پژوهنده (مجله پژوهشي دانشگاه علوم پزشكي شهيد بهشتي)
سال سيزدهم, شماره ۵ , پي در پي ۶۵ ، صفحات ۴۰۵ تا ۴۱۵
آذر و دی ۱۳۸۷

تاريخ دريافت مقاله ۸۶/۵/۳۰
تاريخ پذيرش مقاله ۸۷/۵/۱

بررسي تأثير مواد پركننده در ستون‌هاي بيوفيلتري بر سولفيد هيدروژن هوا

دكتر محمد رضا مسعودي نژاد[۱] *، مصطفي ليلي[۲]، امير اديب زاده [۳]، مجتبي خطيبي [۴]

چكيده

سابقه و هدف: *سولفيد هيدروژن گازي است بي رنگ، سمي و قابل اشتعال. اين گاز هم به صورت طبيعي و هم مصنوعي در طبيعت يافت مي شود كه هر دو شكل باعث وارد شدن صدمه و خسارت به اكوسيستم و اموال مي گردد. روش‌هاي سنتي حذف اين گاز شامل حذف از طريق هوا دهي، تركيب و اكسيداسيون است. در اين مطالعه باتوجه به مزاياي روش حذف بيولوژيكي، كارآيي روش بيوفيلتراسيون با بسترهاي مختلف مورد بررسي قرار گرفت.*

مواد و روش ها: *در اين تحقيق، از ۴ عدد ستون پلكسي گلاس كه ارتفاع و قطر هركدام به ترتيب ۴۰ و ۱۵ سانتي متر بود، استفاده گرديد. هركدام از ستون‌ها تا ارتفاع ۲۷/۵ سانتيمتر به ترتيب با بسترهاي گوش‌ماهي ، كمپوست و كربن فعال پر شدند. گاز توليدي پس از اندازه‌گيري به ستون‌ها تزريق شد. خروجي گاز از هر ستون اندازه‌گيري گرديد.*

يافته ها: *پس از پر شدن ستون‌ها با مواد پركننده، به مدت ۱۰ هفته با دبي‌ها و غلظت‌هاي مختلف گاز هيدروژن سولفوره مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. پس از اين كه بسترها به حالت پايدار رسيد، راندمان آن ها در حذف H_2S اندازه‌گيري شد، بستر كربن فعال بيش ترين راندمان (۱۰۰%) را داشته و بسترهاي گوش‌ماهي و كمپوست به ترتيب با راندمان‌هاي ۹۰-۸۸ و ۹۰-۸۰ درصد، در مقام دوم و سوم اهميت قرار گرفتند.*

نتيجه گيري: *براساس نتايج به دست آمده، مشخص شد كه سيستم بيولوژيكي با استفاده از باكتري تيوباسيلوس تيوپاروس راندمان قابل قبولي در حذف H_2S نشان داده و محصولات توليدي آن نيز آلودگي كم تري دارد. از طرفي، روش‌هايي كه پيش تر مورد استفاده قرار مي‌گرفته اند هزينه‌هاي بيش تري از روش‌هاي بيولوژيكي دارند. بنابراين باتوجه به موارد ذكر شده، استفاده از سيستم‌هاي بيولوژيكي سازگار با محيط زيست به منظور حذف آلاينده‌هاي گازي خروجي از صنايع توصيه مي‌گردد.*

واژگان كليدي: *بيوفيلتر ، سولفيد هيدروژن ، ماده‌ي پركننده ، تيو باسيلوس تيوپاروس*

مقدمه

سولفيد هيدروژن (H_2S) گازي است اشتعال پذير و بي رنگ كه بويي شبيه بوي تخم مرغ گنديده دارد. معمولاً تحت عنوان اسيدهيدروسولفوريک، گاز فاضلاب با بوي نمناک متعفن نيز شناخته مي‌شود. بوي آن در سطوح پايين نيز احساس مي‌شود. تماس تنفسي با آن مي‌تواند باعث سردرد و خستگي شود. سولفيد هيدروژن به صورت طبيعي در نفت خام، گاز طبيعي، گازهاي آلي و چشمه‌هاي آب گرم وجود دارد. هم چنين مي‌تواند در نتيجه تجزيه ي مواد آلي توسط باكتري‌ها توليد شود (۱).

مقادير قابل توجهي از سولفيد هيدروژن در فرآيندهاي صنعتي مثل پالايشگاه‌هاي نفت، تصفيه خانه‌هاي فاضلاب، فرآوري مواد غذايي، ساخت خميرچوب، كاغذ و پالايش

۱ * . نويسنده مسؤول : دانشيار ، گروه بهداشت محيط ، دانشكده بهداشت ، دانشگاه علوم پزشكي شهيد بهشتي . آدرس براي مكاتبه: تهران، اوين ، بلوار دانشجو ، دانشگاه شهيد بهشتي ، دانشكده بهداشت . تلفن: ۱- ۲۲۴۳۲۰۴۰ . دورنما: ۲۲۴۳۲۰۳۶ . پست الكترونيک: massoudi @ sbmu.ac.ir
۲ . دانشجوي كارشناسي ارشد ، گروه بهداشت محيط ، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات علوم ، دانشگاه علوم پزشكي تهران
۳ . كارشناس بهداشت محيط ، مركز تحقيقات بهداشت نظامي ، دانشگاه علوم پزشكي بقيه الله
٤ . كارشناس ، گروه بهداشت محيط ، دانشكده بهداشت ، دانشگاه علوم پزشكي شهيد بهشتي

سوخت توليد مي‌شود (۲). ضرورت كنترل آلاينده‌هاي هوا در بسياري از مقررات كنترل آلاينده‌هاي هواي محيطي به صورت ناحيه‌اي، ملي و بين‌المللي به وضوح بيان شده و هدف همگي آن ها، حفظ كيفيت هوا به صورت مطلوب است. از اوايل قرن بيستم، فرآيندهاي تصفيه ي بيولوژيكي، كاربردهاي گسترده‌اي در كنترل آلودگي ناشي از مواد زايد جامد و فاضلاب داشته‌اند (۳) و نياز به فن‌آوري‌هاي كم هزينه تصفيه ي گازهاي زايد منجر به رشد روز افزون دانش فني تصفيه توسط روش بيوفيلتراسيون گرديد(۳و۴).

بيوفيلتراسيون، فرآيندي است كه در آن ميكروارگانيسم‌ها را بر روي يک بستر متخلخل رشد مي‌دهند. بستر استفاده شده به صورت يک نگه دارنده عمل كرده و در برخي موارد، مواد مغذي مورد نياز رشد را نيز فراهم مي‌كند (۵). گاز آلاينده از بستر فيلتر عبور و مواد پركننده ي بستر تركيبات فرار قابل تجزيه را جذب كرده و ميكروارگانيسم‌هاي موجود در آن اين تركيبات را به تركيبات كم خطرتر تبديل مي‌كنند (۶).

اكسيداسيون سولفيدها به سولفيت‌ها مي‌تواند به عنوان منبع انرژي براي برخي از ميكروارگانيسم‌ها مورد استفاده قرار گيرد كه اين باكتري‌ها از مواد كربنه موجود در بسترطبيعي به عنوان منبع كربن جهت سوخت و ساز سلولي استفاده مي‌كنند (۷و۸). گروه ديگري از باكتري‌ها نظير تيوباسيلوس تيوپاروس قادرند به منظور تأمين كربن مورد نياز جهت فعاليت‌هاي متابوليك خود از گاز كربنيك موجود در جريان هواي عبوري از بستر بيوفيلتر استفاده نمايند. براي حذف سولفيد هيدروژن در سيستم‌هاي بيولوژيكي، واكنش‌هاي كلي زير اتفاق افتاده و اكسيداسيون، منبع انرژي را براي سلول‌ها فراهم مي آورد و تركيبات بي بو و كم خطر را توليد مي‌كند (۹و۱۰):

$$2HS^- + O_2 \rightarrow 2S^0 + 2OH^-$$
$$2S^0 + 3O_2 + 2OH^- \rightarrow 2SO_4^{-2} + 2H^+$$
$$H_2S + 2O_2 \rightarrow SO_4^{-2} + 2H^+$$
$$H_2S + CO_2 + nutrients + O_2 \rightarrow Cells + S\ and/or\ SO_4^{-2} + H_2O$$

طي مطالعه‌اي توسط Hartikainen و همكاران در سال ۲۰۰۱، حذف توأم H_2S و CS_2 با بيوفيلتر با بستر زغال سنگ تلقيح شده با باكتري تيوباسيلوس مورد بررسي قرارگرفت. در اين مطالعه، راندمان حذف در بسترخالي (EBRT) با زمان ماند بيش از ۶۰ ثانيه برابر ۹۹% گزارش گرديد (۹). بر اساس مطالعات ديگري كه توسط Morgan و همكاران در سال ۲۰۰۳ انجام گرفت، از بستر كمپوست براي حذف سولفيد هيدروژن در بيوفيلتر استفاده شده كه طي ۲۰۶ روز بهره برداري به شكل سنتي راندمان ۹۰ درصد حاصل شد ولي با اختلاط محتواي موجود در بستر، راندمان به ۱۰۰ درصد افزايش يافت كه علت آن به تغييرات رطوبت بستر، تغييرات مساحت سطح ويژه ي بستر و افزايش سطح تماس ميكروارگانيسم ها با جريان عبوري گاز آلاينده نسبت داده شد (۱۱). در مطالعه ديگري توسط Park و همكاران در سال ۲۰۰۱ نيز از بيوفيلتري با بستر سراميكي براي حذف گازهاي بدبوي H_2S و NH_3 ناشي از كارخانجات توليد كمپوست استفاده شد. در اين تحقيق راندمان ۹۵ درصد براي حذف اين گازها به دست آمد (۵ و۱۲).

باتوجه به تمايل محققين در استفاده از سيستم‌هاي بيولوژيكي در تصفيه هواي آلوده، در اين مطالعه سعي شده است تا كارآيي بيوفيلتر با بسترهاي مختلف مورد بررسي قرارگرفته و خصوصيات هريک به طور جداگانه بيان گردد تا بتوان با توجه به شرايط مختلف محيطي، بهترين بستر با بالاترين راندمان وكم ترين هزينه اقتصادي در طراحي يک پروژه را ارزيابي نمود.

مواد و روش ها

چهار ستون از جنس پلكسي گلاس با ارتفاع و قطر به ترتيب ۴۰ و ۱۵ سانتي متر ساخته شد (۲). انتهاي هركدام از ستون‌ها، صفحة سوراخ داري قرار گرفت تا جريان گاز بتواند به صورت همگن و بدون ايجاد افت فشار از آن عبور كند. اين ستون‌ها به صورت سري بر روي يک ديگر

قرار گرفتند. در داخل هريک ازستون‌ها تا ارتفاع ۲۷/۵ سانتي متر، بسترهاي مورد نظر (گوش‌ماهي با درجه تخلخل ۶۳ درصد حاوي باکتري تيوباسيلوس تيوپاروس، کمپوست و کربن‌فعال با درجه تخلخل به ترتيب ۷۵ و ۵۴ درصد) قرار گرفتند (۸و۱۱و۱۲). در بالاي هرکدام از ستون‌ها، لوله‌هايي براي آب پاشي بسترها تعبيه شد تا در مواقع لازم با آب‌پاشي، رطوبت بستر در حد بهينه حفظ گردد (۱۳). در قسمت پايين و بالاي هريک از ستون‌ها، سوراخ‌هايي براي تزريق جريان هواي حاوي گاز آلاينده، قرائت غلظت H_2S خروجي و نيز تزريق مواد مغذي براي ميکروارگانيسم‌ها تعبيه شد. براي عبور دادن گاز آلاينده از ستون‌ها از يک کمپرسور هواي فشرده با فشار کار ۸-۶ بار و ظرفيت ۱۵۰ ليتر هواي فشرده استفاده گرديد. براي حذف ناخالصي‌هاي موجود در جريان هواي ورودي مانند ذرات روغن، هواي توليدي پس از تنظيم دبي با يک شير سوزني، وارد يک فيلتر فايبرگلاس به طول و قطر به ترتيب ۵۰ و ۱۰ سانتي متر مي‌گردد. براي توليد گاز H_2S از يک مخزن از جنس آلومينيوم خشک با قطر و طول به ترتيب ۳۲ و۳۱ سانتي متر استفاده گرديد. به منظور کنترل فشار در اين مخزن از يک فشارسنج عقربه‌اي استفاده شد. يک شير سوزني استيل با قطر ۰/۴ اينچ براي تنظيم دبي گاز خروجي به کار گرفته شد. براي توليد گاز H_2S، ۳۵۰ گرم سولفيد سديم در داخل ۲ ليتر آب مقطر حل شده و با ۳۰۰ ميلي ليتر اسيد فسفريک مخلوط گرديد. ظرف حاوي اسيد را در وسط محلول Na_2S قرار داده و پس از بستن درب مخزن، به شدت تکان داده شد. قابل ذکر اين که گاز H_2S طبق واکنش زير توليد مي‌شود :

$$3Na_2S + 2H_3PO_4 \rightarrow 3H_2S + 2Na_3PO_4$$

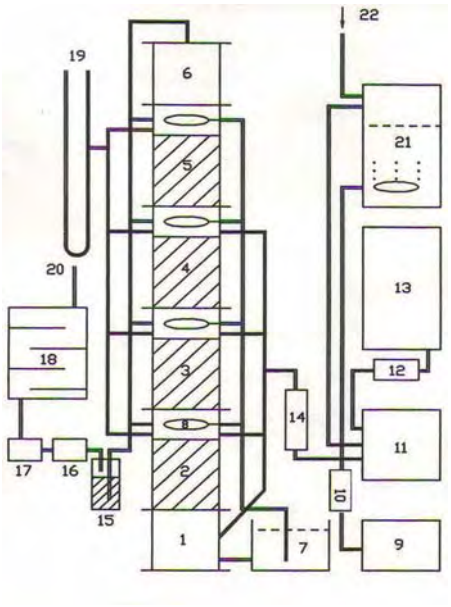
براي حفظ رطوبت بهينه بستر (حدود ۹۰%)، جريان هواي توليدي کمپرسور پس از عبور از فيلتر فايبرگلاس ابتدا وارد يک سنگ هوا شده و پس از عبور از يک مخزن آب و دريافت رطوبت کافي به منظور اختلاط با گاز H_2S وارد مخزن ديگري مي‌گردد. يک المنت حرارتي، عايق در برابر آب در مواقع لازم، آب موجود در مخزن را گرم کرده تا جريان هواي عبوري حاوي بخار آب، گرماي کافي داشته باشد تا بتواند هنگام عبور از ستون‌ها دماي ستون جهت رشد ميکروارگانيسم‌ها را به ۳۰-۲۸ درجه سانتي گراد افزايش دهد. pH بيوفيلتر قبل و پس از بهره‌برداري اندازه‌گيري شد تا مقدار بهينه آن بين ۸/۵ - ۶/۸ ثابت نگه داشته شود (۲و۱۱). در مواقع کاهش pH به علت اسيدهاي توليدي و فعاليت ميکروارگانيسم‌ها مي توان از آب آهک براي کنترل pH بهينه استفاده نمود. جريان هواي خروجي از اين مخزن پس از اندازه‌گيري دبي و غلظت گاز آلاينده وارد ستون‌ها مي‌گردد.

پس از سپري شدن زمان ماند و تماس گاز آلاينده با بستر، آلاينده ي مورد نظر حذف شده و گاز تصفيه شده از قسمت بالايي ستون‌ها خارج مي‌گردد به منظور جلوگيري از آلودگي هواي محيط، خروجيH_2S از دو ستون کربن‌فعال و سپس اسکرابر کلريد آهن و در نهايت از مجاورت شعله عبور داده شد تا هرگونه H_2S باقي مانده حذف شده و وارد محيط نگردد (۲).

براي اندازه‌گيري غلظت H_2S در ورودي و خروجي هريک از ستون‌ها از دستگاه سنجش گاز H_2S مدل Micropac plus استفاده شد که غلظت را برحسب ميلي گرم در ميلي متر مکعب اندازه‌گيري مي‌نمايد. براي کنترل رطوبت بسترها از دستگاه رطوبت سنج ديجيتالي مدل danfouse ساخت آلمان با دقت ۰/۱± استفاده شد. دستگاه دماسنج ديجيتالي مدل sumone ساخت کره نيز براي کنترل دما مورد استفاده قرار گرفت. فلوديا‌گرام کامل بيوفيلتر به همراه توضيح اجزاي آن در تصوير ۱ نشان داده شده است.

راهنماي شكل:

۱- مخزن جمع‌آوري شيرابه
۲- بستر پر شده با گوش‌ماهي
۳- بستر پر شده با كمپوست
۴- بستر پر شده با كربن‌فعال
۵- بستر پر شده با كربن‌فعال
۶- محل جمع‌آوري خروجي گاز
۷- مخزن آب جهت آبياري بسترها
۸- آب‌پاش
۹- كمپرسور هواي فشرده
۱۰- فيلتر از جنس فايبر گلاس
۱۱- مخزن اختلاط
۱۲- تنظيم كننده جريان
۱۳- مخزن توليد H_2S
۱۴- جريان سنج
۱۵- رطوبت گير
۱۶- دستگاه تعيين مقدار H_2S (mg/m^3)
۱۷- پمپ مكنده هوا
۱۸- دستگاه حذف H_2S اضافي از سيستم
۱۹- مانومتر تعيين افت فشار
۲۰- خروجي هواي پاك
۲۱- دستگاه توليد هواي گرم ومرطوب
۲۲- ورودي جريان آب



تصوير ۱- فلوديا‌گرام ستون بيوفيلتر

يافته ها

ستون‌ها براي ۱۰ هفته متوالي مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. ميزان دبي از هفته اول تا هفته دهم به ترتيب از ۲ تا ۱۱ ليتر بر دقيقه افزايش يافت. تغييرات مقدار حذف H_2S بر حسب زمان با دبي ۱۱-۲ ليتر بر دقيقه در بسترهای مختلف در جداول ۱ تا ۳ نمايش داده شده است.

جدول ۱- تغييرات مقدار حذف H_2S بر حسب زمان با دبي ۱۱-۲ ليتر بر دقيقه در بستر گوش‌ماهي

دبي (Lit/min)	غلظت ورودي (mg/m^3)	غلظت خروجي (mg/m^3)	ميانگين رطوبت (%)	ميانگين دما (°C)	زمان اقامت در بستر واقعي (min) (EBRT)	راندمان حذف (%)	بارگذاري جرمي در واحد حجم ($gr/m^3.min$)	ميانگين ظرفيت پالايش توسط جرم ميكروبي ($gr/m^3.min$)
۲	۶۴/۶۶	۷/۸۳	۹۶	۲۹	۱/۶۷۰	۸۴/۱۵	۰/۰۲۴	۲/۰۵۳
۳	۶۸/۶۶	۹/۳۳	۹۰	۲۹/۶	۱/۱۱۳	۸۳/۹۰	۰/۰۳۹	۳/۲۶۰
۴	۶۴	۱۰/۸۳	۹۰	۳۰	۰/۸۳۵	۸۲/۹۱	۰/۰۴۸	۴/۰۰۴
۵	۶۷/۳۳	۱۸/۳۳	۹۰	۳۱	۰/۶۶۸	۷۵/۶۹	۰/۰۶۴	۴/۸۰۷
۶	۶۳/۱۶	۱۴/۳۳	۸۰	۲۷	۰/۵۵۷	۷۶/۳۵	۰/۰۷۱	۵/۴۵۹
۷	۶۱/۳۳	۱۶/۱۶	۸۸	۳۰	۰/۴۷۷	۷۷/۲۲	۰/۰۸۱	۶/۲۵۴
۸	۶۱/۵	۱۹	۸۶	۳۱	۰/۴۱۷	۷۲/۲۸	۰/۰۹۳	۶/۷۰۹
۹	۶۶	۲۰/۳۳	۷۸	۳۰	۰/۳۷۱	۷۰/۴۴	۰/۱۱۲	۷/۸۹۳
۱۰	۶۷/۱۶	۱۵	۹۲	۳۱	۰/۳۳۴	۷۸/۷۸	۰/۱۲۷	۹/۹۸۲
۱۱	۶۲/۳۳	۱۴/۸۳	۸۹	۳۰/۱	۰/۳۰۴	۷۶/۶۵	۰/۱۲۹	۹/۹۱۵

جدول ۲- تغييرات مقدار حذف H_2S بر حسب زمان با دبي ۱۱-۲ ليتر بر دقيقه در بستر کمپوست

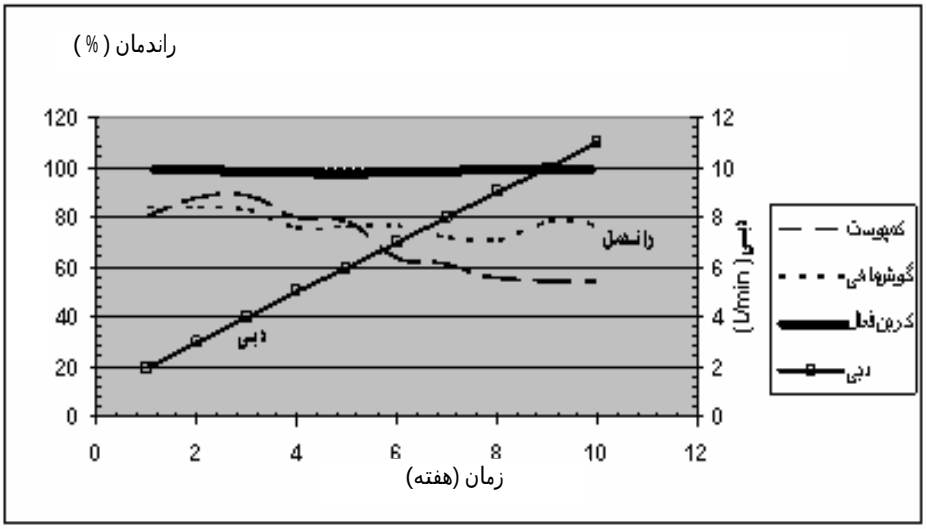
دبي (Lit/min)	غلظت ورودي (mg/m^3)	غلظت خروجي (mg/m^3)	ميانگين رطوبت (%)	ميانگين دما (°C)	زمان اقامت در بستر واقعي (EBRT) (min)	راندمان حذف (%)	بارگذاري جرمي در واحد حجم ($gr/m^3.min$)	ميانگين ظرفيت پالايش توسط جرم ميکروبي ($gr/m^3.min$)
۲	۶۰/۱۴	۱۱/۵۷	۹۰	۲۹/۷	۱/۹۸	۷۹/۶۴	۰/۰۲۳	۱/۸۳۲
۳	۶۳/۸۳	۶/۶۶	۹۰	۲۹/۳	۱/۳۲	۸۷/۷۳	۰/۰۳۸	۳/۳۱۸
۴	۶۵/۶۶	۸/۶۶	۹۰	۲۹	۰/۹۹	۸۸/۷۳	۰/۰۵۰	۴/۳۹۶
۵	۶۵/۱۶	۱۶/۳۳	۹۰	۲۹/۵	۰/۷۹	۷۹/۶۶	۰/۰۶۱	۴/۸۹۷
۶	۶۵/۸۳	۱۹/۶۶	۹۰	۲۸/۸	۰/۶۶	۸۷/۱۵	۰/۰۷۵	۵/۸۲۳
۷	۶۲/۸۳	۲۷/۵	۹۰	۲۷/۵	۰/۵۶	۶۳/۱۷	۰/۰۸۳	۵/۲۴۱
۸	۶۷	۳۰/۶۶	۹۰	۲۹/۵	۰/۴۹	۶۱/۲۸	۰/۱۰۱	۶/۱۹۶
۹	۶۳/۱۶	۳۱/۵	۹۰	۳۱	۰/۴۴	۵۵/۶۶	۰/۱۰۷	۵/۹۶۹
۱۰	۶۷/۶۶	۳۲/۸۳	۹۰	۳۰/۵	۰/۳۹	۵۳/۸۷	۰/۱۲۸	۶/۸۷۷
۱۱	۶۴/۱۶	۳۰	۹۰	۳۰/۵	۰/۳۶	۵۴/۱۵	۰/۱۳۳	۷/۲۱۱

جدول ۳- تغييرات مقدار حذف H_2S بر حسب زمان با دبي ۱۱-۲ ليتر بر دقيقه در بستر کربن‌فعال

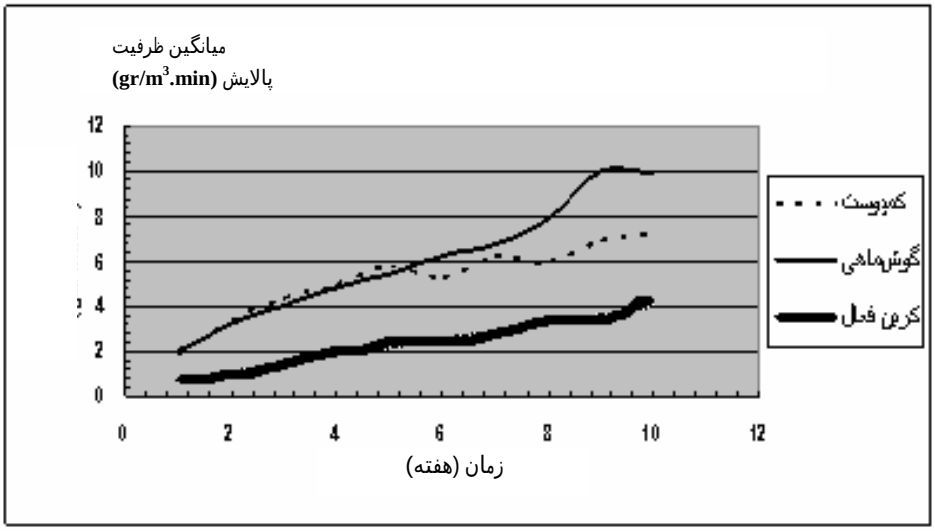
دبي (Lit/min)	غلظت ورودي (mg/m^3)	غلظت خروجي (mg/m^3)	ميانگين رطوبت (%)	ميانگين دما (°C)	زمان اقامت در بستر واقعي (EBRT) (min)	راندمان حذف (%)	بارگذاري جرمي در واحد حجم ($gr/m^3.min$)	ميانگين ظرفيت پالايش توسط جرم ميکروبي ($gr/m^3.min$)
۲	۶۲/۵۳	۰	۹۲	۲۹/۹	۱/۴۳۱	۱۰۰	۰/۰۰۷	۰/۷۱۱
۳	۶۴/۰۶	۰	۸۷	۳۰/۴	۰/۹۵۴	۱۰۰	۰/۰۱۱	۱/۰۹۲
۴	۶۴/۶۶	۰	۸۴	۲۸/۴	۰/۷۱۶	۱۰۰	۰/۰۱۵	۱/۴۷۰
۵	۶۴/۱۶	۰	۸۸	۲۸/۸	۰/۵۷۳	۱۰۰	۰/۰۱۸	۱/۸۲۳
۶	۶۳/۳۳	۰	۸۵	۲۹/۳	۰/۴۷۷	۱۰۰	۰/۰۲۲	۲/۱۶۶
۷	۶۴/۹۳	۰	۸۶	۲۸/۲	۰/۴۰۹	۱۰۰	۰/۰۲۶	۲/۵۸۳
۸	۶۳/۹۰	۰	۸۸	۲۹/۲	۰/۳۵۸	۱۰۰	۰/۰۲۹	۲/۹۰۵
۹	۶۴/۷۶	۰	۸۶	۲۹	۰/۳۱۸	۱۰۰	۰/۰۳۳	۳/۳۱۲
۱۰	۶۳/۵۳	۰	۸۸	۲۹/۲	۰/۲۸۶	۱۰۰	۰/۰۳۶	۳/۶۱۰
۱۱	۶۴/۱۳	۰	۸۹	۲۹	۰/۲۶۰	۱۰۰	۰/۰۴۰	۴/۰۰۸

ارتباط بين دبي و زمان در نمودار ۱ نشان داده شده است و همان‌طوركه در اين نمودار نيز ديده مي‌شود در بستر کربن فعال، راندمان حالت ثابتي دارد، در بستر کمپوست پس از مدتي راندمان کاهش مي‌يابد و در بستر گوش‌ماهي نيز حالت نسبتاً پايداري وجود دارد. در هرهفته، کارايي حذف H_2S در غلظت‌هاي کم تر از ۲۰ تا بيش از ۱۰۰ ميلي‌گرم بر متر مکعب بررسي گرديد. زمان ماند بستر واقعي (EBRT) در اين مطالعه بين ۱۲-۳۰ ثانيه به عنوان زمان مورد نياز براي تماس

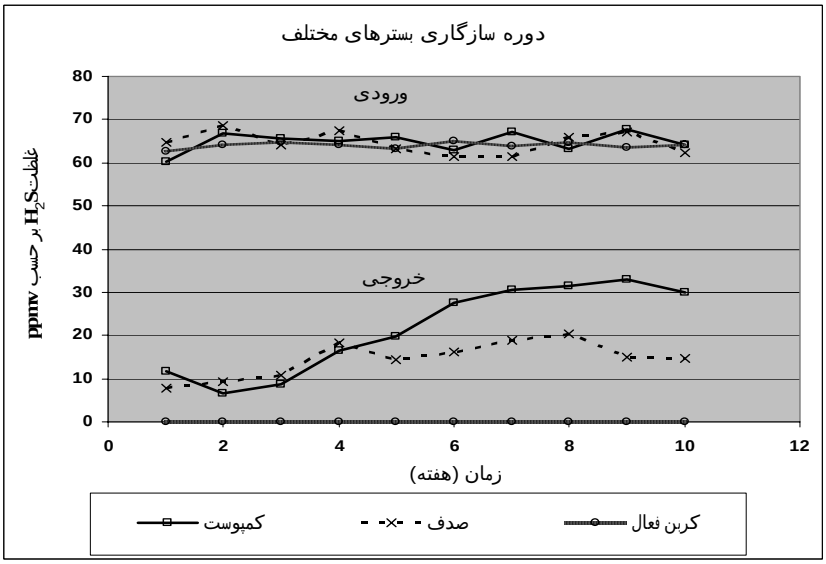
گاز آلاينده با ميكروارگانيسم هاي موجـود بـر سـطح بـستر در نظر گرفته شده است ايـن زمـان بـراي دسـتيابي بـه بهتـرين راندمان حذف لازم است. دوره سازگاري بـسترهاي مختلـف در نمودارهاي ۲ و ۳ نشان داده شده است. نكته قابل ذكر اين كـه ميزان راندمان H_2S خروجي از بستر كمپوست پـس از مـدتي به علـت گرفتگـي بـستر، بـه تـدريج شـروع بـه كـاهش پيـدا مي نمايد كه با هم‌زدن بستر مي‌توان تا حدودي آن را افـزايش داد. ولي در بـستر گـوش‌مـاهي هرچنـد كـه دوره ي رسـيدن به پايداري طول مي‌كشد ولي پس از اين مرحلـه، بـستر مـدت زمان بيش تري به حالت پايدار وشـرايط رانـدمان بهينـه بـاقي مي‌ماند. پس از آنكه بسترها به حالت پايدار رسـيدند، رانـدمان آن ها در حذف H_2S اندازه‌گيري شـد كـه بـستر كـربن‌فعـال بيش ترين راندمان (۱۰۰%) را داشته و بسترهاي گوش مـاهي و كمپوست به ترتيب با راندمان‌هاي ۹۰-۸۸ و ۹۰-۸۰ درصـد در دماي بهينه ۳۱-۲۹ درجه سـانتي گـراد و pH: ۷-۷/۵ در مقام دوم و سوم اهميت قرار گرفتند.



نمودار ۱ - ارتباط بين راندمان، زمان و دبي براي بسترهاي مختلف



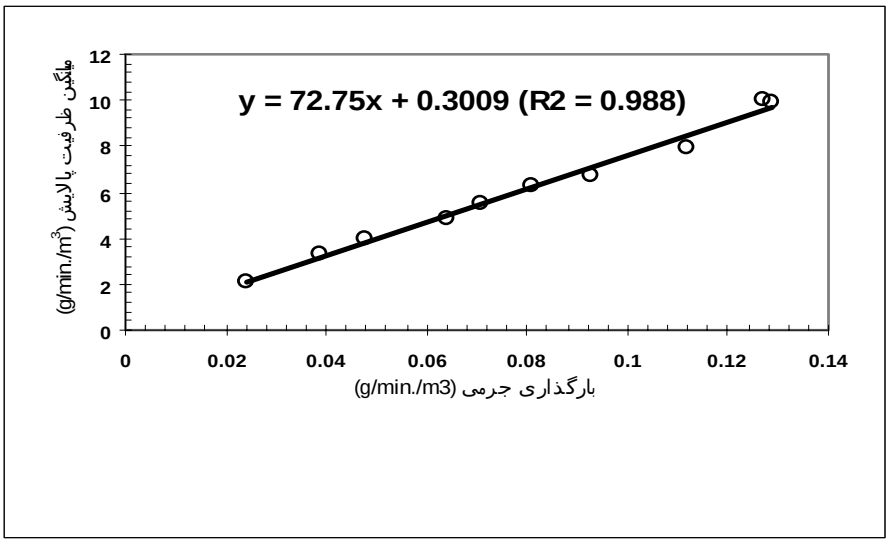
نمودار ۲- تغييرات ظرفيت پالايش (EC) با گذشت زمان



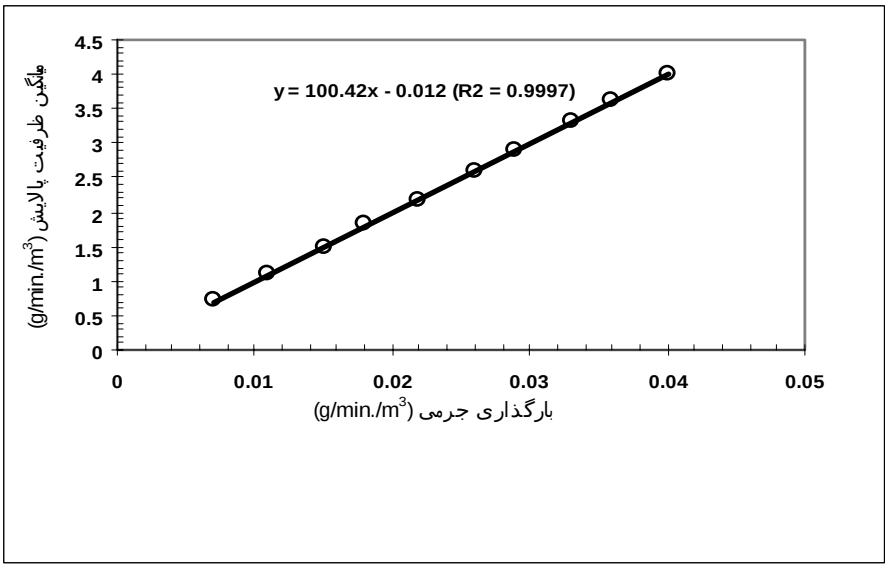
نمودار ۳ - دوره ي سازگاري بسترهاي مختلف

براي بررسي ارتباط موجود از برنامة آماري SPSS و آزمون paired t-test استفاده گرديد. در بستر کمپوست، ميانگين حذف برابر ۷۰/۲٪ با انحراف معيار ۱۳/۹۷٪، بستر گوش‌ماهي ميانگين حذف برابر ۷۷/۸٪ با انحراف معيار ۴/۶۸٪ و بستر کربن‌فعال ميانگين حذف ۱۰۰٪ حاصل شد. در هر سه بستر ارتباط بين دبي و راندمان معني‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). بيش ترين همبستگي بين راندمان و دبي به ترتيب در بسترهاي کربن‌فعال، کمپوست و گوش‌ماهي حاصل شد.

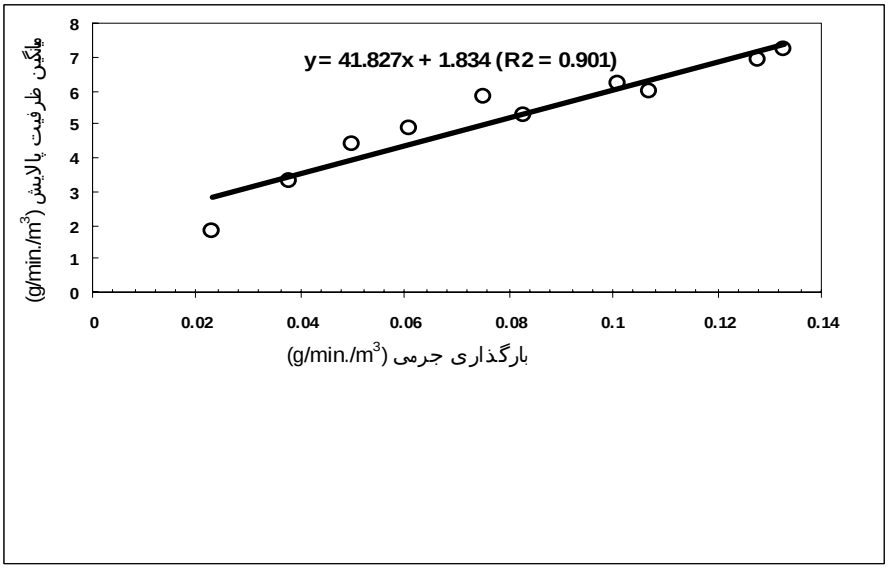
سپس ارتباط بين زمان ماند در بستر خالي (EBRT) و راندمان مورد آناليز قرار گرفت. در اين جا نيز ارتباط بين EBRT و راندمان در هر سه بستر معني‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). بيش ترين همبستگي نيز به ترتيب در بسترهاي کربن فعال، گوش‌ماهي و کمپوست حاصل شد.



نمودار ۴ - تغييرات ظرفيت پالايش (EC) بر حسب ميزان بارگذاري جرمي H_2S براى بستر گوش ماهي

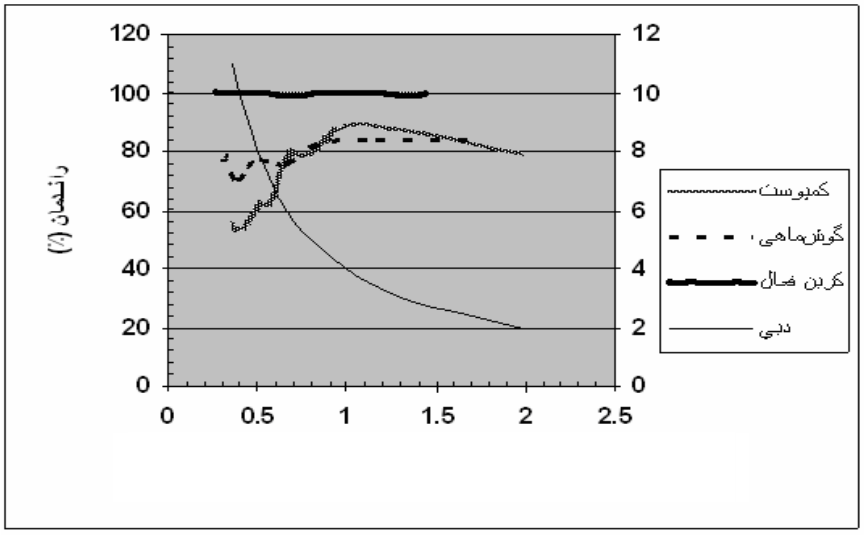


نمودار ۵ - تغييرات ظرفيت پالايش (EC) بر حسب ميزان بارگذاري جرمي H_2S برای بستر کربن فعال



نمودار ۶ - تغييرات ظرفيت پالايش (EC) بر حسب ميزان بارگذاري جرمي H_2S برای بستر کربن فعال

رابطه بين ظرفيت حذف و ميانگين بارگذاري در بسترهاي كمپوست، گوش‌ماهي و كربن فعال به ترتيب ۰/۰۸ ، ۰/۷۹ و ۰/۰۲۴ $g/min.m^3$ بوده و ميانگين ظرفيت پالايش (EC) نيز براي اين بسترها به ترتيب ۵/۱۸ ، ۶/۰۳ و ۲/۳۷ $g/min.m^3$ حاصل شد. در هر سه بستر، ارتباط معني‌داري ($P<0/05$) بين ميزان EC و بارگذاري جرمي وجود داشت و بيش ترين همبستگي بين EC و بارگذاري جرمي به ترتيب در بسترهاي كربن فعال، گوش‌ماهي و كمپوست حاصل شد. تغييرات ظرفيت پالايش براي اين بسترها در نمودارهاي ۴ تا ۶ نمايش داده شده است. در نمودار ۷ رابطه بين دوره سازگاري ميكروارگانيسم هاي مورد استفاده برحسب غلظت نشان داده شده است.



نمودار ۷- ارتباط بين EBRT ، دبي و راندمان حذف H_2S

بحث

با توجه به مجموع نتايج به دست آمده در طي ۱۰ هفته نمونه‌گيري بر روي سه بسترکربن فعال، کمپوست و گوش‌ماهي و ارزيابي نتايج به دست آمده، مشخص گرديد که در بين بسترهاي استفاده شده، کربن‌فعال بيش ترين راندمان را داشته که در آن باکتري‌هاي تيوباسيلوس تيوپاروس توانستند با راندمان ۱۰۰ درصد H_2S را حذف نمايند (۱۴)، هم چنين در اين بستر غلظت‌هاي مختلف گاز آلاينده در ورودي به سيستم نيز تأثيري بر راندمان حذف نشان ندادند. زمان اقامت واقعي در اين بستر(EBRT) بين ۰/۲۶ تا ۱/۴۳ دقيقه متغير بود ولي اين نوسان تأثيري بر راندمان حذف ندارد (نمودار ۵). هم چنين در اين نمودار مشخص مي گردد که با افزايش زمان اقامت در بستر و کاهش دبي، ميزان راندمان حذف گاز آلاينده افزايش مي‌يابد. بنابراين براي اين که راندمان در حد بهينه حفظ شود بايد حداقل زمان ماند براي بستر در نظر گرفته شود. نکته‌اي مهم در رابطه با بستر کمپوست، کاهش راندمان حذف بعد از هفتة چهارم مي‌باشد که علت آن، گرفتگي بستر در اثر رشد باکتري‌هاي تيوباسيلوس تيوپاروس مي‌باشد، تغيير شرايط رطوبت بستر، تغيير سطح تماس گاز آلاينده با ميکروارگانيسم‌ها و تجزيه محتواي کمپوست در داخل ستون، علت اصلي کاهش راندمان مي‌باشد. با انجام اختلاط در بستر، اين مسأله تا حدودي جبران شده و مجدداً راندمان تا حدود ۸۰ درصد افزايش يافت (۱۱). بنابراين انجام اختلاط در بستر کمپوست پس از گذشت چند هفته از شروع بهره‌برداري جزو شرايط لازم در حفظ راندمان در بستر کمپوست مي‌باشد. زمان اقامت واقعي در اين بستر بين ۰/۳۶ تا ۱/۹۸ دقيقه متغير بود و با کاهش زمان اقامت واقعي گاز در بستر، راندمان نيز کاهش يافت. بر اساس نتايج به دست آمده، با افزايش دبي جريان هواي حامل گاز آلاينده، راندمان نيز کاهش مي‌يابد، اين روابط در جدول ۲ نشان داده شده است. تأثير دبي بر راندمان حذف بيش تر از تأثير غلظت بر آن مي‌باشد. به طوري که در دبي‌هاي کم، راندمان‌هاي حذف بيش تري براي غلظت‌هاي پايين و بالاي H_2S ورودي مشاهده شد.

در ستون دوم از بستر گوش‌ماهي استفاده گرديد که در آن باکتري‌هاي تيوباسيلوس تيوپاروس به صورت مايع به ستون تلقيح گرديد. در اين بستر، در مقايسه با بستر کمپوست، افزايش و کاهش دبي تأثير کم تري بر راندمان حذف داشت. هم چنين ميزان راندمان حذف در بستر گوش‌ماهي پس از ۳

هفته اول و رسيدن به شرايط پايدار بين ۸۸ تا ۹۰ درصد اندازه‌گيري شد. ضمن اين كه غلظت نيز تأثير چشم‌گيري بر راندمان حذف نشان نداد.

نتيجه گيري

با توجه به نتايج به دست آمده از تحقيق، بيوفيلتر با بستر كربن فعال از نظر راندمان در مقايسه با ساير بسترها نتايج بهتري را نشان مي‌دهد و در مرتبه بعدي به ترتيب بسترهاي گوش‌ماهي و كمپوست قرار دارند. از نظر اقتصادي نيز بسترهاي كمپوست، گوش‌ماهي و كربن فعال به ترتيب داراي اولويت مي‌باشند. از نظر پايداري، به ترتيب بسترهاي كربن‌فعال، گوش‌ماهي و كمپوست داراي اولويت هستند. به طور كلي مي‌توان گفت كه هريك از اين بسترها داراي مزايا و معايب خاصي از نظر اقتصادي، پايداري و طول عمر مي‌باشند. ولي با توجه به نتايج به دست آمده از اين تحقيق، پيشنهاد مي‌شود كه از يك سيستم مشترك گوش‌ماهي - كربن فعال به عنوان بستر بيوفيلتر استفاده شود كه در اين حالت راندمان از همان اوايل راه‌اندازي سيستم به دليل وجود كربن فعال بالا بوده و از طرفي هر چند كه راندمان بستر گوش‌ماهي در ۵۰ روز اول پايين است ولي در مراحل بعد اين بستر به پايداري رسيده و راندمان‌هاي قابل قبولي را از خود نشان مي‌دهد و در مرحله‌اي كه كربن فعال اشباع شد، اين بستر مي‌تواند راندمان را در حد بهينه حفظ نمايد. ضمن اين كه در بستر گوش‌ماهي، ميكروارگانيسم‌ها تا مدت زيادي زنده مي‌مانند (بدون اينكه خوراك دهي انجام شود اين ميكروارگانيسم‌ها قادرند تا ۴۵ روز نيز زنده بمانند). در نتيجه، چنان چه سيستم براي مدتي دچار وقفه گردد مي‌توان آنرا مجدداً به حالت بهينه بازگرداند، هرچند كه ممكن است راندمان دچار افت شود. نكته ي ديگر اين كه هرچند كه بستر كمپوست از نظر اقتصادي برترين گزينه است ولي مشكل هم زدن بستر پس از گذشت زمان، يك فاكتور محدودكننده مي‌باشد، هم چنين دفع زايدات كمپوست استفاده شده به محيط زيست با ملاحظات خاصي همراه است. دسترسي به مواد پركننده ي بستر، رسيدن سريع به حالت پايداري، ثبات در پايداري و ... از فاكتورهاي اصلي در انتخاب بستر براي بيوفيلتر به شمار مي‌روند.

در خاتمه نيز پيشنهاد مي‌گردد كه در تحقيقات مشابه، از مخلوط گازها (مثل VOC، NH_3، CS_2 و ...) براي ارزيابي كارآيي بيوفيلترها استفاده شود و با توجه به ميزان دبي گازهاي توليدي، ابعاد متناسب با صنايع، طراحي و ساخته شوند.

تشكر و قدرداني

مقاله حاضر نتيجه طرح تحقيقاتي مصوب معاونت پژوهشي دانشگاه علوم پزشكي شهيد بهشتي مي‌باشد كه در آزمايشگاه‌هاي گروه بهداشت محيط دانشكده بهداشت به انجام رسيده است. بدين وسيله از همكاري‌هاي ارزشمند همكاران محترم به ويژه رياست محترم داشكده بهداشت جناب آقاي دكتر حاتمي، مدير محترم گروه بهداشت محيط سركار خانم دكتر مجلسي و رياست محترم مركز رشد واحدهاي فناوري دانشگاه شهيد بهشتي سركار خانم دكتر مشكوري كه در تمام مراحل انجام اين تحقيق ما را ياري نمودند كمال تشكر را مي‌نماييم.

REFERENCES

1. Syracuse Research Corporation., United States.Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for hydrogen sulfide. 2004Available from: URL: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp114.html

2. Jones K, Martinez A, Rizwan M, Boswell J. Sulfur toxicity and media capacity for H2S removal in biofilters packed with a natural or a commercial granular medium. J Air Waste Manag Assoc 2005; 55(4): 415-20.
3. Gonzalez-Martinez S, Millan T, Gonzalez-Barcelo O. Biological aerated filtration of municipal wastewater using a low-cost filtration media. Water Sci Technol 2007; 55(7): 255-62.
4. Jones K, Martinez A, Maroo K, Boswell J, Deshpande S, Boswell J, et al. Kinetic Evaluation of H2S and Ammonia Biofiltration for Air Emissions Control. J Air Waste Manag Assoc 2003; 45(4): 251-62.
5. Lee EY, Cho KS, Ryu HW. Simultaneous removal of H2S and NH3 in biofilter inoculated with Acidithiobacillus thiooxidans TAS. J Biosci Bioengin 2005; 99(6): 611-5.
6. van Groenestijn JW, Hesselink PGM. Biotechniques for air pollution control. Biodegradation 1993; 4(4): 283-301.
7. Wani AH, Branion RMR, Lau AK. Degradation kinetics of biofilter media treating reduced sulfur odors and VOCs. J Air Waste Manag Assoc 1998; 48(12): 1183-90.
8. Hirai M, Ohtake M, Shoda M. Removal kinetics of hydrogen sulfide, methanethiol and dimethyl sulfide by peat biofilters. J Ferment Bioeng 1990; 70(5): 334-9.
9. Hartikainen T, Ruuskanen J, Martikainen PJ. Carbon disulfide and hydrogen sulfide removal with a peat biofilter. J Air Waste Manag Assoc 2001; 51(3): 387-92.
10. Montoya A, Sendt K, Haynes BS. Gas-phase interaction of H2S with O2: A kinetic and quantum chemistry study of the potential energy surface. J Phys Chem 2005; 109(6): 1057-62.
11. Morgan-Sagastume JM, Noyola A, Revah S, Ergas SJ. Changes in physical properties of a compost biofilter treating hydrogen sulfide. J Air Waste Manag Assoc 2003; 53(8): 1011-21.
12. Park SJ, Nam SL, Choi ES. Removal of odor emitted from composting facilities using a porous ceramic biofilter. Water Sci Technol 2001; 44(9): 301-8.
13. Kim HS, Kim YJ, Chung JS, Xie Q. Long-term operation of a biofilter for simultaneous removal of H2S and NH3. J Air Waste Manag Assoc 2002; 52(12): 1389-98.
14. Chung YC, Lin YY, Tseng CP. Operational characteristics of effective removal of H2S and NH3 waste gases by activated carbon biofilter. J Air Waste Manag Assoc 2004; 54(4): 450-8.