دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هفتم، شماره سی و چهارم، بهمن و اسفند 1400
شماره شاپا: 588-2588X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
پژوهش‌های نوین در ریاضی

مدل‌سازی کیفیت تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از شبکه‌های عصبی ترکیبی

احمد جعفریان[1*]، فاطمه قنبری شتردار[2]، سید رحیم صانعی‌فرد[3]

[1و3] دانشیار گروه ریاضی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
[2] استادیار گروه شیمی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

تاریخ ارسال مقاله: 1398/11/20 تاریخ پذیرش مقاله: 1400/08/05

چکیده

محیطی محسوب می‌شود و جلوگیری از آلودگی آب‌ها و ارائه روش‌های هوشمند برای تصفیه آب‌ها بسیار مهم و مورد توجه است.

تجهیز علوم مهندسی به ابزارهای هوشمند و هوش مصنوعی در تشخیص کیفیت تصفیه فاضلاب‌ها می‌تواند اشتباهات افراد خبره و خسارت‌های مالی ناشی از آن را کاهش دهد. تاکنون از روش‌های مختلفی برای تصفیه پساب‌های صنعتی استفاده شده است. اما با توجه به وقت‌گیر بودن و هزینه بالای این روش‌ها، استفاده از روش‌های کم هزینه و دقیق همواره مورد نیاز می‌باشد. دراین مقاله یک روش هوشمند ساده و ترکیبی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی و روش آماری رگرسیون لجستیک، جهت مدلسازی پیش بینی کیفیت خروجی سیستم‌های تصفیه فاضلاب ارائه شده است. سیستم هوشمند ارائه شده، در زمینه‌ی تحقیقات تصفیه‌ی فاضلاب برای محققان هوش مصنوعی و مهندسین محیط‌زیست بسیار پرکاربرد و باارزش می‌باشد.

مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی ساده و مدل ترکیبی طراحی شده با پایه شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک، نشان داد که روش پیشنهادی در این تحقیق با بیشترین بازده وکمترین خطا یک روش ارزشمند برای پیش‌بینی کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی تصفیه فاضلاب، مدل‌سازی، شبکه عصبی، شبکه عصبی ترکیبی، رگرسیون لجستیک.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email: Jafarian5594@yahoo.com

1- مقدمه

آب از نخستین نیازهای زندگی و یکی از مفیدترین مواد طبیعی است که برای زندگی انسان و موجودات زنده حیاتی است. لذا با توجه به اهمیت این مایع حیاتی در زندگی بشر و کمبود منابع آب درکشورمان، به منظور تهیه و تأمین آب آشامیدنی سالم و بهداشتی، نیازمند تصفیه آب‌های آلوده و پساب‌های صنعتی می‌باشیم. صنایع درحین انجام فعالیت به طورعمدی و یا غیرعمدی موجب ورود آلاینده‌ها در منابع آبی می‌شوند. لذا حفظ محیط زیست و توجه به تامین سلامت آن، یکی از نیازهای ضروری جامعه امروز است.

پیاده سازی ویژگی‌های شگفت انگیز مغز انسان در یک سیستم مصنوعی از دیرباز وسوسه انگیز و مورد توجه بوده است. شبکه عصبی مصنوعی روشی عملی برای یادگیری توابع گوناگون نظیر توابع با مقادیر حقیقی، توابع با مقادیر گسسته و توابع با مقادیر برداری می‌باشد. یادگیری شبکه عصبی در برابر خطاهای داده‌های آموزشی مصون بوده و با موفقیت به مسائلی نظیر شناسائی گفتار، شناسائی و تعبیر تصاویر، و یادگیری هوشمند می‌پردازد. همچنین در سال‌های اخیر در بسیاری از زمینه‌ها روش‌های مبتنی بر کامپیوتر و شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار گرفته است[1].

شبکه عصبی مصنوعی، یک مدل ساده شده سیستم عصبی بیولوژیکی است که اولین بار در سال 1943 میلادی توسط مک کلاث (McCulloch) و پیتز (Pitts) پیاده‌سازی گردید. اولین شبکه عصبی با بکار گیری چند نرون ساده تهیه شد که قدرت محاسباتی قابل توجهی در زمان خود داشت.

محمود و همکارانش در سال 2015 برای پیش بینی کیفیت تصفیه خانه فاضلاب از شبکه‌های عصبی استفاده کرده‌اند[1]. جین کوان وان و همکارانش در سال 2011 کیفیت پساب خروجی از یک تصفیه خانه فاضلاب کارخانه کاغذ را با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی برشبکه تطبیقی پیش‌بینی نموده‌اند[2]. هان و همکارانش در سال 2014 یک روش برای تشخیص خرابی آنلاین در فرایند تصفیه فاضلاب با استفاده از شبکه‌های عصبی فازی ارائه نموده‌اند[3]. تی و زانگ از سیستم های فازی یکپارچه و شبکه‌های عصبی در مدل سازی فرایندهای پیچیده تصفیه بیولوژیکی فاضلاب استفاده کرده‌اند[4]. استیر و همکارانش ازترکیب منطق فازی و شبکه های عصبی مصنوعی برای مدلسازی پروسه حذف مواد آلاینده‌ی ناشی از فاضلاب‌های راکتور آبی استفاده کرده‌اند [5].چن از ترکیب سیستم های فازی و شبکه های عصبی در مدل سازی فرایند تصفیه فاضلاب با استفاده از هوادهی در یک بیوفیلم غوطه ور استفاده کرده است[6].

استرینگ و همکارانش از شبکه های عصبی مصنوعی برای مدل سازی کروماتوگرافی یونی استفاده کردند، که این مدل سازی در موارد مشابه محققان را از انجام عملیات آزمایشگاهی تکراری بی نیاز کرده است[7]. جعفریان و همکارانش با استفاده از ترکیب شبکه های عصبی و الگوریتم های فراابتکاری حذف آلاینده مالاشیت سبز در حضور نانوکامپوزیت پلی آنیلین-پوسته‌ی گندم را مدل سازی نموده‌اند[8].

در دهه اخیر، شبکه‌های عصبی با کاربرد وسیعشان در فرایندهای غیرخطی و مدلسازی سیستم‌های هوشمند، ردیابی و مونیتور نمودن خطا، فرایندهای کنترل و بهینه‌سازی تاثیر زیادی روی مسائل صنعتی داشته‌اند. از شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی و شبیه سازی سیستم ها، مخصوصا سیستم‌های غیرخطی به طور گسترده‌ای استفاده شده است. همچنین در سال‌های اخیراز شبکه های عصبی جهت مدل سازی تصفیه فاضلاب هااستفاده شده است[1]. استفاده از شبکه های عصبی پیش بینی بهتر و کارایی بالا در مهندسی زیست محیطی ارائه داده است [9،10،11،12]. هر چند که بایستی اذعان کنیم اگر چه از ساختن چیزی شبیه مغز انسان از دیدگاه

مهندسی خیلی دور هستیم، با این حال شبکه های عصبی راه حل‌های مناسبی را برای مسائل مختلف در حوزه‌های تحقیقاتی در دنیای علوم فنی مهندسی ارائه نموده است.

کنترل عملیات تصفیه خانه فاضلاب اغلب با توجه به تغییر ماهیت فاضلاب پیچیده می‌باشد[13،12]. در یک تصفیه خانه فاضلاب (WWTP)، برخی از متغیرهای کلیدی مانند تقاضای بیولوژیکی اکسیژن (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و کل جامدات معلق (TSSs) برای ارزیابی عملکرد تصفیه فاضلاب استفاده می شود. در بسیاری از تحقیقات، این متغیرها برای مدل سازی فرایندهای تصفیه خانه فاضلاب با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی که یک ابزار کارآمد و قوی در پیش بینی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب می باشد استفاده شده است[14]. آشه و مجالی در [15] از شبکه ها عصبی ساده و زو و وانگ در [16] از مدل آماری رگرسیون در مدل سازی تصویه فاضلاب استفاده کرده‌اند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، با الگو برداری از عملکرد مغز انسان، پدیده‌های پیچیده و ناشناخته را بخوبی مدل‌سازی کرده و به دلیل دارا بودن ویژگی هایی چون سرعت بالای محاسبات، قابلیت تعلیم وتعمیم، مقاومت در برابر تغییر پارامترها و کاهش هزینه‌ها مورد توجه بسیاری از متخصصین و دانشمندان قرار گرفته است. با وجود انعطاف‌پذیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، ازدیاد تعداد متغیرها و افزایش تعداد وزن‌ها نسبت به ورودی‌ها، سبب پیچیدگی ساختار شبکه عصبی و ناپایداری آن گردیده است[17،18] و از طرفی در مواردی متغیرها از همبستگی بالائی برخوردارند که استفاده از همه ی آنها نوعی ورود اطلاعات تکراری را به همراه داشته [19،20،21] و از یافتن مدل های بهینه جلو گیری کرده اند. بنابراین با توجه به اهمیت مسئله کمبود آب، در مقاله حاضر جهت جلوگیری از آلودگی آبها وحفظ محیط زیست، ازمدل ترکیبی ANN- LR که یک رویکرد جدید بر پایه ساختار ترکیبی شبکه-های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و مدل آماری رگرسیون لجستیک می باشد، به منظور پیش بینی کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب، استفاده شده است. اطلاعات لازم برای بررسی کیفیت خروجی تصفیه ی فاضلاب ها با استفاده از لجن فعال با هوادهی گسترده گردآوری شده[22،23] و مدلسازی پیش بینی فرآیندهای تصفیه فاضلاب ها، ابتدا با استفاده از ANN بطور مستقیم سپس با استفاده از مدل آماری LR مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت همین موضوع با مدل هیبریدی ANN-LR بررسی شده و کارایی و دقت این مدل ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

2- روش کار

در ابتدا پارامترهای مورد نیاز آزمایشگاهی برای بررسی کیفیت خروجی تصفیه‌ی فاضلاب که در جدول 1 ارائه شده است، مورد بررسی قرار گرفته است. شاخص‌های کیفیت فاضلاب‌ها شامل مقادیر TSS (مجموع مواد جامد معلق در آب)، COD (اکسیژن شیمیایی مورد نیاز) و BOD (اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز) جریان‌های ورودی و TSS (مجموع مواد جامد معلق در آب)، COD (اکسیژن شیمیایی مورد نیاز) و BOD (اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز) جریان های خروجی حاصل از کنترلر منطق فازی متغیر های مورد استفاده در این مقاله می باشند که با توجه به بازه تغییرات آنها می توان روند تصفیه فاضلاب را مطابق جدول 1 تفسیر نمود. از آنجایی که اندازه گیری اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز در آزمایشگاه ها مشکل بوده و بصورت روزانه اندازه گیری نمی‌شود و با اکسیژن شیمیایی مورد نیاز ارتباط مستقیم دارد لذا در فرآیند اجرای برنامه‌ها از این متغیر صرف نظر شده است.

در مر حله ی بعد از رگرسیون لجستیک به عنوان یکی از ابزارهای آماری به منظور مدل سازی و تحلیل

داده‌ها ا استفاده شده است. رگرسیون لجستیک دارای شکل کلی زیر است:

$$Ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \sum \beta x$$

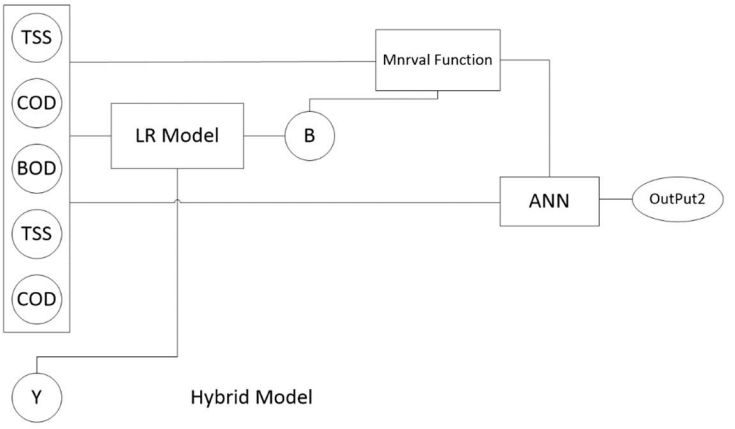
لجستیک یا لگاریتم بخت در واقع مقدار لگاریتم طبیعی $\frac{p}{1-p}$ است. P احتمال متغیر وابسته y می‌باشد.β مقدار ثابت، β1,…,βn ضرایب تخمین هستند که مشارکت عوامل مستقل (x1,x2,…,xn) را برای متغیر y نشان می‌دهند. مزیت مدلسازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیکهای آماری چند متغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی این است که متغیر وابسته می تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است. یکی دیگر از منافع رگرسیون لجستیک بی‌نیازی آن به مفروضات محدود کنندهٔ آماری در رابطه با متغیرهاست[24-26] در تشخیص کیفیت تصفیه آب و فاضلاب، هدف یافتن مدلی مناسب برای تشریح رابطه بین وجود یا عدم وجود آلودگی در خروجی حاصل از تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد.

در نهایت به منظور کاهش خطا و افزایش دقت، با ترکیب شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک و مقایسه آن با شبکه های عصبی مصنوعی پیش بینی دقیقی از کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب ارائه شده است. در واقع با اعمال رگرسیون لجستیک و تحلیل آماری پارامتر های موجود، تاثیر هریک از آنها بر روی خروجی و ارزش اهمیت داده ها مشخص شده است. در انتها با احتساب تفاوت خروجی مدل با خروجی واقعی، شبکه عصبی آموزش داده شده و قدرت یادگیری آن افزایش پیدا کرده است. با این عمل مدل پیشنهادی با ورودی ها و احتمال هر یک از خروجی‌ها، پیش‌بینی دقیقی ازخروجی که همان کیفیت تصفیه است را ارائه داده است. در شکل 1 ساختار مدل ترکیبی طراحی شده نشان داده شده است.

همان طور که در شکل1 مشاهده می کنید در ابتدا ورودی‌ها و خروجی های مورد نظر جهت اعمال یک سری محاسبات آماری وارد مدل آماری رگرسیون لجستیک (LR Model) شده است (در مدل رگرسیون خروجی ها نمی توانند بصورت مقادیر جریان خروجی تصفیه فاضلاب وارد شوند و باید محدوده این فاکتور را جهت تشخیص کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب بصورت اعداد 0 و 1 تبدیل نمود). یک سری متغیر های آماری از این مدل بدست آمده است. سپس یکی از آنها (ضریب تخمین β) و ورودی هایی که قبلا معرفی شده بودند جهت اعمال یک سری محاسبات آماری جدید وارد تابع Mnrval شده است تا احتمال خروجی 0 و 1 بودن یعنی قابل استفاده بودن خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب و غیر قابل استفاده بودن را بطور دقیق به ازای هر یک از ورودی ها بدست آورد. در نهایت نیز احتمال برآورده شده و ورودی‌هایی که قبلا معرفی شده بودند وارد شبکه عصبی مصنوعی شده‌اند تا پس از آموزش خروجی دو (outpu2) را ارائه دهد تا در مراحل بعدی به ازای ورودی های جدید بتواند output2 که همان نتیجه کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب را نشان می دهد را بدست آورد.

جدول 1 - بازه تغییرات مجاز و غیر مجاز برای فاکتور های مهم

	محدوده مجاز	محدوده غیر مجاز
جریان ورودی	120< SS<400	-
	250<COD<800	-
	110<BOD<350	-
جریان خروجی	30 < BOD	در صورتی کهBOD < 30، حذف مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی نامطلوب می باشد.
	60 < COD	حذف مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی و غیر قابل تجزیه بیولوژیکی نامطلوب در صورتی که COD < 60 می باشد.
	40 < TSS	در صورتی که TSS < 40، حذف مواد معلق نامطلوب می باشد.



شکل 1- شمای کلی روش هوشمند ترکیبی شبکه عصبی و رگرسیون

3- بحث و نتیجه‌گیری

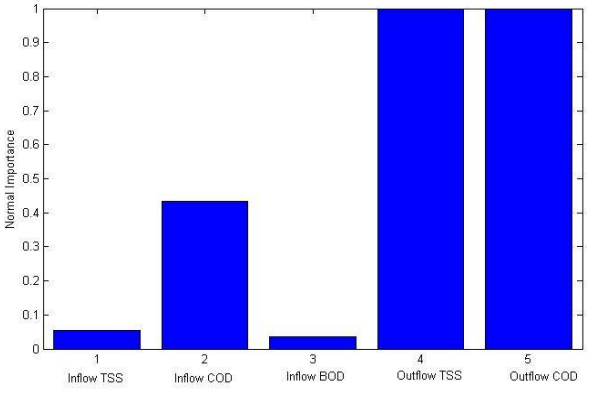
3-1- نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک

در معادله ی زیر

$$Ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \sum \beta x$$

x بردار متغیرهای مستقل شامل مجموع مواد جامد معلق جریان ورودی، اکسیژن شیمیایی مورد نیاز جریان ورودی، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز جریان ورودی، مجموع مواد جامد معلق جریان خروجی و اکسیژن شیمیایی مورد نیاز جریان خروجی است و β بردار ضرایب تخمین می‌باشد. در جدول (2) متغیرها به همراه ضرایب تخمین و ارزش اهمیت متغیرها (p-value)، یعنی خطای استاندارد و آماره‌ی آزمون در تشخیص کیفیت خروجی حاصل از تصفیه آب و فاضلاب که قابل استفاده است را در مقابل خروجی غیر قابل استفاده نشان داده شده است.

تمام متغیرهای موجود در مدل استفاده شده است. در تشخیص کیفیت خروجی حاصل از تصفیه آب و فاضلاب، مجموع مواد جامد معلق جریان ورودی (5%)، اکسیژن شیمیایی مورد نیاز جریان ورودی (43%)، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز جریان ورودی (3%)، مجموع مواد جامد معلق جریان خروجی (100%) و اکسیژن شیمیایی مورد نیاز جریان خروجی (100%) می‌باشد. در این مدل پارامترها بر اساس ارزش اهمیت هر یک از متغیرها مشخص شده و در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2- اهمیت هر متغیر در تشخیص کیفیت خروجی حاصل از تصفیه آب و فاضلاب در مدل آماری رگرسیون لجستیک

جدول 2- ضرایب تخمین و احتمال پیامد خروجی قابل استفاده حاصل از تصفیه آب و فاضلاب در مقابل خروجی غیر قابل استفاده

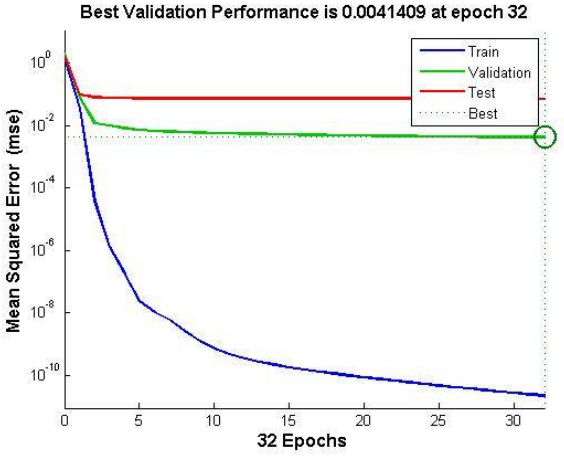
value	β	p-value	SE	t-value
120< Inflow TSS<400	-0.0005	0.0545	0.0000	-1.9231
250< Inflow COD<800	-0.05	0.4332	0.0000	-0.7838
110< Inflow BOD<350	-0.12	0.0348	0.0000	-2.1106
40 < Outflow TSS	0.6751	1.0000	1.5818	0.0000
60 < Outflow COD	-1.0140	1.0000	2.3727	-0.0000

3-2- نتایج حاصل از ترکیب شبکه عصبی و مدل پیشنهادی

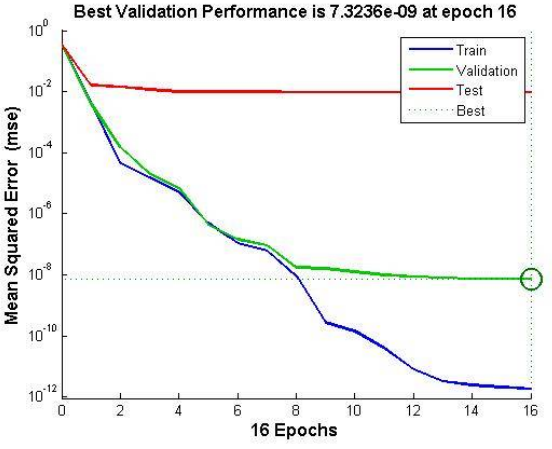
در این بخش داده های معرفی شده در جدول 1 به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی، بصورت ساده و با ترکیب رگرسیون لجستیک در نظر گرفته شده است. در شکل 3 نمودار نحوه کاهش خطا در شبکه عصبی مصنوعی ساده با تعداد تکرار ها و مجموع مربعات خطا نشان داده شده است که بهترین عملکرد اعتبارسنجی با این تکرارها مشاهده شده است. نمودار آبی مربوط به آموزش شبکه، نمودار قرمز مربوط به آزمایش و نمودار سبز رنگ مربوط به اعتبار سنجی شبکه است. همچنین در شکل 6 نیز نمودار نحوه کاهش خطای حاصل از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک نشان داده شده است و مشخص است که روند کاهش خطا در شکل 4بسیار بهتر از شکل3 بوده و خطای بسیار کمتری نسبت به روش ساده شبکه عصبی مصنوعی دارد.

شکل 5 نمودار رگرسیون داده‌ها برای مراحل آموزش، تست، اعتبارسنجی و کل داده‌ها نشان داده شده است. محور افقی در واقع همان خروجی هدف و محور عمودی همان خروجی حاصل از شبکه عصبی است. بهترین خط برای ایجاد روند، خطوط نقطه چین می‌باشد و خط خمیده‌ایی که روند شبکه عصبی بصورت ساده در هر مرحله توانسته ایجاد کند، مشاهده می‌شود.

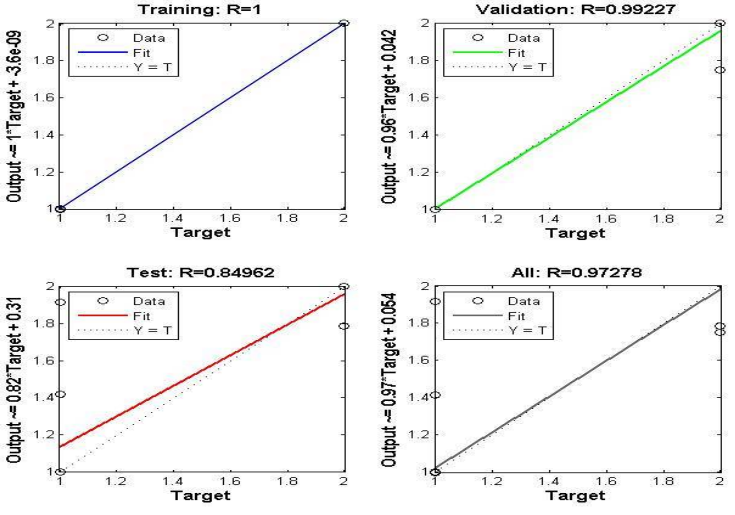
در شکل 6 ترتیب نمودار رگرسیون حاصل از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک و خطی که این روند توانسته ایجاد کند نشان داده شده است.



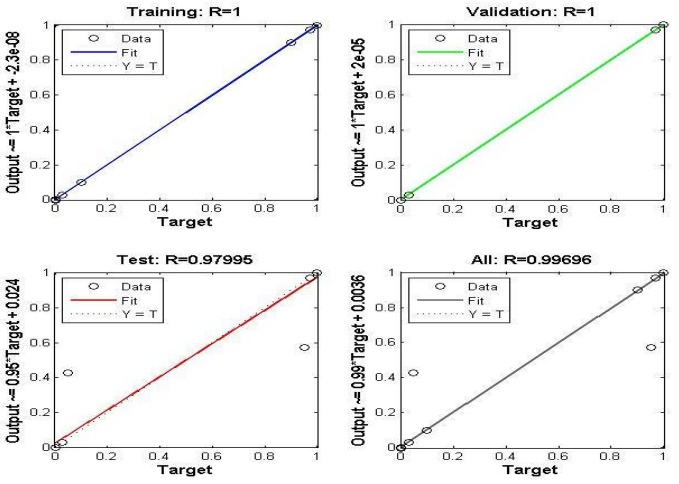
شکل 3- نمودار عملکرد شبکه عصبی مصنوعی



شکل 4- نمودار عملکرد شبکه عصبی حاصل از ترکیب شبک عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک



شکل 5- رگرسیون های حاصل از شبکه عصبی مصنوعی



شکل 6- رگرسیون‌های حاصل از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک

در شکل‌های7 و 8 نیز به ترتیب هیستوگرام مقادیر خطای حاصل از شبکه عصبی مصنوعی بصورت ساده و هیستوگرام مقادیر خطای حاصل از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک نشان داده شده است. میله آبی رنگ نشان دهنده‌ی داده‌های آموزشی، میله سبز رنگ نشان دهنده‌ی داده‌های اعتبار سنجی و میله قرمز رنگ نشان دهنده‌ی داده های مرحله آزمایش است.

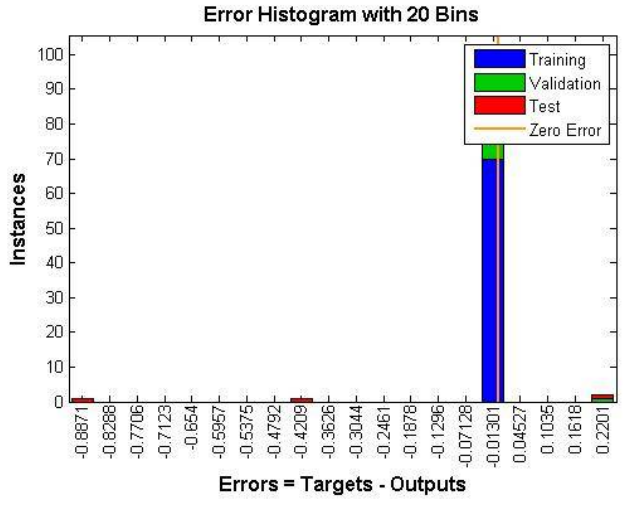
نتیجه‌گیری

با ارائه یک روش ترکیبی آماری رگرسیون و شبکه های عصبی جهت کسب دانش از داده‌های فرایند پویای تصفیه فاضلاب می‌توان زمان اجرای تصمیم گیری را کاهش داده و تصمیم گیری نتیجه حاصل از فرایند را بهبود بخشید.

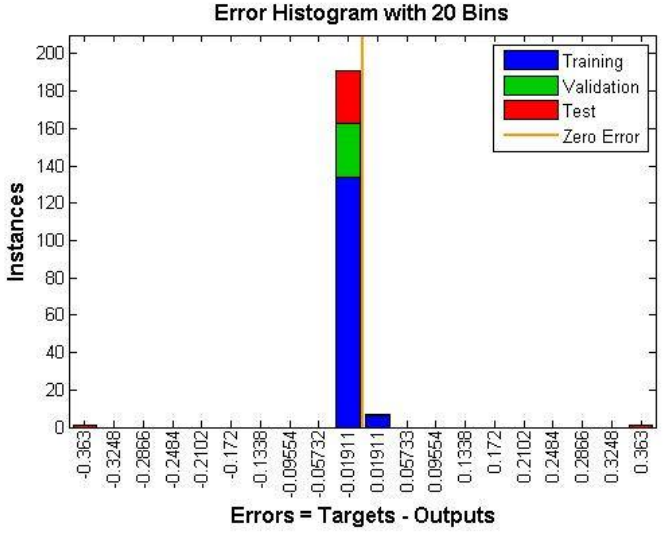
روش‌های استفاده شده توسط تجزیه و تحلیل مرحله به مرحله و ترکیب ساختار مجازی از مدل هایی برای اجرای رفتارهای طرح به لحاظ کیفی اجرا شده است. به نظر می رسد که روش کار ارائه شده در این مقاله قادر به رسیدن به موفقیت در هر گونه از مشکلات زیست محیطی می‌باشد و می‌تواند به حالت‌های جداگانه‌ای تجزیه شود. مدل‌سازی تصفیه خانه فاضلاب پویا با استفاده از شبکه‌های عصبی خود سازمانده یک تکنولوژی واقعا پیشرفته است. با استفاده از این رویکرد می‌توان در انجام آزمایش‌های تکراری سیستم تصفیه خانه فاضلاب، در زمان تشخیص کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب و هزینه‌های اضافی آن صرفه جویی کرد.

این مدل ابتدا با مشخص کردن ارزش اهمیت هر یک از متغیرها با استفاده از رگرسیون لجستیک، بیشترین عامل تأثیرگذار بر روی پیش‌بینی کیفیت خروجی حاصل از تصفیه فاضلاب را تشخیص داده است. سپس با احتساب احتمال خروجی به ازای هر یک از قوانین (ورودی‌های شبکه عصبی) و تاثیر آن بر روی خروجی مورد نظر باعث شده تا مدل پیشنهادی با ورودی‌ها و احتمال هر یک از خروجی ها پیش بینی دقیق را ارائه دهد.

معیار کارایی، به حداقل رساندن خطای عملکرد آموزش در شبکه عصبی با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی می‌باشد. در نهایت به این نتیجه رسیدیم که خطای عملکرد شبکه عصبی برابر 0/004 در 32 تکرار و مدل ترکیبی شبکه عصبی برابر $7/3 \times 10^{-9}$ در 16تکرار می‌باشد.



شکل 7- هیستوگرام مقادیر خطای حاصل از شبکه عصبی مصنوعی



شکل 8- هیستوگرام مقادیر خطای حاصل از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با رگرسیون لجستیک

فهرست منابع

[1] Nasr, S. Mahmoud, et al. Application of Artificial Neural Network (ANN) for the prediction of EL-AGAMY wastewater treatment plant performance-EGYPT. Alexandria engineering journal 37-43 (2012)

[2] Wan, Jinquan, et al. Prediction of effluent quality of a paper mill wastewater treatment using an adaptive network-based fuzzy inference system. Applied Soft Computing 3238-3246 (2011)

[3] Honggui, Han, Li Ying, and Qiao Junfei. A fuzzy neural network approach for online fault detection in waste water treatment process. Computers & Electrical Engineering 2216-2226 (2014)

[4] Tay, Joo-Hwa, and Xiyue Zhang. A fast-predicting neural fuzzy model for high-rate anaerobic wastewater treatment systems. Water Research 2849-2860 (2000)

[5] Steyer, Jean-Philippe, et al. Hybrid fuzzy neural network for diagnosis-application to the anaerobic treatment of wine distillery wastewater in a fluidized bed reactor. Water Science and Technology 209-217(1997)

[6] Chen, Jeng-Chung, N. B. Chang. Assessing wastewater reclamation potential by neural network model. Engineering applications of artificial intelligence 149-157 (2003)

[7] G. Srecnik, Z. Debeljak. Use of Artificial Nueral Networks for retention Modelling in Ion Chromatography, Journal of Croatica Chemica acta 713-725(2002)

[8] A. Jafarian, F. Ghanbary. **Polyaniline/wheat Husk Ash Nanocomposite Preparation and Modeling Its Removal Activity with an Artificial Neural Network**. Journal of Chiang Mai Science 533-543(2017)

[9] Govindaraju, S. Rao. Artificial neural networks in hydrology. II: hydrologic applications. Journal of Hydrologic Engineering 124-137(2000)

[10] Maier, R. Holger, and C. Graeme Dandy. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. Environmental modelling & software 101-124(2000)

[11] T. Neelakantan, G. Brion, and S. Lingireddy. Neural network modelling of Cryptosporidium and Giardia concentrations in the Delaware River, USA. Water Science & Technology 125-132(2001)

[12] D.S. Lee, C.O. Jeon, J. M. Park, Hybrid neural network modeling of a full-scale industrial wastewater treatment process, Biotechnology & Applied Microbiology, 670-682(2012)

[13] Hamoda, F. Mohamed, A. Ibrahim. Integrated wastewater treatment plant performance evaluation using artificial neural networks. Water Science and Technology 55-65(1999)

[14] Y.Yu, Z. Zou, S. Wang. Statistical regression modeling for energy consumption in wastewater treatment. Journal of Environmental Sciences 201-208(2019)

[15] F. S. Mjalli, S. Al-Asheh, H.E. Alfadala. Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance. Journal of Environmental Management. 329-338 (2007)

[16] S. Haykin. Neural networks: a comprehensive foundation, 2nd Edition.

Prentice Hall. (1999)

[17] Y.X. Zhang. Artificial neural networks based on principal component analysis input selection for clinical pattern recognition analysis. Talanta. 68-75(2007).

[18] Knobbe, Lauren. Franken warns against weakening law on health-care spending. Minn Post. Retrieved (2013).

[19] R. Muoio, L.Palli, I. Ducci, E. Coppini, E. Bettazzi, Optimization of a large industrial wastewater treatment plant using a modeling approach: A case study. Journal of Environmental Management, 109-136 (2019)

[20] I. Pasztor, P. Thury, J. Pulai. Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment. International Journal of Environmental Science & Technology, 6. 12(2019): 51–56.

[21] D. Jérôme, D. W. Gujer. Data-driven modeling approaches to support wastewater treatment plant operation. Environmental Modelling & Software. 47-56(2012)

[22] Fahlman, E. Scott, and Christian Lebiere. The cascade-correlation learning architecture. (1989)

[23] Parker, David B. "Learning logic. Invention report S81-64, File 1, and Office of Technology Licensing." October, Stanford University (1982).

[24] Rumelhart, E. David, E. Geoffrey Hinton, and Ronald J. Williams. Learning internal representations by error propagation. No. ICS-8506.

[25] Werbos, Paul. "Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences." (1974).