ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد توسط شبکه هوش مصنوعی

سمانه خادمی کیا*[1و2]، علی حقی زاده[3]، حاتم گودینی[4]، قدرت الله شمس خرم آبادی[5]

۱- کارشناس ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۴- دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران.

۵- دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

یافته / دوره هجدهم / شماره ۳ / پاییز ۹۵ / مسلسل ۶۹

چکیده

دریافت مقاله: ۹۵/۵/۱۸ پذیرش مقاله: ۹۵/۸/۱

مقدمه: در دو دهه اخیر کاربرد مدل های هوش مصنوعی به منظور بهره برداری صحیح از تصفیه خانه و حفظ پایداری فرآیند های تصفیه در شرایط مطلوب، توسط محققین بسیار فراگیر شده است. این مدل ها به منظور شبیه سازی رفتار سیستم تصفیه خانه می توانند به عنوان یک ابزار مؤثر برای پیش بینی عملکرد تصفیه خانه به کار برده شوند. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد توسط شبکه هوش مصنوعی می باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از مدل ANN-LM و مبنا قرار دادن مشخصه های کیفی اندازه گیری شده در ورودی تصفیه خانه (T، pH، DO، BOD، COD، TSS، TDS، NO_3، PO_4)، مقدار متناظر سه مشخصه BOD، COD و TSS در خروجی تصفیه خانه پیش بینی گردید. شاخص های آماری مورد استفاده شامل R، MSE و نرم افزار های مورد استفاده شامل Matlab و spss (آزمون آماری T-test) بودند.

یافته‌ها: براساس نتایج، BOD، COD و TSS به ترتیب با حداکثر R، ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۹۲ برای داده های آموزش و ۰/۵، ۰/۶۶ و ۰/۵ برای داده های آزمایش و حداقل MSE، ۳/۵، ۳۳/۱۵ و۲/۱۷ برای داده های آموزش و ۱۱، ۱۱۵ و ۲۰/۹۹ برای داده های آزمایش پیش بینی شدند و نتایج قابل قبولی ارائه شد. همچنین، با محاسبه درصد بازده حذف آلاینده ها در خروجی تصفیه خانه مشخص شد حداکثر بهره وری حذف در تصفیه خانه مربوط به آلاینده TSS بوده و معادل ۸۷/۶۸ درصد است. سایر آلاینده ها نیز مقادیری نزدیک به TSS داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری: در این مطالعه ANN-LM یک ابزار قابل اطمینان برای پیش بینی عملکرد سیستم تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد ایجاد نمود و توانست بر مبنای پارامتر های اندازه گیری شده، کیفیت پساب خروجی را پیش بینی نماید. بازده حذف آلاینده ها از طریق مقادیر برآوردی با شبکه ANN-LM به گونه ای بوده که به واسطه نزدیکی با مقادیر مشاهداتی مبین کارایی خوب این مدل به کار برده شده است. همچنین تصفیه خانه در کاهش مقادیر کیفی در حد مقادیر استاندارد توصیه شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست، از کارایی خوبی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد، بازده حذف، شبکه هوش مصنوعی، الگوریتم LM.

*آدرس مکاتبه : خرم آباد، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دانشکده بهداشت و تغذیه، گروه بهداشت محیط.

پست الکترونیک: khademikia_s@yahoo.com

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

مقدمه

امروزه رشد جمعیت و توسعه صنعت باعث افزایش مصرف آب و در نتیجه تولید فاضلاب در اجتماعات و آلودگی محیط زیست شده است؛ به گونه ای که با ایجاد مشکلات بسیار، سرمایه گذاری جهت تصفیه فاضلاب و دفع بهداشتی آن را اجباری نموده است (۱،۲). تقریباً می توان گفت ۹۹/۹ درصد فاضلاب را آب تشکیل می دهد و تنها ۰/۱ درصد فاضلاب از مواد خارجی شامل ذرات محلول، معلق (قابل ته نشینی و غیر قابل ته نشینی)، آلی و معدنی تشکیل شده است و این اهمیت تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب را نشان می دهد (۳). هر متر مکعب فاضلاب خام ۴۰ تا ۶۰ متر مکعب آب تمیز آشامیدنی را آلوده می نماید (۲). تأثیرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از دفع نادرست فاضلاب در حدی است که امروزه اجرای طرح های تصفیه فاضلاب در مناطق شهری مهم و دارای اولویت تلقی می گردد (۳).

مهم ترین اهداف از احداث سامانه های تصفیه فاضلاب شامل حفظ بهداشت همگانی، حفاظت محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در بخش هایی چون کشاورزی و صنعت می باشد (۴). تأسیس تصفیه خانه‌های فاضلاب به تنهایی نگرانی های زیست محیطی را برطرف نمی کند بلکه برای رسیدن به استانداردهای مطلوب زیست محیطی باید عملکرد تصفیه خانه‌ها مدام تحت بررسی و ارزیابی قرار گیرند (۴،۵). از جمله پارامترهای معمولی که برای ارزیابی عملکرد تصفیه خانه‌های فاضلاب مورد توجه قرار می گیرد؛ میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، جامدات معلق، جامدات محلول و pH فاضلاب خروجی از این تصفیه خانه‌هاست (۶،۷). اگر در بررسی ها مقدار آلاینده های پساب از استاندارد خروجی بالاتر باشد باید به دنبال حل این مشکل بود و اگر با استاندارد ها مطابقت داشتند باید پساب در بخش هایی چون کشاورزی و صنعت مصرف گردد که این کار می تواند تا حدودی به حل مسائل بحران کمبود آب کمک نماید (۷).

در حال حاضر، با وضع مقررات سختگیرانه تر کیفیت پساب، بهره برداری از یک تصفیه خانه فاضلاب دشوار تر و پیچیده تر شده است (۶،۷). بهره برداری نامناسب از یک تصفیه خانه فاضلاب ممکن است مشکلات سلامتی عمومی و محیط زیست را به همراه داشته باشد به گونه ای که ورود پساب این تصفیه خانه‌ها به منابع آب دریافتی می تواند شیوع بیماری های مختلف انسانی را سبب شود (۴،۶). عملیات تصفیه فاضلاب شامل مجموعه ای از فرآیندهای پیچیده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که دینامیک آن ها غیرخطی و بعضاً متغیر با زمان می باشد و مستقیماً می تواند عملکرد تصفیه خانه را تحت الشعاع قرار دهند (۸). به علاوه مشخصات ورودی هر تصفیه خانه بسته به منطقه تحت پوشش متفاوت است. بنابراین عملکرد هر تصفیه خانه قویاً به شناخت عوامل اصلی تأثیر گذار بر تصفیه خانه بستگی دارد (۹). در کنار موارد ذکر شده، دقت ناکافی حس گرهای سخت افزاری موجود و مشکلات بهره برداری و نگهداری از این وسایل نیز اغلب مشکلاتی را ایجاد می نماید (۱۰). با توجه به موارد گفته شده، امروزه در کنار بهره برداری تصفیه خانه، توجه به مدل های ریاضی برای پیش بینی عملکرد تصفیه خانه حائز اهمیت است (۷). پاسخ فرآیند به هر گونه تغییری با شبیه سازی ریاضی قابل بررسی است و در نهایت می توان به یک جریان خروجی با کیفیت مطلوب و هزینه عملیاتی کم دست یافت (۱۲،۱۱).

همان گونه که ذکر شد با توجه به ماهیت متغیر فاضلاب به منظور حفظ پایداری فرآیندهای تصفیه در شرایط مطلوب، بهره برداری صحیح تصفیه خانه فاضلاب از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. در این راستا، مدلهای هوش مصنوعی به منظور شبیه سازی رفتار سیستم تصفیه خانه می تواند بعنوان یک ابزار مؤثر مورد استفاده واقع گردد (۸-۴). مدلسازی تصفیه خانه فاضلاب به دلیل روابط غیر خطی پارامترهای

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

مؤثر بسیار دشوار می باشد اما استفاده از مدلهای مفهومی به منظور جلوگیری از افزایش روز افزون نگرانی ها در مورد اثرات زیست محیطی و کمک به مهندسین جهت پیش بینی رفتار تصفیه خانه و نیز کنترل فرآیندهای پیچیده تصفیه خانه برای بدست آوردن خروجی با کیفیت مورد توجه زیادی قرار گرفته است (۱). در مدلسازی های ریاضی، مدلی که بهترین نتایج را حاصل کند در تصفیه خانه‌های مختلف متفاوت است (۱،۷).

شبکه هوش مصنوعی مجموعه ای از نورونهایی است که با قرار گرفتن در لایه های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباط بین نورونها تشکیل می دهند. به طوری که نورون یک واحد ریاضی غیر خطی بوده و در نتیجه یک شبکه عصبی نیز یک سیستم پیچیده و غیر خطی خواهد بود (۵). این شبکه ها دارای سه لایه به نامهای لایه ورودی، لایه های میانی (پنهان) و لایه خروجی می باشند. هر نورون بردار ورودی را در وزنهای خود ضرب و با مقدار خطا جمع و حاصل این عبارت ورودی خالص به تابع محرکه خواهد شد، که تابع خروجی آن به صورت زیر بیان می شود (۳):

$$net_j = \sum_{j-1}^{k} w_{ij} x_j + b$$ رابطه ۱

که در آن net_j: ورودی خالص به تابع محرکه w_{ij}: ماتریس وزنهای شبکه x_j: بردار ورودی به شبکه، b: بردار خطا به شبکه می باشد.

در این زمینه مطالعات زیادی صورت گرفته که می توان به این موارد اشاره نمود. پای و همکاران از یک شبکه هوش مصنوعی سه لایه با ۶ نورون در لایه میانی و چهار نورون اطلاعاتی در ورودی موفق به پیش بینی عوامل کیفی پساب خروجی از تصفیه خانه بیمارستانی در کشور تایوان شدند (۱۳). آنان از مشخصه های pH، دما، جامدات معلق SS و COD پساب بهره گرفتند. نتایج آنان مبین کارایی مناسب شبکه عصبی طراحی شده با حداقل میانگین درصد خطا های مطلق (MAPEs) با ۲۳/۱۴ و ۵۱/۷۳ درصد به ترتیب برای SS و COD بوده است. توانایی شبکه هوش مصنوعی در مدلسازی مشخصه های کیفی فاضلاب شهر آنکارای ترکیه توسط گلوکلو و دورسان در سال ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت (۱۴). یافته های آنان نشان داد مقدار مجذور مربعات خطا (RMSE) برای پیش بینی 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 تصفیه خانه ها است. این کاربرد ها می تواند نشان دهنده توانمندی بالای مدلهای هوشمند عصبی در مدیریت مسائل زیست محیطی باشد (۱۴). نصر و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از شبکه هوش مصنوعی ANN عملکرد تصفیه خانه فاضلاب EL-AGAMY را مدلسازی نمودند (۱۵). بدین منظور داده های مربوط به BOD، COD و TSS تصفیه خانه فاضلاب را طی ۱ سال جمع آوری شده و مدلسازی انجام شده است. ایشان به این نتیجه رسیدند که بین متغیر های خروجی اندازه گیری شده و پیش بینی شده، ضریب همبستگی R=۰/۹ وجود دارد و شبیه سازی رفتار غیر خطی تصفیه خانه فاضلاب توسط این شبکه امکانپذیر است (۱۵). هایدرا و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک تصفیه خانه فاضلاب پتروشیمی را توسط شبکه هوش مصنوعی-الگوریتم لونبرگ مارکوارت (LM) مدلسازی نمودند (۱۶). تعداد ۱۶۰ داده خام مربوط به COD به مدت ۱۸۰ روز با نمونه برداری از راکتورهای بیولوژیکی MSBR تصفیه خانه جمع آوری گردید. این مدل راندمان حذف COD را ۹۸ درصد پیش بینی نمود. مقدار COD پساب ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر برای مقادیر ورودی ۹۰۰ تا ۳۶۰۰ میلی گرم بدست آمد (۱۶).

با توجه به مطالعات انجام شده؛ مطالعه حاضر کارکرد طولانی مدت و پایداری فرآیندی یک سیستم ترکیبی تصفیه فاضلاب را در مقیاس شهری (تصفیه خانه فاضلاب شهر خرم‌آباد) طی یک دوره ۶ ماهه را مورد ارزیابی قرار می دهد. مدل هوش مصنوعی در این مطالعه یک ابزار قابل اطمینان برای پیش بینی عملکرد سیستم تصفیه خانه فاضلاب ایجاد می نماید بطوری که بر مبنای پارامترهای پایش شده، کیفیت

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

پساب خروجی پیش بینی می گردد. به تبع فعالیتهای گوناگون در داخل شهر خرم‌آباد انواع فاضلاب اعم از فاضلاب خانگی، صنعتی و کارگاهی تولید می شود. از آن جا که فاضلاب خروجی تصفیه خانه در زمینهای کشاورزی اطراف آن استفاده می شود، بررسی عملکرد تصفیه خانه توسط مدلسازی از اهمیت بالایی برخوردار است (۶،۷).

هدف از انجام این مطالعه کاربرد شبکه هوش مصنوعی در ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد می باشد. این مدل برای ارزیابی و پیش بینی متغیر های BOD، COD و TSS خروجی مورد استفاده قرار می گیرد و ضریب همبستگی بین پارامترهای ورودی و کیفیت جریان خروجی را محاسبه می‌نماید. داده های مورد نیاز برای مدلسازی به مدت ۶ ماه، به وسیله نمونه برداری از لاگون هوادهی مدول ۱ تصفیه خانه فاضلاب و انجام آزمایشهای T، DO، BOD، COD، TSS، TDS، pH، NO_3^- و PO_4^- فاضلاب ورودی و پساب خروجی سیستم بدست می‌آید.

مواد و روش‌ها

مراحل اجرای مطالعه:

۱- نمونه برداری به مدت ۶ ماه از قسمت های فاضلاب ورودی و پساب خروجی از لاگون هوادهی مدل ۱.

۲- انتقال نمونه ها به آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده بهداشت و انجام آزمایش ها طبق کتاب استاندارد متد.

۳- بدست آوردن داده های ورودی؛ T، DO، BOD، COD، TSS، TDS، pH، NO_3 و PO_4 و داده‌های هدف؛ BOD، COD و TSS.

۴- ورود داده ها به نرم افزار و اجرای مدل.

۵- تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط شاخصهای آماری مورد نظر.

موقعیت مکانی تصفیه خانه فاضلاب:

تصفیه خانه فاضلاب شهر خرم‌آباد در کیلومتر ۱۰ جاده خرم‌آباد-کوهدشت و روبروی پادگان بابا عباس واقع شده است (۱۷). این تصفیه خانه در ۴ مدول ۱۵۰ هزار نفری و با دو فرآیند لاگون هوادهی متعاقب بیهوازی و لجن فعال طراحی شده است. مدول اول تصفیه خانه به روش لاگون هوادهی متعاقب بیهوازی اجرا شده است. واحد های مختلف مدول ۱ تصفیه خانه شامل کانال مقسم ورودی، آشغالگیر، پارشال فلوم، ایستگاه پمپاژ ورودی، لاگون بیهوازی، لاگون هوادهی، لاگون ته نشینی، حوضچه کلر زنی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است (۱۷).

نحوه نمونه برداری:

این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی بوده است. به منظور پیش بینی عملکرد و مدلسازی تصفیه خانه فاضلاب شهر خرم‌آباد نمونه برداری به مدت ۶ ماه (زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴) به‌صورت روزانه رأس ساعت ۸/۵ صبح از محلهای کانال ورودی فاضلاب به تصفیه خانه و کانال خروجی پساب از تانک کلرزنی انجام شد و در مجموع تعداد ۳۳۶ نمونه بدست آمد.

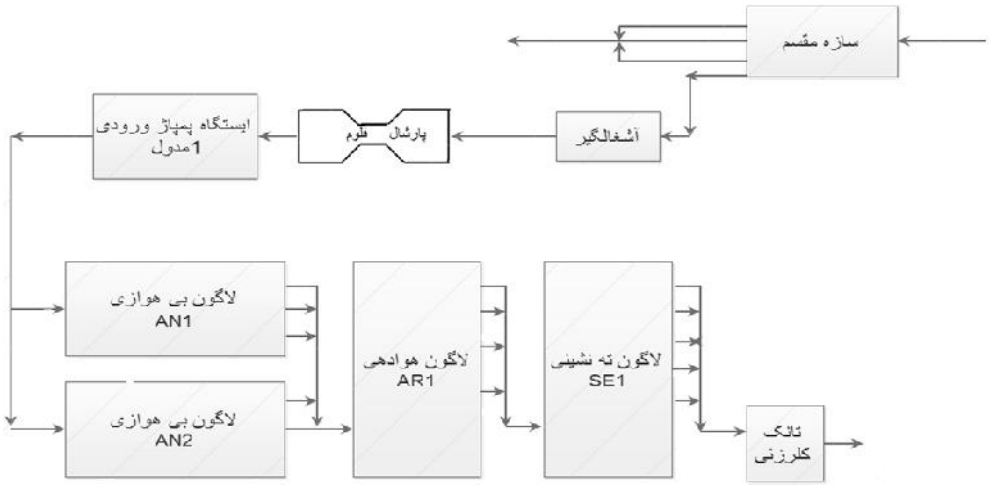
روش انجام آزمایشها:

پارامتر های دما و pH در محل نمونه برداری اندازه گیری شدند. دما با دستگاه EC متر مدل AQUA-COND و pH با استفاده از pH متر مدل SensoDirect PH230 ساخت کشور آلمان که پرتابل بودند اندازه گیری شدند (۱۸). اکسیژن محلول و BOD به روش وینکلر، اندازه گیری COD با استفاده از روش C ۵۲۲۰ تیتریمتری (رفلاکس بسته)، جامدات معلق و محلول به روش وزن سنجی، نیترات و فسفات به روش رنگ سنجی اندازه گیری شدند (۱۸).

داده های مورد نیاز:

برای شروع مدلسازی با شبکه هوش مصنوعی ابتدا به طور تصادفی، داده ها برای آموزش و آزمایش تقسیم شدند (۷). داده های ورودی که به مدل ها داده شدند شامل T، DO، BOD، COD، TSS، TDS، pH، NO_3 و PO_4 فاضلاب ورودی به تصفیه خانه و BOD، COD و TSS پساب خروجی از مدول ۱ به عنوان داده های معیار بودند (۱۹). پارامترهایی که توسط مدل پیش بینی شدند، BOD، COD و TSS پساب خروجی بودند.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

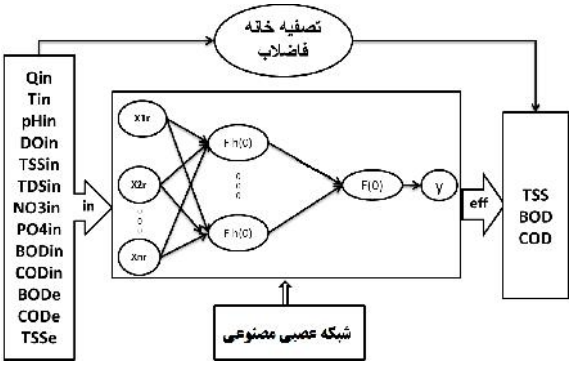


شکل ۱. واحدهای مختلف مدول ۱ تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد

یافته‌ها

معماری شبکه هوش مصنوعی:

معماری مدل شبکه هوش مصنوعی مورد استفاده در مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. معماری مدل شبکه هوش مصنوعی مورد استفاده

برای سهولت در نامگذاری مدلهای ریاضی، ابتدا نوع شبکه و بعد از آن به ترتیب تعداد ورودیها، نورونها و تعداد خروجیها ذکر می شوند (۲۱،۲۲). بعد از ورود داده های خام به نرم افزار، آموزش شبکه انجام شد. سپس با تعیین درصد تعلق پذیری داده ها برای آموزش، اعتبار سنجی و آزمایش، برنامه اجرا گردید.

روش تجزیه و تحلیل اطلاعات:

آنالیز آماری داده های جمع آوری شده توسط آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA1) انجام گرفت. برای بیان میزان خطا و مقایسه بین پارامتر های شبیه سازی شده و هدف از معیار های ضریب همبستگی (R)، میانگین مربعات خطا (MSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RSME) استفاده شد.

میانگین و انحراف معیار پارامتر های مورد مطالعه در فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد در ماه های مختلف نمونه برداری در جدول ۱ آمده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، میانگین درصد حذف BOD توسط تصفیه خانه ۷۷/۸۳ درصد با انحراف معیار ۳/۱، میانگین درصد حذف COD برابر با ۷۸/۵۴ درصد با انحراف معیار ۲/۶۶ و میانگین درصد حذف TSS برابر ۸۷/۶۸ درصد با انحراف معیار ۳/۱ بوده است که افزایش راندمان حذف BOD، COD و TSS توسط تصفیه خانه در فصل زمستان (ماههای دی و بهمن) را نسبت به فصل بهار نشان می دهد. نتایج بدست آمده از آزمون آماری T-test بر روی BOD، COD و TSS پساب خروجی و استاندارد دفع جهت مصارف کشاورزی و استاندارد تخلیه به آبهای سطحی در جدول ۲ آمده است.

داده ها از طریق نرم افزار spss آزمون آماری T-test بر روی پساب خروجی تصفیه خانه و استاندارد دفع پساب جهت کشاورزی و استاندارد تخلیه به آبهای سطحی با P-value برابر ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نتایج نشان داد که به لحاظ آماری عملکرد تصفیه خانه در حذف این پارامتر ها معنی دار بوده است. مقادیر BOD و COD پساب خروجی اندکی از استاندارد تخلیه به آبهای سطحی بیشتر بوده ولی TSS پساب کمتر از این استاندارد بوده است. از سوی دیگر BOD، COD و TSS هیچ یک از نمونه های پساب خروجی، بیشتر از استاندارد دفع پساب جهت کشاورزی نبوده است.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

نتایج مدل شبکه هوش مصنوعی در پیش بینی پارامتر های هدف:

برای رسیدن به یک مدل مطلوب شبکه عصبی انجام مراحلی شامل پیش پالایش داده ها، معماری شبکه، آموزش شبکه و اعتبار سنجی آن ضرورت دارد. پیش پالایش داده ها با بررسی روند تغییرات داده ها و تقسیم تصادفی داده ها به دو دسته آموزشی (۸۰ درصد) برای یافتن رابطه بین ورودی ها و خروجی های مشاهداتی و آزمون (۲۰ درصد)، برای ارزیابی عملکرد شبکه صورت گرفت. جهت رسیدن شبکه به پایداری در جواب، تعداد تکرار محاسباتی شبکه معادل ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. روش آموزش شبکه بر پایه قانون های لونبرگ مارکوات (LM)، به واسطه عملکرد مناسب و سرعت بالای آن در رسیدن به جواب و تابع محرک تانژانت هایپربولیک در لایه میانی و خروجی بود (۸-۶). نتایج پیش بینی پارامتر های BOD، COD و TSS پساب تصفیه خانه خرم‌آباد توسط شبکه عصبی در جدول ۳ آمده است.

به منظور پیش بینی این پارامتر ها ۱۰×۱۴۲ داده به مدل داده شد، این داده ها توسط خود شبکه به ۱۰×۱۱۴ داده یادگیری (۸۰ درصد) و ۱۰×۲۸ داده آزمایشی (۲۰ درصد) تقسیم بندی شدند، که در نهایت این مدل توانست BOD را با ضریب همبستگی (R) ۰/۹۸ برای داده های آموزش و ۰/۵ برای داده های آزمایش، COD را با ضریب همبستگی ۰/۹۱ برای داده های آموزش و ۰/۶۶ برای داده های آزمایش و TSS را با ضریب همبستگی ۰/۹۲ برای داده های آموزش و ۰/۵ برای داده های آزمایش پیش بینی نماید. بررسی نتایج پیش بینی پارامتر های BOD، COD و TSS پساب تصفیه خانه خرم‌آباد حاصل از مدل ANN توسط نرم افزار SPSS در جدول ۴ آمده است.

طبق جدول بین پارامتر های پیش بینی شده و واقعی در اکثر موارد رابطه معنی داری وجود دارد. از سوی دیگر دامنه شیب خطوط برازش یافته که در شکل نشان داده شده است در بیشتر موارد نزدیک به ۱ است که مبین عملکرد مناسب مدل در پیش بینی پارامتر های مذکور است. مقایسه مقادیر پارامتر های BOD، COD و TSS برآورد شده از مدل ANN در مقابل مقادیر اندازه گیری شده در شکل ۳ آورده شده است. این شکل ها مقایسه ای از عملکرد مدل را به صورت برازش مدل رگرسیونی خطی بر مقادیر برآوردی و مشاهداتی به تفکیک هر یک از پارامتر ها و همچنین ترسیم آنها به صورت مجموعه زمانی برای دوره مطالعاتی ۶ ماهه هستند. به عبارت دیگر این شکلها نتیجه تخمین مدل ANN برای پارامتر های کیفی پساب در مقایسه با رفتار واقعی است (۲۲).

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار پارامتر های مورد مطالعه در فاضلاب ورودی و پساب تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد

پارامتر	ماه های نمونه برداری (زمستان ۹۳- بهار۹۴)					
	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
T_{in}	۱۳±۰/۹۹	۱۴/۱۶±۰/۷۸	۱۴/۱۲±۱/۴۴	۱۴/۱۶±۱/۷۶	۱۵/۱۲±۵/۲۶	۲۰/۳۵±۱/۴۴
PH_{in}	۷/۸±۰/۱۶	۷/۷۵±۰/۱۲	۷/۶۷±۰/۰۸	۷/۷۱±۲/۳۹	۷/۵۴±۲/۴	۷/۴۶±۰/۲
DO_{in} (mg/l)	۳/۹۴±۱/۲۵	۳/۷۷±۰/۲۶	۳/۴۲±۰/۴۷	۳/۵±۰/۳	۳/۴±۰/۲۳	۳/۲۳±۰/۱۹
BOD_{in} (mg/l)	۲۰۶/۹۵±۸۷/۷۴	۲۱۵/۵۲±۳۱/۰۳	۱۹۷±۸۷/۶۵	۲۲۷/۶۶±۴۹/۶۷	۱۹۷/۳۴±۳۰/۲۴	۱۹۲/۲۵±۴۹/۳۵
COD_{in} (mg/l)	۲۹۲/۰۴±۱۱۲/۶	۳۰۱/۵۲±۴۴/۶۷	۲۸۳/۹۶±۳۵/۹۷	۳۱۸±۱۱۳/۶۶	۲۸۱/۷۵±۳۹/۶۴	۲۶۲/۳۳±۲۳/۹۵
TSS_{in} (mg/l)	۱۷۳/۷۹±۶۲/۳۹	۱۸۱/۵±۳۳/۸۲	۱۵۳/۵۲±۴۵/۰۵	۱۸۷/۵۵±۲۰/۴۲	۱۵۱/۳۶±۳۹/۶۳	۱۱۶±۶۲/۹۱
TDS_{in} (mg/l)	۵۰۵/۵۸±۶۹/۱۵	۵۲۹/۳۷±۱۶۴/۱	۴۹۶/۱۱±۷۵/۴۷	۵۴۳/۷۳±۱۶۷/۶	۴۹۳/۷۱±۶۶/۷	۴۵۹/۴±۴۱/۳۷
(mg/l) $NO_{3\ in}$	۰/۰۴±۰/۰۰۸	۰/۰۶±۰/۰۰۹	۰/۱۲±۰/۱۵	۰/۱۴±۰/۰۲	۰/۱۸±۰/۰۲	۰/۴±۰/۱۵
PO_4 in(mg/l)	۰/۹۹±۱/۶۴	۲/۶۲±۰/۰۸	۴/۲۶±۱/۶۴	۲/۹۸±۰/۱۷	۴/۷۴±۰/۱۹	۳/۶۸±۰/۱۷
BOD_e (mg/l)	۳۸/۶۸±۱/۷۲	۳۷/۳±۳/۵۸	۴۱/۰۵±۲/۲۵	۴۵/۴۳±۱۳/۴۷	۴۴/۹۵±۱۳/۳۹	۴۳±۱/۹۷
COD_e (mg/l)	۵۷/۰۴±۱۳/۹۸	۵۴/۴۴±۸/۳	۵۷/۷±۱۲/۳۹	۷۹/۷۹±۶/۲۵	۷۸/۳۹±۲۵/۳۵	۶۴/۸۴±۵/۳۱
TSS_e (mg/l)	۱۳/۶۴±۲/۰۳	۱۵/۷۳±۶/۶	۱۷/۱۸±۲/۵۲	۱۸/۳۳±۳/۴۸	۱۷/۶۳±۶/۵۵	۱۷/۴۷±۱/۸۲

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

جدول ۲. آزمون آماری T-test بر روی BOD، COD و TSS پساب خروجی و استاندارد دفع جهت مصارف کشاورزی و استاندارد تخلیه به آبهای سطحی

پارامتر	استاندارد دفع	انحراف معیار خروجی	میانگین خروجی	t	df	Sig.(2-tailed)
BOD_5	۱۰۰	۳/۳۲	۴۱/۷۳	۳۰/۷۹	۵	۰/۰۰
	۳۰	۳/۳۲	۴۱/۷۳	۱۵۳/۱	۱۴۱	۰/۰۰
COD	۲۰۰	۱۱/۱۸	۶۵/۳۶	۱۴/۳۱	۵	۰/۰۰
	۶۰	۱۱/۱۸	۶۵/۳۶	۵۹/۱۲	۱۴۱	۰/۰۰
TSS	۱۰۰	۱/۷۱	۱۶/۶۶	۲۳/۸۳	۵	۰/۰۰
	۴۰	۱/۷۱	۱۶/۶۶	۵۵/۸۴	۱۴۱	۰/۰۰

جدول ۳. نتایج پیش بینی پارامتر های BOD، COD و TSS پساب تصفیه خانه خرم‌آباد توسط شبکه عصبی

خروجی های مدل ANN	داده های آموزش		داده های آزمایش	
	R	MSE	R	MSE
BOD	۰/۹۸	۲/۵	۰/۵	۱۱
COD	۰/۹۱	۳۳/۵	۰/۶۶	۱۱۵
TSS	۰/۹۲	۲/۱۷	۰/۵	۲۰/۹۹

جدول ۴. بررسی نتایج پیش بینی پارامتر های BOD، COD و TSS حاصل از مدل ANN توسط نرم افزار SPSS

پارامتر	داده های مدل					
	R_2	Sig.	b	F	میانگین اندازه گیری	میانگین مدل
BOD	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۸۶	۶۱۷/۲	۴۲/۲۹	۴۲/۳۸
COD	۰/۷۳	۰/۰۰	۰/۶۷	۳۸۹/۴۳	۶۶/۴۷	۷۶/۶۵
TSS	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۷۲	۲۶۲/۹۷	۱۷/۶۴	۱۷/۶

بحث و نتیجه گیری

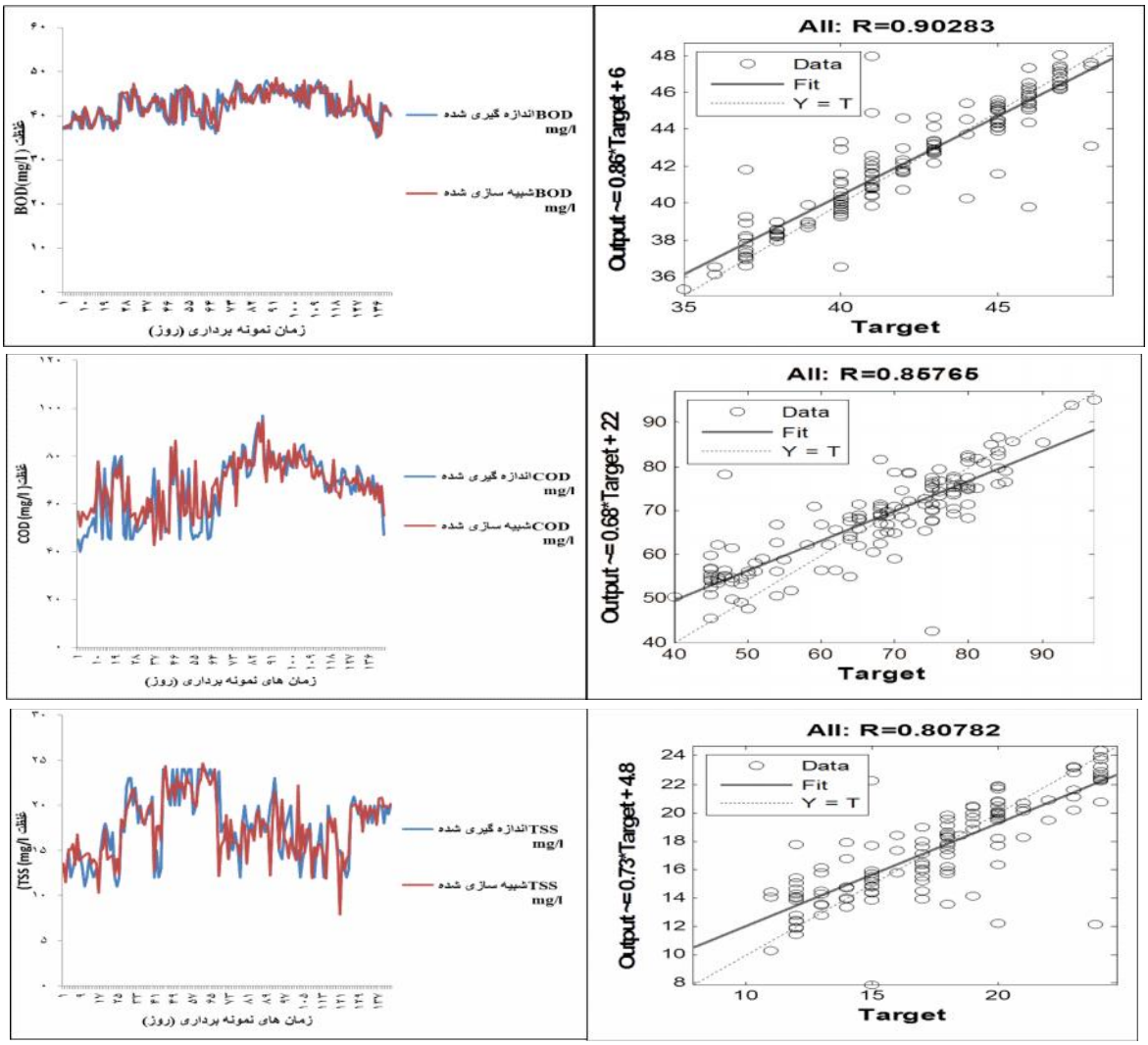
تحقیق حاضر با هدف توسعه و ارزیابی کارایی مدل شبکه هوش مصنوعی در بررسی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد و برآورد عوامل کیفی فاضلاب ورودی و پساب انجام شد. در این راستا مقادیر مشخصه های BOD، COD، TSS، TDS، نیترات و فسفات به منزله مشخصه های کیفی و دما، DO و pH به منزله عوامل محیطی فاضلاب خام طی ۶ ماه نمونه برداری به منزله بردار اطلاعات ورودی مد نظر قرار گرفت. به همین ترتیب از مقدار متناظر ۳ مشخصه BOD، COD و TSS در پساب خروجی تصفیه خانه به منزله بردار اطلاعات خروجی استفاده شد. جدول۱ بیانگر وجود تغییرات متفاوت مشخصه های کیفی و فیزیکی فاضلاب در طی ۶ ماه نمونه برداری است که با گزارش زارع ابیانه و همکاران مبنی بر وجود روند تغییرات متفاوت مشخصه های فاضلاب در ماه های مختلف سال، همخوانی دارد (۷).

میانگین راندمان حذف BOD5، COD وTSS (۷۷/۸۳، ۷۸/۵۴، ۸۷/۶۸) در فصل زمستان (ماههای دی و اسفند) بیشتر از فصل بهار بوده است. رابطه عکس بین درصد حذف BOD5 و دمای فاضلاب گویای این مطلب است که با آنکه افزایش دما باعث افزایش فعالیتهای بیولوژیکی می شود و پایین بودن متوسط دمای فاضلاب خام در زمستان نسبت به متوسط دمای فاضلاب خام در فصول گرم نشان دهنده کاهش کارایی سیستم در فصل سرما به علت کند تر شدن سرعت فعالیت های بیولوژیکی می باشد؛ اما عدم کارکرد هواده ها با تمام توان در فصول گرم تأثیر پارامتر دما را تحت تأثیر قرار داده است (۲۲-۱۹). به این صورت می بینیم در فصل زمستان با وجود کاهش دما، کارکرد هواده ها با تمام توان باعث شده است راندمان حذف BOD در این فصل از فصل گرم بیشتر باشد (۲۳). این نتایج با نتایج مطالعه رضایی کلانتری و همکاران (۱۳۸۵) مبنی بر مطالعه کارایی سیستم لاگون هوادهی تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد با راندمان حذف BOD و TSS به ترتیب ۷۰/۲۳ و ۸۱/۳۳ درصد در زمستان همخوانی دارد (۲۳).

خوشبخت و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی بر روی تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد، راندمان تصفیه خانه را در حذف BOD و TSS طی یک دوره نمونه برداری ۳ ماهه به ترتیب ۷۴ و ۸۳/۵۵ درصد گزارش نمودند (۲۱). در خصوص کارایی تصفیه خانه خرم‌آباد و مقایسه با مقادیر توصیه شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست کشور، مبین کارایی خوب تصفیه خانه

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

است. نتایج جدول ۲ نشان می دهد که به لحاظ آماری عملکرد تصفیه خانه در حذف پارامتر های BOD، COD و TSS معنی دار بوده است. از طرفی به منظور استفاده مجدد از پساب، و یا تخلیه آن به منابع پذیرنده، میزان هر یک از آلاینده ها باید در محدوده استاندارد های تعریف شده باشد (۷). در این رابطه طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست برای مصارف کشاورزی و تخلیه به آب های سطحی، غلظت BOD5، COD و TSS بایستی به ترتیب کمتر از ۱۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ و ۳۰،۶۰،۴۰ باشند. به این ترتیب با توجه به بازده حذف عوامل کیفی از فاضلاب در تصفیه خانه خرم‌آباد و با دستیابی به استاندارد تخلیه به محیط زیست مشاهده می شود که مقادیر این عوامل کیفی در پساب خروجی (۴۱/۷۳، ۶۵/۳۶، ۱۶/۶۶ میلی گرم بر لیتر) کمتر از استاندارد توصیه شده جهت مصارف کشاورزی است (۲۴). در مورد استاندارد تخلیه به آب های سطحی؛ گرچه TSS کمتر از استاندارد تعریف شده آن است ولی مقادیر BOD و COD بیشتر از استاندارد هستند (۲۴). در نتیجه با ارتقاء کیفیت پساب توسط راهکارهای پیشنهادی می توان به سطح مطلوبتری از تصفیه دست یافت. این نتایج با مطالعه خوشبخت و همکاران همخوانی دارد (۲۱). دقت ANN در برآورد غلظت آلاینده های هدف BOD، COD و TSS با استفاده از آماره های R و MSE محاسبه و برای مقایسه در شکل ۳ به نمایش گذاشته شد.



شکل ۱. مقایسهٔ نتایج مقدار BOD، COD و TSS برآورد شده از مدل ANN در مقابل مقادیر اندازه گیری شده

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

نتایج اجرای این مدل در جدول ۳ نشان می دهد با توجه به پایین بودن مقدار آماره MSE و بالا بودن آماره R، رابطه قابل قبول و مستقیمی بین مشخصه های اندازه گیری شده و برآورد شده، به ویژه برای داده‌های آموزش برقرار است. به عبارت دیگر شکل ۳ نتیجه تخمین مدل آموزش یافته برای مشخصه های کیفی پساب در مقایسه با رفتار واقعی است (۷). طبق جدول ۴ بین پارامتر های پیش بینی شده و واقعی در اکثر موارد رابطه معنی داری وجود دارد. شکل ۳ نشان می دهد، عوامل کیفی برآوردی از مدل در اکثر موارد همخوانی مناسبی با مقادیر مشاهداتی دارد. بالا بودن تقریبی ضریب همبستگی نیز بیانگر مطالب فوق است. این نتایج مبین برتری مدل ANN طراحی شده در این مطالعه است. زارع ابیانه و همکاران توانستند با بکارگیری یک شبکه عصبی با ۱۲ نورون و ۶ مولفه ورودی BOD، COD، TS،TSS ، دما و pH، ۶ مولفه خروجی BOD، COD، TS، TSS، دما و pH را با ضریب همبستگی ۰/۸۲پیش بینی نمایند (۷). در مطالعه سینگ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از ۱۱ مشخصه کیفی ورودی شبکه در پیش بینی مشخصه BOD، مقدار ضریب همبستگی مدل بهینه ۰/۸۷ بود (۲۵). در مطالعه گلوکلو و دورسان با بکارگیری ۸ مشخصه، ضریب همبستگی ساختار بهینه شبکه عصبی در تخمین COD، ۰/۸۵ گزارش شد (۱۴). اجرای هر چه بهتر مدل به تعداد مناسب مشخصه های ورودی نیز بستگی دارد. نصر و همکاران توانستند با بکار گیری یک شبکه عصبی و ۳ مولفه ورودی BOD، COD، TSS تصفیه خانه فاضلاب EL-AGAMY مصر، ۳ مولفه خروجی BOD، COD، TSS را با ضریب همبستگی ۰/۹پیش بینی نمایند. از طرفی دامنه شیب خطوط برازش یافته در شکل ها بین ۰/۹ تا ۱ است که مبین عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش بینی است. علت عملکرد مناسب مدل را می توان به هوشمند بودن فرآیند تحلیل داده ها و اندازه گیری های مناسب و انتخاب مشخصه های مؤثر در فاضلاب نسبت داد (۱۵). به طوری که مدل طی فرآیند آموزش با ایجاد روابطی منطقی میان نگاشتهای ورودی و خروجی از آن برای محاسبه داده هایی که در امر آموزش شبکه به کار نرفته اند استفاده می کند (۷). در نهایت شبکه هوش مصنوعی در این مطالعه توانست با آرایش ۱-۱۲-۱۰ (۱۰ ورودی، ۱۲ نورون و ۱ خروجی) هر ۳ پارامتر هدف را به طور جداگانه با موفقیت پیش بینی نماید. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه از آنجا که راندمان حذف TSS در تصفیه خانه در حد مطلوبی است و راندمان حذف BOD و COD پساب خروجی با استاندارد دفع پساب فاصله کمی دارد، می توان با اندیشیدن تدابیری مانند بهره برداری بهتر و راه اندازی هواده های معیوب، استاندارد دفع پساب تصفیه خانه را به استاندارد دفع پساب جهت آبهای سطحی رساند و بدین طریق انعطاف پذیری عملکرد تصفیه خانه و ایمنی کیفی تصفیه خانه را بالا برد. این مسئله وقتی نمود بهتری پیدا می کند که در نظر داشته باشیم دفع پساب جهت مصارف کشاورزی در مقاطع خاصی از سال امکانپذیر است. کاهش آلاینده های BOD، COD، TSS می تواند به واسطه دما، pH و فعالیتهای شیمیایی و بیولوژیکی محیط باشد. مشخصه دما از طریق تأثیر گذاری بر عوامل تجزیه و مشخصه pH با نقش در میزان حلالیت ترکیبات موجود در فاضلاب سبب حذف آلاینده ها می‌شود (۶،۱۹).

با عنایت به اینکه کارآیی تصفیه خانه خرم‌آباد در حذف آلاینده های فاضلاب بطور متوسط در حدود ۸۱/۳۵ درصد است، لذا می توان چنین نتیجه گیری نمود که سیستم مورد استفاده در این تصفیه خانه کارآمد بوده و پساب تولیدی از نظر پارامتر های مورد مطالعه BOD، COD و TSS با استانداردهای رایج در ایران مطابقت داشته و قابلیت استفاده مجدد در مصارف کشاورزی و با ارتقاء بیشتر کیفیت پساب، قابلیت تخلیه به آبهای پذیرنده را دارا می باشد (۲۴). در سالهای اخیر به دلیل وجود حجم زیادی از داده های جمع‌آوری شده از کمیت و کیفیت فاضلابها و لزوم استفاده

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

مجدد از آبهای نامتعارف به دلیل کمبود منابع آب، استفاده از روشهای داده محور توسعه چشمگیری یافته است. در بین روشهای داده محور، شبکه های عصبی و عصبی فازی برای مسائل کیفی آب که دارای رفتار پیچیده و غیر خطی اند دارای اهمیت و کاربردی اند. اهمیت کاربرد این مدلها با توجه به محدودیت منابع آب و مشکلات زیست محیطی ضروری است. در این تحقیق مشخص شد چنانچه مفهوم فرآیند ها و مشخصه های مؤثر ورودی بخوبی تشخیص داده شوند، شبکه های هوش مصنوعی نتایج قابل قبولی دارند. با توجه به محدود بودن زمان این مطالعه، امکان دستیابی به تمامی جوانب مورد نظر فراهم نگردید که در این بخش به عنوان پیشنهاد ارائه می شوند.

تغییر و بهبود الگوی مصرف به منظور کاهش تولید فاضلاب و توسعه طرح جمع آوری فاضلاب شهر خرم‌آباد.

در نظر گرفتن تعداد مولفه های ورودی و خروجی متفاوت در مطالعات آینده در پیش بینی عملکرد تصفیه خانه ها جهت دستیابی به بیشترین مقدار برای تابع هدف و مقایسه نتایج آنها با نتایج مطالعه حاضر.

مطالعه و روندیابی تغییرات کیفی و کمی پارامتر های مؤثر در تصفیه خانه و دیگر فرآیند ها جهت استفاده مجدد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه دانشجویی است. نویسندگان این مقاله از مسئولین آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده بهداشت خرم‌آباد و مدیریت محترم تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد به خاطر همکاری ها و مساعدت های ایشان تشکر و قدردانی می نمایند.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

References

1. Vajedi M, Shahhosseini SH. Modeling of Activated Sludge Process Using Sequential Adaptive Neuro-fuzzy Inference System. J Wat and waste. 2013; 335:121-131. (In Persian)
2. Qasim SR. Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation. 2nd ed. New York: McGraw Hill; 1991.
3. Pescod MB. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1992.
4. Water pollution Control. New york: Mc Graw–Hill. 1989; 2:189-193.
5. Eckenfelder WW. Industrial water pollution Control. New york: Mc Graw – Hill. 2000; 2:189-193.
6. Saeedi M, Khalvati F, Ahiliani A. Application of electro-coalescence to reduce COD of the southern Pars gas refinery wastewater. J of Wat and Waste. 2012; 73:40-48. (In Persian)
7. Zare Abiane H, Bayat Varkeshi M, Bayat Varkeshi J. Evaluation of ekbatan wastewater treatment plant using artificial neural network. J of Envirology. 2013; 38(3):85-98. (In Persian)
8. Raha D. Exploring Artificial Neural Networks Modeling for a Biological Nutrient Removal (BNR) Sewage Treatment Plant (STP) to Forecast Effluent Suspended Solids. Indian Instit of Chem Engin. 2010; 49(3):205-220.
9. Hong YST, Rosen MR, Bhamidimarri R. Analysis of Municipal Wastewater treatment Plant using a Neural Network-based pattern analysis. J of Wat Res. 2009; 37:1608-1618.
10. Choi D, Park HY. A Hybrid Artificial Neural Network as a Software Sensor for Optimal Control of a Wastewater Treatment Process. J of Wat Res. 2012; 35(16):3959-3967.
11. Andrews JF. Modeling and simulation of wastewater treatment systems. Wat Sci Tech. 2012; 28:141-150.
12. Mjalli FS, Al-Asheh S, Alfadala HE. Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance. J of Enviro Manage. 2007; 83(3):329-338.
13. Pai TY, Tsai YP, Lo HM, Tsai CH, Lin CY. Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent. J of Comput and Chem Engin. 2013; 31(10):1272-1281.
14. Gluclu D, Dursun S. advanced neural network modelling of a large scale wastewater treatment plant operation. Bio Process Biosyst Eng. 2013; 33:1051-1058.
15. Nasr MS, Medhat AE, Moustafa, Seif HAE, Kobrosy GEL. Application of Artificial Neural Network (ANN) for the prediction of EL-AGAMY wastewater treatment plant performance-EGYPT. Alexan Engin J. 2012; 51:37-43.
16. Haydera G, Ramlia MZ, Maleka MA, Khamisb A, Hilminc NM. Prediction model development for petroleum refinery wastewater treatment. J of Wat Pro Engin. 2014; 4:1-5.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]

17. Report of Khorramabad wastewater treatment plant. Consulting engineers if water and wastewater research plan, 2010.
18. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed .Washington DC, USA, 2005.
19. Zoghi MG, Zoghi T, Saeedi M. Prediction of ammonium and organic matter in landfill using neural network. Wat and Waste. 2010; 2:6-52. (In Persian)
20. Hosseini MM, Babalu E, Vafadar Afshar M. survey of mechanical-aerated lagoon in BOD, COD and TSS removal in khuy wastewater treatment plant. Medical j of Orumieh. 2009; 4(3):158-166. (In Persian)
21. Khoshbakht E, Shams Khorramabadi GH, Takdastan A. Consideration of performance and parameters of planning the aerated lagoon in condition of no return sludge, in refinery of khorramabad city. Environmental pollutions and their methods of controls congress, 2013. (In Persian)
22. Binavapour M, Sabzevari A, Farzadkia M, Omidi Sh, Kulivand A, Zafaripour H, et al. Investigation of Irrigation Reuse Potential of Wastewater Treatment Effluent from Hamedan Atieh-Sazan General Hospital. Wat and Waste. 2007; 64:83-87. (In Persian)
23. Rezaee Kalantari R, Darvishi Cheshme Soltani R, Shirpei AA, Jorfi S. Evaluation of aerated lagoons of khorramabad wastewater treatment plant. The first national congress in water and wastewater section. Tehran, 2006. (In Persian)
24. Standard of effluent reuse. EPA; 1994.
25. Singh p. Artificial neural network modeling of the river water quality-a case study. Ecolog Model. 2014; 220:888-895.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-08]