Archive of SID

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٥، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحهٔ ۲۲۱-۲۰۹

ارزیابی کیفیت پساب شهری برای مصارف کشاورزی با استفاده از سیستم استنتاج فازی (مطالعهٔ موردی: تصفیه‌خانهٔ صاحبقرانیه)

سیدحسام‌علی حسینی[۱]، علی ترابیان[۲]* ، فرزام بابایی سمیرمی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران Hesam.alihosseini@gmail.com

۲. استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران Farzam.babaie@gmail.com

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/٤/۲۰

چکیده

کاربرد پساب شهری در مصارف کشاورزی یکی از گزینه‌های حل بحران آب است. این در حالی است که عدم قطعیت، ارزیابی کیفیت پساب را به امری چالش‌برانگیز تبدیل کرده است. سیستم استنتاج فازی یکی از راه‌های مواجهه با عدم قطعیت در ارزیابی کیفی پساب سیستم‌های پیچیده است. هدف از مطالعهٔ حاضر، ارزیابی سریع و مطمئن کیفیت پساب تصفیه‌خانه شهری صاحبقرانیه بر پایه سیستم استنتاج فازی به‌منظور استفاده مجدد در مصارف کشاورزی است. نخست، با استفاده از روش دلفی ۸ پارامتر کیفی پساب شامل کلی فرم مدفوعی، نماتد، pH، TDS، TSS، COD، BOD_5 و نیترات انتخاب شدند. داده‌های کیفی ۶۰ نمونه پساب تصفیه‌خانه شهری صاحبقرانیه که به‌صورت ماهانه از سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ نمونه‌برداری شده‌اند؛ براساس سیستم استنتاج فازی ممدانی ارزیابی شدند. نتایج سیستم فازی نشان داد که تعداد نمونه‌هایی که به ترتیب در ردهٔ عالی، خوب و بد قرار گرفته‌اند برابر ۳۹، ۲۰ و ۱ هستند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی در ارزیابی کیفیت پساب شهری مفید بوده و می‌توان آن را ابزار اولویت‌بندی در مدیریت پساب به کار گرفت.

کلیدواژه

استفاده مجدد، پساب شهری، سیستم استنتاج فازی، مصارف کشاورزی.

۱. سرآغاز

تصفیهٔ پساب و کاربرد آن برای اهداف مختلف در سال‌های اخیر رشد خیره‌کننده‌ای داشته است (Kosma et al., 2014). در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران نیز استفاده مجدد از پساب‌های شهری تصفیه شده ضروری به نظر می‌رسد. ازاین‌رو تصفیه صحیح، مدیریت و کنترل فرایند تصفیه نیازمند بررسی دقیق پارامترهای مؤثر در این فرایند است. عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تابعی از عوامل مختلف کیفی پساب، شرایط مدیریتی تصفیه‌خانه و مسائل زیست‌محیطی است. دفع پساب با مشخصه‌های کیفی قابل قبول به انواع منابع پذیرنده، یکی از مشکلات زیست‌محیطی است که جوامع امروزی با آن مواجه‌اند. ازاین‌رو ارزیابی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه بسیار ضروری به نظر می‌رسد (Falah Nezhad et al., 2016).

با توجه به میزان بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، استفاده از پساب شهری با ارزیابی پارامترهای کیفی، بحران آب را در این بخش تعدیل می‌کند. از طرف دیگر یکی از مزایای آبیاری با پساب به‌عنوان منبع مواد

* نویسنده مسئول: Email: Altorabian7@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مغذی همچون ازت، فسفر و پتاسیم، فراهم شدن مواد مغذی برای رشد گیاه و افزایش باروری خاک است که جایگزین مصرف کودهای شیمیایی بوده یا استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد (Becerra-Castro et al., 2015). دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی زیادی در خصوص ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌ها وجود دارد که کیفیت آن را برای مصارف کشاورزی بررسی می‌کنند (Norton-Brandão et al., 2013). سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران استاندارد خروجی فاضلاب‌ها برای مصارف آبیاری و کشاورزی، تخلیه به آب‌های سطحی و چاه جاذب را تدوین کرده است (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۷۳). و نیز سازمان‌های بین‌المللی از جمله آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا دستورالعمل استفاده مجدد از آب (EPA, 2012) و سازمان جهانی بهداشت دستورالعمل‌هایی برای استفاده ایمن از پساب را تدوین کرده‌اند (WHO, 2006). تحقیقات مختلفی نیز در خصوص ارزیابی کیفیت پساب و استفادهٔ مجدد از آن در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و آبیاری انجام شده است. حاتمی و همکاران (۱۳۹۷) کیفیت پساب تصفیه‌خانهٔ شهر بجنورد را با اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)[۱]، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)[۲] و بیولوژیکی (BOD)[۳]، نیتروژن، فسفر،کل جامدات معلق (TSS)[۴]، کل جامدات محلول (TDS)[۵]، نسبت جذب سدیم (SAR)[۶]، درصد سدیم، یون‌های منیزیم، پتاسیم، کلسیم، سدیم و کلراید برای مصرف کشاورزی بررسی کردند.

دهقانی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۶) نمونه‌های گرفته شده از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد یزد را با هدف امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب برای مصارف کشاورزی و آبیاری با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست مقایسه و در نرم‌افزار اکسل تحلیل کردند. شنگل نجف‌آبادی و بندری (۱۳۹۳) به مطالعه و بررسی استانداردها و ضوابط موجود در زمینهٔ استفاده از پساب صنعتی در مصارف کشاورزی پرداختند. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای کارایی تصفیه‌خانهٔ اکباتان را با استفاده از پارامترهای BOD, SS[۷] , TSS, COD,pH و دما ارزیابی کردند. طاهری و همکاران (۱۳۹۷) میزان انتقال نیترات را در خاک عمیق کشت شده با دانه‌های ذرت که با استفاده از پساب تصفیه‌خانهٔ نیشابور آبیاری شده بود بررسی کردند. Baig Asadullah و همکاران (۲۰۱۸) کیفیت پساب را با هدف استفادهٔ مجدد در آبیاری با در نظر گرفتن پارامترهای BOD، pH، TSS، TDS، EC، Mg، SO_4، B، Cl و Caارزیابی کردند. Rahimi و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی کیفیت پساب برای استفاده در آبیاری پرداختند. آن‌ها از مقایسه پارامترها با استانداردهای ملی و بین‌المللی استفاده کردند. Falah Nezhad و همکاران (۲۰۱۶) از شاخص EQI[۸] برای بررسی پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران استفاده کردند. آن‌ها کیفیت پساب را با استفاده از شبکهٔ عصبی تحلیل کردند.Falah Nezhad و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی دیگر، از شاخص EQI برای ارزیابی سریع پساب برای استفاده مجدد در کاربری‌های مختلف استفاده کردند. در مطالعهٔ دیگری Priya (۲۰۱۳) از روش منطق فازی برای کیفیت آب کشاورزی در حوضهٔ آبریز کارینو هند استفاده کردد. Baghapour و همکاران (۲۰۱۳) خصوصیات فیزیکی شیمیایی و میکروبی پساب تصفیه‌خانه‌ای در شیراز را به‌منظور استفاده در بخش کشاورزی ارزیابی کردند. آن‌ها با استفاده از شاخص کانادایی کیفیت پساب را برای استفاده مجدد در کشاورزی ارزیابی کردند. Yel و Yalpir (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی موفق به پیش‌بینی عوامل کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های شهری در ترکیه شدند. Wan و همکاران (۲۰۱۱) توانایی شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی در مدل‌سازی مشخصه‌های کیفی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب کارخانه کاغذ را در چین بررسی کردند. در مطالعه‌ای که Singh و همکاران (۲۰۰۹) برای پیش‌بینی BOD انجام دادند، از ۱۱ مشخصه

www.SID.ir

Archive of SID

کیفی به‌منزله ورودی شبکه استفاده کردند. Mirabbasi و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی و خطر جذب سدیم، از سیستم استنتاج فازی استفاده کردند و نتایج را با نمودار USSL مقایسه کردند. Pai و همکاران (۲۰۰۷) برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانه بیمارستانی در تایوان از هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی استفاده کرده و با استفاده از مشخصه‌های pH، دما، SS و COD فاضلاب در ورودی مدل، COD و SS پساب را پیش‌بینی کردند. همچنین Chen و همکاران (۲۰۰۱) فرایند تصفیه فاضلاب صنعتی را به کمک مدل تحلیلی سه مرحله‌ای تلفیقی شامل منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مدل‌سازی کردند. مدل مذکور برای نمونه‌ای مطالعاتی در تایوان استفاده شد. مطالعات ذکر شده در بررسی کیفیت پساب نشان می‌دهند که ارزیابی کیفی پساب برای مصارف گوناگون بر مقایسهٔ پارامترهای کیفی با استانداردها یا شاخص‌های مرسوم تأکید داشته و به‌رغم مطالعات متنوع، تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است که عدم قطعیت ارزیابی کیفی خروجی پساب را در تدوین الگوی اختصاصی به‌منظور مصرف در بخش آبیاری و کشاورزی در نظر گیرد.

هدف از تحقیق حاضر، ارائهٔ چارچوبی قابل تعمیم برای ارزیابی کیفیت پساب شهری به‌منظور استفاده در بخش کشاورزی با درنظرگرفتن عدم قطعیت‌ها است. همچنین برای تدوین چارچوب فوق، تأثیرگذارترین پارامترها در ارزیابی کیفیت پساب شهری، به‌عنوان منبع آب قابل استفاده در بخش کشاورزی پیشنهاد شده‌اند تا ضمن کارا بودن چارچوب پیشنهادی امکان کاربری آن در مطالعات مشابه وجود داشته باشد. نخست با استفاده از روش دلفی دو مرحله‌ای پارامترهای کیفی پساب که دارای بیشترین تأثیرگذاری در کیفیت آب مورد نیاز کشاورزی است انتخاب شده و سپس با استفاده از سیستم استنتاج فازی کیفیت پساب به‌منظور استفاده مجدد در آبیاری کشاورزی ارزیابی شد. به‌منظور اعتبار سنجی مدل، داده‌های واقعی تصفیه‌خانه صاحبقرانیه در شهر تهران ارزیابی شد.

۲. مواد و روش بررسی

۲. ۱. انتخاب پارامترهای کیفی پساب شهری

برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفی پساب شهری از روش دلفی و ابزار پرسشنامه استفاده شد. نخست به‌منظور اطمینان از انتخاب صحیح پارامترها و بومی‌سازی آن‌ها و نیز تعیین روایی محتوایی پرسشنامه، گروهی ۶ نفره از متخصصان شامل ۴ نفر از استادان دانشگاهی و ۲ نفر از کارشناسان مرتبط تعیین شد. در این مرحله، پرسشنامه‌ای مشتمل بر ۷۳ پارامتر کیفی پساب و ۱۲ نوع مصرف در اختیار متخصصان مذکور قرار گرفت و از ایشان درخواست شد نظرهای خود را پیرامون مرتبط بودن یا غیر مرتبط بودن پارامترها بیان کرده و در صورت لزوم پارامترهای جدید اضافه کرده و ادبیات نگارشی پرسشنامه را اصلاح کنند. با تجمیع نظرات دریافت شده پارامترهای کیفی پساب شهری به ۲۸ عدد کاهش یافت و فقط مصارف کلی کشاورزی به پرسشنامه دلفی دو مرحله‌ای وارد شدند.

پس از تعیین ۲۸ پارامتر کیفی پساب شهری، برای تعیین اهمیت هریک از پارامترهای کیفی از روش دلفی دو مرحله‌ای استفاده شد. روش دلفی از متداول‌ترین روش‌ها در انتخاب پارامترهای کیفی منابع محیط‌زیستی به‌منظور ارزیابی کیفیت کلی آن‌ها در مصارف مختلف است (Mapar et al., 2017).

مطالعات مرتبط با کاربرد روش دلفی چند مرحله‌ای، نشان می‌دهد که انتخاب پانل مناسب از مهم‌ترین مراحل روش دلفی به شمار می‌رود؛ چرا که اعتبار نتایج حاصل از مطالعه تا حد زیادی به صلاحیت و آگاهی پانل انتخابی بستگی دارد. انتخاب گروه دلفی با تعداد زیادی متخصص نیز باعث کاهش دقت در مطالعه و سردرگمی در تحلیل نتایج می‌شود (Choi & Turk, 2011). به همین دلیل در

www.SID.ir

Archive of SID

این مطالعه، با در نظر گرفتن دو معیار سطح تحصیلات و سابقهٔ کار، ۴۰ متخصص واجد شرایط شامل استادان دانشگاه (۱۷نفر)، کارشناسان خبره شرکت‌های مرتبط (۲۳نفر) شامل شرکت‌های آب و فاضلاب وزارت نیرو، وزارت کشاورزی، سازمان محیط‌زیست، مراکز تحقیقاتی مرتبط با تحقیق، ارگان‌های غیردولتی و با تخصص مشخص در مدیریت کیفیت آب و فاضلاب، بهداشت محیط، محیط‌زیست و کشاورزی به‌عنوان اعضای اصلی پانل دلفی انتخاب شدند.

در مرحلهٔ نخست روش دلفی، پرسشنامه شامل ۲۸ پارامتر کیفی پساب شهری به همراه سندی حاوی توضیحاتی پیرامون اهداف و روش کار پژوهش به‌صورت حضوری یا از طریق ارسال نامهٔ الکترونیکی در اختیار اعضای پانل دلفی قرار گرفت و از اعضا درخواست شد نظرهای خود را دربارهٔ اهمیت هریک از پارامترها براساس مقیاس لیکرت ۵ امتیازی (از ۱= کمترین اهمیت تا ۵= بیشترین اهمیت) و با در نظر گرفتن اهمیت هر کدام در کیفیت کلی آب مورد نیاز کشاورزی ارائه کنند. برای تحلیل نتایج حاصل از این بخش مطابق روش Mapar و همکاران (۲۰۱۷) از سنجه «میانگین» و معادل ۷۵ درصد امتیاز کل (اعداد ۳/۷۵ به بالا) برای معیار پذیرش استفاده شد. در پایان این مرحله، از مجموع ۲۵ پرسشنامهٔ ارائه شده، ۲۰ پرسشنامه کامل و قابل استناد بود. در مرحلهٔ دوم دلفی، میانگین امتیازات داده شده توسط کارشناسان برای هریک از پارامترها در مرحلهٔ نخست، برای آنان ارسال و از آنان خواسته شد با توجه به «مقدار میانگین» که بازتابندهٔ نظرات همهٔ کارشناسان است؛ مجدداً پارامترهای مورد نظر را بررسی کرده و امتیاز دهند. در نهایت با توجه به این که اختلاف امتیازها در مرحلهٔ نخست و دوم ناچیز بود؛ نظرسنجی در این مرحله متوقف و ۸ پارامتر کلی فرم مدفوعی (FC)[9]، نماتد، pH، TDS، TSS، COD، BOD_5 و NO_3 که بیشترین میزان میانگین براساس سنجه در نظر گرفته شده را داشتند؛ انتخاب شدند.

۲.۲. ارائهٔ مدل فازی

۲. ۲. ۱. منطق فازی

منطق فازی برای نخستین بار در مقاله‌ای به همین نام ارائه شد و بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را صورت‌بندی ریاضی بخشید (Zadeh, 1965). برای مجموعه‌ای فازی، تابع عضویت به‌صورتی تعریف می‌شود که در فاصله بین صفر تا ۱ است. برای مطالعهٔ بیشتر و دیگر جزئیات روش فازی در سیستم‌های مهندسی به منبع (Ross, 2005) رجوع شود.

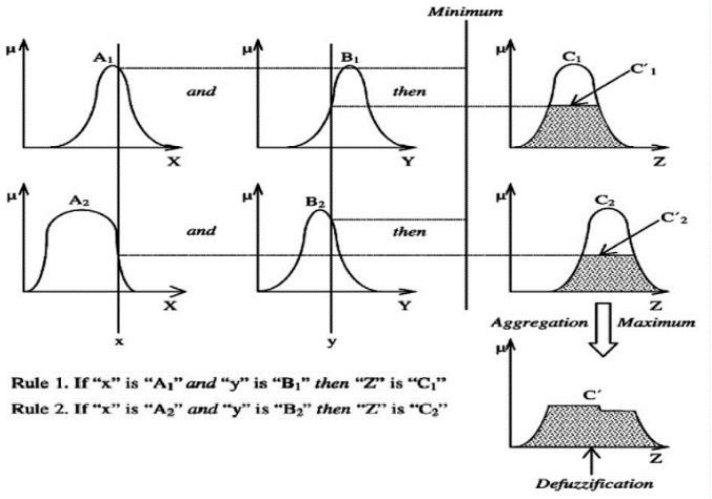
۲. ۲. ۲. سیستم استنتاج فازی

سیستم‌های استنتاج فازی مختلفی وجود دارند. مشهورترین آن‌ها در علوم مهندسی، سیستم فازی ممدانی است (شکل ۱). این سیستم به سبب مقبولیت عام و سادگی کاربرد، به دیگر سیستم‌های موجود ترجیح داده می‌شود. در این پژوهش نیز از سیستم استلزام ممدانی استفاده شده است.

در شکل ۱، تمامی عملیات از فازی‌سازی[10] تا غیرفازی‌سازی[11] به‌صورت فشرده نشان داده شده است. فرایند تبدیل خروجی فازی سیستم استنتاج فازی به مقدار عددی را غیر فازی‌سازی گویند. جریان اطلاعات از سمت چپ آغاز شده و پس از پردازش هر قانون، خروجی‌ها در سمت راست با هم ترکیب شده و خروجی نهایی تولید می‌شود. تصمیم‌سازی سیستم استنتاج فازی، بر اساس قوانین اعمال شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش «اگر – آنگاه» تشکیل شده‌اند. در بخش «اگر» ورودی مدل تعریف می‌شود. پارامترهای کیفی ورودی مدل شامل پارامترهای *FC*، نماتد، *pH*، *TDS*، *TSS*، *COD*، BOD_5 و NO_3 به سه مشخصهٔ زبانی «کم»، «متوسط» و «بالا» تقسیم شده‌اند. در بخش آنگاه خروجی مدل تعریف شده است. خروجی مدل نیز به‌صورت چهار مشخصهٔ زبانی «عالی»، «خوب»، «متوسط» و «بد» در نرم‌افزار *MATLAB* تقسیم شدند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. سیستم استنتاج فازی ممدانی

(Mamdani & Assilian, 1975)

جدول ۱. توابع عضویت متغیرهای ورودی استفاده شده در مدل استنتاج فازی

ورودی مدل	«کم»			«متوسط»				«بالا»		
	A=B	C	D	A	B	C	D	A	B	C=D
FC	۰	۱۲	۱۲۸	۸۸	۱۹۷	۴۴۰	۵۴۶	۴۵۰	۷۰۰	۱۰۰۰
نماتد	۰	۳	۲	–	–	–	–	۰,۴	۳	۱
NO_3	۰	۵	۷۲	۲۵	۵۸	۶۵	۱۰۸	۹۵	۱۴۵	۲۰۰
pH	۶,۴–۶	۷,۵	۸	۷–۴,۵	۸–۵	۹–۶	۹,۶–۶,۵	۹–۰	۱۳–۵,۴	۱۴–۵
TDS	۰	۲۰	۱۸۰	۷۰	۱۶۰	۲۳۰	۴۴۰	۳۲۰	۴۵۰	۵۰۰
TSS	۰	۸	۷۲	۲۲	۶۲	۹۳	۱۷۲	۱۰۸	۱۶۷	۲۷۲
COD	۱۰	۲۲	۵۲	۵۶	۸۷	۲۱۶	۳۴۴	۱۸۷	۳۱۰	۴۰۰
BOD_5	۰	۱۵	۳۲	۳۰	۵۶	۱۱۵	۱۷۰	۹۵	۱۵۳	۲۰۰

در این پژوهش از توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه ای به‌عنوان مشهورترین و پرکاربردترین تابع عضویت فازی استفاده شد. تابع عضویت هریک از ورودی‌ها براساس مجموعه فازی تعیین می‌شود. با مشخص کردن اعداد قطعی برای متغیرهای مورد بررسی در محدوده از قبل تعیین شده (تمام غلظت‌های ممکن پارامتر کیفیت پساب) هریک از مجموعه‌های فازی تابع عضویتی بین ۰ و ۱ می‌گیرند. در جدول ۱ توابع عضویت پارامترهای ورودی استفاده شده در سیستم استنتاج فازی آمده است.

۳.۲. مطالعه موردی

تصفیه‌خانهٔ صاحبقرانیه نخستین تصفیه‌خانهٔ ایران است که به روش هوادهی گسترده عمقی کار می‌کند. این تصفیه‌خانه در دههٔ ۱۳۳۰ در منطقه صاحبقرانیه تهران با ظرفیت تصفیه پساب خانگی ۲۰۰۰ نفر طراحی و ساخته شد. جنس لوله‌های جمع‌آوری تصفیه‌خانه از نوع آزبست سیمانی است. محل دفع پساب تصفیه‌خانه صاحبقرانیه کانال پاسداران است. دبی متوسط ورودی تصفیه‌خانه صاحبقرانیه برابر ۲۵مترمکعب در ساعت است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. خلاصه مشخصه‌های آماری ورودی مدل استنتاج فازی

مشخصه	Nitrate (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	pH (-)	Nematodes (N/l)	FC (CFU/100ml)
حداقل	۰/۱۶	۲	۸	۴	۲۵۳	۶/۷	۰	۱۴
حداکثر	۵۹	۷۰	۱۵۲	۱۷۰	۴۹۶	۸/۲	۱	۹۲۰
میانگین	۵/۱	۱	۲۴/۴	۱۷	۳۹۵	۷/۳	۰/۵	۱۹۵
استاندارد	(FAO)۳۰	۱۰۰ (ایران)	(ایران) ۲۰۰	(ایران) ۱۰۰	(FAO)۴۵۰	(ایران) ۶,۵–۸,۵	(ایران) ۱	(ایران) ۴۰۰

تحقیق حاضر با هدف ارائهٔ چارچوب مبتنی بر سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی کیفیت پساب شهری به‌منظور استفادهٔ مجدد در بخش کشاورزی انجام شده است. در سنجش کیفیت پساب و ارزیابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب معمولاً از سنجش و ثبت پارامترهای BOD_5، COD، TSS و pH در خروجی تصفیه‌خانه و مقایسهٔ آن‌ها با مقادیر ورودی استفاده می‌شود. در این راستا مقادیر ماهانه مشخصه‌های کلی فرم مدفوعی، نماتد، pH، TDS، TSS، COD، BOD_5و نیترات به‌منزلهٔ ورودی مدل استنتاج فازی در نظر گرفته شدند (جدول ۲).

۳. نتایج

در سیستم‌های استنتاج فازی، به تعداد زیادی قانون نیاز است که تعداد قوانین به تعداد متغیرهای ورودی و مشخصه‌های زبانی مورد استفاده بستگی دارد. به‌منظور جلوگیری از پیچیدگی مدل تعداد ۹۹ قانون از مهم‌ترین قوانین به مدل وارد شد که در ذیل چند نمونه از قوانین مورد استفاده آورده شده است:

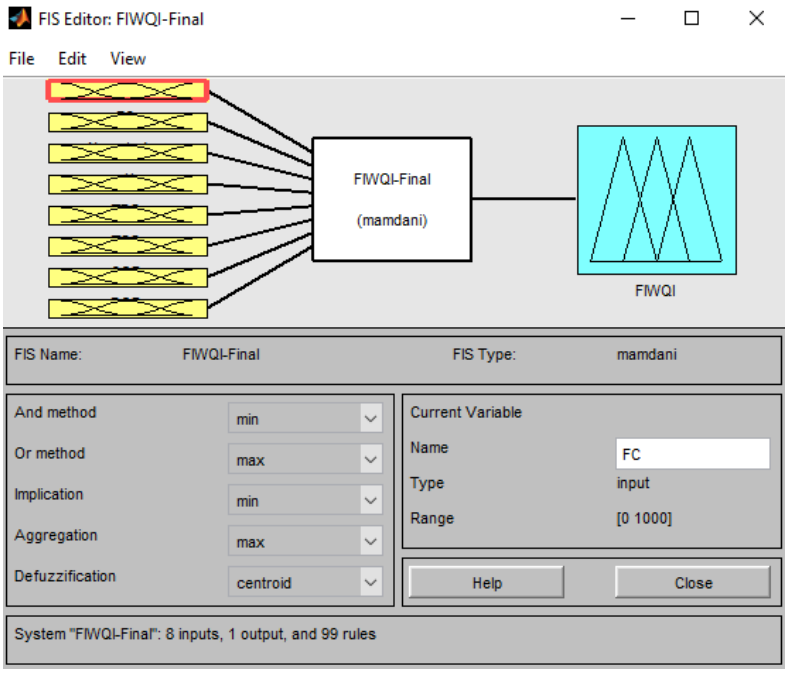
- اگر FC، نماتد، pH، TDS، TSS، COD، BOD_5 و NO_3«کم» باشند؛ در نتیجه کیفیت پساب برای مصارف کشاورزی «عالی» است.
- اگر FC، pH، TDS، TSS، COD و BOD_5 «کم» باشند درحالیکه نماتد و NO_3 «متوسط» باشد؛ در نتیجه کیفیت پساب برای مصارف کشاورزی «خوب» است.
- اگر pH، BOD_5 و NO_3 «کم» باشند درحالیکه FC، COD و BOD_5 «متوسط» باشد اما نماتد، TDS و TSS «بالا» باشد؛ در نتیجه کیفیت پساب برای مصارف کشاورزی «بد» است.

پس از فازی‌سازی ورودی‌های مدل در قسمت فرض، از عملگرهای فازی[۱۲] برای ترکیب پارامترهای ورودی و به دست آوردن یک مقدار به‌عنوان سطح اطمینان قسمت فرض استفاده شد. مقدار حاصل از این فرایند به تابع خروجی اعمال شد. از روش‌های مختلفی می‌توان برای تعریف عملیات AND و OR استفاده کرد. در این پژوهش برای پیاده‌سازی روش AND از مینیمم (min) و برای پیاده‌سازی روش OR از ماکزیمم (max) استفاده شد. شکل ۲ چگونگی اعمال عملگرهای فازی در سیستم استنتاج فازی ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه صاحبقرانیه برای مصارف کشاورزی را نشان می‌دهد.

قبل از اعمال عملگرهای فازی، باید وزن قانون‌های ورودی به مدل را مشخص کرد. هر قانون دارای وزن مشخصی (بین ۰ و ۱) است. این مقدار بر روی مقادیر حاصله از قسمت فرض اعمال می‌شود. عموماً مقدار وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. در این مدل نیز وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته شد. پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن هریک از قوانین، روش دلالت پیاده‌سازی شد. در سیستم استنتاج فازی کیفیت پساب تصفیه‌خانه از روش دلالت حداقل(min) استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. ساختار مدل استنتاج فازی ارزیابی کیفیت پساب شهری

جدول ۳. مقایسهٔ نتایج روش قطعی و مدل استنتاج فازی ارزیابی کیفیت پساب شهری برای مصارف کشاورزی

نمونه	تصمیم‌گیری به روش فازی	تصمیم‌گیری به روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۱	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۲	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۳	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۴	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات کلی فرم مدفوعی	TDS	
۵	بد	نیتراتpH	کلی فرم مدفوعی COD BOD_5	نماتدTDS TSS
۶	خوب	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۷	خوب	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۸	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعیTDS	
۹	خوب	کلی فرم مدفوعی نماتد BOD_5 COD pH نیترات	TSS	TDS
۱۰	عالی	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۱۱	خوب	کلی فرم مدفوعی pHنیترات	نماتدTDS TSS	COD BOD_5
۱۲	عالی	BOD_5 COD TSS pHنیترات	کلی فرم مدفوعی نماتد	TDS
۱۳	عالی	نماتد BOD COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	
۱۴	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسهٔ نتایج روش قطعی و مدل استنتاج فازی ارزیابی کیفیت پساب شهری برای مصارف کشاورزی

نمونه	تصمیم‌گیری به روش فازی	تصمیم‌گیری به روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۱۵	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۱۶	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۱۷	خوب	pH TDS TSS COD BOD_5نیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتد
۱۸	عالی	نماتد pH TDS TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	
۱۹	عالی	کلی فرم مدفوعی نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات		TDS
۲۰	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	TDSکلی فرم مدفوعی	
۲۱	عالی	کلی فرم مدفوعی نماتد pH TDS TSS COD BOD_5 نیترات		
۲۲	عالی	pH TDS TSS COD BOD_5نیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتد
۲۳	خوب	pH TSS COD BOD_5نیترات	TDS	کلی فرم مدفوعی نماتد
۲۴	عالی	کلی فرم مدفوعی pH TSS COD BOD_5 نیترات		نماتدTDS
۲۵	عالی	نماتدpH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۲۶	عالی	نماتدpH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۲۷	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۲۸	خوب	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۲۹	خوب	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۳۰	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات کلی فرم مدفوعی	TDS	
۳۱	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات کلی فرم مدفوعی	TDS	
۳۲	عالی	نماتد pH TDS TSS COD BOD_5 نیترات		کلی فرم مدفوعی
۳۳	عالی	نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات کلی فرم مدفوعی	TDS	
۳۴	خوب	pH TSS COD BOD_5نیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتدTDS
۳۵	خوب	کلی فرم مدفوعی pH TSS COD BOD_5 نیترات		نماتدTDS
۳۶	خوب	pH TSS COD BOD_5نیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتدTDS
۳۷	عالی	کلی فرم مدفوعی نماتد pH TSS BOD_5 نیترات	COD	TDS
۳۸	عالی	کلی فرم مدفوعی نماتد pH TSS BOD_5 نیترات	COD	TDS
۳۹	عالی	نماتدpH TSS COD BOD_5	کلی فرم مدفوعی نیترات TDS	
۴۰	عالی	کلی فرم مدفوعی نماتد pH TSS COD BOD_5 نیترات		TDS

www.SID.ir

Archive of SID

ادامهٔ جدول ۳. مقایسهٔ نتایج روش قطعی و مدل استنتاج فازی ارزیابی کیفیت پساب شهری برای مصارف کشاورزی

نمونه	تصمیم‌گیری به روش فازی	تصمیم‌گیری به روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۴۱	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۴۲	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۴۳	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۴۴	عالی	نماتدBOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۴۵	عالی	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات نماتد		TDS
۴۶	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۴۷	خوب	BOD_5 COD TSS pHنیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتدTDS
۴۸	خوب	BOD_5 COD TSS pHنیترات	کلی فرم مدفوعی	نماتدTDS
۴۹	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۰	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۱	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۲	خوب	BOD_5 COD TSS pHنیترات	TDS	کلی فرم مدفوعی
۵۳	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۵۴	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	TDSکلی فرم مدفوعی	
۵۵	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۶	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۷	عالی	نماتد BOD_5 COD TSS pH نیترات	کلی فرم مدفوعی	TDS
۵۸	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۵۹	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS
۶۰	خوب	کلی فرم مدفوعی BOD_5 COD TSS pH نیترات		نماتدTDS

با توجه به این‌که در سیستم‌های استنتاج فازی تصمیم‌ها براساس ارزیابی تمامی قوانین اتخاذ می‌شوند؛ قوانین مورد استفاده در سیستم باید با هم ترکیب شوند. این فرایند در سیستم استنتاج فازی تجمیع نامیده می‌شود. در نهایت از میان سه روش بیشینه (max)، OR احتمالی (probor) و محاسبهٔ مجموع (sum) از روش بیشینه max استفاده شد. فرایند تبدیل خروجی فازی سیستم استنتاج فازی به مقدار عددی را غیر فازی‌سازی گویند. ورودی فرایند غیر فازی‌سازی، مجموعه‌ای فازی است (حاصل عملیات تجمیع) و خروجی آن، مقدار عددی (crisp) است. در سیستم استنتاج فازی حال حاضر از غیر فازی‌ساز مرکز ثقل استفاده شده است.

تمامی نمونه‌های پساب تصفیه‌خانه با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی برای آن‌ها در مدل مورد استفاده، ارزیابی شدند و کیفیت کلی پساب تصفیه‌خانه براین اساس مشخص شد. برای تحلیل نتایج فازی، خروجی‌های مدل با خروجی‌های حاصل از روش قطعی مقایسه شدند (جدول ۳). براساس نتایج مدل فازی تعداد ۳۹ نمونه در ردهٔ «عالی» طبقه‌بندی شدند. همچنین ۲۰ نمونه در ردهٔ «خوب» قرار گرفتند و تنها یک نمونه در ردهٔ بد براساس مدل فازی طبقه‌بندی شد.

براساس روش قطعی، پارامترهای نماتد، pH، BOD_5،

www.SID.ir

Archive of SID

COD، TSS و NO3 در نمونهٔ شمارهٔ یک در ردهٔ «کم» طبقه‌بندی شدند؛ درحالیکه به ترتیب کلی فرم مدفوعی و TDS در ردهٔ «متوسط» و «بالا» طبقه‌بندی شدند. براساس تصمیم‌گیری به روش فازی نیز در ردهٔ «عالی» طبقه‌بندی شد. نمونهٔ شمارهٔ ۵ براساس تصمیم‌گیری به روش فازی در ردهٔ «بد» طبقه‌بندی شد، در این نمونه پارامترهای pH و NO_3 در ردهٔ «کم» طبقه‌بندی شدند؛ درحالیکه به ترتیب پارامترهای BOD_5، COD و کلی فرم مدفوعی در رده «متوسط» و پارامترهای نماتد، TDS و TSS در رده «بالا» طبقه‌بندی شدند. نمونهٔ شمارهٔ ۹ که براساس تصمیم‌گیری به روش فازی در ردهٔ «خوب» طبقه‌بندی شد؛ پارامترهای کلی فرم مدفوعی، نماتد، BOD_5، COD، pH و NO_3 در ردهٔ «کم» طبقه‌بندی شدند و پارامتر TSS و پارامتر TDS در ردهٔ «متوسط» و «بالا» طبقه‌بندی شدند. نمونهٔ شمارهٔ ۲۱ نیز تمامی پارامترها در ردهٔ «کم» قرار گرفتند و براساس تصمیم‌گیری به روش فازی نیز در ردهٔ «عالی» طبقه‌بندی شد. براساس تصمیم‌گیری به روش قطعی نمونه‌های ۵۸، ۵۹ و ۶۰ که تمامی پارامترهای آن جز نماتد و TDS که در ردهٔ «بالا» طبقه‌بندی شده‌اند؛ متعلق به ردهٔ «کم» هستند و براساس تصمیم‌گیری به روش فازی نیز در ردهٔ «خوب» طبقه‌بندی شد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از پساب شهری در بخش کشاورزی با توجه به درصد بالای مصرف آب در این بخش نسبت به دیگر بخش‌ها، راهکاری مناسب در جهت تعدیل بحران آب است. شرایط عدم قطعیت منتج از اطلاعات ناکامل، غیرقابل دسترس یا ناکافی از موانع ارزیابی کیفیت پساب محسوب می‌شوند. با توجه به لزوم توجه به این موارد در ارزیابی کیفیت پساب، در این تحقیق چارچوبی برای تعیین کیفیت کلی پساب تصفیه‌خانه شهری با هدف استفادهٔ مجدد در مصارف آبیاری و کشاورزی پیشنهاد شد. در چارچوب پیشنهادی از سیستم استنتاج فازی ممدانی برای مواجهه با عدم قطعیت در تعیین کیفیت پساب بهره گرفته شد. برای تعیین پارامترهای مؤثر در کیفیت پساب مورد استفادهٔ مجدد در کشاورزی، روش دلفی با سیستم فازی ممدانی تلفیق شدند. هدف از این تلفیق، استفاده از نظر کارشناسان به‌عنوان منابع مختلف اطلاعاتی بود. در واقع در چارچوب مذکور استانداردهای مدون در زمینهٔ تعیین کیفیت مناسب پساب و نظر خبرگان به‌طور هم‌زمان در تعیین حدود توابع فازی مورد نظر قرار گرفتند. ازآنجایی‌که مدل‌های آماری قابلیت پاسخگویی و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت را ندارند؛ سیستم استنتاج فازی روش مناسبی برای شرایطی است که در آن دسترسی به داده‌های کافی و مناسب وجود ندارد. در ادامه پس از تعیین هشت پارامتر کیفی شامل FC، نماتد، pH، TDS، TSS، COD، BOD_5 و NO_3 برای ارزیابی کیفیت کلی پساب خروجی تصفیه‌خانه صاحبقرانیه تهران به لحاظ مصارف کشاورزی در نظر گرفته شدند. قابلیت مدل مورد استفاده برای ۶۰ نمونه پساب خروجی ارزیابی شد که ماهانه در دوره‌ای شش‌ساله از تصفیه‌خانه صاحبقرانیه جمع‌آوری شده بودند. نتایج نشان داد که هشت پارامتر مورد نظر قابلیت کافی در ارزیابی کیفیت کلی پساب را دارند.

در مطالعه‌ای مشابه، از سیستم استنتاج فازی ممدانی برای ارزیابی کیفیت زیست‌محیطی پساب صنعتی بهره گرفته شد. پارامترهای BOD، COD، TSS و pH برای ارزیابی مذکور مورد نظر قرار گرفتند. در تحقیق حاضر طیف وسیع‌تر و کاربردی‌تری از پارامترها علاوه بر پارامترهای فوق بررسی شدند. در این مطالعه نیز سیستم استنتاج فازی ممدانی روشی مناسب در ارزیابی کیفیت پساب عنوان شده است (Sarkheli et al., 2018). در مطالعه‌ای که برای ارزیابی قابلیت روش بیژین در مواجهه با عدم قطعیت در تعیین کیفیت پساب در مصارف مختلف صنعت، تفریحی و کشاورزی انجام گرفت، هفت پارامتر مشابه با تحقیق حاضر ارزیابی شدند؛ اما پارامتر نماتد در میان پارامترهای مورد ارزیابی قرار نداشت. این در حالی

www.SID.ir

Archive of SID

است که در مطالعهٔ حاضر این پارامتر بـه دلیـل اهمیـت در ارزیابی کیفیت پساب بـرای اسـتفادهٔ مجـدد در کشـاورزی مورد نظر قرار گرفته اسـت (Falah Nezhad et al., 2018). در پژوهشی دیگر از رویکرد مبتنی بر منطق فازی در تعیین کاربری مناسب برای استفاده مجدد از پساب اسـتفاده شـد. کاربری‌های صنعتی، محیط زیستی، مصرف آبیـاری، تولیـد دانه‌هـای روغنـی، و تغذیـه مصـنوعی آب‌هـای زیرزمینـی بودند. این در حالی اسـت کـه در تحقیـق حاضـر ارزیـابی کیفی مبتنی بر سیسـتم اسـتنتاج فـازی تنهـا بـرای مصـرف کشـاورزی اسـتفاده شـده اسـت (Rahimi et al., 2019). چوپـان و امـامی (۱۳۹۷) در پژوهشـی ۱۵ پـارامتر کیفـی پساب شهری (فیزیکی و شیمیایی و میکروبی) را به‌منظـور کاربری کشاورزی ارزیابی کردنـد و میـزان هـر پـارامتر بـا میزان آن در استانداردهای مدون مقایسه شـد و ارزیـابی از وضعیت کیفیت کلی پسـاب ارائـه نشـد. در حـالی کـه در تحقیق حاضر ارزیابی از وضعیت کلی کیفیـت کلـی پسـاب انجام گرفته است. در پژوهش دیگـری، نمونـه‌هـای کیفیـت میکروبی پساب و لجن دفعی تصفیه‌خانه شـهر تهـران بـرای استفاده در بخش کشاورزی بـا اسـتانداردهای محـیط‌زیسـت ایران مقایسه شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های پساب و لجن پـایین‌تـر از اسـتانداردهای مـورد نظـر بودنـد (فرزادکیـا و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی که در ایتالیا انجام گرفت شش پارامتر کیفی در ارزیابی کلی کیفیت پساب به‌منظور تخلیه بـه آب‌های سطحی و کاربری مجدد بدون در نظر گـرفتن عـدم قطعیت‌ها بررسی شدند(Verlicchi et al., 2011). در تحقیـق حاضر ارزیابی کیفیت کلی پسـاب بـا در نظـر داشـتن عـدم قطعیـت‌هـا بـا هـدف کـاربری کشـاورزی انجـام گرفـت. Baghapour (۲۰۱۳) در مطالعـه‌ای بـا اسـتفاده از شـاخص کانـادایی ارزیـابی کیفـی پسـاب بـدون در نظرگـرفتن عـدم قطعیـت‌هـا بـا بررسـی بیسـت‌وسـه پـارامتر بـرای مصـرف کشاورزی انجام گرفت. این در حـالی اسـت کـه در تحقیـق پیش رو با بررسی ۸ پارامتر و در نظر گـرفتن عـدم قطعیـت ارزیابی کیفیت پساب انجام شده است.

نتایج مدل فازی در تصفیه‌خانهٔ صاحبقرانیه نشان داد که تعداد نمونه‌هایی که به ترتیـب در ردهٔ عـالی، خـوب و بـد قرار گرفته‌اند برابر ۳۹، ۲۰ و یک هستند. براسـاس مقایسـهٔ انجام شده بین نتایج حاصل از روش قطعـی و مـدل فـازی ارائه شده مشخص شد که مدل فازی ضمن منطبق بودن بـا نتایج حاصل از روش قطعی، قادر به پوشش عدم قطعیت‌ها است و آن عبارت از در نظر گرفتن نقاط مرزی در مقـادیر متغیرهـای ورودی مـدل اسـت و در نتیجـه تـأثیر آن در خروجی مدل سنجیده می‌شود که عبـارت از کیفیـت کلـی پساب مورد بررسی است. همچنین نتـایج بـه دسـت آمـده حـاکی از آن اسـت کـه اسـتفاده از تعـداد محـدودی از پارامترهای مؤثر در سنجش مطلوبیـت کیفـی پسـاب بـرای استفادهٔ مجدد در بخش کشاورزی ضمن برطرف کردن نیاز به تحلیل طیف وسیعی از پارامترها نتیجـه‌ای مطمـئن ارائـه می‌دهد. چارچوب پیشنهادی می‌تواند برای ارزیابی کیفیـت کلی پساب‌های شهری و صنعتی برای کاربری‌های مختلـف مانند آبزی پروری، استفاده در صـنایع مختلـف و مصـارف تفرجی و زیست‌محیطی استفاده شود.

یادداشت‌ها

1. Electrical Conductivity
2. Chemical Oxygen Demand
3. Biochemical Oxygen Demand
4. Total Suspended Solid
5. Total Dissolved Solid
6. Specific Absorption Rate
7. Suspended Solids
8. Effluent Quality Index
9. Fecal Coliform
10. fuzzification
11. defuzzification
12. fuzzy operators

منابع

چوپان، ی. و امامی، س. ۱۳۹۷. ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری تربت‌حیدریه برای مصارف کشاورزی، فصلنامهٔ پژوهش در بهداشت محیط، ۴(۳): ۲۲۷-۲۳۵.

www.SID.ir

Archive of SID

حاتمی، ط.، نادعلی، ا.، روشنایی، ق. و شکوهی، ر. ۱۳۹۷. امکان‌سنجی استفادهٔ مجدد از پساب خروجی فرایند هوادهی گستردهٔ تصفیهٔ فاضلاب شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری، مجلهٔ علمی پژوهان، ۱۶ :۲۰-۲۸.

دهقانی فیروزآبادی، ع.، زارعی محمودآبادی، ه. و احرامپوش، م. ۱۳۹۶. بررسی استفادهٔ مجدد از پساب شهرک‌های صنعتی جهت مصارف کشاورزی و آبیاری (مطالعهٔ موردی: تصفیه‌خانه شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد). طلوع بهداشت، ۱۶ (۳) :۴۶-۵۵.

زارع ابیانه، ح.، بیات ورکشی، م. و بیات ورکشی، ج. ۱۳۹۱. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی تصفیه‌خانه فاضلاب اکباتان، محیط‌شناسی، ۳: ۸۵-۹۸.

سازمان محیط‌زیست ایران، استاندارد خروجی فاضلاب، ۱۳۷۳.

شنگل نجف‌آبادی، ح.، بندری، ز. ۱۳۹۳. استفادهٔ مجدد فاضلاب برای مصارف کشاورزی، همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، مرکز همایش‌های علمی نگار.

طاهری، م.، علیزاده، ا.، فرید حسینی،ع. و انصاری، ح. ۱۳۹۷. بررسی انتقال نیترات از پساب تصفیه شدهٔ فاضلاب شهری به‌منظور استفادهٔ مجدد از پساب برای کشت ذرت علوفه‌ای (مطالعهٔ موردی: تصفیه‌خانهٔ فاضلاب نیشابور)، مجلهٔ آب و فاضلاب، ۱۳۹ (۶): ۱۱۴-۱۲۳.

فرزادکیا، م.، میرزایی، ر.، غفارخانی، م.، باقری، ف. ۱۳۹۲. ارزیابی کیفیت میکروبی پساب و لجن دفعی از چهار تصفیه‌خانه فاضلاب موضعی شهر تهران. فصلنامهٔ بهداشت در عرصه، ۱(۳): ص ۲۴-۳۰.

Baghapour, M.A., Nasseri, S. and Djahed, B. 2013. Evaluation of Shiraz wastewater treatment plant effluent quality for agricultural irrigation by Canadian Water Quality Index (CWQI). Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering, 10(1): 27.

Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M. and Nunes, O.C. 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. Environment international, 75: 117-135.

Chen, W.C. Chang, N.B. and Shieh, W.K. 2001. Advanced hybrid fuzzy-neural controller for industrial wastewater treatment. Journal of environmental engineering, 127(11): 1048-1059.

Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S.M., van Lier, J.B. 2013. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes e A review of treatment technologies: Journal of Environmental Management, 122: 85-98.

Baig Asadullah, M.W., Ravindra, V.Wanjule. and Shinde, H.H. 2018. Assessment of wastewater quality of kham river for irrigation. Materials today: proceedings, 5(1): 113-119.

Choi, H.C. and Turk, E.S. 2011. Sustainability indicators for managing community tourism. In: Budruk, M. and Phillips, R. (Eds.), Quality-of-life community indicators for parks, recreation and tourism management. Springer, Dordrecht, 115-140.

EPA, 2012. Guidelines for Water Reuse. Environmental Protection Agency (EPA), Wasghinton DC (EPA/600/R-12/618).

Falah Nezhad, M., Abbasi, M., and Markarian, S. 2018. A novel method for modeling effluent quality index using Bayesian belief network. International Journal of Environmental Science and Technology. http://doi.org/10.1997/s13762-018-2121-0.

Falah Nezhad, M., Mehrdadi, N. and Torabian, A. 2015. Definition of a new domestic effluent quality index using topsis decision making tool : Canadaian journal of pure & applied science, 9(2): 3467-3472.

Falah Nezhad, M., Mehrdadi, N., Torabian, A. and Behbodian, S. 2016. Artificial neural network modeling of the effluent quality index for municipal wastewater treatment plants using quality variables: south of Tehran wastewater treatment plant. J Water Supply Res Technol Aqua, 65(1): 18–27.

Kosma, C.I., Lambropoulou, D.A. and Albanis, T.A. 2014. Investigation of PPCPs in wastewater treatment plants in Greece: occurrence, removal and environmental risk assessment. Science of the total environment., 466: 421-438.

Mamdani, E.H. and Assilian, S. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7: 1-13.

www.SID.ir

Archive of SID

Mapar, M., Jafari, M.J., Mansouri, N., Arjmandi, R., Azizinejad, R. and Ramos, T.B. 2017. Sustainability indicators for municipalities of megacities: Integrating health health, safety and environmental performance. Ecological Indicators, 83: 271-291.

Mirabbasi, R., Mazloumzadeh, S.M. and Rahnama, M.B. 2008. Evaluation of irrigation water quality using fuzzy logic. Research Journal of Environmental Sciences, 2: 340-352.

Pai, T.Y., Tsai, Y.P., Lo, H.M., Tsai, C.H. and Lin, C.Y. 2007. Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant efflent. Computers & Chemical Engineering 31: 1272-1281.

Priya, K.L. 2013. A fuzzy logic approach for irrigation water quality assessment: A case study of Karunya Watershed, India. Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering, 47: 777-780.

Rahimi, M., Ebrahimi, K. and Araghinejad, Sh. 2019. Anovel approach in determination of the effluent applications. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA, 68 (3): 157-170.

Rahimi, M.H., Kalantari, N., Sharifidoost, M. and Kazemi, M. 2018. Quality assessment of treated wastewater to be reused in agriculture. Global J. Environ. Sci. Manage, 4(2): 217-230.

Ross, T.J. 2005. Fuzzy logic with engineering applications. John Wiley & Sons, New York City, New York.

Sarkheli, H, Azimi, Y. and Rahbari, S. 2018. Fuzzy Wastewater Quality Index Determination for Environmental Quality Assessment under Uncertain and Vagueness Conditions, International Journal of Engineering, 31(8): 1196-1204.

Singh, K.P., Basant, A., Malik, A. and Jain, G. 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. Ecological Modelling, 220: 888-895.

Verlicchi, P., Masotti, L. and Galletti, A., 2011. Wastewater polishing index: a tool for a rapid quality assessment of reclaimed wastewater. Environmental monitoring and assessment, 173: 267-277.

WHO. 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater vol. 2. World Health Organization (WHO), France. ISBN: 92 4 154683 2.

Wan, J., Huang, M., Ma, Y., Guo, W., Wang, Y., Zhang, H., Li, W. and Sun, X. 2011. Prediction of effluent quality of a paper mill wastewater treatment using an adaptive network-based fuzzy inference system. Applied Soft Computing, 11: 3238-3246.

Yel, E. and Yalpir, S. 2011. Prediction of primary treatment effluent parameters by Fuzzy Inference System (FIS) approach. Procedia Computer Science, 3: 659-665.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. Information Control, 8: 338–353.

www.SID.ir