

# بررسی کارایی زیست صافی<sup>۱</sup> کمپوست<sup>۲</sup> برای حذف گاز سولفید هیدروژن از هوای آلوده

سیدعباس شجاع‌الساداتی\* و عباس سیفی\*\*

گروه بیوتکنولوژی، بخش مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۷۸/۳/۲۵ - دریافت نسخه نهایی ۷۹/۹/۲۷)

**چکیده** - به منظور بررسی کارایی زیست صافی برای حذف گاز  $H_2S$  از هوای آلوده، ابتدا زیست صافی ستونی به ابعاد  $120 \times 14$  cm از جنس پلی‌اکریلیک<sup>۱</sup> شفاف به همراه کلیه تجهیزات کنترل و تولید  $H_2S$  ساخته شد. زیست صافی ساخته شده با صفحه‌های مشبک به چهار قسمت تقسیم شد. این ستون با بستر طبیعی حاوی مخلوطی از کمپوست قارچ و پوسته صدف به نسبت ۱:۴ پر شد. کارایی این زیست صافی به مدت ۴ ماه کار مداوم با سرعت‌های حجمی و غلظت‌های مختلف  $H_2S$  در شرایط دمایی محیط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بازدهی این روش برای غلظت حدود  $150 \text{ ppm}$  گاز سولفید هیدروژن موجود در هوا، دمایی متوسط  $26.9^\circ \text{C}$  و در سرعت‌های حجمی ۶ و  $12 \text{ l/min}$  بر دقیقه بیش از ۹۵ درصد و برای دمایی متوسط  $20.5^\circ \text{C}$  و سرعت‌های حجمی  $19.5$  و  $26 \text{ l/min}$  بر دقیقه و با همان غلظت  $H_2S$  بیش از ۸۵ درصد است. مقدار متوسط سرعت حذف بیشینه ( $V_m$ ) برابر  $0.075 \text{ g S/kg-dry compost.h}$  و متوسط ثابت اشباع ( $K_s$ ) برابر  $32.5 \text{ ppm}$  به دست آمد.

واژگان کلیدی: زیست صافی کمپوست، سولفید هیدروژن، حذف

## The Performance of Compost Biofilter for Hydrogen Sulfide Removal from Contaminated Air

S. A. Shojaosadati and A. Seifi

Biotechnology Group, Chemical Engineering Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

**ABSTRACT**- In order to evaluate the performance of biofilter for  $H_2S$  removal from contaminated air, a  $120 \times 14$  cm column biofilter was constructed using clear polyacrylic material in conjunction with  $H_2S$  production and control systems. The column was divided into four stages using perforated plates. The column was packed with a mixture of mushroom compost and snail shell (4:1).

The performance of biofilter was evaluated during 4 months of operation under various flow rates and  $H_2S$  concentrations in ambient temperature. According to the results, the removal efficiency of  $H_2S$  in polluted air for concentrations of up to  $150 \text{ ppm}$ , average temperature of  $26.9^\circ \text{C}$  and under flow rates of  $6$  and  $12 \text{ l.min}^{-1}$  was more than 95%; the results for average temperature of  $20.5^\circ \text{C}$  and the flow rates of  $19.5$  and  $26 \text{ l.min}^{-1}$  but constant  $H_2S$  concentration was more than 85%. The maximum removal rate ( $V_m$ ) was measured as  $0.075 \text{ g S/kg-dry compost.h}$  and average saturation constant ( $K_s$ ) was  $32.5 \text{ ppm}$ .

**Keywords:** Compost Biofilter, Hydrogen Sulfide, Removal

\*\* - کارشناسی ارشد

\* - استاد

$C_{ge}$ غلظت گاز $H_2S$ در حال تعادل یا خروجی	$R$ سرعت واکنش
$C_{gi}$ غلظت گاز $H_2S$ ورودی	$Re$ بازدهی حذف
$K_s$ ثابت اشباع	$V_m$ سرعت متوسط بیشینه

## ۱- مقدمه

فرایندهای مختلفی برای حذف آلاینده‌های موجود در هوا به کار برده شده است. این فرایندها براساس اصول فیزیکی، شیمیایی و زیستی استوارند. روشهای فیزیکی و شیمیایی شامل فرایندهای جذب، جذب سطحی و اکسیداسیون شیمیایی و گرمایی اند [۳۱]. از جمله مشکلات عمده روشهای غیرزیستی ایجاد آلودگی ثانوی در انجام واکنشهای شیمیایی یا تغلیظ شدن آلاینده است که در مقایسه با صورت اولیه آلاینده مخربترند.

روش حذف آلاینده‌ها با زیست صافی در مقایسه با روشهای فیزیکی و شیمیایی به عنوان فناوری سبز قلمداد می‌شود. اگرچه از این روش از سال ۱۹۲۰ تاکنون به طور پراکنده استفاده می‌شود، ولی در دو دهه گذشته نسبت به استفاده از این روش توجه جدیتری شده است [۲]. از این روش برای حذف طیف وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی می‌توان استفاده کرد. در مقایسه با روشهای فیزیکی و شیمیایی که مواد آلاینده از یک فاز به فاز دیگر منتقل و یا به مواد مضرتری تبدیل می‌شوند، تصفیه زیستی هوا را می‌توان به اکسیداسیون کاتالیستی در دمای پایین تشبیه کرد که نیاز به سوختن و مواد شیمیایی ندارد. مزیت دیگر آن ایمنی این روش است. زیست کاتالیستها (آنزیمهای میکربی) به طور مداوم توسط میکروارگانیسمها تولید می‌شوند و روش زیست صافی هیچ ماده آلوده کننده ثانویه نظیر  $NO_x$  و  $CO$  یا ترکیبات خطرناک تولید نمی‌کند [۲].

روش تصفیه زیستی هوا به سه دسته: گازشوی زیستی، زیست صافی چکنده<sup>۰</sup> و زیست صافی تقسیم می‌شود. روش زیست صافی به لحاظ سادگی و کم هزینه بودن نسبت به سایر

روش زیستی مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند [۳]. در این روش هوای آلوده از میان یک بستر متخلخل فعال زیستی عبور کرده و تحت تأثیر واکنشهای زیستی تصفیه می‌شود. از این روش در ابتدا در اروپا برای حذف بو استفاده شد ولی در سالهای اخیر برای حذف مواد شیمیایی خطرناک خصوصاً ترکیبات آلی تبخیرشونده<sup>۶</sup> (VOC) توسعه یافته است. در روش زیست صافی ترکیبات مزاحم در هوا با عبور از بستر زیستی که میکروارگانیسمها بر روی آنها تثبیت شده‌اند ابتدا از فاز گاز به داخل فاز مایع بر روی ذرات جذب شده و سپس توسط میکروارگانیسمها به دی اکسید کربن، آب و نمکهای معدنی اکسید می‌شوند [۴].

از عوامل مهم در کارایی زیست صافیها نوع مواد به کار برده شده برای تهیه بستر است. در این تحقیق به دنبال نتایج اولیه به دست آمده در تحقیقات قبلی این گروه و سایر محققان [۵-۹]، کارایی زیست صافی ستونی پرشده با مخلوطی از کمپوست قارچ و پوسته صدف در شرایط مختلف بار حجمی و جرمی گاز  $H_2S$  و دمای گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. علت انتخاب  $H_2S$ ، تولید مقادیر زیاد آن در فرایندهای صنعتی نظیر تصفیه نفت، ضایعات کشتارگاهی، تصفیه پسابها، تولید خمیر و کاغذ، صنایع غذایی و تصفیه گاز طبیعی ترش است.

گاز  $H_2S$  بی‌رنگ، کمی سنگینتر از هوا و دارای بوی تخم مرغ فاسد شده است. آستانه بویایی آن ۵ ppb است. تماس با این گاز باعث سردرد، تهوع و سوزش چشم می‌شود تماس با غلظت بالاتر باعث ضعف بیشتر تنفسی، غش و حتی مرگ می‌شود [۶].

## ۲- مواد و روشها

### ۱-۲- زیست صافی

شمای کلی زیست صافی در شکل (۱) آورده شده است. این دستگاه شامل قسمت‌های اصلی: ستون حاوی بستر مناسب، مخزن تهیه گاز  $H_2S$ ، تهیه هوای فشرده، تنظیم کننده رطوبت، کنترل کننده رطوبت و غلظت گاز  $H_2S$  است. هر کدام از این بخشها دارای خصوصیات به شرح زیرند.

#### ۲-۱-۱- ستون

ستون از جنس پلی اکریلیک شفاف با قطر ۱۴ و طول ۱۲۰ سانتیمتر ساخته شده است. این ستون از چهار قسمت تشکیل شده است و هر قسمت با دو صفحه مشبک با فاصله‌ای از فضای خالی از هم جدا شده‌اند. هر کدام از این قسمتها با مخلوطی از بستر مناسب پر می‌شود. در این تحقیق، برای تهیه بستر از مخلوطی از کمپوست قارچ و پوسته صدف به نسبت ۴ به ۱ استفاده شد (از پوسته صدف به منظور افزایش ظرفیت بافری و جلوگیری از چروکیدگی بستر استفاده شد).

#### ۲-۱-۲- تولید گاز $H_2S$

گاز  $H_2S$  از اثر نمک سولفید سدیم ( $Na_2S$ ) بر اسیدفسفریک ( $H_3PO_4$ ) به دست آمد. بدین منظور در مواقع نیاز میزان ۳۵۰ گرم سولفید سدیم را در ۲ لیتر آب سرد حل کرده و به آرامی در کنار ظرف شیشه‌ای حاوی ۴۵۰ گرم اسیدفسفریک در ته مخزن استیل با درب کاملاً مطمئن و بدون هیچ گونه نشی متقل می‌شود. پس از اطمینان کامل از بسته بودن درب مخزن و تمام اتصالات، مخزن را به شدت تکان داده تا اسید فسفریک و نمک سولفید سدیم به خوبی با هم واکنش دهند و گاز  $H_2S$  تولید شود، فشارسنج بر روی مخزن، فشار ۱/۵ بار را نشان خواهد داد.

#### ۲-۱-۳- تولید هوای فشرده

برای تولید هوای فشرده از کمپرسور با ظرفیت مخزن ۱۸۰ لیتر استفاده شد. فشار کاری این کمپرسور ۶ تا ۷/۵ بار است و

به منظور تنظیم فشار در حد مورد نظر از شیر تنظیم کننده استفاده شد. به منظور کنترل دقیق سرعت حجمی هوای ورودی به بستر از یک شیر سوزنی به اندازه  $\frac{1}{8}$  اینچ استفاده شد.

#### ۲-۱-۴- دستگاه رطوبت زن

برای جلوگیری از خشک شدن بستر، هوا قبل از ورود به بستر از یک مخزن برنجی محتوی آب مجهز به گرم‌کن برقی و کنترل کننده دما عبور داده می‌شود.

#### ۲-۱-۵- اندازه‌گیری فشار استاتیک

پنج نقطه در طول بستر برای اندازه‌گیری فشار استاتیک تعبیه شد، لذا با باز کردن شیرهای مربوطه فشار استاتیک به مانومتر آبی منتقل شده و امکان ثبت فشار برحسب میلی لیتر آب فراهم می‌آید. به منظور اندازه‌گیری فشار قبل از شروع آزمایشها بستر زیست صافی در محدوده سرعت حجمی ۶ تا ۲۶ لیتر در دقیقه قرار گرفت. بستر آکنه زیست صافی افت فشار محسوسی را نشان نداد، این امر نشان دهنده مناسب بودن آکنه استفاده شده از نقطه نظر هیدرولیکی است.

#### ۲-۱-۶- کنترل رطوبت و گاز $H_2S$

برای اندازه‌گیری و کنترل رطوبت از دستگاه الکتریکی با آشکارساز<sup>۷</sup> سرامیکی خاص استفاده شد. این دستگاه تحت عنوان اندازه‌گیری کننده رطوبت / دما مدل ۶۲۵ از شرکت تسکو<sup>۸</sup> خریداری شد. محدوده اندازه‌گیری این دستگاه ۵ تا ۹۵ درصد رطوبت در محدوده دمایی صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد است. دقت اندازه‌گیری رطوبت ۳ درصد و برای دما ۰/۴ درجه سانتیگراد است.

کنترل میزان  $H_2S$  در هوای ورودی به بستر با تنظیم سرعت حجمی گاز  $H_2S$  و هوا صورت گرفت. از روش ژاکوب و با تغییرات جزئی برای اندازه‌گیری گاز  $H_2S$  در قسمت‌های مختلف بستر استفاده شد. در این روش ابتدا گاز  $H_2S$  توسط محلول سولفات کادمیم قلیایی جذب و سپس توسط معرف N و



می‌توان سایر پارامترها را مورد ارزیابی قرار داد، این پارامتر به صورت زیر محاسبه می‌شود [۴]

$$Re = \frac{C_{gi} - C_{ge}}{C_{gi}} \times 100$$

$C_{gi}$  = غلظت گاز  $H_2S$  ورودی

$C_{ge}$  = غلظت گاز  $H_2S$  خروجی

شکل‌های (۲) و (۳) تغییرات کارایی زیست صافی را به همراه سایر پارامترها نشان می‌دهد. همان طوری که از شکل (۲) برمی‌آید، تغییر غلظت گاز  $H_2S$  اثر قابل توجهی بر روی کارایی حذف ندارد و در سرعت‌های حجمی ۶ و ۱۲ به طور میانگین میزان حذف گاز  $H_2S$  حدود ۹۵ درصد است. همان طوری که در شکل (۳) نشان داده شده است اثر غلظت گاز  $H_2S$  خصوصاً در زمان اقامت ثابت بر کارایی ستون قابل توجه نیست.

کارایی ستون در ارتفاع‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل (۴) اثر ارتفاع بر کارایی زیست صافی نشان داده شده است. با توجه به این شکل، کارایی زیست صافی در قسمت چهارم افزایش می‌یابد. در قسمت اول کارایی ۲۲/۹ درصد و در قسمت چهارم ۹۵/۵ درصد است. در شکل (۵) اثر بار جرمی<sup>۱۰</sup> (بار جرمی، مقدار  $H_2S$  ورودی را بر واحد حجم بستر بر واحد زمان نشان می‌دهد) بر کارایی حذف آلاینده نشان داده شده است. با توجه به نتایج این آزمایش‌ها با افزایش بار سطحی از ۴۷ به  $77 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  کارایی حذف کاهش پیدا کرده است. در همین شکل تغییرات کارایی حذف به همراه ظرفیت حذف<sup>۱۱</sup> نشان داده شده است (منظور از ظرفیت حذف مقدار ماده حذف شده بر واحد حجم کمپوست بر واحد زمان است) این پارامتر به بار جرمی، زمان اقامت، نوع بستر، نوع آلاینده، شرایط محیطی و به نوع فعالیت مخلوط میکروبی موجود بستگی دارد. در شکل‌های (۶) و (۷) ظرفیت حذف بر حسب بار جرمی ورودی در سرعت‌های حجمی ۶ و ۱۲ لیتر بر دقیقه نشان داده شده است. در شرایط مناسب شیب خط باید برابر یک باشد. چون ظرفیت حذف به بار جرمی، زمان اقامت<sup>۱۲</sup>، نوع بستر، نوع آلاینده، شرایط محیطی و به نوع و فعالیت مخلوط

میکروبی موجود بستگی دارد، لذا ممکن است شیب منحنی به طور دقیق مساوی یک نباشد، خصوصاً زمانی که بار جرمی از محدوده مشخصی تجاوز کند. در زیست صافی موجود همان طوری که ملاحظه می‌شود با افزایش بار جرمی تا ۳۵ گرم گوگرد بر مترمکعب بر ساعت، ظرفیت حذف نیز به خوبی افزایش یافته است. این نتیجه بیانگر آن است که زیست صافی طراحی شده به خوبی پاسخگوی تغییرات غلظت گاز  $H_2S$  در محدوده غلظتی اشاره شده است.

شایان ذکر است که قبل از تلقیح لجن حاوی میکروارگانیسم به بستر با عبور هوای آلوده با گاز  $H_2S$  جذب غیرزیستی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که بعد از گذشت چند روز میزان جذب غیرزیستی به صفر می‌رسد، شکل (۸).

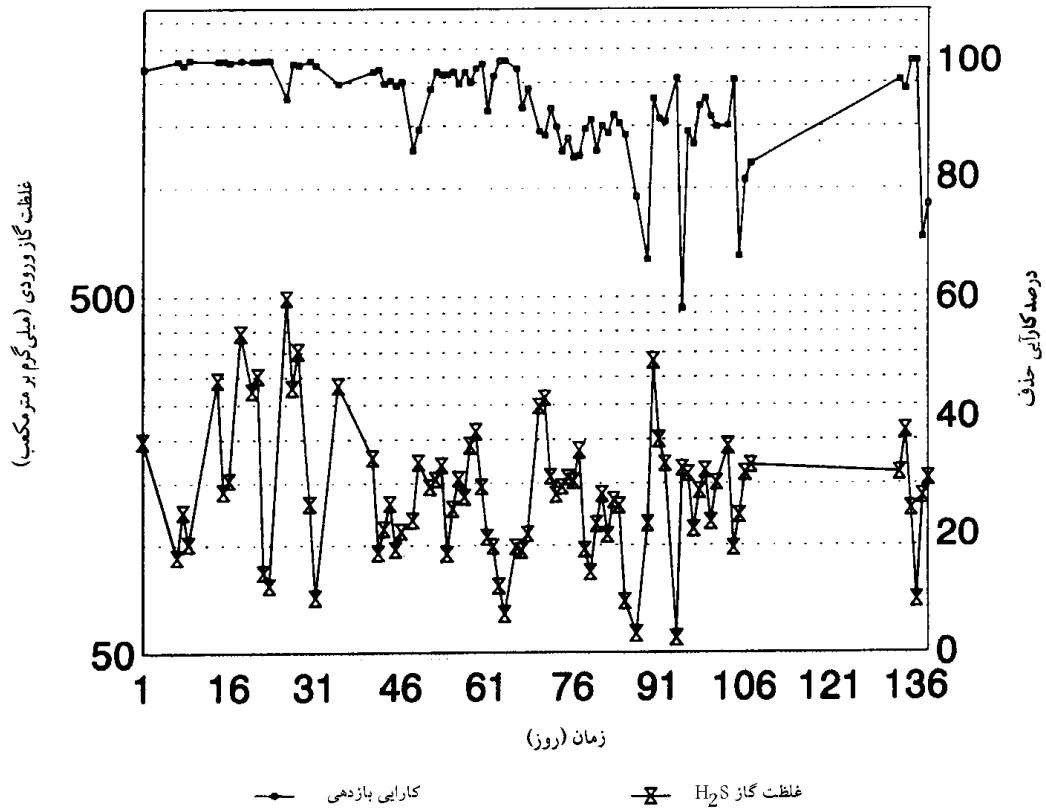
### ۳-۲- سینتیک واکنش

برای بررسی سینتیک حذف آلودگی توسط بستر از رابطه میکائیلیس متن<sup>۱۳</sup> استفاده شد. در اینجا جریان در بستر به صورت قالبی<sup>۱۴</sup> فرض می‌شود [۶-۸]. مطابق معادله زیر با رسم  $\frac{1}{R}$  در مقابل  $\frac{1}{C_{ln}}$  ثابتهای  $V_m$  (سرعت حذف بیشینه) و  $K_s$  (ثابت اشباع) به ترتیب برابر با  $h \times \text{کمپوست خشک}$  و  $0.075 \text{ g S/kg}$  و  $32.5 \text{ ppm}$  به دست آمد.

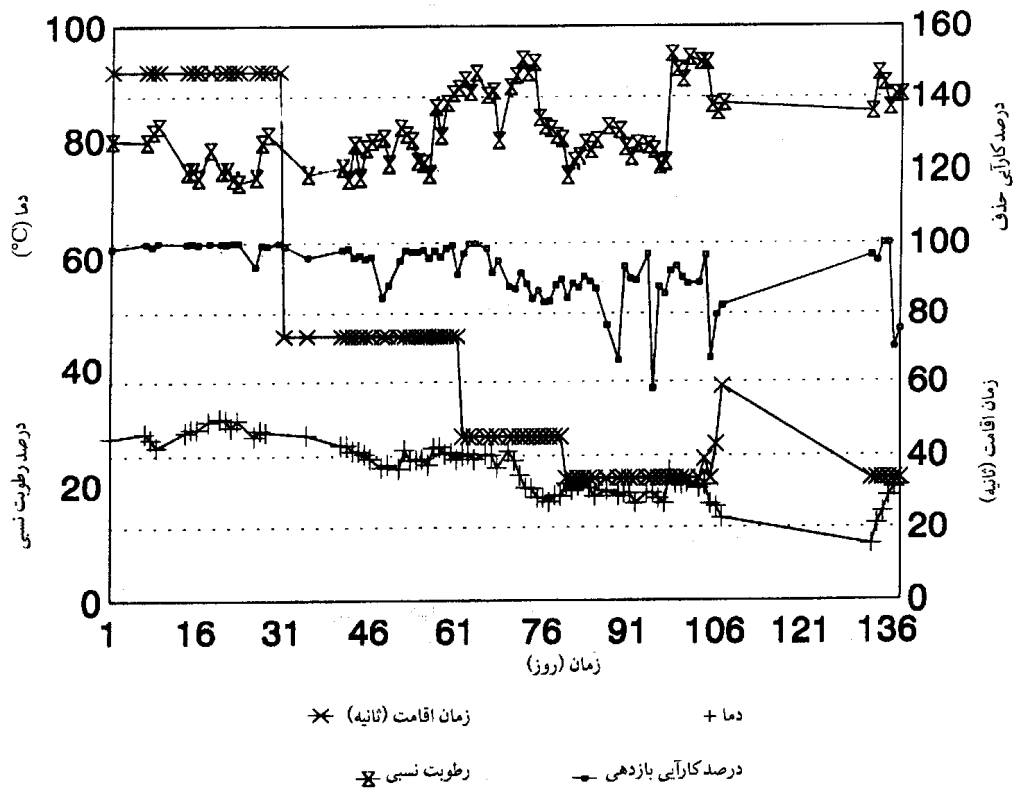
$$\frac{1}{R} = \frac{K_s}{V_m} \cdot \frac{1}{C_{ln}} + \frac{1}{V_m}, \quad C_{ln} = \frac{C_{gi} - C_{ge}}{\ln(C_{gi}/C_{ge})}$$

ثابت‌های  $V_m$  و  $K_s$  به دست آمده از این آزمایش با نتایج به دست آمده توسط شودا و همکارانش [۱۱] با کشت خالص تایوباسیلوس<sup>۱۵</sup> نزدیک است، این امر نشان دهنده آن است که احتمالاً در بستر این زیست صافی نیز تایوباسیلوس، میکروارگانیسم غالب است.

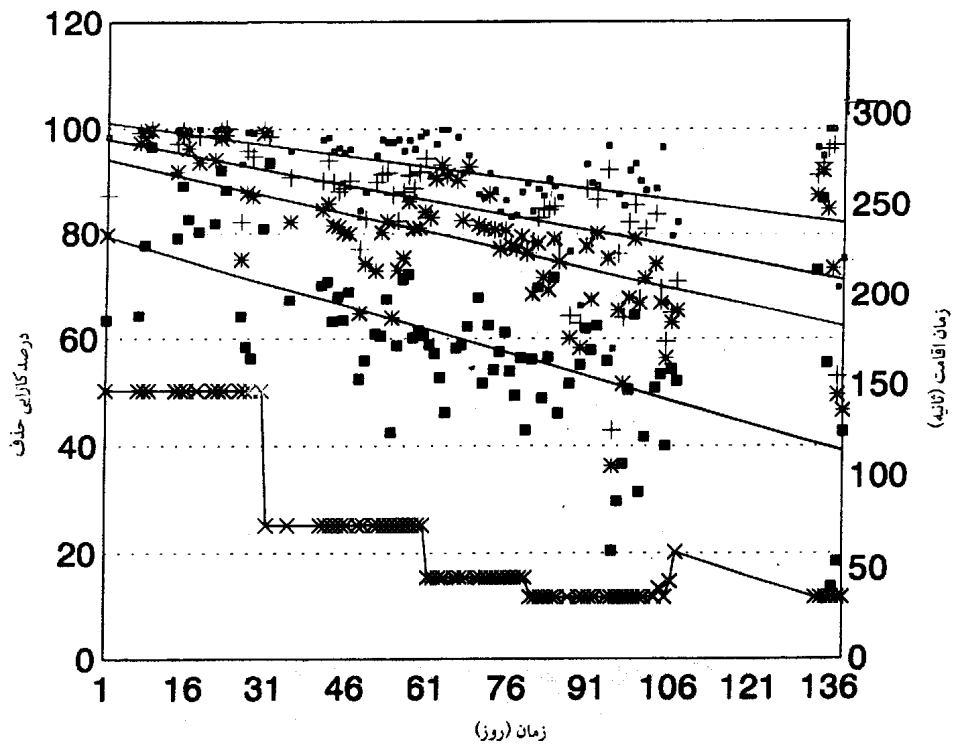
با بررسی نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که واکنش حذف از مدل او تنگراف [۱۲ و ۱۳] تبعیت می‌کند، لذا با تحقیقات بیشتر می‌توان راجع به سینتیک دقیق واکنش اطلاعات دقیق و باارزشی را در آینده ارائه داد.



شکل ۲- نمودار کارایی بازدهی و غلظت گاز  $H_2S$  ورودی بر حسب زمان

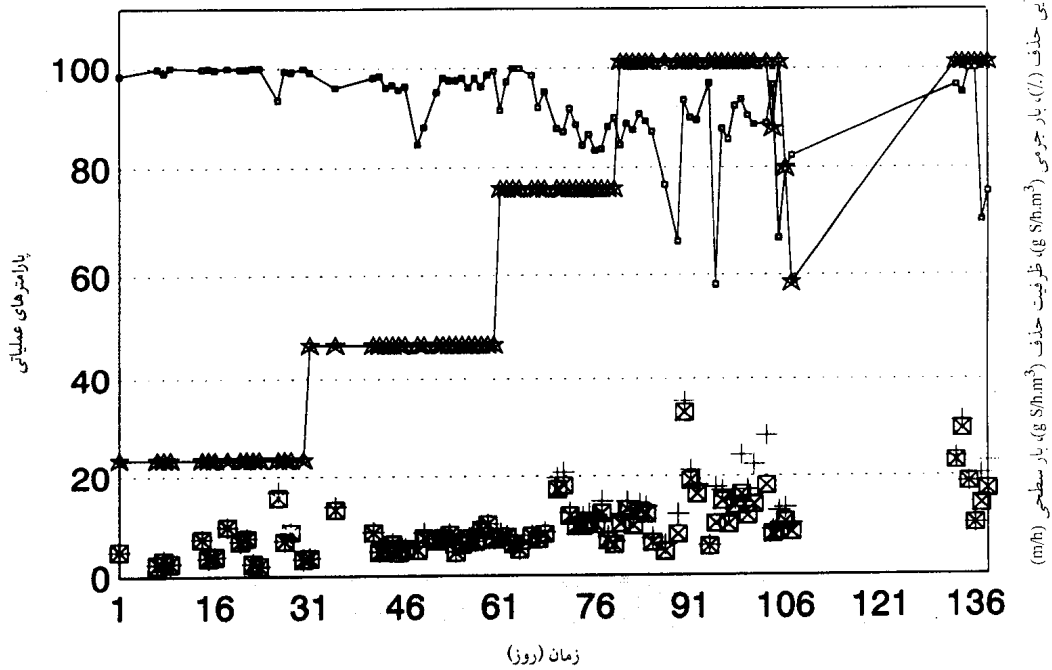


شکل ۳- نمودار تغییرات کارایی بازدهی، زمان اقامت، دمای متوسط و رطوبت نسبی متوسط بر حسب زمان

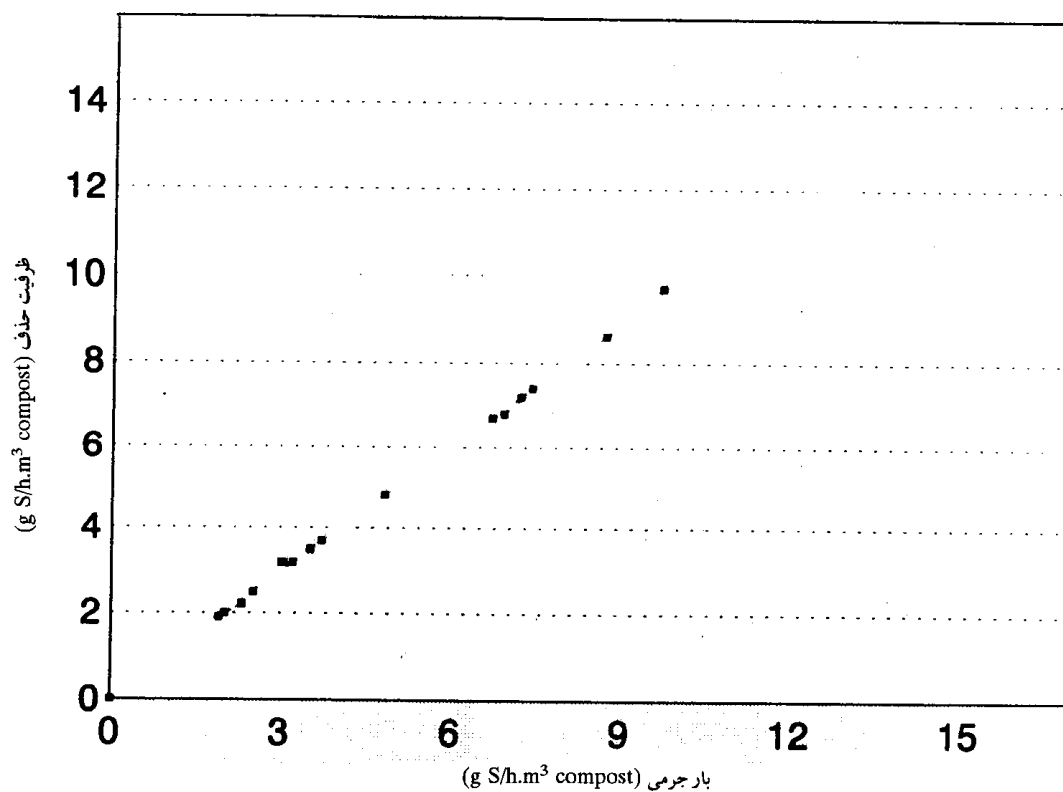


\* - قسمت دوم = ۴۷/۸  
 - - - - - قسمت چهارم = ۹۵/۵  
 ■ - قسمت اول = ۲۲/۹  
 ✕ - زمان اقامت

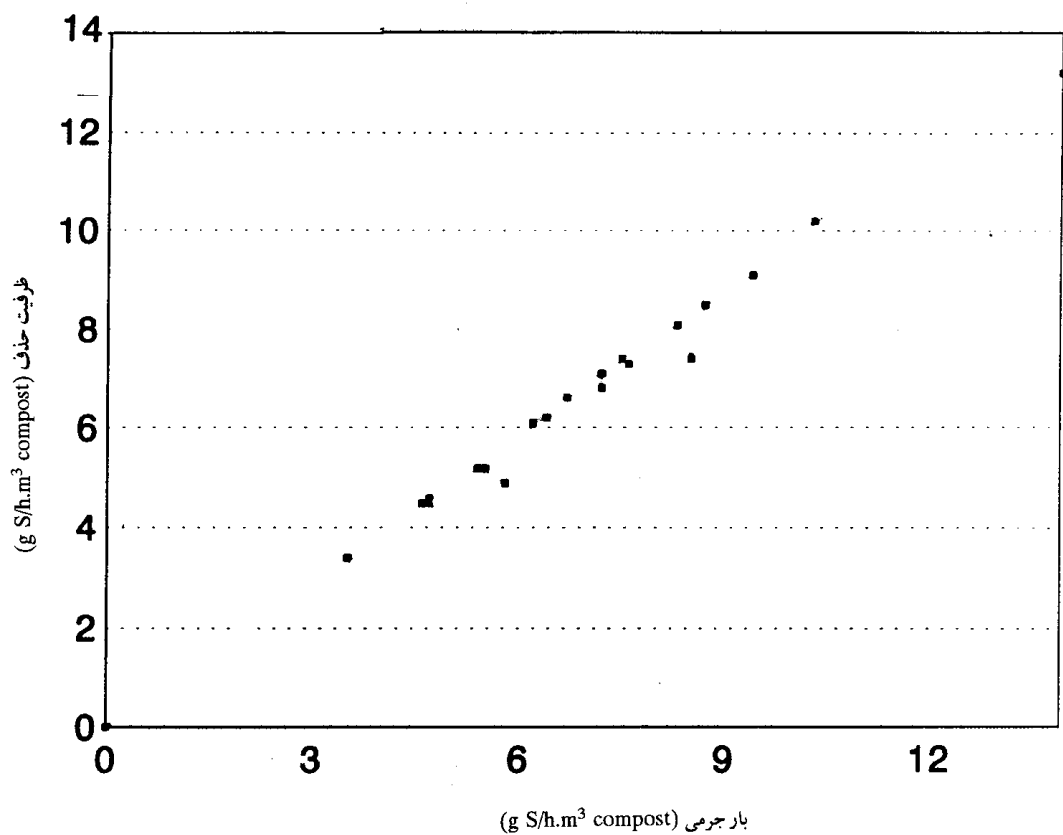
شکل ۴- نمودار تغییرات راندمان حذف در ارتفاعهای مختلف زیست صافی بر حسب زمان



شکل ۵- نمودار تغییرات پارامترهای عملیاتی بر حسب زمان

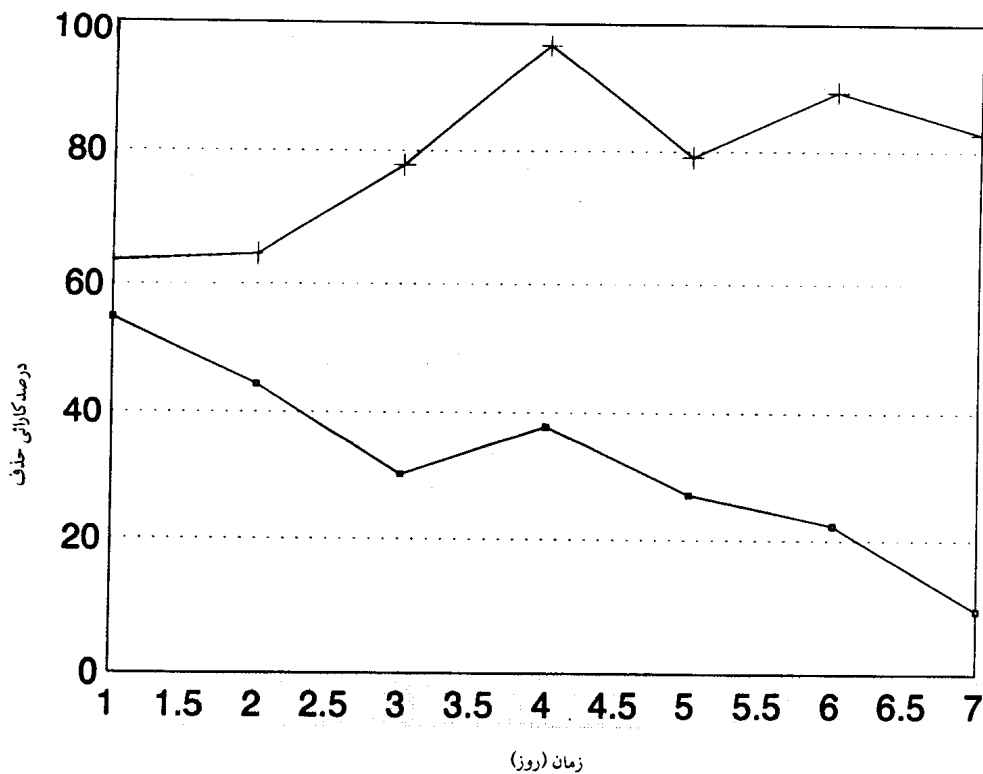


شکل ۶- نمودار تغییرات ظرفیت حذف زیست صافی بر حسب بار جرمی × سرعت حجمی 6 l/min



شکل ۷- نمودار تغییرات ظرفیت حذف زیست صافی بر حسب بار جرمی، سرعت حجمی 12 l/min





شکل ۸- کارایی حذف بستر فعال و غیرفعال بر حسب زمان

### ۳-۳- تغییرات pH

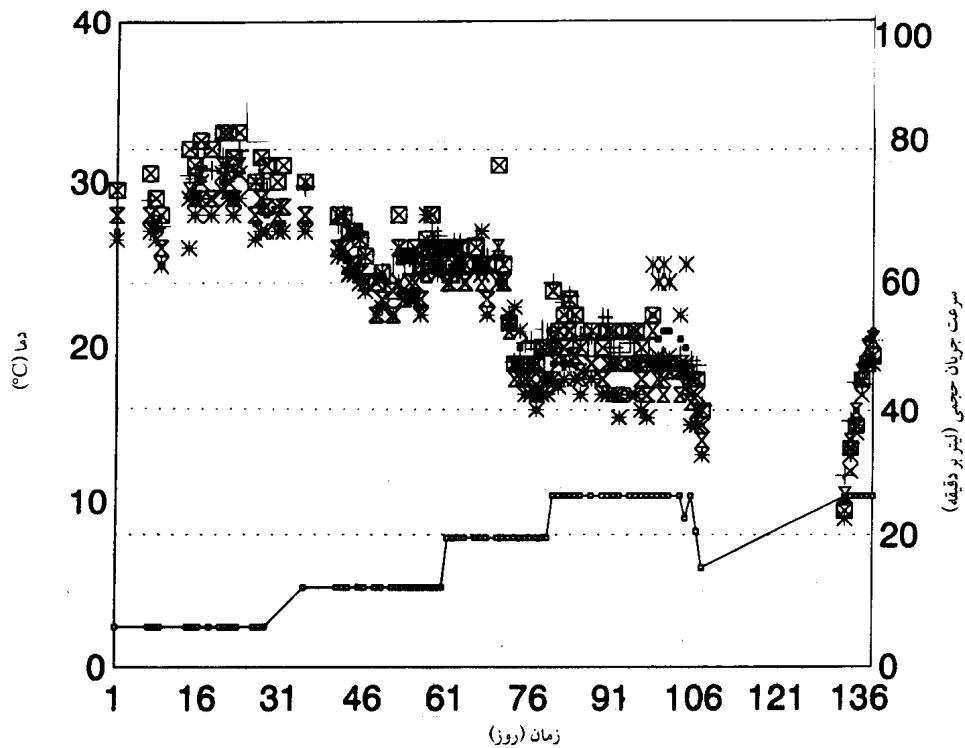
pH متوسط بستر در طی آزمایش از ۷/۲ به ۵/۱ کاهش پیدا کرد. این کاهش pH باعث کاهش راندمان زیست صافی می‌شود. برای تنظیم pH در روزهای ۹۶ و ۱۰۲ به بستر آب آهک (۱۰ درصد) افزوده شد.

### ۴-۳- دما

شکل (۹) دمای قسمتهای مختلف زیست صافی را در طی آزمایشها نشان می‌دهد. مطابق این نمودار دمای خروجی بیوفیلتر در اکثر موارد بالاتر است. این امر نشان دهنده گرمای حاصل از واکنشهای زیستی در بستر است. در شکل (۱۰) رطوبت نسبی بستر نشان داده شده است. رطوبت قسمت پایین بستر در اغلب موارد بیشتر از رطوبت قسمتهای بالاتر است، این موضوع به علت بالا رفتن دما بر اثر واکنشهای زیستی از پایین به سمت بالای بستر است.

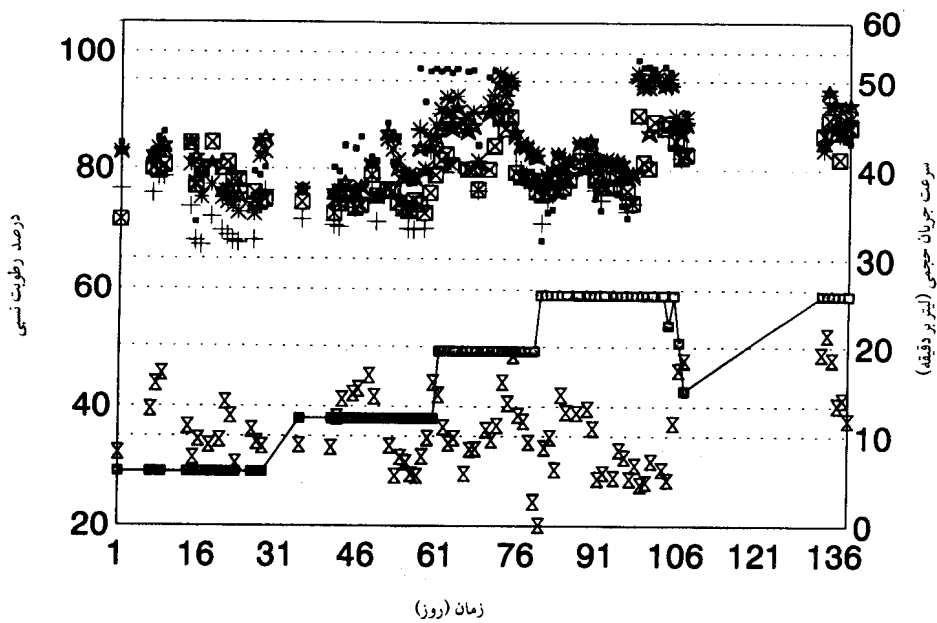
### ۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از آزمایشهای مختلف این زیست صافی نشان دهنده توانایی این روش برای حذف گاز  $H_2S$  از هوای آلوده است. این بستر در محدوده دمای مورد آزمایش یعنی ۹ تا  $30^{\circ}C$  (دمای محیط آزمایشگاه) و رطوبت نسبی ۷۵ تا ۹۵ درصد، بازدهی مناسبی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که پس از ۱۰۷ روز کاهش pH و کلوخه شدن بستر دو عامل اصلی در کاهش بازدهی‌اند. لذا در روز ۹۶ برای جلوگیری از کاهش بازدهی به بستر آب آهک اضافه شد. این زیست صافی در محدوده غلظت ۷۰ تا ۳۰۰ ppm گاز  $H_2S$  و سرعت حجمی تا ۱۲ لیتر بر دقیقه، بازدهی ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت حجمی به میزان بیش از دو برابر (۲۶ لیتر در دقیقه) و تحت همان شرایط، بازدهی به حدود ۸۵ درصد کاهش می‌یابد.



دمای قسمت اول ■ دمای گاز ورودی \* دمای هوا +  
 دمای قسمت دوم X دمای قسمت سوم Σ دمای خروجی ⊠

شکل ۹- نمودار تغییرات سرعت حجمی و دما برحسب زمان



رطوبت نسبی قسمت اول + رطوبت نسبی گاز ورودی ■ رطوبت نسبی هوا x  
 رطوبت نسبی قسمت دوم \* رطوبت نسبی قسمت سوم Σ رطوبت نسبی خروجی ⊠  
 رطوبت نسبی گاز ورودی \* رطوبت نسبی قسمت سوم Σ رطوبت نسبی خروجی ⊠  
 سرعت جریان حجمی - رطوبت نسبی قسمت دوم \*

شکل ۱۰- نمودار تغییرات رطوبت و سرعت حجمی برحسب زمان

## قدردانی

تربیت مدرس که هزینه اجرای تحقیق را به عهده داشته‌اند  
تشکر و قدردانی می‌شود.

از آقای مهندس سیامک الیاسی که در ساخت زیست صافی  
همکاری داشته‌اند و شورای پژوهش علمی کشور و دانشگاه

## واژه نامه

- |                       |                                    |                         |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1. biofilter          | 6. volatile organic compound (VOC) | 11. removal capacity    |
| 2. compost            | 7. detector                        | 12. residence time      |
| 3. polyacrylic        | 8. Tesco                           | 13. Michaelis-Menten    |
| 4. bioscruber         | 9. removal efficiency              | 14. plug                |
| 5. tricking biofilter | 10. mass loading                   | 15. <i>Thiobacillus</i> |

## مراجع

- Gerrard, A. M., "Economic Design of Biofilter Systems," *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, Vol. 68, pp. 377-380, 1997.
- Bohen, H. L., "Biofilter Media," *Proc., Air & Waste Mgmt. Assn.*, 89th Anna. Meeting Exhibition, 1996.
- Kennes, C., and Thalasso, F., "Waste Gas Biotreatment Technology," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, Vol. 72, pp. 303-319, 1998.
- Swanson, W. J., Loehr, R. C., and Fellow, "Biofiltration: Fundamentals, Design and Operations Principles and Applications," *J. Environ. Energy*, Vol. 123, No. 6, pp. 538-545, 1997.
- Shojaosadati, S. A., and Elyasi, C., "Removal of Hydrogen Sulfide by the Compost Biofilter with Sludge of Leather Industry," *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 27, No. 3, pp. 139-144, 1999.
- Cho, K. S., Hiral, M., and Shoda, M., "Enhanced Removability of Odorous Sulfur-Containing Gases by Mixed Cultures of Purified Bacteria from Peat Biofilters," *J. Ferment. Bioenergy*, Vol. 73, No. 3, pp. 219-224, 1992.
- Chung, Y. C., Huang, C., and Tseng, C. P., "Removal of Hydrogen Sulfide by Immobilized *Thiobacillus* sp. Strain CH11 in a Biofilter," *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, Vol. 69, pp. 58-62, 1997.
- Clark, R. C., and Wnorowski, A. V., "Biofilters for Sewer Pump Station Vents: Influence of Matrix Formulations on the Capacity and Efficiency of Odorant Removal by an Experimental Biofilter," In: *Biotechniques for Air Pollution Abatement and Odour Control Policies*, Eds: Dragt, A. J., and Van Ham, F. J., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 183-186, 1992.
- Allen, E. R., and Yang, Y., "Biofiltration Control of Hydrogen Sulfide Emissions," *Proc., Air & Waste Mgmt. Assn.*, 64th Anna. Meeting & Exhibition, 1991.
- Jacobs, M. B., Braverman, M. M., and Hocheiser, S., "Ultramicrodetermination of Sulfids in Air," *Anal. Chem.*, Vol. 29, No. 9, pp. 1349-1351, 1957.
- Cho, K. S., Hiral, M., and Shoda, M., "Enhanced Removal Efficiency of Malodorous Gases in a Pilot-Scale Peat Biofilter Inoculated with *Thiobacillus Thioparus* DW44," *J. Ferment. Bioenergy*, Vol. 73, No. 1, pp. 46-50m, 1992.
- Ottengraf, S. P. P., Exhaust Gas Purification, In: *Biotechnology*, 8th Eds: Rehm, H. J., Reed, G., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, The Netherlands, pp. 427-452, 1986.
- Ottengraf, S. P. P., and Disk, R. M. M., Process Technology of Biotechniques, In: *Biotechniques for Air Pollution Abatement and odour Control Policies*, Eds: Dragt, A. J., Van Ham, F. J., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 17-31, 1992.