

## طراحی و عملکرد یک سیستم بیوفیلتر بارقوی در تجزیه مواد آلی پسابهای صنعتی در مقیاس آزمایشگاهی

ناهید رستاکخیز<sup>۱</sup>

سید مهدی برحقعی<sup>۲</sup>

شبنم تجربهکار<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۵/۹/۱۹ پذیرش ۸۶/۷/۱۵)

### چکیده

با توجه به وجود مواد آلی در پسابهای صنعتی و روند رو به افزایش آنها و اهمیت تجزیه این مواد و کاستی‌های روشهای قبلی برای تجزیه آنها و به منظور طراحی و تعیین عملکرد یک سیستم بیوفیلتر، این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی در مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف انجام شد. تحقیق مزبور در مرحله اول برای طراحی و ساخت سیستم به روش مقدماتی و در فاز دوم برای تعیین عملکرد به روش تجربی انجام گرفت. سیستم بیوفیلتر به ارتفاع ۳ متر و قطر داخلی ۱۵ سانتی‌متر به کار برده شد و تأثیر سیستم با تهیه محلولهایی با COD متفاوت و عبور دادن از بستر فیلتر تعیین گردید. در مدت شش ماه تحقیق تجربی پنج محلول با CODهای متفاوت تهیه و از بستر فیلتر عبور داده شد و میزان COD پساب خروجی تعیین گردید. آزمایش‌های انجام شده روی پساب خروجی نشان داد که میزان بارگذاری مواد آلی برحسب کیلوگرم COD بر مترمکعب بر ساعت پساب ورودی به بیوفیلتر به عنوان یک عامل مهم بر درصد حذف COD نقش دارد و در عمل پس از عبور پساب با میزان بارگذاری ۵۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب بر ساعت مواد آلی از بستر فیلتر میزان حذف آلودگی برابر ۷۵ درصد بود. سیستم بیوفیلتر بار قوی به کار گرفته شده در این تحقیق قادر به تجزیه مواد آلی پسابهای صنعتی حاصل از کارخانه‌های قند می‌باشد و این تحقیق تجربی به مقایسه سیستم مورد اشاره با سایر سیستم‌های استاندارد متعارف تصفیه پسابهای صنعتی پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: بیوفیلتر، پساب صنعتی، پکینگ، بیوماس.

## Design and Performance of a Strong Load Biofilter System for Degrading Organic Load in Industrial Effluents on the Lab Scale

Nahid Rastakhiz<sup>1</sup> Seyed Mehdi Borghaei<sup>2</sup> Shabnam Tajrobehkar<sup>3</sup>

(Received Dec. 10, 2006 Accepted Oct. 7, 2007)

### Abstract

Organic substances are typically found increasingly in industrial wastewaters calling for techniques for their degradation. Methods currently used are inadequate. This study was performed to design and determine the efficiency of a biofilter system on the laboratory scale in the Center for Biochemical Research and Ecological Control, Sharif University of Technology. Design and manufacture of the system was accomplished using the exploratory method while the experimental method was used in determining the procedure for the second phase. A biofilter, 3 meters high and 15 cm across, was used for the purposes of this study. The efficiency of the system was determined by preparing solutions with different COD levels to be passed through the filter column. During the six months of experiments, solutions with different COD levels were prepared and passed on the filter column to measure the effluent COD. It was found that the speed of wastewater passing through the filter column and the initial wastewater COD level were effective parameters in COD removal. Finally, wastewater with an organic load of 51.24 kg/m<sup>3</sup>/h was passed through the 3-m high filter column and a removal

1. Faculty Member, Department of Chemistry, Kerman Branch, Azad Islamic University, na.rastakhiz@yahoo.com

2. Professor of Chemical Engineering, Sharif University of Technology

3. Faculty Member, Department of Chemistry, Kerman Branch, Azad Islamic University

۱ - عضو هیئت علمی بخش شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، na.rastakhiz@yahoo.com

۲ - استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

۳ - عضو هیئت علمی بخش شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

efficiency of 75% was obtained. It seems that the strong-load biofilter can satisfactorily be used in the degradation of organic substances in industrial effluents. Comparisons were made between the biofilter used in this study and conventional filters used for industrial effluents.

**Keywords:** Biofilter, Industrial Wastewater, Packing, Biomass.

## ۱- مقدمه

یکی از نگرانیهای متخصصین بهداشت محیط مسئله آلودگی مواد آلی پسابهای صنعتی می‌باشد [۱ و ۲]. مشکلات ناشی از تخلیه پسابهای صنعتی عبارت‌اند از انتقال عوامل بیماری‌زا، انتقال فلزات سنگین نظیر کروم و سیانور و انتقال مقادیر متنابهی ترکیبات ازت دار و فسفردار [۳]. توسعه روشهای تصفیه فاضلاب از سال ۱۹۰۰ میلادی شروع و تاکنون تکامل یافته است. اولین بار زوبل در سال ۱۹۳۷ میلادی اهمیت سطح تماس جامد برای افزایش فعالیتهای فیزیولوژیکی رشد باکتری‌های محلول غذایی رقیق، نظیر اکثر پسابهای صنعتی را خاطر نشان ساخت [۴]. روشهای تصفیه بیولوژیکی پساب نظیر استفاده از بستر باکتری، لجن فعال، لاگون، کانال‌های اکسیداسیون، سپتیک تانک و ایمهاف اهداف اصلی تصفیه پساب یعنی کنترل عوامل بیماری‌زا و حذف آلاینده‌ها را تأمین می‌کنند ولی به دلایل هزینه‌های احداث بسیار بالا، نیاز به تخصص در بهره‌برداری و نگهداری، نیاز به انرژی خیلی زیاد در بهره‌برداری و تولید مقادیر نسبتاً زیاد لجن اضافی متخصصین جهانی را بر آن داشت تا به فکر ابداع و استفاده از روشهایی برای تصفیه پساب با مشکلات و محدودیتهای کمتر باشند. از مهم‌ترین روشهای تصفیه که قادر است پسابهای صنعتی را تا حد استانداردهای متعارف مورد تصفیه قرار دهد سیستم بیوفیلتر است [۵]. به همین لحاظ در این تحقیق سعی گردید یک سیستم بیوفیلتر هوازی طراحی و در فاز دوم عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- مواد و روشها

این تحقیق در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول تحقیق با طراحی مقدماتی<sup>۱</sup> برای طراحی سیستم بیوفیلتر انجام شد و در مرحله دوم برای تعیین عملکرد سیستم یک تحقیق تجربی<sup>۲</sup> صورت گرفت. به منظور تعیین پارامترهای مؤثر بر حذف میزان آلودگی پساب یک مدل آزمایشگاهی از فیلتر بیولوژیکی از جنس پلی کلریدوینیل (P.V.C) به ارتفاع ۳ متر و قطر داخلی ۱۵ سانتی‌متر برای تأمین نیاز بارگذاری آلی روزانه ۱ کیلوگرم BOD برای هر متر مکعب پساب ساخته شد.

فضای داخل فیلتر به وسیله قطعات ۲ سانتی‌متری لوله‌های خرطومی که در برق کشی ساختمان به کار می‌روند به لحاظ ایجاد بستر مناسب برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها پرگردید. به منظور نمونه برداری و اطلاع از وضعیت بیوماس درون فیلتر پنج شیر نمونه برداری و در مجاورت هر شیر یک پنجره در بدنه فیلتر به فواصل ۰/۵ متری از یکدیگر تعبیه شد.

برای تشکیل بیوماس روی بستر فیلتر به مدت یک ماه، سیستم در یک سیکل بسته با فاضلاب مصنوعی شهری تهیه شده از تصفیه‌خانه تغذیه شد و در مرحله دوم، عملکرد بیوفیلتر در حذف مواد آلی پساب صنعتی کارخانه قند مورد بررسی قرار گرفت. ملاس به عنوان یک ماده غنی از مواد آلی، آلاینده محیط زیست به شمار می‌رود. در صنعت قندسازی روزانه بیشتر از سی هزار متر مکعب آب آلوده با COD ۲۰ گرم بر لیتر و pH برابر ۴/۵ تولید می‌شود [۶].

پساب مورد استفاده به عنوان خوراک اصلی دستگاه از محلولی مرکب از ملاس به عنوان منبع سرشار از مواد آلی و معدنی، فسفات آمونیم و اوره به عنوان منابع تأمین کننده ازت و فسفر برای تغذیه میکروارگانیسم‌ها و آب شهر به منظور رقیق‌سازی انتخاب شد. جدول ۱ مشخصات فاضلاب خام ورودی به راکتور را نشان می‌دهد. عملکرد بیوفیلتر در یک دوره شش ماهه با تهیه پسابهای با COD اولیه متفاوت و عبور دادن از بستر فیلتر و اندازه‌گیری COD پساب خروجی به عنوان شاخص بار آلی فاضلاب تعیین گردید. تمامی آنالیزها در مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف بر اساس روشهای استاندارد موجود انجام شد [۷].

## ۳- نتایج

تحقیق نشان داد که طراحی یک سیستم بیوفیلتر بار قوی برای تجزیه مواد آلی پسابهای صنعتی امکان‌پذیر است. برای تعیین عملکرد سیستم در جذب مواد آلی پساب صنعتی این تحقیق در چهار تکرار انجام گرفت. در مجموع مقدار COD پساب از ۵۰۶۳ ± ۷۲۰۳ ppm به ۲۹۴۸ ± ۲۵۵۵ ppm کاهش یافت که میزان کاهش ۴۲۵۵ واحد و درصد کاهش آن ۵۹ درصد بود.

<sup>1</sup> Exploratory

<sup>2</sup> Experimental

آزمون تی تست جفتی<sup>۱</sup> نشان داد که این تأثیر به لحاظ آماری معنی دار است ( $P < 0/03$ ).

جریان ۱/۵ لیتر بر ساعت میزان درصد حذف ۷۵ درصد و در سرعت جریان ۱۵ لیتر بر ساعت میزان درصد حذف ۲۵ درصد است.

میزان COD پساب قبل و بعد از اجرای سیستم، میزان بارگذاری آلی و نیز درصد حذف COD بر حسب میزان اولیه COD در جدول ۲ ارائه گردیده و نشان می‌دهد که هر چه COD پساب اولیه کمتر باشد میزان درصد حذف COD بیشتر می‌شود، به طوری که در COD ۱۷۰۸ ppm درصد حذف ۷۵ درصد بود و در COD ۱۴۰۰۰ ppm میزان درصد حذف به ۵۲ درصد کاهش یافت. تأثیر سرعت جریان پساب روی فیلتر با میزان COD اولیه ۱۷۰۸ ppm در پساب ورودی بر میزان بارگذاری آلی و درصد حذف COD در جدول ۳ ارائه گردیده و نشان می‌دهد که با سرعت جریان بیشتر میزان درصد حذف COD کاهش می‌یابد به طوری که در سرعت

#### ۴- بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که اولاً طراحی سیستم بیوفیلتر مقدر است و ثانیاً در مقیاس آزمایشگاهی موجب تجزیه مواد آلی پساب گردید. هولند نشان داد که میزان حذف مواد آلی توسط فیلتر مستقیماً به مدت زمان جریان پساب روی بستر فیلتر بستگی دارد. به همین دلیل وی فیلتر عمیق با ذرات پرکننده ستون با کمترین قطر را پیشنهاد کرده است [۸]. ولی این نوع فیلتر به دلیل گرفتگی منافذ و افت فشار، محدودیتهای هیدرولیکی و بار آلی دارد.

<sup>1</sup> Paired T Test

جدول ۱- مشخصات کیفی پساب خام ورودی به بیوفیلتر

مشخصات فاضلاب	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
ملاس (گرم بر لیتر)	۲	۴	۸	۱۲	۲۰
اوره (گرم بر لیتر)	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۷
فسفات آمونیم (گرم بر لیتر)	۰/۱۴	۰/۰۲۸	۰/۰۵۲	۰/۰۸۴	۰/۱۴
pH	۷	۷/۲	۷/۵	۷/۵	۷
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۱	۲۳	۲۲/۵	۲۲	۲
BOD <sub>5</sub> (ppm)	۱۵۸۲/۵	۱۸۶۰	۴۳۰۰	۶۳۰۰	-
COD (ppm)	۱۷۰۸	۳۵۸۶	۶۰۸۰	۱۰۶۴۰	۱۴۰۰۰

جدول ۲- میزان COD پساب ورودی، خروجی پس از به کارگیری سیستم و به تفکیک میزان COD (۴ تکرار)

میزان بارگذاری آلی (Kg COD / m <sup>3</sup> /h)	COD ورودی (ppm)	COD خروجی (ppm)	درصد حذف COD
۵۱/۲۴	۱۷۰۸-۱۰۹۰	۴۲۷-۷۰	۷۵
۱۰۸	۳۵۸۶-۱۶۰۷	۱۱۴۷-۶۸	۶۸
۱۸۲	۶۰۸۰-۱۰۸۶	۲۱۸۹-۸۲۷	۶۴
۳۱۹	۱۰۶۴۰-۱۶۰۴	۴۲۵۶-۳۶۷	۶۰
۴۲۰	۱۴۰۰۰-۱۰۹۲	۶۷۲۰-۵۷۳	۵۲
۲۱۶-۱۵۲	۷۲۰۳-۵۰۶۳	۲۹۴۸-۲۵۵۵	۵۹

جدول ۳- میزان بارگذاری آلی و درصد حذف COD بر حسب سرعت جریان پساب روی بستر فیلتر

سرعت جریان (L/h)	میزان بارگذاری آلی (Kg COD / m <sup>3</sup> /h)	درصد حذف COD
۱/۵	۵۱/۲۴	۷۵
۳	۲۵/۹	۶۴
۶	۱۲/۸	۴۴
۹	۸/۵	۳۹
۱۲	۶/۴	۳۷
۱۵	۵/۱۲	۲۵

سیستم به کار رفته در این تحقیق علاوه بر سبکی و ارزانی دارای مساحت سطح بزرگ تری برای رشد میکروارگانیسم‌ها است و علاوه بر آن جریان پساب، هوا و نور به راحتی در آن صورت می‌گیرد.

زمان ماند طولانی پساب در فیلترها به تجزیه بیشتر مواد آلی پساب توسط میکروارگانیسم‌ها می‌انجامد که این زمان بستگی به سرعت خوراک دهی دستگاه دارد. هر چه سرعت کمتر باشد زمان بیشتری طول می‌کشد تا پساب از خروجی فیلتر خارج شود.

ارزیابی اثر دما بر روی عملکرد فیلتر در تصفیه فاضلاب به وسیله ولز وهومن صورت گرفت دمای مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها بین ۲۱ تا ۲۵ درجه برآورد شده است [۹].

pH نقش عمده‌ای در شرایط زندگی و ادامه حیات و نوع میکروارگانیسم‌ها به عهده دارد. لذا در این تحقیق سعی شد که محیط نه چندان اسیدی و نه آن قدر قلیایی بماند، بلکه همواره در یک دامنه خنثی یک تا یک و نیم درجه اسیدی یا بازی تغییر کند. بر اساس تحقیقات گذشته pH مناسب برای پیدایش بوی بد حدود ۶/۲ تعیین شد [۱۰]. تجزیه قشر میکربی در این تحقیق حضور توأم انواع باکتری کوکسی، باسیل و یک نوع تک سلولی (پرتوزا) و مخمر را نشان داد که این نشانه خوب کارکردن فیلتر می باشد. میزان بارگذاری آلی یک پارامتر مهم در کاهش نرخ COD در طراحی راکتورها با سطوح رشد جرم میکربی می باشد [۱۱].

در این تحقیق دو عامل مؤثر بر بارگذاری مواد آلی (COD پساب ورودی و دبی فاضلاب) بررسی شدند. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می دهد که با افزایش میزان COD پساب ورودی از ۱۷۰۸ تا ۱۴۰۰۰ ppm میزان بارگذاری آلی از ۵۱/۲۴ تا ۴۲۰ کیلوگرم COD بر مترمکعب بر ساعت افزایش می‌یابد و با افزایش بار مواد آلی راندمان فیلتر در حذف COD از ۷۵ تا ۵۲ درصد کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که استفاده و مصرف ماده اصلی پساب به وسیله جرم میکربی در فیلتر به انتقال این مواد از توده مایع به جرم میکربی وابسته است که این انتقال جرم با عمل انتشار صورت می‌گیرد. با افزایش بار آلی بر فیلتر، رشد میکروارگانیسم‌ها به حدی می‌رسد که احتمالاً منافذ فیلتر را مسدود نموده و مانع عبور پساب به طرف پایین و قطع تنفس فیلتر می‌شود. در این حالت فیلتر به صورت غیر هوازای عمل کرده و تصفیه بیولوژیکی به شکل نادرستی انجام می‌گیرد و بازده فیلتر بسیار پایین می‌آید. نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش دبی از ۱/۵ تا ۱۵ لیتر در ساعت میزان بارگذاری آلی از ۵۱/۲۴ تا ۵/۱۲ کیلوگرم COD بر مترمکعب بر ساعت کاهش یافته است و همزمان درصد حذف COD نیز از ۷۵ تا ۲۵ درصد تقلیل داشته است. این نتیجه نشان می‌دهد که با افزایش دبی پساب، زمان ماند

هیدرولیکی پساب روی بستر فیلتر کاهش می‌یابد در نتیجه جرم میکربی فرصت کافی برای تجزیه مواد آلی پیدا نمی‌کند و بازده فیلتر در حذف COD پایین می‌آید.

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی پساب خروجی از فیلتر نشان داد که پساب خروجی تقریباً فاقد ازت، فسفر و قندهای ساده است زیرا این ترکیبات به مصرف ارگانیسم‌ها رسیده‌اند. طی تحقیقی که پاژول و کانلر در سال ۱۹۹۲ در فرانسه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که فیلترهای بیولوژیکی قادر به تصفیه فاضلابهای خانگی می باشند [۱۲]. استورر در سال ۱۹۸۸ در آمریکا به منظور تصفیه فاضلاب صنعتی از بیوفیلتر استفاده نمود و به نتایج مفیدی دست یافت [۱۳]. در سال ۱۹۹۸ در ژاپن کابوتو از وجود فیلتر به منظور تصفیه ثانویه پسابهای شهری استفاده کرد [۱۴].

هانگ در سال ۱۹۸۹ در آمریکا برای تصفیه آبهای آلوده از باکتری‌های غیر هوازی چسبیده به بستر جامد فیلتر چکنده استفاده کرد [۱۵].

ترین در سال ۱۹۹۲ در آلمان مطالعاتی بر روی راکتورهای بیولوژیکی انجام داد او این راکتورها را برای تصفیه فاضلابهای شهری به کار برد و میزان حذف COD را تا حدود ۸۵ درصد به دست آورد [۱۶].

این مطالعات نشان می‌دهد که دستگاه فیلتر بیولوژیکی قادر است آلودگی پسابهای شهری و صنعتی را تا حد قابل ملاحظه‌ای پایین بیاورد. این سیستم از مواد و وسایل ساده و ارزان تهیه می‌شود لذا ساخت آن مقرون به صرفه است و هزینه احداث بسیار کمی دارد. کار با این دستگاه نیاز به مهارت و تخصص بالا ندارد حفاظت از این سیستم در حدی است که به صورت هوازای و بدون بو با جریان یکنواخت کار می‌کند. بیوفیلتر طراحی شده برای اجرای این پروژه قابل رقابت با نمونه‌های مشابه است و فاضلاب تصفیه شده به وسیله آن جوابگوی نیاز استانداردهای بین المللی است.

## ۵- نتیجه گیری

به عنوان یک نتیجه گیری کلی می‌توان گفت فیلتر چکنده بار قوی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت قادر است آلودگی پسابهای صنعتی حاصل از کارخانه‌های قند را تا حد ۷۵ درصد کاهش دهد و فاضلاب تصفیه شده به راحتی و بدون اشکال و با رعایت استانداردهای تدوین شده می‌تواند در مواردی همچون آبیاری و تزریق به آبهای زیر زمینی، تخلیه در دریا و جریانهای سطحی به کار رود.

- 1- Esmaili, H. (1998). *Environmental pollution of Iran as a consequence of the Kuwait war*, Dept. of Education and Research, Ministry of Jihad, Tehran.
- 2- Deepak, D., Gupta, F. C., Kumar, K., and Bhattacharya, F. D. (1992). "Some studies on fixed film biological reactor." *Proc., The 2<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Planning and Management*, ICOEM.
- 3- Nemerow, N. L. (1997). *Industrial water pollution organics, characteristic and treatment*, Van Nostrand Reinhold, New York, 402-410.
- 4- Zobell, C. E. (1937). "The influence of solid surface upon the physiological activities of bacteria in sea water." *J. Bacteriol.*, 33, 36.
- 5- Muslu, V. (1992). "A study of biological filtration using flow – through tracer." *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 54(4), 359-367.
- 6- Sanchez Hernandez, E. P. (1992). "Torula yeast wastewater treatment by down flow anaerobic filters." *Bioresour. Technol.*, 40(2), 163-166.
- 7- APHA, AWWA, WPCF. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington, D.C.
- 8- Howland, W. E. (1957). "Flow over porous media as in a trickling filter." *Proc., 12<sup>th</sup> Industrial Waste Conference*, Purdue University, Indiana, USA, 435.
- 9- Velz, C. J. (1948). "A basic law for the performance of biological filter." *J. Sewage Works*, 20, 607.
- 10- Giuliano, J. C. (1988). "Distribution, characterization and activity of microbial biomass of an aerobic fixed – bed reactor." *Water Sci. Technol.*, 20 (11-12), 455-457.
- 11- Heidman, D. J. (1988). "Trickling filter/ solid contact performance with rock filters at high organic loading." *J. Water Pollut. Control Fed.*, 60(1), 68-76.
- 12- Pujol, R., Canler, J. P. (1992). "Biological aerated filters." *J. Water Sci. Technol.*, 25(12), 175-184.
- 13- Gonzalezs, S. E. (1988). "Low – temperature kinetics of anaerobic fixed film reactors." *Proc. Ind. Waste Conf.*, 43<sup>rd</sup> Ed., 339-352.
- 14- Takayuki, K. (1988). "Application of BIOPAC (biological aerated filter process) to secondary treatment for domestic sewage." *Ebara Infiruko Jiho*, 99,14-22.
- 15- Adams, G. D. (1989). "Anaerobic trickling filters: a new treatment potential." *Proc. Ind. Waste Conf.*, 44<sup>th</sup> Ed., 257-264.
- 16- Trin, W. P. M. (1992). "Single – stage anaerobic treatment of non – settled slaughterhouse wastewater in fixed – bed reactor." *J. GWF*, 133(1), 5-12.