

بنام خدا



دانشکده مهندسی عمران
دانشگاه تهران



موسسه آب

همایش ملی جریان و آلودگی آب

پژوهشگر ارجمند: سرکار خانم مافرشه رفعت متولی و شهنار دانش و جناب آقای حبیب رجبی مشهدی

بدینوسیله گواهی می شود مقاله شما با عنوان: «بررسی امکان کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی کیفیت سیاب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب نیمه مکانیکال»

در همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران، ۳ خرداد ماه ۱۳۹۱ پذیرفته شده و چاپ گردیده است. توفیق روزافزون شما در عرصه علم و عمل از خداوند منان خواهیم امیدوار بود. امید است همواره شاهد تلاشهای شما در پیشرفت و توسعه کشور عزیزمان باشیم.

دیر همایش
دکتر رضا غیاثی

دیر علمی همایش
دکتر کیومرث ابراهیمی



civiliran.ir

watinst.ut.ir

بررسی امکان کاربری مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیمه‌مکانیکال

فرشته رفعت متولی^۱، شهناز دانش^۲، حبیب رجبی مشهدی^۳

چکیده

در این کار تحقیقاتی امکان کاربری مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی در تصفیه‌خانه فاضلاب شماره یک پرکنندآباد مشهد که دارای سیستم تصفیه نیمه‌مکانیکال (سیستم لاگون هوادهی) می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، بر اساس داده‌های کمی و کیفی فاضلاب ورودی و پساب خروجی، شرایط فرآیندی و نیز داده‌های هواشناسی (در یک دوره چهار ساله از سال ۸۶ تا سال ۸۹)، و به کمک شبکه عصبی مصنوعی، پارامتر TBOD به عنوان یکی از شاخص‌های کیفی پساب بررسی شده و تغییرات آن بر اساس تغییرات داده‌های مذکور، پیش‌بینی گردید. نتایج بررسی نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات TBOD پساب عبارت بودند از: الف) دبی جریان (m^3/day)، بار TBOD (kg/day)، نسبت TBOD/TCOD و دما ($^{\circ}C$) در فاضلاب ورودی؛ ب) غلظت‌های TBOD و sTBOD (mg/lit) در پساب خروجی؛ ج) شرایط فرآیندی در لاگون‌های هوادهی مانند دما ($^{\circ}C$)، اکسیژن محلول (mg/lit)، pH و تعداد هوادهی‌های فعال؛ و د) پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا ($^{\circ}C$)، 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. نتایج حاصل از این ساختارها به کمک شاخص‌هایی از قبیل ضریب هم بستگی (R) و میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) ارزیابی شد و مشخص گردید که ساختار شبکه ای با دو لایه پنهان و تعداد ۱۲ نرون در هر لایه، مناسب‌ترین معماری شبکه برای پیش‌بینی پارامتر TBOD پساب خروجی می‌باشد. معیارهای سنجش محاسبه شده ($R=0/96$ و $MAPE=0/3$) 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 عصبی مصنوعی، برای پیش‌بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیمه‌مکانیکال نیز امکان‌پذیر بوده و در این راستا روشی ساده، دقیق و کارآمد به حساب می‌آید.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، ferri.rafat@gmail.com

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

۳- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، h_mashhadi@ferdowsi.um.ac.ir

کلید واژه‌ها

شبکه عصبی مصنوعی - تصفیه فاضلاب - لاگون هوادهی - کیفیت پساب تصفیه خانه ها

۱- مقدمه

راهبری صحیح تصفیه خانه های فاضلاب یکی از مهمترین عوامل مدیریتی در بخش آب و فاضلاب کشور به شمار می آید. در حال حاضر عملکرد برخی از تصفیه خانه های فاضلاب به دلیل عدم امکان اجرای به موقع الزامات بهره برداری با مشکلاتی رو به رو است. که برخی از این مشکلات ناشی از تغییرات کمی و کیفی فاضلاب ورودی به این تأسیسات و عدم اطلاع به موقع بهره بردار از اثرات این تغییرات می باشد. از این رو استفاده از روش هایی که بتواند عملکرد و کارایی تصفیه خانه های فاضلاب را به خصوص، بر اساس تغییرات کمی و کیفی فاضلاب ورودی پیش بینی کند از اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیرا بر اساس این پیش بینی ها، بهره بردار می تواند تدابیر لازم را قبل از بروز مشکلات اتخاذ نموده و تداعی مورد نیاز را فراهم سازد و بدین ترتیب کنترل و بهره برداری مناسبی را اعمال نماید.

تصفیه فاضلاب شامل عملیات عمده و پیچیده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. بیشتر این فرآیندها، رفتار غیرخطی دارند که با مدل های خطی ریاضی به سختی قابل تشریح هستند. هم چنین به دلیل تنوع مشخصات فاضلاب ورودی مانند نوع و میزان ترکیبات آلی و معدنی و نرخ جریان، پارامترهای مدل تحت تأثیر قرار می گیرند. بنابراین مدل کردن فرآیندهای تصفیه فاضلاب با استفاده از مدل های ریاضی کار مشکلی است واکثر مدل های ریاضی مورد استفاده در این خصوص تنها تخمین هایی را بر اساس فرضیات و احتمالات ارائه می دهند. به دلیل محدودیت های مذکور، استفاده از نرم افزارهای پیشرفته مانند شبکه عصبی در مدل کردن فرآیندهای تصفیه و پیش بینی عملکرد تصفیه خانه ها، می تواند نتایج دقیق تری را ارائه دهد [هنگ (2003) Hong] و حامد (2004) Hamed].

شبکه های عصبی مصنوعی ابزارهای محاسباتی هستند که به دلیل دارا بودن ویژگی های منحصر بفردی از قبیل یادگیری تطبیقی، خودسازمان دهی، پردازش موازی، تحمل خطا، انعطاف پذیری و از همه مهم تر تعمیم پذیری بالا، به وفور در شبیه سازی فرآیندهای پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند [جمشیدی (۱۳۹۰)]. مهم ترین قابلیت شبکه عصبی مصنوعی، توانایی یادگیری آن هاست. به عبارت دیگر این شبکه ها می توانند الگوهای متفاوتی را همراه با قوانین نهفته و ارتباطات آن ها فراگیرند و برای نمونه های دیگر پاسخگو باشند. شبکه های عصبی مصنوعی دارای توانایی بالایی در دسته بندی و خوشه بندی داده ها و نیز تقریب توابع دارند و لذا کاربرد آن ها در بسیاری از علوم رایج می باشد [عالم تبریز (۱۳۷۸)].

شبکه های عصبی مصنوعی با الهام از عملکرد مغز و سیستم عصبی بدن انسان توسعه یافته اند. مهم ترین جزء تشکیل دهنده این شبکه ها، نرون نام دارد. نرون ها در انواع مختلف شبکه های عصبی مصنوعی در لایه های مختلف با ساختار خاصی که معماری شبکه نامیده می شود، قرار می گیرند [نشریه علمی تخصصی انجمن علمی گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹)].

استفاده از مدل های شبکه های عصبی مصنوعی در بخش آب و فاضلاب کشور تاکنون محدود به مدل سازی شبکه های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب بوده است و مورد قابل ذکری در ارتباط با پیش بینی عملکرد

تصفیه خانه های فاضلاب با استفاده از این مدل وجود ندارد. همچنین استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در زمینه تصفیه خانه های فاضلاب عمدتاً در رابطه با تصفیه خانه های کاملاً مکانیکال (لجن فعال) می باشد [هنگ (Hong) 2003].

Cote و همکارانش برای بهبود دقت مدل های مکانیکی که قبلاً توسط (Lessard & Beck, 1993) برای فرآیند لجن فعال توضیح داده شده بود، از شبکه عصبی استفاده نمودند [کت (Cote 1995)]. Zhu و همکارانش نشان دادند که با بهینه سازی شبکه عصبی مصنوعی می توان به صورت لحظه ای مشخصات خروجی تصفیه خانه های فاضلاب را پیش بینی کرد [ژو (Zhu 1998)]. Gontarski و همکارانش با ایجاد شبکه عصبی مصنوعی خصوصیات کیفی پساب تصفیه خانه های صنعتی دارای سیستم لجن فعال را پیش بینی نمودند. آن‌ها با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای کیفی و کمی مؤثر بر کیفیت پساب تولیدی به این نتیجه رسیدند که دبی ورودی به تصفیه خانه و pH فاضلاب ورودی اثرگذارترین پارامترهای کنترل تصفیه خانه محسوب می شوند [گنترسکی (Gontarski 2000)].

Chen و همکارانش فرآیندهای تصفیه یک فاضلاب صنعتی را به کمک یک مدل تحلیلی سه مرحله ای تلفیقی شامل منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی مدل سازی نمودند. مدل مذکور برای یک نمونه مطالعاتی در تایوان با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت [چن (Chen 2001)]. Oliveira-Esquerre و همکارانش با استفاده از شبکه عصبی به پیش بینی رضایت بخشی در مورد BOD جریان خروجی تصفیه خانه فاضلاب مربوط به صنعت کاغذ در برزیل دست یافتند [الیوبرا-اسکر (Oliveira-Esquerre 2002)].

Holubar و همکارانش از شبکه عصبی برای مدل‌سازی و کنترل متان تولیدی در هاضم های بی هوازی استفاده کردند و بدین طریق توانستند میزان گاز تولیدی حاصله در هاضم ها را پیش بینی نموده و از بار اضافی وارد بر سیستم جلوگیری نمایند [هلوبار (Holubar 2002)]. Hong و همکارانش برای ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب با سیستم لجن فعال از مدل شبکه عصبی KSOFM استفاده کردند و به نتایج قابل توجهی در مدل سازی کیفی تصفیه خانه های فاضلاب دست یافتند [هنگ (Hong 2003)]. Hamed و همکارانش با استفاده از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی عملکرد فرآیند تصفیه فاضلاب فرآیندهای لجن فعال را پیش بینی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی از دقت بسیار بالایی در تخمین پارامترهای کیفی پساب تصفیه خانه های فاضلاب برخوردار است [حامد (Hamed 2004)].

Mjalli و همکارانش با استفاده از مدل های شبکه عصبی مصنوعی مقادیر پارامترهای BOD، COD و TSS پساب تصفیه خانه دوحه با سیستم لجن فعال را پیش بینی نمودند و دریافتند که مدل شبکه عصبی مصنوعی از دقت بسیار بالایی در پیش بینی و تخمین پارامترهای بهره برداری تصفیه خانه های فاضلاب برخوردار است [مجلی (Mjalli 2007)]. Pai و همکارانش با استفاده از مدل گری و شبکه عصبی مصنوعی، غلظت COD و TSS موجود در پساب فرآیند SBR را با حداقل خطا پیش بینی کردند. آن‌ها توانستند با تلفیق مدل های مذکور به دقت نسبتاً بالایی دست پیدا کنند [پای (Pai 2007)].

Cao و همکارانش شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش بینی تغییرات پارامترهای یک سیستم بی هوازی به-کار بردند. برای بهینه سازی وزن های شبکه عصبی مصنوعی، از الگوریتم ژنتیک چند جمعیتی موازی^۱ استفاده نمودند. نتایج کار این محققین نشان داد که کاربرد شبکه عصبی مصنوعی به همراه MPGA می تواند ابزار مناسبی

۱. Multipopulation Parallel Genetic Algorithm

را برای پیش بینی تغییرات عملکرد یک سیستم بی‌هوازی در اختیار قرار دهد. همچنین نتیجه گرفتند که با توجه به سازگاری های این ابزار با شرایط مختلف محیطی، می‌توان آن‌ها را برای سایر سیستم‌ها توسعه داد (Cao و Pai, 2008). و همکارانش با بهینه سازی شبکه های عصبی مصنوعی توسط سیستم های فازی توانستند COD و TSS موجود در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستانی به روش لجن فعال را با دقت بسیار بالایی تخمین بزنند [پای (Pai 2009)].

Abu Qdais و همکارانش از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی و بهینه سازی فرآیند تولید بیوگاز در یک هاضم بی‌هوازی در کشور اردن استفاده کردند و سودمندی روش مذکور را برای پیش بینی متان تولیدی به اثبات رساندند [ابو قدیس (Abu Qdais 2010)]. Fang و همکارانش یک مدل دینامیکی جامع را شامل مدل مکانیکی، مدل شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک را، برای شبیه‌سازی عملکرد یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به روش لجن فعال که دارای نوسانات قابل توجهی در جریان ورودی بود، توسعه دادند و وزن‌های شبکه عصبی را به وسیله الگوریتم ژنتیک بهینه نمودند. نتایج تحقیق این محققین حاکی از آن بود که مدل جامع به‌کار گرفته شده، ابزاری مفید و مؤثر برای شبیه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشد [فانگ (Fang 2010)].

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل شبکه عصبی عملکرد تصفیه‌خانه شماره یک پرکنندآباد شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس داده‌های کمی و کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه، داده‌های مربوط به شرایط فرآیندی و داده‌های هواشناسی در یک بازه زمانی ۴ ساله (از فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۸۹)، TBOD پساب خروجی پیش‌بینی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تصفیه‌خانه مورد مطالعه

تصفیه‌خانه شماره یک پرکنندآباد در حاشیه جنوبی رودخانه فصلی کشف‌رود و در ۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد قرار گرفته است. فرآیند تصفیه مورد استفاده در این تصفیه‌خانه از نوع لاگون‌های با اختلاط کامل می‌باشد. فاضلاب خام با عبور از واحد آشغالگیر، لاگون‌های، لاگون‌های ته‌نشینی، برکه جلادهی و واحد گندزدایی تصفیه شده و به رودخانه فصلی کشف‌رود تخلیه می‌گردد. ظرفیت این تصفیه‌خانه در سال ۱۳۹۰ (سال پایان طرح) در دو مدول ۱۵۲۰۰ متر مکعب در روز جمعاً برابر ۳۰۴۰۰ متر مکعب در روز پیش‌بینی شده است. در حال حاضر فقط یک مدول با ظرفیت ۱۵۲۰۰ متر مکعب در روز اجرا شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

جهت تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر مدل، سه گروه داده مورد بررسی قرار گرفت: (۱) داده‌های مربوط به فاضلاب ورودی شامل دبی جریان (m^3/day)، بار TBOD (kg/day)، نسبت TBOD/TCOD، بار TSS (kg/day)، EC ($\mu S/cm$)، دمای جریان ($^{\circ}C$) و pH (۲)؛ داده‌های مربوط به خروجی فاضلاب شامل غلظت‌های TBOD و sTBOD (mg/lit)؛ (۳) داده‌های مربوط به شرایط فرآیندی شامل دما ($^{\circ}C$)، اکسیژن محلول (mg/lit)، pH و تعداد

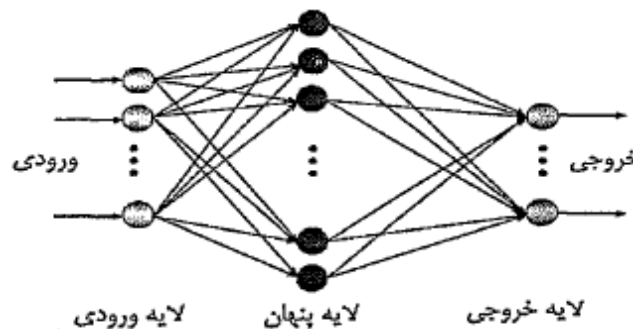
هواده در حال کار در لاگون هواده‌ی؛ و ۴) داده های هواشناسی شامل دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، ساعات آفتابی در روز (Hr)، سرعت باد (m/s) و میزان بارندگی (mm).

داده های مربوط به فاضلاب ورودی، پساب خروجی و شرایط فرآیندی در یک دوره ۴ ساله (از فرودین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۸۹) از شرکت آب و فاضلاب مشهد دریافت و بررسی های لازم انجام پذیرفت. داده های هواشناسی مورد نیاز نیز از سازمان هواشناسی مشهد اخذ گردید.

۲-۳- مدل مورد استفاده

شبکه چند لایه پرسپترون، همواره به عنوان اولین الویت در حل مسائل مربوط به ایجاد نگاشت غیرخطی مطرح است و به جرأت می‌توان گفت پرسپترون چند لایه، برای نگاشت غیرخطی، پر کاربردترین شبکه عصبی مصنوعی در دنیای مهندسی است [جمشیدی (۱۳۹۰)]. این شبکه قدرت شناسایی ویژگی^۱ را دارا است. همچنین شبکه، دارای قدرت تعمیم‌دهی بالاست و می‌تواند الگوها را دسته‌بندی^۲ و در حالت کلی‌تر، خوشه‌بندی کند. مهم‌تر از همه، یک ابزار قدرتمند در ایجاد نگاشت های غیرخطی بین دو فضای ورودی و خروجی آن هم با ابعاد بزرگ می‌باشد. این شبکه روابط ذاتی درون داده ها را کشف کرده و درون وزن های اتصالات به صورت گسترده ذخیره می‌کند [راسل (۱۳۸۶)].

ساختار عمومی شبکه پرسپترون چند لایه (MPL)^۳ در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) شبکه پرسپترون چند لایه [راسل (۱۳۸۶)]

شاخص هایی که برای تشخیص مناسب بودن مدل شبکه عصبی مصنوعی در زمینه فاضلاب در بیشتر مقالات به کار رفته اند شامل ضریب هم بستگی^۴ (R)، انحراف معیار خطا^۵ (STD)، میانگین مربع خطا^۶ (MSE)، جذر میانگین مربع خطا^۷ ($RMSE$) و میانگین مطلق درصد خطا^۸ ($MAPE$) می باشد که به ترتیب توسط معادله های ذیل محاسبه می گردد [کت (1995) Cote]، حامد (2004) Hamed، امجلی (2007) Mjalli، کارساز (Karsaz) (2010) و هوم-مینگ چن (2010) Home-Ming Chen]:

- 1 - Feature detection
- 2 - Classification
- 3 - Multilayer Perceptron
- 4 - Correlation Coefficient
- 5 - Standard Deviation of error
- 6 - Mean Square Error
- 7 - Root Mean Square Error
- 8 - Mean Absolute Percentage of Error

الف) ضریب هم‌بستگی

(۱)

$$R = \frac{\sum(x - \mu_x)(y - \mu_y)}{N\sigma_y}$$

که در آن μ_x و μ_y به ترتیب میانگین داده‌های X و Y؛ σ_x و σ_y واریانس داده‌های X و Y هستند و N هم تعداد داده‌های موجود می‌باشد.

ب) انحراف معیار خطا

(۲)

$$STD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i - \bar{e}_i)^2}$$

که در آن \bar{e}_i میانگین e_i می‌باشد.

پ) میانگین مربع خطا

(۳)

$$MSE = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{i,Simulate})^2 / N$$

که در آن N تعداد داده‌ها می‌باشد، Y_i مقدار واقعی پارامتر و $Y_{i,Simulate}$ مقدار شبیه‌سازی پارامتر توسط مدل می‌باشد.

ت) جذر میانگین مربع خطا

(۴)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{i,Simulate})^2 / N}$$

ث) میانگین مطلق درصد خطا

(۵)

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y_i - Y_{i,Simulate}|}{Y_i}$$

۳- نتایج و بحث

جهت ارزیابی کاربری شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پارامتر TBOD خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب، بایستی پارامترهای ورودی به مدل، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها در هر لایه بر اساس بهترین حالت شاخص‌های مدل مشخص شود [اسدیپور (۱۳۹۰)].

در ابتدا از بین داده های موجود، پارامترهایی که در حساسیت مدل نقش دارند مورد بررسی قرار گرفتند و به دلیل حجم بالای مطالب و محدودیت در ارائه آن ها تنها به اعلام نتیجه آن بسنده می کنیم. بررسی نشان داد که مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات TBOD (پساب عبارت بودند از: الف) دبی جریان (m^3/day)، بار TBOD (kg/day)، نسبت TBOD/TCOD و دما ($^{\circ}C$) در فاضلاب ورودی؛ ب) غلظت های TBOD و sTBOD (mg/lit) در پساب خروجی؛ ج) شرایط فرآیندی در لاگون های هوادهی مانند دما ($^{\circ}C$)، اکسیژن محلول (mg/lit)، pH و تعداد هوادهی فعال؛ و د) پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا ($^{\circ}C$)، ساعات آفتابی در روز (Hr). داده های مربوط به پارامترهای مذکور به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفتند و ساختارهای مختلفی از شبکه بر روی آن ها اعمال گردید که بهترین و بدترین حالت به عنوان نمونه و برای روشن شدن تفاوت زیاد بین شاخص های مدل در جدول (۱) آورده شده است.

جدول شماره (۱) - تعیین پارامترهای ورودی مدل

بار TBOD ورودی		تمامی پارامترهای تأثیرگذار		ورودی به مدل
داده های آموزش	داده های تست	داده های آموزش	داده های تست	معیار سنجش
۰.۵۶	۰.۳۸	۰.۲	۰.۳۳	STD
۰.۶۳	۰.۵۶	۰.۸۷	۰.۸۵	R
۴۱۳	۵۴۰	۱۴۱.۵	۱۷۱.۵	MSE
۲۰.۳	۲۳	۱۱.۹	۱۳.۱	RMSE
۱۱	۱۶	۲	۱	MAPE

بنابراین همه پارامترهای تأثیرگذار بر مدل را به عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی باید در نظر گرفت. جهت تعیین تعداد لایه های مخفی و تعداد نرون ها در هر لایه، حالات زیر مورد بررسی قرار گرفت.

(I) یک عدد لایه مخفی؛ و نرون های این لایه را از ۲ تا ۱۵ عدد تغییر دادیم که بهترین تعداد نرون در این حالت، ۱۱ عدد می باشد.

(II) دو عدد لایه مخفی و تعداد برابر نرون در لایه اول و دوم. در این حالت نیز تعداد نرون ها را از ۲ تا ۱۵ در هر لایه تغییر دادیم و بهترین حالت مربوط به تعداد ۱۲ نرون در هر لایه می باشد.

(III) دو عدد لایه مخفی و تعداد متفاوت نرون در لایه اول نسبت به لایه دوم. در این حالت هم تعداد نرون ها را از ۲ تا ۱۵ در هر لایه تغییر دادیم که بهترین حالت مربوط به ۸ نرون در لایه اول و ۷ نرون در لایه دوم می باشد. به طور خلاصه نتایج مربوط به شاخص های مدل در بهترین جواب حالات بالا در جدول (۲) آورده شده است.

جدول شماره (۲) - بررسی تعداد نرون و لایه مخفی مدل شبکه عصبی مصنوعی

(III)		(II)		(I)		حالت
داده‌های آموزش	داده‌های تست	داده‌های آموزش	داده‌های تست	داده‌های آموزش	داده‌های تست	معیار سنجش
۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۲۱	STD
۰.۹۵	۰.۹۴	۰.۹۸	۰.۹۶	۰.۹۸	۰.۹۱	R
۵۷.۴	۸۳.۹	۲۵	۸۲	۱۹.۵	۱۱۷	MSE
۷.۶	۹.۲	۵.۲	۹	۴.۴	۱۱	RMSE
۳	۴	۰.۴	۰.۳	۱	۵	MAPE

با توجه به جدول شماره (۲) مشخص می‌شود که وقتی دولایه مخفی داریم، ضریب هم بستگی در داده‌های تست و آموزش نسبت به زمانی که تنها یک لایه مخفی داریم افزایش می‌یابد، و هر چه R به عدد ۱ نزدیکتر باشد، مدل مطلوب تر خواهد بود. از طرفی با افزایش تعداد لایه‌ها، خطای مدل کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود زمانی که ساختار شبکه شامل دولایه مخفی با تعداد ۱۲ نرون در هر لایه است ضریب هم بستگی افزایش و خطای مدل هم در هر سه پارامتر MSE، RMSE و MAPE کاهش می‌یابد.

نتایج بررسی نشان داد که مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات TBOD پساب عبارت بودند از: الف) دبی جریان (m^3/day)، بار TBOD (kg/day)، نسبت TBOD/TCOD و دما ($^{\circ}C$) در فاضلاب ورودی؛ ب) غلظت‌های TBOD و sTBOD (mg/lit) در پساب خروجی؛ ج) شرایط فرآیندی در لاگون‌های هوادهی مانند دما ($^{\circ}C$)، اکسیژن محلول (mg/lit)، pH و تعداد هوادهی‌های فعال؛ و د) پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا ($^{\circ}C$)، 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. نتایج حاصل از این ساختارها به کمک شاخص‌هایی از قبیل ضریب هم بستگی (R) و میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) ارزیابی شد و مشخص گردید که ساختار شبکه‌ای با دو لایه پنهان و تعداد ۱۲ نرون در هر لایه، مناسب‌ترین معماری شبکه برای پیش‌بینی پارامتر TBOD پساب خروجی می‌باشد. معیارهای سنجش محاسبه شده ($MAPE=0/3$ و $R=0/96$) نیز، دقت بالا و کارآمد بودن مدل را مورد تأیید قرار دادند. بنابراین مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی غلظت TBOD پساب خروجی از تصفیه‌خانه نیمه مکانیکال (لاگون هوادهی) دارای دو لایه پنهان با تعداد ۱۲ نرون در هر لایه و ورودی‌های این شبکه عصبی شامل، دبی جریان ورودی (m^3/day)، بار TBOD در فاضلاب ورودی (kg/day)، نسبت TBOD/TCOD در فاضلاب ورودی، دمای جریان ورودی ($^{\circ}C$)، غلظت TBOD در فاضلاب خروجی (mg/lit)، غلظت sTBOD در فاضلاب خروجی (mg/lit)، دمای لاگون هوادهی ($^{\circ}C$)، اکسیژن محلول در لاگون هوادهی

(mg/lit)، pH لاگون، تعداد هواده در حال کار در لاگون، دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$) و ساعات آفتابی در روز (Hr) می باشد. ضریب هم بستگی مدل در داده های تست $R=0/96$ و میانگین مطلق درصد خطا $\text{MAPE}=0/3$ محاسبه گردیده است. در جداول شماره (۴) و (۵)، به عنوان نمونه، تعدادی از داده‌های ورودی و خروجی به شبکه عصبی آورده شده است.

جدول شماره (۴) - نمونه‌ای از داده‌های ورودی به شبکه عصبی

ورودی به شبکه عصبی

دبی ورودی	بار TBOD ورودی	$\text{TOBD}_{\text{in}}/\text{TCOD}_{\text{in}}$	درجه حرارت فاضلاب ورودی	خروجی sTBOD	درجه حرارت لاگون	اکسیژن محلول در لاگون	لاگون pH	تعداد هواده فعال	درجه حرارت هوا	تعداد ساعات آفتابی
M^3/day	Kg/day	-	$^{\circ}\text{C}$	Mg/lit	$^{\circ}\text{C}$	Mg/lit	-	-	$^{\circ}\text{C}$	hour
۱۹۲۸۶	۳۹۷۳	۰.۵۹	۲۳	۲۵	۲۱	۰.۷۷	۷.۳	۱۵	۲۰.۷	۱۰.۸
۲۳۹۱۲	۷۳۴۱	۰.۴۲	۲۲.۵	۲۴	۲۱	۰.۱۲	۷.۳	۱۵	۲۲.۳	۱۱.۷
۲۲۳۱۷	۶۵۸۴	۰.۴۱	۲۳	۳۰	۲۱	۰.۷۹	۷.۲۹	۱۶	۱۷.۷	۹.۳
۱۸۷۲۳	۵۸۴۲	۰.۴۳	۲۳	۵۲	۲۱	۰.۲۶	۷.۴	۱۶	۲۰.۵	۷
۲۲۳۷۸	۸۹۹۶	۰.۴۵	۲۱.۵	۵۴	۲۰	۰.۰۹	۷.۴	۱۶	۲۱.۸	۱۲.۲
۲۴۸۷۸	۶۴۴۳	۰.۳۱	۲۴	۳۸	۲۲	۰.۱۸	۷.۳۹	۱۶	۲۳.۷	۱۱.۹
۲۰۲۸۳	۴۶۲۵	۰.۳۹	۲۱	۳۵	۱۶	۰.۵۳	۷.۳۹	۱۷	۱۴.۷	۰
۱۹۶۵۶	۴۶۱۹	۰.۴۴	۲۴	۵۱	۲۱	۰.۵۳	۷.۲۵	۱۷	۱۶.۱	۱۳
۲۰۸۰۸	۹۹۴۶	۰.۴	۲۵	۵۲	۲۲	۰.۲۱	۷.۳۵	۱۵	۲۰.۴	۱۱.۳
۲۳۵۱۸	۵۷۶۲	۰.۴۴	۲۵.۵	۴۵	۲۱	۰.۷۹	۷.۳۹	۱۵	۲۳	۱۰.۸

جدول شماره (۵) - نمونه‌ای از داده‌های خروجی از شبکه عصبی

خروجی از شبکه عصبی

مرحله تعلیم		مرحله تست	
TBOD خروجی	شبیه سازی شده TBOD توسط مدل	TBOD خروجی	شبیه سازی شده TBOD توسط مدل
Mg/lit	Mg/lit	Mg/lit	Mg/lit
۷۴	۷۹.۹	۷۷	۶۹.۷
۶۳	۶۴.۸	۶۰	۶۰.۴
۵۳	۵۴.۹	۷۸	۷۷.۷
۳۸	۳۸.۸	۷۵	۶۵.۳

۴۷	۴۵.۷	۹۵	۹۱.۳
۷۰	۶۴.۸	۴۹	۴۶.۵
۱۴۹	۱۵۲.۵	۹۹	۱۰۴.۳
۴۴	۳۹.۸	۶۸	۶۷.۳
۵۹	۵۵.۳	۴۱	۴۴
۶۰	۶۱.۵	۴۰	۴۲.۴

۴- نتیجه گیری

جهت کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی کیفیت پساب خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب نیمه مکانیکال، 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 موضع مورد مطالعه در نظر گرفته شوند و حساسیت مدل برای آن ها مورد بررسی قرار گیرد.

وجود ضریب هم بستگی بالای 0/9 و میانگین مطلق درصد خطا کمتر از 5 دلالت بر مناسب بودن مدل دارد. معیار های سنجش محاسبه شده ($MAPE=0/3$ و $R=0/96$) 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 عصبی مصنوعی، برای پیش بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب نیمه مکانیکال نیز امکان پذیر بوده و در این راستا روشی ساده، دقیق و کارآمد به حساب می آید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از شرکت آب و فاضلاب مشهد و به ویژه از جناب آقای مهندس غلامرضا ساقی مسئول محترم تصفیه خانه فاضلاب شماره یک پرکنندآباد مشهد به خاطر همکاری های بی شائبه ایشان تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

- اسدیپور. وحید، (۱۳۹۰) ، "اصول بنیادی و مرجع کاربردی شبکه های عصبی" ، چاپ اول، انتشارات آتی نگر، تهران، صفحات ۳۰۴.
- جمشیدی. نیما، مولایی. سید رسول، ابویی مهریزی. علی، (۱۳۹۰) ، "آموزش کاربردی مباحث پیشرفته مهندسی برق با MATLAB"، چاپ چهارم، انتشارات عابد: نهرگان قلم، نقش سیمرغ، تهران، صفحات ۴۲۲.
- راسل. بیل، (۱۳۸۶) ، "آشنایی با شبکه های عصبی"، ترجمه محمود البرزی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- عالم تبریز. اکبر، زندیه. مصطفی، محمد رحیمی. علیرضا، (۱۳۸۷) ، "الگوریتم های فرا ابتکاری در بهینه سازی ترکیبی" ، چاپ اول، انتشارات صفار - اشراقی، تهران، صفحات ۲۰۸.

نشریه علمی تخصصی انجمن علمی گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۹)، "ESCAPE"، سال پنجم، شماره نهم، صفحات ۹۶.

- Abu Qdais H., Bani Hani K., Shatnawi N., (2010) , "Modeling and optimization of biogas production from a wastewater digester using artificial neural network and genetic algorithm", Resources, Conservation and Recycling Vol 54, Issue 6, pp: 359-363.
- Cao G., Li M., Mo C., (2008) , "Prediction of the Anaerobic Systems Based on Neural Network with Multipopulation Parallel Genetic Algorithm", Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, Vol 5, pp.947-951.
- Chen, W.C., Chang, N.B., Shieh, W.K., (2001), "Advanced hybrid fuzzy-neural controller for industrial wastewater treatment", Journal of Environmental Engineering ,Vol 127, pp:1048–1059.
- Cote, M., Grandjean, B.P., Lessard, P., Yhibault, J., (1995), "Dynamic modeling of the activated sludge process: improving prediction using neural networks". Water Research, Vol 29, pp:995–1004.
- Fang F., Ni B.J., Xie W.M., Sheng G.P., Liu S.G., Tong Z.H., Yu H.Q., (2010), "An integrated dynamic model for simulating a full-scale municipal wastewater treatment plant under fluctuating conditions", Chemical Engineering Journal ,Vol 160, Issue 2, pp: 522-529.
- Gontarski, C.A., Rodrigues, P.R., Mori, M., Prenem, L.F., (2000) , "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural network", Computer & Chemical Engineering, 24, pp: 1719-1723
- Hamed, M., Khalafallah, M.G., Hassanein, E.A., 2004, Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural network. Environmental Modeling and Software, Vol 19, pp:919–928.
- Holubar, P., Zani, L., Hager, M., Froschl, W., Radak, Z., Braun, R.,(2002), "Advanced controlling of anaerobic digestion by means of hierarchical neural networks". Water Research ,Vol 36, pp: 2582–2588.
- Home-Ming Chen ., Shang-Lien Lo., (2010), "Prediction of the effluent from a domestic wastewater treatment plant of CASP using gray model and neural network", Environmental Monitoring and Assessment, Vol162, Issue: 1-4, Publisher: Springer Netherlands, pp:265-275.
- Hong Y. T., Rosen M.R., Bhamidimarri R., (2003) , "Analysis of a municipal wastewater treatment plant using a neural network-based pattern analysis", Water Research, Vol 37, pp:1608–1618.
- Karsaz. A., Rajabi Mashhadi. H., Mirsalehi. M.M., (2010) , "Market clearing price and load forecasting using cooperative co-evolutionary approach", Electrical Power and Energy Systems , Vol 32, pp:408–415.
- Mjalli_F. S., Al-Asheh S., Alfadala H.E., (2007). "Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance", Journal of Environmental Management. Vol 83, pp: 329–338.
- Oliveira-Esquerre, K.P., Mori, M., Bruns, R.E., (2002), "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks and principal components analysis", Brazilian Journal of Chemical Engineering ,Vol 19, pp:365-370.
- Pai T.Y., Tsai Y.P., Lo H.M., Tsai C.H., Lin C.Y., (2007) , "Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent", Computers and Chemical Engineering, Vol 31 , pp:1272–1281.
- Pai T.Y., Wan T.J., Hsu S.T., Chang T.C., Tsai Y.P., (2009) , "Using fuzzy inference system to improve neural network for predicting hospital wastewater treatment plant effluent", computers and Chemical Engineering, Vol 33, pp:1272–1278.
- Zhu J., Zurcher J., Rao M., (1998), "An on-line wastewater quality predication system based on a time-delay neural network", Engineering Applications of Arti@cial Intelligence, Vol 11, pp: 747–758.

Feasibility Study of Application of Artificial Neural Network Model in Predicting the Quality of Effluents from Semi-Mechanical Wastewater Treatment Plants

Fereshteh Rafat Motavalli¹, Shahnaz Danesh², Habib Rajabi Mashhadi³

Abstract

In this research, feasibility of applying an ANN model for prediction of wastewater Quality in Mashhad, Parkandabad No.1 wastewater treatment plant which uses a semi-mechanical wastewater treatment plant, has been evaluated. For this purpose, The TBOD parameter is analyzed as a parameter to evaluate the quality of wastewater. These analysis is based on quantity and quality of influent and effluent, data, Processing conditions and meteorological data in a 4-year period from 2007 till 2011. Moreover the variations of this parameter is predicted based on the previously mentioned data. We conclude from this investigation that the most effective parameters on effluent TBOD variations includes: a) flow rate (m³/day), TBOD load (kg/day), TBOD/TCOD ratio and temperature (°C) in the influent, b) TBOD concentration and sTBOD (mg/lit) in the effluent c) Processing conditions such as temperature (°C), dissolved oxygen (mg/lit), pH and the number of effective aerations in aerated lagoons. d) meteorological parameters including air temperature (°C), sunny hours per day (Hr). Data of these parameters are used as an input to our model. Different network structures were imposed. The output results of these models were evaluated by indicators such as correlation coefficient (R) and the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). These evaluations show that a network structure with 2 hidden layers and 12 neurons in each layer is the most appropriate network structure to predict effluent TBOD parameter. Promising result indicated that applying the ANN model is feasible in predicting effluent quality in semimechanical wastewater treatment plant. It is also considered a simple accurate and efficient method.

Keywords:

Artificial neural network - Wastewater Treatment - Aerated Lagoon - The quality of wastewater treatment plant

1. Master of Science Student, Civil Engineering Department of Ferdowsi University-Mashad, ferirafat@gmail.com

2. Associate Professor and Faculty Member of Civil Engineering Department of Ferdowsi University-Mashad, sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

3. Associate Professor and Faculty Member of Electrical Engineering Department of Ferdowsi University-Mashad, h_mashhadi@ferdowsi.um.ac.ir

اطلاعات مقاله	نام فایل مقاله نهایی (نام همین فایل طبق راهنمای سایت همایش در صفحه <مقالات> شیوه تهیه)	WFP-D7-RAFA210.doc
	تاریخ ارسال به هجری شمسی بصورت yy/mm/dd	۱۳۹۰/۱۲/۶
	عنوان (فارسی)	بررسی امکان کاربری مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب نیمه مکانیکال
	Title (english)	Feasibility Study of Application of Artificial Neural Network Model in Predicting the Quality of Effluents from Semi-Mechanical Wastewater Treatment Plants
	کلیدواژه ها (فارسی)	شبکه عصبی مصنوعی - تصفیه فاضلاب - لاگون هوادهی - کیفیت پساب تصفیه خانه ها
	Keywords (english)	Artificial neural network - Wastewater Treatment - Aerated Lagoon - The quality of wastewater treatment plant
	تعداد نویسندگان	۳
	شماره نویسنده مسئول مکاتبات	۱
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
نویسنده اول	نام (فارسی)	فرشته
	Name (english)	Fereshteh
	نام خانوادگی (فارسی)	رفعت متولی
	Family Name (english)	Rafat Motavalli
	کد تحصیلات *	BSC
	کد شغل **	STUD
	شماره و کد تلفن	۰۹۱۵۱۵۷۱۶۲۷ ۰۹۳۷۶۵۲۴۵۱۳
	آدرس پستی	مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۲، پلاک ۵۳
	رایانامه email	Feri.rafat@gmail.com

-	-	
شهناز	نام (فارسی)	نویسنده دوم
Shahnaz	Name (english)	
دانش	نام خانوادگی (فارسی)	
Danesh	Family Name (english)	
PHD	کد تحصیلات *	
UNIV	کد شغل **	
	شماره و کد تلفن	
	آدرس پستی	
sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir	رایانامه email	
-	-	
حبیب	نام (فارسی)	نویسنده سوم
Habib	Name (english)	
رجبی مشهدی	نام خانوادگی (فارسی)	
Rajabi Mashhadi	Family Name (english)	
PHD	کد تحصیلات *	
UNIV	کد شغل **	
	شماره و کد تلفن	
	آدرس پستی	
h_mashhadi@ferdowsi.um.ac.ir	رایانامه email	
-	-	