

به نام

خداوند جان و خرد



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی شیمی
گروه بیوتکنولوژی

پایان نامه کارشناسی ارشد
عنوان:

استفاده از زیست صافی چکنده برای حذف سولفید هیدروژن از گازهای سنتزی

نگارش:

مسعود تقی نژاد نمینی

اساتید راهنما:

دکتر بابک بنکدارپور دکتر سید محمد حیدریان



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی - ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: **مسعود تقی نژاد نمینی** دانشجوی آزاد ■ بورسیه
شماره دانشجویی: ۸۴۱۲۲۰۷۵ دانشکده: مهندسی شیمی
معادل بیوتکنولوژی

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر بابک بنکدارپور
نام و نام خانوادگی: دکتر سید محمد حیدریان
درجه و رتبه: دانشیار
درجه و رتبه: استادیار

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: ----
نام و نام خانوادگی: ----
درجه و رتبه:
درجه و رتبه:

عنوان پایان نامه به فارسی:

حذف سولفید هیدروژن از گازهای سنتزی با استفاده از زیست صافی چکنده

عنوان پایان نامه به انگلیسی: Elimination of H₂S from synthetic gas using a biotrickling filter

نوع پروژه: کارشناسی
ارشد ■
کاربردی
بنیادی
دکتر ا
توسعه‌ای
سال تحصیلی: ۸۵-۸۶
نظری

تاریخ شروع: ۸۵/۲/۱ تاریخ خاتمه: ۸۶/۸/۶ تعداد واحد: ۶ سازمان تأمین کننده اعتبار: سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی

واژه‌های کلیدی به فارسی: زیست صافی چکنده، سولفید هیدروژن، سنگ لاوا، تیوباسیلوس تیوپاروس

واژه‌های کلیدی به انگلیسی: Biotrickling filter, Hydrogen sulfide, Lava rock, Thiobacillus thioparus

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر	جدول	نمودار	نقشه	واژه‌نامه	تعداد مراجع	تعداد صفحات ضمیمه
زبان متن	فارسی ■	انگلیسی ■	چکیده	انگلیسی	فارسی ■	انگلیسی ■	۹۹	۱۰۸

یادداشت

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه
استاد: دکتر بابک بنکدارپور،

دانشجو: مسعود تقی نژاد نمینی

امضاء استاد راهنما: تاریخ:

چکیده

سولفید هیدروژن گاز بی‌رنگی است که معمولاً در گازهای پسماند بسیاری از صنایع از قبیل تولید کاغذ، پالایشگاه‌های نفت و گاز، صنایع فرآورش خوراک و صنایع بهسازی آب پسماند یافت می‌شود. این گاز، بوی تخم‌مرغ گندیده داشته و آستانه‌ی بویایی بسیار پایینی دارد. در غلظت‌های بسیار پایین به سلامتی آسیب رسانده و اگر غلظتش از حدی بالاتر رود به شدت کشنده است.

روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف این آلاینده از گازهای پسماند ایجاد شده است. روش‌های بیولوژیکی از نظر اقتصادی و محیط زیستی و بخصوص برای حذف غلظت‌های پایینتر این آلاینده مناسبتر می‌باشند. در سال‌های اخیر، از بین روش‌های مختلف بیولوژیکی، استفاده از زیست‌صافی چکنده بیشترین توجه را به خود جلب کرده است.

در این تحقیق حذف سولفید هیدروژن از فاز گاز در یک زیست‌صافی چکنده با بستر سنگ لاوا مورد بررسی قرار گرفت. این زیست‌صافی چکنده با باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس تثبیت شده و تمام آزمایشات با آرایش جریان ناهمسو انجام گرفت. در ابتدای پروژه، یک زیست‌صافی چکنده طراحی و ساخته شد سپس، روشی برای تثبیت کشت خالص میکروبی بر روی بستر و سازش آن به سولفید هیدروژن بدست آمد.

آزمایشات مختلفی با هدف بررسی مناسب بودن این زیست‌صافی چکنده در حذف سولفید هیدروژن از جریان‌ات گازی انجام شد. این آزمایشها در محدوده‌ای از غلظتها (10 ppm تا 90 ppm)، زمانهای ماند (9 Sec تا 60 Sec) و سرعت‌های متفاوت جریان‌ات چرخشی (0.98 mh^{-1} و 1.95 mh^{-1}) انجام شده و بازدهی و ظرفیت حذف بدست آمد. زیست‌صافی چکنده توانست آلاینده را در غلظت 45 ppm و با زمان ماندی برابر ۲۰ ثانیه به صورت کامل حذف کند و حتی زمانی که غلظت ورودی به 75 ppm افزایش یافت، بازدهی حذفی بالاتر از ۹۶٪ بود. اثر جریان چرخشی بر کارایی زیست‌صافی در غلظت ثابت 55 ppm و با تغییر زمان ماند بدست آمد. افزایش جریان چرخشی بازدهی حذف سولفید هیدروژن را کاهش داد. اثر تغییر غلظت آلاینده در ارتفاعات مختلف ستون بدست آمد. با کاهش زمان ماند، حذف سولفید هیدروژن در زیست‌صافی چکنده تا حدودی یکنواخت‌تر شد ولی اثر تغییر غلظت ورودی سولفید هیدروژن بر حذف آن در طول ستون قابل چشم‌پوشی بود. تقریباً تمام حذف در ۸۵٪ نخست ارتفاع مفید زیست‌صافی انجام شد.

تغییر کارایی زیست‌صافی چکنده بعد از اختلالاتی که در سیستم به وجود آمد مورد بررسی قرار گرفت. اگر چه بازدهی سیستم با بازگشت آن به حالت عادی تا حدی بهبود یافت ولی حتی پس از تلقیح دوباره‌ی زیست‌صافی چکنده بهبود کامل کارایی زیست‌صافی حاصل نشد.

بالا بردن بازدهی زیست‌صافی چکنده با استفاده از پایه‌هایی سنتزی با سطح تماس بالا به جای سنگ لاوا، استفاده از میکروارگانیزمهای دیگری از خانواده‌ی تیوباسیلوس مانند اسیدی‌تیوباسیلوس تیداکسیدانز و یا حتی لجن فعال مناسب، می‌توانند از کارهای آینده در این زمینه باشند. بررسی فراگیری از اثر جریان چرخشی بر بازدهی حذف و اثر بی‌غذایی¹ بر کارایی زیست‌صافی چکنده نیز از مباحثی‌اند که باید برای هر سیستمی به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرند.

واژگان کلیدی: زیست‌صافی چکنده، سولفید هیدروژن، سنگ لاوا، تیوباسیلوس تیوپاروس

¹.Starvation

سپاسگزاری و قدردانی

بدین وسیله از افراد زیر قدردانی می‌شود:

- آقای دکتر حیدریان برای شروع پروژه و کمک و تشویقشان
- آقای دکتر بنکدارپور برای راهنمایی‌های با ارزش و بحث‌های مفید و انتقادی‌اشان
- کارکنان پژوهشکده‌ی بیوتکنولوژی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی که در حین انجام پروژه تا اندازه‌ی توانشان در پیش بردن پروژه کمک کردند. در این میان بخصوص از آقای هوشنگ مرادی برای کمک‌های تکنیکی، آقای مهندس داوود زارع، آقای دکتر مهرداد آذین، آقای دکتر سعید میردامادی و خانم فرزانه سلامی برای کمک‌هایشان در مدت زمان انجام پروژه و خانم دکتر فرزانه محسنی برای تامین میکروارگانیسم و محلول ویتامینی
- از تمام دوستان و همکاران به خصوص آقای مهندس مهدی عمویی، مهندس سید مرتضی ضمیر، مهندس داوود حق‌شناس، مهندس علیرضا سودمند، مهندس فرشید پژوم شریعت، مهندس احسان ایران‌منش، مهندس احسان خویش اردستانی‌زاده، خانم آزاده توفیقی و خانم زهره جعفری به دلیل کمک‌هایشان در سازمان و بحث‌های مفید و تشویقشان در مدت زمان انجام پروژه
- آقای مهندس سیامک فولادی، خانم مهندس لیلی محمدی و بخصوص مهندس هومن رضایی، برای کمک‌های بسیارشان در جمع‌آوری منابع
- آقای علی فرجاه برای کمک‌های میکروبی‌اشان به خصوص در چند ماه نخست پروژه
- آقای دکتر حسن زاده و خانم دکتر امیدیان در کمک برای شناسایی مکان سنگ لاوا و در اختیار گذاشتن آنالیز آن
- پدر، مادر و خواهر عزیزم برای کمک، تشویق و پشتیبانی‌اشان در مدت زمان انجام پایان‌نامه

پیشگفتار

آلودگی هوا یکی از مهمترین نگرانی‌های بشر در جامعه‌ی کنونی می‌باشد. باران‌های اسیدی، اثر گلخانه‌ای، گرم شدن تدریجی زمین و حذف لایه‌ی ازن نمونه‌هایی از مشکلاتی‌اند که بوسیله‌ی آلودگی هوا ایجاد شده و فناوری‌های امروز را به چالش کشیده‌اند. از میان این آلاینده‌ها، مواد بوزا بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند چراکه قبل از باقی گذاشتن هر اثری بوی بدشان واکنش‌های شدیدی را به دنبال داشته است. سولفید هیدروژن یکی از بدبوترین و خطرناکترین مواد بوزا می‌باشد. این آلاینده آستانه‌ی بویایی بسیار پایینی (0.5ppb) داشته، نشانه‌های مسمومیتش در غلظت‌هایی در حدود 50ppm آشکار شده و در غلظت‌های بالاتر از 500ppm به مرگ ناگهانی منجر می‌شود.

روش‌های شیمیایی و زیستی از روشهای معمول مورد استفاده در حذف این آلاینده می‌باشند. روشهای شیمیایی هزینه‌های عملیاتی بالایی داشته، آلودگی ثانویه ایجاد کرده و در بعضی از آنها مواد شیمیایی سمی استفاده می‌شود. زیست‌صافی‌های سنتی با بستر کمپوست چندین دهه است که برای حذف مواد بوزا مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی کاربرد زیست‌صافی چکنده برای حذف سولفید هیدروژن فناوری کمابیش جدیدی می‌باشد که در چند سال اخیر به صورت چشم‌گیری از زیست‌صافی‌های سنتی پیشی گرفته است. در زیست‌صافی‌های سنتی از بسترهای آلی استفاده می‌شود که اگر چه ارزان بوده، قدرت جذب بالایی برای آلاینده داشته و خود جمعیت میکروبی بالایی دارند ولی اشکالات چندی هم دارند. اسید سولفوریک و سولفور محصول اکسایش سولفید هیدروژن می‌باشند. تولید این مواد pH محیط را به شدت پایین آورده و بازدارندگی شدیدی در حذف این آلاینده بوجود می‌آورد. اگر چه روشهای مختلفی در این زیست‌صافیها برای مقابله با این مشکل به وجود آمده ولی اثر مثبت تمام این روشها گذرا بوده و بستر بعد از مدتی ظرفیت بافری خود را از دست می‌دهد. در زیست‌صافی‌های چکنده این مشکل با جریان پیوسته‌ی آب حل شده است. بسترهای زیست‌صافی‌های سنتی عمری در حدود ۲ سال در حذف سولفید هیدروژن دارند، این در حالی است که در استفاده از زیست‌صافی چکنده محدودیت زمانی وجود ندارد. این بسترها افت فشار بالایی دارند ولی بستر زیست‌صافی‌های چکنده در حذف سولفید هیدروژن، به دلیل بالا بودن تخلخل بستر و مقدار کم جمعیت میکروبی حذف کننده‌ی سولفید هیدروژن، افت فشار بسیار پایینی دارد. وجود جریان پیوسته‌ی مایع به زیست‌صافی چکنده این امکان را می‌دهد که رطوبت، دما، pH و خوراک را به راحتی کنترل کرده و از انباشت محصولات واکنش پیشگیری کند.

در ایران از زیست‌صافی‌چکنده در حذف آلاینده‌های گازی استفاده نشده است و حتی مطالعات انجام گرفته با استفاده از زیست‌صافی‌های سنتی نیز محدود می‌باشند. این در حالی است که در کشورهای پیشرفته مطالعات بسیاری در مورد حذف سولفید هیدروژن انجام شده و در مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی، به پیشرفتهای چشمگیری با استفاده از زیست‌صافی‌های سنتی و چکنده دست یافته‌اند.

هدف اصلی از انجام پروژه، ساخت یک زیست‌صافی چکنده و بررسی کارایی آن با بستر مقاوم و ارزانی مانند سنگ لاوا و با کشت خالصی از خانواده‌ی تیوباسیلوس در مقادیر pH خنثی بود. در این تحقیق قرار بود بیشینه‌ی ظرفیت حذف در زمانهای ماند و غلظتهای متفاوت ورودی به دست آمده و رفتار زیست‌صافی به تغییر در این دو پارامتر بررسی شود. بررسی اثر پارامترهای دیگری از قبیل سرعت جریان چرخشی بر روی بازدهی زیست‌صافی چکنده نیز از دیگر هدفهای این پروژه بود.

سنگ لاوا مساحت سطح بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. بستر سنگ لاوا تخلخل قابل قبول و عمر متوسط بالایی داشته، در طبیعت فراوان است و میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با بسیاری از پایه‌های سنتزی بر روی سنگ لاوا بهتر تثبیت می‌شوند. این دلایل باعث شدند که از سنگ لاوا به عنوان پایه‌ی مورد استفاده در زیست‌صافی چکنده‌ی کنونی استفاده شود.

باکتریهای خودپرور به دلیل نیازهای غذایی ساده‌اشان گزینه‌ی خوبی برای استفاده در زیست-صافیها می‌باشند. در استفاده از این میکروارگانیسم‌ها ضخامت بیوفیلم تشکیل شده بر روی پرکن‌ها به مراتب کمتر از مقداری است که در اثر رشد میکروارگانیسم‌های دگرپرور ایجاد می‌شود. در حذف سولفید هیدروژن با استفاده از باکتری‌های خودپرور، مشکلات رشد بیش از اندازه‌ی بیوفیلم و در نهایت گرفتگی زیست‌صافی وجود نداشته و در نتیجه زمانبندی خاصی برای تعویض پرکن‌های اینگونه زیست-صافیهای چکنده وجود ندارد. خانواده‌ی تیوباسیلوس از مهمترین میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در حذف سولفید هیدروژن می‌باشند. تیوباسیلوس تیوپاروس در مقادیر pH خنثی رشد کرده و سولفید هیدروژن را به عنوان خوراک اصلی خود مصرف می‌کند. استفاده از تجهیزات مقاوم در برابر pH پایین هزینه‌ی اولیه را در مقایسه با کار در pH خنثی بالا می‌برد. به همین دلیل، کار کردن در مقادیر خنثی از pH در صنعت به مقادیر اسیدی آن برتری دارد.

در بخش نخست این پایان نامه پس از اشاره‌ای مختصر به روشهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی حذف سولفید هیدروژن، در مورد عوامل تاثیرگذار بر کارایی زیست‌صافی‌ها بحث شده است.

سپس به میکروبیولوژی زیست‌صافی‌ها پرداخته و پس از بررسی سازوکار حذف سولفید هیدروژن و مصرف تیوسولفات بوسیله‌ی خانواده‌ی تیوباسیلوس، نمونه‌هایی از کارهای پیشین مورد بررسی قرار گرفته است که از باکتری‌های دگرپرور، خودپرور و یا مخلوطی از میکروارگانیسم‌ها بهره برده بودند. در قسمت پایانی از بخش "مروری بر موضوع" نگاهی گذرا به حذف سولفید هیدروژن در ایران انداخته شده است. در بخش "مواد و روشها" بعد از معرفی میکروارگانیسم مربوط و محیطهای مختلف کشت به روش‌های اندازه‌گیری پرداخته و سپس قسمت‌های مختلف زیست‌صافی چکنده را معرفی و به روشهای مختلف تثبیت و سازش اشاره‌ای شده است. در قسمت "نتایج و بحث" نخست به روش اتخاذ شده در تمام مراحل پرداخته شد. سپس اثر تغییر زمان ماند و غلظت آلاینده بر کارایی زیست‌صافی و بیشینه‌ی ظرفیت مورد بررسی قرار گرفت. پس از نگاهی به روند حذف سولفید هیدروژن در ارتفاع زیست‌صافی، اثر جریان چرخشی بر کارایی زیست‌صافی بحث شده و در پایان، واکنش زیست‌صافی چکنده در برابر بروز اختلالاتی در آن و بازگشت تقریبی آن به حالت عادی تا از کار افتادن کامل سیستم بررسی شد.

پیشگفتار

۱	فصل نخست
۱	مروری بر موضوع
۱	۱-۱- آلودگی هوا و ضرورت کنترل آن
۴	۲-۱- روشهای مختلف فیزیکی و شیمیایی حذف سولفید هیدروژن
۴	۱-۲-۱- رقیق کردن
۵	۲-۲-۱- چگالش
۵	۳-۲-۱- اکسایش دمایی
۵	۴-۲-۱- اکسایش کاتالیزوری
۵	۵-۲-۱- شستشو
۶	۶-۲-۱- جذب سطحی
۶	۳-۱- روشهای زیستی حذف سولفید هیدروژن
۷	۱-۳-۱- اصطلاحات علمی
۷	۲-۱-۳-۱- زمان ماند بستر خالی
۸	۳-۱-۳-۱- بار جرمی و سرعت ظاهری
۸	۴-۱-۳-۱- ظرفیت حذف و بازدهی جداسازی
۸	۲-۳-۱- انواع بیوراکتور
۹	۱-۲-۳-۱- زیست صافیهای سنتی
۹	۲-۲-۳-۱- گازشوی بیولوژیک
۱۲	۳-۲-۳-۱- بیوراکتور غشایی
۱۲	۴-۲-۳-۱- زیست صافی چکنده
۱۴	۳-۳-۱- عوامل تاثیرگذار بر کارایی زیست صافیها
۱۴	الف- بستر
۱۶	الف-۱- استفاده از سنگ لاوا به عنوان پرکن در زیست صافیها
۱۹	ب- دما
۲۰	ج- رطوبت
۲۱	د- اثر جریان چرخشی
۲۳	ه- افت فشار
۲۴	و- pH
۲۴	ز- مواد مغذی
۲۶	۴-۳-۱- میکروبیولوژی زیست صافیها

..... ۲۷	۱-۳-۴-۱- بررسی تنوع میکروبی در زیست صافیها
..... ۲۸	۱-۳-۴-۲- باکتریهای دگرپرور در زیست صافیها
..... ۳۰	۱-۳-۴-۳- باکتریهای خودپرور در زیست صافیها
..... ۳۰	الف- انواع و مکانیسمهای مختلف مصرف سولفید هیدروژن و تیوسولفات
..... ۳۵	ب- کارهای انجام گرفته در حذف سولفید هیدروژن بوسیلهی باکتریهای خودپرور
..... ۳۷	۱-۳-۴-۴- مخلوط میکروارگانیسمها در زیست صافیها
..... ۳۷	الف- تحقیقات انجام گرفته در حذف سولفید هیدروژن بوسیلهی مخلوطی از میکروارگانیسمها
..... ۴۰	۱-۴-۴- تحقیقات انجام گرفته در حذف سولفید هیدروژن در ایران

فصل دوم

مواد و روشها

..... ۴۱	۱-۲- میکروارگانیسم و محیط کشت
..... ۴۳	۲-۲- روشهای اندازه گیری
..... ۴۳	۲-۲-۱- اندازه گیری غلظت سولفید هیدروژن
..... ۴۴	۲-۲-۲- اندازه گیری دبی گاز
..... ۴۴	۲-۲-۳- اندازه گیری افت فشار
..... ۴۴	۲-۲-۴- اندازه گیری غلظت تیوسولفات سدیم
..... ۴۴	۲-۲-۴-۱- تهیه محلول ۰/۰۵ مولار ید
..... ۴۵	۲-۲-۴-۲- تهیه محلول ۰/۱ مولار تیوسولفات سدیم ($M_w = 248 \text{ gr / mol}$)
..... ۴۵	۲-۲-۴-۳- تهیه محلول ۰/۱٪ از نشاسته
..... ۴۶	۲-۲-۴-۴- روش کار
..... ۴۷	۲-۲-۵- اندازه گیری غلظت یون سولفات (SO_4^{2-})
..... ۴۷	۲-۲-۵-۱- روش کار
..... ۴۸	۲-۳- زیست صافی چکنده
..... ۵۱	شکل ۵-۲: سنگ لاوای مورد استفاده در زیست صافی چکنده
..... ۵۱	۶-۳- تثبیت و سازش

فصل سوم

نتایج و بحث

..... ۵۴	۳-۱- مراحل تثبیت و سازش
..... ۵۹	۳-۲- اثر تغییر زمان ماند گاز و غلظت آلاینده
..... ۶۷	۳-۳- مقایسه پژوهش کنونی با پژوهشهای سایر محققین

۳-۴- بررسی حذف سولفید هیدروژن در ارتفاع زیست‌صافی چکنده

.....۷۲.....

۳-۵- بررسی اثر جریان چرخشی

.....۷۶.....

۳-۶- واکنش زیست‌صافی چکنده به اختلال در سیستم

.....۷۸.....

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

۴-۱- نتیجه‌گیری

.....۸۳.....

۴-۲- پیشنهادها

.....۸۴.....

فصل پنجم

منابع

.....۸۳.....

.....۸۳.....

فصل نخست

مروری بر موضوع

پژوهش

۱-۱- آلودگی هوا و ضرورت کنترل آن

بیش از صد سال است که دانشمندان از اثرات مخرب آلاینده‌های هوا بر سلامت انسانها آگاهی دارند. ترکیبات تشکیل دهنده‌ی مه دود مانند ترکیبات فرار آلی (VOC)^۱، ترکیبات اثرگذار بر لایه‌ی ازن از قبیل حلال‌های کلردار و ترکیباتی که بوی نامطبوع ایجاد می‌کنند از آلاینده‌های هوا محسوب می‌شوند. به دلیل افزایش سریع آلودگی هوا در چند دهه‌ی اخیر قوانین جدیدی برای کنترل آن تصویب شده است. این قوانین، محققان و صاحبان صنایع را بر آن داشت تا تکنولوژی‌های جدیدی از قبیل جذب سطحی، خاکستر کردن یا شستشو را برای چیره شدن بر آلودگی هوا ایجاد کنند. اما با سخت‌تر شدن قوانین، تکنولوژی‌های کنترل آلودگی نیز هزینه‌های بیشتری را بر صنایع اعمال کردند [1]. هزینه‌های بالا، توسعه دهندگان صنایع را بر آن داشت تا به دنبال روشهای ارزانتری برای کنترل آلودگی هوا باشند.

سولفید هیدروژن در گروه گازهای بدبو دسته‌بندی می‌شود. در بین افرادی که در معرض آلاینده-ها قرار گرفته‌اند، این دسته از گازها شدیدترین واکنش‌ها را در مقایسه با آلاینده‌های دیگر برانگیخته‌اند. بنابراین شگفت‌آور نخواهد بود اگر دریابیم که این گازها جزو اولین آلاینده‌هایی بودند که قوانینی در محدود کردن صدور آنها تصویب شد [۲].

سولفید هیدروژن گاز بی‌رنگی است که به طور معمول در صنایعی مانند تولید رنگ، تولید آب سنگین، پالایش نفت خام، گاز طبیعی، آسفالت، بهسازی آب پسمان، صنایع ماهیگیری و صنعت کاغذ تولید شده و کارگران را در معرض خطر قرار می‌دهد [۳]. خواص فیزیکی و شیمیایی سولفید هیدروژن در جدول ۱-۱ آمده است.

اثرات بالینی سولفید هیدروژن به مقدار و مدت استنشام آن بستگی دارد. قرار گرفتن به مدت طولانی در معرض غلظت کم آن ممکن است به برونشیت مزمن، سردرد و التهاب قرنیه‌ی چشم^۲ بیانجامد [3]. در بالاتر از 50 ppm نشانه‌هایی از قبیل التهاب قرنیه چشم، ریزش اشک و سرفه نمایان می‌شود. در این محدوده‌ی غلظت - که با بوی زنده‌ای از تخم‌مرغ گندیده همراه است - حالت تهوع، استفراغ، اسهال و سردرد پیش می‌آید. بوی تند و زنده، در غلظتهای بالاتر از 100 ppm ، جای خود را به بوی شیرین و مطبوع می‌دهد. با نزدیک شدن غلظت به حدود 150 ppm - که با کاهش و در پی آن از کار افتادن سیستم بویایی همراه است - بوی سولفید هیدروژن به کلی محو می‌شود. به همین دلیل است که کارگران به اشتباه گمان می‌کنند که غلظت در حال کاهش است ولی در واقع در حال افزایش به غلظتهای خطرناک است.

¹ . Volatile Organic Compounds

² . Keratoconjunctivitis

افرادی که در معرض غلظت‌های بالاتر از 150 ppm قرار می‌گیرند ممکن است به عدم تعادل^۱، سرگیجه و تورم مغزی و ریوی دچار شوند. افرادی که در معرض غلظت‌های بالاتر از $500-700 \text{ ppm}$ قرار می‌گیرند ممکن است در عرض چند ثانیه هوشیاری خود را از دست داده و به سرعت به ایست تنفسی، بال بال زدن^۲ و بالاخره ایست قلبی دچار شوند. همین "مرگ ناگهانی"^۳ چندین نفر را به کام مرگ کشیده است که قصد کمک به مصدوم را داشتند [3].

¹ . ataxia

² . asphyxia

³ . rapid knock down

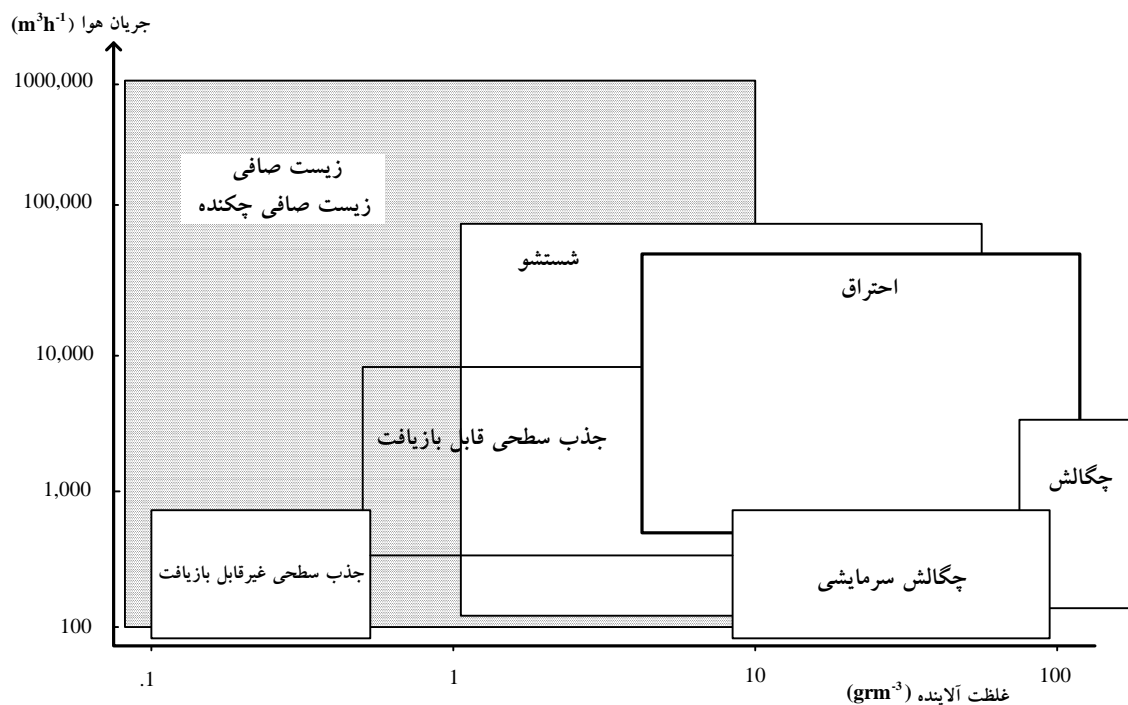
جدول (۱-۱) خواص فیزیکی و شیمیایی سولفید هیدروژن [4]

اطلاعات	خاصیت
۳۴/۰۸	وزن ملکولی
بی رنگ	رنگ
شیرین	مزه
گاز (در شرایط عادی محیطی)	حالت فیزیکی
-۸۵/۴۹ °C	دمای ذوب
-۶۰/۳۳ °C	دمای جوش
۱/۱۹ (هوا=۱/۰۰)	جرم مخصوص در هوا
تخم مرغ گندیده	بو
۰/۰۰۰۵ - ۰/۳ ppm	آستانه بویایی در هوا
۴/۱ gr / lit در ۲۰ °C	حلالیت در آب
محلول در گلیسرول، گازوییل، نفت سفید، دی سولفید کربن و مازوت	حلالهای دیگر
تفکیک اسیدی	
$H_2S(aq) \rightleftharpoons HS^-(aq) + H^+(aq) \quad (1)$	
$HS^-(aq) \rightleftharpoons S^{2-}(aq) + H^+(aq) \quad (2)$	
$pK_a(1) = 7.04 \quad K_{a1} = \frac{[HS^-(aq)][H^+(aq)]}{[H_2S(aq)]}$	
$pK_a(2) = 11.96 \quad K_{a2} = \frac{[S^{2-}(aq)][H^+(aq)]}{[HS^-(aq)]}$	
۶۰۰ atm / mole fraction (۳۰ °C)	ثابت هنری
۲۶۰ °C	نقطه افروزش خود به خود
1 ppm = 1.4 mgm ⁻³	ضرایب تبدیل
پایینی (۰/۴۳)؛ بالایی (۰/۴۵/۵)	حدود انفجار

همانگونه که ملاحظه گردید سولفید هیدروژن علاوه بر بدبو بودن بسیار سمی نیز می باشد. این خود ضرورت حذف آلاینده مورد بحث را نمایان می کند. روشهای مختلف شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی برای حذف این آلاینده موجود است که برای رعایت اختصار در این بخش به مزایا و معایب هر کدام بسنده می شود.

۲-۱- روشهای مختلف فیزیکی و شیمیایی حذف سولفید هیدروژن

برای انتخاب روش مناسب بهتر است که دبی و غلظت آلاینده در نظر گرفته شود (شکل ۱-۱). عوامل مهم دیگری هم هستند که برای انتخاب یک روش مناسب باید مد نظر قرار گیرند. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: دما، محتوی اکسیژن گاز آلوده، ترکیبات موجود در جریان، حلالیت، زمان بندی عملیاتی، تعمیر و نگهداری سیستم انتخاب شده.



شکل (۱-۱). کاربرد فناوریهای مختلف کنترل آلودگی هوا با توجه به غلظت آلاینده و سرعت جریان [5]

۱-۲-۱- رقیق کردن

رقیق‌سازی روشی برای حذف آلاینده نیست. استفاده از این روش بخصوص برای کاهش احتمال خطر انفجار مفید است. از رقیق‌سازی می‌توان به عنوان یک روش در کاهش غلظت آلاینده به سطح قابل قبول در مرحله‌ای بعد از یک روش حذف استفاده کرد [۶].

۱-۲-۲- چگالش

این روش معمولاً برای بهسازی جریاناتی به کار می‌رود که شامل بخار چگال‌پذیر آلاینده و یک گاز غیرقابل چگالش باشند [۶]. این روش فقط برای بخارهای غلیظی از آلاینده توجیه اقتصادی دارد که ارزش بازیافت داشته باشند. اگر گاز پسماند مخلوطی از آلاینده‌ها باشد بازیافت آنها از طریق چگالش عملاً غیرممکن می‌شود. در بیشتر موارد برای به دست آوردن یک خروجی قابل قبول پس از این روش از روشهای دیگر نیز استفاده می‌شود [۱].

۱-۲-۳- اکسایش دمایی

تولید NO_x ، به دلیل دمای بالای واکنش بین نیتروژن هوا و اکسیژن آن، یکی از مهمترین اشکالات این تکنولوژی است. سولفید هیدروژن ملکولی قابل احتراق است که در بالاتر از $1000^\circ C$ می‌سوزد و محصول عمده آن SO_2 است. دیوکسید سولفور یک آلاینده محسوب شده و دلیل اصلی باران اسیدی است [6]. این روش برای غلظت‌های پایین آلاینده‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشد [۶].

۱-۲-۴- اکسایش کاتالیزوری

تولید کمتر NO_x و استفاده‌ی مقادیر کمتری از سوخت، مزیت این روش نسبت به اکسایش دمایی است. طراحی پیچیده‌ی راکتور، قیمت بالا و دوام نسبتاً پایین کاتالیزورها از اشکالات این روش است. برای حذف سولفید هیدروژن باید از کاتالیزورهایی که مخصوص گازهای شامل سولفور می‌باشند استفاده کرد تا از مسمومیت احتمالی کاتالیزور توسط اتمهای سولفور جلوگیری شود [7].

۱-۲-۵- شستشو

سرمایه‌گذاری اولیه پایین، حذف موثر گازهای بدبو، قابلیت کار با جریانهای مرطوب و بالای گازها و توانایی آن در بهسازی جریانهای متغیر از مزیت‌های این روش می‌باشد. هزینه بالای عملیاتی، نیاز به خوراکیهای شیمیایی و لزوم سختی‌گیری آب در اغلب موارد از اشکالات این روش است [1].

۱-۲-۶- جذب سطحی

از مواد مورد استفاده در این روش می‌توان کربن فعال، زئولیت، سیلیکاژل یا آلومین^۱ را نام برد [7]. از نقاط ضعف این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: هزینه بالای عملیاتی، کاهش طول عمر کربن فعال در بهسازی جریان‌های مرطوب و ایجاد آلاینده‌های ثانویه. اما با این روش به خوبی می‌توان ترکیباتی از آلاینده‌ها را با غلظت‌های قابل قبول در زمان ماند پایین حذف کرد [1].

از روش‌های دیگر شیمیایی برای حذف سولفید هیدروژن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ته-نشینی شیمیایی، سیستم‌های غشایی، اکسیداسیون کلری، اکسیداسیون با ازن، اکسیداسیون با پتاسیم پرمنگنات، اکسیداسیون کاتالیزوری با Fe^{3+} ، اکسیداسیون توسط هیدروژن پروکسید و اکسیداسیون با FeO [۶].

۱-۳- روش‌های زیستی حذف سولفید هیدروژن

مدتهاست که از میکروارگانیسم‌ها برای حذف آلاینده‌های آب و جامدات پسماند استفاده می‌شود. اولین گزارشها در استفاده از زیست‌صافی در بهسازی گازهای پسماند به سال ۱۹۵۷ برمی‌گردد که در آن از گودالهای سرباز پر شده با خاک متخلخل استفاده کردند [8]. اگر چه هزینه ساخت این سیستمها بسیار پایین بود و در بیشتر موارد کارایی مناسبی داشتند به مرور زمان با مشکلاتی از قبیل مسدود شدن سیستم پخش هوا، خشک شدن و کانالیزه شدن بستر روبه‌رو می‌شدند. پیشرفت بیشتر که با سخت‌تر شدن قوانین محیطی همراه بود شامل استفاده از پایه‌های موثرتر بود. اگرچه این تغییرات کارایی زیست-صافی‌ها را بهتر کرد اما هنوز مشکلات چندی از قبیل خشک‌شدن، متراکم شدن و اسیدی شدن بستر وجود داشت. از سال ۱۹۸۰ جهان و بخصوص اروپا پیشرفتهای زیادی در این رابطه کرد و از سال ۱۹۸۶ با پیشنهاد اولین الگوسازی ریاضی این تکنولوژی به سمت طراحی مهندسی و پیشرفته گام برداشته شد [۱].

به چه دلیل از بیوراکتورها برای حذف آلاینده‌ها استفاده کنیم؟ اولین و مهمترین دلیل آن هزینه‌ی پایین آن می‌باشد. معمولا هزینه ساخت یک بیوراکتور، برای حذف آلاینده‌ها، کسری از هزینه ساخت یک راکتور است. هزینه‌های عملیاتی آن نیز به مراتب کمتر از روش‌های شیمیایی است. واحدهای حذف دمایی و کاتالیزوری مقادیر متنابهی از سوخت‌های گرانبها را استفاده می‌کنند. این در حالی است که بیوراکتورها

¹. Alumina

انرژی کمی مصرف می‌کنند [9]. در زیست‌صافی‌ها هزینه‌های کنترل فرآیند نیز بسیار پایین است طوری که در یک زیست‌صافی سنتی بررسی افت فشار، رطوبت و pH در بازه‌ی زمانی یک هفته تا یک ماه کافی است [10].

برخلاف روشهای فیزیکی و شیمیایی (سنتی)، فرآیندهای زیستی را فرآیندهای سبز می‌نامند. در حذف سولفید هیدروژن، آب، دی‌اکسیدکربن و اسید سولفوریک از محصولات عمده فرآیندهای زیستی میباشند [9].

۱-۳-۱- اصطلاحات علمی

از آنجایی که در تمام روشهای زیستی اصطلاحات مشترکی وجود دارند، برای راحتی کار تمام این اصطلاحات را قبل از توضیح انواع بیوراکتورها ذکر می‌کنیم:

۱-۳-۱-۲- زمان ماند بستر خالی^۱

زمانی را که هوا در راکتور با فرض خالی بودن آن سپری می‌کند، زمان ماند بستر خالی می‌نامند. از این اصطلاح زیاد استفاده می‌شود، چون اجازه می‌دهد که به آسانی حجم زیست‌صافی به دست آید.

$$EBRT = \frac{V_r}{Q}, \quad (1-1)$$

$EBRT$: زمان ماند بستر خالی (min)

V_r : حجم بستر راکتور (m^3)

Q : نرخ هوای ورودی ($m^3 min^{-1}$)

به جای زمان ماند بستر خالی می‌توان از زمان ماند واقعی استفاده کرد که در آن تخلخل بستر نیز منظور شده است ولی زمان ماند بستر خالی اجازه تخمین حجم بستر را با هر نوع بستری می‌دهد. از این پس برای سادگی به جای عبارت "زمان ماند بستر خالی" از "زمان ماند" استفاده می‌شود.

¹. Empty Bed Residence Time (EBRT)