Chemical Research & Nanomaterials
crn.shiraz.iau.ir
پژوهش های شیمیایی و نانومواد

مطالعه پایلوتی مبتنی بر فرآیندهای اکسایش پیشرفته در کاهش آلاینده های آلی و بازیابی پساب ثانویه شهری

مهدیه مصطفوی[1]، سید جلال الدین شایگان سالک[2*]، امیر حسین جاوید[1]

[1]گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[2] گروه زیست فناوری (محیط زیست-تصفیه آب و فاضلاب بیوتکنولوژی)، دانشگاه صنعتی شریف، تهران ، ایران

چکیده: امروزه صنعت آب چه به عنوان آب آشامیدنی و چه برای استفاده صنعتی، از اهمیت خاصی برخوردار است. در اکثر نقاط دنیا، منابع آب به علت توسعه و افزایش تقاضا به طور فزاینده ای رو به کاهش بوده و تصفیه و بازیابی پساب در اولویت می باشد. از اینرو در حال حاضر، فن آوری تصفیه نیازمند فرآیندهای نوین و ابتکاری، مطابق با کیفیت و جریان آب یا پساب است. آب بازیافتی باید دارای پارامترهای خلوص، مطلوبیت بهداشتی، مقبولیت زیست محیطی و امکان سنجی اقتصادی بر اساس استانداردهای آب صنعتی برای استفاده مجدد باشد. در تحقیق حاضر ساخت پایلوتی مجهز به فرآیند های اکسیداسیون پیشرفته جهت تصفیه و بازیابی پساب ثانویه شهری و حذف آلاینده های باقیمانده در پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهری، طراحی شد. در طول دوره آزمایش که با ترکیب فرآیندهایی شامل O_3/UV, O_3/H_2O_2، UV/H_2O_2، $O_3/UV/H_2O_2$ در نظر گرفته شده بود، دستیابی به راندمان حذف آلاینده‌های آلی حدودا ۹۰ درصد بود. همچنین حذف بو و رنگ پساب نیز با راندمان بسیار زیاد فراهم شد. ولی از آنجایی که حذف کدورت و مواد معلق خود عامل بازدارنده بر برخی از سیستم ها نظیر UV بود، با استفاده از فیلتر شنی، فیلتر کربنی و میکروفیلتراسیون، راندمان حذف آلایندها تا ۹۸ درصد افزایش یافت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های مبتنی بر اکسیداسیون پیشرفته برای کاربردهای استفاده مجدد از پساب، یکی از گزینه‌های بهینه حتی برای پساب‌هایی با مواد آلی بسیار بالا است و می‌تواند گزینه مناسبی به عنوان یک روش پیش تصفیه بهینه برای روش اسمز معکوس باشد.

واژگان کلیدی: بازیابی پساب شهری، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته ، اوزون، اشعه فرابنفش، پیش تصفیه اسمز معکوس

shayegan@sharif.edu

۱- مقدمه

با افزایش روز افزون جمعیّت جهان احتیاج به آب هرروز بیشتر احساس می شود، مطالعات نشان می دهد که رشد جمعیت جهانی تا سال ۲۰۲۰ افزایش چشم گیری خواهد داشت، این افزایش جمعیت نیاز هر چه بیشتر به آب را در زمینه های مختلف در پی خواهد داشت و در نتیجه تولید پساب فزونی خواهد گرفت. پسابهای تولیدی شامل پسابهای شهری، روستایی، صنعتی و غیره می باشند که استفاده مجدد از آنها از اهمیت خاصی برخوردار می باشد، خصوصاً اینکه بسیاری از جوامع بشری در نقاط مختلف جهان هم اکنون به محدودیت منابع تأمین آب خود مواجه شده و یا به زودی مواجه خواهند شد. بنابراین استفاده مجدد از پساب بخصوص در کشورهای خشک و نیمه خشک همانند ایران بصورت یک امر اجتناب ناپذیر برای تأمین قسمتی از نیازهای آبی در آمده است[۱].

تاریخ دریافت : ۱۴۰۲/۳/۱۳
تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۳/۳۱

مدیریت آب در صنعت نقش بسیار مهمی در ادامه حیات واحد صنعتی ایجاد می کند. کمبود منابع آبی عامل محدود کننده ای در توسعه صنعتی محسوب می گردد. بنابراین برای پیش بینی مشکلات آتی و جلوگیری از صدمات احتمالی در اثر کم آبی، در اولین مرحله کاهش مصرف آب از الویت زیادی برخوردار است[۲]. یکی از نکات اصلی بخش مدیریت آب در هر واحد صنعتی کنترل دور ریزها، جداسازی آلودگی های ضعیف از پساب های با آلودگی زیاد و برنامه ریزی برای بازیابی آب مصرف شده است. بنابراین در مجموع، اهداف مدیریت آب را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

کاهش دورریزها (ضایعات آب) و انرژی مصرفی، تامین منابع جدید آب برای سایر فعالیت های واحد صنعتی، تامین آب برای آبیاری فضای سبز و یا پروژه های زیست محیطی، کاهش هزینه های تصفیه پساب های صنعتی، کاهش وابستگی و کاستن از نیاز به منابع جدید آب و جلوگیری از تهدیدهای احتمالی[۳].

در گذشته، به دلیل کمبود آب و کمبود امکانات تصفیه فاضلاب، به طور مستقیم و غیر مستقیم برای مصارف کشاورزی و صنعتی استفاده می شده است[۴]. استفاده مجدد از فاضلاب می تواند بخشی از سبد تامین آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی باشد و با توجه به محدود بودن منابع آب در کشور و محدودیت روزافزون آن و با توجه به افزایش تدریجی فاضلابهای شهری، جایگزینی آب مورد نیاز صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و فولاد با پساب تصفیه شده حاصل از فاضلابهای شهری تا حدودی می تواند از مشکلات ناشی از تأمین آب صنعتی و معضلات بهداشتی دفع نامناسب فاضلاب بکاهد[۵]. در این راستا تخصیص و نحوه بهره برداری مناسب از پسابهای تصفیه شده شهری و صنعتی، به عنوان منابع جدید آب، امری ضروری است و برای انتخاب روش مناسب تصفیه، اولین قدم شناسایی آلاینده های موجود در آن است. [۶] اگرچه روشهای متداول تصفیه بیولوژیکی توانایی تصفیه طیف وسیعی از آلاینده های موجود در پساب های مختلف را دارا هستند ولی در مورد برخی از ترکیبات آلاینده، تصفیه بیولوژیکی کارایی ندارد[۷]. به عنوان مثال پسابهای خروجی از واحدهای بیولوژیکی تصفیه خانه های شهری به دلایل مختلفی از قبیل عدم طراحی صحیح، سربار شدن و عدم کفایت فرآیند تصفیه، دارای مقادیر بالایی از مواد آلی[۱]COD،[۲]BOD و فلزات سنگین هستند که دفع مستقیم و مستمر این پساب در خاک و یا آبیاری گیاهان، می توانند مشکلات بهداشتی مختلفی را در انسان ایجاد کند و در صورت تخلیه در رودخانه یا دریا به دلیل کاهش اکسیژن محلول، حیات آبزیان را در معرض تهدید جدی قرار می دهد. به منظور جلوگیری از این خطرها، روشهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی فراوانی برای تصفیه این پساب پیشنهاد شده است[۸]. از این رو روشهای فیزیکی و شیمیایی مانند جذب سطحی، تبادل یونی، فرایند غشایی و اکسیداسیونهای شیمیایی قادر به بازیابی پساب در حد استانداردهای مورد نیاز می باشند [۹]. اما با توجه به اینکه در ایران تمرکز بر روشهای سنتی تصفیه فاضلاب می باشد که علاوه بر هزینه بالا، آب استحصالی نیز از کیفیت مناسب برخوردار نخواهد بود و از طرفی دیگر با توجه به عدم اطلاع عموم، شرکتهای متخصص در این امر، از روشهای نوین بازیافت پساب که تنها با الگوبرداری از سیستم اجراشده در کشورهای دیگر نسبت به اجرای تصفیه خانه اقدام می نمایند که اغلب با شکست مواجه می شوند[۹]. جهت بررسی روش مطلوب، آزمایش تجربی بصورت پایلوت بر روی پساب ثانویه خروجی از تصفیه خانه و ارائه خلاصه یافته های تحقیقات و نوآوری‌های استفاده از فرآیندهای اکسایش پیشرفته به عنوان پیش تصفیه سیستم های تصفیه تکمیلی نظیر اسمز معکوس[۳](RO) امری لازم و ضروری می باشد. [۱۰] حال با توجه به اینکه بررسی روش مطلوب جهت بازیافت پساب در مقیاس صنعتی کاری بسیار دشوار و هزینه بر می باشد، همین امر ضرورت ساخت پایلوت جهت بررسی روش بهینه و بررسی تغییرات راندمان حذف آلاینده ها به کمک تلفیق روشهای تصفیه فرآیند اکسایش پیشرفته[۴](AOP) در ایران را بیش از پیش آشکار می سازد[۱۱].

فاضلاب شهری، که فاضلاب بهداشتی[۵]هم نامیده می شود و شامل فاضلاب تولیدی منازل، مراکز تجاری، موسسات شهری (ادارات، سازمان ها، موسسات آموزشی، هتل ها و رستوران ها، زندان ها و...) می باشد[۱۲].

[1] Biochemical oxygen demand
[2] Chemical oxygen demand
[3] Reverse Osmosis
[4] Advanced Oxidation Processes
[5] Sanitary wastewater

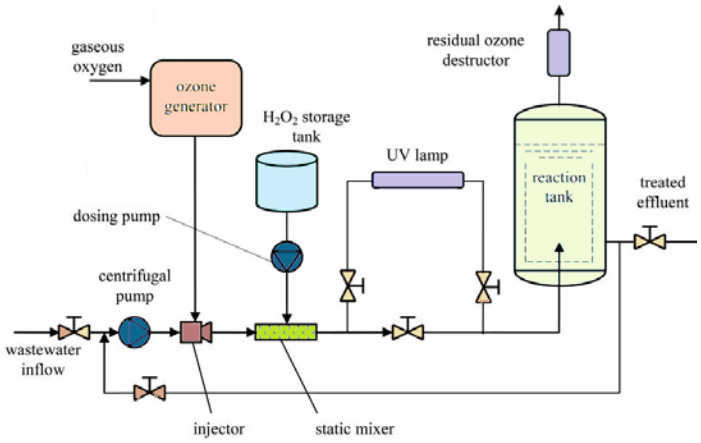
روش ها و فرایندهای تصفیه فاضلاب بر اساس کمیت و نوع آلاینده های موجود در آن و همچنین درجه تصفیه مورد نظر انتخاب می گردد[۵]. در حقیقت فاضلابی که پس از تصفیه به مصرف آبیاری در کشاورزی می رسد با فاضلابی که پس از تصفیه به آبهای سطحی تخلیه می گردد و یا فاضلابی که قرار است جهت استفاده در صنایع مورد مصرف قرار گیرد، دارای روش های تصفیه متفاوتی هستند[۱۲]. از آنجایی که غشاها نقش مهمی در تصفیه فاضلاب شهری در حد کیفیت قابل استفاده در صنایع ایفا می کنند و بخش اصلی بسیاری از سیستم های بازیابی پساب هستند، لذا سیستم پیش تصفیه مناسب باید در نظر گرفته شود[۱۳]. سیستم اکسیداسیون پیشرفته به عنوان تصفیه کامل پیشرفته[1] (FAT) شناخته می شوند [۱۴]. اگرچه تصفیه کامل پیشرفته به روش اصلی جهت بازیابی اکثر پروژه‌های بازیابی پساب تبدیل شده است و بسیاری آن را استانداردی برای استفاده مجدد در سراسر جهان می‌دانند با این حال، با وجود فناوری‌های موجود، چالش‌های متعددی از جمله گرفتگی غشاها، نفوذ آلاینده‌ها، مصرف انرژی، هزینه‌های بالای پیش تصفیه، مدیریت آب شور خروجی از سیستم اسمز معکوس[2] اجرای گسترده استفاده مجدد از پساب را محدود می‌کند[۱۵]. ولی جهت جلوگیری از کاهش راندمان تصفیه، روش مناسب باید بصورت کامل بررسی شود[۱۶] سیستم AOP به عنوان روش بازیابی در سیستم پیش تصفیه اسمز معکوس و غشاها استفاده می شود و دهم اکنون تصفیه فاضلاب بر اساس، فرآیندهای اکسایش پیشرفته (AOP) همچنان یک راه حل امیدوارکننده برای حذف مواد آلی از پساب های شهری می باشند[۱۷].

لذا در تحقیق حاضر با ساخت پایلوتی مجهز به فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته جهت تصفیه و بازیابی پساب ثانویه شهری و حذف آلاینده های باقیمانده در پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهری، در حد استفاده در فرآیندهای صنعتی بررسی شد. در طول دوره بررسی از ترکیب فرآیندهایی شامل O_3/H_2O_2, O_3/UV، UV/H_2O_2، $O_3/UV/H_2O_2$ استفاده شد. در این پژوهش سعی بر آن است که با آنالیز میزان آلاینده های موجود در پساب خروجی از واحدهای پیش تصفیه موجود در پایلوت و بررسی اثرات هر یک از واحدها بصورت جداگانه و یا بصورت تلفیقی، راندمان کاری پساب تصفیه شده خروجی بررسی و پس از مقایسه نتایج حاصله، مزایا و محدودیت ها و راندمان حذف آلاینده های مورد نظر جهت بازیابی پساب تا حد استانداردهای آب ورودی به تصفیه تکمیلی، امکان استفاده مجدد از پساب و روش بهینه معرفی شود.

۲- بخش تجربی

۲-۱- شرح کلی سیستم AOP به کار رفته جهت تصفیه و بازیافت پساب ثانویه شهری

نمودار شماتیک پایلوت آزمایشی پیش تصفیه پساب ثانویه شهری جهت ورود به واحد تصفیه پیشرفته در نظرگرفته شده برای سیستم اسمز معکوس در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. فلودیاگرام پایلوت سیستم AOP جهت تصفیه و بازیابی پساب ثانویه شهری

پساب شهری ثانویه جهت تصفیه به عنوان ورودی به پایلوت در نظر گرفته شده است. میانگین مشخصات پساب ورودی به پایلوت بازیابی پساب در جدول ۲ ارائه شده است. پساب ورودی جهت بررسی روش بهینه پیشنهادی در مطالعه حاضر و راندمان حذف توسط روش های مختلف تصفیه و همچنین اثرات آنها بر میزان گرفتگی غشاها و نوع آلاینده ای که منجر به گرفتگی آنها شده است مورد آزمون قرار گرفت. مقادیر گزارش شده در جدول ۲ میانگین نتایج آنالیز ۸۰ نمونه در یک دوره ۱۸ ماهه است. شکل ۲ تصویری از پایلوت بازیابی پساب شهری را نشان می دهد که

[1] Full advanced treatment

2 Brine

واحدهای اکسایش پیشرفته به کار رفته را نشان می دهد.

جدول ۱. کیفیت فاضلاب خروجی از تصفیه خانه ثانویه شهری و ورودی به سیستم AOP

پارامتر	میزان	پارامتر	میزان
TDS (mg/l)	۷۰۰	TSS (mg/l)	۷۰
هدایت الکتریکی (µs/cm)	۱۳۰۰	کدورت (NTU)	۶۰
سختی کل (mg/l as $CaCO_3$)	۳۳۰	pH	۸–۹
قلیائیت (mg/l as $CaCO_3$)	۳۳۰	COD (mg/l)	۶۰
سدیم(Na^+)	۲۶۰	BOD (mg/l)	۴۰
کلسیم (Ca^{2+})	۲۰۰	منیزیم (Mg^{2+})	۱۳۰
کلراید (Cl^-)	۱۷۰	سولفات (SO_4^{2-})	۱۲۰
نیتریت (NO_2)	۵/۵	نیترات (NO_3^-)	۴۰
آمونیاک Ammonia (NH_3)	۶۰	فسفات (PO_4^{2-})	۱۰
چربی و روغن (ppm)	۱۰	سیلیس (SiO_2)	۳۰
کلیفرم کل (MPN/100ml)	۱۰۰۰۰۰۰	کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	۱۰۰۰۰۰۰

الف– سیستم اشعه ماورا بنفش(UV)
ب– سیستم ازن ژنراتور
ج– فیلتر شنی و کربنی
د– میکروفیلتراسون (MF)

شکل۲. تصویر پایلوت سیستم AOP و واحدهای تصفیه تکمیلی استفاده شده در این مطالعه

۳- نتایج و بحث

۳-۱- جمع آوری و پردازش اطلاعات

برای مقایسه تفاوت در غلظت ها در طول فرآیند تصفیه به روش AOP در ورودی و خروجی آب تصفیه شده هر قسمت از پایلوت، نمونه برداری در نقاط مختلف انجام شد. محل های نمونه برداری شامل ورودی پایلوت، خروجی فرآیندهای اکسایش AOPs در مدل های مختلف UV/ازن، H_2O_2/UV، ازن/H_2O_2، ازن/UV/H_2O_2 و خروجی کل واحد با هر یک از واحدهای پیش تصفیه به تنهایی یا به صورت ترکیبی است. مقادیر گزارش شده، میانگین آنالیز ۸۰ نمونه در یک دوره ۱۸ ماهه است. پارامترهایی که توسط استانداردها جهت استفاده مجدد از فاضلاب ارائه شدند، پایش شدند.

جدول۲. میانگین مشخصات اصلی پساب شهری ورودی/خروجی به پایلوت AOP مورد استفاده، ۵۰ نمونه در یک دوره ۱۸ ماهه

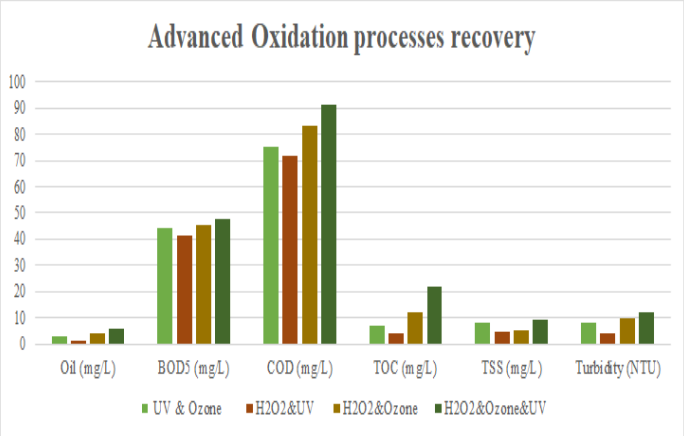
پارامتر	ورودی	ازن/UV	UV H_2O_2	ازن/H_2O_2	UV/ازن H_2O_2
Oil (mg/L)	۱۰	<۹	<۹	<۹	<۸
BOD_5 (mg/L)	۵۰	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵
COD (mg/L)	۱۰۰	۵۰	۴۰	۲۵	۱۵
TOC (mg/L)	۲۵	۱۵	۱۳	۱۰	۸
TSS (mg/L)	۸۰	۷۲	۷۴	۶۸	۶۴
TDS (mg/L)	۷۰۰	۶۶۵	۶۵۸	۶۵۱	۶۳۰
Turbidity (NTU)	۶۰	۵۴	۵۵	۵۱	۴۸
pH	۶–۷	۵/۵–۶/۵	۵/۰–۶/۵	۵/۰–۵/۵	۵/۰–۵/۵

همانگونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، نتایج دستیابی به راندمان حذف آلاینده‌های آلی بسیار بالا و حدودا ۹۰ درصد نشان می دهد و علاوه بر ضدعفونی، حذف بو و رنگ پساب نیز با راندمان بسیار زیاد فراهم شد. ولی از آنجایی که حذف کدورت و مواد معلق خود عامل بازدارنده بر برخی از سیستم ها نظیر UV بود، با در نظر گرفتن فیلتر شنی، فیلتر کربنی و میکروفیلترا سیون راندمان حذف آلایندها تا ۹۸ درصد افزایش یافت. نتایج خروجی پایلوت طراحی شده نشان دادکه استفاده از فناوریهای مبتنی بر اکسیدا سیون پیشرفته برای کاربردهای استفاده مجدد از پساب یکی از گزینه های بهینه، حتی جهت پساب های با مواد عالی بسیار بالا و بعنوان روش تصفیه تکمیلی یا همان روش اسمز معکوس (RO) باشد.

مطابق با نتایج فوق و با علم به اینکه شیوه های سنتی که در تصفیه خانه های متداول شهری به کار برده می شوند، جهت حذف آلاینده های آلی موجود در فاضلاب پاسخگو نبوده و به منظور تصفیه پیشرفته فاضلاب و ورود پساب به واحد تصفیه

نهایی بعنوان مثال سیستم اسمز معکوس (RO)، نیاز به واحد پیش تصفیه مناسب می باشد. بنابراین استفاده از واحدهای تصفیه منا سب مانند اک سیدا سیون شیمیایی پی شرفته (AOP) و سایر روش‌های فیلتراسیون ضروری است. [۱۸] همانطور که در نمودار ارائه شده در شکل ۳ مشاهده می شود، نتایج بررسی راندمان حذف مواد آلی توسط AOPs حاکی از کاهش درصد بسیار بالایی از مواد آلی و میزان پارامترهایی همچون COD, BOD, TOC توسط روشهای اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته می باشد، این در حالی است که درصد کاهش میزان TSS و کدورت بسیار پایین ا ست، لذا گرفتگی و ر سوب معدنی بر روی غ شاها در اکثر اوقات مشکل عمده ای در بهره برداری از سیستم ایجاد می نمود، که همین امر میزان نیاز به شستشوی دوره ای سیستم[1] (CIP) را افزایش داد و طول عمر غشاها را کاهش داد که در نتیجه این موضوع باعث افزایش هزینه اپراتوری بالای سیستم خواهد شد.

با توجه به اینکه تنها فیلتر شنی و کربنی و کارتریج فیلتر به عنوان پیش تصفیه اسمز معکوس در نظر گرفته شده بود، در ماه اول بهره برداری با پیش تصفیه AOP هیچگونه گرفتگی و نیاز به شستشو مشاهده نشد ولی پس از گذشت یک ماه و به دلیل عدم کفایت واحد فیلتراسیون، گرفتگی و رسوبات کلوئیدی مشاهده شد. نتایج ن شاندهنده آن ا ست که با وجود تمام مزایایی که برای سیستم های اکسایش پیشرفته به عنوان پیش تصفیه RO عنوان شد ولی دارای معایب و نقص هایی هم می باشند. بنابراین نیاز به ایجاد تغییرات و سیستم های تکمیلی امری بدیهی است که یکی از این تغییرات ا ستفاده از روش های منا سب برای حذف کدورت مانند اولترافیلتراسیون (UF) می باشد[۱۹]. به عنوان راهکاری دیگر، فیلتراسیون فعال شده بیولوژیکی ممکن است قبل از AOP مورد نیاز با شد[۲۰]. به طور کلی، راندمانهای ت صفیه به شدت به نوع فرایند اکسیدا سیون انتخابی، خصو صیات فیزیکی و شیمیایی آلاینده های موجود در پساب ورودی و شرایط عملیاتی وابسته هستند. لازم به ذکر ا ست که مکانیسم های دیگری نیز علاوه بر اک سیدا سیون رادیکال هیدروک سیل یا سولفات، ممکن ا ست در طول تصفیه اتفاق بیفتد و در کاهش آلاینده ها نقش داشته باشد[۲۱].



شکل ۳. نمودار میزان درصد حذف توسط فرآیندهای مختلف AOP مورد بررسی

٤- نتیجه گیری، چالش ها و چشم اندازها

در دهه گذشته، استفاده مجدد از فاضلاب به عنوان یکی از سریع‌ترین روش‌های رو به رشد برای مبارزه با کمبود آب و یکی از کارآمدترین گزینه‌های انرژی برای افزایش منابع آب صنعتی در حال ظهور است[۲۲]. غشاها و اکسیداسیون پیشرفته، به عنوان هسته اصلی فناوری استفاده مجدد از فاضلاب پدیدار شده اند[۲۳]. لذا با توجه به اهمیت این موضوع، این تحقیق تاثیر بسزایی در تصفیه و استفاده مجدد پساب های شهری و صنعتی خواهد داشت و امید است دیدگاه صحیح بازیافت پساب به صورت اصولی و به دور از روش های آزمون و خطا ارائه گردد. با توجه به تنوع فاضلاب شهری و صنعتی و ضرورت انجام تحقیقات گسترده برای اجرای تصفیه خانه ها با بهره برداری بهینه و ایمن، چالش های متعددی باقی مانده است که هر کدام به هدفی برای نوآوری های آینده اشاره می کنند:

- نظر به اینکه در کشورمان درباره مزایای سیستم اسمز معکوس و AOP جهت مدیریت و بهره برداری بهینه از پساب و منابع آبهای طبیعی تحقیقات کمی صورت گرفته است، لذا مطالعه حاضر می‌تواند الگویی برای کاربرد روش‌های نوین جهت تصفیه منابع آب با کیفیت های گوناگون با صرف هزینه کمتر در نقاطی که با کمبود منابع آب شیرین و فضای کم جهت نصب تاسیسات مواجه هستند باشد.

[1] Clean-in-Place

- طراحی این تحقیق بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده در دنیا و بررسی بصورت این تجربیات به صورت پایلوت و عملی بر پساب خروجی از تصفیه خانه ها انجام شده است و اثرات موارد مختلف مانند (شرایط جغرافیایی و تغییر شرایط اقلیمی و همچنین شرایط تغییرات پساب ها در شهرهای دیگر) ارزیابی نشده است، لذا باید تحقیقات گسترده ای به صورت مطالعات عملی بر روی منابع دیگر فاضلاب و همچنین آب های سطحی ایران و در شرایط و فصول مختلف سال انجام گرفته شود تا روش بهینه جهت تصفیه هر منبع به آسانی مشخص گردد.
- اگرچه فرآیندهای ازن زنی نرخ تخریب آلاینده بالایی را نشان می دهد ولی هزینه تولید ازن به دلیل دوره نیمه عمر کوتاه ازن در کاربردهای مقیاس بزرگ مقرون به صرفه نخواهد بود. علاوه بر این، ازن باید همیشه در محل تولید شود، که نیاز به سرمایه گذاری بیشتری دارد، بنابراین مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است.
- در نهایت با توجه به کمبود آب در دنیا و نیاز به بازیافت پساب های صنعتی، نتایج تحقیق حاضر می تواند به عنوان نمونه ای برای استفاده مجدد از پساب های نفت، گاز و پتروشیمی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین چالش‌های پیش روی فناوری‌های مبتنی بر غشاء برای کاربردهای استفاده مجدد از آب، از جمله موانع، تخصیص مالی و درک عمومی، به‌عنوان حوزه‌هایی بیان می‌شوند که نیاز به تحقیق و توسعه بیشتر دارند.

۵- قدردانی

این تحقیق از بخشی از پایان نامه مقطع دکتری خانم مهدیه مصطفوی دانشجوی دکترای رشته مهندسی محیط زیست (آب و فاضلاب)، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران استخراج شده است و لذا از حمایت دانشگاه آزاد اسلامی قدردانی می گردد.

مراجع

۱. بایرن وس، ترجمه مجید خاکساری، تئوری اسمز معکوس، انتشارات شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ۱۳۸۳

۲. ترابیان/ قدیم خانی، علی/ علی اصغر، تأسیسات تصفیهٔ آب، طراحی و راهبری جامع، چاپ دوم، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷

۳. چالکش امیری، محمد، اصول تصفیه آب، چاپ هفتم، ارکان دانش، ۱۳۸۸،

۴. سینگ سارای، دارشان، تصفیه آب با بیانی ساده برای راهبران تصفیه خانه ها، خانهٔ زیست ایران، ۱۳۸۷

۵. شریعت پناهی، محمد، اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، چاپ پنجم، دانشگاه تهران، ۱۳۷۷

6. Dow Water & Process Solutions FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes Technical Manual, Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow, Form No. 609-00071-1009, 2015.

7. S. Marcos von, Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal; Biological Wastewater Treatment Series; IWA Publ.: London, UK, 2007

۸. کاوامورا، سوسومو،تأسیسات تصفیهٔ آب، طراحی و راهبری جامع، چاپ دوم، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷

۹. کرمانی، محمد، روش های پیشرفته در صنعت تصفیه آب، انتشارات شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ۱۳۸۲

۱۰. محوی/ لیلی، امیر حسین/ مصطفی، تصفیه آب با بیانی ساده برای راهبران تصفیه خانه ها، خانهٔ زیست ایران، ۱۳۸۷

11. J.M. Poyatos, M.M. Muñio, M.C. Almecija, J.C. Torres, E. Hontoria, F. Osorio, Water Air Soil Pollut. 205, 187(2010).

12. N. P. Cheremisinoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Boston Oxford Auckland Johannesburg Melbourne New

Delhi, (2002 by Butterworth-Heinemann)

13. M. Schouppe, 2010. Membrane technologies for water application. European commission, Directorate General for Research, Belgium.(2010).

14. P. Shovana, Treatment of Municipal Wastewater Reverse Osmosis Concentrate using Biological Activated Carbon based Processes, ((Doctoral dissertation, RMIT University, 2016).

15. A. Cesaro, V. Belgiorno, Open Biotechnol. J. 10, 151(2016).

16. B. Grote, Application of advanced oxidation processes (AOP) in water treatment. In 37th Annual Qld Water Industry Operations Workshop Parklands, Gold Coast. 2012.

17. C. Gottschalk, JA. Libra, A. Saupe, Ozonation of water and wastewater: a practical guide to understanding ozone and its applications. (John Wiley & Sons, 2009)

18. E.J. Rosenfeldt, P.-J. Chen, S .Kullman, K.G. Linden, Sci. Total Environ. 377(1), 105(2007).

19. G. Maniakova, I. Salmerón, M.I. Polo-López, I. Oller, L. Rizzo, S. Malato, Sci. Total Environ.766, 144320(2021).

20. G. Damodhar, P. Ghosh, Russ. J. Electrochem. 55, 591(2019).

21. J. Peralta-Hernández, Y. Meas-Vong, F.J. Rodríguez, T.W. Chapman, M.I. Maldonado, L.A. Godínez, Dye Pigment. 76(3), 656(2008).

22. I.A. Alaton, I.A. Balcioglu, D.W. Bahnemann, Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: Comparison of O/UV-C and TiO/UV-A processes. Water Res. 36(5), 1143(2002).

Chemical Research & Nanomaterials
crn.shiraz.iau.ir
پژوهش های شیمیایی و نانومواد

A pilot study based on advanced oxidation processes for reducing organic pollutants and secondary municipal wastewater treatment and reuse

M. Mostafavi [1], J. Shayegan [2]*, A. H. Javid [1]

[1] Department of Environmental Engineering Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Department of Chemical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract: Nowadays, the water industry has particular importance, for both drinking and industrial water usages. In most parts of the world, water resources are increasingly decreasing due to development and increasing demand. So, wastewater treatment and reuse is a priority. Therefore, currently, treatment technology needs new and innovative processes, according to the quality of raw water and wastewater. The recovered water should have the parameters of purity, sanitary desirability, environmental acceptance and economic feasibility based on industrial water standards for reuse. Therefore, in the current research, a pilot plant equipped with advanced oxidation processes was designed to purify and recover secondary municipal wastewater and remove residual pollutants in the effluent from the secondary urban wastewater treatment plant. During the test period, which was considered with a combination of processes including O_3/H_2O_2, O_3/UV, UV/H_2O_2, $O_3/UV/H_2O_2$, the efficiency of removing organic pollutants was about 90%. In addition, disinfection, odor and color removal was also provided with very high efficiency. However, since the removal of turbidity and suspended matter was the inhibitory factor for some systems such as UV, by using sand filter, carbon filter and microfiltration, the removal efficiency of contaminants increased up to 98%. The obtained results indicate that the use of technologies based on advanced oxidation for wastewater reuse applications is one of the optimal options, even for wastewater with very high organic matter and it can be a suitable option as an optimal pretreatment method for reverse osmosis method.

Keywords: Municipal wastewater reuse, Advanced oxidation process (AOP), Ozone, Ultraviolet (UV), Reverse osmosis pretreatment

*Correspondent Author Email: *shayegan@sharif.edu*