

مقایسه عملکرد سیستم‌های بیولوژیکی حذف بو از تاسیسات فاضلاب شهری (مطالعه موردی)

مسعود طاهریون^۱

مسلم صالحی زیری^{۲*}

moslemsalehi@stu.nit.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: امروزه بیوفیلتراسیون برای حذف گاز سولفید هیدروژن (H_2S) که یکی از اصلی ترین عوامل تولید بو در جریان هوای موجود در تاسیسات فاضلاب شهری می باشد، بطور گسترده مورد استفاده قرار میگیرد.

روش بررسی: در این تحقیق با ساخت بیوفیلتری از جنس بستر کمپوست و تراشه های چوب (به نسبت وزنی ۵:۱) در مقیاس پایلوت و همچنین صافی چکنده ای با بستر مصنوعی و راه اندازی آن در یک ایستگاه پمپاژ فاضلاب در شهر خرم آباد، سعی شده که عملکرد سیستم بیوفیلتر و صافی چکنده در شرایط واقعی بررسی شود. مدت زمان راهبری پایلوت، ۷۵ روز بوده که در طی این بازه زمانی غلظت ورودی و خروجی گاز H_2S اندازه گیری شد. سیستم ها در دمای محیط، راهبری شده و سعی گردید هردو سیستم در شرایط مطلوبی بهره برداری شوند.

یافته ها: با بررسی و مقایسه تمامی مشخصات عملکردی هردو سیستم (راندمان حذف، ظرفیت حذف، ...)، کارایی فرآیند بیوفیلتر برای حذف بو از تاسیسات فاضلاب شهری با تغییرات غلظت انتشار گاز سولفید هیدروژن در بازه ۵۰-۰ قسمت در میلیون در طول شبانه روز، مطلوبتر از سیستم صافی چکنده تعیین گردید.

بحث و نتیجه گیری: استفاده از سیستم بیوفیلتر برای حذف گاز سولفید هیدروژن از تاسیسات فاضلاب شهری توصیه می شود.

واژه های کلیدی: بیوفیلتر، صافی چکنده، سولفید هیدروژن، کمپوست، میکروارگانیسم.

۱- استادیار مهندسی عمران محیط زیست، گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲* - (مسئول مکاتبات): کاندیدای دریافت دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

Comparing the Performance of Biological Systems in Removal of Odor from Municipal Wastewater Facilities (Case Study)

Masoud Taheriyoun¹

Moslem Salehiziri^{2*}

moslemsalehi@stu.nit.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Nowadays, biofiltration has become a widely used technology for the removal of hydrogen sulfide gas (H₂S) which is one of the major odor-causing gases present in the air streams of municipal wastewater treatment facilities.

Method: In this study, a biofilter pilot plant consisting of composts and woodchip as a bed (with a weight ratio of 5:1 for compost: woodchip) and a biotrickling filter with synthesis bed was made to compare the performance of the systems under real condition. Time duration for the pilot operation was 75 days during which the input and output H₂S gas concentrations were measured. The systems were operated at ambient temperature, and it was attempted to operate them under desired conditions.

Findings: The results showed that concentration of H₂S gas emitted from the pumping station during 24 hours was very variable and was in the range of 0 and 48 ppm. Evaluation of all performance parameters (removal efficiency, elimination rate, etc.) indicated that the performance of biofilter systems for the removal of odor emitted from municipal wastewater facilities, in range of 0-50 ppm of H₂S, was more appropriate than that of biotrickling filter systems.

Conclusion: Therefore, the use of biofilter for H₂S gas removal from the municipal wastewater facilities is recommended.

Keywords: Biofilter, Biotrickling filter, Sulfide Hydrogen, Compost, Microorganism.

1- Assistant Professor, Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- PhD Candidate, Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.* (Corresponding Author)

مقدمه

امروزه گسترش شبکه‌های فاضلاب شهری در همه شهرها اعم از خطوط انتقال و یا ایستگاههای پمپاژ فاضلاب، امری اجتناب ناپذیر بوده که بعضاً به دلیل شرایط توپوگرافی منطقه، ایستگاههای پمپاژ فاضلاب، به منظور جبران افت هد، در مسیر انتقال فاضلاب در نظر گرفته می‌شود. نارضایتی ساکنین اطراف این ایستگاههای پمپاژ به دلیل انتشار بوی نامطبوع یکی از معضلات جانبی آنها می‌باشد. گاز سولفید هیدروژن بسیار بدبو بوده و خاصیت خوردندگی دارد. این گاز از هوا سنگین‌تر بوده و در نتیجه در فضاهایی که تهویه مناسبی وجود ندارد تجمع می‌یابد. در غلظتهای پائین باعث سوزش چشم و زخم شدن حلق و بینی گردیده و در غلظتهای بالاتر آثار وضعی بیشتری به همراه دارد که نهایتاً در غلظت ۱۰۰۰ ppm منجر به مرگ انسان خواهد شد. بیشترین غلظت مجاز برای استنشاق این گاز ۱۰ ppm بوده در حالی که آستانه بویایی آن تقریباً ۴/۷ ppb می‌باشد (۱-۳).

روشهای مختلفی برای حذف گاز H_2S نظیر اسکرابرهای شیمیایی، جذب سطحی با کربن فعال و تصفیه بیولوژیکی وجود دارد. اسکرابرهای شیمیایی رایج‌ترین فناوری در حذف H_2S از تصفیه خانه‌های فاضلاب می‌باشد (۴). نیاز به مواد شیمیایی مانند NaOH و هزینه بالای راهبری و نگهداری سیستم از معایب این روش محسوب می‌شود (۵). روش دیگر، استفاده از جاذب‌های فیزیکی است. کربن فعال به عنوان جاذب گازها به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (۶-۸). در این روش به علت تجمع یافتن حجم زیادی از آلاینده، مواد بستر در اثر گرمای آزاد شده ناشی از واکنش‌های رخ داده، قابلیت آتش سوزی دارند. از طرفی ظرفیت جذب کربن فعال می‌تواند به طور چشمگیری در اثر انسداد منافذ کاهش یابد (۹-۱۰). امروزه بدنبال ارائه فناوری‌های کم هزینه‌تر و کاربردی‌تر، سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی آلاینده‌های گازی، در حال توسعه می‌باشند. در این روش، آلاینده موجود در جریان هوا یا مستقیماً بر روی بستر جذب شده، و یا بوسیله رطوبت موجود در بستر، جذب می‌شود و سپس با فعالیت بیولوژیکی بستر، تجزیه می‌گردد (۱۱).

با وجود تحقیقات گسترده در زمینه سیستم‌های حذف گاز سولفید هیدروژن، اغلب این تحقیقات در شرایط آزمایشگاهی

انجام شده است که به صورت کنترل شده و مصنوعی گاز سولفید هیدروژن را تولید و به سیستم تزریق کرده‌اند. اما مطالعات کمی در مقیاس پایلوت جهت بررسی عملکرد سیستم‌های بیولوژیکی در شرایط ورودی واقعی و برای یک ایستگاه پمپاژ فاضلاب انجام شده است. مسلماً غلظت و نرخ تولید گاز سولفید هیدروژن در یک ایستگاه پمپاژ فاضلاب با شرایط کنترل شده آزمایشگاهی بسیار متفاوت بوده و در نتایج حاصله بسیار تاثیرگذار می‌باشد. لذا در این تحقیق با ساخت یک سیستم بیوفیلتر و یک سیستم صافی چکنده جهت تصفیه بوی منتشره در ایستگاه پمپاژ فاضلاب شهرک گلدشت شهر خرم‌آباد، سعی بر آن شده که پارامترهای عملکردی سیستم‌های بیولوژیکی حذف گاز سولفید هیدروژن در شرایط واقعی بررسی شود.

مطالعه موردی

این تحقیق در ایستگاه پمپاژ فاضلاب شهرک گلدشت شهر خرم‌آباد واقع در استان لرستان انجام گرفت. این ایستگاه در میان منطقه مسکونی واقع شده و فاصله نزدیکترین منزل مسکونی تا اتاقک چاه فاضلاب حدود ۱۱ متر می‌باشد. در بیشتر فصلهای سال خصوصاً فصل تابستان بوی نامطبوع ایجاد شده ناشی از انتشار گاز سولفید هیدروژن، منجر به نارضایتی‌های شدید مردمی شده است.

بیوفیلتر

برای ساخت پایلوت از یک ستون گالوانیزه به ارتفاع ۱۶۰ و قطر ۲۶ سانتیمتر (۷۰ سانتیمتر ارتفاع بستر بیولوژیک) با یک لایه فوم داخلی، به منظور ایجاد عایق حرارت و رطوبت، که سطح درونی این ستون را پوشانده بود، استفاده شد. در انتهای ستون بیوفیلتر یک سیفون تعبیه گردید تا کار زهکشی بستر را انجام دهد و همچنین از بالای ستون یک آبپاش تعبیه شد تا بتوان به طور مستقیم رطوبت و مواد مغذی بستر را کنترل نمود. برای اینکار از یک شیر دستی استفاده شد. منبع تامین هوا یک پمپ وکیوم بود که از بالای ستون جریان هوا را از پایین به سمت بالای بستر می‌کشید (شکل ۱).

بستر مورد استفاده مخلوطی از کمپوست مواد زائد شهری و تراشه‌های چوب به نسبت وزنی ۵:۱ است. افزودن تراشه‌های چوب بمنظور افزایش تخلخل بستر، کاهش افت فشار، جلوگیری

غلظت ۴ نوع گاز O_2 , CO , LEL^1 , H_2S را اندازه‌گیری می‌نماید. سهولت اندازه‌گیری و دقت بالای این دستگاه امکان نمونه برداری‌های بیشتری را فراهم نمود به گونه‌ای که در طول کل پروژه که ۷۵ روز به طول انجامید، حدود ۳۷۵ قرائت صورت گرفت. نمونه برداری‌ها از اول مرداد ماه ۱۳۹۱ آغاز شده و تا میانه مهرماه ۹۱ ادامه پیدا کرد و نمونه‌برداری به صورت روزانه و در ساعات اوج انتشار بو انجام گردید. در هر سری نمونه‌برداری، غلظت گاز سولفید هیدروژن در ورودی بیوفیلتر و همچنین در ۴ ارتفاع ستون بیوفیلتر با فواصل زمان ماند ۱۵ ثانیه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه دیجیتال $sens\ ion1$ ساخت شرکت Hach آلمان استفاده گردید.

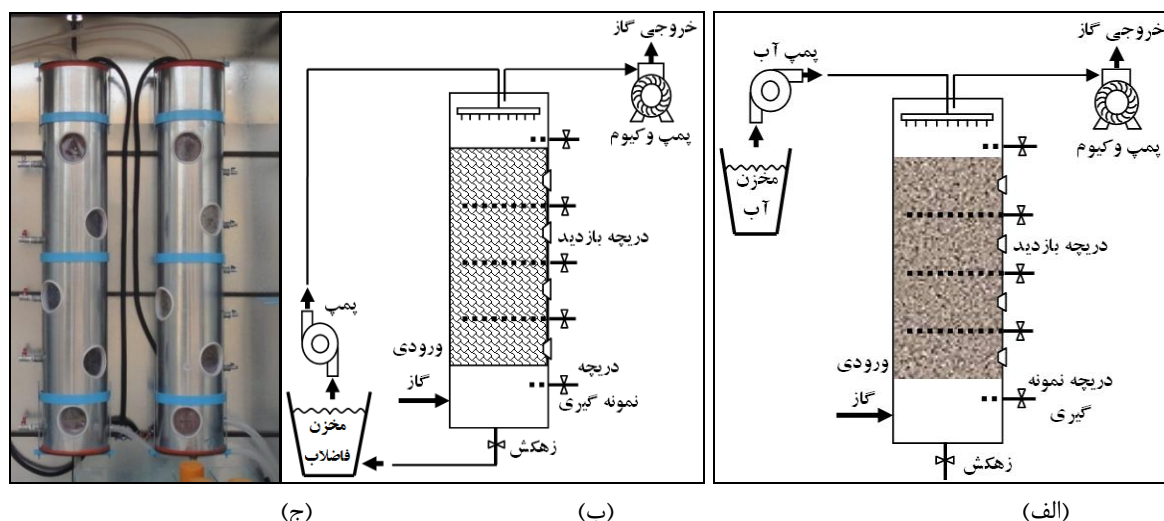
از فشردگی و کاناله شدن بستر می‌باشد. این بستر در دو مرحله مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا با تزریق مستقیم آب شرب، رطوبت بستر در بازه ۶۰-۴۰٪ کنترل شد و در مرحله دوم از فاضلاب ایستگاه پمپاژ با حدود BOD_5 برابر 135 mg/L برای اینکار استفاده گردید تا ضمن کنترل رطوبت، به عنوان منبعی برای تامین سوستره و جمعیت باکتری‌های بستر باشد (۲۳).

صافی چکنده

پایلوت صافی چکنده از لحاظ مشخصات فیزیکی دقیقاً مشابه ستون بیوفیلتر ساخته شد. برای فراهم آوردن بستر مناسبی بمنظور رشد میکروارگانیسم‌ها از پوک‌های معدنی به قطر متوسط ۵ سانتیمتر و وزن کل ۹ کیلوگرم استفاده گردید. با توجه به ارتفاع ۹۰ سانتیمتری بستر صافی چکنده و چگالی پوک‌های معدنی (440 kg/m^3)، تخلخل بستر ۵۶٪ تعیین شد. مهمترین قسمت سیستم‌های صافی چکنده، بخش گردشی فاضلاب بستر می‌باشد. تامین جمعیت میکروبی و ایجاد شرایط مطلوب رشد و نمو آنها، کلیدی‌ترین پارامتر در عملکرد مناسب سیستم صافی چکنده می‌باشند. در این تحقیق برای تامین جمعیت میکروبی مطلوب، از فاضلاب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرم‌آباد با BOD_5 حدود 135 mg/l استفاده شد. باکتری‌های موجود در فاضلاب پس از قرار گرفتن بر روی پوک‌های معدنی و تغذیه از گاز H_2S ، تکثیر شد و گونه‌های مقاوم و مناسب برای تجزیه گاز سولفید هیدروژن، گونه غالب بستر صافی چکنده گردید. در این بخش، فاضلاب تزریق شده به بستر پس از تخلیه شدن از بالای بستر و عبور از میان آن، از طریق سیفون قرار داده شده در انتهای صافی چکنده، از سیستم خارج شده و در مخزن جمع‌آوری می‌گردید. در این مخزن در صورت نیاز، مواد مغذی و pH فاضلاب کنترل شده و مجدداً به بالای بستر، پمپاژ می‌شد (شکل ۱).

روشهای آنالیز

برای اندازه‌گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن از دستگاه پرتابل $(BW\ Co.\ micro\ 5)$ استفاده شد که قابلیت اندازه‌گیری گاز سولفید هیدروژن در بازه $0 - 150\text{ ppm}$ را دارد. این دستگاه کالیبره بوده و بر اساس روش استاندارد (EPA 7783-06-4)



شکل ۱- (الف) شماتیک سیستم بیوفیلتر، (ب) شماتیک سیستم صافی چکنده، (ج) پایلوت ساخته شده
Figure 2- (a) Schematic of biofilter system (b) Schematic of Trickling filter system (c) constructed pilot

نتایج

عملکرد بیوفیلتر در زمان راه اندازی

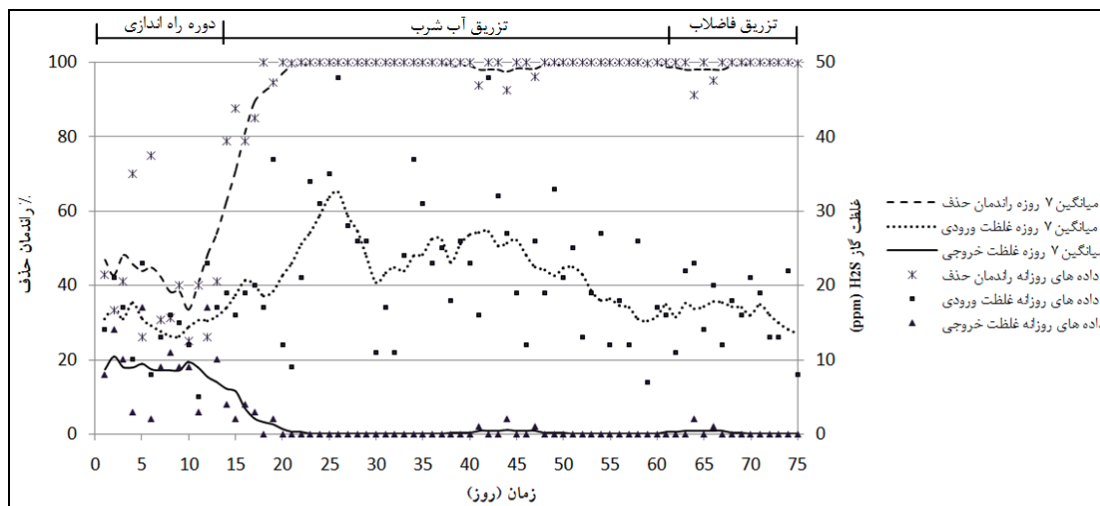
کارایی سیستم بیوفیلتراسیون، بر اساس رابطه (۱) برای تعیین راندمان حذف گاز سولفید هیدروژن (RE) مورد بررسی قرار گرفت (۲۲).

$$RE\% = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، C_{in} و C_{out} به ترتیب غلظت‌های ورودی و خروجی گاز سولفید هیدروژن بر حسب ppm می‌باشند. در نمودار ۱، درصد راندمان حذف (RE) برای ۷۵ روز دوره راهبری پایلوت برای زمان ماند ۶۰ ثانیه (ضخامت بستر ۷۰ سانتیمتر) و به همراه مقادیر غلظت‌های ورودی و خروجی گاز سولفید هیدروژن نمایش داده شده است. در این نمودار به دلیل نوسانات زیاد داده‌های روزانه و جهت تحلیل مناسب‌تر داده‌ها از میانگین متحرک هفت روزه استفاده شده است. همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده، دوره بهره‌برداری در سه مرحله تقسیم‌بندی شده که شامل مرحله راه‌اندازی (دو هفته اول)، دوره تزریق آب

برای تنظیم رطوبت بهینه و تزریق فاضلاب جهت ارتقا راندمان بیولوژیکی می‌باشد.

مطابق نمودار ۱، دوره ۱۵ روزه اول، به عنوان دوره راه‌اندازی و سازگاری میکروارگانیسم‌ها با محیط بوده و راندمان سیستم در سطح پائینی قرار دارد. با آغاز عملکرد بیولوژیکی سیستم مشاهده می‌شود که از هفته دوم عملکرد سیستم بهبود می‌یابد و در طی ۵ روز، راندمان حذف به ۱۰۰٪ می‌رسد. یکی از عواملی که می‌تواند در کاهش مدت زمان راه‌اندازی بستر موثر باشد، غلظت آلاینده ورودی است بطوری که هرچه غلظت آلاینده بیشتر باشد، زمان آغاز فعالیت تجزیه بیولوژیکی کاهش می‌یابد. میانگین عملکرد بیوفیلتر با احتساب دوره راه‌اندازی ۸۹٪ و میانگین عملکرد در دوره فعالیت بیولوژیکی ۹۸٪ بوده است. همچنین با بررسی نمودار تغییرات غلظت گاز ورودی به سیستم، روند کاهشی غلظت ورودی گاز سولفید هیدروژن از روز ۴۰م مشاهده می‌شود.



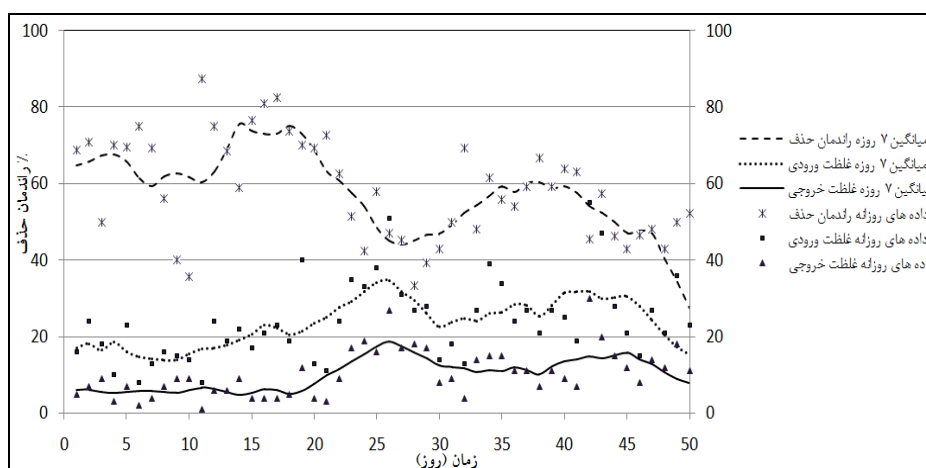
نمودار ۱- تغییرات راندمان حذف و غلظت گاز ورودی و خروجی سیستم بیوفیلتر در طی دوره راهبری

Figure 1- Variation of removal efficiency and inlet and outlet gas concentration of biofilter system during operation period

عملکرد صافی چکنده در زمان راه اندازی

افزایش غلظت ورودی آلاینده، میزان غلظت خروجی نیز به تناسب افزایش یافته است. میانگین راندمان سیستم در طول مدت راهبری ۵۸٪ بوده، به گونه‌ای که کمترین و بیشترین راندمان در طی این مدت به ترتیب ۳۳٪ و ۸۷٪ بوده است.

بر اساس داده‌های بدست آمده از نمونه‌گیری‌های پایلوت و با استفاده از رابطه (۱)، احتمال نحوه تغییرات راندمان حذف صافی چکنده ساخته شده، در نمودار ۲ نشان داده شده است. با یک نگاه کلی بر این نمودار اینگونه برداشت می‌شود که با



نمودار ۲- تغییرات راندمان حذف غلظت، گاز ورودی، و غلظت گاز خروجی سیستم صافی چکنده در طی دوره راهبری

Figure 2- Variation of removal efficiency and inlet and outlet gas concentration of trickling filter during operation period

ظرفیت حذف بیوفیلتر

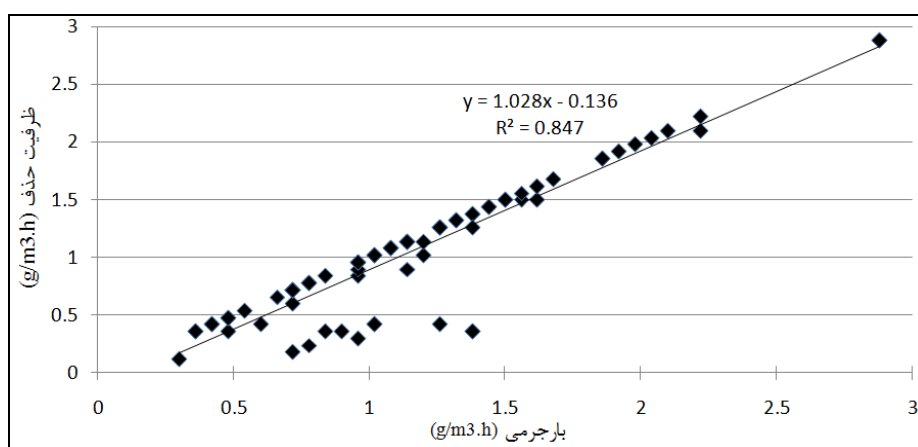
$$EC = \frac{(C_{in} - C_{out})Q_{in}}{V_B} \quad (2)$$

$$ML = \frac{C_{in} \cdot Q_{in}}{V_B} \quad (3)$$

ظرفیت حذف بستر، مطابق رابطه ۲، برابر جرم ماده حذف شونده به ازای واحد حجم بستر و بار جرمی ورودی بر اساس رابطه ۳، برابر با جرم آلاینده ورودی به واحد حجم بستر تعریف می‌شود (۲۲).

سولفید هیدروژن با بستر کمپوست و تراشه های چوب برابر با $2/88 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ بوده است. همچنین رابطه میزان بارگذاری با ظرفیت حذف بیوفیلتر برای تصفیه H_2S بصورت خطی بوده که نشانگر همبستگی بالای بار جرمی ورودی با ظرفیت حذف بستر می‌باشد. ضریب همبستگی میان ظرفیت حذف و بار جرمی ورودی برابر $0/92$ است. برخی نقاطی که زیر خط قرار گرفته‌اند مربوط به دوره راه‌اندازی بوده که سیستم راندمان پایینی داشته است.

در روابط بالا EC ظرفیت حذف، ML بار جرمی ورودی، C_{in} و C_{out} غلظت ورودی و خروجی بر حسب ppm ، Q_{in} حجم هوای گذرا از بستر بر حسب m^3/h و V_B حجم بستر بر حسب m^3 می‌باشد. غلظت گاز سولفید هیدروژن اندازه‌گیری شده در زمان نمونه‌برداری‌ها، بین 5 تا 48 ppm قرار داشت که برای زمان ماند 60 ثانیه، دبی هوای ورودی برابر 38 لیتر در دقیقه تنظیم گردید. در نمودار ۳ تغییرات ظرفیت حذف سولفید هیدروژن در برابر تغییرات بار جرمی ورودی نشان داده شده است. مطابق این نمودار بیشترین ظرفیت حذف گاز



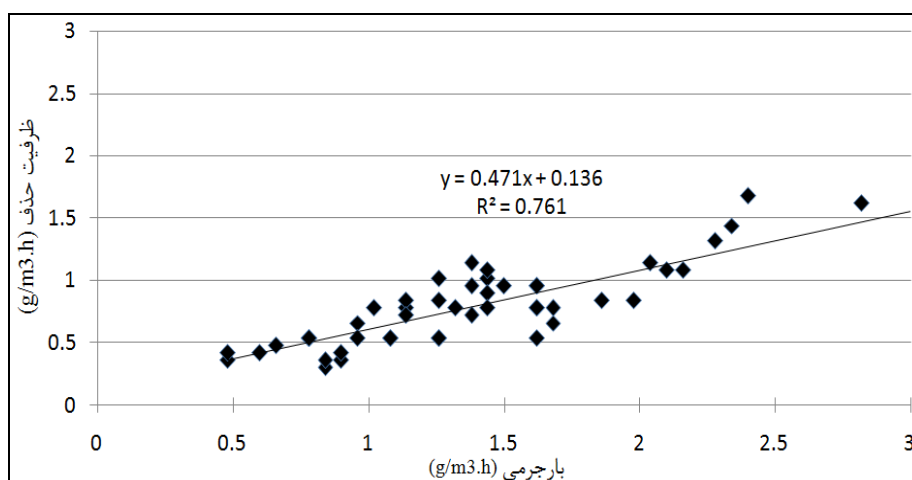
نمودار ۳- تغییرات ظرفیت حذف سیستم بیوفیلتر در برابر بارگذاری جرمی

Figure 3- Variation of removal capacity of biofilter system vs. mass loading

نیز افزایش یافته است. میانگین ظرفیت جذب سیستم $0/82 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ بوده و کمترین و بیشترین مقدار ظرفیت جذب نیز به ترتیب $0/3 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ و $1/68 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ بوده است.

ظرفیت حذف صافی چکنده

در نمودار ۴ ظرفیت حذف سیستم صافی چکنده ارائه شده است. در این نمودار، با افزایش بار جرمی ورودی، ظرفیت جذب



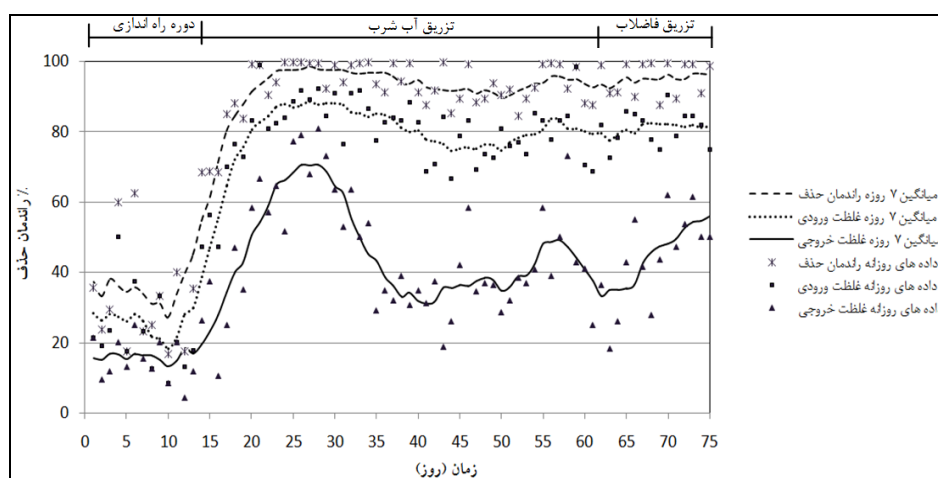
نمودار ۴- تغییرات ظرفیت حذف سیستم صافی چکنده در برابر بارگذاری جرمی

Figure 4-Variation of removal capacity of tricking filter vs. mass loading

بررسی راندمان حذف در ارتفاع ستون بیوفیلتر

از روز ۳۰ به بعد یک کاهش چشمگیر در راندمان این بخش اتفاق افتاده که تا روز ۴۳ ادامه داشته است. اما با آغاز تزریق فاضلاب ایستگاه پمپاژ به بستر کمپوستی، روند کاهشی راندمان نیز متوقف شده و رو به فزونی نهاد. روند این کاهش و افزایش راندمان حذف برای زمان ماند های ۳۰ و ۴۵ ثانیه، نیز تقریباً تکرار شده و مقادیر آن پس از دوره کاهش به ترتیب به ۸۲٪ و ۹۴٪ می‌رسد.

با برداشت نمونه‌ی هوای خروجی از سه شیر میانی ستون بیوفیلتر (شکل ۱) و با جریان ثابت هوا برابر ۳۸ لیتر در دقیقه، مقادیر راندمان حذف در سه زمان ماند ۱۵، ۳۰ و ۴۵ ثانیه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در نمودار ۵ بر مبنای میانگین متحرک هفت روزه نشان داده است. مطابق نمودار در زمان ماند ۱۵ ثانیه، با آغاز دوره فعالیت بیولوژیکی بستر (پس از دوره راه‌اندازی) راندمان افزایش یافته و به حداکثر ۹۹٪ می‌رسد. اما



نمودار ۵- تغییرات راندمان حذف سیستم بیوفیلتر برای زمان ماند های مختلف، ۱۵، ۳۰، و ۴۵ ثانیه

Figure 5- Variation of removal efficiency of biofilter system for detention times 15, 30 and 45 s

که میانگین راندمان حذف در زمان ماند های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ ثانیه به ترتیب برابر با ۲۳٪، ۳۸٪ و ۵۰٪ بوده است. در جدول ۱ خلاصه‌ای از نتایج بدست آمده از عملکرد سیستم‌های بیوفیلتر و صافی چکنده ارائه شده است که می‌تواند معیار مناسبی جهت مقایسه بین این دو سیستم باشد.

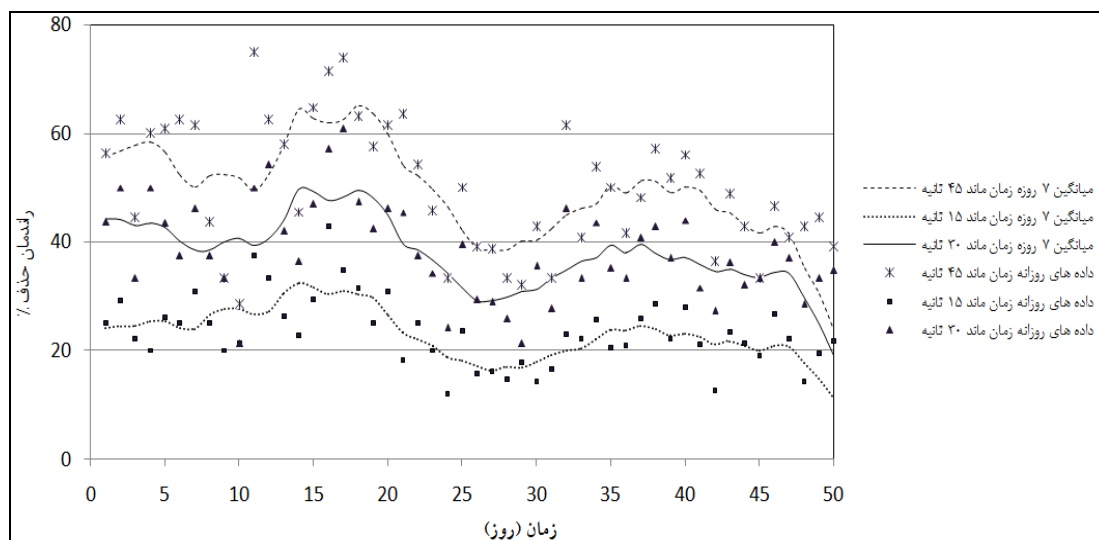
بررسی راندمان حذف در ارتفاع ستون صافی چکنده

به منظور ارزیابی عملکرد سیستم صافی چکنده در ارتفاع ستون، در ۵ نقطه مختلف از ارتفاع ستون، به فواصل زمانی ۱۵ ثانیه، نمونه گیری انجام گرفته و حدود تغییرات آن در نمودار ۶ ارائه شده است. مطابق این نمودار با افزایش زمان ماند در ستون صافی چکنده، راندمان حذف نیز افزایش یافته است به نحوی

جدول ۱- نتایج عملکرد سیستم‌های بیوفیلتر و صافی چکنده

Table 1- Performance results of biofilter and trickling filter systems

پارامتر	راندمان حذف در ارتفاع ستون (%)			ظرفیت حذف (g/m ³ .hr)			رانمان حذف (%)		
	۱۵ S	۳۰ S	۴۵ S	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین
بیوفیلتر	۴۵	۸۲	۹۴	۲/۸۸	۱/۰۲	۰/۱۲	۱۰۰	۹۸	۳۳
صافی چکنده	۲۳	۳۸	۵۰	۱/۶۸	۰/۸۲	۰/۳	۸۷	۵۸	۳۳



نمودار ۶- تغییرات راندمان حذف سیستم صافی چکنده در طی زمان ماند های مختلف، ۱۵، ۳۰، و ۴۵ ثانیه

Figure 6- Variation of removal efficiency of trickling filter for detention times 15, 30 and 45 s

سطحی تصفیه می‌شد. اما با تکمیل شدن ظرفیت جذب سطحی بستر، راندمان حذف در طی مدت ۷ روز کاهش یافت. سپس با آغاز فعالیت بیولوژیکی بستر، گاز سولفید هیدروژن به عنوان یک منبع غذایی برای میکروارگانیسم‌ها به مصرف می‌رسید و در نتیجه راندمان سیستم بطور متوسط به ۹۸٪ رسید. با گذشت زمان به دلیل تولید یون سولفات و اسیدی شدن محیط در اثر تجزیه بیولوژیکی سولفید هیدروژن، در زمان ماند ۱۵ ثانیه شاهد کاهش راندمان حذف بودیم. با تزریق فاضلاب شهری به سیستم بیوفیلتر، روند کاهش pH بستر متوقف شده و شرایط متابولیسم میکروارگانیسم‌های موجود در بستر بهبود یافته و در نتیجه شاهد رشد مجدد راندمان حذف گاز سولفید هیدروژن بودیم. در سیستم صافی چکنده، روند راندمان حذف سیستم در تمام مدت راهبری آن، متناسب با غلظت ورودی گاز سولفید هیدروژن، کاهش و یا افزایش داشته است. این به معنای عدم وجود تصفیه بیولوژیکی در بستر بوده و می‌توان اینگونه بیان کرد که سیستم صافی چکنده همانند یک شوینده گازی عمل کرده و لذا متوسط راندمان حذف آن بیش از ۵۸ درصد نبوده است. اصلی‌ترین عامل این اتفاق پایین بودن غلظت گاز سولفید هیدروژن ورودی می‌باشد که حتی در ساعاتی از روز به مرز صفر می‌رسید.

نتایج حاصل از دستاوردهای تحقیق حاضر با سایر تحقیقات انجام شده، در جدول ۲ خلاصه شده است. مطابق این جدول، اغلب تحقیقات انجام شده در شرایط آزمایشگاهی برای سیستم

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ می‌توان بیان کرد که برای تصفیه گاز سولفید هیدروژن ناشی از تاسیسات فاضلاب شهری سیستم بیوفیلتر دارای عملکرد بسیار مطلوب می‌باشد. سیستم صافی چکنده بدلیل غلظت ورودی پایین گاز H_2S ، به مرحله راه‌اندازی کامل بیولوژیکی نرسید و لذا نمی‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای تصفیه بو از تاسیسات فاضلاب شهری باشد. دوره راه‌اندازی بیوفیلتر ساخته شده در حد ۱۴ روز بوده است که در صورت پایین بودن غلظت گاز ورودی به سیستم، این زمان می‌تواند طولانی‌تر باشد. یکی از عوامل موثر در راندمان حذف گاز در این سیستم نگهداری بیوفیلتر در شرایط رطوبت و pH بهینه است. همچنین برای بسترهای بیولوژیکی چنانچه تامین سوستره آنها به دقت کنترل نشود، کاهش راندمان سیستم در زمان کوتاهی اتفاق خواهد افتاد. در پایلوت این تحقیق، با تزریق آب شرب جهت کنترل رطوبت بستر، بعد از حدود ۳۰ روز از زمان راه‌اندازی، شاهد افت راندمان حذف بودیم، اما مجدداً با تزریق فاضلاب به بستر بیولوژیک، راندمان افزایش یافت.

نتیجه گیری

در این مطالعه عملکرد سیستم بیوفیلتر و صافی چکنده در مقیاس پایلوت برای تصفیه بوی منتشره از ایستگاه پمپاژ فاضلاب شهرک گلدشت شهر خرم‌آباد مورد ارزیابی قرار گرفتند. در سیستم بیوفیلتر، در آغاز دوره راه‌اندازی و پیش از شروع فعالیت بیولوژیکی، گاز سولفید هیدروژن توسط عملیات جذب

بیوفیلتر دارای متوسط نرخ حذف بالای ۹۸ درصد بوده اما برای تحقیقات در شرایط واقعی نرخ عملکردی حدود ۹۰٪ بود است. در حالیکه راندمان سیستم بیوفیلتر در تحقیق حاضر (متوسط ۹۸٪) بیان کننده عملکرد مطلوب این سیستم جهت حذف گاز سولفید هیدروژن از تاسیسات فاضلاب شهری می باشد. در سیستم های صافی چکنده، همواره راندمان سیستم برای تصفیه گاز سولفید هیدروژن در غلظت های زیاد، بیشتر از ۹۵

درصد بوده است در مقایسه با سیستم صافی چکنده در این تحقیق (متوسط ۵۸ درصد) مقادیر بیشتری بوده است. لذا می توان نتیجه گیری کرد برای کنترل گاز سولفید هیدروژن در تاسیسات فاضلاب شهری مطالعه حاضر، سیستم بیوفیلتر از عملکرد مطلوبتری برخوردار است.

جدول ۲- مطالعات انجام شده در رابطه با ارزیابی عملکرد سیستم های بیوفیلتر و صافی چکنده جهت حذف گاز H_2S

Table 2- Literatures related to the performance assessment of biofilter and trickling filter systems for H_2S gas removal

نویسنده و سال	سیستم	منبع بو	جنس بستر	زمان ماند (s)	غلظت ورودی (ppm)	(%) راندمان حذف	ظرفیت حذف ($g\ m^{-3}\ h^{-1}$)	pH
Omri et al. (۱۶) (۲۰۱۳)	بیوفیلتر	تصفیه خانه فاضلاب	خاک نباتی	۶۰	۱۳۱-۸۵۴	۹۹-۸۹	۵۸-۱۱	-۷/۸ ۴
Lin et al. (۲۰۱۳) (۱۵)	بیوفیلتر	مرکز دفن	مواد مصنوعی	-	۵۰-۶۰	۹۰	۲/۲۱-۰/۴۱	-
Xie et al. (۱۴) (۲۰۰۸)	بیوفیلتر	آزمایشگاه	زائادات کاه	۱۲۰	۳-۱۷	۹۸	۲/۷۸	-
Morgan & Noyola (۲۰۰۶) (۱۳)	بیوفیلتر	آزمایشگاه	کمپوست	۴۸	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۴/۷۴	۷/۴۸
Elias et al. (۱۲) (۲۰۰۲)	بیوفیلتر	آزمایشگاه	لجن گرانوله	۶۰	-	۱۰۰-۶۵	۲۷/۹	-۸/۴ ۶/۸
Solcia et al. و (۱۸) (۲۰۱۴)	صافی چکنده	آزمایشگاه	پلی اورتان	۵۷-۹	۱۵۷-۲۰	۹۸-۸۹	۲۲	-۸/۶ ۶/۹
Liu et al. (۱۷) (۲۰۱۳)	صافی چکنده	آزمایشگاه	-	۲۰	۱۰۰	۹۵	۱۷۰-۶۰	-۷/۵ ۳/۵
Montebello et al. (۲۱) (۲۰۱۰)	صافی چکنده	آزمایشگاه	-	۱۸۰	۸۰۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰-۸۰	۲۰۱	-۶/۵ ۶
Jiang et al. (۲۲) (۲۰۰۹)	صافی چکنده	آزمایشگاه	کربن مصرف شده	۴-۲۰	۲۰-۱۰۰	۹۵	۳۶	۶/۱۵
Goncalves & Govind (۲۰۰۸) (۱۹)	صافی چکنده	آزمایشگاه	مواد مصنوعی	-۶۰ ۲۰	۱۳۰-۱۵۰	۹۸-۸۰	۸۸/۷-۷۵	۷-۹

منابع

- products by steam pyrolysis. Carbon, Vol.32(4), PP. 693–702.
- 11- Stanley, W. B. M., Muller, C. O., 2002. Choosing an Odor Control Technology_ Effectiveness and Cost Considerations. Proc., of Odors and Toxic Air Emissions-WEF Albuquerque, NM.
 - 12- Elias, A., Barona, A., Arreguy, A., Rios, J., Aranguiz, I., Penas, J., 2002. Evaluation of a Packing Material for the Biodegradation of H₂O and Product Analysis. Process Biochemistry, Vol. 37, pp. 813-820.
 - 13- Morgan, J. M., Noyola, A., 2006. Hydrogen sulfide removal by compost biofiltration: Effect of mixing the filter media on operation factors. Bioresource Technology, Vol. 97, Pp. 1546-1553.
 - 14- Xie, B., Liang, S. B., Tang, Y., Mi, W. X., Xu, Y., 2009. Petrochemical wastewater odor treatment by biofiltration. Bioresource Technology, Vol, 100. pp. 2204-2209.
 - 15- Li, L., Han, Y., Yan, X., Liu, J., 2013. H₂S removal and bacterial structure along a full-scale biofilter bed packed with polyurethane foam in a landfill site. Bioresource Technology, Vol. 147, pp. 52-58.
 - 16- Omri, I., Aouidi, F., Bouallagui, H., Godom, J. J., Hamdi, M., 2013. Performance study of biofilter developed to treat H₂S from wastewater odour. Saudi Journal of Biological Sciences, Vol. 20, pp. 169-176.
 - 17- Liu, Ch., Liu, J., Li, J., He, H., Peng, Sh., Li, Ch., Chen, Y., 2013. Removal of H₂S by co-immobilized bacteria and fungi biocatalysts in a bio-trickling filter. Process Safety and Environmental Protection, Vol. 91, pp. 145-152.
 - 1- Premkumar, R., Krishnamohan, N., 2013. Biological Elimination of Volatile Hydrogen Sulphide Compounds In Biofilters. International Journal of Chemical Technology Research, Vol. 5, pp. 56-64.
 - 2- shareefden, Z. M., Ahmed, W., Aidan, A., 2011. Kinetics and Modeling of H₂S Removal in Novel Biofilter. Chemical Engineering and Science, Vol. 1, pp.72-76.
 - 3- shareefden, Z. M., 2009. Development of a Biofilter Media For Removal of Hydrogen Sulfide. Global NEST Journal, Vol. 11, pp. 218-222.
 - 4- Gabriel, D., Deshusses, M. A., 2003. Performance of a full-scale biotrickling filter treating H₂S at a gas contact time of 1.6 to 2.2 seconds. Environ. Prog. Vol. 22, pp. 111–118.
 - 5- Mannucci, A., Munz, G., Mori, G., Lubello C., 2012. Biomass accumulation modeling in a highly loaded biotrickling filter for hydrogen silphide removal. Chemosphere journal Vol. 88, pp. 712- 717.
 - 6- Bansal, R. C., Donnet, J. B., Stoeckli, F., 1988. Active carbon. (Marcel Dekker).
 - 7- Cheremisinoff, P. N., Ellerbusch, F., 1980. Carbon adsorption handbook. (US: Ann Arbor).
 - 8- Puri, B. R., Walker, Jr. PJ., 1970. Chemistry and physics of carbon. (M. Dekker).
 - 9- Bandosz, T. J., 1999. Effect of pore structure and surface chemistry of virgin activated carbons on removal of hydrogen sulfide. Carbon, Vol. 37(3), pp. 483–91.
 - 10- Gergova, K., Petrov, N., Eser, S., 1994. Adsorption properties and microstructure of activated carbons produced from agricultural by-

- an integrated continous gas/liquid flow analyser. Chemical Engineering Journal, Vol. 165, pp. 500-507.
- 22- Devinny J.S., Deshusses M.A., Webster T.S., 1998. Biofiltration for Air Pollution Control. (Lewis Publishers Inc).
- 23- Ramirez, M., Fernandez, M., Granada, C., Borgne, S. L., Gomez, J. M., Cantero, D., 2011. Biofiltration of reduced sulphur compounds and community analysis of sulphur-oxidizing bacteria. Bioresource Technology, Vol. 102, pp. 4047-4053.
- 18- Solcia, R. B., Ramirez, M., Fernandez, M., Cantero, D., Bevilaqua, D., 2014. Hydrogen sulphide removal from air by biotrichling filter using open-pore polyurethane foam as a carrier. Biocjemical Engineering Journal, Vol. 84, pp. 1-8.
- 19- J. J. Goncalves, R. Govind., 2008. H₂S Abatement in a biotrickling filter using iron (III) foam media. Chemosphere, Vol, 73. pp. 1478–1483.
- 20- Jiang, X., Yan, R., Tay, J. H., 2009. Simultaneous autotrophic biodegradation of H₂S and NH₃ in biotrickling filter. Chemosphere, Vol. 75, pp. 1350-1355.
- 21- Montebello, A. M., Baeza, M., Lafuente, J., Gabriel, D., 2010. Monitoring and performance of a desulphurizing biotrickling filter with