بررسی روش‌های مختلف نمک‌زدایی از نفت خام و نحوه عملکرد انواع نمک‌زدای الکترواستاتیکی

اشکان ملکی[1*]، مهرزاد محمودی[2]، احسان پورولی[3]

۱. ایران، ایلام، میدان نفتی آذر، کارشناس فرایند، شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری صنایع نفت (اُیکو).

۲. ایران، ایلام، میدان نفتی آذر، مدیر پروژه، شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری صنایع نفت (اُیکو).

۳. ایران، ایلام، میدان نفتی آذر، مدیر سایت، شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری صنایع نفت (اُیکو).

نویسندهٔ مسئول ایمیل: a.maleki.16020@oico.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۸

چکیده

نمک‌های همراه نفت، با توجه به مبدأ و منشأ تولیدشان معمولاً شامل املاح سدیم، پتاسیم و منیزیم هستند. یکی از بهترین و مؤثرترین روش‌های جداسازی آب نمک از نفت خام، استفاده از میدان الکترواستاتیکی است. در این روش، قطرات در حضور میدان الکتریکی پلاریزه شده و یک نیروی الکترواستاتیکی بین آن‌ها ایجاد می‌شود که باعث نزدیک شدن قطرات و انعقاد آن‌ها می‌شود. با استفاده از میدان الکتریکی می‌توان سرعت انعقاد یک فاز پراکنده در امولسیون را افزایش داد. از این رو روش-های مبتنی بر جریان الکتریکی مطرح شده‌اند. از دیدگاه بازدهی انرژی، جداسازی الکتریکی، بهترین روش شکستن امولسیون و نمک‌زدایی نفت می‌باشد؛ بنابراین در موقعی که قطرات آب‌نمک به‌سختی از نفت جدا می‌شوند از جریان الکتریسته استفاده می‌گردد. اصول بنیادی نمک‌زدایی الکتروستاتیک نفت خام را می‌توان در ادغام قطرات کوچک آب تحت میدان الکتریکی اعمال شده و تشکیل قطرات بزرگ‌تر آب با سرعت ته‌نشینی بالاتر خلاصه کرد.

کلمات کلیدی: نمک‌زدایی، امولسیون، میدان الکتریکی، نفت خام.

۱. مقدمه

نفت خام استخراج‌شده از مخزن، حاوی برخی از اجزا مانند گاز، آب، نمک، ذرات جامد و غیره است. نمکی که غالباً در نفت خام وجود دارد کلریدهای کلسیم، سدیم و منیزیم هستند. نمک کلریدسدیم، بخش اصلی نمک موجود در نفت خام را تشکیل می‌دهد. تقریباً در تمامی موارد، نمک موجود در نفت خام به صورت حل شده در قطرات کوچک آب ظاهر می‌شود و کلریدها و سولفات‌ها نیز به حالت محلول در قطره‌های آب حضور دارند [۱]. در بیشتر میادین نفتی جهان، آب و نمک قابل‌توجهی در نفت استخراج‌شده وجود دارد که میادین ایران نیز از این قاعده مستثنی نیستند. نمک‌زدایی نفت خام به دلیل رابطه بین قیمت نفت خام صادراتی و کیفیت آن، ضروری است [۲]. آب تولید شده با نفت خام در میادین نفتی ایران، حاوی نمک در غلظت‌هایی از ۲۲۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ پی پی ام است. تقریباً در همه موارد، نمک، محلول در آبی است که در نفت خام پراکنده شده است. این آب‌نمک به صورت امولسیون در نفت خام وجود دارد و جداسازی آن کار ساده‌ای نیست [۳]. میزان آب همراه با نفت خام به نحوه استقرار فازهای درون مخزن، موقعیت جغرافیایی حوزه نفتی، طول عمر مخزن، نحوه استخراج و ... بستگی دارد[۴]. افزایش یک پی پی ام آب و آب‌نمک در نفت خام، ارزش آن را تقریباً

۰/۸۵ - ۱/۳ دلار در هر بشکه کاهش می‌دهد [۲].

هدف اصلی فرایند نمک‌زدایی نفت خام، دستیابی به خلوص کافی محصول از نظر حذف نمک و آب همراه آن است. بخشی از آب‌نمک در جداکننده‌های چندفازی به روش ثقلی جدا می‌شود. اما بخش دیگر آن باید با انتخاب روش مناسب نمک‌زدایی جدا گردد. روش معمول نمک‌زدایی، روش الکترواستاتیکی است که از میدان الکتریکی استفاده می‌کند. در نمک‌زدای الکترواستاتیکی شکل (۱) با اعمال میدان الکتریکی و ادغام قطرات کوچک به قطرات بزرگ‌تر، راندمان جداسازی آب‌نمک از نفت خام به طور چشمگیری بهبود می‌یابد. تزریق مناسب و دقیق آب و مواد شیمیایی به نفت خام و عملکرد صحیح ترانسفورماتور در ایجاد میدان الکتریکی، از جمله عوامل مؤثر بر بهبود راندمان جداسازی آب‌نمک از نفت خام می‌باشند. چنانچه میزان املاح موجود در نفت خام از ۱۰ پوند در هزار بشکه بر حسب کلریدسدیم بیشتر باشد، باید نفت خام را نمک‌زدایی کرد. با انجام مناسب این فرایند، از بروز معضلاتی نظیر خوردگی خطوط انتقال نفت، تجهیزات پایین‌دستی و همچنین مسمومیت کاتالیست‌های پالایشگاهی جلوگیری می‌شود. با تضمین کیفیت نفت خام صادراتی، از افت قیمت فروش نفت خام نیز پیشگیری خواهد شد [۵، ۱].

معمولاً برای جداسازی امولسیون آب در نفت خام در تجهیزی به نام نمک‌زدا از اثر هم‌زمان حرارت، زمان‌ماند و میدان الکتریکی استفاده می‌شود. در فرایند نمک‌زدایی از نفت خام، معمولاً حجم مشخصی از آب تازه (۵-۲ درصد) را در یک شیر اختلاط و با اعمال افت فشار مناسب (۲۰ -۵ psi) با جریان نفت خام ورودی مخلوط می‌کنند. این عمل باعث رقیق شدن نمک در فاز آب خواهد شد. سپس امولسیون آب در نفت خام برای جداسازی وارد دستگاه نمک‌زدا می‌شود. استفاده از دمولسی‌فایر نیز برای بهبود عملیات جداسازی، رایج است و معمولاً به‌ازای هر بشکه نفت خام، میزان ۰/۰۰۵- ۰/۰۱ پوند از این مواد استفاده می‌شود [۶، ۵].

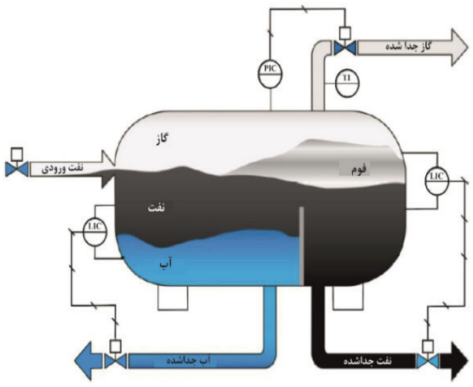
شکل ۱. نمونه‌ای از یک مخزن نمک زدای الکترواستاتیکی

۲. روش‌های جداسازی آب نمک از نفت خام

انواع روش‌های جداسازی آب نمک از نفت خام عبارتند از: روش ثقلی، مکانیکی، شیمیایی، حرارتی، ته‌نشینی و الکتریکی که در ادامه به شرح هر یک از این روش‌ها پرداخته می‌شود. با توجه به ویژگی‌های نفت خام هر منطقه از یک یا ترکیبی از این روش‌ها استفاده می‌گردد.

۱.۲. جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش ثقلی

این روش معمولاً در مخازن ته‌نشین‌کننده یا مخازن جداکننده آب صورت می‌گیرد و طی آن نفت وارد مخزن بزرگی (مخزن ائتلاف‌کننده) که دارای ورقه‌های حلزونی‌شکلی است می‌شود شکل (۲). طی کردن این مسیر ۲۴ تا ۳۶ ساعت زمان می‌برد. طی این حرکت، چون آب، سنگین‌تر از نفت است در اثر نیروی وزن، قطرات آب نمک موجود در فاز پیوسته نفت به‌تدریج خارج می‌شوند و به‌هم می‌پیوندند و به سمت پایین مخزن می‌روند. برای جداسازی بهتر از مواد شیمیایی نیز استفاده می‌شود [۷]. این مواد شیمیایی در فصل مشترک آب و نفت موجب ادغام قطرات آب و سقوط آن‌ها به طرف پایین مخزن می‌شوند [۱].



شکل ۲. جداسازی آب‌نمک از نفت به روش ثقلی

۲.۲. جداسازی آب نمک از نفت خام به روش مکانیکی

نمک‌زدایی با این روش به سه صورت فیلتر کردن، گریز از مرکز و ازدیاد سطح تماس صورت می‌گیرد. روش‌های فیلتر کردن و گریز از مرکز در آزمایشگاه به‌کار می‌روند. ولی روش ازدیاد تماس در مخازن ائتلاف‌کننده کارایی دارد. در روش مکانیکی، غالباً از مخازن ثقلی که دارای صفحات کنگره‌دار می‌باشند، استفاده می‌گردد. این صفحات به علت سطح تماس بالایی که ایجاد می‌کنند، موجب تجمع زیاد قطرات آب می‌شوند. در واقع، در این روش، از اختلاف نیروی برشی

بین آب و نفت برای جداسازی بهتر و قانون ثقلی استوک در راستای زیاد شدن سطح تماس استفاده می‌شود. این فرایند به‌شدت وابسته به زمان است. اگر تغییرات فشار و سرعت از حدی بیشتر شود قطرات آب دیگر توانایی ادغام ندارند و اتصال آن‌ها قبل از تکمیل شدن عمل ائتلاف شکسته می‌شود [۹، ۸].

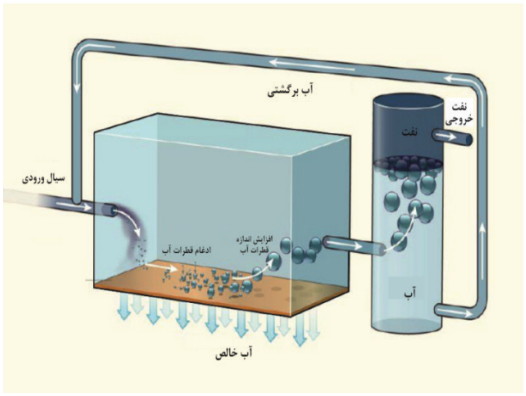
۳.۲. جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش شیمیایی (مواد تعلیق‌شکن)

برای تصفیه نفت خام از مواد شیمیایی همچون دمولسی‌فایر که شکننده امولسیون‌ها هستند استفاده می‌شود. این تعلیق‌شکن‌ها، فعال‌کننده سطح هستند و موجب می‌شود فیلم نازک اطراف قطرات امولسیونی آب پاره شود؛ در نتیجه، سرعت ادغام و ته‌نشینی قطرات آب بالا می‌رود. در مقدار تزریق این مواد باید دقت زیادی شود؛ زیرا اگر بیش‌ازحد مجاز تزریق گردد موجب ایجاد مواد امولسیون جدیدی می‌شود. تعلیق‌شکن‌ها در آب‌نمک نامحلول هستند اما در نفت به‌شدت محلول می‌باشند و به همین دلیل به‌سرعت در فاز پیوسته نفت نفوذ می‌کنند و موجب ادغام قطرات آب‌نمک می‌شوند [۱۱، ۱۰، ۹].

خواص نفت خام و نوع مواد امولسیونی، مهم‌ترین پارامترها در تعیین نوع ماده تعلیق‌شکن هستند. سولفیدهای آهن، خاک رس و ... به‌راحتی با آب شیرین شسته می‌شوند و از نفت جدا می‌گردند اما برای شکسته شدن سطح امولسیونی پارافینی و آسفالتی حتماً باید مواد تعلیق‌شکن تزریق گردد. تزریق این مواد قبل از پمپ‌های گردش آب واحد نمک‌زدایی موجب اختلاط بهتر و بیشتر با نفت می‌شود [۱۰، ۱۲].

۴.۲. جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش حرارتی

در اثر گرم شدن، غلظت نفت کاهش می‌یابد و این عمل باعث تضعیف دیواره خارجی اطراف امولسیون‌ها می‌شود. به‌منظور تسهیل در شکستن امولسیون‌ها و جداسازی بهتر آب‌نمک، از مواد تعلیق‌شکن استفاده می‌شود. افزایش بیش‌ازحد دمای نفت موجب تبخیر و خارج شدن هیدروکربن‌های سبک و فرار از نفت خام می‌شود که این امر باعث هدررفت ترکیبات مفید نفت و کاهش API آن می‌شود. در این روش شکل (۳)، افزایش حرارت، یکی از عوامل مؤثر در جدایی قطرات آب از نفت است که این عمل در کوره‌ها یا پیش‌گرمکن‌ها انجام می‌شود. در زیر این کوره‌ها سوراخ‌هایی تعبیه شده که می‌توان از طریق آنها شعله را دید و صدای اشتعال آن را نیز شنید [۱۳، ۱۴].



شکل ۳. جداسازی آب نمک از نفت به روش حرارتی

۵.۲.جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش ته‌نشینی

در روش ته‌نشینی نفت مدت زمان زیادی در یک مکان به حالت سکون باقی می‌ماند. در این روش، تنها قطرات درشت‌تر آب‌نمک که کمتر حالت امولسیون دارند از نفت جدا می‌گردند. این عملیات در مخزن ائتلاف‌کننده ثقلی انجام می‌شود. در این مخزن بسیار بزرگ و حلزونی‌شکل، نفت از مرکز قسمت حلزونی وارد می‌شود و طی زمانی حدود ۱۶ ساعت به خروجی مخزن می‌رسد. در طول این مدت، مقداری از قطرات آب‌نمک در اثر اختلاف گرانیتی به داخل فاز آبی که در ته مخزن قرار دارد سقوط می‌کنند. به دلیل هزینه بالای ساخت و اشغال کردن فضای زیادی از کارخانه‌ها وهمچنین بازده نسبتاً پایین، در کارخانه‌های جدید، از این گونه مخازن استفاده نمی‌شود [۱۵].

۶.۲.جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش الکتریکی

یکی از روش‌های مؤثر نمک‌زدایی و دهیدراته کردن، روش الکتریکی است. از آنجایی که مولکول‌های آب قطبی هستند، نمک‌زداهای الکتریکی با ایجاد ولتاژ بالا (kv ۱۰-۳۵) باعث القای قطبی در این مولکول‌ها می‌شوند. در نتیجه، این مولکول‌ها سریع‌تر به هم می‌چسبند و در اثر وجود بارهای مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند و بزرگ‌تر می‌شوند. این ذرات دائماً سنگین‌تر می‌شوند و بر اثر نیروی ثقل در پایین مخزن جمع‌آوری و در نهایت فاز آب از نفت جدا می‌گردد. نیروهای الکتریکی هزاران بار از نیروی ثقلی قوی‌تر هستند و این میدان الکتریکی در واقع فیلم تشکیل شده در اطراف قطرات آب را می‌شکند و قطرات آب بزرگ‌تر می‌شوند و سرعت ته‌نشینی افزایش می‌یابد. این نوع نمک‌زداها در مقایسه با نمک‌زداهای حرارتی از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر هستند [۱۶].

۳. اصول جداسازی الکترواستاتیکی

سرعت جداسازی آب‌نمک از نفت خام، طبق رابطه استوکس با مربع اندازه قطره، رابطه مستقیم دارد (۱)؛ بنابراین اگر بتوانیم به روشی اندازه قطرات فاز آب موجود در نفت را رشد دهیم، سرعت و راندمان جداسازی، افزایش خواهد یافت. از این رو در نمک‌زدایی نفت‌خام با اعمال میدان الکتریکی، قطرات کوچک با یکدیگر ادغام و قطرات بزرگ‌تر تشکیل می‌شود [۱۷]. قطرات پراکنده در نفت خام، در صورتی که با انرژی کافی با یکدیگر برخورد کنند قادر خواهند بود بر موانع موجود غلبه کنند و با یکدیگر ادغام شوند. این موانع عبارتند از: لایه فیلم جذب شده در اطراف قطرات آب، ذرات ریز احاطه‌کننده قطرات، نیروی دافعه لایه دوتایی الکتریکی و کشش سطحی. البته نیروی کشش سطحی از طرف دیگر می‌تواند در لحظه ادغام به‌عنوان نیروی محرکه مطرح باشد ولی قبل از شروع ادغام شدن، نقش انرژی ممانعت‌کننده دارد که لازم است شکسته شود تا عمل ادغام بتواند انجام شود. به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از میدان الکتروستاتیکی، شرایطی را فراهم می‌سازد که ادغام بین قطرات بهبود یابد [۱۸، ۱۷].

$$v_c = \frac{g(\rho_c - \rho)d^2}{18\mu} \qquad (۱)$$

ذراتی که دارای سرعت کمتر از v_c باشند، در طول زمان ته‌نشینی، حذف نخواهند شد.

مخزن نمک‌زدای الکتروستاتیکی مخزنی افقی با رژیم جریان عمودی رو به بالا می‌باشد که اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن عبارتند از: سیستم توزیع خوراک ورودی، شبکه الکترودها، منبع الکتریکی ولتاژ بالا، مخزن تحت فشار، بوشینگ ورودی ولتاژ بالا، سیستم جمع‌آوری‌کننده محصول خروجی، سیستم کنترل سطح آب، سیستم شستشوی مواد جامد ته‌نشین‌شده کف مخزن [۱۹].

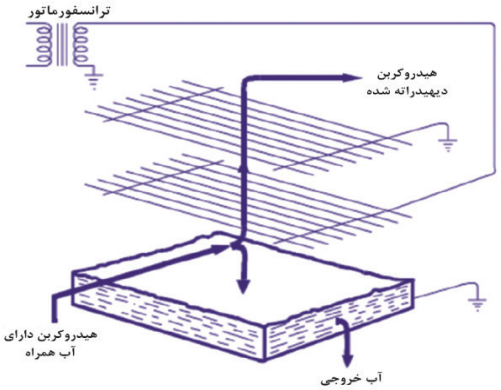
به‌منظور بالا بردن راندمان فرایند نمک‌زدایی، نیروهای الکتروستاتیکی باید بتوانند قطرات کوچک را با یکدیگر ادغام کنند. سه نیروی الکتروستاتیکی که بر قطرات آب اعمال می‌شوند عبارتند از: نیروهای دو قطبی، الکتروفورتیک و دی‌الکتروفورتیک. نیروی دو قطبی به‌واسطه جهت‌گیری مولکول‌های قطبی آب درون قطره ایجاد می‌شود و با شدت میدان الکتریکی، اندازه قطره و فاصله قطرات، متناسب است. نیروی الکتروفورتیک هم از نوع جاذبه و هم از نوع دافعه می‌باشد که در یک میدان ولتاژ یکنواخت میان قطرات باردار و الکترودها ایجاد می‌شوند. این نیروها با شدت میدان، اندازه قطره و ضریب گذردهی نفت متناسب است. نیروی دی‌الکتروفورتیک از نوع نیروهای جاذبه است که در یک میدان غیریکنواخت بین قطرات و الکترودها ایجاد می‌شود. این نیرو قطرات را به سمت میدان الکتریکی قوی‌تر هدایت می‌کند و با اندازه قطره و ضریب گذردهی نفت، متناسب است [۲۰].

۴. کاربرد میدان الکتروستاتیکی

عموماً سه نوع میدان الکتروستاتیکی به‌منظور افزایش میزان انعقاد قطرات آب پراکنده قابل استفاده است که عبارتند از: میدان جریان متناوب (AC)، میدان جریان مستقیم (DC) و میدان ترکیبی (AC/DC).

میدان جریان متناوب، قدیمی‌ترین و متداول‌ترین فناوری مورداستفاده در این زمینه است (سال ۱۹۱۵ میلادی). در این فناوری، یک میدان الکتریکی جریان متناوب با فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز بر امولسیون اعمال می‌شود. جریان متناوب به معنی شار بار الکتریکی‌ای است که به طور تناوبی، جهت آن عوض می‌شود. در نتیجه، سطح ولتاژ نیز همراه با جریان، برعکس می‌شود. تا زمانی که جریان و ولتاژ متناوب باشند، AC می‌تواند به شکل تعدادی موج باشد. اگر یک نوسان‌نما به مدار AC وصل و ولتاژ آن را رسم کنیم، پس از مدتی طولانی ممکن است شکل‌های مختلفی از امواج را ملاحظه کنیم. موج سینوسی، متداول‌ترین نوع AC است. این میدان، نیروی جاذبه دوقطبی را بین سرهای قطبی شده قطرات به‌وجود می‌آورد. نمک‌زدای AC شکل (۴) برای جداسازی حجم قابل‌توجه آب همراه نفت بسیار کارآمد است. با توجه به ماهیت نیروی جاذبه دوقطبی، هنگامی که درصد آب همراه بالا باشد فاصله قطرات از یکدیگر کم و در نتیجه اندازه این نیرو قابل توجه می‌باشد. ولی زمانی که درصد آب همراه کم باشد فاصله قطرات از یکدیگر زیاد می‌شود و در نتیجه، اندازه نیروی دوقطبی به‌شدت افت می‌کند؛ بنابراین عملکرد این نوع از نمک‌زدا به میزان آب همراه نفت حساسیت بالایی دارد [۵]. میدان AC توسط یک ترانسفورماتور متصل به الکترودهای افقی معلق در مخزن نمک‌زدا اعمال می‌شود. معمولاً یک میدان AC ضعیف بین الکترود و فصل مشترک دو فاز و یک میدان AC قوی بین الکترود شارژ شده و الکترود زمین برقرار می‌شود. مخلوط آب و نفت از بالای فصل مشترک دو فاز وارد مخزن می‌شود و در ابتدا در اثر میدان

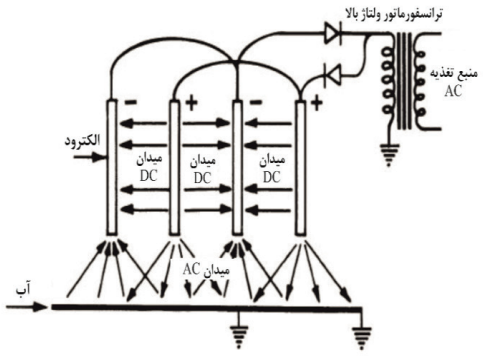
AC ضعیف، منعقد می‌گردد و بعد از آن به کمک میدان AC قوی، بیشتر منعقد و آب‌زدایی می‌شود [۲۱]. فناوری AC به دلیل افت ولتاژ اعمال‌شده، برای نفت خام‌های با رسانایی بالا مناسب نیست و موجب بزرگ شدن مخزن و منبع الکتریکی موردنیاز می‌گردد. اثر رسانایی بالای نفت خام در نمک‌زدای AC به‌صورت میدان الکتریکی ضعیف‌تر و در نتیجه، راندمان پایین‌تر عملیات جداسازی، بروز می‌کند؛ زیرا قطرات بسیار کوچک آب در این شدت میدان، قابل جداسازی نیستند [۲۰].



شکل ۴. نمای کلی یک مخزن نمک‌زدا AC [۲۱]

میدان DC به دلیل استفاده از نیروی الکتروفورتیک موجب افزایش برخورد بین قطرات آب می‌شود و در نتیجه، راندمان ادغام بسیار خوبی را ارائه می‌کند. با این حال در صورتی که از میدان DC برای یک امولسیون با میزان آب بالا استفاده شود موجب بُروز خوردگی الکتریکی خواهد شد. این مسئله، کاربرد نمک‌زداهای DC را فقط در مورد محصولات پالایش شده (با میزان آب خیلی کم) محدود کرده است [۱۹]. ماهیت ثابت و تک‌جهتی این میدان، موجب مهاجرت قطرات می‌شود و این امکان را فراهم می‌آورد تا احتمال انعقاد قطرات ریزی که با فاصله از یکدیگر قرار گرفته‌اند، افزایش یابد [۲۰].

تکنولوژی فناوری AC/DC مربوط به سال ۱۹۷۲ میلادی می‌باشد که با عنوان تجاری Dual Polarity برای به‌کارگیری ترکیبی از میدان‌های AC و DC به‌منظور دست‌یابی و استفاده از مزایای هر دو نوع میدان و پرهیز از مشکلات خوردگی میدان‌های DC مورد توجه قرار گرفت شکل(۵). در این فناوری، از صفحات عمودی به‌عنوان الکترود استفاده می‌شود که به‌صورت یکی در میان مثبت و منفی هستند. طراحی منبع الکتریکی، به‌گونه‌ای است که صفحات مثبت و منفی در نیم دوره‌های مخالف، باردار می‌شوند و بنابراین، گرادیان ولتاژ وارد بر قطرات، دو برابر می‌شود. از طرف دیگر، با این کار، احتمال جریان DC ثابت نیز از بین می‌رود و در نتیجه، امکان الکترولیز، قابل‌توجه نخواهد بود. همچنین، به دلیل آنکه صفحات الکترود در محیط نسبتاً خشک و نارسانای نفت قرار گرفته‌اند، اتلاف جریان DC نیز محدود می‌شود. سیستم AC/DC به نام فناوری قطبیت دوگانه نیز شناخته شده است [۲۳، ۲۲].روش خاص اتصال الکتریکی که در این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد یک میدان AC در ناحیه زیر الکترودها و یک میدان DC در بین الکترودهای عمودی مجاور هم برقرار می‌کند شکل (۶)؛ بنابراین میدان جریان مستقیم، محدود به ناحیه الکترودهای عمودی است؛ در حالی که ساختار استفاده شده، یک میدان AC را نیز درون مخزن ایجاد می‌کند که وظیفه آن، ممانعت از بروز خوردگی است. این ساختار، امکان مهاجرت و برخورد قطرات بسیار ریز باقیمانده را در میدان DC فراهم می‌کند تا حداکثر میزان حذف آب، حاصل شود [۲۴، ۲۰].



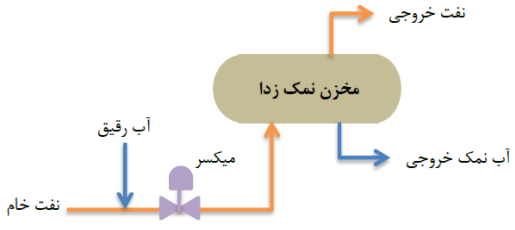
شکل ۵. نمای کلی یک نمک‌زدای الکترواستاتیکی ترکیبی [۲۶]

کاهش مصرف انرژی الکتریکی نیز یکی از مزایای این فناوری محسوب می‌شود؛ به طوری که مصرف برق حدود ۶۰ درصد فناوری AC است. همچنین این فناوری قادر به حذف قطرات با اندازه کوچک‌تر می‌باشد؛ به طوری که فناوری AC قادر است قطرات بزرگ‌تر از ۳۰ میکرومتر را جدا کند ولی در قسمت میدان DC امکان جداسازی قطرات کوچک‌تر از ۳۰ میکرومتر هم میسر می‌شود. فناوری AC/DC راندمان آب‌زدایی بالاتری دارد و در مقابل، تغییرات آب موجود در نفت خام در دامنه وسیعی (۳۰ - ۱ درصد) تطابق‌پذیری بالایی دارد.

شکل ۶. نمای درونی یک مخزن نمک‌زدا الکترواستاتیکی ترکیبی

۵. شرح فرایند نمک‌زدایی

پیش از انجام نمک‌زدایی، نیاز به پیش‌فرایندهایی است که در آن آب آزاد نفت جدا می‌شود. این فرایند معمولاً در جداکننده سه فازی افقی یا عمودی انجام می‌پذیرد. اگر زمان‌ماند، دما و فشار برای این مخازن، به‌درستی طراحی گردد، مقدار زیادی از آب آزاد همراه نفت در این مخازن، جدا می‌گردد. دمای نفت ورودی به واحد نمک‌زدایی حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این دما اختلاط آب و نفت، به‌راحتی و درستی انجام می‌گیرد. عملیات نمک‌زدایی، بسته به ویژگی‌های نفت خام و میزان مجاز نمک در نفت خروجی، به‌وسیله مخلوط کردن نفت خام با ۳ تا ۱۰ درصد حجمی آب رقیق انجام می‌شود شکل (۷). نسبت آب به نفت و دمای عملیاتی، تابع دانسیته نفت خام می‌باشد. این مخلوط، تشکیل یک امولسیون آب در نفت می‌دهد که توسط روش الکتروستاتیکی قابل جداسازی است. حرارت دادن به دلیل کاهش گرانروی و کشش سطحی، به‌منظور اختلاط آسان‌تر نفت خام و آب شستشو انجام می‌پذیرد. حرارت دادن باعث کاهش گرانروی نفت خام و ایجاد نیروی بیشتر در حین برخورد قطرات آب می‌گردد. همچنین، گرانروی پایین‌تر باعث سرعت بخشیدن به ته‌نشینی قطرات آب در مخزن نمک‌زدا می‌شود [۲۵].



شکل ۷. نمای کلی نمک‌زدایی

به‌منظور رقیق کردن نمک‌های موجود در امولسیون آب- نفت، قبل از ورود به نمک‌زدا توسط شیر اختلاط آن را با آب شیرین رقیق می‌کنند. شیر اختلاط قطرات آب را برش می‌دهد و آن‌ها را به ذراتی ریز تبدیل می‌کند. سپس در مرحله بعدی، سیال از میکسرهای استاتیکی عبور می‌کند و در آن، ذرات بسیار ریز آب با هم ادغام می‌شوند. تزریق آب رقیق، قبل از میکسر استاتیکی انجام می‌شود. حذف ذرات بسیار ریز آب در میکسر، بازده کار را در مخزن نمک‌زدا بالا می‌برد. علاوه‌بر رقیق‌سازی، مواد تعلیق‌شکن همچون دمولسی‌فایر نیز به خط ورودی مخزن نمک‌زدا تزریق می‌شود تا بدین طریق قطرات بسیار ریز آب نیز با یکدیگر ادغام و از مخزن خارج شوند. مهم‌ترین پارامتری که در مخزن نمک‌زدا باید کنترل گردد، ارتفاع سطح مشترک آب- نفت است. بالا رفتن بیش از حد سطح آب، مصرف توان الکتریکی را افزایش می‌دهد و در صورتی که این روند ادامه پیدا کند منجر به اتصال کوتاه بین الکترودها می‌شود. پایین آمدن بیش‌ازحد سطح آب نیز موجب افزایش میزان نفت همراه جریان پساب خروجی می‌شود و در نتیجه، علاوه‌بر هدر رفتن نفت خام، موجب بروز مشکلات در بخش تصفیه پساب واحد نمک‌زدایی خواهد شد. بنابراین، علاوه بر کنترل‌گر سطح آب، سیستم‌های مجزای دیگری به‌عنوان کنترل‌کننده سطح بالای آب و کنترل‌کننده سطح پایین آب با استفاده از تجهیزات الکترونیکی مشابه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. نفت خام، جامدات مختلفی همراه خود دارد. این جامدات می‌توانند در اندازه کوچک یا خیلی ریز باشند. جامدات (ماسه، رس، سولفیدآهن، اکسیدآهن و مواد جامد دیگر) در کف مخزن نمک‌زدایی، رسوب و گل ایجاد می‌کنند. برای مخازن نمک‌زدایی، داشتن یک سیستم شستشوی گل برای از بین بردن گل از کف مخزن بسیار مهم است شکل (۸). باید حداقل هفته‌ای یک‌بار گل‌ولای شستشو شوند. اگر اجازه داده شود گل برای چندین هفته جمع شود، فشرده می‌شود و دیگر نمی‌توان به‌راحتی آن را از نمک‌زدا خارج کرد [۱۸، ۱۹].

شکل ۸. نمای کلی سیستم شستشوی گل درون مخزن نمک‌زدا الکترواستاتیکی

اصولاً راندمان عملیات نمک‌زدایی توسط سه عامل تعیین‌کننده کنترل می‌شود که عبارتند از: میدان الکتریکی، خواص سیالات و مواد شیمیایی. هرچند تأثیرگذاری میدان الکتریکی بسیار مهم‌تر و تعیین‌کننده‌تر می‌باشد ولی معمولاً مواد شیمیایی نیز به‌منظور بهبود عملیات نمک‌زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دمولسی‌فایرها برای ناپایدار کردن فیلم احاطه‌کننده اطراف قطرات آب و انتقال آن فیلم به درون فاز نفتی به کار می‌روند. دمولسی‌فایر با تجمع روی سطح قطرات و حذف فیلم مذکور به ادغام قطرات آب کمک می‌کند. مواد دمولسی‌فایر معمولاً موجب کاهش کشش سطحی بین نفت و آب می‌شوند [۲۶].

به‌طور خلاصه، فرایند نمک‌زدایی الکترواستاتیکی شامل این مراحل است: حرارت دادن، تزریق مواد شیمیایی، افزودن آب شیرین، اختلاط، تلفیق الکتریکی و ته‌نشینی گرانشی. بسته به مشخصات نفت خام و استانداردهای موردنیاز، فرایند نمک‌زدایی می‌تواند به‌صورت یک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای انجام شود. به‌طور کلی، ترکیبی از تأثیر فیزیکی و افزودن مواد شیمیایی، گرمایش و میدان الکترواستاتیکی مؤثرترین روش برای حل یک امولسیون نفت/ آب است. معمولاً برای ارزیابی مشخصات نفت خام خروجی از واحد نمک‌زدایی، یک نمونه گیر در جریان نفت خام خروجی واحد وجود دارد. تا مشخصات نفت در آزمایشگاه آنالیز شود. یک ولو کنترلی نیز روی خروجی هر واحد نمک‌زدایی در نظر گرفته می‌شود تا اطمینان حاصل شود که فشار عملیاتی نمک‌زداها بالاتر از فشار بخار نفت است (برای جلوگیری از بخار شدن نفت در ترین‌های نمک‌زدایی).

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، نمک‌زدایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل تصفیه نفت خام موردمطالعه قرار گرفت. به همین منظور، نحوه جداسازی آب شور همراه با نفت در اثر انعقاد ذرات کوچک‌تر آب تحت تأثیر میدان الکتریکی و ایجاد قطرات بزرگ‌تر آب بررسی شد. جداسازی آب‌نمک از نفت خام به روش الکترواستاتیکی، یکی از بهترین روش‌های جداسازی می‌باشد. انواع میدان الکتریکی قابل استفاده شامل میدان جریان متناوب، میدان جریان مستقیم و روش ترکیبی تشریح شد و مشخص گردید که میدان جریان مستقیم بر خلاف بازده بالایی که دارد، مشکلات فرایندی نیز به‌همراه دارد. میدان جریان متناوب برای فراورش نفت خام سنگین راندمان پایینی دارد اما برخلاف میدان جریان مستقیم مشکلات خوردگی را ندارد. در این میان روش ترکیبی AC/DC مزایای هر دو میدان را دارد و در نسل جدید نمک‌زدایی نفت خام مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مزایای این روش می‌توان به کوچک شدن ابعاد مخزن نمک‌زدا، پایین آمدن دمای عملیاتی و در نتیجه، کاهش مصرف سوخت و کاهش اتلاف نفت خام در اثر تبخیر، کاهش مصرف انرژی الکتریکی، توانایی حذف قطرات بسیار ریز، راندمان آب‌زدایی بالاتر و کاهش نیاز به مصرف مواد شیمیایی (دمولسی‌فایر) و در نتیجه تمیزتر شدن فاز آب اشاره کرد.

۷. مراجع

[1].Aryafard, E., M. Farsi, M. R. Rahimpour, and S. Raeissi. 2015. "Modeling Electrostatic Separation for Dehydration and Desalination of Crude Oil in an Industrial Two-Stage Desalting Plant." Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 58: 141–47. http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2015.06.028.

[2]. Vafajoo, Leila, Kamran Ganjian, and Moslem Fattahi. 2012. "Influence of Key Parameters on Crude Oil Desalting: An Experimental and Theoretical Study." Journal of Petroleum Science and Engineering 90–91(July): 107–11.

[3].Bahadori, A., and K. Zeidani. 2005. "Analysis of Crude Oil Electrostatic Desalters Performance." Canadian International Petroleum Conference 2005, CIPC 2005 (4).

[4].Bradley H.B., "Petroleum Engineering Handbook, by the Society of Petroleum Engineers", U.S.A., Third printing, 1992.

[5].Arnold K. and Stewart M., "Surface production operations, Design of Oil-Handling Systems and Facilities", Vol 1, Butterworth-Heinemann, 2nd ed., 1999.

[6].Berg, Gunnar, Lars E. Lundgaard, Michaël Becidan, and R. Svein Sigmond. 2002. "Instability of Electrically Stressed Water Droplets in Oil." IEEE International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids, ICDL (7): 220–24.

[7].Sharaf Eldean, Mohamed A., and A. M. Soliman. 2017. "A Novel Study of Using Oil Refinery Plants Waste Gases for Thermal Desalination and Electric Power Generation: Energy, Exergy & Cost Evaluations." Applied Energy 195: 453–77. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.052.

[۸].آرش امانی، احسان طیرانی نیک نژاد، محمد علی حسینی، مینوش رحیم لباف‌زاده، (۱۳۹۵)، «اندازه‌گیری توزیع ذرات قطرات امولسیون در نفت خام به روش NMR». دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران.

[۹].سپیده مرادی حقیقی، سجاد جوزیان، لیلا جمالی هندری، (۱۳۹۶)، «بررسی روش‌های مختلف نمک-زدایی از نفت خام». چهارمین کنفرانس بین‌المللی نوآوری های اخیردر شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران.

[10]. Binks, B. P., and C. P. Whitby. 2003. "Temperature-Dependent Stability of Water-in-Undecanol Emulsions." Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 224(1–3): 241–49.

[۱۱]. سیدرضا مزارعی، حسین اسماعیلی، داریوش جعفری، (۱۳۹۵)، «جداسازی امولسیون آب از نفت با ماده امولسیون‌زدا»، سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران.

[12]. Eotvos, R.,"Influence of temperature on interfacial films", Annalen der Physik, Vol. 27, pp. 448-460, 1886.

[13]. Stasiuk, Elaine N., and Laurier L. Schramm. 2001. "The Influence of Solvent and Demulsifier Additions on Nascent Froth Formation during Flotation Recovery of Bitumen from Athabasca Oil Sands." Fuel Processing Technology 73(2): 95–110.

[۱۴]. حسین کشاورز، نادیا اسفندیاری، (۱۳۹۴)، «بررسی روش‌های نمک‌زدایی از نفت خام»، سومین همایش ملی نفت و گاز و صنایع وابسته، کرمان، ایران.

[۱۵]. علی نجمی، علی رنجکش،(۱۳۹۵)، «بررسی فرایندهای نمک‌زدایی از نفت خام و مقایسه تکنولوژی‌های نوین نمک‌گیرهای برقی با روش سنتی موجود و امکان‌سنجی استفاده از این تکنولوژی‌ها جهت افزایش بازده نمک‌زدایی»، دومین همایش ملی نفت و گاز و پتروشیمی، گچساران، ایران.

[۱۶]. امین منظوری، سمیرا عامری، (۱۳۹۵)، «اختلاط آب رقیق‌سازی و آب موجود در نفت در فرایند نمک‌زدایی از نفت خام به روش الکترواستاتیک»، سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران.

[17]. Mohammadi Mehdi, Shahrokh Shahhosseini, and Mahmoud Bayat. 2011. "The Effect of Electric Field on Water Droplets Coalescence." (May 2015).

[18]. Mohammad Mahdi, Shahrokh Shahhosseini, and Mahmoud Bayat. 2014. "Numerical Study of the Collision and Coalescence of Water Droplets in an Electric Field." Chemical Engineering and Technology 37(1): 27–35.

[19]. Kvamsdal D., Electrostatic Dehydration of Oil, Separation Technology Conference, Stavanger, Norway, 2011.

[20]. Sams G.W. and Warren K.W., New methods of application of electrostatic fields, AIChE spring meeting, New Orleans, 2004.

[21]. Warren K.W., Sams G.W. and Nakayama T., "Electrostatic fields: essential tools for desalting", NATCO Group, Presented at AIChE spring meeting, New Orleans, (1998).

[۲۲]. مهدی محمدی، شاهرخ شاه‌حسینی و محمود بیات، بررسی اثر ولتاژ و دما بر عملکرد نمک‌زدا نفت خام با استفاده از شبیه‌سازی CFD، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد CFD در صنایع شیمیایی و نفت، اهواز، ایران، ۱۳۹۱.

[23]. Prestridge F.L., US Patent No. 3772180, 1973.

[۲۴]. فرهاد باقری اصل، جاسم دیناروند، علی عساکره، (۱۳۹۵)، «مطالعه آزمایشگاهی تأثیر به‌سزایی کیفیت آب تزریقی به نفت خام و روش افزایش عملکرد فرایند نمک‌زدایی و کاهش مصرف آب در واحدهای نمک‌زدایی اهواز»، سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران.

[25]. Francis S. Manning and Richard E. Thompson, "Oilfield Processing", Vol. two: Crude Oil, 1991.

[26]. Sams G.W., Challenges of Desalting Canadian Crudes, Joint Canadian Crude Quality Technical Association/Crude Oil Quality Association Meeting, New Orleans, US, 2010.

Investigation of Different Methods of Desalination of Crude Oil and the Operation of Various Types of Electrostatic Desalination

Ashkan Maleki[1*], Mehrzad Mahmoudi[2], Ehsan Pourvali[3]

1. Iran, Ilam, Azar oil field, process expert, Oil Industries' Commissioning and Operation Company (OICO).

2. Iran, Ilam, Azar oil field, project manager, Oil Industries' Commissioning and Operation Company (OICO).

3. Iran, Ilam, Azar oil field, site manager, Oil Industries' Commissioning and Operation Company (OICO).

Corresponding Author, Email: a.maleki.16020@oico.ir

Abstract

Oil-associated salts, depending on their origin, usually contain sodium, potassium, and magnesium. One of the best and most effective ways to separate salt water from crude oil is to use an electrostatic field. In this method, the droplets are polarized in the presence of an electric field and an electrostatic force is created between them, which causes the droplets to approach and coagulate. Using an electric field, the coagulation rate of a dispersed phase in an emulsion can be increased. Therefore, methods based on electric current have been proposed. From an energy efficiency point of view, electrical separation is the best way to break the emulsion and desalinate the oil. Therefore, an electric current is used when the salt water droplets are difficult to separate from the oil. The basic principles of electrostatic desalination of crude oil can be summed up as the application of small droplets of water under an electric field and the formation of larger droplets of water with higher settling velocities.

Keywords: *Desalination, Emulsion, Electrical Field, Crude Oil.*