

بهینه‌سازی فرایند تصفیه فاضلاب تولیدی از صنایع بازیافت کاغذ با استفاده از کلریدمنیزیم در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمیدهای (PAM) کاتیونی و آنیونی

طاهره زارعی محمودآبادی^{۱*}، محمدحسن احرامپوش^۲، پروانه طالبی^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ایران
۲. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ایران
۳. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

زمینه و هدف: تولید حجم بالایی از فاضلاب، از جمله مشکلات صنایع بازیافت کاغذ است که ارائه راهکارهای مناسب اقتصادی و زیست‌محیطی به‌منظور مدیریت و تصفیه مناسب، ضروری می‌باشد؛ از این رو در این تحقیق، هدف بهینه‌سازی فرایند تصفیه فاضلاب تولیدی از صنایع بازیافت کاغذ با استفاده از کلریدمنیزیم در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی و آنیونی بود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق از نوع کاربردی بود که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در ابتدا مقادیر مختلف pH (۱۲-۴) با غلظت ثابتی از کلریدمنیزیم برای تعیین pH بهینه بررسی شد. سپس بهینه‌سازی غلظت برای کلریدمنیزیم (۷۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و پلی‌آکریل‌آمیدها (۳-۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) انجام شد. در هر مرحله از بهینه‌سازی، پارامترهای TSS و COD اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، pH برابر ۱۰ به‌عنوان pH بهینه و غلظت ۵۰۰ و ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب به‌عنوان غلظت بهینه برای کلریدمنیزیم و پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی انتخاب گردید. در شرایط بهینه، راندمان حذف TSS و COD به‌ترتیب ۹۶ و ۸۳/۰۷ درصد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که کلریدمنیزیم در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی می‌تواند گزینه مناسبی برای تصفیه فاضلاب صنایع بازیافت کاغذ باشد.

کلیدواژه‌ها:

بهینه‌سازی، انعقاد و لخته‌سازی، فاضلاب صنایع

۱. مقدمه

مصرف می‌شود (۲-۳)؛ در نتیجه، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان فاضلاب صنعتی به‌شمار می‌آیند (۴). خصوصیات فاضلاب تولید شده در این صنعت، بستگی به نوع فرایند تولید و افزودنی‌های شیمیایی دارد (۵). در بین مراحل مختلف تولید،

صنایع بازیافت کاغذ، از عمده صنایعی هستند که در جریان فرایند تولید، مقادیر زیادی آب شیرین مصرف می‌کنند (۱)؛ به‌طوری که بیشتر از ۶۰ مترمکعب آب برای تولید هر تن کاغذ

* نویسنده مسئول: طاهره زارعی محمودآبادی

نشانی: یزد، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست

دورنگار: ۰۳۵-۳۱۹۲۰۵۶

تلفن: ۰۳۵-۳۱۹۲۰۵۶

رایانامه: Taherehzarei92@gmail.com

شناسه ORCID: 0000-0003-2504-9399

شناسه ORCID نویسنده اول: 0000-0003-2504-9399

مجله علمی - پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۸، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۴۰۰، ص ۳۹۷-۴۰۵

آدرس سایت: <http://jsums.medsab.ac.ir> رایانامه: journal@medsab.ac.ir

شاپای چاپی: ۱۶۰۶-۷۴۸۷

سیلیس فعال و انواع پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی، آنیونی و غیریونی به‌عنوان کمک‌منعقدکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۲).

نمک منیزیم در هنگام استفاده به جای منعقدکننده‌های معمولی در تصفیه فاضلاب مؤثر می‌باشد. جذاب‌ترین ویژگی این فرایند این است که می‌توان منیزیم را از طریق بازیافت، از رسوبات حذف کرد. این قابلیت بازیابی می‌تواند هزینه‌های مواد شیمیایی و همچنین مشکلات دفع لجن که در هنگام استفاده از منعقدکننده‌های معمولی وجود دارد را به میزان قابل توجهی کاهش دهد (۲۶).

ترکیب شیمیایی پلی‌آکریل‌آمید با محدوده وسیع وزن مولکولی و انواع بار الکتریکی و چگالی در دسترس است که نسبت به سایر پلیمرها ارزان‌تر و مؤثرتر می‌باشد. از ویژگی‌های کاربرد پلی‌آکریل‌آمیدها می‌توان دوز مصرفی کم، راندمان بالا و عدم ایجاد آلودگی محیط‌زیست را نام برد (۲۷). از جمله مطالعات انجام شده در زمینه تصفیه فاضلاب صنایع کاغذ می‌توان به مطالعه Wang و همکاران با استفاده از پلی‌آلومینیوم‌کلراید در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمید اشاره کرد که به راندمان حذف ۹۵٪ برای کدورت دست یافتند (۲۸). در مطالعه‌ای دیگر Razali و همکاران با فرایند لخته‌سازی با استفاده از polydiallyldimethylammonium به راندمان حذف بیشتر از ۹۰ درصد برای COD و TSS دست یافتند (۲۹). همچنین Liu و همکاران در تصفیه قارچی با استفاده از قارچ *Aspergillus niger*، راندمان حذف ۶۰ درصد برای COD گزارش کردند (۳۰)؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی توانایی کلریدمنیزیم به‌عنوان منعقدکننده در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمیدهای (PAM) کاتیونی و آنیونی به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تصفیه فاضلاب تولیدی از صنایع بازیافت کاغذ می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع کاربردی است که در مقیاس آزمایشگاهی در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد (با کد اخلاق: IR.SSU.SPH.REC.1396.99) انجام شد. نمونه فاضلاب به‌کاررفته در این مطالعه از فاضلاب خروجی از سالن تولید کارخانه بازیافت کاغذ واقع در شهر یزد جمع‌آوری گردید. پارامترهای pH و EC و دما در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید. ماده منعقدکننده مورد استفاده در این

مرحله خمیرسازی، شستشوی خمیر، غربال کردن و سفید کردن، مهم‌ترین منابع تولید آلاینده هستند که بیشترین آلاینده‌ها در مرحله خمیرسازی را ایجاد می‌کنند و ترکیبات کلریدی و لیگنین از آن جمله هستند (۷-۶). از سایر خصوصیات فاضلاب صنایع بازیافت کاغذ داشتن COD (Chemical Oxygen Demand) و BOD₅ (Biological Oxygen Demand) بالا، حاوی بیش از ۲۰۰-۳۰۰ ترکیبات مختلف آلی (۸)، pH اسیدی، بوی شدید، رنگ، جامدات معلق (۹) اسیده‌های چرب، تانین‌ها و فلزات می‌باشد (۵). محدودیت‌های زیست‌محیطی در خصوص ضرورت کاهش حجم پساب کارخانجات، کم شدن منابع تأمین آب موردنیاز کارخانجات و ملاحظات اقتصادی، کنترل مصرف آب را بیش از گذشته حائز اهمیت ساخته است. یکی از راه‌های کاهش مصرف آب در صنعت و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن می‌باشد (۱۱-۱۰). فرایند تصفیه این فاضلاب‌ها به دلیل تعدد آلاینده‌ها و پیچیدگی ساختمان شیمیایی ترکیبات آن‌ها یکی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین فرایندها است (۱۳-۱۲). روش‌های مورداستفاده برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع بازیافت کاغذ شامل روش‌های بیولوژیکی (۱۴-۱۵)، الکتروکواگولاسیون (۱۶)، اکسیداسیون (۱۷)، فرایند جذب (۱۸)، تکنولوژی‌های غشایی (۲۰-۱۹) می‌باشد که هر کدام مزایا و معایبی به دنبال دارند. فرایند انعقاد و لخته‌سازی یکی از بیشترین فرایندهایی است که به‌طور گسترده بر تصفیه آب و فاضلاب‌های صنعتی انجام شده است (۲۲-۲۱).

فاضلاب صنایع بازیافت کاغذ، حاوی ذرات ریز کلئیدی می‌باشند که دارای بار الکتریکی منفی هستند. وجود چنین نیروی دافعه‌ای بین این ذرات کلئیدی، مانع از اتصال آن‌ها و تشکیل ذرات درشت‌تر و سنگین‌تر می‌گردد و برای ته‌نشینی به‌صورت طبیعی نیز به زمان بسیار طولانی‌تری نیاز دارند. به‌هم‌پیوستگی کلئیدها می‌تواند از طریق کاهش میزان نیروهایی که ذرات کلئیدی را ناپایدار می‌سازند صورت گیرد (۲۴-۲۳). برای این منظور، از مواد شیمیایی استفاده می‌شود که این مواد قادر هستند تحت فعل و انفعالات شیمی-فیزیکی، ذرات کلئیدی را بی‌بار کنند و موجبات به‌هم‌پیوستگی و تشکیل ذرات درشت و قابل ته‌نشینی شدن را فراهم سازند (۲۵). طی فرایند انعقاد و لخته‌سازی، از منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده‌های مختلف استفاده می‌شود. منعقدکننده‌هایی مانند آلوم (سولفات آلومینیوم)، پلی‌آلومینیوم کلراید، کلریدفریک و سولفات فریک و ترکیباتی نظیر بنتونیت،

و بیرد استیرر، آمریکا) برای آزمایش‌ها و بهینه‌سازی مراحل استفاده شد.

در ادامه برای بهینه‌سازی پارامتر pH، نمونه در pHهای مختلف (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) بررسی شد. سپس با ثابت نگه‌داشتن pH بهینه به دست آمده از مرحله قبل، غلظت‌های مختلف کلریدمنیزیم (۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و در ادامه غلظت‌های مختلف پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی و آنیونی (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر) به نمونه اضافه گردید. تمام آزمایش‌ها در اختلاط سریع ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۲۰ ثانیه و اختلاط آهسته ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد (۲۴). زمان ته‌نشینی پس از هر مرحله از فرایند ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از هر مرحله از ته‌نشینی پارامترهای کدورت، TSS و COD برای تعیین شرایط بهینه، اندازه‌گیری شد. تمام آزمایش‌ها در دمای محیط آزمایشگاه (۲۰±۲ °C) انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با SPSS نسخه ۲۳ با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) انجام شد. سطح معنی‌داری در آزمون، ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

۳. یافته‌ها

خصوصیات فاضلاب صنعت بازیافت کاغذ مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

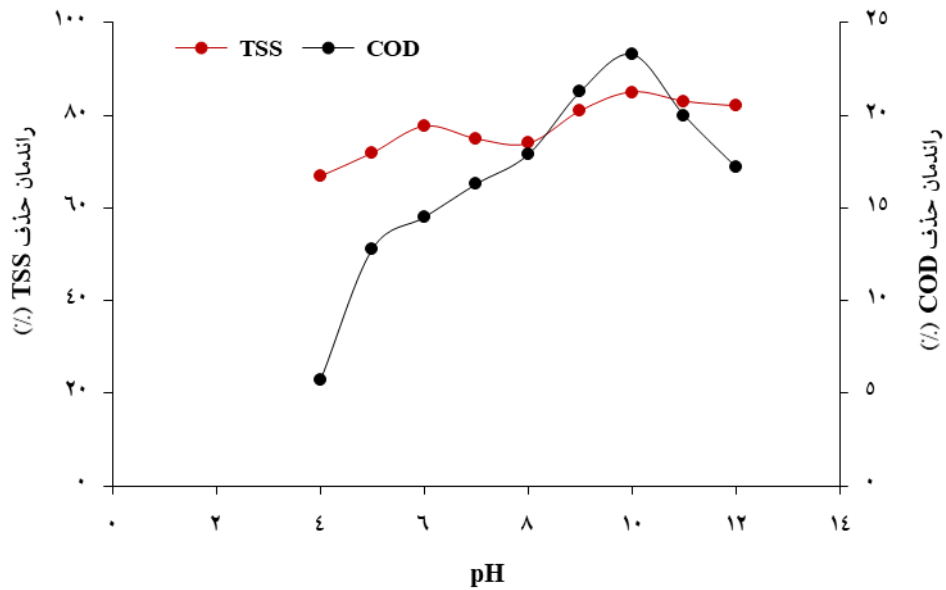
پارامتر	واحد	مقادیر
pH	-	۶/۴
دما	°C	۴۰
هدایت الکتریکی (EC)	mS/cm	۱۰/۲۹
کدورت	NTU	۲۵۰۰
کل جامدات محلول (TDS)	mg/L	۳۲۴۳
کل جامدات معلق (TSS)	mg/L	۲۰۲۵
اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD)	mg/L	۹۷۵۰

۲۳/۳ درصد به دست آمد؛ در نتیجه pH برابر ۱۰ به عنوان بهترین pH برای کلریدمنیزیم انتخاب گردید. ضریب همبستگی بین متغیر pH با متغیرهای TSS و COD به ترتیب (r= ۰/۸)، (p= ۰/۰۰۱)، (r= ۰/۷)، (p= ۰/۰۱) به دست آمد که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن رابطه بین متغیر pH و راندمان حذف TSS و COD می‌باشد.

مطالعه کلریدمنیزیم $MgCl_2$ (۹۹ درصد) ساخت شرکت مرک آلمان و پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی (Zetage (PAM-C) 8147 و آنیونی (Zetage 4125) (PAM-A) با وزن مولکولی بالا ساخت شرکت BASF آلمان به عنوان کمک‌منعقدکننده استفاده شدند. محلول استوک کلریدمنیزیم به صورت ۱۰ درصد و پلی‌آکریل‌آمیدها ۰/۱ درصد و با آب مقطر تهیه شد. هیدروکسیدسدیم و اسیدسولفوریک ساخت مرک آلمان به صورت محلول یک نرمال تهیه شدند.

پساب برای تعیین pH، هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)، کل جامدات معلق (Total suspended solids)، کل جامدات محلول (Total dissolved solids)، کدورت، اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD) بررسی شد. pH و EC پساب با استفاده از مولتی‌پارامتر HACH مدل HQ40 ساخت آمریکا، TSS و کدورت با استفاده از DR2000 به ترتیب در طول موج‌های ۸۱۰ و ۴۵۰ نانومتر و TDS براساس روش وزن‌سنجی که در بخش 2540-C استاندارد توضیح داده شده است، سنجیده شدند. اندازه‌گیری COD با استفاده از ویال COD، ساخت شرکت HACH انجام شد؛ به این صورت که به مدت ۲ ساعت در دستگاه هاضم (HACH) در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد و پس از سرد شدن با استفاده از دستگاه DR2000 HACH در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید (۳۱). همچنین از دستگاه جارتست مدل ۴۰۲-۷۷۹۰ (فیپس)

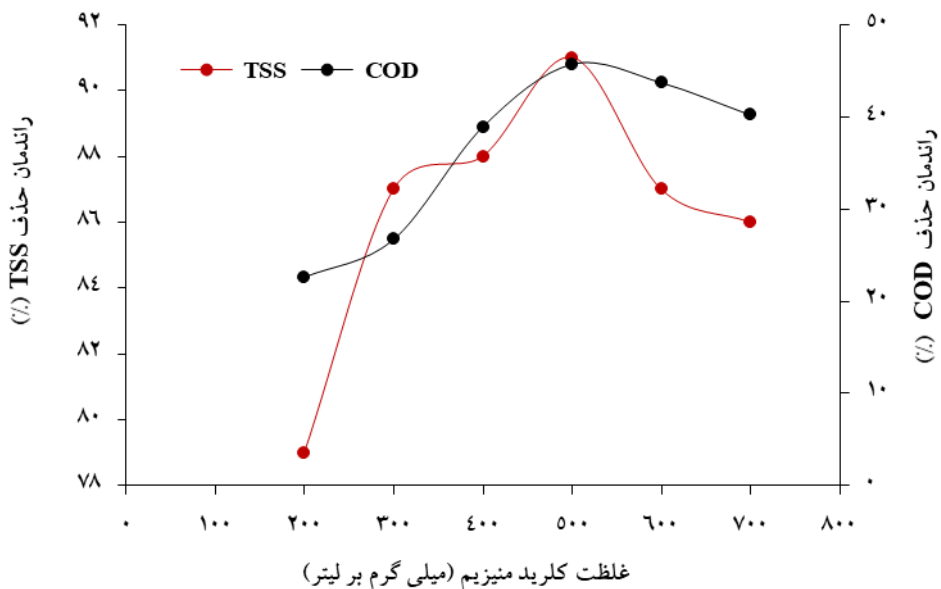
در اولین مرحله، تأثیر مقادیر مختلف pH بر روند حذف TSS و COD در غلظت ثابت کلریدمنیزیم (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بررسی شد که نتایج در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد راندمان حذف TSS و COD در pH بالاتر از ۱۰ کاهش داشته است. در این pH میزان حذف TSS و COD به ترتیب ۸۵ و



نمودار ۱. تأثیر pH در حذف TSS و COD با استفاده از منعقدکننده کلرید منیزیم (غلظت ثابت کلرید منیزیم ۳۰۰ mg/L)

بین متغیر غلظت با متغیرهای TSS و COD به ترتیب ($r = ۰/۵$)، ($p = ۰/۳$)، ($r = ۰/۷$)، ($p = ۰/۰۴$) به دست آمد؛ در نتیجه بین متغیر غلظت و راندمان حذف TSS رابطه معنی دار وجود نداشت و بین متغیر غلظت و راندمان حذف COD رابطه معنی دار مشاهده شد.

در ادامه، تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید منیزیم در pH بهینه به دست آمده از مرحله قبل بر حذف TSS و COD در نمودار ۲ نشان داده شده است. حداکثر حذف آلاینده‌های مورد بررسی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از کلرید منیزیم با راندمان حذف ۹۱ و ۴۵/۷ درصد برای TSS و COD به دست آمد. ضریب همبستگی



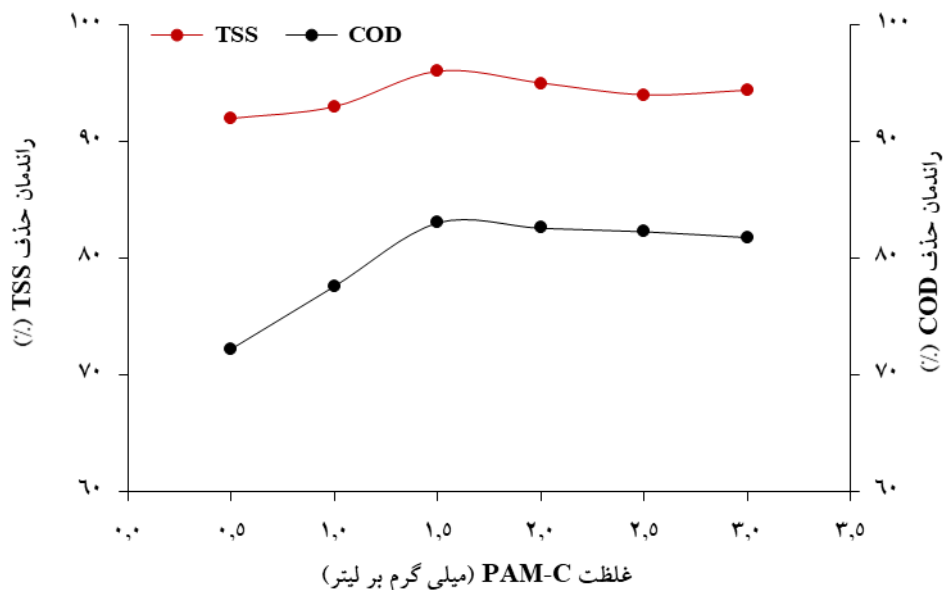
نمودار ۲. تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید منیزیم به عنوان منعقدکننده در حذف TSS و COD (pH برابر ۱۰)

در شرایط بهینه بر حذف آلاینده‌های TSS و COD نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد پلی‌آکریل‌آمید

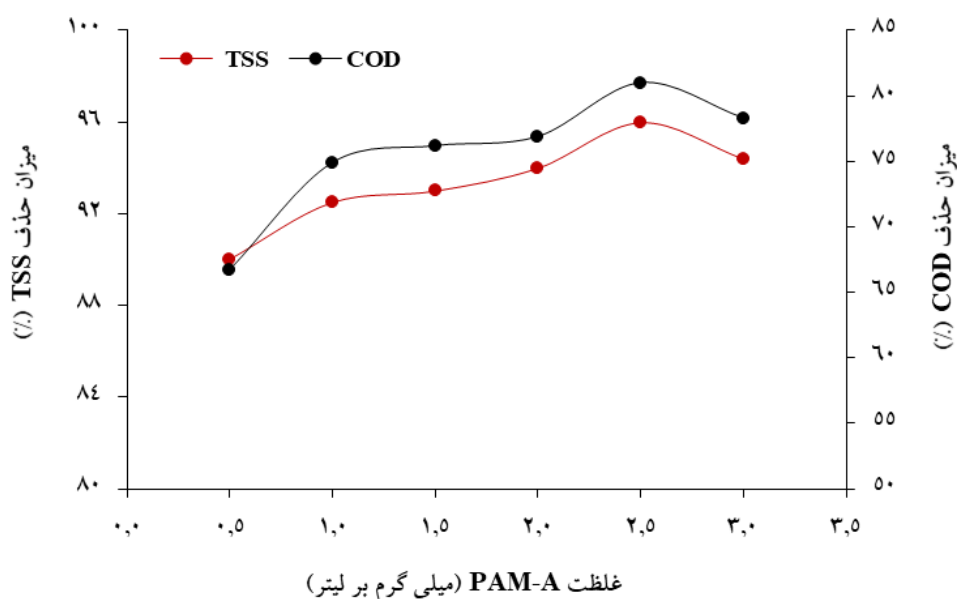
در نمودارهای ۳ و ۴ تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی (PAM-C) و آنیونی (PAM-A)

آلاینده‌های مورد بررسی در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر از پلی‌آکریل‌آمید آنیونی (PAM-A) به دست آمد. ضریب همبستگی بین متغیر غلظت با متغیرهای COD و TSS به ترتیب $(p=0/02, r=0/8)$ ، $(p=0/03, r=0/8)$ به دست آمد. نتایج نشان داد که بین غلظت پلی‌آکریل‌آمید آنیونی و راندمان حذف COD و TSS رابطه معنی‌داری وجود داشت.

کاتیونی (PAM-C) در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر حداکثر راندمان حذف ۹۶ و ۸۳/۰۷ درصد حذف را برای TSS و COD نشان داد. ضریب همبستگی بین متغیر غلظت با متغیرهای COD و TSS به ترتیب $(p=0/02, r=0/5)$ ، $(p=0/02, r=0/5)$ به دست آمد. در نتیجه بین غلظت پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی و راندمان حذف COD و TSS رابطه معنی‌دار وجود نداشت. در ادامه حداکثر راندمان حذف ۹۶ و ۸۱/۰۲ درصد برای



نمودار ۳. تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی (PAM-C) در حذف COD و TSS (pH برابر ۱۰، غلظت کلرید منیزیم = ۵۰۰ mg/L)



نمودار ۴. تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌آکریل‌آمیدهای آنیونی (PAM-A) در حذف COD و TSS (pH برابر ۱۰، غلظت کلرید منیزیم = ۵۰۰ mg/L)

۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که تغییر pH اولیه، بازده حذف آلاینده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیقات متعددی نیز در این زمینه نشان دادند که pH اولیه محلول تأثیر قابل توجهی بر عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی دارد. در فرایند انعقاد و لخته‌سازی، pH فاکتور بسیار مهمی است و بر همه تعادل‌های هیدرولیزی که منشأ گونه‌های متفاوت در محلول است، تأثیر می‌گذارد (۳۲). در این مطالعه، بیشترین راندمان فرایند انعقاد و لخته‌سازی در pH قلیایی (pH=۱۰) به دست آمد. کمترین راندمان در pHهای اسیدی به خصوص pH برابر ۴ بود. همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌گردد در pHهای بالاتر از ۱۰ راندمان حذف، کاهش می‌یابد. این می‌تواند به این دلیل باشد که هنگام افزایش یافتن قلیائیت محلول محتوی کلریدمنیزیم به وسیله NaOH؛ رسوب هیدروکسیدمنیزیم $Mg(OH)_2$ تشکیل می‌شود و در pHهای بالاتر از ۱۰ با تشکیل رسوب اضافه هیدروکسیدمنیزیم راندمان کاهش می‌یابد (۳۳). در مطالعه Gao و همکاران گزارش گردید که حذف رنگ از فاضلاب توسط منعقدکننده کلریدمنیزیم به‌طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به pH می‌باشد و با افزایش مقدار pH میزان راندمان حذف رنگ افزایش می‌یابد و بهترین شرایط برای فرایند انعقاد و لخته‌سازی در pH قلیایی (pH=۱۲) مشاهده شد (۲۶). همچنین محققان دیگر حداکثر راندمان کلریدمنیزیم را در pH قلیایی تأیید می‌کنند که با نتیجه به دست آمده در این مطالعه مطابقت داشت.

غلظت ماده منعقدکننده برای به دست آوردن بهترین عملکرد در تصفیه، یکی از فاکتورهای مهم می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده از غلظت کلریدمنیزیم مشاهده گردید که ابتدا با افزایش غلظت کلریدمنیزیم تا غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر راندمان حذف پارامترهای TSS و COD افزایش می‌یابد اما از این دوز به بعد با افزایش غلظت کلریدمنیزیم، راندمان حذف پارامترها کاهش می‌یابد. حضور بیش از حد کلریدمنیزیم، لخته‌های بیشتری را تشکیل می‌دهد که برای ته‌نشینی به زمان‌ماند بیشتری نیاز دارند (۳۴). در مطالعه Birjandi و همکاران مشخص شد که حداکثر راندمان حذف کدورت و COD در غلظت بهینه ۱۵۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از آلوم و ۱۳۱۴ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید به ترتیب ۸۳/۲۳ و ۸۰/۰۲ درصد به دست آمد (۲۱) که نسبت به مطالعه حاضر به راندمان حذف بیشتری برای COD دست یافتند که این می‌تواند به علت استفاده از غلظت بیشتر منعقدکننده‌های مصرفی باشد. پلی‌آکریل‌آمیدها با ایجاد پل بین فلوک‌های ریز حاصل از

کار منعقدکننده، آن‌ها را به صورت لخته‌های درشت و سنگین درمی‌آوردند و عمل ته‌نشینی را سرعت می‌دهد و همچنین حجم لجن نیز کاهش می‌یابد (۳۵). همچنین محدوده pH بهینه را گسترش و مقدار مصرف ماده منعقدکننده را بین ۶۰-۴۰ درصد کاهش می‌دهند (۳۶). عملکرد لخته‌سازها در ابتدا به نوع لخته‌ساز استفاده شده، وزن مولکولی آن، طبیعت یونی، نوع مواد در سوسپانسیون فاضلاب و نوع فاضلاب بستگی دارد [۳۵]. همان‌طور که در نمودارهای ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد با افزایش کمک منعقدکننده تا غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر برای پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی و غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر برای پلی‌آکریل‌آمید آنیونی، راندمان حذف آلاینده‌ها افزایش و در غلظت‌های بالاتر راندمان حذف، کاهش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل افزایش بار سطحی باشد که در نتیجه عملکرد معکوس اتفاق افتاده و آنچه جذب فلاک‌ها شدند آزاد می‌شوند (۳۷). در نهایت غلظت ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر برای پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی و آنیونی به‌عنوان غلظت بهینه انتخاب گردید. در این مطالعه مشاهده گردید پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی در غلظت کمتر، راندمان حذف مناسبی را برای حذف آلاینده‌ها به دست آورده است که این نشان‌دهنده برتری این نوع از کمک‌منعقدکننده‌ها بر نوع آنیونی در تصفیه فاضلاب صنایع بازیافت کاغذ است. برتری پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی نسبت به آنیونی در تصفیه فاضلاب صنایع بازیافت کاغذ، حضور ذرات ریز کلوئیدی با بارالکتریکی منفی در پساب‌های صنایع بازیافت کاغذ می‌باشد. مطالعه Wong و همکاران با عنوان «تصفیه فاضلاب کاغذ و مقوا توسط پلی‌آکریل‌آمیدها» نشان داد که پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی با وزن مولکولی بالاتر و دانسیته بار کمتر، بیشترین راندمان حذف را داشته است (۲۴) که با مطالعه حاضر، هم‌خوانی داشت. به‌طور کلی انتخاب یک روش تصفیه مناسب برای تصفیه فاضلاب، فرایند پیچیده‌ای است که به عواملی از قبیل راندمان فرایند تصفیه، دفع نهایی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری وابسته می‌باشد. فرایند انعقاد شیمیایی با استفاده از کلریدمنیزیم در ترکیب با پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی توانست بهترین راندمان حذف TSS و COD را از فاضلاب مورد مطالعه نشان دهد که برابر ۹۶ و ۸۳/۰۷ درصد باشد و میزان TSS و COD را تا ۷۹ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش داد. با توجه به اینکه فرایند حاضر نتوانست COD پساب مورد مطالعه را در حد استانداردهای تخلیه به محیط زیست تصفیه کند؛ به تصفیه اضافی نیاز خواهد داشت. از این رو کاربرد این روش می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌تصفیه در امر تصفیه هرچه بهتر فاضلاب‌های صنایع بازیافت کاغذ با COD بالا کارگشا باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد برای حمایت مالی، تشکر و قدردانی

می‌کنند. این مقاله قسمتی از طرح تحقیقاتی با کد ۵۲۴۳ تصویب شده در مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد

References

- [1]. Katal R, Pahlavanzadeh P. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. *Desalination*. 2011;265:199-205.
- [2]. Bakraoui M, Karouach F, Ouhammou B, Aggour M, Essamri A, El Bari H. Biogas production from recycled paper mill wastewater by UASB digester: Optimal and mesophilic conditions. *Bioresour technol*. 2020;25:e00402.
- [3]. Kamali M, Khodaparast Z. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014;1-17.
- [4]. Ashrafi O, Yerushalmi L, Haghghat F. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *J environ manag*. 2015;158:146-57.
- [5]. Wong S, Teng T, Ahmad A, Zuhairi A, Najafpour G. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *J Hazard Mater*. 2006;135:378-88.
- [6]. Birjandi N, Younesi H, Bahramifar N, Hadavifar M. Application of Chemical Coagulation Method for Paper-Recycling Wastewater Treatment. *J Water and Wastewater*. 2010; 62:56-62. [Persian]
- [7]. Zarei Mahmudabadi T, Ehrampoush MH, Talebi P, Fouladi-Fard R, Eslami H. Comparison of poly ferric chloride and poly titanium tetrachloride in coagulation and flocculation process for paper and cardboard wastewater treatment. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020; 1-11.
- [8]. Dixit M, Liu H, Luo J, Shukla P. Effluents detoxification from pulp and paper industry using microbial engineering and advanced oxidation techniques. *J Hazard Mater*. 2020;398:122998.
- [9]. Renault F, Sancey B, Charles J, Morin-Crini N, Badot P-M, Winterton P, et al. Chitosan flocculation of cardboard-mill secondary biological wastewater. *Chem Engin J*. 2009;155(3):775-83.
- [10]. Ashrafi O, Yerushalmi L, Haghghat F. Application of dynamic models to estimate greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and paper industry. *Environ Sci Pollut Res*. 2013;20(3):1858-69.
- [11]. Ashrafi O, Yerushalmi L, Haghghat F. Greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and paper industry-Modeling and simulation. *Int j greenh gas con*. 2013;17:462-72.
- [12]. Pokhrel D, Viraraghavan T. Treatment of pulp and paper mill wastewater - a review. *Sci Total Environ*. 2004;333:37-58.
- [13]. Bilotta G S, Brazier RE. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Res*. 2005;42:2849-61.
- [14]. Tiku DK, Kumar A, Chaturvedi, R, Dayal S, Manoharan A, Kumar R. Holistic bioremediation of pulp mill effluents using autochthonous bacteria. *Int Biodeterior Biodegrad*. 2011; 64: 173-183.
- [15]. Zhang S, Jiang M, Zhou Z, Zhao M, Li Y. Selective removal of lignin in steam-exploded rice straw by *Phanerochaete chrysosporium*. *Int Biodeterior Biodegrad*. 2012; 75: 89-95.
- [16]. Shankar R, Singh L, Mondal P, Chand S. Removal of lignin from waste-water through electro-coagulation. *World J Environ Eng*. 2013; 1: 16-20.
- [17]. Herney-ramirez J, Silva AMT, Vicente MA, Costa CA, Madeira LM. Degradation of acid orange 7 using a saponite-based catalyst in wet hydrogen peroxide oxidation: kinetic study with the Fermi's equation. *Appl Catal B Environ*. 2011; 101(3-4): 197-205.
- [18]. IXilei D, Tingzhi L, Weijiang D, Huiren H. Adsorption and coagulation tertiary treatment of pulp and paper mills wastewater. In: Proceedings of the 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE).2010.
- [19]. Ciputra S, Antony A, Phillips R, Richardson D, Leslie G. Comparison of treatment options for removal of recalcitrant dissolved organic matter from paper mill effluent. *Chemosphere*. 2010; 81: 86-91.
- [20]. Gonder ZB, Arayici S, Barlas H. Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: effects of operating conditions on membrane fouling. *Sep Purif Technol*. 2011; 76: 292-302.
- [21]. Birjandi N, Younesi H, Bahramifar N. Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology. *Appl Water Sci*. 2016;6(4):339-48.
- [22]. Zarei Mahmudabadi T, Ebrahimi AA, Eslami H, Mokhtari M, Salmani MH, Ghaneian MT, et al. Optimization and economic evaluation of modified coagulation-flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. *AMB Express*. 2018;8(1):172.
- [23]. Kamali M, Khodaparast Z. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2015;114:326-42.
- [24]. Wong S, Teng T, Ahmad A, Zuhairi A, Najafpour G. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *J hazard mater*. 2006;135(1):378-88.
- [25]. Zarei Mahmudabadi T, Ebrahimi A, Ghaneian MT, Mokhtari M, Salmani MH, Talebi P. Performance Evaluation of Tile Wastewater Treatment with Different Coagulants. *JEHSD*. 2016. 1(1):18-27.
- [26]. Gao B-Y, Yue Q-Y, Wang Y, Zhou W-Z. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. *J environ manag*. 2007;82(2):167-72.
- [27]. Wang J, Chen C, Gao Q, Li T, Zhu F. Relationship between the characteristics of cationic polyacrylamide and sewage sludge dewatering performance in a full-scale plant. *Procedia EnvironSci*. 2012;16:409-17.
- [28]. Wang J, Chen Y, Wang Y, Yuan S, Yu H. Optimization of the coagulation- flocculation process for pulp mill wastewater treatment using a combination of uniform design and response surface methodology. *Water Res*. 2011; 45: 5633-5640.
- [29]. Razali MAA, Ahmad Z, Ahmad MSB, Ariffin A. Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polyDADMAC induced flocculation. *Chem Eng J*. 2011;166: 529-535.
- [30]. Liu T, Hu H, He Z, Ni Y. Treatment of poplar alkaline peroxide mechanical pulping (APMP) effluent with *Aspergillus niger*. *Bioresour Technol*. 2011; 102: 7361-7365.
- [31]. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA), Washington, DC. 2012.
- [32]. Zayas T, Romero N, Salgado L, Meraz M, Morales U. Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent. *Sep Purif Technol*. 2007;57(2):270-6.
- [33]. Tan BH, Teng TT, Omar AM. Removal of dyes and industrial

- dye wastes by magnesium chloride. *Water Res.* 2000;34(2):597-601.
- [34]. Rawi SNM, Zularisam AW, Nasrullah M, Najib NWAZ. Pretreatment of Reactive Dye from Textile Wastewater by Coagulation Technology. *Int J Res Eng Technol.* 2016;3(12):28-33.
- [35]. Eldemerdash U. Using Ceramic Materials for Enhanced Wastewater Treatment in Industrial Applications. *Int Ceram*
- Review.* 2011;60:100-4.
- [36]. Bolto B, Gregory J. Organic polyelectrolytes in watertreatment. *Water Res.* 2007;41:2301-24.
- [37]. Chong MF, Lee KP, Chieng HJ, Ramli IISB. Removal of boron from ceramic industry wastewater by adsorption-flocculation mechanism using palm oil mill boiler (POMB) bottom ash and polymer. *Water Res.* 2009;43(13):3326-34.

Optimization of wastewater treatment process from paper recycling industry with using magnesium chloride in combination with cationic and anionic polyacrylamides

Tahereh Zarei Mahmoudabadi^{1*}, Mouhammad Hassan Ehrampoush², Parvaneh Talebi³

1. MSc of Environmental Health Engineering, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
2. Professor of Environmental Health Engineering, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
3. MSc of Environmental Engineering, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Abstract

Introduction: The production of high wastewater is one of the problems of recycling paper industry, it is essential to provide appropriate economic and environmental solutions for proper management and treatment. So in this research, the purpose was of optimization the treatment of wastewater products from the paper recycling industry with using magnesium chloride in combination with cationic and anionic polyacrylamides.

Materials and Methods: This was an applied research which was done on a laboratory scale. The different pH (4-12) values at a fixed concentration of magnesium chloride to determine the optimum pH was investigated. Then optimization of concentration for magnesium chloride (200-700 mg/L) and polyacrylamides (0.5-3 mg/L) was performed. At each stage of optimization, the parameters of TSS and COD were measured. Pearson correlation coefficient was used for analysis of data and significance level was 0.05.

Results: According to the results, pH=10 as optimal pH and concentrations of 500 and 1.5 mg / L were selected as optimal concentrations for magnesium chloride and cationic polyacrylamide, respectively. Under optimal conditions, the efficiency of removing TSS and COD was 96% and 83.07%, respectively.

Conclusion: The results showed that magnesium chloride combined with cationic polyacrylamide, can be used as an appropriate option for wastewater treatment of paper recycling industries.

Received: 2020/01/30

Accepted: 2020/05/30

Keywords: Optimization, Coagulation/flocculation, Industrial wastewater