

فصلنامه میکروبیولوژی کاربردی و بیوتکنولوژی

شماره پیاپی ۱، جلد ۱، شماره ۱، زمستان ۹۱، صفحه ۶۱ تا ۷۰

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده

علی فرجاه^۱، سید محمدحیدریان^۱

۱- پژوهشکده بیوتکنولوژی، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران heydarian@irost.org

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۱۵

چکیده

سولفید هیدروژن یکی از گازهای بسیار بدبو و سمی است که موجب خوردگی تجهیزات صنایع مختلف شده و سالانه خسارات جانی و مالی زیادی برای جوامع بشری به همراه دارد. روش های مرسوم شیمیایی و فیزیکی برای حذف گاز سولفید هیدروژن عمدتاً به دلیل هزینه های گزاف و نیز نیاز به انرژی بسیار زیاد مقرون به صرفه نیستند. در سال های اخیر استفاده از روش های بیوتکنولوژیکی برای حذف این آلاینده مورد توجه قرار گرفته است.

فیلتر زیستی چکنده ای از جنس شیشه و ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر با بستری از سنگ لاوا طراحی و ساخته شد که در آن روند حذف سولفید هیدروژن توسط DSM5368 توموباسیلوس و تیوپاروس در زمان های ماند مختلف ۱۰ تا ۶۰ ثانیه، غلظت های مختلف گاز ۲۰ تا ۸۵ ppm، دبی های مختلف گاز (۱۰ تا ۶۰ L/min) مورد مطالعه قرار گرفت.

در فیلتر زیستی چکنده بازده حذف در غلظت ۱۰ تا ۸۰ ppm و در زمان های ماند بیشتر از ۲۰(s) ثانیه همواره ۱۰۰ درصد بود ولی هنگامی که زمان ماند به ۱۵ ثانیه کاهش پیدا کرد، راندمان بیوفیلتر به ۹۰ درصد رسید. در زمان ماند ۱۰ ثانیه و غلظت ۲۵ ppm بازده حذف ۹۰ درصد و در غلظت ۷۵ ppm بازده ۶۵ درصد مشاهده شد. بیشینه ظرفیت حذف در این فیلتر زیستی چکنده با بازده ۹۵ درصد برابر با $28 \text{ h}^{-3} \text{ Sm}^{-3} \text{ gH}^{-1}$ بود

واژه های کلیدی: بیوفیلتر چکنده، سولفید هیدروژن، توموباسیلوس و تیوپاروس، لاوا.

مقدمه

شست و شو با حلال، خطرات زیست محیطی حاصل از پیشرفت های تکنولوژیکی را کاهش دهند. با این وجود هرچه تلاش سازمان های ذیربط برای کنترل انتشار آلاینده های هوا بر طبق استاندارد های دقیق، افزون تر می شد، هزینه های عملیاتی این تکنولوژی ها نیز افزایش می یافت. آلودگی محیط زیست فقط مشکل شرکت ها به طور منفرد و یا مشکل ملی نیست. اخبار روزانه راجع به فجایع زیست محیطی روشن می سازد که برای حل مسائل بنیادی باید جهانی اندیشید. متأسفانه بی اعتقادی در بخش های صنعتی نسبت به رعایت مقررات مربوطه و همچنین هزینه های گزاف تصفیه و به طور کلی آگاهی کم در این زمینه باعث شده تا نتایج فعالیتهای بین المللی و مؤسسات ذیصلاح ملی در امر حفاظت محیط زیست در بعضی موارد عقیم بماند، یا حداقل رضایت بخش نباشد. به طور کلی آلودگی هوا عبارت است از وجود یک یا چند ماده آلوده

از حدود ۴۰ سال گذشته، گروه های مختلف پزشکی و متخصصان علمی درصدد درک اثرهای زیانبار و مزمن آلودگی هوا برآمدند. موضوع نیاز به کنترل و تصفیه آلودگی های مختلف هوا، اعم از ترکیبات آلی فرار که مانند کاتالیست در تشکیل مه دود عمل می کنند و یا ترکیبات کلردار که باعث تخریب لایه ازن می شوند و یا ترکیبات بوداری که سبب آزار و اذیت انسان می شوند به عنوان یک فوریت پزشکی و زیست محیطی مطرح و دلایل این فوریت برای سازمان های کنترل آلودگی هوا در سطوح منطقه ای، ملی و جهانی کاملاً تشریح شده، تا این سازمان ها کیفیت هوا را در محدوده سالم حفظ کنند. این سازمان ها که بودجه خاصی برای انجام دادن این کار در اختیار نداشتند بخش های صنعتی و تجاری را وادار کردند تا با استفاده از تکنولوژی هایی چون جذب سطحی بر روی کربن، خاکستر سازی و یا

منشأ طبیعی که به طور عمده توسط صنایع غذایی ایجاد می شود از کشتارگاه‌ها، کارخانه‌های مخمر والکل، کارخانه‌های گوشت، ماهی و خوراک دام و صنایع نساجی می‌توان نام برد (۶).

تصفیه زیستی فاز گازی، با استفاده از واکنش‌های متابولیکی میکروب‌ها جهت تصفیه آلاینده‌های هوا انجام می‌شود. این روش تصفیه گازها، برای دبی‌های جریان بالا و غلظت‌های پایین از مواد آلاینده مؤثر و مقرون به صرفه است. در این روش، آلاینده‌ها ابتدا از فاز گاز جذب فاز مایع شده سپس در فاز آبی مورد هجوم میکروب‌ها قرار می‌گیرند. این آلاینده‌ها می‌توانند از جنس مواد آلی و معدنی باشند که به عنوان منبع انرژی و یا منبعی برای تأمین کربن مورد نیاز برای حفظ حیات و رشد، به مصرف جمعیت میکروارگانیسمی می‌رسند. میکروب‌هایی که برای تصفیه زیستی هوا به کار گرفته می‌شوند معمولاً از ارگانیسم‌هایی هستند که در طبیعت به صورت آزاد وجود دارند. این جمعیت‌های میکروبی ممکن است تحت تسلط یکی از گونه‌های خاص میکروبی باشند و یا اینکه عمل تبدیل آلاینده‌ها، توسط گونه‌های متعددی از آن‌ها همزمان انجام گیرد.

بالترین راندمان در این گونه تصفیه، زمانی حاصل می‌شود که آلاینده‌ها جزء مواد آلی با جرم مولکولی پایین و حالیت زیاد بوده و در ساختمان مولکولی خود پیوندهای ساده داشته باشند. الکل‌ها، ستون‌ها، آروماتیک ساده، فنل‌ها، هیدروکربن‌های کلردار، هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک و هیدروکربن‌های هالوژن دار قابلیت تخریب کند و یا متوسطی از خود نشان می‌دهند. ترکیبات معدنی نظیر سولفید هیدروژن و آمونیاک به راحتی تحت واکنش‌های تخریب زیستی قرار می‌گیرند (۴، ۵، ۱۱).

راکتورهای زیستی فاز گاز به طور عمده شامل بیوفیلترها، فیلترهای چکانه ایی (قطره‌ای) زیستی، بسترهای شست و شو دهنده زیستی می‌باشند. مکانیسم اصلی حذف آلاینده در هر سه مورد ذکر شده یکسان است، اما با این وجود، تفاوت‌هایی در فاز استقرار میکروب‌ها، که ممکن است به یکی از دو حالت سوسپانسیونی (معلق در فاز مایع) و یا ثابت باشند و نیز حالت فاز مایع که می‌تواند به یکی از اشکال جاری و یا ساکن باشند، در

کننده در هوا به مقداری که کیفیت آنرا تغییر دهد و استنشاق چنین هوایی سلامت انسان را به خطر بیاندازد و برای گیاهان، حیوانات و اشیاء اثرات زیان آور داشته باشد (۱).

در اوایل قرن بیستم، فرایندهای تصفیه بیولوژیکی کاربرد وسیعی در کنترل آلودگی فاضلاب‌ها و پساب‌های مایع و جامد پیدا کرد. در این میان، نیاز به تکنولوژی‌های مقرون به صرفه در جهت تصفیه گازهای آلوده، محققان را به سمت استفاده از روش‌های زیستی مشابهی برای این حذف آلودگی‌های هوا رهنمون کرد. یکی از این روش‌های نوین «بیوفیلتراسیون» است. در عملیات پالایش زیستی (فیلتراسیون زیستی)، یک جریان هوای آلوده و مرطوب، از میان یک بستر متخلخل که بر روی آن میکروب‌هایی تثبیت شده اند که قادر به تخریب زیستی ترکیبات آلاینده اند، عبور می‌کند. پالایش زیستی نظیر دیگر فرایندهای بیولوژیکی تصفیه، در تخریب زیستی این آلاینده‌ها متکی بر فعالیت سلولی میکروب‌ها است و موفقیت‌های بی شماری را نیز در تصفیه جریان‌های گازی با شدت جریان‌های زیاد و البته رقیق حامل مواد بودار و یا ترکیبات آلی فرار، کسب کرده است. آلاینده‌های آلی تحت شرایط بهینه، به طور کامل به دی اکسید کربن، آب و زیست توده تبدیل می‌شوند. به این ترتیب، چنین سیستمی می‌تواند در تصفیه کامل آلاینده‌هایی که از بخش تصفیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های کارخانه‌ها متصاعد می‌شوند، موفق و کارآمد باشد. امروزه با وجودی که بیوفیلتراسیون نیز مانند دیگر تکنولوژی‌های تصفیه جایگاه مناسبی در بخش‌های مختلف صنعتی و تجاری یافته است، نمی‌توان آن را به عنوان یک راه حل عمومی برای تمامی فرایندهای صنعتی تجویز کرد.

در بین مواد آلوده کننده هوا مواد بد بو بخاطر اثرات ناخوشایند بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. اصلی‌ترین مواد معدنی با بوی نامطبوع شامل سولفید هیدروژن و آمونیاک و مهمترین مواد آلی فرار با وزن مولکولی کم مرکابتان‌های سبک می‌باشند (۱، ۷، ۱۰).

بسیاری از صنایع، گازهای حاوی مواد آلی و غیر آلی بودار تولید می‌کنند این مواد آلاینده دارای منشأ طبیعی و غیر طبیعی هستند. منشأ غیر طبیعی این مواد آلاینده شامل گازهای بودار از فرآیندهای صنعتی و شیمیایی می‌باشد. برای نمونه می‌توان صنایع ساخت مواد معطر، صنایع دارویی، صنایع تولید رنگ، صنایع سلولوزی و پالایشگاهها را نام برد. برای ترکیبات بودار با

آن ها دیده می شود (جدول ۱).

جدول ۱- تقسیم بندی راکتورهای زیستی جهت تصفیه گازهای آلوده

نوع راکتور	میکروارگانیزم ها	فاز آب
بیوفیلتر	ثابت	ثابت
فیلتر قطره ای زیستی	ثابت	جاری
شست و شو دهنده زیستی	معلق در فاز مایع	جاری

مواد و روش ها

سویه و محیط کشت باکتری

در این پژوهش تیوپاروس DSM5368 برای حذف گاز سولفید هیدروژن استفاده شد این سویه از بانک میکروبی سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران تهیه گردیده است. استفاده از سویه های *Thioparus* قبلاً گزارش شده است (۸،۹). اجزاء محیط کشت در مقاله عبد حق و همکاران ارائه شده است (۲).

سنجش سولفید هیدروژن

برای سنجش سولفید هیدروژن در راکتور زیستی از یک حسگر مخصوص (*H₂S* Drager آلمان) استفاده شد. این حسگر قادر به تشخیص گاز *H₂S* از یک تا 100 ppm بود. برای دقت کار از یک پمپ مخصوص حسگر (*Drager* آلمان) استفاده شد که جریان هوا را با سرعت 0.5 min/lit وارد حسگر می کرد. اندازه گیری غلظت تیوسولفات سدیم برای اندازه گیری غلظت یون تیوسولفات از تیتراسیون آن با محلول ید استفاده شد. نخست، روش ساخت محلول ها و روش های اندازه گیری غلظت تیوسولفات از مرجع (۱) انتخاب شد و لیکن برخی موارد به دلایلی از جمله در دسترس نبودن امکانات، اصلاحات مناسبی در روش ارائه شده در مرجع داده شده است.

طراحی و ساخت بیوفیلتر چکنده بیوفیلتر چکنده

طراحی و با مشخصات ذیل ساخته شد. بیوفیلتر چکنده شامل بخش هایی است که در شکل ۱ آورده است.

هوای فشرده

برای تولید هوا با فشار کافی از یک کمپرسور استفاده شد. فشار کاری کمپرسور ۴ تا ۶ بار بود. به منظور کاهش و تنظیم فشار ورودی از یک رگولاتور هوا (*Brocks*) استفاده شد تا فشار هوای ورودی به سیستم همواره ثابت باشد علاوه بر آن برای تنظیم بهتر بعد از رگولاتور یک شیر تویی مناسب

نصب شد اندازه خط هوای ورودی که رگولاتور روی آن نصب شده بود ۳/۴ اینچ بود همچنین قبل از مخلوط کن یک شیر یک طرفه جهت ایمنی استفاده شد.

تنظیم دبی هوا و آلاینده

جریان هوای ورودی به وسیله روتامتر (*Brocks*) تنظیم می شد به طوری که روتامتر مربوطه در محدوده ۳/۵ الی ۶۰ لیتر در دقیقه که معادل زمان ماند ۱۰-۱۷۱ است عمل می کرد. جریان هوا و آلاینده سولفید هیدروژن خروجی از کپسول در یک مخلوط کن با یکدیگر مخلوط می شدند همچنین قبل از مخلوط کن از یک شیر سوزنی جهت تنظیم نرخ جریان آلاینده استفاده می شد.

چرخش جریان مایع

برای چرخش جریان مایع از یک پمپ سانتریفوژی (*Jasco*) استفاده شد که محدوده آن $0.1 \text{ Lit}/\text{min}$ تا ۲ بود و در این آزمایش بر روی مقدار عددی $0.25 \text{ Lit}/\text{min}$ تنظیم شد.

هوای آلوده (آلاینده)

برای تولید جریان هوای آلوده و بررسی روند حذف آن در بیوفیلتر چکنده از یک کپسول حاوی *H₂S* با حجم ۵۰، فشار ۱۷ بار و خلوص ۹۹/۸ درصد استفاده شد که بوسیله اتصالات ۱/۴ اینچ به مخلوط کننده متصل می شد.

pH اضافه کردن مواد مغذی و تنظیم

برای اضافه کردن مواد مغذی و تنظیم pH در حین انجام آزمایش ها از یک پمپ پرستالتیک (*Chemap*) استفاده شد. به همین دلیل یک سه راهی در قسمت اتصال جریان چرخشی به محفظه نگهدارنده مواد مغذی تعبیه شد تا مواد غذایی و سود لازم به وسیله این پمپ وارد بیوفیلتر چکنده شود.

پخش کننده آب

برای پاشش یکنواخت آب و مواد مغذی به بیوفیلتر چکنده از یک پخش کننده شیشه ای با پنج شاخه که در هر شاخه سه سوراخ با فواصل مشخص در روی آن قرار داشت

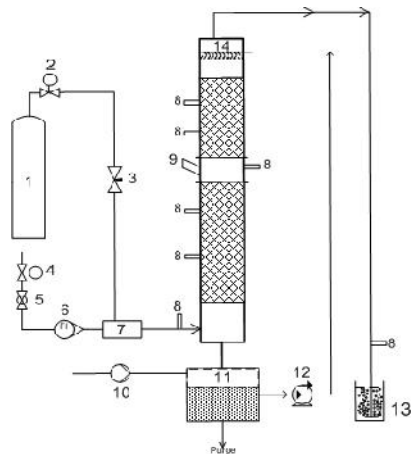
خروجی بیوفیلتر چکنده

برای حفظ ایمنی تمامی افراد حاضر در محل، خروجی گاز سولفید هیدروژن به یک محفظه دارای جاذب شیمیایی (حاوی ۱۰ لیتر و سود ۱ نرمال و ۱۰ لیتر کلرید سدیم ۳۰ درصد) هدایت شد تا در صورت وجود گاز سولفید هیدروژن در خروجی و یا نقص در سیستم این آلاینده خطرناک به محیط اطراف انتشار پیدا نکند.

استفاده شد. همچنین بعد از این پخش کننده یک صفحه مشبک از جنس فولاد زنگ نزن با سوراخ‌های ۵ میلی متر فواصل مرکز به مرکز ۲۰ میلی متر برای پخش بهتر مایعات استفاده شد.

محفظه نگهدارنده مواد غذایی

به این منظور از یک محفظه درب بسته پلاستیکی به حجم ۳۰ لیتر برای نگهداری مواد غذایی و اضافه کردن دیگر عوامل عملیاتی به بیوفیلتر چکنده استفاده شد.



- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| ۱. کیسول سولفید هیدروژن | ۹. دریچه نمونه گیری میکروبی |
| ۲. تنظیم کننده فشار | ۱۰. پمپ پریسانتیک |
| ۳. شیر سوژنی | ۱۱. مخزن خوراک |
| ۴. تنظیم کننده فشار | ۱۲. پمپ سانتریفیوژی |
| ۵. شیر کروی | ۱۳. گازشوی شیمیایی (NaOH + NaCl) |
| ۶. جریان سنج چرخان | ۱۴. پخش کننده آب |
| ۷. مخلوط کن | |
| ۸. دریچه نمونه گیری | |

شکل ۱- طرح کلی بیوفیلتر چکنده

چکنده بسته می شدند.

بستر

یکی از نکات مهم در استفاده از بسترها ارزان بودن و دوام فیزیکی آن هاست. بستر می تواند تاثیر زیادی بر روند حذف آلاینده داشته باشد. بستر مورد استفاده در این تحقیق، سنگ لاوا (گدازه های آتشفشانی سرد شده) با نام علمی Trachyandesite می باشد که از کوه دماوند تهیه شده بود. قبلاً استفاده از سنگ لاوا گزارش شده است (۳) ولی این نوع سنگ لاوا برای اولین بار در ایران برای حذف گاز سولفید هیدروژن در یک بیوفیلتر چکنده مورد استفاده قرار گرفت.

گرم کردن ستون

به منظور حفظ دمای بهینه برای فعالیت میکروارگانیسم ها در هنگام افت دما در زمستان از یک گرم کننده آکواریوم برای گرم کردن مایع ورودی به داخل رآکتور استفاده شد.

اندازه گیری افت فشار

قبل از رسیدن هوا به بستر یک سه راهه دیگر تعبیه شده بود که یکی از خروجی های آن به یک مانومتر آبی با دقت ۱

ستون بیوفیلتر چکنده

ستون بیوفیلتر از دو قسمت استوانه ای شکل از جنس شیشه به قطر داخلی ۱۴ سانتی متر و ۱۲۰ سانتی متر ساخته شده بود لازم به ذکر است که ارتفاع فعال این ستون با سنگ های لاوای پر شده ۶۵ سانتی متر بود. (همچنین در دو انتها نیز دو قسمت دیگر کوچک وجود داشت) این قسمت ها توسط فلنج هایی به ابعاد ۱۵ در ۱۵ سانتی متر و توسط هشت پیچ به هم متصل می شدند. فلنج ها یک صفحه مشبک (از جنس استیل ضد زنگ ۳۱۶) با سوراخ هایی به قطر ۵ میلی متر و دارای آرایش مثلثی را در میان گرفته و اطراف آن را کاملاً آب بندی کردند. بستر در هر قسمت ستون روی این صفحات قرار می گرفت. شش محل نمونه گیری گاز به فواصل ۱۵ سانتی متر بر روی ستون بیوفیلتر چکنده به همراه یک محل مخصوص نمونه گیری میکروبی (جهت برداشتن سنگ) بر روی ستون بیو آکتور تعبیه شد. ورودی هوا تقریباً ۷ سانتی متر پایین تر از ابتدای بستر در سمت مخالف خروجی هوا قرار داشت. بدیهی است که تمام خروجی ها در زمان کار بیوفیلتر

باکتری بر روی آن دوره تثبیت باکتری بر روی بستر خاتمه یافت.

روش بررسی باکتری تثبیت شده

به منظور بررسی باکتری های تثبیت شده یک قطعه سنگ لاوای مورد نظر به وسیله یک پنس از داخل راکتور برداشته و به درون یک ظرف پلاستیکی قابل اتوکلاو که قبلا استریل شده بود انتقال یافت. در درون این ظرف در دار مقداری از بافر فسفات (۱/۳ حجم ظرف) و مقداری خرده شیشه بسیار ریز که آن هم قبلا در آون استریل شده بود وجود داشت پس از انتقال نمونه این ظرف به مدت ۱۵ دقیقه به شدت تکان داده شد این عمل ۵ الی ۱۰ بار تکرار شد تا حداکثر باکتری های موجود از درون خلل و فرج بستر به بیرون انتقال پیدا کنند. سپس این ظرف به مدت چند دقیقه به حالت ساکن رها و سپس به وسیله نمونه گیر از مایع رویی و تقریباً از اواسط آن نمونه برداری شد، نمونه حاصل برای بررسی کیفی بر روی محیط DSM486 و برای بررسی کمی و شمارش کلنی به یک لوله استریل حاوی سرم فیزیولوژیک انتقال یافت، تا پس از رقت سازی مورد آزمایش قرار گیرد.

بررسی روند تثبیت باکتری بر روی بستر

به منظور بررسی و اثبات تثبیت باکتری بر روی بستر، در ابتدا میزان مصرف سوپسترای اصلی باکتری تیوسولفیت سدیم و همچنین pH سیستم مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در شکل ۲ آورده شده است. در صورت مصرف تیوسولفات سدیم به وسیله باکتری باید مقدار آن همواره در حال کاهش باشد و تبع آن تغییرات pH سیستم نیز به صورت کاهشی باشد. در اینجا پس از ورود ۱۰۰ گرم از تیوسولفات سدیم به راکتور در روز اول، مشخص شد که حدود ۶۰ درصد تیوسولفات سدیم ورودی به سیستم و روزششم تمامی تیوسولفات سدیم مصرف شده بود. این روند کنترل تا روز ۱۰ ادامه پیدا کرد. pH نیز در ابتدا و در روز اول تغییر ناگهانی را بروز نداد ولی از روز دوم و با افزایش مصرف تیوسولفات سدیم و افزایش تولید اسید سولفوریک و همچنین کاهش قدرت بافری سیستم شروع به کاهش شدیدی کرد. لایه بیوفیلم تشکیل شده بر روی بستر در شکل ۳ نشان داده شده است.

میلی متر متصل می شد سر دیگر مانومتر آزاد بوده و می توانست به نقاط دیگری در طول ستون بیوفیلتر وصل گردد تا بدین وسیله بتوان افت فشار را در ارتفاع های خالی از بستر اندازه گیری کرد.

تثبیت کردن باکتری

این مرحله که شامل نشان دادن باکتری ها بر روی بستر می باشد مهمترین مرحله در روند حذف هر آلاینده ای می باشد برای این کار از یک روش نوین استفاده شد. مقدار ۹ لیتر از کشت باکتری چهار روزه به تعداد 10^8 cfu/ml به همراه ۱ لیتر از محیط DSM 36 به درون مخزن مواد غذایی ریخته شد تا به وسیله پمپ پریستالتیک بر روی بستر ریخته شود نشان دادن باکتری ها در یک دوره ۱۰ روزه به صورت زیر انجام پذیرفت.

۱- در روز اول مقدار pH و مصرف منو سولفیت سدیم ۵ آبه مورد بررسی قرار گرفت.

۲- در روز دوم نیز مقدار مصرف $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ و مقدار pH مورد مطالعه قرار گرفت.

۳- در روز سوم مقدار ۱ لیتر از محیط کشت خارج و جای آن ۲ لیتر محیط کشت شماره ۳۶ (به غلظت ۱۰ لیتر) به راکتور افزوده شد. این کار به دلیل خارج کردن مواد سمی احتمالی و تنظیم pH بستر انجام پذیرفت. (۱ لیتر به جای ۱ لیتر خارج شده، ۱ لیتر هم به برای تبخیر آب در نظر گرفته شد)

۴- به منظور حفظ مقدار ثابت حجم راکتور و با توجه به محاسبات و تجربیات ضمن کار ۱ لیتر آب مقطر روزانه برای جبران تبخیر آب از راکتور به آن اضافه می شد.

۵- اضافه کردن مواد غذایی و خارج کردن ۱ لیتر از مایع درون راکتور هر ۲۴ ساعت یک بار انجام می پذیرفت.

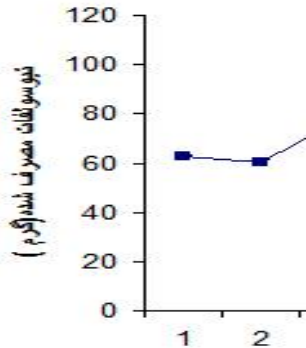
۶- برای تنظیم pH از سود صنعتی ۴ نرمال استفاده می شد.

۷- مقدار تیوسولفیت سدیم مصرفی در هر روز مورد بررسی قرار می گرفت.

۸- سرعت گردش مایع چرخشی برابر با 0.25 lit/min تعیین شده بود.

۹- سرانجام پس از گذشت ۱۰ روز و با توجه به ثابت شدن مقدار مصرف $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ و ثبات نسبی تغییر روند pH و همچنین جدا کردن یک سنگ از راکتور و بررسی وجود

نمودار ۱- بررسی مصرف تیوسولفات سدیم در زمان نشاندن باکتری بر روی بستر (■) مقدار تیوسولفات (گرم)



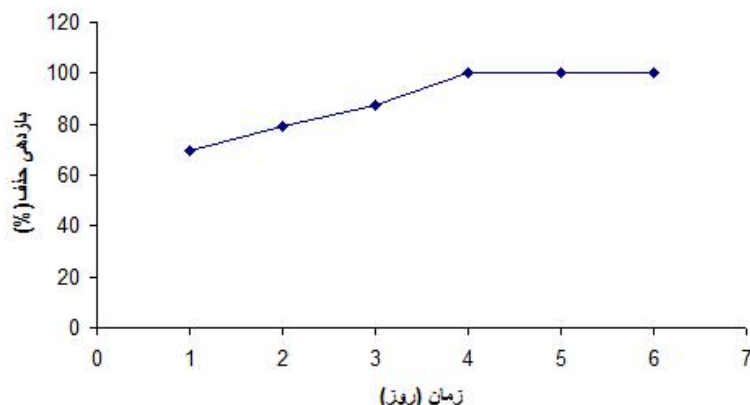
شکل ۲- نمایی از لایه بیوفیلم بر روی بستر

ورودی بر روی ۷۲ ppm و زمان ماند ۱ دقیقه تنظیم شد. در ۲۴ ساعت اول بازدهی حذف برابر ۶۹/۴ درصد بود که این مقدار در روز چهارم به ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد و تا روز ششم هم این بازدهی حذف ثابت بود. این امر نشان دهنده سازش یافتن باکتری ها با آلایندة سولفید هیدروژن بود.

سازش دادن باکتری با آلایندة

نتایج حاصل از تطبیق دادن باکتری با آلایندة در نمودار ۲ نشان داده شده است. در ابتدا مقدار گاز در ۲۰ ppm و زمان ماند ۳۰ ثانیه تنظیم و سپس بازده بیوفیلتر چکنده مورد مطالعه قرار گرفت. در دو ساعت ابتدایی راندمان در حدود ۷۰ درصد بود و بعد از گذشت ۳ ساعت از شروع به کار سیستم بازده به ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد. سپس غلظت سولفید هیدروژن

نمودار ۲- بررسی بازده حذف در دوره انطباق باکتری با آلایندة



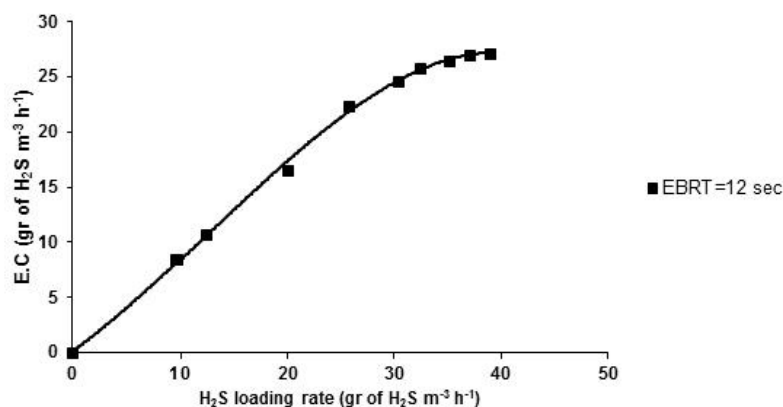
بررسی حذف سولفید هیدروژن در یک زمان ماند

مشخص و غلظت های مختلف آلاینده

نتایج حاصل از حذف گاز H_2S در زمان ماندگاری ۱۲ ثانیه و غلظت های مختلف سولفید هیدروژن در محدوده ۲۴ تا ۹۰ ppm در نمودار ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در زمان ماند ۱۲ ثانیه با افزایش غلظت آلاینده از ۲۵ به حدود ۹۰ ppm حذف نیز از ۷ به ۲۸

گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت افزایش پیدا کرد که این عدد بیان گر حداکثر ظرفیت حذف آلاینده در زمان ماند ۱۲ ثانیه بود. در واقع از این نقطه به بعد با کاهش زمان ماند به زیر ۱۲ ثانیه ظرفیت حذف ثابت می ماند ولی راندمان بیوفیلتر به زیر ۱۰۰ درصد تنزل پیدا خواهد کرد.

نمودار ۳ - بررسی ظرفیت حذف در برابر شدت بارگذاری H_2S در زمان ماند ۱۲ ثانیه



حداقل مقدار خود ۱۰ ثانیه و در غلظت ۲۵ ppm قرار دارد بازده در حدود ۸۷ درصد می باشد.

با افزایش زمان ماند به ۱۵ ثانیه بازده به ۹۵ درصد افزایش یافته و در نهایت در زمان ماند ۱۹ ثانیه بازده به ۱۰۰ درصد می رسد. با افزایش غلظت به ۷۵ ppm و زمان ماند ۱۰ ثانیه بازده حذف ۶۵ درصد می شود که با افزایش زمان ماند گاز به ۲۴ ثانیه بازده به ۱۰۰ درصد خواهد رسید به طوری که همواره در

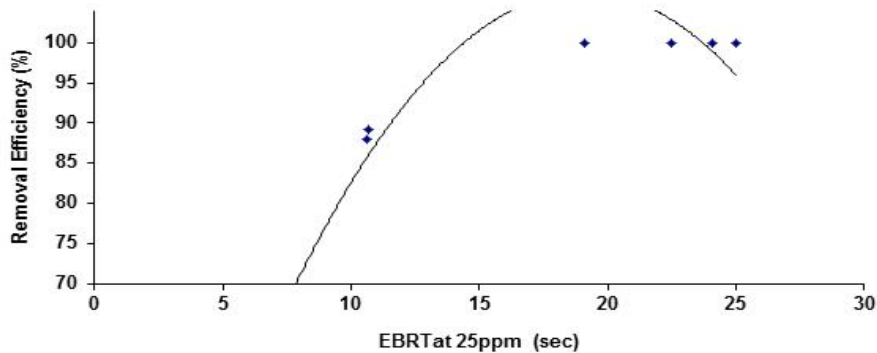
نتایج و بحث

بررسی بازده حذف H_2S در یک غلظت مشخص و زمان

های ماندگاری مختلف

نتایج حاصل از حذف گاز H_2S در غلظت های ۲۵ و ۷۵ ppm و در زمان های ماند مختلف در نمودارهای ۴ و ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش زمان ماند، راندمان حذف آلاینده نیز افزایش پیدا می کند. زمانی که زمان ماند در

زمان‌های ماند بیشتر از ۲۴ ثانیه خروجی گاز در غلظت ورودی ۷۵ ppm برابر با صفر خواهد بود. نمودار ۴- بررسی بازده حذف در زمان ماند‌های مختلف و غلظت ۲۵ ppm



هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت افزایش پیدا می کند و در نهایت در شدت بارگذاری ۴۳ گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت به حداکثر ظرفیت حذف خواهیم رسید که همان مقدار ۲۸ گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت خواهد بود.

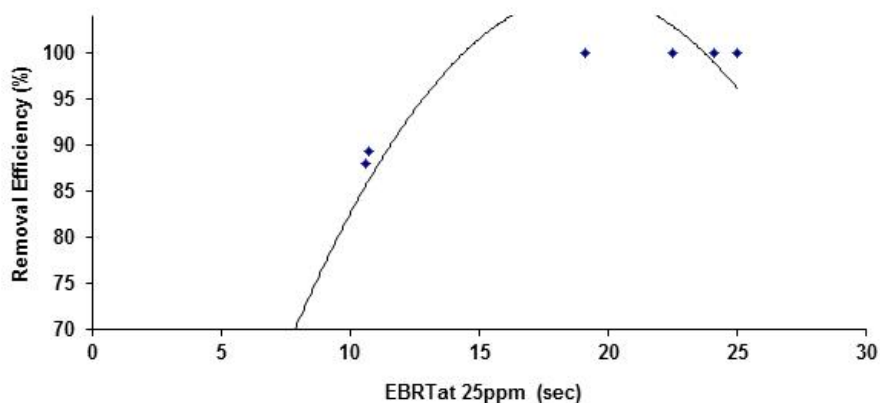
بررسی تغییرات غلظت در طول بستر

نمودار ۱۰ نتایج حاصل از روند تغییر درصد حذف سولفید هیدروژن را در طول بستر برای غلظت ۵۷ ppm و زمان‌های ماند مختلف گاز نشان می دهد.

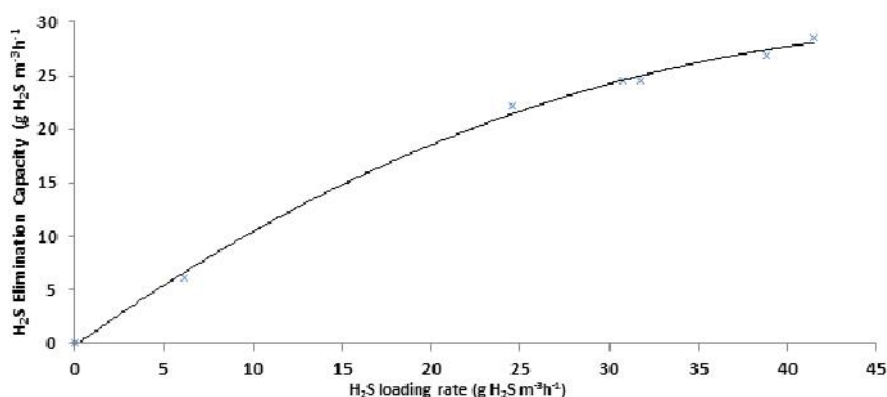
بررسی ظرفیت حذف سولفید هیدروژن در یک غلظت ثابت و زمان‌های ماند مختلف

نتایج حاصل از بررسی ظرفیت حذف گاز سولفید هیدروژن در غلظت ۷۵ ppm و مقادیر مختلف ظرفیت بارگذاری آلاینده در نمودار ۶ نشان داده شده است. در زمانی که شدت بارگذاری آلاینده ۶ گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت را نشان می دهد ظرفیت حذف معادل ۵ گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت است. با افزایش شدت بارگذاری آلاینده و به تبع آن افزایش زمان ماند آلاینده در راکتور ظرفیت حذف نیز افزایش می یابد به طوری که در شدت بارگذاری ۲۵ گرم سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت ظرفیت حذف به ۲۲ گرم سولفید

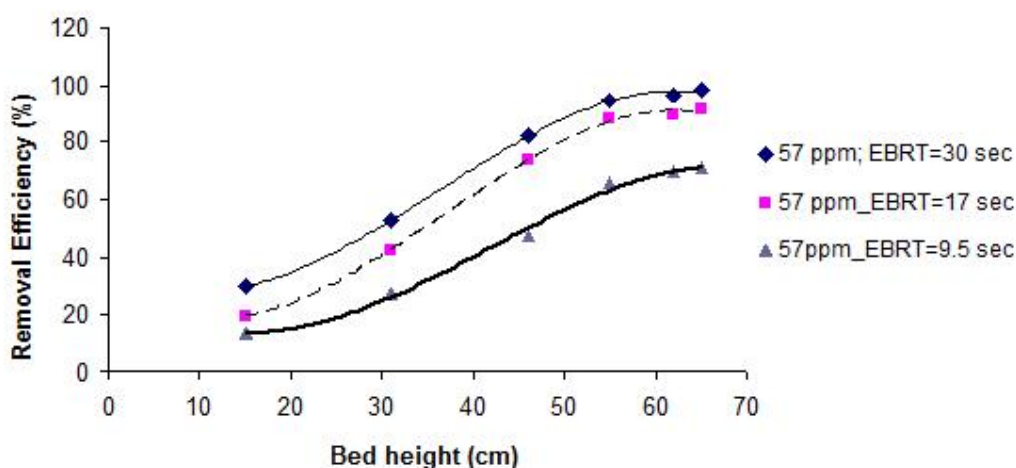
نمودار ۵- بررسی بازده حذف در زمان ماند‌های مختلف و غلظت ۷۵ ppm



نمودار ۶- بررسی اثر شدت بارگذاری های مختلف بر ظرفیت حذف در غلظت ۷۵ ppm



نمودار ۱۰- بررسی بازده حذف در ارتفاعهای مختلف



حذف گردید و عملاً در سه نقطه پایانی حذف قابل ملاحظه- ای مشاهده نشد. در زمان ماند پایین تر نیز بیشترین مقدار حذف آلاینده در همان سه نقطه ابتدایی بستر صورت پذیرفت که حاکی از کاربردی بودن این فیلتر بود.

در زمان ماند ۳۰ ثانیه بیشترین حذف آلاینده در قسمت ابتدایی بستر انجام پذیرفت به طوری که حدود ۸۰ درصد حذف آلاینده در ۴۷ سانتی متری ابتدای بستر انجام پذیرفت. در واقع در سه نقطه ابتدایی بستر در حدود ۸۰ درصد آلاینده

منابع

hydrogen sulfide removal. Iranian Journal of Environmental Health and Science Engineering, 8, 245-254

3- Cho, K.S., Ryu, H.W., Lee, N.Y. (2000). Biological Deodorization of Hydrogen Sulfide Using Porous Lava as a Carrier of *Thiobacillus thiooxidans*. Journal of Environmental Engineering, 90(1), 25-29.

4- Delhom'enie M.C., Heitz, M. (2005).

۱- دوینی، دشوزس، وبستر. کنترل آلودگی هوا با

استفاده از بیوفیلتراسیون. ۱۳۸۳. مترجم: محمد باقر باقرپور.

2. Abdehagh, N., Taghinejad Namini, M., Heydarian, S. M., Bonakdarpour, B., Zare, D. (2011). Performance of A Biotrickling filter employing *Thiobacillus Thioparus* immobilized on polyurethane foam for

solution by *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans*. Process Biochemistry, 37, 111–114

8- Oyarzun, P., Arancibia, F., Canales, Ch., Aroca, G. E. (2003). Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thiooxidans*. Process Biochemistry, 39, 165-170.

9- Syed, M., Soreanu, G., Falletta, P., Béland, M. (2006). Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes - A review. Canadian Biosystems Eng, 48-58.

10- Yariv Cohen, Y. Biofiltration. (2001). The treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review. Bioresource Technology, 77(3), 257-274

Biofiltration of Air: A Review. Critical Reviews in Biotechnology, 25, 53–72.

5- Iranpour, R., Cox, H.H.J., Deshusses, M. A., Schroeder, E.D. (2005). Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal. Environmental Progress, 24(3), 254–267.

6- Kennes, C., Thalasso, F. (1998). Review Waste Gas Biotreatment Technology. J. Chem. Technol. Biotechnol, 72, 303-319.

7- Oprime, M. E.A.G., Garcia Jr, O., A Cardoso, A. (2003). Oxidation of H₂S in acid



.

.