تعیین ضرایب سینتیکی در فرایند تصفیه بی‌هوازی در فاضلاب کارخانجات نیشکر

سنا موسویان[1] افشین تکدستان[2] عبدالکاظم نیسی[3]

(دریافت ۹۲/۹/۱۶ پذیرش ۹۳/۳/۱۹)

چکیده

فرایند استخراج شکر از نیشکر، دارای حجم بالای پساب با مقادیر زیادی از مواد آلی و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی است که دفع آنها به رودخانه‌ها و محیط زیست موجب آلودگی و به‌خطر افتادن حیات آبزیان می‌شود. این پژوهش به‌منظور بررسی و تعیین ضرایب سینتیکی سیستم تصفیه بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) شوشتر در سال ۱۳۹۱ انجام شد. پارامترهای BOD_5، COD و TSS در فاضلاب ورودی و خروجی راکتور اندازه‌گیری و با تعیین پارامترهای طراحی و بهره‌برداری سیستم، ضرایب سینتیکی K_d، K_S، K_{max}، Y و μ_{max} با استفاده از معادلات اصلاح شده مونود محاسبه شد. در این مطالعه k_d، Y، k_s، μ_{max} و k_{max} برای کاربرد فرایند UASB در تصفیه فاضلاب کارخانجات نیشکر به‌ترتیب ۵۰۶/۴ میلی‌گرم در لیتر, ۰/۰۵۳g vss/g COD, ۰/۰۸۶ d^{-1}, ۰/۰۰۴۹ d^{-1} و ۰/۰۵۵ d^{-1} به‌دست آمد. از ضرایب سینتیکی به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان در راهبری، و نیز تهیه مبانی طراحی تصفیه‌خانه‌های صنایع نیشکر مشابه با این صنعت به‌ویژه در مناطق گرمسیری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، کارخانجات نیشکر، ضرایب سینتیکی، UASB

Determination of Kinetic Coefficients in Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Using Sugarcane Industrial Wastewater

S. Mousavian [1] *A. Takdastan [2]* *A.K. Neisi [3]*

(Received Dec. 7, 2013 Accepted June 9, 2014)

Abstract

Extraction of sugar from sugarcane produces a high volume of effluent carrying large amounts of organics and BOD_5. Discharging the effluent into rivers and into the environment endangers the aquatic life and increases the risks of environmental pollution. This study was conducted in 2012 to determine the kinetic coefficients of the anaerobic treatment systems (UASB) at the wastewater treatment plant of Imam Khomeini Sugarcane Agro-industrial Plant in Shushtar. The parameters of BOD_5, COD, and TSS were measured at the inlet and outlet of the WWTP. Subsequently, the operation and design parameters of the system were determined. Using the modified Monod Equations, the kinetic coefficients Ks, Y, K_d, μ_{max}, and K_{max} for employing the UASB process at the WWPT in question were calculated as 506.4mg/l, 0.11 g VSS/g COD, 0.0045 d^{-1}, 0.0069 d^{-1}, and 0.055 d^{-1}, respectively. The kinetic coefficients obtained in this study can be used in the steering and operation as well as fundamental design of similar plants, especially in hot areas.

Keywords: Wastewater Treatment, Sugarcane Agro-industry, Kinetic Coefficients, UASB.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، ایران (نویسنده مسئول) ۰۹۱۲۳۴۷۰۷۷۶ Afshin_ir@yahoo.com

۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، ایران

1. MSc Student, Dept. of Environmental Health Engineering, Azad Islamic University, Khuzestan Science and Research Branch, Ahvaz, Iran
2. Assoc. Prof. of Environmental Health Engineering and Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran (Corresponding Author) (+98) 9123470776 Afshin_ir@yahoo.com
3. Assist. Prof. of Environmental Health Engineering and Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

فاضلاب‌های صنعتی از جمله فاضلاب‌های کشت و صنعت نیشکر و قند، پساب‌هایی هستند که در نتیجه فعالیت‌های بشر در رابطه با پردازش و تولید مواد خام به‌وجود می‌آیند[۱]. فرایند استخراج شکر از نیشکر، دارای حجم بالای پساب با مقادیر زیادی از مواد آلی است که دفع آنها به رودخانه‌ها و محیط زیست موجب آلودگی و به‌خطر افتادن حیات آبزیان و محیط زیست می‌شود[۲]. منابع تولید فاضلاب در این کارخانه‌ها شامل پساب حاصل از نقل و انتقال و شستشوی چغندر قند و نیشکر، رزین‌های رنگبری، پساب حاصل از شستشوی سختی‌گیرها، شستشوی ماشین‌آلات و تجهیزات، قندگیری ملاس، پرس تفاله و محوطه کارخانه و غیره است[۳]. پساب ناشی از تخلیه ملاس تولیدی اولیه از جنبه بار آلی بسیار غنی بوده و BOD فاضلاب کارخانه را به بالای ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر معادل ۱۰ برابر بار آلودگی فاضلاب خانگی افزایش می‌دهد. این پساب به‌تنهایی باعث کاهش آنی اکسیژن محلول[1] منابع پذیرنده، به‌علت بسیار تجزیه‌پذیر بودن و مرگ‌ومیر آبزیان به‌ویژه ماهی‌ها می‌شود[۴].

میزان فاضلاب تولیدی و تغییرات آن به‌ازای واحد تولید در تکنولوژی تولید به نوع انتقال مواد به داخل کارخانه و شرایط دمایی منطقه بستگی دارد؛ بنابراین میزان فاضلاب تولیدی به‌ازای هر تن حجم واحد تولیدی، تقریباً بین ۱۲ تا ۲۵ مترمکعب است[۵ و ۶]. برای تصفیه فاضلاب در صنعت نیشکر از روش‌های تصفیه فیزیکی- شیمیایی و تصفیه بیولوژیکی استفاده می‌شود که متداول‌ترین روش، سیستم تصفیه بی‌هوازی با جریان روبه بالا[2] است. در کشورهای گرمسیری، این فرایند همچنین برای تصفیه فاضلاب‌های رقیق‌تر نظیر فاضلاب‌های خانگی تازه به‌کار می‌رود[۷]. تقریباً همه انواع فاضلاب را می‌توان با تحلیل مناسب و کنترل محیط زیستی به‌روش بیولوژیکی تصفیه کرد. به این منظور، درک مشخصه‌های هر یک از فرایندهای بیولوژیکی برای مطمئن شدن از تأمین محیطی مناسب با کنترلی مؤثر ضروری است[۸]. بهینه‌سازی، نظارت و کنترل یک فرایند بیولوژیکی از فعالیت‌های مهم در عرصه صنعتی و پژوهشی است و بر اهمیت آن روزبه‌روز افزوده می‌شود[۹].

برای طراحی و همچنین بهره‌برداری و نگهداری مناسب از تصفیه‌خانه فاضلاب به‌روش بی‌هوازی- هوازی، انتخاب مناسب ضرایب سینتیکی Y، K_d، K_s، K، و μ، با توجه به نوع فاضلاب و شرایط آب و هوایی منطقه ضروری است[۱۰]. با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش‌هایی در این زمینه صورت گرفته است. ضرایب سینتیکی راکتورهای بی‌هوازی UASB در تصفیه فاضلاب کشتارگاه و کارخانه تولید بستنی با استفاده از معادله اصلاح شده مونود محاسبه و تعیین شده‌اند[۱۱، ۱۲ و ۱۳].

از ضرایب سینتیکی به‌منظور کنترل فرایندهای تصفیه بیولوژیکی و پیش‌بینی و تخمین مدل حذف مواد آلی و مواد مغذی و همچنین رشد میکروبیولوژیکی استفاده شده است. ضرایب سینتیکی در محدوده مورد نظر هر فرایند تصفیه بیولوژیکی، برای طراحی همان واحد و برای همان فاضلاب خاص در نقاط مختلف کاربرد دارد و در رابطه‌های طراحی تصفیه‌خانه به‌کار می‌رود[۱۷].

در حال حاضر به‌دلیل نبود ضرایب سینتیکی واقعی بومی به‌ویژه در تصفیه بیولوژیکی سیستم لجن فعال و سیستم UASB و استفاده از داده‌های سایر کشورها، لزوم محاسبه این داده‌ها بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و نوع فاضلاب صنعتی به‌ویژه خصوصیات کیفی پساب، با توجه به نوع فرایند تولید محصول و نوع سیستم تصفیه ضروری است. در این پژوهش، ضرایب سینتیکی Y، K_d، μ_m، K_s و μ سیستم UASB تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی کارخانجات شکر امام خمینی در شهر شوشتر تعیین و بررسی شد. با توجه به وجود صنایع قند و شکر متعدد در داخل کشور به‌ویژه استان خوزستان، نتایج به‌دست آمده می‌تواند به‌منظور طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب صنعتی استفاده شود و نیازی به استفاده از داده‌های منابع خارجی نیست.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌مدت شش ماه در سال ۹۱ روی فاضلاب کارخانه شکر استان خوزستان با استفاده از سیستم تصفیه بی‌هوازی با UASB، در مقیاس صنعتی صورت گرفت. به‌دلیل فصلی‌بودن فعالیت کارخانه، تصفیه‌خانه در حدود شش ماه از سال، یعنی از آخر مهر با شروع برداشت نیشکر تا آخر اسفندماه فعال است. تولید فاضلاب در این صنعت با توجه به شرایط اقلیمی و تأخیر در برداشت نیشکر و وقفه افتادن در تولید محصول، به‌صورت غیردائمی است. به‌منظور کنترل نوسانات دبی و یکنواخت‌سازی کیفیت پساب ورودی از لحاظ بار آلودگی، فاضلاب خام به مخزن یکنواخت‌سازی با زمان ماند ۱۰ روزه هدایت شد و سپس به‌منظور تنظیم پارامترهای مهمی همچون pH و COD/N/P و میکرونوترینت‌های ضروری برای رشد باکتری‌های بی‌هوازی، به تانک اصلاح وارد شد. پس از تزریق مواد شیمیایی لازم از قبیل کاستیک سودا، اسید کلریدریک، اوره و اسید فسفریک، فاضلاب با دبی ۵۰ مترمکعب در ساعت و دمای ۳۷ درجه سلسیوس به‌کمک لوله‌های توزیع فاضلاب از کف راکتور با فاصله ۱/۲۰ سانتی‌متر، وارد راکتور بی‌هوازی UASB با طول و عرض برابر با ۱۵/۸ متر و

[1] Dissolved Oxygen (DO)
[2] Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

www.SID.ir
Archive of SID

ارتفاع ۶ متر و حجم تقریبی ۱۵۰۰ مترمکعب شد. ترکیبات آلی موجود در پساب، پس از تماس با توده میکروارگانیسم‌ها که به‌شکل ذرات متراکم گرانولی با اندازه تقریبی ۰/۱۴ تا ۰/۵ میلی‌متر هستند، قرار گرفت و در نهایت به گاز متان و CO_2 تبدیل می‌شوند. بیوگاز تولید شده در گازگیرهای راکتور UASB جمع‌آوری شده و با هدایت به‌سمت شعله، سوزانده می‌شوند. راکتور بی‌هوازی UASB در ماه آبان راه‌اندازی شد و نمونه‌برداری از فاضلاب، دو بار در هفته در ماه‌های آذر، دی و بهمن به‌روش Grap-sampel از نقاط ورودی و خروجی راکتور انجام شد. آنالیز روی هفت نمونه برای تعیین پارامترهای BOD، COD، TSS، pH، VSS طبق روش استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت گرفت که جمعاً ۲۱ نمونه برای هر پارامتر در نظر گرفته شد[۱۴].

۲-۱- تعیین نقاط نمونه‌برداری

نقاط نمونه‌برداری شامل:

۱- پساب ورودی به راکتور بی‌هوازی UASB (پساب تانک اصلاح)؛

۲- پساب خروجی از سرریز راکتور بی‌هوازی UASB؛

۳- شیر شماره ۲ بدنه راکتور (به فاصله حدود ۰/۵ متر از کف راکتور) بود (شکل ۱).

۲-۲- روش انجام آزمایش‌ها

برای تعیین غلظت COD فاضلاب خام ورودی و خروجی، از دستگاه COD متر اسپکترفتومتر[1] مدل لاوی‌باند[2] طبق آزمایش شماره 5250B کتاب روش‌های استاندارد استفاده شد[۱۴].

به‌منظور تعیین غلظت توده زیستی درون راکتور، ۱۰۰ سی‌سی فاضلاب خروجی از شیر شماره ۲ برداشته شد و آزمایش VSS از طریق روش وزن‌سنجی و با استفاده از ترازوی دیجیتال و آون استیل دیجیتالی طبق آزمایش شماره 2540E بر روی آن انجام شد (شکل ۲)[۱۴].

۲۵ سی‌سی فاضلاب خروجی از تانک اصلاح برداشته شد و اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر جنوی[3]، طبق آزمایش شماره 4500HB انجام شد[۱۴].

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش پارامترهای کیفی ورودی و خروجی راکتور UASB، پارامترهای SRT (θc)، HRT(θ_H)، بارگذاری آلی COD برحسب کیلوگرم در روز و BOD حذف‌شده برحسب کیلوگرم در روز در هر ماه برای سیستم بی‌هوازی UASB محاسبه شد و با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب[4] و ترسیم نمودار، ضرایب سینتیکی (K_{max}، Y، K_d، μ_m و K_s) طبق معادله اصلاح‌شده مونود به‌دست آمد.

شکل ۱- بدنه راکتور UASB

شکل ۲- شیرهای خروجی از بدنه راکتور UASB

۲-۳- روش تعیین ضرایب سینتیکی

برای تعیین ثابت‌های سینتیکی Y و K_d در این مطالعه ابتدا از رابطه ۱ استفاده شد[۱۵]

$$\left(\frac{S_0 - S}{\theta_H \times X}\right) = \frac{1}{Y} \times \left(\frac{1}{\theta_C}\right) + \frac{1}{Y} \times K_d \qquad (۱)$$

با رسم نمودار رگرسیون بین $\frac{1}{\theta_c}$ در مقابل $\frac{S_0 - S}{\theta_H \times X}$ ضرایب Y و K_d محاسبه شدند. برای تعیین ثابت‌های سینتیکی K_S و μ_{max} در این مطالعه، رابطه ۲ استفاده شد[۱۵]

$$\left(\frac{\theta_C}{1 + \theta_C \times K_d}\right) = \frac{K_S}{\mu_{max}} \times \left(\frac{1}{S}\right) + \frac{1}{\mu_{max}} \qquad (۲)$$

[1] Spectrophotometr\ET 108
[2] LOVIBOND
[3] JENWAY/3310
[4] Minitab

Archive of SID
www.SID.ir

با رسم نمودار رگرسیون بین $\frac{1}{S}$ در مقابل $\frac{\theta_c}{1+\theta_c \times K_d}$ ضرایب Ks و μ_{max} محاسبه شدند. K_{max} با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد[۱۵]

$$K_{max} = \mu_{max} \times \frac{1}{Y} \qquad (۳)$$

که در این روابط
S_0 (COD) غلظت سوبسترای ورودی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، S (COD) غلظت سوبسترای خروجی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، X غلظت میکروارگانیسم‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر، θ_c زمان ماند سلولی برحسب روز و θ_H زمان ماند هیدرولیکی بر حسب روز است[۱۶].

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌ها در این مطالعه برای تعیین ضرایب سینتیکی ماه‌های آذر، دی و بهمن در جدول ۱ نمایش داده شده است. با کمک این اطلاعات و سایر جدول‌های موجود، مقادیر ضرایب سینتیک برای ماه‌های آذر، دی و بهمن محاسبه شدند.

جدول ۲ مقادیر محاسبه شده زمان ماند سلولی، با در نظر گرفتن ۱۶ درصد دورریز لجن به‌طور متوسط در هر روز برای ماه‌های آذر، دی و بهمن را نشان می‌دهد. زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب در راکتور برابر با ۱۲ ساعت برای ماه‌های یادشده در نظر گرفته شد.

برای تعیین ثابت‌های سینتیکی Y و K_d در این پژوهش با استفاده از رابطه ۱ و با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۱ مقادیر $\frac{1}{SRT(\theta_R)}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر به‌دست آمده از آزمایش‌های تعیین ضرایب سینتیکی ماه‌های آذر، دی و بهمن

شماره نمونه	S_0 (mg/L)			S (mg/L)			θ_C (d)			X (mg/L)		
	آذر	دی	بهمن	آذر	دی	بهمن	آذر	دی	بهمن	آذر	دی	بهمن
۱	۳۹۹۰	۴۱۲۰	۴۸۶۰	۱۷۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۳	۸/۱۹	۱۱/۱	۵۳۲۵/۵	۶۶۳۶	۶۷۸۷
۲	۳۸۶۰	۶۳۲۳	۴۷۵۰	۱۴۰۰	۱۱۵۰	۱۶۴۰	۶/۶۱	۶/۷۵	۷/۸۹	۴۹۶۹	۴۵۶۳	۵۴۵۶
۳	۴۴۴۰	۴۲۳۴	۳۸۷۰	۱۶۵۰	۱۴۴۰	۱۳۰۰	۶/۲۵	۶/۴۸	۷/۷۷	۴۹۸۲	۴۳۹۳	۳۹۵۳
۴	۴۸۴۰	۴۱۸۸	۴۱۵۰	۱۹۰۰	۱۳۱۰	۱۳۷۰	۵/۶۵	۶/۳۵	۶	۴۲۰۰	۳۹۸۵	۳۷۳۱
۵	۴۶۹۰	۴۳۵۲	۴۶۹۰	۱۹۸۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۵/۷۹	۵/۵	۵/۹۷	۳۰۱۱	۳۶۱۱	۳۸۶۲/۹
۶	۴۵۰۰	۴۳۸۳	۴۹۰۰	۱۷۰۰	۱۷۰۰	۱۷۲۰	۴/۵۳	۴/۷۸	۵/۸۸	۲۸۱۴	۳۴۸۱	۳۵۳۳
۷	۳۷۰۰	۴۶۰۰	۴۹۶۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۵۲۰	۴/۴۹	۴/۳۷	۵/۶۸	۲۳۸۰	۶۴۰۰	۳۶۲۱

جدول ۲- زمان ماند سلولی (SRT) در ماه‌های آذر، دی و بهمن

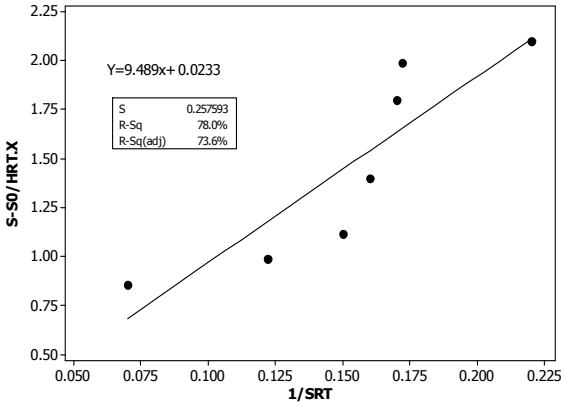
شماره	θ_C (d)		
	آذر	دی	بهمن
۱	۱۳	۸/۱۹	۱۱/۱
۲	۶/۶۱	۶/۷۵	۷/۸۹
۳	۶/۲۵	۶/۴۸	۷/۷۷
۴	۵/۶۵	۶/۳۵	۶
۵	۵/۷۹	۵/۵	۵/۹۷
۶	۴/۵۳	۴/۷۸	۵/۸۸
۷	۴/۴۹	۴/۳۷	۵/۶۸

جدول ۳- مقادیر $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ محاسبه‌شده در آذرماه

شماره	$\frac{1}{SRT(\theta c)}$	$\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$
۱	۰/۰۷	۰/۸۶
۲	۰/۱۲۲	۰/۹۹
۳	۰/۱۵	۱/۱۲
۴	۰/۱۶	۱/۴
۵	۰/۱۷	۱/۸
۶	۰/۱۷۲	۱/۹۹
۷	۰/۲۲	۲/۱

www.SID.ir

در شکل ۳، نمودار رگرسیون بین $\frac{1}{SRT(\theta c)}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ رسم شده و با استفاده از آن ضرایب Y و K_d محاسبه شده است.



شکل۳- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT\times X}$ آذرماه

بنابراین میزان Y برابر با ۰/۱۰۵ g vss/gCOD و K_d برابر با ۰/۰۲۴ d^{-1} به‌دست آمد. در مرحله بعد، ثابت‌های سینتیکی μ_{max} و K_s با استفاده از رابطه ۲ و مقادیر محاسبه شده در جدول ۴ تعیین شد.

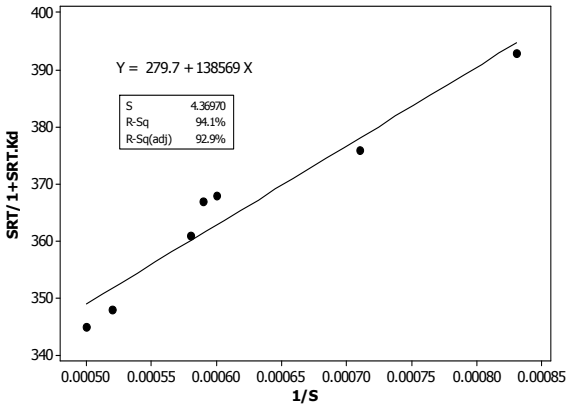
جدول۴- مقادیر $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$ محاسبه‌شده در آذرماه

شماره	$\frac{1}{S}$	$\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$
۱	۰/۰۰۰۵۸	۳۴۵
۲	۰/۰۰۰۵	۳۴۸
۳	۰/۰۰۰۸۳	۳۷۶
۴	۰/۰۰۰۵۹	۳۶۱
۵	۰/۰۰۰۵۲	۳۶۷
۶	۰۰۰۷۱	۳۶۸
۷	۰/۰۰۰۶	۳۹۳

در شکل ۴ منحنی رگرسیون بین $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$ رسم شده و با استفاده از آن، ضرایب μ_{max} و K_s محاسبه شد.

بنابراین میزان K_s برابر با ۴۸۴/۹ میلی‌گرم در لیتر و مقدار μ_{max} برابر با ۰/۰۳۵ در روز محاسبه شد. K_{max} از رابطه ۳ برابر با ۰/۰۳۳ به‌دست آمد.

به‌همین ترتیب مقادیر محاسبه شده ($\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$) و ($\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$) برای ماه‌های دی و بهمن در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است.



شکل۴- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT}{(1+SRT\times K_d)}$ آذرماه

جدول ۵- مقادیر محاسبه‌شده

$\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ و $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$ دی‌ماه

شماره	$\frac{1}{SRT}$	$\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$	$\frac{1}{S}$	$\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$
۱	۰/۱۲۲	۰/۸۸	۰/۰۰۰۵۸	۹۹/۳
۲	۰/۱۴۸	۱/۱	۰/۰۰۰۶۶	۱۰۱
۳	۰/۱۵۴	۱/۲۲	۰/۰۰۰۶۹	۱۰۴
۴	۰/۱۵۷	۱/۳۸	۰/۰۰۰۷۱	۱۰۵
۵	۰/۱۸	۱/۴۴	۰/۰۰۰۷۶	۱۰۵/۸
۶	۰/۲	۱/۵۸	۰/۰۰۰۸۳	۱۰۷
۷	۰/۲۲	۱/۶	۰/۰۰۰۸۶	۱۱۲

جدول۶- مقادیر محاسبه‌شده

$\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ و $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$ بهمن‌ماه

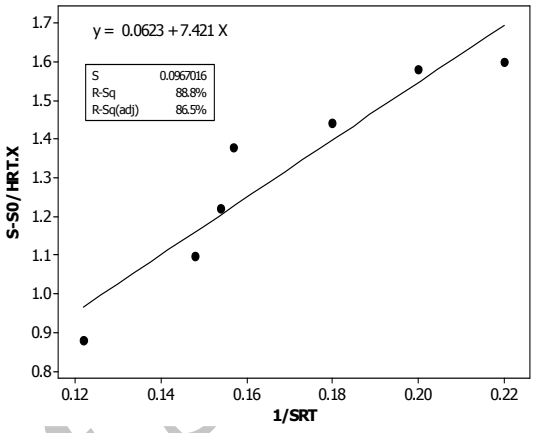
شماره	$\frac{1}{SRT}$	$\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$	$\frac{1}{S}$	$\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$
۱	۰/۰۹۰	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵۸	۲۹۸/۵
۲	۰/۱۲۶	۱/۱۴	۰/۰۰۰۶	۲۹۹
۳	۰/۱۲۸	۱/۳	۰/۰۰۰۶۲	۳۰۰
۴	۰/۱۶۶	۱/۴۹	۰/۰۰۰۶۵	۳۰۹
۵	۰/۱۶۷	۱/۶	۰/۰۰۰۶۶	۳۱۰/۸
۶	۰/۱۷	۱/۸	۰/۰۰۰۷۲	۳۱۵/۶
۷	۰/۱۷۶	۱/۹	۰/۰۰۰۷۶	۳۱۷

Archive of SID

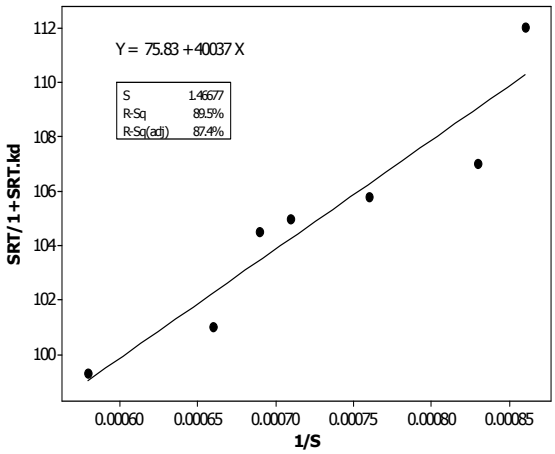
www.SID.ir

شکل‌های ۵ و ۷ منحنی رگرسیون خطی بین $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT(\theta_H)*X}$ را برای ماه‌های دی و بهمن نشان می‌دهند.

همچنین منحنی‌های رگرسیون بین $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{SRT(\theta_c)}{1+SRT(\theta_c)\times X}$ برای ماه‌های یاد شده در شکل‌های ۴ و ۶ آورده شده است.

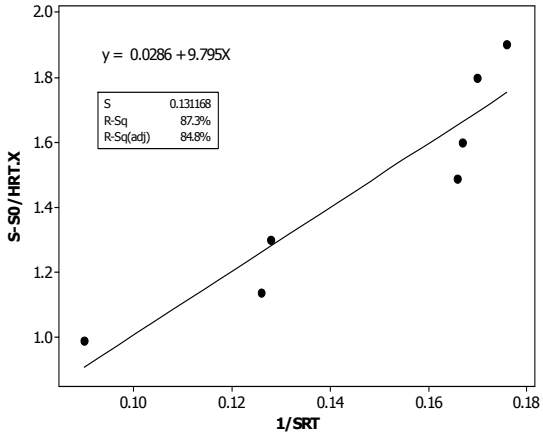


شکل۵- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT\times X}$ دی‌ماه

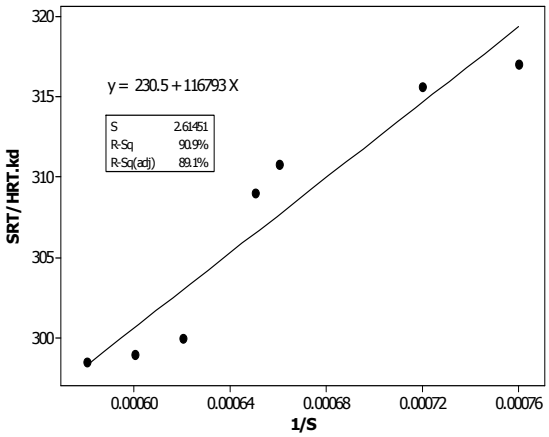


شکل۶- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT}{(1+SRT\times K_d)}$ دی‌ماه

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ مقادیر ضرایب سینتیکی Y، K_d، K_s، μ_{max}، K_{max} برای دی‌ماه، به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۳ g vss /g COD، ۰/۱۳۴ در روز، ۵۲۷/۹ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۰۰۸۳ و ۰/۰۹ در روز محاسبه شد. همچنین این مقادیر برای بهمن‌ماه با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ به‌ترتیب برابر با ۰/۰۴۳ g vss /g COD، ۰/۱۰۲، ۶/ ۵۰۶ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۰۰۲۹ و ۰/۰۴۲ در روز محاسبه شد.



شکل۷- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{SRT}$ و $\frac{(S_0-S)}{HRT\times X}$ بهمن‌ماه



شکل۸- رگرسیون خطی بین $\frac{1}{S}$ و $\frac{SRT}{(1+SRT\times K_d)}$ بهمن‌ماه

جدول۷ ضرایب سینتیکی به‌دست‌آمده در ماه‌های آذر، دی و بهمن سیستم UASB تصفیه‌خانه فاضلاب صنعت نیشکر امام خمینی را نشان می‌دهد.

در جدول‌های ۷ و ۸، ضرایب سینتیکی محاسبه شده و عملکرد سیستم UASB در ماه‌های آذر، دی و بهمن ارائه شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تغییرات غلظت مواد آلی ورودی به تصفیه‌خانه ناچیز بوده، به‌طوری‌که میزان میانگین کل مواد آلی (COD) فاضلاب خام در آذرماه برابر ۴۳۸ ± ۴۲۸۸/۵ میلی‌گرم در لیتر، در دی‌ماه ۷۷۵ ± ۴۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در بهمن‌ماه ۴۱۸ ± ۴۵۹۷ میلی‌گرم در لیتر تعیین شد، که این مقدار در دی‌ماه نسبت به ماه‌های دیگر مورد مطالعه، دارای رقم بالاتری بود. نسبت BOD/COD فاضلاب خام ورودی به سیستم تصفیه در هر سه ماه ۰/۴۲ تا ۰/۴۹ بود که نشان‌دهنده قابلیت تجزیه‌پذیری فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۷- ضرایب سینتیکی به‌دست‌آمده برای ماه‌های آذر، دی و بهمن

میانگین ماه‌های مورد مطالعه	ضرایب سینتیکی				
	K_{max} (d^{-1})	K_s (Mg/l)	K_d (d^{-1})	Y (kgvss/kgCOD)	μ_{max} (d^{-1})
آذر	۰/۰۳۳	۴۸۴/۹	۰/۰۲۴	۰/۱۰۵	۰/۰۰۳۵
دی	۰/۰۹	۵۲۷/۹	۰/۱۳۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸۳
بهمن	۰/۰۴۲	۵۰۶/۶	۰/۱۰۲	۰/۰۴۳	۰/۰۰۲۹

جدول۸- خلاصه نتایج پارامترهای اندازه‌گیری‌شده سیستم بی‌هوازی UASB

پارامترهای اندازه‌گیری‌شده	ماه‌های نمونه‌برداری		
	آذر	دی	بهمن
میانگین پارامترهای کیفیت فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه			
BOD_5(mg/L)	۱۹۵۲ ± ۱۶۲	۱۹۶۱ ± ۱۰۸	۲۱۲۸ ± ۱۱۰
COD(mg/L)	۴۲۸۸/۵ ± ۴۳۸	۴۶۰۰ ± ۷۷۵	۴۵۹۷ ± ۴۱۸
TSS(mg/L)	۲۵۰۰ ± ۶۹۴	۲۴۹۱ ± ۴۵۹	۲۲۱۶/۵ ± ۴۵۶
بارگذاری آلی($Kg/m^3.d$)	۳/۶۷ ± ۰/۹	۲/۱۱ ± ۰/۲	۲/۹۷ ± ۰/۳
BOD/COD	۰/۴۵ ± ۰/۰۳	۰/۴۲ ± ۰/۰۳	۰/۴۶ ± ۰/۰۳
میانگین پارامترهای کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه			
BOD_5(mg/L)	۵۱۰ ± ۷۰	۴۶۴/۲ ± ۶۰	۵۸۲/۸ ± ۴۵
COD(mg/L)	۱۶۴۷/۱ ± ۲۷۱	۱۳۸۵ ± ۱۸۷	۱۵۲۱/۴ ± ۱۴۸
TSS(mg/L)	۷۶۶ ± ۱۸۹	۸۲۵/۷ ± ۱۷۸	۷۵۱/۴ ± ۱۵۹
BOD/COD	۰/۳۱ ± ۰/۰۳	۰/۳۳ ± ۰/۰۴	۰/۳۸ ± ۰/۰۳
میانگین راندمان حذف آلاینده‌ها (درصد)			
BOD_5(mg/L)	۷۳/۸ ± ۲	۷۶/۳ ± ۳	۷۲/۶ ± ۲
COD(mg/L)	۶۱/۵ ± ۳	۶۹/۸ ± ۲	۶۶/۹ ± ۱
TSS(mg/L)	۶۹/۳ ± ۴	۶۶/۸ ± ۲	۶۶ ± ۴
میانگین پارمترهای طراحی و بهره‌برداری			
MLSS	۴۹۸۰ ± ۱۴۹۹	۵۹۱۶ ± ۱۶۰۹	۵۵۶۶ ± ۱۵۵۲
HRT	۱۲	۱۲	۱۲
SRT	۶/۶۱ ± ۳	۶ ± ۱/۲	۷ ± ۱/۹

میانگین ضریب خودتخریبی K_d در ماه‌های مورد بررسی برابر با ۰/۰۸۶ بود که در محدوده سایر پژوهش‌های مشابه در سیستم‌های بی‌هوازی UASB است. این رقم نشانگر نبود عامل بازدارنده رشد در فاضلاب خام ورودی به سیستم تصفیه بیولوژیکی است. بریتو و همکاران در سال ۱۹۹۶، در بررسی عملکرد راکتور بی‌هوازی UASB در تصفیه فاضلاب کشتارگاه، ضریب خودتخریبی K_d را برابر با ۰/۰۲۹ در روز محاسبه کردند. همچنین سایر ضرایب سینتیکی یعنی k، K_s، Y را به‌ترتیب برابر با $5/1\ d^{-1}$، ۱/۴۷ kg/COD، ۰/۱۷ kgvss/kgCOD به‌دست آوردند[۱۲].

پژوهش‌هایی که بورجا و همکاران در سال ۱۹۹۴، در مقیاس پایلوت بر روی پساب کارخانه بستنی‌سازی انجام دادند، ضریب k_d برابر با ۰/۰۲۸ در روز و ضرایب Y، Ks، K را به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶ kgvss/kgCOD، ۱/۳۹ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۲۹ در روز محاسبه کردند[۱۱].

ضریب Y یا ضریب تولید جرم سلولی در بهمن‌ماه برابر با۰/۰۴۳ kgvss/kgCOD به‌دست آمد که کمترین مقدار بوده و بیشترین مقدار لجن تولید شده در ماه آذر برابر با kgvss/kgCOD ۰/۱۰۵ بود. ضریب حداکثر سرعت رشد ویژه (μ_{max}) با ضریب نیمه اشباع (K_s) ارتباط معکوس دارد به‌طوری‌که هرچه K_s (مقدار

www.SID.ir

نیمه اشباع سوبسترا) بالاتر رود فعالیت بیولوژیکی یا ضریب رشد ویژه (μ_{max}) کمتر می‌شود و راندمان تصفیه بیولوژیکی کاهش می‌یابد. در این پژوهش مقدار ضریب حداکثر رشد ویژه μ_{max} و بیشینه سرعت تجزیه مواد K_{max} در دی‌ماه، نسبت به سایر ماه‌های مورد مطالعه، بالاتر بود که نشان‌دهنده بالابودن راندمان حذف مواد آلی قابل‌تجزیه بیولوژیکی (BOD_5) در دی‌ماه نسبت به ماه‌های دیگر است. در این مطالعه راندمان حذف COD از ۶۱/۵ درصد در آذرماه با میزان بارگذاری آلی ۳/۶۷ kgCOD/m^3.d به ۶۹/۸ درصد در دی‌ماه با میزان بارگذاری آلی ۲/۱۱ kgCOD/m3.d رسید. زمان ماند هیدرولیکی، ثابت و برابر با ۱۲ ساعت در ماه‌های مورد بررسی بود.

با توجه به ثابت‌بودن دمای فاضلاب ورودی به سیستم تصفیه بیولوژیکی UASB، می‌توان کاهش محسوس راندمان حذف BOD و COD سیستم تصفیه بیولوژیکی در آذرماه را با افزایش فعالیت کارخانه و بالارفتن میزان غلظت فاضلاب تولیدی در واحدهای مختلف کارخانه مرتبط دانست. فاضلاب تولیدشده در واحدهای تولید شکر و تولید خوارک دام و تخته صنعتی، حاوی ترکیبات روغنی، ترکیبات فسفاته و ترکیبات قندی حاصل از قندگیری ملاس و غیره است که می‌تواند باعث افزایش بار آلی شود. بنابراین بارگذاری آلی در آذرماه به‌میزان ۳/۶۷ کیلوگرم در روز به‌ازای هر مترمکعب حجم UASB نسبت به ماه‌های دی و بهمن افزایش یافت.

با وقفه افتادن در برداشت نیشکر به‌دلیل شرایط جوی در دی‌ماه و بهمن‌ماه، فعالیت تولیدی کارخانه نیشکر کمتر شده و فاضلاب با بار آلی کمتری تولید می‌شود. میزان بارگذاری آلی در سیستم تصفیه بیولوژیکی به‌ترتیب در ماه‌های دی و بهمن به‌میزان ۰/۲ ± ۲/۱۱ و ۰/۳ ± ۲/۹۷ کاهش یافت که نتیجه آن افزایش راندمان حذف BOD و COD سیستم تصفیه بیولوژیکی در ماه‌های یادشده بود. علاوه بر تأثیر غلظت فاضلاب بر راندمان حذف، غلظت مواد جامد معلق مایع مخلوط[1] نیز بر راندمان حذف سیستم تصفیه بیولوژیکی تأثیر درخورتوجهی دارد. در جدول ۸ مقادیر به‌دست‌آمده از غلظت MLSS راکتور در ماه‌های آذر، دی و بهمن ماه به‌ترتیب برابر با ۱۴۹۹ ± ۴۹۸۰، ۱۶۰۹ ± ۵۹۱۶ و ۱۵۵۲ ± ۵۵۶۶ است. نتایج ارائه شده حاکی از آن است که افزایش میزان MLSS سیستم تصفیه بیولوژیکی در بالا بردن راندمان حذف BOD و COD سیستم تصفیه مؤثر است.

به‌منظور افزایش راندمان حذف BOD و COD سیستم تصفیه‌خانه، واحدهای مختلف کارخانه می‌توانند با تصفیه اولیه فاضلاب از قبیل استفاده از چربی‌گیر و یا کاربرد سپتیک[2] در مسیر عبور فاضلاب و شناسایی دقیق ترکیبات مواد تولیدی واحدهای مختلف کارخانه در ماه‌های مختلف سال، عملکرد سیستم تصفیه بیولوژیکی را ارتقا دهند.

ایزیک و همکاران در سال ۲۰۰۵ در بررسی عملکرد راکتور UASB برای حذف رنگ‌های آزو و نمک‌ها و افزودنی‌های دیگر از پساب شبیه‌سازی‌شده صنعت نساجی، در مقیاس آزمایشگاهی، مقادیر ضرایب سینتیکی K_s، K_d، Y و μ_{max} را به‌ترتیب برابر با ۱۰۳۸۳ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۰۰۶۵ در روز، COD ۰/۱۲۵ vss/mg میلی‌گرم و ۰/۱۰۵ در روز محاسبه کردند[۱۵].

در مطالعات جان و همکاران در سال ۲۰۱۲، برای ارزیابی عملکرد راکتور UASB در تصفیه فاضلاب، ضرایب سینتیکی K_s، K_d، Y، μ_{max} و K به‌ترتیب ۲۱۴ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۰۰۲۳ در روز، COD kg vss /kg ۰/۰۷۶۷، ۰/۰۱۹۸ و ۰/۲۵۷ در روز به‌دست آمد و ضرایب پیشنهاد شده در این پژوهش با موفقیت توسعه داده شد[۱۸]. معمولاً ضرایب سینتیکی در پژوهش‌های گوناگون برای انواع پساب‌های مختلف صنعتی بسیار متفاوت است. حتی در مطالعات مشابه بسته به کیفیت فاضلاب ورودی و نوع سیستم تصفیه، اندکی تغییر می‌کند و این تفاوت به‌دلیل شرایط بهره‌برداری و متغیر بودن کیفیت سوبسترای ورودی و تغییرات آنها است[۱۹]. در این پژوهش با تغییر عواملی همچون سوبسترای ورودی (BOD و COD)، بارگذاری آلی متفاوت ورودی به راکتور و همچنین تغییرات غلظت بیومس در راکتور UASB در طی زمان انجام پژوهش، ضرایب سینتیکی متفاوتی حاصل شد. خلاصه نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۷ ارائه شده است.

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد سیستم بی‌هوازی UASB و تعیین ضرایب سینتیکی Y، K_d، K_s، μ_m و μ راکتور UASB در مقیاس کامل صنایع مشابه استفاده شود.

۴- نتیجه‌گیری

میانگین نتایج ضرایب سینتیکی K_s، Y، K_d، μ_{max}، و k_{max} فرایند بی‌هوازی UASB تصفیه‌خانه فاضلاب نیشکر شوشتر به‌ترتیب برابر با ۵۰۶/۴ میلی‌گرم در لیتر، gvss/gCOD ۰/۰۵۳، ۰/۰۸۶، ۰/۰۰۴۹ و ۰/۰۵۵ در روز است.

میانگین بارگذاری آلی ورودی به راکتور UASB برابر با ۲/۹۱ kgCOD/m^3.d و میانگین راندمان حذف COD برابر با ۶۶/۱

[1] Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

[2] Septic

Archive of SID
www.SID.ir

درصد به‌دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم تصفیه بی‌هوازی UASB بود. همچنین این سیستم می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌تصفیه مناسب، قبل از سیستم‌های تصفیه هوازی لجن فعال، برای تصفیه فاضلاب صنایع نیشکر قرار بگیرد. از ضرایب سینتیکی به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌توان در راهبری، بهره‌برداری و همچنین در طراحی تصفیه‌خانه‌های صنایع نیشکر مشابه با این صنعت استفاده کرد.

۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیرعامل محترم کشت و صنعت امام خمینی (ره) شوشتر و مسئول محترم HSE و کارشناس محترم آزمایشگاه تصفیه‌خانه کشت و صنعت برای همکاری در انجام این پژوهش قدردانی و تشکر می‌کنند.

۶- منابع

1. Jern, N.G., and Wun, J. (2006). *Industrial wastewater treatment*, Imperial College Press, London.
2. Mostaed, S., and Amin, M.M., Hassani, A., and Takdastan, A. (2010). "Anaerobic biofilm reactor system efficiency in sugar cane industry wastewater treatment." *J. of the Health System*, *Research*, 6, 1002-1014.
3. Abedi, Z. (2007). "Sewage contamination of the sugar industry in Iran." *J. of Humans and the Environment*, 4, 60-70.
4. Shariat Panahi, M. (1996). *Quality of waste water*, Tehran University Press, Tehran. (In Persian)
5. Asadi, M. (1989). *Industrial sewer: Orgins characteriscs and treatment*, Markaznashr daneshgahi Pub., Tehran. (In Persian)
6. Bhatia, S.C. (2005). *Environmental pollution and control in chemical process industry*, 2nd Ed, Khara Pub., Naiseralc, Delhi, India.
7. Hosseinian, M. (1990). *Design of municipal wastewater treatment plants, industrial wastewater*, Shahrab Pub., Tehran. (In Persian)
8. Osaloo, A., and Khoushfetrat, A. (2004). "Process of biological removal of volatile organic compounds in wastewater treatment plant aeration basin petrochemical." *9th National Conference on Engineering Chemistry*, Iran University of Science and Technology, Iran. (In Persian)
9. Tchobanoglous, G. (1991). *Water engineering*, 3rd Ed., Metcalf and Eddy Inc., McGraw-Hill, New York.
10. Shiroee, S. (2011). "To evaluate performance and determine the coefficients, kinetics biological process of activated sludge wastewater treatment plant in Ahwaz." M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Khuzestan, Ahvaz, Iran. (In Persian)
11. Borjai, R., and Banks, C.J. (1994). "Kinetics of an up flow an aerobic sludge blanket reactor treating ice-cream wastewater." *J. of Environ. Sci. Health*, 29(10), 2063-2085.
12. Brito, A.G., and Fmelo, L. (1996). "A simplified analysis of reaction and mass transfer in UASB and EGSB Reactors." *J. of Environmental Technology*, 81, 35-44.
13. Tauzene, M., and Milton, C. (2011). "Determination of kinetic parameters of an up-flow anaerobic sludge blanked reactor (UASB), treating swine wastewater." *J. of Cienc. agrotec., Lavras*, 35 (6), 1204-1210.
14. AWWA., WPCF. (2005). *Standard method for the examination of water and wastewater*, USA.
15. Isik, M., and Sponza, D.T. (2005). "Substrate removal kinetics in an upflow anaerobic sludgeblanket reactor decolorising simulated textile wastewater." *J. of Process Biochemistry*, 40, 1189-1198.
16. Izanloo, H., and Takdastan, A. (2010). "Wastewater treatment, concept. and design." *J. of Mehr*, 4, 86-98. (In Persian)
17. Talaie, A., and Jafarzadeh, R.N. (2010). "The Determination of bio-kinetic coefficients of grude oil biodegradation using Pseudomonas Aeruginosa bacteria." *Iran J. of Health and Environ.*, 3(2), 111-122.
18. Perez, J., Aldana, G., and Cardenas, C. (2012). "Upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) performance through sludge age load and kinetic coefficients." *J. of Rev. Tec. Ing. Unv. Zulia*., 35(1), 98-108.
19. Laor, Y., Storm, P.F., and Farmer, W.J. (1999). "Bioavailability of phenanthrene sorbed to mineral-associated humic acid." *J. of Water Research*, 33 (7), 1719-1729.

Archive of SID
www.SID.ir