

Efficiency of Advanced Post-Treatment in Color and COD Removal from Effluent of Baker's Yeast Wastewater Treatment Plant

Alizadeh Z¹, Hassanvand MS², Gholampour A*³

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

2. Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +984133357581 Fax: +984133355952 E-mail: Ak.golampour@gmail.com

Received: 1 Jan, 2016 Accepted: 3 Mar, 2016

ABSTRACT

Background & objectives: Due to the use of molasses as a raw material, baker's yeast industries produce large amount of wastewater containing high organic pollution, colloidal impurities and color that may pose impact on the environment. This study aimed to evaluate the effectiveness of different coagulation and flocculation methods using aluminum sulfate, ferric chloride, poly aluminum chloride, and hydrogen peroxide on COD and color removal from effluent of biological treatment plants in yeast industries.

Methods: Wastewater samples were collected from effluent of a yeast-manufacturing factory. Coagulation and flocculation studies were done by jar test; COD was measured by closed-reflux method in soxhlet and the color was measured using palatine-cobalt according to standard methods.

Results: Optimum dose of coagulant to reduce COD and color at pH= 7 was about 4,000 mg/l and this dose reduced 60-70% of COD and 85-95% of the color.

Conclusion: Although, coagulants as a secondary treatment removes high levels of COD and the color; however, the quality of the effluent normally does not meet Environmental Protection Agency standards. In order to achieve the standards of the Environmental Protection Agency, using some other advanced treatment methods e.g. advanced oxidation by Fenton, ozone are required along with the biological and coagulation processes.

Keywords: Baker's Yeast; Coagulation and Flocculation; Advanced Treatment; COD; Hydrogen Peroxide.

بررسی کارایی تصفیه پیشرفته در حذف COD و رنگ پساب تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه خمیرمایه

زهرا علیزاده¹، محمد صادق حسنونند²، اکبر غلامپور^{3*}

1. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

2. دکترای بهداشت محیط، استادیار مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران

3. دکتری بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

* نویسنده مسئول. تلفن: 041 33357581، فکس: 041 33355952، ایمیل: Ak.golampour@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: صنایع تولید خمیرمایه به دلیل استفاده از ملاس بعنوان ماده اولیه فرایند تخمیر، مقدار زیادی فاضلاب با بار آلودگی، ناخالصی کلوئیدی و رنگ زیاد تولید می‌کنند که می‌تواند خطرات جدی برای محیط زیست ایجاد نماید. هدف از این مطالعه بررسی کارایی روش‌های مختلف انعقاد و لخته سازی به کمک سولفات آلومینیم، کلرور فریک و پلی آلومینیم کلراید و اکسیداسیون پیشرفته به کمک آب اکسیژنه در کاهش میزان COD و رنگ پساب خروجی از واحدهای تصفیه بیولوژیکی کارخانه خمیرمایه بود.

روش کار: به منظور انجام آزمایشات، نمونه‌های واقعی از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه خمیرمایه تهیه گردید. آزمایشات انعقاد و ته‌نشینی با استفاده از دستگاه جارتست انجام شده و مقادیر COD با استفاده از روش رفلکس بسته در اجاق سوکسله و مقدار رنگ به روش پلاتینیوم کبالت مطابق با استاندارد متدز اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: مقدار دوز بهینه مواد منعقدکننده جهت کاهش COD و رنگ در pH=7 حدود 4000 میلی گرم در لیتر بوده و در این دوز مصرفی مقدار COD در حدود 60-70 درصد و مقدار رنگ در حدود 95-85 درصد کاهش یافت.

نتیجه گیری: هرچند استفاده از انواع منعقدکننده‌ها به عنوان تصفیه ثالثیه قادر است مقادیر بالایی از COD و رنگ را حذف نماید با این حال کیفیت پساب تولید شده همچنان مغایر با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست بوده و بمنظور حصول استانداردهای سازمان محیط زیست علاوه بر استفاده از سیستم‌های بیولوژیکی و فرایند انعقاد و ته‌نشینی، به واحدهای تصفیه دیگری از قبیل اکسیداسیون پیشرفته با فنتون، ازن و... نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خمیرمایه، انعقاد و لخته سازی، تصفیه پیشرفته، COD، آب اکسیژنه

دریافت: 94/10/11 پذیرش: 94/12/13

مقدمه

ملاس که محصول جانبی کارخانجات تولید قند و شکر است بدلیل قیمت پایین و نیز محتوای بالای مواد قندی، مرسوم ترین ماده اولیه برای واحدهای صنعتی دارای واحد تخمیر از قبیل صنایع تولید خمیرمایه و تولید الکل به شمار می‌رود. با این حال مشکل اساسی استفاده از این ماده تولید فاضلاب بسیار زیاد با مقدار مواد آلی بالا و نیز رنگ زیاد قهوه‌ای است (1). فرایندهای تصفیه بیولوژیکی مرسوم از قبیل

سیستم‌های بی‌هوایی و نیز لجن فعال قادرند مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی (BOD) را تا حد استانداردهای وضع شده کاهش دهند؛ ولی بخش غیر قابل تجزیه بیولوژیکی فاضلاب‌های صنایع خمیرمایه توسط فرایندهای بیولوژیکی قابل تصفیه و حذف نیستند. علی‌رغم استفاده از دو واحد UASB بصورت سری و یک واحد بیولوژیکی هوایی لجن فعال، پساب خروجی از تصفیه‌خانه کارخانه خمیرمایه هنوز دارای مقادیر بالایی مواد آلی بوده و رنگ قهوه‌ای تیره

پساب نشان‌دهنده عدم حصول استانداردهای مجاز تخلیه پساب به محیط زیست می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل حضور مقادیر بالای ملانوییدها در فاضلاب این نوع کارخانه‌ها باشد. ملانوییدها پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا هستند که از احیاء کربوهیدرات‌ها و آمینواسیدها حاصل می‌شوند. این ترکیبات فقط حدود 6-7 درصد در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی بی‌هوازی-هوازی، قابل تجزیه بیولوژیکی می‌باشند که بدلیل خواص آنتی اکسیدان این ترکیب بوده و برای بسیاری از میکروارگانیسم‌ها در سیستم‌های بیولوژیکی سمی هستند. از طرفی به دلیل پلیمریزاسیون مجدد ملانوییدها در طی فرایندهای تصفیه بیولوژیکی، رنگ پساب تصفیه شده در سیستم‌های بیولوژیکی تیره تر از فاضلاب اولیه می‌گردد (1-3). در طی مطالعات مختلف مشخص شده است که مقدار COD فاضلاب تولید شده از صنایع تولید خمیر مایع در محدوده 10-100g/l می‌باشد که از این میزان در حدود 50-5g/l آن قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و مابقی آن غیر قابل تجزیه بیولوژیکی می‌باشد. همچنین این فاضلاب حاوی مقادیر بسیار بالای نیتروژن (225-3038 mg/l)، فسفر (mg/l) 1660-4200 و پتاسیم می‌باشد که در صورت تخلیه به منابع آبی می‌توانند باعث ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون در منابع آب شوند (4). لذا به همراه تصفیه بیولوژیکی این نوع فاضلاب‌ها، استفاده از انواع روش‌های مختلف از قبیل سیستم‌های ممبرانی (5)، اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته با استفاده از ازن (6) و فنتون (7) و انواع منعقدکننده (8) بعنوان روش‌های کاهش رنگ و COD فاضلاب کارخانجات خمیرمایه مورد بررسی قرار گرفته اند.

پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه‌های خمیرمایه عموماً دارای انواع مختلفی از ناخالصی‌های کلوئیدی هستند که باعث ایجاد کدورت و تا حدود خیلی زیادی رنگ می‌شوند. برای حذف کلوئیدها باید ذرات مجزای کلوئید با هم جمع شده و از نظر اندازه

بزرگ شوند تا قابلیت ترسیب و ته نشینی داشته باشند. در این بین روش انعقاد و لخته سازی با استفاده از سولفات آلومینیم، کلرور فریک و نیز پلی آلومینیم کلراید کاربرد گسترده‌ای دارند (6). با استفاده از این ترکیبات مواد کلوئیدی و بسیار ریز که اغلب مواد تشکیل دهنده رنگ و COD خروجی از سیستم‌های بیولوژیکی به حساب می‌آیند، ناپایدار شده و در ادامه به کمک مواد کمک منعقدکننده می‌توان مواد کلوئیدی را از فاضلاب یا پساب جدا نمود (2). مقدار و غلظت ماده منعقدکننده مورد نیاز بستگی مستقیم به مقدار مواد کلوئیدی دارد. از سوی دیگر فرایندهای مختلف اکسیداسیون پیشرفته بطور موفقیّت آمیزی در حذف آلاینده‌های آلی موجود در فاضلاب‌ها، حذف رنگ و کاهش COD پساب حاصل از روش‌های تصفیه بیولوژیکی بکار برده شده‌اند که از آن جمله می‌توان به اکسید کننده‌های شیمیایی از قبیل ازن، آب اکسیژنه و هیپوکلریت‌ها اشاره نمود (7، 8). مرسوم‌ترین استفاده از تصفیه به روش اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته در تصفیه فاضلاب‌های حاوی مواد غیر قابل تجزیه بیولوژیکی یا مواد سمی می‌باشد که سیستم‌های تصفیه متداول نتوانند آنها را حذف یا تجزیه نمایند. همچنین این نوع از تصفیه هنگامی که غلظت آلاینده‌ها در فاضلاب بسیار بالا باشد، بکار می‌رود (9). استفاده از آب اکسیژنه بعنوان یک اکسیدکننده قوی برای حذف رنگ و COD فاضلاب‌های مختلف که قابلیت تجزیه بیولوژیکی پایینی دارند مرسوم می‌باشد (10). از طرفی ثابت شده است که کارایی ازن در حذف رنگ و COD در کنار آب اکسیژنه بشدت تشدید می‌شود (11). کارایی حذف رنگ و COD روش‌های ذکر شده به توانایی آنها در کاهش مواد رنگی آلی از قبیل پیگمان‌ها¹ و مواد آلی طبیعی² (NOM) بستگی دارد (2).

¹ Pigments

² Natural Organic Carbon

هدف از این مطالعه بررسی کارایی روش‌های مختلف انعقاد و لخته‌سازی به کمک سولفات آلومینیم، کلرور فریک و پلی آلومینیم کلراید و نیز روش‌های اکسیداسیون پیشرفته به کمک آب اکسیژنه در کاهش میزان رنگ و COD پساب خروجی از واحدهای تصفیه بیولوژیکی کارخانه خمیرمایه و نهایتاً بررسی میزان زایدات تولید شده توسط مواد شیمیایی ذکر شده می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند بعنوان اطلاعات مهم و اساسی در تصمیم‌گیری در خصوص روش تصفیه پیشرفته مورد نیاز کارخانه مورد نظر بکار برده شود.

روش کار

نمونه برداری از فاضلاب

بمنظور انجام آزمایشات، نمونه‌های واقعی از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه خمیرمایه واقع در حاشیه شهر تبریز تهیه و با استفاده از ظرف‌های پلاستیکی و در دمای 5 درجه سانتیگراد به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تبریز ارسال شد. قبل از انجام آزمایشات و بررسی تاثیر هر روش بر روی کیفیت نمونه‌های پساب، COD و رنگ نمونه‌های اولیه اندازه‌گیری شده و پس از انجام روش تصفیه مورد نظر نیز مقدار COD و رنگ مورد سنجش قرار گرفت.

انعقاد و لخته‌سازی

برای تعیین دوز بهینه مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده لازم، از دستگاه جارتست که مجهز به شش ظرف یک لیتری بود استفاده شد. بدین منظور مقدار مشخصی از نمونه‌ها در هر ظرف ریخته شده و در pH حدود 7 (9)، مقادیر مختلف و مشخصی ماده منعقدکننده و کمک منعقدکننده مورد نظر در داخل آنها تزریق گردید و در دمای 20°C به مدت 3 دقیقه اختلاط سریع با سرعت 250 دور در دقیقه، 20 دقیقه اختلاط آرام با سرعت 50 دور در دقیقه انجام گرفت. در مرحله اختلاط کند و پس از گذشت 5

دقیقه، مقدار مشخص و از قبل تعیین شده‌ای از پلی‌الکترولیت LT25 نیز به نمونه‌ها اضافه شده و پس از اتمام مدت زمان مورد نیاز اختلاط، بمدت 30 دقیقه در حالت سکون نگهداری گردید. بعد از اتمام زمان ته‌نشینی نمونه‌های جار بلافاصله مورد آنالیز قرار گرفتند. پس از اتمام مرحله ته‌نشینی، مقدار لجن ته‌نشین‌شده در هر ظرف تعیین شده و با بشرهای دیگر مقایسه گردید که هدف آن تعیین بهترین شرایط انعقاد و لخته‌سازی از نظر تولید کمترین میزان لجن در بهترین راندمان حذف COD و رنگ بود. مواد شیمیایی استفاده شده به عنوان منعقدکننده در این مطالعه عبارتند بودند از: آلوم، کلرور فریک، پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت LT25. پلی‌الکترولیت مورد استفاده در این تحقیق پلی‌آکریل آمید LT25 کمک منعقدکننده پلیمری آنیونی با کد Besfloc محصول کمپانی KOLON کره جنوبی بود.

استفاده از آب اکسیژنه

محلول H_2O_2 بکار برده شده در آزمایشات دارای غلظت 35 درصد بوده و با وجود بکارگیری میکروپیپت با دقت زیاد، افزودن مقادیر مورد نظر H_2O_2 در نمونه‌های فاضلاب عملاً امکان‌پذیر نبوده و امکان بروز خطا بسیار بالا بود. لذا در طی آزمایشات ابتدا محلول استوک 10g/L از محلول H_2O_2 تهیه شده و جهت انجام اکسیداسیون و تزریق غلظت‌های 50، 100، 200 و 400 میلی‌گرم در لیتر H_2O_2 به فاضلاب مورد استفاده قرار گرفت. پس از مدت زمان 30 دقیقه مقادیر کاهش COD و رنگ مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری پارامترها

روش اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر مطابق با روش‌های مندرج در استاندارد متدز و بشرح زیر انجام گرفت:

مقدار استاندارد رنگ تهیه شده 300 واحد پلاتین-کبالت بود، لذا در مواقعی که رنگ نمونه‌ها بیشتر از 300 واحد رنگ بود نمونه‌ها ترقیق شدند.

یافته‌ها

کیفیت فاضلاب کارخانه و راندمان تصفیه‌خانه موجود
همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد کارخانه خمیرمایه دارای یک واحد تصفیه‌خانه فاضلاب شامل متعادل‌سازی، تنظیم pH و دما، فرایند بی‌هواری UASB (دو واحد بصورت سری)، سیستم جمع‌آوری گازهای تولید شده، حوض هوادهی به روش لجن فعال، حوض ته‌نشینی ثانویه و نهایتاً سیستم کلرزنی با ظرفیت تصفیه 1500 مترمکعب در روز است که در زمان انجام تحقیق در حال بهره‌برداری بوده و فاضلاب‌های تولید شده از واحدهای مختلف کارخانه توسط این سیستم تصفیه می‌گردید. در جدول 1 مشخصات کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و نیز کیفیت پساب تصفیه شده از هر واحد به تفکیک ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود مقدار میانگین COD فاضلاب تولید شده از کارخانه در حدود 7100 میلی‌گرم در لیتر بوده و این تصفیه‌خانه قادر است با راندمان 78 درصد، مقدار COD را به حدود 1560 میلی‌گرم در لیتر کاهش دهد. از طرف دیگر این تصفیه‌خانه با راندمان حذف در حدود 95 درصد BOD₅ فاضلاب ورودی را تا حدود 250 میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌دهد. با محاسبه مقدار نسبت BOD₅ به COD مشاهده می‌شود پساب نهایی خروجی از سیستم تصفیه موجود در حدود 0/15 است که با توجه به مطالعات گذشته مشخص می‌شود پساب تولید شده قابل تصفیه بیولوژیکی نبوده و با سیستم تصفیه موجود امکان حصول استانداردهای تخلیه پساب به محیط زیست (بخصوص از نظر مقدار COD و رنگ) مقدور نیست (13).

pH با استفاده از دستگاه متروم¹ سوئیس اندازه‌گیری گردید که روزانه با استفاده از محلول‌های بافر استاندارد کالیبره می‌شد. مقادیر COD نمونه‌های اولیه و نمونه‌های تصفیه شده با استفاده از روش رفلکس بسته در اجاق سوکسله و مطابق استاندارد متدز اندازه‌گیری شد. بطور خلاصه در این روش از دی کرومات پتاسیم 0/25 N و در مواردی که انتظار می‌رفت COD نمونه پایین باشد، از محلول دی کرومات پتاسیم 0/1 N بعنوان محلول اکسیدکننده استفاده گردید (12).

اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها باید در عرض ۲۴ ساعت از زمان نمونه‌برداری انجام شود. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری باید در درجه حرارت پایین نگهداری شده و قبل از انجام آزمایش آنها را به درجه حرارت اتاق رساند. برای اندازه‌گیری رنگ از دو روش اسپکتروفتومتری و روش مقایسه چشمی استفاده می‌شود.

روش پلاتینیوم کبالت، روش استاندارد برای اندازه‌گیری رنگ آب‌های طبیعی، آب‌های آشامیدنی و فاضلاب‌های صنعتی و خانگی می‌باشد. چنانچه نمونه مورد آزمایش دارای کدورت باشد قبل از آزمایش باید آن را با فیلترهای فایبرگلاس با منافذ 0/45 میکرومتر صاف نمود. از طرفی مقدار رنگ بستگی به pH دارد، لذا موقع گزارش رنگ یا باید pH نمونه نیز گزارش شود و یا اینکه محلول‌ها در pH برابر 7 تنظیم شده و سپس رنگ نمونه‌ها گزارش شود. بر اساس اندازه‌گیری‌های بعمل آمده pH نمونه‌های پساب اولیه و تصفیه شده در حدود بین 7 الی 7/5 بود، لذا در اندازه‌گیری رنگ نیازی به تنظیم آن نبوده و همه نتایج مربوط به رنگ در این محدوده pH گزارش گردیدند. در این مطالعه برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها، 50 میلی‌لیتر از نمونه‌ها داخل لوله‌های نسلر ریخته شده و با رنگ‌های استاندارد که تهیه شده بود مقایسه و گزارش گردید. با توجه به اینکه حداکثر

¹ Metrohm

جدول 1. مقادیر پارامترهای مختلف پساب خروجی از واحدهای تصفیه خانه فاضلاب کارخانه خمیرمایه

رنگ	BOD ₅	COD	TSS	Vfa*	pH	SD
5000±2600	4067±680	7077±1519	1051±404	2335±460	6/15±0/22	متعادل سازی
6200±1200	2150±830	4393±1462	795±272	1708±681	7/02±0/22	خروجی UASB اول
7100±1500	410±320	3124±1040	750±473	1256±331	7/49±0/13	خروجی UASB دوم
6800±1200	220±140	1557±581	376±137	ND	8/13±0/48	خروجی واحد هوازی و ته نشینی ثانویه

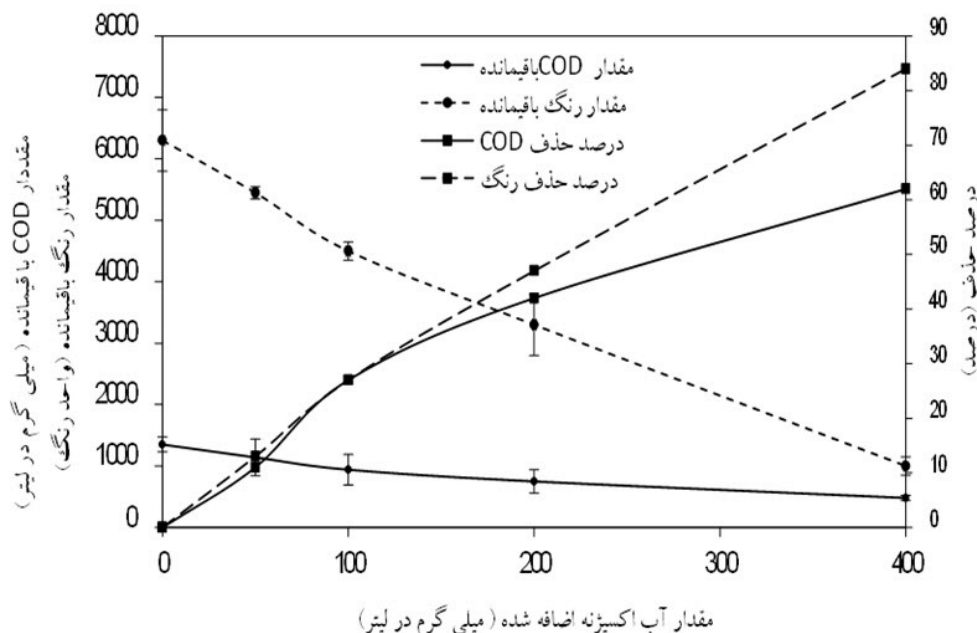
* Vfa: Volatile Fat Acid

در حد استاندارد مورد پذیرش سازمان حفاظت محیط زیست کاهش پیدا نکرد؛ به نحوی که حداقل میزان COD بدست آمده بر روی این نمونه 460 میلی گرم در لیتر و کمترین مقدار رنگ پساب CU 930 بدست آمد. بر اساس شکل 1 می توان مشاهده کرد که با افزایش میزان آب اکسیژنه تزریق شده، درصد حذف رنگ بصورت خطی افزایش پیدا می کند؛ ولی مقدار حذف COD در مقادیر بیش از 200 میلی گرم در لیتر با شیب کمتری افزایش می یابد. در شکل 1 همچنین تغییرات مقدار COD و رنگ با افزایش مقادیر آب اکسیژنه تزریق شده به همراه تغییرات راندمان حذف COD و رنگ نمایش داده شده است.

در این بخش نتایج حاصل از آزمایشات به عمل آمده جهت حذف COD و رنگ پساب تصفیه شده کارخانه خمیرمایه با استفاده از مقادیر مختلف آب اکسیژنه و انواع منعقدکننده های شیمیایی بیان شده و تاثیر پارامترهای مختلف در کاهش COD و رنگ ذکر گردیده است.

استفاده از هیدروژن پراکسید

مقادیر H₂O₂ اضافه شده و نیز درصدهای کاهش COD و رنگ در نمونه های پساب کارخانه خمیرمایه در شکل 1 آورده شده است. با استفاده از مقادیر بالای آب اکسیژنه (400 میلی گرم در لیتر) COD حداکثر 65 درصد و رنگ حداکثر 86 درصد بدون تولید هیچ گونه لجنی کاهش پیدا کردند. با این حال در هیچ کدام از نمونه ها مقدار COD و رنگ پساب حاصله



شکل 1. تغییرات مقدار COD، رنگ و راندمان حذف آنها با افزایش مقادیر آب اکسیژنه تزریق شده در مدت زمان تماس 30 دقیقه

تصفیه به روش انعقاد و لخته سازی

سولفات آلومینیوم

نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که با افزایش مقدار سولفات آلومینیوم و ماده کمک منعقدکننده مصرف شده، میزان حذف COD و رنگ افزایش می‌یابد. علی‌رغم کاهش مقادیر COD و رنگ با استفاده از سولفات آلومینیوم، مشخص گردید که این روش تصفیه قادر نیست حتی با غلظت بالای 4000 میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم، پس‌آبی مطابق با استانداردهای محیط زیست تولید نماید، به نحوی که در این حالت حداقل COD پس‌آب حاصله برابر 500 میلی‌گرم در لیتر است که نسبت به استاندارد مجاز تخلیه به منابع پذیرنده (14) (200 میلی‌گرم در لیتر) مقدار بالاتر بوده و پس‌آب غیراستاندارد تلقی می‌گردد. میزان کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه

خمیرمایه با استفاده از سولفات آلومینیوم و پلیمر و مقادیر لجن تولید شده در جدول 2 نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول 2 نیز مشاهده می‌شود راندمان حذف رنگ و COD بیشتر متأثر از مقدار مصرف ماده منعقدکننده بوده و افزایش مقدار ماده کمک منعقدکننده، به تنهایی تغییر چندانی در راندمان تصفیه ایجاد نمی‌کند. به نحوی که با استفاده از مقدار 4000 میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم و 10 میلی‌گرم در لیتر ماده کمک منعقدکننده در حدود 60-70 درصد کاهش COD و در حدود 85-95 درصد کاهش رنگ بدست آمد. ولی با افزایش مقدار ماده کمک منعقدکننده از 10 به 60 میلی‌گرم در لیتر و مقدار ثابت 4000 میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم، مقدار COD در حدود 65 درصد و مقدار رنگ در حدود 85 درصد کاهش یافت.

جدول 2. میزان کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه ایران مایه با استفاده از سولفات آلومینیوم و پلیمر و مقادیر لجن تولید شده

مقدار سولفات آلومینیوم (mg/l)	مقدار پلیمر (mg/l)	مقدار COD اولیه (mg/l)	مقدار COD پس‌آب تصفیه شده (mg/l)	درصد حذف COD	مقدار رنگ اولیه (CU)	مقدار رنگ باقیمانده (CU)	درصد حذف رنگ	مقدار لجن تولید شده (میلی لیتر در لیتر)
200	5	1350±100	1100±50	19±3	7500±500	5800±500	17±2	20±20
200	10	1200±150	1050±70	13±5	6500±700	5100±600	22±6	25±20
1000	5	1350±100	1060±120	21±8	7500±500	3800±500	46±8	35±15
1000	10	1270±105	900±35	30±3	6700±350	2600±1300	60±21	40±14
1000	20	1350±75	760±20	43±3	6500±500	1360±300	79±5	120±35
2000	10	1275±105	755±35	40±2	6750±350	1220±400	81±6	90±30
2000	20	1275±105	480±40	65±4	6750±350	450±100	92±5	180±50
4000	10	1250±70	460±70	64±8	7000±700	400±340	87±12	250±10
4000	60	1400±50	510±120	63±10	6500±500	850±100	86±5	285±30

انعقاد با کلرور فریک

نتایج حاصل از آزمایشات بررسی کارایی کلرور فریک به همراه مقادیر مختلف پلیمر در کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه خمیرمایه در جدول 3 ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با استفاده از مقدار 4000 میلی‌گرم در لیتر کلرور فریک به همراه 10 میلی‌گرم در لیتر پلیمر، بالاترین راندمان حذف COD و رنگ به ترتیب 69 و 92 درصد بدست آمده و با کاهش مقدار کلرور فریک مصرفی از 4000 میلی‌گرم در لیتر به 1000 میلی‌گرم در لیتر راندمان

حذف COD و رنگ به ترتیب تا حدود 40 درصد و 30 درصد کاهش یافت. از طرفی مشابه عملکرد سولفات آلومینیوم، راندمان حذف رنگ و COD بیشتر متأثر از مقدار کلرور فریک بوده و افزایش مقدار ماده کمک منعقدکننده، به تنهایی تغییر چندانی در راندمان تصفیه ایجاد نمی‌کند؛ به نحوی که با استفاده از مقدار 3000 میلی‌گرم در لیتر کلرور فریک به همراه 10 میلی‌گرم در لیتر پلیمر به ترتیب 56 و 74 درصد از COD و رنگ کاهش می‌یابد ولی با افزایش دو برابری پلیمر در مقدار ثابت کلرور فریک تنها در

حدود 5-10 درصد راندمان حذف COD و رنگ افزایش می‌یابد.

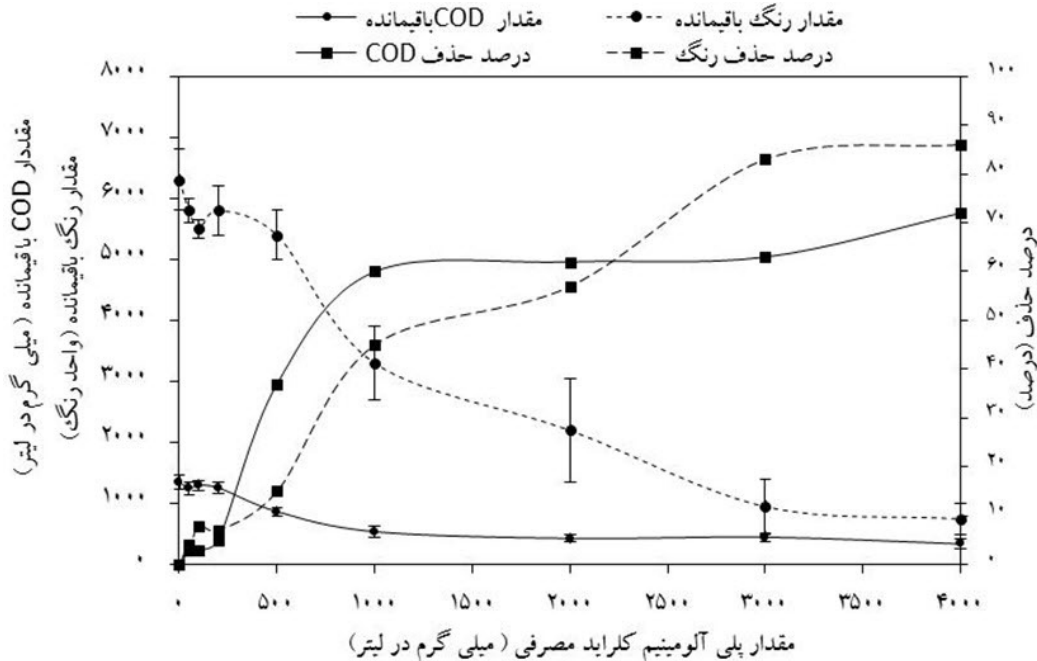
جدول 3. میزان کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه ایران مایه با استفاده از کلرور فریک و پلیمر آنیونی

مقدار کلرور فریک (mg/l)	مقدار پلیمر	مقدار COD اولیه (mg/l)	مقدار COD پساب تصفیه شده (mg/l)	درصد حذف COD	مقدار رنگ اولیه (CU)	مقدار رنگ باقیمانده (CU)	درصد حذف رنگ	مقدار لجن تولید شده (میلی لیتر در لیتر)
1000	20	1230±60	710±45	42±3	5300±50	3600±150	32±3	25±5
2000	10	1230±60	730±50	41±5	5300±50	3100±300	42±4	30±35
2000	20	1230±60	610±120	44±8	5300±50	2900±500	64±6	120±40
3000	10	1350±50	590±65	56±4	5800±100	1500±200	74±4	210±50
3000	20	1400±100	520±50	63±3	6100±150	950±150	84±2	160±150
4000	10	1400±100	430±80	69±6	6100±150	490±250	92±3	320±200

تصفیه با پلی آلومینیوم کلراید

به منظور انجام آزمایش بررسی کارایی پلی آلومینیوم کلراید بر کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه خمیرمایه از مقادیر 4000-50 میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید و افزودن 2-4 میلی گرم در لیتر کمک منعقدکننده پلیمری استفاده گردیده و مقادیر کاهش COD و رنگ و نیز میزان تولید لجن در این روش بررسی گردید. نتایج حاصله در شکل 2 ارایه شده است. همان گونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود با افزایش مقدار پلی آلومینیوم کلراید مصرفی از 50 میلی گرم در لیتر به 500 میلی گرم در لیتر، مقدار COD و رنگ فاضلاب کاهش چندانی نداشته، به نحوی که حتی با مصرف 500 میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید، به دلیل رنگ بسیار بالای فاضلاب تصفیه شده امکان بررسی و تعیین میزان لجن تولیدشده مقدور نبود.

بر خلاف موارد متعدد مزایای پلی آلومینیوم کلراید نسبت به سایر منعقدکننده‌ها که در بیشتر مقالات علمی به آنها اشاره شده است، ولی هماهنگی که در شکل 2 نیز مشاهده می‌شود، استفاده از پلی آلومینیوم کلراید برای تصفیه پساب حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه خمیرمایه تاثیر چندانی در کاهش COD و رنگ فاضلاب اولیه نداشته و علی رغم استفاده از مقادیر بالای این منعقدکننده در غلظت‌های بیان شده، این روش تصفیه نیز قادر نیست پسابی با کیفیت مورد پذیرش سازمان حفاظت محیط زیست تولید نماید. از طرفی همان گونه که در شکل 2 نشان داده شده است علی رغم افزایش مقدار پلی آلومینیوم کلراید مصرفی از 1000 میلی گرم در لیتر به 4000 میلی گرم در لیتر، تغییر چندانی در کاهش مقدار COD مشاهده نشده و با وجود افزایش 4 برابری مقدار ماده کوآگلانت مصرف شده تنها 10 درصد بر راندمان حذف COD افزوده شده است.

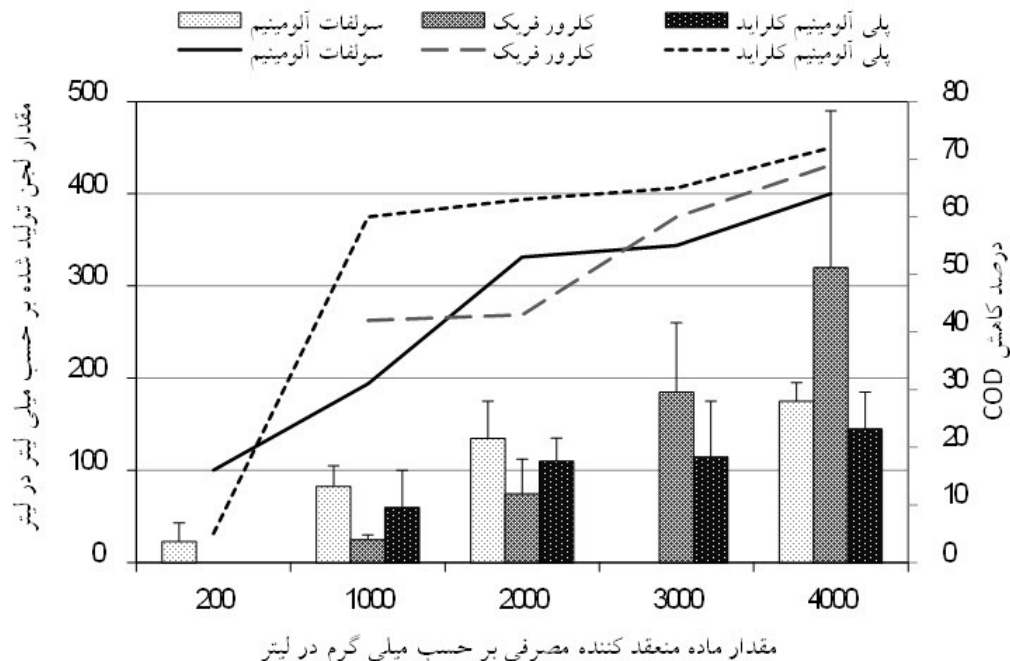


شکل 2. تغییرات مقدار COD، رنگ و راندمان حذف آنها با افزایش مقادیر پلی آلومینیم کلراید

مقدار لجن تولید شده

در شکل 3 مقدار لجن تولید شده و نیز درصد کاهش COD فاضلاب ورودی با استفاده از مقادیر مختلف منعقدکننده‌ها با هم مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در مقادیر بالاتر از 2000 میلی‌گرم در لیتر مواد منعقدکننده، مقدار لجن تولیدشده منعقدکننده کلرور فریک بیشتر از دو منعقدکننده دیگر می‌باشد. همچنین با وجود راندمان درصد مشابه COD (60-70٪) در غلظت 4000 میلی‌گرم در لیتر هر سه منعقدکننده، میزان لجن تولید شده از پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات آلومینیم و کلرور فریک به ترتیب افزایش می‌یابد. که با توجه به مشکلات آبی لجن‌های تولید شده، کلرور فریک در اولویت آخر

استفاده از مواد منعقدکننده قرار می‌گیرد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار ماده منعقدکننده مصرفی شده به بیش از 2000 میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف COD تغییر زیادی پیدا نکرده و با شیب کمتری راندمان حذف COD افزایش پیدا می‌کند. به همین نحو مقدار تولید لجن ناشی از پلی‌آلومینیم کلراید و سولفات آلومینیم با شیب اندکی افزایش پیدا می‌کند ولی در مورد منعقدکننده کلرور فریک مشاهده می‌شود که با افزایش مصرف کلرور فریک از 1000 میلی‌گرم در لیتر به 4000 میلی‌گرم در لیتر مقدار لجن تولید شده حدود 10 برابر می‌شود.



شکل 3. مقایسه مقدار لجن تولید شده و نیز درصد کاهش COD فاضلاب ورودی با استفاده از مقادیر مختلف منعقد کننده ها

بحث

آلومینیم، pH حدود 8 و مقدار سولفات آلومینیم 4000 میلی گرم در لیتر می باشد. این یافته تا حدودی زیادی با نتایج حاصل از مطالعه حاضر منطبق است. هر چند استفاده از سولفات آلومینیم باعث کاهش COD پساب و تا حدود زیادی حذف رنگ آن می شود اما بررسی و آنالیز اقتصادی مشخص می کند که استفاده از سولفات آلومینیم و کمک منعقد کننده جهت مصارف صنعتی مقرون به صرفه نمی باشد. بطور مثال برای حصول پسابی با COD نزدیک به استانداردهای محیط زیست به مصرف مقدار بالایی از منعقد کننده سولفات آلومینیم نیاز است؛ در صورتی که بهترین شرایط راندمان تصفیه، یعنی مصرف 4000 میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیم را در نظر بگیریم و با فرض تولید روزانه 1500 متر مکعب فاضلاب در این کارخانه مشخص می گردد که این تصفیه خانه بطور روزانه به مقدار 6000 کیلوگرم ماده منعقد کننده سولفات آلومینیم نیاز دارد که با در نظر گرفتن قیمت هر کیلوگرم ماده منعقد کننده به راحتی می توان به غیر عملی بودن استفاده از این روش پی برد.

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که با استفاده از سولفات آلومینیم به عنوان ماده منعقد کننده می توان تا حدود 60 درصد COD و 80 درصد رنگ را کاهش داد. ژو¹ و همکاران با بررسی کارایی سولفات آلومینیم در کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه خمیرمایه دریافتند که با استفاده از مقدار 4000-4500 میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیم، حدود 70 درصد COD و حدود 90 درصد رنگ قابل حذف است. با این حال افزودن مقدار بیش از 5000 میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیم نه تنها کارایی حذف را بهبود نمی دهد بلکه راندمان حذف COD را تا حدود 65 درصد کاهش می دهد (2). ایشان همچنین دریافتند که در صورت تنظیم pH در حدود 6 دوز بهینه سولفات آلومینیم برابر 1750 میلی گرم در لیتر خواهد بود؛ با این حال در این pH و مقدار ماده منعقد کننده، راندمان حذف COD و رنگ کاهش می یابد، لذا دریافتند که بهترین شرایط برای استفاده از سولفات

¹ Zhou

از طرفی در صورت استفاده از روش انعقاد و ته‌نشینی به کمک سولفات آلومینیم مقدار بسیار بالایی لجن نیز تولید می‌شود که نیاز به تصفیه و دفع دارد. با در نظر گرفتن بهترین شرایط تصفیه مشخص شد که در بالاترین راندمان حذف COD و رنگ، بطور روزانه در حدود 300-500 متر مکعب لجن شیمیایی تولید خواهد گردید که نیازمند مدیریت و دفع اصولی می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول 2 نیز مشخص می‌باشد راندمان حذف رنگ و COD بیشتر متاثر از مقدار مصرف ماده منعقدکننده بوده و افزایش مقدار ماده کمک منعقدکننده، به تنهایی تغییر چندانی در راندمان تصفیه ایجاد نمی‌کند. با این حال مطالعات نشان داده است که استفاده از ماده منعقدکننده سولفات آلومینیم بدون ماده کمک منعقدکننده راندمان چندانی در حذف رنگ و COD این نوع فاضلاب‌ها نداشته و استفاده از ماده کمک منعقدکننده در هنگام تصفیه این نوع فاضلاب‌ها ضروری است (8).

ژو و همکاران اثر غلظت‌های مختلف ماده منعقدکننده آلوم و کمک منعقدکننده پلی‌اکریل آمید را در کاهش COD و رنگ فاضلاب صنایع خمیرمایه بررسی و به این نتیجه رسیدند در صورت استفاده از ماده کمک منعقدکننده در غلظت 2 میلی‌گرم در لیتر راندمان حذف COD به حدود 72 درصد می‌رسد که نسبت به حالت عدم استفاده از ماده کمک منعقدکننده راندمان کاهش COD تا 10 درصد افزایش می‌یابد. در این حالت میزان رنگ نیز تا بیش از 91 درصد کاهش پیدا نمود. ایشان دریافتند که در صورت افزودن ماده کمک منعقدکننده پلی‌اکریل آمیدی در مقدار بیش از 2 میلی‌گرم در لیتر، درصد حذف رنگ و COD تغییر چندانی نداشته و بعد از افزایش جزئی این راندمان ثابت می‌ماند. همچنین مطالعه ژو و همکاران نشان داد که شدت و مدت هم زدن در طی مراحل انعقاد و لخته‌سازی بر

راندمان حذف COD و رنگ تأثیری نداشته ولی در کاهش کدورت فاضلاب اثر قابل ملاحظه‌ای دارد (2). به دلیل مشکلات و اثرات بهداشتی بخصوص ایجاد آلزایمر در افراد مختلف، که در اثر مصرف آب‌های دارای ترکیبات باقیمانده آلومینیم ایجاد می‌گردد، استفاده از نمک‌های آلومینیم بعنوان ماده منعقدکننده در حذف COD و رنگ فاضلاب‌های کارخانجات خمیرمایه دقت مضاعفی را می‌طلبد. از این رو استفاده از سایر مواد منعقدکننده همواره مورد توجه بوده است. در این بین یکی از انواع مواد منعقدکننده که به دلایل مختلف می‌تواند جایگزین مناسبی برای آلوم باشد، کلرور فریک می‌باشد. کلرور فریک نیز یکی دیگر از منعقدکننده‌های مواد کلوئیدی و معلق می‌باشد که کاربرد وسیعی در صنعت تصفیه آب و فاضلاب دارد. فعالیت منعقدسازی کلرورفریک در محدوده pH وسیع‌تری نسبت به سولفات آلومینیوم است. بر حسب تجارب موجود دیده شده است که معمولاً زمان تشکیل اولین لخته در شرایط استفاده از کلرورفریک، کمتر از شرایط استفاده از سولفات آلومینیوم است. به همین ترتیب اندازه لخته‌ها درشت‌تر و سرعت ته‌نشینی لخته‌ها نیز بیشتر از آلوم است.

در مقایسه با منعقدکننده سولفات آلومینیم، پساب حاصل از مصرف کلرور فریک شفاف‌تر بوده و رنگ کمتری دارد؛ با این حال برای حصول پسابی با COD منطبق با استانداردهای مربوطه، به مصرف دز بالایی از منعقدکننده نیاز است که مهمترین مسئله بوده و از طرفی تولید بالای لجن طی این روش تصفیه از مشکلات عمده دیگر می‌باشد که در همه متون علمی به صراحت به آن اشاره شده و در شکل 3 نیز نشان داده شده است (1).

همان‌گونه که قبلاً گفته شد بالاترین راندمان حذف COD و رنگ به ترتیب 69 و 92 درصد و با استفاده از مقدار 4000 میلی‌گرم در لیتر کلرور فریک به

نظر بگیریم مشخص می‌گردد که در این تصفیه‌خانه بطور متوسط به مقدار حدود 5000 کیلوگرم ماده منعقدکننده کلرور فریک نیاز بوده و با در نظر گرفتن بهترین شرایط تصفیه، مشخص می‌شود که روزانه با این روش در حدود 400-500 متر مکعب لجن شیمیایی تولید خواهد گردید.

پلی آلومینیوم کلراید به نوعی از منعقدکننده‌ها گفته می‌شود که قدرت و سرعت بالایی در جداسازی و استخراج ناخالصی‌های آب دارند، که در اثر خنثی‌شدن کلراید آلومینیوم با برخی از محلول‌های بازی در دو نوع با سولفات و بدون سولفات تهیه می‌شود. در خصوص مزایای PACl بعنوان منعقدکننده، موارد متعددی ذکر شده است که می‌توان گفت مهمترین این امتیازها قابلیت استفاده از دامنه‌های بسیار وسیع‌تری از کدورت و دمای آب می‌باشد(15).

نتایج بررسی‌های انجام یافته بر روی استفاده از پلی آلومینیوم کلراید بعنوان ماده منعقدکننده در کاهش COD و رنگ فاضلاب کارخانه خمیرمایه نشان داد که در مقادیر مشابه دوز مصرفی ماده منعقدکننده، مقدار کاهش COD با استفاده از پلی آلومینیوم کلراید به ترتیب 15-10 درصد و 20-5 درصد نسبت به سولفات آلومینیوم و کلرور فریک بیشتر بوده و مقدار لجن تولیدی در شرایط مشابه حدود 5 درصد کمتر از سولفات آلومینیوم و در حدود 50-5 درصد کمتر از کلرور فریک می‌باشد. با این حال مشابه سایر مواد منعقدکننده مصرفی، راندمان حذف پلی آلومینیوم کلراید از نظر مقادیر COD و رنگ حذف شده بالا است، اما مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده بیشتر از حدود مجاز تعیین شده در استاندارد محیط زیست می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج آزمایشات بعمل آمده با مقادیر و انواع مختلف منعقدکننده‌ها و آب اکسیژنه نشان داد که میزان کاهش رنگ و COD فاضلاب تصفیه شده، روند

همراه 10 میلی‌گرم در لیتر پلیمر بدست آمد. لیانگ¹ و همکاران با استفاده از کلرور فریک بعنوان ماده منعقدکننده، تغییرات کاهش COD و رنگ فاضلاب حاوی ملاس را بررسی نموده و دریافتند که در pH بین 7 تا 9 بهترین مقدار دوز ماده منعقدکننده به ترتیب 3000، 3500 و 4000 میلی‌گرم در لیتر بوده و در این شرایط 85 درصد از COD و 96 درصد رنگ حذف می‌شود. همچنین ایشان به این نتیجه رسیدند که دوز بهینه در pH=6 برابر 1300 میلی‌گرم در لیتر است ولی در این شرایط، کارایی و میزان حذف COD مناسب نبوده و در مقایسه با سایر pHها درصد حذف COD تا 15 درصد کاهش می‌یابد (1). از طرفی مشخص گردید که با افزایش مقدار ماده منعقدکننده کلرور فریک در محدوده دوز بهینه کارایی حذف رنگ و COD افزایش می‌یابد. این یافته مطابق با نتایج مطالعه لیانگ و همکاران است که دریافتند با افزایش مقدار ماده منعقدکننده کلرور فریک، راندمان حذف COD و رنگ افزایش پیدا می‌کند ولی در مقادیر بالاتر از محدوده بهینه، افزودن ماده منعقدکننده کارایی حذف را نه تنها افزایش نمی‌دهد بلکه باعث کاهش راندمان حذف COD می‌شود(1). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که با بکارگیری کلرور فریک بعنوان ماده منعقدکننده در غلظت‌های ذکر شده، مقادیر COD و رنگ پساب تولید شده مطابق با استانداردهای محیط زیست نبوده و کیفیت پساب حاصله فراتر از حدود مجاز تعیین شده در استاندارد محیط زیست است.

نهایتاً همانگونه که در مورد سولفات آلومینیوم بیان شد بحث اقتصادی استفاده از کلرور فریک و نیز مدیریت مقادیر زیاد لجن‌های شیمیایی تولیدشده از جمله مواردی هستند که در هنگام تصمیم‌گیری در خصوص کاربرد مواد منعقدکننده باید به آنها توجه ویژه داشت. برای مثال در صورتی که بهترین شرایط یعنی مصرف 4000 میلی‌گرم در لیتر کلرور فریک را در

¹ Liang

میلی گرم در لیتر می‌باشد. هر چند استفاده از انواع منعقدکننده‌ها بعنوان تصفیه ثالثیه پساب خروجی از سیستم تصفیه بیولوژیکی قادر است حدود 60-80 درصد COD و 70-90 درصد رنگ را حذف نماید، با این حال کیفیت پساب تولیدشده همچنان مغایر با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشد. به منظور حصول استانداردهای سازمان محیط زیست علاوه بر استفاده از سیستم‌های بیولوژیکی و فرایند انعقاد و ته‌نشینی به واحدهای تصفیه دیگری از قبیل اکسیداسیون پیشرفته با فنتون، ازن و... نیاز می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مجموعه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تبریز و کارخانه خمیرمایه اعلام می‌نمایند.

یکسانی داشته و تا حدودی شیب کاهشی مشابهی داشتند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که عوامل ایجادکننده رنگ (ملانوئیدها) بخش اعظم ترکیبات آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی فاضلاب‌های کارخانجات خمیرمایه را شامل شده و با کاهش این ترکیبات، COD و رنگ فاضلاب‌ها بطور هماهنگی کاهش می‌یابند. استفاده از روش انعقاد و ته‌نشینی به دلیل مصرف بالای ماده منعقدکننده مقرون به صرفه بوده و مقدار بسیار بالایی لجن شیمیایی تولید می‌شود که نیاز به مدیریت و دفع اصولی دارد.

راندمان حذف رنگ و COD فاضلاب با استفاده از مواد منعقدکننده، بیشتر متاثر از مقدار مصرف ماده منعقدکننده بوده و افزایش مقدار ماده کمک منعقدکننده، به تنهایی تغییر چندانی در راندمان تصفیه ایجاد نمی‌کند. مقدار دوز بهینه مواد منعقدکننده جهت کاهش COD و رنگ در pH=7 حدود 4000

References

1. Liang Z, Wang Y, Zhou Y, Liu H. Coagulation removal of melanoidins from biologically treated molasses wastewater using ferric chloride. *Chemical Engineering Journal*. 2009;152(1):88-94.
2. Zhou Y, Liang Z, Wang Y. Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *Desalination*. 2008;225(1):301-11.
3. Nahid P, Vossoughi M, Alemzadeh I. Treatment of bakers yeast wastewater with a Biopack system. *Process Biochemistry*. 2001;37(5):447-51.
4. Kalyuzhnyi S, Gladchenko M, Starostina E, Shcherbakov S, Versprille A. Combined biological and physico-chemical treatment of baker's yeast wastewater. *Water Science & Technology*. 2005;52(1):175-81.
5. Mutlu S, Yetis U, Gurkan T, Yilmaz L. Decolorization of wastewater of a baker's yeast plant by membrane processes. *Water research*. 2002;36(3):609-16.
6. Meadows D, Wadley S, Buckley C. Evaluation of nanofiltration for the recovery of brine from sugar liquor decolourising resin regeneration waste. *Water Science & Technology*. 1992;25(10):339-50.
7. Filipović-Kovačević Ž, Sipos L. Decolorization of yeast-production industry wastewater by ozone. *Journal of Environmental Science & Health Part A*. 1995;30(7):1515-22.
8. Migo VP, Matsumura M, Del Rosario EJ, Kataoka H. Decolorization of molasses wastewater using an inorganic flocculant. *Journal of fermentation and bioengineering*. 1993;75(6):438-42.
9. Gholampour A, Mesdaghinia AR, Vaezi F, Nabizadeh R, Farrokhi M, Ghasri A. Enhancement of 2, 4-dichlorophenol biodegradability by advanced oxidation with Fenton reagent. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2007;5(2):41-51.
10. Altinbas M, Aydin AF, Faik Sevimli M, Ozturk I. Advanced oxidation of biologically pretreated baker's yeast industry effluents for high recalcitrant COD and color removal. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2003;38(10):2229-40.
11. Glaze WH, Kang J-W, Chapin DH. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *ozone*. 1987;9(4):335-52.
12. Association APH. APHA. Standard methods for examination of water and wastewater. APHA, Washington, DC. 1998.

- .13 Metcalf E. Inc., Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. New York: McGraw-Hill. 2003. available at: <http://www.mums.ac.ir/shares/moth/moth/behdasht%20mohit/khorooji%20fazlab.pdf>. .
14. Zouboulis A, Tzoupanos N. Alternative cost-effective preparation method of polyaluminium chloride (PAC) coagulant agent: Characterization and comparative application for water/wastewater treatment. Desalination. 2010;250(1):339-44.