

# بررسی آزمایشگاهی کارایی پلیمرهای سلولزی زیست تخریب پذیر در شکست امولسیون آب در نفت

مجتبی بینازاده<sup>\*،\*</sup>، مهرا ن سارانی

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

**چکیده:** نفت خام استخراج شده از مخازن دارای مقادیر زیادی آب نمک، خاک و یون ها می باشد. تنش های وارد شده به نفت خام در هنگام استخراج و بهره برداری موجب تبدیل بخش زیادی از این مخلوط به امولسیون پایدار از آب در نفت می شود. این امولسیون در صورت جدا نشدن از نفت، موجب بروز مشکل های جدی مانند خوردگی تجهیزات، افزایش افت فشار در خطوط لوله و مسموم شدن کاتالیست های مورد استفاده در فرایندهای پایین دستی خواهد شد. استفاده از مواد شیمیایی تعلیق شکن برای ناپایدار کردن لایه ی فیلم ایجاد شده اطراف قطره های آب و شکست امولسیون مرسوم ترین روش مورد استفاده در جداسازی آب از نفت می باشد. هدف از این پژوهش بررسی کارایی چهار تعلیق شکن شیمیایی زیست تخریب پذیر از گروه ترکیب های سلولزی شامل سلولز استات، کربوکسی متیل سلولز با نام تجاری Walocel و دو نوع از مشتقات متیل سلولز با نام های تجاری Methocel-E5 و Methocel-K3 برای شکست امولسیون آب در نفت است. آزمون بطری برای بررسی کارایی این مواد در امولسیون زدایی از نفت خام میدان سروستان انجام و مشخص شد که Walocel و Methocel-E5 دارای عملکرد بهتری نسبت به سلولز استات و Methocel-K3 هستند. نتیجه های به دست آمده از آزمایش های امولسیون زدایی در دماها و غلظت های گوناگون تعلیق شکن نشان داد که با افزایش دمای سامانه و غلظت تعلیق شکن بازده شکست امولسیون افزایش می یابد. کربوکسی متیل سلولز (Walocel) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و غلظت ۳۰۰۰ ppm در مدت زمان ۲ ساعت و متیل سلولز (Methocel-E5) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و غلظت ۳۰۰۰ ppm در مدت زمان ۴ ساعت باعث جداسازی ۹۰ درصد از آب موجود در امولسیون می شوند. میزان جداسازی پس از ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و غلظت ۳۰۰۰ ppm به ترتیب ۹۹ درصد و ۹۸ درصد برای Walocel و Methocel-E5 می باشد.

**واژه های کلیدی:** تعلیق شکن، امولسیون آب در نفت، شکست امولسیون، زیست تخریب پذیر.

**KEYWORDS:** Demulsifier, Water in crude oil emulsion, Demulsification, Biocompatible, Biodegradable.

## مقدمه

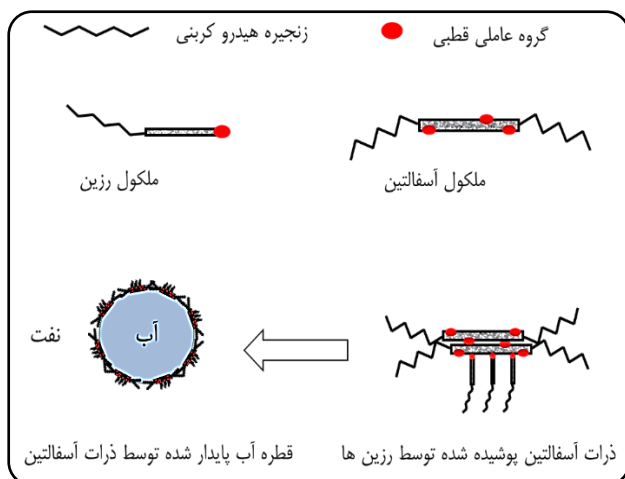
در اثر عبور از محیط متخلخل مخازن، استرس های ناشی از عبور از شیرهای فشار شکن و افت فشارهای موجود در مسیر انتقال، به قطره های

نفت خام پس از استخراج از مخزن دارای مقادیرهای چشمگیری آب، املاح و یون های گوناگون است. بخشی از فاز آب پراکنده در نفت

\*E-mail: binazadeh@shirazu.ac.ir, binazade@ualberta.ca

\* عهده دار مکاتب

• آدرس دیگر: دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه آلبرتا، ادمونتون، آلبرتا، کانادا



شکل ۱. فرایند تشکیل امولسیون به نسبت پایدار آب در نفت

مواد تعلیق شکن را می توان به تعلیق شکن های غیر یونی مانند پلیمرها، تعلیق شکن های یونی و مایع های یونی تقسیم بندی کرد. در این میان تعلیق شکن های غیر یونی و مایع های یونی به خاطر پایداری، عملکرد مناسب و تبعات کم محیط زیستی بیش تر مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۱].

میزان آب دوستی ماده تعلیق شکن وابسته به گروه های عاملی قطبی موجود در آن مانند اتیلن اکساید، هیدروکسیل، آمین، سولفونات و کربوکسیل است. همچنین میزان آبگریزی یک تعلیق شکن وابسته به میزان و نوع هیدروکربن موجود در آن (خطی، حلقوی، اشباع و غیر اشباع) است [۱۳]. رازی و همکاران<sup>۱</sup> با استفاده از تعداد زیادی از مواد تعلیق شکن مانند Triocetyl methyl ammonium chloride (TOMAC) و Methyl 2methyl propenoate (MMC) و alkoxyated alkyl phenol formaldehyde resin (NPFE) برای شکست امولسیون آب در نفت خام سنگین و غیر سنگین، تعلیق شکن بهینه برای هر نوع نفت را تعیین کردند. نتیجه های بررسی نشان داد که تعلیق شکن هایی مانند TOMAC و NPFE برای نفت سنگین و برخی دیگر مانند MMC برای نفت غیر سنگین عملکرد بهتری دارند [۱۴]. السباغ و همکاران<sup>۲</sup> کارایی پلیمر دی اکسید آلکین با وزن مولکولی و مقدارهای گوناگون HLB<sup>۳</sup> (تعادل گروه های هیدرو فیلک - لیپو فیلک) برای امولسیون زدایی از نفت خام را بررسی کرده و دریافتند که ساختار مولکولی تعلیق شکن نقش اصلی را در کارایی آن دارد. آن ها همچنین دریافتند که پس از ساختار مولکولی، غلظت تعلیق شکن و دما تأثیر مستقیمی بر عملکرد ماده تعلیق شکن دارند [۱۵].

بسیار ریز تبدیل می شود. تجمع ترکیبات امولسیون کننده موجود در نفت مانند آسفالتین، رزین، وکس و اسیدهای کربوکسیلیک بر روی سطح قطره های بسیار ریز آب باعث افزایش پایداری سطح قطره ها شده و این امر موجب افزایش پایداری امولسیون آب در نفت می شود [۳-۱]. شکل ۱ فرایند تشکیل امولسیون به نسبت پایدار آب در نفت را نشان می دهد. آب، املاح و دیگر ناخالصی های موجود در این امولسیون سبب بروز مشکل هایی مانند خوردگی، رسوب و گرفتگی در خطوط لوله، مبدل های گرمایی، تجهیزهای جداسازی و پالایشی و همچنین غیر فعال شدن کاتالیست های واحدهای پالایشگاهی نفت می شوند [۲]. از آنجایی که حضور این امولسیون ها ناخواسته می باشد، بنابراین روش های گوناگونی برای شکستن امولسیون ها و تبدیل آن ها به دو فاز مجزای آبی و آلی توسعه یافته است [۴، ۵]. امولسیون زدایی به روش های الکتریکی، شیمیایی، مکانیکی و گرمایی انجام می شود. در روش الکتریکی از میدان الکتریکی برای افزایش تعداد برخورد بین قطره های آب و افزایش بازده امولسیون زدایی استفاده می شود [۱]. روش های مکانیکی شامل جداسازی با استفاده از میکروفیلتراسیون می باشد [۱]. در روش های گرمایی با افزایش دما لزجت فاز پیوسته کاهش یافته و سرعت ته نشین شدن قطره های آب در نفت افزایش می یابد [۴، ۱]. در روش های شیمیایی با تنظیم pH و افزودن ماده تعلیق شکن لایه ی فیلم ایجاد شده اطراف قطره های آب ناپایدار شده و نرخ برخورد مؤثر قطره های آب افزایش می یابد که این امر موجب تشکیل قطره های بزرگ آب و ته نشینی آن می شود [۸-۱، ۶]. به منظور امولسیون زدایی در صنعت به طور معمول از روش های الکتریکی، شیمیایی، مکانیکی و گرمایی به صورت همزمان استفاده می شود.

از میان روش های بالا، فرایند امولسیون زدایی شیمیایی معروف ترین و پر کاربردترین روش است [۹، ۱۱]. در این روش، شکست امولسیون با تزریق مقدارهای بهینه تعلیق شکن مناسب به سیال انجام می شود. در روش شیمیایی، ترکیب های تعلیق شکن جایگزین مواد پایدار کننده (امولسیون کننده) موجود بر روی سطح قطره های آب مانند رزین، آسفالتین و وکس شده و پایداری سطح ذره های امولسیون را کاهش می دهند. افزودن مقدار کم ماده تعلیق شکن باعث نرسیدن به جداسازی دلخواه امولسیون های آب در نفت می شود. همچنین مقدار زیاد تعلیق شکن موجب کاهش کشش سطحی قطره های آب و افزایش مقاومت فیلم تشکیل شده توسط تعلیق شکن شده و در نتیجه باعث کاهش بازده امولسیون زدایی می شود [۹، ۱۲].

(۱) Razi M. et al

(۳) Hydrophilic-lipophilic balance

(۲) Alsabagh A. M. et al

## بخش تجربی

## انتخاب مواد تعلیق شکن مناسب

با توجه به پژوهش‌های پیشین انجام‌شده بر روی مواد تعلیق شکن پلیمری و سلولزی [۲۳-۱۹، ۱۰، ۸] و همچنین با بررسی ساختار مواد سلولزی گوناگون، چهار ماده سلولز استات، Walocel، Methocel-E5 و Methocel-K3 انتخاب و از شرکت Dow Chemicals خریداری شد. زنجیره سلولزی این ترکیب‌ها موجب زیست‌تخریب‌پذیری آن‌ها می‌شود. همچنین فرض شده است که گروه‌های عاملی افزوده شده به زنجیره سلولزی آن‌ها باعث ایجاد ویژگی امولسیون زدایی در دماهای بالا و غلظت بالای نمک در فاز آبی می‌شود. خو ویژگی‌های تعلیق شکن‌های سلولزی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است. نفت خام مورد استفاده در این پژوهش پیش از واحد نمک زدایی و بی‌درنگ پس از خروجی از مخزن نمونه‌گیری شده و خواص فیزیکی آن در جدول ۲ و میزان هیدروکربن‌های اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتین آن در جدول ۳ آمده است. چگالی و درجه گرانیروی API بر اساس روش استاندارد ASTM D6822 و لزجت توسط دستگاه ویسکومتر ساخت شرکت Brookfield سری DV2T اندازه‌گیری شد.

## روش‌ها

سنجش پایداری امولسیون در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از آزمون بطری صورت گرفت. در این پژوهش محلول ذخیره تعلیق شکن با غلظت ۵۰۰۰۰ ppm تهیه شد. محلول ذخیره Walocel، Methocel-E5 و Methocel-K3 با استفاده از آب و محلول ذخیره سلولز استات با استفاده از استون تهیه شد. در آزمایش‌ها نخست ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر نفت خام سبک آب افزوده شد و به مدت ۵ دقیقه توسط همزن مکانیکی (طیف آزما طب) با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط گشت تا امولسیون یکنواخت مورد نظر تشکیل شود. سپس ۱۰۰ میلی لیتر از امولسیون بالا جدا و محلول ذخیره تعلیق شکن به مقدار مناسب در زمان هم زدن به امولسیون افزوده شد تا تعلیق شکن به صورت یکنواخت پراکنده شود. امولسیون به‌دست‌آمده درون یک بطری (استوانه مدرج) قرار گرفته و در زمان‌های معین، مقدار آب جدا شده اندازه‌گیری شد [۲۴]. غلظت تعلیق شکن برحسب آزمایش به میزان ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ قسمت در میلیون (ppm) تعیین و آزمایش‌ها با یک بار تکرار در بازه دمایی ۲۵ تا ۸۰ درجه سلسیوس با قراردادن نمونه‌ها

مروری بر پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که کشف تعلیق شکن‌های زیست‌تخریب‌پذیر، ارزان و fh کارایی بالا نیاز است. از تعلیق شکن‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان مشتق‌های سلولز را نام برد که ویژگی‌های سطحی آن‌ها با استفاده از جانشینی گروه‌های عاملی گوناگون تنظیم شده‌اند. فنگ و همکاران<sup>۱</sup> تأثیر اتیل سلولز بر شکست امولسیون آب همراه ماسه نفت را بررسی کردند. نتیجه‌های آن‌ها نشان داد که افزودن اتیل سلولز می‌تواند تا ۹۰٪ آب همراه با ماسه نفت را جدا کند [۱۶]. هو و همکاران<sup>۲</sup> تأثیر اتیل سلولز بر کاهش کشش بین سطحی آب و ماسه نفت را مورد مطالعه قرار داده و دریافتند که وجود مولکول‌های اتیل سلولز در سطح مشترک آب و نفت باعث افزایش تراکم پذیری لایه بین سطحی و افزایش بازده جداسازی آب از نفت می‌شود [۱۷]. بررسی نیروهای بین مولکولی ذره‌های آسفالتین و اتیل سلولز توسط ناتارجان و همکاران<sup>۳</sup> نشان داد که وجود اتیل سلولز باعث کاهش پوشانیده شدن ذره‌های آسفالتین توسط مولکول‌های تولوئن شده و موجب کاهش پایداری امولسیون آب در نفت می‌شود [۱۸]. فنگ و همکاران<sup>۴</sup> تأثیر تعداد گروه عاملی هیدروکسیل هم چنین وزن مولکولی اتیل سلولز بر شکست امولسیون آب در نفت را بررسی کردند. نتیجه‌های ایشان نشان داد که مقدار بهینه گروه هیدروکسیل در ساختار اتیل سلولز ۴/۵٪ بوده و افزایش وزن مولکولی اتیل سلولز باعث افزایش قدرت امولسیون زدایی این ماده می‌شود [۱۳]. روستایی و همکاران<sup>۴</sup> از سلولز و اتیل سلولز به عنوان تعلیق شکن زیست‌تخریب‌پذیر برای جداسازی آب از نفت خام استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که آلفاسولوز و میکروکریستال سلولز به عنوان تعلیق شکن عملکرد ضعیفی دارند و اتیل سلولز دارای عملکرد بهتری است [۱۰]. در این پژوهش از چهار نوع تعلیق شکن زیست‌تخریب‌پذیر سلولزی شامل سلولز استات، کربوکسی متیل سلولز با نام تجاری Walocel و دو نوع از مشتقات متیل سلولز با نام‌های تجاری Methocel-E5 و Methocel-K3 استفاده شده است تا تأثیر نوع و میزان گروه‌های عاملی جانشین شده بر روی زنجیره سلولز بر قدرت امولسیون زدایی بررسی شود. آزمایش‌ها به منظور شکست امولسیون از نفت خام میدان سروستان با استفاده از آزمون بطری انجام و بهترین تعلیق شکن و شرایط بهینه استفاده از آن مشخص شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند به‌طورمستقیم در صنایع بالادستی نفت قابل استفاده باشد.

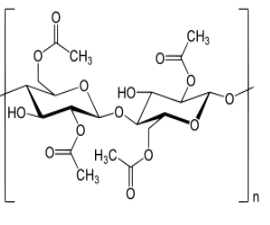
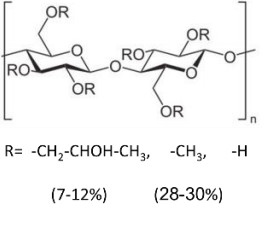
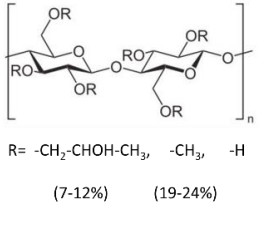
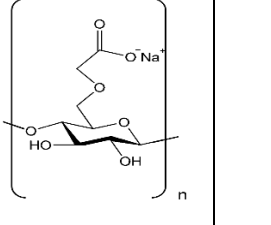
(۱) Feng X. et al

(۲) Natorejan A. et al

(۳) Hou J. et al

(۴) Roostaie T. et al

جدول ۱. مشخصه‌های شیمیایی تعلیق شکن های مشتق‌های سلولز

نام ماده				گرانروی (cp) محلول ۲٪ در آب در دمای ۲۵ °C
Cellulose Acetate	Methocel E <sub>5</sub>	Methocel K <sub>3</sub>	Walocel	
متغیر	۵	۳	۳۰	حلال مناسب
استون	آب	آب	آب	
	 R = -CH <sub>2</sub> -CHOH-CH <sub>3</sub> , -CH <sub>3</sub> , -H (7-12%) (28-30%)	 R = -CH <sub>2</sub> -CHOH-CH <sub>3</sub> , -CH <sub>3</sub> , -H (7-12%) (19-24%)		ساختار شیمیایی

۱۲ ساعت انجام شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش‌ها - که در جدول ۴ آمده است - بیانگر توانایی بیش‌تر Walocel و Methocel-E5 در مقایسه با سلولز استات و Methocel-K3 برای شکستن امولسیون آب در نفت است. عملکرد بهتر Methocel-E5 در مقایسه با Methocel-K3 به خاطر وجود تعداد بیش‌تر گروه عامل متوکسیل در ساختار Methocel-E5، توانایی بیش‌تر این ماده برای قرار گرفتن در سطح مشترک آب و نفت و برهمکنش مؤثرتر این ماده با فاز نفت می‌باشد. همچنین فاز آبی به‌دست‌آمده از شکست امولسیون توسط سلولز استات دارای ترکیب‌های رنگی نفتی بود که باعث کدورت فاز آب جدا شده و کاهش دقت آزمایش می‌شد. از این رو آزمایش‌های اصلی شکست امولسیون بر روی پلیمرهای زیست تخریب پذیر کربوکسی متیل سلولز Walocel [۲۵] و متیل سلولز Methocel-E5 [۲۶] انجام شده است.

**بررسی بازدهی کلی (جداسازی گرمایی همراه با جداسازی شیمیایی)**  
همان گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود افزایش دما و غلظت باعث افزایش سرعت شکست امولسیون توسط Walocel و Methocel-E5 می‌شود. با توجه به شکل ۲، بهترین غلظت برای شکست امولسیون توسط Walocel، ۳۰۰۰ ppm و بهترین دما ۸۰ درجه سلسیوس می‌باشد. کاهش دما از ۸۰ به ۶۵ درجه باعث کاهش بازده جداسازی به میزان ۱۰ درصد می‌شود. در غلظت‌های ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰ ppm و ۳۰۰۰ ppm Walocel افزایش دما تا ۸۰ درجه باعث بهبود چشمگیر عملکرد ماده Walocel می‌شود به طوری که در غلظت ۳۰۰۰ ppm و دمای ۸۰ درجه سلسیوس (دما و غلظت بهینه) ۹۰ درصد آب موجود فقط در ۲ ساعت جدا شده است. به طور همانند با افزایش دما عملکرد Methocel-E5 نیز بهبود پیدا می‌کند به طوری که در غلظت ۳۰۰۰ ppm و دمای ۸۰ درجه سلسیوس (دما و

ویژگی	مقدار
دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۸۷۶۴
درجه API	۳۰/۵۰
گرانروی در ۲۵ °C (Pa.S)	۰/۰۰۳۸
درصد آب	~۴٪
نمک (g/m <sup>3</sup> )	~۴۵۰

جزء	درصد (%)
اشباع	۶۷/۷
آروماتیک	۳۰/۲
رزین	۰/۷۲
آسفالتین	۱/۳۸

در آن (فن آزما گستر) انجام شد. سپس با استفاده از فرمول زیر درصد جداسازی تعیین و برای مقایسه در هر دما یا هر غلظت نمودارهایی با استفاده از نتیجه‌ها رسم شد.

$$Dehydration\ Efficiency\ (\%) = \frac{V}{V_0} \times 100 \quad (۱)$$

در فرمول بالا بازده جداسازی بر اساس حجم آب جدا شده (V) و حجم آب اولیه (V<sub>0</sub>) تعیین می‌شود.

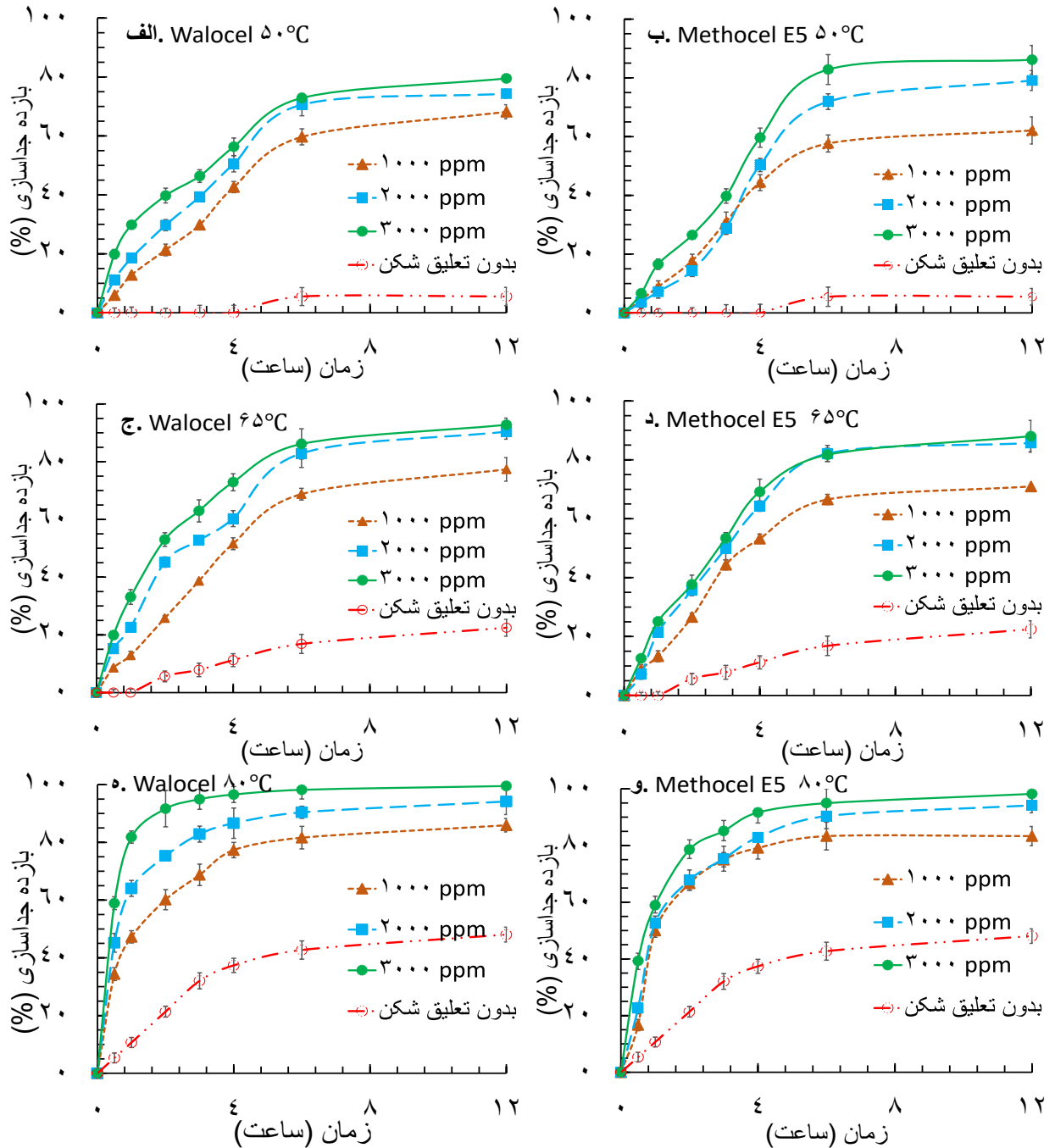
### نتیجه‌ها و بحث

#### آزمایش‌های اولیه

آزمایش‌های اولیه شکست امولسیون در دماهای ۲۵ و ۵۰ درجه سلسیوس و غلظت تعلیق شکن ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ طی مدت

جدول ۴. نتیجه‌های اولیه برای چهار ماده انتخابی

نام ماده								غلظت تعلیق شکن (ppm)	
Cellulose acetate		Methocel-K3		Methocel-E5		Walocel			
۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۵	دما (°C)
بازده جداسازی (%)									
۶۶	۴۳	۳۱	۲۹	۵۱	۴۰	۴۵	۳۸	۵۰	
۸۰	۷۴	۵۰	۴۶	۸۰	۶۲	۷۴	۶۵		



شکل ۲. درصد جداسازی کلی (گرمایی و شیمیایی) Metocel-E5 و Walocel بر اساس غلظت در دماهای گوناگون.

جدول ۵. مقایسه عملکرد تعلیق شکن‌های مشتق‌های سلولز برای جداسازی آب از نفت در دما و غلظت های گوناگون

نام ماده	غلظت ppm	دما ۵۰ درجه سلسیوس		دما ۶۵ درجه سلسیوس		دما ۸۰ درجه سلسیوس	
		جداسازی در ۲ ساعت (%)	جداسازی در ۴ ساعت (%)	جداسازی در ۲ ساعت (%)	جداسازی در ۴ ساعت (%)	جداسازی در ۲ ساعت (%)	جداسازی در ۴ ساعت (%)
Walocel	۱۰۰۰	۲۱	۴۲	۲۵	۵۱	۶۰	۷۷
Walocel	۲۰۰۰	۲۹	۵۰	۴۲	۶۰	۷۵	۸۶
Walocel	۳۰۰۰	۳۹	۵۶	۵۳	۷۲	۹۱	۹۶
Methocel-E5	۱۰۰۰	۱۷	۴۴	۲۶	۵۳	۶۶	۷۹
Methocel-E5	۲۰۰۰	۱۴	۵۰	۳۵	۶۴	۶۷	۸۲
Methocel-E5	۳۰۰۰	۲۶	۵۶	۳۷	۶۹	۷۸	۹۱

و Methocel-E5 دارای عملکرد مناسبی برای شکست امولسیون آب در نفت خام می‌باشند. در دمای ۵۰ و ۶۵ درجه سلسیوس، Walocel، به روشنی دارای سرعت امولسیون زدایی بیش‌تری است. با افزایش دما و غلظت سرعت شکست امولسیون توسط هر دو ماده بهبود یافته و دما و غلظت بهینه برای هر دو ماده به ترتیب ۸۰ درجه سلسیوس و ۳۰۰۰ ppm می‌باشد. در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و غلظت ۳۰۰۰ ppm بازده امولسیون زدایی Walocel در مدت زمان ۲ ساعت ۹۱٪ می‌باشد حال آن‌که بازده امولسیون زدایی Methocel-E5 در مدت زمان ۴ ساعت ۹۱٪ است. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نشان داد که بازده نهایی و سرعت شکست امولسیون توسط Walocel اندکی بهتر از Methocel-E5 می‌باشد. با افزایش دما، انرژی جنبشی ذره‌های آب افزایش یافته و حرکت تندر ذره‌ها باعث افزایش تعداد برخوردها و تشکیل تندر ذره‌های بزرگ آب و افزایش بازده جداسازی گرمایی می‌شود. همچنین افزایش دما باعث تغییر در کشش سطحی، کاهش لزجت فاز پیوسته و افزایش سرعت ته‌نشینی قطره‌های به‌دست‌آمده از برخورد ذره‌های امولسیون می‌شود. برهمکنش این عامل‌ها بازده کلی جداسازی را افزایش می‌دهد. حضور مقدارهای بهینه از امولسیون شکن مناسب باعث ناپایداری فیلم اطراف ذره‌های معلق آب در نفت و افزایش تأثیر برخورد ذره‌های امولسیون شده که این امر باعث افزایش سرعت تشکیل قطره‌های بزرگ‌تر و شکست امولسیون می‌شود.

### قدردانی

نویسندگان این مقاله قدردان حمایت مالی دانشگاه شیراز هستند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۷

غلظت بهینه (۹۵ درصد از جداسازی در ۶ ساعت اولیه آزمایش انجام شده است. طبق شکل ۲ جداسازی گرمایی (بدون حضور تعلیق شکن) با افزایش دما به طور محسوسی افزایش می‌یابد به طوری که در دمای ۵۰ درجه سلسیوس میزان جداسازی گرمایی ناچیز بوده ولی با افزایش دما تا ۸۰ درجه سلسیوس، بازده جداسازی گرمایی به ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. این میزان جداسازی به خاطر وجود مواد فعال سطحی مانند رزین‌ها است که به صورت طبیعی در نفت خام وجود دارند و موجب پایداری امولسیون می‌شوند. با افزایش دما و کاهش لزجت فاز آلی، سقوط قطره‌های آب افزایش می‌یابد. افزایش دما همچنین موجب کاهش کشش بین سطحی فاز آبی و نفت و کاهش قطر ذره‌های آب گشته که تأثیر منفی بر روند جداسازی خواهد داشت. ولی کاهش لزجت سیال پیوسته (با افزایش دما) مؤثرتر بوده و جداسازی کلی با افزایش دما افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن نتیجه‌های شکل ۲ و جدول ۵ می‌توان دریافت که در انتهای آزمایش Walocel باعث جداسازی مقدار بیش‌تری از آب موجود در نفت می‌شود. همچنین سرعت اولیه شکست امولسیون توسط این ماده بیش‌تر از Methocel-E5 می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش کارایی چهار تعلیق شکن شیمیایی زیست تخریب‌پذیر از گروه ترکیب‌های سلولزی شامل استات سلولز، کربوکسی متیل سلولز با نام تجاری Walocel و دو نوع از مشتق‌های متیل سلولز با نام‌های تجاری Methocel-E5 و Methocel-K3 برای شکست امولسیون آب در نفت استفاده شد. آزمایش‌های اولیه نشان داد که Walocel و Methocel-E5 در مقایسه با سلولز استات و Methocel-K3 عملکرد بهتری برای شکستن امولسیون آب در نفت دارند. بررسی میزان امولسیون زدایی توسط مقدارهای گوناگون Walocel و Methocel-E5 در دماهای متفاوت نشان داد که هر دو ماده زیست تخریب‌پذیر Walocel

## فهرست نمادها

نماد	نام	نماد	نام
C <sub>8</sub>	اکتان	C <sup>o</sup>	درجه سلسیوس
C <sub>9</sub>	نونان	C <sub>2</sub>	اتان
C <sub>10</sub>	دکان	C <sub>3</sub>	پروپان
C <sub>11</sub>	اوندکان	iC <sub>4</sub>	ایزو بوتان
C <sub>12+</sub>	دودکان و آلکان‌های سنگین تر	nC <sub>4</sub>	نرمال بوتان
HLB	تعادل گروه‌های هیدرو فیلک - لیپو فیلک	iC <sub>5</sub>	ایزو پنتان
ppm	قسمت در میلیون	nC <sub>5</sub>	نرمال پنتان
V	حجم آب جدا شده	C <sub>6</sub>	هگزان
V <sub>0</sub>	حجم آب اولیه	C <sub>7</sub>	هپتان

## مراجع

- [۱] مزارعی، سید رضا؛ اسماعیلی، حسین؛ جعفری، داریوش، "جداسازی امولسیون آب از نفت با استفاده از ماده امولسیون زد"، *سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، کنفدراسیون بین‌المللی مخترعان جهان (IFIA): تهران (۱۳۹۵)*
- [2] Langevin D., Poteau S., Henaut I., Argilier J.F., *Crude Oil Emulsion Properties and Their Application to Heavy Oil Transportation*. **59**: 511-521 (2004)
- [3] Shehzad, F., Hussein I.A., Kamal M.S., Ahmad W., Sultan A.S., Nasser, M.S., *Polymeric Surfactants and Emerging Alternatives Used in the Demulsification of Produces Water: A Review*. *Polymer Reviews*, **58(1)**: 63-101 (2018)
- [۴] مزارعی، سیدرضا؛ اسماعیلی، حسین؛ جعفری، داریوش، "تعیین بهترین شرایط در جداسازی آب از امولسیون نفتی با استفاده از امولسیون زد"، *سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، کنفدراسیون بین‌المللی مخترعان جهان (IFIA): تهران (۱۳۹۵)*
- [5] Al-Sabagh, A.M., Kandile N.G., Noor El-Din M.R., *Functions of Demulsifiers in the Petroleum Industry*. *Separation Science and Technology*, **46(7)**: 1144-1163 (2011)
- [۶] ایرانبور، سعید؛ مهدوی، حسین؛ محمودیان، مهدی، "سورفکتانتهای پلیمری، گذشته، حال، آینده"، *سومین همایش علوم و فناوری مواد فعال سطحی و صنایع شوینده، دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه شریف (۱۳۹۱)*
- [7] Raffa, P., A.A. Broekhuis, F. Picchioni, *Polymeric Surfactants for Enhanced Oil Recovery: A Review*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **145**: 723-733 (2016)
- [8] Liu, H. Y.-L. Hsieh, *Ultrafine Fibrous Cellulose Membranes from Electrospinning of Cellulose Acetate*. **40**: 2119-2129 (2002)
- [۹] کشاورز، حسین؛ اسفندیاری، نادیا، "بررسی روش‌های نمک زدایی از نفت خام"، *سومین همایش ملی نفت و گاز و صنایع وابسته، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۹۴)*

- [10] Roostaie T., Farsi M., Rahimpour M.R., Biniiaz P., [Performance of Biodegradable Cellulose Based Agents for Demulsification of Crude Oil: Dehydration Capacity and Rate](#). *Separation and Purification Technology*, **179**: 291-296 (2017)
- [11] Zolfaghari, R., Fakhrol-Razi A., Abdullah L.C., Elnashaei S.E.H., Pendashteh A., [Demulsification Techniques of Water-in-Oil and Oil-in-Water Emulsions in Petroleum Industry](#). *Separation and Purification Technology*, **170**: 377-407 (2016)
- [12] Kokal S., Al-Juraid J., "Quantification of Various Factors Affecting Emulsion Stability: Watercut, Temperature, Shear, Asphaltene Content, Demulsifier Dosage and Mixing Different Crudes", *SPE Annual Technical Conference and Exhibition.*, Society of Petroleum Engineers: Houston, Texas. (1999)
- [13] Feng X., Wang S., Hou J., Wang L., Cepuch C., Masliyah J., Xu Z., [Effect of Hydroxyl Content and Molecular Weight of Biodegradable Ethylcellulose on Demulsification of Water-in-Diluted Bitumen Emulsions](#). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **50(10)**: 6347-6354 (2011)
- [14] Razi, M., Rahimpour, M.R., Jahanmiri A., Azad F., [Effect of a Different Formulation of Demulsifiers on the Efficiency of Chemical Demulsification of Heavy Crude Oil](#). *Journal of Chemical & Engineering Data*, **56(6)**: 2936-2945 (2011)
- [15] Alsabagh, A.M., Hassan M.E., Desouky S.E.M., Nasser N.M., Elshakary E.A., Abdelhamid M.M., [Demulsification of W/O Emulsion at Petroleum Field and Reservoir Conditions Using Some Demulsifiers Based on Polyethylene and Propylene Oxides](#). *Egyptian Journal of Petroleum*, **25(4)**: 585-595 (2016)
- [16] Feng, X., Xu Z., Masliyah J., [Biodegradable Polymer for Demulsification of Water-in-Bitumen Emulsions](#). *Energy & Fuels*, **23(1)**: 451-456 (2009)
- [17] Hou, J., Feng X., Masliyah J., Xu Z., [Understanding Interfacial Behavior of Ethylcellulose at the Water–Diluted Bitumen Interface](#). *Energy & Fuels*, **26(3)**: 1740-1745 (2012)
- [18] Natarajan, A., Kuznicki N., Harbottle D., Masliyah J., Zeng H., Xu Z., [Molecular Interactions Between a Biodegradable Demulsifier and Asphaltenes in an Organic Solvent](#). *Energy & Fuels*, **30(12)**: 10179-10186 (2016)
- [۱۹] عبادی، شهرزاد؛ رسولی گرمارودی، اسماعیل؛ رضانی، امید؛ بهروز اشکیکی، ربیع، "استات سلولز: فرآورده ای پایدار و زیست تخریب پذیر با کاربردهای ویژه"، دومین همایش ملی فن آوری های نوین در صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس: چالوس. (۱۳۹۳)
- [۲۰] مهدی خانی، حسن؛ جلالی ترشیزی، حسین، "مروری بر تولید و کاربردهای کربوکسی متیل سلولز"، دومین همایش ملی فن آوری های نوین در صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس: چالوس (۱۳۹۳)
- [21] Gullapalli R.P. Sheth B.B., [Effect of Methylcellulose on the Stability of Oil-in-Water Emulsions: Influence of the Disperse Phase](#). *International Journal of Pharmaceutics*, **151**: 249-253 (1997)
- [22] Fischer, S., Thummler K., Volkert K., Hettrich K., Schmidt I., Fischer K., [Properties and Applications of Cellulose Acetate](#). *Macromolecular Symposia*, **262(1)**: 89-96 (2008)



- [23] Su J.F., Huang Z., Yuan X.Y., Wang X.Y., Li M., [Structure and Properties of Carboxymethyl Cellulose/Soy Protein Isolate Blend Edible Films Crosslinked by Maillard Reactions](#). *Carbohydrate Polymers*, **79(1)**: 145-153 (2010)
- [24] Biniiaz P., Farsi M., Rahimpour M.R., [Demulsification of Water in Oil Emulsion Using Ionic Liquids: Statistical Modeling and Optimization](#). *Fuel*, **184**: 325-333 (2016)
- [25] Van Ginkel, C.G., Gayton S., [The Biodegradability and Nontoxicity of Carboxymethyl Cellulose \(DS 0.7\) and Intermediates](#). *Environmental Toxicology and Chemistry*, **15(3)**: 270-274 (1996)
- [26] Rimdusit, S., Jingjid S., Damrongsakkul S., Tiptipakorn S., Takeichi T., [Biodegradability and Property Characterizations of Methyl Cellulose: Effect of Nanocompositing and Chemical Crosslinking](#). *Carbohydrate Polymers*, **72**: 444-455 (2008)