

## ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب خرم آباد توسط شبکه هوش مصنوعی

سمانه خادمی کیا<sup>۱\*</sup>، علی حقی زاده<sup>۲</sup>، حاتم گودینی<sup>۳</sup>، قدرت الله شمس خرم آبادی<sup>۴</sup>

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

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

۳- استادیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، 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، خرم آباد، 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 خرم آباد توسط شبکه هوش مصنوعی می باشد.

**\* مواد و روش ها:** 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<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>)، مقدار متناظر سه مشخصه COD, BOD, TSS در خروجی تصفیه خانه پیش بینی گردید. شاخص های آماری مورد استفاده شامل MSE, R و نرم افزار های مورد استفاده شامل Matlab و spss (آزمون آماری T-test) بودند.

**\* یافته ها:** براساس نتایج، COD, BOD, TSS و به ترتیب با حداکثر R، ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۹۲ برای داده های آموزش و ۰/۶۶، ۰/۵ و ۰/۵ برای داده های آزمایش و حداقل MSE، ۳۳/۱۵، ۲/۱۷ و ۲/۱۷ برای داده های آموزش و ۱۱، ۱۱ 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 نتیجه گیری:** در این مطالعه ANN-LM یک ابزار قابل اطمینان برای پیش بینی عملکرد سیستم تصفیه خانه فاضلاب خرم آباد 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.

**\* واژه های کلیدی:** تصفیه خانه فاضلاب خرم آباد، 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

## 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 گونه‌ای که با ایجاد مشکلات بسیار، سرمایه‌گذاری جهت تصفیه فاضلاب و دفع بهداشتی آن را اجباری نموده است (۱،۲). تقریباً می‌توان گفت ۹۹/۹ درصد فاضلاب را آب تشکیل می‌دهد 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 می‌دهد (۳). هر متر مکعب فاضلاب خام ۴۰ تا ۶۰ متر مکعب آب تمیز آشامیدنی را آلوده می‌نماید (۲). تأثیرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از دفع نادرست فاضلاب در حدی است که امروزه اجرای طرح‌های تصفیه فاضلاب در مناطق شهری مهم و دارای اولویت تلقی می‌گردد (۳).

مهم‌ترین اهداف از احداث سامانه‌های تصفیه فاضلاب شامل حفظ بهداشت همگانی، حفاظت محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در بخش‌هایی چون کشاورزی و صنعت می‌باشد (۴). تأسیس تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به تنهایی نگرانی‌های زیست محیطی را برطرف نمی‌کند بلکه برای رسیدن به استانداردهای مطلوب زیست محیطی باید عملکرد تصفیه‌خانه‌ها مدام تحت بررسی و ارزیابی قرار گیرند (۴،۵). از جمله پارامترهای معمولی که برای ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد توجه قرار می‌گیرد؛ میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، جامدات معلق، جامدات محلول و pH فاضلاب خروجی از این تصفیه‌خانه‌هاست (۶،۷). اگر در بررسی‌ها مقدار آلاینده‌های پساب از استاندارد خروجی بالاتر باشد باید به دنبال حل این مشکل بود و اگر با استاندارد‌ها مطابقت داشتند باید پساب در بخش‌هایی چون کشاورزی و صنعت

مصرف گردد که این کار می‌تواند تا حدودی به حل مسائل بحران کمبود آب کمک نماید (۷).

در حال حاضر، با وضع مقررات سختگیرانه‌تر کیفیت پساب، بهره‌برداری از یک تصفیه‌خانه فاضلاب دشوارتر و پیچیده‌تر شده است (۶،۷). بهره‌برداری نامناسب از یک تصفیه‌خانه فاضلاب ممکن است مشکلات سلامتی عمومی و محیط زیست را به همراه داشته باشد به گونه‌ای که ورود پساب این تصفیه‌خانه‌ها به منابع آب دریافتی می‌تواند شیوع بیماری‌های مختلف انسانی را سبب شود (۴،۶). عملیات تصفیه فاضلاب شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که دینامیک آن‌ها غیرخطی و بعضاً متغیر با زمان می‌باشد و مستقیماً می‌تواند عملکرد تصفیه‌خانه را تحت الشعاع قرار دهند (۸). به علاوه مشخصات ورودی هر تصفیه‌خانه بسته به منطقه تحت پوشش متفاوت است. بنابراین عملکرد هر تصفیه‌خانه قویاً به شناخت عوامل اصلی تأثیرگذار بر تصفیه‌خانه بستگی دارد (۹). در کنار موارد ذکر شده، دقت ناکافی حس‌گرهای سخت‌افزاری موجود و مشکلات بهره‌برداری و نگهداری از این وسایل نیز اغلب مشکلاتی را ایجاد می‌نماید (۱۰). با توجه به موارد گفته شده، امروزه در کنار بهره‌برداری تصفیه‌خانه، توجه به مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی عملکرد تصفیه‌خانه حائز اهمیت است (۷). پاسخ فرآیند به هر گونه تغییری با شبیه‌سازی ریاضی قابل بررسی است و در نهایت می‌توان به یک جریان خروجی با کیفیت مطلوب و هزینه عملیاتی کم دست یافت (۱۱،۱۲).

همان‌گونه که ذکر شد با توجه به ماهیت متغیر فاضلاب به منظور حفظ پایداری فرآیندهای تصفیه در شرایط مطلوب، بهره‌برداری صحیح تصفیه‌خانه فاضلاب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در این راستا، مدل‌های هوش مصنوعی به منظور شبیه‌سازی رفتار سیستم تصفیه‌خانه می‌تواند بعنوان یک ابزار مؤثر مورد استفاده واقع گردد (۸-۴). مدلسازی تصفیه‌خانه فاضلاب به دلیل روابط غیرخطی پارامترهای

مؤثر بسیار دشوار می باشد اما استفاده از مدل‌های مفهومی به منظور جلوگیری از افزایش روز افزون نگرانی‌ها در مورد اثرات زیست محیطی و کمک به مهندسی 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 مدلسازی‌های ریاضی، مدلی که بهترین نتایج را حاصل کند در تصفیه خانه‌های مختلف متفاوت است (۱،۷).

شبکه هوش مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌هایی است که با قرار گرفتن در لایه‌های 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 شبکه‌ها دارای سه لایه به نام‌های لایه ورودی، لایه‌های 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):

$$net_j = \sum_{i=1}^L w_{ij}x_i + b \quad \text{رابطه ۱}$$

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 مشخصه‌های pH، دما، جامدات معلق SS و COD پساب بهره گرفتند. نتایج آنان مبین کارایی مناسب شبکه عصبی طراحی شده با حداقل میانگین درصد خطا‌های مطلق (MAPEs) با ۲۳/۱۴ و ۵۱/۷۳ درصد به ترتیب برای SS و COD بوده است. توانایی شبکه هوش مصنوعی در مدلسازی مشخصه‌های کیفی فاضلاب شهر آنکارای ترکیه

توسط گلوکلو و دورسان در سال ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت (۱۴). یافته‌های 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 خانه‌ها است. این کاربرد‌ها 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 داده‌های 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 متغیرهای خروجی اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده، ضریب همبستگی  $R=0/9$  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 لونیبرگ 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

فرآیند لاگون هواهی متعاقب بیهواری و لجن فعال طراحی شده است. مدول اول تصفیه خانه به روش لاگون هواهی متعاقب بیهواری اجرا شده است. واحد های مختلف مدول ۱ تصفیه خانه شامل کانال مقسم ورودی، آشغالگیر، پارشال فلوم، ایستگاه پمپاژ ورودی، لاگون بیهواری، لاگون هواهی، 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) به صورت روزانه رأس ساعت ۸/۵ صبح از محل های کانال ورودی فاضلاب به تصفیه خانه و کانال خروجی پساب تانک کلر زنی 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 تیتريمتری (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<sub>3</sub> و PO<sub>4</sub> فاضلاب ورودی به تصفیه خانه و COD, BOD و TSS پساب خروجی از مدول ۱ به عنوان داده های معیار بودند (۱۹). پارامترهایی که توسط مدل پیش بینی شدند، COD, BOD و TSS پساب خروجی بودند.

پساب خروجی پیش بینی می گردد. به تبع فعالیت های 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 زمین های 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 COD, BOD و TSS خروجی مورد استفاده قرار می گیرد و ضریب همبستگی بین پارامترهای ورودی و کیفیت جریان خروجی را محاسبه می نماید. داده های مورد نیاز برای مدلسازی به مدت ۶ ماه، به وسیله نمونه برداری از لاگون هواهی مدول ۱ تصفیه خانه فاضلاب و انجام آزمایش های T, DO, BOD, COD, TSS, TDS, pH, NO<sub>3</sub> و PO<sub>4</sub> فاضلاب ورودی و پساب خروجی سیستم بدست می آید.

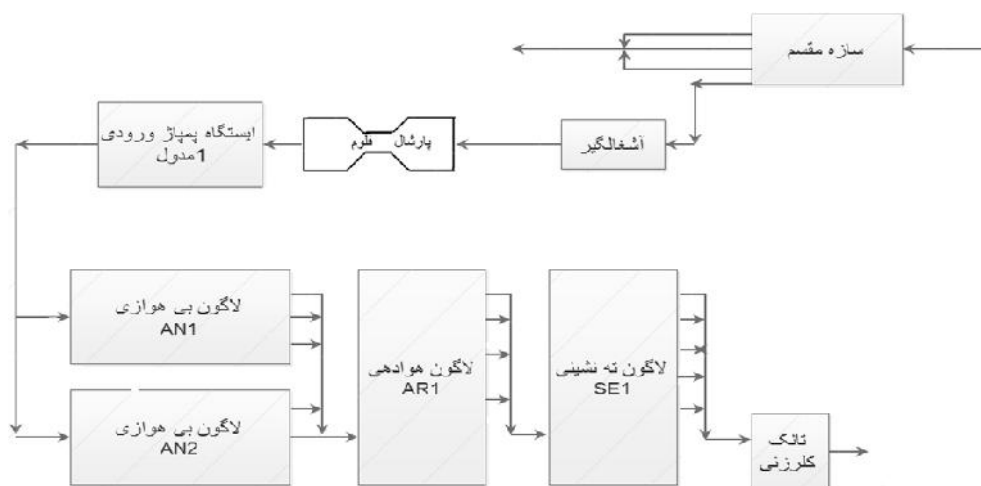
### مواد و روش ها

#### مراحل اجرای مطالعه:

- ۱- نمونه برداری به مدت ۶ ماه از قسمت های فاضلاب ورودی و پساب خروجی از لاگون هواهی 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<sub>3</sub> و PO<sub>4</sub> و داده های هدف؛ COD, BOD و TSS.
- ۴- ورود داده ها به نرم افزار و اجرای مدل.
- ۵- تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط شاخص های 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



شکل ۱. واحدهای مختلف مدول ۱ تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد

### یافته‌ها

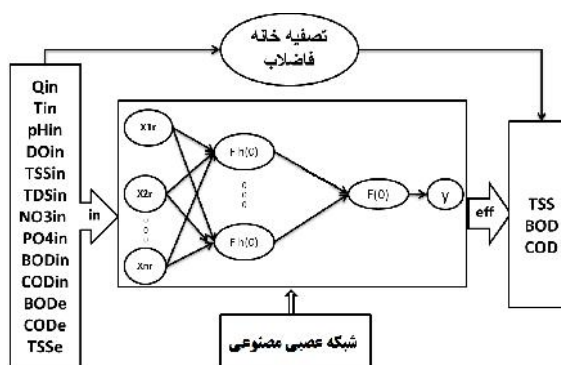
میانگین و انحراف معیار پارامترهای مورد مطالعه در فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد در ماه‌های مختلف نمونه برداری در جدول ۱ آمده است.

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، TSS توسط تصفیه خانه در فصل زمستان (ماه‌های دی و بهمن) را نسبت به فصل بهار نشان می‌دهد. 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.

داده‌ها 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 پارامترها 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 نمونه‌های پساب خروجی، بیشتر از استاندارد دفع پساب جهت کشاورزی نبوده است.

### 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 می‌شوند (۲۱، ۲۲). بعد از ورود داده‌های خام به نرم افزار، آموزش شبکه انجام شد. سپس با تعیین درصد تعلق پذیری داده‌ها برای آموزش، اعتبار سنجی و آزمایش، برنامه اجرا گردید.

### روش تجزیه و تحلیل اطلاعات:

آنالیز آماری داده‌های جمع‌آوری شده توسط آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA1) انجام گرفت. برای بیان میزان خطا و مقایسه بین پارامترهای شبیه‌سازی شده و هدف از معیارهای ضریب همبستگی (R)، میانگین مربعات خطا (MSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RSME) استفاده شد.

### نتایج مدل شبکه هوش مصنوعی در پیش‌بینی

#### پارامترهای هدف:

برای رسیدن به یک مدل مطلوب شبکه عصبی انجام مراحل شامل پیش‌پالایش داده‌ها، معماری شبکه، آموزش شبکه و اعتبارسنجی آن ضرورت دارد. پیش‌پالایش داده‌ها با 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 معادل ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. روش آموزش شبکه بر پایه قانون‌های لونتبرگ 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 پیش‌بینی پارامترهای COD، BOD، TSS و پساب تصفیه خانه خرم‌آباد توسط شبکه عصبی در جدول ۳ آمده است.

به منظور پیش‌بینی این پارامترها  $142 \times 10$  داده به مدل داده شد، این داده‌ها توسط خود شبکه به  $114 \times 10$  داده یادگیری (۸۰ درصد) و  $28 \times 10$  داده آزمایشی (۲۰ درصد) تقسیم بندی شدند که در نهایت این مدل توانست BOD را با ضریب همبستگی (R)  $0/98$  برای داده‌های آموزش و  $0/5$  برای داده‌های آزمایش، COD را با ضریب

همبستگی  $0/91$  برای داده‌های آموزش و  $0/66$  برای داده‌های آزمایش و TSS را با ضریب همبستگی  $0/92$  برای داده‌های آموزش و  $0/5$  برای داده‌های آزمایش پیش‌بینی نماید. بررسی نتایج پیش‌بینی پارامترهای COD، BOD و TSS پساب تصفیه خانه خرم‌آباد حاصل از مدل ANN توسط نرم‌افزار SPSS در جدول ۴ آمده است.

طبق جدول بین پارامترهای پیش‌بینی شده و واقعی در اکثر موارد رابطه معنی‌داری 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 پیش‌بینی پارامترهای مذکور است. مقایسه مقادیر پارامترهای COD، BOD و TSS برآورد شده از مدل ANN در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۳ آورده شده است. این شکل‌ها مقایسه‌ای از عملکرد مدل را به صورت برازش مدل رگرسیونی خطی بر مقادیر برآوردی و مشاهداتی به تفکیک هر یک از پارامترها و همچنین ترسیم آنها به صورت مجموعه زمانی برای دوره مطالعاتی ۶ ماهه هستند. به عبارت دیگر این شکل‌ها نتیجه تخمین مدل ANN برای پارامترهای کیفی پساب در مقایسه با رفتار واقعی است (۲۲).

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار پارامترهای مورد مطالعه در فاضلاب ورودی و پساب تصفیه خانه فاضلاب خرم‌آباد

ماه‌های نمونه برداری (زمستان ۹۳-بهار ۹۴)						پارامتر
خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	
$20/25 \pm 1/44$	$15/12 \pm 5/26$	$14/16 \pm 1/76$	$14/12 \pm 1/44$	$14/16 \pm 0/78$	$13 \pm 0/99$	$T_{in}$
$7/46 \pm 0/2$	$7/54 \pm 2/4$	$7/71 \pm 2/39$	$7/67 \pm 0/08$	$7/75 \pm 0/12$	$7/8 \pm 0/16$	$PH_{in}$
$3/23 \pm 0/19$	$3/4 \pm 0/23$	$3/5 \pm 0/3$	$3/42 \pm 0/47$	$3/77 \pm 0/26$	$3/94 \pm 1/25$	$DO_{in} (mg/l)$
$192/25 \pm 49/35$	$197/34 \pm 30/24$	$227/66 \pm 49/67$	$197 \pm 87/65$	$215/52 \pm 31/03$	$206/95 \pm 87/74$	$BOD_{in} (mg/l)$
$262/23 \pm 23/95$	$281/75 \pm 39/64$	$318 \pm 113/66$	$283/96 \pm 35/97$	$301/52 \pm 44/67$	$292/04 \pm 112/6$	$COD_{in} (mg/l)$
$116 \pm 62/91$	$151/36 \pm 39/63$	$187/55 \pm 20/42$	$153/52 \pm 45/05$	$181/5 \pm 33/82$	$173/79 \pm 62/39$	$TSS_{in} (mg/l)$
$459/4 \pm 41/37$	$493/71 \pm 66/7$	$543/73 \pm 167/6$	$496/11 \pm 75/47$	$529/37 \pm 164/1$	$505/58 \pm 69/15$	$TDS_{in} (mg/l)$
$0/4 \pm 0/15$	$0/18 \pm 0/02$	$0/14 \pm 0/02$	$0/12 \pm 0/15$	$0/06 \pm 0/09$	$0/04 \pm 0/08$	$(mg/l) NO_3_{in}$
$3/68 \pm 0/17$	$4/74 \pm 0/19$	$2/98 \pm 0/17$	$4/26 \pm 1/64$	$2/62 \pm 0/08$	$0/99 \pm 1/64$	$PO_4 in (mg/l)$
$43 \pm 1/97$	$44/95 \pm 13/39$	$45/43 \pm 13/47$	$41/05 \pm 2/25$	$37/3 \pm 3/58$	$38/68 \pm 1/72$	$BOD_e (mg/l)$
$64/84 \pm 5/31$	$78/39 \pm 25/35$	$79/79 \pm 6/25$	$57/7 \pm 12/39$	$54/44 \pm 8/3$	$57/04 \pm 13/98$	$COD_e (mg/l)$
$17/47 \pm 1/82$	$17/63 \pm 6/55$	$18/33 \pm 3/48$	$17/18 \pm 2/52$	$15/73 \pm 6/6$	$13/64 \pm 2/03$	$TSS_e (mg/l)$

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. جدول ۱ بیانگر وجود تغییرات متفاوت مشخصه های کیفی و فیزیکی فاضلاب در طی ۶ ماه نمونه برداری است که با گزارش زارع ایبانه و همکاران مبنی بر وجود روند تغییرات متفاوت مشخصه های فاضلاب در ماه های مختلف سال، همخوانی دارد (۷).

میانگین راندمان حذف BOD<sub>5</sub>, COD و TSS میانه (۷۷/۸۳، ۷۸/۵۴، ۸۷/۶۸) در فصل زمستان (ماههای دی و اسفند) بیشتر از فصل بهار بوده است. رابطه عکس بین درصد حذف BOD<sub>5</sub> و دمای فاضلاب گویای این مطلب است که با آنکه افزایش دما باعث افزایش فعالیت های 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

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 <sub>5</sub>	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 پارامترهای 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 پارامترهای BOD, COD و TSS حاصل از مدل ANN توسط نرم افزار SPSS

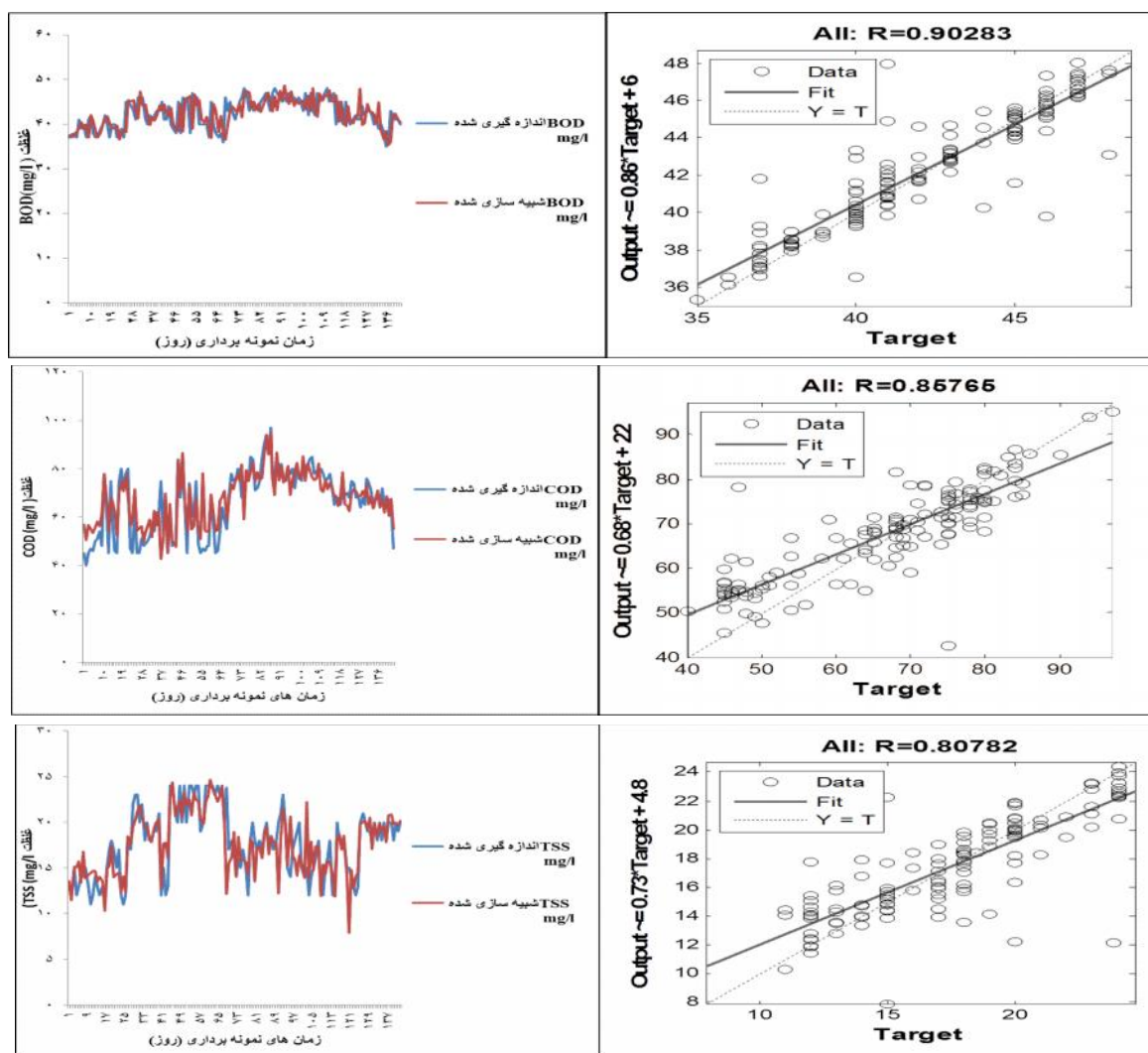
پارامتر	R <sub>2</sub>	Sig.	b	F	داده های مدل	
					میانگین اندازه مدل	میانگین گیری
BOD	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۸۶	۶۱۷/۲	۴۲/۲۹	۴۲/۳۸
COD	۰/۷۳	۰/۰۰	۰/۶۷	۳۸۹/۴۳	۶۶/۴۷	۷۶/۶۵
TSS	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۷۲	۲۶۲/۹۷	۱۷/۶۴	۱۷/۶

## 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

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 COD، BOD و TSS با استفاده از آماره های R و MSE محاسبه و برای مقایسه در شکل ۳ به نمایش گذاشته شد.

است. نتایج جدول ۲ نشان می دهد که به لحاظ آماری عملکرد تصفیه خانه در حذف پارامترهای 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 BOD<sub>5</sub>، 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



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

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 داده‌هایی که در امر آموزش شبکه به کار نرفته اند استفاده می‌کند (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، می‌توان با اندیشیدن تدابیری مانند بهره‌برداری بهتر و راه‌اندازی هوادهای معیوب، استاندارد دفع پساب تصفیه خانه را به استاندارد دفع پساب جهت آبهای سطحی رساند و بدین طریق انعطاف‌پذیری عملکرد تصفیه خانه و ایمنی کیفی تصفیه خانه را بالا برد. این مسئله وقتی نمود بهتری پیدا می‌کند که در نظر داشته باشیم دفع پساب جهت مصارف کشاورزی در مقاطع خاصی از سال امکان‌پذیر است. کاهش آلاینده‌های BOD، COD، TSS می‌تواند 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 آلاینده‌ها می‌شود (۱۹، ۶).

با عنایت به اینکه کارآیی تصفیه خانه خرم‌آباد در حذف آلاینده‌های فاضلاب بطور متوسط در حدود ۸۱/۳۵ درصد است، لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیستم مورد استفاده در این تصفیه خانه کارآمد بوده و پساب تولیدی از نظر پارامترهای مورد مطالعه BOD، COD، 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 می‌باشد (۲۴). در سالهای اخیر به دلیل وجود حجم زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده از کمیت و کیفیت فاضلابها و لزوم استفاده

نتایج اجرای این مدل در جدول ۳ نشان می‌دهد با توجه به پایین بودن مقدار آماره MSE و بالا بودن آماره R، رابطه قابل قبول و مستقیمی بین مشخصه‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده، به ویژه برای داده‌های آموزش برقرار است. به عبارت دیگر شکل ۳ نتیجه تخمین مدل آموزش یافته برای مشخصه‌های کیفی پساب در مقایسه با رفتار واقعی است (۷). طبق جدول ۴ بین پارامترهای پیش‌بینی شده و واقعی در اکثر موارد رابطه معنی‌داری وجود دارد. شکل ۳ نشان می‌دهد، 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 ایبانه و همکاران توانستند با بکارگیری یک شبکه عصبی با ۱۲ نورون و ۶ مولفه ورودی BOD، COD، TSS، TS، دما و pH، ۶ مولفه خروجی BOD، COD، TSS، TS، دما و pH را با ضریب همبستگی ۰/۸۲ پیش‌بینی نمایند (۷). در مطالعه سینگ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از ۱۱ مشخصه کیفی ورودی شبکه در پیش‌بینی 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 مشخصه‌های ورودی نیز بستگی دارد. نصر و همکاران توانستند با بکارگیری 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 ۰/۹ پیش‌بینی نمایند. از طرفی دامنه شیب خطوط برازش یافته در شکل‌ها بین ۰/۹ تا ۱ است که مبین عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی است. علت عملکرد مناسب مدل را می‌توان به هوشمند بودن فرآیند تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌های مناسب و انتخاب مشخصه‌های مؤثر

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 فرآیندها 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.

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 فرآیندها 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.

## References

- 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)
- Qasim SR. *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation*. 2nd ed. New York: McGraw Hill; 1991.
- Pescod MB. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1992.
- Water pollution Control. New York: McGraw-Hill. 1989; 2:189-193.
- Eckenfelder WW. *Industrial water pollution Control*. New York: McGraw – Hill. 2000; 2:189-193.
- 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)
- 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)
- 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.
- 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.
- 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.
- Andrews JF. Modeling and simulation of wastewater treatment systems. *Wat Sci Tech*. 2012; 28:141-150.
- 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.
- 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.
- Gluculu D, Dursun S. advanced neural network modelling of a large scale wastewater treatment plant operation. *Bio Process Biosyst Eng*. 2013; 33:1051-1058.
- 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.
- Haydera G, Ramliya MZ, Maleka MA, Khamisb A, Hilminc NM. Prediction model development for petroleum refinery wastewater treatment. *J of Wat Pro Engin*. 2014; 4:1-5.

17. Report of Khorramabad wastewater treatment plant. Consulting engineers of 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. Khoshtakht 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.