Archive of SID

DOI: 10.22100/jkh.v11i3.1398

مجله دانش و تندرستی، دوره ۱۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شاهرود

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی

محمد عبداله‌زاده[۱]، روشنک رفیعی‌نظری[۲]، نگار عباسی‌بسطامی[۳]، ابراهیم اسماعیلی[۴]، مجتبی رئیسی[۵]، مجید عرب‌عامری[۶*]

۱- دانشگاه علوم پزشکی سبزوار- معاونت غذا و دارو- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب- دانشکده علوم پایه- گروه فیزیک- استادیار.

۳- دانشگاه علوم پزشکی شاهرود- دانشکده بهداشت- گروه بهداشت محیط- دانشجوی کارشناس بهداشت محیط.

۴- دانشگاه علوم پزشکی بابل- معاونت غذا و دارو- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی.

۵- دانشگاه علوم پزشکی گلستان- مرکز تحقیقات سلامت غلات- استادیار.

۶- دانشگاه علوم پزشکی شاهرود- معاونت غذا و دارو- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۵/۲/۲۷

چکیده

مقدمه: *پیش‌بینی شاخص‌های کیفی تصفیه فاضلاب دارای اهمیت زیادی در روش‌های تصفیه فاضلاب مدرن است. یکی از مهمترین مشکلات در هنگام پیش‌بینی کارآیی فاضلاب تصفیه شده، پیچیدگی ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی فاضلاب اولیه و اختلاف داده‌ها به علل مختلف است. مدل‌سازی تصفیه فاضلاب با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی می‌تواند به بهبود فرآیند کنترل کیفیت فاضلاب کمک کند. هدف از این مطالعه، مدل‌سازی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی است.*

مواد و روش‌ها: *در این مطالعه از روش سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی برای پیش‌بینی فرآیند تصفیه فاضلاب به‌روش انعقاد الکتریکی استفاده شد. شاخص‌های زمان، ولتاژ، TSS (Total suspended solids) و BOD (Biochemical oxygen demand) به‌عنوان ورودی و راندمان حذف COD (Chemical oxygen demand) به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد. همچنین برای بهینه‌سازی مدل از توابع عضویت مختلف، تعداد توابع عضویت و دوره‌های یادگیری متعددی به شکل آزمون و خطا استفاده شد.*

نتایج: *بهترین مدل با استفاده از تابع عضویت زنگوله‌ایی، تعداد توابع ۳ ۳ ۳ ۳ و چرخه یادگیری ۳۰۰ به‌دست آمد که دارای کمترین میانگین مربعات خطا و بهترین ضریب تبیین (R^2) بود. مقدار ضریب تبیین بهترین مدل و میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۰/۹۹۱۲ و ۰/۰۱۲ بود.*

نتیجه‌گیری: *تجزیه و تحلیل مدل نشان داد که سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی یک ابزار قدرتمند برای پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی است.*

واژه‌های کلیدی: فاضلاب لبنی، سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)، انعقاد الکتریکی.

***نویسنده مسئول:** شاهرود، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، معاونت غذا و دارو، **تلفن:** ۰۲۳-۳۲۳۹۳۸۲۰، **نمابر:** ۰۲۳-۳۲۳۹۲۳۲۰، **Email:** majid.arabamerei@gmail.com

ارجاع: عبداله‌زاده محمد، رفیعی‌نظری روشنک، عباسی‌بسطامی نگار، اسماعیلی ابراهیم، رئیسی مجتبی، عرب‌عامری مجید. مدل‌سازی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی با استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی. مجله دانش و تندرستی ۱۳۹۵؛۱۱(۳):۳۲-۳۹.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

قسمت اعظم فاضلاب تولیدی در کارخانجات لبنی، در طی فرآیند شستشوی درجا (CIP) تولید می‌شود که دارای مقادیر زیاد و متنوعی مواد آلی نیز می‌باشد. مهمترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب کارخانجات لبنی، ترکیبات آلی می‌باشد که شامل چربی، مواد معلق، پروتئین‌های محلول و نامحلول، ذرات کلوئیدی و ترکیبات ناشی از شستشوی تجهیزات و سالن تولید است. به‌طور معمول این ترکیبات دارای مقادیر بالایی از اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD: Chemical oxygen demand) و اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی (BOD_5: Biochemical oxygen demand) هستند لذا تصفیه فاضلاب کارخانجات حاوی مقادیر بالای این مواد قبل از ورود به محیط زیست یا منابع آبی ضروری به‌نظر می‌رسد. تصفیه فاضلاب کارخانجات مواد غذایی با روش‌های مختلفی از جمله شیوه‌های فیزیکی، بیولوژیکی (سیستم‌های هوازی و بی‌هوازی)، شیمیایی و یا ترکیبی انجام می‌گیرد. سیستم‌های تصفیه هوازی به‌علت مصرف انرژی بالا در طی هوادهی و همچنین تولید زیاد لجن، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی، تجمع مواد معلق جامد و چربی‌های شناور در راکتور طی تصفیه بی‌هوازی نیز موجب اختلال شده و در نهایت باعث توقف فعالیت متانوژنزها می‌گردد (۱). با وجود آنکه در برخی از کارخانجات مواد غذایی، کاربرد فرآیندهای بیولوژیکی دارای توجیه اقتصادی است لیکن این روش دارای اشکالات متعددی از جمله زمان طولانی تصفیه، حجم بالای راکتور و غلظت زیاد بیومس خروجی می‌باشد. در روش انعقاد شیمیایی معمولاً از نمک‌های پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) به‌عنوان کمک منعقدکننده جهت تبدیل ذرات کوچک به ذرات بزرگتر استفاده می‌شود که این ذرات، سپس به‌روش رسوب و یا فیلتراسیون جداسازی می‌شود. حداکثر راندمان حذف COD در فرآیند انعقاد شیمیایی فاضلاب با کمک برخی پلیمرها و به‌ویژه نمک‌های آلومینیوم، ۴۵-۷۵٪ گزارش شده است (۲). در طی فرآیند الکتروشیمیایی، کاتیون‌های فلزی موردنیاز توسط آندی از جنس آهن یا آلومینیوم (و یا سایر مواد) تولید می‌شود و هیدرواکسید آلومینیوم $Al(OH)_3$ با هیدرولیز این کاتیون‌ها در pH مشخص، در آب حل می‌شود (۳).

روش انعقاد الکتریکی عبارت است از ناپایدارسازی ذرات معلق، کلوئیدی و محلول با استفاده از جریان الکتریکی در یک محیط آبی که ذرات در طی آن با کاهش بار سطحی بر نیروی واندروالس بین خود غلبه کرده و ایجاد لخته می‌نمایند. در این فرآیند، اغلب از فلزاتی مانند آلومینیوم و آهن به‌عنوان الکترود استفاده می‌شود و الکترود آند در اثر عبور جریان مستقیم خورده شده و کاتیون‌های منعقدکننده به محلول وارد می‌شود. با عبور جریان مستقیم از سلول الکتروشیمیایی، یون‌های فلزی هیدرولیز گردیده و یون‌های فلزی هیدروکسید تولید می‌کنند. در این فرآیند، pH محلول و قدرت یونی باعث تغییر در میزان حلالیت ترکیبات هیدروکسید فلزی محلول می‌شود. لخته‌های نامحلول $Al(OH)_3$ عمدتاً در محدوده pH بین ۶ تا ۷ تولید می‌شوند و نقش اصلی را در عمل تصفیه دارند (۴ و ۵).

در آند: (۱) $Al \longrightarrow Al^{3+}(aq) + 3e^-$

در کاتد : (۲) $3H_2O + 3e^- \longrightarrow 3/2\ H_2(g) + 3OH^-$

به‌صورت محلول: (۳) $Al^{3+}(aq) + 3H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$

در سال‌های اخیر، مدل‌سازی و پیش‌بینی کارآیی فرآیندهای صنعتی مختلف، توجه پژوهشگران زیادی را به این موضوع جلب کرده است. به‌دلیل پیچیدگی فرآیند تصفیه فاضلاب، می‌توان مدل‌های مختلفی را برای توصیف این فرایند به‌کار گرفت. امروزه، ابزارهای مدل‌سازی جدیدی مانند مدل‌سازی فازی (Fuzzy) در شبکه‌های عصبی کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. در منطق فازی، دانش و تجربه متخصص برای به‌دست آوردن مدلی مناسب از فرآیند، به‌کار گرفته می‌شود. از سوی دیگر، شبکه‌های عصبی به‌دلیل دارا بودن قابلیت یادگیری قابلیت تقریب هر نوع تابع غیرخطی دلخواه را دارند و می‌توانند برای اهداف مدل‌سازی و شناسایی به‌کار روند. در گذشته برخی از محققین اقدام به ارایه مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی شاخص‌های کیفی انواع سیستم‌های فاضلاب کردند که بیشتر آنها دارای نتایج نزدیک به‌هم می‌باشند. برخی از آنها عبارتند از: مطالعه کورتیانوا و همکاران در زمینه الکترولیز غیر مستقیم حذف غلظت کلروفیل a (به‌عنوان شاخص جلبک) از پساب نهایی لاگون فوم در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی (۶)، مطالعه گایا و همکاران در زمینه مقایسه روش انفیس (ANFIS: Adaptive neuro fuzzy inference system) و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تصفیه فاضلاب خانگی در کوالالامپور مالزی (۷)، مطالعه هرن و همکاران در زمینه امکان کاربرد شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی حذف TSS و COD پساب کشتارگاه با استفاده از روش الکتروکواگولاسیون و تغییرات آن در طی فرآیند (۸)، مطالعه کندو و همکاران در استفاده از شبکه عصبی برای پیش‌بینی حذف بیولوژیکی کربن و نیتروژن از فاضلاب کشتارگاه در راکتور متوالی (۹)، مطالعه تی و همکاران در زمینه کاربرد و مقایسه روش انفیس (ANFIS) و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد فرآیند تصفیه بیولوژیک با استفاده از شاخص‌های کیفی و کمی مؤثر بر کیفیت پساب صنعتی (۱۰). هدف این مطالعه، ارایه مدلی برای پیش‌بینی کارآیی فرآیند انعقاد الکتریکی فاضلاب کارخانه شیر براساس داده‌های شاخص‌های زمان، ولتاژ، TSS, BOD و COD می‌باشد که در نهایت، ساختار بهینه شده مدل سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی برای پیش‌بینی مقدار COD فاضلاب معرفی می‌شود.

www.SID.ir

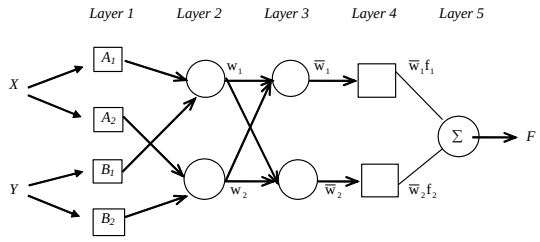
Archive of SID

مواد و روش‌ها

فاضلاب مورد استفاده در این مطالعه از یک واحد تولید پنیر فرا پالایش با فاضلاب تولیدی روزانه حدود ۲۰ متر مکعب در شهر شاهرود تأمین شد. برای این منظور ۵۰ نمونه به حجم تقریبی ۴ لیتر از حوضچه یکنواخت‌سازی تصفیه‌خانه در ظروف مخصوص نمونه‌برداری جمع‌آوری گردید.

نمونه‌های فاضلاب بعد از جمع‌آوری از تصفیه‌خانه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شد و ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی اولیه آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به راکتور پایلوت انعقاد الکتریکی منتقل و کارآیی این روش در حذف شاخص‌ها در pH ثابت مورد بررسی قرار گرفت. راکتور پایلوت مورد استفاده از نوع دوقطبی دارای ۴ عدد صفحه آلومینیومی موازی و مشبک با ابعاد ۱۵×۱۵×۲۵ سانتی‌متر و حجم مؤثر ۲ لیتر بود. همچنین سطح فعال غوطه‌وری ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب بود. ولتاژ برق ورودی، ۲۲۰ ولت و ولتاژ خروجی به‌ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ولت با حداکثر جریان ۵ آمپر و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. هر ۱۵ دقیقه، نمونه‌های مختلف به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر برای اندازه‌گیری شاخص‌های اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD)، مجموع مواد جامد معلق (TSS: Total suspended solids)، مجموع مواد جامد محلول (TDS: Total dissolved solids) و BOD5 جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌شد. برای حذف لایه اکسید سطح آند بعد از هر بار آزمایش از محلول رقیق HCL (۵٪) استفاده می‌شد سپس الکترون‌ها با آب مقطر شستشو شده و به‌طور دقیق توزین می‌گردید وزن ابتدایی و انتهایی الکترون‌ها برای محاسبه الکترود مصرفی مورد استفاده قرار می‌گرفت و کلیه آزمایش‌ها نیز سه بار تکرار می‌شدند.

کلمه فازی در لغت به معنای "مبهم، گنگ، نادقیق، مغشوش، درهم و نامشخص" می‌باشد. تئوری فازی، یک تئوری کاملاً دقیق می‌باشد اما می‌توان از آن برای مدل‌کردن پدیده‌های غیر خطی و نامشخص استفاده کرد. شروع طراحی یک سیستم فازی، تهیه مجموعه‌ای از قواعد اگر–آنگاه فازی است لذا داشتن روشی که با آن بتوان اطلاعات موجود برای ساخت این قواعد را تعیین کرد به‌عنوان ابزاری کارآمد به‌شمار می‌رود. شبکه‌های عصبی– مصنوعی با استفاده از الگوهای مختلف آموزشی و با قابلیت‌های آموزش‌پذیری بالا می‌تواند ارتباط مناسبی بین متغیرهای ورودی و خروجی ایجاد نماید. لذا استفاده ترکیبی از سیستم استنتاج فازی و شبکه‌های عصبی– مصنوعی می‌تواند ابزار قدرتمندی را تحت عنوان سیستم استنتاج فازی–عصبی تطبیقی (Adaptive neuro-fuzzy inference system) به‌وجود آورد. در این روش ترکیبی، بخش فازی، رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را ایجاد کرده و شاخص‌های مربوطبه توابع عضویت بخش فازی به‌وسیله شبکه عصبی بهینه می‌شود. در سیستم استنتاج فازی–عصبی تطبیقی ابتدا ساختار یک مدل با شاخص‌های مشخص که متناسب با ورودی‌ها، درجه عضویت و قوانین است انتخاب می‌شود (۱۲). سپس بخشی از داده‌های موجود که دربرگیرنده تمامی خصوصیات داده‌ها (بیشینه و کمینه) باشد انتخاب شده و در مرحله آموزش با حداقل کردن میزان خطا، شاخص‌های مدل به مقادیر واقعی نزدیک می‌شود. پس از آموزش سیستم و انتخاب شاخص‌های مناسب، نیاز به بررسی صحت‌سنجی مدل است. از این‌رو بخشی از داده‌ها که در مرحله آموزش به‌کار نرفته است به‌عنوان ورودی در مرحله صحت‌سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا از دقت و اعتبار مدل اطمینان حاصل شود (۱۲). در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، ANFIS به علت تنظیم پذیری شاخص‌های سیستم فازی، سریع‌تر آموزش می‌بیند و همچنین دقت بیشتری دارد. ترکیب شبکه عصبی با منطق فازی برای استخراج بهترین رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی، سبب افزایش کارآیی ساختار شبکه عصبی در یادگیری بر روی داده‌های تصفیه فاضلاب می‌شود. به عبارتی دیگر، استفاده از قواعد فازی سبب افزایش کارآیی شبکه عصبی در یادگیری و استخراج جواب قطعی و هوشمندانه و اجتناب از محاسبات پیچیده در سیستم‌های مورد مطالعه می‌شود. به عبارتی دیگر، ادغام این دو شبکه سبب افزایش انعطاف‌پذیری و کارآمدی شبکه عصبی می‌شود. در حقیقت یک نرون فازی، خروجی تمامی N ورودی وزن‌دار (wi, xi, i=1,…,N) و M خروجی را داراست. تمامی ورودی‌ها و وزن‌ها مقادیر حقیقی بوده و خروجی‌ها نیز مقادیر حقیقی مثبتی بر بازه صفر و یک هستند که در حقیقت بیانگر یک مقدار عضویت در مفهوم فازی هستند. به عبارتی دیگر، این سیستم میزان مالکیت برای ورودی‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختار کلی مدل استنتاج فازی - عصبی تطبیقی

ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی‌بر قواعد منطقی بوده و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارد منجر به ارایه سیستم استنتاج تطبیقی فازی– عصبی شده است. همان‌طورکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود انفیس، شبکه‌ای پنج لایه است و هرلایه، گره‌های مختلف دارد و هر گره نیز در یک لایه ثابت یا

www.SID.ir

Archive of SID

تطبیقی است. اگر خروجی هر لایه به‌صورت o_i^l i باشد (i امین گره از l) باشد ساختار مدل از پنج لایه به شرح زیر تشکیل می‌شود:

لایه اول: پس از اینکه داده‌های ورودی به‌صورت ماتریسی (y,x) وارد سیستم شدند در این لایه با استفاده از توابع عضویت، عمل فازی‌سازی انجام می‌شود. تابع عضویت مورد مطالعه برای این مقاله برای استخراج مجموعه‌های فازی به‌صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

$$\mu_A(x)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}}$$

X: مقدار ورودی به گره و a_i,b_i,c_i شاخص‌های تطبیقی می‌باشند و i: امین گره

لایه دوم: (گره‌های قاعده): هر گره در این لایه، درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می‌کند.

لایه سوم: (گره‌های متوسط): در این لایه، i امین گره، نسبت درجه فعالیت قانون iام را به مجموع درجه فعالیت کلیه قوانین به‌صورت زیر طبیعی‌سازی می‌کند:

$$O_{3,i}=\overline{w}_i=\frac{w_i}{w_1+w_2}$$

wi درجه فعالیت طبیعی شده قانون iام

لایه چهارم: (گره‌های نتیجه): در این لایه خارجی، هر گره برابر است با:

$$O_{4,i}=\overline{w}_i f_i=\overline{w}_i(p_i x+q_i y+r_i)$$

p_i,q_i,r_i: شاخص‌های متعاقب

لایه پنجم: (گره‌های خروجی): در این لایه هر گره، مقدار خروجی نهایی را به‌صورت زیر محاسبه می‌نماید (تعداد گره‌ها برابر با تعداد خروجی‌هاست):

$$O_{5,i}=\sum_i \overline{w}_i f_i=\frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

در مدل عصبی- فازی، زمانی عمل شبیه‌سازی به‌درستی انجام شده است که مجموعه شاخص‌های متعاقب و مجموعه شاخص‌های تطبیقی طوری تخمین‌زده شوند که مقدار تابع خطای مدل در بخش آموزش و آزمایش به حداقل برسد. تعداد و نوع ورودی‌ها و همچنین شکل تابع عضویت از عوامل تأثیرگذار بر مدل نروفازی می‌باشد (۱۲).

نتایج

نتایج آماری ویژگی‌های فاضلاب تصفیه نشده لبنی اولیه و بعد از ته‌نشینی اولیه (۱۲ ساعت) در جدول ۱ ارایه شده است. بر این اساس، پس از اجرای بهترین تیمار فرآیند انعقاد الکتریکی، مقدار COD از ۶۰۴۱ به ۵۸، BOD از ۲۹۷۴ به ۲۶ و TSS از ۶۲۸ به ۵۷ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. به‌طور کلی با افزایش ولتاژ و زمان اعمال شده در انعقاد، راندمان حذف نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

برای پیش‌بینی تغییرات کیفی فاضلاب از شاخص‌های زمان، ولتاژ، TSS و BOD به‌عنوان ورودی و تغییرات COD به‌عنوان خروجی مطابق شکل ۲ استفاده شد، سپس با استفاده از داده‌های تجربی، مدل چندین بار تحت آموزش قرار گرفت. پس از اینکه خطا به حالت پایدار رسید مقادیر پیش‌بینی شده با سایر مقادیر تجربی مقایسه شد و کارآیی مدل‌های به‌دست آمده به‌وسیله مقادیر R^2 و میانگین مربعات خطا ارزیابی و مقایسه شد. در این مطالعه برای مدل‌سازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

در ساختار مدل انفیس، ۳ تابع عضویت به هر ورودی اختصاص داده شده تا قانون فازی موردنیاز نیز برای پیش‌بینی فرآیند به‌کار گرفته شده باشد. هر قانون به یک تابع عضویت متصل شده و این توابع عضویت، خروجی را می‌سازند. هر قانون با سه تابع عضویت متناسب با هر یک از چهار ورودی (زمان، ولتاژ، TSS وBOD) مطابق شکل ۲ به‌کار گرفته شد.

برای ساخت مدل، توابع عضویت ورودی در قسمت مقدم قوانین، می‌توانند توابع عضویت متفاوت مانند توابع عضویت مثلثی (Trimf)، ذوزنقه‌ای (Trapmf)، گوسی ساده (Gaussmf)، گوسی دوطرفه مرکب (Gauss2mf)، زنگی شکل (Gbellmf) و سیگموئیدی (Sigmf) انتخاب شوند. در این مطالعه، توابع عضویت ورودی از نوع توابع عضویت زنگی شکل و مثلثی تعریف شده‌اند.

جدول ۲ نیز شاخص R^2 و میانگین مربع خطای همه مدل‌های پیشنهادی را براساس مقادیر پیش‌بینی شده (خروجی مدل) و مقادیر مشاهده شده از آزمون را نشان می‌دهد. همان‌طورکه از مقادیر شاخص‌های ارایه شده در جدول مشاهده می‌شود مدل انفیس پیشنهادی قابلیت پیش‌بینی تغییرات کارایی تصفیه فاضلاب لبنی را دارا می‌باشد و عملکرد مطلوبی را نشان می‌دهد.

در شکل ۲ قسمتی از قوانین مدل پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب براساس ۴ شاخص تأثیرگذار (زمان، ولتاژ، TSS و BOD) آورده شده است.

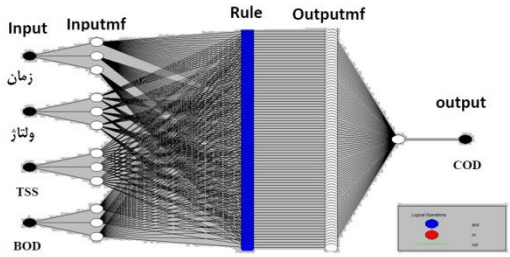
شکل ۳ نوع و چگونگی تأثیرگذاری شاخص‌های فیزیک و شیمیایی بر کارآیی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی به‌دست آمده توسط انفیس را نشان می‌دهد. در داخل راکتور پایلوت، ترکیبات آلی محلول در محیط براساس مکانیسم‌هایی مانند به دام افتادن ذرات در رسوبات، ته‌نشینی، شناورسازی، جذب سطحی و بدام افتادن ذرات در رسوبات حذف می‌شوند. عمل انعقاد در اثر برهم‌کنش یون‌های تولید شده از انحلال الکترود قربانی با ذرات آلاینده یونی باردار صورت می‌گیرد. از سویی دیگر گاز هیدروژنی آزاد شده از الکترود کاتد، برخی لخته‌های موجود در محلول را در سطح آن شناور ساخته و جدا می‌کند و با افزایش زمان تماس فاضلاب در ولتاژهای ۱۰ الی ۶۰ ولت،

www.SID.ir

Archive of SID

پیشرفت انعقاد الکتریکی و به تبع آن درصد حذف BOD_5 و COD افزایش می‌یابد البته این افزایش درصد حذف BOD_5 و COD مطابق شکل ۳ به‌صورت منحنی و با شیب متفاوت در طی زمان صورت گرفته است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در آغاز فرآیند، حذف BOD_5 و COD سریع بوده و به‌تدریج سرعت آن کاهش می‌یابد. از سویی با افزایش ولتاژ اعمال شده در انعقاد، راندمان حذف نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. زیرا در ولتاژ بالا، مقدار آلومینیوم وارد شده به محلول (اکسید شده) افزایش یافته که نتیجه آن حذف آلاینده‌ها با تولید مقادیر بیشتر رسوبات و لخته‌های هیدروکسید صورت می‌پذیرد. در آموزش ساختار انفیس از روش هیبرید که ترکیب روش حداقل مربعات و روش پس انتشار می‌باشد استفاده شده است و حد خطا که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد بر روی صفر تنظیم شده است.

در نهایت یک مدل با تابع عضویت ذوزنقه و تعداد ۳۳۳۳۳ تابع عضویت در کلیه متغیرهای ورودی و خروجی و روش هیبرید در مرحله آموزش توانست بهترین نتیجه را تولید کند. نتایج به‌دست آمده از پیش پردازش داده‌های ورودی مدل‌های تعریف شده برای ANFIS در جدول ۳ آورده شده است. برای بهینه‌سازی مدل از انواع تابع عضویت و تعداد متفاوتی استفاده شده تا تعداد و نوع بهینه آن مشخص شود. در ابتدا از تعداد کم چرخه آموزش استفاده شد و به مرور، افزایش تعداد نرون تا هنگامی که تأثیری بر بهبود خطا نداشته باشد ادامه یافت. بدین منظور از یک تا سیصد چرخه استفاده گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، اغلب مدل‌ها از دقت تخمین مناسبی جهت پیش‌بینی COD فاضلاب برخوردار بودند.



شکل ۲- ساختار مدل پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب

1. If (time is in1mf1) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf1) and (TSS is in4mf1) then (COD is out1mf1)
2. If (time is in1mf1) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf1) and (TSS is in4mf2) then (COD is out1mf2)
3. If (time is in1mf1) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf1) and (TSS is in4mf3) then (COD is out1mf3)
4. If (time is in1mf1) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf2) and (TSS is in4mf1) then (COD is out1mf4)
5. If (time is in1mf1) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf2) and (TSS is in4mf2) then (COD is out1mf5)
29. If (time is in1mf2) and (voltage is in2mf1) and (BOD is in3mf1) and (TSS is in4mf2) then (COD is out1mf29)
51. If (time is in1mf2) and (voltage is in2mf3) and (BOD is in3mf2) and (TSS is in4mf3) then (COD is out1mf51)
68. If (time is in1mf3) and (voltage is in2mf2) and (BOD is in3mf2) and (TSS is in4mf2) then (COD is out1mf68)
81. If (time is in1mf3) and (voltage is in2mf3) and (BOD is in3mf3) and (TSS is in4mf3) then (COD is out1mf81)

جدول ۱- خلاصه نتایج متغیرهای کمی شاخص‌های فاضلاب

	فاضلاب لبنی اولیه	فاضلاب خام لبنی پس از ۱۲ ساعت ماند	سطح مجاز استاندارد ملی
غلظت COD فاضلاب (mg/L)	۷۶۴۵±۶۹۹	۶۰۴۱± ۱۷۹	۶۰
غلظت BOD_5 فاضلاب (mg/L)	۳۳۷۹ ± ۱۴۵	۲۹۷۴ ± ۸۰	۳۰
مجموع مواد جامد معلق (TSS*)(mg/L)	۱۸۴۱ ± ۷۱	۶۲۸ ± ۱۳	۶۰
pH	۷/۵ ± ۰/۰۳۲	۷/۱۸ ± ۰/۰۲	۶/۵–۸/۵

* Total Suspended Solids

جدول ۲- مقایسه اثر نوع و تعداد تابع بر دقت ضریب تبیین

میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین آزمایش	ضریب تبیین اعتبارسنجی	نوع تابع عضویت	تعداد تابع عضویت مربوطبه متغیرهای ورودی
۰/۱۹	۰/۹۴۴	۰/۹۳۸۸	مثلثی	۲ ۲ ۲ ۲ ۲
۰/۱۵	۰/۹۴۹	۰/۹۳۱	مثلثی	۳ ۳ ۳ ۳ ۳
۰/۰۸	۰/۹۵۶	۰/۹۴۸	زنگی شکل	۲ ۲ ۲ ۲ ۲
۰/۰۱۲	۰/۹۷۶	۰/۹۸۸	زنگی شکل	۳ ۳ ۳ ۳ ۳

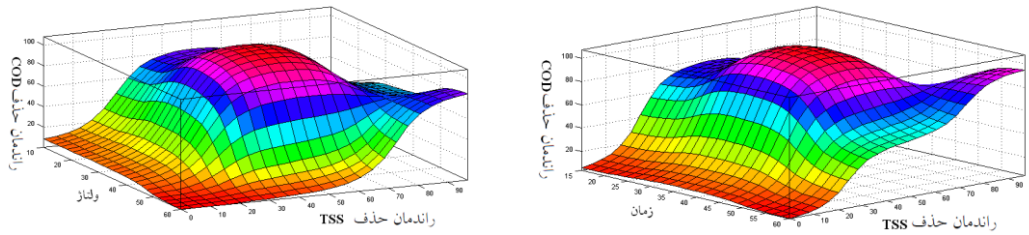
جدول ۳- ساختار نهایی استنتاج فازی عصبی تطبیقی (انفیس) به‌کارگیری شده در مدل

تعداد توابع عضویت برای ورودی # COD	۳	تعداد شاخص‌های غیر خطی	۳۶
تعداد توابع عضویت برای ورودی # زمان	۳	تعداد کل شاخص‌های	۱۱۷
تعداد توابع عضویت برای ورودی # ولتاژ	۳	نوع توابع عضویت	زنگی شکل
تعداد توابع عضویت برای ورودی # TSS	۳	تعداد قوانین	۸۱

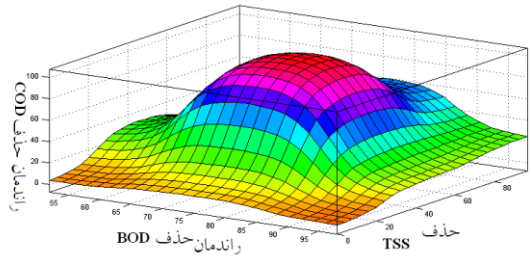
www.SID.ir

Archive of SID

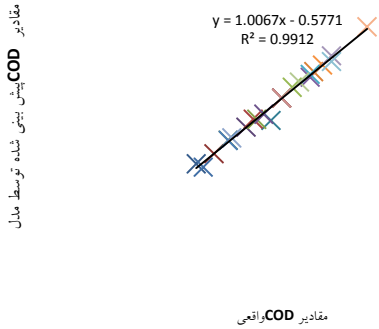
تعداد شاخص‌های خطی	۸۱	تابع خروجی	خطی
تعداد گره	۱۹۳	تعداد دوره‌های آموزشی	۳۰۰



شکل ۳- قسمتی از قوانین مدل پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب



شکل ٤- تأثیرگذاری پارامترهای فیزیکوشیمیایی بر کارآیی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی



شکل ٥- همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده COD فاضلاب

ضریب رگرسیون مقادیر COD فاضلاب واقعی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل در این مطالعه در شکل ۴ ارایه شده است. این مقادیر تقریباً نزدیک به هم بوده و دارای انطباقی قابل‌قبول هستند که نشان‌دهنده کارآیی و دقت مدل ارایه‌شده برای پیش‌بینی COD فاضلاب می‌باشد. البته تا به حال مدل مناسبی برای پیش‌بینی کارآیی فرآیند تصفیه فاضلاب لبنی با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی ارایه نشده است اما در برخی از تحقیقات به بررسی عوامل مؤثر بر کارآیی روش انعقاد الکتریکی پرداخته شده است. در این زمینه کندو و همکاران کارآیی تصفیه فاضلاب کشتارگاه را با چند راکتور متوالی در کاهش COD با دقت (R^2=۰/۹۶ و MSE=۲/۸) و حذف ترکیباتی نیتروژنی با دقت (R^2=۰/۹۵۸ و MSE=۱/۶۳) مدل‌سازی کردند که با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد البته مدل شبکه انفیس (استفاده شده در این مطالعه) نسبت‌به آن‌ها از دقت بالاتری (با ضریب تبیین ۰/۹۹) برخوردار بود. در مطالعه‌ایی دیگر گایا و همکاران کارآیی تصفیه بیولوژیکی فاضلاب خانگی را با سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی (انفیس) در کاهش COD با دقت (R^2=۰/۹۹ و RMSE=۰/۰۰۲۶) و در حذف ترکیباتی نیتروژنی با دقت (R^2=۰/۹۹۱ و RMSE=۰/۰۰۲) مدل‌سازی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل ارایه شده می‌تواند جانشین بسیار قدرتمندی برای سایر مدل‌های آماری قدیمی باشد. در واقع یافته‌های تحقیق نشان داد که مدل مذکور مبتنی‌بر داده‌های ورودی می‌تواند برآورد بسیار مناسبی از تصفیه فاضلاب کارخانه شیر داشته باشد.

بحث

در این پژوهش، امکان پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب لبنی به‌روش انعقاد الکتریکی با استفاده از سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی (انفیس) بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که سامانه انفیس، ابزار مفیدی برای مدل‌سازی پیش‌بینی کارآیی تصفیه فاضلاب شیر پاستوریزه و یافتن نگاشت غیرخطی میان شاخص‌های کیفی فرآیند تصفیه فاضلاب است. در این مطالعه چندین مدل انفیس برای پیش‌بینی خواص COD فاضلاب انتخاب شده با استفاده از مقادیر شاخص‌های زمان، ولتاژ، TSS، BOD و COD ارایه شد و همه مدل‌ها کارآیی خوبی با مقادیر R^2 بیش از ۰/۸داشته و دارای میانگین مجذور مربع خطای مطلوبی بودند. مدل‌های با بیشترین مقدار R^2 و حداقل خطا به‌عنوان بهترین مدل‌ها در نظر گرفته می‌شوند. علاوه‌بر ویژگی‌های عنوان‌شده، این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری مناسب برای پیش‌بینی خروجی به ازای ورودی‌های موجود استفاده شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

References

1. Borbón B, Oropeza-Guzman MT, Brillas E, Sirés I. Sequential electrochemical treatment of dairy wastewater using aluminum and DSA-type anodes. Environmental Science and Pollution Research 2014;21:8573-84. doi: 10.1007/s11356-014-2787-x
2. Bensadok K, Benammar S, Lapicque F, Nezzal G. Electrocoagulation of cutting oil emulsions using aluminium plate electrodes. Journal of Hazardous Materials 2008;152: 423-30. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.06.121
3. Daneshvar N, Oladegaragoze A, Djafarzadeh N. Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters. Journal of Hazardous Materials 2006;129:116-22. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.08.033
4. Bazrafshan E, Moein H, Kord Mostafapour F, Nakhaie S. Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. Journal of Chemistry 2013;2013:1-8. doi: 10.1155/2013/640139
5. Bazrafshan E, Mostafapour FK, Farzadkia M, Ownagh KA, Mahvi AH. Slaughterhouse wastewater treatment by combined chemical coagulation and electrocoagulation process. PloS One 2012;7:e40108. doi: 10.1371/journal.pone.0040108
6. Curteanu S, Piuleac CG, Godini K, Azaryan G. Modeling of electrolysis process in wastewater treatment using different types of neural networks. Chemical Engineering Journal 2011;172: 267-76. doi: 10.1016/j.cej.2011.05.104
7. Gaya MS, Wahab NA, Sam YM, Samsudin SI. ANFIS modelling of carbon and nitrogen removal in domestic wastewater treatment plant. Jurnal Teknologi 2014;67:29-34. doi: 10.11113/jt.v67.2839
8. Hernández-Ramírez DA, Herrera-López EJ, editors. Artificial neural network modeling of slaughterhouse wastewater removal of COD and TSS by electrocoagulation. In: Advance Trends in Soft Computing. Springer International pub;2014.p.273-80; doi: 10.1007/978-3-319-03674-8_26
9. Kundu P, Debsarkar A, Mukherjee S. Artificial neural network modeling for biological removal of organic carbon and nitrogen from slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor. Advances in Artificial Neural Systems 2013;2013:1-15. doi: 10.1155/2013/268064
10. Tay JH, Zhang X. A fast predicting neural fuzzy model for high-rate anaerobic wastewater treatment systems. Water Research 2000;34:2849-60. doi: 10.1016/S0043-1354(00)00057-9
11. Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC 1998, 1268.
12. Jang JSR, Sun CT, editors. Neuro-fuzzy and soft computing: A Computational approach to learning and machine intelligence. United States: Prentice Hall pub;1997. doi: 10.1109/TAC.1997.633847

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Knowledge & Health 2016; Vol 11, No 3
Shahroud University of Medical Sciences

DOI: 10.22100/jkh.v11i3.1398

Original Article

Modeling of Treatment of Dairy Wastewaters by Electrocoagulation Process Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Mohammad Abdollahzadeh (M.Sc.)[1], Roshanak Rafiei Nazari (Ph.D.)[2], Negar Abasi Bastami (B.Sc.)[3], Ebrahim Esmaeili (M.Sc.)[4], Mojtaba Raeisi (Ph.D.)[5], Majid Arabameri (M.Sc.)[6*]

1- Vice-Chancellery of Food and Drug, sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran.
2- Dept. of physics, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
3- School of Medicine, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran.
4- Vice-Chancellery of Food and Drug, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran.
5- Cereal Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran.
6- Vice-Chancellery of Food and Drug, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran.

Received: 15 February 2016**, Accepted:** 16 May 2016

Abstract:

Introduction: *Forecasting of the wastewater quality parameters has great importance in modern wastewater treatment methods. One of the main problems in predicting the efficacy of a wastewater treatment is the complexity of physicochemical properties of raw sewage and data differences for different reasons. Modeling of wastewater treatment using Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)- can help to improve wastewater quality control process. The aim of the study was to modeling of treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation process using ANFIS.*
Methods: *In this study, ANFIS was used to estimate the chemical coagulation of dairy wastewater treatment. The input parameters to the ANFIS model were time, voltage, total suspended solids and boichemical oxygen demand and the output was chemical oxygen demand removal efficiency. Also the membership functions, the number of membership functions and number of learning cycles (Epochs) were used for optimization of different models by trial and error.*
Results: *The best model was assessed by bell-shaped membership functions with number of membership functions as 3 3 3 3 3 and 300 epochs of training with lowest mean square error(MES) and the best coefficient of determination (R2). The coefficient of determination and MSE of the best ANFIS model were 0.9912 and 0.012, respectively.*
Conclusion: *Analysis of the model revealed that the ANFIS is a powerful tool to predict the dairy wastewater treatment using electrical coagulation.*

Keywords: Dairy wastewater, Adaptive neuro fuzzy inference system, Electrocoagulation.

Conflict of Interest: No
***Corresponding author:** M. Arabameri**, Email:** majid.arabamerei@gmail.com*

Citation: Abdollahzadeh M, Rafiei Nazari R, Abasi Bastami N, Esmaeili E, Raeisi M, Arabameri M. Modeling of treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation process using adaptive neuro-fuzzy inference system. Journal of Knowledge & Health 2016;11(3):32-39.

www.SID.ir