

## شبیه‌سازی و بررسی عملکرد نمک‌زدای پالایشگاه بندرعباس

محمدعلی صفوی<sup>۱\*</sup>، رحمت الله گلپاشا<sup>۲</sup>

۱- دکتری، پژوهنده، گروه فناوری‌های تبدیل و بهینه‌سازی، پژوهشکده‌ی توسعه‌ی فناوری‌های پالایش و فراورش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، شهر تهران، استان تهران، صندوق پستی ۱۳۷-۱۴۶۶۵، ایران.

۲- کارشناسی، مدیر گروه، گروه فناوری‌های تبدیل و بهینه‌سازی، پژوهشکده‌ی توسعه‌ی فناوری‌های پالایش و فراورش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، شهر تهران، استان تهران، صندوق پستی ۱۳۷-۱۴۶۶۵، ایران.

دریافت: ۹۲/۴/۳۰ پذیرش: ۹۲/۸/۲۴

### چکیده

آب همراه نفت خام حاوی نمک‌های مختلفی است که باعث ایجاد مشکلاتی نظیر خوردگی، رسوب‌گذاری و مسدود کردن مبدل‌ها، مسیرهای عبور سیال در کوره و سینی‌های پایین برج تقطیر در فرایندهای پالایش می‌شوند. در مطالعه حاضر، با هدف ارزیابی عملکرد واحد نمک‌زدا در پالایشگاه بندرعباس و با استفاده از داده‌های میدانی، مدل‌سازی به کمک شبکه عصبی انجام گرفت. در مرحله آنالیز حساسیت برای تعیین اثر هر یک از ورودی‌ها در خروجی‌های مورد نظر، پنج متغیر شدت جریان آب تزریقی به ابتدای خط، دمای آب تزریقی به نمک‌زدای اول، شدت جریان آب و نفت تزریقی به نمک‌زدای دوم و دمای آب تزریقی به نمک‌زدای دوم، که از نظر فرایندی نیز تأثیر مشخصی در میزان آب خروجی دارند، به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شد. خطای مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی مقدار آب خروجی در فاز آموزش ۰/۴ درصد و در فاز آزمایش ۱/۹ درصد گزارش شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل‌سازی فرایند نمک‌زدایی به کمک شبکه عصبی نتایج درخور پذیرشی را حاصل کرده است؛ در صورتی که داده‌های مناسب و به تعداد کافی در دسترس باشد، می‌توان به خوبی رفتار فرآیند نمک‌زدایی را با توجه به شرایط عملیاتی پیش‌بینی کرد.

کلمات کلیدی: نمک‌زدایی از نفت خام، مدل‌سازی، شبکه عصبی

### مقدمه

معمولاً نفت‌های خام حاوی مواد معدنی مختلفی‌اند؛ از جمله نمک کلریدهای سدیم و منیزیم، اندکی سولفات، سیلیس و اکسیدهای آهن و حتی اگر در خروج از مخازن نیز این ترکیبات را نداشته باشند، در حین انتقال به ویژه با کشتی‌ها، این املاح وارد نفت خام می‌شوند [۱]. بیشترین کلرید موجود، کلرید سدیم

در بیشتر موارد، همراه نفت خام مقداری آب به صورت امولسیون وجود دارد که می‌بایست از نفت خام جدا شود. آب همراه نفت خام حاوی املاح و نمک‌های فراوانی است که باعث ایجاد مشکلات فراوانی در فرایندهای پالایشی می‌شوند [۱].

\* safavima@ripi.ir

آب همراه از نفت خام است که اصطلاحاً به آن آب شست و شو می‌گویند. عوامل مختلفی بر بازدهی فرایند نمک‌زدایی تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به pH، چگالی و گرانشی نفت خام و نیز نسبت حجمی آب شست و شو به نفت خام اشاره کرد. نمک‌زدایی از نفت خام به دو روش متداول صورت می‌گیرد: جداسازی (نمک‌زدایی) شیمیایی و جداسازی (نمک‌زدایی) الکترواستاتیکی. البته از فیلتر کردن نفت خام نیز به منظور نمک‌زدایی استفاده می‌شود که در مقایسه با دو روش بالا کاربرد کمتری دارد. در هر دو روش، اول از آب داغ به‌عنوان عامل جداکننده استفاده می‌شود. در جداسازی شیمیایی، آب و ماده فعال سطحی (دمولسیفایر) به نفت خام افزوده و سپس حرارت داده می‌شود. در نتیجه، نمک‌ها و ناخالصی‌های دیگر در آب حل می‌شود و در یک تانک ته‌نشینی پس از مدت زمان مشخصی از نفت خام جدا می‌شود.

روش مؤثرتر، جداسازی الکترواستاتیکی است که در قسمت بعد به طور کامل شرح داده خواهد شد. در حالی که امکان نمک‌زدایی با اکثر روش‌هایی که برای شکستن امولسیون‌ها به کار می‌رود وجود دارد، بیشتر سیستم‌های نمک‌زدایی از روش الکترواستاتیکی به منظور رسیدن به کمترین میزان آب در نفت و در نتیجه، کاهش میزان آب رقیق‌کننده استفاده می‌کنند [۱]. در این روش از میدان الکتریکی با ولتاژ بالا به منظور تسریع در به هم پیوستن قطرات و ته‌نشین شدن آن‌ها استفاده می‌شود. در این روش، دمولسیفایرها (امولسیون‌زداها) فقط زمانی که نفت خام حاوی مقادیر زیادی ذرات جامد معلق باشد، اضافه می‌شوند. سومین و نامتداول‌ترین روش، فیلتر کردن نفت خام گرم‌شده با استفاده از خاک‌های دی‌اتمه<sup>۱</sup> است [۴].

اخیراً تلاش‌های محدودی در مراجع برای پیش‌بینی عملکرد نمک‌زداها صورت گرفته است [۵-۷]. برای مثال در کار ارائه‌شده از سوی اتیبی [۵] با استفاده از پنج متغیر شامل دمای نفت خام، میزان اختلاط، زمان ته‌نشینی، میزان دمولسیفایر و میزان آب تزریقی سعی شده است رفتار نمک‌زدا پیش‌بینی شود. برای پیش‌بینی راندمان حذف نمک و آب از دو روش مدل‌سازی

است. کلریدهای کلسیم و منیزیم در مرتبه بعد قرار می‌گیرند. این نمک‌ها عملاً در تمام آب‌های همراه نفت خام یافت می‌شوند. نمک‌ها به‌ندرت در نفت خام (فاز آلی) حضور دارند و در صورت وجود، به شکل گونه‌های معلق و نه حل‌شده یافت می‌شوند [۱]. میزان نمک در ارتباط با موضوع خوردگی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. زمانی که نفت خام تقطیر می‌شود، نمک‌های کلرید تجزیه می‌شوند و اسید کلریدریک تولید می‌کنند که تأثیرات خوردگی شدیدی به همراه خواهد داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از کارهای تجربی، تشکیل اسید کلریدریک به‌صورت خطی با مقدار نمک‌های کلرید موجود در نفت خام افزایش نمی‌یابد. مقدار ۲۹۰ ppm نمک در نفت خام، تولید ۲۳-۴۳ ppm اسید کلریدریک می‌کند. به سبب تأثیرات خوردگی ایجادشده از مقادیر نسبتاً کم نمک، هدف نمک‌زدایی کاهش محتوای نمک به حداقل مقدار خود است. در بسیاری از پالایشگاه‌ها، نفت خام تا کمتر از ۱۰ ppm نیز نمک‌زدایی می‌شود. تأثیرات زیان‌بار دیگری که می‌تواند در پی نمک‌زدایی نکردن به میزان کافی ایجاد شود رسوب‌گذاری و مسدود شدن مبدل‌ها، لوله‌های کوره و سینی‌های پایین برج تقطیر است. کربنات‌های کلسیم و منیزیم و سولفات‌های کلسیم و استرانسیم روی سطوح تبادل حرارتی رسوب می‌کنند. این رسوبات باعث کاهش ظرفیت حرارتی و بازده فرایند می‌شوند [۱]. وظیفه دیگر واحد نمک‌زدا حذف ناخالصی‌هایی مانند شن، گل، اکسید آهن، سولفات آهن، آرسنیک و ... از نفت خام است. در این موارد بر حسب اندازه ذرات، درصد حذف می‌بایست بین ۶۰ تا ۸۰ باشد [۲]. بعضی از فلزات که در ترکیبات غیر آلی حل‌شده در آب امولسیون شده با نفت خام حضور دارند، می‌توانند باعث آلودگی و غیر فعال شدن کاتالیزورهای مورد استفاده در فرایندهای مختلف کاتالیزوری پالایشگاه شوند، مانند کراکینگ، فرمینگ، آلکیلاسیون کاتالیزوری و ... [۲].

اساس روش نمک‌زدایی انحلال املاح موجود در نفت خام در آب و جداسازی آب از نفت است. دشواری این روش در تهیه امولسیون مؤثر آب و نفت، مرطوب‌سازی ذرات جامد و جداسازی

1 Diatomaceous earth

روش الکتریکی یا شیمیایی انجام داد.

عملیات نمک‌زدایی با مخلوط کردن نفت خام با ۳ تا ۱۰ درصد حجمی آب در دمای ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. نسبت آب به نفت و دمای عملیات، تابع دانسیته نفت خام است. این مخلوط تشکیل یک امولسیون آب در نفت می‌دهد که با روش الکترواستاتیکی قابل جداسازی است. حرارت دادن به دلیل کاهش ویسکوزیته و کشش سطحی و به منظور اختلاط آسان تر نفت خام و آب شست‌وشو انجام می‌پذیرد. استفاده از حرارت باعث کاهش ویسکوزیته نفت خام و ایجاد نیروی بیشتر در حین برخورد قطرات آب می‌شود؛ همچنین، ویسکوزیته پایین تر باعث سرعت بخشیدن به ته‌نشینی قطرات آب در ظرف نمک‌زدا می‌شود [۱].

در مخزن نمک‌زدا امولسیون آب-نفت در معرض یک میدان الکتریکی با ولتاژ بالا قرار می‌گیرد. این میدان لایه نفت اطراف قطرات آب منفرد را می‌شکند تا امکان ترکیب چند قطره با یکدیگر و تشکیل قطرات بزرگ تر آب فراهم شود. قطرات بزرگ تر با وزن مخصوص بالاتر به پایین مخزن نمک‌زدا هدایت و با جریان آب خارج می‌شوند. مسیر جریان خروجی آب مجهز به یک شیر است که به‌طور مداوم، توسط یک کنترل کننده سطح (فصل) مشترک آب و نفت را کنترل می‌کند. اندازه، پایداری و توزیع اجزای امولسیون با وزن مخصوص، کشش سطحی، ناخالصی‌های شیمیایی یا آلودگی‌های موجود در نفت خام و آب تعیین می‌شوند. کنترل کننده‌های سطح آب زمانی که سطح آب از حد مجاز پایین تر باشد، هشدار می‌دهند تا مانع خروج نفت خام به همراه پساب خروجی از نمک‌زدا شوند [۳].

مخزن‌های نمک‌زدا از جنس کربن استیل ساخته شده‌اند و ابعاد آن‌ها بر اساس عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های نفت خام، مثل چگالی، گرانی، محتوای آب و کلرید، شدت جریان نفت خام، فشار و دمای عملیاتی، کیفیت و کمیت آب فرایند در دسترس و میزان عملکرد مورد نظر از نفت خام نمک‌زدایی شده، تعیین می‌شود.

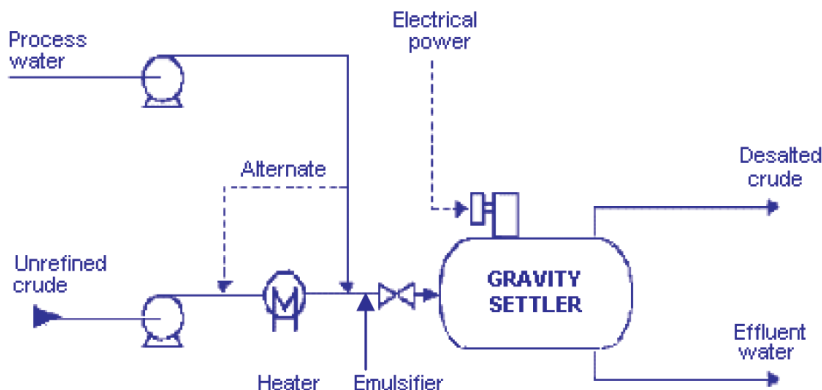
آب شست‌وشو (آبی که ناخالصی کمی دارد) در یک شیر اختلاط ویژه که قادر است آب را به شکل قطرات بسیار ریز

خطی و غیرخطی استفاده شده است. بر اساس نتایج، مشاهده شد که مدل‌های خطی قادر نیستند با دقت مناسبی رفتار فرایند نمک‌زدایی را پیش‌بینی کنند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند نمک‌زدایی فرایندی با رفتار کاملاً غیر خطی است. بر این اساس، آتیی و همکارانش با استفاده از همان داده‌های قبل رفتار نمک‌زدایی و آب‌زدایی را به کمک روش شبکه عصبی مورد ارزیابی قرار دادند. خروجی‌های پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی نیز میزان نمک‌زدایی و میزان آب‌زدایی در نظر گرفته شدند. مشاهده شد که دقت مدل‌سازی به روش شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌سازی غیرخطی قبلی بسیار بهبود یافته است [۸-۱۱].

می‌توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن سه مورد در دسترس بودن اطلاعات به میزان کافی، شناسایی متغیرهای اصلی فرایند (تست حساسیت) و استفاده از مدل‌های غیرخطی (مدل شبکه عصبی) می‌توان رفتار فرایند نمک‌زداها را به خوبی مدل‌سازی کرد. از آنجا که روش شبکه عصبی قوی‌ترین روش مدل‌سازی غیرخطی بر اساس داده تجربی است، در صورت موجود بودن دو مورد اول می‌توان رفتار نمک‌زدایی را با این روش در هر یک از پالایشگاه‌های کشور با دقت بالایی پیش‌بینی کرد. بر این اساس، در کار حاضر، با هدف ارزیابی عملکرد واحد نمک‌زدا در پالایشگاه بندرعباس مدل‌سازی عملیات نمک‌زدایی به کمک شبکه عصبی و با استفاده از داده‌های میدانی و پارامترهای عملیاتی مؤثر در فرایند، انجام گرفت.

### شرح فرایند نمک‌زدایی

چنان‌که اشاره شد، به‌طور معمول نمک به صورت محلول در آب وجود دارد و کریستال‌های نمک فقط در بعضی نمونه‌های نفت خام یافت می‌شوند. مخزن نمک‌زدا وظیفه دارد تا هم محلول‌های آبی هم کریستال‌های نمک محلول در آب را حذف کند. در فرایند نمک‌زدایی، میزان اختلاط نفت خام و آب شست‌وشو را یک شیر اختلاط کنترل می‌کند. بعد از انجام عمل اختلاط، می‌بایست تا حد امکان آب شست‌وشوی اضافه شده به‌طور کامل در مخزن نمک‌زدا جدا شود. این کار را می‌توان با



شکل ۱: واحد نمک زدایی تک مرحله‌ای [۸]

جدول ۱: شرایط عملیات نمک زدایی بر حسب درجه API نفت خام [۲]

درجه API	درصد حجمی آب شست و شو	دما (°C)
$API > 40$	۳-۴	۱۱۵-۱۲۵
$30 < API < 40$	۴-۷	۱۲۵-۱۴۰
$API < 30$	۷-۱۰	۱۴۰-۱۵۰

به هم چسبیدن قطره‌های آب حاوی نمک صورت می‌پذیرد. در این صورت، می‌توان از جریان متناوب یا مستقیم استفاده کرد. پتانسیل لازم معمولاً بین ۱۶۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ ولت است [۸ و ۲]. در صورتی که واحد نمک‌زدایی تک مرحله‌ای (شکل ۱) نیاز به آب شست‌وشو یا آب رقیق‌کننده‌ی زیادی داشته باشد، از سیستم نمک‌زدایی دو مرحله‌ای مانند شکل (۲) استفاده می‌شود. در واحدهای نمک‌زدایی تک مرحله‌ای، بازده عملیات می‌تواند تا ۹۵ درصد نیز باشد و در واحدهای دو مرحله‌ای تا ۹۹ درصد نیز افزایش می‌یابد. در یک فرایند نمک‌زدایی می‌توان از جریان مستقیم و متناوب توأم استفاده کرد تا موجب افزایش کارایی شود [۱۲].

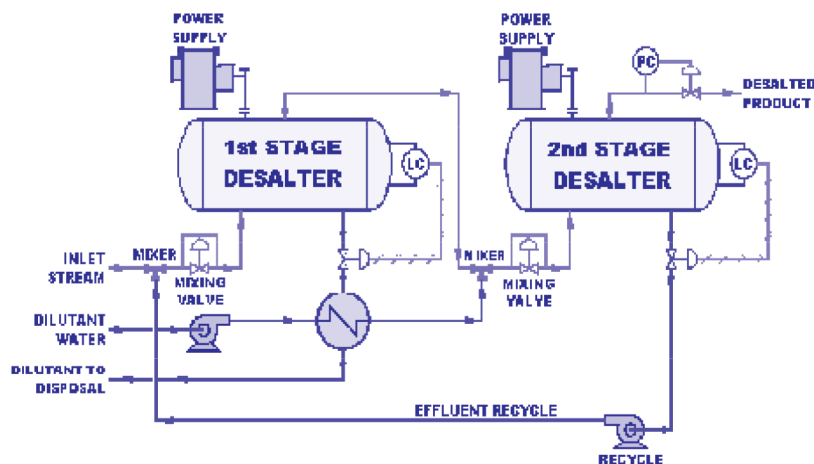
#### واحد نمک‌زدای پالایشگاه بندرعباس

خوراک پالایشگاه بندرعباس مخلوطی از نفت خام سنگین

درآورد، داخل نفت خام پراکنده می‌شود. اگر آب شست‌وشو (آب فرایند) اضافه نشود، قطرات آب موجود در نفت خام توانایی لازم جهت پیوستن به یکدیگر را نخواهند داشت. اضافه کردن آب فرایند، حجم آب کل در نفت خام را افزایش می‌دهد و اجازه می‌دهد تا ناخالصی‌ها از طریق فرایند به هم پیوستگی الکترواستاتیکی قطرات آب جدا شوند. این قطرات آب با بسیاری از اجزای ناخالصی محلول در آب مانند خاک رس و گل داخل نفت خام تماس پیدا می‌کند. مخلوط آب و نفت به داخل مخزن نمک‌زدا هدایت می‌شود که در آن مخلوط با سرعت بسیار بالا به داخل یک میدان الکتریکی وارد می‌شود. میدان الکتریکی باعث جداسازی آب و نفت می‌شود. قطره‌های آب فرایند با قطرات آب شور ترکیب می‌شوند تا قطرات بزرگ‌تری ایجاد کنند. این قطرات را ولتاژ بالای میدان و نیروی جاذبه زمین از نفت خام جدا می‌کند. این فرایند به هم پیوستگی الکترواستاتیکی نامیده می‌شود [۳].

از طرفی ممکن است برای تنظیم pH آب از مواد بازی یا اسیدی استفاده شود. همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، درصد آب مصرفی و دمای عملیات به چگالی نفت خام بستگی دارد:

نمک‌ها در آب شست‌وشو می‌شوند و سپس در مخزن جداکننده، آب و نفت از هم جدا می‌شوند. این جداشدن در اثر ایجاد یک میدان الکتریکی با پتانسیل بالا به منظور تسریع در



شکل ۲: واحد نمک‌زدایی دو مرحله‌ای [۱۲]

دمولسیفایر بر اساس دبی نفت خام متغیر است. در این پالایشگاه به طور معمول، بین ۳ ppm تا ۴ ppm دمولسیفایر تزریق می‌شود و در مواردی که میزان آب نفت خام زیاد است تا ۶ ppm افزایش می‌یابد. براساس مطالعات به عمل آمده، تزریق دمولسیفایر سبب تسهیل امر شکستن امولسیون آب و نفت می‌شود و بدون استثناء در تمام مراجع به عنوان یکی از مراحل اصلی نمک‌زدایی، بر آن تأکید ویژه شده است. اما همان‌طور که گفته شد، تزریق آن در پالایشگاه‌ها به‌طور منظم انجام نمی‌شود. با توجه به گزارش‌های موجود، مشخص شد که اثر تزریق دمولسیفایر در امر نمک‌زدایی در درازمدت دیده می‌شود. به عبارت دیگر، تزریق نکردن دمولسیفایر اثر خودش را بلافاصله نشان نمی‌دهد، بلکه در درازمدت اثر خود را بر روی خوردگی مبدل‌ها و جریان بالای برج تقطیر نشان می‌دهد.

#### شبیه‌سازی عملکرد واحد نمک‌زدای پالایشگاه بندرعباس

براساس هماهنگی‌های به عمل آمده میان پژوهشگاه صنعت نفت، شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی و پالایشگاه بندرعباس مقرر شد که به مدت چهار ماه اطلاعات عملیاتی و آزمایشگاهی مربوط به نمک‌زداهای پالایشگاه بندرعباس ثبت شود تا برای شبیه‌سازی عملکرد نمک‌زدایی-آب‌زدایی مورد استفاده قرار گیرند. اطلاعات عملیاتی در پالایشگاه بندرعباس

صادراتی، نفت خام فروزان و میعانات گازی است و ظرفیت پالایش آن در دو واحد تقطیر ۱۶۵۰۰۰ بشکه در روز است. پالایشگاه بندرعباس در هر یک از واحدها دارای دو نمک‌زدای الکترواستاتیک است که به صورت سری نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. آب مورد نیاز برای نمک‌زدایی در دو مرحله به نفت خام تزریق می‌شود. در مرحله اول حدود ۱۷ متر مکعب در ساعت آب قبل از زنجیره مبدل‌های حرارتی به نفت خام تزریق می‌شود. این کار دو مزیت دارد: اول این که آب تزریق‌شده با گذشتن از مسیر پیش‌گرمکن‌ها، به‌خوبی با نفت خام مخلوط می‌شود و سبب افزایش میزان حلالیت نمک‌های موجود در نفت خام آن می‌شود؛ این فرایند در ادامه سبب افزایش راندمان جداسازی نمک می‌شود. دوم این که دمای آب تزریقی با گذشتن از مسیر پیش‌گرمکن‌ها افزایش می‌یابد و به دمای عملیاتی نمک‌زدا نزدیک می‌شود و اختلال کمتری در شرایط عملیاتی آن ایجاد می‌کند. در مرحله دوم حدود ۲۰ متر مکعب در ساعت آب تازه به صورت ناهمسو مستقیماً به نمک‌زدای دوم تزریق می‌شود. تزریق این آب تازه سبب می‌شود نفتی که در نمک‌زدای اول تا حدودی نمک‌زدایی شده است در نمک‌زدای دوم تا میزان مورد نظر فرآوری شود.

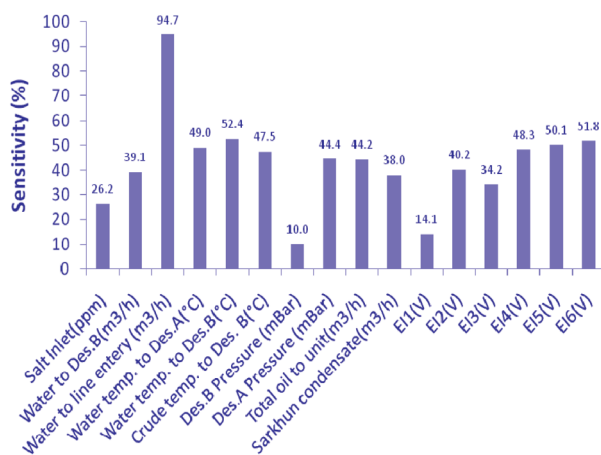
نکته جالب توجه در واحد نمک‌زدای پالایشگاه بندرعباس تزریق دمولسیفایر به جریان نفت خام است. میزان تزریق

جدول ۲: متغیرهای عملیاتی ثبت شده

واحد	پارامتر عملیاتی	
متر مکعب در ساعت (m <sup>3</sup> /h)	شدت جریان نفت خام ورودی به واحد	۱
متر مکعب در ساعت (m <sup>3</sup> /h)	شدت جریان میعانات ورودی به واحد	۲
متر مکعب در ساعت (m <sup>3</sup> /h)	آب تزریق شده به ابتدای خط	۳
متر مکعب در ساعت (m <sup>3</sup> /h)	آب تزریقی به نمکزدای B	۴
درجه سانتی گراد (°C)	دمای آب ورودی به نمکزدای A	۵
درجه سانتی گراد (°C)	دمای آب ورودی به نمکزدای B	۶
درجه سانتی گراد (°C)	دمای نفت ورودی به نمکزدای B	۷
میلی بار (mbar)	فشار نمکزدای A	۸
میلی بار (mbar)	فشار نمکزدای B	۹
ولت (V)	ولتاژ ترانسفورماتورها (شماره ۱ تا ۶)	۱۰

شده است.

با توجه به شکل (۳) مشاهده می شود که میزان آب خروجی از مجموعه نمکزداها وابستگی نسبتاً زیادی به پارامترهای عملیاتی استخراج شده دارد. بر این اساس، میزان وابستگی آب خروجی به آب تزریق شده به اول خط بیش از ۹۴ درصد است. این وابستگی در میان پارامترهای پانزده گانه عملیاتی در نه مورد دیگر نیز بیش از ۴۰ درصد است. این نتایج بیانگر این امر است که پارامترهای مؤثر بر عملیات آب زدایی به خوبی شناسایی شده اند و می توان با استفاده از این پارامترها رفتار

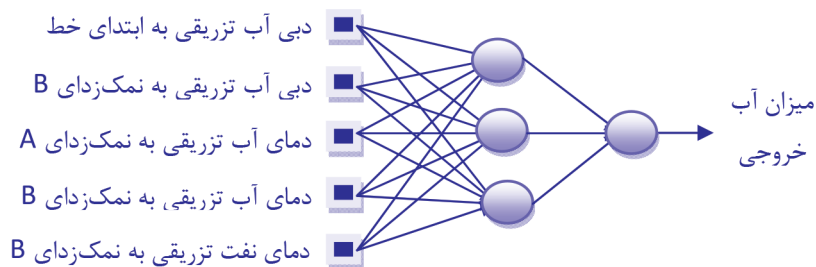


شکل ۳: نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف آب زدایی

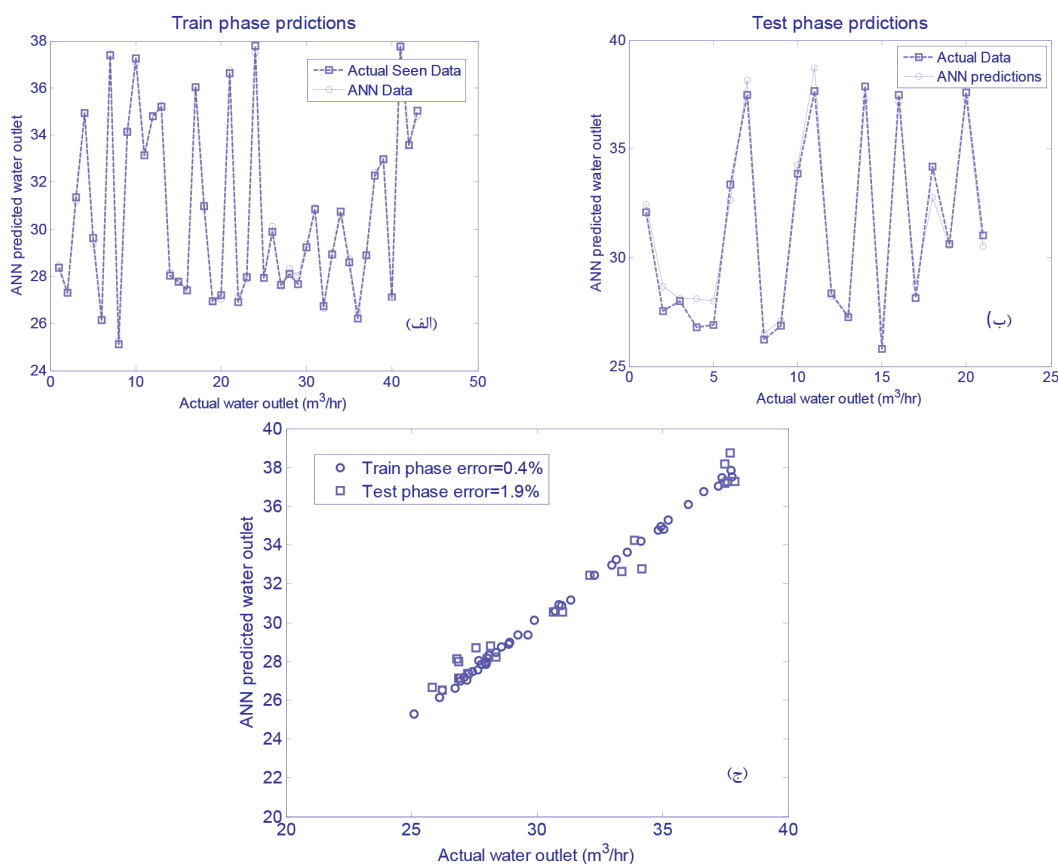
هر ۱۵ دقیقه ثبت می شود. یعنی در هر روز ۹۶ داده عملیاتی برای هر یک از متغیرها قابل استخراج بود. متأسفانه چون اطلاعات آزمایشگاهی فقط دو بار در هفته اندازه گیری می شود، امکان استفاده از این داده های عملیاتی ارزشمند به دست نیامد. در نهایت، با هماهنگی های انجام شده اطلاعات عملیاتی و آزمایشگاهی به صورت روزانه برای نمکزداهای A و B واحد الف، شامل ۱۲۰ عدد مشتمل بر ۱۵ داده عملیاتی در جدول (۲) ارائه شده است.

همچنین، اطلاعات آزمایشگاهی شامل میزان نمک ورودی به نمکزداهای A و B، میزان نمک خروجی از نمکزداهای A و B، میزان آب خروجی از نمکزدای A، pH آب خروجی از نمکزدای A نیز به صورت پنج روز در هفته در طول بازه مذکور به تعداد ۶۴ عدد اندازه گیری شد.

پس از تعیین اطلاعات متناظر عملیاتی و آزمایشگاهی و حذف اطلاعات ناقص، نهایتاً تعداد ۶۴ داده تجربی برای انجام مدل سازی رفتار نمک زدایی-آب زدایی به روش شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. قبل از ایجاد مدل شبکه عصبی، چند تست حساسیت برای تعیین اثر هر یک از ورودی ها بر روی خروجی های مورد نظر انجام گرفت. نتایج تست حساسیت برای خروجی های مختلف در شکل های (۳) تا (۷) نشان داده



شکل ۴: ساختار شبکه عصبی جهت پیش‌بینی میزان آب خروجی

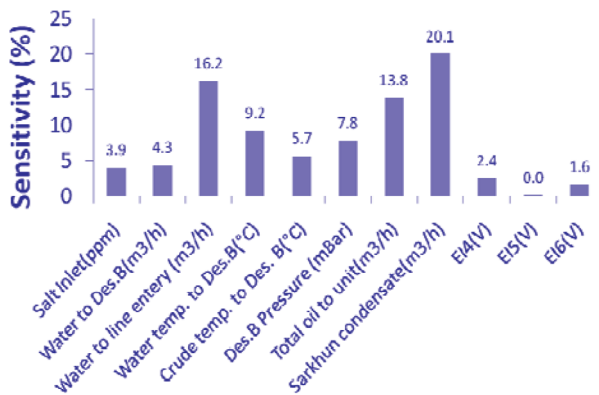


شکل ۵: نتایج پیش‌بینی مدل شبکه عصبی از آب خروجی از مجموعه نمک‌زدهای A و B برای (الف) فاز آزمایش (ب) فاز آموزش (ج) کل داده‌ها

در نظر گرفته می‌شوند. نتایج مدل‌سازی رفتار آب‌زدایی به کمک شبکه عصبی در شکل (۵) نشان داده شده است. در این شکل سه نمودار مختلف مشاهده می‌شود که عبارت‌اند از مقایسه نتایج مدل با داده‌های استفاده‌شده در بخش آموزش (نمودار الف)،

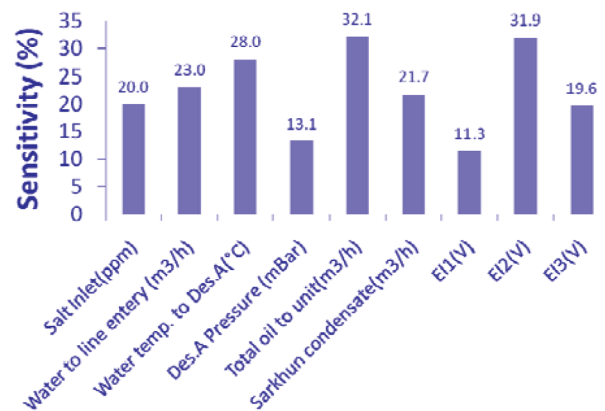
فرایند آب‌زدایی را با دقت بالایی مدل‌سازی و پیش‌بینی کرد. با توجه به این‌که اکثر پارامترهای عملیاتی فوق‌تأثیر نسبتاً زیادی بر میزان آب خروجی دارند، برای ساده‌تر شدن مدل عصبی، پنج پارامتر زیر (شکل ۴) که به لحاظ فرایندی نیز تأثیر مشخصی بر میزان آب خروجی دارند، به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی

Salt Outlet from Desalter B



شکل ۷: نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف نمک زدایی بر روی میزان نمک خروجی از نمک زدای B

Salt Outlet from Desalter A



شکل ۶: نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف نمک زدایی بر روی میزان نمک خروجی از نمک زدای A

نفت خام ورودی به واحد است. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت (شکل ۶)، دو مدل شبکه عصبی جهت پیش بینی مقدار نمک خروجی از نمک زدای A ایجاد شد. در مدل اول کلیه پارامترهای عملیاتی موجود برای نمک زدای A (شکل ۶) به عنوان ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. در مدل دوم نیز به منظور ساده تر شدن مدل و امکان آموزش مناسب تر وزن های شبکه، با توجه به نتایج آنالیز حساسیت پارامترهایی که میزان حساسیت آنها کمتر از ۱۵ درصد بود، حذف شدند و فقط با استفاده از هفت پارامتر باقی مانده مدل شبکه عصبی تولید شد. پس از انجام شبیه سازی مشاهده شد که نتایج حاصل از دو مدل تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا در شکل (۸) فقط نتایج مدل دوم نشان داده شده است که مربوط به یک شبکه با هفت ورودی (پارامترهای عملیاتی که میزان حساسیت آنها روی نمک خروجی بیش از ۱۵ درصد بوده است) و یک لایه پنهان متشکل از سه نرون است.

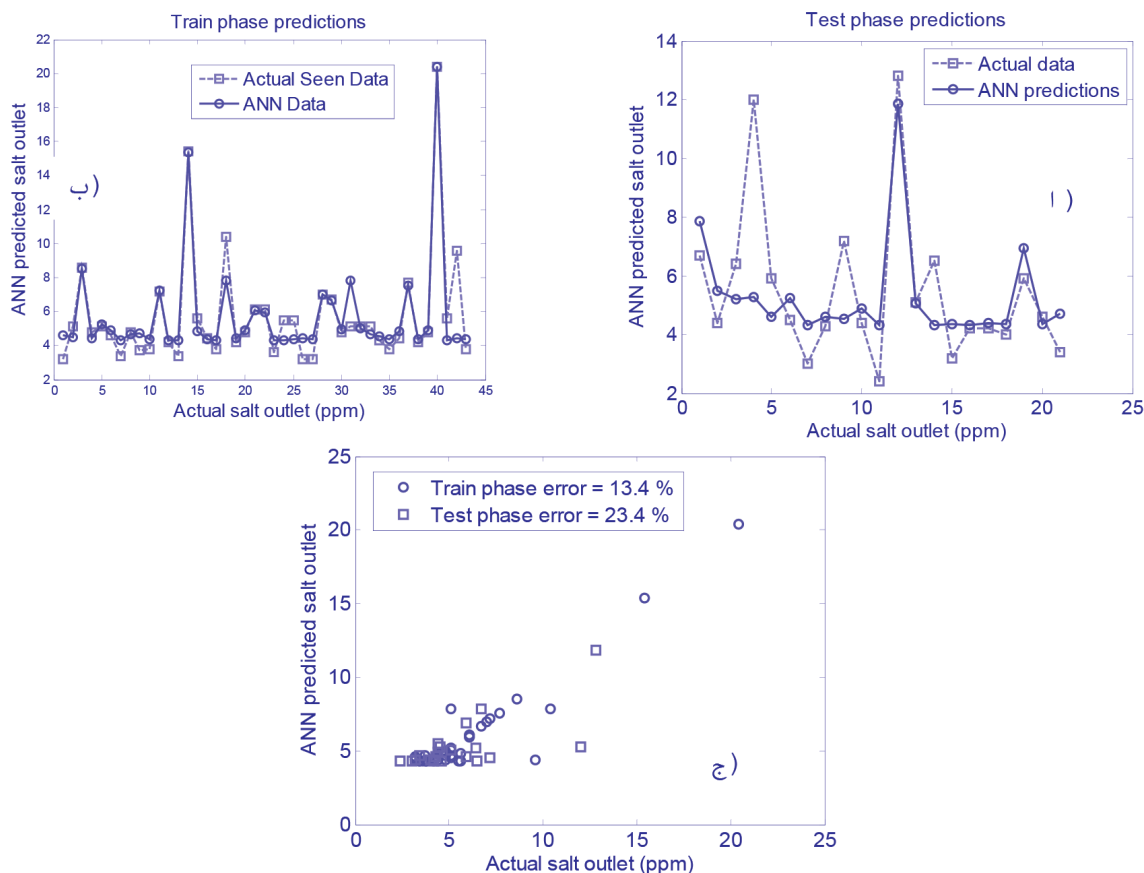
مشاهده می شود که با استفاده از این پارامترها شبکه عصبی قادر نیست مقدار نمک خروجی از نمک زدا را با دقت مناسب پیش بینی کند. به عبارت دیگر، همان طور که قبلاً در نتایج آنالیز حساسیت نیز مشاهده شد، پارامترهای عملیاتی استخراج شده از پالایشگاه بندر عباس تأثیر زیادی بر میزان نمک خروجی از نمک زداها ندارند. نتایج مربوط به پیش بینی نمک خروجی

مقایسه میان نتایج حاصل از مدل و داده های استفاده شده در بخش آزمایش (نمودار ب) و در نهایت مقایسه میان کل نتایج پیش بینی شده توسط مدل و داده های تجربی (نمودار ج). بر اساس نتایج حاصل مشاهده می شود که با استفاده از پنج پارامتر اصلی در نظر گرفته شده، رفتار فرایند آب زدایی با دقت بسیار خوبی پیش بینی شده است. خطای حاصل از نتایج مدل شبکه عصبی در پیش بینی مقدار آب خروجی در فاز آموزش برابر ۰/۴ درصد بوده که این مقدار به ۱/۹ درصد در فاز آزمایش افزایش یافته است.

شکل های (۶ و ۷) نتایج آنالیز حساسیت نمک خروجی از نمک زداهای A و B را نسبت به پارامترهای مختلف عملیاتی نشان می دهد. از مقایسه میان شکل های (۳، ۶ و ۷) مشاهده می شود که برخلاف وابستگی بسیار زیاد پارامترهای عملیاتی اندازه گیری شده با میزان آب خروجی، این پارامترها تأثیر چندانی بر میزان نمک خروجی از نمک زداها ندارند. به عبارت دیگر، از آن جا که پارامترهای تأثیرگذار بر میزان نمک خروجی در دسترس نیستند، پیش بینی چندان دقیقی از نمک خروجی به دست نخواهد آمد.

مطابق شکل (۶)، مشاهده می شود که میزان وابستگی پارامترهای عملیاتی مختلف در پیش بینی میزان نمک خروجی از نمک زدای A حداکثر حدود ۳۲ درصد مربوط به دبی کل





شکل ۸: نتایج پیش‌بینی مدل شبکه عصبی از نمک خروجی از نمک‌زدای A برای (الف) فاز آزمایش (ب) فاز آموزش (ج) کل داده‌ها

نمک‌زدای بنچ امری ضروری به نظر می‌رسد.

#### نتیجه‌گیری

در این پروژه سعی شده است تا عوامل مؤثر بر عملکرد نمک‌زدهای پالایشگاه بندرعباس معرفی و بررسی شوند. به‌طور کلی اطلاعات موجود در واحد نمک‌زدایی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف. اطلاعات عملیاتی ب. اطلاعات آزمایشگاهی. اطلاعات عملیاتی عبارت‌اند از: دمای آب و نفت خام ورودی به نمک‌زدا، میزان اختلاط آب و نفت (فشار شیر اختلاط)، میزان تزریق دمولسیفایر و ولتاژ اعمال شده برای نمک‌زدایی. اطلاعات آزمایشگاهی نیز عبارت‌اند از: نوع نفت خام و دمولسیفایر و

از نمک‌زدای B نیز این مورد را تأیید می‌کند. به نظر می‌رسد که پارامترهای دیگری نظیر فشار شیر اختلاط و میزان تزریق دمولسیفایر نیز در کنار پارامترهای عملیاتی مستخرج شده، نقش مهمی در میزان نمک خروجی از نمک‌زدا دارند. برای بررسی دقیق اثر هر یک از پارامترهای عملیاتی بر عملکرد نمک‌زدایی استفاده از یک سیستم نمک‌زدای بنچ ضروری به نظر می‌رسد. یک نمک‌زدای بنچ می‌تواند مجهز به سیستم‌های کنترلی دقیق باشد و امکان انجام نمک‌زدایی در شرایط عملیاتی مختلف برای آن فراهم است. لذا جهت ایجاد یک بانک داده معتبر از شرایط نمک‌زدایی و بومی کردن دانش فنی ساخت نمک‌زدها و همچنین شبیه‌سازی دقیق رفتار نمک‌زدایی، ساخت یک

میزان نمک در آب و نفت خام ورودی و خروجی نمک‌زداها. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پارامترهای مؤثر بر عملکرد نمک‌زداها بسیار زیاد هستند. بنابراین، تعیین میزان اثر هر یک از این پارامترها بر عملکرد نمک‌زدایی نقش بسزایی در تعیین مناسب‌ترین روش نمک‌زدایی در هر یک از پالایشگاه‌ها خواهد داشت. پس از جمع‌آوری داده‌های تجربی مربوط به نمک‌زداهای پالایشگاه بندرعباس، مدل‌سازی به روش شبکه عصبی جهت پیش‌بینی عملکرد نمک‌زدایی-آب‌زدایی برای آن‌ها انجام گرفت. مدل ایجادشده رفتار فرایند آب‌زدایی را با دقت نسبتاً خوبی پیش‌بینی کرد. اما دقت مدل جهت پیش‌بینی مقدار نمک خروجی از نمک‌زداها چندان مناسب نبود. در واقع، می‌توان گفت که فرایند نمک‌زدایی رفتاری بسیار غیرخطی دارد و میزان تأثیر پارامترهای عملیاتی بر آن چندان مشخص نیست.

#### منابع

1. H.B. Bradley, Petroleum Engineering Handbook, by the Society of Petroleum Engineers, U.S.A., Third printing, 1992.
2. ابوالحمد، گیتی، مبانی پالایش نفت، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۸۱.
3. Petrolite GmbH Desalter manual, Homburg.
4. J.H. Gary, G.E. Handwerk, Petroleum Refining, Technology and Economics, Marcel Dekker, INC., New York, USA, Third Edition, 1994.
5. S. Abdul-Wahab, A. Elkamel, C.R. Madhuranthakam, M.B. Al-Otaibi, Building inferential estimators for modeling product quality in a crude oil desalting and dehydration process, Chemical Engineering and Processing 45, 2006, pp. 568-577.
6. M. Al-Otaibi, A. Elkamel, T. Al-Sahhaf, A. S. Ahmed, Experimental investigation of crude oil desalting and dehydration, Chem. Eng. Comm., 190: pp. 65-82, 2007.
7. K. Zeidani a; A. Bahadori, New Equations Predicting the Best Performance of Electrostatic Desalter, Petroleum Science and Technology, 200, 2004, pp. 16-22.
8. A. Aminian, Prediction of temperature elevation for seawater in multi-stage flash desalination plants using radial basis function neural network, Chemical Engineering Journal 2010, 162, pp. 552-556.
9. M. Khayet, C. Cojocar, Artificial neural network model for desalination by sweeping gas membrane distillation, Desalination 2013, 308, pp. 102-110.
10. M. Khayet, C. Cojocar, Artificial neural network modeling and optimization of desalination by air gap membrane distillation, Separation and Purification Technology 2012, 86, pp. 171-182.
11. M. Tavakolmoghadam, M. Safavi, An optimized neural network model of desalination by vacuum membrane distillation using genetic algorithm, Procedia Engineering 2012, 42, pp. 127-135.
12. E.F. Pruneda, E.R.B. Escobedo, F.J. Vazquez, Optimum Temperature in the Electrostatic Desalting of Maya Crude Oil, J.Mex.Chem.Soc 2005, 49, pp. 14-19.