رآکتور بی‌هوازی بیوفیلمی در تصفیه فاضلاب صنایع نیشکر کارایی سیستم

سارا مستعد[۱]، محمد مهدی امین[۲]، امیر حسام حسنی[۳]، افشین تکدستان[۴]

چکیده

مقدمه: دفع پساب کارخانه شکر به رودخانه‌ها و محیط زیست موجب آلودگی و به خطر افتادن حیات آبزیان و محیط زیست می‌شود، لذا تصفیه پساب این کارخانه امری ضروری تلقی می‌شود. هدف از این پژوهش، سنجش کاهش بار آلودگی صنایع نیشکر با استفاده از راکتور بیوفیلم بی‌هوازی پر و خالی شونده به طور متوالی (ASBBR) است.

روش‌ها: در این پژوهش راکتور ASBBR جهت تصفیه پساب کارخانه نیشکر امیرکبیر به مدت ۸ ماه مورد استفاده قرار گرفت. حجم کلی راکتور ۷ لیتر بود. این راکتور با بارگذاری حجمی ۰/۲۵ gCOD/L.d و بارگذاری سطحی ۰/۳۳ $mgCOD/m^2.d$ با استفاده از ملاس کارخانه به‌عنوان سوبستره اصلی با COD و BOD5 به ترتیب ۱۰۷۵ و ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر در دمای 35^oC راه‌اندازی شد. رژیم بهره‌برداری از راکتور شامل ۲۳ دقیقه زمان تغذیه، ۲۲ ساعت و ۱۴ دقیقه زمان واکنش، ۱ ساعت زمان ته‌نشینی و ۲۳ دقیقه زمان تخلیه بود.

یافته‌ها: بارگذاری حجمی و سطحی بهینه به ترتیب ۸ gCOD/L.d و ۱۰/۶۷ $mgCOD/m^2.d$ بود که در این بارگذاری‌ها COD به طور متوسط از ۳۵۱ mg/l ± ۳۲۲۷۰ به ۲۲۲۲ mg/l ± ۶۱۴۶ با راندمان ۷ ± ۸۰/۹ درصد کاهش پیدا کرد و بیشترین راندمان حذف سیستم در این بارگذاری برابر با ۹۱/۵ ٪ و میزان بیوگاز تولیدی ۳/۷۴ لیتر به ازای هر لیتر حجم راکتور به دست آمد.

نتیجه‌گیری: این سیستم قادر به حذف مقادیر بالای COD تا حدود ۳۲۰۰۰ mg/l می‌باشد، بنابراین راکتور گزینه مناسبی جهت تصفیه پساب کارخانه‌های تولید شکر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رآکتور بی‌هوازی بیوفیلمی پر و خالی شونده به طور متوالی، صنایع نیشکر، فوم پلی‌یورتان، میزان بارگذاری آلی، بیوگاز.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله:۸۹/۲/۲۵ *پذیرش مقاله: ۸۹/۴/۳۰*

مقدمه

آب عنصری اساسی در تمامی کارخانه‌های صنعتی به شمار می‌رود. بخش صنعت با مصرف بیش از ۱ میلیارد متر مکعب آب در سال، از مصرف کنندگان عمده آن در کشور محسوب می‌شود. صنایع غذایی کشور با مصرف بیش از ۲۴ درصد کل آب صنعتی در جایگاه نخست گروه‌های صنعتی قرار دارند. در این میان صنایع قند و شکر با مصرف بیش از ۱۸ درصد آب صنعتی و تولید ۳۴ درصد بار آلی کل صنایع کشور، توجه بیشتری را می‌طلبد (۱). بر اساس آخرین آمار انجمن صنفی کارخانه‌های قند و شکر ایران، ۴۵ کارخانه فعال در کشور وجود دارد که ۸ کارخانه از نیشکر و سایر آن‌ها از چغندر قند برای تولید قند و شکر استفاده می‌کنند (۲). نتایج تحلیل موقعیت مکانی این کارخانه‌ها نشان داده است که بیش از ۹۰ درصد آن‌ها در دشت‌هایی با بیلان منفی و بیش از ۸۵ درصد آن‌ها در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک کشور واقع

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، گرایش آب و فاضلاب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز، اهواز، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ،اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول) Email: amin@hith.mui.ac.ir
۳- دانشیار ،گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

شده‌اند. این مسأله اهمیت توجه به فاضلاب تولیدی این صنعت را بیش از پیش روشن می‌سازد (۱).

فرآیند استخراج شکر از نیشکر دارای حجم بالای پساب با مقادیر بالای مواد آلی می‌باشد که دفع آن‌ها به رودخانه‌ها و محیط زیست موجب آلودگی و به خطر افتادن حیات آبزیان و محیط زیست می‌شود (۳). به طور کلی فاضلاب این صنایع به ۳ بخش عمده تقسیم می‌شوند که عبارتند از: (الف) فاضلاب حاصله از خنک کننده‌ها و کندانسورها که عموماً حجم بالا و بار آلی کمی دارند. (ب) زائدات جامد حاصل از فیلترها، (ج) فاضلاب جمع شده از Spillage, Scum leaksشست و شوی و تمیز کاری و فاضلاب حاوی روغن و چربی که دارای حجم کم و بار آلی بالا هستند (۴).

به دلیل اهمیت زیاد موضوع تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است. نتایج مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ توسط Xuebing zhao و همکاران از دانشگاه‌های Tsinghua و Hunan در زمینه افزایش تجزیه‌پذیری آنزیمی باگاس نیشکر به وسیله پیش تصفیه با قلیا–پراستیک اسید انجام شده است، نشان می‌دهد که باگاس به وسیله سود ۱۰٪ با نسبت ۳ به ۱، مایع به جامد در ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ ساعت و برای حذف بیشتر لیگنین با پراستیک اسید ۱۰٪ جامد در ۷۵درجه سانتی‌گراد به مدت ۲/۵ ساعت پیش تصفیه شده است. راندمان کاهش شکر به وسیله هیدرولیز آنزیمی به مدت ۱۲۰ ساعت با بار سلولز FPU/g ۱۵solid به ۹۲/۰۴٪ رسیده است. پیش‌تصفیه با قلیا–پراستیک اسید در مقایسه با پیش‌تصفیه با قلیا و اسید تأثیر بیشتری در حذف لیگنین دارد (۵). Pereira و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطالعه‌ای درباره تجزیه فرمالدئید در مقیاس پایلوت روی رآکتور بی‌هوازی ناپیوسته متوالی که شامل بیومس ثابت شده در پلی‌اورتان می‌باشد، انجام داده‌اند. راکتور برای ۲۱۲ روز در ۳۵ درجه سانتی‌گراد با سیکل ۸ ساعت، تحت جریان‌هایی با غلظت‌های متفاوت فرمالدئید از ۳۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر تا ۱۱۰۴/۴ (نرخ بارگزاری فرمالدئید از ۰/۰۸ تا ۲/۷۸ kg/ m3.d) بهره‌برداری شد. نتایج پایداری راکتور و بازدهی بالای ۹۹٪ را در حذف فرمالدئید نشان می‌دهد. متوسط غلظت خروجی فرمالدئید ۱/۷±۳/۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. سرعت تجزیه فرمالدئید از ۲۴۰/۹ تا ۶۹۸/۳ میلی‌گرم بر لیتر با توجه به غلظت ابتدایی فرمالدئید که از حدود ۱۰۰ به ۱۱۰۰ لیتر رسیده، افزایش می‌یابد. هر چند که، تجمع مواد آلی مشاهده شده در خروجی (COD بالای ۵۰۰ mg/l) به حضور اسیدهای آلی غیر قابل تجزیه، اسید استیک خاص و اسید پروپیونیک بستگی دارد (۶). در سال ۲۰۰۷ تحقیقاتی در زمینه تأثیر دما بر عملکرد راکتور ASBBR انجام داده و مشاهده گردیده است که دمای بهینه برای حذف مواد آلی ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۷). گروهی از محققان در سال ۲۰۰۶ تحقیقاتی در زمینه اثر ASBBR بر روی فاضلاب‌های شیمیایی انجام داده‌اند و راندمان حذف COD را ۵۱٪ گزارش نموده‌اند (۸). محققان دیگری در سال ۲۰۰۵ در زمینه رشد بیوفیلم در راکتور ASBBR مطالعه‌ای در مورد تصفیه فاضلاب صنایع لبنی انجام داده‌اند و نتایج نشان می‌دهد که با حضور بیوفیلم راندمان تجزیه مواد آلی چندین برابر افزایش می‌یابد (۹). Samantha Cristina Pinho و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطالعاتی را پیرامون تأثیر سرعت همزن بر روی تصفیه فاضلاب محلول در رآکتور بیوفیلم بی‌هوازی ناپیوسته متوالی در سال ۲۰۰۴ انجام دادند. این کار در رابطه با تأثیر سرعت همزن بر روی تجزیه‌پذیری مواد آلی در یک رآکتور بیوفیلم بی‌هوازی ناپیوسته متوالی حاوی بیومس تثبیت شده روی ۳cm پلی اورتان انجام شده است. ورودی راکتور محلول شیر سبوس‌دار با متوسط COD، ۷۰±۹۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مطالعات هیدرودینامیکی بر روی زمان یکنواخت‌سازی تحت سرعت اختلاط ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ rpm ، به وسیله سه پروانه انجام گرفته است. نتایج نشان داده که تلاطم اختلاط خوبی را به وجود آورده و روی هم رفته نرخ مصرف مواد آلی را بهتر کرده‌است (۱۰).

هدف از انجام این مطالعه، کاهش بار آلودگی این صنعت با استفاده از یک دستگاه راکتور بیوفیلم بی‌هوازی پر و خالی شونده به طور متوالی (ASBBR) در مقیاس پایلوت می‌باشد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

به‌دلیل این که سیستم تصفیه فاضلاب صنایع نیشکر داخل کشور عمدتاً از نوع UASB می‌باشد، انتظار می‌رود این روش به دلیل دارا بودن مدیای رشد چسبیده دارای بازدهی بالاتری باشد. روش‌های بی‌هوازی با صرف انرژی کمتر، در جهت کنترل، یا حذف آلاینده‌های آلی همچون پساب صنایع نیشکر، به منظور جلوگیری از تخلیه بی‌رویه در محیط زیست و منابع آب سطحی از قبیل رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها با تنوع زیستی ارزشمند، و نیز آلودگی خاک و از بین رفتن گونه‌های مختلف گیاهان و جانداران، علاوه بر سودهای مستقیم و غیرمستقیم ناشی ازکاهش هزینه‌های بخش سلامت، منجر به سودهای غیر قابل سنجش می‌شود که با هیچ معیار اقتصادی قابل اندازه‌گیری نیست.

هدف از انجام این مطالعه، کاهش بار آلودگی صنایع نیشکر با استفاده از یک دستگاه راکتور بیوفیلم بی‌هوازی پر و خالی شونده به طور متوالی ASBBR در مقیاس پایلوت می‌باشد.

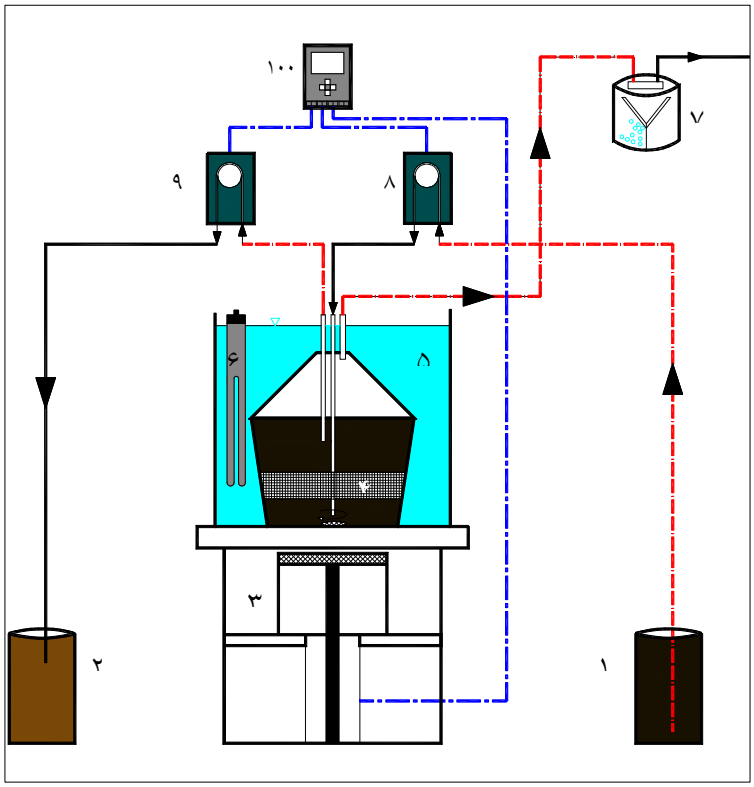
روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی بوده که با استفاده از یک راکتور شیشه‌ای که داخل حمام آب گرم از جنس پلاکسی‌گلاس قرار داشت، در مقیاس آزمایشگاهی به مدت ۸ ماه صورت گرفت. بستر این راکتور را فوم‌های پلی‌یورتان که به تعداد ۶۲۸ عدد و به صورت مکعب‌هایی با ابعاد (۱x۱x۱) سانتی‌متر بودند و در سبد پلاستیکی قرار داشتند، تشکیل دادند. ارتفاع راکتور۳۲ سانتی‌متر و قطر آن ۲۵ سانتی‌متر و حجم کلی راکتور ۷ لیتر بود که از این مقدار ۵ لیتر به حجم مایع و ۲ لیتر از قسمت بالای راکتور به عنوان فضای خالی جهت تجمع بیوگاز اختصاص یافت. قسمت‌های مختلف راکتور شامل لوله ورودی سوبستره، خروجی پساب، خروجی گاز، هیتر، پمپ، همزن مغناطیسی، گازسنج و تایمر دیجیتالی بود. عملیات پر و خالی کردن راکتور، با استفاده از دو پمپ Etatron با قابلیت پمپاژ ۲ لیتر در ساعت انجام گرفت. لوله ورودی در داخل راکتور به یک لوله شیشه‌ای متصل می‌شد و تا نزدیکی کف راکتور امتداد داشت، انتهای لوله خروجی پساب ۲/۵۴ سانتی‌متر از سطح فاضلاب داخل راکتور پایین‌تر قرار داشت و لوله خروجی گاز هم در نزدیکی درب راکتور واقع شده بود. برای اندازه‌گیری میزان بیوگاز تولید شده در طی واکنش‌های بی‌هوازی از یک دستگاه گازسنج دیجیتالی، ساخت کشور آلمان استفاده شد. قبل از اتصال لوله جمع‌آوری بیوگاز به دستگاه گازمتر، توسط یک سه راهی یک عدد کیسه هوا (Tedlarbag)، به عنوان مخزن ذخیره بیوگاز، سر راه آن قرار گرفت که هنگام تخلیه پساب خروجی راکتور، فشار لازم جهت انجام عمل تخلیه را تأمین می‌نمود و در مابقی اوقات هنگامی که توسط بیوگاز تولیدی پر می‌شد، گاز اضافی را به گازمتر انتقال می‌داد و این عدد روی صفحه دیجیتالی ثبت می‌شد. گاز خروجی از راکتور توسط شعله آتش بررسی گردید و ساعات ابتدایی سیکل که میزان آن به مراتب بیشتر بود شعله پایدار به وجود می‌آمد. برای ایجاد اختلاط از یک دستگاه همزن مغناطیسی که در زیر راکتور تعبیه شده بود استفاده گردید به نحوی که مگنت در راکتور قرار داشته و همزن به وسیله ایجاد میدان مغناطیسی موجب اختلاط کامل راکتور می‌شد. با توجه به نحوه‌ی راهبری فرایند و لزوم ایجاد اختلاط در راکتور به طور متناوب و زمان‌دار، از یک تایمر PLC استفاده گردید که عملیات فرمان دادن به پمپ‌های تغذیه راکتور، تخلیه پساب و عملیات اختلاط محتویات راکتور توسط این تایمر صورت گرفت. یک سیکل کامل راکتور به مدت ۲۴ ساعت و شامل: ۲۳ دقیقه زمان تغذیه، ۲۲ ساعت و ۱۴ دقیقه زمان واکنش، ۱ ساعت زمان ته‌نشینی و ۲۳ دقیقه زمان تخلیه بود. شماتیک این پایلوت در شکل ۱ آمده است.

– **بذردهی راکتور:** راکتور ASBBR با استفاده از لجن به دست آمده از راکتور UASB تصفیه‌خانه فاضلاب نیشکر امیرکبیر تأمین و بذردهی شد. ابتدا لجن بی‌هوازی توسط آب شیر به خوبی شسته شد و حدود ۲/۶ لیتر از حجم راکتور با لجن بی‌هوازی که دارای VSS حدود ۵۷/۵۵ بود، پر شد. باقیمانده حجم راکتور با آب پر شد و درب پایلوت بسته کاملاً هواگیری شد. سپس دمای راکتور بر روی ۳۵ درجه سانتیگراد تنظیم شد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir



شکل ۱: شماتیک سیستم تصفیه ASBBR مورد استفاده در این مطالعه شامل ۱- فاضلاب ورودی، ۲- پساب خروجی، ۳- همزن مغناطیسی، ۴- سبد فوم‌های پلی‌یورتان، ۵- حمام آب گرم، ۶- گرم‌کننده، ۷- گازسنج دیجیتال، ۸- پمپ پریستالتیک ورودی، ۹-پمپ پریستالتیک خروجی و ۱۰- تایمر PLC

- مشخصات فاضلاب ورودی به راکتور: فاضلاب مورد استفاده در این مطالعه از ملاس صنعت نیشکر امیرکبیر هر دو ماه تأمین گردید و جهت حفظ کیفیت آن و جلوگیری از تغییر مشخصات آن در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. فاضلاب ورودی به راکتور روزانه و با دمای حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد تهیه می‌شد. ترکیب فاضلاب ورودی شامل نوترینت‌ها و ملاس بود که در طول راهبری با توجه به بارگذاری مدنظر، میزان آن‌ها محاسبه می‌شد. مقادیر نوترینت‌ها و مشخصات ملاس در جداول ۱ و ۲ آمده است. جهت تنظیم pH از حالت خنثی یا کمی اسیدی به حدود ۹ – ۷/۵ از سود و پتاس ۲ نرمال استفاده گردید. غلظت COD یک گرم ملاس در زمان راه‌اندازی ۶۹۵ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. بنابراین ۱/۸ گرم ملاس جهت تهیه ۱/۲۵ لیتر فاضلاب با COD برابر ۱۰۰۰ و بارگذاری gCOD/L.d ۰/۲۵ مورد استفاده قرار گرفت.

- برنامه زمان‌بندی راهبری پایلوت: با توجه به شکل (۲) یک سیکل کامل راکتور به مدت ۲۴ ساعت و در ۴ مرحله شامل تغذیه (۲۳ دقیقه)، واکنش (۲۲ ساعت و ۱۴ دقیقه)، ته‌نشینی (۱ ساعت) و تخلیه (۲۳ دقیقه) انجام می‌شد. استیرر هم‌زمان با ورودی شروع به کار می‌کرد و بعد از اتمام تزریق به طور نوسانی ۵ دقیقه خاموش و ۱۵ دقیقه روشن بود.

- روش‌های آنالیز آزمایشگاهی: در طی بهره‌برداری متغیرهای pH و دما توسط pH متر خودکاری و متغیر بیوگاز توسط گازسنج دیجیتال روزانه کنترل شد. آزمایش COD ورودی و خروجی هفته‌ای ۲ الی ۳ بار و آزمایش BOD5 (ماهی یک‌بار) مطابق با دستور کتاب روش‌های استاندارد در تصفیه آب

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

و فاضلاب ۲۰۰۵ و آزمایش‌های TP، TN، NH3، NO2 و NO3 (دو بار در طول مطالعه) به روش رنگ‌سنجی با استفاده از اسپکتروفتومتر DR-400 در آزمایشگاه آب و فاضلاب مرکزی (خیابان حجاب) انجام گردید.

جدول ۱: مقادیر نوترینت‌ها برای غلظت COD1 برابر با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

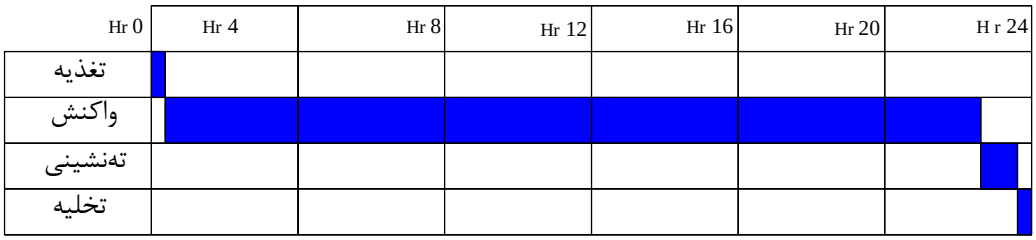
ترکیبات	میلی‌گرم در لیتر
NH_4CL	۱/۲۴۲
KH_2PO_4	۰/۱۶۲۵
K_2HPO_4	۰/۱۴۴۵
$FeCL_3$	۰/۰۱۶۶
$CaCl_2,2H_2O$	۰/۰۴۲۲۵
$MgSO_4,7H_2O$	۰/۰۳۴۸
$MNCL_2,4H_2O$	۵/۲۵ ×۱۰ $^{-۳}$
$CoCl_2.6H_2O$	۱/۴۹۵ ×۱۰ $^{-۳}$
$ZnSO_4,7H_2O$	۹/۶۲ ×۱۰ $^{-۳}$
$Na_2MoO_4,2H_2O$	۱۰/۳۳۵ ×۱۰ $^{-۴}$
$CuCl_2,2H_2O$	۲/۶ ×۱۰ $^{-۴}$
H_3BO_3	۳/۲۵ ×۱۰ $^{-۲}$
$NiSO_4,6H_2O$	۱/۲۴ ×۱۰ $^{-۳}$

جدول ۲: مشخصات ملاس ورودی به راکتور

پارامتر	مقدار به درصد
آب	۱۷-۲۵
شکر (سا کاروز- گلوکز – فروکتوز)	۴۰ – ۶۰
دیگرکربوهیدرات‌ها	۲ – ۵
خاکستر	۴/۵- ۹/۵
ترکیبات نیتروژنی	۷ – ۱۵
ترکیبات غیر نیتروژنی	۴/۸ – ۹/۵
فسفات‌ها ، استرول‌ها	۰/۱ – ۱
پارامتر	**مقدار (mg/kg)**
آب	۳/۳
آهن	۵۲۲
سرب	۲/۲
روی	۵/۴
کادمیوم	<۰/۰۴

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir



شکل۲: شماتیک زمان‌بندی یک سیکل ۲۴ ساعت

یافته‌ها

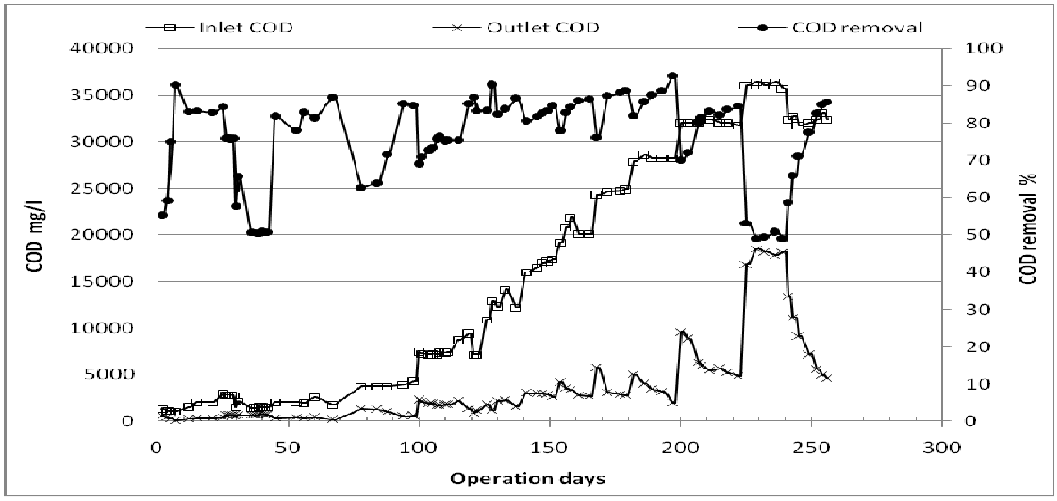
راکتور مورد مطالعه به وسیله لجن حاصل از راکتور UASB با VSS حدود ۵۷/۵۵ گرم بر لیتر پر شد. به منظور طی مراحل سازگاری و افزایش فعالیت لجن، راکتور با بارگذاری پایین ۰/۲۵gCOD/L.d راه‌اندازی گردید. زمان ماند هیدرولیکی در سیستم‌های بی‌هوازی به ویژگی‌های فاضلاب و شرایط محیطی بستگی دارد و بایستی آن قدر بالا باشد که متابولیسم میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی را امکان‌پذیر سازد (۴۳). زمان ماند سلولی در سیستم‌های بی‌هوازی رشد چسبیده معمولاً ۱۰۰ روز در نظر گرفته می‌شود. زمان ماند هیدرولیکی راکتور ASBBR مورد استفاده در این مطالعه ۴ روز بوده و در کل دوره مطالعه ثابت نگه داشته شد زیرا تغییرات بارگذاری با تغییر در میزان COD انجام گردید. زمان ماند سلولی راکتور با توجه به میزان بذردهی در حدود ۱۵۰روز می‌باشد. لازم به ذکر است که پایش SRT در طول مطالعه به دلیل عدم دسترسی به بیومس چسبیده مقدور نبود. بهره‌برداری از راکتور بر اساس میزان بارگذاری آلی به ۶ مرحله راه‌اندازی، بارگذاری کم، بارگذاری متوسط، بارگذاری بهینه، بارگذاری حداکثر و بارگذاری بهینه نهایی تقسیم‌بندی گردید که مشخصات راهبری آن در جدول ۳ درج گردیده است.

جدول ۳: مشخصات راهبری راکتور مورد مطالعه

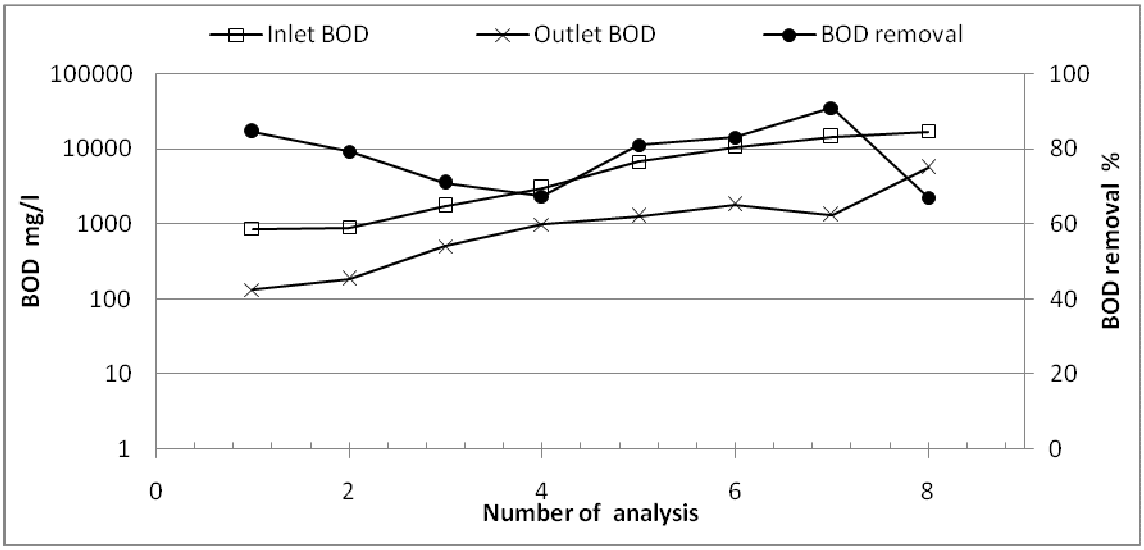
روزهای راهبری	فاز راهبری	OLR $\frac{g\ COD}{L.d}$	COD in $\frac{mg}{L}$	CODout $\frac{mg}{L}$	راندمان حذفCOD٪	لیتر در روز مقدار بیوگاز تولیدی
۱- ۶	راه‌اندازی	۰/۲۵	۱۱۹۰±۱۳۸	۴۴۶ ±۱۶۷	۶۳/۲±۱۱	-
۷- ۹۹	بارگذاری کم	۰/۵	۱۹۶۳ ±۵۵۸	۵۵۴ ±۱۹۱	۶۹/۶±۱۴	-
		۱	۳۸۸۶±۲۴۵	۱۰۰۶ ±۳۸۲	۷۳/۷±۱۱	-
۱۰۰- ۱۵۱	بارگذاری متوسط	۲	۷۶۰۰±۷۲۹	۱۷۵۰ ±۴۰۰	۷۶/۸±۶	۶/۵±۲
		۳	۱۲۴۶۷ ±۱۱۹۳	۱۹۶۹ ±۲۷۰	۸۵/۳±۳	۹/۱±۱/۳
		۴	۱۶۷۹۷ ±۵۶۱	۲۹۱۴ ±۱۶۳	۸۲/۶±۲	۷/۲±۰/۸
۱۵۲- ۲۲۲	بارگذاری بهینه	۵	۲۰۴۰۴ ±۹۹۴	۳۳۳۸ ±۶۱۷	۸۳/۶±۳	۹/۷±۱/۶
		۶	۲۴۶۵۹ ±۲۲۸	۳۶۴۸ ±۱۴۳۸	۸۵/۲±۶	۱۲/۲±۱/۴
		۷	۲۸۲۱۴ ±۲۷۳	۳۷۴۹±۱۱۰۵	۸۶/۷±۲	۱۶/۹±۳/۴
		۸	۳۲۲۷۰ ±۳۵۱	۶۱۴۶ ±۲۲۲۲	۸۰/۹±۷	۱۸/۷±۵/۹
۲۲۳- ۲۳۹	بارگذاری حداکثر	۹	۳۶۰۹۶ ±۲۷۷	۱۷۹۱۶ ±۶۳۶	۵۰/۴±۲	۱۰/۷±۲/۷
۲۴۰- ۲۵۶	بارگذاری بهینه نهایی	۸	۳۲۲۵۲ ±۳۲۳	۸۰۱۶ ±۳۳۴۹	۷۵/۲±۱۰	۱۴/۵±۳/۱

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

- **کارایی سیستم در حذف آلاینده‌ها:** هدف اصلی در انجام این تحقیق، بررسی کارایی سیستم بی‌هوازی ASBBR در تصفیه فاضلاب کارخانه نیشکر می‌باشد که این کار با بررسی راندمان سیستم در حذف COD (هفته‌ای ۲ بار) و BOD5 (هر ماه۱ بار) پیگیری شد. نمودارهای مربوط به راندمان حذف COD و BOD5 در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل ۳: نمودار بررسی کارایی سیستم در حذف COD

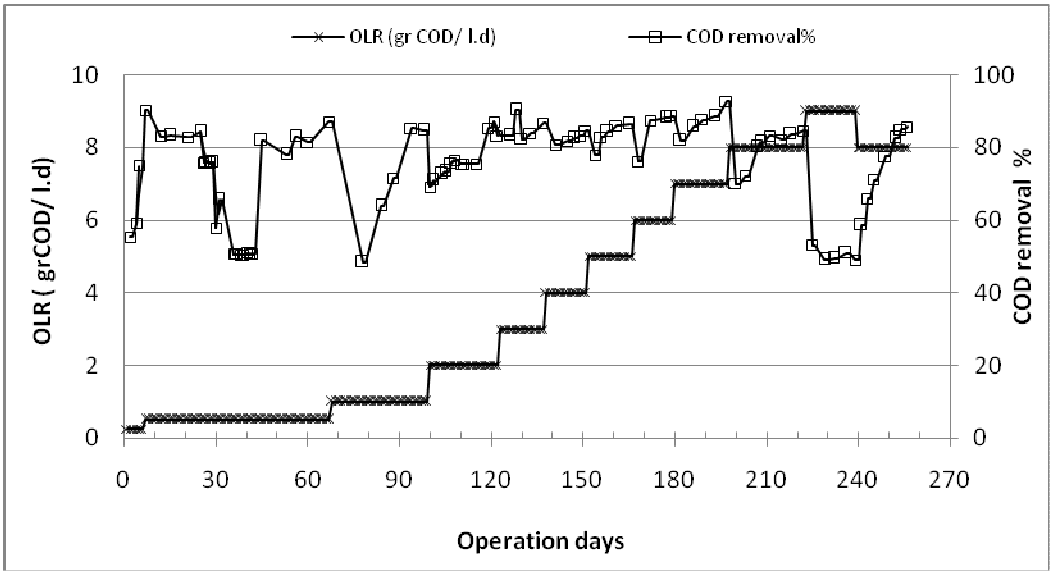


شکل ۴: نمودار بررسی کارایی سیستم در حذف BOD

- **تغییرات بارگذاری سیستم**

تغییرات بارگذاری حجمی در طول راهبری سیستم در شکل ۵ نشان داده شده است.

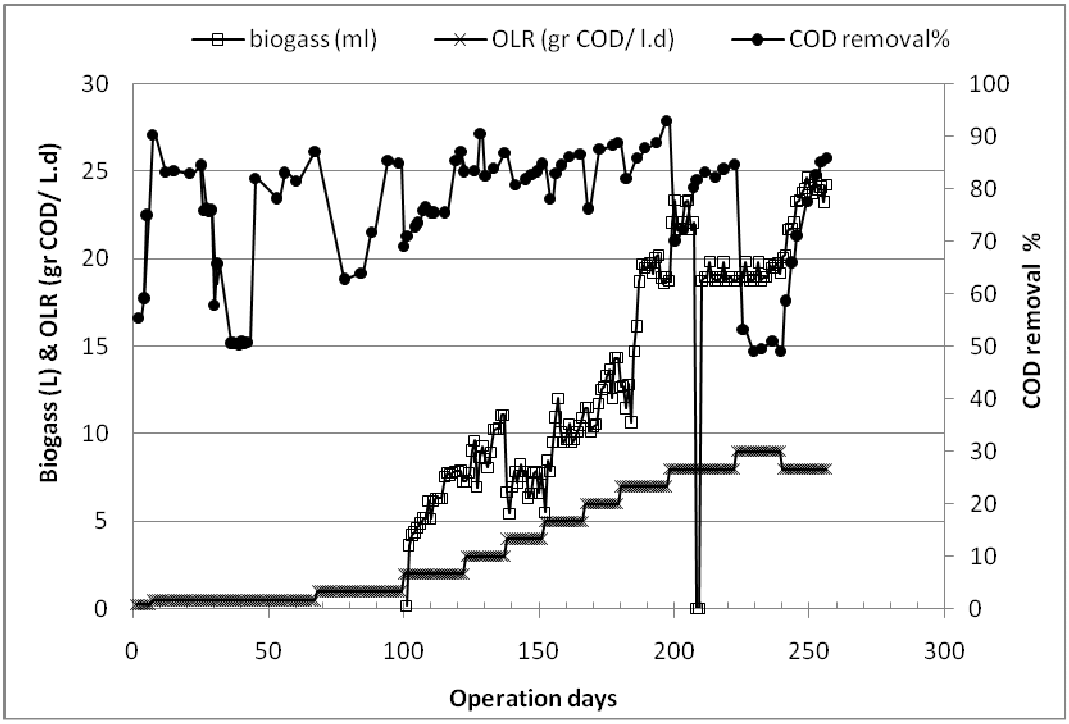
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir



شکل ۵: تغییرات بارگذاری حجمی و حذف COD در طول راهبری سیستم

- تغییرات بیوگاز تولیدی

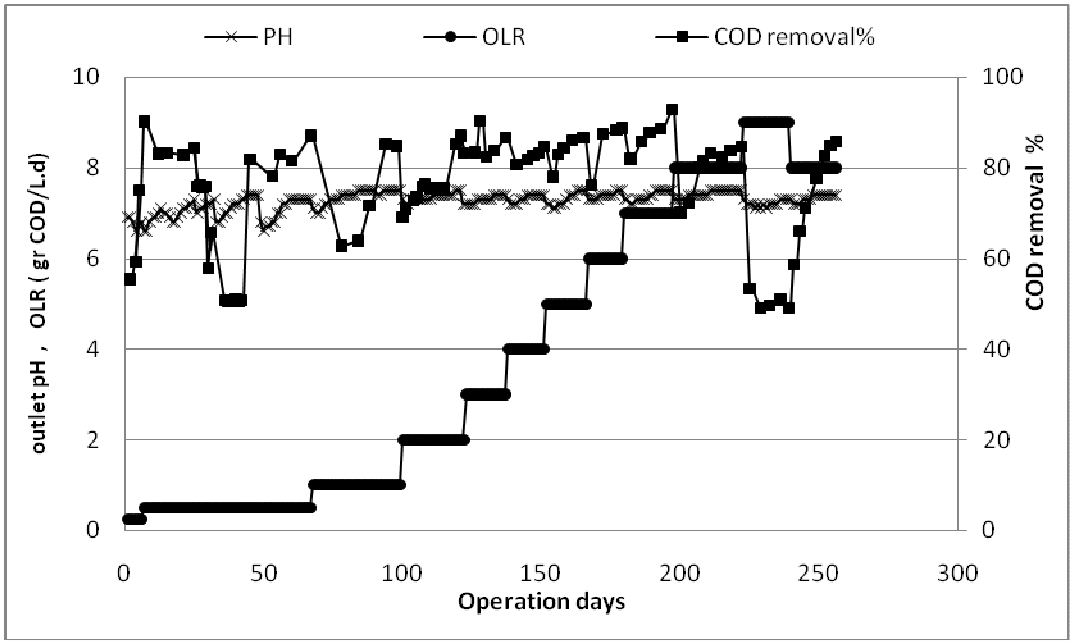
میزان تولید بیوگاز روزانه در زمان مشخصی از روز یادداشت گردید که تغییرات بیوگاز تولیدی در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل۶: تغییرات بارگذاری حجمی و حذف COD و بیوگاز تولیدی در طول راهبری سیستم

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

- **تغییرات pH در طول دوره راهبری**



شکل ۷: تغییرات حذف COD ، بارگذاری و pH در طول راهبری سیستم

بحث

با توجه به جدول (۳)، راهبری راکتور به ۶ مرحله تقسیم می‌شود که در ادامه به توضیح هر یک پرداخته می‌شود.

الف) مرحله راه‌اندازی: این مرحله از تاریخ ۸۸/۱۰/۲۰ شروع شد و به مدت ۶ روز ادامه داشت تا از تشکیل اسیدهای چرب فعال و افت pH جلوگیری گردد. به دلیل سازگاری باکتری‌ها با لجن موجود در راکتور که از لجن سازگار شده سیستم UASB صنایع نیشکر گرفته شده بود، این مرحله بسیار کوتاه بود و در طی این ۶ روز، راندمان حذف به ۷۵ درصد رسید.

ب) مرحله بارگذاری حجمی کم: در این مرحله (روزهای راهبری ۷–۹۹) میزان بارگذاری طی دو مرحله از ۰/۲۵ به ۰/۵ و از ۰/۵ به ۱ gCOD/L.d افزایش یافت. در هر مرحله پس از رسیدن به راندمان حذف بالای ۸۵ درصد، بارگذاری افزایش می‌یافت.

ج) مرحله بارگذاری حجمی متوسط: در این مرحله (روزهای راهبری ۱۰۰–۱۵۱) میزان بارگذاری طی سه مرحله از ۱ به ۴ gCOD/L.d رسید. در هر مرحله پس از رسیدن به راندمان حذف بالای ۸۵ درصد، بارگذاری افزایش می‌یافت. گازسنج در این مرحله به سیستم متصل شد و مقدار تولید گاز روزانه به ثبت رسید.

د) مرحله بارگذاری حجمی بهینه: در این مرحله (روزهای راهبری ۱۵۲–۲۲۲) میزان بارگذاری طی ۴ مرحله از ۴ به ۸ gCOD/L.d رسید. در هر مرحله پس از رسیدن به راندمان حذف بالای ۸۵ درصد، بارگذاری افزایش می‌یافت. در این مرحله میزان تولید بیوگاز بسیار زیاد بود و مشعل خروجی از راکتور کمی پس از انجام تزریق پیوسته روشن می‌ماند.

ه) مرحله بارگذاری حجمی حداکثر: در این مرحله (روزهای راهبری ۲۲۳–۲۳۹) میزان بارگذاری از ۸ به ۹ gCOD/L.d رسید و راندمان حذف ناگهان به ۵۰ درصد رسید و طی مدت زمان ۱۵ روز نتوانست از ۵۱ درصد بیشتر

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

شود. بنابراین این بارگذاری به عنوان بارگذاری حداکثر در نظر گرفته شد.

و) مرحله بارگذاری حجمی بهینه نهایی: در این مرحله (روزهای راهبری ۲۴۰-۲۵۶) میزان بارگذاری از ۹ به ۸ gCOD/L.d تقلیل یافت و راندمان حذف طی مدت زمان ۱۵ روز، به بالای ۹۰ درصد صعود کرد. بنابراین این بارگذاری به عنوان بارگذاری بهینه نهایی در نظر گرفته شد.

- بررسی کارایی سیستم در حذف آلاینده‌ها

همان طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین راندمان حذف COD و BOD در بارگذاری gCOD/L.d ۸ به ترتیب برابر با ۹۱/۵ و۹۰/۹۳ درصد می‌باشد. Miqueleto و همکاران درسال ۲۰۰۵ مطالعاتی روی تصفیه فاضلاب با قابلیت تجزیه‌پذیری آسان در راکتور بیوفیلم بی‌هوازی متوالی با اختلاط انجام دادند. راکتور ابتدا در یک سیکل ۸ ساعته بهره‌برداری شد، گلوکزدر غلظت‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و۲۰۰۰) میلی‌گرم بر لیتر تصفیه شد و راندمان حذف COD به ۹۳٪ رسید (۹). در سال ۲۰۰۷، Satyawali و همکاران مطالعاتی را جهت تصفیه ملاس به عنوان فاضلاب ورودی، به دو روش هوازی و بی‌هوازی انجام دادند که روش بی‌هوازی به دلیل راندمان حذف BOD حدود ۸۰٪ و تولید بیوگاز نتایج بهتری را نشان داد. همچنین مطالعات گسترده‌ای در سراسر جهان بر روی راکتور UASB صورت گرفته است که با توجه به نتایج حاصله در حذف BOD و COD و سوابق فنی و اجرایی، این روش پر کاربردترین روش تصفیه فاضلاب این صنایع به شمار می‌رود (۱۱). اصطبار و همکاران در سال ۱۳۸۶ مطالعه‌ای بر روی میزان کارایی سیستم ASBBR در تجزیه بیولوژیکی بنزن انجام داد که بیشترین راندمان حذف COD در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر BTX برابر با ۸۷/۵ درصد می‌باشد (۱۲). شاقاسمی و همکاران در سال ۱۳۸۷ مطالعه‌ای بر روی ارزیابی کارایی سیستم ASBR در تصفیه فاضلاب کشتارگاه طیور انجام دادند که در بهترین حالت راندمان حذف CODوBOD به ترتیب به۸۷/۱ و ۸۶/۹ درصد رسید (۱۳).

- تحلیل و بررسی در تغییرات بارگذاری سیستم

میزان بارگذاری آلی حجمی در سیستم‌های بی‌هوازی تصفیه فاضلاب ۰/۵ الی ۵ gCOD/L.d در نظر گرفته می‌شود، این پارامتر در راکتور مورد مطالعه به دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری بالای ملاس تا gCOD/L.d ۹ افزایش یافت. با توجه به شکل (۵)، با بالا بردن بارگذاری در هر مرحله راندمان حذف کاهش می‌یابد و بعد از چند روز دوباره به حالت اول بر می‌گردد. در ابتدای راه‌اندازی سیستم این تغییرات واضح‌تر است ولی با گذشت زمان این تغییرات کمتر شده‌است. به جز افت ناگهانی در بارگذاری gCOD/L.d ۰/۵ که به دلیل مشکلات ناشی از راه‌اندازی ایجاد گردید، با وجود بالا بردن بارگذاری حجمی تا gCOD/L.d ۸ راندمان حذف به‌طور کلی سیر صعودی دارد و بلافاصله با بالابردن بارگذاری حجمی از ۸ به gCOD/L.d ۹، راندمان حذف کاهش می‌یابد و دوباره با کم کردن بارگذاری حجمی، راندمان حذف افزایش می‌یابد. با این وجود که بیشترین راندمان حذف (۹۲/۸۱ درصد) در بارگذاری ۷ اتفاق افتاد، بارگذاری ۸ با راندمان بالای ۸۰ درصد، بارگذاری حجمی بهینه سیستم و بارگذاری ۹، بارگذاری حداکثر سیستم می‌باشد.

به دلیل اهمیت زیاد تصفیه ملاس تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است. در سال ۱۹۸۲، Good و همکاران این مطالعات را در دو راکتور با بستر ثابت و CSTR در دمای ۳۵ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد انجام دادند که راکتور با بستر ثابت توانایی پذیرش gCOD/L.d ۱۰/۷ با بازدهی ۸۶/۶ ٪ را داشت در حالی که راکتور CSTR تنها توانایی پذیرش ۲/۴gCOD/L.d را داشت (۱۴). در سال ۲۰۰۳ Boopathy و همکاران تحقیقاتی را به وسیله راکتور هیبریدی بافل‌دار بی‌هوازی انجام دادند که این سیستم قادر به تحمل بارگذاری ۲۰gCOD/L.d با راندمان حذف ۷۰٪ بود (۱۵). در این سال Bories و همکاران این مطالعه را در راکتور بستر ثابت با جریان رو به پایین همراه با مدیای پلاستیکی انجام دادند که طی آن سیستم قادر به پذیرش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

gCOD/L.d (۲۰/۴ – ۱۴/۲) با راندمان حذف حدود ۷۰٪ بود و میزان بیوگاز تولیدی به ازای هر مترمکعب راکتور (۸/۴ – ۶/۵) مترمکعب در روز بود (۱۶).

- تحلیل و بررسی تغییرات بیوگاز تولیدی

از شکل (۶) این‌گونه استنباط می‌شود که میزان بیوگاز تحت تأثیر بارگذاری و راندمان حذف COD بوده است. با تغییر میزان بارگذاری میزان تولید بیوگاز به دلیل پایین آمدن راندمان حذف کاهش یافته و مجدداً با تطبیق سیستم با شرایط موجود افزایش یافته است. در منحنی بیوگاز یک شکست ناگهانی مشاهده می‌شود که در دویست و دهمین روز راهبری به علت فشار زیاد گاز تولید شده و باز شدن چسب آکواریوم درب راکتور اتفاق افتاده است و عدد گازسنج در این روز تغییری نکرد. به طور کلی به ازای هر گرم COD که در فرآیند بی‌هوازی تبدیل می‌شود تحت دمای صفر درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر، ۰/۳۵ لیتر گاز متان تولید می‌شود ولی به دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری بالای ملاس نیشکر میزان تولید بیوگاز در این سیستم بیشتر از این مقدار می‌باشد. بیشترین میزان بیوگاز روزانه در بارگذاری ۸gCOD/L.d تولید شده که برابر با ۳/۷۴ لیتر به ازای هر متر مکعب راکتور می‌باشد. به عبارت دیگر این سیستم در این بارگذاری قادر به تولید ۵/۹ ± ۱۸/۷ لیتر گاز در روز بود.

Bories و همکاران مطالعه‌ای در راکتور بستر ثابت با جریان رو به پایین همراه با مدیای پلاستیکی انجام دادند که میزان بیوگاز تولیدی به ازای هر مترمکعب راکتور۸/۴ – ۶/۵ مترمکعب در روز محاسبه شد (۱۶). اصطبار در سال ۱۳۸۶ مطالعه‌ای بر روی میزان کارایی سیستم ASBBR در تجزیه بیولوژیکی بنزن انجام داد که این سیستم با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر BTX وCOD برابر با۷۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قادر به تولید ۱/۵ لیتر گاز در روز بود و با افزایش غلظت BTX به ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، حجم بیوگاز تولیدی به ۰/۷ لیتر در روز کاهش یافت (۱۲). شاقاسمی در سال ۱۳۸۷ مطالعه‌ای بر روی ارزیابی کارایی سیستم ASBR در تصفیه فاضلاب کشتارگاه طیور انجام داد که به ازای هر گرم COD حذف شده در حدود ۰/۰۱ لیتر بیوگاز تولید شد. بیشترین میزان بیوگاز در این سیستم در مرحله اول راهبری تولید شده که برابر با ۰/۳۱ لیتر می‌باشد (۱۳).

- تغییرات pH در طول دوره راهبری

سیستم‌های بی‌هوازی از لحاظ عملکردی به شدت تابع pH و دمای مناسب می‌باشند. pH در فرآیند متان‌سازی اهمیت ویژه‌ای دارد به گونه‌ای که در pH اسیدی و یا بسیار قلیایی میزان تولید بیوگاز به طور محسوسی کاهش می‌یابد (۱۲). همان طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، در ابتدای راهبری راکتور در بارگذاری‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و۱ gCOD/L.d نوسانات زیادی در pH مشاهده می‌شود که راندمان حذف را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است ولی رفته رفته بر پایداری راکتور افزوده شده است و به جز مواقع تغییر بارگذاری که سیستم دچار افت محسوسی می‌شود، pH سیستم حدود۷/۵– ۷/۳ می‌باشد.

با استفاده از یافته‌های این مطالعه نتیجه‌گیری می‌شود که به دلیل سازگاری لجن بذردهی، که از راکتور UASB کارخانه نیشکر تهیه شده بود، مرحله راه‌اندازی بسیار کوتاه بود و طی مدت زمان ۶ روز، راندمان حذف به ۷۵ درصد رسید. با انتخاب پروتکل بارگذاری حجمی با روند ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و۹ gCOD/L.d ، راندمان حذف COD به ترتیب ۱۱ ± ۶۳/۲، ۲۴ ± ۶۹،۱۱/۶ ± ۷۳/۷، ۶ ± ۷۶/۸، ۳ ± ۸۵/۳، ۲ ± ۸۲/۶، ۳ ± ۸۳/۶، ۶ ± ۸۵/۲، ۳ ± ۸۶/۷، ۷ ± ۸۰/۹، ۲ ± ۵۰/۴ درصد حاصل شد. بیشترین راندمان حذف COD و BOD در بارگذاری ۸ gCOD/L.d به ترتیب برابر با ۹۱/۵ و۹۰/۹۳ درصد به دست آمد. بیشترین میزان بیوگاز روزانه در بارگذاری ۸ gCOD/L.d تولید شده که برابر با ۶ ± ۱۸/۷ لیتر در روز می‌باشد. با توجه به راندمان حذف و بیوگاز تولید شده، بارگذاری حجمی۸ gCOD/L.d به‌عنوان بارگذاری بهینه سیستم و بارگذاری ۹ gCOD/L.d به‌عنوان بارگذاری حداکثر سیستم انتخاب شده است. استفاده از فوم‌های پلی یورتان به دلیل تشکیل مدیای رشد چسبیده، در بالا بردن راندمان سیستم موُثر بوده است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

References

1. Ahmadi M, Tajrishi M, Abrishamchi A. Technical and Economic Comparison of onventional Wastewater Treatment Systems in the sugar Industries in Iran, [Persian]. 2005 [cited 2010 july]; Available from: URL:http://www.isfs.ir/

2. Kord Sh, Yazdam Panah M, Ayatolahi Sh. Survey on Wastewater Treatment of Haft Tappeh Cane Industry.[Persian] 2000[cited 2010 july]; Available from: URL:http://www.ak-sugarcane.ir

3. Zhao X, Peng F, Cheng K, Liu D. Enhancement of the enzymatic digestibility of sugarcane bagasse by alkali–peracetic acid pretreatment. Enzyme and Microbial Technology 2009;44(1): 17-23.

4. Pereira NS, Zaiat M. Degradation of formaldehyde in anaerobic sequencing batch biofilm reactor (ASBBR). J Hazard Mater 2009 Apr 30; 163(2-3): 777-82.

5. Agibert SA, Moreira MB, Ratusznei SM, Rodrigues JA, Zaiat M, Foresti E. Influence of temperature on performance of an anaerobic sequencing biofilm batch reactor with circulation applied to treatment of low-strength wastewater. Appl Biochem Biotechnol 2007 Feb; 136(2): 193-206.

6. Mohan SV, Lalit B, V, Vijaya BY, Sarma PN. Influence of recirculation on the performance of anaerobic sequencing batch biofilm reactor (AnSBBR) treating hypersaline composite chemical wastewater. Bioresour Technol 2007 May;98(7): 1373-9.

7. Miqueleto AP, Rodrigues JA, Ratusznei SM, Foresti E, Zaiat M. Treatment of easily degradable wastewater in a stirred anaerobic sequencing batch biofilm reactor. Water Res 2005 Jun;39(11): 2376-84.

8. Pinho SC, Ratusznei SM, Rodrigues JA, Foresti E, Zaiat M. Influence of the agitation rate on the treatment of partially soluble wastewater in anaerobic sequencing batch biofilm reactor. Water Res 2004 Nov;38(19): 4117-24.

9. Satyawali Y, Balakrishnan M. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review. J Environ Manage 2008 Feb;86(3): 481-97.

10. Estabar M, Amin MA. Survey on the performance of Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (ASBBR) on BTX degredation [Persian] 2007.

11. Shaghasemi SE. Survey on the performance of Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) for treatment of slaughterhouse wastewater [Persian] 2009.

12. Good P, Moudry R, Fluri P. Use of fixed film and CSTR reactor for anaerobic treatment of stillage of wood hydrolysate. Biotechnology Letters 1997;4(9): 595-600.

13. Boopathy R, Tilche A. Anaerobic digestion of high strength molasses wastewater using hybrid anaerobic baffled reactor. Water Research 1991;25(7): 785-90.

14. Bories A, Raynal J, Bazile F. Anaerobic digestion of high-strength distillery wastewater (cane molasses stillage) in a fixed-film reactor. Biological Wastes 1988;23(4): 251-67.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

Anaerobic biofilm reactor system efficiency in sugar cane industry wastewater treatment

Sara Mostaed[1], Mohammad Mehdi Amin[2], Amir Hesam Hassani[3], Afshin Takdastan[4]

Abstract

Background: The disposal of the wastewater sugar extraction to the rivers and environment cause contamination and is considered as a threat to the marine life and the environment. Thus, treatment of the wastewater is necessary. Investigating the reduction of the pollution load of cane industry with anaerobic sequencing batch biofilm reactor (ASBBR) in the laboratory scale is the purpose of this study.

Methods: In this study, the performance of ASBBR was investigated to treat the sugar cane industry's wastewater for eight months. The total and effective volume of the reactor was 7 liters. The studied reactor was activated in 35ºC with organic loading rate (OLR) of 0.25 g COD/l.d and surface loading rate (SLR) of 0.33 mg COD/m2.d of with feeding industrial molasses as the main substrate that had 1075 mg/l COD and 450 mg/l BOD5. An operation cycle of the reactor was lodged for 24 hours, including, the feed time: 23 minutes, the reaction time 22 hours and 14 minutes, the settle time: 1 hour, and the decant time: 23 minutes.

Findings: The optimum OLR and SLR were 8 gCOD/L.d and 10.67 mgCOD/m2.d, respectively. In these loadings, the COD was decreased from 32270 ± 351 mg/l to 6146 ± 2222 mg/l with 81 ± 7% the removal efficiency. The best removal efficiency of system in this loading was 91.5%. The amount of biogas production was 3.74 liter per liter of reactor volume.

Conclusion: The ASBBR is able to reduce the high amount of COD up to 32000 mg/l. In general, this reactor could be a suitable alternative in treatment of sugar cane industries wastewater.

Key words: Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (ASBBR), Cane Industry, Polyurethane Foams, Organic Loading Rate, Biogas.

1- MSc of Environmental Engineering, Water & Wastewater Trend, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Ahvaz, Iran.
2- Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. (Corresponding Author)
Email: amin@hlth.mui.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, School of Health, Jondi Shapour University, Ahvaz, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir