ارزیابی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر با استفاده از شبکه‌های عصبی و مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان و امکان استفاده از آن برای مصارف کشاورزی

علی ایران فر[۱]، علیرضا نیکبخت‌شهبازی[۲*]، رضا جلیل زاده ینگجه[۱]

۱) گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲) گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

***نویسنده مسئول: ar_nikbakht@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۱۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳**

چکیده

در این تحقیق از شبکه عصبی و مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان جهت ارزیابی فاضلاب تصفیه‌خانه شهر خرمشهر استفاده شده است. همچنین امکان استفاده فاضلاب این شهر برای مصارف کشاورزی بررسی گردید. در این تحقیق از مقادیر ماهیانه BOD، COD، TS و TSS که مورد نیاز در این پژوهش بودند مورد استفاده قرار گرفت و همچنین از این مقادیر جهت ارزیابی فاضلاب تصفیه‌خانه شهر خرمشهر جهت استفاده در مصارف کشاورزی استفاده گردید. کاربرد مدل شبکه عصبی‌مصنوعی، برای پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز امکان پذیر می‌باشد. مدل منتخب ANN (LM) از دقت مناسبی در تخمین به‌هنگام BOD5 برخوردار بود. به هر حال این مدل در پیش‌بینی مقادیر حدی بیشینه از عملکرد ضعیف‌تری برخوردار بود. با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جست‌وجوی شبکه دو مرحله‌ای، مقادیر بهینه مشخصه‌های مدل SVM یعنی ε، C و γ به ترتیب معادل ۰/۰۳۷، ۱۳ و ۱/۴۷۲ به دست آمد. در نهایت با توجه به نتایج به دست‌آمده در این تحقیق مدل SVM برای پیش‌بینی به‌هنگام BOD5 برای تصفیه‌خانه شهر خرمشهر توصیه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آنالیز کیفی فاضلاب ورودی پساب خروجی تصفیه شده راندمان حذف BOD5 برابر با ۸۸ درصد، COD برابر با ۹۲ درصد، TDS برابر با ۷۰ درصد و حذف TSS برابر با ۲۷ درصد می‌باشد. شوری پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر با مینیم‌شوری ۲۰۸، ماکزیمم ۳۰۵۰ و میانگین ۱۵۴۴ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بنابراین پساب تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر در گروه C3، آب‌های قابل‌قبول قرار دارد. براساس مقدار سدیم پساب خروجی فاضلاب این تصفیه‌خانه برای آبیاری گندم، جو، سویا، انجیر، زیتون، صنوبر و امثال آن‌ها، بر اساس نمودار ویلکاکس هیچ محدودیتی در استفاده از این پساب وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه، فاضلاب، شبکه عصبی مصنوعی، BOD، COD، TS، TSS.

مقدمه

تصفیه فاضلاب عبارت است از مجموعه اقداماتی که جهت حذف یا کاهش مواد آلاینده موجود در فاضلاب بکار می‌رود؛ بطوری که از پساب تولیدی بتوان به‌طور سالم و مطمئن برای مصارف کشاورزی یا تخلیه به آب‌های جاری و یا مقاصد دیگر مورد استفاده مجدد قرار داد. در جامعه پیرامونی ما افزایش چشم‌گیری در زمینه مسایل مربوط به محافظت از محیط‌زیست به چشم می‌خورد. عملیات مناسب و شایسته تاسیسات تصفیه فاضلاب‌شهری، در زمینه تولید سیالات خروجی، که لازم است منطبق با ضروریات کنترل کیفی و مقررات مربوط به آژانس‌های حفاظت از محیط‌زیست باشند، از جمله مواردی است که در خلال این سالیان توجه کافی بدان‌ها مبذول شده است و بر این اساس آن‌ها باید تاثیرات مخرب محیط‌زیست را به حداقل برسانند. بهره‌برداری موفقیت‌آمیز یک تصفیه‌خانه به روش لجن فعال، مستلزم آگاهی و کنترل دائم بهره‌بردار از فاکتورهایی است که بر فرآیند تاثیر می‌گذارند و برای فعال نگاه داشتن دائم ارگانیسم‌ها در سیستم لجن‌فعال، بهره‌بردار می‌بایست شرایط محیطی مناسب (مخصوصاً نسبت غذا به میکروارگانیسم و اکسیژن محلول) را فراهم کند. جریان نامنظم فاضلاب ورودی سبب بار بیش از حد، گرسنگی باکتری‌ها و سایر مشکلات می‌شود که این امر موجب اختلال در فرآیند سیستم می‌گردد. عدم تأمین اکسیژن کافی منجر به شرایط محیطی نامناسب شده و در نهایت باعث کاهش فعالیت‌های ارگانیسم‌ها می‌گردد. فلاح و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تلفیق مثلث فولر و شبکه عصبی مصنوعی در مکان‌یابی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان ساری با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. به همین منظور معیارهای اطلاعاتی مورد نظر انتخاب شده؛ و با مثلث سلسله مراتبی فولر که یکی از روش‌های انتخاب گزینه برتر می‌باشد، وزن‌دهی شدند. شبکه‌عصبی پیشرو با الگوریتم آموزش پس‌انتشار مورد استفاده در این مطالعه نهایتا به ساختاری خواهد رسید که به آن شبکه عصبی مصنوعی اطلاق می‌گردد؛ که الهام گرفته از نورون‌های مغز انسان می‌باشد. در نهایت مناطق بهینه جهت احداث تصفیه‌خانه فاضلاب در شهرستان ساری و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی شناسایی و معرفی شدند. سیدسراجی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور بررسی مشخصات پساب خروجی واحدهای تصفیه‌خانه از شبکه عصبی چندلایه استفاده کردند. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از شاخص‌های مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ضریب همبستگی پیرسون (R) استفاده شد. مقادیر R بدست آمده از مدل‌ها که در بازه ۰/۸ تا ۰/۹۴ قرار دارند، نشان دهندهٔ دقت مناسب آن‌ها در برآورد مشخصات کیفی فاضلاب بود. رهبری (۱۳۹۵) با مبنا قراردادن اندازه‌گیری‌های مشخصه‌های کیفی در ورودی تصفیه‌خانه، مقدار متناظر مشخصه‌های فوق را در خروجی تصفیه‌خانه پیش بینی کرد. داده‌های ورودی شبکه عصبی شامل COD، pH، TSS و Oil فاضلاب بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی در این مطالعه با سایر مطالعات و با توجه به شاخص‌های آماری نشان داد می‌توان از کارایی شبکه عصبی جهت تخمین عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی اطمینان حاصل کرد. خادمی‌کیا و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل ANN-LM و مبنا قرا دادن مشخصه‌های کیفی اندازه‌گیری شده در ورودی تصفیه‌خانه، توانستند مقدار متناظر سه مشخصه

BOD، COD و TSS در خروجی تصفیه‌خانه را پیش‌بینی نمایند. بر اساس نتایج آنها، BOD، COD و TSS به ترتیب با حداکثر R، ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۹۲ و حداقل MSE، ۳/۵، ۳۳/۱۵ و ۲/۱۷ پیش‌بینی شد و نتایج قابل قبولی ارائه دادند. قنبری (۱۳۹۶) به بررسی مروری بر طبقه‌بندی کننده ماشین‌بردار پشتیبان و کاربردهای آن پرداخت. میرزایی تختگاهی و قمرنیا (۱۳۹۶) به بررسی کیفیت خروجی تصفیه‌خانه کرمانشاه برای تخلیه به آب‌های سطحی پرداختند. در این تحقیق نمونه‌برداری به صورت فصلی و طی یک سال از خروجی تصفیه‌خانه به عمل آمد. کیفیت خروجی تصفیه‌خانه برای تخلیه به آب‌های سطحی با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غیر از تعدادی از عناصر که در تمام فصول زیر حد مجاز بوده و مشکلی برای تخلیه به آب سطحی ندارند، سایر پارامترها با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست بیشتر از حد مجاز بوده و قابل تخلیه به آب‌های سطحی نبوده و باعث آلودگی آن‌ها می‌شود. لاله و سلطانی‌اصل (۱۳۹۶) در به بررسی مدل‌سازی تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی شهرک صنعتی چناران برای تخمین TSS پساب خروجی، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. هدف آن‌ها از انجام این تحقیق، تخمین غلظت جامدات معلق کل پساب خروجی (TSS) بر اساس داده‌های زمانی در دسترس در تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بود. بهترین مدل شبکه عصبی پرسپترون با الگوریتم آموزشی لونبرگ - مارکواد، ساختار (۹-۲۴-۱)، با ضریب مجذور همبستگی R2=0.912 و مقادیر RMSE=0.069، MAE=0.052 و MAPE=0.322 در مرحله آزمون و نتایج مناسب برای داده‌های آموزشی، در تخمین TSS پساب خروجی از کارایی و دقت مناسب برخوردار بود. واقعی و باحجب‌ایمانی (۱۳۹۶) کاربرد شبکه عصبی‌مصنوعی در ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب بیرجند را مورد بررسی قرار دادند. متغیرهای ورودی شبکه عصبی شامل دما، میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی، غلظت کل مواد جامد معلق و میزان دبی جریان فاضلاب‌ورودی به برکه بی‌هوازی و متغیرهای خروجی شبکه شامل BOD، COD، TSS پساب خروجی از برکه تکمیلی بودند. محاسبه بازده حذف آلاینده‌ها در خروجی برکه تکمیلی نشان داد که حداکثر بازده حذف مربوط به متغیر BOD به میزان ۹۲ درصد و حداقل آن مربوط به متغیر TSS به مقدار ۲۲ درصد است. به همین صورت بازده حذف آلاینده‌های مذکور با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده شبکه عصبی به ترتیب ۹۱ و ۲۳ درصد بود که این نزدیکی مقادیر به واسطه عملکرد مطلوب شبکه عصبی می‌باشد. درنتیجه با مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی با سایر تحقیقات و با توجه به معیارهای آماری می‌توان از کارآمدی شبکه‌عصبی برای مدل‌سازی تصفیه‌خانه فاضلاب بیرجند اطمینان حاصل کرد. Turan و همکاران (۲۰۱۱) از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی راندمان حذف یون مس II از شیرابه صنعتی سنگ خارا، استفاده کردند. مقایسه بین عملکرد شبکه عصبی با ساختار متداول با شبکه عصبی با ساختار تابع پایه شعاعی حاکی از عملکرد بهتر مدل RBF با ضریب همبستگی (R^2) معادل ۰/۹۹۹ بود که قابلیت بالای مدل RBF را در پیش‌بینی دقیق‌تر حذف یون مس II از شیرابه صنعتی نشان داد.

Pendashteh و همکاران (۲۰۱۱) به وسیله شبکه عصبی یک رآکتور غشایی BSR[1] را که برای تصفیه فاضلابی روغنی به کار می‌رفت، مدل کردند. نتایج نشان داد که با نرخ بارگذاری مواد آلی برابر با ۲/۴۴ (kg COD)/(m^3/day) کل مواد جامد نامحلول برابر با ۷۸۰۰۰ mg/l و زمان واکنش معادل ۴۰ ساعت، متوسط نرخ حذف COD برابر با ۹۸ درصد شد. در این شرایط، غلظت متوسط COD خروجی در حد استاندارد (کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود و مدل نتیجه مطلوب را ارائه کرد. Gueguim Kana و همکاران (۲۰۱۲) به وسیله شبکه عصبی به همراه الگوریتم ژنتیک، بیوگاز تولیدی از فاضلابی شامل ضایعات را مدل‌سازی و بهینه کردند. نتایج این تحقیق نشان دهنده اثر بخشی مدل شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک در رفتار غیرخطی سیستم و بهینه‌سازی میزان بیوگاز تولیدی بوده است. Piuleac و همکاران (۲۰۱۳) یک روش بهینه‌سازی بر پایه شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک توسعه دادند و بدین وسیله یک فرآیند واقعی الکترو-انعقادی را بهینه نمودند. اعتبارسنجی نتایج بهینه‌سازی با استفاده از داده‌های تجربی، خطایی کمتر از ۱۱درصد را نشان داد. Guclu و Dursun (۲۰۱۰) با مدل‌سازی کیفی فاضلاب شهر آنکارای ترکیه بوسیله نرم‌افزار شبکه هوش مصنوعی به این نتیجه رسیدند که مقدار مجذور مربعات خطا (RMSE) برای پیش‌بینی COD و SS و میزان املاح محلول مایع مخلوط (MLSS) به ترتیب معادل ۵، ۱۷/۱ و ۳/۸ درصد بوده که مؤید توانایی بالای شبکه هوش مصنوعی در مسائل مربوط به تصفیه‌خانه‌ها است. این کاربردها می‌تواند نشان دهنده توان‌مندی بالای مدل‌های هوشمند عصبی در مدیریت مسائل زیست‌محیطی باشد. در این تحقیق از شبکه عصبی و مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان جهت ازیابی فاضلاب تصفیه‌خانه شهر خرمشهر استفاده شده است. همچنین امکان استفاده فاضلاب این شهر برای مصارف کشاورزی بررسی گردید. در این تحقیق از مقادیر ماهیانه BOD، COD، TS و TSS که موردنیاز در این پژوهش بودند مورد استفاده قرار گرفت و همچنین از این مقادیر جهت ارزیابی فاضلاب تصفیه‌خانه شهر خرمشهر جهت استفاده در مصارف کشاورزی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

بندرخرمشهر در شمال غربی خلیج فارس و در جنوب غربی جمهوری اسلامی ایران و در همسایگی جنوب شرقی کشور عراق (مرز زمینی شلمچه) در محل تلاقی رودخانه‌های اروندرود و کارون در استان خوزستان واقع شده است. این بندر سابقه طولانی در امر تجارت دریایی داشته است و ساخت و بهره‌برداری از اسکله‌های ویژه پذیرش کشتی‌های اقیانوس‌پیما در بندر خرمشهر در سال‌های آغازین ۱۳۰۰ شمسی شروع شده و در زمان جنگ جهانی دوم و پس از آن به اوج خود رسیده است، به

[1] Membrane Sequencing Batch Reactor (MSBR)

طوری‌که در سال‌های قبل از انقلاب اسلامی بندر خرمشهر با داشتن ۲۰ اسکله یکی از بزرگ‌ترین بنادر به حساب می‌آید و در حال حاضر کلیه زیرساخت‌های قبل از جنگ اعم از اسکله‌ها، انبارها و محوطه‌ها بازسازی شده است.

تحلیل عاملی

یکی از روش‌های آماری برای تجزیهٔ اطلاعات موجود در مجموعهٔ داده‌ها روش تجزیه عامل‌ها یا تحلیل عاملی است. این روش برای اولین بار هنگام اندازه‌گیری هوش مطرح شد و برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آن‌ها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری‌که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد. از این‌رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، تأثیرگذارترین هستند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

در سالیان اخیر شاهد حرکتی مستمر از تحقیقات صرفا تئوری به تحقیقات کاربردی به‌خصوص در زمینه پردازش اطلاعات، برای مسائلی که برای آن‌ها راه‌حلی موجود نیست و یا به راحتی قابل حل نیستند بوده‌ایم. با عنایت به این امر، علاقه فزاینده‌ای در توسعه تئوریکی سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل آزاد که مبتنی بر داده‌های تجربی می‌باشند ایجاد شده است. ANN2[2]ها جز این دسته از سیستم‌های مکانیکی قرار دارند که با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر به این سیستم‌ها هوشمند گفته می‌شود، زیرا بر اساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. مغز انسان توسط یک پروسه یادگیری می‌آموزد که در پاسخ به یک ورودی، چه خروجی را تولید کرده و ارسال کند. این فرآیند یادگیری در حقیقت توسط تنظیم اتصالات سیناپسی در نورون‌های طبیعی و معادل آن‌ها در ANNها، یعنی تنظیم وزن‌های نورون‌های مصنوعی انجام می‌شود. در حقیقت در طراحی یک نورون مصنوعی فقط کافیست وزن‌هایی مشخص شود تا شبکه عصبی بتواند خروجی مورد نظر را از ورودی خاص تولید کند. روش‌های مختلف یادگیری وجود دارد که می‌تواند بر اساس زوج مرتب‌های خروجی، ورودی مقدار وزن‌ها را بدست آورد. حال بر اساس مطالب گفته شده می‌توان به تعریف ANNها پرداخت. مدلی را شبکه عصبی می‌نامند که تابع‌های پایه‌اش[3] هم نوع باشند. به کوچک‌ترین بخش مدل شبکه عصبی، نورون می‌گویند و مجموعی از نورون‌های موازی هم نوع را لایه[4] می‌نامند. معمولا بهتر است که ورودی‌ها نورون به‌شمارنیایند، زیرا در بردارنده هیچ محاسبه واقعی نیستند و تنها ورودی‌ها را به لایه پنهان[5] معرفی

[2] Artificial Neural Networks
[3] basis function
[4] Layer
[5] Hidden layer

می‌کنند. پس هر شبکه عصبی را با شمار لایه‌های پنهانش مشخص می‌کنیم. در ساختار شبکه عصبی، پارامترهای خطی مربوط به نورون‌های خروجی، وزن‌های خروجی نام دارند.

نمونه‌برداری از فاضلاب

عملیات نمونه‌برداری در شـرایط آب و هوایی بدون بارندگی و هنگام جریان فاضـلاب در یک دوره ۶ ماهه به تعداد ۳ بار در هفته از فاضـلاب ورودی و خروجی از تصـفیه‌خانه انجام و در مجموع تعداد ۳۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌هایی که به روش مرکب در طول ۲۴ ســاعت تهیه گردیده بودند؛ در ضــمن انتقال به آزمایشــگاه و انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سـانتی‌گراد نگهداری شـدند. برای تعیین خطرات بهداشـتی شـاخص‌های میکربی (کلیفرم‌های کل و مدفوعی) و فلزات سـنگین کادمیوم، ســرب و مس به لحاظ اهمیت بیش‌تر تعیین مقدار شــدند. برای تعیین میزان مواد آلی پســاب پارامترهای BOD_5 و COD اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل نتایج در محیط EXEL صورت گرفت؛ و شاخص‌های آماری شامل میانگین و انحراف معیار بدست آمدند. در جداول (۱ و ۲) میانگین ماهانه پارامترهای کیفی مورد نیاز فاضلاب ورودی و خروجی جهت استفاده در این پژوهش که از شـرکت آب و فاضـلاب خرمشـهر دریافت گردید؛ آمده اسـت. در این پژوهش تعداد نرون لایه میانی براسـاس نسبتی از تعداد نرون‌های لایه ورودی و خروجی، از روابط جدول (۳) پیشنهاد شد.

جدول ۱: پارامترهای کیفی ۶ ماهه فاضلاب ورودی از تصفیه‌خانه شهر خرمشهر

تاریخ نمونه برداری	PH	EC µs/cm	کدورت NTU	TSS mg/l	TDS mg/l	COD mg/l	BOD5 mg/l	T °C
مهر	۸/۳۷	۳۱۵۶	۱۱۰	۱۰۲۰	۱۷۰۶/۱	۱۳۸۰	۵۸۵	۴۲
آبان	۷/۶۳	۳۷۵۰	۱۶۲	۱۰۵۰	۱۶۰۰	۱۳۸۸	۶۱۳	۳۵
آذر	۸/۲۵	۳۴۵۳	۱۳۶	۱۰۱۱	۱۵۴۹	۱۳۵۲	۵۶۵	۳۲
دی	۸/۶۶	۳۶۲۵/۷	۱۴۲/۸	۹۸۰	۱۵۵۱	۱۳۲۰	۵۳۰	۲۶
بهمن	۸/۲	۳۴۹۶/۲	۱۳۷/۷	۹۵۰	۱۵۳۲	۱۳۱۵	۵۲۱	۲۰/۵
اسفند	۹/۲۱	۳۴۷۱/۶	۱۲۱	۸۱۴	۱۵۱۳	۱۳۰۵	۵۱۸	۱۷/۵

جدول ۲: پارامترهای کیفی ۶ ماهه فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهر خرمشهر

تاریخ نمونه برداری	pH	EC µs/cm	کدورت NTU	TSS mg/l	TDS mg/l	COD mg/l	BOD5 mg/l	T °C
مهر	۷/۶۳	۲۰۵۰	۲۲/۳۸	۲۵۴	۵۱۰	۸۸	۷۸	۴۰/۱
آبان	۷/۵۷	۲۰۸۰	۳۷/۴	۲۶۲	۴۶۶	۸۰	۵۸	۳۸/۷
آذر	۶/۷۸	۲۸۸۰	۵۰/۶	۲۴۰	۴۹۲	۱۴۸	۵۴	۳۵
دی	۶/۵۲	۲۳۴۰	۱۷/۹	۲۳۵	۵۰۹	۱۰۲	۴۵	۲۹
بهمن	۶/۲۵	۲۵۸۷/۵	۳۲/۱	۲۲۶	۴۹۴	۱۰۵	۵۸/۸	۲۴
اسفند	۵/۶۳	۲۳۲۸/۸	۲۸/۹	۲۱۴	۴۴۴/۹	۹۴/۱	۵۲/۹	۲۲

جدول۳: قواعد پیشنهادی تعداد نرون در لایه میانی براساس تعداد نرون ورودی و خروجی

مرجع	رابطه
Patuwo, et al. (1993) Fletcher and Goss (1993)	$2\times n_i + 1$
Wang (1994)	$(2/3) \times n_i$
Piramuthu, et al. (1994)	$0.5\times (n_i+n_o)$
Lenard, et al. (1995)	$0.75\times n_i$
Kanellopoulos and Wilkinson (1997-a)	$2\times n_i$
Kanellopoulos and Wilkinson (1997-b)	$3\times n_i$

n_i تعداد نرون در لایه ورودی (۶ نرون) و n_o تعداد نرون در لایه خروجی (۶ نرون)

برای رسیدن به یک مدل مطلوب شبکه عصبی، انجام مراحلی شامل پیش پالایش داده‌ها[6]، معماری شبکه، آموزش شبکه و اعتبارسنجی آن ضرورت دارد. پیش پالایش داده‌ها با ترسیم مجموعه زمانی آن‌ها، بررسی روند تغییرات داده‌ها و تقسیم تصادفی داده‌ها به دو دسته آموزشی (۸۰ درصد)، برای یافتن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهداتی و آزمون (۲۰ درصد)، برای ارزیابی عملکرد شبکه صورت گرفت. جهت رسیدن شبکه به پایداری در جواب، تعداد تکرار محاسباتی شبکه[7] معادل ۵۰۰ تکرار در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

جدول (۴) نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار SPSS در تعیین ارتباط متغیرهای وابسته (پساب) با متغیرهای مستقل (فاضلاب) براساس ضریب همبستگی پیرسون در دو سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می‌باشد.

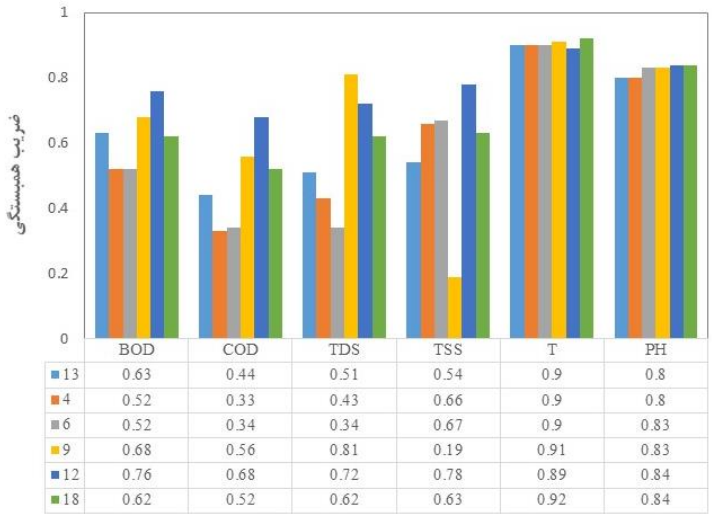
جدول ۴: ضریب همبستگی بین مشخصه‌های ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب خرمشهر

مشخصه		ورودی					
		BOD	COD	TDS	TSS	pH	دما
خروجی	BOD	r	۰/۳۸۳**	۰/۲۱۲	۰/۳۱۴**	-۰/۰۷۹	-۰/۲۱۱	-۰/۱۵۶
		Sig.	۰/۰۰۱	۰/۰۶۲	۰/۰۰۵	۰/۴۹۳	۰/۰۶۳	۰/۱۷۲
	COD	r	۰/۴۲۸**	۰/۲۵۹*	۰/۲۷۱*	-۰/۱۴۹	-۰/۰۷۵	-۰/۲۲۳*
		Sig.	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۵	۰/۱۹۱	۰/۵۱۱	۰/۰۴۷
	TDS	r	-۰/۰۵۴	-۰/۲۰۲	۰/۳۵۰**	-۰/۰۴۲	-۰/۳۶۱**	-۰/۰۹۲
		Sig.	۰/۶۴۱	۰/۰۷۳	۰/۰۰۱	۰/۷۱۳	۰/۰۰۱	۰/۴۱۸
	TSS	r	-۰/۴۹۱**	-۰/۳۹۱**	-۰/۳۲۵**	۰/۸۷۶**	۰/۲۲۰	۰/۴۲۸**
		Sig.	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۸۴۶	۰/۰۰۰
	pH	r	-۰/۱۱۶	-۰/۰۸۱	-۰/۲۳۲*	۰/۱۵۸	۰/۹۳۸**	۰/۳۴۷**
		Sig.	۰/۳۱۲	۰/۴۷۸	۰/۰۳۹	۰/۱۶۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
	دما	r	۰/۴۷۴**	۰/۳۳۳**	۰/۱۲۱	۰/۳۲۳**	۰/۱۷۲	۰/۷۶۹**
		Sig.	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۲۸۳	۰/۰۰۴	۰/۱۲۸	۰/۰۰۰

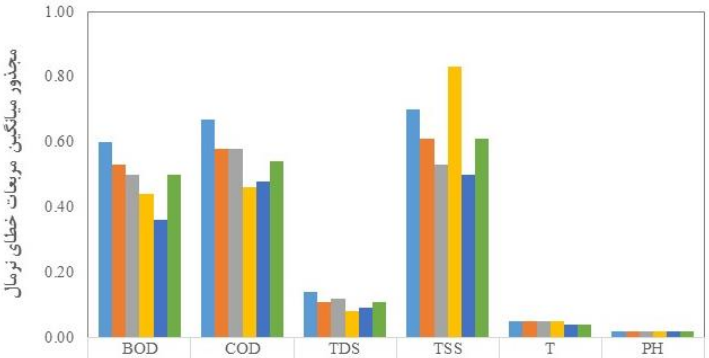
*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و **معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

[6] Preprocessing
[7] Epoch

پس از تعیین ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی تصفیه‌خانه، آرایش‌های مختلفی از شبکه عصبی‌مصنوعی اجرا شد. دقت شبکه عصبی‌مصنوعی اجرایی در برآورد میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌ها با استفاده از آماره‌های r و NRMSE محاسبه و برای مقایسه در شکل (۱) به نمایش گذاشته شد. شکل (۱) اثر افزایش تعداد نرون‌های لایه میانی بر خطای مدل شبکه عصبی در برآورد مشخصه‌های کیفی پساب، به عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.



	BOD	COD	TDS	TSS	T	PH
13	0.63	0.44	0.51	0.54	0.9	0.8
4	0.52	0.33	0.43	0.66	0.9	0.8
6	0.52	0.34	0.34	0.67	0.9	0.83
9	0.68	0.56	0.81	0.19	0.91	0.83
12	0.76	0.68	0.72	0.78	0.89	0.84
18	0.62	0.52	0.62	0.63	0.92	0.84

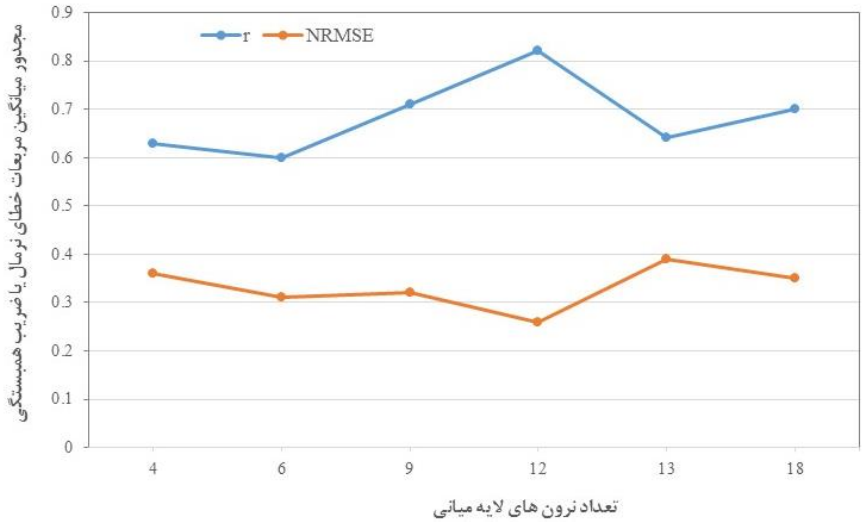


	BOD	COD	TDS	TSS	T	PH
13	0.60	0.67	0.14	0.70	0.05	0.02
4	0.53	0.58	0.11	0.61	0.05	0.02
6	0.50	0.58	0.12	0.53	0.05	0.02
9	0.44	0.46	0.08	0.83	0.05	0.02
12	0.36	0.48	0.09	0.50	0.04	0.02
18	0.50	0.54	0.11	0.61	0.04	0.02

شکل ۱: مقایسهٔ ضریب r و خطای NRMSE ساختارهای مختلف شبکهٔ عصبی به ازای تعداد نرون‌های میانی مختلف (۱۳،۴،۶،۹،۱۲،۱۸) در برآورد هر یک از آلاینده‌ها

نتایج اجرای مدل‌های گوناگون شبکه عصبی در شکل (۱) نشان می دهد، با توجه به پایین بودن مقدار آماره NRMSE و بالا بودن آماره، r رابطه قابل قبول و مستقیمی بین مشخصه‌های کیفی فاضلاب و پساب برقرار است. همچنین تغییرات آماره‌های فوق به ازای افزایش تعداد نرون‌های لایه میانی در شکل (۱) نشان دهنده دقت مدل است. به عبارت دیگر همان‌گونه که تعداد کم نرون در لایه میانی می‌تولند نتایج نامطلوبی را ارائه دهد، افزایش تعداد نرون لایه میانی هم منجر به افزایش خطا

می‌شود. زیرا زیاد بودن تعداد نرون در این لایه، باعث پیچیدگی و آموزش بیش از حد شبکه و کم بودن آن، سبب عدم آموزش شبکه عصبی و حفظ کردن داده‌ها می‌شود. با توجه به دو معیار حداکثری r و حداکثری NRMSE (شکل ۵) گویای آن است که در ۶۶/۷ درصد از موارد، آرایش ۶-۱۲-۶ در برآورد مشخصه‌های BOD، COD، TSS و دما عملکرد مناسبی داشته است.

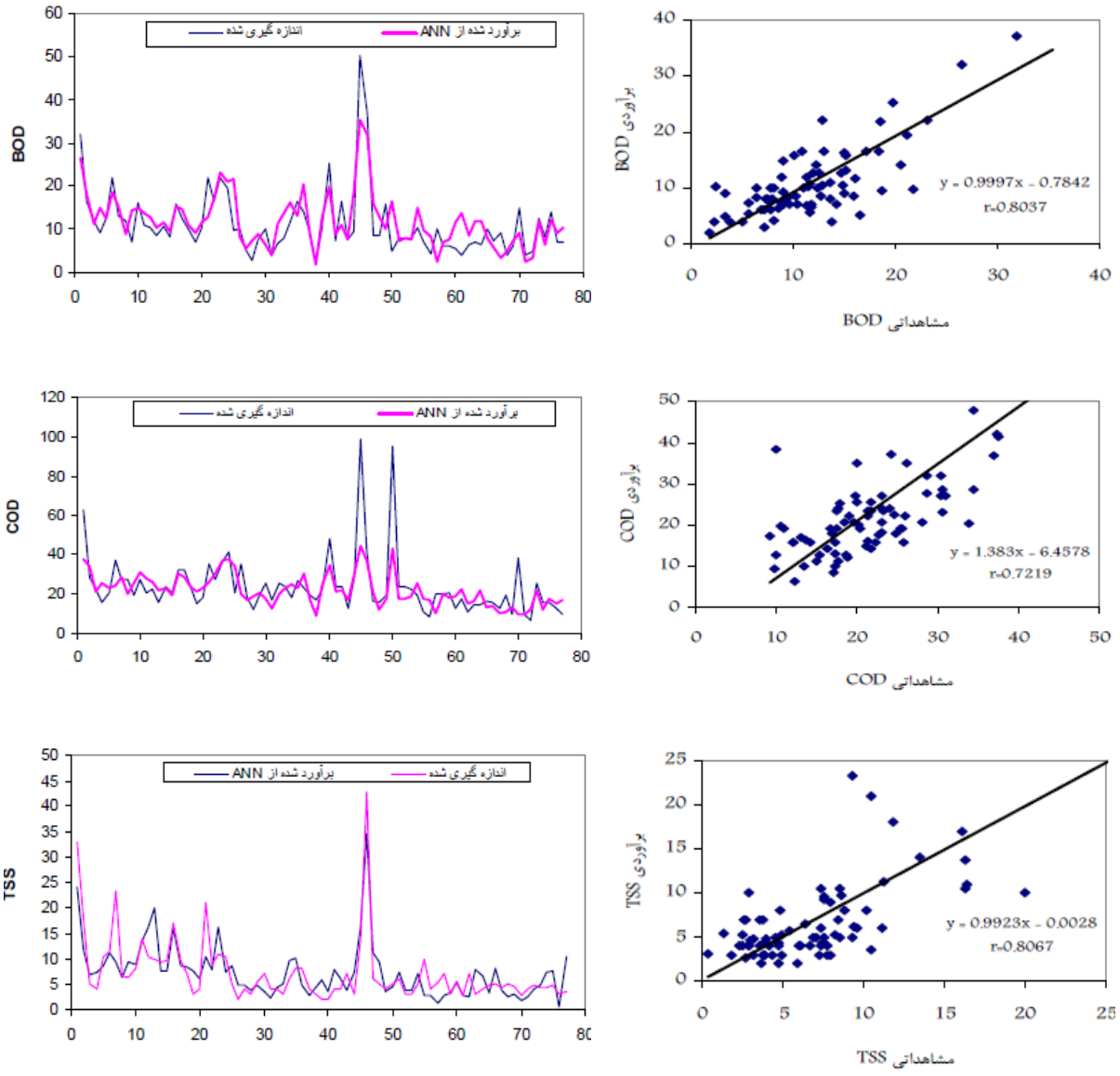


شکل ۲: میانگین تغییرات NRMSE و r در نرون‌های مختلف لایهٔ میانی

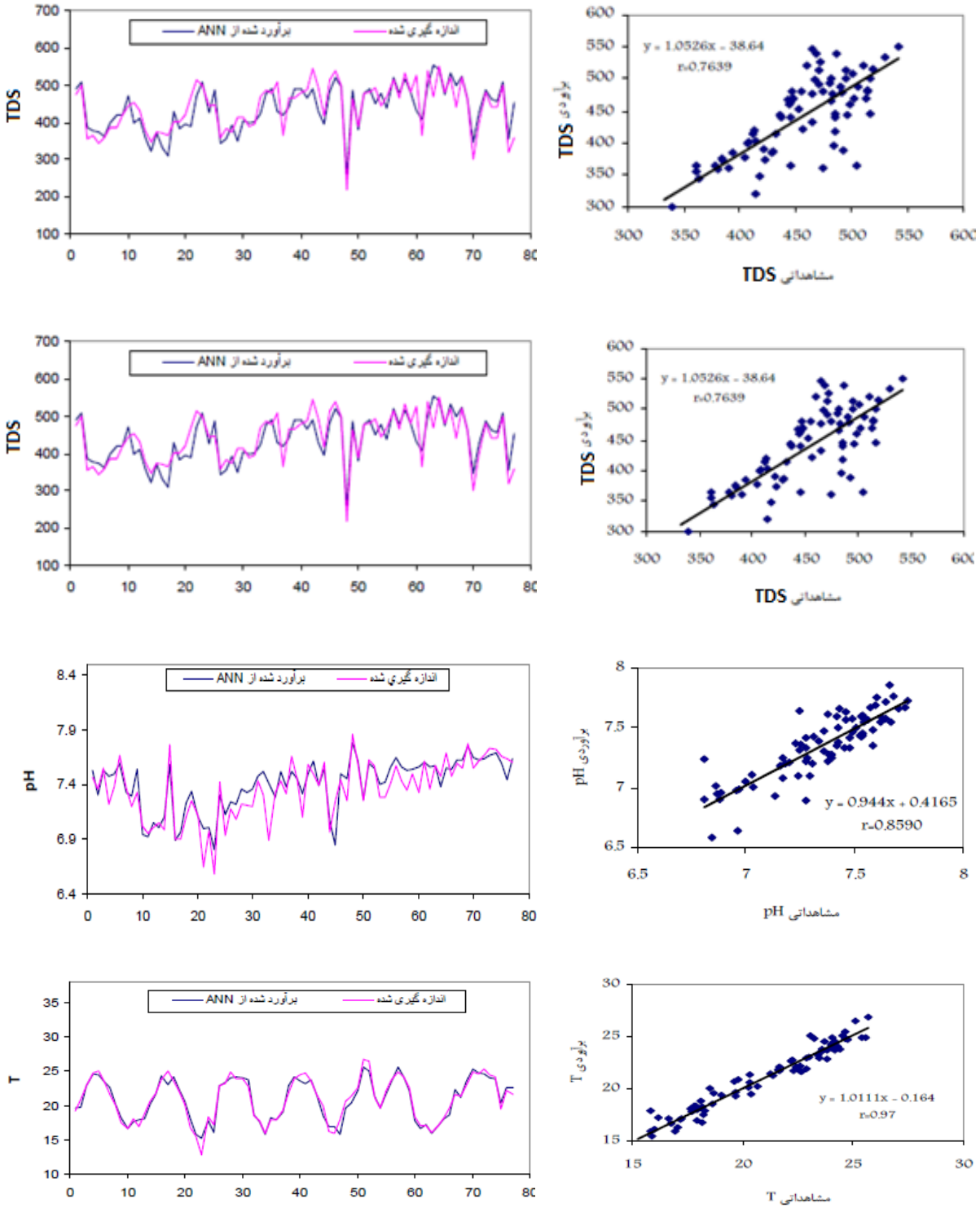
شکل (۲) تغییرات NRMSE و r را برای تعداد نرون‌های متفاوت لایه میانی تا سقف ۱۸ نرون نشان می‌دهد. شکل (۲) مبین روند کاهشی NRMSE به ازای افزایش تعداد نرون میانی تا سقف ۱۲ نرون و افزایش آماره فوق با اضافه شدن تعداد نرون‌های میانی تا ۱۸ نرون است. به‌همین ترتیب آماره ضریب همبستگی، روندی معکوس با آماره NRMSE دارد، به طوری‌که با افزایش تعداد نرون لایه میانی تا ۱۲ نرون، به حداکثر مقدار خود نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر آرایش ۶-۱۲-۶ با مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال ۰/۲۰ و ضریب همبستگی ۰/۸۵ به عنوان آرایش مطلوب قابل پیشنهاد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت افزایش تعداد نرون لایه میانی لزوما منجر به بهبود نتایج نمی‌شود. برازش مقادیر مشخصه‌های برآورد شده از شبکه عصبی مصنوعی با آرایش ۶-۱۲-۶ در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل (۳) آورده شده است. این شکل مقایسه‌ای از عملکرد بهترین ساختار ANN را به صورت برازش مدل رگرسیونی خطی بر مقادیر برآوردی و مشاهداتی در قالب نمودار ۱:۱ به تفکیک هر یک از مشخصه‌ها و همچنین ترسیم آن‌ها به صورت مجموعه زمانی برای دوره مطالعاتی ۶ ماهه سال ۱۳۹۶ است. به عبارت دیگر شکل (۳) نتیجه تخمین شبکه عصبی آموزش یافته برای مشخصه‌های کیفی پساب در مقایسه با رفتار واقعی است. مقایسه بازده حذف و یا کاهش مقدار آلاینده‌ها در خروجی از تصفیه‌خانه به تفکیک مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی از شبکه عصبی در جدول (۵) ذکر شده است.

جدول ۵: مقایسهٔ بازده حذف هریک از مشخصه‌های کیفی مورد مطالعه در خروجی تصفیه‌خانه و شبکه عصبی

مشخصه	واحد سنجش	°C T	BOD_5	COD	TSS	TDS	pH
			میلی‌گرم بر لیتر				
تصفیه‌خانه	ورودی	۲۸/۸۳	۵۵۵/۳۳	۱۳۴۳/۳۳	۱۵۷۵/۱۸	۹۷۰/۸۳	۸/۳۹
	مشاهداتی	۲۴/۸۵	۱۲/۸۰	۲۸/۵	۸/۳۶	۴۸۰/۸۴	۷/۴۵
	بازده حذف	۱۳/۱۸	۹۰/۸۰	۹۶/۵۵	۹۸/۶۵	۲۹/۳۵	۸/۶۶
شبکه عصبی	ورودی	۲۸/۸۳	۵۵۵/۳۳	۱۳۴۳/۳۳	۱۵۷۵/۱۸	۹۷۰/۸۳	۸/۳۹
	مشاهداتی	۲۰/۵۳	۱۲/۲۵	۲۸/۱	۸/۰۲	۴۵۸/۱۹	۷/۰۸
	بازده حذف	۱۳/۸۶	۹۰/۰۹	۹۶/۱۱	۹۸/۲	۲۷/۶۵	۸/۲۵



شکل ۳ : مقایسهٔ نتایج شبکه عصبی در برآورد هر یک از مشخصه‌های مورد مطالعه در مقابل مقادیر مشاهداتی



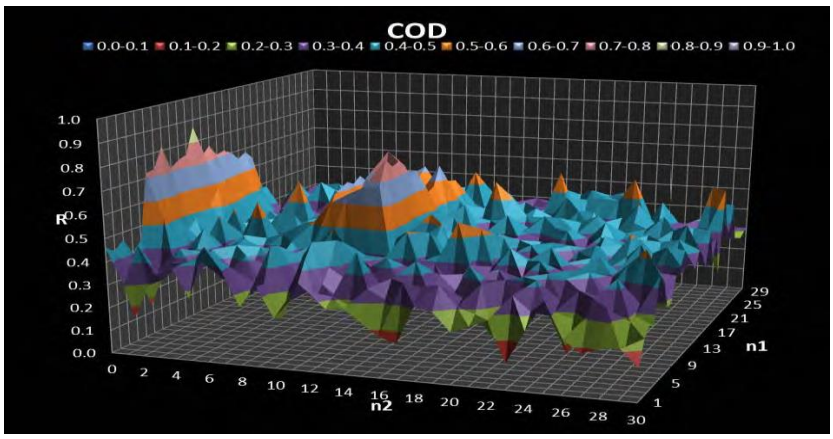
ادامه شکل ۳: مقایسهٔ نتایج شبکه عصبی در برآورد هر یک از مشخصه‌های مورد مطالعه در مقابل مقادیر مشاهداتی

مشخصه دما از طریق تأثیرگذاری بر عوامل تجزیه و مشخصه pH با نقش در میزان حلالیت ترکیبات موجود در فاضلاب سبب حذف آلاینده‌ها می‌شود. همچنین بخشی از ذرات آلاینده باردار یونی تحت‌تأثیر برهم‌کنش یون‌ها و جذب به یکدیگر، یعنی انعقاد، به شکل ترسیب لجن، حذف می‌شوند. مطالعات ذوقی و همکاران (۱۳۸۹) نیز موید تاثیر میزان pH در حذف

آلاینده‌های فاضلاب است و به همین دلیل آن‌ها برای پیش‌بینی COD از شبکه عصبی با درنظرگرفتن میزان فاضلاب pH سعی در لحاظ کردن تغییرات pH را داشتند. درمجموع جدول (۵) نشان می‌دهد مدل شبکه‌عصبی در خصوص کارایی تصفیه‌خانه مورد مطالعه از دقت مناسبی برخوردار است.

نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل جهت پیش‌بینی غلظت پارامتر COD در پساب خروجی تصفیه‌خانه

به منظور اعمال مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل در پیش‌بینی عملکرد تصفیه‌خانه شهرخرمشهر بررسی‌ها طی دو مرحله انجام پذیرفت. در ابتدا به کمک داده‌های یک دوره ۶ ماهه از پارامترهای COD پساب خروجی عملکرد تصفیه‌خانه مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از داده‌های کمیت و کیفیت فاضلاب ورودی، کیفیت پساب خروجی، شرایط فرآیندی و اطلاعات هواشناسی، عوامل مؤثر بر عملکرد تصفیه‌خانه تعیین شد. پس از تعیین عوامل مؤثر (ویژگی‌های مؤثر)، با استفاده از این ویژگی‌ها و مدل شبکه عصبی به پیش‌بینی غلظت پارامتر COD در پساب خروجی پرداخته شد. برای هر حالت از جستجوی کامل (یعنی تعداد نرون‌های مشخص در لایه اول و دوم)، شبکه عصبی ۱۰ بار اجرا شد و بررسی ارزیابی کاربرد مدل شبکه عصبی بر اساس معیارهای آماری ضریب همبستگی (R)، درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی (rRMSPE) و درصد میانگین مطلق خطای نسبی (rMAPE) انجام پذیرفت.

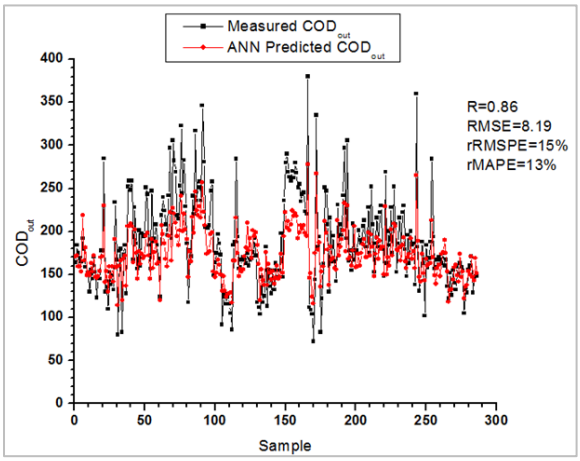


شکل ۴: شکل سه بعدی نتایج مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل مربوط به پارامتر COD

با توجه به شکل (۴) بررسی تعداد نرون‌ها در ساختار شبکه تا ۲۰ عدد نرون برای لایه اول و ۱۸ عدد نرون برای لایه دوم، جهت پیش‌بینی غلظت پارامتر COD در پساب خروجی کافی بود و تعداد بیشتر نرون‌ها در هر لایه، نتایج بهتری را به دست نیاورد.

بررسی نتایج مدل‌های شبکه عصبی با جستجوی کامل جهت پیش‌بینی غلظت پارامتر COD در پساب خروجی

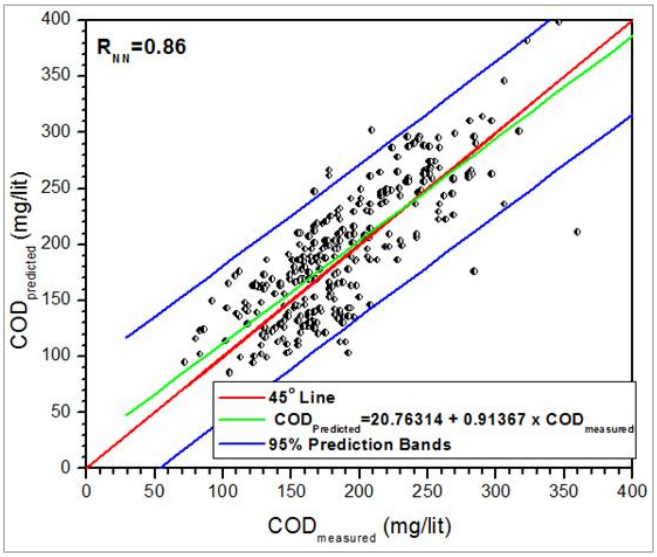
در شکل (۵) نتایج پیش‌بینی شده توسط هر یک از مدل‌های شبکه عصبی با جستجوی کامل (ANN) برای پارامتر COD با داده‌های اندازه‌گیری شده متناظر با آن، نمایش داده شده است. همچنین در شکل مذکور معیار ضریب همبستگی (R) و خطاهای مربوط به مدل نیز در حاشیه شکل ارائه شده است.



شکل ۵: بررسی مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل در ارتباط با پیشبینی پارامتر COD

به‌منظور بررسی کامل‌تر کارآمدی روش، مقایسه مستقیم بین داده‌های پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده متناظر آن‌ها ضروری است. در شرایط ایده‌آل، انتظار می‌رود که پیش‌بینی، کاملا با اندازه‌گیری مطابقت داشته باشد. در این صورت، چناچه داده‌های به دست آمده از مدل برحسب مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها رسم شوند، نقاط حاصل باید بر خط ۴۵ درجه (نیم‌ساز) منطبق باشند. میزان انحراف از این خط، تفاوت بین دو دسته داده را مشخص می‌کند. شکل (۶) مقادیر پیش‌بینی شده غلظت پارامتر COD توسط مدل ANN، را در تصفیه‌خانه شهر خرمشهر نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از ANN برای پارامتر COD در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور و کلیه توضیحات ارائه شده، مناسب بودن مدل شبکه عصبی جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی پساب روشن است. نتایج بررسی نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر غلظت COD پساب عبارت بودند از: الف) دبی جریان (m^3/day)، بار COD (kg/day)، و بار TSS (kg/day) در فاضلاب ورودی؛ ب) شرایط فرآیندی در لاگون‌های هوادهی مانند دما (^oC)، غلظت اکسیژن (mg/l)، pH و تعداد هواده‌های فعال؛ ج) پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا (^oC)، ساعات آفتابی در روز (hr). داده‌های مربوط به پارامترهای مذکور به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفتند و ساختارهای مختلفی از شبکه بر روی آن‌ها اعمال گردید.

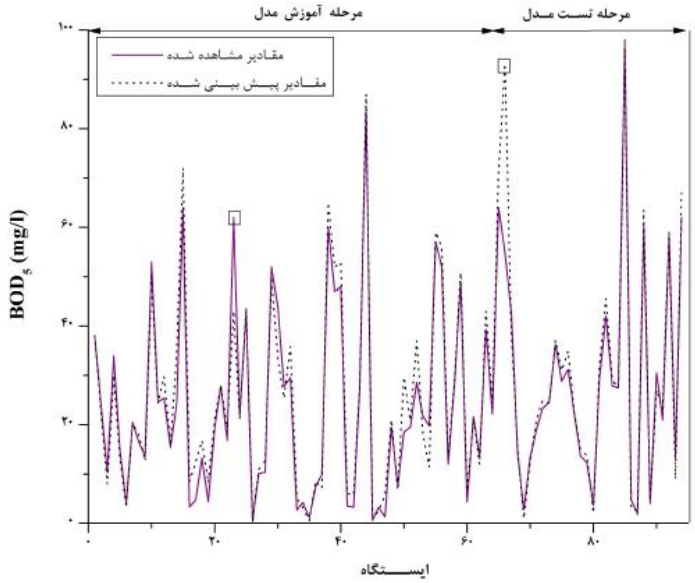


شکل ۶: بررسی پراکندگی داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با جستجوی کامل (ANN)

جدول ۶: خلاصه‌ای از نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل (ANN) برای پارامتر COD

مدل	مدل شبکه عصبی با جستجوی کامل (ANN)
تعداد نورون در لایه اول (n_1)	۱۲
تعداد نورون در لایه دوم (n_2)	۰
Rmax	۰/۸۶
MSE	۶۷/۰۶
RMSE	۸/۱۹
rRMSPE	۱۵٪
rMAPE	۱۳٪

نتایج حاصل از این ساختارها به کمک شاخص‌هایی از قبیل ضریب هم‌بستگی (R) و میزان درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی (rRMSPE) و درصد میانگین مطلق خطای نسبی (rMAPE) مشخص گردید که ساختار شبکه‌ای با یک لایه پنهان و تعداد ۱۲ نرون در هر لایه، مناسب‌ترین معماری شبکه برای پیش‌بینی پارامتر COD پساب خروجی می‌باشد. معیارهای سنجش محاسبه شده (R، rRMSPE و rMAPE به ترتیب برابر با ۰/۸۶، ۱۵ درصد و ۱۳ درصد) نیز دقت بالا و کارآمد بودن مدل را مورد تأیید قرار دادند. نتایج مراحل آموزش و تست این مدل در جدول (۷) نشان داده شده است.

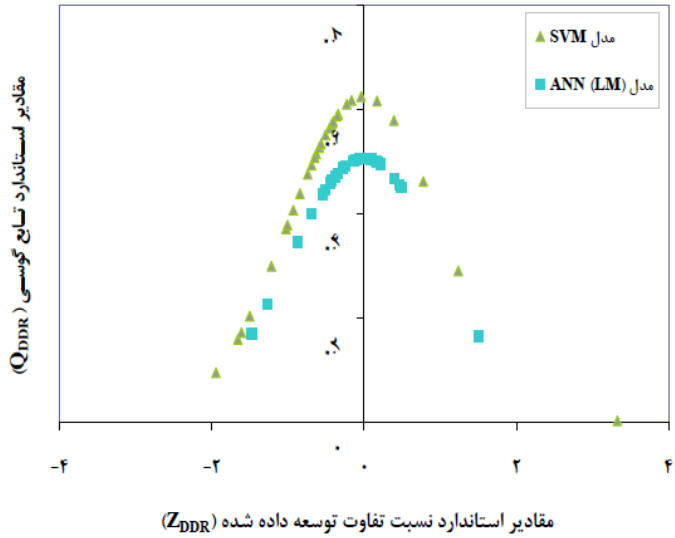


شکل ۷: نتایج مراحل آموزش و تست مدل SVM رگرسیونی

جدول ۷: نتایج مراحل آموزش و تست مدل‌های ANN و SVM

مدل	الگوریتم بهینه‌سازی	مرحله آموزش		مرحله تست	
		REMS	R	REMS	R
ANN	LM	۷/۵	۰/۹۳	۱۱/۶	۰/۹۰
	RP	۷/۹	۰/۹۰	۱۲/۱	۰/۸۷
	SCG	۸/۲	۰/۸۸	۱۲/۸	۰/۸۵
SVM	جستجوی شبکه دو مرحله‌ای	۴/۶	۰/۹۷	۹/۱۶	۰/۹۵

در شکل (۷) مشخص است که مدل SVM رگرسیونی از دقت مناسبی برای پیش‌بینی به‌هنگام BOD_5 برخودار است و تقریبا در تمامی موارد، اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده BOD_5 با مدل با مقادیر مشاهداتی بسیار اندک است. واقعیت مذکور از نتایج مندرج در جدول (۷) نیز قابل استنتاج است، به نحوی که در این جدول مقدار آماره R در مراحل آموزش و تست مدل SVM تقریباً نزدیک به ۱ است. شایان ذکر است که مقدار ایده‌ال دو آماره R و RMSE برای ارزیابی مدل‌ها به ترتیب برابر یک و صفر است. همچنین با توجه به مقادیر حدی و به‌ویژه مقادیر بیشینه این مشخصه کیفی مشخص می‌شود که مدل به استثنای دو مورد که با علائمی مربعی در شکل (۷) برجسته شده است، در بقیهٔ موارد از دقت قابل‌قبولی برخوردار است. در مراحل قبل برای تخمین به‌هنگام BOD_5 در تصفیه‌خانه شهر خرمشهر مدل‌های مختلفی با ANN با تغییر در الگوریتم آموزش آن و همچنین مدل SVM رگرسیونی توسعه داده شد. نتایج توسعه مدل شبکه عصبی حاکی از برتری عملکرد مدل ANN (LM) بود. نتایج تحقیقات مشابه نیز عملکرد برتر الگوریتم آموزش LM نسبت به به دیگر الگوریتم‌های آموزشی را مشخص می‌کند.



شکل ۸: نمودار توزیع نرمال استاندارد شده مقادیر DDR برای مدل‌های SVM و ANN (LM)

در شـــکل (۸) تمایل بیش‌تر گراف به خط مرکزی بزرگ‌تر بودن مقدار حداکثر Q_{DDR} برای هر مدل نشـــان‌دهنده دقت بیش‌تر مدل اسـت. حداکثر مقدار Q_{DDR} برای مدل‌های ANN (LM) و SVM به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۶۲ اسـت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این شکل واضح است که مدل SVM از عملکرد بهتری نسبت به مدل ANN (LM) برخوردار است. از مقایسه نتایج به‌دسـت آمده از آماره DDR با آماره‌های R و RMSE مشخص می‌شود که نتایج این سـه آماره در این تحقیق با یکدیگر متناسـب بوده و هر سـه آماره حاکی از برتری مدل SVM در پیش‌بینی به‌هنگام BOD_5 هسـتند. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق مدل SVM به عنوان بهترین مدل برای تخمین به‌هنگام BOD_5 در تصفیه‌خانه خرمشهر توصیه می‌شود.

بررسی مقدار شوری پساب خروجی

مسـئله شـوری در رابطه با کیفیت آب درصـورتی به وقوع می‌پیوندد که میزان کل املاح موجود در آب آبیاری، بسـیار زیاد بوده و منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشـه شـود و نهایتاً بر محصـول اثر می‌گذارد. برای نشـان دادن یون‌های موجود در آب از هدایت الکتریکی استفاده می‌شود. هدایت الکتریکی مستقیماً با مجموع آنیون‌ها و یا کاتیون‌های حاصل از تجزیه مواد شیمیایی مرتبط اســـت و در حالت عمومی با کل نمک‌ها مرتبط می‌باشـــد. این دو مهم‌ترین معیار برای ارزیابی اثر شـــوری آب بر خاک می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸: طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس خطر شوری

گروه	EC(µs/cm)	خطر شوری
C1	<250	عالی
C2	750-250	خوب
C3	2250-750	قابل قبول
C4	5000-2250	مشکوک
C5	>5000	نامناسب

بررسی پساب خروجی از نظر شوری نشان داد، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر دارای حداقل شوری ۲۰۸۰µs/cm، حداکثر ۳۰۵۰µs/cm و میانگین ۱۵۴۴µs/cmمیکروموس بر سانتی‌متر است. بنابراین پساب تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر در گروه C3 و به عبارتی آب‌های قابل قبول قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

جهت کاربرد شبکه عصبی‌مصنوعی در پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، بایستی پارامترهای مختلف شامل: کیفیت و کیمیت فاضلاب ورودی و خروجی، پارامترهای مربوط به فرآیندهای مختلف در تصفیه، شرایط جوی و سایر عوامل تأثیرگذار بر حسب مورد مطالعه، در نظر گرفته شوند و حساسیت مدل برای آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه معیارهای سنجش محاسبه شده (R، rRMSPE و rMAPE ۰/۸۶، ۱۵ درصد و ۱۳ درصد) نیز، دقت بالا و کارآمد بودن مدل را مورد تأیید قرار دادند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نوید این نکته است که کاربرد مدل شبکه عصبی‌مصنوعی، برای پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز امکان‌پذیر بوده و در این راستا روشی ساده، دقیق و کارآمد به حساب می‌آید. این پژوهش در مقایسه با مطالعه‌ای که در مورد تصفیه‌خانه شهر اکباتان با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت در هر دو مطالعه داده‌های ورودی BOD، COD، TSS، TS و pH بودند که در این تحقیق مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال ۰/۲۰ و ضریب همبستگی ۰/۸۰ و در تحقیقی که بر روی تصفیه‌خانه اکباتان صورت گرفت مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال ۰/۲۶ و ضریب همبستگی ۰/۸۲ و در هر دو تحقیق آرایش ۶-۱۲-۶ صورت پذیرفت که این نزدیکی مقادیر به واسطه عملکرد مطلوب شبکه عصبی می‌باشد. در تحقیق حاضر حداکثر بهره‌وری حذف در تصفیه‌خانه خرمشهر مربوط به آلاینده BOD معادل ۸۲ درصد و تصفیه‌خانه صنعتی فولاد خوزستان مربوط به آلاینده TSS معادل ۸۲ درصد بود و کم‌ترین آن به‌ترتیب برای تصفیه‌خانه خرمشهر و فولاد خوزستان مربوط به TSS معادل ۲۳ درصد و BOD معادل ۳۵ درصد بود. به طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق دلالت بر آن داشت که کاربرد هر دو مدل برای پیش‌بینی عملکرد تصفیه‌خانه‌ها مناسب هستند. هدف اصلی این تحقیق توسعه مدلی مناسب برای حذف محدودیت زمانی در ارتباط با اندازه‌گیری یکی از شاخص‌های مهم کیفیت آب، یعنی BOD_5 قرار داده شد. برای این منظور از مدل‌هایی استفاده شد و برای اجرای این مدل‌ها اطلاعات SVM وANN تصفیه‌خانه شهر خرمشهر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج را می‌توان در بندهای زیر خلاصه کرد:

نتایج بررسی‌های مربوط به ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلف بر دقت خروجی ANN نشان‌دهنده عملکرد برتر الگوریتم آموزش LM بود. مدل منتخب ANN (LM) از دقت مناسبی در تخمین به‌هنگام BOD5 برخوردار بود. به هرحال این مدل در پیش‌بینی مقادیر حدی بیشینه از عملکرد ضعیف‌تری برخوردار است. با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی

جست‌وجوی شبکه دو مرحله‌ای، مقادیر بهینه مشخصه‌های مدل SVM یعنی ε، C و γ به ترتیب معادل ۰/۰۳۷، ۱۳ و ۱/۴۷۲ به دست آمد. ارزیابی عملکرد مدل SVM بر مبنای دو آماره R و RMSE مبین دقت بیش‌تر این مدل نسبت به مدل ANN (LM) بود. بررسی دقیق‌تر عملکرد دو مدل SVM، ANN (LM) بر مبنای آماره نسبت تفاوت توسعه یافته نیز حاکی از برتری مدل SVM در این تحقیق بود. درنهایت با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق مدل SVM برای پیش‌بینی به‌هنگام BOD5 برای تصفیه‌خانه شهر خرمشهر توصیه شد. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز کیفی فاضلاب ورودی پساب خروجی تصفیه شده، تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر متوسط راندمان حذف آلاینده‌های سنجش شده محاسبه گردید. همان‌طور که مشاهده شد راندمان BOD5 برابر با ۸۸ درصد، COD برابر با ۹۲ درصد، TDS برابر با ۷۰ درصد و حذف TSS برابر با ۲۷ درصد می‌باشد. اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران جهت دفع پساب برای آبیاری کشاورزی و این نتایج به دست آمد که دو پارامتر BOD_5، COD به‌خوبی دفع شده‌اند. پارامتر TDS در حد متوسطی دفع شده است، ولی پارامتر TSS برخلاف سه پارامتر دیگر بسیار پایین دفع شده است. البته می‌بایست خاطر نشان کرد که میزان بارندگی، شرایط و طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب و نیز تغییر در بافت جمعیتی، می‌تواند نقش معنی‌داری در تغییرات بار آلی فاضلاب ورودی و خروجی به تصفیه‌خانه را داشته باشد که می‌توان هر یک از موارد ذکر شده را به طور جداگانه بررسی و گزارش کرد. البته اطلاعات مربوط به میزان بارندگی را می‌توان از سازمان هواشناسی اخذ کرد. بررسی پساب خروجی از نظر شوری بر اساس این طبقه‌بندی، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر حداقل شوری ۲۰۸۰µs/cm، حداکثر ۳۰۵۰µs/cm و میانگین ۱۵۴۴µs/cmمیکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بنابراین پساب تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر در گروه C3 و به عبارتی آب‌های قابل قبول قرار می‌دهد. براساس مقدار سدیم پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرمشهر، فاضلاب این تصفیه‌خانه برای آبیاری گندم، جو، سویا، انجیر، زیتون، صنوبر و امثال آن‌ها، هیچ محدودیتی در استفاده از این پساب وجود ندارد.

منابع

خادمی‌کیا، س.، حقی‌زاده، ع.، گودینی، ح. و شمس خرم‌آبادی، ق. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب خرم‌آباد توسط شبکه هوش مصنوعی، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دوره ۱۸، شماره ۳، ص ۲۳-۱۲.

ذوقی، م. ج.، ذوقی، ت. و سعیدی، م. (۱۳۸۹). پیش‌بینی غلظت آمونیوم و مواد آلی فاضلاب دفن‌گاه زباله با استفاده از شبکه عصبی‌مصنوعی. نشریه آب و فاضلاب، دوره ۲۱، شماره ۲، ص ۵۲-۶۰.

رهبری، ک. (۱۳۹۵). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی کارایی فرایند تصفیه خانه‌های فاضلاب صنعتی مورد مطالعه: تصفیه‌خانه شرکت فولاد خوزستان. دومین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی‌های پاک با محوریت مدیریت منابع طبیعی، کشاورزی و توسعه پایدار، شرکت کیان طرح دانش، ۱۸ اسفند ۱۳۹۵، تهران، ایران.

سیدسراجی، م.، حسنلو، ح.، پازوکی، م. ونلیب، ح. (۱۳۹۴). به‌کارگیری روش‌های آماری برای افزایش دقت مدل‌سازی تصفیه خانه‌های فاضلاب صنعتی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. نشریه بازیافت آب، دوره ۲، شماره ۲، ص ۱۹۸-۱۸۷.

فلاح، م.، فرج زاده، م.، اسلامی، ع. و سلطانی فر، ا. (۱۳۹۴). تلفیق مثلث فولر و شبکه عصبی مصنوعی در مکان‌یابی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان ساری با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۰-۸ دی ۱۳۹۴، تهران، ایران.

قنبری، ن. (۱۳۹۶). مروری بر طبقه‌بندی کننده ماشین‌بردار پشتیبان و کاربردهای آن. اولین کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوین در علوم، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل، ۱۶ شهریور ۱۳۹۶، آمل، ایران.

لاله، ن. و سلطانی‌اصل، م. (۱۳۹۶). مدل‌سازی تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی برای تخمین TSS پساب خروجی، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. دوازدهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی کمیسیون چهارم: سرزمین پایدار یافته‌های نوین در مهندسی عمران و محیط‌زیست، موسسه آموزش عالی خاوران، ۲۳ آذر ۱۳۹۶، مشهد، ایران.

میرزایی‌تختگاهی، ح. و قمرنیا، ه. (۱۳۹۶). کیفیت خروجی تصفیه‌خانه کرمانشاه برای تخلیه به آب‌های سطحی. چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، ۳-۲ خرداد ۱۳۹۶، تهران، ایران.

واقعی، ر. و باحجب‌ایمانی، م. ا. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه عصبی‌مصنوعی در ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب بیرجند. پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، ۵ دی ۱۳۹۶، تهران، ایران.

Gueguim Kana, E.B., Oloke, J.K., Lateef, A. and Adesiyan, M.O. (2012). Modeling and Optimization of Biogas Production on Saw Dust and Other Co-Substrates Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm. Renewable Energy, 46, pp: 276-281.

Guclu, D. and Dursun, S. (2010). Artificial neural network modelling of a large-scale wastewater treatment plant operation. Bioprocess Biosyst Eng, 33 (9), pp: 1051–1058.

Piuleac, C.G., Curteanu, S., Rodrigo, M.A., Sáez, C. and Fernández, F.J. (2013). Optimization Methodology Based on Neural Networks and Genetic Algorithms Applied to Electro-Coagulation Processes. Central European Journal of Chemistry, 11 (7), pp: 1213-1224.

Pendashteh, A.R., Fakhru'l-Razi, A., Chaibakhsh, N., Abdullah, L.C., Madaeni, S.S. and Abidin, Z.Z. (2011). Modeling of Membrane Bioreactor Treating Hypersaline Oily Wastewater by Artificial Neural Network. Hazardous materials, 192 (2), pp: 568-575.

Turan, N.G., Mesci, B. and Ozgonenel, O. (2011). The Use of Artificial Neural Networks (ANN) For Modeling of Adsorption of Cu (II) From Industrial Leachate by Pumice. Chemical Engineering, 171 (3), pp: 1091-1097.

Evaluation of Khorramshahr wastewater treatment plant using neural and artificial networks and support vector machine and the possibility of using it for agricultural purposes

Ali Iranfar[1], Alireza Nikbakht Shahbazi[*2], Reza Jalilzadeh Yengejeh [1]

1) Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2) Department of Water Resources Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

***Correspondence Author:** ar_nikbakht@yahoo.com

Received Data: 2020. 11. 06 **Accepted Data: 2021. 09. 14**

Abstract

In this research, neural and artificial network and support vector machine have been used to evaluate the wastewater of Khorramshahr treatment plant. Also, the possibility of using the city's sewage for agricultural purposes was investigated. In this study, the monthly values of BOD, COD, TS and TSS that were required in this study were used and also these values were used to evaluate the wastewater of Khorramshahr treatment plant for use in agriculture. The application of artificial neural network model is also possible to predict the quality of effluent from wastewater treatment plants. The selected ANN (LM) model had good accuracy in estimating BOD5. However, this model had poorer performance in predicting maximum values. Using a two-stage network search optimization algorithm, the optimal values of the characteristics of the SVM model, namely ε, C and γ, were obtained as 0.037, 13 and 1.472, respectively. Finally, according to the results obtained in this study, the SVM model was recommended for BOD5 time prediction for Khorramshahr refinery. According to the results obtained from the qualitative analysis of treated wastewater, effluent from BOD5 removal is equal to 88%, COD is equal to 92%, TDS is equal to 70% and TSS removal is equal to 27%. Khorramshahr wastewater treatment plant effluent salinity was measured with a minimum salinity of 208, maximum 3050 and an average of 1544 micromoles per centimeter. Therefore, the effluent of the city's wastewater treatment plant is in group C3, acceptable water. Based on the amount of sodium in the effluent of the treatment plant for irrigation of wheat, barley, soybeans, figs, olives, poplar and the like, according to the Wilcox diagram, there are no restrictions on the use of this effluent.

Keywords: Treatment plant, Wastewater, Artificial Neural Network, BOD, COD, TS, TSS.