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

هومن حاجی‌آبادی[1]  سید محمدرضا علوی مقدم[2]  سید حسین هاشمی[3]

(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 به‌صورت هوازی مورد بررسی قرار گرفت. راکتورها به‌شکل استوانه‌ای از جنس پلکسی‌گلاس بودند که به‌مدت ۵۶ روز (۲۱ روز سازگاری لجن و ۳۵ روز ثبت نتایج) مورد بررسی قرار گرفتند. حجم مفید راکتورها ۵/۵ لیتر، دبی فاضلاب ورودی۳/۵ لیتر و زمان ماند لجن ۱۰ روز بود. متوسط بازدهی حذف COD برای راکتورهای $R_1$، $R_2$، $R_3$ و $R_4$ با متوسط بار آلی ورودی ۶۳۳، ۹۲۹، ۱۹۱۵ و ۳۲۶۱ گرم COD بر مترمکعب در روز به‌ترتیب برابر ۹۵، ۹۶، ۹۵ و ۸۲ درصد به‌دست آمد. در همه راکتورها میزان کدورت، مطابق استاندارد آیین‌نامه محیط زیست ایران یعنی ۵۰NTU بود و فقط در راکتور $R_4$ این مقدار به ۲۷۰NTU رسید. به‌علاوه، متوسط شاخص حجمی لجن برای راکتورهای $R_1$، $R_2$ و $R_3$ کمتر از ۶۷ میلی‌لیتر در هر گرم مشاهده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده روند کلی تغییرات بازدهی COD در مقابل بار آلی ورودی، یک نرخ نزولی با ضریب همبستگی ($R^2$) ۰/۸ را نشان می‌دهد.**

***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 Hajiabadi[1]*  *Seyed Mohammadreza Alavi Moghadam[2]*  *Seyed Hossein Hashemi[3]*

*(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 $R_1$, $R_2$, $R_3$, and $R_4$ with influent $OLR_{ave}$ values of 633, 929, 1915, and 3261 $gCOD/m^3d$ 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 $R_4$ 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 $R_1$ to $R_3$ 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 ($R^2$).

***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) ۶۴۵۴۳۰۰۸ (۰۲۱) alavi@aut.ac.ir
۳- استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران



Archive of SID
www.SID.ir

## ۱- مقدمه

صنایع تولید شیر پاستوریزه و سایر فراورده‌های لبنی در سالهای اخیر در ایران بسیار توسعه یافته‌اند، به‌طوری 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 می‌باشند [۱]. فاضلاب این صنایع به‌دلیل تنوع محصولاتی نظیر شیر، ماست، دوغ، پنیر، خامه و فصلی بودن فعالیت آنها، علاوه بر نوسان شدید بار آلودگی، حاوی انواع مختلفی از آلاینده‌های آلی (کربنه، نیتروژنه و فسفره) می‌باشد [۲ و ۳]. یکی از مشخصه‌های 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، دیسک‌های بیولوژیکی چرخان، لاگون هوادهی و هضم بی‌هوازی استفاده می‌شود [۶].

یکی از روشهای توسعه یافته لجن فعال، سیستم راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی[1] است. از مهم‌ترین ویژگی‌های این سیستم می‌توان به هزینه اندک ساخت، انعطاف‌پذیری 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[2] از معایب این سیستم به شمار می‌روند [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 تصفیه‌پذیری این نوع فاضلاب صورت گرفته است. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، مقایسه تصفیه‌پذیری فاضلاب صنایع شیر با بارهای آلودگی[3] مختلف با استفاده از سیستم SBR هوازی بود. در این راستا، رفتار این سیستم از نظر بازدهی حذف COD، تغییرات غلظت لجن داخل راکتور[4]، شاخص حجمی لجن و کیفیت پساب خروجی به لحاظ مواد معلق[5] و کدورت خروجی آن مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی

در این تحقیق، چهار راکتور استوانه‌ای شکل از جنس پلکسی گلاس[6] به قطر داخلی ۱۴ سانتی‌متر، ضخامت ۵ میلی‌متر و ارتفاع ۴۶ سانتی‌متر 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 به‌صورت ۲۴ ساعته، شامل ۲ دقیقه برای پرکردن (فاز پرکردن)، ۲۲/۵ ساعت هوادهی (فاز واکنش)، ۱ ساعت ته‌نشینی (فاز ته‌نشینی)، ۲ دقیقه برای تخلیه (فاز تخلیه) و حدود ۲۵ دقیقه به‌عنوان مرحله سکون (فاز سکون) تنظیم گردید. رفتار راکتورها به‌مدت 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[7]، دما، زمان‌های 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 اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری COD، TSS، کدورت، MLSS و تغییرات غلظت بخش آلی لجن داخل راکتور[8] در جدول ۲ آورده شده است.

### ۲-۳- فاضلاب شیر

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

[1] Sequencing Batch Reactor (SBR)
[2] Sludge Volume Index (SVI)
[3] Organic Loading Rate (OLR)
[4] Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)
[5] Total Suspended Solid (TSS)
[6] Plexiglas
[7] Dissolved Oxygen (DO)
[8] Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)



Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۱**- مواد شیمیایی به‌کار رفته در این تحقیق

| ماده | فرمول شیمیایی | مورد استفاده |
|---|---|---|
| اسید سولفوریک | $H_2SO_4$ | تهیه محلولهای اسیدی و هاضم در آزمایش COD |
| سولفات جیوه | $HgSO_4$ | تهیه محلول اسیدی در آزمایش COD |
| سولفات نقره | $Ag_2SO_4$ | تهیه محلول هاضم در آزمایش COD |
| دی کرمات پتاسیم | $K_2Cr_2O_7$ | تهیه محلول هاضم در آزمایش COD |
| اوره | $CO(NH_2)_2$ | تنظیم میزان نیتروژن فاضلاب |
| هیدروژن فسفات پتاسیم | $K_2HPO_4$ | تنظیم میزان فسفر فاضلاب |
| دی هیدروژن فسفات پتاسیم | $KH_2PO_4$ | 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 | اسپکتروفتومتر، 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 $K_2HPO_4$ (mg/L) | محلول $KH_2PO_4$ (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | ۹۹۴±۳۲ | ۶۳۳±۲۵ | ۱۱۰ | ۲۹ | ۲۶ |
| $R_2$ | ۱۴۵۹±۳۰ | ۹۲۹±۱۹ | ۱۶۵ | ۴۳ | ۳۹ |
| $R_3$ | ۳۰۰۹±۱۴۳ | ۱۹۱۵±۹۱ | ۳۳۰ | ۸۶ | ۷۷ |
| $R_4$ | ۵۰۶۲±۸۷۹ | ۳۲۶۱±۵۷۳ | ۶۶۰ | ۱۷۲ | ۱۵۴ |

شیمیایی $CO(NH_2)_2$ به عنوان منبع نیتروژن و $K_2HPO_4$ و $KH_2PO_4$ به‌عنوان 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 به‌مدت ۲۱ روز برای سازگاری با فاضلاب و رسیدن به بار آلی مورد نظر، به‌صورت 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 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 به‌شرح 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

[1] 5220D, Closed Reflux, Colorimetric Method

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



Archive of SID
www.SID.ir

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

| راکتور | بار آلی ورودی ($gCOD/m^3.d$) | زمان ماند هیدرولیکی (روز) | COD | | TSS خروجی (mg/L) | کدورت خروجی (NTU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | بازدهی حذف (درصد) | غلظت خروجی (mg/L) | | |
| $R_1$ | ۶۳۳±۲۵ | ۱/۵۷ | ۹۵±۲ | ۴۶±۱۷ | ۱۸±۵۲ | ۴±۱ |
| $R_2$ | ۹۲۹±۱۹ | ۱/۵۷ | ۹۶±۱ | ۵۲±۱۴ | ۱۷±۵۴ | ۴±۲ |
| $R_3$ | ۱۹۱۵±۹۱ | ۱/۵۷ | ۹۵±۳ | ۱۴۳±۸۶ | ۲۵±۴۹ | ۲۶±۲۹ |
| *$R_4$ | ۳۲۶۱±۵۷۳ | ۱/۵۷ | ۸۲±۱۰ | ۹۷۵±۶۷۶ | ۴۴±۴۹ | ۲۷۰±۳۸۷ |

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

تعیین مقدار کل مواد جامد معلق کد 2540D[1]، کدورت از روش نفلومتری کد2130B[2]؛ اکسیژن محلول از روش الکتروغشایی کد 4500-O G.[3] و بالاخره pH از روش الکترومتری کد 4500H+B[4] [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 به‌منظور انجام آزمایش‌های مربوط به پساب خروجی یعنی COD، TSS و کدورت، نمونه‌برداری پس از ته‌نشینی راکتورها و از بالاترین شیر انجام شد.

## ۳- نتایج

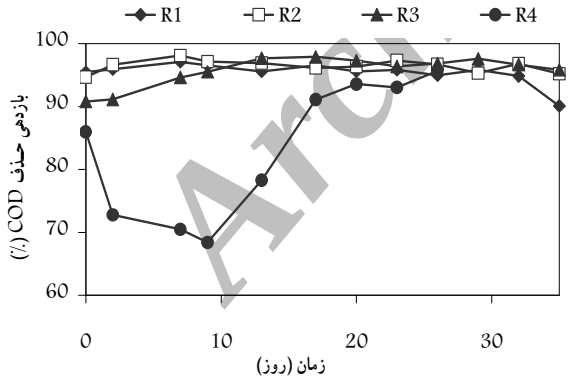
بر اساس نتایج به‌دست آمده، راکتورهای $R_1$، $R_2$ و $R_3$، چه از نظر کیفیت پساب خروجی و چه به لحاظ خصوصیات لجن داخل راکتور در انتهای دوره (سیکل ۳۵) به حالت پایدار رسیدند، درحالی‌که راکتور $R_4$ با متوسط بار آلی برابر ۳۲۶۱ g $COD/m^3d$ همواره غیر متعادل بوده به‌گونه‌ای که نوسان قابل ملاحظه‌ای در COD، کدورت و مواد معلق پساب خروجی آن مشاهده شد. از طرف دیگر، راکتور $R_4$ از روز پانزدهم سازگاری تا آخرین روز عملیات خود (سیکل ۲۶) با مشکل حجیم شدن لجن یا بالکینگ[5] مواجه بود. شرایط عملیاتی این راکتور با بروز حجیم شدن لجن و کف شدید در بیست و ششمین روز عملیات به‌طور کامل تغییر یافت، به‌طوری‌که خروج پساب از آن امکان‌پذیر نبود.

### ۳-۱- بازدهی سیستم

مقادیر میانگین بازدهی راکتورها و پارامترهای مربوط به کیفیت خروجی (شامل TSS و کدورت خروجی) در طی ۳۵ روز به‌جز راکتور$R_4$ در جدول ۴ نشان داده شده است.

#### ۳-۱-۱- بازدهی حذف COD

بنابر نتایج به‌دست آمده، راکتورهای $R_4$ و $R_2$ 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، به‌ترتیب در راکتور $R_4$ (با انحراف معیار ۱۰ درصد در حذف COD) و راکتور $R_2$ (با انحراف معیار ۱ درصد) مشاهده شد. در تحقیق انجام شده توسط سیریانونتاپیبون و همکاران[6] 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 به‌ترتیب 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 $R_1$، $R_2$ و $R_3$ تثبیت شد، در حالیکه در راکتور $R_4$ نوسان زیادی داشت که در شکل ۲ نشان داده شده است.



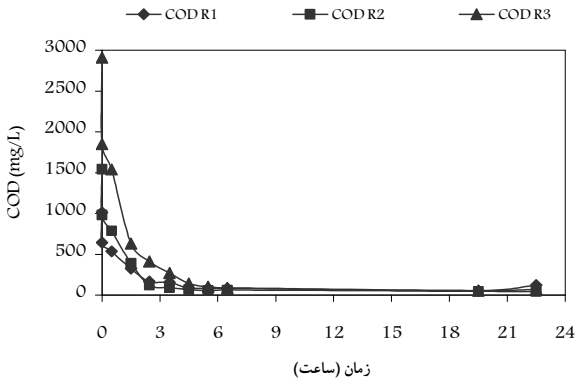

**شکل۲**- بازدهی حذف COD در راکتورها

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

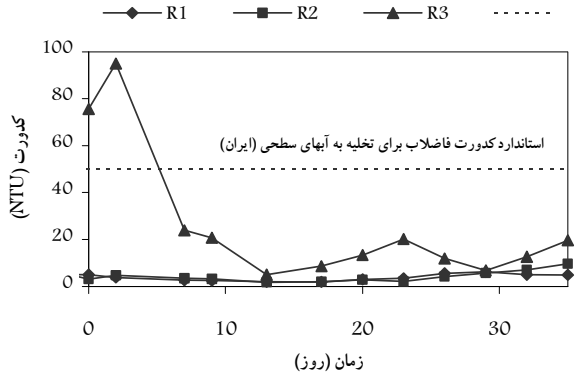
[1] 254D Total Suspended Solids Dried at 103~105°C
[2] 2130B. Nephlometric Method
[3] 4500-O G. Membrane Electrode Method
[4] 4500 H+B. Electrometric Method
[5] Bulking
[6] Sirianuntapiboon et al.



Archive of SID
www.SID.ir




**شکل ۳**- تغییرات COD محلول در طول فاز هوادهی




**شکل ۴**- کدورت خروجی راکتورها

مربوط به روز سی و پنجم (سیکل ۳۵) می‌باشد. بر این اساس، راکتورهای $R_1$، $R_2$ و $R_3$ به‌ترتیب در ۴/۵، ۲/۵ و ۶/۵ 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 به‌عنوان دو شاخص مهم کیفی در تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده کمترین و بیشترین مقدار متوسط TSS خروجی به‌ترتیب ۱۷ میلی‌گرم در لیتر در راکتور $R_2$ و ۴۴ 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 به‌جز در راکتور $R_4$ با میانگین کدورت ۲۷۰NTU ، در سایر راکتورها از میزان مجاز آیین نامه محیط زیست ایران یعنی ۵۰NTU تجاوز نکرد [۱۴]. شکل ۴ مقدار کدورت خروجی از راکتورها را در دوره ۳۵ روزه نشان می‌دهد. در این شکل، راکتور $R_4$ به‌دلیل 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 به‌صورت 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 ۱۹۱۵ $gCOD/m^3.d$ به‌میزان ۲۸۰۸ 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).

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

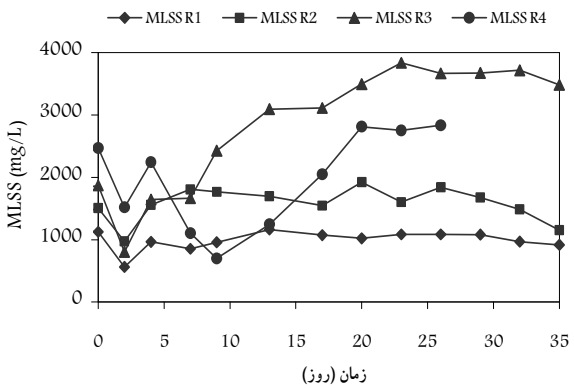
| راکتور | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | *$R_4$ |
|---|---|---|---|---|
| بار آلی ورودی ($gCOD/m^3.d$) | ۶۳۳±۲۵ | ۹۲۹±۱۹ | ۱۹۱۵±۹۱ | ۳۲۶۱±۵۷۳ |
| MLSS (mg/L) | ۹۹۰±۱۵۶ | ۱۵۸۰±۲۶۹ | ۲۸۰۸±۱۰۰۸ | ۱۹۷۵±۷۸۱ |
| MLVSS/MLSS | ۸۱±۱۱ | ۸۶±۶ | ۸۶±۴ | ۸۳±۵ |
| لجن اضافه (g/d) | ۰/۹۹±۰/۱۶ | ۱/۵۸±۰/۲۷ | ۲/۸۱±۱/۰۱ | ۱/۹۷±۰/۷۸ |
| F/M (1/d) | ۰/۶۶±۰/۱۷ | ۰/۶۱±۰/۱۳ | ۰/۸۶±۰/۵۹ | ۲/۱۱±۱/۴۰ |
| U (1/d) | ۰/۶۳±۰/۱۶ | ۰/۵۹±۰/۱۲ | ۰/۸۰±۰/۵۳ | ۱/۶۲±۰/۸۷ |
| SRT (d) | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| SVI (mL/g) | ۵۷±۲۵ | ۶۲±۲۴ | ۶۷±۳۳ | ۳۶۱±۲۲۳ |

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

Archive of SID



www.SID.ir




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

**۳-۲-۲- پارامترهای F/M و U**

بنابر نتایج به‌دست آمده، کمترین و بیشترین مقدار F/M یعنی نسبت ماده غذایی به جرم میکروارگانیسم‌ها[1] و U یعنی نرخ ویژه مصرف غذا[2] به‌ترتیب در راکتورهای $R_2$ و $R_4$ مشاهده شد (جدول۵). در تحقیقی مشابه، سیریانونتاپیبون 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].

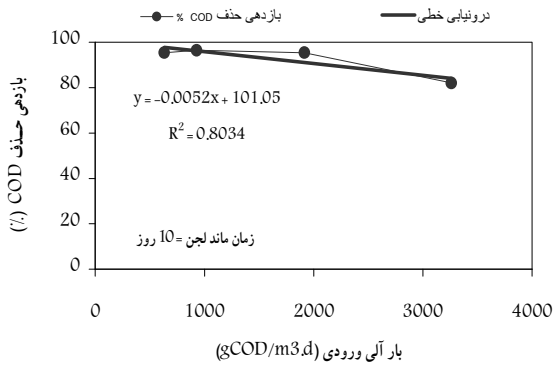
**۳-۲-۳- شاخص حجمی لجن (SVI)**

به‌طور معمول مرز شرایط قابل قبول و نامطلوب به لحاظ ته‌نشین‌پذیری 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 $R_4$ کاملا مختل شد. در این تحقیق، مقدار شاخص حجمی لجن با افزایش بار آلی ورودی، افزایش یافت که مشابه نتیجه به دست آمده توسط سیریانونتاپیبون و همکاران بود [۵].

[1] Food to Microorganism Ratio
[2] Specific Substrate Utilization Rate

**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. همان‌طور 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 مترمکعب 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. بنابر نتایج حاصل از تحقیق مشابه توسط سیریانونتاپیبون و همکاران، ضریب همبستگی این نرخ کاهشی 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 به‌مدت 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 ۱۹۱۵ $gCOD/m^3.d$ 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 $g\ COD/m^3.d$ ۹۲۹ مشاهده شد. این راکتور در مقایسه با سایر راکتورها بیشترین بازدهی حذف COD یعنی ۹۶درصد و کمترین مقدار مواد معلق یعنی ۱۷میلی‌گرم در لیتر را نشان داد.

Archive of SID



www.SID.ir

۳- در راکتور $R_4$ با بالاترین بار آلی ورودی (۳۲۶۱gCOD/$m^3$.d)، بالکینگ و کف شدید مشاهده شد. این راکتور کمترین میزان بازدهی حذف COD را داشت (۸۲درصد).

۴- روند کلی تغییرات بازدهی حذف COD در مقابل بار ورودی، بیانگر یک نرخ نزولی با ضریب همبستگی ۰/۸۰ می‌باشد.

## ۵- مراجع


**۱- گزارش آماری. (۱۳۸٦). 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- Ganjidoust, 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.

**۱٤- سازمان محیط زیست. (۱۳۸۳). *مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران*، جلد اول، تهران، ۹۰۸-۹۱۰.**


Archive of SID



www.SID.ir