به هم چسبیده‌تر بوده و بافت امولسیون تشکیل شده بازتر و میزان نقاط روشن در بافت امولسیون بیشتر از نفت است که بیانگر حضور آب در ترکیب می‌باشد. ریز بودن نقاط روشن و پخش شدن آنها به‌طور یکنواخت نشان‌دهنده شکل‌گیری یک امولسیون منظم و به نسبت پایدار است.

### پایداری امولسیون

ماده امولسیون کننده به‌کار گرفته شده در تمام مراحل گفته شده ترکیبی از ۸۰ درصد امولسیون کننده زیستی تولید شده به وسیله سوبه ACO4 و ۲۰ درصد امولسیون کننده شیمیایی Tween 80 می‌باشد. دلیل استفاده از ترکیب امولسیون شیمیایی و زیستی توانایی هر یک در کاهش ویسکوزیته و پایداری آن است. امولسیون زیستی به تنهایی می‌تواند میزان ویسکوزیته را به میزان چشم‌گیری کاهش دهد اما پایداری نسبی ایجاد شده در این حالت کم است. درحالی که امولسیون کننده شیمیایی نمی‌تواند میزان ویسکوزیته را به میزان زیادی کاهش دهد اما می‌تواند پایداری مناسبی را ایجاد کند. براین اساس برای ایجاد پایداری بیشتر امولسیون تشکیل شده لازم است امولسیون کننده شیمیایی نیز به همراه امولسیون کننده زیستی مورد استفاده قرار گیرد. برای اثبات این مطلب در سه حالت گوناگون، استفاده از امولسیون کننده زیستی تنها،



شکل ۶- (الف): سطح داخلی لوله جدا شده بعد از پایان دوره عبور نفت سنگین، (ب): سطح داخلی لوله جدا شده بعد از پایان دوره عبور امولسیون.

بر روی دیواره لوله باقی مانده اند، که این می‌تواند به مرور زمان باعث گرفتگی، کاهش شدت جریان و هدر رفت انرژی شود. در مقابل مقدار رسوب ایجاد شده در شکل ۶- ب پس از گذشت ۲۴ ساعت از عبور سیال به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. دلیل این کاهش، تشکیل امولسیون نفت در آب است که باعث کاهش ویسکوزیته نفت شده و از هدر رفت انرژی برای انتقال، جلوگیری می‌نماید.

بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل امولسیون پایدار نفت در آب می‌تواند علاوه بر کاهش ویسکوزیته و کم کردن انرژی مصرفی، در کاهش رسوب گذاری و گرفتگی خط لوله نیز بسیار اثرگذار باشد.

### نتیجه‌گیری

سویه میکروبی جدید باسیلوس لیچنیفورمیس ACO4 برای تولید امولسیون کننده زیستی مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از امولسیون کننده زیستی به صورت ترکیبی با امولسیون کننده شیمیایی (Tween 80) به نسبت ۸۰/۲۰ درصد وزنی در تشکیل امولسیون نفت در آب با ویسکوزیته کم و پایداری به نسبت بالا بسیار مؤثر است. تشکیل امولسیون نفت در آب با استفاده از فرایند مناسب و در شرایط بهینه باعث شد تا در مقیاس نیمه صنعتی، میزان ویسکوزیته نفت سنگین نوروز از ۱۰۰۰۰ cP به ۸۳۰ cP کاهش یافته و ۹۱٫۷٪ کاهش ویسکوزیته را ایجاد نماید که مقدار مناسبی برای انتقال نفت سنگین توسط خط لوله محسوب می‌شود.

اعمال شوک سرما طی فرایند امولسیون سازی باعث شد تا امولسیون بتواند تا حدود ۷۲ ساعت پایدار بوده و تا حدود

نفت در آب پایدار بوده و به تدریج با جدایش فازهای آبی و نفتی از یکدیگر میزان ویسکوزیته رو به افزایش است. اما دلیل افزایش چشمگیر ویسکوزیته پس از این زمان می‌تواند برعکس شدن امولسیون و تشکیل امولسیون آب در نفت باشد که با ناپایداری بسیاری هم همراه است. همان گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود شیب منحنی پس از افزایش ناگهانی به میزان کمی کاهش یافته و سرانجام ثابت باقی مانده است که نشانگر ثابت شدن میزان ویسکوزیته امولسیون است [۱۴ ، ۱]. همان گونه که بیان شد برای انتقال نفت سنگین توسط خطوط لوله لازم است ویسکوزیته نفت خام تا حدود ۳۵۰۰ cP کاهش یابد، بر این اساس و مطابق با شکل ۵ می‌توان در ۲۴ ساعت اولیه تشکیل امولسیون، نفت سنگین را تا مقصد مورد نظر انتقال داد که مدت زمان مناسبی برای انتقال توسط خطوط لوله در ایران است.

### میزان رسوب گذاری در مسیر انتقال

برای بررسی میزان رسوب گذاری از طریق مشاهده، ابتدا نفت سنگین از داخل خط لوله عبور داده شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت بخشی از خط لوله جدا و از آن عکس برداری شد (شکل ۶- الف). پس از تخلیه نفت سنگین از مسیر خط لوله و نظافت کامل آن با آب داغ و حذف رسوب ایجاد شده، همین عمل با عبور امولسیون تشکیل شده دوباره تکرار شد (شکل ۶- ب). عمل انتقال در این حالت به آرامی و بدون مصرف انرژی زیاد صورت گرفت. همان گونه که در شکل ۶- الف دیده می‌شود در اثر عبور نفت سنگین از داخل خط لوله میزان قابل توجهی از مواد رسوب یافته

تشکیل امولسیون پایدار علاوه بر ایجاد شرایط مناسب انتقال، باعث کاهش رسوب‌گذاری در مسیر انتقال نیز می‌شود که در جلوگیری از گرفتگی و کاهش دبی جریان، بسیار مؤثر است.

۲۴ ساعت اولیه شرایط مناسب و اقتصادی برای انتقال و پمپ کردن در خط لوله را داشته باشد. نتیجه‌های به‌دست آمده از پایداری امولسیون نشان دهنده آن است که در مقیاس صنعتی می‌توان از کاهش ویسکوزیته توسط فرایند امولسیون‌سازی برای انتقال نفت سنگین تا مسافت‌های دور توسط خطوط لوله بهره برد.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۳۰

## مراجع

- [1] Bach H., Gutnick D.L., "Potential Applications of Bioemulsifiers in the Oil Industry, in Petroleum Biotechnology", Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (2004).
- [2] Rocha C.A. et al., Production of Oily Emulsions Mediated by a Microbial Tenoactive Agent, US Patent 5866376 (1999).
- [3] Dastgheib S.M.M., Amoozegar M.A., Elahi E., Asad S., Banat I. M., Bioemulsifier Production by a Halothermophilic Bacillus Strain with Potential Applications in Microbially Enhanced Oil Recovery, *Biotechnology Letter*, **30**, p. 263 (2008).
- [4] Noudeh G.D., Moshafi M.H., Kazaeli P., Akef F., Studies on Bioemulsifier Production by Bacillus Licheniformis PTCC 1595, *African Journal of Biotechnology*, **9**, p. 352 (2010).
- [5] Calvo C., Manzanera M., Silva-Castro G.A., Uad I., González-López J., Application of Bioemulsifiers in Soil Oil Bioremediation Processes. Future Prospects, *Science of the Total Environment*, **405**, p. 3634 (2009).
- [6] Grosso J.L.V. et al., On-line and/or Batch process for Production of Fuel Mixtures Consisting of Coal/Asphaltenes, Fuel Oil/Heavy Crude Oil, Surfactant and Water (CCTA), and the Obtained Products, US Patent 5902359 (1999).
- [7] Xin Y.C., Liu J.H., Xu D.B., Hou E.Q., Study on Viscosity Reduction of 4 Heavy Crude Oils of Venezuela through O/W Emulsification, *Oilfield Chemistry*, **24**, p. 24 (2007).
- [8] Salehizadeh H., Mousavi M., Hatamipour S., Kermanshahi K., Microbial Demetallization of Crude Oil Using Aspergillus sp.: Vanadium Oxide Octaethyl Porphyrin (VOOEP) as a Model of Metallic Petroporphyrins, *Iranian Journal of Biotechnology*, **5**, p. 226 (2007).
- [9] Ballester J.M., Fueyo N., Dopazo C., Combustion Characteristics of Heavy Oil-Water Emulsions, *Fuel*, **75**, 695 (1996).
- [10] Wyslouzil B.E., Kessick M.A., Masliyah J.H., Pipeline Flow Behaviour of Heavy Crude Oil Emulsions, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, **65**, p. 353 (1987).
- [11] Storm D.A., Method for Reducing the Pipeline Drag of Heavy Oil and Compositions Useful Therein, US Patent 6178980 (2001).
- [12] ayes M.E., et al., Bioemulsifier-Stabilized Hydrocarbosols. US Patent 4943390 (1990).
- [13] Dorobantu L.S., Yeung A.K.C., Foght J.M., Gray M.R., Stabilization of Oil-Water Emulsions by Hydrophobic Bacteria, *Applied and Environmental Microbiology*, **70**, p. 6333 (2004).
- [14] Hayes M.E., et al., Combustion of Viscous Hydrocarbons, US Patent 4684372 (1987).