

## حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده

علی فرجاه\*

سید محمدحیدریان\*

### 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 ۱۲۰cm با بستری از سنگ لاوا طراحی و ساخته شد که در آن روند حذف سولفید هیدروژن توسط DSM5368 توموباسیلوس و تیوپاروس<sup>۲</sup> در زمان های ماند مختلف (s) (۱۰ تا ۶۰)، غلظت های مختلف گاز (۲۰ تا ۸۵ppm)، دبی های مختلف گاز (۱۰ تا ۶۰ L/min) مورد مطالعه قرار گرفت. در فیلتر زیستی چکنده بازده حذف در غلظت ۱۰ تا ۸۰ppm و در زمان های ماند بیشتر از ۲۰(s) همواره ۱۰۰٪ بود ولی هنگامی که زمان ماند به ۱۵(s) ثانیه کاهش پیدا کرد، راندمان بیوفیلتر به ۹۰٪ رسید. در زمان ماند ۱۰(s) و غلظت ۲۵ ppm بازده حذف ۹۰٪ و در غلظت ۷۵ ppm بازده ۶۵٪ مشاهده شد. بیشینه ظرفیت حذف در این فیلتر زیستی چکنده با بازده ۹۵٪ برابر با  $^{3-}h^{21}Sm.gH$  ۲۸ بود. واژه های کلیدی: بیوفیلتر چکنده، سولفید هیدروژن، توموباسیلوس و تیوپاروس، لاوا.

\*پژوهشکده بیوتکنولوژی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، صندوق پستی ۱۵۸۱/۳۵۳۸.

E.mail: heydarian@irost.org

<sup>2</sup> Thiobacillus thioeparus

### مقدمه

از حدود ۴۰ سال گذشته، گروه‌های مختلف پزشکی و متخصصان علمی درصدد درک اثرهای زیانبار و مزمن آلودگی هوا برآمدند. موضوع نیاز به کنترل و تصفیه آلودگی‌های مختلف هوا، اعم از ترکیبات آلی فرار که مانند کاتالیست در تشکیل مه دود عمل می‌کنند و یا ترکیبات کلردار که باعث تخریب لایه ازن می‌شوند و یا ترکیبات بوداری که سبب آزار و اذیت انسان می‌شوند به عنوان یک فوریت پزشکی و زیست محیطی مطرح و دلایل این فوریت برای سازمان‌های کنترل آلودگی هوا در سطوح منطقه‌ای، ملی و جهانی کاملاً تشریح شده، تا این سازمان‌ها کیفیت هوا را در محدوده سالم حفظ کنند. این سازمان‌ها که بودجه خاصی برای انجام دادن این کار در اختیار نداشتند بخش‌های صنعتی و تجاری را وادار کردند تا با استفاده از تکنولوژی‌هایی چون جذب سطحی بر روی کربن، خاکسترسازی و یا شست و شو با حلال، خطرات زیست محیطی حاصل از پیشرفت‌های تکنولوژیکی را کاهش دهند. با این وجود هرچه تلاش سازمان‌های ذیربط برای کنترل انتشار آلاینده‌های هوا بر طبق استاندارد‌های دقیق، افزون‌تر می‌شد، هزینه‌های عملیاتی این تکنولوژی‌ها نیز افزایش می‌یافت. آلودگی محیط زیست فقط مشکل شرکت‌ها به طور منفرد و یا مشکل ملی نیست. اخبار روزانه راجع به فجایع زیست محیطی روشن می‌سازد که برای حل مسائل بنیادی باید جهانی اندیشید. متأسفانه بی‌اعتقادی در بخش‌های صنعتی نسبت به رعایت مقررات مربوطه و همچنین هزینه‌های گزاف تصفیه و به طور کلی آگاهی کم در این زمینه باعث شده تا نتایج فعالیت‌های بین‌المللی 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 کننده در هوا به مقداری که کیفیت آن را تغییر دهد و استنشاق چنین هوایی سلامت انسان را به خطر بیندازد و برای گیاهان، حیوانات و اشیاء اثرات زیان‌آور داشته باشد (۱).

در اوایل قرن بیستم، فرایندهای تصفیه بیولوژیکی<sup>۱</sup> 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

---

1 تصفیه به روش‌های زیستی

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۰۳

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 شده‌اند که قادر به تخریب زیستی ترکیبات آلاینده‌اند، 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 و کربن ( $\text{CO}_2$ )، آب ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 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 مرکباتان‌های سبک می‌باشند (۱، ۷ و 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 فرایندهای 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 منشأ طبیعی که به طور عمده توسط صنایع غذایی ایجاد می‌شود 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

۱۰۴ ..... فصلنامه بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی کاربردی/سال اول، شماره ۱، بهار ۹۱

میکرورها قرار می گیرند. این آلاینده ها می توانند 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 می رسند. میکروهایی که برای تصفیه زیستی هوا به کار گرفته می شوند معمولاً از ارگانیسم هایی هستند که در طبیعت به صورت آزاد وجود دارند. این جمعیت های میکروبی ممکن است تحت تسلط یکی از گونه های خاص میکروبی باشند و یا اینکه عمل تبدیل آلاینده ها، توسط گونه های متعددی از آن ها همزمان انجام گیرد.

بالاترین راندمان در این گونه تصفیه، زمانی حاصل می شود که آلاینده ها جزء مواد آلی با جرم مولکولی پایین و حلالیت زیاد بوده و در ساختمان مولکولی خود پیوندهای ساده داشته باشند. الکل ها، ستون ها، آروماتیک ساده، فنل ها، هیدروکربن های کلردار، هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک و هیدروکربن های هالوژن دار قابلیت تخریب کند و یا متوسطی از خود نشان می دهند. ترکیبات معدنی نظیر سولفید هیدروژن و آمونیاک به راحتی تحت واکنش های تخریب زیستی قرار می گیرند (۴، ۵ و ۱۱).

راکتورهای زیستی فاز گاز به طور عمده شامل بیوفیلترها، فیلترهای چکانه ایی (قطره ای) زیستی، بسترهای شست و شو دهنده زیستی می باشند. مکانیسم اصلی حذف آلاینده در هر سه مورد ذکر شده یکسان است، اما با این وجود، تفاوت هایی در فاز استقرار میکرورها، که ممکن است به یکی از دو حالت سوسپانسیونی (معلق در فاز مایع) و یا ثابت باشند و نیز حالت فاز مایع که می تواند به یکی از اشکال جاری و یا ساکن باشند، در آن ها دیده می شود (جدول ۱).

جدول (۱) تقسیم بندی راکتورهای زیستی جهت تصفیه گازهای آلوده (۵)

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

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۰۵

## مواد و روشها

### سویه و محیط کشت باکتری

در این پژوهش تیوپاروس DSM۵۳۶۸ برای حذف گاز سولفید هیدروژن استفاده شد این سویه از بانک میکروبی سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران تهیه گردیده است. استفاده از سویه های thioparus قبلا گزارش شده است (۸-۹). اجزاء محیط کشت در مقاله عبد حق و همکاران ارائه شده است (۲).

### سنجش سولفید هیدروژن

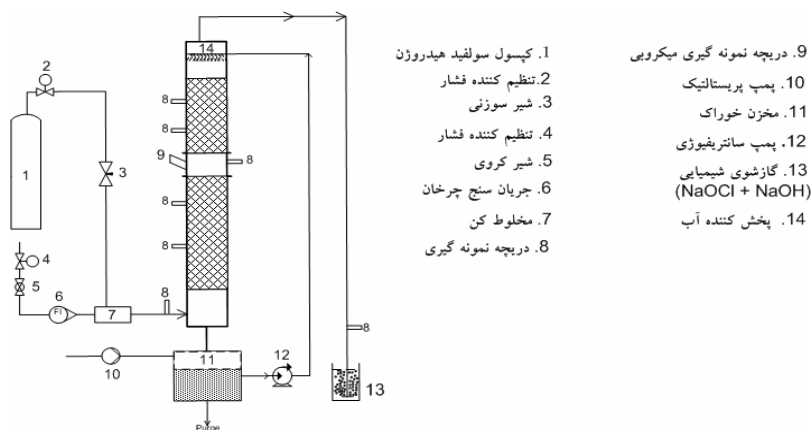
برای سنجش سولفید هیدروژن در رآکتور زیستی از یک حسگر مخصوص ( $H_2S$  Drager آلمان) استفاده شد. این حسگر قادر به تشخیص گاز  $H_2S$  از یک تا 100ppm بود. برای دقت کار از یک پمپ مخصوص حسگر (Drager آلمان) استفاده شد که جریان هوا را با سرعت 0/5 min/ lit وارد حسگر می کرد .

### اندازه گیری غلظت تیوسولفات سدیم

برای اندازه گیری غلظت یون تیوسولفات از تیتراسیون آن با محلول ید استفاده شد. نخست، روش ساخت محلولها و روش های اندازه گیری غلظت تیوسولفات از مرجع (۱) انتخاب شد ولی در 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.



شکل (۱) - طرح کلی بیوفیلتر چکنده

### هوای فشرده

برای تولید هوا با فشار کافی از یک کمپرسور استفاده شد. فشار کاری کمپرسور ۶ تا ۷ bar 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 Inch 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 (s) ۱۷۱ - ۱۰ است) عمل می کرد. جریان هوا و آلاینده سولفید هیدروژن خروجی از کیسول 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 سانتریفیوژی (Jasco) استفاده شد که محدوده‌ی آن

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۰۷

$0.1 \text{ Lit}/\text{min}$  تا  $2$  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  $\text{H}_2\text{S}$  با حجم  $50$ ، فشار  $17\text{bar}$  بار و خلوص  $99/8\%$  استفاده شد که بوسیله اتصالات  $1/4$  اینچ به مخلوط کننده متصل می شد.

### اضافه کردن مواد مغذی و تنظیم pH

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 استفاده شد. همچنین بعد از این پخش کننده یک صفحه مشبک از جنس فولاد زنگ نزن با سوراخ های  $5\text{mm}$  و فواصل مرکز به مرکز  $20\text{mm}$  برای پخش بهتر مایعات استفاده شد.

### محفظه نگهدارنده مواد غذایی

به این منظور از یک محفظه درب بسته پلاستیکی به حجم  $30\text{Lit}$  لیتر برای نگهداری مواد غذایی و اضافه کردن دیگر عوامل عملیاتی به بیوفیلتر چکنده استفاده شد.

### خروجی بیوفیلتر چکنده

برای حفظ ایمنی تمامی افراد حاضر در محل، خروجی گاز سولفید هیدروژن به یک محفظه دارای جاذب شیمیایی (حاوی  $10\text{Lit}$  سود  $10\text{N}$  و  $10\text{Lit}$  کلرید سدیم  $30\%$ ) 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.

### ستون بیوفیلتر چکنده

ستون بیوفیلتر از دو قسمت استوانه ای شکل از جنس شیشه به قطر داخلی ۱۴cm و ارتفاع ۱۲۰cm سانتیمتر ساخته شده بود لازم به ذکر است که ارتفاع فعال این ستون با سنگ های لاوای پر شده ۶۵cm 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 سانتیمتر 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 ۵mm 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 ۱۵cm بر روی ستون بیو فیلتر چکنده به همراه یک محل مخصوص نمونه گیری میکروبی (جهت برداشتن سنگ) بر روی ستون بیو آکتور تعبیه شد. ورودی هوا تقریباً ۷cm پایین تر از ابتدای بستر در سمت مخالف خروجی هوا قرار داشت. بدیهی است که تمام خروجی ها در زمان کار بیو فیلتر 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 آکواریم برای گرم کردن مایع ورودی به داخل رآکتور استفاده شد.



حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۰۹

### اندازه گیری افت فشار

قبل از رسیدن هوا به بستر یک سه راهه دیگر تعبیه شده بود که یکی از خروجی‌های آن به یک مانومتر آبی با دقت ۱mm متصل می‌شد سر دیگر مانومتر آزاد بوده و می‌توانست به نقاط دیگری در طول ستون بیوفیلتر وصل گردد تا بدین وسیله بتوان افت فشار را در ارتفاع‌های خالی از بستر اندازه گیری کرد.

### تثبیت کردن باکتری

این مرحله که شامل نشان دادن باکتری‌ها بر روی بستر می‌باشد مهمترین مرحله در روند حذف هر آلاینده‌ای می‌باشد برای این کار از یک روش نوین استفاده شد. مقدار ۹Lit از کشت باکتری چهار روزه به تعداد  $10^8 \text{ cfv/ml}$  به همراه ۱Lit از محیط DSM 36 به درون مخزن مواد غذایی ریخته شد تا به وسیله پمپ پرستالتیک بر روی بستر ریخته شود نشان دادن باکتری‌ها در یک دوره ۱۰ روزه به صورت زیر انجام پذیرفت.

- ۱- در روز اول مقدار pH و مصرف منو سولفیت سدیم ۵ آب 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 ۱Lit از محیط کشت خارج و جای آن ۲Lit محیط کشت شماره ۳۶ (به غلظت ۱۰Lit) به رآکتور افزوده شد. این کار به دلیل خارج کردن مواد سمی احتمالی و تنظیم pH بستر انجام پذیرفت. (۱Lit به جای ۱Lit یک لیتر خارج شده، ۱Lit هم به برای تبخیر آب در نظر گرفته شد)
- ۴- به منظور حفظ مقدار ثابت حجم رآکتور و با توجه به محاسبات و تجربیات ضمن کار ۱Lit آب مقطر روزانه برای جبران تبخیر آب از رآکتور به آن اضافه می‌شد.
- ۵- اضافه کردن مواد غذایی و خارج کردن ۱Lit از مایع درون رآکتور هر ۲۴h ساعت یک بار انجام می‌پذیرفت.

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

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

۸- سرعت گردش مایع چرخشی برابر با  $0.25 \text{ lit/min}$  تعیین شده بود (et al 2007 Taghinegad).

۱۱۵ ..... فصلنامه بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی کاربردی/سال اول، شماره ۱، بهار ۹۱

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 رآکتور و بررسی وجود 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 (۳/۱ 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 ۱۵min 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.

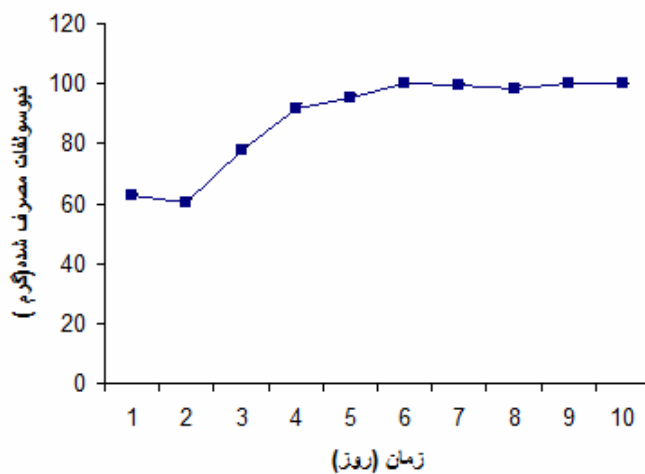
#### بررسی روند تثبیت باکتری بر روی بستر

به منظور بررسی و اثبات تثبیت باکتری بر روی بستر، در ابتدا میزان مصرف سوبسترای 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 ۱۰۰gf از تیوسولفات سدیم به رآکتور 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

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۱۱

به کاهش شدیدی کرد. لایه بیوفیلم تشکیل شده بر روی بستر در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): بررسی مصرف تیوسولفات سدیم در زمان دوره نشانیدن باکتری بر روی بستر

(■) مقدار تیوسولفات (گرم)



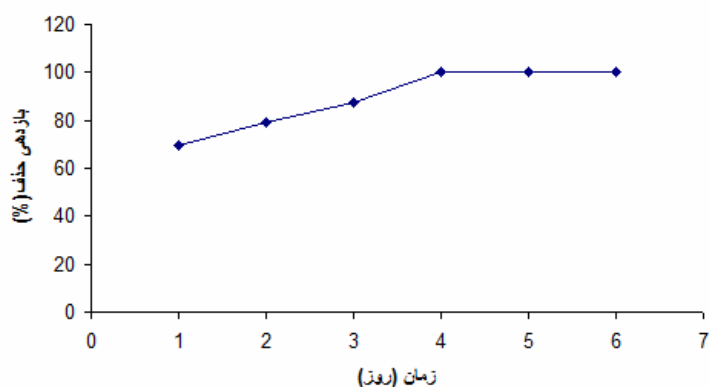
شکل (۳): نمایی از لایه بیوفیلم بر روی بستر

سازش دادن باکتری با آلاینده

نتایج حاصل از تطبیق دادن باکتری با آلاینده در شکل (۴) نشان داده شده است. در ابتدا

۱۱۲ ..... فصلنامه بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی کاربردی/سال اول، شماره ۱، بهار ۹۱

مقدار گاز در ۲۰ ppm و زمان ماند ۳۰ (s) ثانیه تنظیم و سپس بازده بیوفیلتر چکنده مورد مطالعه قرار گرفت. در دو ساعت ابتدایی راندمان در حدود ۷۰٪ بود و بعد از گذشت ۳h از شروع به کار سیستم بازده به ۱۰۰٪ افزایش پیدا کرد. سپس غلظت سولفید هیدروژن ورودی بر روی ۷۲ ppm و زمان ماند ۱ min تنظیم شد. در ۲۴h اول بازدهی حذف برابر ۶۹/۴٪ بود که این مقدار در روز چهارم به ۱۰۰٪ افزایش پیدا کرد و تا روز ششم هم این بازدهی حذف ثابت بود. این امر نشان دهنده سازش یافتن باکتری ها با آلاینده سولفید هیدروژن بود.



شکل (۴): بررسی بازده حذف در دوره انطباق باکتری با آلاینده

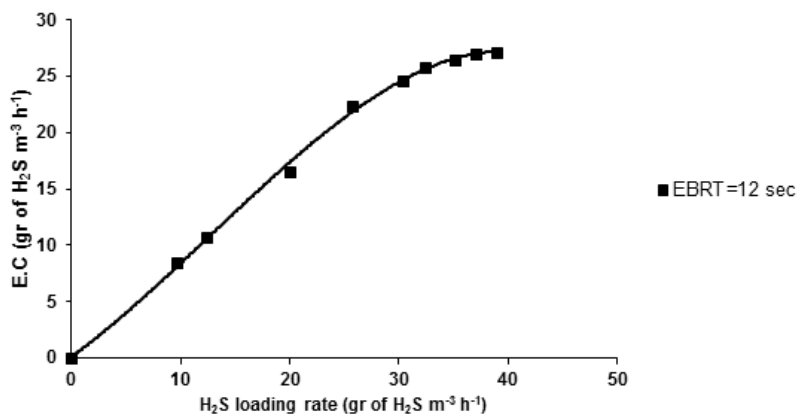
**بررسی حذف سولفید هیدروژن در یک زمان ماند مشخص و غلظت های مختلف آلاینده**

نتایج حاصل از حذف گاز H<sub>2</sub>S در زمان ماندگاری (s) ۱۲ و غلظت های مختلف سولفید هیدروژن در محدوده ۲۴ تا ۹۰ ppm در شکل (۵) نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می شود در زمان ماند (s) ۱۲ با افزایش غلظت آلاینده از ۲۵ به حدود ۹۰ ppm ظرفیت حذف نیز از ۷ به ۲۸ gr سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت افزایش پیدا کرد که این عدد بیانگر حداکثر ظرفیت حذف آلاینده در زمان ماند (s) ۱۲ بود.

در واقع از این نقطه به بعد با کاهش زمان ماند به زیر (s) ۱۲ ظرفیت حذف ثابت می ماند ولی راندمان بیوفیلتر به زیر ۱۰۰٪ تنزل پیدا خواهد کرد.

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۱۳



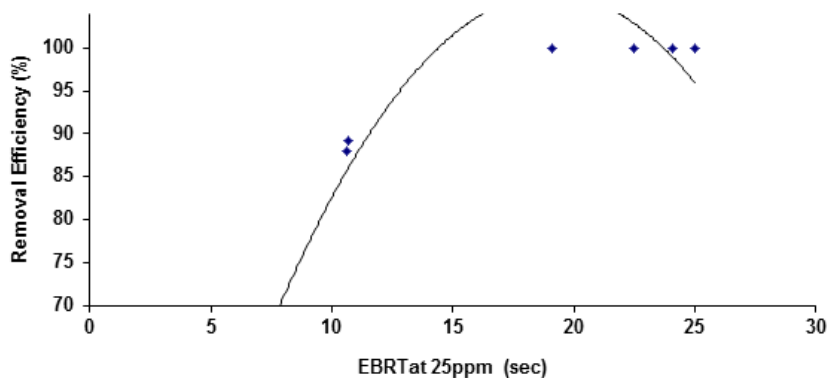
شکل (۵): بررسی ظرفیت حذف در برابر شدت بارگذاری H<sub>2</sub>S در زمان ماند ۱۲ ثانیه

## نتایج و بحث

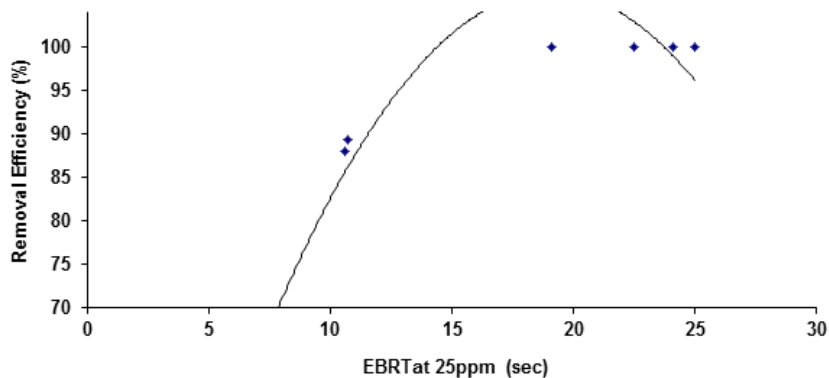
### بررسی بازده حذف H<sub>2</sub>S در یک غلظت مشخص و زمان های ماندگاری مختلف

نتایج حاصل از حذف گاز H<sub>2</sub>S در غلظتهای ۲۵ و ۷۵ ppm و در زمان های ماند مختلف در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش زمان ماند، راندمان حذف آلاینده نیز افزایش پیدا می کند. زمانی که زمان ماند در حداقل مقدار خود (۱۰(s)) و در غلظت ۲۵ ppm قرار دارد بازده در حدود ۸۷٪ می باشد. با افزایش زمان ماند به ۱۵ ثانیه بازده به ۹۵٪ افزایش یافته و در نهایت در زمان ماند ۱۹(s) بازده به ۱۰۰٪ می رسد. با افزایش غلظت به ۷۵ ppm و زمان ماند ۱۰(s) بازده حذف ۶۵٪ می شود که با افزایش زمان ماند گاز به ۲۴(s) بازده به ۱۰۰٪ خواهد رسید به طوری که همواره در زمان های ماند بیشتر از ۲۴(s) خروجی گاز در غلظت ورودی ۷۵ ppm برابر با صفر خواهد بود.

۱۱۴ ..... فصلنامه بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی کاربردی/سال اول، شماره ۱، بهار ۹۱



شکل (۶): بررسی بازده حذف در زمان ماند‌های مختلف و غلظت ۲۵ ppm

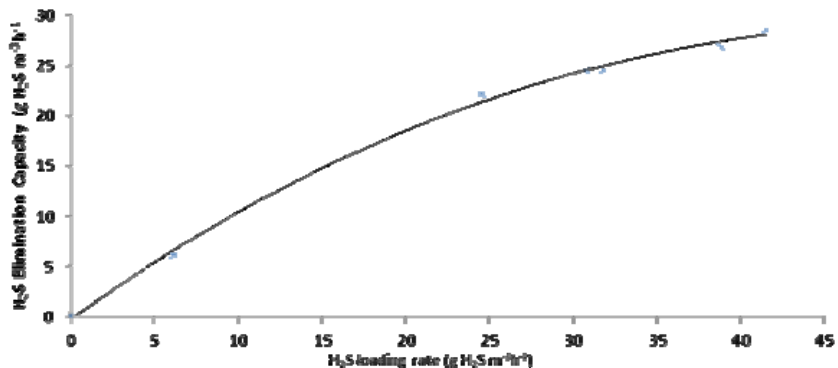


شکل (۷): بررسی بازده حذف در زمان ماند‌های مختلف و غلظت ۷۵ ppm

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 شکل (۸) نشان داده شده است. در زمانی که شدت

حذف سولفید هیدروژن توسط بیوفیلتر چکنده ..... ۱۱۵

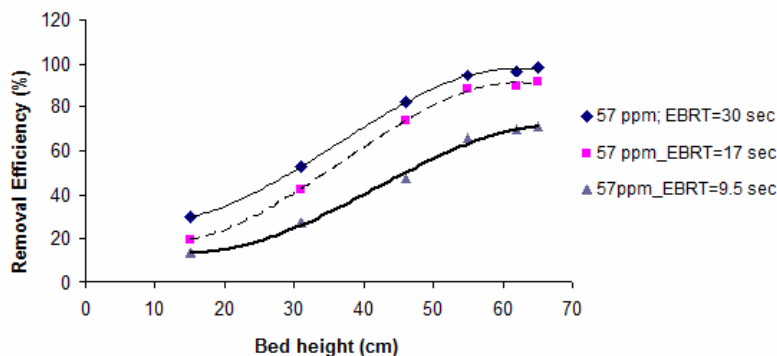
بارگذاری آلاینده ۶gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت را نشان می‌دهد ظرفیت حذف معادل ۵gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت است. با افزایش شدت بارگذاری آلاینده و به تبع آن افزایش زمان ماند آلاینده در راکتور ظرفیت حذف نیز افزایش می‌یابد به طوری که در شدت بارگذاری ۲۵gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت ظرفیت حذف به ۲۲gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت افزایش پیدا می‌کند و در نهایت در شدت بارگذاری ۴۳gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت به حداکثر ظرفیت حذف خواهیم رسید که همان مقدار ۲۸gI سولفید هیدروژن بر متر مکعب بر ساعت خواهد بود.



شکل (۸): بررسی اثر شدت بارگذاری های مختلف بر ظرفیت حذف در غلظت ۷۵ ppm

بررسی تغییرات غلظت در طول بستر

شکل (۹) نتایج حاصل از روند تغییر درصد حذف سولفید هیدروژن را در طول بستر برای غلظت ۵۷ppm و زمان‌های ماند مختلف گاز نشان می‌دهد.



شکل (۹): بررسی بازده حذف در ارتفاعهای مختلف

در زمان ماند ۳۰ (s) بیشترین حذف آلاینده در قسمت ابتدایی بستر انجام پذیرفت به طوری که حدود ۸۰٪ حذف آلاینده در ۴۷cm سانتی متری ابتدای بستر انجام پذیرفت. در واقع در سه نقطه ابتدایی بستر در حدود ۸۰٪ آلاینده حذف گردید و عملاً در سه نقطه پایانی حذف قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. در زمان ماند پایین‌تر نیز بیشترین مقدار حذف آلاینده در همان سه نقطه ابتدایی بستر صورت پذیرفت که حاکی از کاربردی بودن این فیلتر بود.

## منابع

- ۱- دوینی، دشوزس، وبستر، ۱۳۸۳، مترجم: محمد باقر باقرپور، کنترل آلودگی هوا با استفاده از بیوفیلتراسیون.
- 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 hydrogen sulfide removal". Iranian Journal of Environmental Health and Science Engineering. 8,245-254
- 3- Cho, Hee Wook Ryu, Nae Yoon Lee (2000), "Biological Deodorization of Hydrogen Sulfide Using Porous Lava as a Carrier of *Thiobacillus thiooxidans*". Journaol Fb Iosciencaen Db Ioengineering. 90( 1) 25-29.



- 4- Kennes C. & Thalasso F. (1998). "Review Waste Gas Biotreatment Technology" *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 72, 303-319.
- 5- Kyung-Suk Cho, Hee Wook Ryu, Nae Yoon Lee(2000). " Biological Deodorization of Hydrogen Sulfide Using Porous Lava as a Carrier of *Thiobacillus thiooxidans*" , *Journal of Science Engineering.* 90, 25-31
- 6- M. Syed, G. Soreanu, P. Falletta and M. Béland, (2006) "Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes - A review". *Canadian Biosystems Eng.* 48-58
- 7- Marie-Caroline Delhom' enie and Mich' ele Heitz, (2005). "Biofiltration of Air: A Review", *Critical Reviews in Biotechnology.* 25,53-72.
- 8- Oswaldo Garcia Jr, Arnaldo A. Cardoso, Maria E.A.G. Oprime (2003). "Oxidation of H<sub>2</sub>S in acid solution by *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans*". *Process Biochemistry* 37 111-114
- 9- Oyarzun, Fernando Arancibia, Christian Canales, German E. Aroca (2003). "Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thioparus*," *Process Biochemistry.* 39: 165-170
- 10- Reza Iranpour,<sup>a</sup> Huub H.J .Cox,<sup>a</sup> Marc A .Deshusses,<sup>b</sup> and Edward D" .(۲۰۰۰) .Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal Published online in Wiley InterScience "
- 11- Yariv Cohen, Biofiltration(2001). " The treatment of fluids by microorganisms immobilized into the fillter bedding material: a review".*Bioresource Technology* 257-274