



مقایسه راکتورهای UASB معمول و اصلاح شده در تصفیه پساب صنایع لبنی

سمیه رحمانی^۱، مرتضی یگانه میرزا علیلو^۲، محمدرضا دوستی^{۳*}، محمد جواد ذوقی^۴

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۴ استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۰۵
بازنگری: ۱۳۹۸-۰۳-۲۱
پذیرش: ۱۳۹۸-۰۳-۲۲
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۵-۲۳

کلمات کلیدی:

تصفیه پساب
پساب صنعتی
صنایع لبنی
راکتور UASB معمول
راکتور UASB اصلاح شده

خلاصه: تحقیق حاضر به منظور مقایسه کارایی راکتور UASB معمول و اصلاح شده جهت تصفیه پساب صنایع لبنی انجام شده است. جهت انجام تحقیق دو واحد راکتور با ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر و حجم ۴۸ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی بکار گرفته شده و از یک مخزن سپتیک تانک و یک پتو لجن اضافی جهت بهینه‌سازی راکتور UASB استفاده شده است. تخلیج اولیه راکتور با استفاده از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب (روش لجن فعال) کشتارگاه به همراه فضولات گاوی تازه و تغذیه با استفاده از شیر خشک انجام گرفته است. تحقیق حاضر در چهار دوره به مدت ۱۵۴ روز به طول انجامیده، که دوره اول به مدت ۳۰ روز شامل طراحی و ساخت راکتور، دوره دوم به مدت ۴۰ روز شامل راه‌اندازی، تشکیل گرانول و اندازه‌گیری PH، دوره سوم به مدت ۴۰ روز شامل ادامه روند تشکیل گرانول و پتو لجن، اندازه‌گیری PH و بررسی اولیه راندمان حذف COD و دوره چهارم به مدت ۴۴ روز شامل ادامه روند اندازه‌گیری لجن گرانوله، PH و بررسی راندمان حذف می‌باشد. بارگذاری آلی طی چهار دوره به میزان $2/5-4/11 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ بوده و دمای راکتور در طی دوره دوم تا سوم در محدوده دمای مزوفیلیک و در طی دوره چهارم در محدوده دمایی مزوفیلیک و سایکروفیلیک قرار گرفته است. زمان ماند طی دوره‌های مورد بررسی ۲۴ ساعت می‌باشد. راندمان COD خروجی طی چهار دوره برای راکتور معمول ۷۵-۶۰ و برای راکتور اصلاح شده ۹۴-۶۰ درصد می‌باشد. بهینه‌سازی راکتور UASB باعث افزایش راندمان به میزان ۲۲-۱۸ درصد نسبت به حالت معمول می‌گردد.

۱- مقدمه

افزایش یافته است، که این امر باعث تصویب قوانین سختگیرانه محیط زیستی در خصوص تخلیه پساب شده است. این موضوع باعث افزایش سرعت احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، به ویژه در کشورهای در حال توسعه شده است [۲، ۳]. روش‌های تصفیه پساب‌های صنعتی شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (روش‌های هوازی و بی‌هوازی) می‌باشد. فرآیند حذف توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی هزینه بالایی داشته و به همین علت، امروزه روش‌های بیولوژیکی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۴]. دلیل افزایش هزینه‌های تصفیه هوازی، در چند سال اخیر افزایش اطلاعات درباره مکانیسم تصفیه بی‌هوازی، پیشرفت در سیستم‌های راکتور و تولید لجن کمتر و بکارگیری سیستم‌های بی‌هوازی در تصفیه فاضلاب صنایع بیشتر شده است. یکی از پیشرفت‌های قابل توجه در تکنولوژی

کشور ایران در زمره کشورهای در حال توسعه است. با گسترش روز به روز صنایع، تولید پساب‌های صنعتی با ترکیبات شناخته و ناشناخته یکی از چالش‌های بزرگ جوامع بشری است که محیط زیست را تهدید می‌نماید، لذا یافتن روشی قابل قبول برای تصفیه پساب‌های صنعتی بسیار مهم و درخور توجه می‌باشد. با توجه به رشد روز افزون جمعیت، افزایش نیازهای آبی، وجود شرایط آب و هوایی خشک و کم آبی در اکثر نقاط کشور، حفاظت از منابع محدود آبی در برابر آلودگی‌ها و بهره‌برداری مجدد از پساب‌های تصفیه شده، یک راهکار اساسی جهت تامین نیازهای آبی حال و آینده خواهد بود [۱]. در سال‌های اخیر، آگاهی عمومی در مورد مشکلات آلودگی آب

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mdoosti@birjand.ac.ir



فرآیند تصفیه بی‌هوازی راکتور لایه لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB) بود که در اواخر دهه ۱۹۷۰ در هلند توسط لتینگا و همکارانش بوجود آمد [۵]. از این رو، سیستم بالا رونده از بستر لجن در سطح وسیعی در تصفیه فاضلاب صنایع به کار گرفته شده است. راکتور UASB یکی از کارآمدترین تجهیزات برای تصفیه بی‌هوازی پساب‌ها است. روش فوق به دلیل مزایایی همچون سرمایه‌گذاری کم، نیازهای زمین و انرژی کمتر، تولید لجن کمتر، هزینه‌های نگهداری کم و امکان تولید بیوگاز در کشورهای گرمسیری مورد توجه قرار گرفته است [۶، ۷]. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر راکتورها این است که راکتورهای UASB ظرفیت نگهداری زیست توده بالا را فراهم نموده که اجازه تصفیه فاضلاب با نرخ بار آلی زیاد را نسبت به اندازه مناسب راکتور فراهم می‌نماید [۸].

طبق آمار موجود هم اکنون تعداد ۲۲۳ واحد تولید شیر با تولیدی بالغ بر ۲۶۴۶۰۰۰ تن شیر پاستوریزه در سال در کشور مشغول به فعالیت هستند. فاضلاب این صنایع به دلیل تنوع محصولات تولیدی دارای نوسان شدید بار آلی هستند و میزان بار آلی آنها بین $500 \text{ m}^3 \cdot \text{day}$ الی ۱۰۰۰۰ متغیر است. صنایع لبنی بدلیل اینکه ماده ضروری برای تغذیه انسان است دارای ارزش اقتصادی بالا و اهمیت زیادی می‌باشد. در صنعت لبنیات، شیر خام به شیر، ماست، پنیر، کره، بستنی، پودر شیر و انواع دسرها با فرآیندهای مختلف تولید، تبدیل می‌شود. فاضلاب صنایع لبنی بوسیله شستن تجهیزات شیردوشی و ظروف شیر، تجزیه و تحلیل آزمایش‌های کنترل کیفیت و فرآیندهای تولید فرآورده‌های تولید آب پنیر، پنیر، بستنی و غیره تولید می‌شود. مهمترین اجزای فاضلاب لبنی شامل لاکتوز، پروتئین‌های محلول، چربی‌ها، نمک‌های معدنی و مواد شوینده هستند، در حالی که غلظت‌های برخی از فلزات سنگین نیز در نتیجه آزمایشگاه‌های کنترل فاضلاب صنایع لبنی گزارش شده است [۹، ۱۰]. صنعت لبنی مقدار زیادی فاضلاب تولید می‌نماید، تقریباً ۰٫۲ تا ۱۰ لیتر فاضلاب به ازای فرآیند تولیدی هر لیتر شیر تولید می‌شود [۱۱]. تولید و ویژگی‌های فاضلاب صنایع لبنی به طور قابل توجهی توسط چندین پارامتر مانند مقیاس کارخانه، نوع پردازش، کارایی و سادگی روش‌های مورد استفاده برای تمیز کردن تجهیزات، شیوه‌های عملیاتی، روش‌های استفاده شده برای دفع پساب، نوع منابع آب و هزینه آب متغیر

می‌باشد [۱۲]. لذا با توجه به بار آلودگی بالا در پساب صنایع لبنی و با توجه به اینکه صنعت فوق یکی از صنایع عمده مصرف کننده آب می‌باشد، تصفیه این پساب قبل از ورود به محیط ضروری بنظر می‌رسد. مطالعات آزمایشگاهی گسترده نشان داد که راکتور UASB می‌تواند برای تصفیه پساب‌های شهری [۱۳-۱۵]، پالایشگاه نفت [۱۶]، صنایع شراب‌سازی [۱۷، ۱۸]، ضایعات سیب‌زمینی [۱۹] و غیره به کار برده شود. نیو^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ به بررسی اثر زمان ماند هیدرولیکی بر نیترات زدایی در راکتورهای UASB پرداختند. راه‌اندازی عملیات با استفاده از سه راکتور با زمان ماند هیدرولیکی ثابت (RC)، زمان ماند هیدرولیکی همراه با نوسانات کم (R_{DF}) و زمان ماند هیدرولیکی همراه با نوسانات زیاد (R_{UF}) انجام شده است. نتایج نشان داد که در طول دوره تحقیق پس از پایدار شدن شرایط راکتورها راندمان حذف COD، نیترات و نیتروژن کل برای R_{DF} به ترتیب ۹۵، ۹۷ و ۹۶ درصد و برای R_{UF} به ترتیب ۸۶، ۹۲ و ۸۷ درصد بدست آمده است. نتایج نشان داده است که استفاده از راکتور R_{DF} باعث تولید سریع و بهتر لجن گرانوله شده و راندمان حذف بهتری را نسبت به دو راکتور دیگر نشان می‌دهد [۲۰]. لی^۳ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ عملکرد هدایت گرانول و تجزیه و تحلیل جامعه میکروبی در راکتور UASB با تغییرات دمایی از حالت ترموفیلیک به مزوفیلیک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است که با افزایش دما از ۳۷ به ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در راکتور با منبع غذایی گلوکز راندمان حذف COD از ۷۵ به ۶۷ درصد کاهش می‌یابد در حالیکه با افزایش دما در راکتور با منبع غذایی اتانول تغییر فاحشی رخ نداده و راندمان حذف COD ۹۳ درصد می‌باشد [۲۱]. ژانگ^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی تصفیه فاضلاب خانگی در راکتور UASB در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد پرداختند. نتایج نشان داد که میزان راندمان حذف COD در طی عملیات در دمای ۲۰-۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد $60 \pm 4/6$ درصد و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد $51/5 \pm 5/5$ درصد می‌باشد که کاهش یافته است. راندمان حذف COD معلق در دمای ۲۰-۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد $76 \pm 9/1$ درصد می‌باشد. حذف COD محلول به علت تغییرات غلظت COD ورودی در دمای ۲۰-۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد به میزان 90 ± 23 درصد باقی مانده است [۲۲].

2 Niu
3 Li
4 Zhang

1 Up Flow Anaerobic Sludge Blanket

شده مورد استفاده به ترتیب در «شکل ۱» و «شکل ۲» نشان داده شده است. همچنین نمای راکتور UASB اصلاح شده مورد استفاده در «شکل ۳» نشان داده شده است.

۲-۳- تلقیح و تغذیه راکتور UASB

انتخاب لجن مناسب در مرحله راه‌اندازی بسیار حائز اهمیت است چرا که لجن مناسب ضمن تضمین پایداری فرآیند، موجب کوتاه شدن طول دوره راه‌اندازی می‌شود. در تحقیق حاضر به منظور تلقیح اولیه راکتور از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب (روش لجن فعال) کشتارگاه به همراه فضولات گاوی تازه استفاده گردید. نسبت اختلاط لجن و فضولات گاوی به میزان ۳ به ۱ می‌باشد. ماده تلقیحی پس از تهیه به قسمت منشور شکل راکتور منتقل شده است.

تغذیه راکتور با استفاده از مکمل‌های مغذی در کاهش دوره شروع و دستیابی به افزایش راندمان حذف COD بسیار موثر می‌باشند. میزان کلسیم در غلظت‌های ۱۵۰-۳۰۰ میلی‌گرم در یک لیتر، روند رشد گرانول در راکتورهای UASB را افزایش می‌دهد [۲۴]. در تحقیق حاضر از شیر خشک که حاوی اکثر مواد مغذی مورد نیاز برای افزایش عملکرد راکتور می‌باشد، به عنوان تغذیه راکتور UASB استفاده شده است.

۲-۴- مراحل انجام کار

تحقیق حاضر در چهار دوره به مدت ۱۵۴ روز به طول انجامید. دوره اول به مدت ۳۰ روز شامل طراحی و ساخت راکتور، دوره دوم به مدت ۴۰ روز شامل راه‌اندازی، روند تشکیل گرانول و اندازه‌گیری PH، دوره سوم به مدت ۴۰ روز شامل ادامه روند تشکیل گرانول و پتو لجن، اندازه‌گیری PH و بررسی اولیه راندمان حذف COD و دوره چهارم به مدت ۴۴ روز شامل ادامه روند اندازه‌گیری لجن گرانوله، PH و بررسی راندمان حذف COD می‌باشد. در طی چهار دوره میزان بارگذاری آلی از مقدار $2/5 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ تا $4/11 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ افزایش یافته است. دمای راکتور در طی دوره دوم تا سوم در محدوده دمای مزوفیلیک (۴۰-۲۵ درجه سانتیگراد) و در طی دوره چهارم در محدوده دمایی مزوفیلیک و سایکروفیلیک (<۲۵ درجه سانتیگراد) قرار داشته است. تمامی آزمایش‌ها در تحقیق حاضر بر اساس روش‌های ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد انجام شده است [۲۵].

در تحقیق حاضر، به مقایسه راندمان خروجی تصفیه فاضلاب صنایع لبنی با استفاده از راکتور UASB معمول و UASB اصلاح شده پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌های مورد استفاده

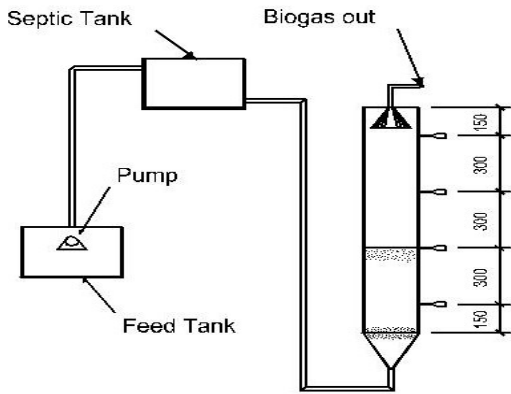
مواد مورد نیاز جهت انجام تحقیق حاضر شامل لجن تصفیه‌خانه کشتارگاه، فضولات گاوی، شیر خشک، اسید سولفوریک ۹۸٪، سولفات نقره، سولفات جیوه، دی کرومات پتاسیم، پتاسیم هیدروژن فتالات پتاسیم (KHP) و آب مقطر می‌باشند.

دستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر نیز شامل پمپ کولر مدل الکتروژن، ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم، PH متر، راکتور COD، اسپکتروفتومتر مدل UV2100 و آون می‌باشند.

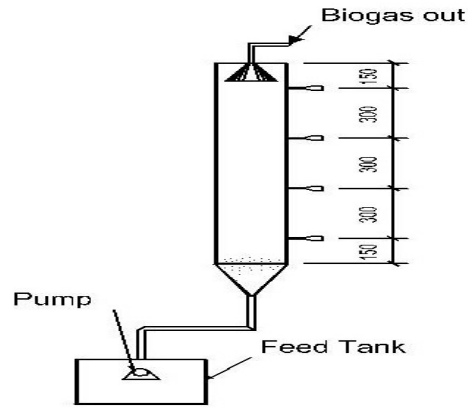
۲-۲- ساخت و راه‌اندازی راکتور UASB معمول و اصلاح شده

روش UASB یکی از مهمترین روش‌های بی‌هوازی بیولوژیکی در تصفیه انواع فاضلاب‌ها بخصوص فاضلاب‌های صنعتی است. علاوه بر این، برخلاف سیستم‌های هوازی مکانیکی، UASB نیاز به انرژی کمتری داشته و مقدار کمتری لجن تولید می‌نماید [۲۳]. در تحقیق حاضر از یک واحد راکتور بی‌هوازی با جریان رو به بالا به شکل مکعب مستطیل که قسمت پایین آن منشور شکل می‌باشد از جنس شیشه به ضخامت ۶ میلی‌متر، ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر و حجم ۴۸ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شده است. جهت نمونه‌گیری به فواصل ۳۰ سانتی‌متر بر روی بدنه راکتور شیرهای نمونه‌گیری قرار داده شده و دو بافل برای هدایت گاز در قسمت بالای راکتور با زاویه تقریبی ۴۵ درجه قرار گرفته است. جهت تشکیل بهتر پتو لجن ابری به ضخامت ۲ سانتی‌متر در قسمت بالای منشور و در زیر شیر نمونه‌گیری اول قرار داده شده و جهت هدایت فاضلاب به داخل راکتور از پمپ کولر استفاده شده است.

راکتور UASB اصلاح شده در تحقیق حاضر مشابه راکتور معمول همراه با افزودن یک مخزن ۲۰ لیتری به صورت کاملاً بی‌هوازی که در قسمتی بالاتر از راکتور قرار داده شده بود به عنوان سپتیک تانک و بکار بردن پتو لجن اضافی در قسمت زیر شیر نمونه‌گیری دوم مورد استفاده قرار گرفته است. ساختار راکتور UASB معمول و اصلاح



شکل ۲. ساختار راکتور UASB اصلاح شده مورد استفاده در تحقیق حاضر
Fig. 2. Modified UASB reactor structure used in the present study



شکل ۱. ساختار راکتور UASB معمول مورد استفاده در تحقیق حاضر
Fig. 1. The typical UASB reactor structure used in the present study



شکل ۳. نمای راکتورهای UASB مورد استفاده در تحقیق حاضر
Fig. 3. View of the UASB reactors used in the present study

و تکثیر یابند، با تجمع و انباشت این میکروارگانیسم‌ها لجن گرانوله تشکیل می‌شود [۲۶]. به طور کلی مطالعات گسترده‌ای بر روی عوامل تاثیرگذار در روند رشد گرانول‌ها انجام شده است و عواملی که در این مورد نقش دارند شامل شرایط عملیاتی، PH و قلیائیت، دما، قدرت و ترکیب فاضلاب، هیدرودینامیک راکتور، حضور یون‌های فلزی و باکتری‌های بی‌هوازی می‌باشند [۲۷-۲۹].

فرآیند تشکیل لجن گرانوله در تحقیق حاضر، در طی دوره دوم و سوم شکل گرفته است. در طی دوره دوم میکروارگانیسم‌ها به صورت معلق درآمد و در نهایت باعث بوجود آمدن پتو لجن شده‌اند. حضور عناصری مانند کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیکون و تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌های رشته ای (همچون متانوتریکس)، جداکننده فاز گاز، مایع و جامد در هاضم و حرکت سریع و رو به بالای مایعات نقش مهمی در تشکیل لجن گرانوله دارند، که شرایط هندسی دورن راکتور و مواد لازم شیر در طی دوره‌های تشکیل گرانول و پتو لجن و سپس انجام واکنش، PH نمونه برای جلوگیری از اسیدی شدن و از بین رفتن لجن اندازه‌گیری شده است. اندازه تقریبی لجن‌های گرانوله در طی مراحل تشکیل به وسیله

۵-۲- تشکیل لجن گرانول

لجن‌های گرانوله، انباشتی از میکروارگانیسم‌ها هستند که در طول زمان تصفیه، با نظم یکسان در محیط و جریان هیدرولیکی ثابت رو به بالا تشکیل شده‌اند. لجن‌های گرانوله تشکیل دهنده هسته اصلی فناوری UASB می‌باشند. در هر محیط انتخابی، چنانچه شرایطی ایجاد شود تا بدون حضور هیچ کمک‌کننده‌ای، فقط آن دسته از میکروارگانیسم‌ها که مقاوم و قادر به اتصال به یکدیگر بوده، رشد بوجود آمدن پتو لجن شده‌اند. حضور عناصری مانند کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیکون و تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌های رشته ای (همچون متانوتریکس)، جداکننده فاز گاز، مایع و جامد در هاضم و حرکت سریع و رو به بالای مایعات نقش مهمی در تشکیل لجن گرانوله دارند، که شرایط هندسی دورن راکتور و مواد لازم دورن شیر در طی دوره‌های تشکیل گرانول و پتو لجن و سپس انجام واکنش، PH نمونه برای جلوگیری از اسیدی شدن و از بین رفتن لجن اندازه‌گیری شده است. اندازه تقریبی لجن‌های گرانوله در طی مراحل تشکیل به وسیله

کاغذ صافی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

پتو لجن و بررسی اولیه راندمان حذف COD می‌باشد. میزان بارگذاری آلی طی دوره فوق از میزان $01/6 \text{ kgCOD/m}^3\cdot\text{day}$ به $7/6 \text{ kgCOD/m}^3\cdot\text{day}$ افزایش یافته و دمای راکتور در محدوده دمایی مزوفیلیک قرار داشته است.

در ادامه روند تشکیل گرانول، اندازه‌گیری در خصوص اندازه لجن گرانوله و میزان PH ادامه یافته است که روند تغییرات اندازه لجن گرانوله با افزایش نسبی نسبت به دوره قبل بوده است، اندازه گرانول‌ها تا انتهای دوره تحقیق در محدوده $1-6/5$ میلی‌متر می‌باشد. تغییرات PH نیز همانند دوره دوم در محدوده $8-7$ بوده است.

اندازه‌گیری COD با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل UV2100 پس از رسم منحنی کالیبراسیون انجام شده است. منحنی کالیبراسیون رسم شده در «شکل ۴» نشان داده شده است. پس از رسم منحنی کالیبراسیون برای بدست آوردن COD، میزان 2 میلی‌لیتر از هر نمونه که برای اندازه‌گیری برداشت شده است به همراه $1/5$ میلی‌لیتر هاضم و $3/5$ میلی‌لیتر کاتالیست به ویال منتقل شده است، سپس ویال‌ها به راکتور COD برای مدت زمان 2 ساعت و دمای 150 درجه سانتی‌گراد منتقل می‌شوند. پس از گذشت مدت زمان ذکر شده ویال‌ها پس از اینکه به اندازه کافی سرد شده (معمولا 2 ساعت در دمای محیط) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر میزان جذب نمونه قرائت می‌شود و بر اساس منحنی کالیبراسیون میزان غلظت COD بدست می‌آید.

میزان COD هر 5 روز یکبار در دوره سوم مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. راندمان حذف COD با توجه به افزایش بارگذاری آلی طی دوره سوم در «شکل ۵» و «شکل ۶» به ترتیب برای راکتور

۳- نتایج و بحث

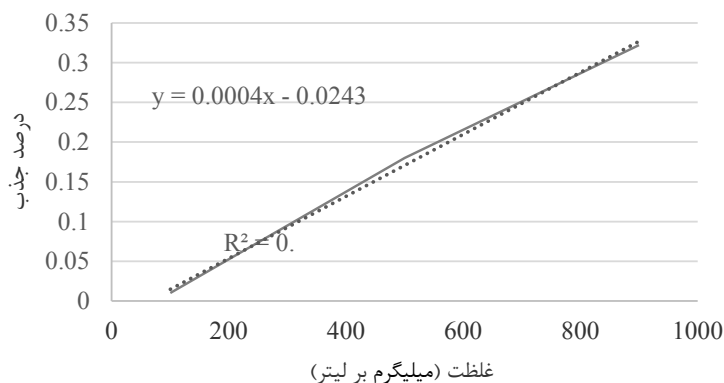
۳-۱- دوره اول و دوم در راکتور UASB معمول و اصلاح شده

دوره اول به مدت 30 روز شامل طراحی و ساخت راکتورها بوده است. دوره دوم به مدت 40 روز شامل راه‌اندازی و تشکیل گرانول می‌باشد. پس از تست‌های انجام شده جهت آب‌بندی و رسیدن به حالت پایا برای شروع به کار راکتورها، ابتدا تلقیح و سپس تغذیه راکتور با میزان $\text{kgCOD/m}^3\cdot\text{day}$ $2/5$ شروع شده و تا پایان دوره به میزان $01/6 \text{ kgCOD/m}^3\cdot\text{day}$ افزایش یافته است. دمای راکتور در طی دوره فوق در محدوده دمایی مزوفیلیک قرار داشته است. پس از گذشت چند روز از شروع بارگذاری تشکیل لجن گرانوله آغاز و بعد از گذشت 15 روز گرانول‌های شکل گرفته اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری گرانول‌ها هر 15 روز پس از اولین اندازه‌گیری ادامه یافته است. روند تغییرات اندازه لجن‌های گرانوله از روز 45 تا انتهای تحقیق انجام گرفته بین $1-6/5$ میلی‌متر بوده است.

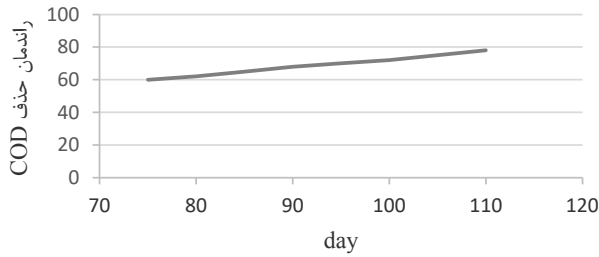
طی دوره دوم پس از گذشت 15 روز از شروع بارگذاری، میزان PH نمونه با استفاده از دستگاه PH متر پس از کالیبره نمودن دستگاه [۳۰] به منظور کنترل و بررسی جهت جلوگیری از اسیدی شدن لجن اندازه‌گیری شده است. تغییرات PH در محدوده 7 تا 8 بوده است، که روند تغییرات PH نشان‌دهنده تشکیل مناسب گرانول و انجام مناسب فرآیند در راکتور می‌باشد.

۳-۲- دوره سوم در راکتور UASB معمول و اصلاح شده

دوره سوم به مدت 40 روز شامل ادامه روند تشکیل لجن گرانوله،

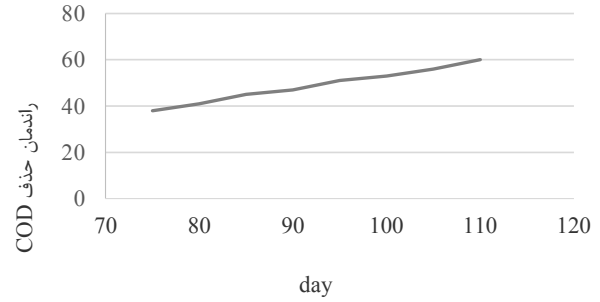


شکل ۴. منحنی کالیبراسیون
Fig. 4. Calibration curve



شکل ۶. راندمان حذف COD طی دوره سوم در راکتور UASB اصلاح شده

Fig. 6. Modified COD removal efficiency during the third period in the UASB reactor



شکل ۵. راندمان حذف COD طی دوره سوم در راکتور UASB معمول
Fig. 5. COD removal efficiency during the third period in the typical UASB reactor

است راندمان حذف COD کاهش یافته و این کاهش راندمان به دلیل تغییر دما رخ داده است. راکتور UASB در محدوده دمایی مزوفیلیک بهترین کارایی را داشته که این کاهش دما باعث کاهش راندمان شده است. راندمان حذف COD در راکتور UASB تحت بارگذاری‌های مختلف بستگی به مقدار مواد جامد معلق موجود در فاضلاب و درجه حرارت دارد [۳۲]. در مطالعه‌ای که توسط بانتر^۱ و همکاران انجام شده است، نتایج مشابه است به طوری که بیشترین راندمان حذف COD در محدوده دمایی تابستان نسبت به زمستان رخ داده است [۳۳]. در مطالعه‌ای دیگر توسط ژانگ و همکاران در بررسی تصفیه فاضلاب خانگی در راکتور UASB میزان راندمان حذف COD در طی عملیات در دمای ۲۰-۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد $60 \pm 4/6$ درصد و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، $51/5 \pm 5/5$ درصد می‌باشد که کاهش یافته است [۲۲].

با گذشت زمان از روز ۱۳۵ تا روز ۱۵۰ راندمان حذف COD که در محدوده دمایی سایکروفیلیک و بارگذاری $kgCOD/m^3 \cdot day$ ۱۱/۴۱ قرار داشته است، راندمان حذف COD ابتدا نسبت به روند کاهشی طی روزهای قبل، ادامه یافته و با توجه به افزایش بارگذاری، کاهش راندمان به دلیل کاهش دما رخ داده است. طی روزهای ۱۴۰ تا ۱۵۰ بعد از تطبیق یافتن گرانول‌های موجود در راکتور با شرایط دمایی جدید افزایش راندمان رخ داده و راندمان حذف COD با روند مناسبی افزایش یافته است. راندمان در راکتور معمول ۶۱-۷۵ درصد و در راکتور اصلاح شده ۸۰-۹۴ درصد می‌باشد.

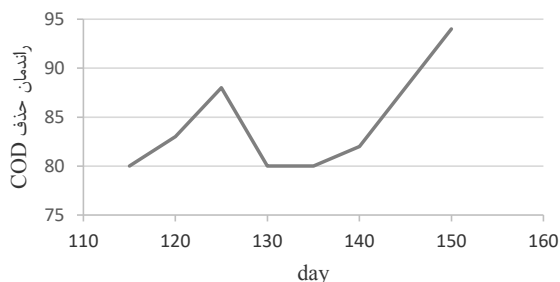
۳-۴- مقایسه راندمان خروجی در راکتور UASB معمول نسبت به راکتور UASB اصلاح شده

طی دوره دوم تا چهارم تغییر فاحشی در روند اندازه گرانول و

معمول و اصلاح شده قابل مشاهده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود راندمان حذف COD با گذشت زمان از روز ۷۵ به بعد با روند مناسبی افزایش یافته است. با توجه به اینکه دما در دوره فوق در محدوده مزوفیلیک قرار داشته است دارای راندمان مناسب ۳۸-۶۰ درصد در راکتور UASB معمول و ۶۰-۷۸ درصد در راکتور UASB اصلاح شده می‌باشد. افزایش میزان بارگذاری و ماده غذایی در راکتور UASB به مرور موجب افزایش راندمان حذف COD و روند صعودی در نمودار می‌شود [۳۱].

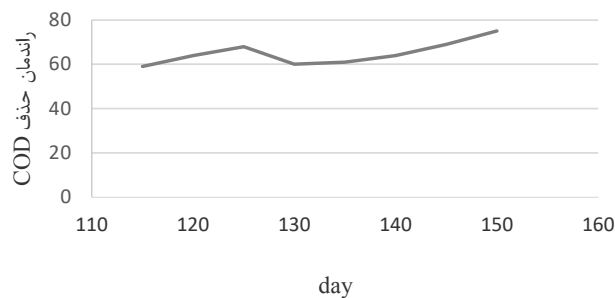
۳-۳- دوره چهارم در راکتور UASB معمول و اصلاح شده

دوره چهارم به مدت ۴۴ روز شامل ادامه روند اندازه‌گیری لجن گرانوله، PH و بررسی راندمان حذف COD می‌باشد. در طی دوره فوق میزان بارگذاری آلی از مقدار $76/8 kgCOD/m^3 \cdot day$ تا $41/11 m^3 \cdot day$ افزایش یافته است. دمای راکتور در طی دوره چهارم در محدوده دمایی مزوفیلیک و سایکروفیلیک قرار داشته است. راندمان حذف COD با توجه به افزایش بارگذاری آلی طی دوره چهارم در محدوده دمایی مزوفیلیک و سایکروفیلیک در «شکل ۷» و «شکل ۸» به ترتیب برای راکتور معمول و اصلاح شده قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود راندمان حذف COD با گذشت زمان از روز ۱۱۵ تا روز ۱۳۰ که در محدوده دمایی مزوفیلیک و سایکروفیلیک و بارگذاری $8/76 kgCOD/m^3 \cdot day$ قرار داشته است، دارای روند مناسب افزایشی طی روزهای ۱۱۵ تا ۱۲۵ می‌باشد که در محدوده دمایی مزوفیلیک قرار داشته است. با توجه به قرار گرفتن در محدوده دمایی مزوفیلیک دارای راندمان مناسب ۵۹-۶۸ درصد در راکتور معمول و ۸۰-۸۸ درصد در راکتور اصلاح شده می‌باشد. ولی در روز ۱۳۰ که هر دو راکتور در محدوده دمایی سایکروفیلیک قرار گرفته



شکل ۸. راندمان حذف COD طی دوره چهارم در راکتور UASB اصلاح شده

Fig. 8. Modified COD removal efficiency during the fourth period in the UASB reactor



شکل ۷. راندمان حذف COD طی دوره چهارم در راکتور UASB معمول
Fig. 7. COD removal efficiency during the fourth period in a typical UASB reactor

داشته است.

۲) راندمان حذف COD از پساب صنایع لبنی با استفاده از راکتور UASB معمول ۷۵ درصد و با استفاده از راکتور UASB اصلاح شده ۹۴ درصد می‌باشد.

۳) استفاده از راکتور UASB اصلاح شده نسبت به راکتور معمول جهت تصفیه پساب صنایع لبنی باعث افزایش راندمان بین ۱۸-۲۲ درصد شده است.

۴) روند تغییرات اندازه لجن‌های گرانوله از روز ۴۵ تا انتهای تحقیق انجام گرفته بین ۶/۵-۱ میلی‌متر بوده است.

۵) تغییرات PH در تحقیق حاضر در محدوده ۷ تا ۸ بوده است. روند تغییرات PH نشان‌دهنده تشکیل مناسب گرانول و انجام مناسب فرآیند در راکتور می‌باشد.

۶) به دلیل تغییرات دمایی بوجود آمده و تغییر از محدوده دمایی مزوفیلیک به سایکروفیلیک ابتدا کاهش راندمان رخ داده و سپس بعد از تطبیق یافتن لجن گرانوله با شرایط دمایی، افزایش راندمان بصورت یکنواخت ادامه یافته است.

فهرست علائم

gr COD/m³.day گرم اکسیژن خواهی شیمیایی بر مترمکعب روز
PH کمیت تعیین اسیدی یا بازی بودن مواد
Kg COD/m³.day کیلوگرم اکسیژن خواهی شیمیایی بر مترمکعب روز

منابع و مراجع

[1] A.H. Javid, A.H. Hasani, S. Gahvarband, Quality and quantity of wastewater from food industry and its effect

میزان PH در دو راکتور نسبت به یکدیگر رخ نداده است. با بررسی راندمان حذف COD طی دوره سوم و چهارم، نتایج نشان می‌دهد که اصلاحات انجام شده در راکتور دوم باعث افزایش درصد راندمان حذف بین ۱۸-۲۲ درصد طی دوره سوم و ۱۸-۲۱ درصد طی دوره چهارم شده است. با توجه به اینکه استفاده از سپتیک تانک موجب یکنواخت سازی جریان و ته‌نشینی مواد معلق می‌شود نتایج بدست آمده گویای مطلب فوق می‌باشد.

در مطالعه‌ای که توسط بانتر و همکاران انجام شده است، نتایج مشابه است بدین ترتیب که راندمان حذف COD با استفاده از راکتور UASB به تنهایی بین ۶۶/۷-۸۸/۲ درصد بوده و در استفاده همزمان از راکتور UASB و MBR راندمان حذف به ۹۹ درصد می‌رسد [۳۳]. در مطالعه‌ای دیگر که توسط سالامون و همکاران انجام شده است راندمان حذف COD در راکتور UASB اصلاح شده و معمول به ترتیب ۹۳ و ۹۱ درصد بوده و تغییر زیادی در راکتور اصلاح شده نسبت به حالت معمول رخ نداده است [۱۷].

۴- نتیجه‌گیری

همواره توسعه جوامع بشری و رشد صنعت و فناوری، مشکلات زیست محیطی را به دنبال داشته است. صنایع لبنی یکی از صنایع با بار آلودگی بالا محسوب می‌شود که در تحقیق حاضر از راکتور UASB معمول و اصلاح شده برای تصفیه فاضلاب صنایع فوق استفاده شده است.

یافته‌های این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱) تحمل بار آلی در راکتورهای UASB برای پساب صنایع مختلف متفاوت است. کاربرد بار آلی ۵/۲-۱۱/۴ kgCOD/m³.day در تحقیق حاضر برای پساب‌های صنایع لبنی کارایی مطلوبی به همراه

- of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques, *Water Resour Ind*, 4 (2013) 1-12.
- [12] S.J. Rad, M.J. Lewis, Water utilisation, energy utilisation and waste water management in the dairy industry: A review, *International Journal of Dairy Technology*, 67(1) (2014) 1-20.
- [13] S. Frogzadeha, Promote active sludge systems using the UASB method and install membrane unit at low temperatures, Khajeh Naseeriddin Tusi, Tehran, 2013.
- [14] Z.A. Bhatti, F. Maqbool, A.H. Malik, Q. Mehmood, UASB reactor startup for the treatment of municipal wastewater followed by advanced oxidation process *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31 (2014).
- [15] A.P. Rosa, C.A.L. Chernicharo, L.C.S. Lobato, R.V. Silva, R.F. Padilha, J.M. Borges, Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant *Renewable Energy* 124 (2018) 21-26.
- [16] N. Nasirpour, Using the combination of anaerobic bioreactors and a biofilm filler bed in the treatment of oil refinery wastewater, *Tarbiat Modarres*, Tehran, 2012.
- [17] Cruz-Salomón, R. Meza-Gordillo, A. Rosales-Quintero, C. Ventura-Canseco, S. Lagunas-Rivera, J. Carrasco-Cervantes, Biogas production from a native beverage vinasse using a modified UASB bioreactor, *Fuel*, 198 (2016) 170-174.
- [18] L. Petta, S.D. Gisi, P. Casella, R. Farina, M. Notarnicola, Evaluation of the treatability of a winery distillery (vinasse) wastewater by UASB, anoxic-aerobic UF-MBR and chemical precipitation/adsorption, *Environmental Management*, 201 (2017) 177-189.
- [19] B. Kamyab, An Investigation of the Anaerobic digestion process of potato waste in a mixed-UASB two-stage system, *Industrial Esfahan*, Esfahan, 2012.
- [20] W. Niu, J. Guo, J. Lian, H.H. Ngo, H. Li, Y. Song, H. Li, P. Yin, Effect of fluctuating hydraulic retention time (HRT) on denitrification in the UASB reactors, *Biochemical Engineering Journal* 132 (2018) 29-37.
- [21] H. Li, K. Han, Z. Li, J. Zhang, H. Li, Y. Huang, L. Shen, Q. Li, Y. Wang, Performance, granule conductivity and on performance of wastewater treatment system (Case study: Minoo-Khoramdareh factory). *Environmental science and technology*, 17(1) (2015) 37-47.
- [2] R. Bagheri, S. Sobhanardakani, B. Lorestani, Selection of the best wastewater treatment alternative for HDPE unit of petrochemical research and technology Company-Arak center based on the analytical hierarchy process Iran, *Health & Environ*, 3(10) (2017).
- [3] D.S. Verma, A. Pateriya, Supplier Selection through Analytical Hierarchy Process: A Case Study in Small Scale Manufacturing Organization, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(5) (2013) 1428-1433.
- [4] W.D.M.C. Perera, N.J.G.J. Bandara, M. Jayaweera, Treatment of Landfill Leachate using Sequencing Batch Reactor, *Tropical Forestry and Environ*, 4(2) (2104) 82-90.
- [5] Metcalf, Eddy, sewage engineering, University Press Publication Center, Tehran, 2006.
- [6] M. Esparza-Soto, O. Arzate-Archundia, C. Solís-Morelos, C. Fall, Treatment of a chocolate industry wastewater in a pilot-scale low-temperature UASB reactor operated at short hydraulic and sludge retention time, *water science & technology*, 67 (2013) 1353-1361.
- [7] A.A. Khan, R.Z. Gaur, V.K. Tyagi, A. Khursheed, B. Lew, I. Mehrotra, A.A. Kazmi, Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(12) (2011) 1232-1251.
- [8] A.v. Haandel, J.v.d. Lubbe, *Handbook of Biological Wastewater Treatment*, IWA Publishing, 2012.
- [9] A.A. Chatzipaschali, A.G. Stamatis, Biotechnological Utilization with a Focus on Anaerobic Treatment of Cheese Whey: Current Status and Prospects, *Energies* 5(9) (2012) 3492-3525.
- [10] V. Perna, E. Castelló, J. Wenzel, C. Zampol, D.M.F. Lima, L. Borzacconi, M.B. Varesche, M. Zaiat, C. Etchebehere, Hydrogen production in an upflow anaerobic packed bed reactor used to treat cheese whey, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(1) (2013) 54-62.
- [11] A.V. Qasim, A.V. Mane, Characterization and treatment

- [28] I. SB, d.L.P. CJ, T. H, v.L. JB, Extracellular polymeric substances (EPS) in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors operated under high salinity conditions, *Water Research*, 44 (2010) 1909-1917.
- [29] BNuntakumjorn, W. Khumsalud, N. Vetsavas, T. Sujjaviriyasup, C. Phalakornkule, Comparison of sludge granule and UASB performance by adding chitosan in different forms, *Chiang Mai Journal of Science* 35 (2008) 95-102.
- [30] M. Rezaei, Medical Equipment Office, in, Fars University of Medical Sciences and Health Services, 2013.
- [31] C. Rico, N. Muñoz, J. Fernández, J.L. Rico, High-load anaerobic co-digestion of cheese whey and liquid fraction of dairy manure in a one-stage UASB process: Limits in co-substrates ratio and organic loading rate *Chemical Engineering Journal* 262 (2015) 794-802.
- [32] R.A. Hamza, O.T. Iorhemen, J.H. Tay, Advances in biological systems for the treatment of high-strength wastewater *Journal of Water Process Engineering* 10 (2016) 128-142.
- [33] D. Buntner, A. Sánchez, J.M. Garrido, Feasibility of combined UASB and MBR system in dairy wastewater treatment at ambient temperatures *Chemical Engineering Journal* 230 (2013) 475-481.
- microbial community analysis of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors from mesophilic to thermophilic operation, *Biochemical Engineering Journal* 133 (2018) 59-65.
- [22] L. Zhang, J.D. Vrieze, T.L.G. Hendrickx, W. Wei, H. Temmink, H. Rijnaarts, G. Zeeman, Anaerobic treatment of raw domestic wastewater in a UASB-digester at 10 °C and microbial community dynamics *Chemical Engineering Journal* 334 (2018) 2088-2097.
- [23] R.R. Comez, Upflow anaerobic sludge blanket reactor: modelling, Royal institute of technology, (2011).
- [24] P. Boonsawang, S. Laeh, N. Intrasungkha, Enhancement of sludge granulation in anaerobic treatment of concentrated latex wastewater, *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 30 (2008) 111-119.
- [25] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Am Pub Health Associat, Washington, 2005.
- [26] B. Ritman, M. Parallel, Environmental Biotechnology: Basics and Applications, Scientific publication of Sharif University of Technology, Tehran, 2006.
- [27] P. Bhunia, M.M. Ghangrekar, Influence of biogas-induced mixing on granulation in UASB reactors, *Biochemical Engineering Journal* 41 (2008) 136-141.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Rahmani, M. Yeganeh Mirza Aliloo, M.R. Doosti, M.J. Zogid, Comparison of normal and modified UASB reactors for dairy wastewater treatment, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(10) (2021) 2583-2592.

DOI: 10.22060/ceej.2019.15695.6004



