Research Paper

Modeling of Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater Using Ash and Rice Husk with Fuzzy Logic

Abdolhamid Ansari[1]*, Sadegh Ameri[2]
1. Ansari, Abdolhamid, Assistant Professor, Department of Petroleum Engineering, Lamerd Branch, Islamic Azad University, Lamerd, Iran
2. Ameri, Sadegh, Former M.Sc. Student of chemical engineering, Lamerd Branch, Islamic Azad University, Lamerd, Iran

Received: 2019/05/14
Revised: 2020/12/05
Accepted: 2021/10/25

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2022.21378.2151

Keywords:
Biological treatment, wastewater, fuzzy logic, removal of heavy metals, rice husk.

Abstract

Introduction: The expansion of industries in the world, the limitation of resources and the increasing consumption of water have led researchers to pay more attention to wastewater treatment than in the past. Wastewater treatment is done in order to stabilize the produced organic matter, reuse water and solid materials resulting from wastewater treatment, and also to be able to discharge the waste water into the environment and protect the environment.

Methods: This research has been investigated with the method of biological treatment information modeling using fuzzy logic. One of the cost-effective methods for purifying the sanitary wastewater of the refinery is modeling using the fuzzy logic method. Fuzzy inference systems are a popular computing framework based on the concept of fuzzy sets, if-then rules, and fuzzy reasoning. This category of systems has a successful application in the fields of automatic control, data classification, decision analysis, expert systems, time series prediction, robotics and pattern recognition. In this research, MATLAB R2012 software has been used for fuzzy logic modeling by Mamdani method. Information obtained from the tables in the article "H.A. Hegazi. 2013".

Findings: By examining all the diagrams and models, we found that the modeling done is reliable and can be used to obtain the results of other experiments without conducting experiments. Also, the best operating conditions can be called rice husk adsorbent concentrations of 50, 60, 60, 60, 60, for the removal of Fe, Pb, Cd, Cu and Ni metals. For the ash absorbent, the absorbent concentrations of 60, 60, 60, 50, and 60, respectively, were called optimal absorbent concentrations for metals. Also, among the two absorbents, rice husk is a better absorbent. The accuracy of the model was reached around 95% and proved the reliability of the model. It can also be concluded that ash and rice husk worked very well as natural absorbents and the removal efficiency was up to 90%.

Citation: Ansari A, Ameri S. Modeling of removal of heavy metals from industrial wastewater using ash and rice husk with fuzzy logic. Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(54): 57-68.

***Corresponding author:** Abdolhamid Ansari
Address: Ansari, Abdolhamid, Assistant Professor, Department of Petroleum Engineering, Lamerd Branch, Islamic Azad University, Lamerd, Iran
Tell: +989177817649
Email: Abdolhamida61@Gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Today, the preservation of water resources, the most vital substance that mankind needs, has been increasingly paid attention to by various international forums. The ever-increasing of the population and as a result the over-exploitation of limited water resources on the one hand and their pollution due to various human biological, agricultural and industrial activities have the alarm of water crisis in the coming years. This is significant from two general aspects: 1- Increasing the quality of water that must be used for various purposes, which has been influenced by three major factors. a). The increase of pollutants in the natural source of water. b). Quality tests of water and sewage. c). The standard indexed of drinking water. 2- Increasing the quality of various urban, rural, agricultural and industrial treated wastewater. Heavy metals are dangerous to the environment and human due to their toxicity. Many industrial and metallurgical processes such as electroplating, photography, aviation industries, nuclear energy and petrochemical facilities have caused the discharge of heavy metals into water sources. Among these metals, lead and cadmium are a serious threat to living organisms, even in low concentrations, due to their accumulative, carcinogenic and mutagenic properties. Among the heavy metals found in industrial wastewater, we can mention zinc, cobalt, copper, nickel, mercury, cadmium, lead and chromium. Wastewater treatment is a set of measures that are used to remove or reduce the pollutants in the wastewater so that the produced wastewater can be safely and safely reused. One of the cost-effective methods for purifying the sanitary wastewater of the refinery is modeling using the fuzzy logic method.

Materials and Methods

This research has been investigated with the method of biological treatment information modeling using fuzzy logic. Fuzzy inference is a process in which the mapping from inputs to outputs is regulated using fuzzy logic. According to the mapping done, a decision is made, or a pattern is recognized. We have two types of fuzzy inference systems. These two types are Mamdani and Sogno. These two types of fuzzy inference systems are different in relation to the method of determining the outputs. In Mamdani inference, the output membership functions of the fuzzy set must be de-fuzzified. This may be more optimal in many cases than using an output membership function known as single output membership function. This method increases the efficiency of the non-phase process; Because it greatly reduces the required calculations. Modeling in MATLAB can be done in different ways, the purpose of the work was to model the data by Mamdani method. formation obtained from the tables in the article "H.A. Hegazi. 2013".

Findings

After performing the modeling by fuzzy logic method, the accuracy of the model should be measured, for this we compare the model answers with the laboratory answers. The model has given an answer for each condition separately, and if we compare this answer with the available information, we can get the error of the model both in absolute and relative terms. As it has been observed, the error for iron and cadmium in high absorbent concentration was about 16%, which shows the high accuracy of the model. By examining all the diagrams and models, we found that the modeling done is reliable and can be used to obtain the results of other experiments without conducting experiments. Also, the best operating conditions can be called rice husk adsorbent concentrations of 50, 60, 60, 60, 60, for the removal of Fe, Pb, Cd, Cu and Ni metals. For other adsorbents, the adsorbent concentrations of 60, 60, 60, 50 and 60, respectively, were called optimal adsorbent concentrations for metals. Also, among the two absorbents, rice husk is a better absorbent.

Discussion

One of the cost-effective methods for purifying the sanitary wastewater of the refinery is modeling using the fuzzy logic

method. Fuzzy inference systems are a popular computing framework based on the concept of fuzzy sets, if-then rules, and fuzzy reasoning. This category of systems has a successful application in the fields of automatic control, data classification, decision analysis, expert systems, time series prediction, robotics and pattern recognition.

Conclusion

Finally, the accuracy of the model was obtained at about 95% and proved the reliability of the model. It can also be concluded that ash and rice husk worked very well as natural absorbents and the removal efficiency was up to 90%.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Abdolhamid Ansari, Sadegh Ameri
Methodology and data analysis: Abdolhamid Ansari, Sadegh Ameri
Supervision and final writing: Abdolhamid Ansari, Sadegh Ameri

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مدل سازی حذف فلزات سنگین از پساب صنعتی با استفاده از خاکستر و پوسته برنج با منطق فازی

عبدالحمید انصاری [۱*]، صادق عامری [۲]
۱. انصاری، عبدالحمید،استادیار گروه مهندسی نفت، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی،لامرد، ایران
۲. عامری، صادق، دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی،لامرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲٤
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۸/۰۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI: 10.30495/wej.2022.21378.2151

واژه‌های کلیدی:
تصفیه بیولوژیکی، پساب، منطق فازی، حذف فلزات سنگین، پوسته برنج.

چکیده

مقدمه: گسترده شده صنایع در جهان، محدودیت منابع و مصرف روز افزون آب محققین را برآن داشته است که تصفیه فاضلاب‌ها، نسبت به گذشته مورد توجه بیشتر قرار گیرند. تصفیه فاضلاب، به منظور تثبیت مواد آلی تولیدی، استفاده مجدد از آب و مواد جامد ناشی از تصفیه فاضلاب و همچنین قابل تخلیه کردن پساب در محیط و محافظت از محیط زیست انجام می‌پذیرد.

روش: این تحقیق با روش مدل‌سازی اطلاعات تصفیه بیولوژیکی با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از روش‌های مقرون به صرفه برای تصفیه پساب بهداشتی پالایشگاه مدل‌سازی با استفاده از روش منطق فازی است. سیستم‌های استنتاج فازی یک چهار چوب محاسباتی پرطرفدار بر مبنای مفهوم مجموعه‌های فازی، قواعد if-then و استدلال فازی هستند. این دسته از سیستم‌ها دارای کاربرد موفقی در زمینه‌های کنترل خودکار، طبقه‌بندی داده‌ها، تحلیل تصمیم، سیستم‌های خبره، پیش‌بینی سری‌های زمانی، رباتیک و تشخیص الگوها هستند. در این تحقیق از نرم‌افزارMATLAB R2012 برای مدل‌سازی منطق فازی به روش ممدانی استفاده گردیده است. اطلاعاتی که از جدول‌ها در مقاله " H.A. Hegazi. 2013 "به دست آمده است.

یافته‌ها: با بررسی کلیه‌ی نمودارها و مدل دریافتیم که مدل‌سازی انجام شده قابل اتکا بوده و می‌توان از آن برای بدست آوردن نتیجه‌ی آزمایش‌های دیگر بدون انجام آزمایشات استفاده نمود. همچنین بهترین شرایط عملیاتی را می‌توان غلظت‌های جاذب پوسته برنج ۵۰، ۶۰ ،۶۰ ،۶۰ ،۶۰ برای حذف فلزات Fe، Pb، Cd، Cu و Ni نامید. برای جاذب خاکستر غلظت های جاذب ۶۰ ،۶۰ ،۶۰ ۵۰ و ۶۰ به ترتیب برای فلزات غلظت بهینه جاذب نامید. همچنین از بین دو جاذب، پوسته برنج جاذب بهتری می‌باشد.

نتیجه‌گیری: دقت مدل در حدود ۹۵٪ به دست آمد و قابل اعتماد بودن مدل را ثابت کرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که خاکستر و پوسته برنج به عنوان جاذب‌های طبیعی بسیار خوب عمل کرده و بازده حذف تا حدود ۹۰٪ به بالا داشته است.

* **نویسنده مسئول:** عبدالحمید انصاری
نشانی: انصاری، عبدالحمید،استادیار گروه مهندسی نفت، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی،لامرد، ایران
تلفن: ۰۹۱۷۷۸۱۷۶۴۹
پست الکترونیکی: Abdolhamida61@Gmail.com

مقدمه

فلزات سنگین به دلیل سمی بودن برای محیط و زندگی بشری خطرناک هستند به همین دلیل این فلزات برای محیط نگرانی مهمی می‌باشند. بسیاری از فرایندهای صنعتی و متالورژی همچون آبکاری، عکاسی، صنایع هوانوردی، تسهیلات انرژی اتمی و پتروشیمی باعث تخلیه فلزات سنگین به منابع آبی شده است. از میان این فلزات، سرب و کادمیوم با خاصیت تجمع‌پذیری، سرطان‌زایی و جهش‌زایی، حتی در غلظت‌های پایین برای موجودات زنده تهدید جدی به شمار می‌روند. از فلزات سنگین موجود درون فاضلاب صنایع می‌توان به روی، کبالت، مس، نیکل، جیوه، کادمیوم، سرب و کروم اشاره کرد. کادمیوم یکی از بیشترین فلزات سنگین سمی غیر ضروری موجود در محیط می‌باشد و مقدار مجاز آن درون فاضلاب و آب‌های آشامیدنی بترتیب برابر mg/l ۰/۱ و ۰/۰۵ می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که سازمان جهانی سلامت[1] مقدار مجاز یون نیکل و سرب را نیز درون آب‌های آشامیدنی گزارش داده است که مقدار مجاز یون نیکل و سرب به ترتیب mg/L ۰/۵ و µg/L ۱۰ می‌باشد. فلزات سنگین برای سلامت زندگی موجودات زنده و همچنین بشر خطرناک می‌باشند و می‌توانند باعث امراض و مشکلات گوناگونی شوند. به عنوان مثال فلز کادمیوم می‌تواند باعث آسیب رساندن به کلیه‌ها، نارسایی ریه، سرطان، تغییر ساختمان و وضع طبیعی استخوان‌ها و خون شود. همچنین نیکل نیز یکی از آلودگی‌های سمی رایج است و در حالت مسمومیت حاد می‌تواند باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، استفراغ، درد قفسه سینه و تنگی نفس، سرفه خشک، تورم پوست، تنفس سریع، سیانوزیس و در نهایت موجب ضعف گردد. بنابراین با توجه به آثار زیان بار یون نیکل برای انسان و سایر موجودات زنده باید غلظت آن درون فاضلاب صنایع و آب‌های آشامیدنی کاهش یابد.

در قوانین و مقررات زیست محیطی توجه ویژه‌ای بر آگاهی‌های عمومی در خصوص آلودگی آب وجود دارد. این موضوع لزوم ساختن تصفیه خانه‌های فاضلاب جدید را نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرایند تصفیه است. به طور معمول در برخی از کشورهای در حال توسعه، ارزیابی گزینه‌های تصفیه تنها بر اساس معیار اقتصادی صورت می‌گیرد. در سال‌های گذشته، مطالعات و مدل‌های بهینه‌سازی زیادی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب ارائه شده که بیشتر آنها تنها هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را مورد توجه قرار داده‌اند. اما، گزینه با حداقل هزینه، ممکن است بهترین گزینه نباشد. انتخاب بهترین فرایند تصفیه معمولا پیچیده بوده، دارای عدم قطعیت‌های زیادی است. اگرچه تنوع تصفیه خانه‌های فاضلاب، به خصوص از نظر ظرفیت و شرایط خاص محلی اجازه نمی‌دهد که در انتخاب فرایند تصفیه یک حکم کلی مطرح شود که در تمام موارد صادق و کاربردی باشد، ولی از نظر اولویت در انتخاب فرایند تصفیه، ممکن است نکاتی ملاک عمل قرار گیرد که در بیشتر تصفیه خانه‌ها قابل استفاده باشد. هر چند انتخاب بهترین فرایند برای تصفیه فاضلاب دارای اهمیت است، اما در این راستا مطالعات کمی با استفاده از تکنیک‌های علمی و ریاضی صورت گرفته است .[۱و۲]

امروزه حفظ منابع آب، یعنی حیاتی‌ترین ماده‌ای که بشر به آن نیاز دارد بطور فزاینده‌ای مورد توجه مجامع مختلف بین‌المللی قرار گرفته است. رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد از منابع محدود آب از یک طرف و آلوده شدن آنها بسبب فعالیت‌های گوناگون زیستی، کشاورزی و صنعتی بشر از طرف دیگر همگی دست به دست همدیگر داده و زنگ خطر بحران آب را در سال‌های آینده به صدا در آورده است. این مهم از دو جنبه کلی قابل توجه است: [۱و۳و۴]

۱–افزایش کیفیت آبی که باید به مصارف گوناگون برسد که تحت تاثیر سه عامل عمده بوده است. الف) افزایش آلاینده‌ها در منبع طبیعی آب. ب)آزمایش‌های کیفی آب و فاضلاب با دقت بالا. ج) افزایش سطح استاندارد آب آشامیدنی.

۲–افزایش کیفیت فاضلاب تصفیه شده گوناگون شهری، روستایی، کشاورزی و صنعتی.

فاضلاب (پساب)

فاضلاب چیست؟ همه جوامع، هم به صورت جامد و هم به صورت مایع، فضولات تولید می‌کنند . بخش مایع این فضولات، یا فاضلاب، اساساً آب مصرفی جامعه است که در نتیجه کاربردهای مختلف آلوده شده است. از نظر منابع تولید، فاضلاب را می‌توان ترکیبی از مایع یا فضولاتی دانست که توسط آب از مناطق مسکونی، اداری و تاسیسات تجاری و صنعتی حمل شده و بر حسب مورد، با آبهای زیرزمینی، آب‌های سطحی و سیلاب‌ها آمیخته است. در یک سیستم تصفیه فاضلاب ابتدایی‌ترین کار یافتن روش تصفیه مطلوب با توجه به نیازهای ماست. گاهی نیاز به نوعی جداسازی فیزیکی و شیمیایی داریم که بتواند با هزینه کمتر حجم زیادی از فاضلاب را پالایش کند و گاهی نیز برای موارد با حساسیت بالا باید بسیاری از گندزدایی‌ها با روش‌های بیولوژیک اجرا شود.[۵ و۶]

مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده فاضلاب معمولا عبارتنداز: جامدات معلق، مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی، عوامل بیماری‌زا و مواد بی‌اثر مثل ذرات خاک که از طریق جذب مواد آلی در سطح خود باعث ایجاد آلودگی می‌شوند. فرآیندهای سنتی تصفیه فاضلاب به منظور کاهش جامدات معلق، مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی و عوامل بیماری‌زا تا میزان قابل قبول پیش از دفع به محیط زیست طراحی شده‌اند و در صورتی که قرار باشد فاضلاب به یک اکوسیستم حساس تخلیه شود، ممکن است استفاده از فرایندهای اضافی در تصفیه فاضلاب به منظور کاهش میزان مواد مغذی و آلاینده‌ها، مورد نیاز باشد. پساب دارای مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیست شناسی فاضلاب است.[۷]

تصفیه فاضلاب:

تصفیه فاضلاب عبارت است از مجموعه اقداماتی که جهت زدایش یا کاهش مواد آلاینده موجود در فاضلاب بکار می‌رود بطوری که از پساب

[1] WHO, s

تولیدی بتوان سالم و مطمئن استفاده مجدد نمود. در مجموع، اهداف تصفیه فاضلاب شامل حفاظت بهداشت عمومی جامعه و جلوگیری از انتشار بیماری‌های واگیردار، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده و برطرف شدن مشکل حاد دفع فاضلاب ساکنین شهرها و روستاها می‌باشد. تصفیه فاضلاب‌های شهری عمدتا به طریق بیولوژیکی انجام می‌شود. پنج گروه اصلی از فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب شامل فرآیندهای هوازی، آنوکسیک، بی‌هوازی، مرکب (بی‌هوازی–هوازی–آنوکسیک) و برکه‌ای می‌باشد. عمده‌ترین فرآیندهای بیولوژیکی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب عبارت از فرآیند لجن فعال، لاگون هوادهی، صافی چکنده، تماس دهنده‌های بیولوژیکی دوار و برکه‌های تثبیت می‌باشد.[۸و۱۱و۱۲]

منطق فازی چیست؟

منطق فازی[۲] (FL) دارای دو معنای متفاوت می‌باشد. در معنای اول که دارای دید محدودتری است، منطق فازی یک سیستم منطقی است که از منطق چند مقداری منتج شده است؛ اما در معنای گسترده‌تر تقریبا مترادف با تئوری مجموعه‌های فازی می‌باشد. تئوری مجموعه‌های فازی با کلاس‌هایی از اشیاء با مرزدهی غیر برجسته در ارتباط است. در این کلاس‌ها عضویت اشیاء در هر یک از کلاس‌ها با مفهومی تحت عنوان درجهٔ عضویت توصیف می‌شود.

یک مفهوم اساسی دیگر که نقش کلیدی را در بسیاری از کاربردهای منطق فازی ایفا می‌کند، قاعده if-then فازی و یا به شکل ساده‌تر یک قاعدهٔ فازی می‌باشد. اگرچه سیستم‌های قاعده مبنا، دارای پیشینه تاریخی زیادی در هوش مصنوعی هستند، اما این سیستم‌ها فاقد یک سازوکار برای رویارویی با فرض‌ها و نتایج فازی هستند. در منطق فازی، این سازوکار از طریق جبر فازی فراهم شده است. جبر قواعد فازی به عنوان پایه و اساس وابستگی فازی و زبان دستور ایفای نقش می‌کند. در واقع در اکثر کاربردهای منطق فازی یک راه حل فازی عبارت است از ترجمهٔ راه حل ارائه شده توسط انسان به زبان دستور.[۱۰ و۹]

پیشینه منطق فازی

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار پرفسور لطفی‌زاده در رساله‌ای به نام "مجموعه‌های فازی اطلاعات و کنترل" در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. از آن زمان تاکنون، پرفسور لطفی‌زاده به دلیل معرفی نظریه بدیع و سودمند منطق فازی و تلاش‌هایش در این زمینه، موفق به کسب جوایز بین‌المللی متعددی شده است. پس از معرفی منطق فازی به دنیای علم، در ابتدا مقاومت‌های بسیاری در برابر پذیرش این نظریه صورت گرفت.
[۱۳ و۱۴]

کاربرد منطق فازی در تصفیه فاضلاب

یکی از روش‌های مقرون به صرفه برای تصفیه پساب بهداشتی پالایشگاه مدل‌سازی با استفاده از روش منطق فازی است. سیستم‌های استنتاج فازی یک چهار چوب محاسباتی پرطرفدار بر مبنای مفهوم مجموعه‌های فازی، قواعد if-then و استدلال فازی هستند. این دسته از سیستم‌ها دارای کاربرد موفقی در زمینه‌های کنترل خودکار، طبقه‌بندی داده‌ها، تحلیل تصمیم، سیستم‌های خبره، پیش‌بینی سری‌های زمانی، رباتیک و تشخیص الگوها هستند. [۱۷و۱۶و۱۹]

سیستم‌های استنتاج فازی

استنتاج فازی فرایندی است که طی آن نگاشت از ورودی‌ها به خروجی‌ها با استفاده از منطق فازی ضابطه‌مند می‌گردد. با توجه به نگاشت انجام شده یک تصمیم اتخاذ شده، و یا یک الگو تشخیص داده می‌شود. ما دو نوع سیستم استنتاج فازی در اختیار داریم. این دو نوع عبارتند از ممدانی و سوگنو. این دو نوع سیستم استنتاج فازی در ارتباط با روش تعیین خروجی‌ها با هم متفاوت می‌باشند. سیستم‌های استنتاج فازی دارای کاربردهای موفقی در زمینه‌های کنترل خودکار، طبقه‌بندی داده‌ها، تحلیل تصمیم‌ها، سیستم‌های خبره و بینایی ماشین می‌باشند. به دلایل گستردگی این شاخه، سیستم‌های استنتاج فازی به چندین نام مختلف شناخته می‌شوند. از آن جمله می‌توان نام‌هایی نظیر سیستم‌های قاعده‌ی فازی‌مبنا، سیستم‌های خبره فازی، مدل‌سازی فازی، حافظه‌ی انجمنی فازی، کنترل کننده‌های منطق فازی و سیستم‌های فازی ساده اشاره نمود. روش استنتاج فازی ممدانی، رایج‌ترین روش شناسی فازی می‌باشد. روش ممدانی از جمله اولین تئوری‌های فازی مربوط به سیستم‌های کنترلی می‌باشد. این روش در سال ۱۹۷۵ توسط ابراهیم ممدانی در راستای کنترل یک ماشین بخار ابداع شد. این ابداع ممدانی برمبنای مقاله‌ای از پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۷۳ در ارتباط با الگوریتم‌های فازی در سیستم‌های پیچیده و فرایندهای تصمیم طرح شد.[۲۰و۲۱]

در استنتاج ممدانی توابع عضویت خروجی مجموعه‌ی فازی، باید غیر فازی گردد. این امر ممکن است در بسیاری از موارد نیز بهینه‌تر از استفاده از یک تابع عضویت خروجی‌که تحت عنوان تابع عضویت خروجی یگانه شناخته می‌شود، می‌باشد. این روش کارایی فرایند غیرفازی را افزایش می‌دهد؛ زیرا به شدت محاسبات مورد نیاز را کاهش می‌دهد.

مدل‌سازی

اطلاعات موجود در مدل‌سازی

اطلاعاتی که از جدول‌ها در مقاله " H.A. Hegazi. 2013 "به دست آمد به صورت جدول ۱ است. [۲۲]

[2] Fuzzy Logic

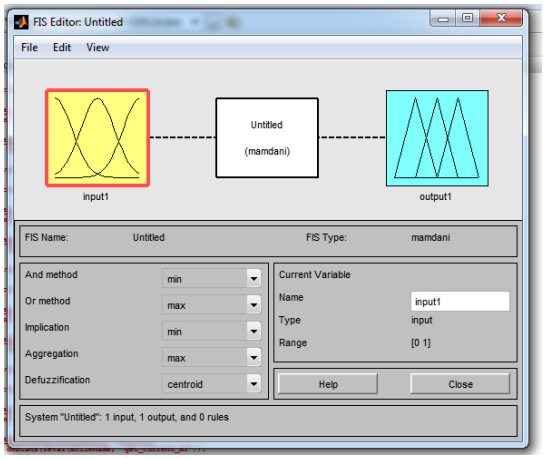
جدول ۱- اطلاعات به دست آمده از مقاله

(H.A. Hegazi. 2013)

	C- ads	C_{in}	Rice-Husk	Fly ash
Fe	۲۰	۱۱/۷۸	۳/۷	۶/۳۴
	۳۰	۱۱/۷۸	۲/۱	۴/۹
	۴۰	۷۸/۱۱	۱/۲	۴/۱
	۵۰	۱۱/۷۸	۰/۰۹	۲/۹۷
	۶۰	۱۱/۷۸	۰/۰۸۸	۱/۵۶
	C- ads	C_{in}	Rice-Husk	Fly ash
Pb	۲۰	۱/۱۷	۰/۹۱	۰/۹۲
	۳۰	۱/۱۷	۰/۶۶	۰/۷
	۴۰	۱/۱۷	۰/۳۸	۰/۴۶
	۵۰	۱/۱۷	۰/۲۸	۰/۳۳
	۶۰	۱/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۸
	C- ads	C_{in}	Rice-Husk	Fly ash
Cd	۲۰	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۳۶
	۳۰	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۳
	۴۰	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۲۳
	۵۰	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۱۸
	۶۰	۰/۴۸	۰/۱۵۴	۰/۱۲۷
	C- ads	C_{in}	Rice-Husk	Fly ash
Cu	۲۰	۵/۴۳	۴/۱	۳/۴
	۳۰	۵/۵۳	۲/۸۴	۱/۸۱
	۴۰	۵/۴۳	۱/۸۳	۱/۰۱
	۵۰	۵/۴۳	۱/۲۱	۰/۰۸۹
	۶۰	۵/۴۳	۰/۰۹۹	۰/۰۷۹
	C- ads	C_{in}	Rice-Husk	Fly ash
Ni	۲۰	۱/۷۴	۰/۰۸۹	۰/۰۹۵
	۳۰	۱/۷۴	۰/۰۷۱	۰/۰۸۵
	۴۰	۱/۷۴	۰/۰۶۵	۰/۰۷۶
	۵۰	۱/۷۴	۰/۰۵۸	۰/۰۷
	۶۰	۱/۷۴	۰/۰۵۳	۰/۰۶۹

روش مدل‌سازی

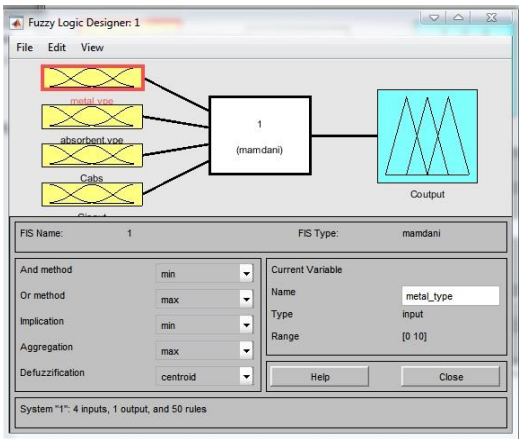
مدل‌سازی در متلب به روش‌های مختلفی می‌تواند انجام گیرد که هدف کار این بود که داده‌ها به روش Mamdani مدل شوند. برای این کار در Command Window دستور Fuzzy را اجرا می کنیم. یک پنجره باز می شود که محیط گرافیکی جعبه ابزار Matlab در مورد روش ذکر شده است. به صورت شکل ۱ می توان مشاهده نمود. بدلیل اینکه بیشتر از دو ورودی در شکل‌های پایانی قابل نمایش نیست داده‌های جدول ۱ را به سه مدل تبدیل می‌کنیم تا بتوان از نمودار سه بعدی نیز بهره برد. [۱۵و۱۶]



شکل ۱-نمای جعبه ابزار Fuzzy

مدل اول (مدل ضریب جذب نسبت به دما و زمان)

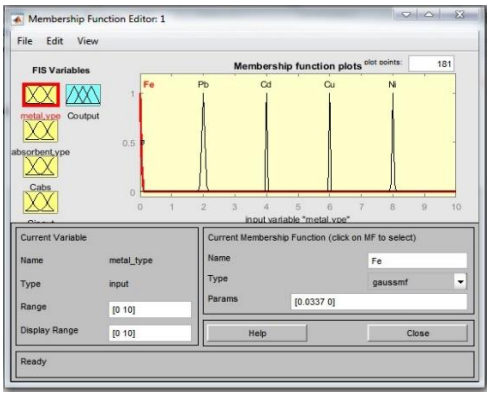
در این مدل داده های مربوط به دما و زمان را باید به عنوان ورودی و داده های مربوط به ضریب جذب را به عنوان خروجی وارد کرد. به همین دلیل دارای ۴ ورودی و ۱ خروجی هستیم. در شکل ۲ نمای کلی نشان داده شده است.



شکل ۲- نمای کلی مدل

ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از قسمت Edit اضافه می‌شوند. وارد هر ورودی و خروجی شده، نام و محدوده و توابع عضویت آن را تعریف می‌کنیم. هرچه تعداد توابع عضویت بیشتر باشد به طبع آن مدل دارای دقت بیشتری می‌تواند باشد. بهتر است مقدار بهینه‌ی توابع عضویت را استفاده کنیم. به همین دلیل داده‌ها را دسته‌بندی کرده. ابتدا بیشینه و کمینه آن را به دست آورده و داده‌ها را در چند زیر گروه قرار می‌دهیم (هر زیر گروه به معنای یک تابع عضویت می‌باشد)، مقدار میانگین هر زیر گروه را به دست آورده و آن را نقطه‌ی بیشینه در تابع عضویت قرار می‌دهیم. برای توابع ورودی از توابع عضویت گاوسی استفاده نموده و نقطه ی دارای بیشترین جمعیت را در دماهای مورد نظر برای ورودی دما قرار داده. همچنین برای ورودی زمان، زمان مورد نظر را برای بیشترین جمعیت قرار می‌دهیم. در شکل ۳ تقسیم‌بندی توابع عضویت برای دما نشان داده شده است. برای داده‌های خروجی نیز که داده‌های مربوط به درصد جذب فلزات هستند نیز سه خروجی داریم که داده‌ها را

در چند زیر گروه تقسیم‌بندی نموده و از توابع زینی یا gbellmf استفاده می‌کنیم. پس از این مرحله به قسمت قواعد این جعبه ابزار وارد شده و تک تک داده‌ها را مطابق جدول داده‌ها در این مدل تنظیم می‌کنیم. دقت مدل در تعیین این قواعد است که دقیق باشد. پس از این مرحله مدل تکمیل شده و از قسمت view می‌توان نمودارها را مشاهده کرده و نیز به ازای هر ورودی می‌توان خروجی دریافت نمود. [۱۷]



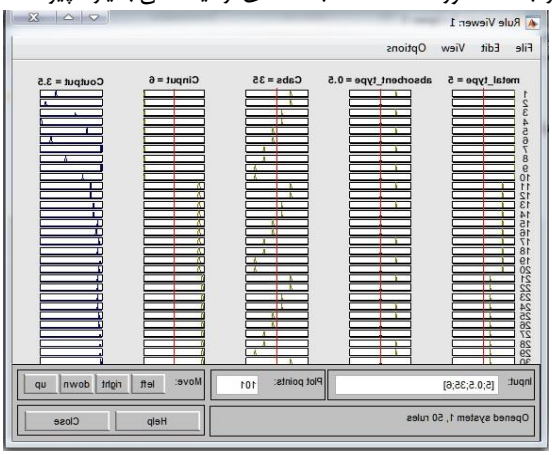
شکل ۳- تنظیم توابع عضویت مربوط نوع فلز

نتایج

پس از مدل‌سازی باید دقت مدل اندازگیری شود که برای این کار جواب‌های مدل را با جواب‌های آزمایشگاهی مقایسه می‌کنیم. سپس در مورد نمودارهای به دست آمده بحث خواهد شد.

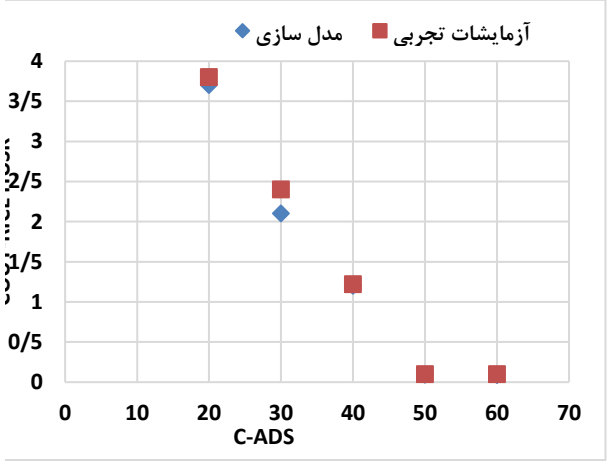
مدل منطق فازی

در شکل ۴، چهار ردیف اول نمودارها مربوط به ورودی‌ها و سه ردیف سمت راست مربوط به خروجی‌ها هستند که در بالای هر ستون نوشته شده است. در سمت چپ و پایین صفحه می‌توان هر ورودی که می‌خواهیم را وارد کرده و جواب مدل را دریافت نمود. به همین منظور در چند دما و زمان که داده‌های آزمایشگاهی نیز موجود می‌باشد جواب‌ها را به دست آورده که اختلاف با داده‌های آزمایشگاهی بسیار ناچیز است.



شکل ٤- مقایسه مدل با داده‌های تجربی

هر ردیف از مجموعه نمودارهای بالا مربوط به هر یک از قواعد تعریف شده برای مدل است. در شکل ۵ نتایج حذف آهن با استفاده از آزمایشات تجربی و مدل‌سازی نشان داده شده است. داده‌های قرمز مربوط به آزمایشات تجربی و داده‌های آبی رنگ مربوط به جواب‌های مدل می‌باشد.



شکل ۵- نتایج حذف آهن با استفاده از آزمایشات تجربی و مدل سازی

خطا و دقت مدل

پس از انجام مدل‌سازی به روش منطق فازی، مدل برای هر شرط به صورت مجزا یک پاسخ داده شده است و اگر این پاسخ را با اطلاعات موجود مقایسه کنیم، می‌توانیم خطای مدل را به صورت مطلق و هم به صورت نسبی به دست آورد.

در هر کدام از موارد خطا به دو صورت مطلق و نسبی محاسبه شده است. خطای مطلق برابر است با قدر مطلق مقدار تجربی و خروجی مدل. مقدار خطای نسبی نیز برابر است با خطای مطلق تقسیم بر مقدار تجربی. در اینجا برای هر مدل به بحث می‌پردازیم.

مدل جذب فلزات سنگین

در جدول ۱ داده‌های آزمایشات برای جذب فلزات سنگین، نشان داده شده است. از مدل منطق فازی به روش ممدانی نیز جواب‌هایی برای جذب فلزات سنگین به دست آمده است که در جدول ۲ به دست آمده است. می‌توان با مراجه به هر دو جدول هر داده را در مدل و واقعیت با یکدیگر مقایسه کرد.

خطا

با استفاده از فرمول زیر خطای نسبی به دست می‌آید:

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\text{داده مدل} - \text{داده تجربی}}{\text{داده تجربی}}$$

با توجه به فرمول خطای نسبی و داده‌های جدول‌های ۱ و ۲ میزان خطای نسبی در جدول ۳ آمده است. در شکل ۶ و ۷ نمودار خطای بین مدل و آزمایشات جذب فلزات آهن، سرب و کادمیم به ترتیب برای جاذب‌های پوسته برنج و خاکستر نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده شده است خطا برای آهن و کادمیم در غلظت جاذب بالا در حدود ۱۶٪ بوده است که نشان از دقت بالای مدل می‌دهد. در شکل ۸ و ۹ نمودار خطای جذب آهن برای جاذب های پوسته برنج و خاکستر

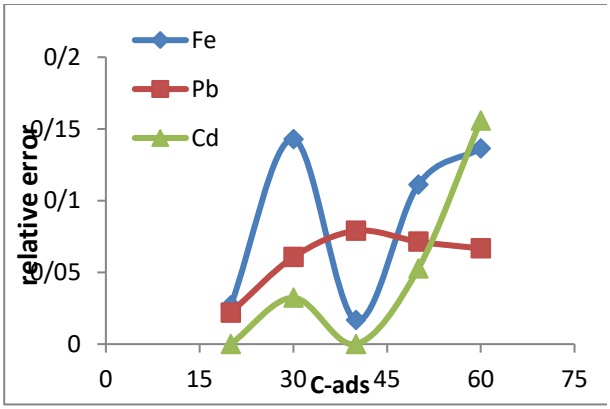
نشان داده شده است. از این نمودار برازش منحنی صورت گرفته است که میزان R^2 برابر ۱ می‌باشد که نشان از دقت بالای منحنی برازش شده می‌باشد. معادله این منحنی نیز نشان داده شده است.

جدول ۲ – داده های به دست آمده از مدل منطق فازی برای جذب فلزات سنگین

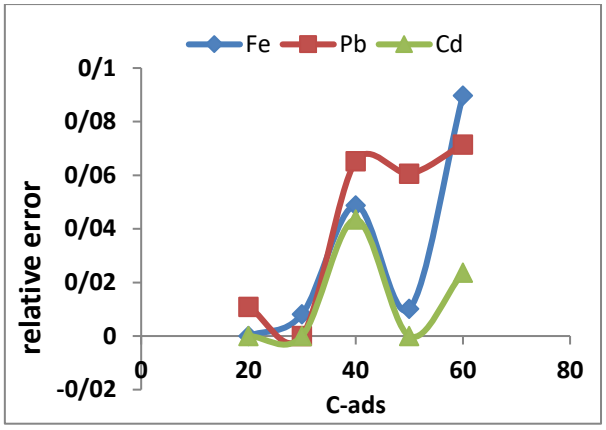
	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
Fe	۲۰	۱۱/۷۸	۳/۸	۶/۳۴
	۳۰	۱۱/۷۸	۲/۴	۴/۸۶
	۴۰	۱۱/۷۸	۱/۲۲	۴/۳
	۵۰	۱۱/۷۸	۰/۱	۳
	۶۰	۱۱/۷۸	۰/۱	۱/۷
Pb	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۱/۱۷	۰/۹۳	۰/۹۳
	۳۰	۱/۱۷	۰/۷	۰/۷
	۴۰	۱/۱۷	۰/۳۵	۰/۴۹
	۵۰	۱/۱۷	۰/۳	۰/۳۵
	۶۰	۱/۱۷	۰/۱۴	۰/۳
Cd	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۳۶
	۳۰	۰/۴۸	۰/۳	۰/۳
	۴۰	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۲۴
	۵۰	۰/۴۸	۰/۱۸	۰/۱۸
	۶۰	۰/۴۸	۰/۱۳	۰/۱۳
Cu	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۵/۴۳	۴	۳/۳
	۳۰	۵/۴۳	۲/۸	۱/۸
	۴۰	۵/۴۳	۱/۸	۱
	۵۰	۵/۴۳	۱/۲	۰/۰۸
	۶۰	۵/۴۳	۰/۱	۰/۰۸
Ni	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۱/۷۴	۱	۱
	۳۰	۱/۷۴	۰/۸	۰/۸
	۴۰	۱/۷۴	۰/۰۷	۰/۰۸
	۵۰	۱/۷۴	۰/۰۶	۰/۰۷
	۶۰	۱/۷۴	۰/۰۵	۰/۰۷
	۶۰	۱/۷۴	۰/۰۵	۰/۰۷

جدول ۳– خطای مدل سازی

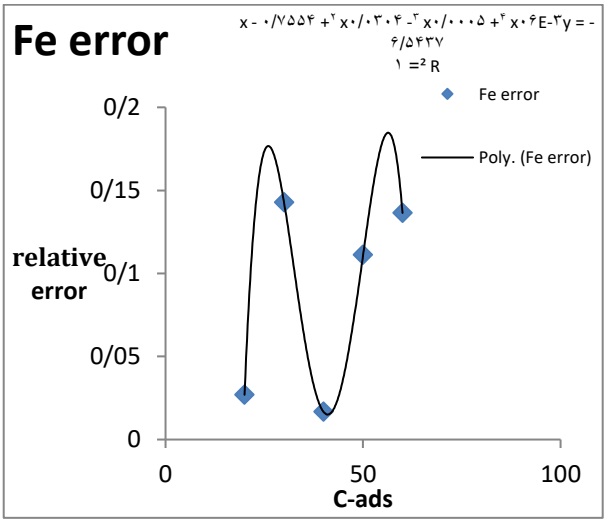
	C- ads	Cin	rice-husk	fly ash
Fe	۲۰	۱۱/۷۸	۰/۰۲۷۰۲۷	۰
	۳۰	۱۱/۷۸	۰/۱۴۲۸۵۷	۰/۰۰۸۱۶۳
	۴۰	۱۱/۷۸	۰/۰۱۶۶۶۷	۰/۰۴۸۷۸
	۵۰	۱۱/۷۸	۰/۱۱۱۱۱۱	۰/۰۱۰۱۰۱
	۶۰	۱۱/۷۸	۰/۱۳۶۳۶۴	۰/۰۸۹۷۴۴
Pb	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۱/۱۷	۰/۰۲۱۹۷۸	۰/۰۱۰۸۷
	۳۰	۱/۱۷	۰/۰۶۰۶۰۶	۰
	۴۰	۱/۱۷	۰/۰۷۸۹۴۷	۰/۰۶۵۲۱۷
	۵۰	۱/۱۷	۰/۰۷۱۴۲۹	۰/۰۶۰۶۰۶
	۶۰	۱/۱۷	۰/۰۶۶۶۶۷	۰/۰۷۱۴۲۹
Cd	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۰/۴۸	۰	۰
	۳۰	۰/۴۸	۰/۰۳۲۲۵۸	۰
	۴۰	۰/۴۸	۰	۰/۰۴۳۴۷۸
	۵۰	۰/۴۸	۰/۰۵۲۶۳۲	۰
	۶۰	۰/۴۸	۰/۱۵۵۸۴۴	۰/۰۲۳۶۲۲
Cu	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۵/۴۳	۰/۰۲۴۳۹	۰/۰۲۹۴۱۲
	۳۰	۵/۴۳	۰/۰۱۴۰۸۵	۰/۰۰۵۵۲۵
	۴۰	۵/۴۳	۰/۰۱۶۳۹۳	۰/۰۰۹۹۰۱
	۵۰	۵/۴۳	۰/۰۰۸۲۶۴	۰/۱۰۱۱۰۴
	۶۰	۵/۴۳	۰/۰۱۰۱۰۱	۰/۰۱۲۶۵۸
Ni	C- ads	Cin	Rice-Husk	Fly ash
	۲۰	۱/۷۴	۰/۱۰۲۳۵۹۶	۰/۹۵۲۶۳۱
	۳۰	۱/۷۴	۰/۱۰۲۶۷۶۱	۰/۸۴۱۱۷۶
	۴۰	۱/۷۴	۰/۰۷۶۹۲۳	۰/۰۵۲۶۳۲
	۵۰	۱/۷۴	۰/۰۳۴۴۸۳	۰
	۶۰	۱/۷۴	۰/۰۵۶۶۰۴	۰/۰۱۴۴۹۳



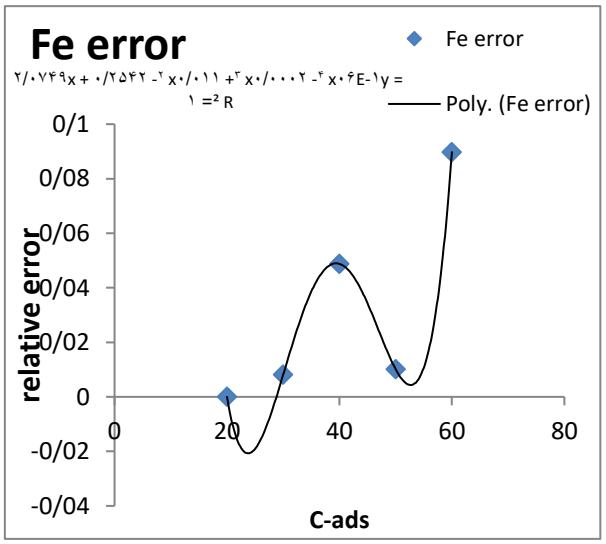
شکل ٦– نمودار خطا برای جاذب پوسته برنج



شکل ۷ – نمودار خطا برای جاذب خاکستر



شکل ۸– نمودار برازش شده از داده های خطای مدل و معادله آن(پوسته برنج)



شکل ۹– نمودار برازش شده از داده های خطای مدل و معادله آن(خاکستر)

نتیجه‌گیری

با بررسی کلیه‌ی نمودارها و مدل دریافتیم که مدل‌سازی انجام شده قابل اتکا بوده و می‌توان از آن برای بدست آوردن نتیجه‌ی آزمایش‌های دیگر بدون انجام آزمایشات استفاده نمود. همچنین بهترین شرایط عملیاتی را می‌توان غلظت‌های جاذب پوسته برنج ۵۰٪، ۶۰٪، ۶۰٪، ۶۰٪ برای حذف فلزات Fe، Pb، Cd، Cu و Ni نامید. برای جاذب دیگر غلظت های جاذب ۶۰٪، ۶۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ به ترتیب برای فلزات غلظت بهینه جاذب نامید. همچنین از بین دو جاذب، پوسته برنج جاذب بهتری می‌باشد.

پیشنهادات

با بررسی داده‌ها می‌توان پیشنهاد داد اگر آزمایش‌های مربوط به pH و جاذب های دیگر انجام شده بود می توانستیم مدلی تعریف کرد که شامل تمام متغیرها و اثرات تمام آن ها را بررسی نمود. در نتیجه ی آن می توانستیم شرایط اپتیمم عملیاتی کلی را به دست آورد. همچنین اگر تعداد آزمایشات برای همه ی متغیرها برابر باشد می توان از مدل های هوشمند مانند هوش مصنوعی استفاده کرد که بسیار بهتر از این‌گونه مدل‌ها می‌باشد. به وسیله‌ی طراحی یک سری آزمایش‌هایی که روش‌های مختلفی از آن در کتاب‌هایی چون مورگان وجود دارد می‌توان داده‌های مدل‌سازی را به دست آورد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: عبدالحمید انصاری، صادق عامری
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: عبدالحمید انصاری، صادق عامری
نظارت و نگارش نهایی: عبدالحمید انصاری، صادق عامری

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

References

1. GHayseri, A. Kazemi, M A. Farazmand, A. 2003. Determining the efficiency of the wastewater treatment plant in a pasteurized milk company. Isfahan Water and Wastewater Journal, 46(12): 65-60.

2. Mohammadyari, N. Balador,A. Performance of MBBR in the Treatment of Combined Municipal and Industrial Wastewater A Case Study: Mashhad Sewage Treatment Plant of Parkandabad. Isfahan Water and Wastewater Journal. 46-38: (19)65
3. Norani,V. Hasanzadeh, Y.Komasi,M. Sharafi,E. Precipitation and runoff modeling with artificial neural network wavelet hybrid model. The 4th National Congress of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran.
4. Norani,V. Salehi, k.2009. Precipitation and runoff modeling using wavelet adaptive fuzzy neural network method and its comparison with wavelet neural network and adaptive fuzzy neural network methods. The 8th International Congress of Civil Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
5. Nadafi, k. Vaezi, F. Farzadkia,M.Kimeaetlab,A. 2005. Investigating the performance of aeration lagoons in the wastewater treatment of Boali Hamedan industrial town Isfahan Journal of Water and Wastewater, 53-47:(16)54
6. Vaqefpour,H. Ahmadpour,A.2010. Investigating conventional methods of biological treatment of industrial wastes. The first conference on wastewater and waste management in oil and energy industries, Tehran.
7. B.Rhman , M.Pakizeh , M.Esfandyari , F.Heshmatnezhad , A.Maskooki. 2011. Fuzzy modeling and simulation for lead removal using micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF), J.Hazard . Mater, 192: 585-592.
8. B.Rahmanian , M.Pakizeh , M.Esfandyari , A.Maskooki . 2011. Fuzzy Inference system for Modeling of Zink Removal using Micellar-Enhanced ultrafiltration, Sep. Sic .Tech.
9. Ernest M , Thomas MB , Antonio D . 2002. State detection and control of overload sin the anaerobic wastewater treatment using fuzzy logic. Water Res, 36:201-211.
10. Gabrielalo , Sara ob. , Miguel BZ . 2008. Identification of waste packaging profiles using fuzzy logic. Resources, conservation and Recycling 52: 1022-1030.
11. Hamoda, M.F. and Abd-El-Bary, M.F. 1987. Operating characteristics of the aerated submerged fixed film (ASFF) bioreactor. Water Research, 21(8): 939-947.
12. J.Sargolzaei, M. Khoshnoodi, N.Saghatolesami, M.Mousavi. 2008. Fuzzy inference system to modeling of cross flow milk ultrafiltration, Applied. Soft. Computing, 8: 456-465.
13. Khan, Faj., Zain, Kims., Qamar, Ustra. 2009. Biodegradation of phenol by aerobic granulation technology. J Water Sci Technol, 59(2): 273-278.
14. Khoshfetrat, A.B., Nikakhtari, H., Sadeghifar, M. and Shakerkhatibi, M. 2011. “Influence of organic loading and aeration rates on performance of a lab-scale up flow aerated submerged fixed-film bioreactor”. Process Safety and Environmental Protection, 89(3):193–197.
15. M.A Takassi , M.K Salooki ,M.Esfandyari. 2011. Fuzzy model prediction of co (III) Al_2o_3 catalytic. Behavior in fischer Tropsch synthesis, J.Net.Gas chem, 20: 603-610.
16. M.Eshrati, M.Ranjbaran . 2016. Prediction of water-soluble polymer Drag Reduction performance in Multiphase Flow using fuzzy logic Technique. Intl journal of Advances in chemical Engg., &Biological sciences (IJAEBS)Vol. 3, Issue1 ISSN2349-1507 EISSN 2349-1515.
17. N. Ghaffour.2004. modeling of fouling phenomena in cross- flow ultrafiltration

of suspensions containing suspended solids and oil droplets, desalination, 167 : 281-291.
18. Park, T.J., Lee, K.H., Kim, D.S. and Kim, C.W. 1996. Petrochemical wastewater treatment with aerated submerged fixed-film reactor (ASFFR) under high organic loading rate. Water Science and Technology, 34(10): 9-16.
19. S.Chang, sh. Mathur. 2010. Modeling uncertainty Analysis in flow and solute Transport model using Adaptive Neuro fuzzy Interface system and particle swarm optimization, J.civil. Eng.
20. V.Karthik , S.DasGupta, S.De. 2002. Modeling and simulation of osmotic pressure controlled electro-ultrafiltration in a cross – flow system, J. member. Sci, 199: 29-40.
21. W.Lamas . 2013. Fuzzy thermos economic optimization applied to a small waste water treatment plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19: 214-219.
22. H.A. Hegazi. 2013. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. HBRC Journal, 9: 276-282.