

حذف بخش مواد آلی مقاوم فاضلاب‌های شهری با فرایند تلفیقی لجن فعال/صافی چکنده

مهربان صادقی^۱

سعید فلاحی‌زاده^۲

محسن میرزایی^۳

پذیرش ۹۲/۸/۱۲

(دریافت ۹۲/۱/۲۸)

چکیده

تخلیه ترکیبات فنلی و کلرینه، اسیدهای چرب، تانین، لیگنین و مشتقات آنها به آب‌های پذیرنده، خطرات جدی برای موجودات آبی ایجاد می‌کند. در این پژوهش، عملکرد فرایند دو مرحله‌ای لجن فعال/صافی چکنده برای حذف مواد آلی مقاوم به تصفیه متعارف، ارزیابی شد و از تلفیق فرایند لجن فعال (در مقیاس کامل) با یک واحد صافی چکنده (در مقیاس نیمه صنعتی) استفاده شد. ۵/۷۸ متر مکعب مدیای 2HX از جنس پلی پروپیلن و سطح ویژه ۲۴۰ مترمربع بر مترمکعب در تانکی به حجم مفید ۶/۸۷ مترمکعب نصب شد. بارگذاری هیدرولیکی صافی در مرحله راه‌اندازی (۹۰ روز) ۳/۶ مترمکعب بر ساعت و در مرحله بهره‌برداری (۱۲۰ روز) ۶ تا ۳/۶ مترمکعب بر ساعت بود و بهترین شرایط پساب در ۵/۴ مترمکعب بر ساعت حاصل شد. به‌منظور انجام تجربیات آزمایشگاهی، چهار راکتور به حجم ۱۲۵۶ سانتی‌مترمکعب با پساب خروجی و همزمان دو راکتور مشابه با سوبسترای گلوکز و COD معادل سایر راکتورها تغذیه و به‌مدت ۴۸۰ ساعت در شرایط هوازای راهبری شدند. مواد مغذی، pH و DO (فاکتورهای کنترل محیطی)، COD کل و محلول راکتورها، دو بار در روز اندازه‌گیری شد. کنترل فاکتورها تا تثبیت کامل مواد آلی ادامه یافت. COD محلول مواد آلی مقاوم، COD کل محلول، مواد معلق قابل تجزیه زیستی و قابل تجزیه زیستی کل، مواد معلق مقاوم و محلول قابل تجزیه زیستی در خروجی برای AS به ترتیب ۴۰، ۲۲۷، ۹۴، ۲۸۱، ۲۵۱ و ۱۸۷ و برای AS/TF به ترتیب ۲۰، ۲۲۷، ۱۰۴، ۳۱۱، ۲۴۱، ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. نتایج نشان داد فرایند تلفیقی در مقایسه با حالت مجزا قادر است مواد آلی مقاوم را به میزان دو برابر بیشتر حذف نماید. این پژوهش، ارتقاء سطح تصفیه فاضلاب‌ها را به‌وسیله تلفیق فرایندهای متعارف به اثبات رساند.

واژه‌های کلیدی: تصفیه دو مرحله‌ای، مواد آلی مقاوم، فاضلاب شهری، لجن فعال/صافی چکنده، اصفهان

Removal of the Inert Organic Fraction of Municipal Wastewater Using the Integrated Activated Sludge/Trickling Filter System

M. Sadeghi¹

S. Fallahizadeh²

M. Mirzaei³

(Received Apr. 17, 2013 Accepted Nov. 3, 2013)

Abstract

The discharge of phenol and chlorinated compounds, fatty acids, tannin, lignin, and their by-products into receptive waters poses serious hazards for the aquatic life. In this study, the efficiency of a two-step process of activated sludge-trickling filter (AS/TF) in the removal of inert chemical materials that defy conventional treatment processes was investigated. For this purpose, an integrated activated sludge process (industrial scale) was used sequentially with a trickling filter (pilot scale). Inside a tank with an effective volume of 6.87 m³ was installed 5.78 m³ of polypropylene 2HX media with a specific area of 240 m²/m³. The hydraulic loading rate (HLR) of the trickling filter during the startup period (90 days) was 3.6 m³/h which was raised to 3.6-6 m³/h in the operation period (120 days), with the best effluent quality achieved at HLR=5.4 m³/h. For the purposes of the experiments in this study, four reactors, each 1256 cm³ in volume, were fed the WWTP effluent and

1. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord
2. M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord (Corresponding Author) (+98 381) 3330299 saeid_ah89@yahoo.com
3. M.Sc. Student of Natural Resources and Environmental Eng., Tarbiat Modares University, Tehran

- ۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد (نویسنده مسئول) ۳۳۳۰۲۹۹ (۰۳۸۱) saeid_ah89@yahoo.com
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

concurrently a glucose substrate containing a COD content equal to that fed to the four reactors was fed into two identical reactors; all the reactors were subsequently run for 480 h in aerobic conditions. Nutrients, pH, and DO (as environmental control indicators) as well as soluble and total COD were measured twice daily. The effluent values of soluble inert materials (S_I), total soluble COD (S_{TO}), degradable suspended materials (X_{SO}), degradable COD (C_{SO}), refractory suspended materials (X_I), and degradable soluble materials (S_{SO}) for AS were calculated as 40, 227, 94, 281, 251, and 187, respectively, while the same parameters for the AS/TF were 20, 227, 104, 311, 241, and 207 mg/l, respectively. The results showed that the activated sludge process when combined with the trickling filter has a twofold capability, compared to when used alone, in removing inert COD. It was also shown that treatment levels in conventional WWTPs can be improved by integrating conventional treatment processes.

Keywords: Two Step Treatment, Inert COD, Municipal Wastewater, Activated Sludge-Trickling Filter, Isfahan.

۱- مقدمه

عوامل خطرآفرین موجود در فاضلاب نظیر ترکیبات فنلی، ترکیبات کلرینه، جامدات معلق، اسیدهای چرب، تانین، لیگنین و مشتقات آنها، در صورت تخلیه به آب‌های پذیرنده می‌توانند برای موجودات آبی، خطرات جدی ایجاد نمایند [۱]. فاضلاب معمولاً با روش‌های متداولی از جمله اکسیداسیون بیولوژیکی، جذب، شناورسازی، انعقاد و تجزیه شیمیایی مورد تصفیه قرار می‌گیرند [۲]. با اهمیت یافتن استفاده مجدد از فاضلاب، علاقه و گرایش برای به‌کار بردن روش‌های تلفیقی به‌منظور ارتقای کیفیت پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌ها افزایش می‌یابد. در این مطالعه از سیستم تلفیقی رشد معلق و رشد چسبیده (لجن فعال/صافی چکنده) به‌منظور حذف مواد آلی قابل تجزیه بیوشیمیایی مقاوم در فاضلاب‌های شهری استفاده شد.

به‌طور کلی مواد کربنه به بخش‌های COD قابل تجزیه زیستی (C_{SO})، COD غیرقابل تجزیه زیستی (مواد مقاوم) و توده زیستی تقسیم می‌شوند. بخش COD کل شامل COD محلول (S_{TO}) و COD معلق (X_{TO})، بخش COD ترکیبات مقاوم^۱ به دو زیر جزء محلول (S_I) و معلق (X_I) و COD قابل تجزیه زیستی (C_{SO}) به دو زیر جزء محلول (S_{SO}) و معلق (X_{SO}) تقسیم می‌شوند [۳ و ۴]. COD قابل تجزیه زیستی فاضلاب ورودی، از دو بخش COD با قابلیت تجزیه زیستی تدریجی و COD با قابلیت تجزیه زیستی سریع تشکیل می‌شود. COD قابل تجزیه زیستی سریع، مولکول‌های ساده‌ای هستند که قادر به عبور از دیواره سلولی بوده و به آسانی توسط ارگانسیم‌ها جذب و به‌عنوان انرژی و سنتز، متابولیزه می‌شوند. بخش COD قابل تجزیه زیستی تدریجی شامل مولکول‌های پیچیده بزرگی هستند که توسط توده لجن به‌دام می‌افتند و برای شکسته شدن و عبور از دیواره سلولی و متابولیسم به آنزیم‌های خارج سلولی نیاز دارند [۳، ۵ و ۶].

جزء محلول مواد آلی مقاوم ورودی به سیستم، بدون تأثیرگذاری واکنش‌های بیوشیمیایی از راکتور خارج می‌شود؛ در

حالی که جزء معلق آن در لجن فعال به‌دام می‌افتد و تجمع می‌یابد و سیستم را از طریق جریان لجن مازاد ترک می‌کند. ارزیابی آزمایشگاهی اجزای محلول و معلق COD ترکیبات مقاوم از فاضلاب‌های مختلف تحت شرایط هوازای این مسئله را روشن می‌کند [۷].

در پژوهش‌هایی که توسط سینر و همکاران در سال ۲۰۰۶ انجام شده، بخش‌های مقاوم فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داده که ۳۱/۲ درصد از COD کل، ترکیبات محلول و ۶۸/۸ درصد آن، ترکیبات معلق است؛ همچنین COD کل شامل ۲۷/۹ درصد مواد آلی قابل تجزیه تدریجی محلول، ۳/۲ درصد مواد مقاوم محلول و ۵۳/۸ درصد مواد مقاوم معلق است [۸].

بررسی‌های انجام گرفته توسط پازتور و همکاران در سال ۲۰۰۹ بر روی بخش‌های COD فاضلاب شهری به‌منظور مدل‌سازی تصفیه‌خانه فاضلاب، نشان داد که نسبت اجزای COD در فاضلاب خام خیلی متفاوت است. بر اساس این پژوهش، اجزای تشکیل دهنده COD شامل ۱۷/۱ درصد مواد معلق مقاوم، ۵۷/۹ درصد مواد قابل تجزیه زیستی کند، ۷/۸ درصد مواد محلول مقاوم و ۱۷/۵ درصد مواد قابل تجزیه زیستی سریع بوده است [۹].

مقال شریف و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطالعات خود را بر روی مشخصه بخش‌های COD فاضلاب شهری با استفاده از سیستم راکتور ناپیوسته هوازی در سال ۲۰۱۰ به پایان رساندند و نشان دادند که ترکیبات محلول و معلق به ترتیب ۳۱/۷ درصد و ۶۸/۲ درصد COD کل را شامل می‌شوند. براساس پژوهش آنها ۳۲/۰۲ درصد از COD کل، مواد آلی سریعاً قابل تجزیه محلول، ۳/۹ درصد، مواد مقاوم محلول و ۵۲/۹ درصد مواد مقاوم معلق به‌دست آمده است [۱۰].

هدف از این پژوهش، بررسی میزان تأثیر تلفیق فرایندهای تصفیه متعارف فاضلاب بر میزان کاهش مواد آلی قابل تجزیه بیوشیمیایی و مقاوم به تصفیه، در فاضلاب‌های شهری در شرایط تلفیقی بود. در این بررسی، از پساب خروجی فرایند لجن فعال

¹ Inert COD

متعارف برای بارگذاری هیدرولیکی فرایند صافی چکنده استفاده شد تا کارایی فرایند ترکیبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- بهره‌برداری از سیستم

برای حذف مواد آلی مقاوم، از سیستم تلفیقی AS/TF استفاده شد. مرحله اول تصفیه شامل فرایند لجن فعال فاضلاب شهر اصفهان در مقیاس کامل بود و فرایند صافی چکنده در مقیاس نیمه صنعتی، مرحله دوم تصفیه را تشکیل داد که به صورت سری و با رژیم هیدرولیکی پیوسته مورد استفاده قرار گرفت. ۵/۷۸ متر مکعب مدیا از جنس پلی پروپیلن با نام تجاری 2HX و سطح ویژه ۲۴۰ مترمربع بر مترمکعب در تانکی به قطر ۱/۸ و ارتفاع ۳ متر و حجم مفید ۶/۸۷ مترمکعب نصب شد. واحد صافی چکنده در مرحله اول به مدت ۹۰ روز با ظرفیت ۳/۶ مترمکعب بر ساعت راهبری شد تا غشای میکربی کافی بر روی سطح بستر رشد کند و شرایط این واحد به حالت پایدار برسد. فرایند به مدت ۱۲۰ روز با بارگذاری‌های ۳/۶ تا ۶ مترمکعب بر ساعت، کارکرد و بهترین شرایط کیفیت پساب در بارگذاری هیدرولیکی ۵/۴ مترمکعب بر ساعت حاصل شد. نمونه‌های خروجی از لجن فعال مجزا (AS) و دو مرحله‌ای (AS/TF) برای تغذیه چهار راکتور با حجم ۱۲۵۶ سانتی مترمکعب به منظور انجام تجربیات آزمایشگاهی به کار برده شدند. پارامترهای BOD_5 ، COD، محلول و معلق، فسفر کل، مواد معلق، نیتروژن کلدال آلی، نیتروژن آمونیاکی و نیتروژن نیتراته در طول مرحله راه اندازی به صورت هفتگی اندازه‌گیری و کنترل‌های لازم بر روی پایلوت انجام شد (شکل ۱).

۲-۲- تعیین اجزای COD ترکیبات مقاوم

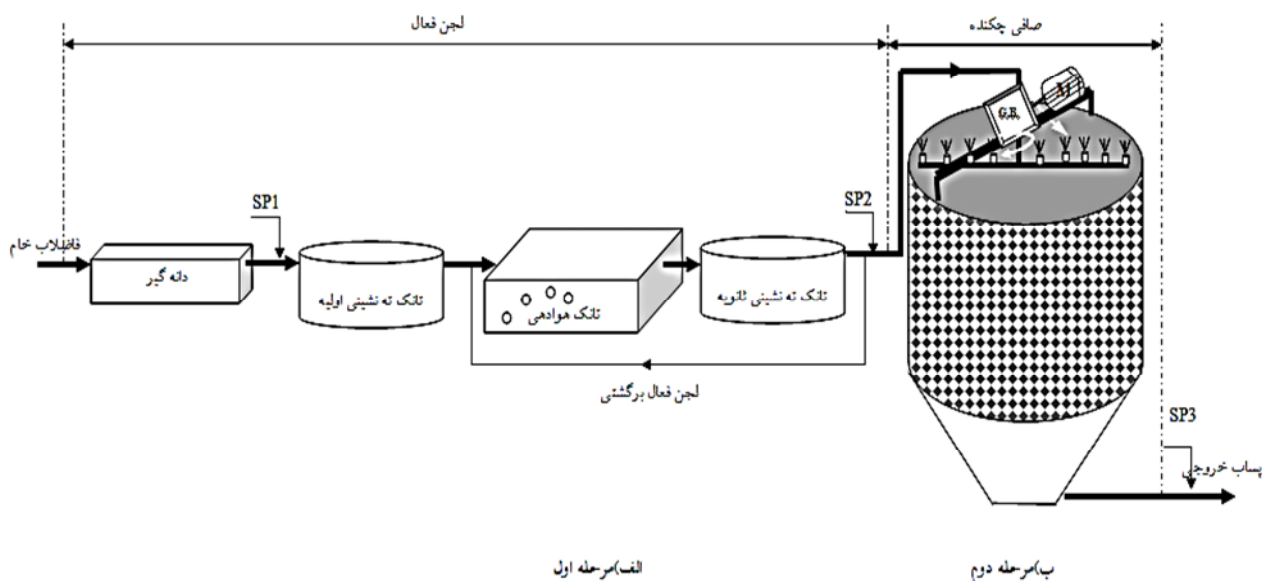
COD محلول کل پساب، شامل مواد آلی غیر قابل تجزیه زیستی فاضلاب و مواد آلی غیر قابل تجزیه زیستی در فاضلاب ورودی و پساب خروجی (S_I)، برخی بخش‌های COD قابل تجزیه زیستی، حاصل از اکسیداسیون باقیمانده زیستی و بخش COD مواد مقاوم محلول تولید شده به عنوان محصول سوخت و ساز میکربی است.

روش آزمایشی که در سال ۱۹۹۱ توسط جرمیرلی و همکاران تصحیح شده بود، در سال ۱۹۹۴ نیز به وسیله اورون و همکاران توصیه شد [۱۱]. طبق این روش از یک سری راکتور استفاده می‌شود که علت استفاده از آن‌ها، ایجاد شرایط مناسب در مقیاس آزمایشگاهی و کنترل شده برای رشد عوامل میکربی مؤثر در تجزیه و ادامه شرایط تا تثبیت کامل مواد آلی است. مطالعات آزمایشگاهی تا زمانی ادامه می‌یابد که تمام COD قابل تجزیه زیستی کاهش یابد و میزان تغییرات COD نسبت به زمان تقریباً ثابت بماند. برای تعیین مواد آلی مقاوم و محصولات متابولیکی از روابط ۱ تا ۷ استفاده می‌شود [۸]

$$S_I = S_{R1} - S_{PG} \quad (1)$$

که در آن

S_I ، COD مقاوم محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛ S_{R1} ، COD محلول خروجی از راکتور به ازای فاضلاب ورودی صاف شده در پایان آزمایش؛ S_{PG} ، COD محلول خروجی از راکتور گلوکز در پایان آزمایش است. دو راکتور تقریباً با COD قابل تجزیه زیستی



شکل ۱- شماتیک فرایند دو مرحله ای AS/TF

محلول (S_{SO}) یکسان راهبری می‌شوند. با فرض این که

$$(S_p)_{\text{wastewater}} \approx (S_p)_{\text{glucose}} \quad (2)$$

که در آن

S_p , COD باقیمانده محلول تولید شده از محصولات ناشی از سوخت و ساز میکربی بر حسب میلی‌گرم در لیتر است؛ نسبت COD مقاوم محلول به بخش محلول قابل تجزیه بیولوژیکی سریع، ضریب Y_I نامیده می‌شود و می‌توان آن را از رابطه زیر محاسبه کرد

$$Y_I = \frac{S_I}{S_{SO}} \quad (3)$$

ضریب استوکیومتری Y_{SP} نسبت بین محصولات باقیمانده محلول و COD قابل تجزیه بیولوژیکی است و می‌توان آن را به صورت رابطه ریاضی زیر نوشت

$$Y_{SP} = \frac{S_{R1} - S_I}{S_{TO} - S_I} = \frac{S_{P1}}{S_{SO}} \quad (4)$$

راکتور اول که با بخش‌های معلق و محلول قابل تجزیه زیستی COD (C_{SO}) تغذیه شده، COD مواد آلی مقاوم محلول و S_{R2} بالای ایجاد خواهد کرد زیرا S_{P2} بالا است. با توجه به اینکه S_I معلوم است، معادلات بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$S_{R2} = S_{P2} + S_I \quad (5)$$

که در آن

S_{P2} , COD محلول ناشی از محصولات میکربی باقیمانده در فاضلاب خروجی از راکتور تغذیه شده با فاضلاب صاف شده بر حسب میلی‌گرم در لیتر و S_{R2} , COD محلول خروجی از راکتور به ازای فاضلاب ورودی صاف نشده در پایان آزمایش بر حسب میلی‌گرم در لیتر است.

برای تعیین COD کل مواد قابل تجزیه بیولوژیکی (C_{SO}) و مواد معلق مقاوم (X_I) به ترتیب از روابط ۶ و ۷ استفاده می‌شود

$$C_{SO} = \frac{S_{P2}}{S_{P1}} S_{SO} \quad (6)$$

$$X_I = C_{TO} - C_{SO} - S_I \quad (7)$$

که در این روابط

C_{SO} , COD کل مواد قابل تجزیه بیولوژیکی بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛ COD, S_{P1} محلول ناشی از محصولات میکربی باقیمانده در فاضلاب خروجی از راکتور تغذیه شده با فاضلاب صاف نشده بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛ COD, S_{SO} محلول مواد قابل تجزیه بیولوژیکی بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛ X_I , مواد معلق مقاوم بر حسب میلی‌گرم در لیتر و C_{TO} , COD کل بر حسب میلی‌گرم در لیتر است.

۲-۳- تهیه مواد مغذی

به منظور تأمین مواد مغذی لازم برای رشد میکربی از روش زاهن-ولنز^۱ که برای COD های مختلف به راحتی قابل تنظیم است، استفاده شد. در این روش، چهار محلول ساخته شده و به ازای هر ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر COD، ده میلی‌لیتر از محلول اول و یک میلی‌لیتر از هر کدام از محلول‌های دیگر اضافه شد. محلول اول حاوی ۸/۵ گرم KH_2PO_4 ، ۲۱/۷۵ گرم K_2HPO_4 ، ۰/۵ گرم NH_4Cl و ۳۳/۴ گرم $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ ؛ محلول دوم حاوی ۲۲/۵ گرم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ؛ محلول سوم حاوی ۳۶/۴ گرم $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ و محلول چهارم نیز حاوی ۰/۲۵ گرم $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ بود که هر کدام با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسید. برای جلوگیری از رسوب‌دهی، یک قطره HCl به محلول چهارم اضافه شد [۱۲].

۲-۴- خوی‌سازی میکربی

شکل ۱ شماتیک فرایند دو مرحله‌ای AS/TF و محل‌های نمونه‌برداری از فاضلاب خام، پس از حوض دانه‌گیری، پساب خروجی از فرایند لجن فعال و پساب خروجی از فرایند صافی چکنده را نشان می‌دهد. ترکیب فاضلاب خام ورودی تصفیه‌خانه فاضلاب اصفهان در جدول ۱ نشان داده شده است. به منظور خوی‌سازی میکربی، نمونه‌ای مرکب متناسب با جریان فاضلاب خام (SP_1 در شکل ۱) برای انجام آزمایش‌های COD کل و محلول، BOD_5 ، فسفر کل، آمونیاک، مواد معلق و pH به آزمایشگاه انتقال داده شد (جدول ۱). سپس چهار لیتر از مخلوط فاضلاب خام و محلول گلوکز (۲ لیتر از هر کدام) به راکتور اضافه شد. در طول مدت زمان خوی‌سازی میکربی و نگهداشت باکتری‌ها که ۷ تا ۱۴ روز به طول انجامید، پارامترهای کنترلی و اصلی در تمام مراحل آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. به طور روزانه اکسیژن محلول، دمای نمونه، دمای محیط و pH برای حفظ شرایط محیطی اندازه‌گیری شدند. در مدت انجام آزمایش‌ها، دمای محیط بین

¹Zahen – Welenze Method (ISO 9888)

۲۲ تا ۲۵ درجه سلسیوس، pH بین ۷ تا ۸ و غلظت اکسیژن محلول بین ۴ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر کنترل شد. COD نمونه‌های برداشته شده از راکتور به‌طور روزانه اندازه‌گیری و مقدار COD کاهش یافته توسط مواد مغذی جبران می‌شد. قبل از هر بار انجام آزمایش COD، میزان آب تبخیر شده از راکتورها با افزودن آب مقطر تا سطح اولیه تنظیم می‌شد. پس از مدت زمان مذکور، برای تهیه غلظت مناسب بیومس، پارامترهای TSS و VSS به‌منظور انجام مراحل بعدی مطالعه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جدول ۱- ترکیب فاضلاب خام ورودی تصفیه خانه فاضلاب اصفهان

پارامتر	مقدار
COD کل	۵۷۲(mg/L)
COD محلول	۲۲۷(mg/L)
BOD ₅	۲۰۵(mg/L)
کل جامدات معلق	۲۹۷(mg/L)
فسفر کل	۸/۲(mg/L)
نیترژن آمونیاکی	۳۵/۲(mg/L)
pH	۷/۶۲

۲-۵- راه اندازه‌گیری راکتورها و انجام آزمایش

پس از خوی‌سازی میکربی، از پساب‌های خروجی صاف شده و صاف نشده فرایند لجن فعال مجزا و فرایند دو مرحله‌ای AS/TF (SP2 و SP3 در شکل ۱) برای تغذیه ناپیوسته چهار راکتور در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. این راکتورها به‌همراه دو راکتور با سوپسترایبی از نوع گلوکز با COD معادل فاضلاب صاف شده، به‌کار رفته برای سایر راکتورها، با میزان یکسانی از غلظت‌های بیومس به‌میزان ۳۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر تغذیه شدند. تمامی راکتورها به‌مدت ۴۸۰ ساعت در شرایط هوازی و کنترل عوامل محیطی راهبری شدند. پارامترهای COD کل و محلول تا زمانی که تغییرات COD به حالت پایداری رسید و تغییرات نسبت به زمان

تقریباً ثابت شد، دو بار در روز نمونه‌برداری و آزمایش شدند. تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق و بر اساس کتاب "روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب" چاپ بیستم انجام شد [۱۳]. برای اندازه‌گیری بخش محلول پارامترهای COD محلول و جامدات معلق، از صافی کاغذی میلی‌پور AP40 استفاده شد. آزمایش COD با روش هج^۱ ۸۰۰۰ برای COD های پایین انجام شد. آزمایش غلظت اکسیژن محلول و دما در هر کدام از راکتورها به‌طور مستمر و با دستگاه DO متر مدل HQ30D اندازه‌گیری و به‌صورت اتوماتیک کنترل می‌شد.

۳- نتایج و بحث

به‌منظور تعیین اجزای مقاوم و معلق فاضلاب و محصولات متابولیکی مقاوم محلول تولید شده در سیستم، مطالعه آزمایشگاهی ناپیوسته انجام شد. نتایج این مطالعه برای مدل‌گذاری، طراحی و بهره‌برداری از سیستم دو مرحله‌ای AS/TF و محدودیت‌های تخلیه پساب به آبهای پذیرنده مهم است. محصولات میکربی مقاوم معلق و محلول را می‌توان به‌عنوان جزء ثابت COD قابل تجزیه زیستی ورودی بیان کرد. نتایج COD محلول پساب خروجی از فرایندهای AS و AS/TF در جدول ۲ نشان داده شده است. اجزای COD فاضلاب ورودی به این دو فرایند، شامل X_{SO} ، S_{SO} ، X_I ، S_I ، S_{PI} و ضرایب Y_{SP} ، Y_I است که با استفاده از داده‌های جدول ۲ و روابط ۱ تا ۷ محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. پارامترهای S_I ، S_{PI} با ضرایب مشابه Y_{SP} ، Y_I برای فرایند لجن فعال مجزا، به‌ترتیب ۴۰، ۴۰، ۲۱۴/۰ و ۲۱۴/۰ میلی‌گرم در لیتر و برای فرایند دو مرحله‌ای AS/TF، به‌ترتیب ۶۰، ۲۰، ۰/۰۹۷ و ۰/۱۹۳ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. از پساب خروجی فرایند لجن فعال مجزا و فرایند دو مرحله‌ای AS/TF، مقادیر X_I ، C_{SO} ، X_{SO} ، S_{TO} و

¹ HACH

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های COD محلول پساب خروجی بر روی فاضلاب صاف نشده، فاضلاب صاف شده و گلوکز

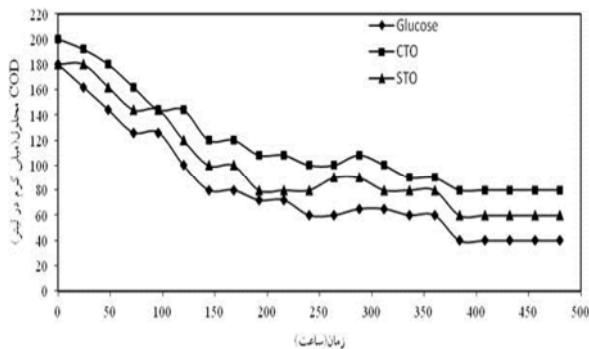
فرایند AS/TF		فرایند لجن فعال مجزا (AS)				
راکتور ۳: تغذیه شده با COD محلول گلوکز (mg/L)	راکتور ۲: تغذیه شده با COD محلول فاضلاب صاف شده (mg/L)	راکتور ۱: تغذیه شده با COD محلول فاضلاب صاف نشده (mg/L)	راکتور ۳: تغذیه شده با COD محلول گلوکز (mg/L)	راکتور ۲: تغذیه شده با COD محلول فاضلاب صاف شده (mg/L)	راکتور ۱: تغذیه شده با COD محلول فاضلاب صاف نشده (mg/L)	
۱۸۰	۱۸۰	۲۰۰ (S _{TO})	۱۸۰	۱۸۰	۲۲۰ (S _{TO})	شروع آزمایش
۴۰ (S _{RG})	۶۰ (S _{R1})	۸۰ (S _{R2})	۴۰ (S _{RG})	۸۰ (S _{R1})	۱۰۰ (S _{R2})	پایان آزمایش
۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰	زمان (ساعت)

جدول ۳- ترکیب تعیین شده از COD فاضلاب در این پژوهش

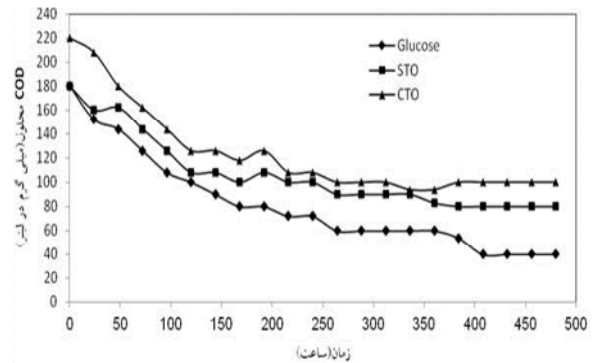
مقدار (میلی گرم در لیتر)		واحد	پارامتر
فرآیند لجن فعال/ صافی چکنده	فرآیند لجن فعال		
۵۷۲	۵۷۲	(mg/L)	COD کل (C _{TO})
۲۲۷	۲۲۷	(mg/L)	COD محلول (S _{TO})
۳۹/۷	۳۹/۷	(%)	S _{TO} / C _{TO}
۳۴۵	۳۴۵	(mg/L)	COD معلق (X _{TO})
۶۰/۳	۶۰/۳	(%)	X _{TO} / C _{TO}
۲۶۱	۲۹۱	(mg/L)	COD مواد مقاوم
۲۰	۴۰	(mg/L)	بخش محلول (S _I)
۳/۵	۷	(%)	S _I / C _{TO}
۲۴۱	۲۵۱	(mg/L)	بخش معلق (X _I)
۴۲/۱	۴۳/۹	(%)	(X _I)/ C _{TO}
۳۱۱	۲۸۱	(mg/L)	COD قابل تجزیه (C _{SO})
۲۰۷	۱۸۷	(mg/L)	بخش محلول (S _{SO})
۳۶/۲	۳۲/۷	(%)	S _{SO} / C _{TO}
۱۰۴	۹۴	(mg/L)	بخش معلق (X _{SO})
۱۸/۲	۱۶/۴	(%)	X _{SO} / C _{TO}
۰/۰۹۷	۰/۲۱۴	(mg/L)	Y _I
۰/۱۹۳	۰/۲۱۴	(mg/L)	Y _{SP}

بهره‌برداری به میزان ۴۸۰ ساعت پس از شروع، بدون تغییر ادامه یافت. آنچه از این منحنی‌ها می‌توان استنباط کرد آن است که تغییرات COD محلول با زمان متابولیسم‌های میکروبی پس از گذشت زمانی مشخص، ثابت می‌ماند که احتمالاً ناشی از فقدان مواد قابل تجزیه میکروبی و تجمع مواد مقاوم در محیط است. تفاوتی که می‌توان برای سوبسترای گلوکز با فاضلاب قائل شد، در ثابت شدن منحنی گلوکز با میزان COD پایین‌تر به میزان ۳۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر است که به‌خاطر وجود ترکیبات مقاوم به تجزیه در فاضلاب است. نتایج مطالعات، توافق بسیار خوبی را در رابطه با S_I با دامنه ۲۵ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در فرآیند لجن فعال مجزا (As) و کمتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در فرآیند تلفیقی لجن فعال/ صافی چکنده (AS/TF) نشان داد. ارزیابی مطالعه تجربی انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که ۳۹/۷ و ۶۰/۳ درصد از کل COD را به ترتیب ترکیبات محلول و معلق تشکیل می‌دهند. در فرآیند لجن فعال ۳۲/۷، ۷ و ۴۳/۹ درصد از کل COD را به ترتیب مواد آلی سریعاً قابل تجزیه، مواد مقاوم محلول و مواد مقاوم معلق تشکیل می‌دهند. این پارامترها برای فرآیند تلفیقی به ترتیب ۳۶/۲، ۳/۵ و ۴۲/۱ درصد است (جدول ۳). بخش مواد مقاوم محلول فاضلاب، نسبت به فرایندهای تصفیه از خود مقاومت نشان می‌دهد و تقریباً بدون هیچ‌گونه تغییری در غلظت، از سیستم خارج شده و به آبهای

S_{SO} اندازه‌گیری شد که برای لجن فعال مجزا به ترتیب برابر ۲۲۷، ۲۸۱، ۹۴ و ۱۸۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. این پارامترها برای سیستم دو مرحله‌ای به ترتیب برابر ۲۲۷، ۱۰۴، ۳۱۱، ۲۴۱ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که ۳۹/۷ درصد از COD کل، محلول و ۶۰/۳ درصد باقیمانده معلق است. در فرآیند لجن فعال مجزا، مواد آلی قابل تجزیه تدریجی محلول ۳۲/۷ درصد، مواد مقاوم محلول ۷ درصد و مواد مقاوم معلق در پساب خروجی ۴۳/۹ درصد از COD کل را تشکیل می‌دهند. در حالی که در فرآیند تلفیقی، این پارامترها به ترتیب ۳۶/۲، ۳/۵ و ۴۲/۱ درصد از COD کل هستند. همچنین مقدار مواد آلی قابل تجزیه سریع معلق برای این دو فرآیند به ترتیب ۱۶/۴ و ۱۸/۲ درصد است. مطالعه ساریوگلو و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان داد که ۳/۲ درصد از COD کل، مواد آلی مقاوم بوده است [۱۰]. در بررسی دیگری که توسط موقال شریف و همکاران بر روی فرآیند لجن فعال انجام شده، این مقدار ۳/۹ درصد بوده است [۸]. شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات میزان COD محلول را برای راکتورها نسبت به زمان در طی ۴۸۰ ساعت راهبری نشان می‌دهد. میزان COD محلول در راکتورها بعد از طی ۴۰۰ ساعت در فرآیند لجن فعال مجزا و ۳۸۰ ساعت در فرآیند تلفیقی لجن فعال/ صافی چکنده، روند کاهشی نشان داد. اما این روند تا پایان دوره



شکل ۳- تغییرات COD محلول پساب خروجی صاف شده، صاف نشده از فرایند دو مرحله‌ای لجن فعال/صافی چکنده در راکتور ناپیوسته برای فاضلاب شهری و گلوکز



شکل ۲- تغییرات COD محلول پساب خروجی صاف شده، صاف نشده از فرایند لجن فعال در راکتور ناپیوسته برای فاضلاب شهری و گلوکز

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه نتایج زیر را در برداشت: نتایج بررسی‌ها نشان داد که فرایند لجن فعال وقتی با صافی چکنده تلفیق می‌شود در مقایسه با وقتی که مجزا به کار می‌رود قادر است COD ترکیبات مقاوم را به میزان دو برابر بیشتر حذف نماید. با تلفیق فرایندها به خصوص در تصفیه‌خانه‌هایی که امکان ارتقا از لحاظ فیزیکی و تجهیزات لازم در آنها وجود دارد (مانند تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اصفهان، می‌توان علاوه بر دستیابی به پسایی با کیفیت مطلوب‌تر، قسمت‌هایی از تجهیزات تصفیه‌خانه‌ها که از رده مصرف خارج شده‌اند را مورد کاربرد مجدد قرار داد و گامی مؤثر در ذخیره‌سازی سرمایه‌ها برداشت.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله از پشتیبانی مالی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، مدیریت و کلیه پرسنل تصفیه‌خانه جنوب اصفهان و همچنین از همکاران محترم آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۶- مراجع

1. Ali, M., and Sreekrishnan, T. (2001). "Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: Review." *Advances in Environmental Research*, 5(2), 175-196.
2. Gürses, A., Yalçın, M., and Doğar, C. (2002). "Electrocoagulation of some reactive dyes: A statistical investigation of some electrochemical variables." *Waste Management*, 22(5), 491-499.
3. Jeppsson, U. (1996). "Modelling aspects of wastewater treatment processes." Department of Industrial Electrical Engineering and Automation (IEA), Lund University Lund., Sweden.
4. Tchobanoglous, G., and Burton, F.L. (2003). *Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse*, 4th Ed., MetCalf and Eddy Inc., Mc Graw-Hill, New York.

5. Henze, M.,(1992). "Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes." *Water Science and Technology*, 25(6), 1-15.
6. Orhon, D., and Çokgör, E.U. (1997). "COD fractionation in wastewater characterization the state of the art." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 68(3), 283-293.
7. Germirli, F., Orhan, D., Artan, N., Ubay, E., and Gorgune, E. (1993). "Effect of two-stage treatment on the biological treatability of strong industrial wastes." *Water Science and Technology*, 28(2), 145-154.
8. Ciner, F., and Sarioglu, M. (2006). "Determination of inert chemical oxygen demand (COD) fractions of Cumhuriyet University wastewater." *Global NEST J.*, 8(1), 31-36.
9. Pasztor, I., Thury, P., and Pulai, J. (2009). "Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment." *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 6(1), 51-56.
10. Nergis, Y., and sharif, M. (2010). "Chemical Oxygen Demand (COD) fractions characterization of Karachi metropolitan wastewater." *J. of the Chemical Society of Pakistan*, 32(6), 711-716.
11. Orhon, D., Artan, N., and Ates, E. (1994). "A description of three methods for the determination of the initial inert particulate chemical oxygen demand of wastewater." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 61(1), 73-80.
12. Sadeghi, M., Mesdaghi, A.R., Badkoubeh, A., Nabizadeh, R., and Soleimani, A. (2005). "Efficiency of advanced oxidation and hydroxyl technology in methyl tertiary butyl ether(MTBE)." *J. Shahrekord Uni. Med. Sci.*, 6(4), 24-32.
13. Lenore, S., Clesceri, A. E., Greenberg, A., D., and Eaton, A.D. (2003). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20nd Ed., American Public Health, Washington, DC.