بررسی تجربی حذف زیستی هیدروژن سولفید از گاز دفنگاه شهر شیراز

خدیجه عبادی، جعفر جوانمردی*+، پیام پرواسی، علی اکبر روستا
دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده: آلودگی محیط زیست و انتشار گازهای سمی از مهم‌ترین معضل‌های بشر در این سده است. از جمله گازهای آلوده‌ای که با دارا بودن درصد بالای متان می‌تواند به عنوان منبعی وافر از انرژی استفاده شود، گاز دفنگاه است. یکی از روش‌های ساده و کم‌هزینه برای حذف آلاینده‌هایی مانند هیدروژن سولفید که گازی به شدت سمی و خورنده است، تصفیه زیستی می‌باشد. در این روش با عبور گاز آلوده از میان بستری دارای میکروارگانیسم، تصفیه صورت می‌گیرد. در این پژوهش نیز به منظور بررسی کارایی صافی زیستی در حذف آلاینده هیدروژن سولفید از گاز دفنگاه شهر شیراز، ستون صافی زیستی از جنس پلکسی گلاس با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ متر طراحی و ساخته شد. این ستون با بستر طبیعی دارای ورمی‌کمپوست تولید شده در دفنگاه و گوش‌ماهی پر شد. سپس باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس که پیش‌تر در محیط آزمایشگاه کشت داده شده بود روی سطح پرکن‌ها تثبیت شد. کارایی این صافی زیستی با غلظت (ppm)۳۰ و شدت جریان حجمی گوناگون از گاز دفنگاه در شرایط دمای محیط و فشار اتمسفری بررسی شد. با توجه آزمایش‌ها دیده می‌شود که در زمان ماند ۲ دقیقه به بازده بالای ۸۰ درصد رسید که در این شرایط غلظت سولفید هیدروژن خروجی دلخواه است. البته در آزمایش ها بازدهی حذف دستگاه برای غلظت (ppm)۳۰ در شدت جریان ۲ لیتر بر دقیقه، ۹۰ درصد نیز به‌دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: گاز دفنگاه؛ هیدروژن سولفید ؛ صافی زیستی؛ آلودگی.

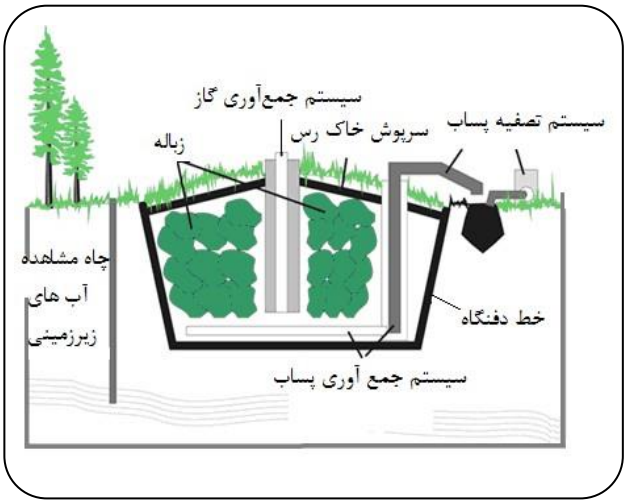
KEYWORDS: *Land-fill gas; Hydrogen sulfide; Biofilter; Pollution.*

مقدمه

پیش از انقلاب صنعتی، زباله‌ها به‌طور عمده شامل خاکستر، چوب، استخوان، لاشه حیوان‌ها و ضایعات سبزی‌ها بود. این مواد در خاک دفن می شدند و به عنوان کمپوست(۱) عمل کرده و به تقویت خاک کمک می کرده اند. در گذشته هر آن‌چه که قابل استفاده دوباره بوده به کار گرفته می شد، جمعیت انسان‌ها کم بود و مردم در گروه های متمرکز کوچک زندگی می کردند، بنابراین تولید زباله مسئله مهمی محسوب نمی‌شد. ولی با تحول زندگی انسان‌ها از دوره‌ی چادرنشینی به زندگی کشاورزی رها کردن زباله‌ها در محیط زندگی انسان تبدیل به مشکلی در حال رشد شد. بنابراین با افزایش جمعیت شهرها فضای کافی برای دفع زباله‌ها کاهش یافت و جوامع به فکر توسعه سامانه‌های دفع دور ریزها افتادند. بدین ترتیب دفنگاه(۲) که ساختاری با طراحی دقیق، در زیر زمین یا روی خاک، برای جداسازی زباله و ضایعات از محیط اطراف می‌باشد، ساخته شد [۳-۱].

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: javanmardi@stuech.ac.ir

(۱) Compost
(۲) Landfill



شکل ۱ـ دفنگاه جدید [۶].

در گذشته مقررات خاصی در مورد مکان دفن زباله‌ها وضع نشده بود و دفنگاه ها مکان‌هایی بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می‌کردند. امروزه در بسیاری از دفنگاه ها از سامانه مانیتورینگ برای تشخیص آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود [۵، ۴]. یکی از این دفنگاه‌های جدید در شکل ۱ دیده می‌شود. همچنین در جدول ۱ نمونه‌ای از ترکیب گاز دفنگاه نیز آورده شده است.

همان‌گونه که دیده می‌شود متان بخش اصلی گاز دفنگاه را تشکیل می‌دهد. این گاز به دلیل سبک‌تر بودن نسبت به هوا از میان فضاهای خالی و محدود زباله‌ها و خاک پوشاننده دفنگاه عبور کرده و به اتمسفر تخلیه می‌شود. هر تن گاز متان منتشر شده در هوا به اندازه ۱۲ تن کربن دی اکسید در طول یک دوره زمانی ۱۰۰ ساله، بر گرمایش آب و هوای جهانی اثر می‌گذارد [۸]. با توجه به شرایط بالا استفاده بهینه از انرژی موجود در گاز دفنگاه ضروری به نظر می‌رسد. ولی مشکل اساسی در استفاده از گاز دفنگاه وجود آلاینده‌هایی مانند هیدروژن سولفید است. افزون بر بوی نامطبوع، هیدروژن سولفید گازی به شدت سمی است. همچنین وجود H_2S برای تجهیزات و دستگاه های مورد استفاده می‌تواند خورنده باشد و هزینه‌ی ساخت دستگاه هایی که در برابر خورندگی مقاوم باشند نیز زیاد است. بنابراین حذف این آلاینده که سنگین تر از هواست، از گاز دفنگاه ضروری به نظر می رسد. مهم‌ترین روش‌های حذف این آلاینده روش های فیزیکی ـ شیمیایی و روش‌های زیستی است. با توجه به هزینه‌های بالای عملیاتی روش‌های فیزیکی ـ شیمیایی و مزیت ارزان‌تر بودن نصب ماشین آلات و پایین بودن هزینه های راهبردی در روش های زیستی [۱۰، ۹]، این روش برای بررسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. تصفیه زیستی را می‌توان به اکسیداسیون کاتالیستی در دمای پایین تشبیه کرد که نیاز به سوخت و مواد شیمیایی ندارد. کاتالیست (آنزیم‌های میکروبی) به طور مداوم توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود و تصفیه زیستی هیچ ماده آلوده کننده ثانویه مثل CO، NOx یا ضایعات خطرناک تولید نمی‌کند [۱۱]. روش‌های تصفیه زیستی به سه سامانه گازشوی زیستی(۱)، صافی زیستی چکنده(۲) و صافی زیستی(۳) تقسیم می‌شوند.

در میان سه سامانه موجود در روش‌های زیستی، صافی زیستی به خاطر سادگی و کم هزینه بودن نسبت به دو سامانه دیگر بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است [۱۱]. این روش برای مواردی که غلظت مواد آلاینده کم باشد و همچنین اجزاء آلوده کننده نیز زیست تخریب پذیر باشند روشی ایده ال است [۹]. بیش‌تر صافی‌های زیستی دارای طراحی جریان رو به بالا هستند و شامل ستونی استوانه‌ای از مواد پکینگ می باشند [۱۲]. یک صافی زیستی در اصل بیوراکتوری سه فازی است که از بستر صافی با تخلخل بالا، ظرفیت بافری زیاد، توانایی داشتن مواد مغذی، و خاصیت نگهداری رطوبت، ساخته شده است. جریان گازی آلوده به صورت پیوسته به صافی زیستی تغذیه می شود [۱۳]. به طور معمول جریان گاز به صورتی است که می توان آن را به صورت جریان آرام فرض کرد. زمانی که جریان گاز از روی پکینگ ها عبور می‌کند آلاینده ها از گاز به آب درون فیلم زیستی منتقل می‌شوند. آلاینده ها به عمق فیلم زیستی نفوذ می‌کنند و میکروارگانیسم‌های درون فیلم زیستی آلاینده‌ها را جذب و آن‌ها را تجزیه می کنند [۱۴]. با توجه به موردهای یاد شده و با توجه به سادگی نصب، راهبری، کنترل، تعمیر و نگهداری و انعطاف پذیری و کم خرج بودن سامانه صافی زیستی این روش از ارزش ویژه ای برخوردار است و از نقطه نظر اقتصادی نیز به دلیل پایین بودن سرمایه گذاری ثابت و هزینه های جاری بر دیگر روش ها ارجحیت دارد [۱۰]. تاکنون بیش‌ترین استفاده‌ای که از صافی‌های زیستی شده برای حذف ناخالصی از هوا بوده و برای استفاده از صافی زیستی در فرایند تصفیه گاز دفنگاه به صورت صنعتی، نخست باید پارامترهای طراحی آن طوری بهینه شوند

(۱) Bioscrubber
(۲) Bitrickling filter
(۳) Biofilter

جدول ۱ـ نمونه‌ای از ترکیب گاز دفنگاه [۷].

اجزاء	درصد حجمی (بر مبنای حجم خشک)
متان	۴۷/۵
دی اکسیدکربن	۴۷
نیتروژن	۳/۷
اکسیژن	۰/۸
هیدروکربن‌های پارافینی	۰/۱
هیدروکربن‌های آروماتیک و حلقوی	۰/۲
هیدروژن	۰/۱
هیدروژن سولفید	۰/۰۱
مونواکسیدکربن	۰/۱
ترکیب‌های کم مقدار	۰/۵

که بیش‌ترین درصد حذف هیدروژن سولفید و کم‌ترین افت فشار به دست آید.

مطالعه در مورد حذف زیستی ترکیب‌های غیرآلی فرار به طور گسترده انجام شده است. اکثر مطالعه‌ها روی H_2S و دیگر سولفورها یا ترکیب‌های دارای نیتروژن مثل سولفیدها، مرکاپتان ها، متان تیول و یا آمونیاک می باشد [۱۱]. *Chung* و *همکاران* [۱۵] در سال ۱۹۹۶ با ساخت یک صافی زیستی در مقیاس آزمایشگاهی، حذف H_2S توسط باکتری *سدوموناس پوتیدا* را بررسی کردند و به میانگین بازدهی حذف بالاتر از ۹۰ درصد H_2S دست یافتند. همچنین *Chung* و *همکاران* صافی زیستی ساخته شده را با باکتری‌های *تیوباسیلوس تیوپاروس*(۱) و *تیوباسیلوس نولوس*(۲) نیز برای حذف هیدروژن سولفید، مورد آزمایش قرار دادند. سرانجام مشخص شد که ظرفیت حذف H_2S توسط باکتری تیوباسیلوس نولوس از باکتری‌های دیگر بیش‌تر است. در سال ۲۰۰۰ میلادی، *Cho* و *همکاران* [۱۶] حذف هیدروژن سولفید را در صافی زیستی با مقیاس آزمایشگاهی و استفاده از گداخته آتشفشانی متخلخل به عنوان حامل باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس(۳) مطالعه کردند. با مقدارهایی که برای ظرفیت حذف H_2S توسط گداخته‌های آتشفشانی به‌دست آمد نتیجه گرفته شد که این ماده برای حامل میکروارگانیسم ها در تصفیه زیستی مناسب است. *Shareefdeen* و *همکاران* [۱۷] در سال ۲۰۰۲ میلادی نتیجه‌های به دست آمده از صافی زیستی تجاری که در کانادا به کار گرفته شده بود را ارایه دادند. این صافی زیستی جریان هوای آلوده به چندین ترکیب بودار شامل دی متیل سولفید، آمونیاک، متان تیول، هیدروژن سولفید و اتیل آمین را تصفیه می‌کرد. در این مطالعه، نتیجه‌های به‌دست آمده از صافی زیستی نصب شده در تلمبه خانه پساب شهری در کانادا، مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه‌ها نشان داد که برای غلظت های ورودی کم‌تر از ۱۲ ppm، حدود ۲۰ ثانیه زمان اقامت برای حذف کامل H_2S از جریان هوا کافی است. پس از آن در سال ۲۰۱۰ میلادی نیز *Shareefdeen* و *همکاران* [۱۸] محیط جدیدی را برای صافی زیستی در تلمبه خانه مربوط به شهرداری در امارات متحده عربی، برای حذف H_2S بررسی کردند. با استفاده از این بستر جدید بیش از ۹۹٪ بازدهی حذف هیدروژن سولفید به دست آمد که نشان می‌دهد سامانه جدید در حذف هیدروژن سولفید کارساز بوده است. *Oyarzun* و *همکاران* [۱۹] در سال ۲۰۰۳ میلادی، سامانه صافی زیستی را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از پیت به عنوان نگهدارنده برای باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس برای تصفیه جریان های گازی شامل غلظت‌های بالای H_2S، به کار گرفتند و بیش‌ترین ظرفیت حذف به‌دست آمده در آزمایش های آن ها ۵۵ گرم به ازای

(۱) Thiobacillus thioparus

(۲) Thiobacillus novellus

(۳) Thiobacillus thiooxidans

هر مترمکعب پکینگ در هر ساعت بود. *Sagastume* و *Noyola* [۲۰] در سال ۲۰۰۶ میلادی، تأثیر مخلوط کردن و بهم زدن محیط بستر صافی زیتس (کمپوست) بر بازدهی حذف H_2S را مورد مطالعه قرار دادند. آن ها عملکرد فاکتورهای عملیاتی مهم مانند رطوبت محیط صافی زیستی، افت فشار و تجمع سولفات را با توجه به مخلوط کردن محیط بستر، ارزیابی کردند. نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد که عملیات مخلوط کردن بستر مناسب می باشد البته هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی مورد نیاز برای اجرای مخلوط کردن بستر در صافی‌های زیستی مقیاس کامل باید مورد توجه قرار گیرد. *Lee* و *همکاران* [۲۱] در سال ۲۰۰۶ میلادی، تأثیر فاکتورهایی مانند غلظت ورودی و سرعت را بر بازدهی حذف H_2S توسط یک نژاد باکتری که توانایی تحمل غلظت‌های بالای سولفات (که در فرایند تصفیه زیستی تولید می‌شود) و شرایط pH اسیدی را دارد، بررسی کردند. آن‌ها سه گونه از باکتری *اسیدیتیوباسیلوس تیواکسیدانس*(۱) را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که گونه ای از این باکتری با کد AZ11 بیش‌ترین تحمل در برابر سولفات را دارد. *Hossain* و *همکاران* [۲۲] در سال ۲۰۰۹ میلادی سولفورزدایی زیتس بی هوازی گاز طبیعی را با استفاده از باکتری تیوباسیلوس دینیتریفیکانس در یک راکتور زیستی سه فازی بستر سیال شده، انجام دادند و پارامترهای عملیاتی مانند زمان، pH، دما و شدت جریان گاز را برای بیش‌ترین رشد باکتری برای بیش‌ترین بازدهی حذف H_2S از گاز طبیعی، بهینه کردند. نتیجه‌های آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان حذف H_2S برابر با ۹۰٫۸۹ ٪ است.

با توجه به بررسی کارهای گذشته دیده می‌شود که در آن‌ها فرایند ساخت گاز خوراک به صورت تزریق H_2S به هوا است. اما برتری اصلی پژوهش حاضر این است که از گاز دفنگاه بدون هیچ تغییری استفاده شده است. درنتیجه در این حالت به‌دلیل میزان کم اکسیژن در گاز دفنگاه بجای فراورده‌ی سولفات که اثر خورندگی دارد فراورده‌ی گوگرد جامد تولید می شود.

تجهیزهای آزمایشگاهی و روش انجام

برای بررسی حذف H_2S از گاز دفنگاه شیراز از یک پایلوت صافی زیستی استفاده شد. هدف اصلی در انجام آزمایش‌ها این بود که بتوان از اطلاعات به‌دست آمده، در طراحی صافی زیستی با مقیاس واقعی استفاده کرد. یکی از مسائل مهمی که در آزمایش‌ها مدنظر قرار گرفته کارایی صافی زیستی در فشار اتمسفری است که باعث می شود تصفیه گاز دفنگاه توسط صافی زیستی در محل دفنگاه نیز امکان پذیر باشد. شکل ۲ طرح شمای پایلوت صافی زیستی را نشان می دهد.

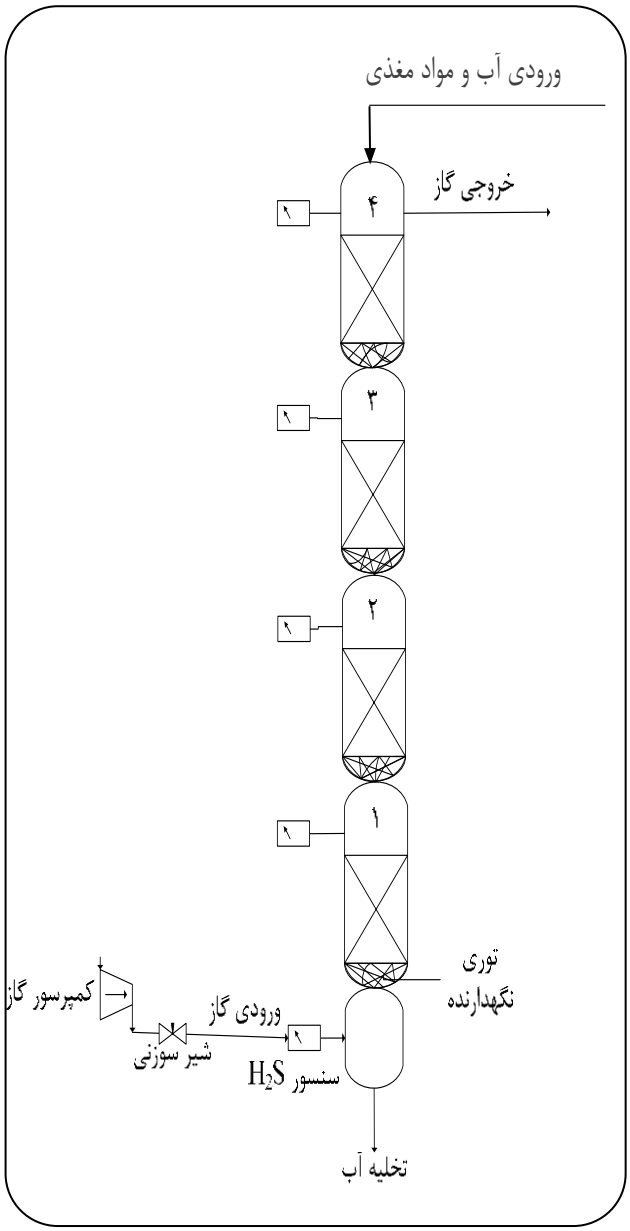
صافی زیستی ساخته شده لوله ای استوانه ای از جنس پلگسی گلاس با قطر داخلی ۱۴ سانتیمتر و ارتفاع کل ۲ متر می‌باشد. ستون صافی زیستی به ۴ قسمت اصلی تقسیم شده که ارتفاع هر قسمت ۴۵ سانتیمتر است. ارتفاع ۱۶ سانتیمتر از هر بخش با بستر طبیعی دارای ورمی‌کمپوست تولید شده در دفنگاه و گوش‌ماهی پر شده است. مطابق شکل ۲ ورود گاز از قسمت پایین صافی زیستی می‌باشد. بین کمپرسور و ورودی گاز به صافی زیستی شیر سوزنی قرار داده شد تا کنترل شدت جریان گاز ورودی راحت‌تر باشد. به فاصله ۱۰ سانتیمتر از بالای بستر در هر بخش صافی زیستی سوراخی برای نمونه گیری تعبیه شده است، به گونه‌ای که در صورت نیاز به افزودن باکتری به دستگاه نیز می‌توان از آن استفاده کرد. با توجه به ابعاد ستون صافی زیستی حجم بستر ۱۱٫۳ لیتر است.

میکروارگانیسم

با توجه به ماهیت گاز مورد تصفیه و ترکیب آن که دارای متان است استفاده از محیط‌هایی که دارای مخلوط میکروارگانیسم‌ها هستند را به تقریب ناممکن می‌سازد. چون تعیین این‌که در بستر چه میکروارگانیسم‌هایی وجود دارد کار بسیار مشکلی است و درنتیجه نمی‌توان از محیط‌های آماده مثل لجن فعال یا پساب صنایع که دارای مخلوطی از میکروارگانیسم‌ها هستند استفاده کرد. به دلیل وجود متان در گاز دفنگاه، توجه به این مسئله که میکروارگانیسم موجود در بستر گاز متان را مصرف نکند بسیار دارای اهمیت است. به همین دلیل در صافی زیستی آزمایشگاهی، میکروارگانیسمی انتخاب شد که منبع کربن خود را از مواد غیرآلی مانند کربن دی اکسید تأمین کند و متان موجود در گاز مورد تصفیه (گاز دفنگاه) را که کربن آلی دارد استفاده نکند. این نوع باکتری‌ها در اصطلاح آتوتروف(۲) نامیده می شوند که هم نیتروژن و هم کربن مورد نیاز خود را از منابع غیرآلی مثل کربن دی اکسید، آمونیاک یا نیتروژن اتمسفری به‌دست می‌آورند. با توجه به توضیح ارایه شده باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس که هم در ایران موجود است و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است انتخاب و از مرکز

(۱) Acidithiobacillus thiooxidans

(۳) Autotroph



شکل ۲ـ طرح شمایی پایلوت صافی زیستی.

کلکسیون قارچ ها و باکتری های صنعتی ایران تهیه شد. باکتری به صورت کشت زنده ی جامد از مرکز کلکسیون دریافت و با محیط کشت اختصاصی باکتری که در ادامه توضیح داده می‌شود رشد داده شد.

اجزای تشکیل دهنده محیط کشت اختصاصی باکتری *تیوباسیلوس تیوپاروس* در جدول ۲ نشان داده شده است. محیط کشت از اختلاط سه محلول (محیط کشت اصلی، محلول ویتامین و محلول نمک فلزها) به‌دست می‌آید. برای تولید ۱۰۰۰ میلی لیتر محیط کشت، باید ۹۹۶ میلی لیتر محیط کشت اصلی را با ۳ میلی‌لیتر محلول ویتامین و ۱ میلی لیتر محلول نمک فلزهای مخلوط کرد. برای رشد باکتری، مقدار کمی از باکتری به محیط کشت که پیش‌تر سترون شده است افزوده می‌شود و به مدت ۵ روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه شیکر انکوباتور به‌هم زده می‌شود تا باکتری به غلظت مناسب برسد. سپس محلول دارای باکتری را به برج جذب منتقل کرده و زمان کافی داده می شود تا باکتری روی سطح پرکن‌ها تثبیت شوند.

باکتری انتخاب شده انرژی خود را از اکسیداسیون ترکیب‌های گوگرد به‌دست می‌آورد. فراورده‌ی معمول اکسیداسیون، سولفات است. ولی در شرایطی که میزان اکسیژن در گاز کم باشد (گاز دفنگاه)، به‌جای سولفات که اثر خورندگی دارد گوگرد جامد تولید می‌شود که بدون هیچ نوع فراورش ثانویه ای قابل دستیابی است. مکانیسم واکنشی که طی آن باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس هیدروژن سولفید را با مقدارهای کم اکسیژن اکسید می‌کند به صورت زیر است:

$$H_2S+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow S+H_2O \qquad (1)$$

گاز مورد مطالعه

گاز آلوده‌ای که برای تصفیه زیستی از آلاینده هیدروژن سولفید انتخاب شده گاز دفنگاه شهر شیراز می باشد که در دو زمان متفاوت و به فاصله زمانی ۵ ماه، از محل دفن زباله‌های شهر شیراز واقع در برمشور نمونه برداری شد. برای نمونه برداری از کمپرسور گاز که تا فشار ۱۶ bar را تحمل می کند، استفاده شده است. پس از آن، ترکیب گاز با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی VARIAN مدل CP 3800 که ستون آن Varian capillary column با مدل $CP\text{-}Al_2O_3Na_2SO_4$ و قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر بود و سنسور هیدروژن سولفید Dräger مدل X-am 7000 تعیین شد که نتیجه آن در جدول ۳ آمده است. دستگاه کروماتوگرافی گازی یاد شده در وضعیت استاندارد، می‌تواند تا سه تزریق کننده و سه آشکارساز را به صورت همزمان تطبیق دهد. این کروماتوگرافی گازی برای ترکیب گاز طبیعی برسنجی شده است، درنتیجه به سادگی می تواند مقدار گاز متان موجود در گاز دفنگاه را نشان دهد. در مورد حسگر هیدروژن سولفید می‌توان گفت افزون بر اندازه‌گیری غلظت H_2S بر حسب (ppm)، غلظت کربن دی‌اکسید و کربن مونواکسید را نیز به ترتیب بر حسب درصد حجمی و (ppm)

جدول ۲ـ اجزا تشکیل دهنده محیط کشت اختصاصی باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس.

Main medium		Vitamins mixture		Trace metals	
KH_2PO_4 (g)	۲	Thiamine-HCl.2 H_2O (mg)	۱۰	Na_2 - EDTA (g)	۵۰
K_2HPO_4 (g)	۲	Nicotinic acid (mg)	۲۰	$ZnSO_4.7H_2O$ (g)	۱۱
NH_4Cl (g)	۰/۴	Pyridoxine-HCl (mg)	۲۰	$CaCl_2.2H_2O$ (g)	۷/۳۴
Na_2CO_3 (g)	۰/۴	p-Aminobenzoic acid (mg)	۱۰	$MnCl_2.4H_2O$ (g)	۲/۵
$MgCl_2.6H_2O$ (g)	۰/۲	Riboflavin (mg)	۲۰	$CoCl_2.6H_2O$ (g)	۰/۵
Vitamin solution (ml)	۳	Ca-pantothenate (mg)	۲۰	$(NH_4)_6 Mo_7O_{24}.4H_2O$ (g)	۰/۵
Trace metals solution (ml)	۱	Biotin (mg)	۱	$FeSO_4.7H_2O$ (g)	۵/۰
Bromocresol purple sol. (ml)	۲	Vitamin B12 (mg)	۱	$CuSO_4.5H_2O$ (g)	۲/۰
$Na_2S_2O_3.5H_2O$ (g)	۵	Distilled water (ml)	۱۰۰۰	NaOH (ml)	۱۱/.
Distilled water (ml)	۱۰۰۰			Distilled water (ml)	۱۰۰۰

جدول ۳ـ ترکیب گاز دفنگاه شهر شیراز.

مواد	مقدار (درصد حجمی)
متان	۵۰/۸
کربن دی اکسید	۳۸
هیدروژن سولفید	۰/۰۰۲۵۲ (۳۰ ppm)
کربن مونواکسید	۰/۰۰۳۳۰ (۳۲ ppm)
اکسیژن	۱/۵

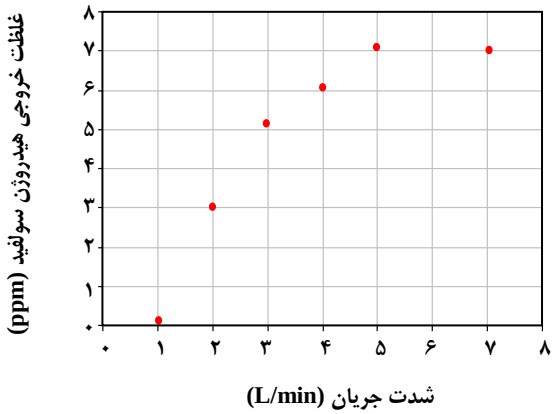
تعیین می‌کند. همچنین برای اندازه‌گیری دما در محیط کشت باکتری و بستر عبور گاز از حسگر دمای pt-100 استفاده شد و برای اندازه گیری pH محیط کشت باکتری از دستگاه pH متر ۳۵۱۰ شرکت JENWAY استفاده شده است.

روش انجام آزمایش

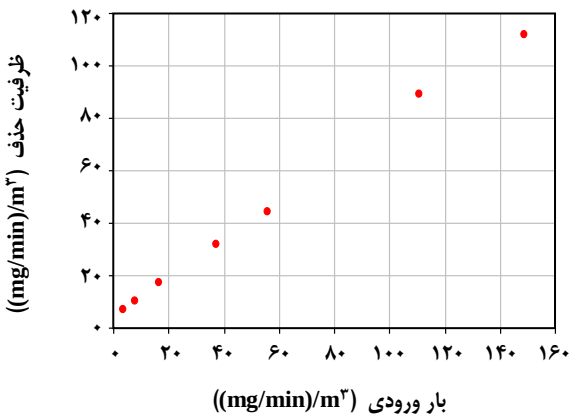
در ابتدا و برای شروع آزمایش ها، در هر بخش از ستون صافی زیستیمقدار ۱۵۰ میلی لیتر محیط کشت دارای باکتری رشد یافته، به بستر اشباع از رطوبت، تزریق شد و زمان کافی داده شد تا باکتری ها روی سطح ستر طبیعی دارای ورمی‌کمپوست و گوش-ماهی تثبیت شوند. آزمایش ها با شدت جریان کم گاز آلوده ورودی آغاز شد. سپس به مدت چند ساعت دستگاه با شدت جریان کم برابر ۰/۵ لیتر بر دقیقه کار کرد تا هم شرایط پایدار شود و هم باکتری‌ها با شرایط جدید (بستر) سازش پیدا کنند. پس از گذشت زمان مناسب به تدریج مقدار شدت جریان افزایش داده شد و در هر شدت جریان، غلظت هیدروژن سولفید در بخش‌های گوناگون ستون صافی زیستی اندازه‌گیری شد و تغییر غلظت خروجی با تغییر شدت جریان دیده شد.

بحث و نتیجه‌ها

همان‌گونه که در روش انجام آزمایش گفته شد، برای شروع کار ستون صافی زیستی، گاز با شدت جریان کم وارد ستون شد و سپس شدت جریان در غلظت ورودی هیدروژن سولفید ثابت (۳۰ ppm) به تدریج افزایش یافت و با افزایش شدت جریان گاز ورودی تغییرهای غلظت هیدروژن سولفید در خروجی بررسی شد. تغییرها غلظت خروجی گاز H_2S بر حسب شدت جریان



شکل ۳ـ تغییرهای غلظت خروجی گاز H_2S بر حسب شدت جریان گاز ورودی حاوی H_2S با غلظت ثابت ۳۰ ppm. میزان عدم قطعیت[۱] با سطح اطمینان[۲] ۹۵٪ برابر است با: $U_C(T) = \pm 0.1$ K، $U_C(pH) = \pm 0.01$ و $U_C(concentration) = \pm 0.5$ ppm



شکل ۴ـ تغییرات ظرفیت حذف بر حسب بار ورودی گاز H_2S در غلظت ورودی ۳۰ ppm. میزان عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵٪ برابر است با: $U_C(T) = \pm 0.1$ K، $U_C(pH) = \pm 0.01$ و $U_C(concentration) = \pm 0.5$ ppm.

در شکل ۳ آورده شده است. براساس نمودار ارایه شده با افزایش شدت جریان ورودی، غلظت خروجی افزایش یافته که این نتیجه به دلیل کاهش زمان تماس گاز با بستر است.

با توجه به ابعاد ستون صافی زیستی که در بخش تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام ارایه شد و اندازه گیری شدت جریان و غلظت خروجی و ورودی هیدروژن سولفید می‌توان پارامترهای عملیاتی مانند بار ورودی (L)[۳]، ظرفیت حذف (EC)[۴] و بازدهی حذف (R%)[۵] را به ترتیب مطابق معادله های (۲) تا (۴) محاسبه کرد و درنتیجه تغییر این پارامترها را با غلظت خروجی هیدروژن سولفید بررسی نمود.

$$L = \frac{QC_i}{V} \qquad (۲)$$

$$EC = \frac{Q(C_i - C_e)}{V} \qquad (۳)$$

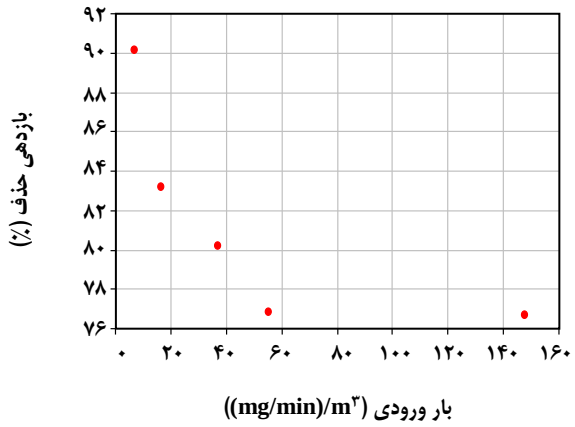
$$R\% = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

در معادله های بالا L بار ورودی (mg/m³/min)، EC ظرفیت حذف (mg/m³)، R% بازدهی حذف، C_i غلظت ورودی آلاینده (mg/m³)، C_e غلظت خروجی آلاینده (mg/m³)، Q شدت جریان گاز (lit/min) و V حجم صافی زیستی (lit) است. شکل ۴ تغییر ظرفیت حذف بر حسب بار ورودی را در غلظت ورودی هیدروژن سولفید ۳۰ ppm نشان می دهد.

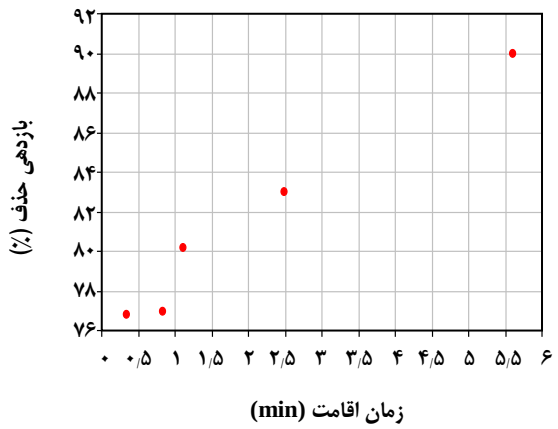
در ادامه چگونگی تغییر بازدهی حذف در غلظت‌های خروجی گوناگون در شکل ۵ رسم شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود با افزایش بار ورودی هیدروژن سولفید به ازای واحد حجم بستر، بازدهی حذف کاهش یافته که دلیل آن کاهش زمان تماس با افزایش شدت جریان بوده است. همچنین این شکل نشان می دهد که صافی زیستی در شدت جریان‌های متفاوت گاز ورودی به خوبی توانایی حذف هیدروژن سولفید را داشته است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است در شدت جریان‌های بالای گاز ورودی بازدهی کاهش زیادی داشته که بیانگر این است که با توجه به غلظت کم ورودی نباید شدت جریان افزایش زیادی داشته باشد.

همچنین در شکل ۵ دیده می‌شود که در بار ورودی ۷٫۳۸ mg/m³/min بازدهی حذف ۹۰ درصد به‌دست آمده است. در این نقطه غلظت هیدروژن سولفید از ۳۰ ppm به کم‌تر از مقدار حد استاندارد H_2S در خطوط لوله گاز که ۴ ppm است، نیز می‌رسد. در پایان تغییرهای بازدهی حذف هیدروژن سولفید نسبت به زمان اقامت گاز درون ستون صافی زیستی، در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ دیده می‌شود که با افزایش زمان اقامت گاز

(۱) Uncertainty
(۲) Level of confidence
(۳) Input load
(۴) Removal efficiency
(۵) Elimination capacity



شکل ۵ ـ تغییر بازدهی حذف بر حسب بار ورودی گاز H_2S در غلظت ورودی ۳۰ ppm. میزان عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵٪ برابر است با: $U_C(T) = \pm 0.1$ K، $U_C(pH) = \pm 0.01$ و $U_C(concentration) = \pm 0.5$ ppm.



شکل ۶ ـ تغییر بازدهی حذف بر حسب زمان اقامت در غلظت ورودی ۳۰ ppm. میزان عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵٪ برابر است با: $U_C(T) = \pm 0.1$ K، $U_C(pH) = \pm 0.01$ و $U_C(concentration) = \pm 0.5$ ppm.

درون صافی زیستی، بازدهی حذف هیدروژن سولفید افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به‌دست آمده نشان دهنده توانائی صافی زیستی طراحی و ساخته شده در این مطالعه و باکتری انتخاب شده درحذف H_2S از گاز دفنگاه است. بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده در غلظت هیدروژن سولفید ورودی ۳۰ ppm (غلظت موجود در نمونه گاز دفنگاه) و شدت جریان ۲ لیتر بر دقیقه می‌توان بازدهی حذف مناسب ۹۰ درصد را به‌دست آورد. در این نقطه غلظت هیدروژن سولفید از ۳۰ ppm به ۳ ppm می‌رسد که کم‌تر از مقدار حد استاندارد H_2S در خطوط لوله گاز است. با افزایش شدت جریان، این بازدهی کاهش داشته که به دلیل کاهش زمان اقامت است ولی همچنان بازدهی حذف بالای ۸۰ درصد بوده است.

در سامانه طراحی شده، از بستر طبیعی و کم هزینه‌ی ورمی کمپوست استفاده شده است که در محل دفنگاه تولید می شود و بدین ترتیب از نظر در دسترس بودن تجهیزات و مواد به کار گرفته شده در ساخت دستگاه و همچنین اقتصادی بودن صافی زیستی ساخته شده، قابل قبول است. با توجه به این‌که کشت زنده‌ی جامد (استوک) اولیه باکتری خریداری شده موجود است بنابراین استفاده از آن در مقیاس صنعتی امکان پذیر است.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت های مالی شرکت گاز استان فارس و دانشگاه صنعتی شیراز صمیمانه تشکر می نمایند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۸

مراجع

[1] Panzaa, D., Belgiorno, V., Hydrogen Sulphide Removal from Landfill Gas, Process Safety and Environmental Protection, **88**(6): 420-424 (2010).

[2] Kalapala S., "Removal of Hydrogen Sulfide from Landfill Gas Using a Solar Regenerable Adsorbent, Master Thesis of Science", Youngstown State University, (2014).

[3] Rasi S., Läntelä J., Rintala J., Upgrading Landfill Gas using a High Pressure Water Absorption Process, *Feul*, **115**: 539-543 (2014).

[۴] سوفسطائی، ع.، "فناوری استخراج بیوگاز و بررسی پتانسیل استحصال بیوانرژی از حوزه های دفن زباله شهر اصفهان"، *همایش ملی بیوانرژی*، تهران، (۱۳۸۹).

[5] Zagozewski R., Judd-Henrey I., Nilson S., Bharadwaj L., Perspectives on Past and Present Waste Disposal Practices: A Community-Based Participatory Research Project in Three Saskatchewan First Nations Communities, *Environ Health Insights*, **5**: 9–20 (2011).

[6] Andrews J., http://www.nodumpconecuhcounty.com/what_is_a_landfill.html

[7] Zietsman J., Ehsanul Bari M., Rand A.J., Gokhale B., Lord D., Kumar S., Feasibility of Landfill Gas as a Liquefied Natural Gas Fuel Source for Refuse Trucks, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **58**(5): 613-619 (2008).

[۸] مجرد، گل‌محمد؛ فاتحی‌فر، اسماعیل؛ ساعدی، سعید؛ حذف زیستی هیدروژن سولفید در راکتور ایرلیفت بیوفیلمی سوسپانسیونی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی*، (۲)**۳۰**: ۱ الی ۹ (۱۳۹۰).

[۹] الیاسی، س؛ "بررسی رفع آلودگی هوای صنعت به روش بیوفیلتر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی ـ بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس. ایران، (۱۳۷۶).

[10] Berenjian A., Chan N., Jafarizadeh Malmiri H., Volatile Organic Compounds Removal Methods: A Review, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, **8**(4): 220-229 (2012).

[۱۱] سیفی، ع.؛ "حذف سولفید هیدروژن با روش بیوفیلتراسیون"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی ـ بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۷).

[12] Maredia, S., A Comparison of Biofilters, Biotrickling Filters and Membrane Bioreactors for Degrading Volatile Organic Compounds, MMG 445 Basic Biotechnol, eJournal (2015)

[13] Syed M., Soreanu G., Removal of Hydrogen Sulfide from Gas Streams Using Biological Processes - A Review, *Canadian Biosystems Engineering*, **48**(2): 1-14 (2006).

[14] Devinny J.S., Ramesh J., A Phenomenological Review of Biofilter Models, *Chemical Engineering Journal*, **113**: 187-196 (2005).

[15] Chung Y.C., Huang C., Microbial Oxidation of Hydrogen Sulfide with Biofilter, *Journal of Environmental Science and Health*, **31**(6): 1263-1278 (1996).

[16] CHO K.S., Ryu H.W., Biological Deodorization of Hydrogen Sulfide Using Porous Lava as a Carrier of Thiobacillus Thiooxidans, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **90**(1): 25-31 (2000).

[17] Shareefdeen Z., Herner B., Biofiltration of Nuisance Sulfur Gaseous Odors from a Meat Rendering Plant, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **77**: 1296-1299 (2002).

[18] Shareefdeen Z., Aidan A., Hydrogen Sulphide Removal Using a Novel Biofilter Media, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **62**: 13-16 (2010).

[19] Oyarzun P., Arancibia F., Biofiltration of High Concentration of Hydrogen Sulphide Using Thiobacillus Thioparus, *Process Biochemistry*, **39**: 165-170 (2003).

[20] Morgan-Sagastume J.M., Noyola A., Hydrogen Sulfide Removal by Compost Biofiltration: Effect of Mixing the Filter Media on Operational Factors, *Bioresource Technology*, **97**: 1546–1553 (2006).

[21] Lee E.Y., Lee N.Y., Removal of Hydrogen Sulfide by Sulfate-Resistant Acidithiobacillus thiooxidans AZ11, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **101**(4): 309-314 (2006).

[22] Hossain M.Sk., Das M., Biodesulphurization of Natural Gas in a Three Phase Fluidized-Bed Bioreactor using Thiobacillus dentrificans, *NISCAIR Online Periodicals Repository*, **90**: 5-9 (2009).