

تولید امولسیون پایدار هیدروکربن سنگین در آب با استفاده از امولسیون کننده سویه باکتریایی *Bacillus licheniformis*

صبا پژوهان^۱، افشین فرح بخش^{*۱} و سید محمدمهدی دستغیب^۲

۱- گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۲- پژوهشکده بیوتکنولوژی و محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۹

چکیده

در سال‌های اخیر یکی از پیشرفت‌های مهم در زمینه انتقال ترکیبات نفتی و ایجاد فرمولاسیون‌های قیری استفاده از امولسیون‌ها می‌باشد. انتخاب امولسیون کننده نقش تعیین کننده‌ای در تشکیل امولسیون و پایداری آن دارد. امولسیون کننده‌های زیستی جایگزین و یا مکمل مناسبی برای امولسیون کننده‌های شیمیایی بوده و علاوه بر زیست تخریب پذیری بهتر، آلودگی زیست محیطی کمتری دارند. در این مقاله، سویه باکتریایی بومی *Bacillus licheniformis* در محیط کشت بهینه و شرایط مناسب رشد داده شد و طی فرآیند چند مرحله‌ای امولسیون کننده زیستی جداسازی گردید. با به کارگیری نسبت‌های مختلف امولسیون کننده زیستی و امولسیون کننده شیمیایی Stabiram4582 و اجرای دقیق فرآیند امولسیون سازی به روش روتور- استاتور، امولسیون‌های مختلفی با نسبت‌های مختلف هیدروکربن سنگین و امولسیون کننده در آب ساخته شدند. مطابق مدل طراحی آزمایش تاگوجی آزمایش‌های کاهش ویسکوزیته و پایداری امولسیون انجام شد و توانایی این امولسیون کننده زیستی در ایجاد یک امولسیون پایدار هیدروکربن در آب به اثبات رسید و شرایط تولید امولسیون بهینه سازی شد. در شرایط بهینه (۶۰٪ هیدروکربن سنگین، ۱/۳۲٪ امولسیون کننده، ۹۰٪ امولسیون کننده زیستی و ۱۰٪ امولسیون کننده شیمیایی و همچنین ۴۵ °C دما) میزان ویسکوزیته نمونه هیدروکربن سنگین تا ۹۸٪ کاهش یافت و تا ۹۶ hr پایدار ماند. کاربرد این امولسیون می‌تواند در ایجاد قیر امولسیون و یا در انتقال نفت خام سنگین، فرآورده‌هایی همچون مازوت یا سوخت کوره، مصرف انرژی در خطوط لوله را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد.

کلمات کلیدی: امولسیون کننده زیستی، امولسیون هیدروکربن سنگین در آب، کاهش ویسکوزیته، پایداری، سویه باکتریایی

مقدمه

با افزایش تقاضای انرژی در جهان و کاهش نفت‌های سبک متداول، نفت‌های خام سنگین به‌عنوان منبع هیدروکربن برای استفاده در آینده مورد توجه هستند [۱]. با توجه به وضعیت مخازن نفت خام سراسر جهان به مرور زمان با کاهش تولید نفت خام سبک، تولید نفت خام سنگین افزایش می‌یابد [۲]. پیش‌بینی می‌شود که نفت‌های سنگین منبع اولیه انرژی فسیلی جهان در آینده نزدیک خواهند شد که این امر با افزایش قیمت نفت‌ها همراه خواهد بود. ذخایر نفت سنگین از جمله قیر و نفت‌های فوق سنگین، نشان‌دهنده بخش قابل توجهی از ذخایر شناخته شده کل هستند [۳]. نفت‌های سنگین مقدار زیادی هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی بالا و سطح بالایی از هترواتم‌ها شامل سولفور، نیتروژن، اکسیژن و فلزات دارند. نفت سنگین و قیر با استفاده از ویسکوزیته بالا و درجه API پایین‌شان مشخص می‌شوند [۱]. با توجه به چگالی نفت خام و شاخص گرانش موسسه نفت آمریکا (API) می‌توان نفت‌ها را به سه نوع طبقه‌بندی نمود: نفت سبک و نیمه سبک ($API < 20$)، نفت سنگین ($20 < API < 30$) و نفت فوق سنگین ($API < 30$) [۴]. اگر چه نفت سنگین در بیش از نیمی از منابع قابل استحصال نفت جهان نشان داده شده است، تقاضا برای نفت سنگین و فوق سنگین به‌خاطر ویسکوزیته بالا و پیچیدگی ترکیب آن که تولید، انتقال و پالایش آن را سخت و پرهزینه می‌سازد، کم است. کاهش پیوسته تولید نفت معمولی با توجه به بهره‌برداری و مصرف بیش از حد آن، در آینده نزدیک استفاده از منابع نفت سنگین در تولید سوخت و مواد پتروشیمی بسیار ضروری ساخته است [۵]. چندین روش برای انتقال نفت سنگین مطرح شده است که شامل: پیش گرمایش نفت خام و گرمایش متعاقب خط لوله، رقیق‌سازی با نفت‌های خام سبک‌تر، بهینه‌سازی جزئی و تزریق غلاف آب اطراف نفت

خام ویسکوز می‌گردد [۱، ۳ و ۴]. هر یک از روش‌ها مشکلات اقتصادی، اجرایی و محاسباتی دارد [۱]. فن‌آوری مطلوب دیگر در خطوط لوله، انتقال نفت خام ویسکوز به شکل امولسیون‌های تغلیظ شده روغن در آب (O/W) (امولسیون آب در نفت شامل قطرات آب در فاز پیوسته نفت، امولسیون نفت در آب شامل قطرات نفت در فاز پیوسته آب و امولسیون چندگانه، قطرات ریز معلق در قطرات بزرگ‌تر معلق در فاز پیوسته است) است [۶]. جریان نفت ویسکوز در شکل امولسیون‌های نفت در آب یک مسیر جذاب برای انتقال هیدرولیکی نفت سنگین است، زیرا امولسیون‌سازی با ایجاد قطرات نفت در فاز پیوسته آبی می‌تواند میزان ویسکوزیته را به حدود ۵۰-۲۰۰ cP کاهش دهد که آن را می‌توان به راحتی پمپ نمود. علاوه‌بر این تکنولوژی امولسیون می‌تواند در حذف رسوب نفتی که به‌طور موثر با روش‌های سنتی مانند به‌کار بردن حرارت و رقیق‌سازی برطرف نشده‌اند، کارایی داشته باشد [۷]. امولسیون شامل سه فاز است: فاز داخلی یا ناپیوسته قطرات که به‌طور ریز تقسیم شده است. فاز خارجی یا پیوسته ماتریسی است که قطرات را در حال تعلیق نگه داشته است. فاز حد واسط یا اینتر فاز شامل یک امولسیفایر یا پایدارکننده است که فاز پیوسته و ناپیوسته را متصل به یکدیگر نگه می‌دارد و از بهم چسبیدن قطرات به یکدیگر و لخته شدنشان جلوگیری می‌نماید و لذا امولسیون را پایدار نگه می‌دارد [۸]. مهم‌ترین بخش امولسیون امولسیفایر است که معمولاً آنقدر گران‌قیمت است که اثر اقتصادی زیادی بر فرآیند امولسیون‌سازی دارد [۹]. امولسیفایرها طبقه‌ای از سورفکتانت‌ها هستند که پراکندگی فاز پراکنده در فاز پیوسته را پایدار می‌کنند. بیوامولسیفایرها مولکول‌های دارای دو سر آب دوست و روغن دوست بوده، توسط میکروارگانیزم‌ها تولید می‌گردند و جذب سوسترهای نامحلول را برای میکرووب‌ها تسهیل می‌بخشند [۱۰].

جریان آشفته تا حد زیادی شکسته می‌شوند. در آسیاب‌های کلوئیدی تنش‌های برشی نیز در جریان آرام می‌تواند شکست قطره را منجر گردند. به این ترتیب شعاع متوسط قطرات زیر $1 \mu\text{m}$ در آسیاب‌های کلوئیدی به دست می‌آید [۱۴]. با توجه به توانایی این روش در تولید انواع امولسیون‌های نفتی در این مقاله، تولید امولسیون هیدروکربن سنگین در آب با استفاده از امولسیون‌کننده زیستی حاصل از سویه باکتریایی بومی *Bacillus licheniformis* به روش روتور-استاتور به انجام رسیده و میزان کاهش ویسکوزیته و پایداری امولسیون تولید شده بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این مقاله مازوت (cP ۲۵۲۰) به‌عنوان هیدروکربن سنگین استفاده شد، سویه باکتریایی-*Bacillus li-cheniformis* (ACO4) از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه شد. گلوکز، اوره، نیترات سدیم، کلرید سدیم، پتاسیم هیدروژن فسفات، پتاسیم دی هیدروژن فسفات، سولفات آهن (۷ آب)، سولفات منیزیم (۷ آب) از شرکت مرک آلمان و امولسیون‌کننده شیمیایی با نام تجاری Stabiram4582 از شرکت CECA فرانسه خریداری گردید. در این مقاله دستگاه‌های انکوباتور همزن دار (فن‌آوران سهند آذر 1210D)، دستگاه ویسکومتر (VISCO ELITE FUNGILAB S.A)، پلنت تولید امولسیون (France)، میکروسکوپ (Nikon-ECLIPSE E100)، سانتریفوژ (HERMLE Labortechnik GmbH)، اتوکلاو مورد استفاده قرار گرفت.

روش‌ها

تولید محیط کشت بهینه

برای تهیه محیط کشت بهینه [۹] رشد سویه باکتریایی، محلول الف شامل: گلوکز $1/5 \text{ g/L}$ ، اوره $0/5$ ، نیترات سدیم (۴)، کلرید سدیم

بیوامولسیفایرها اخیراً توسط جامعه صنعتی به‌عنوان گزینه‌های طبیعی و مورد اعتماد برای جایگزینی سورفکتانت‌های مصنوعی تجاری به‌خاطر خصوصیات ذاتی خود از جمله سمیت پایین‌تر، زیست تخریب‌پذیری بالاتر، ظرفیت کف‌کنندگی بالاتر، فعالیت بیشتر در دماهای بالا، تحمل سطح pH و شوری خیلی بالا مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۱]. بیوامولسیفایرها علاوه بر فرآیندهای زیست‌پالایی در صنعت نفت می‌توانند برای افزایش بازیافت نفت از چاه‌ها، کاهش ویسکوزیته نفت سنگین، تمیز کردن مخازن ذخیره نفت، افزایش جریان در خطوط لوله و ثبات امولسیون‌های روغن/آب استفاده شوند [۵]. مثلاً *Acinetobacter venetianus* سویه RAG-1 [۱۲]، آلسان نیز یک امولسیون‌کننده زیستی آنیونی متشکل از هتروپلی ساکارید و پروتئین است که توسط *A. radioresistens* سویه 53-KA تولید می‌شود، از سایر امولسیون‌کننده‌های زیستی شناخته شده می‌توان بیودی‌سپرسانت را نام برد که یک امولسیون‌کننده خارج سلولی بوده که به‌وسیله *A. calcoaceticus* سویه A2 تولید می‌گردد [۱۳].

امولسیفایرهای شیمیایی اغلب سمی هستند و خود منبع اضافی آلودگی می‌باشند [۵]. امولسیون می‌تواند در سیستم‌های فشار بالا، غشایی، اولتراسونیک، روتور-استاتور و دیسکی تولید شود. تفاوت این روش‌ها در توان عملیاتی و به‌طور فزاینده‌ای درجه استرس روی محصول در طول فرآیند امولسیون‌سازی است [۱۴]. روتور-استاتور شامل یک روتور که به‌صورت متحدالمرکز داخل استاتور با دو یا بیش از دو تیغه قرار می‌گیرد و یک استاتور با شکاف‌های عمودی یا کج می‌شود. همان‌طور که روتور می‌چرخد، تولید فشار کمی نموده که مایع را به درون و خارج از تجهیزات کشیده، در نتیجه چرخش و امولسیون‌سازی می‌نماید [۱۵]. قطرات فاز پراکنده با نیروهای اینرسی و برشی در

آبی که در درون آسیاب کلونیدی در حال سیر کولاسیون با دور rpm ۵۰۰۰ است، اضافه می‌گردد. پس از ۵ ثانیه اختلاط کامل دو فاز، امولسیون تولید شده بلافاصله درون حمام یخ قرار گرفته تا به دمای °C ۳۷ برسد. با مقایسه ویسکوزیته امولسیون و هیدروکربن خام سنگین و کاهش ویسکوزیته تشکیل امولسیون هیدروکربن سنگین در آب اثبات خواهد شد.

پایداری امولسیون نفت سنگین در آب

برای بررسی پایداری امولسیون، cc ۱۰۰ از امولسیون تشکیل شده در یک استوانه مدرج ریخته، درب آن را بسته و ۲۴ hr در دمای اتاق قرار داده ارتفاع آب جدا شده در زیر استوانه اندازه‌گیری می‌گردد. پایداری امولسیون از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$(1) \quad \frac{\text{آب جدا شده}}{\text{ارتفاع کل}} \times 100 = \text{پایداری}$$

طراحی آزمایش

در این مقاله با توجه به تعداد فاکتورهای انتخابی و سطوح مورد آزمایش و تعداد زیاد آزمایش‌ها برای بهینه‌سازی و ساده نمودن روش‌های تحلیل و آنالیز نتایج با حفظ کیفیت نسبی آنالیز مدل تاگوچی با استفاده از نرم‌افزار 4-Qualitek به‌عنوان مدل مناسب‌تر انتخاب و به‌کار گرفته شد. با توجه به آزمایش‌های اولیه برای تعیین شرایط بهینه اثر سه فاکتور موثر (غلظت هیدروکربن سنگین، غلظت امولسیون‌کننده زیستی و دما) در سه سطح مختلف (جدول ۱) مطابق آرایه متعامد L9 در کاهش ویسکوزیته امولسیون و در نهایت اثبات شکل‌گیری امولسیون، بررسی گردید. برای محاسبه کردن اثر خطا، تمام آزمایش‌ها با سه بار تکرار انجام شده و نتایج ثبت گردید. نتایج توسط روش‌های نسبت Signal-to-noise (S/N) و واریانس ANOVA آنالیز آماری می‌شود. برای بررسی پراکندگی نتایج از تابع مربع انحراف استاندارد از روابط (۲) و (۳) استفاده شده است [۱۰]:

$$(2) \quad S/N = -10 \log(\text{msd})$$

$$(3) \quad \text{MSD} = [(y_1)^2 + (y_2)^2 + \dots + (y_n)^2] / n = [\text{Avg.}(y_i)^2] = Y_{\text{exp}}^2$$

(۰/۱)، پتاسیم هیدروژن فسفات (۱/۸)، پتاسیم دی هیدروژن فسفات (۱/۲) در آب مقطر حل شده و در اتوکلاو در دمای °C ۱۲۱ به مدت ۱۵ min استریل گردید. ترکیب سولفات آهن (۷ آبه) (۰/۰۱)، سولفات منیزیم (۷ آبه) (۰/۲) به دلیل اینکه ممکن است بر اثر حرارت با سایر اجزای محیط کشت تشکیل رسوب دهند، در داخل آب مقطر استریل سرد حل و فیلتر می‌گردند (محلول ب). سپس محلول الف و ب با یکدیگر مخلوط می‌شوند.

تولید امولسیون‌کننده زیستی

سویه ACO4 در cc ۵۰۰ محیط کشت بهینه در دمای °C ۳۰ و دور rpm ۱۸۰ به مدت ۴۸ hr در انکوباتور همزن‌دار انکوبه شده است. نمونه پس از عملیات استریل شدن توسط اتوکلاو (دمای °C ۱۲۱ و مدت ۱۵ min)، در دمای °C ۴ با دور rpm ۱۰۰۰۰ به مدت ۲۰ min سانتریفوژ می‌شود. رسوبات حاصل جمع‌آوری و مایع بالایی پس از انجام مجدد مراحل اتوکلاو و سانتریفوژ به‌عنوان محلول حاوی امولسیون‌کننده زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استخراج امولسیون‌کننده زیستی

مایع بالایی به نسبت ۱ به ۳ با الکل ۹۸٪ مخلوط شده و به مدت ۲۴ hr در یخچال در دمای °C ۴ قرار می‌گیرد و سپس در دمای °C ۴ با دور rpm ۱۳۰۰۰ سانتریفوژ می‌شود. ماده جامد سفید رنگ باقی‌مانده در انتهای لوله، امولسیون‌کننده زیستی خام است که هر g ماده جامد در cc ۸ آب مقطر برای استفاده در مراحل بعدی حل شده است.

تولید امولسیون هیدروکربن سنگین در آب

برای تولید g ۵۰۰ امولسیون هیدروکربن سنگین در آب، هیدروکربن سنگین با دمای °C ۶۰ و به نسبت‌های ۶۰، ۶۵ و ۷۰٪ به فاز آب حاوی آب و ۱/۳۲٪ مخلوط امولسیون‌کننده‌های زیستی و شیمیایی (با نسبت‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰٪ امولسیون‌کننده زیستی) با دمای °C ۵۰ اضافه شده [۹] و با استفاده از سیستم روتور-استاتور با یکدیگر مخلوط می‌شوند. فاز نفتی به آرامی به فاز

جدول ۱ فاکتورهای موثر در تشکیل امولسیون O/W و سطوح آنها

فاکتور موثر	سطح		
	۲۵	۳۵	۴۵
دما (°C)	۲۵	۳۵	۴۵
نسبت هیدروکربن به آب (%)	۶۰	۶۵	۷۰
نسبت امولسیون‌کننده زیستی به شیمیایی (%)	۷۰	۸۰	۹۰

و پایداری امولسیون هیدروکربن سنگین در آب از جمله درصد هیدروکربن سنگین، دما و درصد امولسیون‌کننده زیستی مورد استفاده قرار گرفت. امولسیون هیدروکربن سنگین در آب (شکل ۳ ب) با توجه به طراحی آزمایش تولید گردید و نتایج ویسکوزیته آزمایش‌ها در جدول ۲ آورده شده است. تمام تصاویر میکروسکوپی با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر هستند. با داشتن نتایج مناسب برای ویسکوزیته امولسیون‌های تهیه شده مطابق مدل تاگوچی نسبت به آنالیز آن اقدام گردید. نتایج آورده شده در جدول ۲ توسط مدل تاگوچی مورد آنالیز قرار گرفت. واریانس ANOVA نتایج آزمایش‌ها در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که در جدول آنالیز ANOVA نشان داده شده است درصد هیدروکربن سنگین بیشترین اثر را بر کاهش ویسکوزیته دارد، پس از آن دما و سپس درصد بیوامولسیفایر دارای بیشترین اثر هستند.

پایداری

نتایج حاصل از پایداری امولسیون در مدت ۴ روز در جدول ۴ نشان داده شده است. پایداری امولسیون‌ها هر ۲۴ hr اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده پایداری بالای امولسیون حاصل از امولسیون‌کننده زیستی *Bacillus licheniformis* است.

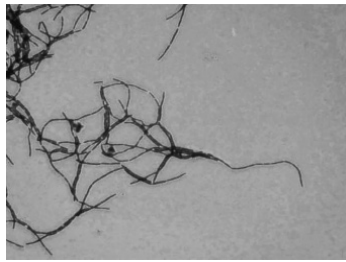
S/N میزان خطا، n تعداد آزمایشات، y_i نتایج هر آزمایش و Y_{exp} پاسخ نرم‌افزار در شرایط بهینه هستند.

با توجه به اینکه هدف از تشکیل امولسیون کاهش ویسکوزیته است در نتیجه در این پروژه نوع محاسبه و آنالیز "کوچک‌تر بهتر" انتخاب شده است.

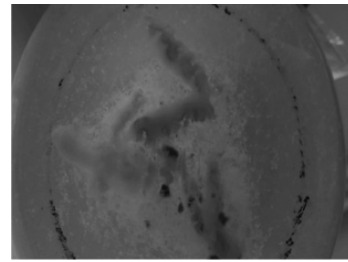
نتایج و بحث

تولید امولسیون‌کننده زیستی و تشکیل امولسیون هیدروکربن سنگین در آب

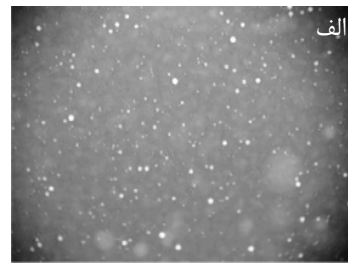
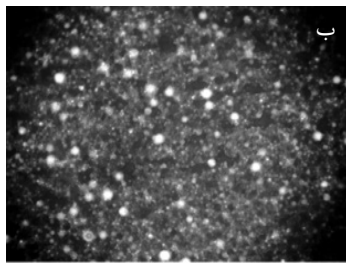
سویه باکتریایی گرم مثبت، میله‌ای شکل، بی‌هوازی و اسپوردار *Bacillus licheniformis* در محیط کشت بهینه به خوبی رشد نمود. شکل ۱ تصویر میکروسکوپی سویه باکتریایی و شکل ۲ رشد سویه و تولید امولسیون‌کننده زیستی ناخالص را نشان می‌دهد. ماده امولسیون‌کننده استفاده شده در تمام مراحل فرآیند امولسیون‌سازی، از ترکیب امولسیون‌کننده زیستی تولید شده توسط سویه باکتریایی و امولسیون‌کننده شیمیایی *Stabiram4582* تشکیل شده است. استفاده از امولسیون‌کننده شیمیایی باعث کاهش قابل توجه ویسکوزیته می‌گردد ولی استفاده از امولسیون‌کننده زیستی برای ایجاد پایداری بیشتر امولسیون ضروری است. در این مقاله طراحی آزمایش به روش تاگوچی برای بررسی اثر فاکتورهای موثر در تولید



شکل ۲ تصویر امولسیون کننده زیستی خام



شکل ۱ تصویر میکروسکوپی سویه باکتریایی Bacillus licheniformis



شکل ۳ الف) تصویر میکروسکوپی هیدروکربن سنگین و ب) تصویر میکروسکوپی امولسیون هیدروکربن سنگین در آب

جدول ۲ نتایج ویسکوزیته آزمایشات حاصل از طراحی به روش تاگوچی

شماره آزمایش	پارامترها و سطوح			ویسکوزیته (cP)		
	T (°C)	O (%)	B.E (%)			
۱	۱	۱	۱	۱۰۲	۱۰۵	۱۰۸
۲	۱	۲	۲	۱۹۰	۲۱۰	۲۱۱
۳	۱	۳	۳	۳۹۷	۳۸۰	۳۸۸
۴	۲	۱	۲	۸۰	۸۵	۸۸
۵	۲	۲	۳	۱۲۰	۱۲۳/۵	۱۲۸
۶	۲	۳	۱	۶۲۵	۶۱۸	۶۱۹
۷	۳	۱	۳	۵۰	۵۸	۶۲
۸	۳	۲	۱	۱۱۵	۱۱۲	۱۰۹
۹	۳	۳	۲	۶۲۵	۶۱۸	۶۱۹
هیدروکربن سنگین	۱	-	-	۲۵۲۰	۲۵۲۰	۲۵۲۰
آب	۱	-	-	۰/۸۹	۰/۹	۰/۸۹

جدول ۳ آنالیز واریانس ANOVA

Factor	DOF	Sum of Sqrs.	Variance	F-Raito	Pure Sum	Percent [%]
A Temperature [°C]	۲	۱۷/۷۸۶	۸/۸۹۳	۳/۰۸۵	۱۲/۰۲۱	۲/۹۴۷
B Oil [wt-%]	۲	۳۶۸/۲۵۲	۱۸۴/۱۲۶	۶۳/۸۷۷	۳۶۲/۴۸۷	۸۸/۸۸۳
C B/E [wt-%]	۲	۱۶/۰۱۷	۸/۰۰۸	۲/۷۷۸	۱۰/۲۵۲	۲/۵۱۳
Other/ Error	۲	۵/۷۶۴	۲/۸۸۲	-	-	۵/۶۵۷
Total	۸	۴۰۷/۸۲۱	-	-	-	٪۱۰۰/۰۰

جدول ۴ نتایج حاصل از پایداری امولسیون هیدروکربن سنگین در آب

آزمایش‌ها	پایداری امولسیون			
	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم
۱	۸۹/۶۵	۷۶/۷۳	۵۰/۹	۴۵
۲	۱۰۰	۹۴/۰۶	۹۴/۰۶	۹۴/۰۶
۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴	۱۰۰	۹۷/۳	۹۳/۰۲	۹۳/۲
۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۶	۱۰۰	۹۴/۸۲	۹۳/۵۲	۸۷/۰۷
۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۸	۶۱/۲۲	۴۸/۲۹	۲۵/۷۷	۹۳/۰۲
۹	۹۵/۵۴	۹۵/۵۴	۹۴/۰۶	۹۳/۰۲

نتیجه‌گیری

جدول ۳ نشان داد که غلظت هیدروکربن سنگین با ۸۸/۸۸٪ بیشترین تاثیر را دارد با توجه به اینکه غلظت هیدروکربن بالاتر از آب است این نتیجه دور از ذهن نیست و پس از آن دما با ۲/۹۴٪، و سپس غلظت امولسیون‌کننده زیستی با ۲/۵۱٪ بیشترین اثر را دارند. کاهش ویسکوزیته، شاخص اصلی شرایط بهینه در این مطالعه است. شرایط بهینه حاصل از طراحی تاگوچی در جدول ۵ آورده شده است.

تشکیل امولسیون هیدروکربن سنگین در آب باعث کاهش ویسکوزیته هیدروکربن سنگین و افزایش بهره‌وری فرآیند انتقال در خطوط لوله می‌گردد. مهم‌ترین بخش در یک امولسیون، امولسیفایر است که معمولاً گران‌قیمت است و در اقتصادی شدن فرآیند امولسیون‌زایی اثر می‌گذارد. بیوامولسیفایرها اخیراً توسط جامعه صنعتی به‌عنوان گزینه‌های طبیعی و مورد اعتماد برای جایگزینی سورفکتانت‌های مصنوعی تجاری به‌خاطر خصوصیات ذاتی خود از جمله سمیت پایین‌تر، زیست‌تخریب‌پذیری بالاتر، ظرفیت کف‌کنندگی بالاتر، فعالیت بالاتر در دماها، سطح pH و شوری خیلی بالا، جذب شده‌اند. در این مقاله از طراحی آزمایش به‌روش تاگوچی برای بررسی اثر فاکتورهای دما، غلظت هیدروکربن، غلظت امولسیون‌کننده زیستی نسبت به شیمیایی استفاده شده است. نتایج ویسکوزیته حاصل از تاگوچی در جدول ۲ آورده شده است. برای آنالیز نتایج تاگوچی از واریانس ANOVA می‌گردد. ANOVA با درصد مشارکت هر یک از فاکتورها در ارتباط است (جدول ۳). دما، غلظت هیدروکربن سنگین و غلظت امولسیون‌کننده زیستی سه فاکتور موثر در کاهش ویسکوزیته امولسیون هستند اما آنالیز واریانس در

جدول ۵ شرایط بهینه در طراحی آزمایش به‌روش تاگوچی

سهم	سطح	شرح سطح	فاکتور/ ستون
۱/۹۴۴	۳	۴۵	(A) T
۶/۸۷۴	۱	۶۰	(B) O
۱/۸۸۶	۳	۹۰	(C) B
جمع سهم همه فاکتورها ۱۰/۶۱۳..... معدل بالای عملکرد فعلی ۴۴/۸۰۲..... نتیجه پیش بینی شده در شرایط بهینه ۳۴/۱۸۸.....			

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان و نیز از حمایت مالی شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [1]. Abdurahman N. H., Rosli.Y. M, Azhari N. H. and Hayder B. A., "Pipeline transportation of viscous crudes as concentrated oil-in-water emulsions," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 90–91, pp 139–144, 2012.
- [2]. Ancheyta J., Rana S. M., "Future technology in heavy oil processing," Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- [3]. Abdurahman N. H., Azhari N. H. and Yunus Y. M., "Formulation and evaluation of water-continuous emulsion of heavy crude oil prepared for pipeline transportation," International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Vol. 2, Issue 5, 2013.
- [4]. Lu H., Xueqian Guan H., Wang B., Huang Z. and Surfact Deterg J., "CO₂-switchable oil/water emulsion for pipeline transport of heavy oil," Journal of Surfactants and Detergents, Vol. 18, Issue 5, pp. 773–782, 2015.
- [5]. Farahbakhsh . A, Taghizadeh. M, Yakhchali. B, Movagharnjad.K, Zamani. H, "Production of a New Emulsifier Material for the Formation Heavy Hydrocarbon/Water Emulsion," International Journal of Industrial Chemistry, Vol. 2, No. 1, 2011.
- [6]. Ashrafzadeh S. N., Motaee E. and Hoshiyargar V., "Emulsification of heavy crude oil in water by natural surfactants, Journal of Petroleum Science and Engineering," Vol. 86–87, pp. 137–143, 2012.
- [7]. Santos R. G., Loh W., Bannwart A. C. and Trevisan O. V., "An overview of heavy oil properties and its recovery and transportation methods", Brazilian Journal of Chemical Engineering," Vol. 31, No. 03, pp. 571 - 590, 2014.
- [8]. Udonne J. D., "Chemical treatment of emulsion problem in crude oil production," Journal of Petroleum and Gas Engineering Vol. 3, Issue 7, pp. 135-141, 2012.
- [9]. Hoshiyagar V., Marjani A., Fadaei F. Shirazian, "Prediction of flow behavior of crude oil-in-water emulsion through the pipe by using rheological properties," Oriental Journal of Chemistry, Vol. 28, No. 1, pp. 109-113 ,2012.
- [10]. Maniyar J., Doshi D., Bhuyan S. and Mujumdar S., "Bioemulsifier production by streptomyces sp. S22 isolated from garden soil," Indian Journal of Experimental Biology, Vol. 49, pp. 293-297, 2011.
- [11]. Trindade J., Freire M., F. Amaral P., Coelho M., Coutinho J. and Marrucho I., "Aging mechanisms of oil-in-water emulsions based on a bioemulsifier produced by *Yarrowia lipolytica*," Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Vol. 324, pp. 149-164, 2008.
- [12]. Bach H. and Gutnick D. L., "Potential application of bioemulsifiers in the oil industry," Elsevier B. V., studies in surface science and catalysis, R. Vasquezduhalt and R. Quintero-Ramirez (Eds), Vol. 151, pp. 233-281, 2004.
- [13]. Greene A. C., Patel B. K. and Sheehy A. J., "Deferribacter thermophilus gen. nov., sp.nov., a novel thermophilic manganese-and iron-reducing bacteria," International Journal of Systematic and Evolutionary, Vol. 47. No. 2, pp. 505-509, 1997.
- [14]. Urban K., Wagner G., Schaffner D., Röglin D. and Ulrich J., "Rotor-stator and disc systems for emulsification processes," WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Chem. Eng. Technol, Vol. 29, No. 1, 2006.
- [15]. Sookhan N., Basri M., Basyaruddin M. A. R., Raja Noor A. R., Bakar S. and Zaharin I., "Preparation of emulsions by rotor–stator homogenizer and ultrasonic cavitation for the cosmeceutical industry," J. Cosmet. Sci., Vol. 63, pp.333–344, 2012.