ORIGINAL ARTICLE

Effect of Organic Loading Rate on the Performance of Anaerobic Process in Treatment of Pulp and Paper Mill Effluents

Zabihollah Yousefi[1],
Jamshid Yazdani Cherati[2],
Masoumali Movahedi[3],
Fatemeh Kariminejad[4]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Associate Professor, Department of Biostatics, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[3] MSc in Environmental Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] MSc Student in Environmental Health, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received April 5, 2015 Accepted September 22, 2015)

Abstract

Background and purpose: Pulp and paper industries produce large quantities of effluent that release various pollutants daily. Among various methods for treating such effluents, anaerobic biosorption process is of interest because of lower need to mechanical energy, boigasses production, high organic loading rate (OLR), low sludge production, and resistant system. OLR is one of the most important effective hydrodynamic parameters. In this study, the effect of OLR was investigated on anaerobic biosorption reactor in treating pulp and paper effluent.

Materials and methods: A 1.96L effective volume cannon pilot was used and wastewater was injected by pumping to the bed of the reactor. Temperature and pH were maintained about 30±2°C and 6.8-7.2, respectively. The effect of OLR on efficiency of system was studied in 1-12 kgCOD/m^3.d. All experiments were performed under steady state conditions using procedures outlined in Standard Methods.

Results: In OLR 7kgCOD/m^3.d and upflow velocity of 0.56m/h the system was able to reduce over 80% of COD concentration after 33-39h. No significant increase was observed in efficiency of the system at more OLRs, so it was selected as optimum loading rate. System efficiency was found to have a direct relation with decrease of upflow velocity and increase of HRT. The gas generation rate was 0.32 m^3/kg COD removed.

Conclusion: According to this study, anaerobic biosorption system satisfactorily treated pulp and paper mill effluent and could perform this close to wastewater discharge standards established by national guidelines.

Keywords: Industry, wastewater, COD, Biomass, Anaerobic, Absorption

J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(131): 136-150 (Persian).

Archive of SID

www.SID.ir

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و پنجم شماره ۱۳۱ آذر سال ۱۳۹۴ (۱۵۰-۱۳۷)

تأثیر میزان بارگذاری آلی بر کارایی فرآیند بیهوازی به منظور تصفیه پساب صنایع چوب و کاغذ

ذبیح اله یوسفی[۱]
جمشید یزدانی چراتی[۲]
معصومعلی موحدی[۳]
فاطمه کریمی نژاد[۴]

چکیده

سابقه و هدف: صنایع چوب و کاغذ روزانه پسآبی با آلاینده‌های گوناگون تولید می‌کنند. از میان روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب این صنایع، بیوجذب بیهوازی به دلیل نیاز کم به انرژی مکانیکی، تولید بیوگاز، میزان بارگذاری بالا (OLR)، تولید لجن کم‌تر و سیستم پایدار مورد توجه است. OLR به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرودینامیکی موثر بر میزان کارایی است. در این مطالعه اثر OLR بر سیستم بیوجذب بیهوازی به منظور تصفیه پسآب صنایع چوب و کاغذ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور ساخت راکتور از یک استوانه به حجم مفید ۱/۹۶ لیتراستفاده شد. فاضلاب به وسیله پمپ از پایین راکتور به داخل تزریق گردید. دما و pH به ترتیب در محدوده ۲±۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۷/۲-۶/۸ حفظ شد. اثر میزان OLR در محدوده‌ی ۱-۱۲kgCOD/m^3.d بر بازدهی سیستم مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایشات در شرایط ثابت و براساس دستورالعمل کتاب استاندارد متد انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصله، در OLR برابر ۷kgCOD/m^3.d و سرعت رو به بالا ۰/۵۶m/h توانایی حذف بالغ بر ۸۰ درصد COD را دارد. در OLR بیش‌تر، تاثیر چشمگیری بر میزان افزایش کارایی مشاهده نشد؛ لذا به عنوان بارگذاری بهینه انتخاب گردید. بازدهی سیستم با کاهش سرعت رو به بالا و افزیش زمان ماند رابطه مستقیم دارد. میزان گاز تولید شده معادل ۰/۳۲ مترمکعب به ازای کیلوگرم COD حذف شده بود.

استنتاج: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سیستم بیوتجزیه بیهوازی توانایی رضایتبخشی در تصفیه پسآب صنایع چوب و کاغذ دارد و می‌تواند پسآب خروجی را به حد استانداردهای ملی تخلیه پسآب برساند.

واژه های کلیدی: صنعت، فاضلاب، COD، توده زیستی، بیهوازی، جذب

مقدمه

در صنایع چوب و کاغذ به منظور تولید و رنگبری کاغذ، روزانه حجم بسیار بالایی آب و مواد شیمیایی گوناگون استفاده و بالطبع تولید پسآبی با آلاینده‌های گوناگون می‌کند که می‌تواند مشکلات زیست محیطی جدی را به دنبال داشته باشد(۲،۱). به‌طور موردی، کارخانه چوب و کاغذ مازندران روزانه حدود ۲۸۰۰۰ مترمکعب

مولف مسئول: فاطمه کریمی نژاد- ساری: کیلومتر ۱۸ جاده خزرآباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی E-mail: Kariminezhad136618@gmail.com
۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دانشیار، گروه آمار حیاتی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. کارشناسی ارشد محیط زیست، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۱۶ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات ۱۳۹۴/۱/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۳۱

Archive of SID
www.SID.ir

آب مصرف و حدود ۲۰۰۰۰ متر مکعب پساب تولید می‌کند که حاوی مقادیر بالایی رنگدانه‌های معدنی تانن، لگنین، ترکیبات فنلی و غیره است. این کارخانه در جنوب شهرستان ساری، در مجاورت رودخانه تجن و منطقه سالار دره واقع شده است(۳). فرآیند تصفیه کنونی موجود در کارخانه چوب و کاغذ مازندران شامل ته نشینی اولیه و به دنبال آن تصفیه بیولوژیکی، انعقاد شیمیایی و زلال‌ساز است؛ اما پساب خروجی باز هم حاوی غلظت‌های محسوسی از COD[1]، رنگ و سمیت است(۴). لذا تصفیه تکمیلی به منظور به استاندارد رساندن پساب جهت تخلیه به رودخانه تجن لازم و ضروری است(۴). از میان روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب این صنایع، لخته‌سازی، هوادهی، جذب روی کربن فعال و اسمز معکوس تنها موجب انتقال آلاینده‌ها از یک فاز به فاز دیگر می‌شود و لذا تولید آلودگی ثانویه می‌کند(۵،۴). فرآیندهای شیمیایی نیز مانند انعقاد و اکسیداسیون پیشرفته به دلیل نیاز به انرژی بالا و هزینه اثربخشی کم، کم‌تر مورد توجه هستند(۷،۶). فرآیند بیوجذب بیهوازی همانند سایر سیستم‌های بیولوژیکی بیهوازی، در کنار مزیت‌هایی چون نیاز کم به انرژی مکانیکی، تولید بیوگاز، تحمل بارگذاری بالا، تولید لجن کم‌تر و پایدارتر از فرآیندهای بیولوژیکی هوازی بیش‌تر مورد توجه است(۱۰-۸). بررسی مطالعات گذشته نیز استفاده از این روش را برای تصفیه فاضلاب صنایع چوب و کاغذ نشان داده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود.

در مطالعه Chaparro و همکاران (۲۰۱۱) تصفیه فاضلاب تولید شده در واحد سفیدگری[2] دو واحد کارخانه چوب و کاغذ برزیل توسط راکتور بیهوازی بستر افقی (HPBR)[3] مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای COD، DOC[4]، AOX[5]، ASL[6] (لگنین محلول در اسید)، رنگ، کلریدها و فنل اندازه‌گیری شد. نتایج حذف COD برابر ۵۵-۴۵ درصد و حذف AOX ۴۵-۴۰ درصد را نشان داد. اندازه‌گیری لگنین مقاوم بودن این ترکیب به تجزیه بیولوژیکی را نشان داد (حذف کلی لگنین کم‌تر از ۲۰ درصد). هم‌چنین با توجه به رنگ تولید شده، به منظور تخلیه پساب استفاده از واحد فیزیکو- شیمیایی بعد از HPBR ضروری گزارش شد(۱۱).

Cui و همکاران(۲۰۱۱) در مطالعه خود توانایی سیستم بیهوازی IC در تصفیه فاضلاب صنایع چوب و کاغذ را مورد بررسی قرار دادند. این راکتور در واقع نسل بعد راکتور UASB[7] است که از جمله توانایی‌های آن بارگذاری حجمی و کارایی بالا، نسبت زیاد ارتفاع به قطر، زمین مورد نیاز کم و تولید انرژی است. نتایج این مطالعه، اگرچه حذف COD محلول حدود ۵۵ درصد را داشت، اما به دلیل حساس بودن سیستم، در صورت استفاده از این راکتور، باید حتماً سیستم پیش تصفیه هم به منظور حذف SS[8] در نظر گرفته شود(۱۲).

در مطالعه Arshad و همکاران (۲۰۱۲) توانایی هضم بیهوازی پساب جریان Nssc[9] صنایع چوب و کاغذ توسط دو سیستم UASB (راکتور اول در شرایط متداول و راکتور دوم با افزودن متانول و کربن فعال) بررسی شد. در بارگذاری بهینه Kg/m3.d ۴/۵ و HRT[10] برابر ۱۸ ساعت، راکتور دوم ۶۹ درصد حذف TOC[11] و ۶۰ درصد حذف لگنین داشت، اما در راکتور اول تنها ۵۶ درصد حذف TOC و ۵۱ درصد حذف لگنین گزارش شد(۱۳). لازم به ذکر است که پارامترهای مختلفی مانند دما، pH، مشخصات فاضلاب ورودی، قلیائیت، اسیدیته، زمان ماند هیدرولیکی و سلولی، سمیت، ماکرو و میکرو نوترینت‌ها، بارگذاری آلی و غیره بر میزان کارایی این سیستم‌ها اثرگذار

1- Chemical Oxigen Demaind
2- Bleaching
3- Horizontal Packed-bed Anaerobic Reactor
4- Dissolved Organic Carbon
5- Adsorbable Organic Halogen
6- Acid Soluble Lignin

7- Upflow Anaerobic Sudge Blanket
8- Suspended Solids
9- Neutral Semi-Sulfide Chemical
10- Hydraulic Retention Time
11- Total Organic Carbon

Archive of SID

www.SID.ir

هستند(۸). میزان بارگذاری آلی[1] مجاز یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرودینامیکی موثر بر میزان کارایی است. این پارامتر باتوجه به مشخصات هر فاضلاب و سیستم، برای هر سیستم تصفیه در طیف گسترده و متنوعی گزارش می‌شود(۱۴).

OLR بر پارامترهایی مانند درصد حذف COD، میزان تولید بیوگاز (متان و هیدروژن) و اسیدهای چرب و قلیائیت اثرگذار است که در کاربری فرآیندهای بیهوازی (مرحله هیدرولیز و اسیدوژنیز) نقش حیاتی دارند. میزان بهینه باید طوری تعیین شود که بتواند بیشترین جریان فاضلاب را در زمان مناسب و بدون خروج لجن از سیستم مورد تصفیه قرار دهد(۹،۱۸-۱۵). با توجه به ضروری بودن تصفیه تکمیلی برای این صنایع، مطالعه حاضر به منظور معرفی روشی ارزان و اثر بخش در رساندن پساب خروجی به حد استانداردها انجام شد. هدف این مطالعه بررسی توانایی سیستم بیوتجزیه بیهوازی (به عنوان یک بخش از تصفیه تکمیلی) با ایجاد سیکل ترکیبی هوازی- بیهوازی- هوازی بود. در این روش فاضلاب خروجی از واحد هوازی موجود در تصفیه خانه این صنعت وارد راکتور بیهوازی (مطالعه حاضر) شده و پساب از واحد بیهوازی مجدداً به صورت یک جریان کنارگذر به واحد هوازی انتقال داده می‌شود. این روش در صورت داشتن کارایی لازم نه تنها سبب تصفیه تکمیلی پساب می‌گردد بلکه با رقیق‌سازی جریان ورودی واحد هوادهی سبب کاهش بار آلی بر سیستم هوازی، تولید لجن کمتر، کاهش زمان هوادهی مورد نیاز و متعاقب آن مصرف انرژی کم‌تر می‌شود. هم‌چنین اثر OLR بر سیستم بیوجذب بیهوازی به‌منظور تصفیه تکمیلی پساب صنایع چوب و کاغذ برای رسیدن به حد استانداردهای خروجی لازم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله می‌تواند توانایی این روش تصفیه را مورد ارزیابی قرار دهد و در مطالعات تکمیلی به عنوان پارامتر حیاتی سیستم‌های بیهوازی مورد استفاده قرار گیرد.

1- Organic Loading Rate(OLR)

مواد و روش ها

۱- کلیات

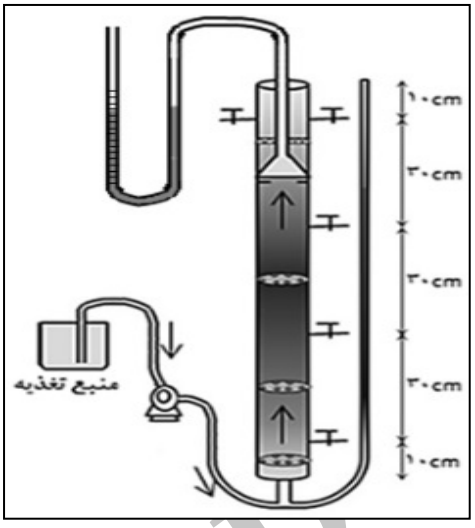
این طرح در مقیاس آزمایشگاهی و در آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران بر روی پساب مصنوعی و واقعی کارخانه چوب و کاغذ انجام شد.

۲- تعیین حجم نمونه مطالعه حاضر در مدت ۵۴ روز (۱۳ روز راه‌اندازی و ۴۱ روز فاز مطالعاتی) انجام گردید. با ثابت نگه داشتن تغییرات دما و pH، در مجموع تعداد ۱۰۸ نمونه(۱۰۸=۲×۵۴) برای هر یک از پارامترهای رنگ، لیگنین و COD تخمین زده شد. به طور مشابه، اندازه‌گیری جامدات به طور متوسط هر پنج روز (در مجموع ده مرتبه) از چهار شیر راکتور انجام گردید، لذا تعداد ۴۰ نمونه جامدات در مجموع گرفته شد. قلیائیت و اسیدهای چرب (با اندازه‌گیری روزانه در دوره‌ی راه‌اندازی سیستم) نیز ۱۳ مرتبه نمونه‌گیری شدند.

۳- مشخصات پایلوت

به منظور ساخت راکتور از استوانه‌ای به جنس پلی‌اتیلن پر فتالات (PET) و حجم مفید ۱/۹۶ لیتر (قطر داخلی ۵cm و به ارتفاع ۱۱۰cm) استفاده شد. در هر ستون، بین شیر ورودی و خروجی، دو شیر نمونه‌گیری نیز در فاصله‌های یکسان در بدنه راکتور به منظور نمونه‌برداری و اطلاع از وضعیت لجن درون راکتور تعبیه شد. چهار صفحه مشبک به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از شیرهای مورد نظر قرار داده شد که هم مانع خروج لجن از ستون شده و هم به توزیع یکنواخت جریان کمک کند. درب ستون‌ها بسته و در بالای هر ستون نیز لوله خروجی گاز تعبیه شد. یک لوله U شکل نیز در کنار هر ستون در نظر گرفته شد تا بتوان سطح لجن را مورد ارزیابی قرار داد. شماتیک پایلوت مورد نظر در تصویر شماره ۱ موجود است.

Archive of SID
www.SID.ir



تصویر شماره ۱: شماتیک پایلوت مورد استفاده در مطالعه

فاضلاب با COD مشخص به وسیله پمپ قابل تنظیم پیستونی از پایین ستون به داخل آن تزریق شد. به منظور جلوگیری از ضربه‌های پمپ و برقراری جریان یکنواخت، فاضلاب ابتدا وارد شلنگ U شکل (در سمت راست تصویر شماره ۱ مشخص است) شده و سپس وارد راکتور می‌شود. به منظور حفظ دما، راکتور و منبع تغذیه در داخل اتاقکی قرار گرفت و با وسایل گرمایشی (دارای ترموستات به منظور تنظیم دلخواه دما) دمای محیط همواره در محدوده دمایی مزوفیلیک (۲±۳۰) حفظ شد. جریان فاضلاب به صورت پیوسته از راکتور عبور داده شد. به منظور اندازه‌گیری میزان گاز تولید شده که بخش عمده آن متان است(۱۹،۲۰)، از سیستم مانومتری استفاده شد. لوله مانومتر از آب پر شده و یک طرف لوله با هوای آزاد در تماس است و طرف دیگر به خروجی گاز راکتور متصل شد. در طی دوره مطالعه تغییرات ارتفاع سطح ستون مایع ثبت و بر اساس قوانین حاکم در ظروف مانومتری(۲۱)، میزان فشار و نهایتاً گاز تولیدی آن محاسبه شد. هم‌چنین به منظور آنالیز ستون جامدات و بررسی میزان تراکم لایه بیولوژیکی در راکتور از کلیه شیرهای موجود در راکتور نمونه گیری انجام و غلظت جامدات (طبق روش موجود در بخش ۷) اندازه‌گیری شد.

۴- تامین لجن مورد نیاز

لجن مورد نیاز از خط لجن برگشتی حوضچه هوادهی کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه و pH در رنج ۷/۵-۷ تنظیم شد. ۶۰ درصد حجم مفید ستون با این لجن پر شد و به منظور رسیدن لجن به حالت سپتیک، تا ۱۰ روز به حال خود رها شد. مشخصات لجن مورد استفاده در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول شماره ۱: مشخصات لجن مورد استفاده به عنوان بیوجاذب در مطالعه حاضر

پارامتر	غلظت
pH	۷-۷/۷
VSS [1]	۱۳۳۰۱ میلی گرم درلیتر
TSS [2]	۲۱۴۵۳ میلی گرم درلیتر
VSS/TSS	۰/۶۲

1- Volatile Suspended Solid
2- Total Suspended Solid

فاضلاب طبق مشخصات گفته شده در جدول شماره ۱ ساخته و با تنظیم نسبت COD/N/P به حد ۳۵۰/۵/۱، بارگذاری $1kgCOD/m^3.d$، سرعت رو به بالا ۰/۰۸m/h، و زمان ماند هیدرولیکی (HRT)۱۲/۷۱ ساعت به سیستم تزریق شد. محتویات راکتور به صورت برگشتی از آن خارج و مجدداً داخل راکتور گردید تا شرایط جدید بر زندگی ارگانیسم‌ها حاکم شود. کاهش COD فاضلاب ورودی که نشان دهنده تطبیق با شرایط جدید است تا رسیدن به حداقل حذف ۷۰ درصد اندازه‌گیری و ثبت شد. در طی این مدت pH، حرارت، قلیائیت و اسیدهای فرار روزانه اندازه‌گیری و در صورت نیاز اصلاح می‌شدند. نسبت اسیدهای فرار به قلیائیت در محدوده ۰/۵ حفظ شد. به این منظور، در دوره راه‌اندازی اولیه سیستم با اندازه‌گیری متناوب اسیدهای فرار و قلیائیت تنظیمات طبق جدول شماره ۴ تا رسیدن به محدوده مطلوب انجام شد. پیشرفت کار راکتور در زمان راه‌اندازی سرعت دلخواه را نداشت، لذا تا زمانی که نتایج آزمایش رسیدن به حالت مطلوب را تأیید ننمود، OLR افزایش پیدا نکرد.

Archive of SID

www.SID.ir

۵-تهیه فاضلاب مصنوعی برای آزمایشات

مطالعه حاضر به منظور تصفیه پساب صنایع چوب و کاغذ انجام شد، لذا به منظور ساخت فاضلاب شبیه‌سازی شده در مرحله اول، ترکیب پساب این صنایع از مطالعه انجام شده در غرب ترکیه استخراج گردید(۲۲،۴). مشخصات پساب اولیه مورد استفاده در مطالعه حاضر در جدول شماره ۲ لیست شده است.

جدول شماره ۲: اجزاء و خصوصیات فاضلاب مصنوعی مورد استفاده (همگی بر حسب mg/L به جز pH)

ماده شیمیایی	غلظت	ماده شیمیایی	غلظت
COD	۴۲۶	نیتریت	۰/۲۱۳
نیتروژن کل	۲۳	آمونیوم (NH_4^+)	۹/۸۸
نیترات	۰/۱۸۳	فنل	۰/۵۳۵
فسفات	۰/۱۷۶	pH (متوسط)	۸/۵
لیگنین	۱۵۰	رنگ(CU)	۱۰۰

هم‌چنین مواد شیمیایی مورداستفاده در ساخت این فاضلاب نیز در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که تنها منبع رنگ در این فاضلاب لیگنین بود که برای تامین این ماده از لیکور سیاه (۵۰ درصد) تهیه شده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران استفاده شد تا منبعی مشابه آن‌چه در فاضلاب این صنایع وجود دارد باشد. لیکور سیاه از ۷۰ درصد ماده آلی(شامل پلی ساکاریدها، اسید استیک و فرمیک، ترکیبات باقیمانده با وزن مولکولی کم و به طور عمده لیگنین) و ۳۰ درصد ماده غیر آلی (عمدتاً یون‌های نمکی محلول) تشکیل می‌شود(۲۶-۲۳). همان‌طورکه از ترکیبات این ماده مشخص است بخش عمده لیکور سیاه از لیگنین تشکیل شده است که سبب می‌شود در برابر تصفیه بیولوژیکی مقاومت از خود نشان دهد. ماده تهیه شده دارای pH برابر ۱۱، فنل ۶۰mg/L و حدود ۲۳۰۰ واحد رنگ(CU) بود.

با توجه به ناخالصی بالای این ماده و به منظور نزدیک شدن مشخصات فاضلاب مصنوعی به پساب واقعی صنایع چوب و کاغذ مازندران- که در دوره نمونه‌گیری حاوی تقریباً ۱۰۰CU رنگ بود- رنگ فاضلاب ساخته شده با لیکور سیاه تا رسیدن به این مقدار تنظیم شد که حاوی تقریبا ۱۵۰mg/L لیگنین بود. فنل موجود در لیکور نیز برای ساخت فاضلاب کافی بود.

جدول شماره ۳: مقدار مواد شیمیایی مورد استفاده جهت ساخت ۲ لیتر فاضلاب مصنوعی

ماده شیمیایی مورد استفاده		مقدار(ml)
$C_6H_{12}O_6.H_2O$ (Merck)	گلوکز	۷۹۶/۲۶
$NaNO_2$(Merck)	نیتریت سدیم	۶/۴
KH_2PO_4(Merck)	دی هیدروژن فسفات پتاسیم	۵/۰۴
NH_4Cl(Merck)	کلرید آمونیوم	۵۸۵/۹۲
$Ca(NO_3)_2$, $4H_2O$(Merck)	دی نیترات کلسیم ۴ آبه	۶/۹۶۸
	لیکور سیاه	۳۰۰

*(همگی از استوک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به جز گلوکز و لیگنین که از استوک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.)

جدول شماره ۴: روش اصلاح پارامترهای pH و قلیائیت

پارامتر	هدف	
	کاهش	افزایش
pH	اسید کلریدریک	سود
قلیائیت	کاهش تزریق فاضلاب	سود
اسیدهای فرار	سود	کاهش تزریق فاضلاب

* (کلیه محلول‌ها با غلظت یک نرمال ساخته شد)

۶- کار با پساب واقعی

پس از نمونه گیری از پساب واقعی کارخانه چوب و کاغذ مازندران و اندازه‌گیری COD، رنگ و لیگنین اولیه، توانایی حذف برای سه پارامتر مذکور در بارگذاری بهینه (به دست آمده در مرحله قبل) مورد ارزیابی قرار گرفت. نسبت COD/N/P در پساب واقعی حدود ۱۸۰/۸/۳/۰/۰۸ بود که همان گونه که شرح داده خواهد شد به نسبت ۳۵۰/۵/۱ رسانده شد. پساب جمع‌آوری شده به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد تا اکسیژن احتمالی موجود در آن خارج گردد و سپس به داخل راکتور تزریق شد. وجود TSS خروجی سبب بروز خطا در اندازه‌گیری رنگ می‌شود؛ به منظور حذف این خطا، نمونه‌ها در ۱۵۰۰rpm برای ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سپس میزان رنگ اندازه‌گیری شد.

Archive of SID
www.SID.ir

۷- روش انجام آزمایشات و آنالیز داده‌ها

کلیه آزمایشات در شرایط ثابت و براساس دستورالعمل کتاب استاندارد متد[1] انجام گرفت. آزمایش جامدات بر اساس روش ۲۰۴۰، قلیائیت ۲۳۲۰B واسیدهای فرار ۵۵۶۰B انجام شد. اندازه‌گیری میزان COD به روش Closed reflux (۵۲۲۰C) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Lambda EZ 201) و رنگ ۲۱۲۰C توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR/2000) انجام شد. اندازه‌گیری لیگنین با روش رنگ سنجی(۲۸،۲۷) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Lambda EZ 201) انجام شد. دما توسط دماسنج جیوه‌ای کنترل و ثبت شد. ثبت pH توسط دستگاه pH متر با مدل Jenway صورت گرفت. با توجه به حساس بودن باکتری‌های متان ساز به pH، این پارامتر در محدوده‌ی ۷/۲-۶/۸ حفظ شد(۸). روش اصلاح pH و قلیائیت و اسیدهای فرار در جدول ۴ آورده شده است. در صورت نیاز به تنظیم نسبت COD/N/P، از اوره و اسید فسفریک استفاده شد. کلیه مواد مورد استفاده دارای گرید آزمایشگاهی بوده و از شرکت Merck تهیه شدند. در کلیه مراحل، به ویژه هنگام افزایش OLR، پارامترهای مورد نظر تا رسیدن به کمتر از ۵ درصد تغییر، اندازه‌گیری شدند تا اطمینان حاصل شود میکروارگانیسم‌ها با شرایط جدید کاملاً تطبیق پیدا کرده‌اند. هم‌چنین به منظور بررسی دقیق‌تر سیستم، OLR، نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M) و ظرفیت حذف بر اساس حجم راکتور و غلظت میکروارگانیسم‌ها (EC_V و EC_M) برای آلودگی ورودی و خروجی نیز محاسبه شد. به این منظور از روابط ۴-۱ استفاده شد(۲۹):

$$OLR= (Q\times COD_{in})/ V_r$$

$$F/M= (Q\times COD_{in}) / (V_r\times VSS)$$

$$EC_v= Q/ (V_r\times (COD_{in-}\times COD_{out})$$

$$EC_m= EC_v/VSS$$

در موارد فوق به ترتیب موارد زیر را داریم:

OLR: بارگذاری آلی بر حسب $kgCOD/m^3.d$

Q: دبی بر حسب m^3/d

COD_{in} و COD_{out} : میزان COD ورودی و خروجی بر حسب kg/m^3 : V_rحجم مفید راکتور بر حسب m^3

$\frac{F}{M}$: نسبت غذا به میکرو ارگانیسم بر حسب $kg\ COD/kg\ VSS.d$

VSS: غلظت میکروبی راکتور بر حسب kg/m^3

EC_v : کیلوگرم آلودگی حذف شده به ازای حجم راکتور در روز بر حسب$kg\ COD/m^3.d$

EC_m:کیلوگرم آلودگی حذف شده به ازای غلظت میکروارگانیسم‌ها در روز بر حسب$kg\ COD/kg\ VSS$

کلیه آزمایشات حداقل با دو مرتبه تکرار در نمونه‌گیری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در پایان نتایج حاصله با روش‌های آماری ECXEL مورد آنالیز قرار گرفت.

۸- راه اندازی سیستم

راه‌اندازی سیستم در چند مرحله و بر مبنای این که بین مراحل زمان کافی برای پذیرش شرایط جدید توسط میکروارگانیسم‌ها فراهم باشد، انجام شد. ابتدا به منظور اطمینان از خروج هوا، کل حجم راکتور با آب پر شد. سپس ۶۰ درصد حجم راکتور با لجن تهیه شده پر و به مدت ۱۰ روز برای رسیدن به حالت سپتیک به حال خود رها شد. بعد از این مدت دمای راکتور با تزریق آب مقطر به تدریج به ۲±۳۰ درجه سانتی‌گراد رسید. ادامه کار طی مراحل زیر انجام پذیرفت:

۱-۷.رنگبری لجن

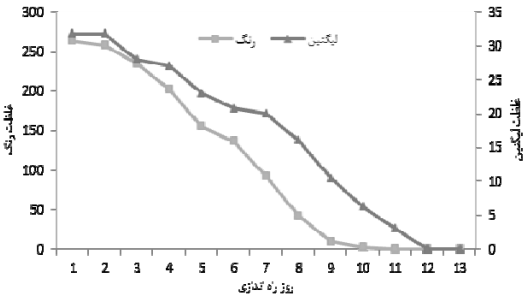
در تزریق آب مقطر به داخل سیستم همواره در خروجی تولید رنگ مشاهده شد که به دلیل تغلیظ و انباشت لیگنین در لجن بود. لذا تزریق آب مقطر ادامه پیدا کرد تا این میزان انباشت لیگنین و رنگ ناشی از آن با آب شسته و خارج شود. در طی این مدت رنگ و لیگنین به صورت روزانه اندازه‌گیری شد تا ثبات در

1- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed.

Archive of SID

www.SID.ir

حذف دو پارامتر مشاهده شود. نتایج حاصله بعد از ۱۱ روز حذف کامل را نشان داد که در تصویر شماره ۲ قابل مشاهده است.



تصویر شماره ۲: نمودار تدریجی حذف لیگنین (mg/l)و رنگ (برحسب واحد رنگ CU) در لجن اولیه

۲-۷. فاز تطبیق

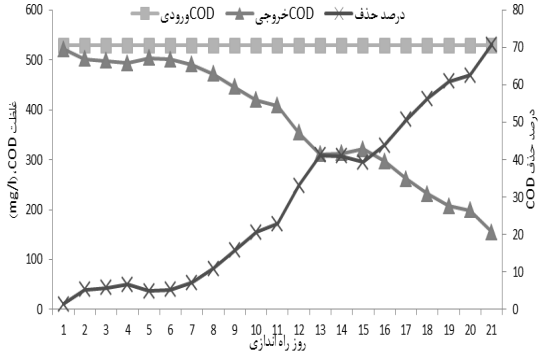
به علت این که لجن بیولوژیکی مورد استفاده در راکتور از حوض ته نشینی سیستم تصفیه کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد، لذا دارای کیفیت مشابه با فاضلاب این صنایع بوده و سبب شد مدت زمان لازم برای تطبیق میکروارگانیسم‌ها با محیط جدید بسیار کوتاه شود. برای حصول به زمان دقیق، ادامه کار در مراحل زیر انجام شد:

مقادیر مطلوب روند تدریجی حذف COD در تصویر شماره ۳ قابل مشاهده است. در طی این دوره همان‌طور که در تصاویر شماره ۴ و ۵ مشاهده می‌شود در روزهای ۵، ۶، ۱۴ و ۱۵ دوره راه‌اندازی، به ترتیب به دلیل افت pH و دمای راکتور، کاهش در حذف COD مشاهده گردید. در جدول شماره ۵ نیز مشخصات راکتور بعد از راه اندازی و قبل از افزایش OLR نشان داده شده است(۳۰).

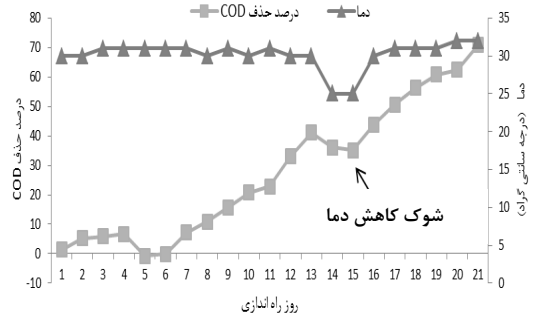
جدول شماره ۵: مشخصات راکتور بعد از راه اندازه و قبل از افزایش بارگذاری در خروجی سیستم

پارامتر	مقدار	میزان توصیه شده
قلیائیت *	۱۲۹	۱۲۰
pH	۶/۸-۷/۲	۶/۸-۷/۲
درصد نهایی حذف COD	حداقل ۸۰٪	حداقل ۸۰٪
اسیدهای چرب فرار*	۱۰۸/۹۸	<۲۵۰

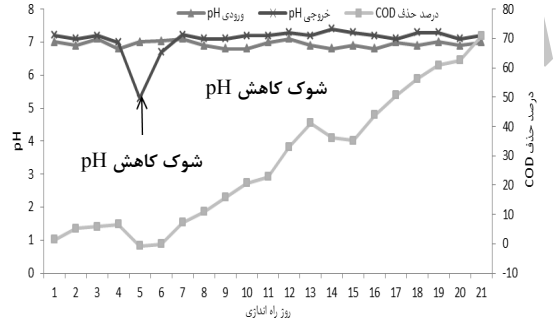
*قلیائیت و اسیدهای چرب فرار بر حسب mg/l گزارش شده است



تصویر شماره ۳: روند تغییرات COD در دوره راه‌اندازی سیستم



تصویر شماره ۴: اثر دما بر میزان حذف COD در دوره راه‌اندازی سیستم



تصویر شماره ۵: اثر pH بر میزان حذف COD در دوره راه‌اندازی سیستم

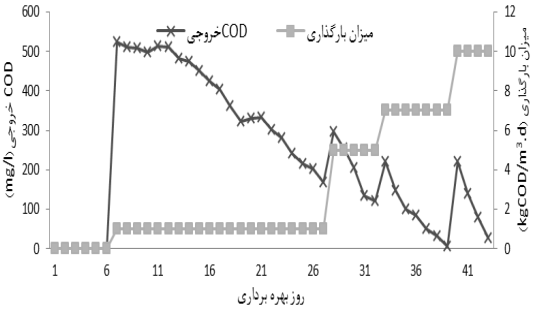
یافته ها

۱-کار با پساب مصنوعی

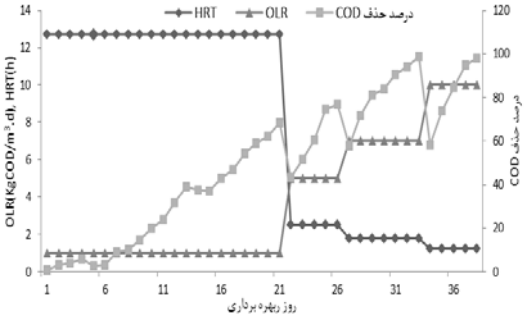
بعد از فاز تطبیق مرحله بهره برداری سیستم با افزایش OLR شروع شد. پساب ساخته شده برای این مرحله همانند فاز تطبیق بود. مشخصات سیستم در هر افزایش OLR در جدول شماره ۶ قابل مشاهده است. نمودار تغییرات COD خروجی و میزان OLR در مدت ۴۳ روز پس از راه‌اندازی سیستم در تصویر شماره ۶ آورده

www.SID.ir

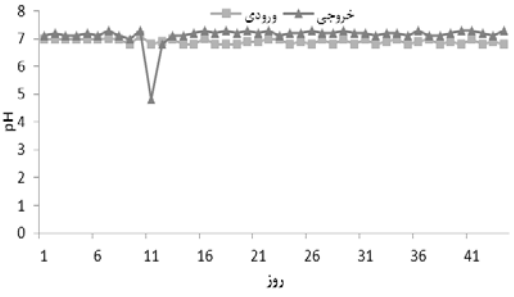
شده است. بهره‌برداری سیستم با بیش‌ترین HRT و کم‌ترین OLR شروع شد. در تصویر شماره ۷ تغییرات OLR و HRT و اثرات آن‌ها بر حذف COD نشان داده شده است. تصویر شماره ۸ تغییرات pH در ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.



تصویر شماره ۶: تاثیر تغییرات بارگذاری بر میزان حذف COD در دوره تحقیق



تصویر شماره ۷: اثر متقابل OLR و HRT بر میزان حذف COD در دوره تحقیق

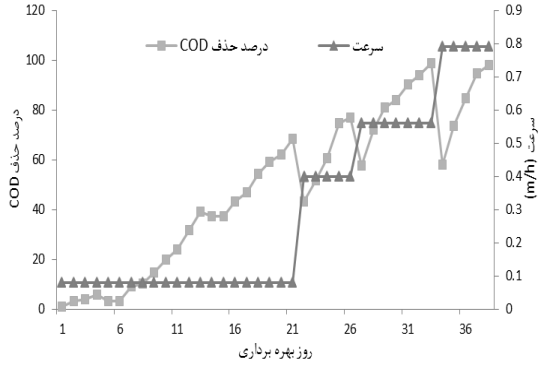


تصویر شماره ۸: روند تغییرات pH ورودی و خروجی در طول در دوره تحقیق

همان‌طور که مشاهده می‌شود در روز ۱۱ و ۱۲ (برابر با روز پنجم و ششم شروع بارگذاری یک بود) افت شدید pH رخ داد. در سایر موارد همواره pH خروجی نسبت به ورودی افزایش داشته است. در تصویر شماره ۹ نیز نمودار تغییرات درصد حذف COD نسبت به سرعت رو به بالا نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بارگذاری‌های اولیه با افزایش سرعت رو به بالا (هم زمان با افزایش OLR) افت در میزان حذف COD مشاهده می‌شود، اما به تدریج میزان این کاهش ناشی از افزایش OLR در راکتور کم‌تر می‌شود. به منظور بررسی روند تغییرات غلظت VSS در طول ۴ دوره بهره‌برداری (روز پایانی هر بارگذاری)، از چهار شیر موجود در ارتفاعات مختلف راکتور راکتور نمونه‌گیری انجام شد. نتایج در تصویر شماره ۱۰ قابل مشاهده است. بر این اساس بالغ بر ۹۰ درصد توده بیولوژیکی در بخش ۱/۳ انتهایی راکتور قرار دارد. در تصویر شماره ۱۱ تغییرات بارگذاری و اثر آن بر میزان حذف رنگ، لیگنین و تغییرات غلظت VSS خروجی نشان داده شده است. هم‌چنان که در این شکل مشخص است در طی دوره مطالعه سیستم همواره تولید رنگ را نشان داده است، لذا درصد حذف رنگ به صورت منفی مشاهده شد.

۲-کار با پساب واقعی

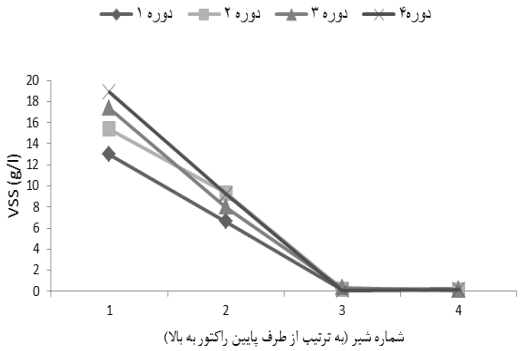
با توجه به میزان OLR بهینه که در مرحله پیش حاصل شد، نمونه پساب واقعی مورد آزمایش قرار گرفت.



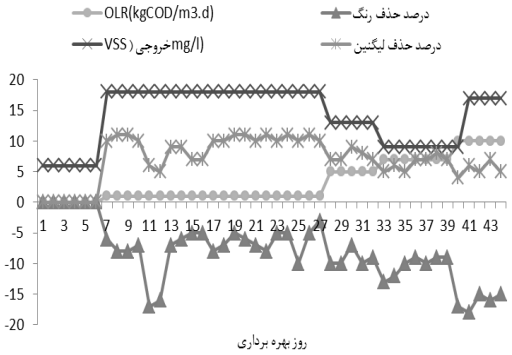
تصویر شماره ۹: تاثیر سرعت بر میزان حذف COD در دوره تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر شماره ۱۰: نمودار تغییرات VSS خروجی در نقاط مختلف نمونه برداری در طی ۴ دوره مطالعه



تصویر شماره ۱۱: توانایی سیستم در حذف رنگ و لیگنین در بارگذاری های مختلف و رابطه‌ی آن با غلظت VSS خروجی

جدول شماره ۶: مشخصات راکتور در طی دوره راه اندازی به ازای مقادیر مختلف بارگذاری

پارامتر	واحد	OLR(kgCOD/m^3.d)				
		۰	۱	۵	۷	۱۰
دوره بهره برداری*	d	۱-۶	۷-۲۷	۲۸-۳۲	۳۳-۳۹	۴۰-۴۳
سرعت رو به بالا	m/h	۰/۴۰	۰/۰۸	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۷۹
HRT	h	۲/۵۲	۱۳/۱۱	۲/۵۲	۲/۱۹	۱/۲۶
SRT	d	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
COD ورودی	mg/l	۰	۵۲۵/۲۵±۲/۶۳	۵۲۵/۲۵±۲/۶۳	۵۲۵/۲۵±۲/۶۳	۵۲۵/۲۵±۲/۶۳
TSS	mg/l	۸۳۴۲±۰/۱	۸۳۸۰±۰/۳	۸۴۴۵±۰/۵	۸۴۹۰±۰/۲	۹۱۰۵±۰/۳
VSS	mg/l	۵۰۰۳±۰/۵	۶۲۶۰±۰/۴	۶۴۵۰±۰/۵	۷۱۱۱±۰/۱	۸۰۰۱±۰/۶
VSS/TSS	–	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۸۸
F/M	kgCOD/kgVSS.d	–	۰/۱۶	۰/۷۷	۰/۹۸	۱/۲۵
VSS خروجی	mg/l	۰/۲۱۱±۰/۸	۰/۱۱۳±۰/۴	۰/۰۹±۰/۳	۰/۱۶۲±۰/۵	۰/۳۴۱±۰/۷
حذف COD	٪	۰	۲۷/۵۲±۲۲/۲۷	۶۱/۵۲±۱۴/۵۷	۸۲/۵۳±۱۴/۰۳	۸۱/۸۸±۱۶/۳۴
حذف رنگ	٪	۰	-۷/۵۷±۳/۴۳	-۹/۲±۱/۳۰	-۱۰/۲۹±۱/۶۰	-۱۶/۲±۱/۳
EC_V	kgCOD/m^3.d	۰	۰/۲۷±۰/۲۲	۳/۰۷±۰/۷۳	۵/۷۷±۰/۹۸	۸/۱۸±۲/۶۷
EC_M	kgCOD/kgVSS	۰	۰/۰۴±۰.۰۴	۰/۴۸±۰/۱۱	۰/۸۱±۰/۱۴	۱/۰۲±۰/۲۰

*منظور دوره راه اندازی برای هر بارگذاری از روز اول بارگذاری تا روز ۴۳ است.

پس از تهیه پساب واقعی کارخانه چوب و کاغذ مازندران و اندازه گیری میزان COD، رنگ و لیگنین اولیه، و تنظیم نسبت COD/N/P، توانایی حذف سیستم در بارگذاری بهینه (۷kgCOD/m^3.d) و HRT برابر ۲/۱۹ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تزریق پساب واقعی، پارامترهای مذکور تا رسیدن به کم تر از ۵ درصد تغییر اندازه‌گیری شدند. به منظور حذف TSS خروجی و حذف خطای ناشی از آن در اندازه‌گیری رنگ، نمونه در ۱۵۰۰rpm برای ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس میزان رنگ انداه‌گیری گردید. نتایج نهایی ۷۶/۱۵ درصد حذف COD، ۳۴ درصد حذف رنگ و ۴۹ درصد حذف لیگنین را نشان داد. بر این اساس، پس از خروج از راکتور بیهوازی COD و رنگ به محدوده‌ی استاندارد خروجی ملی ایران (COD < ۶۰ و رنگ >۷۵) رسید[1].

بحث

۱-کار با پساب مصنوعی

با توجه به دلایل ذیل راه‌اندازی سیستم با فاضلاب مصنوعی انجام گردید:

– حساسیت بالای سیستم های بیهوازی به مواد سمی، OLR، عدم وجود دما و pH مناسب و SS بالا که

۱-. این استاندارد به استناد ماده ۵ آیین نامه جلوگیری ازآلودگی آب و با توجه به ماده ۳ همین آیین نامه و با همکاری وزارتخانه های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین گردیده است.

Archive of SID
www.SID.ir

ممکن است سبب مرگ میکروارگانیسم ها (به ویژه متان سازها) و کاهش کارایی سیستم بیهوازی شود(۳۱).

- کنترل کامل فرآیندها در مرحله راه‌اندازی با پایش کامل سیستم امکان‌پذیر می گردد، لذا باید ترکیبات فاضلاب به کارگرفته شده کاملاً مشخص باشد تا بتوان رفتار میکروارگانیسم‌ها را در طی مطالعه به درستی ارزیابی نمود(۱۶،۱۵).

- نیاز به حجم بالای پساب به دلیل پیوسته بودن نوع جریان و محدودیت‌های موجود در نمونه‌گیری پساب.

مسلماً انجام مطالعات تکمیلی با پساب واقعی در محل تصفیه خانه صنایع چوب و کاغذ می‌تواند نتایج دقیق‌تری را به دنبال داشته باشد.

با توجه به این موضوع که لجن استفاده شده از خود صنایع چوب و کاغذ تهیه شده بود سرعت تطبیق یافتن میکروارگانیسم‌ها با محیط سریع بود و با شروع بارگذاری ۱ $kgCOD/m^3.d$ در مدت ۲۷ روز سیستم توانایی حذف بالغ بر ۷۰ درصد COD را نشان داد. در روز پنجم و ششم، کاهش شدید pH مشاهده شد که به دلیل تولید اسیدهای چرب فرار قابل توجیه است(۳۲)؛این امر سبب شد که COD خروجی حتی به بیش‌تر از COD ورودی نیز افزایش یابد که به دلیل تولید اسیدهای فرار است. هم‌چنین با توجه به حساسیت بالای سیستم‌های بیهوازی نسبت به پارامترهای محیطی، هرگونه کاهش pH و دما سبب کاهش راندمان می گردد که با مطالعه‌ی Chaparro و همکاران (۲۰۱۱) نیز همخوانی دارد(۱۱). با آغاز مرحله بهره برداری سیستم، افزایش OLR سبب وارد شدن شوک به سیستم گردید و راندمان حذف COD کاهش یافت، اما بعد از مدت کوتاهی سیستم با شرایط تطبیق و حذف COD افزایش یافت. به مرور با افزایش OLR، این کاهش در حذف COD و زمان لازم برای تطبیق بسیار کوتاه شد، به‌طوری که با افزایش میزان OLR از $kgCOD/m^3.d$ ۵ به $7kgCOD/m^3.d$، سیستم تنها در مدت پنج روز بالغ بر ۷۰ درصد حذف COD را نشان داد و در مدت هفت روز این میزان به بالغ بر ۹۰ درصد رسید. این روند در بارگذاری $10kgCOD/m^3.d$ نیز مشاهده شد. این نتیجه با مطالعات مشابه کار شده روی سیستم‌های بیهوازی همخوانی دارد(۳۶-۳۳). با افزایش OLR به $12\ kgCOD/m^3.d$ خروج توده بیولوژیکی مشاهده گردید. لذا با توجه به نتایج حاصله و با در نظر گرفتن فاکتور هزینه اثربخشی روش، بارگذاری $7kgCOD/m^3.d$ به عنوان میزان بهینه OLR انتخاب شد. افزایش pH خروجی نسبت به میزان ورودی نشان داد که سیستم همواره تولید کننده قلیائیت است که دال بر تطبیق مناسب میکروارگانیسم‌ها با محیط جدید است(۲۷). آنالیز ستون لجن نشان داد که بالغ بر ۹۰ درصد توده بیولوژیکی در بخش ۱/۳ پایین راکتور حضور دارد که نشاندهنده تراکم مناسب لجن است(۲۹). هم‌چنین بررسی گردیان غلظت در ارتفاع راکتور نشان می‌دهد که افزایش تولید VSS و متعاقب آن بالارفتن سرعت فعالیت و تکثیر توده بیولوژیکی می تواند شوک ناشی از افزایش بار را در مراحل انتهایی تحمل کند(۲۱)؛ هم‌چنان که با افزایش OLR نسبت VSS/TSS نیز افزایش یافته است که مؤید صحت مطلب گفته شده است و با مطالعات مشابه همخوانی دارد(۳۷). هم‌چنین با افزایش OLR، تولید گاز در بستر لجن هم افزایش یافته و سبب اختلاط بیش‌تر به ویژه در شیر شماره ۳ و خروجی می گردد؛ لذا میزان VSS به تدریج در این نقاط بیش‌تر از دوره‌های پیش است. خروجی TSS و VSS در هیچ حالتی بیش‌تر از حد استانداردها گزارش نشد.

با توجه به نسبت F/M در جدول شماره ۶، سیستم حساسیت کمی نسبت به کاهش یا افزایش ماده غذایی در محیط دارد که با ویژگی‌های سیستم‌های بیهوازی در مطالعات مشابه تطابق دارد(۳۰،۸). از جمله گازهای تولیدی در سیستم‌های بیهوازی می توان به متان (گاز غالب) و دی اکسید کربن اشاره کرد که اگر به درستی مدیریت نشوند جز گازهای گلخانه ای بوده و در

Archive of SID

www.SID.ir

گرمایش زمین موثر هستند، اما همین گازها با مدیریت درست می توانند به عنوان منبع سوخت برای تولید انرژی مورد استفاده قرار گیرند(۳۱). میزان گاز تولیدی در مطالعه حاضر حدود ۰/۳۲ متر مکعب به ازای کیلوگرم COD حذف شده تخمین زده شد که همانند مطالعه یاری و همکاران (۲۰۰۵) از مقدار نظری آن در سیستم‌های UASB (۰/۳۵ متر مکعب به ازای کیلوگرم COD حذف شده) کم‌تر است(۳۲) که با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق‌تر می‌توان این خطای احتمالی را کاهش داد. نتایج مطالعه حاضر همواره تولید رنگ را نشان داده است که به دلیل شکست مولکول لیگنین می‌باشد که در سایر سیستم‌های بیهوازی نیز مشاهده شده است(۱۱). دلیل دیگر آن ناشی از TSS خروجی بالاست که یکی از ویژگی‌های سیستم‌های بیهوازی است که سبب خطا در اندازه‌گیری رنگ می‌گردد(۳۳) به طوری که بعد از سانتریفیوژ نمونه‌ها این حالت برطرف گردید. در مقیاس واقعی با برگشت این پساب به حوض هوادهی و سپس عبور از زلال ساز این مشکل رفع می‌گردد. با افزایش OLR، کاهش کمی در حذف لیگنین (p=۰/۰۰۲) مشاهده شد و در کل سیستم در بارگذاری‌های مختلف توانایی حذف حدود ۳/۵±۷ درصد لیگنین را نشان داد. اگرچه این مقدار کم‌تر از نتایج مطالعه Diez و همکاران (۲۰۰۲) است (۳۶ درصد در HRT برابر ۱۰ ساعت) اما در نگاه کلی، هر دو مطالعه نشان می دهد تجزیه لیگنین با HRT رابطه مستقیم دارد که تاکیدی مجدد بر حذف مشکل لیگنین در سیستم‌های بیولوژیکی است(۳۴). مقایسه نمودارهای ۱۱ و ۷ موید این است که حتی در زمانی که سیستم بالغ بر ۷۰ درصد حذف COD را نشان می‌دهد تنها ۱۱ تا ۱۲ درصد حذف لیگنین مشاهده می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که COD نمی‌تواند به عنوان ردیابی مناسب برای تغییرات میزان تجزیه مواد آلی به ویژه ماکرومولکول لیگنین باشد. با توجه به ساختار پیچیده مولکول لیگنین، در فاضلاب ورودی و هنگام اندازه‌گیری COD، این مولکول شکسته نمی‌شود، اما پس از تزریق فاضلاب به سیستم، میکروارگانیسم‌ها ابتدا شروع به تجزیه گلوکز (به عنوان ماده غذایی ساده و قابل هضم) می‌کنند و سپس تجزیه لیگنین آغاز می‌شود. با شکست این ماکرو مولکول به مونومرها موادی تولیدی می‌شوند که می‌توانند در اندازه‌گیری COD و لیگنین خود را نشان دهند و لذا درصد حذف COD و لیگنین با مقدار واقعی آن تفاوت پیدا می‌کند که در مطالعه مشابه برای سایر ماکرومولکول‌ها نیز مشاهده شده است(۳۶،۳۵).

۲-کار با پساب واقعی

نتایج کار با پساب واقعی حذف بالغ بر ۷۰ درصد COD، ۳۰ درصد رنگ و ۴۹ درصد لیگنین را نشان می‌دهد که با نتایج حاصله از پساب مصنوعی تفاوت چشمگیری دارد. این اختلاف به دلیل تفاوت در نوع لیگنین موجود در پساب مصنوعی و واقعی است. پساب واقعی از مرحله هوادهی گسترده عبور کرده است، لذا– همان طور که گفته شد– مسلماً مقداری از لیگنین در این واحد به مولکول‌های کوچک‌تر و ساده‌تر شکسته می‌شود که با تزریق به سیستم بیهوازی به صورت قابل دسترس‌تر (در مقایسه با پساب مصنوعی که با لیگنین موجود در فاضلاب خام ساخته شده است) بوده و به مقدار بیش‌تری تجزیه صورت می‌گیرد. در مطالعه Cui و همکاران (۲۰۱۱) میزان حذف COD در راکتور IC کم‌تر از این مطالعه بود. دلیل این تفاوت به نوع فاضلاب به کار گرفته شده ارتباط دارد. این مطالعه با فاضلاب خام انجام شده است و همان‌طور که گفته شد لیگنین به راحتی نمی‌تواند در HRT موجود در سیستم شکسته شود. هم‌چنین عواملی چون SS، مواد سمی و شوک‌های هیدرولیکی در فاضلاب خام سبب کاهش کارایی سیستم می‌گردد(۱۲). لذا در مطالعات آتی اگر هدف ردیابی حذف لیگنین در صنایع چوب و کاغذ و سیستم‌های بیهوازی باشد توصیه می‌شود حتماً روش‌های

Archive of SID
www.SID.ir

آنالیز پیشرفته‌تر مانند کروماتوگرافی و HPLC مدنظر قرار گیرد تا بتوان مواد واسطه تولیدی را ارزیابی نمود و با استفاده از میزان حذف آن‌ها کارایی سیستم را مورد ارزیابی دقیق قرار داد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که جهت اندازه‌گیری لیگنین از روش‌های دقیق‌تر از رنگ‌سنجی، مانند روش‌های آنزیمی، استفاده شود(۳۷). با عنایت به این موضوع که واحد بیهوازی به دلیل تولید رنگ و TSS نمی‌تواند به تنهایی برای تصفیه تکمیلی کافی باشد(۸)، لذا می‌توان با دو گزینه پیشنهادی زیر با رفع مشکل موجود پساب را به استانداردهای لازم تخلیه به آب‌های سطحی رساند:

۱- با برگشت مجدد پساب از خروجی واحد بیهوازی (مطالعه حاضر) به هوادهی و با برقراری سیکل ترکیبی هوازی- بیهوازی- هوازی، می‌توان علاوه بر به استاندارد رساندن پساب خروجی، با رقیق‌سازی جریان ورودی به هوادهی سبب کاهش بار آلی بر سیستم هوازی، تولید لجن کم‌تر، کاهش زمان هوادهی مورد نیاز و متعاقب آن مصرف انرژی کم‌تر شد.

۲- خروجی سیستم بیهوازی به واحد انعقاد شیمیایی برگردانده شود که اگرچه سبب افزایش مصرف مواد منعقد کننده می‌شود، اما توانایی بالایی در حذف TSS و رنگ تولید شده در سیستم بیهوازی حاضر دارد(۳۸،۳۹). با توجه به توانایی مطلوب این سیستم در حذف COD و رنگ پساب صنایع چوب و کاغذ و رساندن پساب به محدوده‌ی استانداردهای تخلیه، با انجام مطالعات تکمیلی بیش‌تر می‌تواند به عنوان الگوی مناسبی جهت استفاده در این صنایع مد نظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد و نیز طرح تحقیقاتی شماره ۹۳/۱۹۵ است که با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از حمایت‌های این مرکز تشکر و قدردانی می‌نمایند. هم‌چنین بدین‌وسیله از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر حسن خرسندی قدردانی می‌گردد.

References

1. Sappi. Water Use and Treatment in thePulp and Paper Industry. Sappi Fine Paper North America. 2012; 5: 1-7.
2. Banat F, Al-Asheh S, Al-Anbar S, Al-Refaie S. Microwave-and acid-treated bentonite as adsorbents of methylene blue from a simulated dye wastewater. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 2007; 66(1): 53-58.
3. Yousefi Z, Aghili SR, Ghorbanian M. Isolation of fungus from Mazandaran pulp and paper industry effluent. 13th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment. Zurich, Switzerland. 11-15 Sep. 2011.
4. Yousefi Z, Mohmadpour RA, Zarei E, Barafrashtehpour M. Lignin degradation from synthetic wastewater of pulp and paper industries by using of UV/Fe-Doped TiO 2photocatalyticprocess. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 23(2): 96-106.
5. Akpan UG, Hameed BH. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO2-basedphotocatalysts: areview. Hazard Material Journal 2009; 170(2-3): 520-529.
6. Meriç S, Selçuk H, Belgiorno V. Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation–flocculation processes. Water Research 2005; 39(6): 1147-1153.
7. Abou Elela SI, Ali MEM, Ibrahim HS. Combined treatment of retting flax wastewater using Fenton oxidation and

Archive of SID

www.SID.ir

granular activated carbon. Arabian Journal of Chemistry. 2014. (In Press).

8. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel HD. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4thed. McGraw-Hill; 2013.
9. Leitão RC, Van Haandel AC, Zeeman G, Lettinga G. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: a review. Bioresour Technol 2006; 97(9): 1105-1118.
10. Rincón B, Borja R, González J, Portillo M, Sáiz Jiménez C. Influence of organic loading rate and hydraulic retention time on the performance, stability and microbial communities of one-stage anaerobic digestion of two-phase olive mill solid residue. Biochem Eng J 2008; 40(2): 253-261.
11. Chaparro TR, Pires EC. Anaerobic treatment of cellulose bleach plant wastewater: chlorinated organics and genotoxicity removal. Braz J Chem Eng 2011; 28(4): 625-238.
12. Cui P, Zhou X, Zhang Y. The Feasibility Study of Cotton Pulp Wastewater Treatmentwith IC Anaerobic Reactor. Procedia Environ Sci 2011; 11: 686-692.
13. Arshad A, Hashim NH. Anaerobic Digestion of Nssc Pulping Effluent. Int J Environ Res 2012; 6(3): 761-768.
14. Wijetunga S, Li XF, Jian C. Effect of organic load on decolourization of textilewastewater containing acid dyes in upflow anaerobic sludge blanket reactor. J Hazard Mater 2010; 177(1-3): 792–798.
15. Latif M, Ahmad A, Ghufran R, Wahid Z. Effect of temperature and organic loading rate on upflow anaerobic sludge blanket reactorand CH4 production by treating liquidized food waste. Environ Prog Sustain Energy 2012; 31(1): 114-121.
16. Wijekoon KC, Visvanathan C, Abeynayaka A. Effect of organic loading rate on VFA production, organic matter removal and microbial activity of a two-stage thermophilic anaerobic membrane bioreactor. Bioresour Technol 2011; 102(9): 5353-5360.
17. Mohan SV, Babu VL, Sarma P. Anaerobic biohydrogen production from dairy wastewater treatment in sequencing batch reactor (AnSBR): effect of organic loading rate. Enzyme Microb Technol 2007; 41(4): 5506-5015.
18. Van Ginkel SW, Logan B. Increased biological hydrogen production with reduced organic loading. Water Rese 2005; 39(16): 3819-3826.
19. Hinton N, Stone R. Laminar burning velocity measurements of methane and carbon dioxide mixtures (biogas) over wide ranging temperatures and pressures. Fuel 2014; 116: 743-750.
20. Hrad M, Piringer M, Huber-Humer M. Determining methane emissions from biogas plants–Operational and meteorological aspects. Bioresour Technol 2015; 191: 234-243.
21. Shafagh Consulting Engineers Company. Hydraulic in water and wastewater treatmentsystems. 1eth Tehran: Simaye Danesh; 2011.
22. Uğurlu M, Karaoğlu MH. Removal of AOX, total nitrogen and chlorinated lignin from bleached Kraft mill effluents by UV oxidation in the presence of hydrogen peroxide utilizing TiO2 as photocatalyst. Environ Sci Pollut Res 2009; 16(3): 265-273.
23. Rastegarfar N, Behrooz R, Bahramifar N. Elimination of Phenol and Color from Pulping Black Liquor Using Electrocoagulation Process. Water and Wastewater Journal. 2011; 2: 45-52.

Archive of SID
www.SID.ir

24. Sindhu R, Binod P, Pandey A. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass–An overview. Bioresource technology. 2015; (In Press).
25. Cardoso M, Oliveira ÉD, Passos ML. Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. Fuel 2009; 88(4): 756-763.
26. Rojas OJ, Song J, Dimitris S. lignin separation from kraft black liquors by tangential Ulterafiltration. Science and technology 2015; 88: 88-95.
27. Chandra R, Raj A, Purohit HJ, Kapley A. Characterisation and optimisation of three potential aerobic bacterial strains for kraft lignin degradation from pulp paper waste. Chemosphere 2007; 67(4): 839–846
28. Portjanskaja E, Preis S. Aqueous Photocatalytic Oxidation of Lignin: The Influence of Mineral Admixtures. International Journal of Photoenergy 2007. Available from: http://dx.doi.org/10. 1155/2007 /76730.
29. Torkian A, Eqbali A, Hashemian S. The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Resour, Conserv Recycl. 2003; 40(1): 1-11.
30. Hosseinian M. Anaerobic Treatment of Wastewater UASB. 1th ed. Tehran: Hosseiniyan Technical Publication; 2000. (Persian).
31. Chakraborty M, SharmaC, Pandey J, Singh N, Gupta PK. Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies. Atmospheric Environment 2011; 45(39): 7135-7142.
32. Yari AR, Mesdaghinia AR, Nadafi K, Vaezi F, Safdari M, Azizifar M. The Efficiency of UpflowAnaerobic Sludge Blanket (UASB) in SoftDrink Industry Wastewater Treatment. Water and Wastewater Journal 2005; 16(3): 31-38
33. Eaton AD, Franson MA. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. Washington, DC: American PublicHealth Association. 2005.
34. Diez MC, Castillo G, Aguilar L, Vidal G, Mora ML. Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of Pinus radiata kraft mill wastewater. Bioresour Technol 2002; 83(2): 131–138.
35. Hatfield R, Fukushima RS. Can Lignin Be Accurately Measured? Crop Science 2005; 45(3): 832-839.
36. Khorsandi H, Mohammadi A, Kariminejad F, Haghighi M, Alizadeh R. Determination of Optimum Conditions for Fenton Oxidation to Remove Linear Alkyl Benzene Sulfonate using Taghuchi Method and Requirement Evaluation to it for Additional Treatment of Biolac Effluent. IJHE 2015; 7(9): 558-568.
37. WU S, Argyropoulos DS. An Improved Method for isolating lignin in high yeild and purity. JPPS 2003; 29(7): 235-240.
38. Wong SS, Teng TT, Ahmad AL, Zuhairi A, Najafpour G. Treatmentof pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. J Hazard Mater 2006; 135(1): 378-388.
39. Irfan M, Butt T, Imtiaz N, Abbas N, Ahmad Khan R, Shafique A. The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. Arabian Journal of Chemistry. Available 2013; doi:10.1016/j.arabjc.2013. 08.007.

Archive of SID

www.SID.ir