تصفیه فاضلاب مصنوعی حاوی پروپیلن گلیکول در راکتور لجن فعال با بستر ثابت در مقیاس آزمایشگاهی

مهدی فرزادکیا [1] روشنک رضایی کلانتری [2] سید غلامرضا موسوی [3]
سهند جرفی [4] میترا غلامی [5]

(دریافت ۸۷/٤/۲ پذیرش ۸۸/٦/۸)

چکیده

پروپیلن گلیکول یک ترکیب آلی است که کاربردهای گسترده‌ای در صنایع دارد. این ترکیب به آسانی از طریق پساب خروجی صنایع، وارد آبهای سطحی و زیرزمینی و همچنین خاکهای اطراف محل تخلیه می‌شود و باعث مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی زیادی می‌گردد. هدف از این مطالعه حذف پروپیلن گلیکول از فاضلاب ساختگی در راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت بود. راکتور مورد استفاده در این مطالعه شامل یک مخزن مکعبی شکل به حجم کل ١٦ لیتر و از جنس پلکسی‌گلاس بود که ۱۲ لیتر آن به‌عنوان حجم هوادهی در نظر گرفته شد و ٤ لیتر به ته‌نشینی اختصاص داده شد. همچنین ۲۵ درصد از حجم حوضچه هوادهی به‌وسیله بستر ثابت برای تشکیل بیوفیلم میکربی، پر شد. در این پژوهش افزایش بار آلی به‌منظور مشاهده رفتار سیستم طی دو مرحله متوالی و ابتدا از طریق کاهش زمان ماند هیدرولیکی در غلظت ثابت و سپس در مرحله دوم از طریق افزایش غلظت COD ورودی در زمان ماند ثابت مطالعه شد. راندمان حذف COD در زمان‌های ماند ۸ ، ٦ ، ٤ و ۲ ساعت و غلظت COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب ۹۵/۸٦، ۹۵/۱۲، ۹۳/۹٦ و ۷۹/۰۸ درصد بود. در مرحله بعدی و با توجه به‌نتایج حاصل از مرحله اول، راکتور در زمان ماند ثابت ٦ ساعت و غلظتهای COD معادل ۱۰۰۰ ، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. راندمان حذف در غلظتهای مذکور به‌ترتیب ۹۲/۹۵، ۸۸/۵٤، ۷۵/۹۵ و ۳۵/٦۹ درصد بود. داده‌های این تحقیق نشان داد که راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت دارای کارایی مطلوبی در حذف پروپیلن گلیکول است.

واژه‌های کلیدی: پروپیلن گلیکول، لجن فعال، بیوفیلم، تصفیه فاضلاب

Treatment of Synthetic Wastewater Containing Propylene Glycol by a Lab Scale Fixed Bed Activated Sludge Reactor

Mahdi Farzadkia[1] *Roshanak Rezaei Kalantari[2]* *Seyed Gholamreza Mousavi[3]*
Sahand Jorfi[4] *Mitra Gholami[5]*

(Received June 23, 2008 Accepted Aug. 30, 2009)

Abstract

Propylene glycol is an organic compound which has wide applications in the pharmaceutical, cosmetics, chemical, and food processing industries. Propylene glycol is readily released into surface and ground waters and the neighboring soils via industrial wastewater effluents posing many health and environmental hazards. The main purpose of this study was to determine the efficiency of fixed bed activated sludge reactor for propylene glycol removal from synthetic wastewater. The lab scale reactor consisted of a cubic Plexiglas aeration tank with a total volume of 16 liters, 12 liters for aeration and 4 liters for settling. 25% of the aeration tank was filled with media as fixed bed for the biofilm to form. To evaluate the optimum efficiency of the reactor under variable

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران (نویسنده مسئول) ۸۸۷۷۷٦۷٤ (۲۱)، mehdi_farzadkia@yahoo.com
۲- استادیار مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران
۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
٤- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۵- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران

1. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Iran Uni. of Medical Sciences, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 88777674 mehdi_Farzadkia@yahoo.com
2. Assist. Prof.of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health , Iran University of Medical Sciences, Tehran
3. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tarbiat Modarres Uni., Tehran
4. Ph.D. Student of Environmental Eng., Faculty of Public Health, Tarbiat Modarres Uni., Tehran
5. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Iran Uni. of Medical Sciences, Tehran

Archive of SID
www.SID.ir

organic loadings, the organic loading was increased in two consecutive stages: first by HRT depletion, and second by increasing COD concentration. The COD removal efficiencies obtained for hydraulic retention times of 8, 6, 4 and 2 hours and at an influent COD concentration of 500 mg/L were 95.86, 95.12, 93.96, and 79.08 %, respectively. In the fallowing stages and based on the results obtained from the first stage, a constant HRT of 6 hrs and COD concentrations of 1000, 1500, 2000 and 2500 mg/L were experimented. The removal efficiencies for the above concentrations were 95.95, 88.54, 75.95, and 35.69%, respectively. The results from this study indicate that the fixed bed activated sludge bioreactor satisfactorily capable of removing propylene glycol.

Keywords: Propylene Glycol, Activated Sludge, Biofilm, Wastewater Treatment

۱- مقدمه

پروپیلن‌گلیکول[1] یک ترکیب شیمیایی آلی است که کاربردهای گسترده‌ای در صنایع بهداشتی و آرایشی، دارویی، مواد غذایی و صنایع شیمیایی دارد. این ترکیب می‌تواند منجر به مخاطرات پوستی نظیر اریتما، تحریک‌پذیری پوستی، ادم پوستی و مخاطرات سیستمیک نظیر کاهش هموگلوبولین، کاهش هماتوکریت‌ها و اریتروسیت‌ها، کاهش گلوبول‌های سفید خون و لنفوسیت‌ها در زنان، کوچک شدن کلیه و افزایش و کاهش وزن بدن بیش از حد طبیعی شود [۱، ۲ و ۳].

پروپیلن‌گلیکول پس از ورود به محیط به آبهای زیرزمینی راه یافته و منجر به آلودگی آنها می‌شود. این ماده در آبهای سطحی اکسیژن محلول در دسترس جانوران و گیاهان آبزی را مصرف نموده و شرایط نامناسبی در اکوسیستم آبی ایجاد می‌کند. همچنین بخش قابل توجهی از آن وارد زمین شده و محیط زیست و به‌ویژه خاکهای محل را آلوده می‌کند [۴ و ۵]. تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه حذف زیستی پروپیلن‌گلیکول به روشهای مختلف هوازی انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط جوانا و همکاران[2] در سال ۲۰۰۳ صورت گرفت از پروپیلن‌گلیکول به‌عنوان تنها منبع کربن موجود در خلال فرایند تجزیه زیستی هوازی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که پروپیلن‌گلیکول به کتون‌ها و آلدئیدها تجزیه می‌شود [۶]. در مطالعه دیگری اکسیداسیون زیستی پروپیلن‌گلیکول در شرایط هوازی به‌وسیله راکتور لجن فعال دارای جریان پیوسته بررسی شد. در این تحقیق نیز مشخص شد که پروپیلن‌گلیکول ذاتاً به روشهای زیستی تجزیه‌پذیر است [۷]. فرایندهای تلفیقی مبتنی بر فیلم میکربی، یکی از انواع فرایندهای زیستی تصفیه فاضلاب است که در آنها علاوه بر میکروارگانیسم‌های معلق، از میکروارگانیسم‌های رشد یافته بر روی یک بستر برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود [۸ و ۹]. از ویژگی‌های این سیستم‌ها می‌توان به غلظت بالای توده میکربی، امکان استفاده از بسترهای ارزان قیمت و امکان تصفیه بیشتر جریان یا راندمان بالاتر در میزان جریان مشابه فرایندهای رشد معلق اشاره نمود. از خصوصیات ارزنده این سیستم‌ها می‌توان به تصفیه مؤثر فاضلابهای دارای غلظت مواد آلی کم، قابلیت حذف مواد آلی دارای سرعت تجزیه کم، پایداری در برابر شوک‌های آلی و هیدرولیکی، فضا و انرژی مصرفی کمتر و امکان رشد میکروارگانیسم‌های دارای بازده رشد پایین و تولید پسابی با کیفیت بهتر اشاره کرد [۱۰و۱۱]. کاربرد راکتورهای زیستی دارای بسترهای ثابت یا متحرک برای تجزیه بسیاری از آلاینده‌های آلی رو به گسترش است و تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. ملکی و برقعی در سال ۱۳۸۴ از سنگ پامیس به‌عنوان بستر ثابت رشد بیوفیلم در یک راکتور بیوفیلمی برای تصفیه فاضلاب کارخانه قند استفاده نمودند [۱۲]. در مطالعه دیگری دلنواز و آیتی در سال ۱۳۸۷ از راکتور بیوفیلم بستر متحرک برای حذف آنیلین از فاضلاب استفاده کردند [۱۳].

با نگرش به مطالعات پیشین پیرامون تجزیه زیستی پروپیلن‌گلیکول و روشهای بیوفیلمی تجزیه آلاینده‌های آلی، این تحقیق با هدف تعیین کارایی راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت در حذف زیستی پروپیلن‌گلیکول از فاضلاب مصنوعی در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد.

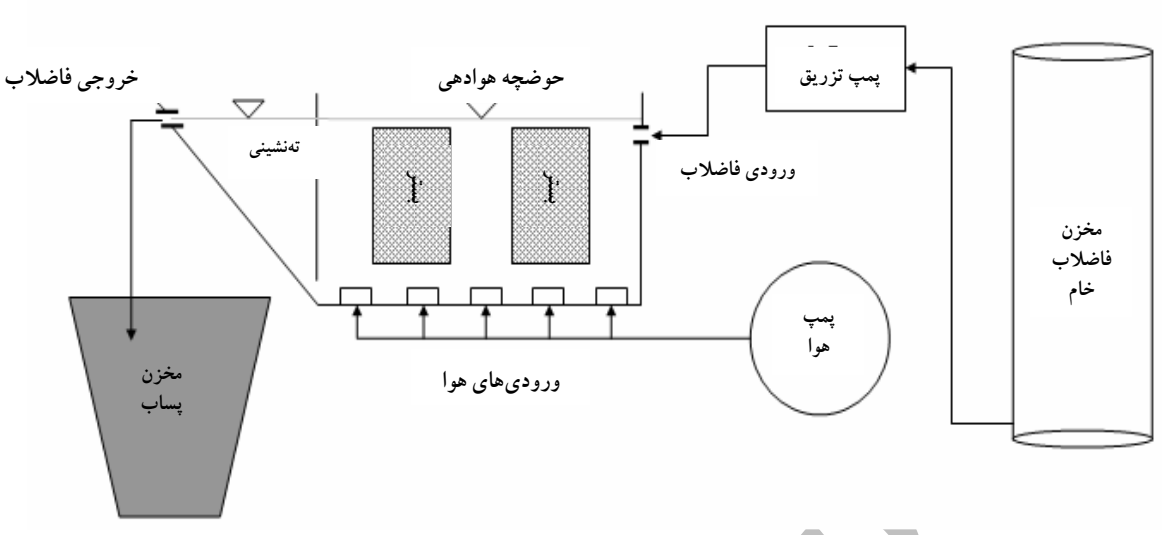
۲- مواد و روشها

۲-۱- ساختار راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت

شکل ۱ نمایی از راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. راکتور شامل یک مخزن مکعبی شکل به حجم کل ۱۶ لیتر و از جنس پلکسی‌گلاس بوده که ۱۲ لیتر آن به قسمت هوادهی اختصاص داشت. حوضچه ته‌نشینی مثلثی شکل به حجم ۴ لیتر از طریق یک دیواره با شیب قائم نسبت به افق از قسمت هوادهی جدا شد. قسمت پایینی این دیواره دارای ۰/۵ سانتی‌متر فاصله از کف بود که برای برگشت پیوسته لجن ته‌نشین شده از حوضچه ته‌نشینی به قسمت هوادهی در نظر گرفته شد. این امر به وسیله نیروی مکش ناشی از هواده‌های واحد هوادهی انجام می‌گرفت. ۲۵ درصد از حجم حوضچه هوادهی به وسیله یک مدیای

[1] Propylene Glycol
[2] Joanna et al.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- نمای شماتیک راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت رشد میکربی

تجاری ویژه به نام لانه زنبوری[1] از جنس پلی استایرن[2] با سطح ویژه $650\ m^2/m^3$ پر شد. مدیای مورد استفاده در دو محفظه جداگانه هر کدام به‌حجم ۱/۱۲۵ لیتر در ابتدا و انتهای حوضچه هوادهی با فاصله ۴ سانتی‌متر از دیواره‌های جانبی جاگذاری گردید تا بستر مناسب برای رشد میکربی تأمین شود. به‌منظور هوادهی راکتور از یک پمپ آکواریمی به ظرفیت هوادهی حداکثر ۱۴ لیتر در دقیقه استفاده شد. هوای مورد نیاز با توجه به بار آلی ورودی به راکتور در دامنه ۲/۵ الی ۱۲/۵ لیتر در دقیقه تنظیم گردید. تأمین اختلاط مناسب در این سیستم نیز با کمک جریان هوای ورودی انجام می‌پذیرفت. فاضلاب ورودی از طریق یک پمپ تزریق جریان با ظرفیت ۲۰ لیتر در ساعت به راکتور تزریق می‌شد. راکتور در دمای آزمایشگاه یعنی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد راهبری گردید و pH آن در محدوده ۷ تا ۷/۵ به‌وسیله بیکربنات سدیم تنظیم شد.

۲-۲- تهیه بذر میکربی

به‌منظور تأمین میکروارگانیسم‌های مورد نیاز برای راه اندازی راکتور، ۹ لیتر لجن فعال از خط برگشت لجن یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در تهران به آزمایشگاه منتقل شد. این لجن به‌مدت ۲ روز هوادهی شده و COD، MLSS[3] و pH آن اندازه‌گیری شد.

۲-۳- تهیه فاضلاب مصنوعی

در ابتدای راه‌اندازی راکتور، مخلوطی از گلوکز و پروپیلن‌گلیکول به‌عنوان منبع کربن مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور تأمین منابع نیتروژن و فسفر به‌ترتیب از ترکیبات کلرور آمونیوم و دی هیدروژن فسفات استفاده گردید. برای ایجاد شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم‌ها در طول تحقیق، نسبت مناسب C:N:P به‌میزان ۱۰۰:۵:۱ تنظیم شد [۱۴ و ۱۵]. ترکیب شیمیایی فاضلاب مصنوعی در جدول ۱ و مشخصات آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب فاضلاب ساختگی مورد استفاده برای غلظت COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر

نوع ترکیب	مقدار مورد نیاز در یک لیتر آب شهر
$C_3H_8O_2$	۰/۶ میلی لیتر
$C_6H_{12}O_6$	۴۷۶ میلی‌گرم
NH_3CL	۲۸ میلی‌گرم
KH_2PO_4	۵/۶ میلی‌گرم
Na_2CO_3	۰/۸ گرم
عناصر جزئی	۱ میلی لیتر

جدول ۲- مشخصات فاضلاب خام مصنوعی ورودی به راکتور

پارامتر	غلظت (mg/L)
COD	۵۰۰
ازت آمونیاکی	۲۵
فسفر	۵
pH	۷±۰/۵
دما (°C)	۲۰ - ۲۵

۲-۴- راه اندازی راکتور و سازگارسازی میکروارگانیسم‌ها

پس از انتقال لجن فعال به راکتور هوادهی دارای بستر ثابت، سیستم به‌مدت ۶ هفته به‌صورت ناپیوسته مورد راهبری قرار گرفت.

[1] Bee Cell
[2] Poly Styrene
[3] Mixed Liqued Suspended Solid

Archive of SID
www.SID.ir

هوادهی به‌منظور تأمین اکسیژن محلول به‌میزان ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر انجام گرفت. سیستم در ابتدا بر مبنای COD محلول ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر راه اندازی شد که ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر از آن ناشی از گلوکز و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آن ناشی از پروپیلن‌گلیکول بود. در طول یک‌ماه به‌تدریج از میزان COD ناشی از گلوکز کاسته و به میزان COD ناشی از پروپیلن‌گلیکول افزوده شد. به موازات افزایش بازدهی حذف COD در ترکیب فاضلاب ساختگی ورودی به راکتور به تدریج از میزان گلوکز کاسته و بر میزان پروپیلن‌گلیکول افزوده شد. پس از گذشت ۲۸ روز از راه‌اندازی سیستم، کل COD ورودی به سیستم تنها از طریق پروپیلن‌گلیکول تأمین گردید. پس از گذشت ۱۱ روز از این زمان، غلظت پروپیلن‌گلیکول خروجی به کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. پس از دستیابی به شرایط پایدار در حالت راهبری ناپیوسته، جریان راکتور را پیوسته کرده و راهبری در غلظت ثابت و زمان ماندهای مختلف آغاز شد. شرایط پایدار در این مطالعه به‌صورت عدم وجود بیش از ۵ درصد تغییرات در پارامترهای مورد بررسی پساب خروجی طی ۷ تا ۱۰ روز راهبری متوالی راکتور تعریف شد.

در فاز اول، راکتور طی چهار مرحله با زمان‌های ماند ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت و غلظت COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی شامل غلظت COD خروجی، MLSS بخش معلق، TSS پساب خروجی، شاخص حجمی لجن[1]، دما، اکسیژن محلول و pH تا زمان دستیابی به شرایط پایدار مورد پایش قرار گرفتند. پارامتر F/M به‌دلیل عدم امکان اندازه‌گیری دقیق جرم میکربی چسبیده و پارامترهای سن لجن، بازچرخش لجن و حذف لجن مازاد به‌دلیل برگشت دائمی لجن از بخش ته‌نشینی ثانویه و عدم امکان تعیین دقیق آن، اندازه‌گیری نشد.

در فاز دوم با توجه به‌نتایج حاصل از مرحله اول، راکتور در زمان ماند ثابت ۶ ساعت و غلظتهای COD ورودی ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در این مرحله نیز پارامترهای مورد اشاره تا زمان دستیابی به شرایط پایدار، مورد پایش قرار گرفتند. در تمام مراحل به‌موازات افزایش بار آلی، غلظت اکسیژن محلول افت کرده و نرخ جریان هوای ورودی به راکتور متناسب با افزایش بار آلی از ۲/۵ به ۱۲/۵ لیتر بر دقیقه افزایش داده شد. همه داده‌های آزمایشگاهی ارائه شده در طول مطالعات بر مبنای میانگین حسابی با حداقل ۳ بارتکرار آزمایش بود که پس از حذف داده‌های مخدوش و غلط، ثبت گردیدند. یک راکتور شاهد فاقد بستر ثابت رشد میکربی در شرایط یکسان و به موازات راکتور اصلی در تمام مراحل مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

[1] Sludge Volume Index (SVI)

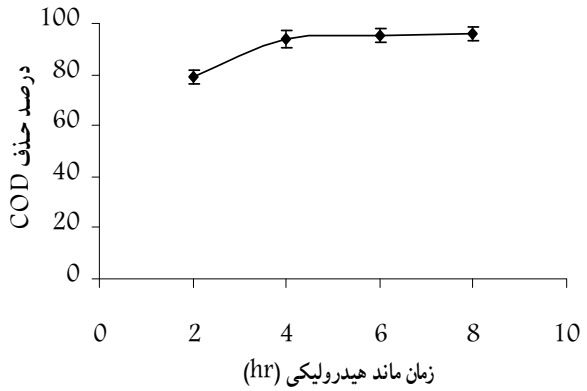
۲-۵- روشهای آزمایش

غلظت COD به‌روش رفلاکس برگشتی باز، اکسیژن محلول به روش یدومتری وینکلر[2]، TSS و MLSS بخش معلق به‌روش وزن‌سنجی حرارتی، SVI به روش ستون ته‌نشینی، دما به‌وسیله ترمومتر و pH به‌روش الکترومتری اندازه‌گیری شدند [۱۶]. pH سیستم به‌وسیله یک pH متر دیجیتال محصول شرکت هچ[3] به‌طور دائم اندازه‌گیری می‌شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر زمان ماند هیدرولیکی بر کارایی راکتور لجن فعال با بستر ثابت در حذف پروپیلن‌گلیکول

روند تغییرات راندمان حذف COD در هر یک از زمان ماندهای هیدرولیکی ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مرحله از طریق کاهش زمان ماند هیدرولیکی، بار آلی ورودی از ۱/۵ به ۶kgCOD/m^3.d افزایش داده شد. راکتور به‌طور میانگین پس از گذشت ۷ الی ۱۶ روز در هر مرحله به شرایط پایداری رسید. میانگین راندمان حذف COD در زمان ماندهای هیدرولیکی ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت به‌ترتیب ۹۵/۸۶ (انحراف معیار ۲/۵۷±)، ۹۵/۱۲ (انحراف معیار ۲/۵۲±)، ۹۳/۹۶ (انحراف معیار ۳/۱۳±) و ۷۹/۰۸ (انحراف معیار ۲/۴۸±) درصد بود. میانگین نتایج سایر متغیرهای بهره‌برداری در شرایط پایداری در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- میانگین بازده حذف COD در زمان‌های ماند ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت و غلظت ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط پایدار

[2] Winkler
[3] Hach

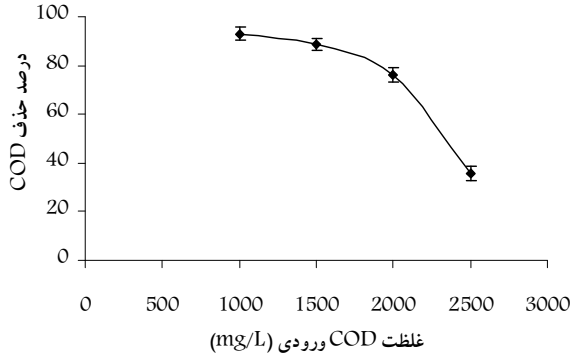
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- میانگین مقادیر متغیرهای بهره‌برداری در بارگذاری‌های آلی مختلف برای راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت

مرحله	بار آلی (Kg COD/m^3.d)	COD ورودی (mg/L)	زمان ماند هیدرولیکی (hr)	DO (mg/L)	SVI (ml/g)	MLSS حوضچه هوادهی (mg/L)	TSS پساب خروجی (mg/L)	COD پساب خروجی (mg/L)
۱	۱/۵	۵۰۰	۸	۳/۲	۱۳۳/۸	۲۲۴۹	۸/۸	۲۰/۷
۲	۲	۵۰۰	۶	۳/۶	۱۱۷/۲	۲۲۱۸	۹/۶۳	۲۴/۴
۳	۳	۵۰۰	۴	۴/۰۶	۱۶۰/۶	۲۱۳۰	۱۲/۱۶	۳۰/۲
۴	۶	۵۰۰	۲	۳/۱۵	۱۷۹/۴	۲۰۷۱	۳۸/۳۱	۱۰۴/۶
۵	۴	۱۰۰۰	۶	۳/۲۶	۱۲۵/۱	۲۲۶۹	۲۲/۴۸	۷۰/۵
۶	۶	۱۵۰۰	۶	۳/۸۴	۱۲۱/۳	۲۲۸۹	۴۱/۶۳	۱۷۱/۹
۷	۸	۲۰۰۰	۶	۳/۰۸	۱۵۷	۲۲۸۷	۷۲/۱۸	۴۸۱
۸	۱۰	۲۵۰۰	۶	۲/۹	۲۸۱	۲۲۹۱	۱۹۳/۵۵	۱۶۰۷/۷۵

۳-۲- اثر غلظت بر کارایی راکتور لجن فعال با بستر ثابت در حذف پروپیلن‌گلیکول

در این فاز بنا بر نتایج فاز اول، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت به‌عنوان زمان ماند بهینه به‌منظور افزایش غلظت COD ورودی انتخاب گردید. بیشترین راندمان حذف COD در مرحله قبل، به‌ترتیب مربوط به زمان ماندهای هیدرولیکی ۸ و ۶ ساعت با مقادیر ۹۵/۸۶ و ۹۵/۱۲ بوده است. پس از انجام آنالیز آماری آزمون T با Pvalue برابر ۰/۰۵، مشخص گردید که اختلاف راندمان این دو مقدار معنی‌دار نیست و در زمان ماند ۶ ساعت امکان اعمال بار آلی بیشتری به سیستم وجود دارد. لذا با در نظر گرفتن همه موارد بالا، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت به‌عنوان زمان ماند بهینه برای بررسی اثرات بارگذاری از طریق افزایش غلظت COD ورودی انتخاب گردید. مقادیر میانگین سایر متغیرهای بهره‌برداری در شرایط پایداری در مراحل راهبری پنجم تا هشتم در جدول ۳ ارائه شده است.

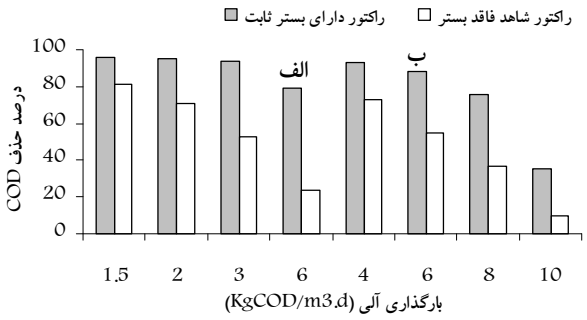


شکل ۳- میانگین بازده حذف COD در غلظت‌های ورودی ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ثابت ۶ ساعت در شرایط پایدار

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است در این فاز، غلظت COD ورودی پارامتر تعیین کننده بود و به موازات افزایش غلظت ورودی راندمان حذف کاهش یافت. غلظتهای ورودی در این فاز به‌ترتیب ۱۰۰۰ ، ۱۵۰۰ ، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود که راندمان حذف در غلظتهای مذکور به‌ترتیب ۹۲/۹۵ (انحراف معیار ۲/۷۱±)، ۸۸/۵۴ (انحراف معیار ۲/۳۶±)، ۷۵/۹۵ (انحراف معیار ۳/۰۲±) و ۳۵/۶۹ (انحراف معیار ۲/۸۳±) درصد به‌دست آمد. کیفیت پساب خروجی در بارگذاری‌های آلی مختلف در جدول ۳ ارائه شده است.

۳-۳- مقایسه نتایج بهره‌برداری راکتور لجن فعال با بستر ثابت با راکتور شاهد

نتایج بازده حذف COD در راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت و راکتور لجن فعال فاقد بستر رشد میکربی در شکل ۴ نشان داده شده است. مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد بازده حذف COD در راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت به‌طور کلی بیش از راکتور شاهد بود.



شکل ۴- مقایسه بازده حذف COD در راکتورهای لجن فعال دارای بستر ثابت و راکتور شاهد فاقد بستر رشد میکربی
الف: غلظت COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم و HRT برابر ۲ ساعت
ب: غلظت COD ورودی ۱۵۰۰ میلی‌گرم و HRT برابر ۶ ساعت

Archive of SID
www.SID.ir

به‌طور مثال در بارگذاری‌های ۱/۵، ۳، ۶ و ۸ kg COD/m^3.d بازده حذف راکتور دارای بستر ثابت به‌ترتیب ۱۴/۷۶، ۴۱/۱۶، ۳۳/۸ و ۳۹/۴۵ درصد بیشتر از راکتور شاهد اندازه‌گیری شد.

با آغاز بارگذاری‌های فرایند در غلظت COD معادل ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماندهای مختلف، مشاهده شد که در هر مرحله با افزایش بار آلی ورودی، راندمان راکتور ابتدا تا حدودی کاهش یافت ولی پس از گذشت چند روز سریعاً به یک مقدار پایدار نزدیک شد. راندمان حذف COD در فاز اول به موازات کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۸ به ۲ ساعت، کاهش یافت. با این وجود تا هنگامی که راکتور در زمان ماند هیدرولیکی ۴ ساعت در حال راهبری بود، راندمان حذف COD بیش از ۹۳ درصد و غلظت COD خروجی کمتر از ۳۵ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. اما در زمان ماند کمتر از ۴ ساعت و به‌خصوص در زمان ماند ۲ ساعت، راندمان راکتور به‌شکل ناگهانی افت کرده و به کمتر از ۸۰ درصد رسید. COD پساب خروجی در این شرایط در حدود ۱۰۴/۶ میلی‌گرم در لیتر بود که با توجه به غلظت ورودی، قابل قبول نیست و استانداردهای پساب خروجی تأمین نمی‌شود. با این وجود راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت حتی در زمان ماند ۲ ساعت و غلظت COD ورودی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر قادر به حذف بیش از ۷۹ درصد آلاینده ورودی بود که چنین زمان ماند کوتاهی از لحاظ اقتصادی به‌دلیل کوچکتر شدن حجم حوضچه و از طرفی امکان تصفیه حجم بیشتری از فاضلاب در زمان کوتاه بسیار حائز اهمیت است. زمان ماند هیدرولیکی یکی از پارامترهای مهم بهره‌برداری سیستم‌های زیستی است که ضمن تأمین زمان تماس مناسب بین جرم میکربی فعال و ماده آلی تصفیه شونده، مانع از شسته شدن جرم سلولی فعال می‌شود و همواره غلظت مناسبی از بیومس را در درون حوضچه هوادهی حفظ می کند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که به موازات کاهش زمان ماند هیدرولیکی میانگین MLSS بخش رشد معلق راکتور از ۲۲۴۹ به ۲۰۷۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌یابد و به‌علت کاهش میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده پروپیلن‌گلیکول، راندمان حذف به‌تدریج کمتر می‌شود. از سویی دیگر با کاهش زمان ماند هیدرولیکی، زمان تماس کافی بین پروپیلن‌گلیکول و میکروارگانیسم‌ها وجود ندارد و بخشی از پروپیلن‌گلیکول ورودی به‌صورت تجزیه نشده از راکتور هوادهی خارج می‌شود. بنابراین زمان ماند هیدرولیکی در غلظت COD ورودی ثابت به‌عنوان پارامتر تعیین کننده تعریف می‌شود.

در فاز دوم راهبری، راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت تا غلظت COD ورودی ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای راندمان بالای ۸۸ درصد بود. با افزایش غلظت COD ورودی، راندمان سیستم به‌سرعت کاهش یافت و در غلظت COD ورودی ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۳۵/۶۹ درصد رسید. به‌عبارتی غلظت COD پساب خروجی ۱۶۰۷ میلی‌گرم در لیتر بود که قابل قبول نبوده و با قاطعیت می‌توان اظهار کرد که سیستم دچار اختلال شدید شده و کارایی خود را از دست داده بود. در این مرحله عوامل مختلف مؤثر در راهبری راکتور نظیر اکسیژن محلول و غلظت مواد مغذی بررسی شد تا دلیل اصلی اختلال راکتور مشخص شود. نتایج پایش راکتور نشان داد که به‌موازات افزایش بار آلی ورودی، غلظت اکسیژن محلول به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر افت کرده بود و در نتیجه افزایش هوای ورودی به راکتور ضروری بود. علی‌رغم افزایش میزان جریان هوای ورودی به راکتور، راندمان حذف در غلظتهای بالای ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بهبود نیافت و به همین دلیل دیگر اختلال راکتور مورد توجه قرار گرفت.

بنابر مطالعات انجام گرفته توسط محققان، پروپیلن‌گلیکول در غلظتهای بالا، کارکرد سوخت‌وسازی خود را از دست داده و به تدریج در غلظتهای بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان یک ترکیب سمّی عمل می‌کند که حیات موجودات زنده را به خطر می‌اندازد. احتمالاً تجمع متابولیت‌ها بر روی لجن فعال دلیل اصلی بروز این اثرات سمّی است [۷]. بنابراین در شرایط انجام این تحقیق که سایر پارامترهای مؤثر در راهبری نظیر دما، pH، اکسیژن محلول و غلظت ازت و فسفر در حد بهینه تنظیم شده بودند به نظر می‌رسد تنها عامل محدود کننده رشد بهینه باکتری‌ها، غلظت بالای پروپیلن‌گلیکول ورودی بوده است. افزایش بسیار زیاد غلظت، بر فعالیتهای آنزیمی و متابولیکی میکروارگانیسم‌ها اثر منفی داشته و آن را مختل می‌نماید.

مقایسه داده‌ها و کنکاش پیرامون دلایل تفاوت نتایج حاصله و نحوه بهره‌برداری از راکتور می‌تواند کمک شایانی به بهینه سازی طرحهای دارای فیلم میکربی ثابت نماید.

هموداً[1] و القوسین[2] داده‌های حاصل از یک دستگاه پایلوت فرایند رشد چسبیده هوازی مستغرق را تجزیه و تحلیل نمودند تا میزان حذف ماده آلی از فاضلاب خانگی را بررسی کنند. راندمان حذف COD در بارگذاری برابر ۳ kgCOD/m^3.d معادل ۸۳ درصد تعیین شد [۱۷].

جیانگلانگ و همکاران[3] یک راکتور بیولوژیکی تلفیقی دارای رشد معلق و رشد چسبیده را برای تصفیه فاضلاب خانگی به‌کار بردند. گسترش توده زیستی رشد معلق و چسبیده در این راکتور و تأثیر میزان بارگذاری آلی روی کارکرد سیستم بررسی شد. بیش از

[1] Hamoda
[2] Al-Ghusain
[3] Jianlong et al.

Archive of SID
www.SID.ir

۸۰ درصد COD تا میزان بارگذاری ۳/۵ $kgCOD/m^3.d$ حذف شد [۱۸]. در این پژوهش، راندمان حذف COD در بارگذاری ۳ $kgCOD/m^3.d$ معادل ۹۲ درصد بود که بیش از مقادیر به‌دست آمده در مطالعات مشابه بود. درصد پرشدگی راکتور هوادهی و سطح ویژه مدیا نیز از جمله عوامل مهمی هستند که رابطه مستقیمی با راندمان حذف دارند.

انجام مطالعات با درصدهای پرشدگی کمتر و بیشتر و دیگر انواع مدیا بستر به منظور تعیین شرایط بهره‌برداری بهینه به لحاظ فنی و اقتصادی توصیه می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش به‌شرح ذیل است

۱- راکتور تلفیقی لجن فعال دارای بستر ثابت تا بارگذاری آلی ۴ $kgCOD/m^3.d$ به‌طور مستقیم قادر به تأمین استانداردهای فاضلابهای خانگی و تا بارگذاری ۶ $kgCOD/m^3.d$ به‌طور مستقیم قادر به تأمین استانداردهای فاضلابهای صنعتی بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران به لحاظ COD پساب خروجی برای تخلیه به منابع آبی پذیرنده است.

۲- راکتور تلفیقی لجن فعال دارای بستر ثابت تا بارگذاری آلی ۶ $kgCOD/m^3.d$ به طور مستقیم قادر به تأمین استانداردهای فاضلابهای خانگی و تا بارگذاری ۸ $kgCOD/m^3.d$ به‌طور مستقیم قادر به تأمین استانداردهای فاضلابهای صنعتی بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران به لحاظ TSS پساب خروجی برای تخلیه به منابع آبی پذیرنده است.

۳- راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت تا بارگذاری ۸$kgCOD/m^3.d$ قادر به حذف بیش از ۷۵ درصد بار آلی ورودی است که حاکی از کارایی این راکتور در کاهش بار آلی برای تصفیه فاضلابهای قوی است. بنابراین می‌توان این نوع راکتور را به‌عنوان مرحله اول بخشی از یک زنجیره فرایندی تصفیه برای تصفیه فاضلابهای قوی مد نظر قرار داد.

۴- برتری راکتور لجن فعال بستر ثابت نسبت به راکتور شاهد به موازات افزایش بار آلی ورودی بیشتر نمایان می‌شود و دامنه اختلاف بازده آنها افزایش می‌یابد.

بنابراین با توجه به داده‌های حاصل از انجام پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که راکتور لجن فعال دارای بستر ثابت یک تکنولوژی کارآمد، اجرایی و قابل اعتماد برای تصفیه فاضلاب‌های قوی در مقیاس کامل به‌شمار می‌رود.

۵- مراجع

1- Agnieszka, Z., Tomasz, G., Joanna, Z., Magdalena, F., Rafał, F., Tomasz, K., and Zenon, L. (2007). "Biodegradation of poly(propylene glycol)s under the conditions of the OECD screening test." *Chemosphere*., 67(5), 928-933.

2- Charles, A., John, W., and Davis, J. (2002). "An examination of the physical properties, fate, ecotoxicity and potential environmental risks for a series of propylene glycol ethers." *Chemosphere*, 49(1), 61-73.

3- Rozman, K. K., Jatinder, B., and Antonia, M. (2006). "NTP-CERHR expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of propylene glycol." *Reproductive Toxicology*., 77(6), 485-638.

4- Bielefeldt, A., Langasekare, T., Utech, M., and Lapolantr, R. (2002). "Biodegradation of propylene glycol and associated hydrodynamic effects in sand." *Water Research*, 36(7), 1707-1714.

5- Jaesche, P., Totsche, U., and Knabner, I. (2006). "Transport and anaerobic biodegradation of propylene glycol in gravel-rich soil materials." *J. of Contaminant Hydrology*, 85(3-4), 271-286.

6- Joanna, R., Agnieszka, Z., Tomasz, G., and Zenon, L. (2003). "Isolation of poly (propylene glycol)s from water for quantitative analysis by reversed phase liquid chromatography." *J. of Chromatography*, 1021(1-2), 11-17.

7- Agnieszka, Z., Tomasz, G., Joanna, Z., Magdalena, F., Rafał, F., and Zenon, L. (2007). "Bio-oxidation of tripropylene glycol under aerobic conditions." *Biodegradation*, 19(3), 365-373.

8- Yen-Hui, L. (2008). "Kinetics of nitrogen and carbon removal in a moving-fixed bed biofilm reactor." *Applied Mathematical Modeling*, 32(11), 2360-2377.

9- Bajaj, M., Gallert, C., and Winter, J. (2008). "Biodegradation of high phenol containing synthetic wastewater by an aerobic fixed bed reactor." *Bioresource Technology*, 99(17), 8376-8381.

Archive of SID
www.SID.ir

10- Xin, Z., Yanming, W., and Zhengfang, Y. (2006). "Oil field wastewater treatment in biological aerated filter by immobilized microorganisms." *Process Biochemistry*, 41(7), 1475-1483.

11- Cresson, R., Escudie, R., Steye,r J., Delgenes, J., and Bernet, N. (2008)."Competition between planktonic and fixed microorganisms during the start-up of methanogenic biofilm reactors." *Water Research*, 42(3), 792-800.

۱۲- ملکی، م.، و برقعی، م. (۱۳۸۴). "عملکرد سنگ پامیس به‌عنوان بستر ثابت بیوفیلم در راکتور بیوفیلمی هوازی. " *مجله علمی پژوهشی آب و فاضلاب*.، ٥٦ ، ٦٢-٧٢.

۱۳- دلنواز، آ.، آیتی، ب.، و گنجی دوست، ح. (۱۳۸۷). " تصفیه فاضلاب حاوی آنیلین با استفاده از بیوفیلمی با بستر متحرک." *مجله علمی پژوهشی آب و فاضلاب*.، ٦٨، ٩-١٩.

14- Tchobanoglous, G., and Burton, F. (1991). *Wastewater engineering treatment and reuse*, 4th Ed., Metcalf and Eddy, McGraw-Hill Inc., Boston.

15- Gabriel, B. (2005). *Wastewater microbiology*, 3rd Ed., John Wiley and Sons Inc. Publication, Gainesvillle, Florida.

16- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21th Ed., American Public Health Association, New York.

17- Hamoda, M., and Al-Ghusain, I. (1998). "Analysis of organic removal rates in the aerated submerged fixed film process." *Water Sci. Technol*., 38(8-9), 213-221.

18- Jianlong, W., Hancheng, S., and Yi, Q. (2000). "Wastewater treatment in a hybrid biological reactor (HBR): Effect of organic loading rates." *Process Biochem*., 36(4), 297-303.

Archive of SID

www.SID.ir