مطالعه آزمایشگاهی کاربرد موج فراصوت برای افزایش راندمان واحدهای نمک‌زدایی مناطق نفت‌خیز جنوب

طیبه قزونیان، احد قائمی*+، محمدامین ثباتی
دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده: *در این پژوهش فرایند نمک زدایی و حذف آب از نفت خام توسط فراصوت در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. اثر پارامترهای عملیاتی شامل قدرت تابش و زمان فراصوت ، دما و میزان تزریق تعلیق‌شکن بر راندمان حذف نمک و آب بررسی شده است. نتیجه ها نشان داد که با به کار بردن امواج فراصوت مقدار نمک نفت خام اهواز ۱ با تزریق ppm ۴۰ تعلیق شکن از ۴۷۱ میلی گرم بر لیتر به ۷۶/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۹/۱۹ درصد به ۱/۱ درصد کاهش یافته است که میزان نمک زدایی ۸۳/۳۸٪ و میزان آبگیری ۸۸/۰۳٪ بوده است. مقدار نمک نفت خام اهواز ۴ با تزریق ppm ۳۰ تعلیق شکن از ۳۵۳ میلی‌گرم بر لیتر به ۴۹/۲ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۱۱/۳۶ درصد به ۲ درصد کاهش یافته است که میزان نمک زدایی ۸۶/۰۶٪ و میزان آب‌گیری ۸۲/۴٪ بوده است. این نتیجه ها در بالاترین دمای آزمایش، ۸۰ درجه سلسیوس و فرکانس ۱۰ کیلو هرتز به‌دست آمد که با تقریب بسیار نزدیک به راندمان واحد، مصرف تعلیق‌شکن را به نصف کاهش داد. در شرایط عملیاتی دلخواه، نتیجه ها نشان می‌دهد که تابش فراصوت می‌تواند در نمک زدایی از نفت خام بر کاهش میزان مصرف تعلیق شکن و افزایش راندمان فرایند مؤثر باشد. همچنین یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که روش ترکیبی فراصوت و تعلیق‌شکن بهترین روش به دنبال استفاده از تعلیق‌شکن می‌باشد.*

کلمات کلیدی: *نفت خام، پرتو فراصوت، تعلیق‌شکن، تعلیق آب در نفت، نمک زدایی.*

KEYWORDS: *Crude oil, Ultrasound beam, Suspender breaker, Water emulsion in oil, Desalting*

مقدمه

نفت خام یک نوع مخلوط پیچیده است که به طور معمول آب و مقدار زیادی نمک دارد. آب در نفت خام، باعث مشکل‌های بسیاری در خطوط لوله می‌شود و هزینه‌های عملیاتی را بالا می‌برد. نمک‌ها، در نفت‌خام ممکن است تجهیزهای پایین دست را خراب و کاتالیست‌ها را مسموم کنند. هدف اصلی از نمک زدایی ، جلوگیری از آسیب‌های یاد شده و رساندن میزان نمک تا حد استاندارد برای ارسال به پایانه‌های صادراتی است[۱].

بنابراین پیش تصفیه نفت خام و جداسازی آب و نمک با شکستن تعلیق‌های نفت ـ آب ـ نمک تشکیل شده ضروری می‌باشد. در این فرایند عامل‌هایی مانند زمان رسوب‌دهی، مواد شیمیایی، آب تازه، گرما، مدت زمان اختلاط، شدت میدان الکتریکی و امواج فراصوت بر میزان جداسازی نمک تأثیر گذار می‌باشند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تابش فراصوت می‌تواند ذره های کوچک آب پراکنده در نفت را جمع‌آوری کند، و بازده فرایند آب‌گیری و

* عهده دار مکاتبات
+ E-mail: aghaemi@iust.ac.ir

نمک زدایی را افزایش و مصرف مواد شیمیایی را کاهش دهد.

امواج صوتی با فرکانس بیش‌تر از ۲۰ کیلوهرتز را امواج فراصوت یا فراصوت می‌نامند. التراسونیک یا فراصوت، به امواج صوتی گفته می‌شود که دارای بسامدی بیش‌تر از بازه بسامدی شنوایی انسان هستند[۲]. استفاده از آن به عنوان یک روش نوین بـا کم تری میزان آلودگی‌های زیست محیطی و هزینه‌های عملیاتی پایین امروزه به عنوان یک روش نوین مطرح است. پژوهش‌های انجام شـده در این راستا نشانگر برتری‌های فراوان این روش نسبت بـه روش‌های معمول می‌باشد. این برتری‌ها شامل نیاز نداشتن بـه توقف تولید در زمان عملیات، آسیب نرسیدن بـه مخزن، مصرف انرژی و نیروی انسانی اندک و درنتیجه کاهش هزینه‌ها، بالا بودن ضریب ایمنی، نبود آلودگی زیست محیطی، و غیره. از این رو تلاش شده تا با تشریح کاربردهای موج‌های فراصوت در صنعت نفت ضرورت استفاده از این فناوری مورد توجه قرار گیرد[۳]. لرزش نفت خام توسط موج‌های لرزشی ناشی از تابش موج فراصوت سبب ارتعاش مولکول‌های سازنده می شود[۴].

بیش‌تر پژوهشگران و دانشمندان در زمینه جداسازی با موج فراصوت بر روی جداسازی ذره‌های جامد کار کرده‌اند ولی جداسازی قطره‌های مایع نامحلول درون توده مایع دیگر با استفاده از موج فراصوت در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بیش‌تر از دو دهه است که برای جداسازی فازها از امواج فراصوت استفاده می‌شود. البته در بیش‌تر عملیات‌ها از فراصوت به تنهایی برای جداسازی استفاده نمی‌شود، بلکه از این فناوری به طور سری با سایر روش‌ها برای بالا بردن راندمان و ظرفیت جداسازی استفاده می‌شود[۵].

گروهی از پژوهشگران در سال ۲۰۱۸ میلادی بر روی رفتار مواد فعال سطحی افزوده شده متمرکز شدند تا تعیین شود که آیا می‌توان با استفاده از فراصوت، میزان مصرف مواد فعال سطحی را کاهش داد. با این حال، رفتار فازی به تنهایی نمی‌تواند به این سوال پاسخ دهد. در این مطالعه، نقش غلظت بحرانی مایسل‌ها در فراصوت به کمک سیلاب‌زنی فعال سطحی و تأثیر غلظت فعال سطحی بر بازده نفت در طی فراصوت با شدت‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. یک مدل غیر قابل انعطاف ماسه‌ای را درون حمام فراصوت قرار دادند و برای این منظور از تابش پرتو فراصوت استفاده کردند. سیلاب‌زنی آب و مواد فعال سطحی با کمک فراصوت بازیافت را تا ۱۱٪ و ۱۲٪ بهبود بخشید. تشکیل میکرو تعلیق در طول سیلاب‌زنی مواد فعال سطحی در حضور موج فراصوت مهم‌ترین مکانیسم مسئول افزایش بازده بود. لرزش فراصوت در غلظت بالاتر از مواد فعال سطحی، بیش‌تر از مایسل‌ها و در شدت بالاتر از سونوگرافی کارآیی بیش‌تری داشت. ارتعاش‌های فراصوت در غلظت بالاتر مواد فعال سطحی، بالاتر از مایسل‌ها و با شدت بالای فراصوت مؤثرتر بود[۶].

بررسی‌ها نشان داد که استفاده از پرتو فراصوت را به عنوان روش نوین و مقرون به صرفه برای کمک به تخریب تعلیق نفت خام پیشنهاد کردند. همچنین اثر فراصوت را با روش‌های دیگر مقایسه کردند. نتیجه‌ها نشان داد که سانتریفیوژ به عنوان بهترین روش تعلیق شکنی می‌باشد و باعث کاهش کدورت تا ۸۶ درصد می شود. افزون بر این، کاهش کدورتی که با روش فراصوت پیشنهادی به دست می‌آید، بین ۲۰ تا ۶۰ درصد است. انتخاب تعلیق شکن با توجه به مشخصات نفت میدان تعیین می‌شود و همیشه یک تجربه یگانه است و می‌تواند بین مطالعه‌های موردی متفاوت باشد. میزان و زمان افزودن تعلیق شکن هم بسیار مهم می‌باشد. در این روش بررسی شد که در چه زمانی و با چه شدتی پرتو فراصوت باید تابیده شود تا میزان کاهش تعلیق شکن بیشینه شود. آن‌ها زمان بهینه برای فراصوت را ۱۰ دقیقه تعیین کردند و بیش‌ترین کاهش کدورت در بیش‌ترین دامنه ۱۰۰٪ می باشد[۷].

از روش‌های معمول نمک گیری از نفت خام استفاده از روش‌های الکتریکی است. طبق آزمایش‌های انجام شده ترکیب موج فراصوت و روش الکتریکی در نمک‌گیری و آب‌گیری از نفت خام بسیار مؤثر است. آزمایش‌های انجام شده نشان داده که برای نفت خام بـا غلظت بالای نمک پس از دو مرحله پالایش توسط فرایند نمک‌گیری الکتریکی غلظت نمک همچنان بالا بوده است. ولی استفاده از فناوری نوین شامل استفاده ترکیبی از موج فراصوت و روش الکتریکی در نفت با غلظت بالای نمک در شرایط بهینه، میزان نمک همراه در نفت خام را از۶۸ میلی‌گرم بر لیتر به ۴ میلی‌گرم بر لیتر پس از یک مرحله از عملیات رسانده است و میزان آب همراه نیز به کم‌تر از ۰/۳ درصد حجمی کاهش یافته اسـت[۸].

نتیجه‌ها نشان می‌دهد که استفاده از موج فراصوت در نمک گیری و آب‌گیری از نفت خام با غلظت‌های بالای نمک بسیار مؤثرتـر از فرایند الکتریکی است و این فناوری در فرایندهای پالایش نفت خام بسیار پرکاربرد خواهد بود. طبق آزمایش انجام شده در سال ۲۰۱۲ میلادی، موج فراصوت در حالت بهینه با فرکانس ۱۰ کیلوهرتز و در زمان ۵ دقیقه از تابش موج، نرخ نمک‌گیری ۹۸/۷ درصد از نفت خام را داشته است[۹].

چک و *مولا* در سال ۲۰۱۳ میلادی فرایند نمک زدایی و حذف آب از نفت خام توسط رادیوتراپی فراصوت در راکتور رزوناتور را در مقیاس نوین از لحاظ نظری و تجربی مورد بررسی قرار دادند. اثر پارامترهای اصلی از جمله پارامترهای تابش فراصوت، یعنی قدرت ورودی تابش و زمان تابش، و نیز پارامترهای عملیاتی مانند دما و آب

تزریقی را بر راندمان حذف نمک و آب بررسی کردند. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان داد که پیدا کردن مقدارهای بهینه این پارامترها برای جلوگیری از کاهش چشمگیر در عملکرد حذف آب و به ویژه نمک مهم می‌باشد. بنابراین، نفت خام در معرض پرتو فراصوت دلخواه قدرت ورودی ۵۷/۷ وات و زمان تابش ۶/۲ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس بود. آب تزریق شده برای حل کردن نمک نفت خام ۷ درصد حجمی بود. همچنین مدت زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه و میزان تعلیق‌شکن ppm ۲ بود. در این شرایط بهینه، راندمان دفع نمک و دفع آب، به ترتیب ۸۴ و ۹۹/۸ درصد بود که مناسب برای پالایشگاه‌ها است. همچنین بر اساس داده‌های آزمایشی بهینه، دو برآوردگر استنباطی برای به دست آوردن رابطه‌های بین بهره وری حذف نمک و آب و چگالی انرژی ورودی ارایه شده است. این روابط تجربی می‌تواند تخمینی مناسب برای عملکرد دفع نمک و آب با انرژی ورودی پرتو را ارایه دهد. در زمان تابش ثابت، افزایش قدرت ورودی باعث کاهش میزان آب تعلیق می شود. این اثر مثبت افزایش قدرت ورودی به بیش‌ترین قدرت بحرانی ادامه می دهد که برابر با آستانه کاویتاسیون است. بنابراین، پس از این آستانه، محتوای آب تعلیق با افزایش قدرت ورودی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش زمان تابش نیز دارای یک اثر همانند بر روی هر قدرت ورودی ثابت است. از این رو، با افزایش زمان تابش، کاهش میزان آب تنها پیش از بیشینه زمان تابش بحرانی دیده می‌شود. این بیشینه مقدارهای بحرانی، مقدارهای بهینه برای هر دو قدرت ورودی تابش و زمان تابش است که هر یک از آن‌ها باید برای هر دو فرایند نمک زدایی و آب‌گیری هم‌زمان به‌دست آید[۱۰].

نتیجه آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد کـه تابش امواج فراصوت در فرکانس‌های پایین به منظور تعلیق زدایی از نفت دارای بازده بالا بوده است ولی برای فرکانس‌های بالای امواج فراصوت، تعلیق زدایی به دلیل نبود پایداری به وجود آمده در تعلیق آب و نفت انجام نمی‌گیرد[۱۱]. در یک پژوهش دیگر *رانگ* و *همکاران* در سال ۲۰۱۱ میلادی نفت‌های با محتوای نمک بیش‌تر را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها شدت صوت، فرکانس موج و مدت زمان تابش موج را به عنوان پارامترهای اصلی عملیاتی در جداسازی تعلیق آب از نفت در نظر گرفتند[۱۲].

یی و *همکاران* در سال ۲۰۱۷ میلادی نشان دادند که با استفاده از روش ترکیبی فراصوت و تعلیق‌شکن با افزایش قدرت فراصوت، بازده افزایش می‌یابد. فراصوت با قدرت بالاتر می‌تواند باعث ارتعاش‌های مکانیکی شدیدتر شود، به طوری که می‌توان به طور معنی‌داری اثر آب‌زدایی با فراصوت را دید و همچنن نیازی به صرف زمان بیش‌تری برای آب‌زدایی نفت خام با استفاده از روش ترکیبی از فراصوت و تعلیق‌شکن شیمیایی نیست[۱۳]. نتیجه ها نشان می‌دهد که جداسازی با پرتو فراصوت افزایش یافته است. همچنین با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، جداسازی قطره‌های آب از نفت تحت تأثیر موج فراصوت ایستا در نقطه‌های خاصی از موج جمع آوری می‌شوند که این امر سبب درشت‌تر شدن قطره های و افزایش سرعت ته نشینی می‌شود. نتیجه‌ها نشان می‌دهد زمانی که قطره‌ها کوچک هستند میزان به هم پیوستن قطره‌ها در فرکانس بالاتر فراصوت، به طور چشمگیری کم‌تر از همبستگی آن‌ها در فرکانس کم‌تر می‌باشد. مقدارهای بزرگ‌تر قدرت و زمان تابش فراصوت همیشه بهتر نیست، زیرا آن‌ها باید در بازه دلخواه کنترل شوند.

در سال ۲۰۱۵ میلادی استفاده از این امواج در میدان‌های نفتی روسیه و آمریکا نشانگر افزایش چشمگیر در میزان بازده تولیدی از میادین بوده است. آزمون‌های میدانی انجام شده در روسیه نشان داد که میانگین افزایش دبی نفت تولیدی پس از تحریک چاه به روش امواج فراصوت بیش از دو برابر بوده است. افزایش ضریب بهره‌دهی چاه به صورت میانگین ۳۳درصد و کاهش میزان آب تولیدی از چاه‌ها در حدود ۴ درصد بوده است. استفاده از امواج فراصوت در آمریکا برای نفت سنگین با قدرت تولید پایین باعث افزایش چشمگیر شدت جریان تولیدی از چاه‌ها شده و تولید تجمعی نفت مربوط به چاه‌ها از ۲۹۰ بشکه به ۳۴۷۶ بشکه نفت در مدت شش ماه افزایش یافته است[۱۴].

در این پژوهش از امواج فراصوت به عنوان فناوری نوین در فرایند نمک زدایی جهت کاهش مصرف مواد شیمیایی و افزایش راندمان مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها تصفیه نفت خام با تعلیق‌شکن و روش ترکیب فراصوت و تعلیق‌شکن در دماهای گوناگون مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین، دمای بهینه با ارزیابی دماهای گوناگون، به‌دست آمد و سپس به تابش پرتو فراصوت برای نمک زدایی و آب‌گیری از نفت خام پرداخته شد. افزون بر این، اثر دیگر پارامترهای اصلی از جمله پارامترهای قدرت ورودی تابش و زمان تابش فراصوت، بر راندمان حذف نمک و آب بررسی شد.

هدف از این پژوهش بررسی استفاده از فراصوت به عنوان روش نوین و مقرون به صرفه برای کمک به تعلیق‌شکنی تعلیق نفت خام و ارایه پایه‌ای برای کاربرد روش ترکیبی و کاهش مصرف مواد شیمیایی در مقیاس آزمایشگاهی و شرایط نزدیک به شرایط عملیاتی می‌باشد. تابش فراصوت می‌تواند باعث کاهش مصرف ماده تعلیق شکن شیمیایی شود که در پی آن آلودگی محیط زیست ناشی از پساب واحدهای نمک زدایی را کاهش دهد.

نمک زدایی و آب زدایی از نفت خام

بیش از سی درصد نفت خام تولید شده در سطح جهان با مقدار معینی آب به شکل تعلیق به سطح می‌رسد. یک مسئله رایج و پراهمیت در صنعت نفت، جدایی آب و نمک از نفت می‌باشد. آب نمک موجود در نفت خام بر اساس قطر قطره‌های پراکنده در آن به سه دسته آب آزاد، آب تعلیق شده و آب حل شده تقسیم می‌شود. قطره های درشت آب که به صورت آزاد در نفت پراکنده‌اند، در مدت زمانی کم‌تر از پنج دقیقه در ته ظرف ته‌نشین می‌شوند. بخشی از آب نیز به صورت قطره های ریز تعلیق در نفت معلق می‌ماند و هیچ‌گاه خودبه‌خود ته‌نشین نمی‌شود. هر چه قطره های ریزتر باشند جدا کردن آن‌ها از نفت خام مشکل‌تر است. تعلیق پراکندگی یک مایع به عنوان قطره در یک مایع غیر قابل امتزاج تعریف می شود. تعلیق آب درون نفت که به دلیل تولید نفت خام تولید می‌شود، شایع ترین تعلیق نفت بوده که در صنعت مورد بحث قرار گرفته است. دومین و شایع‌ترین نوع تعلیق، روغن در آب است که گاهی به عنوان تعلیق وارون نامیده می‌شود. تعلیق‌ها همچنین می‌توانند به صورت پیچیده‌تر مانند آب ـ روغن ـ آب باشند، که در آن قطره های خود را یک مایع غیر قابل امتزاج سه گانه حبس می‌کنند. آب، سایر مایعات غیر نفتی و جامدات از مخلوط نفت خام باید جدا شود. شکستن تعلیق‌ها به طورمعمول با کاهش نیروهای پایدارکننده قطره های و ایجاد تماس نزدیک بین آن‌ها انجام می‌شود. بنابراین شناخت اصول فیزیکی شکستن تعلیق‌ها به دانستن فاکتورهای تعیین کننده پایداری تعلیق‌ها در مقابل به هم پیوستن و انعقاد بستگی دارد[۱۳]. زمانی که دو قطره آب به هم‌دیگر نزدیک می‌شوند فیلم بین آن‌ها نازک شده و پارگی و گسیختگی ایجاد شده در این فیلم، باعث انعقاد دو قطره می‌شود. نیروی گرانشی اعمال شده به قطره های بزرگ‌تر، باعث جداسازی می شود. تعلیق‌های پایدار با وجود مواد فعال سطحی تشکیل می‌شوند، بنابراین با حذف این مواد و با خنثی کردن اثر آنها می‌توان تعلیق را ناپایدار ساخت[۱۵].

استفاده از تعلیق‌شکن، متداولترین روش برای شکست تعلیق‌های آب در نفت می‌باشد. در این روش افزودن مواد فعال سطحی، باعث تسریع و افـزایش راندمان فرایند می شود. مزایای این روش، سادگی انجام آن و کاهش زمان اقامت لازم برای جداسازی می‌باشد و در برابر عیب این روش افزودن یک جزء دیگر به سامانه می‌باشد، زیرا جداسازی آن به تجهیزهای ویژه جداسازی نیاز دارد. از عیب های دیگر این روش می‌توان به قیمت بالای ماده تعلیق شکن اشاره نمود. بنابراین باید به دنبال راه‌های کاهش مصرف این ماده یا روش‌های دیگر بود. تاکنون از روش‌های بسیاری جهت شکست تعلیق‌ها استفاده شده ولی متداول‌ترین آن‌ها استفاده از تعلیق شکن‌های شیمیایی و میدان الکتریکی می‌باشد. ولی استفاده از امواج فراصوت نیز مورد بررسی قرار گرفته است. البته پژوهش‌های انجام شده در مرحله آزمایشگاهی بوده و هنوز به بهره‌برداری صنعتی نرسیده است. نتیجه‌های پژوهش‌ها نشان می‌دهد پارامترهای (فرکانس، قدرت و زمان تابش) بر جداسازی آب و نمک از نفت مؤثر می‌باشد و پاسخ تابش پرتو فراصوت بر فاز آب پراکنده برای رانش، تلفیق و جداسازی مثبت می‌باشد. اگر فراصوت بسیار قوی برای تعلیق آب در نفت، در فرکانس‌های پایین (کم‌تر از۳۰ کیلوهرتز) استفاده شود، می‌تواند تعلیق را به فازهای آب و نفت تقسیم کند. تعلیق آب و نفت که در یک میدان صوتی یک بعدی قرار داده می‌شود می‌تواند قطره های آب را به باندهای موازی امواج صوتی فشار بالا برساند و سرانجام می‌تواند آنها را در گره‌های فشار قرار دهد، زیرا چگالی آب بزرگ‌تر از نفت خام است و باعث جداسازی شود.

تابش فراصوت یک روش کم هزینه مقرون به صرفه، ساده و ایمن برای جداسازی قطره های آب از نفت خام می‌باشد. نیروی فراصوت وارد بر تعلیق به دلیل تفاوت سرعت صوت درون دو سیال و اختلاف دانسیته دو فاز باعث جداسازی قطره‌ها از سیال همراه می شود. امواج فراصوت پیوند الکتریکی دوگانه آب و نفت را می‌شکنند در نتیجه قطره‌های آب می‌توانند آزادانه ته‌نشین شوند که این امر به جداسازی بهتر آب و نفت کمک می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است که قطره‌های آب در میدان موج فراصوت ایستا در نقطه‌های خاصی از موج جمع‌آوری می‌شوند که این امر سبب درشت‌تر شدن قطره‌ها و افزایش سرعت ته‌نشینی می شود. افزایش ته نشینی قطره های نتیجه افزایش اندازه قطره، افزایش اختلاف تراکم بین فازها و کاهش ویسکوزیته فاز پیوسته است. تفاوت دانسیته و گرانروی فازها می‌تواند توسط رقیق کننده و دما کنترل شوند، در حالی که اندازه قطره را می‌توان با استفاده از میدان موج ایستاده فراصوت کنترل کرد. بنابراین، میدان موج ایستاده فراصوت است که به طور عمده راندمان حذف نمک/آب را کنترل می‌کند. تراکم انرژی فراورده اثر قدرت ورودی و زمان تابش در واحد حجم میدان آکوستیک است. انتظار می‌رود که افزایش تراکم انرژی میزان به هم پیوستن را افزایش دهد، در عمل کاربرد تراکم انرژی بالا به تعلیق احتمال وقوع کاویتاسیون را افزایش می‌دهد[۱۶].

قدرت میدان فراصوت به شدت کاویتاسیون و تنش ناشی از انفجار حبابچه‌ها و در نتیجه میزان اندازه ذره‌ها تأثیر می گذارد. به طور کلی با افزایش شدت صوت بیش از یک حد بحرانی از راندمان جداسازی کاسته می شود[۱۷]. بنابراین برای نمک زدایی و آب‌زدایی بهینه باید میزان بهینه شدت و زمان تابش فراصوت را برای هر نمونه نفتی یافت.

جدول (۱) مشخصات نمونه‌های نفتی مورد استفاده

مشخصات	نفت اهواز ۱	نفت اهواز ۴
API	۳۲/۸	۳۲/۵
گرانروی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس (سانتی استوک)	۵/۸۴	۸/۵
شدت جریان نفت ورودی به واحد (بشکه در روز)	۸۷۰۰۰	۸۸۰۰۰
میزان نمک همراه (میلی گرم در لیتر)	۳۴۷۰	۱۵۵۰۰
میزان نمک همراه پس از Coalescer (میلی گرم در لیتر)	۴۷۰	۳۵۰
میزان آب همراه (بشکه در روز)	۹/۱۹ درصدحجمی	۱۱/۳۶ درصدحجمی
عدد اسیدی (میلی‌گرم KOH بر گرم نفت)	۰/۱۲	۰/۰۹

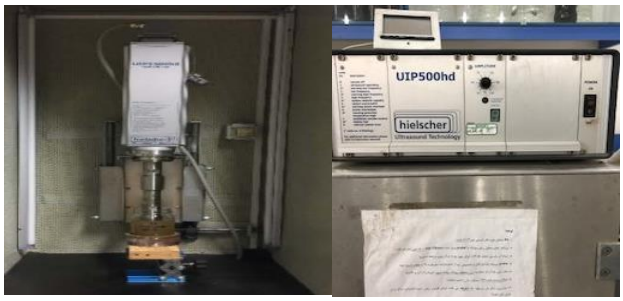
مواد

در این پژوهش از دو نوع نفت خام و تعلیق‌شکن مربوط به همان نمونه نفتی برای انجام آزمایش‌های تجربی استفاده شد. این دو نوع نفت خام از نظر مشخصه‌ها و ویژگی‌ها به طورکامل متفاوت می‌باشند. در جدول (۱) مشخصات نفتی نمونه‌ها ارایه شده است.

تجهیزات

در این پژوهش از مخلوط کن، حمام آبی و دستگاه UIP500hd Hielscher و Branson 5200 و دماسنج جهت کنترل دما، دستگاه سنجش نمک با استاندارد IP77 برای اندازه‌گیری نمک و سانتریفوژ استفاده شد. محفظه‌ی فراصوت استفاده شده در دستگاه UIP500hd Hielscher به صورت یک ظرف فلزی بود که حسگر موج فراصوت در بالای نمونه قرار گرفته و به صورت ناپیوسته کار می‌کرد و دستگاه Branson 5200 به صورت حمام فراصوت استفاده شد. تابش فراصوت سبب افزایش دما می‌شود به همین علت برای کنترل دما، نمونه نفتی دریک حمام آبی مجهز به کنترل کننده دما و همچنین به منظور کاهش اتلاف گرما، سامانه را عایق‌بندی شد. همان گونه که پیش تر گفته شد برای فرایند نمک زدایی نفت خام حتما باید از موج فراصوت ایستا استفاده شود زیرا موج ایستا شامل نقطه‌های گره می‌باشد و قطره های آب تعلیق در نقطه‌های گره تجمع کرده و درشت‌تر می‌شوند و جداسازی و ته نشینی صورت می‌گیرد. ته ظرف نمونه به عنوان منعکس کننده در نظر گرفته می‌شود. انعکاس امواج فراصوت ایجاد شده باعث ایجاد امواج ایستا و نقطه‌های گره می‌شود. در زمینه جداسازی آب از نفت از فرکانس‌های ۱۰-۲ کیلو هرتز و توان‌های الکتریکی ۵۰ تا۱۰۰ وات استفاده می شود که در این جا با فرکانس‌های ۱۰ و ۲۰ کیلو هرتز با توان ۲۵ تا ۱۰۰ وات کار شده است

شکل۱- دستگاه Branson 5200



شکل۲- دستگاه UIP500hd hielscher

تا بتوان اثر شدت میدان فراصوت ایجاد شده را بر روی فرایند نمک‌زدایی و آب‌زدایی از نفت خام را بررسی کرد. نمایی از دستگاه‌های استفاده شده در این پژوهش، در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

روش اندازه‌گیری میزان نمک و شرح آزمایش

برای انجام آزمایش‌ها ۵٪ آب شستشو تزریق کرده و با همزن الکتریکی بمدت ۵ دقیقه مخلوط شد. تعلیق‌شکن نوع DAS9200 برای نمونه نفت اهواز ۱ و FD6142 برای نمونه نفت اهواز ۴ ، به نفت خام با میزان لازم افزوده شد و با سرعت بالا مخلوط شد. تزریق مواد تعلیق شکن به میزان ۴۰ ppm حجم نفت خام و برای نفت اهواز ۱ و به میزان ۳۰ ppm حجم نفت خام برای اهواز ۴ (میزان مصرف در واحد نمک زدایی مربوطه: تزریق مواد تعلیق شکن به میزان ۸۰ ppm حجم نفت خام برای نفت اهواز ۱ و به میزان ۶۰ ppm نفت خام برای اهواز ۴) به آن‌ها تزریق شد. در ادامه نمونه تا دمای مورد نظر گرم شد و نمونه در دستگاه مورد نظر تحت تابش فراصوت قرار گرفت. در پایان میزان نمک و حجم آب گرفته شده اندازه‌گیری شد. مقدار نفت خام در آزمایش‌ها با روش IP 77-72 تعیین شد. در این روش مواد شیمیائی مورد نیاز شامل تولوئن، الکل، استن، زاج آهن، ایزو آمیل الکل، نیتریک اسید ۳۰ درصد، نقره نیترات ، محلول تیوسیانات پتاسیم می‌باشند. در انجام آزمایش‌ها تجهیزهای مورد استفاده شامل دستگاه جداکننده

نمک از نفت، دو عدد بورت، استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتر، کاغذ صافی، دستگاه سانتریفوژ، بشر، پیپت، حمام آب و دماسنج می‌باشند. اندازه‌گیری مقدار سدیم کلرید موجود در نفت خام می‌باشد که در این روش نفت خام با آب مقطر و حلال‌های مناسب (مانند تولوئن) جوشانده می شود تا نمک جذب آب شود و مقدار نمک را بر حسب سدیم کلرید محاسبه و گزارش می‌کنند.

۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه درون یک ظرف شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و تا دمای ۶۰ درجه سلسیوس گرم شد. ۴۰ میلی‌لیتر تولوئن به همان دما رسانده شد و به آرامی همراه با به هم زدن روی نمونه ریخته شد سپس این محلول در ظرف تقطیر وارد کرده و ظرف جای نمونه دو مرتبه با ۱۵ میلی لیتر تولوئن گرم شده در شرایط گفته شده شسته و درون ظرف تقطیر ریخته می‌شود. روی نمونه درون ظرف تقطیر پیش از سرد شدن مقدار ۲۵ میلی‌لیتر الکل و ۱۵ میلی‌لیتر استن گرم ریخته و مخلوط به مدت ۲ دقیقه جوشانده شد. سپس اجازه داده شد تا مخلوط سرد و جدا شود آن‌گاه قشر آب زیرین درون ظرف شیشه‌ای ریخته شد و اگر لازم بود از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ عبور داده شد. ۱۰۰ میلی لیتر از محلول صاف شده در ظرف شیشه‌ای ریخته و پس از افزوده شدن ۵ میلی‌لیتر نیتریک اسید ، درب ظرف بسته شد و جوشانده شد و روی بخار تولید شده برای از بین بردن H_2S به وسیله کاغذ آغشته به سرب استات آزمایش به عمل آمد. این‌کار تا پایان وجود H_2S در بخار به دست آمده ادامه داده می‌شود. اکنون میزانات ظروف شیشه سرد و با آب مقطر به درون ظرف دربدار ریخته و ۱۰۰ میلی لیتر آمیل الکل و ۳ میلی لیتر معرف فریک آلوم به آن اقزوده شد. زیر بورت برده و چند ثانیه به شدت تکان داده شد تا رسوب جمع شود. برای از بین بردن زیادی نقره نیترات باید تا ایجاد رنگ قرمز آجری محلول به دست آمده با تیوسیانات پتاسیم N/20 به آرامی تیتر شد و سپس درب بسته شده و به شدت تکان داد و عمل تیتراسیون ادامه یافت تا رنگ قرمز آجری ثابت بماند. این آزمایش برای دقت بیش‌تر روی ۱۰۰ میلی لیتر از یک نمونه بدون نمک (آب مقطر ـ تولوئن) به عنوان شاهد انجام گرفت. میزان نمک موجود در نفت را برحسب گرم در مترمکعب با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$NaCl(gr/m^3) = 46.75(V_{AgNo3} - V_{KSCN})$$

همین روش برای نمونه شاهد انجام شد و نتیجه از نتیجه اصلی کسر شد. این روش با استناد به روش IP-77 تهیه و تنظیم شده است. برای اندازه گیری آب در نفت خام از یک دستگاه سانتریفیوژ، تیوب شیشه‌ای مخروطی، حمام آب گرم، تولوئن، بنزن و تعلیق‌شکن استفاده شد. روش کار بدن صورت می‌باشد که دو تیوپ ۱۰۰ میلی‌لیتر انتخاب شد و در هر یک ۵۰ میلی‌لیتر حلال تولوئن ریخته شده و بی درنگ روی هرکدام میلی‌لیتر نمونه افزوده شد و درب آن‌ها با چوب پنبه محکم شده و لازم است به شدت داده شود تا خوب مخلوط شود. سپس در حمام آب گرم (۱۲۰درجه فارنهایت) به‌مدت ده دقیقه به‌طور کامل قرار دادهشد. چند قطره تعلیق‌شکن هم افزوده شد. سپس از حمام به صورت وارونه درآورده و به شدت تکان داده شد تا نفت و حلال به طور کامل مخلوط شوند. سپس لوله‌ها در محفظه سانتریفوژ به مدت ده دقیقه با سرعت ۱۶۸۰ دور در دقیقه چرخانده شد. سپس لوله ها بیرون آورده و حجم آب خوانده شد. آنگاه بدون آن‌که تیوب‌ها تکان داده شود دوباره به‌مدت ده دقیقه در دستگاه سانتریفوژ قرار داده شد و دوباره حجم آب مشخص شد. این عمل تا آن‌جا ادامه می‌یابد که نتیجه دو چرخش یکی شود.

نتیجه‌ها و بحث

در این پژوهش دو نمونه نفت گوناگون از واحد نمک‌زدایی نفت خام اهواز ۱ و اهواز ۴ بررسی شد. همان‌گونه که دیده خواهد شد اثر پارامترهای میزان تعلیق شکن، دما، زمان ماند نفت درون محفظه فراصوت، فرکانس امواج، شدت میدان منتشر شده در محیط نفت خام بر روی دو نمونه نفتی مورد بررسی قرار گرفت. اثر زمان ماند نفت درون محفظه فراصوت و شدت فراصوت برای نفت اهواز ۴ مورد بررسی قرار گرفت. در مورد زمان ماند نفت درون محفظه فراصوت تا ۲۰ زمان دقیقه آزمایش شدند. در زمان‌های ماند طولانی، جداسازی آب و نمک سیر کاهشی داشت. به نظر می‌رسد که دلیل این پدیده، شکست قطره‌های درشت‌تر و تبدیل آن‌ها به قطره‌های ریزتر به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در میدان فراصوت با شدت زیاد می‌باشد. این پدیده نشان می‌دهد که زمان قرار گرفتن نفت خام در معرض موج فراصوت یک مقدار بهینه دارد که برای هر نوع نفت خام با توجه به نتیجه‌های آزمایش‌ها تعیین می شود.

با توجه به فرایند نمک‌زدایی ، آزمایش‌ها با افزودن تعلیق‌شکن و تزریق آب (۵٪ در مقابل نفت خام که این میزان از تزریق معادل تزریق واحد عملیاتی می‌باشد) آغاز شد، سپس نمونه آماده شده تا دمای مورد نیاز گرم شد و به شدت مخلوط شدند و سپس تحت تابش امواج فراصوت قرار گرفت و سرانجام آب زدایی و نمک زدایی انجام شد و سرانجام میزان آب و نمک همراه

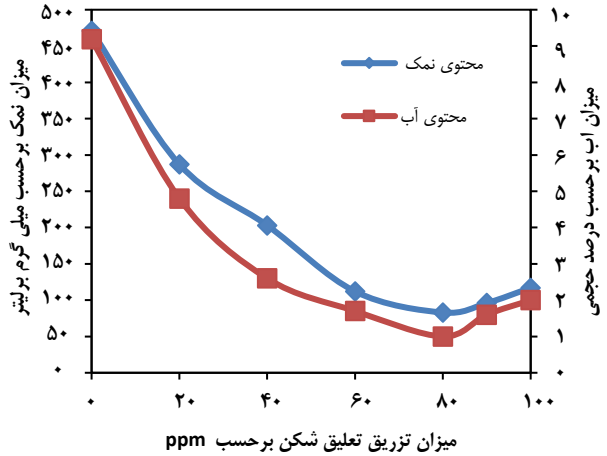
شکل۴- نمونه‌های نفت خام

اندازه‌گیری شد. در این قسمت، نتیجه آزمایش‌های انجام شده با موج فراصوت ارایه شده‌اند. برای بررسی عملکرد این موج نیز دو نمونه نفت گوناگون از واحد اهواز ۱ و اهواز ۴ مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش‌های تجربی اثر پارامترهای زمان ماند نفت درون محفظه فراصوت، شدت میدان منتشر شده در محیط نفت خام و دما و میزان تزریق تعلیق شکن، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در شکل ۴ نمایی از نمونه‌هایی که بررسی شدند آمده است.

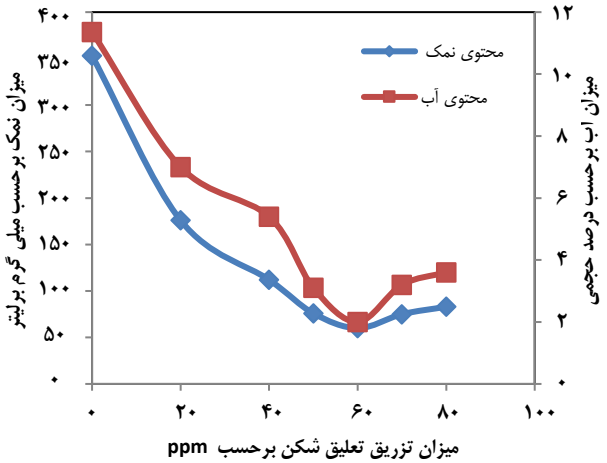
تأثیر میزان تعلیق شکن

تعلیق‌ها می‌توانند با استفاده از افزودن ناپایدارکننده‌های شیمیایی، شکسته شوند. این مواد فعال سطحی، در فصل مشترک آب ـ نفت جذب شده و باعث از هم گسیختگی فیلم اطراف قطره های شده و عامل‌های پایدارکننده تعلیق را به درون فاز نفت انتقال می‌دهند. شکسته شدن فیلم به قطره های اجازه می‌دهد کـه توسط نیروهای طبیعی جاذبه مولکولی، با یکدیگر برخورد کنند. با افزودن تعلیق‌شکن، راندمان خروج آب و نمک افزایش یافته و به یک مقدار بهینه می‌رسد و سپس با افزایش مقدار ماده شیمیایی افزوده شده، کاهش می‌یابد[۱۹]. تعلیق شکن سطح فعال بیش‌تری نسبت به پایدارکننده‌های طبیعی تعلیق موجود در نفت دارد. بنابراین تعلیق‌شکن در غلظت‌های به نسبت پایین، به طور مؤثرتری جایگزین پایدارکننده‌های طبیعی مانند رزین و آسفالتین می شود. مقاومت فیلم تشکیل شده توسط تعلیق‌شکن و پایدارکننده طبیعی نفت خام کم‌تر از حالتی است که این فیلم تنها توسط پایدارکننده‌های طبیعی تشکیل شود. بنابراین به هم پیوستگی قطره های آب نمک در زمان تماس افزایش می‌یابد. زمانی که غلظت تعلیق‌شکن خیلی بالا باشد، به دلیل کاهش کشش سطحی قطره های آب، مقاومت فـیلم تشکیل شده توسط تعلیق‌شکن افزایش یافته و باعث کاهش راندمان نمک‌زدایی می‌شود[۲۰].

تعلیق شکن نوع DAS9200 برای نمونه نفت اهواز ۱ و FD6142 برای نمونه نفت اهواز ۴، استفاده شد. تأثیر تزریق تعلیق شکن



شکل۵- تأثیر تزریق تعلیق شکن بر نمک‌زدایی و آب‌زدایی از نمونه نفت اهواز ۱

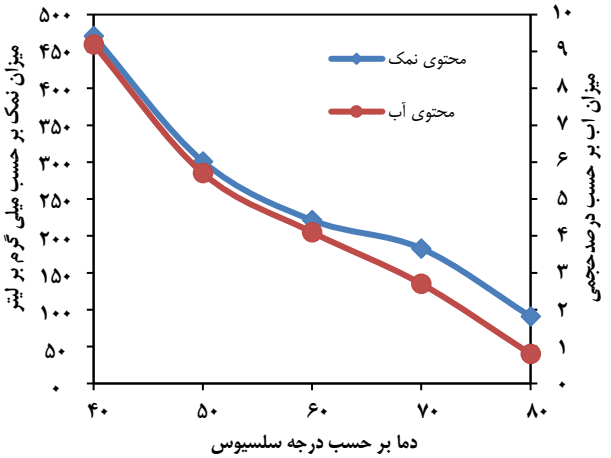


شکل۶-تأثیر تزریق تعلیق شکن بر نمک‌زدایی و آب‌زدایی از نمونه نفت اهواز ۴

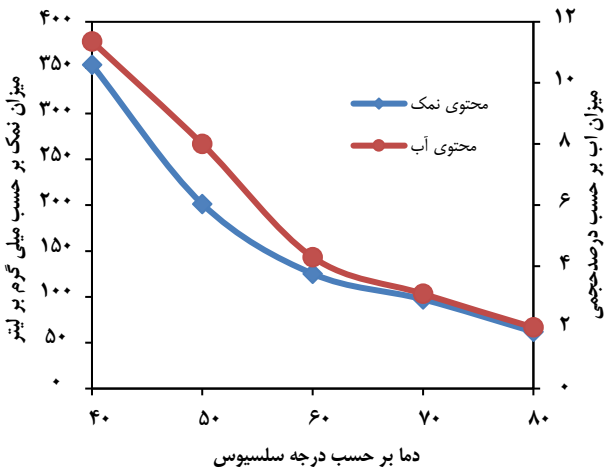
میزان نمک و میزان آب دو نمونه نفتی اهواز ۱ و اهواز ۴ در شکل‌های زیر آمده است. باتوجه به شکل‌های ۵ و ۶ دیده می‌شود که تزریق تعلیق شکن برای هر نمونه نفتی یک مقدار بهینه دارد و این مقدار بهینه نیز با توجه به هر نمونه نفتی و شرایط فصلی نیز متفاوت می‌باشد. برای نمونه نفت اهواز ۱ میزان بهینه به تقریب ۸۰ ppm می‌باشد و برای نمونه نفت اهواز ۴ میزان بهینه به تقریب ۶۰ ppm می‌باشد.

تأثیر دما

همان‌گونه که مشخص است دما عامل مهمی در جداسازی می‌باشد. نتیجه‌های به دست آمده از نمک‌زدایی و آب‌گیری از نفت اهواز ۱و اهواز ۴ تحت تابش فراصوت با شرایط گفته شده در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

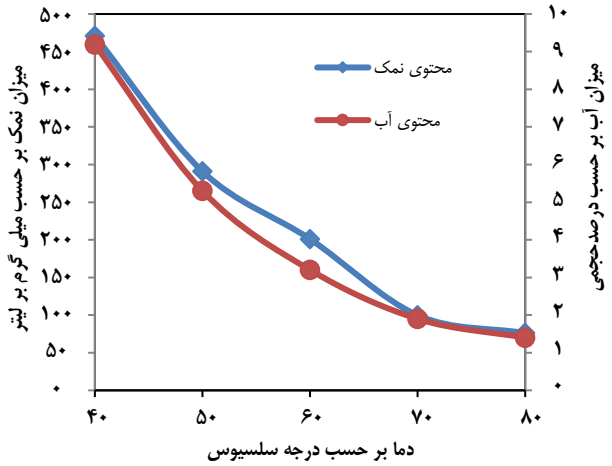


شکل ۷- میزان نمک نمونه نفت اهواز ۱ در دماهای گوناگون تزریق ۵٪ آب شست و شو و ppm ۴۰ تعلیق شکن تابش فراصوت kHz ۲۰ با قدرت W۷۵ و زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه

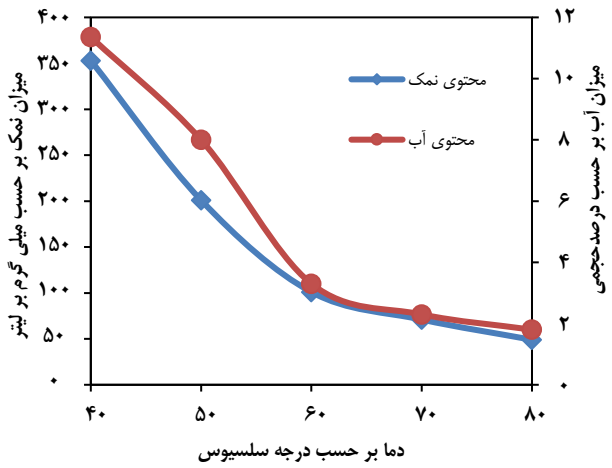


شکل ۸)- میزان نمک نمونه نفت اهواز ۴ در دماهای گوناگون تزریق ۵٪ آب شست و شو و ppm ۳۰ تعلیق شکن تابش فراصوت kHz ۲۰ با قدرت W۷۵ و زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه

نتیجه‌ها نشان داد که مقدار نمک نفت خام اهواز ۱ از ۴۷۱ میلی گرم بر لیتر به ۸۴/۲ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۹/۱۹ درصد به ۰/۹۸ درصد کاهش یافته است که میزان نمک‌زدایی ۸۲/۱۲٪ و میزان آب‌گیری ۸۹/۳۳ ٪ بوده است و مقدار نمک نفت خام اهواز ۴ از ۳۵۳ میلی گرم بر لیتر به ۶۲/۱ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۱۱/۳۶درصد به ۲/۳ درصد کاهش یافته است که میزان نمک‌زدایی ۸۲/۴۰ ٪ و میزان آب‌گیری ۷۹/۷۵٪ بوده است. بهترین نتیجه در بالاترین دمای آزمایش، ۸۰ درجه سلسیوس به‌دست آمد. همان‌گونه که دیده می‌شود، با افزایش دما میزان نمک و آب روند کاهشی را نشان می‌دهد و در نتیجه راندمان بالا می‌رود. افزایش دما باعث کاهش



شکل ۹- میزان نمک نمونه نفت اهواز ۱ در دماهای گوناگون تزریق ۵٪ آب شست و شو و ppm ۴۰ تعلیق شکن تابش فراصوت kHz ۱۰ با قدرت W ۷۵و زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه



شکل ۱۰- میزان نمک نمونه نفت اهواز ۴ در دماهای گوناگون تزریق ۵٪ آب شست و شو و ppm ۳۰ تعلیق شکن تابش فراصوت kHz ۱۰ با قدرت W ۷۵و زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه

گرانروی، ضخامت و چسبندگی فیلم اطراف قطره های آب می شود. با افزایش حرکت قطره های آب باعث به بهم پیوستگی قطره‌ها می شود. در دماهای پایین‌تر در زمان افزایش دما، گرانروی نفت خام کاهش یافته که سبب نفوذ مولکول‌های تعلیق‌شکن و جذب آن‌ها بر روی فصل مشترک آب ـ نفت می‌شود. از سویی باعث حل شدن پایدارکننده‌های طبیعی مانند واکس و آسفالتین در نفت می شود. با افزایش دما راندمان جداسازی بالا می‌رود. نتیجه‌ها همچنین نشان می‌دهد که میزان نمک‌زدایی و آب‌گیری با افزایش دما افزایش می‌یابند.

نتیجه‌ها نشان داد که مقدار نمک نفت خام اهواز ۱ از ۴۷۱ میلی گرم بر لیتر به ۷۹/۱۸ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۹/۱۹ درصد

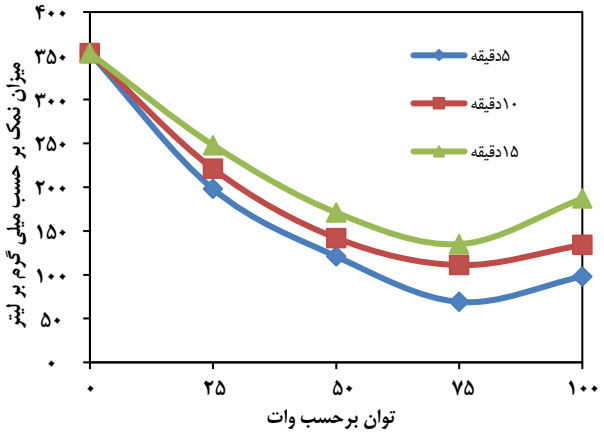
به ۱/۱ درصد کاهش یافته است که میزان نمک‌زدایی ۸۳/۳۸ ٪ و میزان آب‌گیری ۸۸/۰۳ ٪ بوده است و مقدار نمک نفت خام اهواز ۴ از ۳۵۳ میلی گرم بر لیتر به ۴۹/۲ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۱۱/۳۶ درصد به ۲ درصد کاهش یافته است که میزان نمک‌زدایی ۸۶٪/۰۶ و میزان آب‌گیری ۸۲/۴٪ بوده است. بهترین نتیجه در بالاترین دمای آزمایش، ۸۰ درجه سلسیوس به‌دست آمد.

اثرهای فرکانس و شدت میدان و زمان ماند تحت تابش فراصوت

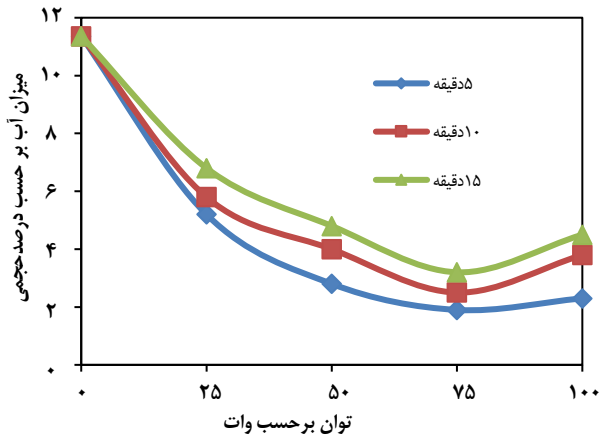
برای افزایش راندمان تعلیق شکنی تحت تابش فراصوت باید فرکانس بهینه را به‌دست آورد. با بررسی شکل‌های۷، ۸، ۹ و ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که به تقریب استفاده از فرکانس ۱۰ کیلو هرتز بهتر از فرکانس ۲۰ کیلو هرتز در شرایط همانند بود. و همان‌گونه که پژوهشگران یادآور شده‌اند برای هر نمونه نفتی فرکانس بهینه‌ای وجود دارد که با پراکندگی قطر ذره‌های تعلیق مرتبط است. قدرت و مدت تابش از دیگر پارامترهای اصلی فرایند نمک‌زدایی و آب‌گیری می‌باشد. شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ تأثیر شدت میدان فراصوت بر نمک‌زدایی و آب‌زدایی از نفت خام اهواز ۴ در دمای ۸۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهند.

با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان گفت که با افزایش میزان شدت میدان منتشر شده در محیط نفت درصد آب و نمک جداشده از نفت خام نیز بیش‌تر خواهد شد. زیرا با افزایش شدت میدان ارتعاش‌های بیش‌تر شده در نتیجه قطره های بیش‌تر و بهتر به هم متصل شده، سنگین‌تر شده و ته نشین می‌شوند.

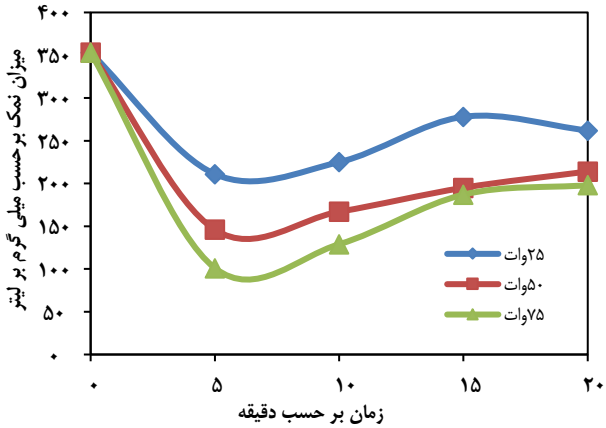
در مورد زمان ماند نفت درون محفظه فراصوت محدودیت زمان ماند وجود ندارد بنابراین زمان‌های ماند تا ۲۰ دقیقه هم آزمایش شدند. با توجه به شکل‌های ۱۲ و ۱۳ دیده می‌شود که پس از مدتی با افزایش زمان راندمان کاهش یافته و به نظر می‌رسد که دلیل این پدیده، شکست قطره‌های درشت‌تر و تبدیل آن‌ها به قطره‌های ریزتر به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در میدان فراصوت با شدت زیاد می‌باشد. این پدیده نشان می‌دهد که زمان قرار گرفتن نفت خام در معرض موج فراصوت یک مقدار بهینه دارد که برای هر نوع نفت خام با توجه به آنالیز آن بایستی تعیین شود. همچنین اثر مدت زمان تابش هم تا آستانه کاویتاسیون می‌باشد، افزایش زمان باعث افزایش راندمان می شود ولی باید مدت زمان بهینه را تعیین کرد. در میدان موج ایستاده فراصوت، ذره‌های کوچک آب به ذره های بزرگ‌تر تبدیل می‌شوند. هنگامی که ذره‌های آب به اندازه کافی بزرگ شدند تا ارتعاش‌های آن‌ها به وسیله فراصوت متوقف شود، آن‌ها با نیروی جاذبه ساکن می‌شوند.



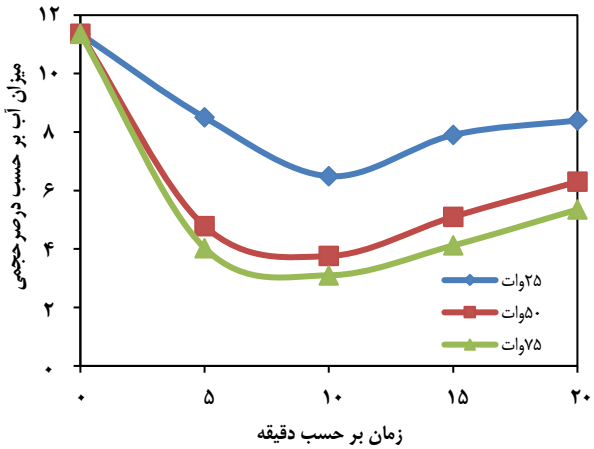
شکل ۱۱- میزان نمک اهواز۴ با توان‌های ورودی متفاوت با زمان‌های تابش (۵ و ۱۰ و۱۵ دقیقه) در میدان موج ایستاده با فرکانس ۲۰kHz، زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه و تزریق ۵٪ آب شست و شو و ۳۰ppm تعلیق شکن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس



شکل۱۲- میزان آب اهواز۴ با توان‌های ورودی متفاوت با زمان‌های تابش (۵ و ۱۰ و ۱۵ دقیقه) در میدان موج ایستاده با فرکانس ۲۰kHz،زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه و تزریق ۵٪ آب شست و شو و ۳۰ppm تعلیق شکن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس



شکل ۱۳- میزان نمک اهواز۴ با توان‌های ورودی (۲۵، ۵۰ و ۷۵) با زمان‌های تابش متفاوت در میدان موج ایستاده با فرکانس ۲۰kHz،زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه و تزریق ۵٪ آب شست و شو و ۳۰ppm تعلیق‌شکن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس



شکل ۱۴) میزان آب اهواز۴ با توان‌های ورودی گوناگون با زمان‌های تابش متفاوت در میدان موج ایستاده با فرکانس ۲۰KHz، زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه و تزریق ۵٪آب شست و شو ppm ۳۰ تعلیق شکن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس

با افزایش زمان تابش، بیش‌تر و بیش‌تر ذره‌های کوچک به ذره‌های بزرگ متصل می‌شوند. در همان زمان تعداد ذره‌های آب کاهش یافت. بنابراین احتمال فروپاشی نیز کاهش می‌یابد. بنابراین برای هر نمونه نفتی باید مقادیر بهینه زمان تابش به‌دست آید.

با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ می‌توان گفت که موج فراصوت باعث افزایش راندمان و سرعت جداسازی می شود. همان گونه که از نمودارها دیده می شود، در زمان تابش ثابت، افزایش قدرت ورودی باعث کاهش میزان آب تعلیق و نمک همراه می‌شود که این افزایش قدرت تا آستانه کاویتاسیون اثر مثبت دارد و پس از این آستانه، میزان آب تعلیق افزایش می‌یابد. ارزیابی شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داد که بهترین قدرت ورودی ۷۵ وات می‌باشد و ارزیابی شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داد که بهترین مدت تابش حدود ۷ دقیقه می‌باشد. بر این اساس، اثر پارامترهای فراصوت بر روی نمک‌زدایی و آب‌گیری از نفت خام می‌تواند منجربه تعلیق شکنی یا تعلیق بیش‌تر شود.

نتیجه‌های نمک‌زدایی نشان می‌دهد که با میزان کمتر مصرف تعلیق شکن، با کمک فراصوت بهبود یافته است و با نتیجه‌های قابل قبولی همراه می‌باشد. نمک‌زدایی و آب‌زدایی با استفاده از روش ترکیبی فراصوت و تعلیق شکن با افزایش قدرت فراصوت افزایش می‌یابد، زیرا فراصوت با قدرت بالاتر می‌تواند باعث ارتعاشات مکانیکی شدیدتر می‌شود، به طوری که می‌توان به‌طور معنی‌داری اثر نمک‌زدایی و آب‌زدایی با فراصوت را دیده کرد. همچنین می‌تواند زمان تصفیه را کاهش دهد.

نتیجه‌ها نشان داد که با به کار بردن موج فراصوت مقدار نمک نفت خام اهواز ۱ با تزریق ppm ۴۰ تعلیق شکن از ۴۷۱ میلی گرم بر لیتر به ۷۶/۱۸ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۹/۱۹ درصد به ۱/۱ درصد کاهش یافته است که میزان نمک زدایی ۸۳/۳۸ درصد و میزان آب‌گیری۸۸/۰۳ درصد بوده است. مقدار نمک نفت خام اهواز ۴ با تزریق ppm ۳۰ تعلیق شکن از ۳۵۳ میلی گرم بر لیتر به ۴۹/۲ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و مقدار آب از ۱۱/۳۶ درصد به ۲ درصد کاهش یافته است که میزان نمک‌زدایی۸۶/۰۶ درصد و میزان آب‌گیری ۸۲/۴ درصد بوده است. این نتیجه‌ها در بالاترین دمای آزمایش، ۸۰ درجه سلسیوس و فرکانس ۱۰ کیلو هرتز به‌دست آمد که با تقریب بسیار نزدیک به راندمان واحد، مصرف تعلیق شکن را به نصف کاهش داد. مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده از این پژوهش با نتیجه های پژوهش‌های پیشین مانند یو و همکاران و *ژانگ* و *همکاران* نشان داد که نتیجه‌های این پژوهش با پژوهش‌های پیشین تطابق خوبی دارند[۱۳].

نتیجه گیری

تعلیق‌های نفتی به دلیل حمل آب اضافی باعث افزایش هزینه‌های انتقال می‌شوند. از سویی به دلیل حضور نمک‌های حل شده در قطره های آب، باعث خوردگی تجهیزات و غیر فعال شدن کاتالیست‌ها می‌شوند. بنابراین شکست تعلیق‌های نفتی و جداسازی آب از نفت یکی از فرایندهای مهم در صنعت نفت می‌باشد. با افزایش زمان ماندگاری تعلیق، میزان رسوب‌دهی نیز افزایش می‌یابد تا به یک بیشینه برسد. پس از آن برای افزایش بیش‌تر رسوب‌دهی باید مقدارهای بیش‌تری از تعلیق‌شکن استفاده شود، هرچند با افزایش مقدار تعلیق‌شکن راندمان آب‌زدایی و نمک‌زدایی افزایش می یابد ولی پس از رسیدن به مقدار بهینه این روند متوقف می شود زیرا با اشباع شدن سطح قطره های تعلیق‌شکن و تشکیل مایسل، پایداری تعلیق نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دما نیز باعث کاهش گرانروی فاز پیوسته نفت و در نتیجه افزایش راندمان آب‌زدایی می شود. بنابراین در این پژوهش برای افزایش راندمان تعلیق‌شکنی و نمک‌زدایی از ترکیب مواد شیمیایی و تابش فراصوت استفاده شد. در انجام آزمایش‌های تجربی اثر پارامترهای عملیاتی شامل قدرت تابش، زمان تابش فراصوت، دما و میزان تزریق تعلیق شکن مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که ترکیب روش‌های افزایش تعلیق‌شکن و فراصوت باعث افزایش راندمان فرایند و کاهش مصرف مواد شیمیایی تعلیق شکن می‌شود. با کاهش مصرف مواد شیمیائی تعلیق شکن باعث کاهش آلودگی محیط زیست ناشی از پساب واحدهای نمک‌زدایی می‌شود. استفاده از موج فراصوت زمان ته‌نشینی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد، با افزایش مدت زمان تابش موج فراصوت، راندمان تعلیق شکنی افزایش می‌یابد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که تصفیه نفت‌خام با استفاده از

فراصوت به طور دقیق وابسته به زمان تابش و قدرت فراصوت تا شرایط بهینهٔ پرتودهی فراصوت که برابر با آستانه کاویتاسیون است، می‌باشد. به طور کلی برای افزایش راندمان نمک‌زدایی از نفت خام حضور تعلیق شکن‌ها ضرورت دارد. استفاده از امواج فراصوت به تنهایی کارآمد نیست و باید در کنار سایر روش‌های نمک‌زدایی استفاده شود. بررسی سایر شرایط مؤثر و شناسایی مکانیسم‌های مربوط به ناپایدار شدن تعلیق‌ها در اثر استفاده از امواج فراصوت، در پژوهش‌های بعدی توصیه می شود.

تاریخ دریافت: ۱۶ / ۰۸ / ۱۳۹۷ ، تاریخ پذیرش: ۲۶ / ۰۱ / ۱۳۹۸

مراجع

[1] Wu J., Xu Y., Dabros T., and Hamza H., Effect of De-Emulsifier Properties on Destabilization of Water-in-Oil Emulsion. *Energy and Fuels*, **17**: 1554–1559 (2003).

[2] Schroeder M., "Handbook of Acoustic". Springer (2007).

[3] van der Bas F., Roufgnac E., Zuiderwijk P., van Batenburg D. *"*Near Wellbore Stimulation by Acoustic Waves*". In Abu Dhabi International Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*, January (2004).

[4] Zhang X., Chen X., Ma L., Y. Zhou, Shi Y., Yang G., Research and Application of Ultrasonic Oil Production Technique, *Ground Water* (2013).

[5]Riera-Franco de Sarabia, E.; Gallego-Juarez, J.A.; Rodriguez, G.; Elvira-Segura, L.; Gonzalez-Gomez, I.; Application of High-Power Ultrasound to Enhance Fluid/Solid Particle Separation Processes, *Ultrasonics*, **38**: 642-646 (2000).

[6] Augustine A., Junin R., Shirazi R., Afeez G., Yekeen N., Comparative Study of Ultrasound-Assisted Water and Surfactant Flooding, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences, Online*, (2018).

[7] Amani M., Idris M, Abdul Ghani M, Dela Rosa N, Carvero A., Yrac R., An Experimental Study on the Application of Ultrasonic Technology for Demulsifying Crude Oil and Water Emulsions, *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology* (2017).

[8] Guoxiang Y., Xiaoping L., Pretreatment of Crude Oil by Ultrasonic-electric United. Desalting and Dewatering. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **16**(4): 564-569 (2008).

[9] Guoxiang Y., Xiaoping L., Pingfang H., Fei P., Yanru W. Xuan S. Application of Ultrasound on Crude Oil Pretreatment. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, **47**(12): 2346-2350 (2008).

[10] Check G.R., Mowla D., Theoretical and Experimental Investigation of Desalting and Dehydration of Crude Oil by Assistance of Ultrasonic Irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, **20(1)**: 378-85 (2013).

[11] Antes F. G., Diehl L. O., Pereira J. S.F., Guimarães C.L., Guarnieri R. A., Flores M.M. Effect of Ultrasonic Frequency on Separation of Water from Heavy Crude Oil Emulsion Using Ultrasonic Baths. *Ultrasonics Sonochemistry*, **35**: 541-546 (2017).

[12] Xiao Rong Ge, Coll. of Pet. Eng., Xi'an Shiyou University., Xi'an, "The Research on Dehydrating of Heavy Oil by Ultrasonic", *Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 4598 - 4601(2011).

[13] Yi M., Huang J., Wang L., Research on Crude Oil Demulsification Using the Combined Method of Ultrasound and Chemical Demulsifier, *Journal of Chemistry*, **7** (2017).

[14] Mullakaev M., V Abramov., Abramova A., Development of Ultrasonic Equipment and Technology for Well Stimulation and Enhanced Oil Recovery, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **125**: 201-208, (2015).

[15] Lu Y., "Electrohydrodynamic Deformation of Water Drops in Oil with an Electric Field", M.Sc. Thesis, University of Alberta, 8-30 (2002).

[16] Bradley H. B., Petroleum Engineering Handbook, Society of Petroleum, Engineers, Chapter

[۱۷] غفوریان نصیری، حانیه؛ حامد موسویان، محمد تقی؛ بررسی امکان استفاده از امواج ایستای فراصوت با شدت بالا در شکستن تعلیق‌های نفتی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۳۱(۳)**: ۴۵ تا ۵۷ (۱۳۹۱).

[18] Bleier A., "Colloids, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., **6**: 812-832 (1996).

[19] Al-Otaibi M., Elkamel A., Al-Sahhaf T., Ahmed A. S., Experimental Investigation of Crude Oil Desalting & Dehydration, *Chemical Engineering Communication*, **190**: 65-82 (2003).

[20] Xu X., Yang J., Jiang Y., Gao J., Effects of Process Conditions on Desalting & Demetalization of Crude Oil, *Petroleum Science & Technology*, **24**: 1307-1321 (2001).