

# عملکرد فرایند لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت در تصفیه فاضلاب صنایع غذایی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل)

نسترن عظیمی<sup>۱</sup> مسعود طاهریون<sup>۲</sup>

(دریافت ۹۰/۱۲/۱ پذیرش ۹۱/۵/۳۰)

## چکیده

هدف از انجام این مطالعه ارزیابی عملکرد سیستم لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت در تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی بود. این تصفیه‌خانه با ظرفیت ۱۷۰۰ مترمکعب در روز شامل مراحل تصفیه فیزیکی و بیولوژیکی، گندزدایی، تغلیظ، هضم و آبگیری لجن است. پارامترهای کیفی فاضلاب طی زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰ اندازه‌گیری شد. با استفاده از آنها بازده حذف COD همچنین ضرایب سینتیکی نظیر ضریب بازده رشد (Y)، ثابت نیمه اشباع ( $K_s$ )، نرخ حداکثر مصرف سوبستره (k) و ضریب خودخوری ( $k_d$ ) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که این ضرایب به جز  $K_s$  در محدوده گزارش شده برای سیستم لجن فعال متعارف است و همچنین تحت شرایط راهبری موجود در تصفیه‌خانه، محدوده بازده حذف COD بین ۹۸ تا ۹۹ درصد به‌دست آمد. با استفاده از ضرایب سینتیکی به‌دست آمده از این مطالعه، COD خروجی تخمین و آنالیز حساسیت انجام گرفت که نتایج نشان داد رابطه مستقیمی بین تغییرات  $k_d$  و  $K_s$  با سوبستره خروجی وجود دارد، درحالی‌که رابطه بین k و سوبستره خروجی رابطه‌ای معکوس است. در نهایت به بررسی تأثیر افزایش زمان ماند سلولی بر بازده حذف COD پرداخته شد.

**واژه‌های کلیدی:** لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت، ضرایب سینتیکی، رشد چسبیده، حذف COD

## The Performance of Integrated Fixed Film Activated Sludge in Wastewater Treatment of Food Industry (Case Study: Amol Industrial Park Wastewater Treatment Plant)

Nastaran Azimi<sup>1</sup>

Masoud Taheriyoun<sup>2</sup>

(Received Feb. 20, 2012)

Accepted Aug. 20, 2012)

### Abstract

The purpose of this study was to analyze the performance of Integrated Fixed Film Activate Sludge system in Amol industrial wastewater treatment plant to treat the food industrial wastewater. The capacity was 1700 cubic meters per day that includes physical and biological treatment, disinfection, sludge thickening, digestion and dewatering. The wastewater quality parameters were analyzed during winter 2010 and spring 2011. Using data, COD removal efficiency and kinetic coefficient such as yield coefficient (Y), half saturation coefficient ( $K_s$ ), maximum substrate utilization rate (k) and endogenous decay coefficient ( $k_d$ ) were calculated and results indicated that except  $K_s$  other coefficient were in the range that was normally reported for conventional activated sludge. Under existing conditions at the wastewater treatment plant, COD removal efficiency range was between 98 to 99 percent. By using kinetic coefficient obtained in this study, effluent COD was estimated and sensitivity analysis was performed. The results showed that there is a direct relationship between the variation of  $k_d$  and  $K_s$  with effluent substrate concentration, while the relationship between k and effluent substrate is reverse. Finally the effect of increasing sludge retention time (SRT) on COD removal efficiency was also investigated.

**Keywords:** Integrated Fixed Film Activated Sludge, Kinetic Coefficients, Attached Growth, COD Removal.

1. Ph.D. Student of Environmental Eng., Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author) 09111297120  
azimi\_612@yahoo.com

2. Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران (نویسنده مسئول) ۰۹۱۱۲۹۷۱۲۰  
azimi\_612@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

نتایج نشان می‌دهد که ضرایب  $Y$ ،  $k_d$ ،  $K_s$  و  $k$  به ترتیب  $0.6 \text{ mgVSS/mgCOD}$ ،  $0.051 \text{ 1/day}$ ،  $0.65/5$  میلی‌گرم در لیتر و  $1/86 \text{ 1/day}$  بوده‌اند [۸].

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۰۵ ضرایب سینتیکی برای حذف بیولوژیکی CNP از فاضلاب شهری تخمین زده شده است و همچنین در سال ۱۹۹۹ ضرایب سینتیکی برای زمان ماند هیدرولیکی  $24^7$  ساعت در تصفیه‌خانه بیولوژیکی نرخ بالا<sup>۸</sup> محاسبه گردیده است [۹ و ۱۰].

در راکتورهای جریان پیوسته اختلاط کامل، تعیین ضرایب سینتیکی معمولاً با جمع‌آوری اطلاعات در مقیاس آزمایشگاهی و پیلوت که در زمان‌های ماند هیدرولیکی متفاوت و یا زمان‌های ماند سلولی گوناگون به دست می‌آید، انجام می‌گیرد [۱۱].

مطالعه حاضر بر روی فاضلاب مربوط به فاز ۲ تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل انجام شد که با ظرفیت ۱۷۰۰ مترمکعب در روز، ۲۲۶ واحد بهره‌بردار مستقیم در این شهرک صنعتی را تحت پوشش دارد. در این تصفیه‌خانه از سیستم هوادهی دو مرحله‌ای هوازی چسبیده و هوادهی گسترده استفاده می‌شود که در بخش هوازی چسبیده آن از مدیای ثابت از جنس پلی اتیلن لانه زنبوری با سطح ویژه ۱۵۰ مترمربع به ازای هر مترمکعب مدیا استفاده شده است. حدود ۷۰ درصد از فاضلاب تصفیه شده توسط فاز ۲ تصفیه‌خانه این شهرک، مربوط به صنایع لبنی بوده و باقی آن به سایر صنایع غذایی و آشامیدنی نظیر صنایع تولید کیک و کلوچه، ماکارونی، آبمیوه، سس، محصولات گوشتی و انواع شکلات و بیسکویت اختصاص دارد.

هدف اصلی از انجام این تحقیق تعیین پارامترهای سینتیکی  $Y$ ،  $k_d$ ،  $k$  و  $K_s$  برای سیستم لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت و مقایسه این پارامترها با پارامترهای مربوط به سیستم لجن فعال متعارف بود. علاوه بر این، بازده حذف COD مربوط به این سیستم مورد بررسی قرار گرفت و تحلیل حساسیت ضرایب سینتیکی در مقدار COD خروجی انجام شد و همچنین چگونگی تأثیر زمان ماند سلولی بر بازده حذف COD بررسی گردید.

## ۲- مواد و روشها

این پژوهش در مقیاس واقعی بر روی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی آمل انجام شد. در این تحقیق با استفاده از فرایند لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت به تصفیه فاضلابی با دبی متوسط ۱۷۰۰ مترمکعب در روز پرداخته شد.

استفاده از فیلم‌های بیولوژیکی مستغرق<sup>۱</sup> در حدود ۶۰ سال است که مورد بررسی است. کارهای ابتدایی شامل ایجاد فرایند هوادهی تماسی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰ انجام شده است. در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ تکنولوژی به‌کارگیری رشد چسبیده در فرایند لجن فعال در آمریکا معرفی گردید. از آنجا که در این فرایند حجم مورد نیاز برای حوضچه کاهش می‌یابد، این فرایند مورد توجه اکثر متخصصان قرار گرفته است [۱].

بر اساس مدیای به‌کار رفته در فرایند لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت<sup>۳</sup>، این سیستم‌ها به دو دسته کلی سیستم با مدیای ثابت و سیستم با مدیای پراکنده تقسیم می‌شوند. در سال ۱۳۸۶ محمدیاری و بلادر<sup>۴</sup> به بررسی چگونگی عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک پس از اعمال شوک‌های هیدرولیکی، در تصفیه مخلوط فاضلابهای شهری و صنعتی پرداخته‌اند که نتایج حاکی از عملکرد مناسب این سیستم در زمان کوتاهی پس از اعمال شوک بوده است [۲].

میکروارگانیزم‌های چسبیده به بستر با افزایش زمان ماند سلولی انجام نیترات‌زدایی را امکان‌پذیر می‌سازند و افزایش سن لجن، باعث تولید حجم کمتر لجن می‌شود. تعداد توده بیولوژیکی مورد نیاز بر اساس دو عامل تعیین می‌شود: ۱- نسبت غذا به میکروارگانیزم<sup>۵</sup> - ۲- زمان ماند سلولی<sup>۶</sup> [۱].

به منظور طراحی سیستم تصفیه لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت، باید از ضرایب سینتیکی مربوط به این سیستم‌ها بهره برد. ضرایب سینتیکی به‌کار رفته در فرایند لجن فعال متعارف شامل بیشینه نرخ مصرف سوخته<sup>۶</sup> ( $k$  برابر ۲ تا ۱۰  $1/day$ )، ثابت نیمه اشباع ( $K_s$  برابر ۱۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر COD)، ضریب بازده رشد باکتری ( $Y$  برابر ۰/۳ تا ۰/۶  $mgVSS/mgCOD$ ) و ضریب خودخوری ( $k_d$  برابر ۰/۰۶ تا ۰/۱۵  $1/day$ ) است [۳].

در فرایندهای تصفیه فاضلاب، ضرایب سینتیکی توسط برخی از محققان مورد ارزیابی قرار گرفته است [۴-۶]. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۶ ضرایب سینتیکی یک بیوراکتور غشایی غوطه‌ور برای تصفیه فاضلاب شهری محاسبه شده است که تعیین این ضرایب تحت نرخ بارگذاری‌های متفاوت بوده است [۷]. نقی زاده و همکاران در سال ۱۳۸۷ پارامترهای سینتیکی را در تصفیه فاضلاب شهری با راکتور غشایی غوطه‌ور با معادلات مونود تعیین کرده‌اند.

1 Submerged Fixed Film

2 Aeration Contact

3 Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS)

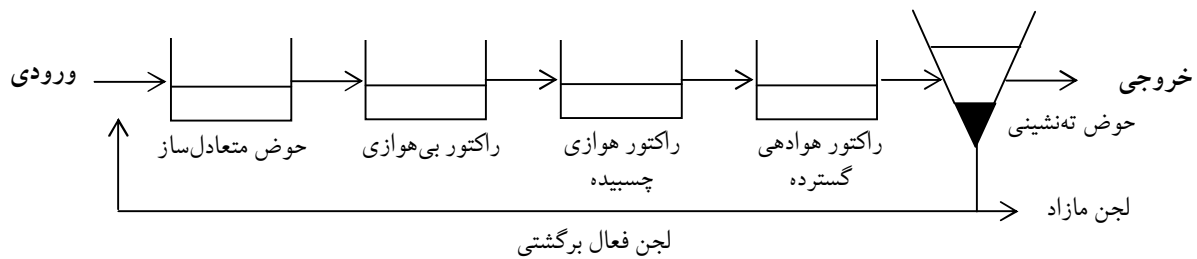
4 Balader

5 Food/Microorganism (F/M)

6 Sludge Retention Time (SRT)

<sup>7</sup> Hydraulic Retention Time (HRT)

<sup>8</sup> High-rate



شکل ۱- فلودیاگرام تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی آمل

Y، ضریب بازده رشد باکتری بر حسب mgVSS/mgCOD، X، غلظت بیومس بر حسب mgVSS/L،  $\theta$ ، زمان ماند هیدرولیکی بر حسب day،  $K_s$ ، ثابت نیمه اشباع بر حسب میلی گرم در لیتر COD و k، بیشینه نرخ مصرف سوپستره بر حسب mgCOD/mgVSS.day است.

با رسم نمودارهای U-1/SRT و 1/S-1/U می توان ضرایب سینتیکی را به دست آورد، به این صورت که محل برخورد نمودار U-1/SRT با محور عمودی معرف  $k_d$  و شیب این نمودار نشان دهنده Y است. در ضمن محل برخورد نمودار 1/S-1/U با محور عمودی نشان دهنده مقدار 1/k و شیب این خط معرف مقدار  $K_s/k$  است [۱۲].

با استفاده از روابط زیر نیز غلظت سوپستره خروجی و بازده حذف COD محاسبه شده است [۱۱]

$$S = \frac{K_s \left( \frac{1}{SRT} + k_d \right)}{k - \left( \frac{1}{SRT} + k_d \right)} \quad (3)$$

$$R = \left( \frac{COD_{in} - COD_{out}}{COD_{in}} \right) * 100 \quad (4)$$

که در این روابط

R بازده حذف COD است.

به منظور تعیین اینکه کدام پارامتر سینتیکی بیشترین تأثیر را در غلظت سوپستره خروجی دارد، تحلیل حساسیت این پارامترها انجام شد. به این صورت که هر یک از مقادیر  $k_d$ ، k و  $K_s$  به طور جداگانه تا مقدار  $\pm 50\%$  درصد تغییر داده شد در حالی که پارامترهای دیگر به همراه زمان ماند سلولی برابر ۲۵ روز ثابت در نظر گرفته شد و حساسیت ضرایب سینتیکی گوناگون با پیش بینی COD خروجی با استفاده از رابطه ۳ و رسم نمودار تغییرات COD خروجی بر حسب تغییرات ضرایب سینتیکی مطالعه شد.

در این تحقیق در یک دوره ۶ ماهه از دی ماه سال ۱۳۸۹ تا خرداد ماه سال ۱۳۹۰ علاوه بر اندازه گیری دبی فاضلاب ورودی به تصفیه خانه، دما (T)، pH، COD،  $BOD_5$ ، مواد معلق<sup>۱</sup>، مخلوط جامدات معلق<sup>۲</sup> و فرار<sup>۳</sup>، کدورت<sup>۴</sup> و اکسیژن محلول (DO) در حوضچه متعادل ساز، راکتور رشد چسبیده هوایی، حوض هوادهی گسترده و پساب خروجی از تصفیه خانه هر سه روز یکبار اندازه گیری شد. این تصفیه خانه شامل دو مدول است که به طور موازی عمل می کند و از نظر شرایط طراحی و حجم کاملاً مشابه اند. بنابراین بررسی بر روی نتایج حاصل از نمونه برداری مربوط به مدول ۱ انجام گرفت و با توجه به مشابه بودن پارامترهای طراحی و سایر مشخصه ها به کل تصفیه خانه تعمیم داده شد. در شکل ۱ فلودیاگرام این تصفیه خانه نشان داده شده است. همچنین جدول ۱ نشان دهنده مشخصات یکان های اصلی و شرایط راهبری فاز ۲ تصفیه خانه شهرک صنعتی آمل در دوره تحقیق است.

ضرایب سینتیکی برای سیستم IFAS موجود با استفاده از جمع آوری اطلاعات از آزمایشگاه تصفیه خانه و به کار بردن روابط زیر که مربوط به سیستم لجن فعال متعارف است، محاسبه شد [۱۱]

$$\frac{1}{SRT} = YU - k_d = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta X} - k_d \quad (1)$$

$$\frac{\theta X}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{S} + \frac{1}{k} = \frac{1}{U} \quad (2)$$

که در این روابط

SRT زمان ماند سلولی بر حسب روز،  $S_0$  غلظت سوپستره ورودی بر حسب میلی گرم در لیتر COD، S غلظت سوپستره خروجی بر حسب میلی گرم در لیتر COD، U نرخ مصرف سوپستره بر حسب mgCOD/mgVSS،  $K_d$  ضریب خودخوری باکتری بر حسب 1/day

<sup>1</sup> Total Suspended Solids (TSS)

<sup>2</sup> Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

<sup>3</sup> Mixed-liquor volatile suspended solid (MLVSS)

<sup>4</sup> Sludge Volume Index

جدول ۱- مشخصات یکان‌های اصلی و شرایط راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی آمل در دوره تحقیق (زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰)

شرایط راهبری فاز ۲ تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی آمل																	HRT (day)	حجم (m <sup>3</sup> )	تعداد	یکان	ردیف
خروجی					داخلی					ورودی											
T(°C)	pH	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T(°C)	DO (mg/L)	SVI (mg/L)	MLVSS (mg/L)	MLSS (mg/L)	T(°C)	pH	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Q (m <sup>3</sup> /day)						
۱۵-۲۸	۵/۳-۷	۸۰-۱۲۰۰	۹۸-۳۴۰۰	۱۷۰۰-۵۰۰۰	۱۵-۲۸	-	-	-	-	۱۳-۲۷	۸-۱۰	۱۰۰-۱۲۰	۱۱۰۰-۳۵۰۰	۱۷۹۰-۵۰۰۰	۱۱۵۰-۱۸۵۰	۰/۳۶-۰/۵۷	دامنه تغییرات	۶۶۰	۱	حوض متعادل‌ساز	۱
۱۹	۶/۱	۵۲۳	۱۸۹۰	۳۴۰۰	۲۰	-	-	-	-	۱۹	۹/۴	۵۴۵	۱۹۳۰	۳۴۶۰	۱۴۱۶	۰/۴۷	میانگین				
۱۹-۳۲	۶-۷/۲	۲۱۰-۶۰۰	۵۳۰-۱۱۷۰	۹۸۰-۲۲۳۰	۲۰-۳۲	-	-	-	-	۱۶-۲۷	۶-۷	۸۰-۱۲۰۰	۹۸۰-۳۴۰۰	۱۷۰۰-۵۰۰۰	۵۷۵-۹۲۵	۰/۴۹-۰/۷۸	دامنه تغییرات	۴۵۱	۲	راکتور بی‌هوای	۲
۲۶	۶/۳	۳۶۳	۷۸۰	۱۵۳۹	۲۷	-	-	-	-	۱۹	۶/۲	۵۲۳	۱۸۹۰	۳۴۰۰	۷۰۸	۰/۶۴	میانگین				
۱۳-۲۵	۶/۵-۷/۱	۴۰-۷۲	۱۳۰-۶۶۰	۲۳۲-۱۲۵۴	۱۵-۲۶	-	-	-	-	۲۰-۳۲	۶-۷/۲	۲۱۰-۶۰۰	۵۳۰-۱۱۷۰	۹۸۰-۲۲۳۰	۵۷۵-۹۲۵	۰/۱۲-۰/۲	دامنه تغییرات	۱۰۹	۲	راکتور هوای چسبنده	۳*
۲۰	۶/۸	۶۵	۳۴۰	۶۱۲	۲۲	-	-	-	-	۲۷	۶/۳	۳۶۳	۷۸۰	۱۵۳۹	۷۰۸	۰/۱۵	میانگین				
۱۳-۲۶	۷-۷/۸	۱۳۲۰-۲۹۸۰	-	-	۳-۲۸	۱/۵-۳/۵	۸۵-۲۶۰	۹۰۰-۱۶۰۰	۱۴۵-۲۰۳۰	۱۵-۲۶	۶/۵-۷/۱	۴۰-۷۲	۱۳۰-۶۶۰	۲۳۲-۱۲۵۴	۵۷۵-۹۲۵	۰/۶۹-۰/۱۱	دامنه تغییرات	۶۴۱	۲	راکتور هوادهی گسترده	۴
۱۹	۷/	۲۳۹۰	-	-	۲۱	۲/۵۵	۱۶۳	۱۲۴۰	۲۱۵۹	۱۹	۶/۸	۶۵	۳۴۰	۶۱۲	۷۰۸	۰/۹	میانگین				
۱۳-۲۷	۷/۶-۷/۸	۳۰-۵۲	۱۴-۳۲	۳۴-۱۰۰	۱۴-۲۹	-	-	-	-	۱۵-۲۵	۶/۸-۷/۵	۱۴۰۰-۳۰۴۰	-	-	۱۹۲-۳۰۸	۰/۲۹-۰/۴۶	دامنه تغییرات	۸۹	۶	حوض ته‌نشینی	۵
۱۸	۷/۷	۳۷	۱۹	۴۹	۱۹	-	-	-	-	۱۹	۷/۲	۲۴۲۰	-	-	۲۱۱	۰/۴۲	میانگین				

\*مدیای به‌کار رفته در این یکان پلی اتیلن لانه زنبوری با سطح ویژه ۱۵۰ مترمربع به‌ازای هر مترمکعب است.

### ۳- نتایج و بحث

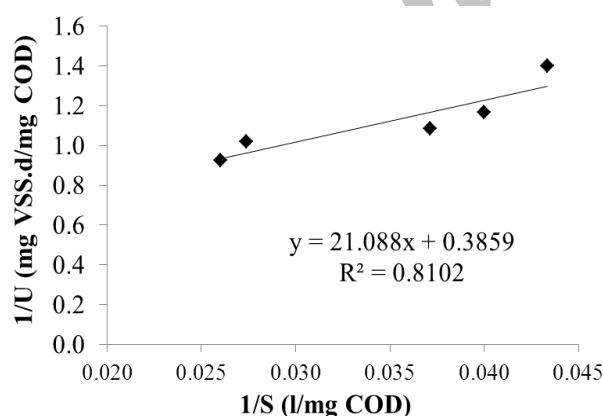
اطلاعات جمع آوری شده و همچنین محاسبات انجام شده بر روی نتایج نمونه برداری از فاضلاب ورودی، مخلوط موجود در راکتور رشد چسبیده هوازی، راکتور هوادهی گسترده و پساب خروجی از حوض ته نشینی مربوط به مدول ۱ تصفیه خانه، با توجه به محدوده MLSS در حوض هوادهی گسترده به دو بخش مجزا طبقه بندی شد. جدول ۲ مربوط به آماره‌هایی با MLSS در محدوده ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. برای محاسبه ضرایب سینتیکی با استفاده از جدول ۲ و روابط ۱ و ۲ نمودار U-1/SRT رسم شد و خطی با معادله درجه اول به دست آمد که شیب این خط معرف Y و محل برخورد این خط با محور عمودی معرف  $k_d$  است (شکل ۲- الف). به‌طور مشابه با رسم نمودار 1/S-1/U در همین محدوده MLSS خطی با معادله درجه اول حاصل شد که محل برخورد این نمودار با محور عمودی معرف 1/k و شیب آن نیز بیانگر  $K_s/k$  است (شکل ۲- ب).

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد در غلظت MLSS در محدوده ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ضرایب سینتیکی به این قرار است: Y برابر ۰/۴۱۹ میلی‌گرم بر میلی‌گرم،  $k_d$  برابر ۰/۰۶۲ (1/day)، k برابر ۲/۶ (1/day) و  $K_s$  برابر ۵۴/۷ mgCOD/L. به‌طور مشابه جدول ۳ مربوط به آماره‌هایی با MLSS در محدوده ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. مجدداً برای محاسبه ضرایب سینتیکی با استفاده از جدول ۳ نمودارهای 1/S-1/U و U-1/SRT رسم شده است (شکل ۳- الف و ب).

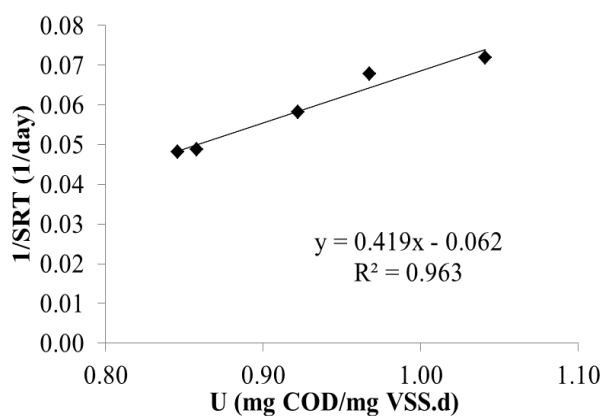
شکل ۳ نشان می‌دهد که در محدوده غلظت MLSS از ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ضرایب سینتیکی به این قرار است: Y برابر ۰/۵۰۲ میلی‌گرم بر گرم،  $k_d$  برابر ۱/۲۱ (1/day)، k برابر ۱۰/۳ و  $K_s$  برابر ۲۱۵/۲ میلی‌گرم در لیتر COD. همان‌طور که جدولهای ۲ و ۳ نشان می‌دهد، بازده حذف COD سیستم لجن فعال تلفیقی در این تصفیه‌خانه و تحت شرایط راهبری موجود بین ۹۸ تا ۹۹ درصد است که فراتر از محدوده نرمال لجن

جدول ۲- پارامترهای عملکردی مربوط به تصفیه‌خانه فاضلاب آمل در محدوده MLSS ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

ردیف	Q (m <sup>3</sup> /day)	HRT (day)	MLVSS (mg/L)	COD in (mg/L)	COD out (mg/L)	SRT (day)	F/M (1/day)	بازده حذف COD (درصد)
۱	۴۰۰	۱/۶۰	۹۰۰	۲۷۰۰	۷۰	۱۷/۲	۰/۹۲	۹۸
۲	۴۸۳	۱/۳۲	۱۱۰۰	۲۵۴۰	۶۵	۲۰/۵	۰/۸۶	۹۸
۳	۶۶۷	۰/۹۶	۱۲۰۰	۱۹۸۰	۵۰	۲۰/۸	۰/۸۵	۹۸
۴	۳۸۳	۱/۶۷	۱۰۶۰	۳۷۰۰	۳۷	۱۳/۹	۱/۰۴	۹۹
۵	۴۰۰	۱/۶۰	۱۱۰۰	۳۴۲۰	۳۴	۱۴/۸	۰/۹۷	۹۹



(ب)



(الف)

شکل ۲- تعیین ضرایب سینتیکی در محدوده MLSS ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر  
الف- تعیین  $k_d$  و Y، ب- تعیین  $K_s$  و k

که این موضوع می‌تواند بیانگر این واقعیت باشد که مقدار  $K_s$  متأثر از تخمین مقدار  $k_d$  است و هرگونه عدم قطعیتی در تخمین  $k_d$  در مقدار  $K_s$  انعکاس می‌یابد و این مسئله مخصوصاً در مقادیر بالای MLSS مشهود است [۷].

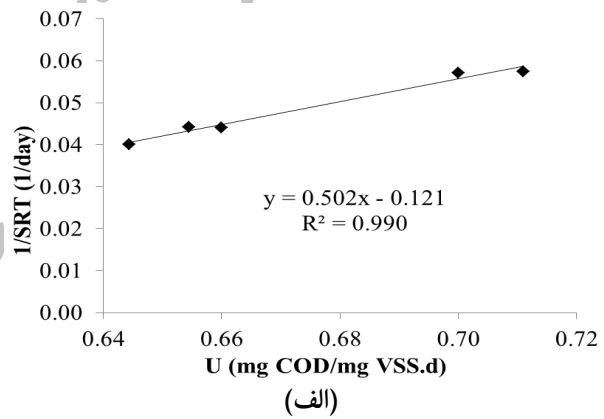
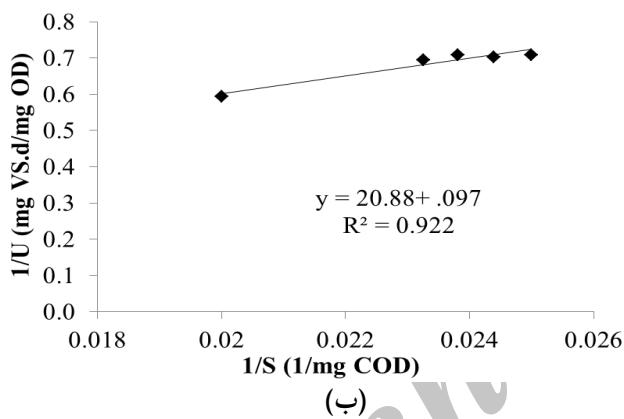
به‌منظور تعیین پارامتر سینتیکی مؤثر در غلظت سوبستره خروجی، تحلیل حساسیت این پارامترها انجام گرفت. به این صورت که هر یک از مقادیر  $k_d$ ،  $k$  و  $K_s$  به‌دست آمده از این مطالعه به‌طور جداگانه تا مقدار  $\pm 50\%$  درصد تغییر داده شد، درحالی که

فعال متعارف محسوب می‌شود و با افزایش MLSS نیز تغییر مهمی در بازده حذف رخ نمی‌دهد. همچنین مقدار  $F/M$  از محدوده لجن فعال متعارف فراتر رفته است که نشان دهنده سیستم با بار ورودی بالای مواد آلی است [۱۱]. خلاصه‌ای از ضرایب سینتیکی به‌دست آمده از منابع گوناگون به‌همراه نتایج به‌دست آمده از این مطالعه در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج موجود در جدول ۴ نشان می‌دهد که به‌جز  $K_s$ ، باقی ضرایب سینتیکی در محدوده نرمال پروسه لجن فعال متعارف است

جدول ۳- پارامترهای عملکردی مربوط به تصفیه‌خانه آمل در محدوده MLSS ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر

بازده حذف COD (درصد)	F/M (1/day)	SRT (day)	COD out (mg/L)	COD in (mg/L)	MLVSS (mg/L)	HRT (day)	Q m <sup>3</sup> /day	ردیف
۹۸	۰/۶۵	۲۲/۶	۴۵	۱۹۵۰	۱۳۰۰	۱/۱۳	۵۷۶	۱
۹۸	۰/۶۴	۲۵	۵۵	۲۲۰۰	۱۴۰۰	۱/۲۰	۵۳۳	۲
۹۹	۰/۷۱	۱۷/۴	۴۲	۲۸۷۰	۱۴۶۰	۱/۳۷	۴۶۷	۳
۹۸	۰/۶۶	۲۳/۲	۴۴	۱۸۵۰	۱۲۷۰	۱/۱۱	۵۷۸	۴
۹۹	۰/۷۰	۱۸/۶	۵۲	۲۶۹۰	۱۴۲۰	۱/۳۹	۴۵۸	۵



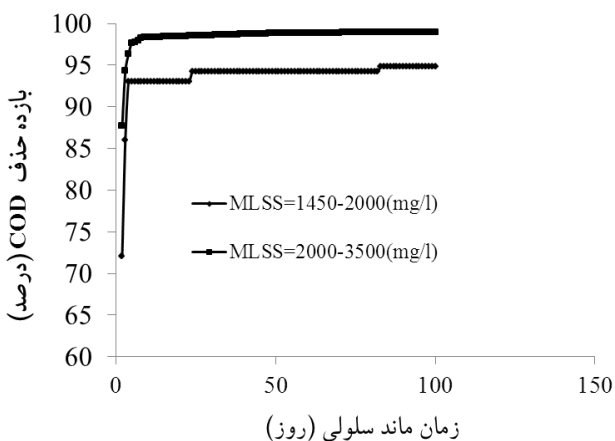
شکل ۳- تعیین ضرایب سینتیکی در محدوده MLSS ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر  
الف- تعیین  $k_d$  و  $Y$ ، ب- تعیین  $k$  و  $K_s$

جدول ۴- مقایسه ضرایب سینتیکی این مطالعه با منابع گوناگون

ضریب سینتیکی	واحد	متکف و ادی (۱۹۹۱)	جوزف (۱۹۹۹)	پالا (۲۰۰۵)	آل ملک (۲۰۰۶)	نقی زاده (۲۰۰۸)	مربوط به این مطالعه
$Y$	mg/mg	۰/۴-۰/۸	۱/۷۸	۰/۴-۰/۶۷	۰/۴۹-۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۴۱۹-۰/۵۰۲
$k_d$	1/day	۰/۰۲۵-۰/۰۷۵	۰/۱۲	-۰/۰۹ ۰/۰۷	۰/۰۳۷-۰/۰۱۵۱	۰/۵	۰/۰۶۲-۰/۱۲۱
$k$	1/day	۲-۱۰	۰/۲۸	۳/۲-۳/۷۵	۱/۲۸-۶/۴۶	۱/۸۶	۲/۶-۱۰/۳
$K_s$	mg/l	۱۵-۷۰	۳۶/۶	۲۲-۶۰	۲۸۹-۲۹۳۳	۶۵/۵	۵۴/۷-۲۱۵/۲

<sup>1</sup> Metcalf and Eddy  
<sup>2</sup> Joseph  
<sup>3</sup> Pala  
<sup>4</sup> Al-Malack

به منظور تعیین SRT بر مقدار COD در پساب خروجی، در دو محدوده غلظت MLSS از ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و از ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در زمان‌های مختلف ماند سلولی، بازده حذف COD با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه و شکل ۶ رسم شد.



شکل ۶- تأثیر زمان ماند سلولی در راندمان حذف COD در دو محدوده مختلف MLSS

شکل ۶ به وضوح نشان می‌دهد که با افزایش زمان ماند سلولی تا محدوده‌ای معین، COD خروجی کاهش می‌یابد و بعد از آن افزایش SRT تأثیر چندانی بر بازده حذف COD نخواهد داشت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

اهم نتایج به دست آمده از این تحقیق به شرح زیر است:

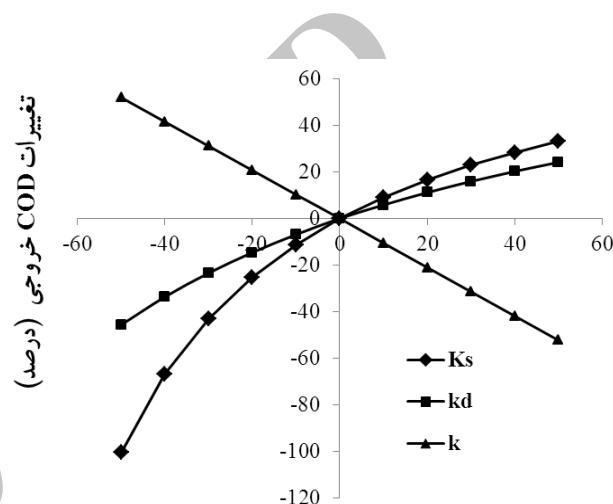
۱- سیستم لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت به دلیل ویژگی‌هایی نظیر طراحی ساده، هزینه کم عملیاتی و بازده بالای حذف COD نسبت به سیستم لجن فعال متعارف به عنوان یک پیشنهاد خوب برای تصفیه انواع مختلف فاضلابها مخصوصاً فاضلاب صنعتی و فاضلاب شهرکهای صنعتی مطرح است.

۲- سیستم لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت می‌تواند به عنوان راهکاری برای افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب لجن فعال بدون افزودن یا کمترین تغییر در حجم مخازن به دلیل افزودن بیومس ثابت استفاده شود.

۳- در ارتباط با پارامترهای سینتیکی سیستم لجن فعال تلفیقی با بستر ثابت، می‌توان گفت به جز  $K_s$  سایر ضرایب سینتیکی در محدوده نرمال فرایند لجن فعال متعارف است که این موضوع می‌تواند بیانگر این واقعیت باشد که مقدار  $K_s$  متأثر از تخمین مقدار  $k_d$  است و هرگونه عدم قطعیتی در تخمین  $k_d$  در مقدار  $K_s$  انعکاس می‌یابد و این مسئله مشخصاً در مقادیر بالای MLSS مشهود است.

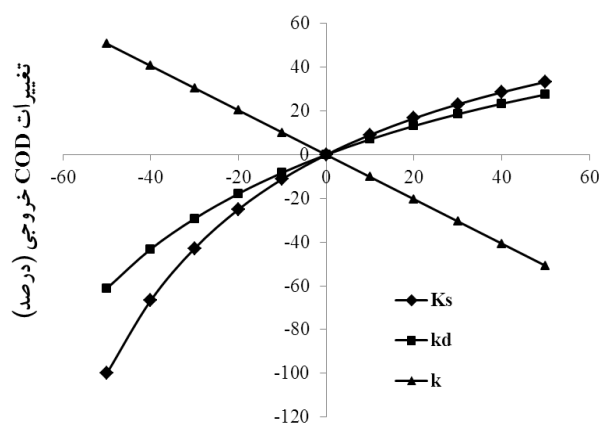
پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد و زمان ماند سلولی نیز به طور ثابت ۲۵ روز تعیین شد و حساسیت ضرایب سینتیکی گوناگون با پیش‌بینی COD خروجی با استفاده از رابطه ۳ و رسم نمودار تغییرات COD خروجی بر حسب تغییرات ضرایب سینتیکی مطالعه شد. نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

شکل‌های ۴ و ۵ به وضوح نشان می‌دهد که تغییرات  $K_s$  و  $k_d$  دارای نسبت مستقیم با غلظت سوبستره خروجی است در حالی که تغییرات  $k$  دارای نسبت عکس با غلظت سوبستره خروجی است. بدون در نظر گرفتن غلظت MLSS، مشخص شده است که غلظت سوبستره خروجی به پارامتر سینتیکی  $k$  حساسیت بیشتری را در مقایسه با  $k_d$  و  $K_s$  نشان می‌دهد.



تغییرات ضرایب سینتیکی (درصد)

شکل ۴- حساسیت ضرایب سینتیکی در محدوده MLSS ۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر



تغییرات ضرایب سینتیکی (درصد)

شکل ۵- حساسیت ضرایب سینتیکی در محدوده MLSS ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر

۶- با افزایش زمان ماند سلولی تا محدوده‌ای معین، غلظت COD خروجی کاهش می‌یابد و پس از آن افزایش SRT تأثیر محسوسی بر غلظت COD خروجی نخواهد داشت.

#### ۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم شرکت شهرکهای صنعتی مازندران و مدیریت بخش محیط زیست این شرکت که نهایت همکاری را در جمع‌آوری اطلاعات آماری تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل را به‌عمل آوردند، قدردانی می‌نمایند.

۴- تغییرات پارامترهای سینتیکی  $k_d$  و  $K_s$  دارای نسبت مستقیم با غلظت سوبستره خروجی است در حالی که تغییرات  $k$  دارای نسبت عکس با غلظت سوبستره خروجی است و بدون در نظر گرفتن غلظت MLSS، مشخص شده است که غلظت سوبستره خروجی به پارامتر سینتیکی  $k$  حساسیت بیشتری را در مقایسه با  $k_d$  و  $K_s$  نشان می‌دهد.

۵- بازده حذف COD در تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل، تحت شرایط راهبری موجود بین ۹۸ تا ۹۹ درصد و فراتر از محدوده نرمال بازده حذف COD در سیستم لجن فعال متعارف است.

#### ۶- مراجع

- 1- Mardan, S., and Tofighi, H. (2007). *Getting acquainted to integrated fixed film activated sludge system in industrial wastewater treatment*, Public and International Relations of Iran Small Industries and Industrial Parks Organization (ISIPO), Tehran. (In Persian)
- 2- Yari, M., and Balader, A. (2007). "Performance of MBBR in treatment of combined municipal and industrial wastewater a case study: Mashhad wastewater treatment plant of Parkandabad." *J. of Water and Wastewater*, 65, 38-46. (In Persian)
- 3- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (1991). *Wastewater engineering: Treatment disposal reuse*, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy, Inc., New York.
- 4- Henze, M. (1992). "Characterization of wastewater for modeling of activated sludge processes." *J. of Wat. Sci. Tech.*, 25(6), 1-15.
- 5- Kovarova-Kovar, K., and Egli, T. (1998). "Growth kinetics of suspended microbial cells: From single-substrate-controlled growth to mixed-substrate kinetics." *J. of Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 62(3), 646-666.
- 6- San, H.A. (1992). "Mechanism of biological treatment in plug flow or batch systems." *J. of Env. Eng. Proc.*, 118(4), 614-628.
- 7- Al-Malack, M.H. (2006). "Determination of biokinetic coefficient of an immersed membrane bioreactor." *J. of Mem. Sci.*, 271(1-2), 47-58.
- 8- Naghizadeh, A., Mesdaghian, A.R., Mahvi, A.H., and Sarkhosh, M. (2008). "Kinetic parameters of the urban wastewater treatment with submerged membrane reactor (SMBR)." *12<sup>th</sup> conf. Environmental Health*, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran. (In Persian)
- 9- Pala, A., and Bolukbas, O. (2005). "Evaluation of kinetic parameters for biological CNP removal from a municipal wastewater through batch tests." *J. of Process Biochemistry*, 40(2), 629-635.
- 10- Joseph, F., and Malina, Jr. (1999). *High-rate biological treatment of wastewater at the pantex facility-alternative to the existing aerate lagoon-pond*, U.S. Department of Energy, Washington D.C.
- 11- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment disposal Reuse*, 4<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy, Inc., New York.
- 12- Qasim, S.R. (1999). *Wastewater treatment plants: Planning design and operation*, 2<sup>nd</sup> Ed., Technomic Publishing Company, Pennsylvania.