

بهینه‌سازی فرایندهای عملیاتی پیش تصفیه آب صنعتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک

محمد یوسفی^{*}، محمدحسین یاسین

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، گروه مهندسی شیمی، آبادان، ایران

پیام نگار: mohammad_59_y@yahoo.com

چکیده

فرایند انعقاد در تصفیه آب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که مطالعات زیادی پیرامون نوع ماده منعقد کننده و نیز شرایط عملیاتی بهینه به منظور حذف کدورت انجام شده است. یکی از بهترین روش‌های راهبری صحیح تصفیه خانه‌ها و خصوصاً فرایند اختلاط و انعقاد، مدیریت تزریق مواد شیمیایی است. در این مطالعه، به بررسی مشکلات تولید آب صنعتی در تصفیه خانه شرکت پتروشیمی فجر پرداخته شده است. به همین منظور، جام آزمون با تغییر نوع و غلظت منعقدکننده و کمک منعقدکننده، دور همزن و pH انجام گرفت و در هر آزمایش، کدورت و سختی کل آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری شد. با توجه به اهمیت تمامی داده‌های موجود، طراحی آزمایش‌ها به صورت تمام فاکتوری^۱ و در مجموع با ۱۲۹۶ آزمایش صورت پذیرفت. برای کاهش خطای انسانی و رسیدن به نتایج دقیق‌تر در سامانه پیش تصفیه آب، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیشنهاد شد که با بهره‌گیری از نتایج حاصل از جام آزمون به آموزش این شبکه پرداخته شد. به علت کمتر بودن تعداد پارامترهای ورودی از خروجی در طراحی شبکه عصبی پیش گفته، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی نتایج پیشنهاد شد. پیش‌بینی حاصل از این شبکه برای پارامترهای عملیاتی، بیانگر تطابق بسیار بالای نتایج با داده‌های عملیاتی واحد صنعتی بود. حداکثر خطای نسبی پیش‌بینی کدورت ۰/۶٪ و سختی کل ۲/۳٪ است. باید گفت که شبکه عصبی طراحی شده از قابلیت استفاده در سامانه‌های کنترلی تصفیه خانه‌ها نیز برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: پیش تصفیه آب صنعتی، انعقاد، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

تصفیه را طی کند. فرایندهای متداول تصفیه آب شامل آشغال‌گیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صافی‌سازی و گندزدایی است. انعقاد فرآیندی است که در آن ذرات ریز غیر قابل ته‌نشینی، به نام کلوئید، که عامل مهمی در بروز کدورت‌اند، به یکدیگر می‌جسبند و ذرات درشت‌تر و قابل ته‌نشینی را تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات کلوئیدی موجود در آب بین ۱ تا ۰/۰۰۱ میکرون است و با

رشد روز افزون جمعیت، ارتقاء سطح زندگی، توسعه شهرنشینی و توسعه صنایع و کشاورزی، از جمله عواملی‌اند که به افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در اجتماعات می‌انجامد و محیط زیست را آلوده می‌کنند. آبی که به صورت طبیعی یا توسط انسان آلوده شده است، برای تبدیل به آب آشامیدنی باید فرایندهای مختلف

1. Full Factorial

ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آنها به یکدیگر استفاده می‌شوند. در حالی که هدف از اضافه کردن مواد کمک منعقدکننده افزایش چگالی ذرات به هم چسبیده و کمک به ته نشینی سریع‌تر آنها است. معمولاً، نمک‌های فلزی نظیر سولفات آلومینیم (آلوم)، سولفات فریک، سولفات فرو، کلرید فریک و پلی آلومینیم کلراید به عنوان منعقدکننده و ترکیباتی نظیر سدیم آلومینات، بنتونیت، سدیم سیلیکات (سیلیس فعال) و انواع پلی الکترولیت‌های کاتیونی، آنیونی و غیر یونی به عنوان کمک منعقدکننده در تصفیه آب، به منظور حذف کدورت به کار گرفته می‌شوند [۶]. نتایج استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در تخمین ثابت تراوایی^۵ آب (K_w) نیز بسیار رضایت بخش بوده است. این ثابت یکی از پارامترهای مهم در طراحی فرایندهای اسمز معکوس به‌شمار می‌آید [۷].

در طی سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای پیرامون فرآیند انعقاد صورت پذیرفته و مواد منعقدکننده مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در حال حاضر، پلی آلومینیم کلراید^۶، آلومینیوم سولفات^۷ و فریک کلراید^۸ از جمله رایج‌ترین منعقدکننده‌های به کار رفته در تصفیه آب به منظور حذف کدورت محسوب می‌شوند. ترکیب پلی آلومینیم کلراید منعقدکننده پیش بسیار شده‌ای است که در سال‌های اخیر کاربرد گسترده‌ای یافته است، به نحوی که امروزه در کشورهای چون آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان به یکی از رایج‌ترین منعقدکننده‌های مورد استفاده در تصفیه آب تبدیل شده است. محدوده عمل وسیع pH، حساسیت کمتر نسبت به گرما، باقی گذاردن پسماندی کمتر نسبت به منعقدکننده‌های فلزی دیگر، کاهش لجن تولیدی و سهولت آبیگری لجن، از جمله مزایای پلی آلومینیم کلراید است که افزایش مصرف آن را در تصفیه آب در پی داشته است. کلراید فریک و سولفات آلومینیم (آلوم) نیز منعقدکننده‌هایی‌اند که استفاده از آن‌ها رواج فراوان دارد. بررسی سه منعقدکننده یادشده و شرایط استفاده از آنها از جمله کارهایی است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است.

در سال‌های اخیر، در کشورهای پیشرفته به دلیل رابطه افزایش کدورت خروجی از تصفیه خانه با خطر عبور ریزاندامگانها، هدف را رسیدن به کدورت NTU ۰/۱ قرار داده‌اند. اما در ایران حد

میکروسکوپ معمولی قابل رؤیت نیستند. سرعت ته نشینی طبیعی ذره‌ای با قطر ۰/۱ میکرون حدود ۳ متر در یک میلیون سال برآورد می‌شود، و از این رو فرایند زلال‌سازی آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلئیدی را افزایش دهد، ناممکن به نظر می‌رسد [۱].

به طور کلی، مواد ایجاد کننده کدورت شامل خاک رس، سیلت، ویروس، باکتری، اسیدهای فولویک و هیومیک، مواد معدنی نظیر آزبست، سیلیکات و ذرات پرتوزا هستند. کدورت ضمن ایجاد ظاهری نامطلوب، می‌تواند پناهگاهی برای ریزاندامگانها در مقابل گندزدایی باشد، ضمن آن که کدورت بیش از حد مجاز می‌تواند وجود نقص در سیستم تصفیه را نشان دهد [۲].

تاریخچه بهره‌گیری از مواد منعقدکننده در تصفیه آب به منظور حذف کدورت بسیار طولانی است و به استفاده مصریان از آلوم در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد بر می‌گردد. سال‌ها بعد در انگلستان در سال ۱۷۶۷، مردم عادی جهت زلال سازی آب گل آلود از این ماده استفاده کردند. در سال ۱۸۸۴ نیز اولین امتیاز فرآیند انعقاد به وسیله پرکلراید آهن در شرکت نیواورلتان به ثبت رسید و یک سال بعد دانشگاه راتگرز نتایج اولین تحقیقات خود را در مورد آلوم به عنوان یک منعقدکننده، منتشر کرد. حاصل تحولات یاد شده این بود که عمل انعقاد به عنوان پیش فرآیندی که عمل صافش را کامل خواهد کرد، شناخته شد [۳].

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از بهترین روش‌های پیش بینی شرایط عملیاتی در تصفیه آب به‌شمار می‌آید. در مقایسه‌ای که میان پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) و روش سطح پاسخگویی^۲ (RSM) به منظور بهینه‌سازی شیرین سازی آب با استفاده از روش اسمز معکوس انجام پذیرفت، نیز نتایج دقیق‌تر شبکه عصبی مصنوعی تأیید شد [۴]. همچنین، استفاده از این روش با کمک الگوریتم ژنتیک^۳ در پیش بینی فرایند تصفیه پساب آلوده به روغن با استفاده از روش صافش پیشرفته^۴ (UF) نیز مورد تأیید قرار گرفته است [۵].

طی فرآیند انعقاد از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده مختلف استفاده می‌شود. مواد منعقدکننده شامل موادی‌اند که به منظور

5. Permeability Constant
6. PAC
7. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
8. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$

1. Artificial Neural Network
2. Response Surface Methodology
3. Genetic Algorithm
4. Ultrafiltration

(جدول (۱)). انتخاب شرایط عملیاتی یاد شده در بالا، بر اساس اطلاعات موجود از کارخانه‌های مختلف، چون پتروشیمی فجر، واش واتر اهواز و تصفیه خانه صنایع فولاد صورت گرفت. با توجه به مقتضیات زمانی، امکان استفاده از تمامی حالات آب خام ورودی به مجتمع پتروشیمی فجر میسر نبود. به همین علت، با توجه به خواص آب خام ورودی، نمونه‌ها را در آزمایش جام آزمون در سه گروه کلی بر اساس کدورت و سختی کل اولیه دسته‌بندی و بررسی کردیم (جدول (۲)).

جدول ۱. پارامترهای مورد بررسی در جام آزمون

ردیف	پارامتر مورد نظر	شرایط بررسی شده
۱	نوع منعقدکننده	کلراید فریک، پلی آلومینیم کلراید، سولفات آلومینیم
۲	غلظت منعقدکننده (ppm)	۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰
۳	نوع کمک منعقدکننده	پلی الکترولیت آنیونی، نشاسته گندم
۴	غلظت کمک منعقدکننده (ppm)	۲، ۶، ۱۰
۵	دور همزن (rpm)	۲۰، ۵۰
۶	pH	۸، ۹، ۱۰

جدول ۲. مشخصات آب ورودی به شرکت پتروشیمی فجر

ردیف	مشخصات آب ورودی	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم
۱	کدورت (NTU)	۳۰	۱۲۰	۸۰۰
۲	سختی کل (ppm)	۴۵۰	۵۵۰	۶۲۰

تعداد آزمایش‌های انجام شده برای هر کدام از گروه‌های نام برده ۴۳۲ بود که با احتساب سه گروه یاد شده در بالا، در مجموع ۱۲۹۶ آزمایش بررسی شد. باید گفت که با توجه به اهمیت داده‌های

مجاز و مطلوب NTU ۱ تا ۵ است. لازمه رسیدن به استانداردهای جهانی، علاوه بر استفاده از روش‌های نوین تصفیه، برخورداری از مدیریت، راهبری و نگهداری صحیح سیستم‌هاست [۸]. یکی از بهترین روش‌های راهبری صحیح تصفیه خانه و مخصوص فرایند اختلاط و انعقاد، مدیریت تزریق مواد شیمیایی است. مدیریت تزریق منعقدکننده‌ها مسئله‌ای جهانی است که معیاری برای رسیدن به کدورت کم در هر تصفیه خانه به‌شمار می‌آید و شامل تعیین نوع مواد شیمیایی، میزان تزریق، روش کاربرد مواد و جز آنهاست [۹]. در مجموع، می‌توان گفت که دستیابی به حداکثر راندمان حذف کدورت، معمولاً بر مبنای تجربه بهره‌برداران و یا به صورت دقیق‌تر بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های دوره‌ای جام آزمون در جهت تعیین بهترین ماده منعقدکننده همراه با بهترین شرایط کاربرد انجام می‌شود. در این تحقیق، ضمن انجام آزمایش‌های جام آزمون، برای کاهش خطای انسانی و بهره‌مندی از کنترل کامپیوتری شرایط عملیاتی پیش تصفیه آب، بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. باید گفت که تحقیقات زیادی در ارتباط با کاربرد شبکه عصبی در بهینه‌سازی شرایط عملیاتی سامانه‌های پیش تصفیه آب صورت نگرفته و تحقیقات موجود تنها بر روی پیش بینی یک عامل، مانند میزان مصرف منعقدکننده توسط شبکه عصبی، متمرکز شده است. شبکه عصبی طراحی شده که در ادامه به طور کامل آن را تشریح می‌کنیم، از این ویژگی برخوردار است که با کمک بهینه‌سازی‌های الگوریتم ژنتیک، نتایج دقیق‌تری را پیش بینی کند. علاوه بر این، از توانایی پیش بینی تمام شرایط عملیاتی که برای آن تعریف کرده‌ایم، برخوردار است.

۲- روش آزمایش

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با بهره‌گیری از دستگاه جام آزمون در آزمایشگاه شرکت پتروشیمی فجر واقع در منطقه ویژه اقتصادی شهرستان بندر ماهشهر صورت گرفت. به منظور مقایسه کارایی منعقدکننده‌های سولفات آلومینیم، کلراید فریک و پلی آلومینیم کلراید در حذف کدورت، آزمایش‌ها بر مبنای متغیرهایی چون غلظت ماده منعقدکننده (۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، pH (۸، ۹ و ۱۰)، نوع ماده کمک منعقدکننده (نشاسته گندم، پلی الکترولیت آنیونی)، غلظت کمک منعقدکننده (۲، ۶ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و دور همزن (۲۰ و ۵۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت

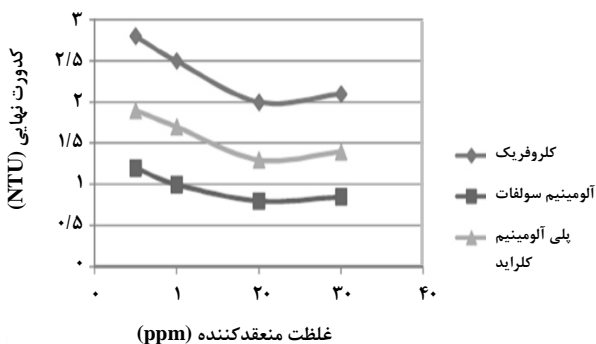


شکل ۲. متغیرهای بررسی شده در جام آزمون به صورت طرح کلی

۳- نتایج

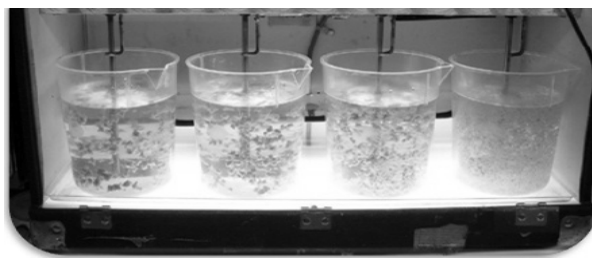
نتایج حاصل از انجام مطالعه پیرامون کارایی سه منعقدکننده رایج آلومینیم سولفات، کلراید فریک و پلی آلومینیم کلراید که در شرایط عملیاتی مختلف برای کاهش کدورت و سختی کل مورد استفاده قرار گرفتند، در زیر آورده شده است. باید گفت که به علت فراوان بودن آزمایش‌های انجام شده، برخی نتایج گروه اول آب ورودی به عنوان نمونه برشمرده شده است. نتایج بررسی تمام شرایط عملیاتی که تعداد آنها ۱۲۹۴ آزمایش است، از آنجا که در طراحی شبکه عصبی به کار گرفته شده‌اند، مهم است. از این رو نتایج پیش رو به عنوان نمونه‌هایی از تمامی آزمایش‌ها، به منظور آشنایی با اطلاعات جمع آوری شده است.

در بررسی نتایج آزمایش‌ها، آلومینیم سولفات از نظر بازده حذف کدورت در غلظت‌های متفاوت، شرایط بهتری نسبت به دو منعقدکننده دیگر داشت، در مرتبه بعد پلی آلومینیم کلراید و در انتها کلراید فریک قرار دارد (شکل (۳)). آزمایش‌های یاد شده در بالا در حضور دو میلی گرم نشاسته گندم به عنوان کمک منعقدکننده و در $pH=8$ ، و دور همزن ۵۰ rpm انجام شد.



شکل ۳. بازده منعقدکننده‌های مختلف در غلظت‌های متفاوت در کاهش کدورت

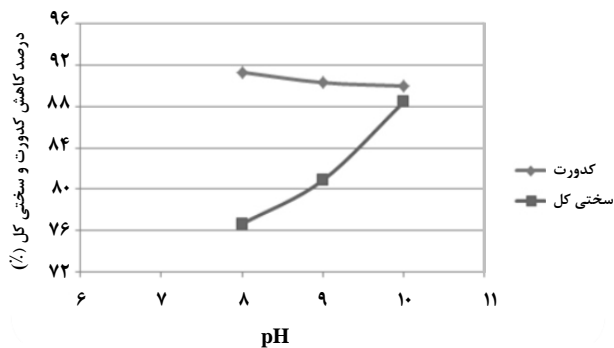
موجود به منظور انجام آموزش شبکه عصبی^۱ که در ادامه به آن پرداخته می‌شود، طراحی آزمایش‌ها به صورت تمام فاکتوری در نظر گرفته شد. تنظیم pH نمونه‌ها با استفاده از اسیدکلریدریک و سدیم هیدروکسید ۱٪ نرمال انجام شد. پس از آن که نمونه با مشخصات مورد نظر (pH، کدورت، سختی کل) آماده شد، نمونه به درون ظرف دستگاه جام آزمون مدل HACH تخلیه و عمل اختلاط سریع با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و به مدت ۱ دقیقه صورت گرفت (شکل (۱)). در مدت زمان اختلاط سریع، منعقدکننده نیز به نمونه‌ها اضافه می‌شود، تا فرایند انعقاد آغاز و ذرات منعقد شوند. اختلاط آرام با توجه به جدول (۱) در دو دور ۲۰ یا ۵۰ دور بر دقیقه و به مدت ۲۰ دقیقه انجام می‌شود. در زمان اختلاط آرام باید توجه شود که کمک منعقدکننده‌ها باید به نمونه اضافه شود تا فرایند تشکیل لخته‌ها تسریع شود. پس از پایان عمل اختلاط آرام، نمونه‌ها به مدت زمان ۳۰ دقیقه، به منظور ته نشینی در حال سکون قرار گرفت. باید گفت که شرایط اختلاط در جام آزمون با توجه به شرایط اختلاط در صنعت شبیه سازی و مورد استفاده قرار گرفت. سپس از دو سانتیمتری زیر سطح آب درون ظرف یک نمونه ۲۵ میلی لیتری برداشت و با استفاده از کدورت‌سنج مدل WP-89TPS کدورت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سختی کل نمونه‌ها نیز با استفاده از روش تیتراسیون با محلول EDTA اندازه‌گیری شد. در پایان، نتایج حاصل از جام آزمون در طراحی شبکه عصبی به کار گرفته شد که مقایسه پیش بینی شبکه عصبی با داده‌های صنعتی موجود بیانگر دقت بالا و خطای بسیار ناچیز و قابل اغماض شبکه عصبی طراحی شده بود.



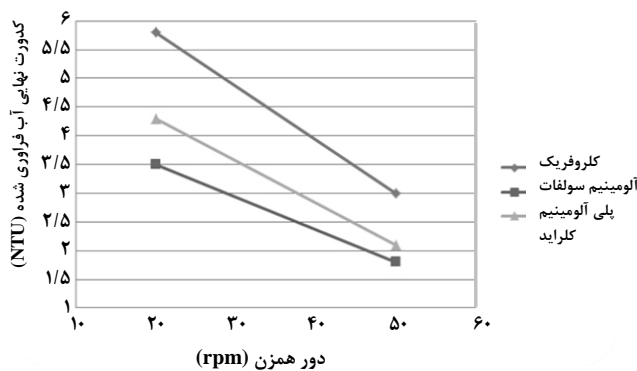
شکل ۱. طرح کلی جام آزمون

چگونگی آزمایش‌های انجام شده در جام آزمون را می‌توان به صورت طرح کلی نشان داد (شکل (۲)).

در آزمایش‌های انجام شده، افزایش دور همزن از ۲۰ به ۵۰ دور بر دقیقه، بازده کاهش کدورت و سختی کل را افزایش می‌دهد (شکل ۶). آزمایش‌های یادشده در حضور ۱۰ میلی گرم منعقدکننده و ۲ میلی گرم پلی الکترولیت آنیونی به عنوان کمک منعقدکننده در pH=۸ انجام شد.



شکل ۵. تأثیرات pH بر بازده کاهش کدورت و سختی کل

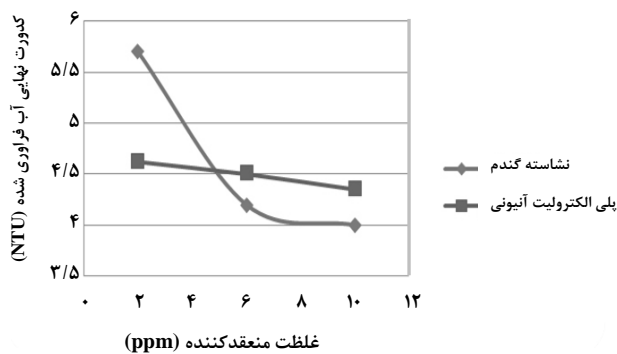


شکل ۶. تأثیرات دور همزن بر بازده کاهش کدورت

۴- طراحی شبکه عصبی مصنوعی

حال با بهره‌گیری از نتایج به دست آمده از آزمایش‌های جام آزمون، شبکه عصبی را به منظور پیش بینی شرایط عملیاتی آموزش می‌دهیم. برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر، برای هر گروه از آب‌های ورودی، شبکه عصبی را به صورت جداگانه آموزش می‌دهیم. این کار علاوه بر بالا بردن دقت پیش بینی شبکه، زمان محاسبات را نیز کوتاه می‌کند. در این مطالعه، به علت شباهت روند طراحی شبکه عصبی برای هر سه گروه آب ورودی، نتایج شبکه عصبی مربوط به گروه اول آب ورودی بیان شده است. جدا کردن داده‌های مورد نظر برای آموزش شبکه عصبی، بر اساس شرایط واحد صنعتی شرکت پتروشیمی فجر صورت گرفت. مثلاً، برای گروه اول آب ورودی در

نتایج حاصل از بررسی کمک منعقدکننده‌ها در غلظت‌های متفاوت مصرف آنها، حاکی از بالاتر بودن بازده حذف کدورت به واسطه پلی الکترولیت آنیونی در غلظت‌های پایین مصرف بود. در حالی که در غلظت‌های بالای مصرف، کمک منعقدکننده، بازده ناشاسته بالاتر است (شکل ۴). آزمایش‌های بالا در حضور ۲۰ میلی گرم کلراید فریک به عنوان منعقدکننده و در pH=۸، و دور همزن ۲۰ rpm انجام شد.



شکل ۴. بازده کمک منعقدکننده‌های مختلف در غلظت‌های متفاوت در کاهش کدورت

یکی از مهمترین عوامل در بازده کاهش کدورت و سختی کل، pH است. به همین علت، در این قسمت بر روی آزمایش‌هایی که پارامتر متغیرشان pH است و سایر پارامترهایشان ثابت در نظر گرفته شده، تمرکز کردیم. نتایج، بیانگر این نکته بود که در تغییرات pH روند بازده کاهش کدورت و سختی کل، کاملاً در جهت عکس یکدیگرند (شکل ۵). به بیان مختصر، می‌توان گفت که هر چه pH به سمت قلیابیت پیش رود، بازده کاهش سختی کل افزایش می‌یابد و بازده کاهش کدورت هم کاهش می‌یابد. در pH های اسیدی، روش کاهش کدورت و سختی کل عکس حالت پیش است. آزمایش‌های یادشده در حضور ۲۰ میلی گرم کلراید فریک به عنوان منعقدکننده و ۶ میلی گرم پلی الکترولیت آنیونی به عنوان کمک منعقدکننده در دور همزن ۲۰ rpm انجام شد.

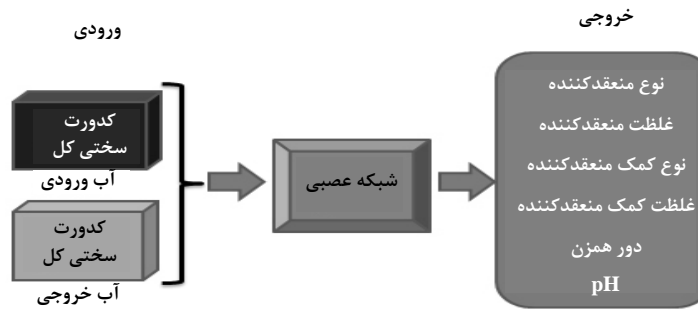
عامل تأثیرگذار دیگر در فرایند انعقاد، تعداد دور همزن است [۶]. به علت محدودیت‌های زمانی تنها دو دور مورد بررسی قرار گرفت. ذکر این نکته لازم است که انجام این آزمایش در دو دور ملاک مناسبی برای پیش بینی روند تأثیرگذاری افزایش دور بر بازده فرایند مورد نظر نیست، اما در جهت دهی به آزمایش‌های آینده کمک می‌کند.

پیش بینی کند (شکل (۷)).
با توجه به مطالعات صورت گرفته روی شبکه‌های عصبی، این نکته روشن شد که برای رسیدن به نتایج آرمانی پیش بینی، باید تعداد ورودی‌های شبکه عصبی از تعداد خروجی‌های آن بیشتر باشد [۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴]. با توجه به فرایند مورد نظر ما، استفاده از شبکه عصبی به تنهایی به صورت بالا امکان پذیر نیست و نتایج پیش بینی انحراف زیادی دارد. به همین منظور، شبکه به صورتی طراحی شد که جای خروجی و ورودی را تغییر داده و به کمک الگوریتم ژنتیک نتایج پیش بینی بهینه شد (شکل (۸)).

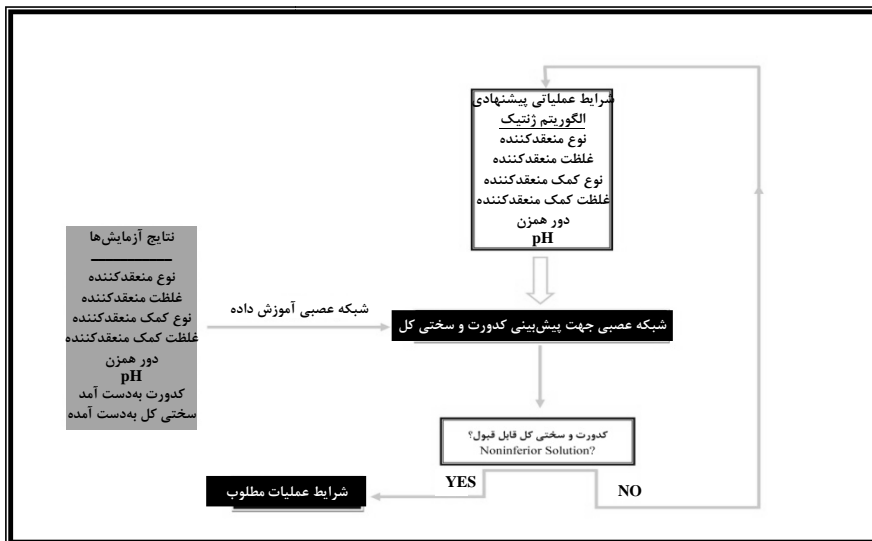
صنعت، راندمان مجاز برای کاهش کدورت و سختی کل را ۸۰٪ در نظر گرفته‌اند. بر همین اساس، از ۴۳۲ داده آزمایشگاهی، ۲۴۳ آزمایش با بازده فرایند صنعتی هماهنگی داشت. از این ۲۴۳ داده، ۱۷۱ داده برای آموزش، ۳۶ داده به منظور آزمون نتایج و ۳۶ داده به منظور ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفت (جدول (۳)).
شبکه عصبی مورد نظر ما باید از این توانایی برخوردار باشد که بعد از آموزش برای گروه اول آب ورودی، با دادن مقادیر کدورت و سختی کل مورد نظر خروجی، شرایط عملیاتی را

جدول ۳. داده‌های به کار گرفته شده در شبکه عصبی برای گروه اول آب ورودی

تعداد آزمایش های جام آزمون	نتایج قابل قبول	آموزش شبکه	آزمون شبکه	ارزیابی شبکه
۴۳۲	۲۴۳	۱۷۱	۳۶	۳۶



شکل ۷. ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۸. بهینه‌سازی پیش بینی نتایج شبکه عصبی به کمک الگوریتم ژنتیک

دارای دو مقدار است (کدورت و سختی کل). برای حل چنین مسائلی از الگوریتم ژنتیک چند موضوعی استفاده می‌شود. جزییات شبکه عصبی از این قرار است (جدول (۴)).

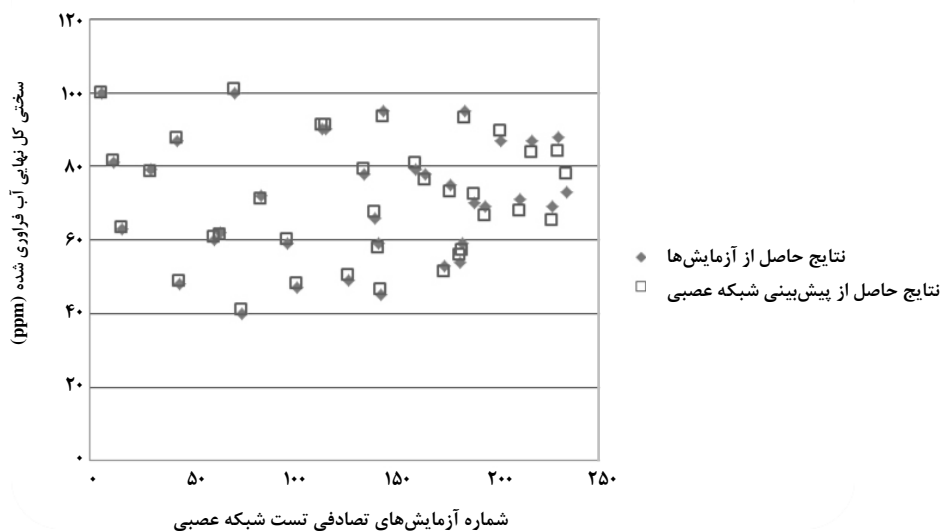
۵- بررسی پیش بینی‌های شبکه عصبی

شبکه عصبی طراحی شده به منظور پیش بینی کدورت و سختی کل از دقت بالایی برخوردار است. مثلاً، حداکثر خطای نسبی پیش بینی کدورت 0.06% و سختی کل 2.3% است (شکل (۹)).

به طور کلی، بعد از اینکه شبکه‌ها آموزش دیدند، آنها را به عنوان عملکرد انطباق^۱ برای الگوریتم ژنتیک قرار داده‌ایم تا ورودی‌های مناسب برای تولید یک جواب مطلوب از شبکه عصبی را (که به شکل کمینه تعریف می‌شود) مشخص کند. الگوریتم ژنتیک با جستجوی تمام فضای پاسخ‌های محتمل و منطقی، شرایط عملیاتی مناسب را می‌یابد و آن را در شبکه عصبی قرار می‌دهد تا مشخص شود آیا مقدار کمینه به دست می‌آید یا خیر؟ با سپری شدن زمان و چرخه‌های الگوریتم ژنتیک، این شرایط عملیاتی به سمت حالت بهینه خود همگرا می‌شوند. در اینجا عملکرد انطباق ما

جدول ۴. مشخصات شبکه عصبی طراحی شده (نرم افزار MATLAB R2012a)

شبکه عصبی	نوع شبکه	تابع آموزش	تعداد لایه‌ها	تعداد عصب لایه اول	تعداد عصب لایه دوم	تعداد عصب لایه سوم	تابع انتقال لایه اول	تابع انتقال لایه دوم	تابع انتقال لایه سوم
Both	FFBP	TRAINBR	۳	۱۵	۱۵	۲	TANSIG	TANSIG	PURELIN
شبکه عصبی	تابع عملکرد	دوره‌ها	توان حافظه	کاهش توان حافظه	حداقل گرادیان خطا	سرعت یادگیری	ضریب افزایش سرعت یادگیری	ضریب کاهش سرعت یادگیری	حداکثر مقدار سرعت یادگیری
Both	SSE	۹۱	۵۰	۱	e^{-10}	e^{-3}	۱۰	e^{-1}	e^{-1}



شکل ۹. مقایسه نتایج پیش بینی شبکه عصبی و داده‌های آزمایشگاهی

1. Fitness Function

۶- نتیجه‌گیری

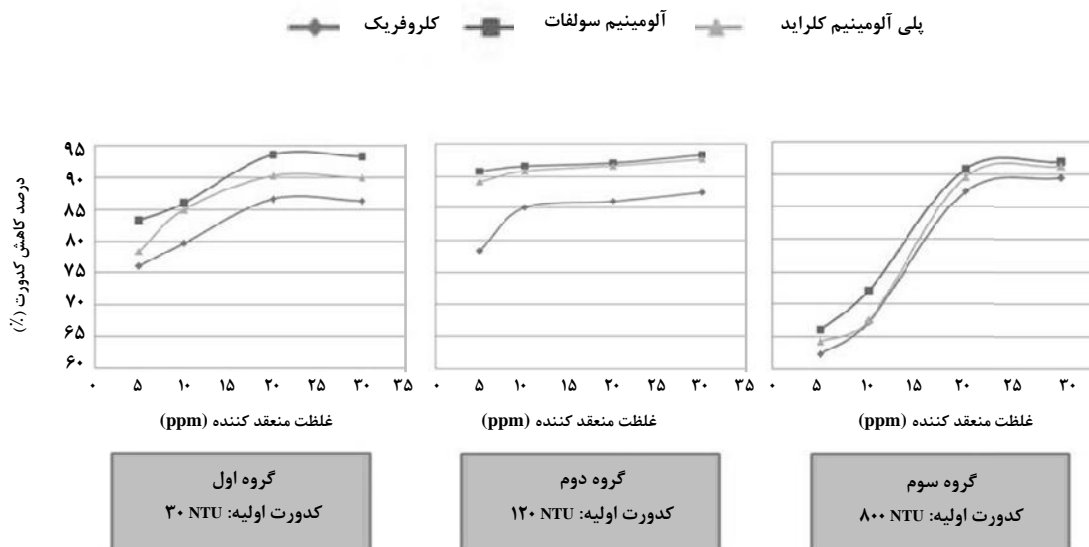
نتایج حاصل از مطالعه بالا را می‌توان در دو دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول، بررسی نتایج آزمایش‌های تجربی است که کاملاً قابل استناد است و پارامترهای عملیاتی مورد نیاز برای بهینه‌سازی سیستم پیش تصفیه آب صنعتی را ارائه می‌دهد. مثلاً، در شکل (۱۰) درصد کاهش کدورت در شرایط مختلف روی نمودار به وضوح مشخص شده است.

با توجه به نتایج بالا می‌توان به حداکثر کاهش کدورت در شرایط عملیاتی مختلف رسید. ایرادی که می‌توان به نتایج بالا وارد دانست، محدودیت شرایطی مانند کدورت اولیه است که با توجه به شرایط رودخانه کارون، کدورت به هیچ عنوان ثابت نیست و در شرایط مختلف به شدت تغییر می‌کند. به همین منظور، استفاده از شبکه عصبی پیشنهاد شد.

دسته دوم، بررسی نتایج حاصل از پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به ویژگی منحصر به فردی که دارند، این قابلیت را به دست می‌آورند که در شرایط جدید نیز بهترین پیش بینی ممکن از شرایط عملیاتی مورد نیاز برای کاهش

کدورت را به دست دهند.

مهم‌ترین بخش مقایسه نتایج پیش بینی شبکه عصبی، مربوط به زمانی است که از آن به منظور پیش‌بینی شرایط عملیاتی استفاده می‌شود. اهمیت آن آنجاست که در آموزش شبکه عصبی از داده‌های آزمایشگاهی استفاده کردیم و داده‌های صنعتی هیچ نقشی در طراحی شبکه عصبی نداشتند. همانطور که در شکل (۹) نیز مشاهده شد، خطای پیش بینی شبکه عصبی طراحی شده بسیار ناچیز است. از این رو، در صورت پیش بینی مناسب شرایط عملیاتی توسط شبکه عصبی، به این نتیجه می‌رسیم که شبکه عصبی به کمک الگوریتم ژنتیک از توانایی پیش بینی شرایط عملیاتی برخوردار شده و در سیستم‌های کنترلی عملیات مربوط به پیش تصفیه آب قابل استفاده است. با این کار، علاوه بر بالا بردن بازده سیستم پیش تصفیه آب، خطای انسانی به حداقل رسانده می‌شود. برای اطمینان از صحت نتایج شبکه عصبی، شرایط عملیاتی پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار را، همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، روی نمونه آب اعمال کردیم که نتایج حاصل، با دقتی مناسب، در شکل مشاهده می‌شود.



شرایط آزمایش:

نوع کمک منعقدکننده: نشاسته گندم

غلظت کمک منعقدکننده: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر

دور همزن: ۲۰ rpm

۹ pH

شکل ۱۰. درصد کاهش کدورت در شرایط عملیاتی مشخص شده

جدول ۵. نتایج پیش بینی شبکه عصبی بر روی یک نمونه آب

کدورت خروجی مطلوب: ۱ NTU سختی کل خروجی مطلوب: ۳۰ ppm			
نتیجه جام آزمون کدورت نهایی: ۱/۳۲ NTU سختی کل نهایی: ۳۲/۴۵ ppm	پیش‌بینی شبکه عصبی	شرایط عملیاتی	گروه اول کدورت اولیه: NTU31 سختی کل اولیه: ۴۵۶ ppm
	۲۶/۳۱	غلظت منعقدکننده (ppm)	
	۹/۶۸	غلظت کمک منعقدکننده (ppm)	
	۹/۸۳	pH	
	سولفات آلومینیم	نوع منعقدکننده	
	پلی الکترولیت آنیونی	نوع کمک منعقدکننده	
۵۰	دور همزن (rpm)		

آب صنعتی تعمیم داد. همان گونه که در جدول (۶) نیز مشاهده می‌شود، مقادیر پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های صنعتی به منظور کاهش کدورت از ۳۰ NTU به مقدار مطلوب ۱ NTU، کاهش میزان مصرف ماده منعقدکننده از ۳۰ ppm به ۲۳/۱۴ ppm را نشان می‌دهد که در دراز مدت به صرفه‌جویی اقتصادی مناسبی می‌انجامد. این مورد در غلظت کمک منعقدکننده و همچنین pH نیز مشهود است. به بیانی دیگر، برای کاهش کدورت از ۳۰ NTU به ۱ NTU، مواد شیمیایی مورد نیاز بسیار کمتر از مواد شیمیایی است که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد و به راحتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌توان میزان دقیق تزریق مواد را پیش‌بینی کرد، با این وجود، تغییر در تمامی پارامترهای عملیاتی در پتروشیمی فجر به منظور بررسی هرچه بهتر و کامل‌تر نتایج شبکه طراحی شده، پیشنهاد می‌شود.

در آزمون بالا، به منظور کاهش کدورت آب از ۳۱ NTU به مقدار مطلوب ۱ NTU، و نیز سختی کل آب از ۴۵۶ ppm به مقدار مطلوب ۳۰ ppm، شبکه عصبی پیش‌بینی‌هایی را ارائه داد که در جدول (۵) مشاهده می‌شود. با اعمال شرایط بالا روی نمونه آب در جام آزمون، نتایج نهایی مقادیر کدورت ۱/۳۲ NTU و سختی کل ۳۲/۴۳ ppm حاصل شد که با نتایج مطلوب خطایی ناچیز مشاهده شد. در پایان، نتایج پیش‌بینی بر روی شرایط آب صنعتی در محیط عملیاتی مورد آزمایش قرار گرفت. همان‌طور که در جدول (۶) نشان داده شده است، به علت محدودیت‌های موجود در صنعت، تغییر برخی پارامترها، همچون نوع منعقدکننده، نوع کمک منعقدکننده و دور همزن مقدور نبود و به همین منظور شرایط ثابت را از موارد پیش‌بینی شبکه عصبی خارج کردیم ولی با توجه به پیش‌بینی قابل قبول شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده برای پارامترهای غلظت منعقدکننده، غلظت کمک منعقدکننده و pH می‌توان نتایج شبکه بالا را به تمامی پارامترهای تأثیرگذار در فرایند پیش تصفیه

جدول ۶. مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی شبکه عصبی با داده‌های صنعتی

پیش‌بینی شبکه عصبی	داده‌های صنعتی	شرایط عملیاتی	
۲۳/۱۴	۳۰	غلظت منعقدکننده (ppm)	پارامترهای قابل تغییر
۹/۸۴	۱۰	غلظت کمک منعقدکننده (ppm)	
۸/۳۲	۹	pH	
—	کلروفیک	نوع منعقدکننده	پارامترهای غیرقابل تغییر
—	پلی الکترولیت آنیونی	نوع کمک منعقدکننده	
—	۵۲	دور همزن (rpm)	

۷- سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از زحمات تمامی کارکنان دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان، بخصوص همکاران بخش معاونت پژوهش و معاونت مالی اداری، و نیز گروه مهندسی شیمی که در انجام این طرح پژوهشی ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌کنند.

مراجع

- [7] Barello, M., Manca, D., Patel, R., Mujtaba, I. M., "Neural network based correlation for estimating water permeability constant in RO desalination process under fouling", *Desalination J.*, 345:101-111, (2014).
- [8] Wiley, J., "Water treatment principals and design", 28, (1995).
- [9] Seokjong, B., Seokjong, O., Bo-Young, L. "Improvement of coagulation efficiency using instantaneous flash mixer (IFM) for water treatment, *Colloids and Surfaces J.*, 268: 104-110, (2005).
- [10] Grishma, R., Shankararaman, Ch., "Predicting membrane fouling during municipal drinking water nanofiltration using artificial neural networks", *Membrane Science J.*, 217: 69-86, (2003).
- [11] Al-Abri, M., Hilal, N., "Artificial neural network simulation of combined humic substance coagulation and membrane filtration", *Chemical Engineering J.*, 141: 27-34, (2008).
- [12] Libotean, D., Giralt, J., "Neural network approach for modeling the performance of reverse osmosis membrane desalting, *Membrane Science J.*, 326: 408-419, (2009).
- [13] Robenson, A., Abd, A., "Development of Process Inverse Neural Network Model to Determine the Required Alum Dosage at Segama Water Treatment Plant Sabah", Malaysia, 10th International Symposium on Process Systems Engineering, (2009).
- [14] Guan-De, W., Shang-Lien, L., "Effects of data normalization and inherent-factor on decision of optimal coagulant dosage in water treatment by artificial neural network", *Expert Systems with Applications J.*, 37: 4974-4983, (2010).
- [1] Amuda, O. S., Amoo, I. A., Ajayi, O. O., "Performance optimization of coagulant/flocculant in the treatment of wastewater from a beverage industry", *Hazardous Materials J.*, B129: 69-72, (2006).
- [2] Mo, J., Hwang, J., Jegal, J., "Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants", *Dyes and Pigments J.*, 72: 240-245, (2007).
- [3] "Guidelines for drinking water quality", Vol. 2, New Delhi, 308-309, (1991).
- [4] Khayet, M., Cojocar, C., Essalhi, M., "Artificial neural network modeling and response surface methodology of desalination by reverse osmosis", *Membrane Science J.*, 368: 202-214, (2011).
- [5] Soleimani, R., Alavi Shoushtar, N., Mirza, B., Salahi, A., "Experimental investigation, modeling and optimization of membrane separation using artificial neural network and multi-objective optimization using genetic algorithm", *Chemical Engineering Research and Design J.*, 91:883-903, (2013).
- [6] Wenzheng, Y., Guibai, L., Yongpeng, X., "Breakage and re-growth of flocs formed by alum and PACl", *Powder Technology J.*, 189: 439443, (2009).