مقایسه تاثیر جریان روبه بالا و روبه پایین بیوراکتورهای متوالی بی‌هوازی در تصفیه فاضلاب صنعتی کارخانه قند

حمیدرضا انصاری جوینی [۱]، امیرحسین جاوید[۲*]، امیرحسام حسنی[۳]، مرتضی کاشفی‌الاصل[۴]

۱-گروه مهندسی محیط‌زیست، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران.

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.a.javid@srbiau.ac.ir

۳-عضو هیئت علمی گروه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

۴- عضو هیئت علمی گروه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶

چکیده

هدف اصلی این تحقیق مقایسه نتایج راندمان حذف COD در شرایط مختلف بارگذاری آلی بر حسب نوع جریان در راکتورهای متوالی با بستر معلق حاوی مدیای پلاستیکی، مصالح سنگی و کربن فعال است. برای این منظور از سه راکتور استوانه‌ای به قطر ۲۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۸۰۰ میلیمتر با حجم ٢٤ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی و از جنس UPVC استفاده شده است. در تمام مدت زمان تحقیق دبی فاضلاب ورودی به راکتور از ۲ تا ٤ لیتر بر ساعت و زمان ماند سیستم از ۱۸ تا ٣٦ ساعت متغیر بوده است. بیشترین بازدهی درصد حذف COD در جریان رو به بالا با بیشترین مقدار از زمان ماند هیدرولیکی معادل ٣٦ ساعت و بارگذاری آلی ٤/٥١ $Kg\ COD/m^3.d$ معادل ۸۸٪ ثبت و در جریان رو به پایین با زمان ماند هیدرولیکی معادل ٢٤ ساعت و بارگذاری آلی ۳/۲۱ Kg COD/m3.d معادل ۷۸٪ ثبت شد.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب صنعتی، راکتورهای متوالی، جریان رو به بالا و رو به پایین، راندمان حذف COD.

زمینه و هدف

به‌طور گسترده دو نوع فرآیند بیولوژیکی برای تصفیه فاضلاب وجود دارد: (۱- احمدی زاد، ۲۰۰۵).

فرآیند هوازی

فرآیند بی‌هوازی

در فرآیندهای هوازی میکروارگانیسم‌ها از اکسیژن محلول در فاضلاب الکترون گرفته و استفاده می‌نمایند ولی در فرآیندهای بی‌هوازی میکروارگانیسم‌ها از اکسیژن موجود در مولکول‌های آلی به‌عنوان گیرنده الکترون استفاده می‌کنند.

واکنش‌های بی‌هوازی از نقطه نظر ماده اکسیدکننده نهایی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- تنفس بی‌هوازی که در آن‌ها برای اکسیداسیون مواد آلی یا معدنی، گیرنده نهایی الکترون هیدروژن مواد معدنی است.

۲- تخمیر که واکنش‌های اکسید و احیاء انرژی‌زایی می‌باشند که در آن دهنده و گیرنده هیدروژن هر دو ماده آلی است.

متابولیسم بی‌هوازی یک ماده آلی پیچیده در سه مرحله و به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد. این سه مرحله عبارتند از: (۷- Henze .et al, 1983).

الف- هیدرولیز پلیمرهای تجزیه‌پذیر نامحلول

ب- تولید اسید از مولکول‌های آلی محلول کوچکتر

ج- تولید متان

مرحله محدودکننده سرعت در هضم مواد آلی محلول، تجزیه متان از اسید چرب درنظر گرفته می‌شود. در حالی‌که مرحله محدودکننده برای هضم کامل بی‌هوازی مرحله هیدرولیز توسط آنزیم‌های باکتریایی است. در هر صورت از این سه مرحله، مرحله دوم سریع‌تر است. تنظیم شرایط محیطی برای رشد همزمان باکتری‌های بی‌هوازی از اهمیت بالایی برخوردار است. از اهم شرایط محیطی می‌توان به دمای مناسب جهت رشد باکتری‌های بی‌هوازی اشاره نمود. دمای بهینه در محدوده مزوفیلیک (بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس) می‌باشد. باکتری‌ها علاوه بر منبع کربن آلی به مواد مغذی دیگری نظیر نیتروژن و فسفر نیز احتیاج دارند که لازم است در سیستم تصفیه بیولوژیکی در اختیار آن‌ها قرار گیرد(۱- احمدی زاد، ۲۰۰۵).

به‌طور کلی فرآیند تصفیه بی‌هوازی را می‌توان به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود: (۱- احمدی زاد، ۲۰۰۵).

۱- فرآیند بی‌هوازی با رشد معلق
۲- فرآیند بی‌هوازی با رشد چسبیده
۳- فرآیند بی‌هوازی با رشد تلفیقی

بررسی مطالعات گذشته نیز استفاده از این روش را برای تصفیه فاضلاب بیولوژیکی صنایع نشان داده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود.

برزین مهر در سال ۱۳۹۵، کارایی راکتورهای متوالی بی‌هوازی- هوازی با بستر ثابت با هدف حذف فسفر از فاضلاب را مورد مطالعه قرار داد. موارد مورد بررسی در این پروژه توانایی حذف فسفر و COD توسط این سیستم بود. در این پروژه فاضلاب با غلظت COD برابر ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تحت غلظت‌های مختلف فسفر مورد بررسی قرار گرفت و سپس اثر برگشت جریان مطالعه شد. مشاهده شده که افزایش غلظت فسفر تا حدی موجب بهبود راندمان حذف فسفر می‌شود و بعد از آن اثری بازدارنده پیدا می‌کند. در بهترین حالت برای غلظت فسفر ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، ۹۲,۰۴٪ از فسفات و ۹۵,۰۳٪ از COD حذف شد. مطالعه جریان برگشتی نشان از اثر قابل توجه این عامل بر حذف COD و فسفر داشت. بهترین حالت برای حذف COD هنگامی رخ داد که جریان برگشتی قطع شد و تا ۹۶,۲۵٪ از COD حذف گردید(۵- برزین‌مهر، ۲۰۱۶).

در مطالعه اخلاقی و همکاران از گرانول کربن فعال تجاری به‌عنوان جاذب برای حذف مواد آلی و دیگر آلاینده‌ها از فاضلاب لبنی با میزان COD ورودی ۲۵۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت سیستم ناپیوسته استفاده کردند. نتایج نشان داد که افزایش زمان تماس، میزان ظرفیت جذب کربن فعال را افزایش داده و پس از ۲۴۰ دقیقه به تعادل رسیده است(۲- اخلاقی و همکاران، ۲۰۱۴).

علی‌زاده و برقعی از کربن فعال گرانول در فرآیند کربن زیستی به‌منظور حذف مواد آلی و رنگ کارخانه نساجی در حومه تهران با میزان متوسط COD ورودی ۱۳۱۰ میلی‌گرم در لیتر در واحد پایلوت استفاده کردند که منجر به کاهش ۹۶ درصدی COD و کاهش ۹۲ درصدی رنگ شد(۳- علی‌زاده و برقعی، ۲۰۰۶).

۲- روش بررسی

مشخصات سیستم آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده به‌شرح زیر می‌باشد:

در ساخت راکتورهای متوالی بیولوژیکی از سه استوانه به جنس PVC و حجم مفید ۲۴ لیتر (قطر داخلی ۲۰ سانتیمتر و به ارتفاع ۸۰ سانتیمتر) استفاده شد.

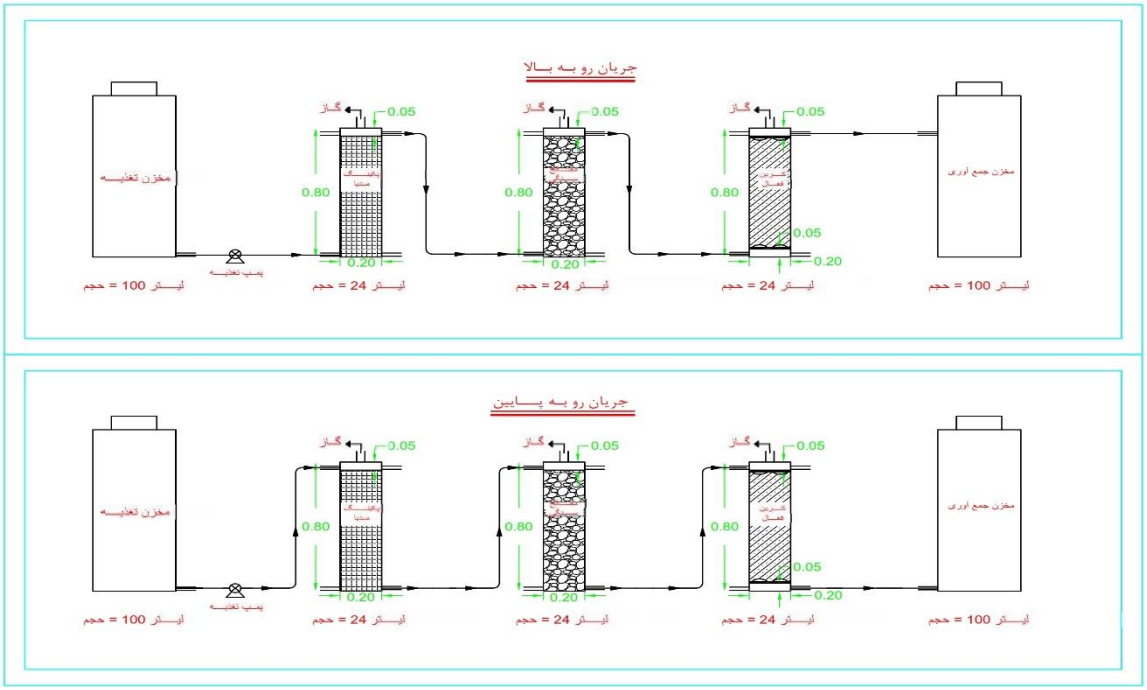
راکتور اول توسط مدیای پلاستیکی (لوله خرطومی) به قطر ۱/۱ سانتیمتر و طول ۲/۵ سانتیمتر با درصد تخلخل ۹۰% ، راکتور دوم توسط پوکه صنعتی با وزن مخصوص ۶۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب و درصد تخلخل ۶۲ % و راکتور سوم توسط کربن فعال گرانولی پر شد. شیرهای ورودی و خروجی در هر راکتور به‌صورت دو شیر در بالا و دو شیر در پایین تعبیه گردید تا علاوه بر نمونه‌برداری امکان ایجاد جریان روبه‌بالا و روبه‌پایین میسر گردد. صفحات مشبک در فاصله ۵ سانتیمتری از شیرهای مذکور قرار داده شد تا مانع خروج لجن و جلوگیری از انسداد مسیر جریان در اثر کفاب نموده و هم به توزیع یکنواخت جریان کمک نماید. درب راکتورها بسته و در بالای هر راکتور نیز لوله خروجی گاز تعبیه شد. شماتیک پایلوت مورد نظر در تصویر شماره ۱ موجود است.

۱-۲- تنظیم نوع جریان:

در جریان رو به بالا، فاضلاب با COD مشخص به‌وسیله پمپ تزریق با قابلیت تنظیم دبی از پایین راکتور اول به داخل آن تزریق و در ادامه به‌صورت ثقلی وارد راکتورهای دوم و سوم گردیده و در نهایت پساب تصفیه شده از محل شیر خروجی تعبیه شده در انتهای راکتور سوم به مخزن جمع‌آوری تخلیه می‌گردد. به‌منظور حفظ دما، راکتورها و منبع تغذیه در داخل اتاقی قرار گرفت و با وسایل گرمایشی دمای محیط همواره در محدوده دمایی مزوفیلیک (۲±۳۰ درجه سلسیوس) حفظ شد. جریان فاضلاب به‌صورت پیوسته و به ترتیب روبه بالا و روبه پایین از راکتورهای سه گانه عبور داده شد.

۲-۲- ساخت فاضلاب و پایدارسازی

فاضلاب مصنوعی از ترکیب ملاس چغندر قند محصول کارخانه قند قزوین با آب تهیه گردید و به‌منظور تامین مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) های متفاوت با آب رقیق گردید. به منظور پایدارسازی سیستم نسبت COD/N/P فاضلاب مصنوعی ساخته شده بر روی ۴۰۰/۵/۱ تنظیم و کمبود مواد مغذی اولیه توسط تلقیح کود گاوی تازه رقیق شده با آب جبران گردید. بارگذاری اولیه بر اساس جدول پیشنهادی عملکرد فرآیند رشد چسبیده بی‌هوازی کتاب متکف و ادی (۲ تا ۱۳ Kg $COD/m^3.d$) معادل ۲/۲۳ Kg $COD/m^3.d$، سرعت جریان معادل ۰/۰۶۴ m/hr، زمان ماند هیدرولیکی (HRT) معادل ۳۶ ساعت تنظیم گردید. محتویات راکتور به‌صورت برگشتی از آن خارج و مجدد داخل راکتور ابتدایی گردید تا شرایط پایدار بر زندگی میکروارگانیسم‌ها حاکم گردد.



تصویر ۱- شماتیک پایلوت مورد استفاده در مطالعه

جدول شماره ۱- نمونه‌هایی از شرایط بهره‌برداری و عملکردی برای رشد چسبیده بی‌هوازی

فاضلاب	دما (°C)	بارگذاری (COD $Kg/m^3.d$)	زمان (ساعت)	درصد حذف COD
مرکبات	۳۸	۶-۱	۱۴۴-۲۴	۸۰-۴۰
آب پنیر	۳۵	۲۲-۵	۸-۲	۹۷-۹۲
مایع تصفیه-گرم کردن لجن	۴۰	۳۰-۲۰	-	۵۸
آبجوسازی	۳۵	۲۰	۲-۱	۷۶
ملاس	۳۵	۱۳-۲	۱۱۲-۱۴	۸۰-۵۶
فضولات خوکدانی	۳۵	۲۵-۵	۰/۶-۹	۶۰-۴۰

با آغاز مرحله بهره‌برداری سیستم، افزایش نرخ بارگذاری مواد آلی (OLR) سبب وارد شدن شوک به سیستم گردید و راندمان حذف COD کاهش یافت. همچنین ذرات معلق موجود در فاضلاب اولیه تلقیح شده با کود گاو، گرفتگی‌هایی هرچند موضعی در لوله‌های ارتباطی مسیر جریان راکتورها و بعضاً در

بستر مدیا ایجاد می‌نمود که با افزایش سرعت جریان و افزایش اختلاف ارتفاع مابین راکتورها مرتفع گردید. به مرور با افزایش OLR، سرعت روند حذف COD افزایش و زمان لازم برای پایدارسازی بسیار کوتاه شد، به‌گونه‌ای که در جریان رو به بالا، با افزایش میزان OLR از ۲/۲۳ به ۳/۲۱ Kg COD/m ^{3}.d سیستم تنها در مدت ۱۰ روز بالغ بر ۸۱ درصد حذف COD را نشان داد. کاهش COD پساب خروجی که نشان دهنده تطبیق با شرایط است تا رسیدن به درصد حذف ثابت (٪۲ ±) پایش شد. در طی این مدت pH و دما به‌صورت روزانه کنترل گردید. پیشرفت کار سیستم در زمان راه‌اندازی سرعت دلخواه را نداشت، لذا تا زمانی که نتایج آزمایش به حد مطلوب نرسیده بود، OLR افزایش پیدا نکرد. پس از تامین شرایط پایداری، خروج پساب سیستم از حالت بسته به حالت پیوسته تغییر داده شد تا عملکرد فیلترهای سه‌گانه و تاثیر نوع جریان بر حذف COD مورد پایش و مقایسه قرار بگیرد. پس از ثبت نتایج، تنها با افزایش غلظت ورودی و عدم تغییر دبی و نوع جریان، درصد حذف COD با نرخ بارگذاری آلی معادل ۴/۵۱ Kg COD/m^3 .d، مورد پایش قرار گرفت. در مرحله بعد با افزایش دبی، درصد حذف COD با نرخ بارگذاری آلی معادل ۳/۲۱ Kg COD/m^3 .d، سرعت جریان معادل ۰/۰۹۵ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۲۴ ساعت مورد پایش قرار گرفت. در ادامه مجدد با افزایش غلظت ورودی و عدم تغییر دبی و نوع جریان، درصد حذف COD با نرخ بارگذاری آلی معادل ۶/۸۳ Kg COD/m^3 .d، مورد پایش قرار گرفت و در مرحله بعد نیز با افزایش دبی، درصد حذف COD با نرخ بارگذاری آلی معادل ۴/۳۴ Kg COD/m^3.d، سرعت جریان معادل ۰/۱۳ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۱۸ ساعت مورد پایش مجدد قرار گرفت. سپس بار دیگر با افزایش غلظت ورودی و عدم تغییر دبی و نوع جریان، درصد حذف COD با نرخ بارگذاری آلی معادل ۸/۵۶ Kg COD/m^3 .d، مورد پایش قرار گرفت و نتایج ثبت گردید.

پس از ثبت نتایج با جریان رو به بالا، کلیه مراحل ذکر شده با شرایط همسان (بارگذاری مواد آلی و دبی معادل) این‌بار با جریان رو به پایین مورد پایش و نتایج جدید ثبت و مقایسه گردید.

۳-۲- مشخصات تجهیزات جانبی

الف- تانک تغذیه:

جهت شارژ به پایلوت از یک مخزن پلی‌اتیلنی به حجم ۱۰۰ لیتر برای تهیه و نگه‌داری فاضلاب خام مصنوعی استفاده شد.

ب- الکتروپمپ تزریق:

در تمام مدت پایدارسازی و بهره‌برداری از سیستم، تغذیه و بازچرخانی فاضلاب توسط یک دستگاه الکتروپمپ با قابلیت تنظیم دبی حداقل ۲ و حداکثر ۴۰ لیتر در ساعت انجام گرفت.

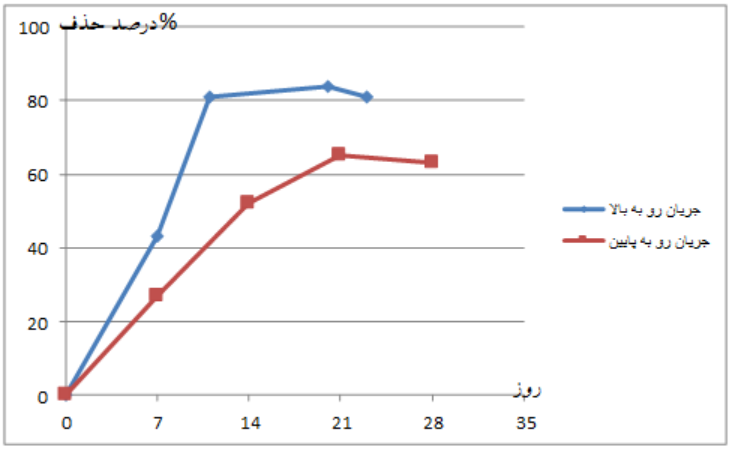
٤-۲- روش انجام آزمایشات و آنالیز داده‌ها

کلیه آزمایشات در شرایط ثابت و براساس دستورالعمل ویرایش بیستم از کتاب استاندارد متد انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان COD به روش رفلاکس بسته توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۴۰۰۰ -UV Cary Vis ساخت شرکت Agilent و براساس دستورالعمل ۵۲۲۰B، ثبت دما و pH توسط دستگاه pH متر مدل ۹۸۱۰۰ Hi ساخت شرکت Hanna صورت گرفت. با توجه به حساسیت باکتری‌های متان‌ساز نسبت به pH، این پارامتر در محدوده‌ی ۸- ۶/۵ حفظ شد. درصورت نیاز به تنظیم COD/N/P از اوره و فسفات و همچنین به‌منظور افزایش قلیائیت از پودر جوش شیرین استفاده شد. در کلیه مراحل،

به‌ویژه هنگام افزایش OLR، پارامترهای مورد نظر تا رسیدن به کمتر از ۲ درصد تغییر، اندازه‌گیری شدند تا اطمینان حاصل شود میکروارگانیسم‌ها با شرایط جدید کاملاً تطبیق پیدا کرده‌اند. کلیه آزمایشات حداقل با دو مرتبه تکرار در نمونه‌گیری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در پایان نتایج حاصله با روش‌های آماری EXCEL مورد آنالیز قرار گرفت.

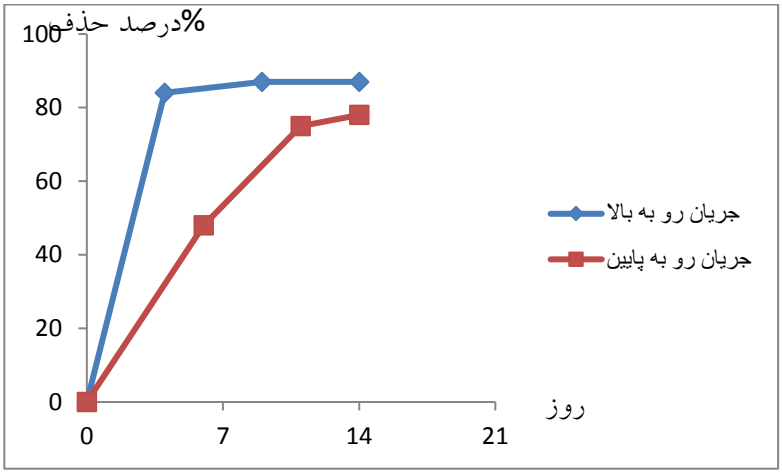
۳- یافته‌ها

بعد از پایدارسازی، بهره‌برداری از سیستم با افزایش OLR شروع شد و نمودار تغییرات درصد حذف COD در مدت ۱۰۸ روز پس از راه‌اندازی سیستم در دبی‌های ۳،۲ و ۴ لیتر بر ساعت و بارگذاری‌های آلی متفاوت ۲/۲۳ الی ۶/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب در روز با جریان رو به بالا و رو به پایین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در نمودارهای شماره ۱ الی ۵ آورده شده است. لازم به‌ذکر است که بهره‌برداری از سیستم با بیش‌ترین HRT و کم‌ترین OLR شروع شد و در مراحل بعد با افزایش دبی و غلظت اولیه، درصد حذف COD در جریان‌های رو به بالا و رو به پایین مورد پایش قرار گرفت. همان‌طور که در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود توانایی سیستم با توجه به نوع جریان، برای حذف COD در شرایط بارگذاری آلی اولیه معادل ۲/۲۳ Kg $COD/m^3.d$، سرعت جریان معادل ۰/۰۶۳ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۳۶ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت و بیشترین درصد حذف برای COD در جریان رو به بالا معادل ۸۴ درصد و در جریان رو به پایین معادل ۶۵ درصد ثبت شد.

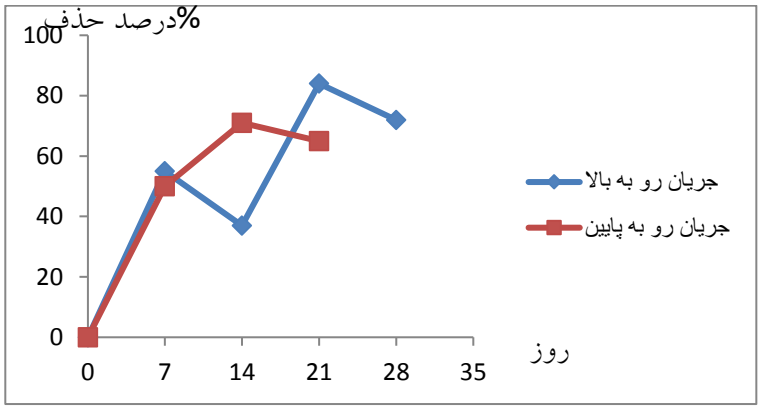


نمودار شماره ۱: روند تغییرات درصد حذف COD در دبی ۲ لیتر بر ساعت و غلظت اولیه ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

در نمودار شماره ۲ تغییرات درصد حذف COD با شرایط بارگذاری آلی جدید معادل ۳/۲۱ Kg $COD/m^3.d$، سرعت جریان معادل ۰/۰۹۵ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۲۴ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت و بیشترین درصد حذف برای COD در جریان رو به بالا معادل ۸۷ درصد و در جریان رو به پایین معادل ۷۸ درصد ثبت شد.

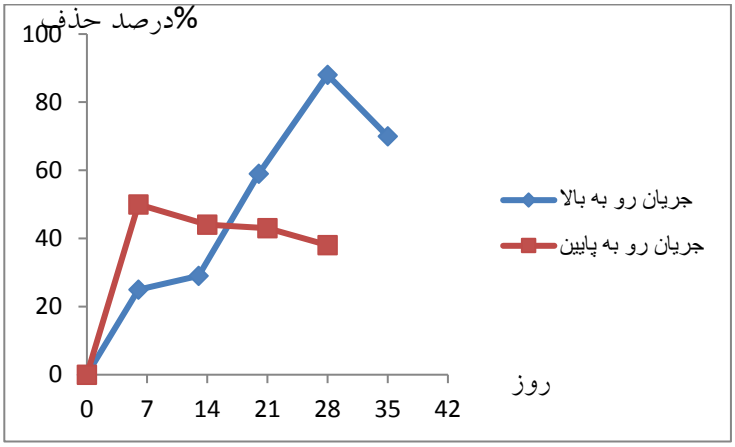


نمودار شماره ۲: روند تغییرات درصد حذف COD در دبی ۳ لیتر بر ساعت و غلظت اولیه ۱۵۰۰ میلی-گرم بر لیتر



نمودار شماره ۳: روند تغییرات درصد حذف COD در دبی ٤ لیتر بر ساعت و غلظت اولیه ۱۵۰۰ میلی-گرم بر لیتر

در ادامه روند انجام آزمایشات با افزایش دبی مطابق با نمودار شماره ۳ تغییرات درصد حذف COD در شرایط بارگذاری آلی ۴/۳۴ $Kg\ COD/m^3.d$، سرعت جریان معادل ۰/۱۳ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۱۸ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت و بیشترین درصد حذف برای COD در جریان رو به بالا معادل ۸۴ درصد و در جریان رو به پایین معادل ۷۱ درصد ثبت شد.



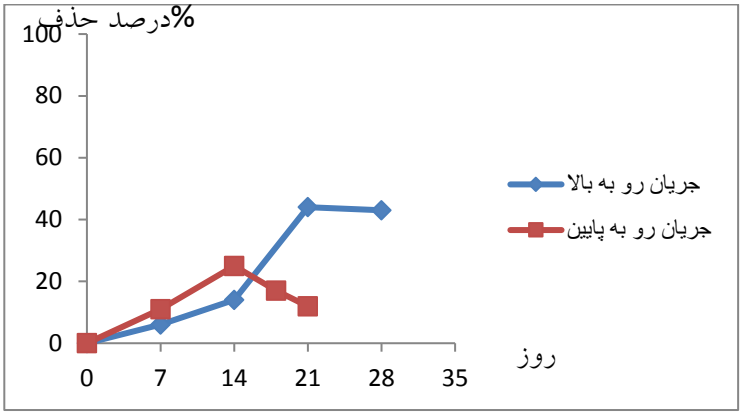
نمودار شماره ٤: روند تغییرات درصد حذف COD در دبی ۲ لیتر بر ساعت و غلظت اولیه ۳۰۰۰ میلی-گرم بر لیتر

در ادامه تحقیقات درصد حذف COD با افزایش بار آلودگی مورد پایش قرار گرفت و نتایج ذیل ثبت گردید. مطابق با نمودار شماره ۴ در بارگذاری سطحی معادل ۴/۵۱ $Kg\ COD/m^3.d$، سرعت جریان معادل ۰/۰۶۳ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی معادل ۳۶ ساعت، بیشترین درصد حذف برای COD در جریان رو به بالا معادل ۸۸ درصد و در جریان رو به پایین معادل ۵۰ درصد ثبت شد.

با ثابت نگاه داشتن غلظت اولیه و افزایش دبی مطابق با نمودار شماره ۵ شرایط جدیدی حاکم گردید که طی آن بارگذاری آلی به ۶/۸۳ $Kg\ COD/m^3.d$، سرعت جریان به ۰/۰۹۵ m/hr و زمان ماند هیدرولیکی به ۲۴ ساعت تغییر یافت بیشترین درصد حذف برای COD در جریان رو به بالا معادل ۴۴ درصد و در جریان رو به پایین معادل ۷۱ درصد ثبت شد. به این ترتیب، بیشترین بازدهی درصد حذف COD در جریان رو به بالا مطابق با نمودار شماره ۴ با بیشترین مقدار از زمان ماند هیدرولیکی معادل ۳۶ ساعت و بارگذاری آلی معادل ۴/۵۱ $Kg\ COD/m^3.d$ معادل ۸۸٪ ثبت شد. همچنین بیشترین بازدهی درصد حذف COD در جریان رو به پایین مطابق با نمودار شماره ۲ با زمان ماند هیدرولیکی معادل ۲۴ ساعت و بارگذاری آلی معادل ۳/۲۱ $Kg\ COD/m^3.d$ معادل ۷۸٪ ثبت شد.

نتایج حاصله بیان می‌نماید در جریان رو به بالا کیفیت پساب خروجی بر اساس میزان COD حذف شده نسبت به جریان رو به پایین، بهتر است. همچنین در جریان رو به پایین، مقدار مواد جامد معلق موجود در پساب خروجی به‌صورت قابل مشاهده‌ای بیشتر است که این ویژگی در تغییرات درصد حذف COD نیز تاثیرگذار می‌باشد.

از دیدگاه راهبری سیستم در جریان رو به پایین مشکلات کمتری نسبت به جریان رو به بالا وجود دارد. اهم این مشکلات ایجاد گرفتگی در بستر فیلترها و همچنین در محل خروجی شیرهای راکتور می‌باشد که به دفعات در طول دوره تحقیق اتفاق افتاده و با ایجاد تغییر در نوع جریان، مرتفع گردید. رسوب گذاری بیشتر در مسیر لوله‌های ارتباطی، بالاخص در اتصالات نیز از دسته همین مشکلات بوده که در جریان رو به بالا مشهود و مسئله‌ساز شد و گاهاً مجبور به خاموشی سیستم و شستشوی مجاری انتقال گردید. از این‌رو رعایت سایز مناسب در پایپینگ به‌منظور ایجاد سرعت جریان مناسب و جلوگیری از رسوب‌گذاری در مسیر انتقال جریان، باید مورد توجه قرار بگیرد.



نمودار شماره ۵: روند تغییرات درصد حذف COD در دبی ۳ لیتر بر ساعت و غلظت اولیه ۳۰۰۰ میلی-گرم بر لیتر

تاثیر HRT بر عملکرد سیستم:

تاثیر زمان ماند هیدرولیکی بر بازدهی سیستم به-گونه‌ای بود که با افزایش غلظت ورودی و همچنین زمان ماند هیدرولیکی، بازدهی افزایش یافته است. علت این امر تقدم تمایل میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون کربن نسبت به نیتروژن است. بنابراین هرچه غلظت COD ورودی کم‌تر باشد، سیستم فرصت بیشتری برای دنیتریفیکاسیون دارد(۴- انصاری جوینی و همکاران، ۲۰۲۱).

تاثیر pH بر عملکرد سیستم:

تاثیر pH بر روند بازدهی درصد حذف COD قابل توجه است. به‌طوری که در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و بازدهی درصد حذف COD معادل ۸۸٪ مقدار pH ثبت شده در خروجی راکتور اول معادل ۷/۸، در خروجی راکتور دوم معادل ۷/۵ و در انتها معادل ۶/۸ ثبت گردید. علت این امر باتوجه به کارکرد ممتد راکتورها و افزایش جمعیت میکروبی در راکتور قابل بررسی است. اکولوژی میکروبی در هر دو فاز اسیدسازی و متان‌سازی وابسته به نوع و مقدار سوبسترای موجود و پارامترهای محیطی مانند pH و دما است. در ناحیه اسیدسازی (بخش‌های آغازین راکتور) باکتری‌های تندرشد در میزان بالای سوبسترا قادر به رشد بوده و بر راکتورهای ابتدایی غالب می-گردند و pH را در خروجی سیستم کاهش می‌دهند. باتوجه به حساسیت بالای سیستم بی‌هوازی به پارامترهای محیطی، هرگونه کاهش pH و دما سبب کاهش راندمان می‌گردد(۶- Chaparro & Pires, 2011).

تغییرات pH و دمای محیط، تاثیر به‌سزایی در تغییر شرایط بازدهی سیستم دارد. به‌گونه‌ای که در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بازدهی درصد حذف COD از روز ۲۹ام به بعد با کاهش pH و دمای محیط درصد حذف COD به شدت کاهش یافته و از ۸۸ به ۷۰٪ تقلیل یافت. این مشکل به دفعات در طول زمان راه‌اندازی رخ داد که با افزایش دمای محیط آزمایشگاه و افزودن پودر جوش شیرین به‌منظور افزایش pH و تنظیم نسبت COD/N/P در حدود ۴۰۰/۵/۱ کنترل و رفع گردید. همچنین کمبود نیتروژن و فسفر در نسبت ذکر شده با افزودن اوره و فسفات به مخزن تغذیه فاضلاب مرتفع گردید.

در تشریح یافته‌های کلیدی از تحقیق پیش رومی-توان به حذف میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از پساب به کمک فعالیت‌های بیولوژیکی، اشاره نمود. همچنین نتایج تحلیلی از انجام این طرح پژوهشی نشان داد:

۱- SRT خیلی طولانی را برای میکروارگانیسم‌های ضروری در تجزیه ترکیبات سمی و بازدارنده فراهم می‌کند.
۲- بارهای ناشی از شوک یا ترکیبات سمی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی را می‌توان در داخل راکتور حاوی کربن فعال جذب نمود.
۳- بهره‌برداری سیستم ساده و قابل اعتماد است.
۴- بازده کم‌تر جرم سلولی که باعث کاهش هزینه‌های پردازش و دفع لجن و در پی آن صرفه اقتصادی و زیست‌محیطی مهم در ارتباط با بازیافت و دفع جرم سلولی تولید شده را به ارمغان می‌آورد.
۵- امکان بارگذاری حجمی بالاتر نسبت به فرآیندهای هوازی میسر است.
۶- کیفیت پساب خروجی بر اساس درصد حذف COD در جریان رو به بالا نسبت به جریان رو به پایین، بهتر بوده و در سایر پارامترهای آلاینده از جمله کدورت و مواد معلق جامد نیز این تفاوت ملموس است.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج ثبت شده مشاهده می‌گردد که با افزایش سرعت جریان و به‌تبع آن کاهش زمان ماند هیدرولیکی، مقدار بازدهی سیستم کاهش می‌یابد. آزمایش‌های انجام شده بر روی پساب خروجی نشان می‌دهد که میزان بارگذاری مواد آلی بر حسب کیلوگرم COD بر مترمکعب بر ساعت فاضلاب ورودی به بیوفیلتر به‌عنوان یک عامل مهم بر درصد حذف COD نقش دارد و در عمل پس از عبور فاضلاب در جریان رو به بالا با میزان بارگذاری ۴/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب بر ساعت مواد آلی از بستر فیلتر، میزان حذف آلودگی برابر ۸۸ درصد بود و تفاوت ۴۰ درصدی آن نسبت به جریان رو به پایین در شرایط مشابه بارگذاری اولیه بیان‌گر این موضوع است که تاثیر افزایش غلظت اولیه از ۳/۲۱ به ۴/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب بر ساعت در جریان رو به پایین تاثیر عکس نسبت به جریان رو به بالا دارد. دلیل علمی این اتفاق را می‌توان در انتقال ذرات معلق به دام افتاده در بستر فیلتر در جریان رو به پایین جستجو کرد حال این‌که در جریان رو به بالا احتمال انتقال این ذرات با توجه به نیروی ثقل و تاثیر آن بر سرعت جریان بسیار کمتر است. پایش میزان کدورت و مقایسه آن در ۲ نمونه با نوع جریان متفاوت و شرایط بارگذاری یکسان نیز بر این ادعای علمی و عملی صحه می‌گذارد.
نتیجه ارزشمند دیگر این مطالعه، حصول بارگذاری بهینه است. همان‌طور که در نمودارها مشخص است، افزایش بارگذاری اولیه از ۲/۲۳ به ۴/۵۱ کیلوگرم CODبر مترمکعب بر ساعت همراه با افزایش درصد حذف و عملکرد بهتر سیستم بود کمااینکه در ادامه با افزایش بیشتر بارگذاری تا ۶/۸۳ کیلوگرم COD بر مترمکعب بر ساعت، روند بازدهی سیستم در حذف آلاینده نزولی شد. این مهم بیان‌گر تاثیر نسبت مناسب خوراک به جرم سلولی است که دلیل علمی آن نیز در اصول تصفیه بیولوژیکی فاضلاب مطرح است.
در سیستم‌های با بار زیاد، مرحله اول تولید اسید نسبت به مرحله دوم تخمیر متان با گستردگی بیشتری انجام می‌پذیرد، حتی باوجود آن‌که هیچ‌گونه تثبیت فاضلاب در مرحله اول اتفاق نمی‌افتد.
عوامل تولید کننده اسید همچنان به رشد خود ادامه می‌دهند و در طی این عمل به نیتروژن و فسفر به‌عنوان مواد غذائی احتیاج دارند. بنابراین تخمین میزان رشد و نیز احتیاجات غذایی صرفاً بر اساس تثبیت ممکن است بسیار کمتر باشد. اگر چه احتیاجات غذایی بسیار اندک می‌باشد، ولی یک مقدار از حداقل ازت و فسفر به‌عنوان مواد غذائی

الزاماً باید وجود داشته باشد. مشاهده گردیده است که وقتی سیستم مواد غذائی مورد نیاز خود را دریافت ننماید، راندمان حذف به‌شدت کاهش می‌یابد. سیستم بیوفیلتر به‌کار گرفته شده در این تحقیق قادر به تجزیه مواد آلی پساب‌های صنعتی حاصل از کارخانه‌های قند، مواد غذایی، لبنی و سایر فاضلاب‌های بیولوژیکی با بار آلودگی بالا خواهد بود.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد فیلترهای بی‌هوازی با جریان رو به بالا کارایی مناسبی از خود نشان می‌دهد به‌طوری که در حذف COD، جریان رو به بالا کارایی بهتری را نسبت به جریان رو به پایین داشته است.

در بارگذاری آلی ثابت، با افزایش غلظت اولیه راندمان حذف افزایش یافته و چنانچه زمان ماند هیدرولیکی افزایش یابد، راندمان عملکرد راکتور نیز افزایش می‌یابد(۹- Tchobanoglous .et al, 2013).

دلیل این امر نیز استفاده از سیستم بیوفیلمی و رژیم جریان ناپیوسته بوده است(۸- Rincon .et al, 2008).

جداسازی فازهای اسیدزا و متان‌زا، زمان ماند هیدرولیکی کم، زمان ماند زیاد برای لجن و مقاومت نسبی به شوک‌های آلی و هیدرولیکی نیز از مهم‌ترین مزایای این فرآیند است(۲- اخلاقی و همکاران، ۲۰۱۴).

به‌منظور توسعه آتی این تحقیق، استفاده از فرآیند بیولوژیکی هوازی در راستای تحقق تصفیه تکمیلی پیشنهادمی‌گردد.

۵- منابع

[1]Ahmadizad, S. 2005. Industrial wastewater Treatment Within Phenol by Anaerobic Filters and the use of Up-Flow Down-Flow. *8th National Conference on Environmental Health.*

[2]Akhlaghi, M., Yousefi, K. & Aminirad, H. Dairy wastewater treatment with activated carbon granule method. National conference on water crisis solutions, 2014 Iran and Middle East, Shiraz. Hamayeshnegar scientific conferences center.

[3]Alizadeh, R. & Borgheie, S. M. 2006. Using Granular Activated Carbon in the Carboniferous Process to Removal Organic Materials and Color of the Textile Industry Wastewater. *Chemistry and Chemical Engineering Journal of Iran,* 25**,** 21-28.

[4]Ansarijoveini, H., Javid, A., Hassani, A. & Kashefiolasl, M. 2021. Investigation on Removal of High Organic Load of Industrial Wastewater by Cascade Filters (Bio-filters with Different Media). *International Journal of Environmental Science and Technology.*

[5]Barzinmehr, H. 2016. Evaluation of the efficiency of continuous anaerobic-aerobic reactors with a fixed bed for the purpose of removing phosphorus from sewage. Masters, Sharif University of Technology, Iran, Tehran.

[6]Chaparo, T. R. & Pires, E. C. 2011. Anaerobic treatment of cellulose bleach plant wastewater: chlorinated organics and genotoxicity removal. . *Brazilian Journal of Chemical Engineering.,* 28**,** 625-638.

[7]Henze, M. & Harremoes 1983. Anaerobic Treatment of Waste Water in Fixed – Film Reactors– Aliterature Riview. *water Science & Technology,* 15**,** 1-101.

[8]Rincon, B., Borja, R., Gonzalez, J. M., Portillo, M. C. & Saiz-Jimenez, C. 2008. 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. *Biochemical Engineering Journal,* 40**,** 253-261.

[9]Tchobanoglous, G., Burton, F. & Stensel, H. 2013. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4thed. McGraw-Hill*.

Comparison of the effect of up- and down-flow cascade anaerobic bioreactors in industrial wastewater treatment of sugar factory

Hamidreza Ansari Joveini[1], Amirhossein Javid[2]*, Amirhessam Hassani[3], Morteza Kashefiolasl[4]

1. Department of Environmental Engineering, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran.

2. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran.

3. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran.

4. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran.

Abstract

The present research is the result of laboratory studies related to the comparison of the effect of up- and down-flows in the treatment of artificial biological industrial wastewater (combination of water and molasses of sugar beet factory) using suspended-bed anaerobic reactors. The main purpose of this study is to compare the results of chemical oxygen demand (COD) removal efficiency in different conditions of organic loading in accordance with the type of flow in suspended-bed sequencing reactors containing plastic media, rock materials and activated carbon. For this purpose, three cylindrical pilots with a diameter of 200 mm and a height of 800 mm with a volume of 24 liters on a laboratory scale and made of Unplasticized PolyVinyl Chloride (UPVC) have been used. During the whole period of research, the discharge of sewage entering the reactor varied from 2 to 4 liters per hour and the retention time of the system varied from 18 to 36 hours. After the start-up period was passed and the COD removal efficiency remained constant, the highest efficiency of COD removal percentage in the up-flow with the maximum amount of hydraulic retention time equal to 36 hours and organic load equal to 4.51 kg COD/m^3.d equal to 88% was recorded. Also, the highest efficiency of COD removal percentage in the down-flow with hydraulic retention time equal to 24 hours and organic load equal to 3.21 Kg COD/m3 .d equal to 78% was recorded.

KEYWORDS: Industrial wastewater, Sequencing reactors, Up-flow and down-flow, COD removal efficiency.