

اثر بار آلی در تصفیه فاضلاب حاوی شیر به روش راکتور ناپیوسته متوالی

سید حسین هاشمی^۲

سید محمدرضا علوی مقدم^۲

هومن حاجی آبادی^۱

(دریافت ۸۶/۹/۱۷ پذیرش ۸۸/۲/۳)

چکیده

در این تحقیق چهار راکتور ناپیوسته متوالی با شرایط عملیاتی یکسان برای تصفیه فاضلاب شیر با بار آلودگی مختلف به صورت هوازی مورد بررسی قرار گرفت. راکتورها به شکل استوانه‌ای از جنس پلکسی گلاس بودند که به مدت ۵۶ روز (۲۱ روز سازگاری لجن و ۳۵ روز ثبت نتایج) مورد بررسی قرار گرفتند. حجم مفید راکتورها ۵/۵ لیتر، دبی فاضلاب ورودی ۳/۵ لیتر و زمان ماند لجن ۱۰ روز بود. متوسط بازدهی حذف COD برای راکتورهای R₁، R₂، R₃ و R₄ با متوسط بار آلی ورودی ۶۳۳، ۹۲۹، ۱۹۱۵ و ۳۲۶۱ گرم COD بر مترمکعب در روز به ترتیب برابر ۹۵، ۹۶، ۹۵ و ۸۲ درصد به دست آمد. در همه راکتورها میزان کدورت، مطابق استاندارد آیین نامه محیط زیست ایران یعنی ۵۰ NTU بود و فقط در راکتور R₄ این مقدار به ۲۷۰ NTU رسید. به علاوه، متوسط شاخص حجمی لجن برای راکتورهای R₁، R₂ و R₃ کمتر از ۶۷ میلی لیتر در هر گرم مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده روند کلی تغییرات بازدهی COD در مقابل بار آلی ورودی، یک نرخ نزولی با ضریب همبستگی (R²) ۰/۸ را نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی، فاضلاب شیر، بار آلی بالا، تصفیه بیولوژیکی.

The Effect of Organic Loading Rate on Milk Wastewater Treatment Using Sequencing Batch Reactor (SBR)

Hooman Hajiabadi¹

Seyed Mohammadreza Alavi Moghadam²

Seyed Hossein Hashemi²

(Received Dec. 8, 2007 Accepted Apr. 23, 2009)

Abstract

In this study, four aerobic sequencing batch reactors (SBRs) were operated under the same conditions for the treatment of milk wastewater at different organic loading rates (OLRs). Cylindrical Plexiglas reactors were run for 56 days (including 21 days of acclimatization and 35 days of data gathering). Effective volume, influent wastewater flowrate, and sludge retention time (SRT) of reactors were 5.5 L, 3.5 L/d, and 10 d, respectively. The average COD removal efficiency for the reactors R₁, R₂, R₃, and R₄ with influent OLR_{ave} values of 633, 929, 1915, and 3261 gCOD/m³d were 95, 96, 95, and 82 percent, respectively. The average effluent suspended solid (SS) for all reactors was lower than 44 mg/L. Also, except for R₄ with an average effluent turbidity of 270 NTU, other reactors met the Iranian wastewater emission standard (50 NTU). In addition, the average sludge volume index of reactors R₁ to R₃ was found to be lower than 67 mL/g. According to the results, the overall variation of COD removal efficiency versus influent OLR shows a decreasing rate with a correlation factor of 0.8 (R²).

Keywords: Sequencing Batch Reactor, Milk Wastewater, High Organic Load, Biological Treatment.

1. M.Sc., Dept. of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran
2. Assist. Prof., Dept. of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 64543008 alavi@aut.ac.ir
3. Assist. Prof., Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (نویسنده مسئول) ۰۲۱) ۶۴۵۴۳۰۰۸ alavi@aut.ac.ir
- ۳- استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۴۶ سانتی متر مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). حجم مفید راکتورها ۵/۵ لیتر و دبی فاضلاب ورودی به راکتور ۳/۵ لیتر در روز بود. برای هوادهی در هر یک از راکتورها از یک پمپ هوای آکواریوم و یک سنگ هوای حلقوی شکل استفاده شد. سیکل عملیاتی راکتورها به صورت ۲۴ ساعته، شامل ۲ دقیقه برای پرکردن (فاز پرکردن)، ۲۲/۵ ساعت هوادهی (فاز واکنش)، ۱ ساعت ته نشینی (فاز ته نشینی)، ۲ دقیقه برای تخلیه (فاز تخلیه) و حدود ۲۵ دقیقه به عنوان مرحله سکون (فاز سکون) تنظیم گردید. رفتار راکتورها به مدت ۵۶ روز (شامل ۲۱ روز برای سازگاری لجن و ۳۵ روز برای عملیات و ثبت اطلاعات) تحت بارهای آلی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شرایط عملیاتی راکتورها از نظر غلظت اکسیژن محلول^۷، دما، زمان های سیکل تصفیه، زمان ماند لجن و زمان ماند هیدرولیکی کاملاً یکسان بوده و فقط بار آلی ورودی (با تنظیم غلظت COD ورودی) متغیر بود.



شکل ۱- نمایی از راکتورهای SBR استفاده شده در این تحقیق

۲-۲- مواد شیمیایی و دستگاههای آزمایشگاهی

مواد مورد استفاده در این تحقیق، برای تهیه محلولهای اندازه گیری COD، تنظیم نسبت COD/N/P بهینه معادل ۱۰۰/۵/۱، ساخت فاضلاب شیر و شارژ دستگاه pH متر در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، برخی دستگاههای استفاده شده در این آزمایشها برای اندازه گیری COD، TSS، کدورت، MLSS و تغییرات غلظت بخش آلی لجن داخل راکتور^۸ در جدول ۲ آورده شده است.

۲-۳- فاضلاب شیر

فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق به صورت مصنوعی و با استفاده از شیر خشک شیرینی پزی ساخته شد و برای تنظیم نسبت COD/N/P بهینه معادل ۱۰۰/۵/۱، از اوره با فرمول

^۷ Dissolved Oxygen (DO)

^۸ Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)

صنایع تولید شیر پاستوریزه و سایر فراورده های لبنی در سالهای اخیر در ایران بسیار توسعه یافته اند، به طوری که هم اکنون تعداد ۲۲۳ واحد تولید شیر با تولیدی بالغ بر ۲،۶۴۶،۰۰۰ تن شیر پاستوریزه در سال در کشور مشغول به فعالیت می باشند [۱]. فاضلاب این صنایع به دلیل تنوع محصولاتی نظیر شیر، ماست، دوغ، پنیر، خامه و فصلی بودن فعالیت آنها، علاوه بر نوسان شدید بار آلودگی، حاوی انواع مختلفی از آلاینده های آلی (کربنه، نیتروژنه و فسفره) می باشد [۲ و ۳]. یکی از مشخصه های فاضلاب صنایع شیر، بار آلی بالایی است که میزان آن بین ۵۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ گرم COD بر مترمکعب در روز متغیر است [۳، ۴ و ۵]. در حال حاضر برای تصفیه فاضلاب صنایع شیر از روشهای مختلفی نظیر سیستم لجن فعال، فیلتر چکنده، دیسک های بیولوژیکی چرخان، لاگون هوادهی و هضم بی هوازی استفاده می شود [۶].

یکی از روشهای توسعه یافته لجن فعال، سیستم راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی^۱ است. از مهم ترین ویژگی های این سیستم می توان به هزینه اندک ساخت، انعطاف پذیری بالا در عملیات تصفیه و نیاز به فضای کم و محدود اشاره کرد [۷]. در مقابل، تولید لجن اضافه زیاد و بالا بودن نسبی شاخص حجمی لجن^۲ از معایب این سیستم به شمار می روند [۸ و ۹].

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه تصفیه فاضلاب صنایع شیر به روش SBR انجام شده است [۴، ۵، ۱۰ و ۱۱]. با این وجود، تحقیقات اندکی در زمینه اثر بار آلی ورودی، بر تصفیه پذیری این نوع فاضلاب صورت گرفته است. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، مقایسه تصفیه پذیری فاضلاب صنایع شیر با بارهای آلودگی^۳ مختلف با استفاده از سیستم SBR هوازی بود. در این راستا، رفتار این سیستم از نظر بازدهی حذف COD، تغییرات غلظت لجن داخل راکتور^۴، شاخص حجمی لجن و کیفیت پساب خروجی به لحاظ مواد معلق^۵ و کدورت خروجی آن مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی

در این تحقیق، چهار راکتور استوانه ای شکل از جنس پلکسی در گلاس^۶ به قطر داخلی ۱۴ سانتی متر، ضخامت ۵ میلی متر و ارتفاع

^۱ Sequencing Batch Reactor (SBR)

^۲ Sludge Volume Index (SVI)

^۳ Organic Loading Rate (OLR)

^۴ Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)

^۵ Total Suspended Solid (TSS)

^۶ Plexiglas

جدول ۱- مواد شیمیایی به کار رفته در این تحقیق

ماده	فرمول شیمیایی	مورد استفاده
اسید سولفوریک	H ₂ SO ₄	تهیه محلولهای اسیدی و هاضم در آزمایش COD
سولفات جیوه	HgSO ₄	تهیه محلول اسیدی در آزمایش COD
سولفات نقره	Ag ₂ SO ₄	تهیه محلول هاضم در آزمایش COD
دی کرمات پتاسیم	K ₂ Cr ₂ O ₇	تهیه محلول هاضم در آزمایش COD
اوره	CO(NH ₂) ₂	تنظیم میزان نیتروژن فاضلاب
هیدروژن فسفات پتاسیم	K ₂ HPO ₄	تنظیم میزان فسفر فاضلاب
دی هیدروژن فسفات پتاسیم	KH ₂ PO ₄	تنظیم میزان فسفر فاضلاب
شیر خشک شیرینی پزی	-----	تهیه فاضلاب شیر
کلرید پتاسیم	KCl	شارژ دستگاه pH متر

جدول ۲- دستگاههای استفاده شده در این تحقیق

پارامتر	دستگاههای اندازه گیری
COD	اسپکتروفوتومتر، مدل DR/4000 محصول شرکت HACH- آون COD
کدورت	کدورت سنج ^۲ مدل ۲۱۰۰N، محصول شرکت HACH
TSS	فیلتر مدل Schuell Rundfilter 589/3، آون مدل Memmert، ترازو مدل KERN 770
MLSS	فیلتر مدل Schuell Rundfilter 589/1، آون مدل Memmert، ترازو مدل KERN 770
MLVSS	فیلتر مدل Schuell Rundfilter 589/1، آون مدل Memmert، ترازو مدل KERN 770 - کوره ایران خودساز
اکسیژن محلول	DO متر ساخت کارخانه WTW آلمان مدل 340i/Oxi
pH	pH متر ساخت کارخانه WTW آلمان مدل 340i/SET

جدول ۳- ترکیب مواد مغذی ورودی به راکتورها

راکتور	COD ورودی (mg/L)	بار آلی ورودی (gCOD/m ³ .d)	محلول اوره (mg/L)	محلول K ₂ HPO ₄ (mg/L)	محلول KH ₂ PO ₄ (mg/L)
R ₁	۹۹۴±۳۲	۶۳۳±۲۵	۱۱۰	۲۹	۲۶
R _۲	۱۴۵۹±۳۰	۹۲۹±۱۹	۱۶۵	۴۳	۳۹
R _۳	۳۰۰۹±۱۴۳	۱۹۱۵±۹۱	۳۳۰	۸۶	۷۷
R _۴	۵۰۶۲±۸۷۹	۳۲۶۱±۵۷۳	۶۶۰	۱۷۲	۱۵۴

از آن برای ثبت داده‌ها، عملیات تصفیه به مدت ۳۵ روز ادامه پیدا کرد.

۲-۵- روش آزمایش

تمامی آزمایش‌های این تحقیق مطابق روشهای استاندارد به شرح زیر انجام شد: COD محلول از روش رفلکس بسته از نوع رنگ‌سنجی کد 5220D^۱، MLSS و MLVSS از روش تعیین مقدار مواد جامد کل، ثابت و فرار در نمونه‌های جامد و نیمه جامد کد 2540C^۲؛ همچنین مقدار مواد جامد معلق روش

شیمیایی CO(NH₂)₂ به عنوان منبع نیتروژن و K₂HPO₄ و KH₂PO₄ به عنوان منبع فسفر استفاده گردید [۱۲]. ترکیب مواد مغذی ورودی به راکتورها در جدول ۳ ارائه شده است.

۲-۴- لجن و سازگاری با فاضلاب

لجن اولیه برای شروع فرایند تصفیه، از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری زرگنده (واقع در شهر تهران) تهیه شد. این لجن در ابتدا به مدت ۲۱ روز برای سازگاری با فاضلاب و رسیدن به بار آلی مورد نظر، به صورت هوازی مورد استفاده قرار گرفت. راکتورها در دو روز اول با COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تغذیه شدند و سپس تا زمان رسیدن هر کدام به بار آلی مورد نظر، COD ورودی به راکتورها هر دو روز یک‌بار به میزان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. پس

¹ 5220D, Closed Reflux, Colorimetric Method

² 2540 G Total, Fixed and Volatile Solids in Solid and Semsolid Samples

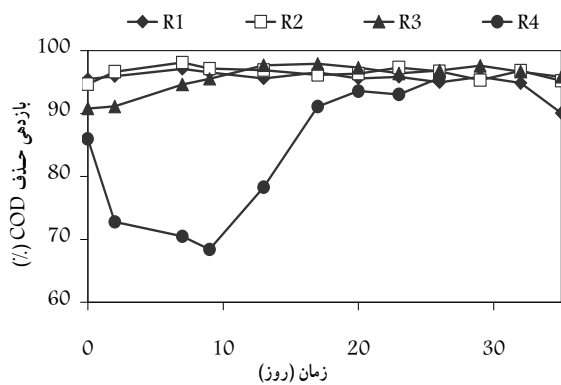
جدول ۴- کیفیت خروجی و بازدهی حذف در سیستم SBR هوازی تحت بارهای آلی مختلف

کدورت خروجی (NTU)	TSS خروجی (mg/L)	COD		زمان ماند هیدرولیکی (روز)	بار آلی ورودی (gCOD/m ³ .d)	راکتور
		غلظت خروجی (mg/L)	بازدهی حذف (درصد)			
۴±۱	۱۸±۵۲	۴۶±۱۷	۹۵±۲	۱/۵۷	۶۳۳±۲۵	R _۱
۴±۲	۱۷±۵۴	۵۲±۱۴	۹۶±۱	۱/۵۷	۹۲۹±۱۹	R _۲
۲۶±۲۹	۲۵±۴۹	۱۴۳±۸۶	۹۵±۳	۱/۵۷	۱۹۱۵±۹۱	R _۳
۲۷۰±۳۸۷	۴۴±۴۹	۹۷۵±۶۷۶	۸۲±۱۰	۱/۵۷	۳۲۶۱±۵۷۳	*R _۴

*بروز حجیم شدن لجن و کف شدید در راکتور R_۴ بر خصوصیات لجن، عمر لجن و زمان ماند هیدرولیکی تاثیر گذاشت (اعداد مربوط به این راکتور برای ۲۶ روز محاسبه شده است).

۳-۱-۱- بازدهی حذف COD

بنابر نتایج به دست آمده، راکتورهای R_۲ و R_۴ به ترتیب با ۸۲ و ۹۶ درصد، کمترین و بیشترین مقدار متوسط بازدهی حذف COD را دارا بودند. همچنین بیشترین و کمترین نوسان کیفیت پساب خروجی، به ترتیب در راکتور R_۴ (با انحراف معیار ۱۰ درصد در حذف COD) و راکتور R_۲ (با انحراف معیار ۱ درصد) مشاهده شد. در تحقیق انجام شده توسط سیریانونتاپیبون و همکاران^۶ در تصفیه فاضلاب شیر، بازدهی حذف COD چهار سیستم هوازی SBR با بار آلی ورودی ۵۰۰، ۶۸۰، ۱۰۰۰ و ۱۳۴۰ گرم BOD در متر مکعب در روز به ترتیب برابر ۹۸، ۹۷، ۹۳ و ۸۷ درصد گزارش شده است [۵]. در هر دو تحقیق، بازدهی حذف COD با افزایش بار آلی ورودی کاهش یافته است. در مجموع بر اساس مشاهدات ۳۵ روزه، بازدهی حذف COD در راکتورهای R_۱، R_۲ و R_۳ تثبیت شد، در حالیکه در راکتور R_۴ نوسان زیادی داشت که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- بازدهی حذف COD در راکتورها

در این پژوهش علاوه بر COD ورودی و خروجی، تغییرات COD در فاز هوازی نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مربوط به آن در شکل ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که داده‌های یاد شده

تعیین مقدار کل مواد جامد معلق کد 2540D^۱، کدورت از روش نفلومتری کد 2130B^۲؛ اکسیژن محلول از روش الکتروغشایی کد 4500-O G^۳ و بالاخره pH از روش الکترومتری کد 4500H+B^۴ [۱۳]. نمونه‌های برداشتی از راکتور برای انجام آزمایش‌های مربوط به لجن یعنی MLSS، MLVSS و SVI، در حالت اختلاط کامل و از پایین‌ترین شیر برداشته شد، در حالی‌که به منظور انجام آزمایش‌های مربوط به پساب خروجی یعنی COD، TSS و کدورت، نمونه برداری پس از ته‌نشینی راکتورها و از بالاترین شیر انجام شد.

۳- نتایج

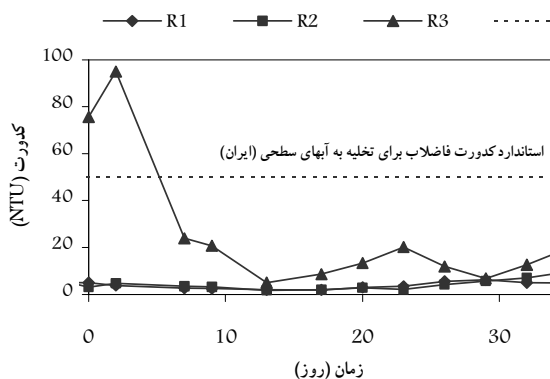
بر اساس نتایج به دست آمده، راکتورهای R_۱، R_۲ و R_۳ چه از نظر کیفیت پساب خروجی و چه به لحاظ خصوصیات لجن داخل راکتور در انتهای دوره (سیکل ۳۵) به حالت پایدار رسیدند، در حالی‌که راکتور R_۴ با متوسط بار آلی برابر ۳۲۶۱ g COD/m³.d همواره غیر متعادل بوده به گونه‌ای که نوسان قابل ملاحظه‌ای در COD، کدورت و مواد معلق پساب خروجی آن مشاهده شد. از طرف دیگر، راکتور R_۴ از روز پانزدهم سازگاری تا آخرین روز عملیات خود (سیکل ۲۶) با مشکل حجیم شدن لجن یا بالکینگ^۵ مواجه بود. شرایط عملیاتی این راکتور با بروز حجیم شدن لجن و کف شدید در بیست و ششمین روز عملیات به طور کامل تغییر یافت، به طوری‌که خروج پساب از آن امکان پذیر نبود.

۳-۱- بازدهی سیستم

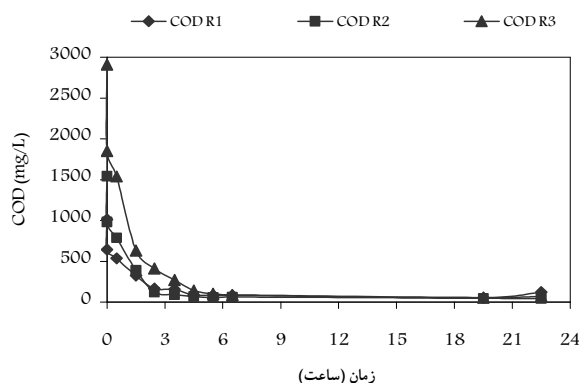
مقادیر میانگین بازدهی راکتورها و پارامترهای مربوط به کیفیت خروجی (شامل TSS و کدورت خروجی) در طی ۳۵ روز به جز راکتور R_۴ در جدول ۴ نشان داده شده است.

^۱ 254D Total Suspended Solids Dried at 103~105°C
^۲ 2130B. Nephelometric Method
^۳ 4500-O G. Membrane Electrode Method
^۴ 4500 H+B. Electrometric Method
^۵ Bulking

^۶ Sirianuntapiboon et al.



شکل ۴- کدورت خروجی راکتورها



شکل ۳- تغییرات COD محلول در طول فاز هوادهی

آیین نامه محیط زیست ایران یعنی 50 NTU تجاوز نکرد [۱۴]. شکل ۴ مقدار کدورت خروجی از راکتورها را در دوره ۳۵ روزه نشان می‌دهد. در این شکل، راکتور R_4 به دلیل بالا بودن مقادیر کدورت خروجی در طی ۲۶ روز عملیات منظور نشده است.

۳-۲- ویژگی‌های لجن

ویژگی‌های لجن بیولوژیکی در راکتورهای هوازی تحت بارهای آلی مختلف در جدول ۵ به صورت خلاصه ارائه شده است. کلیه این داده‌ها بر اساس میانگین زمان عملکرد آنها یعنی ۳۵ روز برای راکتورهای R_1 تا R_3 و ۲۶ روز برای راکتور R_4 است.

۳-۲-۱- غلظت لجن (MLSS)

با توجه به جدول ۵، متوسط مقدار MLSS در راکتورها تا بار آلی $1915 \text{ gCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ به میزان 2808 میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. همچنین بر اساس مشاهدات ۳۵ روزه، غلظت لجن در راکتورهای R_1 تا R_3 در انتهای دوره به حالت پایدار رسید ولی در راکتور R_4 در دوره ۲۶ روزه، تحت تأثیر بالکینگ و کف تولیدی، هیچ‌گاه به حالت ثبات دست نیافت (شکل ۵).

مربوط به روز سی و پنجم (سیکل ۳۵) می‌باشد. بر این اساس، راکتورهای R_1 ، R_2 و R_3 به ترتیب در $2/5$ ، $4/5$ و $6/5$ ساعت بعد از شروع سیکل تصفیه به بیشینه بازدهی رسیدند و پس از آن غلظت COD داخل راکتور ثابت ماند. نتایج تحقیق انجام شده توسط علوی مقدم و همکاران نیز نشان می‌دهد که راکتورها در ۴ ساعت اول به حداکثر بازدهی خود رسیده‌اند و پس از آن ادامه هوادهی تأثیری در افزایش بازدهی نداشته و تنها صرف هضم غذای میکروارگانیسم‌ها شده است [۱۱].

۳-۱-۲- مواد جامد معلق (TSS) و کدورت خروجی

مواد جامد معلق و کدورت خروجی راکتورها به عنوان دو شاخص مهم کیفی در تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده کمترین و بیشترین مقدار متوسط TSS خروجی به ترتیب 17 میلی‌گرم در لیتر در راکتور R_2 و 44 میلی‌گرم در لیتر در راکتور R_4 مشاهده شد. همچنین متوسط میزان کدورت خروجی مشابه COD خروجی، با زیاد شدن بار آلی ورودی، افزایش یافت (جدول ۴): با این وجود، میزان کدورت به جز در راکتور R_4 با میانگین کدورت 270 NTU ، در سایر راکتورها از میزان مجاز

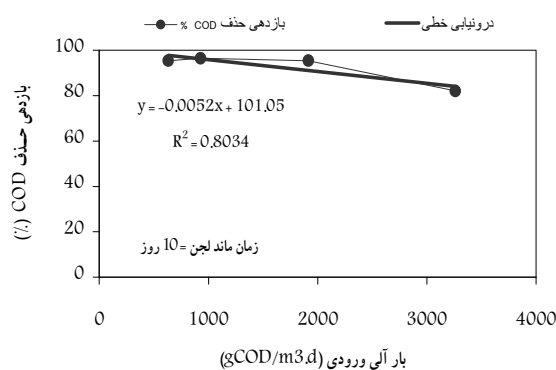
جدول ۵- ویژگی‌های لجن بیولوژیکی در راکتور هوازی تحت بار آلی متفاوت

R_4	R_3	R_2	R_1	راکتور
3261 ± 573	1915 ± 91	929 ± 19	633 ± 25	بار آلی ورودی ($\text{gCOD/m}^3 \cdot \text{d}$)
1975 ± 781	2808 ± 1008	1580 ± 269	990 ± 156	MLSS (mg/L)
83 ± 5	86 ± 4	86 ± 6	81 ± 11	MLVSS/MLSS
$1/97 \pm 0/78$	$2/81 \pm 1/01$	$1/58 \pm 0/27$	$0/99 \pm 0/16$	لجن اضافه (g/d)
$2/11 \pm 1/40$	$0/86 \pm 0/59$	$0/61 \pm 0/13$	$0/66 \pm 0/17$	F/M ($1/\text{d}$)
$1/62 \pm 0/87$	$0/80 \pm 0/53$	$0/59 \pm 0/12$	$0/63 \pm 0/16$	U ($1/\text{d}$)
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	SRT (d)
361 ± 223	67 ± 33	62 ± 24	57 ± 25	SVI (mL/g)

*بروز حجمی شدن لجن و کف شدید در راکتور R_4 بر خصوصیات لجن، عمر لجن و زمان ماند هیدرولیکی تأثیر گذاشت. (اعداد مربوط به این راکتور برای ۲۶ روز محاسبه شده است)

۳-۳- ارزیابی روند تغییرات بازدهی COD با بار آلی ورودی

در شکل ۶، روند تغییرات بازدهی حذف COD با متوسط بار آلودگی نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، بازدهی حذف COD در فاضلاب صنایع شیر با افزایش بار آلی از ۶۳۳ تا ۹۲۹ گرم COD در متر مکعب در روز افزایش می‌یابد و سپس تا بار آلی ۱۹۱۵ گرم COD در متر مکعب در روز با شیب کمی کاهش می‌یابد و پس از آن، شیب این نرخ نزولی شدیدتر می‌شود. با این وجود بر اساس مطالعات آماری، روند کلی تغییرات بازدهی COD با افزایش بار آلی ورودی، یک سیر نزولی با ضریب همبستگی ۰/۸۰ را نشان می‌دهد. بنابراین نتایج حاصل از تحقیق مشابه توسط سیریانوتا پیون و همکاران، ضریب همبستگی این نرخ کاهش ۹۵ درصد می‌باشد [۵].

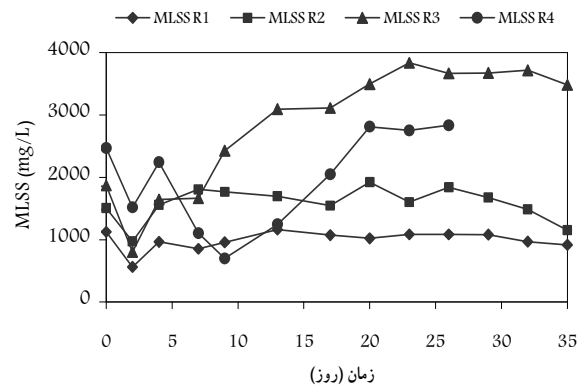


شکل ۶- تغییرات بازدهی حذف COD نسبت به بار آلی ورودی

۴- نتیجه‌گیری

چهار راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی تحت شرایط یکسان از نظر زمان ماند لجن، زمان ماند هیدرولیکی و شرایط عملیاتی واحد به مدت ۳۵ روز برای تصفیه فاضلاب شیر با بار آلی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفتند. مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

- ۱- به‌کارگیری راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی (هوازی)، روش مناسبی برای تصفیه فاضلاب صنایع شیر با بار آلی کمتر از $1915 \text{ gCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ است زیرا در این روش بازده حذف COD بیش از ۹۵ درصد بود. میزان مواد جامد معلق و کدورت خروجی مطابق با استاندارد ایران در حد مجاز به‌دست آمد و نوسان بازدهی حذف COD با انحراف معیار برابر ۳ درصد، قابل قبول بود.
- ۲- بهترین بازدهی در راکتور R_2 با بار آلی ورودی $929 \text{ g COD/m}^3 \cdot \text{d}$ مشاهده شد. این راکتور در مقایسه با سایر راکتورها بیشترین بازدهی حذف COD یعنی ۹۶ درصد و کمترین مقدار مواد معلق یعنی ۱۷ میلی‌گرم در لیتر را نشان داد.



شکل ۵- تغییرات غلظت لجن در راکتورها (برای راکتور R_4 ۲۶ روز)

۳-۲- پارامترهای F/M و U

بنابر نتایج به‌دست آمده، کمترین و بیشترین مقدار F/M یعنی نسبت ماده غذایی به جرم میکروارگانیسم‌ها^۱ و U یعنی نرخ ویژه مصرف غذا^۲ به‌ترتیب در راکتورهای R_2 و R_4 مشاهده شد (جدول ۵). در تحقیقی مشابه، سیریانوتا پیون و همکاران، مقادیر F/M و U را برای چهار راکتور با حجم مفید ۲۰ لیتر و بارهای ورودی ۵۰۰، ۶۸۰، ۱۰۰۰ و ۱۳۴۰ گرم BOD در متر مکعب در روز به‌ترتیب برابر ۰/۲۶، ۰/۳۴، ۰/۵۰، ۰/۶۷ بر روز و ۰/۲۵، ۰/۳۳، ۰/۴۷ و ۰/۵۸ بر روز به‌دست آوردند. در آن تحقیق سعی شده بود تا مقدار MLSS در تمامی راکتورها در حدود ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ثابت نگاه داشته شود. با این وجود در هر دو تحقیق با افزایش بار آلی، مقادیر F/M، U افزایش یافته است [۵].

۳-۲-۳- شاخص حجمی لجن (SVI)

به‌طور معمول مرز شرایط قابل قبول و نامطلوب به لحاظ ته‌نشین پذیری برای شاخص حجمی لجن به اندازه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعریف می‌شود [۸]. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین مقدار SVI در راکتورهای R_1 تا R_3 کمتر از ۶۷ میلی‌لیتر بر گرم بود که این امر بیانگر ته‌نشینی مطلوب لجن موجود در این راکتورها را نشان می‌دهد. تنها در راکتور R_4 با میانگین SVI برابر ۳۶۱ میلی‌لیتر بر گرم به‌طور نسبی مشکل بالکینگ وجود داشت. از سوی دیگر به‌دلیل بالکینگ و کف شدید، از روز بیست و ششم تا پایان دوره یعنی روز سی و پنجم امکان نمونه‌گیری از این راکتور فراهم نبود و عملیات در راکتور R_4 کاملاً مختل شد. در این تحقیق، مقدار شاخص حجمی لجن با افزایش بار آلی ورودی، افزایش یافت که مشابه نتیجه به دست آمده توسط سیریانوتا پیون و همکاران بود [۵].

¹ Food to Microorganism Ratio

² Specific Substrate Utilization Rate

- ۳- در راکتور R₄ با بالاترین بار آلی ورودی (۳۲۶۱gCOD/m³.d)، بالکینگ و کف شدید مشاهده شد. این راکتور کمترین میزان بازدهی حذف COD را داشت (۸۲ درصد).
- ۴- روند کلی تغییرات بازدهی حذف COD در مقابل بار ورودی، بیانگر یک نرخ نزولی با ضریب همبستگی ۰/۸۰ می باشد.

۵- مراجع

- ۱- گزارش آماری. (۱۳۸۶). مرکز اطلاعات صنعتی و تکنولوژیکی وزارت صنایع و معادن، تهران.
- 2- Healy, M.G., Rodgers M., and Mulqueen, J. (2007). "Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters." *J. Bioresource Technology*, 98 (12), 2268-2281.
- 3- Broughton, A., Pratt, S., and Shilton, A. (2007). "Enhanced biological phosphorus removal for high-strength wastewater with a low rbCOD:P ratio." *J. Bioresource Technology*, 99 (5), 1236-1241.
- 4- Arrojo, B., Mosquera-Corral, A., Garrido, J. M., and Mendez, R. (2004). "Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors." *J. Water Research*, 38 (14-15), 3389-3399.
- 5- Sirianuntapiboon, S., Jeeyachok, N., and Larplai, R. (2005). "Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater." *J. Environmental Management*, 76 (2), 177-183.
- 6- Garrido, J.M., Omil, F., Arrojo, B., Mendez, R., and Lema, J.M. (2001). "Carbon and nitrogen removal from a wastewater of an industrial dairy laboratory with a coupled anaerobic filter-sequencing batch reactor system." *J. Water Science and Technology*, 43 (3), 249-256.
- 7- Ganesh, R., Balaji, G., and Ramanujam, R.A. (2006). "Biodegradation of tannery wastewater using sequencing batch reactor-respirometric assessment." *J. Bioresource Technology*, 97 (15), 1815-1821.
- 8- Kargi, F., and Uygur, A. (2002). "Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age." *J. Enzyme and Microbial Technology*, 31 (6), 842-847.
- 9- Bernet, D.P., Nicolas, D., Philipe, J., and Moletta, R. (2000). "Effects of oxygen supply methods on the performance of a sequencing batch reactor for high ammonia nitrification." *J. Water Environmental Research*, 72 (2), 195-200.
- 10- Mohseni-Bandpi, A., and Bazari, H. (2004). "Biological treatment of dairy wastewater by sequencing batch reactor." *Iranian J. of Env. Health Sci. Eng.*, 1 (2), 65-69.
- ۱۱- علوی مقدم، م.، گنجی دوست، ح.، و ترابیان، ع. (۱۳۷۷). "تصفیه فاضلاب صنایع غذایی با استفاده از روش راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR)." *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸، ۱۲-۲۱.
- 12- Ganjidoost, H., and Ayati, B. (2004). "Use of sequencing batch reactors (SBRs) in treatment of wood fiber wastewater." *Iranian J. of Env. Health Sci. Eng.*, 1 (2), 91-96.
- 13- APHA, AWWA, WEF. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed. Washington DC., USA.
- ۱۴- سازمان محیط زیست. (۱۳۸۳). *مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران*، جلد اول، تهران، ۹۰۸-۹۱۰.