

# بررسی پارامترهای مؤثر بر عملکرد فرآیند نمک‌زدای الکترواستاتیک به کمک شبکه عصبی

حامد کاظمی گلباغی<sup>۱</sup>، مهدی محمدی<sup>۲</sup>، سید حامد موسوی<sup>۱\*</sup> و سید محمدعلی موسویان<sup>۳</sup>

۱- آزمایشگاه فرآیندهای جداسازی و نانوفناوری، دانشکده فنی کاسپین، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران

۲- گروه فناوری‌های تبدیل و بهینه‌سازی، پژوهشکده توسعه فناوری‌های پالایش، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸

## چکیده

آنچه تحت عنوان نفت خام از چاه‌های نفتی استخراج می‌شود؛ در حقیقت امولسیون‌های ذرات ریز آب با اندازه کوچک‌تر از تقریباً  $100 \mu\text{m}$  است که در فاز نفتی پراکنده شده است. این امولسیون که امولسیون پایدار است؛ در صورتی که به دو فاز آب و نفت تفکیک نشود؛ موجب بروز مشکلات جدی در فرآیند انتقال و پالایش نفت خام خواهد شد. به منظور جداسازی آب و ترکیبات یونی همراه آن از نفت خام، واحدهای نمک‌زدایی که در آن‌ها از میدان الکتریکی با شدت بالا استفاده می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بازدهی این واحدها به متغیرهای متعددی وابسته است. در این پژوهش، اثر پارامترهای مختلف بر میزان نمک همراه نفت خروجی یک واحد نمک‌زدا مطالعه شده است. بدین منظور، شبکه عصبی بهینه شده به وسیله الگوریتم فاخته مورد استفاده قرار گرفته است. به کمک نتایج شبیه‌سازی، مقادیر بهینه دما، درصد آب تزریقی، افت فشار در شیر اختلاط و غلظت تعلیق‌شکن معین شده است؛ به طوری که این مقادیر به ترتیب برابر با  $79^\circ\text{C}$ ،  $0.3/25$ ،  $0.85 \text{ bar}$  و  $90 \text{ ppm}$  است. با توجه به اهمیت نوع تعلیق‌شکن، به منظور بررسی اثر آن بر سایر پارامترها، در مطالعه صورت گرفته، از چهار نوع تعلیق‌شکن متفاوت استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که افزایش آب و رسوبات همراه نفت و وزن مخصوص نفت خام، بر بازدهی فرآیند نمک‌زدایی تأثیر منفی دارند.

**کلمات کلیدی:** امولسیون آب در نفت، نمک‌زدای الکترواستاتیک، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

مقدمه

مقادیر متفاوتی از آب با غلظت‌های مختلف نمک محلول در آن تولید می‌شود. مطابق اطلاعات موجود، غلظت ترکیبات یونی همراه نفت در میدان‌های نفتی ایران حدود  $150000$  تا  $220000 \text{ ppm}$  است [۱].

همواره همراه نفت استخراج شده از مخازن نفتی،

\*مسئول مکاتبات

آدرس الکترونیکی: [mhmousavi@ut.ac.ir](mailto:mhmousavi@ut.ac.ir)

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.4287.2944)

با زمان ماند بالا است [۷ و ۸]. امروزه روش‌های مختلفی از جمله روش‌های گرمایی<sup>۲</sup>، جداسازی غشایی<sup>۳</sup>، سانتریفیوژ<sup>۴</sup>، ریزموج‌ها<sup>۵</sup> و امواج فراصوت<sup>۶</sup>، مواد شیمیایی تعلیق‌شکن<sup>۷</sup>، تنظیم pH<sup>۸</sup> و جداسازی الکترواستاتیکی<sup>۹</sup> جهت افزایش بازدهی جداسازی آب و نمک همراه نفت خام در مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی ارائه شده است [۹]. هر یک از روش‌های ذکر شده دارای مزایا و معایبی است؛ به طوری که در هیچ کدام از روش‌های ذکر شده به تنهایی دستیابی به جداسازی مطلوب امکان‌پذیر نیست. مهم‌ترین اثر روش‌های گرمایی، کاهش لزجت نفت خام و به طبع آن، افزایش سرعت ته‌نشینی قطرات آب است. اما افزایش دما مستلزم افزایش مصرف انرژی در فرآیند است [۱۰]. استفاده از سانتریفیوژها روشی مؤثر در جداسازی آب همراه نفت است ولی هزینه عملیاتی آن بالا است [۱۱]. تعلیق‌شکن‌ها با تأثیر بر خواص سطحی امولسیون آب در نفت موجب کاهش پایداری امولسیون می‌شوند اما ضمن هزینه بالا و افزودن مواد شیمیایی دیگر به امولسیون، آلودگی‌های زیست محیطی را تشدید می‌نماید [۱۲]. تغییرات pH بر پایداری امولسیون آب نفت تأثیرگذار است؛ اما با بکارگیری این روش به تنهایی، جداسازی مطلوب امکان‌پذیر ناست [۱۳]. از بین روش‌های مطرح شده، استفاده از میدان الکتریکی با بازدهی بیشتر، مصرف انرژی کمتر، سازگاری بیشتر با محیط زیست و زمان جداسازی کمتر، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها است [۱۴]. اساس بهره‌گیری از این روش، اختلاف هدایت الکتریکی<sup>۱۰</sup>، ثابت دی‌الکتریک<sup>۱۱</sup> و زمان آسایش<sup>۱۲</sup> دو فاز است [۱۵].

آب استحصال شده به همراه نمک، در اثر عبور از محیط متخلخل مخزن، شیرهای فشار شکن و سایر تنش‌های موجود در مسیر تولید و انتقال، به صورت قطرات ریز ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) در فاز نفتی پراکنده می‌شود [۲ و ۳]. ترکیبات فعال سطحی طبیعی<sup>۱</sup> موجود در فاز نفت از قبیل آسفالتین، رزین و واکس با تشکیل یک لایه حائل پایدار حول قطرات آب و جلوگیری از انعقاد (پیوند) قطرات با یکدیگر موجب پایداری امولسیون آب در نفت می‌گردند [۴]. امولسیون تشکیل شده اگرچه از نقطه نظر ترمودینامیکی ناپایدار است؛ اما از نظر سینتیکی می‌توانند در بازه طولانی از زمان پایدار باشد [۵]. حضور آب و ترکیبات یونی همراه آن که به صورت امولسیون آب در نفت ظاهر می‌شود؛ باعث ایجاد خوردگی در تجهیزات و خطوط لوله، رسوب ترکیبات یونی در تجهیزات، مسمومیت کاتالیست در فرآیندهای پایین دستی، افزایش مصرف انرژی و بروز مشکلات دیگری شده و با گذشت زمان و پیر شدن چاه، میزان آب تولیدی همراه نفت افزایش یافته و بر این مشکلات می‌افزاید [۶]. به دلایل ذکر شده و همچنین به منظور نیل به استانداردهای الزامی برای عرضه نفت خام در بازارهای بین‌المللی، جداسازی مؤثر آب و ترکیبات یونی همراه، قبل از انجام سایر مراحل فرآیندی و با تأکید بر رعایت الزامات زیست محیطی، ضرورتی انکارناپذیر تلقی می‌شود. برای تخمین سرعت جداسازی ثقلی قطرات آب از فاز پیوسته نفتی، با توجه به اختلاف چگالی دو فاز نفت و آب شور، از رابطه استوک به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$v = \frac{2r^2(\rho_d - \rho_c)}{\mu} \quad (1)$$

در این رابطه،  $v$  سرعت نسبی قطرات آب، شعاع این قطرات،  $\rho_c$  و  $\rho_d$  به ترتیب چگالی فاز آب (فاز پراکنده) و نفت (فاز پیوسته) و لزجت فاز نفت است. با توجه به اندازه کوچک قطرات آب، اختلاف کم چگالی دو فاز و لزجت بالای نفت سرعت جداسازی آب همراه پایین بوده و به منظور دستیابی به میزان جداسازی مطلوب نیاز به تانک‌هایی

1. Natural SURFACTANT
2. Heat Treatment
3. Membrane Separation
4. Centrifugal Settling
5. Microwave Radiation
6. Ultrasonic Energy
7. Chemical Demulsifier
8. pH Adjustment
9. Electrostatic Separation
10. Electrical Conductivity
11. Dielectric Constant
12. Relaxation Time

و میزان آسفالتین همراه نفت بر بازدهی فرآیند انعقاد الکتریکی در میدان جریان مستقیم پرداختند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد وجود آسفالتین در نفت خام موجب پایداری امولسیون می‌شود که با اضافه کردن تعلیق‌شکن در غلظت بهینه می‌توان بر این مشکل فائق آمد [۲۰]. لیو و همکارانش به بررسی اثر متقابل رزین و آسفالتین بر روی خواص و پایداری امولسیون آب در نفت پرداختند. با اضافه کردن رزین میزان تجمع آسفالتین در سطح آب و نفت افزایش یافته و پایداری امولسیون افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر رزین به دلیل تجمع رزین در سطح مشترک پایداری امولسیون کاهش می‌یابد [۲۱]. حدیدی و همکارانش با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به شبیه‌سازی انعقاد قطرات آب در حضور میدان الکتریکی غیریکنواخت پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که، شکل میدان غیریکنواخت اعمال شده و زاویه انحراف قطرات به صورت قابل ملاحظه‌ای بر بازدهی فرآیند اثرگذار است. [۲۲] مهدی و همکارانش به بررسی تأثیر دما، غلظت تعلیق‌شکن، نسبت آب تزریقی و زمان ماند و زمان اختلاط در مقایسه آزمایشگاهی در روش جداسازی ثقلی پرداختند [۲۳]. آریافر و همکارانش با استفاده از روش تعادل جمعیت به بررسی اثر شدت میدان الکتریکی و میزان افت فشار در شیر اختلاط در یک واحد نمک‌زدایی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی از  $2/5 \text{ kV/cm}$  به  $2 \text{ kV/cm}$  بازدهی جداسازی آب از  $96/4\%$  به  $97/8\%$ ، و نمک همراه از  $2/06 \text{ PTB}$  به  $0/66 \text{ PTB}$  کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان افت فشار در شیر اختلاط از  $20 \text{ psi}$  به  $30 \text{ psi}$  در نمک‌زدای مرحله دوم بازدهی جداسازی آب همراه  $0/14\%$  کاهش و نمک همراه از  $2/06 \text{ PTB}$  به  $2/14 \text{ PTB}$  افزایش می‌یابد [۱۷].

در این روش، فاز آب را رسانی در نظر گرفته که با اعمال میدان الکتریکی با شدت بالا، قطرات آب با توجه به نوع میدان تحت سه نیروی دوقطبی<sup>۱</sup>، الکتروفوریتیک<sup>۲</sup> و دی‌الکتروفوریتیک<sup>۳</sup> در جهت میدان حرکت نموده، منعقد شده و قطراتی با اندازه‌های بزرگ‌تر را تشکیل می‌دهند و بر اساس رابطه استوکس، با سرعت بیشتری ته‌نشینی اتفاق خواهد افتاد [۷ و ۱۶]. امروزه در واحدهای صنعتی نمک‌زدایی از نفت خام، از ترکیب روش‌های ذکر شده از قبیل جداسازی ثقلی، روش‌های گرمایی، مواد شیمیایی تعلیق‌شکن و میدان الکتریکی با شدت بالا به منظور دستیابی به حداکثر بازدهی استفاده می‌شود. تحقیقات گسترده‌ای در خصوص موضوع جداسازی امولسیون آب در نفت و افزایش بازدهی روش‌های موجود انجام شده است که متعاقباً پارامترهای مهمی از قبیل شدت و نوع میدان الکتریکی، فرکانس میدان الکتریکی، آرایش الکترودها، دمای فرآیند، سرعت اختلاط، زمان ماند، میزان آب رقیق‌کننده، نوع و میزان ماده تعلیق‌شکن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی امولسیون آب و نفت و ... به عنوان متغیرهای مؤثر در بازده فرایند شناسایی شده‌اند [۹ و ۱۷]. ژانگ و همکارانش به بررسی اثر فرکانس، شدت میدان و نوع میدان بر روی فرآیند انعقاد الکترواستاتیک<sup>۴</sup> پرداختند. بررسی آنها نشان داد که فرکانس، شدت میدان الکتریکی و شکل موج میدان الکتریکی اعمال شده بر بازدهی فرآیند بسیار مؤثر است. همچنین، موج مربعی از بین سه موج سینوسی، مربعی و مثلثی بیشترین بازدهی را در جداسازی آب همراه دارد [۱۸]. موسوی و همکارانش به بررسی اثر شدت میدان الکتریکی، اندازه قطرات و فاصله قطرات با الکتروود در تشکیل قطره ثانویه حین انعقاد قطرات اولیه با یکدیگر پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد با افزایش این سه پارامتر حجم قطرات ثانویه تشکیل شده افزایش می‌یابد؛ که این امر موجب کاهش بازدهی جداسازی می‌گردد [۱۹]. مهاتر و همکارانش به بررسی اثر غلظت تعلیق‌شکن

1. Dipolar Force

2. Electrophoretic Force

3. Dielectrophoretic Force

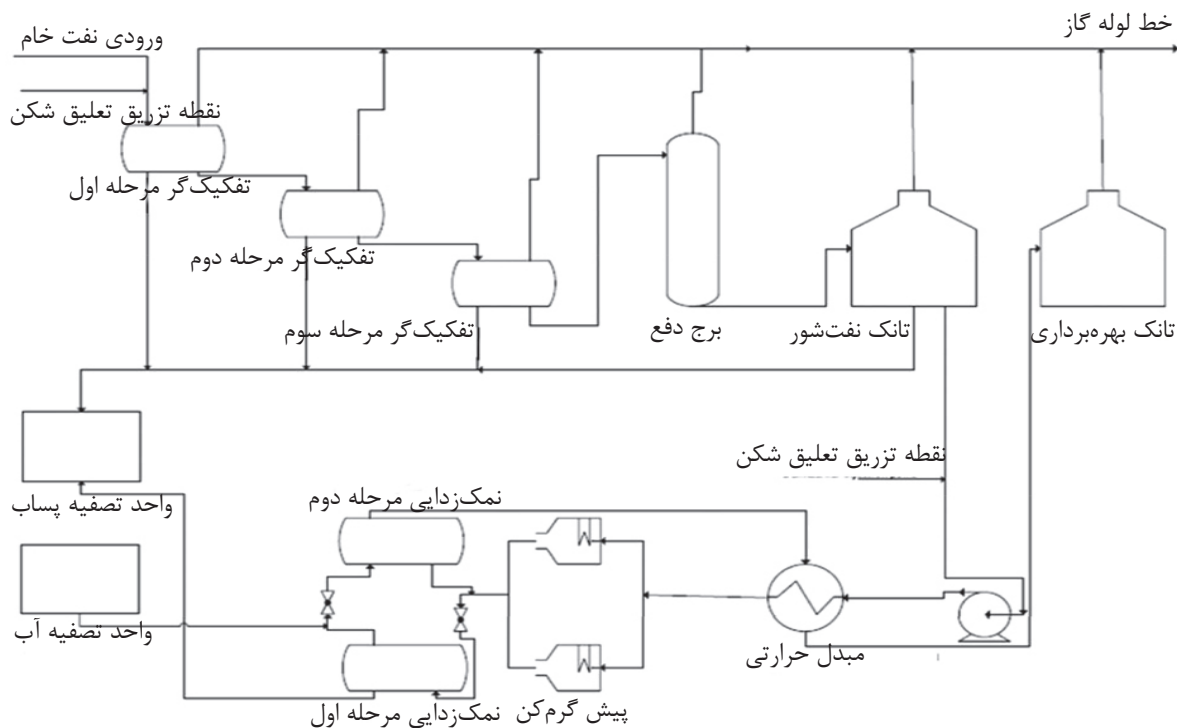
4. Electro Coalescence

جداسازی نهایی در واحد نمک‌زدایی به‌وسیله نمک‌زدای الکترواستاتیک در دو مرحله انجام می‌شود. در واحد نمک‌زدایی دمای نفت توسط مبدل حرارتی و پیش‌گرم‌کن‌های تعبیه شده افزایش می‌یابد. تعلیق‌شکن و پساب خروجی از نمک‌زدای مرحله دوم توسط شیر اختلاط با افت فشار معین با نفت ورودی واحد مخلوط شده و وارد نمک‌زدای مرحله اول می‌گردد. در نمک‌زدای مرحله اول، میدان الکتریکی با ولتاژ ۱۹ kV بر امولسیون آب و نفت اعمال شده و حدود ۹۰٪ آب همراه در این مرحله جدا می‌گردد. آب رقیق‌کننده با نسبت حجمی مشخص به منظور کاهش غلظت نمک همراه و حل کردن کریستال‌های نمک موجود در سیال به نفت خروجی از نمک‌زدای مرحله اول اضافه شده و توسط شیر اختلاط تعبیه شده با افت فشار معین مخلوط می‌شود. در نمک‌زدای مرحله دوم، جداسازی نهایی با اعمال میدان الکتریکی ۲۱ kV تحقق می‌یابد. در شکل ۱ نمودار فرآیندی واحد بهره‌برداری و نمک‌زدایی نشان داده است.

وفاجو و همکارانش با استفاده از منطق فازی به بررسی بهینه دما، pH، نوع و غلظت تعلیق‌شکن در یک واحد نمک‌زدایی از نفت پرداختند. در این بررسی دمای بهینه °C ۱۲۰-۱۱۵، غلظت بهینه ppm ۵۰-۱۰۰ و pH بهینه در دامنه ۹-۱۲ به‌دست آمد [۱۳]. در این مقاله، اثر تعداد بیشتری از پارامترهای مؤثر بر عملکرد یکی از واحدهای نمک‌زدای غرب کشور با استفاده از شبکه عصبی بهینه شده به‌وسیله الگوریتم بهینه‌سازی فاخته بررسی شده است. متغیرهای مؤثر بررسی شده که شامل پارامترهای عملیاتی و ویژگی‌های نفت خام است به‌عنوان ورودی، و نمک همراه نفت خام خروجی واحد به‌عنوان خروجی به شبکه عصبی داده شده و نتایج تحلیل شده‌اند.

#### شرح فرآیند نمک‌زدایی

جداسازی اولیه آب آزاد همراه نفت در تفکیک‌گرهای سه فازی و تانک شور با توجه به زمان ماند، حدود سه تا پنج دقیقه در واحد بهره‌برداری اتفاق می‌افتد. جداسازی در این واحد تحت تأثیر تزریق ماده تعلیق‌شکن و نیروی ثقلی انجام می‌شود.



شکل ۱ نمودار فرآیندی واحد بهره‌برداری و نمک‌زدایی

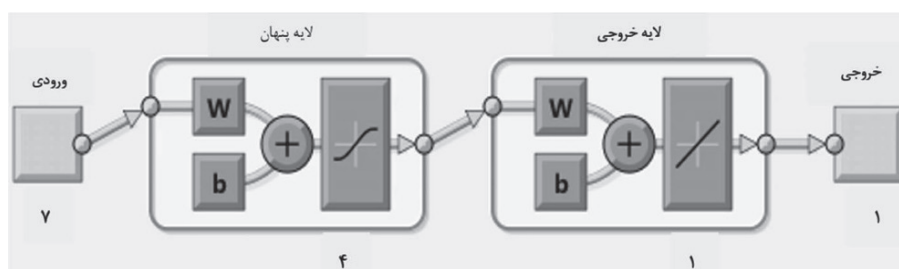
## روش کار

پارامترهای عملیاتی بررسی شده در این مقاله شامل غلظت تعلیق شکن، دما، زمان ماند، افت فشار در شیر اختلاط، درصد آب تزریقی و ویژگی‌های نفت شامل وزن مخصوص و آب و رسوبات همراه نفت خام است. بررسی‌ها در چهار نوع تعلیق شکن مختلف انجام شده است. تمام آزمایش‌ها و داده‌ها در مقیاس صنعتی گردآوری شده است. از روش IP-77 جهت اندازه‌گیری نمک همراه نفت، 4007ASTM\_D جهت تعیین درصد آب و رسوبات همراه نفت و 1298ASTM\_D جهت اندازه‌گیری وزن مخصوص نفت استفاده شده است. با توجه به محدودیت‌های واحدهای صنعتی در جمع‌آوری داده‌ها و پیچیدگی‌های مدل استفاده از روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر روش‌های تئوری در این بررسی امکان‌پذیر نبود لذا، با استفاده از تشخیص الگوی شبکه عصبی در نرم‌افزار MATLAB داده‌های به‌دست آمده ارزیابی شده است. شبکه عصبی مصنوعی یک روش محاسباتی جهت جستجوی الگوهاست که به ما اجازه پیش‌بینی فرآیندها را بدون داشتن دانش گسترده در آن زمینه می‌دهند [۲۴]. شبکه عصبی از واحدهای پردازش ساده‌ای که نورون نامیده می‌شوند؛ ساخته شده است. داده‌ها در این واحدها، پردازش شده و از آن‌ها عبور می‌کنند. شبکه عصبی را می‌توان در ساختارهای مختلفی طراحی کرد. یکی از راحت‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها روش شبکه پیش‌رونده است. این ساختار که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است؛ که شامل لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی است. در این پژوهش، لایه ورودی شامل

هفت پارامتر است. با توجه به صنعتی بودن این پژوهش و محدودیت‌های موجود در گردآوری داده‌ها، تعداد لایه‌های مخفی و نودهای آن نیز متناسب با تعداد داده‌ها با محدودیت‌هایی همراه بوده است. در لایه مخفی طراحی شده، به روش خطا و آزمایش، یک لایه با چهار نورون با تابع انتقال تانژانت هایپربولیک مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۲ ساختار شبکه عصبی به کار گرفته شده را نشان می‌دهد. نورون‌ها در همه لایه‌ها به وسیله خطوط وزنی به هم متصل شده‌اند. مقدار عددی به‌دست آمده در هر نورون با عدد ثابتی جمع می‌گردد که به آن مقدار بایاس می‌گویند. با توجه به مطالب بیان شده، خروجی هر نورون به وسیله تابع زیر محاسبه می‌شود:

$$z_j(t) = f\left(\sum_{i=1}^n w_{i,j} x_i(t) + b_j\right) \quad (2)$$

در این رابطه  $z_j(t)$  خروجی نورون  $j$ ام،  $f$  تابع فعالیت،  $x_i(t)$  ورودی نام به نورون،  $w_{i,j}$  ضریب وزنی ورودی نام به نورون  $j$ ام و  $b_j$  مقدار بایاس نورون  $j$ ام است. روش‌های زیادی جهت تعیین مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها در هر نورون ارائه شده است. می‌توان از الگوریتم‌های کلاسیک یا الگوریتم‌های فرا ابتکاری جهت به‌دست آوردن وزن‌ها و نورون‌ها استفاده کرد. روش‌های کلاسیک مانند back propagation روش‌های شناخته شده‌ای هستند که به صورت گسترده نیز به کار گرفته شده‌اند. اما این روش‌ها مشکلات زیادی را مانند قرار گرفتن در نقاط بهینه محلی و سرعت پردازش کم را در پی دارند [۲۵].



شکل ۲ ساختار شبکه عصبی

این فاخته‌ها در هر تکرار این الگوریتم می‌توانند حداکثر ۱۰ تخم را در فاصله‌ای محدود از خود که با رابطه زیر بیان می‌شود به دنیا آورد [۲۷]:

(۵)

$$ELR = \alpha \times \frac{No. of. Current. Cuckoo's. Eggs}{Total. Number. of. Eggs} \times (Var_{High} - Var_{Low})$$

که در آن  $Var_{Low}$  بیانگر حد پایین و  $Var_{High}$  بیانگر حد بالای مقادیر هر متغیر و  $\alpha$  عددی صحیح است که شعاع تخم گذاری را محدود می‌کند. در این مسئله بهینه‌سازی، بیشترین تعداد فاخته‌ها در هر نسل ۲۵۰۰ پرنده و تعداد تکرار الگوریتم حداکثر ۱۰۰۰ بار در نظر گرفته شده است. به‌طور طبیعی، پرنده‌هایی که در زیستگاه مناسب قرار نگیرند در هر بار اجرای فرآیند بهینه‌سازی از بین می‌روند. برای این پژوهش، تعداد ۱۶۳ دسته داده آزمایشگاهی و صنعتی جمع‌آوری شده است که ۷۰٪ آن‌ها برای آموزش شبکه، ۱۵٪ آن برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ دیگر آن برای آزمایش مدل تخصیص یافته است. شکل ۳ روند کاهش میانگین مربع خطا را متناسب با زمان نشان می‌دهد. هزینه نهایی محاسبه شده در این مورد به ۰/۱٪ رسید که برای داده‌های صنعتی محدود موجود مقداری قابل قبول است.

### نتایج و بحث

مقادیر به‌دست آمده برای وزن‌ها و مقادیر بایاس در قسمت قبل برای پیش‌بینی رفتار امولسیون مورد استفاده قرار گرفته است. به این منظور، تنها یک پارامتر را به‌عنوان متغیر و سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شده است؛ تا تغییرات نمک خروجی متناسب با آن پارامتر شبیه‌سازی شود. برای سایر پارامترها، مقادیر میانگین آن‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده در نمودارهای مختلف به‌همراه تفسیر هر یک از آن‌ها در بخش‌های بعدی آورده شده است. در این نمودارها چهار منحنی دیده می‌شود که هر منحنی مربوط به یک تعلیق شکن است.

در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته جهت تعیین مقادیر بهینه بایاس‌ها و وزن‌ها استفاده شده است. تحقیقات کاربردی زیادی نشان داده است که این الگوریتم بهینه‌سازی، قابلیت‌های بسیاری را جهت پیدا کردن مقادیر بهینه دارا است [۲۶ و ۲۷].

### الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

این الگوریتم رفتار فاخته را در تخم‌گذاری شبیه‌سازی کرده است. فاخته، تخم‌هایش را در لانه دیگر پرندگان می‌گذارد. میزبان می‌تواند تخم‌های بیگانه را پیدا کرده و آن‌ها را از لانه بیرون گذارد یا لانه را ترک نماید. هر نسل از فاخته‌ها نیز تلاش می‌کنند روشی جهت فریفتن میزبان پیدا کنند. لذا، فقط تخم‌هایی می‌توانند زنده بمانند که از این تنازع جان سالم به در برند. فاخته‌ها هم‌چنین می‌توانند جهت یافتن مکان مناسب‌تر مهاجرت کنند. در این الگوریتم، هر فاخته بیانگر یک نقطه در فضای چند بعدی است. ابعاد این فضا بیانگر تعداد مجهولات مسأله (وزن‌ها و مقادیر بایاس در این مسأله) است. برای آغاز فرآیند بهینه‌سازی به هر یک از وزن‌ها و مقادیر بایاس مقادیر تصادفی اختصاص داده شده و به‌عنوان یک نقطه در این فضای چند بعدی قرار گرفته است. به هر یک از این نقاط به اصطلاح یک "زیستگاه" گفته می‌شود و به‌صورت زیر نمایش می‌دهند [۲۷]:

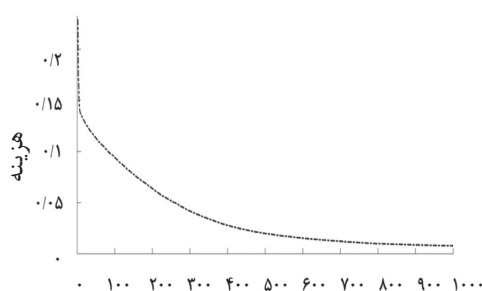
$$habitat = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_{var}}] \quad (3)$$

که در آن  $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_{var}}]$  بیانگر هر یک از مجهولات مسئله بهینه‌سازی هستند و می‌توانند اعدادی حقیقی باشند. تابع هزینه این الگوریتم که برابر با قرینه تابع سود است به‌صورت زیر تعریف می‌گردد [۲۷]:

$$Profit = -cost(inhabitat) = -f_c(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_{var}}) \quad (4)$$

این تابع در حقیقت به‌صورت میانگین مربع خطای مقادیر به دست آمده از مقادیر محاسبه شده توسط الگوریتم است. تعداد اولیه فاخته‌ها به‌طور دلخواه ۳۰۰ عدد در نظر گرفته شده است که در چهار گروه مستقل تقسیم‌بندی شده‌اند. هر یک از





شکل ۳ کاهش خطا در شبکه عصبی نسبت به تکرار الگوریتم

### زمان ماند

زمان ماند در نمک‌زداها با توجه به تغییرات نرخ نفت ورودی متغیر است. با توجه به شکل ۴ به‌ازای زمان اقامت کمتر از ۴۵ min، این پارامتر اثری روی نمک خروجی ندارد. ولی اگر زمان اقامت از ۴۵ min بیشتر شود اثرگذار است. با افزایش زمان ماند قطرات آب بیشتری ته‌نشین شده؛ و بازدهی نمک‌زداها افزایش می‌یابد. اما افزایش زمان ماند مستلزم افزایش هزینه ساخت می‌گردد. با توجه به شکل ۴ تعلیق‌شکن نوع A بهترین عملکرد را در تغییر زمان ماند دارد. تعلیق‌شکن مناسب‌تر پایداری لایه سخت تشکیل شده حول قطرات آب را کاهش داده و سبب می‌شود که قطرات آب در زمان کمتری منعقد گردند.

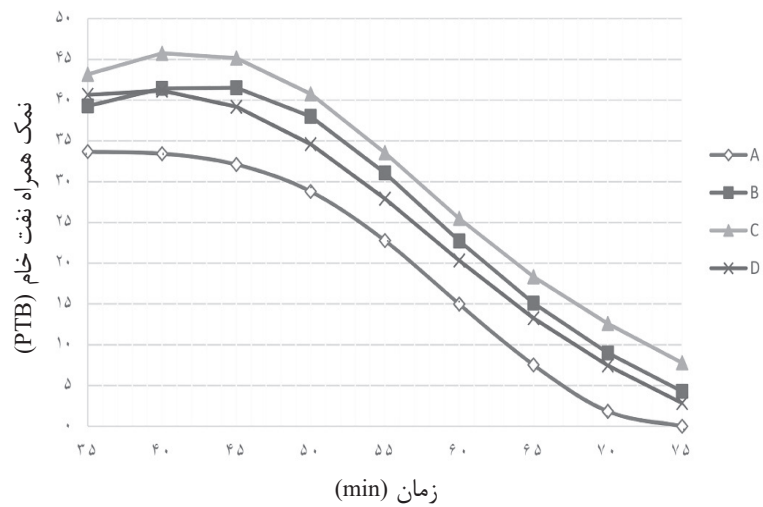
### دما

افزایش دما در فرآیند نمک‌زدایی دارای مزایا و معایبی است. با افزایش دما لزجت نفت خام کاهش یافته که این امر موجب افزایش سرعت ته‌نشینی قطرات آب می‌گردد. همچنین افزایش دما موجب افزایش حلالیت آسفالتین و ماده تعلیق‌شکن در امولسیون آب و نفت می‌شود که بر پایداری امولسیون تأثیرگذار است. دما بر روی حرکات بین مولکولی، کشش سطحی امولسیون آب و نفت تأثیرگذار است اما زمانی که دما از مقدار معینی بالاتر رود، کشش بین سطحی کاهش یافته و زمانی که اندازه آن به مقدار بحرانی برسد قطرات آب از هم گسسته و قطرات جدیدی با شعاع کمتر تشکیل می‌شود. جداسازی

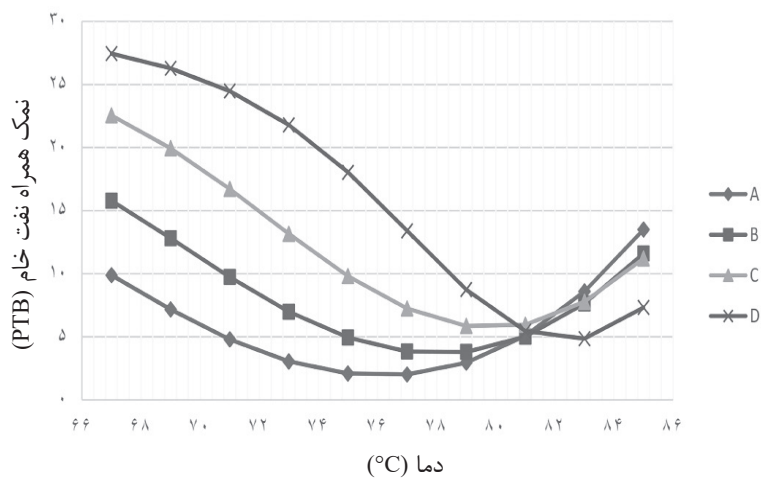
این قطرات به مراتب سخت‌تر است [۲۸]. دمای بالا موجب افزایش هدایت الکتریکی نفت خام می‌شود که به‌موجب آن توان الکتریکی مصرفی افزایش می‌یابد. همچنین، اثر میدان الکترواستاتیک با توجه به کاهش گرادیان ولتاژ مؤثر کاهش یافته و بازدهی فرآیند کاهش می‌یابد [۱۰ و ۲۹]. دما بر روی چگالی سیال نفت و آب تأثیرگذار است اما میزان تأثیرات آن با توجه نوع نفت خام متفاوت است. شکل ۵ اثر دمای فرآیند را بر روی میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نشان می‌دهد. با توجه به شکل، افزایش دما تا دمای بهینه موجب افزایش بازدهی فرآیند نمک‌زدایی می‌شود اما افزایش بیشتر آن موجب کاهش بازدهی می‌گردد. تعلیق‌شکن مورد استفاده با توجه به نتایج دست آمده بر روی مقدار دمای بهینه اثرگذار است. با توجه به شکل، دمای بهینه در تعلیق‌شکن نوع A  $77^{\circ}\text{C}$  و B و C  $79^{\circ}\text{C}$  و برای تعلیق‌شکن نوع D  $83^{\circ}\text{C}$  است.

### غلظت تعلیق شکن

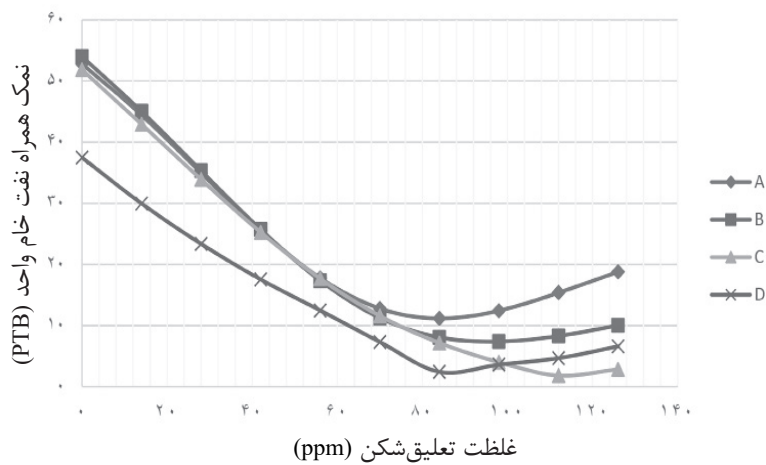
تأثیر غلظت تعلیق شکن تزریقی به امولسیون آب و نفت در این قسمت بررسی شده است. تعلیق‌شکن‌ها با تأثیر بر روی خواص سطحی از قبیل خواص ویسکوالاستیک امولسیون آب و نفت موجب کاهش پایداری امولسیون شده و احتمال انعقاد قطرات آب حین برخورد را افزایش می‌دهد [۳۰]. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است غلظت بهینه تزریق تعلیق‌شکن نوع C برابر  $110\text{ ppm}$  و برای سایر تعلیق‌شکن‌ها برابر با  $90\text{ ppm}$  است.



شکل ۴ تأثیر زمان ماند بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی



شکل ۵ تأثیر دما بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی



شکل ۶ تأثیر غلظت تعلیق شکن تزریقی بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی



دارد. با افزایش افت فشار میزان اختلاط افزایش یافته و تأثیر آب تزریقی افزایش می‌یابد. اما اندازه قطرات آب در امولسیون آب و نفت کاهش می‌یابد و بازدهی برخورد قطرات کاهش و در نتیجه، جداسازی سخت‌تر می‌شود [۳۱]. شکل ۸ تأثیر میزان افت فشار در شیر اختلاط قبل از نمک‌زدای مرحله اول بر نمک همراه نفت خروجی واحد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، افت فشار بهینه در شیر اختلاط ۰/۸۵ bar است. این بررسی نشان می‌دهد که نوع تعلیق‌شکن بر مقدار افت فشار بهینه تأثیر ندارد.

#### آب و رسوبات همراه نفت خام

میزان آب و رسوبات همراه نفت خام که به صورت درصد حجمی گزارش می‌شود، با توجه به شرایط مخزن و نحوه تولید از نفت خام متغیر است. هدایت الکتریکی امولسیون آب و نفت وابسته به میزان آب همراه است. شکل ۹ اثر درصد آب و رسوبات همراه را بر میزان نمک همراه نفت خروجی نمک‌زدا نشان می‌دهد. با توجه به شکل از مقادیر بالای ۰/۷ با افزایش درصد آب و رسوبات همراه نفت، میزان نمک همراه نفت خروجی افزایش یافته و بازدهی نمک‌زدا کاهش می‌یابد. برای مقادیر آب و رسوبات پایین‌تر از ۰/۷، این پارامتر تأثیر چندانی بر بازدهی فرآیند ندارد. نوع تعلیق‌شکن بر عملکرد نمک‌زدا مخصوصاً با افزایش آب و رسوبات نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند.

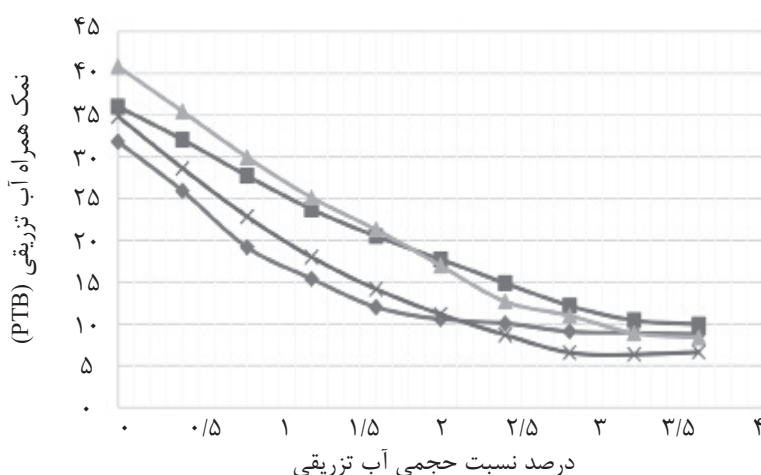
با توجه به شکل، با تزریق بیشتر از مقدار بهینه تعلیق‌شکن میزان نمک خروجی افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تجمع ترکیبات تعلیق‌شکن حول سطح قطرات آب و تشکیل لایه پایدار جدید است و لذا، بازدهی جداسازی را کاهش می‌دهد [۲۰].

#### آب رقیق‌کننده

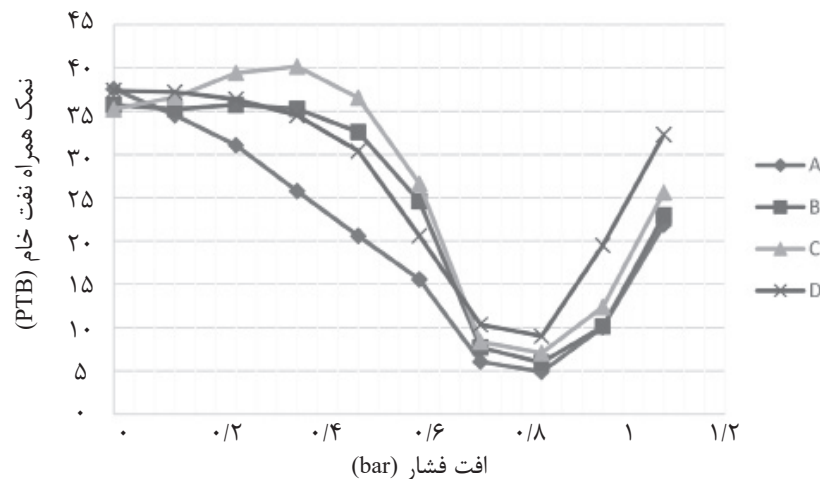
تزریق آب به امولسیون آب و نفت باعث رقیق شدن غلظت نمک و حل شدن کریستال‌های نمک و رسوبات موجود در فاز نفت می‌گردد. شکل ۷ تأثیر درصد حجمی آب تزریقی به سیال آب و نفت ورودی به نمک‌زدای مرحله دوم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل میزان بهینه آب تزریقی در تعلیق‌شکن نوع A برابر ۰/۲، نوع D برابر با ۰/۲۷۵ و برای سایر تعلیق‌شکن‌ها برابر ۰/۳۲۵ است. برای مقادیر بیشتر، آب تزریقی تأثیر چندانی بر عملکرد فرآیند نمک‌زدایی ندارد. با توجه به وابستگی نسبت آب تزریقی بهینه به نوع تعلیق‌شکن با انتخاب تعلیق‌شکن مناسب، می‌توان حجم قابل ملاحظه‌ای از آب مصرفی را کاهش داد.

#### شیر اختلاط

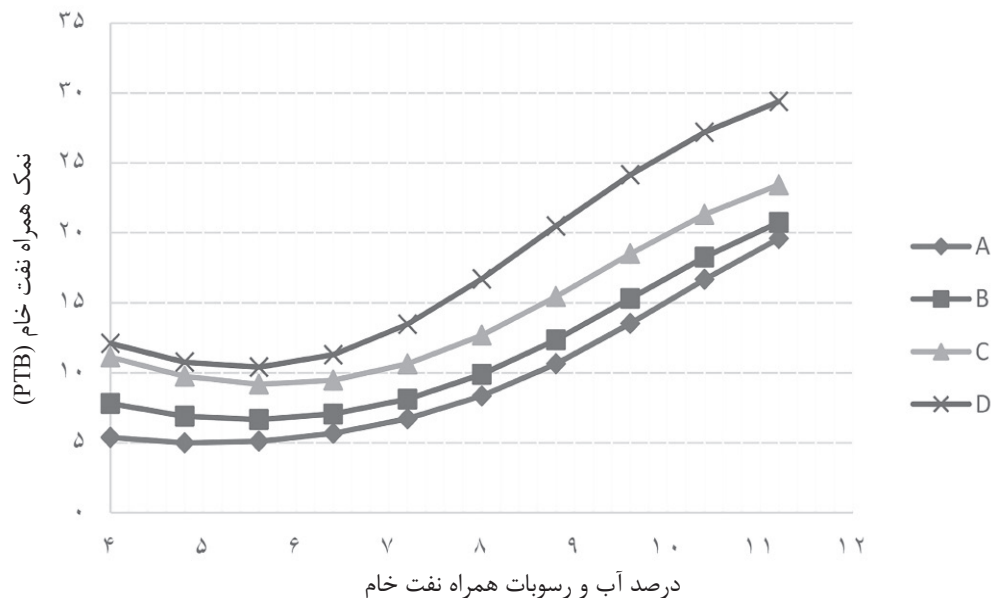
همان‌طور که قبلاً اشاره شد بعد از تزریق آب به امولسیون آب و نفت، شیر اختلاط در نظر گرفته می‌شود. شیر اختلاط با ایجاد افت فشار موجب پخش شدن آب تزریقی در سیال می‌شود. افزایش افت فشار در شیر اختلاط مزایا و معایبی



شکل ۷ تأثیر درصد حجمی آب تزریقی بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی



شکل ۸ تأثیر افت فشار شیر اختلاط بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی

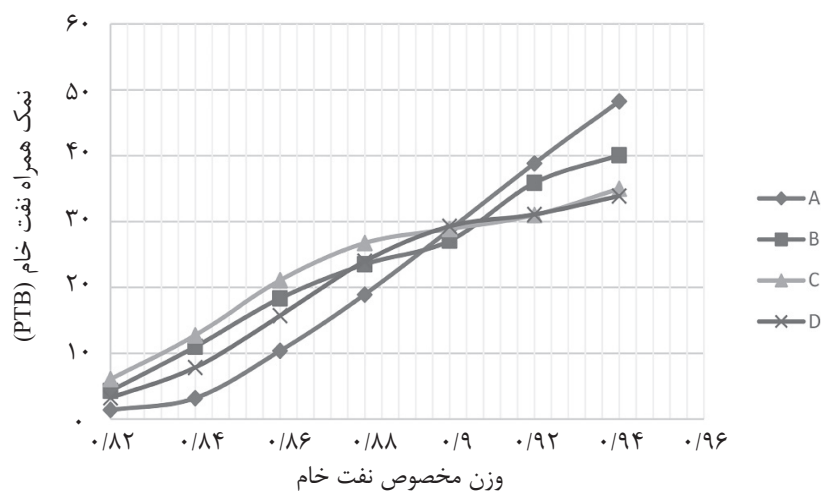


شکل ۹ تأثیر درصد آب و رسوبات همراه نفت ورودی به واحد نمک‌زدایی بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی

۱۰ نتایج شبیه‌سازی اثر وزن مخصوص نفت خام ورودی بر میزان نمک خروجی واحد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش وزن مخصوص، میزان نمک همراه نفت به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. استفاده از تعلیق‌شکن مناسب می‌تواند عملکرد نمک‌زدا را در نفت خام سنگین تا حدودی بهبود بخشد.

#### وزن مخصوص

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، اختلاف چگالی دو فاز آب و نفت اساس فرآیند جداسازی بوده و با به‌کارگیری روش‌های مختلف، سرعت و بازدهی جداسازی افزایش می‌یابد. هر چه اختلاف چگالی دو فاز بیشتر باشد، قطرات آب آسان‌تر ته‌نشین شده و بازدهی جداسازی افزایش می‌یابد. شکل



شکل ۱۰ تاثیر وزن مخصوص نفت ورودی به واحد نمک‌زدایی بر میزان نمک همراه نفت خروجی واحد نمک‌زدایی

### نتیجه‌گیری

مانند بیشتر از ۴۵ min، افزایش می‌یابد. با افزودن آب رقیق‌کننده با نسبت حجمی ۰.۳/۰.۲- به سیال ورودی به نمک‌زدا بازدهی فرآیند افزایش می‌یابد. وزن مخصوص و آب و رسوبات همراه نفت خام تولیدی ویژگی‌های مهمی هستند که به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر بازدهی فرآیند اثر گذار می‌باشند. نوع تعلیق‌شکن مورد استفاده پارامتر مهم دیگری است که بر بازدهی فرآیند مؤثر بوده و می‌تواند بر مقدار بهینه دما، آب و رسوبات همراه و وزن مخصوص نفت تأثیرگذار باشد. به‌طوریکه دمای بهینه فرآیند  $77-83^{\circ}\text{C}$  است. غلظت بهینه تعلیق‌شکن وابسته به نوع تعلیق‌شکن بوده، و در این بررسی غلظت بهینه در محدوده ۹۰-۱۱۰ ppm متغیر است.

در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، تأثیر پارامترهای عملیاتی و پارامترهای مربوط به ویژگی‌های نفت خام بر بازدهی یک واحد نمک‌زدایی بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بعضی از پارامترها از قبیل دمای فرآیند، غلظت تعلیق‌شکن و افت فشار در شیر اختلاط مقدار بهینه‌ای داشته که انحراف از این مقدار موجب کاهش بازدهی فرآیند نمک‌زدایی از نفت خام می‌شود. افت فشار در شیر اختلاط از سایر پارامترها حساسیت بیشتری داشته است و افت فشار بهینه برابر با ۰/۸۵ bar است. بازدهی فرآیند با افزایش زمان ماند، به‌خصوص در زمان

### مراجع

- [1]. Zeidani K, Bahadori A (2006) Analysis of crude oil electrostatic desalters performance, *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 45: 05.
- [2]. Mousavichoubeh M, Ghadiri M, Shariaty-Niassar MJCE, Intensification PP (2011) Electro-coalescence of an aqueous droplet at an oil-water interface, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50, 3: 338-344.
- [3]. Mohammadi M, Shahhosseini S, Bayat M (2013) Numerical prediction of the electrical waveform effect on electrocoalescence kinetic, *Chemical Engineering Research and Design*, 91, 5: 904-918.
- [4]. Kralova I, Sjöblom J, Øye G, Simon S, Grimes BA, Paso K (2011) Heavy crude oils/particle stabilized emulsions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 169, 2: 106-127.
- [5]. Frising T, Noik C, Dalmazzone C (2006) The liquid/liquid sedimentation process: from droplet coalescence to technologically enhanced water/oil emulsion gravity separators: a review, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 27, 7: 1035-1057.
- [6]. O. Urdahl, Nordstad K, Berry P, Wayth N, Williams T, Bailey A, Thew M (2001) Development of a new, compact electrostatic coalescer concept, *Production and Facilities*, 1, 16: 01, 4-8..

- [7]. Eow J S, M. Ghadiri A, Sharif O, Williams TJ (2001) Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the current understanding, *Chemical Engineering Journal*, 84, 3: 173-192.
- [8]. Stewart M, Arnold K (2008) *Emulsions and oil treating equipment: Selection, sizing and troubleshooting*, Elsevier.
- [9]. Kokal SL (2005) Crude oil emulsions: A state-of-the-art review, *SPE Production and Facilities*, 20, 01: 5-13.
- [10]. Fetter Pruneda E, Borrell Escobedo ER, Garfias FJ, Vázquez (2005) Optimum temperature in the electrostatic desalting of Maya crude oil, *Journal of the Mexican Chemical Society*, 49, 1: 14-19.
- [11]. Eow JS, Ghadiri M (2002) Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the technology, *Chemical Engineering Journal*, 85, 2-3: 357-368.
- [12]. Sjoblom J (2001) *Encyclopedic handbook of emulsion technology*. CRC Press.
- [13]. Vafajoo L, Ganjian K, Fattahi M (2012) Influence of key parameters on crude oil desalting: An experimental and theoretical study, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 90: 107-111.
- [14]. Lee CM, Sams GW, Wagner J (2001) Power consumption measurements for ac and pulsed dc for electrostatic coalescence of water-in-oil emulsions, *Journal of Electrostatics*, 53, 1: 1-24.
- [15]. Lundgaard L, Berg G, Ingebrigtsen S, Atten P (2006) *Electrocoalescence for oil-water separation: Fundamental Aspects, Surfactant-science*.
- [16]. Lundgaard LE, Berg G, Ingebrigtsen S, Atten P (2005) Electrocoalescence for oil-water separation: fundamental aspects, in *Emulsions and emulsion stability*: CRC Press, 569-612.
- [17]. Aryafard E, Farsi M, Rahimpour M, S Raieisi (2016) 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: 141-147.
- [18]. Zhang L, Chen J, Cai X, Huang S, Ji Y (2017) Research on electrostatic coalescence of water-in-crude-oil emulsions under high frequency/high Voltage AC electric field based on electro-rheological method, *Colloids and Surfaces A: Physico-chemical and Engineering Aspects*, 520: 246-256.
- [19]. Mousavichoubeh M, Ghadiri M, Shariaty-Niassar M (2011) Electro-coalescence of an aqueous droplet at an oil-water interface, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50, 3: 338-344.
- [20]. Mhatre S, Simon S, Sjöblom J, Xu Z (2018) Demulsifier assisted film thinning and coalescence in crude oil emulsions under DC electric fields, *Chemical Engineering Research and Design*, 134, 117-129.
- [21]. Liu D, Li C, Yang F, Sun G, You J, Cui K (2019) Synergetic effect of resins and asphaltenes on water/oil interfacial properties and emulsion stability, *Fuel*, 252: 581-588.
- [22]. Hadidi H, Kamali R, Manshadi MKD (2020) Numerical simulation of a novel non-uniform electric field design to enhance the electrocoalescence of droplets, *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 80: 206-215.
- [23]. Mahdi K, Gheshlaghi R, Zahedi G, Lohi A (2008) Characterization and modeling of a crude oil desalting plant by a statistically designed approach, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 61, 2-4: 116-123.
- [24]. Abrahart R, Kneale PE, See LM (2004) *Neural networks for hydrological modeling*, CRC Press.
- [25]. Nawi NM, Khan A, Rehman MZ (2013) A new back-propagation neural network optimized with cuckoo search algorithm, In *International Conference on Computational Science and its Applications*, 413-426.
- [26]. Golbaghi VK, Shahbazian M, Moslemi B, Rashed G (2017) Rolling element bearing condition monitoring based on vibration analysis using statistical parameters of discrete wavelet coefficients and neural networks, *International Journal of Automation and Smart Technology*, 7, 2: 61-69.
- [27]. Rajabioun R (2011) Cuckoo Optimization Algorithm, *Applied Soft Computing*, 11, 8: 5508-5518.
- [28]. Wu F, Li H (2012) Study on the divided-wall electric desalting technology for Suizhong crude oil, *Desalination*, 307: 20-25.
- [29]. Mohammadi M, Mohammadi F (2016) Parametric study on electrical conductivity of crude oils; basis experimental data, *Petroleum and Coal*, 58: 6.
- [30]. W Kang, Yin X, Yang H, Zhao Y, Huang Z, Hou X, Sarsenbekuly B, Zhu Z, Wang P, Zhang X, Geng J (2018) Demulsification performance, behavior and mechanism of different demulsifiers on the light crude oil emulsions, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects*, 545: 197-204.
- [31]. JF Mitre, Lage PL, Souza MA, Silva E, Barca LF, Moraes AO, Coutinho RC, Fonseca EF (2014) Droplet breakage and coalescence models for the flow of water-in-oil emulsions through a valve-like element, *Chemical Engineering Research and Design*, 92, 11: 2493-2508.



# Investigation of Parameters Affecting the Performance of Electrostatic Desalting Process Using Neural Network

Hamed Kazemi Golbaghi<sup>1</sup>, Mehdi Mohammadi<sup>2</sup>, Seyed Hamed Mousavi<sup>1\*</sup> and Seyed Mohammad Ali Moosavian<sup>3</sup>

1. Separation Processes and Nanotechnology Lab, Faculty of Caspian, College of Engineering, University of Tehran, Iran
2. Electrocoalescers Research Laboratory, Petroleum Refining and Processing Technology Development Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran
3. School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran

[mhmousavi@ut.ac.ir](mailto:mhmousavi@ut.ac.ir)  
DOI: 10.22078/pr.2020.4287.2944

Received: September/14/2020

Accepted: December/08/2020

## Introduction

Nowadays in most desalting units, a combination of different methods is used to achieve the maximum separation efficiency. These methods are classified as follows: (1) gravity separation, (2) thermal treatment, (3) chemical demulsifications, (4) water injection and (5) electrical demulsification.

In this paper, the effect of various parameters has been studied on the performance of an industrial desalting unit, and then Artificial Neural Networks (ANNs) simulation was utilized to predict the best results. These parameters consist of operating variables, and then characteristics of crude oil were fed to the ANNs, and the effects of all these parameters on outlet salt content of crude oil were evaluated.

## Process Modeling

All experiments were performed in industrial scale and operating conditions. The IP\_77 method was used to measure salt content of crude oil and ASTM\_D4007 and ASTM\_D1298 methods were utilized to analyze the percentage of water and sediment in crude oil and also evaluation of the specific gravity of crude oil respectively. Based on the constraints of an industrial environment, it was impossible to consider all the situations. Hence to evaluate the situations close to the real situation, the ANNs pattern recognition in MATLAB is used.

In this study, Cuckoo Optimization Algorithm was

employed to determine the optimum values of the bias value and weights. Many practical researches show that this optimization method can find the optimum values effectively [1,2].

The initial number of cuckoos is set on 300 arbitrary. These cuckoos are divided to four individual groups. Maximum number of cuckoos in each generation is 2500 birds, and the number of iterations is 1000 times. 163 industrial data sets (including 7 inputs and one output) were allocated to this research which 70% of them were engaged for training the network, 15% for validation, and 15% for testing the process. Fig. 1 shows the Mean Square Error (MSE) which is descending with respect to the number of iterations. Final evaluated cost (MSE) in this case is 0.001 which is acceptable according to the amount of data and the industrial evaluation.

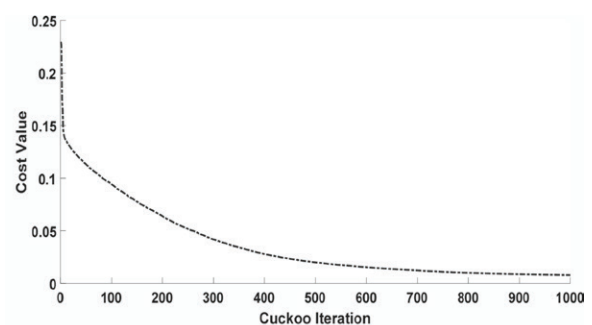


Fig.1 MSE reduction of ANNs over the Iterations.

**Results and Discussion**

The evaluated weights and bias values in previous section are used here to predict the behavior of emulsion in other situations. For this goal, only one parameter varies, and the rest are assumed to be constant. The supposed values for constant parameters are their average values in experimental examinations. Each of the four curve in each figure shows one of the demulsifiers.

according to Fig.2, if the retention time increases more drops will be settled down and it in turn improves the performance of the desalter.

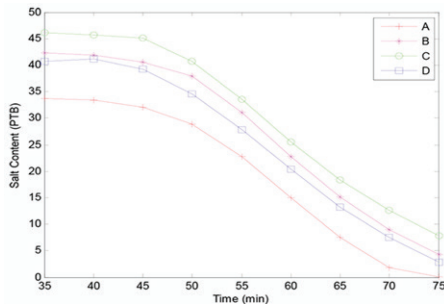


Fig. 2 Effect of retention time on salt content of crude oil.

Fig.3 shows the effect of the temperature on salt content of outlet crude oil and states that optimum temperature for demulsifiers A, B and C is 79 °C, and for D type the temperature is 83°C.

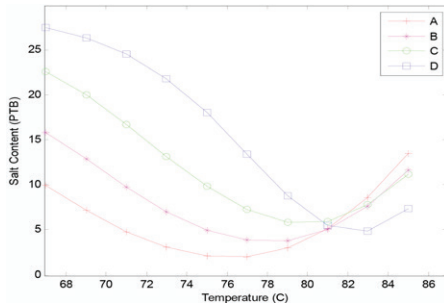


Fig. 3 Effect of temperature on salt content of crude oil.

Fig.4 illustrates optimum demulsifier concentration, which is about 90 ppm for all types of demulsifiers.

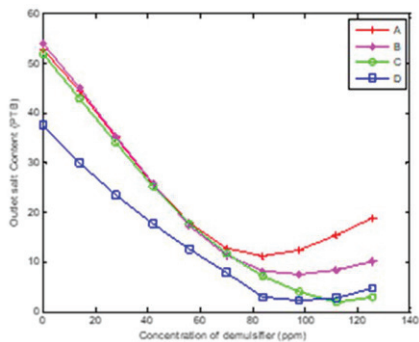


Fig. 4 Effect of demulsifier concentration on salt content of crude oil.

Fig. 5 depicts the optimum dilution water percentage which is 3.25% of water-oil emulsion.

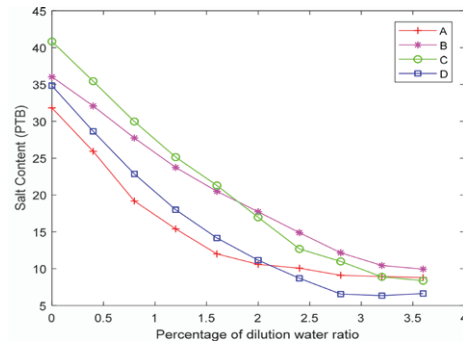


Fig. 5 Effect of dilution water ratio on salt content of crude oil.

Fig. 6 illustrates the effect of pressure drop of mixing valve on the salt content of outlet oil. This figure implies that optimum pressure drop is 0.85 bar.

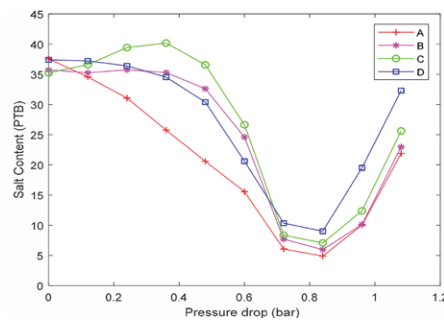


Fig. 6 Effect of pressure drop in mixing valve on salt content of crude oil.

The effect of BS&W percentage, in crude oil, on desalting process is shown in Fig.7. Fig.8 shows the simulation result of specific gravity of crude oil on salt content of outlet crude oil.

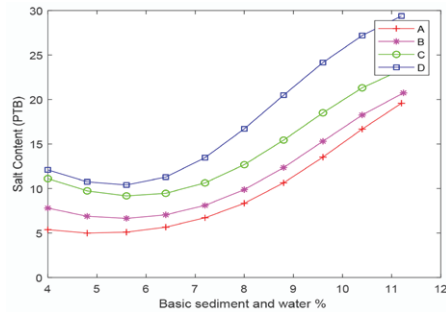


Fig. 7 Effect of BS&W of inlet crude oil on salt content of crude oil.

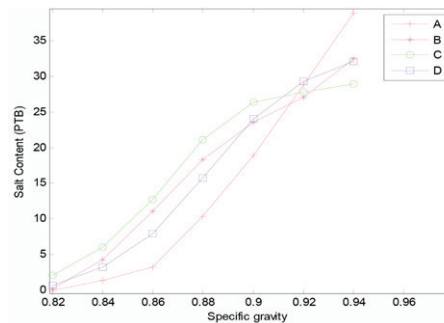


Fig. 8 Effect of specific gravity of crude oil on salt content of crude oil.



**Conclusions**

In this study, artificial neural network was employed to simulate the effect of operating parameters and also some crude oil characteristics on desalting process efficiency which the results are reported based on outlet crude oil salt content. The obtained results showed that operating parameters such as temperature, demulsifier concentration, and pressure drop at mixing valve have an optimum range. Oil-water separation process will be more efficient if the retention time is increased. The specific gravity and BS&W are prominent parameters which significantly affect the process efficiency. Moreover, the type of demulsifier influences on the performance of desalting process, and it also affects optimum temperature, BS&W

and specific gravity of inlet crude oil. Furthermore, optimum dosage of demulsifier depends on the type of selected demulsifier.

**Nomenclatures**

ANNs: Artificial Neural Networks

MSE: Mean square error

**References**

1. Abrahart R, Kneale PE, See LM (2004) Neural networks for hydrological modeling. CRC Press.
2. Nawi NM, Khan A, Rehman MZ (2013) A new back-propagation neural network optimized with cuckoo search algorithm, in International conference on computational science and its applications, 413-426.