کاربرد میکروموج‌ها در فرایند امولسیون‌زدایی نفت خام

مصطفی همه‌خانی[1]، محمدتقی صادقی[2*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۰۳

پیام‌نگار: sadeghi@iust.ac.ir

چکیده

تشکیل امولسیون نفت در آب یکی از روشهای انتقال نفت سنگین با گرانروی بالا و نفت فوق سنگین از طریق خط لوله است. با وجود کاهش چشمگیر فشار و گرانروی امولسیون آب/ نفت، آب باید قبل از ورود به فرایند پالایش حذف شود. تاکنون، روش‌های مختلفی برای جداسازی آب از امولسیون ارائه شده است. متداول‌ترین و ساده‌ترین روش امولسیون‌زدایی نفت، حرارت دادن به امولسیون است. علاوه بر این، روش‌های دیگری که تاکنون برای امولسیون زدایی معرفی‌شده‌اند، علیرغم برخورداری از مزایا، محدودیت‌ها و مشکلاتی چون بازدهی پایین، هزینه گزاف تجهیزات و مشکلات زیست‌محیطی دارد؛ بنابراین به دلیل مشکلات یاد شده، تحقیقات به سوی فناوری‌های جدید معطوف شده است. ازجمله روش‌های نوی که در دهه اخیر بیشتر موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته، استفاده از گرمایش انرژی میکروموج‌ها به جای روش‌های متداول امولسیون‌زدایی است. مزایای این روش، انتخابی و حجمی بودن گرمایش است که باعث می‌شود فاز آبی بیشتر تحت تأثیر این نوع گرمایش قرار گیرد و بازدهی جداسازی آب افزایش یابد. میکروموج‌ها موجب چرخش مولکول‌های آب نیز می‌شود، درنتیجه با خنثی کردن پتانسیل زتا به شکست پیوند هیدروژن میان آب و ماده فعال سطحی می‌انجامد.

کلیدواژه‌ها: نفت خام سنگین، امولسیون‌زدایی، گرمایش، میکروموج

۱. مقدمه

با افزایش مصرف انرژی در جهان و کاهش منابع نفت معمولی، نفت‌های خام سنگین را معمولاً در حکم منابع هیدروکربنی مناسب در آینده به حساب می‌آورند. امروزه نفت‌های خام سنگین و قیر طبیعی بخش اعظمی از منابع هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند ولی قسمت اندکی از میزان تولید جهانی را به خود اختصاص داده‌اند.

گرانروی نفت‌های خام سنگین بسیار بالاست و شامل مواد آروماتیکی، آسفالتینی، ترکیبات نیتروژن‌دار، گوگرددار و برخی فلزات چون نیکل و وانادیوم‌اند. این ترکیبات در حالت طبیعی انتقال نفت را با دشواری روبرو کرده‌اند. انتقال نفت خام سنگین به کمک تشکیل امولسیون در فاز آب روشی بسیار مؤثر برای کاهش مشکلات یاد شده است. تشکیل امولسیون در آب یکی از جدیدترین روش‌های انتقال نفت خام سنگین است. با تشکیل امولسیونی از نفت و آب که

* تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی

در آن باید آب فاز پراکنده و نفت فاز پیوسته باشد، می‌توان گرانروی بالای نفت خام سنگین، تنش برشی وارد بر جداره لوله، و سرانجام هزینه تلمبه‌زنی نفت خام را کاهش داد. از معایب این روش می‌توان از هزینه‌های گزاف تشکیل و جداسازی امولسیون و هزینه مواد فعال سطحی[1] یاد کرد. این روش انتقال شامل سه مرحله ساخت، انتقال، و جداسازی امولسیون است. در انتهای خط لولهٔ انتقال، امولسیون با روش‌های مختلفی از جمله گرمایی، الکتریکی، شیمیایی و مکانیکی به عوامل سازنده آن، یعنی آب و نفت خام تفکیک می‌شود. این روش‌ها مزایا، محدودیت‌ها و دشواریهایی چون بازدهی پایین، هزینه هنگفت تجهیزات و مشکلات زیست‌محیطی دارد؛ بنابراین تحقیقات در مورد روش‌های جایگزین ضروری به نظر می‌رسد[۲-۱].

از جمله روش‌های جدید، بهره‌گیری از گرمایش انرژی میکروموج‌ها به جای روش‌های متداول امولسیون‌زدایی است. در حال حاضر انرژی میکروموج‌ها طیف گسترده‌ای از توجه پژوهشگران را در کاربردهای گوناگون به خود معطوف کرده است. روش متفاوت انتقال انرژی از منبع به نمونه، مزیت عمدهٔ بهره‌گیری از انرژی میکروموج در مقایسه با فرایندهای حرارتی مرسوم به‌شمار می‌آید. در روش‌های متداول، گرما از منبع گرمایی خارجی به ماده منتقل می‌شود ولی میکروموج در داخل مواد حرارت تولید می‌کند و مشکلات رایجی چون گرمایش طولانی مدت و اتلاف انرژی می‌تواند به حداقل برسد. در این نوشتار ضمن معرفی میکروموج‌ها، کاربرد آن را در امولسیون زدایی و مهم‌ترین کارهای تشریح شده که تاکنون در این زمینه انجام شده است.

۲. میکروموج‌ها

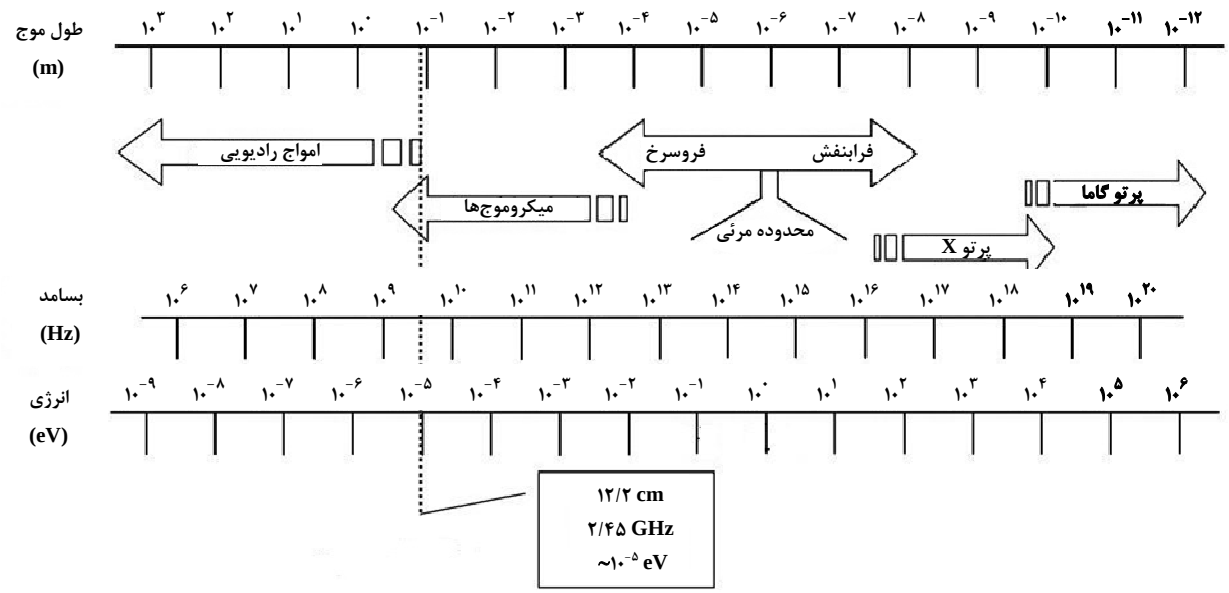
فناوری میکروموج را دکتر پرسی لی بارون اسپنسر[2]، هنگامی در سال ۱۹۴۶ به‌طور تصادفی کشف کرد که در حال انجام آزمونهای آزمایشگاهی جدید لامپ خلأ به نام مگنوترون[3] (دستگاه تولید میدان الکترومغناطیسی) بود. نخستین کاربران میکروموج پی بردند که این امواج برای گرم کردن آب بسیار مؤثرند. پس از آن برای خشک کردن و پختن مواد غذایی از آن استفاده می‌شد. در سال ۱۹۴۷ پی بردند که وقتی از میکروموج برای گرم کردن مواد غذایی استفاده می‌کنند، گرما در داخل ماده ایجاد می‌شود. این موضوع باعث شد که در دهه ۱۹۵۰ از میکروموج در مصارف صنعتی استفاده شود. در دهه ۱۹۸۰، میکروموج در فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی کاربرد گسترده‌ای یافت. در این سال‌ها بهره‌گیری از این امواج به منظور گرم کردن و خشک کردن مواد غذایی، کاغذ، پلاستیک، مواد شیمیایی، سوخت‌ها و مانند آنها آغاز شد[۳].

۲.۱ معرفی میکروموج‌ها

میکروموج از جملهٔ امواج الکترومغناطیسی با بسامد ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز، متناظر با طول موج‌هایی از ۱ میلی‌متر تا ۱ متر هستند، و ۳۰ گیگاهرتز، محدوده بسامد میکروموجی است که با محدوده بسامد رادیویی همپوشانی می‌کند. با توجه به ماهیت میکروموج، استفاده از این امواج تحت نظر کمیته فدرال ارتباطات[4] صورت می‌گیرد. در آمریکای شمالی، تنها بسامد مجاز برای مصارف صنعتی میکروموج‌ها ۹۱۵، ۲۴۵۰، ۵۸۰۰، ۲۲۰۰۰ مگاهرتز هستند.

برای بهره‌گیری در واکنش‌های آزمایشگاهی، بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز ترجیح داده می‌شود، زیرا این بسامد برای عمق نفوذ در بسیاری از شرایط واکنش‌های آزمایشگاهی مناسب است. میکروموج‌ها (نوسان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با بسامد بالا)، در هنگام تشدید مغناطیسی الکترون‌ها در بسامدهای بالا، تولید می‌شوند. دستگاه رایج مورد استفاده به عنوان منبع نوسانات مگنوترون است که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر یکدیگر را ترکیب می‌کند. میدان الکتریکی را کاتد داخلی و آند خارجی که اختلاف پتانسیل زیادی بین آن‌ها برقرار است، تولید می‌کنند. میدان مغناطیسی را آهن‌رباهای دائمی برقرار می‌کنند که معمولاً در پایین مگنوترون قرار داده می‌شوند. آهن‌ربایی که اطراف مگنوترون را فراگرفته، میدان الکتریکی را به میدان مغناطیسی تبدیل می‌کند. انرژی الکترون‌ها در میدان الکتریکی گرفته می‌شود و سپس به شکل امواج مغناطیسی از مگنوترون به طرف لوله رسانش حرکت می‌کند و از آنجا به سمت محفظه منتقل می‌شوند.

1. Surfactants
2. Dr. Percy Le Baron Spencer
3. Magnetron
4. Federal Communications Commission (FCC)



شکل ۱. طیف امواج الکترومغناطیسی[۳].

روش متفاوت انتقال انرژی از منبع به نمونه مزیت عمدهٔ استفاده از **انرژی میکروموج در** مقایسه با فرایندهای گرمایی مرسوم است. با **انتقال انرژی میکروموج** به مواد، غالباً می‌توان از مشکلاتی مانند **طولانی بودن دوره گرما**، گرادیان گرمایی و انرژی هدررفته از طریق **انتقال به سیستم اجتناب** کرد. این ویژگی‌های انرژی میکروموج **استفاده از آن را بسیار** جذاب می‌کند؛ همچنین، آن را برای برخی **کاربردهای صنعتی به** عنوان یک جایگزین برای روش‌های گرمایی **معمولی تبدیل کرده** است. در بسیاری موارد، بهره‌گیری از انرژی **میکروموج در مقایسه** با انرژی گرمایی مرسوم واکنش، با کاهش **مدت زمان گرمادهی** و یا دمای پایین واکنش نتایج متفاوتی بروز **داده است. علاوه بر** این، با گرما دادن نمونه القاء شده توسط **میدان‌های میکروموج** که به شدت تحت تأثیر قابلیت ماده برای **جذب انرژی میکروموج** است، این امکان را فراهم می‌آورد تا نمونه **انتخابی گرما داده شود** که می‌تواند بازده انرژی برای معرفی به **سیستم را بهبود بخشد**[۴].

۲. ۲ سازوکارهای گرمایش میکروموجی

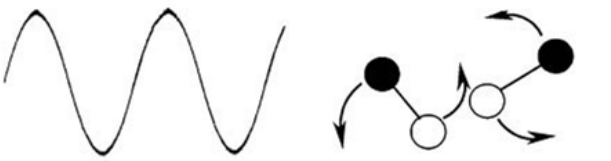
سازوکار اصلی گرمای میکروموجی، شامل تحریک مولکول‌های **قطبی است که تحت** تأثیر یک میدان نوسانی الکتریکی یا **مغناطیسی‌اند. در حضور** یک میدان نوسانی، مولکول‌ها می‌خواهند **خودشان را در فاز با** میدان هم سو کنند. با این حال، حرکت این مولکول‌ها با مقاومت نیروها (درون مولکولی و برهم‌کنش بین ذرات) که حرکت بین ذرات، مولکول‌ها و برخوردهای تصادفی را محدود می‌کند، به کاهش تولید گرما می‌انجامد. گرمایش میکروموجی برای فرایندهای صنعتی مشخصه و خواص متعددی دارد که این روش به دلایل ساختاری، شیمیایی و تفاوت در محصولات اساساً با روش‌های گرمایی رایج متفاوت است[۴].

گرمایش میکروموجی از طریق سه سازوکار قطبش دو قطبی[1]ها، رسانش یونی[2]، و قطبش سطحی[3] رخ می‌دهد[۶-۴].

قطبش دو قطبی، فرایندی است که از طریق آن گرما در مولکول‌های قطبی تولید می‌شود. شرط لازم برای فرایند از این قرار است که محدوده بسامد از میدان نوسانی باید به اندازه کافی باشد تا برهم‌کنش بین مولکول‌ها را راه اندازد. اگر محدوده بسامدی بسیار بالا باشد، نیروهای بین مولکولی حرکت یک مولکول قطبی را قبل از این‌که بخواهد از میدان پیروی کند، متوقف می‌کند؛ در نتیجه، باعث برهم‌کنش ناقص می‌شود. از سوی دیگر، اگر محدوده بسامدی کوتاه باشد، مولکول قطبی زمان کافی همسویی خود را در همفازی با میدان پیدا می‌کند. به این دلیل، برخورد تصادفی بین مولکول‌های مجاور صورت نمی‌گیرد. بسامد متناسب با تابش میکروموج (۳۰۰-۰/۳ گیگاهرتز) باعث نوسان مولکول‌های قطبی و فعال کردن

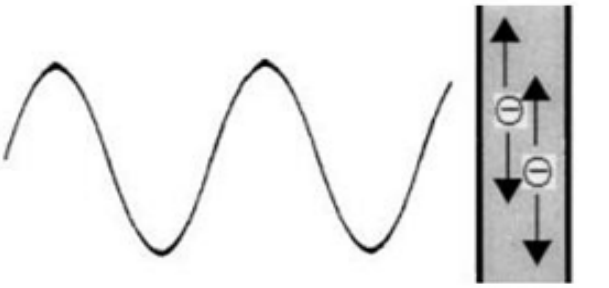
1. Dipolar Polarization
2. Ionic Conduction
3. Interfacial Polarization

بر هم‌کنش مولکولی می‌شود. این نوسان انرژی جنبشی و برخورد در همه مولکول‌ها در این سیستم را افزایش می‌دهد. از آنجا که دما مقیاسی از میانگین انرژی جنبشی ذرات در یک جسم به‌شمار می‌آید، میکروموج‌ها دما را به نحو مؤثری افزایش می‌دهد. در شکل (۲) مولکول‌های دوقطبی را مشاهده می‌کنید که می‌خواهند با میدان الکتریکی هم‌راستا شوند.



شکل ۲. نوسان مولکولهای دوقطبی متأثر از تأثیر میدان[۵].

سازوکار رسانش، تولید گرما از طریق مقاومت در برابر جریان الکتریکی است. میدان مغناطیسی نوسانی با تولید نوسان از الکترون‌ها یا یون‌ها در یک رسانا، به برقراری یک جریان الکتریکی منجر می‌شود. این جریان با مقاومت داخلی که توسط رسانا گرم می‌شود مواجه می‌شود. محدودیت عمدهٔ این روش از این قرار است که آن را برای موادی دارای رسانایی بالا نمی‌توان به‌کار برد، زیرا این مواد بیشتر انرژی میکروموجی را که بر آن‌ها تابانده می‌شود منعکس می‌کنند. در دماهای پایین و بسامد بالا، گرما عمدتاً از طریق چرخش دو قطبی تولید می‌شود. با افزایش دما و کاهش بسامد، رسانش یونی نقش زیادی در تولید گرما باز می‌کند[۶].



شکل ۳. نوسان یون‌ها در راستای میدان[۵].

روش قطبش سطحی می‌تواند در حکم روشی ترکیبی بین رسانش یونی و قطبش مولکولهای دو قطبی‌ها تلقی شود. این روش برای سیستم‌هایی گرمایشی اهمیت دارد که ماده‌ای رسانا در یک محیط نارسانا قرار می‌گیرد. مثلاً، در انتشار ذرات فلز در گوگرد، گوگرد در مقابل میکروموج پاسخی بروز نمی‌دهد و فلزات در هنگام قرار گرفتن در معرض انرژی میکروموجی آن‌ها را منعکس می‌کند اما ترکیب این دو ماده میکروموج را جذب می‌کند؛ به همین دلیل است که فلزات را به شکل پودر به‌کار می‌گیرند زیرا برخلاف سطح فلز، پودر فلز جاذب خوبی برای تابش میکروموج است. این پرتو جذب‌شده از طریق سازوکاری شبیه به قطبش مولکولهای دو قطبی گرما تولید می‌کند. محیط از پودر فلز به عنوان حلال برای مولکول‌های قطبی استفاده می‌کند که حرکت آن‌ها را با نیروهایی که معادل بر هم کنش‌های درون مولکولی در حلال‌های قطبی‌اند، محدود می‌کند. این نیروهای محدود تحت تأثیر یک میدان نوسانی، باعث یک فاز تأخیری در حرکت یون‌ها می‌شود. این فاز تأخیری یک حرکتی تصادفی از یون‌ها را تولید می‌کند و نتیجه‌اش تولید گرما در سیستم است[۵].

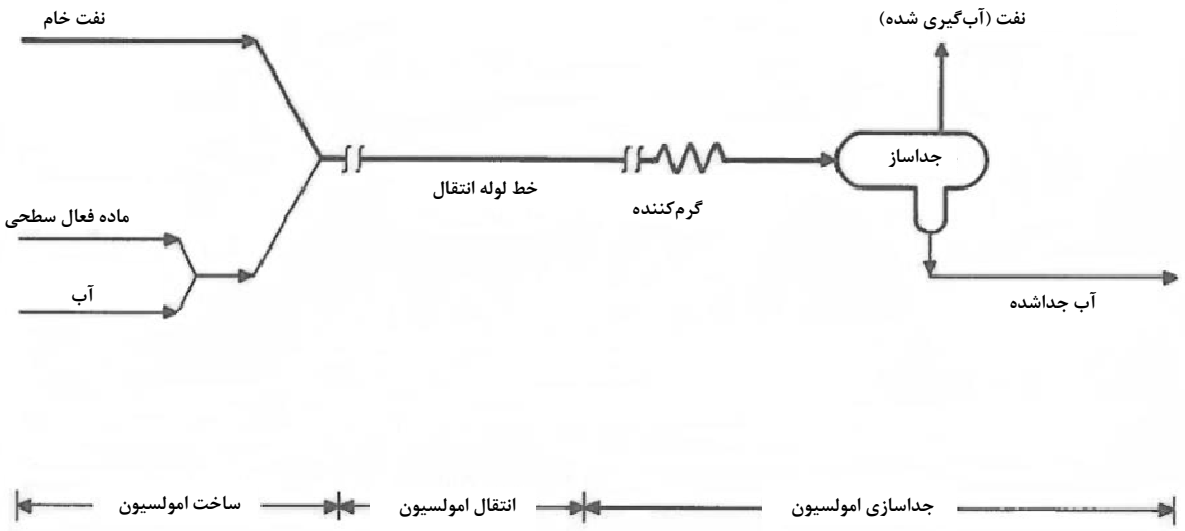
کنش میکروموج‌ها منجر به گرم شدن سریع، نفوذ و انتخاب گزینشی مواد، آن‌ها را جایگزین خوبی برای جداسازی ماسه‌های نفتی و تولید هیدروکربن کرده است. اکثر روش‌های گرمایی بر پایهٔ جابجایی استوارند که گرما به سطح یک جسم از طریق تحریک مولکول‌ها از خارج یا اتم‌ها اعمال می‌شود. انرژی جنبشی به تدریج به داخل مولکول‌ها یا اتم‌ها منتقل می‌شود تا تمامی جسم گرم شود[۶].

۳. فرایند امولسیون زدایی

تشکیل امولسیون آب در نفت یکی از روش‌های انتقال نفت خام سنگین است. با تشکیل امولسیونی از آب که در آن باید نفت فاز پیوسته باشد، می‌توان گرانروی بالای نفت خام سنگین، میزان رسوب واکس‌های نفتی، تنش برشی وارده از جداره لوله، و در نهایت هزینه تلمبه‌زنی نفت خام را کاهش داد[۱].

سیستم انتقال امولسیونی نفت خام از سه مرحله تشکیل می‌شود:

تشکیل امولسیون: انتقال امولسیون با تلمبه‌زنی از طریق خط لوله و شکست امولسیون و تفکیک آن به فازهای نفت خام و آب (شکل (۴)).



شکل ۴. سیستم انتقال امولسیون نفت خام[۷].

امولسیون‌ها از دیدگاه ترمودینامیکی، سیستم‌های ناپایداری‌اند و قطره‌ها تمایل دارند به هم بپیوندند؛ اما با اضافه کردن ماده فعال سطحی می‌توان امولسیون‌هایی ایجاد کرد که از لحاظ ترمودینامیکی پایدارند. مواد فعال سطحی ساختار پیچیده‌ای دارند که شامل دو قسمت آب دوست[1] و آب گریز یا روغن دوست[2]اند. تقسیم‌بندی این مواد بر حسب بار الکتریکی گروه آب دوست صورت می‌گیرد؛ بر این اساس مواد فعال سطحی به چهار گروه آنیونی چون گروه‌های سولفونات، کاتیونی نظیر نمک‌های آمونیم نوع چهارم، غیر یونی و آمفوتریک دسته‌بندی می‌شوند.

سمت آب گریز معمولاً از تعداد زیادی اتم مانند زنجیره بلند آلفاتیک یا یک شاخه پیچیده یا چند حلقه آروماتیک تشکیل شده است. امولسیون آب و نفت خام اغلب ممکن است حاوی ذرات جامد متشکل از شن و ماسه و خاک رس مانند نیز باشد[۷].

مطابق شکل (۴)، در مرحله آخر انتقال امولسیونی نفت خام، باید امولسیون به نفت و آب شکسته شود. این فرایند به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که از آن جمله می‌توان از امولسیون‌زدایی به روش گرمایی یاد کرد که این روش ساده‌ترین و متداول‌ترین روش جداسازی امولسیون‌های نفتی است. امولسیون نفت در آب که به کمک مواد فعال سطحی پایدار شده است، در انتهای خطوط انتقال تا دمای حدود ۲۰۰ درجه فارنهایت گرم، و بر اثر این عمل، آب و نفت به دو فاز مجزا تقسیم می‌شوند. با این روش، جداسازی تا حد نسبتاً مطلوبی صورت می‌گیرد. برای بازگشت به ابتدای فرایند امولسیون‌سازی، آب جداشده از این فرایند مناسب است. در غیر این صورت، باید مصارف دیگر آب واحدهای تصفیه آب در انتهای فرایند تعبیه شود. این روش متداول صنعتی شکستن امولسیون‌هاست. از جمله روش‌های دیگر، می‌توان به امولسیون‌زدایی به کمک جریان الکتریسته اشاره کرد. در این روش، دو الکترود در نمونه‌های امولسیونی قرار می‌گیرد و با برقراری جریان الکتریکی بین الکترودها فرایند به هم پیوستن قطره‌ها تسریع می‌شود. این روش در مقیاس آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است[۸]. در روش‌های دیگر شناورسازی از هوای محلول کمک گرفته می‌شود که برای امولسیون‌هایی نفتی کاربرد دارند که خلوص بالای آب و نفت در مراحل نهایی مورد نظر باشند. این روش هنوز کاربرد صنعتی نیافته است[۹]. یکی دیگر از روش‌های جداسازی امولسیون‌ها اضافه کردن مواد شیمیایی خاص به نمونه امولسیونی است که دی امولسیفایر نامیده می‌شود، بعضی از ترکیبات شیمیایی با ترکیب خاص خود نوعی بهم ریختگی فضایی در ساختار امولسیون ایجاد می‌کنند که در نهایت باعث جدا شدن دو فاز آبی و آلی می‌شود[۱۰]. امولسیون‌زدایی به کمک غشا مزایایی از جمله

1. Hydrophilic
2. Oleophilic

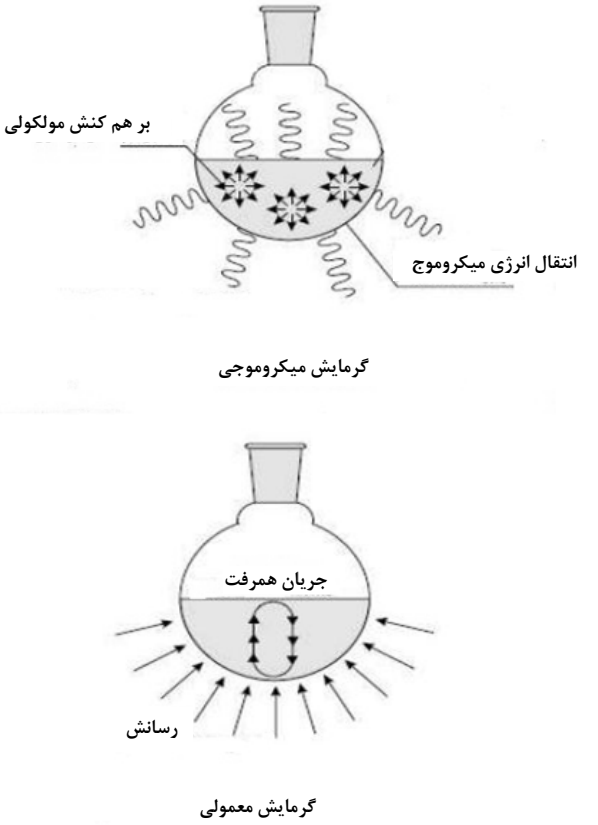
خلوص بالای نفت و آب جداشده و عدم نیاز به اضافه کردن مواد جانبی دارد؛ اما معایب این روش از جمله دبی عبوری کم و گرفتگی غشا باعث شده در مقیاس صنعتی از این روش استفاده نشود[۱۱].

۳. ۱ شکستن امولسیون با استفاده از میکروموج‌ها

روش‌های که برای جداسازی امولسیون‌ها معرفی شدند، علیرغم برخورداری از برخی مزایا، با محدودیت‌ها و مشکلاتی نیز درگیرند. مثلاً، می‌توان به هزینه گزاف در فراهم آوردن امکانات مورد نیاز، مشکلات زیست‌محیطی و تغییر خواص مواد در اثر اضافه کردن مواد شیمیایی اشاره کرد[۱۲]؛ بنابراین، به دلیل مشکلات همراه با روش‌های متداول امولسیون‌زدایی، تحقیقات به سمت بهره‌گیری از فناوری‌های جدید معطوف شده است. بهره‌گیری از فناوری میکروموج‌ها روش نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. مزایای امولسیون‌زدایی از طریق گرمایش میکروموجی عبارت‌اند از گزینشی بودن آن که باعث می‌شود فاز آبی امولسیون به صورت انتخابی گرم شود و در نتیجه انرژی مورد نیاز کاهش یابد، و نیز حجمی بودن گرمایش میکروموجی، به این معنی که به صورت یکپارچه بدون محدودیت انتقال گرما، رسانش و جابه‌جایی کل فاز آبی پراکنده را دربر می‌گیرد و اتلاف انرژی کاهش می‌یابد.

وقتی امولسیون در معرض گرمایش میکروموجی قرار می‌گیرد دو پدیده زیر رخ می‌دهند:

۱. کاهش چشمگیر در ویسکوزیته، که باعث افزایش دما از فاز پیوسته و تسهیل رانش[1] از لایه سطحی بین قطرات آب می‌شود. گرمایش از طریق میکروموج‌ها در مقایسه با گرمایش معمولی با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و به خواص ظرف حاوی نمونه بستگی ندارد. گرمایش معمولی (مثلاً، روغن حمام) از طریق سازوکار رسانش/ همرفت صورت می‌گیرد که در آن منبع گرما ابتدا به ظرف و سپس نمونه گرما را منتقل می‌کند، درحالی‌که در گرمایش از طریق میکروموج در اثر برهم‌کنش بین مولکول‌ها و تابش رخ می‌دهد؛ بنابراین، در این حالت گرمایش در شتاب بیشتر و فرایند همگن‌تری رخ می‌دهد. تفاوت دیگر از این قرار است که در گرمایش میکروموج جهت گرما از داخل نمونه به سمت خارج است که بالاترین دما منتقل می‌شود. در شکل (۵)، تفاوت گرمایش معمولی با گرمایش میکروموجی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵. مقایسه گرمایش ازطریق میکروموج‌با روش متداول[۱۳].

۲. امواج مایکروویو به چرخش مولکولی می‌انجامد که به خنثی کردن پتانسیل زتا[2] از امولسیون گرایش دارد. قطره‌های پراکنده در امولسیون به شارژ الکتریکی منجر می‌شوند و یک شبکه الکتریکی بر روی سطح ذرات گسترش می‌یابد که می‌تواند به افزایش توزیع یون‌ها در نواحی سطحی شود. این امر به افزایش غلظت یون‌ها با بار ناهمنام در نزدیکی سطح قطره‌ها می‌شود. در نتیجه، چرخش مولکولی ناشی از میکروموج به خنثی شدن پتانسیل زتا و فروپاشی پیوند میان هیدروژن و ماده فعال سطحی منجر می‌شود. در نتیجه، آهنگ گرمایش و گرمای گزینشی از قطرات آب از عوامل کلیدی برای افزایش بازده میکروموج برای شکستن امولسیون‌های نفتی به‌شمار می‌آیند[۱۴].

1. Drainage

2. Zeta Potential

از جملهٔ سایر نظریه‌های ارائه‌شده در مورد سازوکار جداسازی امولسیون آب در نفت یکی هم این است که سر قطبی پذیرای انرژی میکروموج است. وقتی میکروموج‌ها بر عامل فعال سطحی اعمال می‌شوند. دو قطبی‌ها گرایش دارند از میدان پیروی کنند. تغییر سریع میدان هم باعث جهت‌گیری مناسب می‌شود، همچنان که آن‌ها در راستای میدان وارد شده حرکت می‌کنند، به دلیل این‌که میدان به سرعت تغییر می‌کند انتهای قطبی مولکول‌های عامل فعال سطحی با نوسانات میدان الکتریکی می‌چرخند. حرکت القایی و انباشته شدن تنش باعث اختلال در تجمع مولکول‌های عامل فعال سطحی، تضعیف و از بین رفتن توانایی برای حفظ نفت و آب در یک فاز می‌شود. میکروموج‌ها تأثیری بسیار قوی‌تر از نفت بر آب دارند. هرچند نفت خام انرژی میکروموج را به طور موثری جذب می‌کند، وقتی با آب مخلوط است انرژی ترجیحاً در آب ذخیره می‌شود. مثلاً، در امولسیون ۱۰ درصد آب و ۹۰ درصد نفت، نسبت ذخیره انرژی در آب حدود ۹ برابر (استفاده از انرژی میکروموج در ۲۴۵۰ مگاهرتز) نفت است، حتی اگر آب جزء وزنی بسیار کوچک‌تری در مخلوط باشد. این گرمای متفاوت باعث ایجاد گرادیان گرمایی می‌شود و در ادامه پایداری را کاهش می‌دهد و همچنین به کاهش کشش سطحی می‌انجامد سطح تماس نفت- آب را کنار هم نگه می‌دارد[۱۵].

اطلاعات در مورد بهره‌گیری از تابش میکروموج برای اهداف امولسیون‌زدایی در ۲۰ سال گذشته گسترش‌یافته است. در اینجا، چند نمونه از کارهایی که نمایانگر انواعی‌اند که امروزه انجام می‌شوند، آورده شده است.

در سال ۱۹۸۶ ولف[1] تمرکز بر استفاده از تابش میکروموج در جداسازی امولسیون و پراکندگی هیدروکربن‌ها و آب را مطالعه کرد[۱۶]. این تحقیق نشان داد که تابش میکروموج در شکستن امولسیون آب و نفت در مقایسه با روش‌های دیگر، از جمله گرمای معمولی، کارایی بالاتری دارد.

فانگ[2] و همکارانش، جداسازی نفت از آب را با استفاده از روش‌های مختلف از جمله ته‌نشینی گرانشی، گرمایش معمولی و تابش میکروموجی مورد مطالعه کردند[۱۷]. گزارش آنان حاکی است که تابش میکروموج نسبت به سایر روش‌های مرسوم تفکیک سریع‌تری را نشان می‌دهد. در مطالعات آن‌ها مشاهده شد که امولسیون‌زدایی با میکروموج‌ها برای تعدادی از سیستم‌های نفتی در مقایسه با روش‌های مرسوم گرمادهی، به ویژه برای حذف جزئی ترکیبات قطبی، نتایج بهبودیافته‌ای را فراهم می‌آورد.

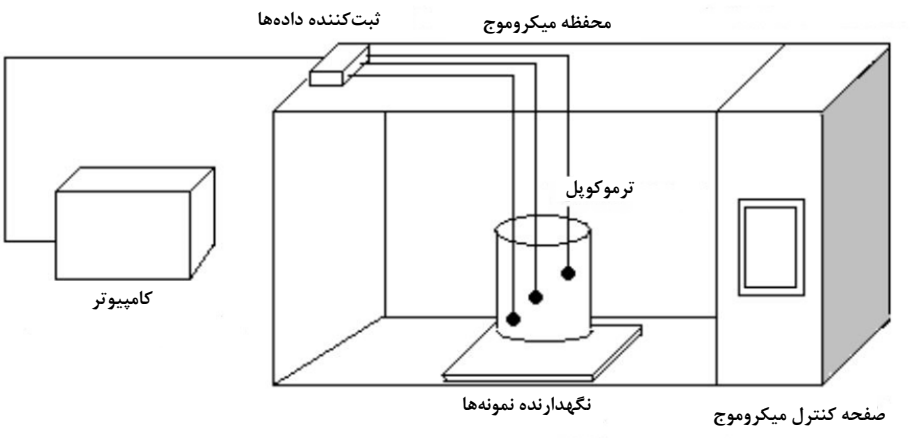
در ثبت اختراع نیلسون[3] و همکارانش، روشی را برای جداسازی امولسیون با بهره‌گیری از تابش میکروموج با بسامدی در محدودهٔ ۳۰۰ مگاهرتز تا ۱۰۰ گیگاهرتز پیشنهاد کردند[۱۸]. آنان امولسیون متشکل از قطرات آب شور در مایع آلی را به منظور جدا کردن آب و مایع آلی را در بسامدهای مختلف را مورد آزمایش قرار دادند.

در تحقیق سال ۲۰۰۲، چانگ[4] و چن[5] گزارش شد که افزایش سطح تماس با میکروموج‌ها باعث افزایش آهنگ امولسیون‌زدایی می‌شود[۱۹]. همچنین، مشاهده شد که عوامل دیگری مانند نمک، غلظت ماده فعال سطحی و نسبت آب و نفت در امولسیون‌زدایی تأثیرگذارند. بر ۲۵ میلی‌لیتر نمونه امولسیون ۵۰-۵۰ آب و نفت به مدت ۱۲ ثانیه در توان ۴۲۰ وات پرتوافکنده شده است؛ این نمونه کاملاً جدا شد. مطالعات آنان همچنین نشان داد که اضافه کردن حلال آلی دی اتیل هگزیل فسفریک اسید (D_2EHPA) به امولسیون‌زدایی کمک می‌کند. میکروموج‌ها برای قطرات بزرگ‌تر امولسیون ($>m\mu 10$) مؤثرتر بودند.

در سال ۲۰۰۴، ژیا[6] و همکارانش، تأثیر آسفالتین و رزین در پایداری و امولسیون‌زدایی یک امولسیون را بررسی کردند[۲۰]. نتایج تجربی آنان نشان داد که اشعه تابش میکروموج می‌تواند آهنگ امولسیون‌زدایی در مقایسه با روش‌های گرمایشی متداول را بیشتر کند.

در سال ۲۰۰۶ عبدالرحمان نور[7] و همکارانش، مطالعاتی بر روی امولسیون‌زدایی شروع کردند؛ نتایج آزمایشگاهی آنان نشان داد میکروموج‌ها باعث کاهش گرانروی و جداسازی سریع‌تر امولسیون می‌شود و در امولسیون ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ آب/ نفت، تا ۸۰ درصد جداسازی را گزارش دادند. دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده یک اجاق میکروموج خانگی بود که امواج را با بسامد ۲۴۵۰ GHz تولید می‌کرد (شکل (۶))[۲۱].

1. Wolf
2. Fang
3. Nilsen
4. Chang
5. Chen
6. Xia
7. Abdurahman Nour



شکل ۶. دستگاه آزمایشگاهی به‌کار رفته برای امولسیون‌زدایی با میکروموج‌ها[۲۱].

در سال ۲۰۰۷ فرچنی[1] و همکارانش، اثر شوری، دما، حجم آب و pHدر امولسیون‌زدایی امولسیون تشکیل شده از نفت خام مطالعه کردند. برای امولسیون‌هایی که شامل حجم آب زیادند، جز وقتی pH بالا و آب نمک نیز همراه آن‌ها می‌شود، میکروموج‌ها در امولسیون‌زدایی کارایی بالایی دارد[۲۲].

پژوهش ژائو شانلین و همکاران در زمینهٔ جداسازی آب از نفت فوق سنگین در حضور نمک معدنی سدیم استات انجام شد. تأثیر همزمان غلظت نمک، دما و شدت پرتودهی و نیز توان پرتودهی را برای بدست آوردن شرایط بهینه بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده و شرایط بهینه در نمونه اول با توان ۲۲۵ وات، ۹۷/۸۸ درصد آب و در نمونه دوم با توان ۳۷۵ وات، ۹۳/۸۵ درصد آب از امولسیون جدا شد[۱۲].

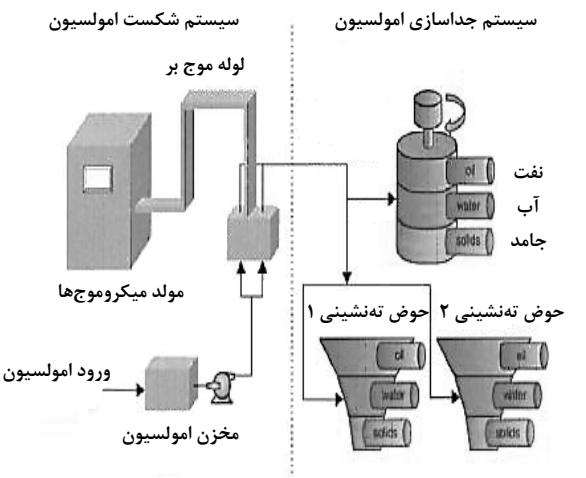
اخیراً، رافل پالو[2] و همکاران امولسیون زدایی از نفت خام را با بهره‌گیری از گرمایش معمولی و گرمایش انرژی میکروموج‌ها بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، ضمن بیان سازوکارهای امولسیون‌زدایی به کمک میکروموج، از مزایای گرمایش میکروموج نسبت به گرمایش متداول، ویژگی گزینشی و حجمی بودن انرژی میکروموج است که به این دلیل آب بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد[۱۴].

شرکت IPRC[3] روش جداسازی با میکروموج‌ها امولسیون‌ها را برای کاربردهای مواد نفتی و انرژی‌های تجدیدپذیر گسترش داده است.

هدف IPRC کاربرد تجاری انرژی امواج با بسامد رادیویی و میکروموج، برای جداسازی امولسیون‌هایی شامل آب، نفت و مواد جامد در مواد نفتی و صنایع همراه آن را، گسترش دهند.

در شکل (۷) طرحی از دستگاه ساخته‌شدهٔ شرکت IPRC را مشاهده می‌کنید که فناوری شکست امولسیون با میکروموج‌ها به همراه سیستم جداسازی را توصیف می‌کند.

از مزیت‌هایی که برای این سیستم بیان شد، می‌توان به عملکرد ساده، تعمیر و نگهداری کم هزینه، و بازگشت سرمایه اشاره کرد[۲۳].



شکل ۷. طرحی از دستگاه امولسیون زدایی ساختهٔ توسط شرکت IPRC [۲۳].

1. Fortuny
2. Rafael Palou
3. Imperial Petroleum Recovery Corporation

۴. نتیجه‌گیری کلی

انتقال نفت سنگین به کمک تشکیل امولسیون آن در نفت به عنوان فاز پیوسته، روشی بسیار مؤثر است و برای تسهیل در انتقال آن با کاهش گرانروی کاربرد دارد. تمام مراحل ساخت، انتقال و جداسازی امولسیون از اهمیت خاصی برخوردار است. در مرحله جداسازی امولسیون، تاکنون روش‌های مختلفی ارائه‌شده که هر کدام مزایا، مشکلات و محدودیت‌هایی دارند. یکی از روش‌های جایگزین، بهره‌گیری از گرمایش ناشی از انرژی میکروموج‌ها است که در تحقیقات صورت گرفته تاکنون مزایای آن در امولسیون‌زدایی نسبت به روش‌های گرمایش معمولی به اثبات رسیده است. از مزایای این روش می‌توان موارد زیر را یاد کرد:

۱. در روش‌های متداول، گرما از منبع حرارتی خارجی به ماده منتقل می‌شود ولی میکروموج در داخل مواد گرما تولید می‌کند و مشکلات متداولی چون گرمادهی طولانی مدت و اتلاف انرژی می‌تواند به حداقل برسد.

۲. فاز آبی امولسیون، بیشتر تحت تأثیر میکروموج قرار می‌گیرد که مقدار انرژی‌های مورد نیاز را کاهش می‌دهد.

۳. گرمایش مایکروویو به صورت حجمی است، یعنی فاز پراکنده (آب) فوری گرم می‌شود، بدون محدودیت‌های رسانش/همرفت که در انتقال گرمای معمولی رخ می‌دهد.

۴. کاهش گرانروی فاز پیوسته (نفت) به دلیل آثار گرمایی میکروموج‌ها رخ می‌دهد.

۵. کاهش پایداری در نتیجه تأثیر میکروموج که باعث چرخش مولکول‌های آب می‌شود، با خنثی کردن پتانسیل زتای فاز پراکنده، به شکسته شدن پیوند هیدروژن میان آب و ماده فعال سطحی منجر می‌شود.

۶. کاهش ضخامت سطح فیلم ماده فعال سطحی سبب افزایش فشار داخلی قطرات آب در ضمن تابش میکروموج می‌شود و در پیوند هیدروژن میان آب و ماده فعال سطحی را می‌شکند.

استفاده از میکروموج‌ها در مرحلهٔ تحقیق و توسعه جریان دارد و برای کاربردی کردن چنین فناوری‌هایی در مقیاس صنعتی، انجام تحقیقات پردامنه‌تری در زمینه شناخت امواج و ارتقای عملکرد آن‌ها از روش‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

مراجع

[1] Sanierel, A., Hénaut, I., Argillier, J. F., "Pipeline Transportation of Heavy Oils, a Strategic, Economic and Technological Challenge", Oil & Gas Science and Technology, Rev. IFP, Vol. 59 ,pp. 445-466, (2004).

[2] Gary, J. H., Handwerk, G. E., "Petroleum Refining: Technology and Economics", 4nd ed., New York: Marcel Dekker Inc, (2001).

[3] Evalueserve's special reports on Developments inmicro wave chemistry, "http://www.rsc.org/chemistry world/issues/2005/April/Microwavechemistry.asp," (2005).

[4] Belanger, J. M. R., Jocelyn Pare, J. R., Poon, O., Fairbridge, C., Ng, S., Mutyala, S., Hawkins, R., "Survey of recent industrial applications of microwave energy", Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy 4 24–44, (2008).

[5] Belanger, J. M. R., Pare, O., "Applications of microwave-assisted processes (MAP™) to environmental analysis", Anal Bioanal Chem, Vol. 386, p. 1049–1058, (2006).

[6] Pelle Lidstrom, J. W., "Microwave assisted organic synthesis a review," Tetrahedron, vol. 57, p. ۹۲۲۵±۹۲۸۳, (۲۰۰۱).

[7] Lin, C. Y., Chen, W., "Emulsification Characteristics of Three and Two-Phase Emulsions Prepared by the Ultrasonic Emulsification Method", Journal of Fuel Processing Technology, Vol. 87, pp. 309 – 317, (2006).

[8] Elektorowicz, M., Habibi, M., Chifrina, R., "Effect of Electrical Potential on the Electro-Demulsification of Oily Sludge," Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 295, pp. 535-54, (2006).

[9] Al-Shamrani, A., Jamesa, A., Xiao, H., "Destabilisation of Oil–Water Emulsions and Separation by Dissolved Air Flotation", Journal of Water Research, Vol. 36, pp. 1503-1512, (2002).

[10] Zhang, Z., Xu, G., Wang, F., Dong, S., Chen, Y., "Demulsification by Amphiphilic Dendrimer Copolymers", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 282, pp. 1-4, (2005).

[11] Srijaroonrat, P., Julien, E., Aurelle, Y., "Unstable Secondary Oil/Water Emulsion Treatment Using Ultrafiltration, Fouling Control by Backflushing", Journal of Membrane Science, Vol. 159, pp. 11-20, (1999).

[12] Binner, E. R., Robinson, J. P., Silvester, S. A., Kingman, S. W., Lester, E. H., "Investigation into the mechanisms by which microwave heating enhances separation of water-in-oil emulsions", Journal of Fuel, Vol. 116, pp. 516-521, (2014).

[13] Nour, A., Anisa, A. N., Azhari, H., "Demulsification of water-in-oil (W/O) emulsion via microwave irradiation: An optimization", Journal of Scientific Research and Essays, Vol. 7(2), pp. 231-243, (2012).

[14] Martínez-Palou, R., Cerón-Camacho, R., "Demulsification of heavy crude oil-in water emulsions: A comparative study between microwave and thermal heating", Journal of Fuel, Vol 113, pp. 407-414, (2013).

[15] Gunal, O. G., Islam, M. R., "Alteration of asphaltic crude rheology with electromagneticand ultrasonic irradiation," Petroleum Science and Engineering, Vol. 26, p. 263–272, (2000).

[16] Wolf, N., "Use of microwave radiation in separating emulsion and dispersions of hydrocarbons and water", U.S Patent 4, 582, 629, 15 April (1986).

[17] Fang, C. S., Lai, P. M. C., Chang, B. K. L., Klaila, W. J., "Microwave demulsification", J. Environ. Prog. 8, pp. 235-238, (1989).

[18] Nilsen, A., "Method for separating an emulsion by using microwave radiation". WO Patent 0112289, (2001).

[19] Chan, C. C., Chen, Y. C., "Demulsification of W/O emulsions by microwave radiation", Separation Science and Technology, Vol. 37, p. 3407–3420, (2002).

[20] Xia, L. U., Lu, S., Cao, G., "Stability and demulsificaiton of emulsions stabilized by asphaltenes or resins", Journal of Colloid and Interface Science 271, Vol. 271, p. 504–506, (2004).

[21] Nour, A., Rosli M. Y., Zulkifly, J., "Stability and Demulsification of Water-in-Crude Oil (w/o) Emulsions Via Microwave Heating", Applied Science, Vol. 6, pp. 1698-1702, (2006).

[22] Fortuny, M., Oliveira, C. B. Z., Melo, R. L. F., Nele, M., Coutinho, R. C. C., Santos, A. F., "Effect of salinity, temperature, water content and PH on the microwave demulsification of crude oil emulsions", Energy & Fuels , Vol. 21, pp. 1358–1364, (2007).

[23] IPRC, http://www.iprc.com/oil-recovery-technology. php. Imperial Petroleum Recovery Corporation, Inc, 6 February (2006).