

سنتر و مشخصه‌یابی نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و بررسی اثر هم افزایی آن‌ها بر تالو آمین اتوکسیله در فرایند تعليق زدایی از نفت خام

فروغ محمدی، هاله ثنایی‌شعار*، الهام طحان‌پسر

گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۳۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۴/۱۸)

چکیده: در این پژوهش، نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 سنتر شده و ویژگی‌های آنها با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، پراش سنج پرتوی X (XRD)، طیفسنج تبدیل فوریه فروسرخ (FT-IR) و مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) بررسی شد. افزون بر این، عملکرد MNPs- Fe_3O_4 به همراه روکنیشگر تالو آمین اتوکسیله (TAE) در تعليق زدایی نفت خام با آزمایش بطری ارزیابی گردید. ترکیب نانوذرات Fe_3O_4 و TAE بازدهی جدایش آب از نفت را تا ۹۴ درصد بهبود بخشیده و مصرف تعليق شکن تجاری را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 نامیزه آب در نفت خام، تعليق شکن، بازدهی تعليق زدایی، تالو آمین اتوکسیله.

پالایشگاه، آب شستشو با نفت خام آمیخته می‌شود تا نمک‌های محلول از بین بروند. تعليق شکن به نامیزه تزریق شده و کاملاً آمیخته می‌شود. سپس، نامیزه شکسته شده و درپی آن آبگیری نفت خام رخ می‌دهد [۳]. امروزه، تعليق شکن‌های شیمیایی پرکاربردترین مواد برای حذف نامیزه نامطلوب آب در نفت خام هستند [۴]. از مشکلات استفاده از تعليق شکن تجاری، فرمولبندی شامل حلal آلی آن است که منجر به معایبی از جمله اشتعال پذیری و سمیت می‌شود. از جمله مشکلات دیگر تعليق شکن‌های تجاري گران بودن آنهاست که هزینه عمليات تصفيه را افزایش می‌دهد [۵].

در چند دهه گذشته، فناوری نقش مهمی در راستای بهبود بسیاری از صنایع و فناوری‌ها، چون علوم محیطی، انرژی، الکترونیک، مواد غذایی، لوازم آرایشی، پزشکی و هوافضا داشته است. در سال‌های اخیر، صنعت نفت و گاز نیز به طور فزاینده‌ای به استفاده از فناوری نانو علاقمند شده است [۶]. از جمله

مقدمه
بیشتر نفت خام استخراج شده به صورت نامیزه (نامیزه) است، بنابراین آب موجود در آن باید جدا شود [۱]. این نامیزه‌ها به دلیل آسیب‌هایی که وارد می‌کنند از جمله خوردگی و مسمومیت کاتالیزورها در عمليات پایین‌دستی پالایشگاه در صنعت نفت بسیار مضر هستند و لازم است پیش از حمل و نقل یا عمليات تصفيه، آب را به طور کامل از نفت خام جدا کرد [۲]. در فرآيند پالایش، نفت خام ورودی با یک آب شستشوی تازه آمیخته می‌شود تا نمک‌های محلول در آب و جامدات آبدوست استخراج شوند. آب موجود در نامیزه نفت خام (نامیزه W/O) اغلب توسط هیدروکربن‌ها به شکل آسفالتین، رزین تثبیت می‌شود. اين نامیزه‌سازهای طبیعی روی سطح مشترک آب و روغن جمع شده و باعث می‌شوند که لایه‌های پایدار پیرامون قطره‌های آب تشکیل شوند که از بهم پوستن قطره‌های آب پراکنده جلوگیری می‌کنند. در فرآيند نمک زدایی

*نويسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۸۰۴۷۰۳۹۷، نماير: ۰۶۱۳۳۳۲۹۲۰۰، پست الکترونیکی: hsanaei@iauahvaz.ac.ir

مغناطیسی Fe_3O_4 و تالوآمین اتوکسید (TAE) برای بهبود تعليق زدایی نامیزه‌های W/O استفاده گردیده است. برای اين منظور، تالوآمین اتوکسیله با مول های ۵، ۱۰ و ۱۵ به طور جداگانه با تعليق شکن و نانوذرات مغناطیسی آميخته شدند تا نامیزه‌های نفت خام را بشکنند. اثر سه نوع TAE همزمان همراه با مصرف MNPs- Fe_3O_4 بررسی شد.

روش پژوهش مواد شیمیایی و دستگاهها

25% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و محلول آمونیوم $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ از شرکت سیگما آلدريچ خریداری و بدون خالص سازی بیشتر استفاده شدند. نمونه تعليق شکن تجاری و نفت خام از مخازن جنوب ایران تهیه شد. مشخصه‌ها و ترکیب شیمیایی نمونه نفت خام در جدول ۱ آورده شده است. برای آزمایش‌ها، از آب یونیزدایی شده استفاده گردید. ۵-TAE-5، ۱۰-TAE-10 و ۱۵-TAE-15 مورد استفاده در این کار از شرکت کوپلیمر اصفهان تأمین شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و سطحی ذرات در جدول ۲ آورده شده است.

پژوهش‌های انجام شده پیرامون استفاده از نانو مواد در فرایند تعليق شکنی می‌توان به کار پنگ و همکارانش اشاره کرد [۷]

كه با پیوند زدن اتیل سلوژ فعال سطحی (EC) بر سطح نانوذرات مغناطیسی یک تعليق شکن نانومغناطیسی به نام M-EC برای تجزیه نامیزه‌های آب در نفت ارائه گردد، یک تعليق شکن مغناطیسی جدید و آن را برای حذف آب از نامیزه نفت سنگین رقيق شده بررسی کردند. لی و همکارانش [۸] از واکنش $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ با گروه اپوکسی عامل‌دار شده یک تعليق شکن تجاري از نوع پلی اتر پلی است و در حال حاضر در میدان نفتی استفاده می‌شود.

نانوذرات مغناطیسی آهن در بسیاری از صنایع از جمله صنایع نفت و گاز به کار گرفته شده اند. روش‌های متعددی برای سنتز این نانو ذرات به کاررفته است که می‌توان به روش سل ژل و هم رسوی اشاره نمود [۹]. در این پژوهش با هدف کاهش استفاده از تعليق شکن تجاری، از ترکیب موثر نانوذرات

جدول ۱ ویژگی‌های نفت خام.

درصد وزنی	ویژگی‌های فیزیکی / مقدار
۳۰	درجه API (انجمن نفت آمریکا) در ۱۵ درجه سانتیگراد
۲۶	وشکسانی در ۲۰ درجه سانتیگراد (mm^2/s)
۵	مقدار نمک (P.T.B)
۴,۵	درصد آسفالتین
۸	درصد رزین
۴۶	درصد ترکیب‌های اشیاع
۲۲	درصد ترکیب‌های حلقوی
۵	درصد آب و رسوب‌های دیگر

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی تالو آمین اتوکسیله.

pH	^d مقدار آمین کل (TAV)	HLB ^c	مول گاز اتیلن اکساید	TAE
۸,۹	۱۰۵-۱۱۵	۵	۵	TAEs-5
۸,۹	۷۰-۸۰	۵/۱۲	۱۰	TAEs-10
۸,۹	۵۲-۶۲	۳/۱۴	۱۵	TAEs-15

^c کمتر از ۱۰ نامیزه‌ساز آب در روغن، بیشتر از ۵ به عنوان نامیزه‌ساز آب در روغن و تا ۱۵ به عنوان ترکننده

^d تعداد میلی گرم هیدروکسید پتاسیم معادل قدرت بازی در یک گرم از نمونه.

از زیبایی تعیق شکن برای بررسی اثر MNPs- Fe_3O_4 و TAE ها بر عملکرد تعیق شکن شیمیایی تجاری نخست نمونهای بدون نانوذرات و در پردازندۀ ۱۰۰ ppm از تعیق شکن صنعتی یعنی مرجع ۱۰۰ تهیه گردید. به همین ترتیب، مرجع ۳۰ با تنها ۳۰ درصد تعیق شکن صنعتی نیز تولید شد. هر دو نمونه به عنوان حالت‌های مرجع انتخاب شدند و نتایج آزمایش عملکرد تعیق-زدایی با آنها مقایسه شد. پس از آن، مقادیر MNP- Fe_3O_4 و TAE ها براساس جدول ۳ به نمونه‌های مرجع ۳۰ اضافه گردید و به ترتیب با دستگاه فرآصوت و هم زن کاملاً آمیخته شدند. پس از این مرحله، میزان جداسازی آب با آزمون بطری اندازه-گیری شد. موثرترین ترکیب با نتایج آزمایش‌های بطری مشخص شد.

آزمون بطری

تعیق شکن صنعتی مورد بررسی به ۱۰۰ میلی لیتر نامیزه نفت خام اضافه شد و MNP- Fe_3O_4 همراه با یک سرنگریز به طور جدأگانه به نامیزه تزریق شدند. پس از آمیختگی نمونه آمده شده، آن را در یک استوانه مدرج ریخته و سپس روی آهنربای دستی در حمام آبی با دماهای مختلف عملکرد تعیق‌زدایی در زمان‌های مختلف با اندازه‌گیری آب جدا شده از نامیزه بررسی شد. سرانجام بازدهی تعیق‌زدایی از رابطه زیر محاسبه شد [۱۰]:

$$\text{DE} (\%) = V / V_0 \times 100 \quad (1)$$

که در آن V حجم آب جدا شده و V_0 حجم آب اولیه است. خطای نسبی در برآورد حجم آب جدا شده از آزمایش بطری حدود ۳ درصد است.

بحث و بررسی

ویژگی‌های MNP- Fe_3O_4 سنتر شده

ریختار MNPs- Fe_3O_4 در شکل ۱ نشان داده شده است. دیده می‌شود که این نانوذرات به صورت ساختارهای کروی هستند [۱۱].

اندازه و ریختار نانوذرات با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) مدل TESCAN MIRA3-XMU با ولتاژ شتابدهنده ۳۰–۲۰ کیلوولت بررسی شد. الگوهای پراش پرتوی ایکس (XRD) با پراش سنج Ultima IV (ریگاکو، ژاپن) با استفاده از تابش CuK α (نانومتر $\lambda = 1,540.6$) ثبت شد. برای بررسی سطح نانوذرات، طیفهای تبدیل فوریه Perkin-Elmer BX-II با طیفسنج FT-IR ثبت شدند. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها با قرص KBr ثبت شدند. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها با مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM)، مدل MDKFT (ایران) بررسی گردید.

تهیه آب در نامیزه نفت خام

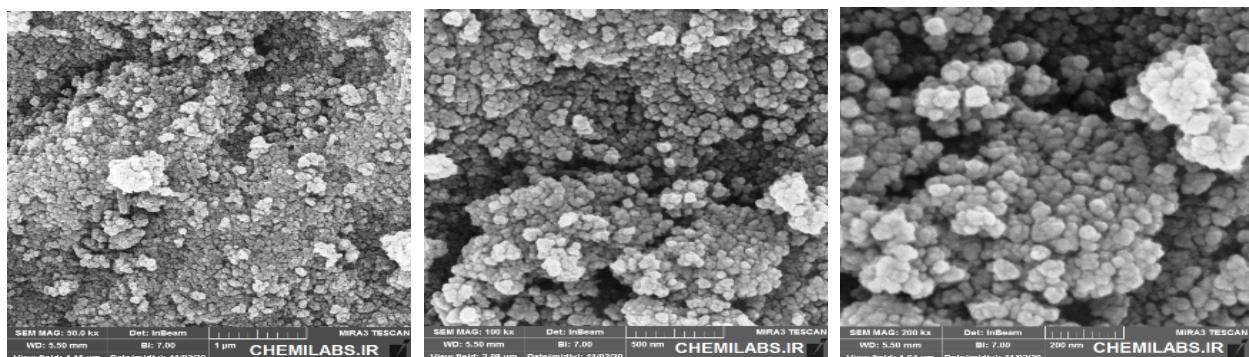
نامیزه‌های آب در نفت خام با افزودن ۵ درصد حجمی آب به نفت خام در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد تهیه شده و هم زن کاملاً آمیخته شدند. نامیزه‌ها برای هفت‌ها بدون جداسازی فاز پایدار بودند.

سنتر MNP- Fe_3O_4

MNPs- Fe_3O_4 به روش هم رسوی شیمیایی تهیه شد. برای این منظور، ۳/۹۸ گرم (۰/۰۲ مول) $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ و ۱۰/۸۱ گرم (۰/۰۴ مول) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ در ۱۲۰ میلی لیتر آب یونیزدایی شده حل گردیدند. نیتروزن به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۵ میلی لیتر بر ثانیه به واکنش دمیده و آمیخته برای ۱۵ دقیقه هم زده شد. محلول نارنجی تیره به دست آمده در یک فلاسک ته گرد سه گردانی منتقل گردید. سپس در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد، در مجموع ۱۰۰ میلی لیتر محلول آمونیاک به صورت قطره‌ای با هم زدن شدید (۱۰۰۰ دور در دقیقه) و با حفاظت گاز نیتروزن در ۳۰ دقیقه اضافه شد. سپس محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به سرعت هم زده شد. پس از خنک شدن به طور طبیعی و رسیدن به دمای محیط، فرآورده پایانی با یک آهنربا جمع آوری و چند بار با اتانول و آب یونیزدایی شده شسته شد. پس از آن، نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 (MNP) در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد برای ۱۰ ساعت خشک شد.

جدول ۳ اثر غلظت‌های مختلف تالوآمین اتوکسیله (بر حسب ppm) به همراه ۱ از MNP بر کارایی تعیق‌زدایی مرجع ۳۰ در دماهای مختلف.

نوع تعیق شکن	نسبت	۲۵°C		۵۰°C		۷۰°C	
		DE%	زمان (دقیقه)	DE%	زمان (دقیقه)	DE%	زمان (دقیقه)
TAE-5:MNPs	۹:۱	۵۵	۲۰۰	۶۰	۱۲۰	۶۶	۷۰
TAE-10:MNPs	۶:۱	۷۵	۱۶۵	۸۵	۶۰	۹۴	۲۰
TAE-15:MNPs	۳:۱	۶۰	۱۸۰	۶۵	۹۵	۶۸	۵۰

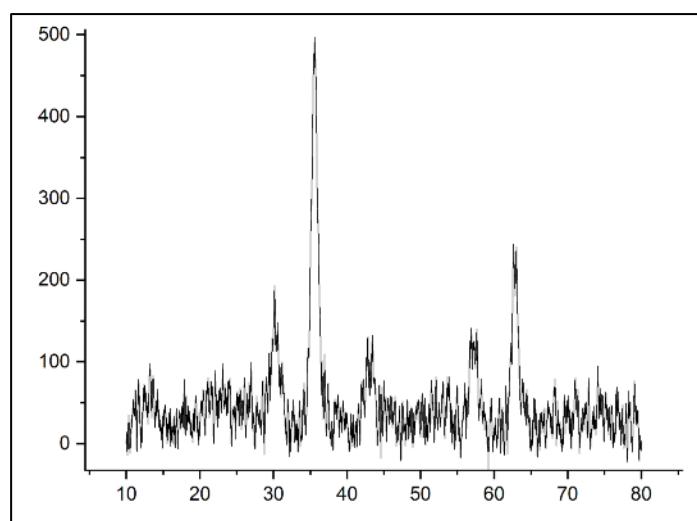
شکل ۱ تصاویر FESEM از نانوذرات Fe_3O_4

XRD آورده شد [۱۲]:

$$D = K\lambda / (\beta \cos \theta) \quad (2)$$

که D اندازه بلورک نانوذره و K به اصطلاح ضریب شکل و مقدار آن حدود ۰,۹ است؛ λ طول موج پرتوایکس (FWHM) (نانومتر) و β پهنه‌ای قله در نیم شدت بیشینه (FWHM) بر حسب رادیان است؛ θ زاویه برآگ آن قله است. براساس اندازه بلورک محاسبه شده برای $\text{MNP-Fe}_3\text{O}_4$ برابر با ۸۳ نانومتر است.

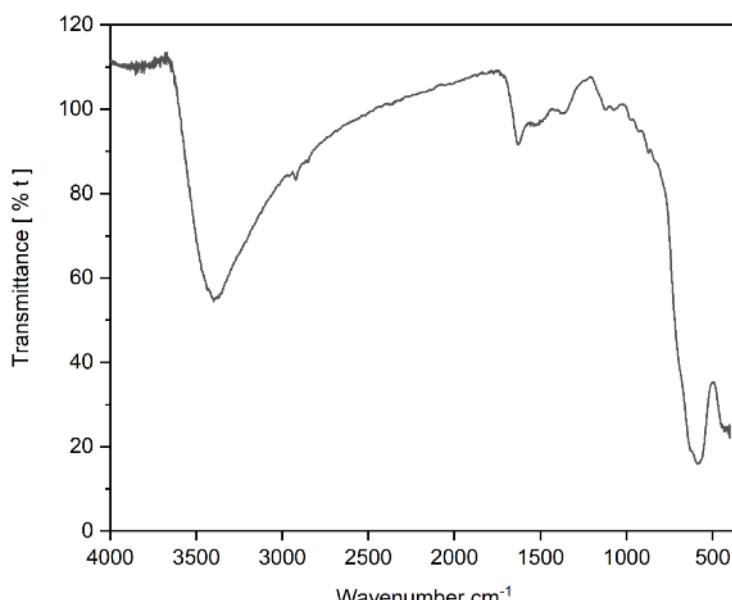
شکل ۲ الگوی پرتوایکس نمونه‌های سنتز شده در دماهای پخت ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. بر این اساس، نمونه‌های سنتز شده به صورت تک فاز و خالص هستند. در الگوی‌های پرتوایکس همه نمونه‌ها، پنج قله اصلی مربوط به صفحه‌های (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۵۱۱) و (۴۴۰) ساختار مکعبی Fe_3O_4 هستند که همه با کارت استاندارد JCPDS شماره ۰۶۲۹-۱۹ همخوانی دارند متوسط اندازه ذرات از رابطه دبای - شر و داده‌های

شکل ۲ الگوی XRD نانوذرات Fe_3O_4

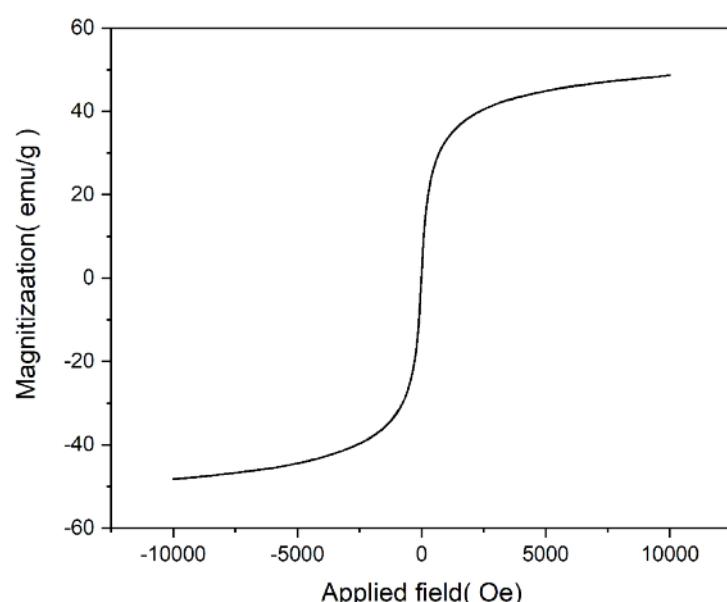
اثر MNPs- Fe_3O_4 بر بازدهی آبگیری
 اثر مقدارهای مختلف MNP- Fe_3O_4 بر تعليق زدایی در شکل ۵ نشان داده شده است. دیده می‌شود که مقدار بهینه نمونه سنتر شده ۱ ppm است. در مقادیر بیشتر از مقدار بهینه، برهمکنش نانوذرات Fe_3O_4 افزایش یافته و منجر به کاهش فعالیت سطحی آنها می‌شود و سرانجام بازدهی تعليق زدایی کاهش می‌یابد. شکل ۵ کارایی تعليق زدایی را در بهترین شرایط با روش آزمایش بطری نشان می‌دهد. بر این اساس، افزودن ذرات منجر به افزایش ۳۵ درصدی نمونه مرجع ۳۰ می‌شود.

شکل ۳ طیف FT-IR نانوذرات Fe_3O_4 را نشان می‌دهد. نوار جذب OH در 3397 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی $\text{O}-\text{H}$ و نوار در 586 cm^{-1} نشان دهنده مذکششی $\text{Fe}-\text{O}$ است MNPs- Fe_3O_4 را تأیید می‌کند که گروههای هیدروکسیل سطح پوشانده‌اند [۱۳].

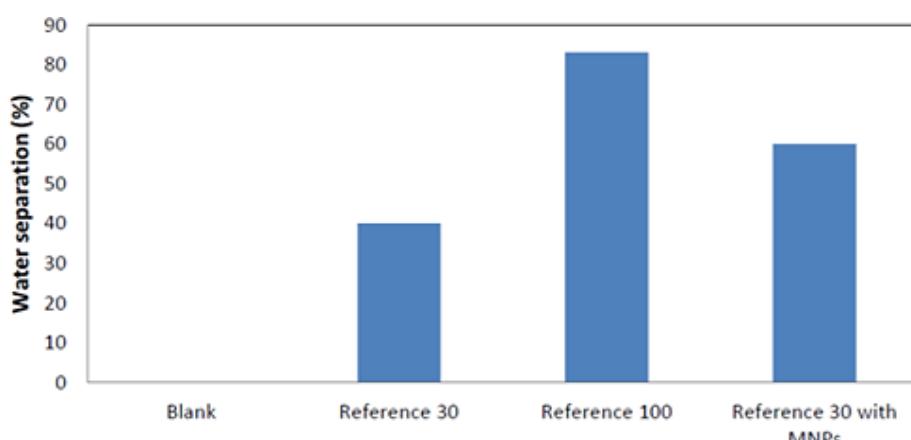
رفتار ابرپارامغناطیس MNPs- Fe_3O_4 با منحنی‌های VSM در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار مغناطیس اشباع نمونه سنتر شده 48.64 emu/g است [۱۴].



شکل ۳ طیف FT-IR نانوذرات Fe_3O_4



شکل ۴ الگوی VSM نانوذرات Fe_3O_4

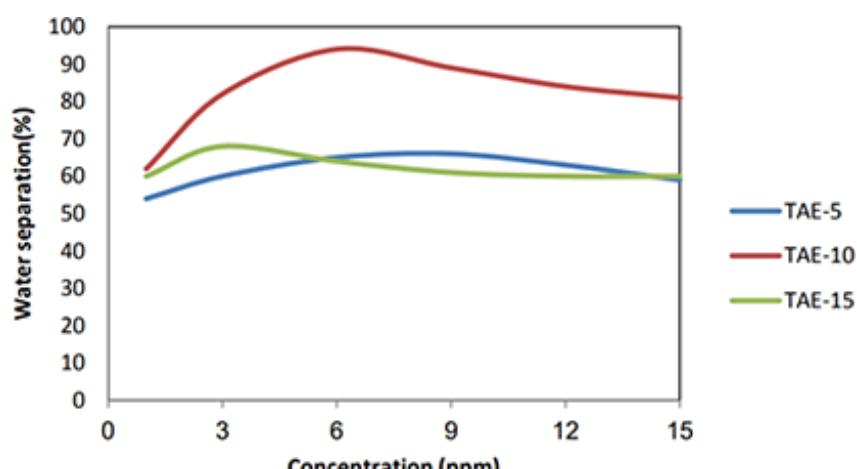


شکل ۵ نتایج آزمایش بطری MNPs در غلظت ۱ ppm بر بازده تعليق‌زدایی مرجع ۳۰، سایر شرایط: زمان تهشیینی: ۲ ساعت، دمای حرارت: ۷۰ درجه سانتیگراد.

اثر دما بر بازدهی تعليق‌زدایی

برای بررسی اثر دما بر فرایند جدایش آب از نفت، آزمایش بطری برای مرجع ۳۰ در دماهای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد با غلظت بهینه TAE انجام شد (شرایط دیگر یکسان بود). عملکرد غلظت‌های مختلف تالوآمین اتوکسیله برای سه دمای مختلف در جدول ۳ آورده شده است. با افزایش دما از ۲۵ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، زمان تعليق زدایی کاهش می‌یابد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دما منجر به کاهش وشكسانی نفت خام و بی ثباتی نامیزه ناشی از میزان حرکت قطره‌های آب می‌شود [۱۵]. افزایش دما حرکت بین دو قطره آب را افزایش می‌دهد و قطره‌ها به هم می‌پیوندند. بنابراین، دمای تعليق‌زدایی نقش مهمی در میزان جداسازی آب از نامیزه‌های W/O دارد.

مقدار ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ ppm از هر سه تالوآمین اتوکسیله و ۱ ppm از MNP- Fe_3O_4 به نمونه مرجع ۳۰ اضافه شد. نتایج موجود در شکل ۶ نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای TAE-10 بازدهی بیشتری دارند که می‌توان نتیجه گرفت که TAE-10 در بین روکنشگرهای آزمایش شده بهترین بوده است. این امر را می‌توان بر اساس تراز آبدوستی-چربی دوستی (HLB) روکنشگرهای غیریونی توضیح داد. TAE-5 به دلیل HLB پایین، تمایل کمتری به مهاجرت به فاز میان آب و نفت خام دارد. افزون بر این، TAE-15 دارای HLB بالایی است، با این حال، پیوند هیدروژنی بین گروه OH و آسفالتین باعث ناپایداری قطره‌های آب می‌شود. البته، TAE-15 به علت آب دوستی بالا، بیشتر در فاز آبی به دام افتاده و کمتر در فاز میان آب و نفت خام جذب می‌گردد.



شکل ۶ اثر غلظت‌های مختلف تالوآمین اتوکسیله (ppm) به همراه نانوذرات مغناطیسی ۱ ppm بر راندمان تعليق‌زدایی مرجع ۳۰ (آزمایش بطری).

- [2] Fan G., Lyu R., Gao X., Liang C., Wang C., "MPEG grafted quaternized carboxymethyl chitosan for demulsification of crude oil emulsions" *J. Appl. Polym. Sci.* 135 (2018) 45867.
- [3] Al-Sabagh A.M., Kandile N.G., Noor El-Din M.R., "Functions of demulsifiers in the petroleum industry" *Sep. Sci. Technol.* 46 (2011) 1144–1163.
- [4] Tubuke Mwakasala B. T., Kang W., Yin X., Geng J., Zhao Y., Yang H., "Demulsifier performance at low temperature in a low permeability reservoir" *Pet. Sci. Technol.* 34 (2016) 1905.
- [5] Inamuddin B. R., Asiri A. M., *Green sustainable process for chemical and environmental engineering and science: biosurfactants for the bioremediation of polluted environments*, Elsevier, (2021) pp.107.
- [6] Nassar N.N., Hassan A., Vitale G., "Comparing kinetics and mechanism of adsorption 19 and thermo-oxidative decomposition of Athabasca asphaltenes onto TiO_2 , ZrO_2 , and CeO_2 20 nanoparticles" *Appl. Catal.* 484 (2014) 161.
- [7] Peng J., Liu Q., Xu Z., Masliyah J., "Novel magnetic demulsifier for water removal from diluted bitumen emulsion" *Energy Fuels.* 26 (2012) 2705.
- [8] S. Li, N. Li, S. Yang, F. Liu, J. Zhou, "The synthesis of a novel magnetic demulsifier and its application for the demulsification of oil-charged industrial wastewaters" *J. Mater. Chem. A.* 2 (2014) 94.
- [9] Hasanpour A., Niyaifar M., Asan M., Amighian J., 2012. "Preparation of Fe_3O_4 - ZnO core-shell nanopowders and comparison of their magnetic and optical Properties" *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 20 (4) (2012)759.
- [10] Biniaz P., Farsi M., Rahimpour M.R., "Demulsification of water in oil emulsion using ionic liquids: Statistical modeling and optimization" *Fuel.* 56 (2011) 2936.
- [11] Liu C., Shan Y., Zhu Y., Chen K., "Magnetic monolayer film of oleic acid-stabilized Fe_3O_4 particles fabricated via Langmuir-Blodgett technique" *Thin Solid Films* .518 (2009) 324.
- [12] Liuhua Y., Hao G., Gu J., Zhou S., Zhang N., Jiang W., " Fe_3O_4 -PS magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization and their application

اثر **TAE-10** و $\text{MNP-Fe}_3\text{O}_4$ بر بازدهی تعلیق زدایی چنان که بیان شد، آزمایش بطری بار دیگر برای بررسی اثر زمان تهنشینی بر کارایی تعلیق زدایی (%) در حضور نانوذرات Fe_3O_4 انجام شد. زمان تهنشینی برای مقدار بهینه TAE ها که منجر به بازدهی ۹۴ درصد گردیده است (بالاترین مقدار ممکن) بررسی شد. زمان تهنشینی برای نمونه مرجع ۳۰ و دو ساعت به دست آمد، در حالی که نمونه با **TAE-10** و $\text{MNP-Fe}_3\text{O}_4$ (اضافه شده به مرجع ۳۰) زمان تهنشینی حدود ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد داشت.

برداشت

این پژوهش نشان داد که عملکرد تعلیق زدایی با استفاده از **TAE-10** و $\text{MNP-Fe}_3\text{O}_4$ به شدت افزایش می‌یابد. به دلیل فعالیت بیشتر و آب دوستی نانوذرات نسبت به تعلیق شکن درشت مولکولی، نانوذرات از لایه‌های سطحی آب‌نفت عبور می‌کنند و سپس به فاز آب رسیده چگالی فاز آب را افزایش می‌دهند، بنابراین، لایه سطحی از بین می‌رود و آب از نامیزه W/O جدا می‌شود. براساس نتایج **TAE-10** به دلیل مناسب، نسبت به سایر تالو آمین اتوکسیله‌های مورد استفاده در این پژوهش، اثر تعلیق زدایی بهتری را نشان داد و مقدار استفاده شده ۶ ppm بود. نانوذرات مغناطیسی و **TAE-10** در دمای بالا در بهبود بازدهی تعلیق زدایی عملکرد موثرتری داشتند. یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی رونکنسرگ غیریونی خنثی بودن آن است؛ آنها یون مخالف ندارند، بنابراین باعث خوردگی نمی‌شوند. استفاده همزمان از نانوذرات مغناطیسی و **TAE-10** باعث کاهش مقدار مصرفی تعلیق شکن صنعتی و در نتیجه کاهش هزینه فرآوری نفت خام و اثر نامطلوب تعلیق شکن صنعتی بر محیط زیست می‌شود.

قدرتانی

از امکانات آزمایشگاهی ارائه شده توسط دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Atta A.M., Abdullah M.M.S., Al-Lohedan, H.A., Ezzat, A.O., "Demulsification of heavy crude oil using new nonionic cardanol surfactants" *J. Mol. Liq.* 13 (2020) 3403.

Coated Magnetite (Fe_3O_4) Nanoparticles and their Prevention of the Reduction of Cytochrome C" *ACS Appl. Mater. Interfaces* 4 (2012) 142.

[15] Al-Sabagh A., El-Kafrawy A. F., Noor El-Din M., El-Tabay A., E. Fakher, "Some Factors Affecting the Demulsification Efficiency of Modified Alkyl Benzene Sulfonic Acid in Petroleum Industry". *Indian Chem. Eng.* 58 (2016) 61.

as sorbents of oil from waste water" J. Magn. Magn. Mater 394 (2015),14-21.

[13] S. Naghibi, H. Sahebi, "Employment of modified Fe_3O_4 nanoparticles using thermo-sensitive polymer for extraction and pre-concentration of cefexime in biological samples." *Biomed. Chromatogr* 32 (2017) e4082.

[14] Mukhopadhyay A. N., Joshi K., Chattopadhyay G. D., "Facile Synthesis of PEG-