کنترل ترکیبات مولد بو در واحدهای صنعتی با استفاده از سیستمهای بیولوژیکی

مهندس بابک روشنی[۱] ،دکتر رضا دهقانزاده[۲]، دکتر محمد رضا شاه منصوری[۳]

۱- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سنندج

۲- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۳- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

چکیده

سولفید هیدروژن از جمله آلاینده های سمی هوا با بوی مخصوص می باشد، مقدار قابل ملاحظه ای از این گاز در ارتباط با فعالیتهای صنعتی از قبیل پالایشگاه نفت، تصفیه خانه فاضلاب، تصفیه گاز ترش، صنایع کاغذ سازی و غیره تولید می شود. فرآیندهای متعددی بر پایه اصول فیزیکوشیمیایی به منظور حذف مؤثر گاز سولفید هیدروژن از هوا و گازهای زائد صنایع توسعه پیدا کرده اند ولی بسیاری از این روشها نیازمند افزودن مواد شیمیایی بوده و همچنین نیازمند مصرف انرژی و هزینه بالا می باشند. بیوفیلتراسیون یک فن آوری جدید جهت کنترل آلاینده های هوا با قیمت پایین و بازدهی بالا می باشد که کاربرد آن بدلیل راهبری ساده و عدم ایجاد مواد زائد دفعی در سالهای اخیر توسعه قابل توجهی پیدا کرده است.

در این تحقیق کارایی سیستم بیوفیلتراسیون در حذف سولفید هیدروژن از جریان گاز آلوده مورد مطالعه قرار گرفت. پایلوت مورد استفاده از آهن گالوانیزه با قطر ۸ cm و ارتفاع ۱/۲۶ متر و بستر آن حاوی خرده های pvc با اندازه ۱ cm و کمپوست مواد زائد جامد شهری به نسبت حجمی یک به یک بود. پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق تعیین راندمان و ظرفیت حذف بیوفیلتر در پالایش سولفید هیدروژن و بررسی اثرسولفات، زمان ماند، افت فشار، رطوبت و pH بستر در عملکرد آن بود.

میانگین راندمان حذف سیستم بیوفیلتراسیون با زمان ماند ۱ دقیقه در محدوده غلظت ۵ تا ۲۶۵ ppm برابر ۹۸٪ بدست آمد که در این شرایط حداکثر ظرفیت حذف بیوفیلتر حدود ۲۲ $g\text{-}s/m^3\text{-}hr$ تعیین گردید. میانگین افت فشار ۶ میلیمتر آب و بهترین زمان ماند گاز سولفید هیدروژن ۶۰ ثانیه بود. مقدار pH و رطوبت بهینه بستر به ترتیب برابر ۳/۵ و ۵۵٪ و مقدار سولفات ($mg\text{-}so_4/g.bed$) ۳۰ به عنوان سطح بحرانی برای محیط میکروبی تعیین گردید.

یافته های حاصل از این بررسی نشان داد که سیستم بیوفیلتراسیون با بستر کمپوست و خرده های pvc با راندمان ۹۸٪ قادر به حذف گاز سولفید هیدروژن از جریانهای گازی آلوده می باشد و جا دارد از این فن آوری ارزان به منظور تصفیه انتشار گاز سولفید هیدروژن در صنایع استفاده گردد.

*کلمات **کلیدی**: سولفید هیدروژن، بیوفیلتراسیون، آلودگی هوا، کمپوست*

مقدمه

سالانه مقادیر قابل ملاحظه ای از آلاینده های گوناگون بخصوص ترکیبات آلی فرار و ترکیبات معدنی نظیر H_2S از طریق صنایع مختلف به هوا منتشر می شوند که باعث ضرر و زیان به سیستمهای اکولوژیکی می شوند. فرایند های متعددی بر پایه اصول فیزیکوشیمیایی به منظور حذف مؤثر گاز سولفید هیدروژن از هوا و گازهای زائد صنایع

توسعه پیدا کرده اند ولی بسیاری از این روشها نیازمند افزودن مواد شیمیایی، مصرف انرژی و هزینه بالا می باشند. به این ترتیب نیاز به جایگزینی یک فن آوری جدید جهت کنترل آلاینده های هوا با قیمت پایین و بازدهی بالا احساس گردید[۱]. بیوفیلتراسیون با استفاده از روشهای بیولوژیکی آلاینده ها را تجزیه می کند و کاربردی جدید از بیوتکنولوژی می باشد. برای نخستین بار در تصفیه بوهای ناشی از تصفیه فاضلاب صنایع شیمیایی، واحد های فراوری مواد زائد جامد، عملیات کمپوست و واحد های تبدیل ضایعات پروتئینی بکار گرفته شد [۲].

بیوفیلتراسیون فرایندی است که میکروارگانیسم ها به شکل لایه بیوفیلم در منافذ بستر مورد استفاده قرار می گیرند، بطوریکه جریان گاز آلوده شده در ابتدا مرطوب گشته و از بستر متخلخل فیلتر عبور می کند. بستر فیلتر شامل موادی همچون کمپوست، کود گیاهی، خاک و غیره است که سطح لازم و مواد غذایی مورد نیاز را بمنظور رشد میکروارگانیسمها فراهم می کنند. هنگام عبور هوا از بستر فیلتر، آلاینده های گازی در داخل بیوفیلم جذب و توسط میکروارگانیسم های روی بستر تصفیه می شوند[۳].

سولفید هیدروژن گازی بد بو و آلاینده سمی هوا است. مقدار قابل توجهی از این گاز در فرایند های صنعتی از قبیل پالایشگاه نفت، تصفیه خانه فاضلاب، کارخانه کاغذ و خمیر کاغذ، صنایع فراوری مواد غذایی و در تصفیه گاز (گاز ترش) و دیگر سوختها تولید می شوند. سمیت این گاز در حد سمیت گاز سیانید هیدروژن است. اگر غلظت گاز سولفید هیدروژن در هوا به ppm ۱۰۰۰ برسد موجب مرگ انسان خواهد شد و حداکثر غلظت مجاز یک ساعته آن حدود ppm ۰/۱۴ است[۴].

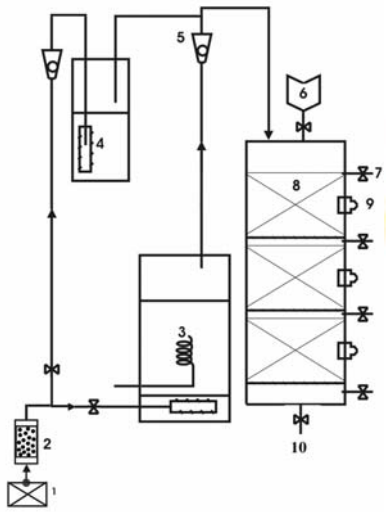
کاربرد بیوفیلتر در کشور ما سابقه تحقیقاتی چندانی نداشته و موارد محدودی کاربرد صنعتی با بهره برداری ناقص همراه بوده است. اما در کشورهای دیگر کاربرد های متنوعی برای کنترل انواع آلاینده ها در مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. Coleman (۱۹۹۵) در مرکز محیط زیست آلبرتا کانادا بیوفیلتری را برای حذف هیدروژن سولفید و سولفید آلی در مقیاس آزمایشگاهی راه اندازی کرد. او گاز H_2S با غلظت ppm ۱۱۷ را با زمان ماند ۱۶ ثانیه وارد بستر نمود و ٪۹۹/۹ حذف گاز H_2S را در خروجی مشاهده نمود [۵]. Langehove (۱۹۸۶) در یک مطالعه به منظور کاربرد بیوفیلتراسیون برای حذف سولفید هیدروژن از هوا با بستری از تراشه چوب به راندمان حذف ٪۹۷ دست پیدا کرد [۶]. مطالعه دیگری بصورت آزمایشگاهی در دانشگاه فلوریدا (۱۹۹۴) به منظور کنترل انتشار سولفید هیدروژن انجام گردید. بستر سیستم حاوی کمپوست زباله گیاهی بود و گاز H_2S با غلظتی از ۵ تا ppm ۲۶۵۰ وارد بستر شد و کارایی بیوفیلتر بالاتر از ٪۹۹ بود[۷]. تحقیق دیگری در دانشکده محیط زیست فنلاند (۲۰۰۱) انجام شد. در این مطالعه به منظور حذف همزمان سولفید هیدروژن و کربن دی سولفید از بیوفیلتری با بستر کمپوست گیاهی استفاده گردید. که کارایی بستر به منظور حذف هر دو ترکیب، ٪۹۹ با زمان ماند بیش از یک دقیقه بود[۸].

هدف از این مطالعه بررسی عملکرد سیستم بیوفیلتراسیون در حذف گاز سولفید هیدروژن با استفاده از کمپوست زباله شهری به عنوان منبع غذایی میکروارگانیسم ها و خرده های pvc[1] به منظور افزایش تخلخل بستر در مقادیر بارگذاری متغیر بوده است. همچنین بدست آوردن پارامترهای راهبری و طراحی برای مقیاسهای بزرگتر می باشد که در نهایت به بهبود و بهینه کردن سیستم بیوفیلتراسیون و راه اندازی این سیستم ساده و ارزان در کشور منتهی خواهد شد.

[1] Poly vinyl chloride

مواد و روشها

پایلوت: بیوفیلتری در مقیاس آزمایشگاهی از جنس آهن گالوانیزه، به قطر داخلی ۸cm با سه بخش قابل تفکیک با اتصال فلنجی، هر یک به ارتفاع ۴۸ cm و قسمتهای ورودی و خروجی ساخته شد(شکل ۱). در انتهای هر قسمت یک صفحه گالوانیزه مشبک دارای سوراخهایی به قطر ۲ mm برای نگه داشتن مواد بستر و توزیع مجدد جریان هوا به داخل بخش پایینی تعبیه شد. در هر قسمت علاوه بر شیر نمونه برداری، سه دریچه کنترل برای بازدید و نمونه برداری از بستر تماس و آنالیزهای رطوبت، میکروبی و pH قرار دارد. یک عدد ترمومتر برای ثبت درجه حرارت بستر و یک مانومتر آبی برای کنترل افت فشار در ستون بیوفیلتر نصب گردید. برای ثابت نگه داشتن دما در درجه حرارت دلخواه، کل ستون به المنت حرارتی مجهز و کل ستون با پشم شیشه ایزوله گردید. در بالاترین قسمت ستون دریچه ای به منظور افزودن آب و مواد مغذی و همچنین قسمت خروجی مجهز به یک شیر برای جمع آوری شیرابه و برگشت مجدد آن به داخل بیوفیلتر از بالا دست می باشد که این کار به صورت دستی انجام می گرفت. منبع تامین هوا کمپرسور بود که هوای خروجی با عبور از فیلتر کربن فعال، وارد برج رطوبت ساز حبابی شده که رطوبت هوای خروجی بیش از ۹۵٪ بود، سپس هوای مرطوب به همراه گاز سولفید هیدروژن پس از تنظیم مقدار دبی وارد بستر می گردید. برای تنظیم دمای رطوبت ساز از المنت حرارتی ۲۰۰۰ وات ترموستات دار استفاده شد. بمنظور تنظیم سرعت جریان هوا از دبی سنج (Omega Co. FL -2016) استفاده شد.



شکل ۱- مشخصات پایلوت بیوفیلتراسیون (۱- کمپرسور ۲- فیلتر کربن فعال ۳- برج رطوبت ساز ۴- ظرف تولید سولفید هیدروژن ۵- فلومتر ۶- ورودی آب و مواد مغذی ۷- شیر نمونه برداری هوا ۸- بستر ۹- دریچه نمونه برداری از بستر ۱۰- تخلیه شیرابه)

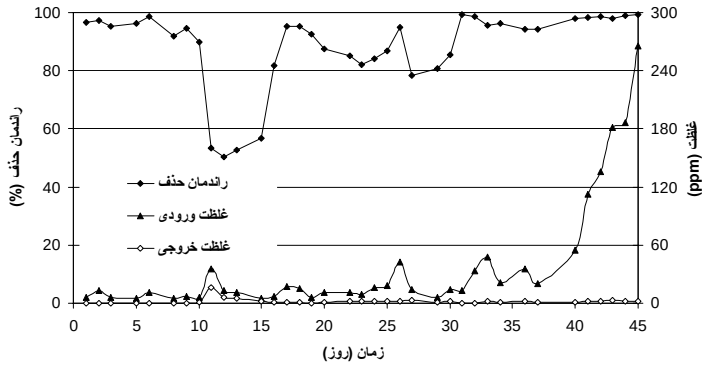
بستر: بستر مورد استفاده مخلوطی از کمپوست مواد زائد جامد شهری و خرده های پی وی سی به نسبت یک به یک بود. افزودن این خرده ها بمنظور افزایش تخلخل بستر، محیطی جهت رشد بیوفیلم،کاهش افت فشار،

جلوگیری از فشردگی و کاناله شدن بستر می باشد. به منظور تلقیح میکروبی بستر از لجن فعال تغلیظ شده تصفیه خانه فاضلاب شهری استفاده گردید.

روشهای آنالیز: برای اندازه گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن از روش ژاکوب استفاده شده است و این روش براساس جذب سولفید هیدروژن در یک محلول قلیایی و سپس افزودن معرفهای رنگی می باشد، شدت رنگ ایجاد شده در محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۷۰ نانومتر اندازه گیری می شود. این شدت رنگ متناسب با غلظت سولفید هیدروژن جذب شده در محلول جذب میباشد [۹]. برای اندازه گیری رطوبت بستر از روش وزن سنجی استفاده گردید به این صورت که مقدار ۱۰ گرم از بستر بیوفیلتر نمونه برداری و پس از توزین، نمونه را در فور در درجه حرارت ۱۰۴°C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و مجدداً توزین و مقدار رطوبت بستر محاسبه گردید. برای اندازه گیری pH بستر به ۱۰ گرم از نمونه بستر ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه نموده و به مدت ۲۰ دقیقه بهم زده و پس از گذشت ۱۰ دقیقه با استفاده از دستگاه pH سنج دیجیتالی اندازه گیری شد. برای اندازه گیری سولفات از روش کدورت سنجی مطابق با دستور العمل کتاب روشهای استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب استفاده شد [۱۰]. برای اندازه گیری افت فشار در ستون بیوفیلتر از یک مانومتر آبی و برای اندازه گیری درجه حرارت در هر بخش ارتفاعی بستر از یک دماسنج جیوه ای استفاده شد. برای ثابت نگه داشتن درجه حرارت داخل بیوفیلتر از المنت های پیچیده شده به بدنه پایلوت استفاده شد که درجه حرارت آن توسط یک ترموستات دیجیتالی(ATBIN-200K) کنترل می شد.

نتایج

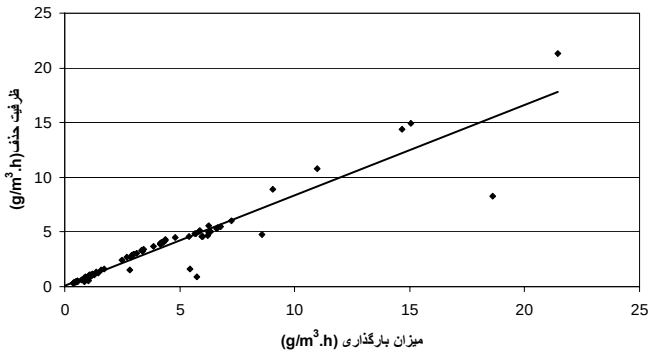
بررسی عملکرد بیوفیلتر در زمان راه اندازی: کارایی سیستم بیوفیلتراسیون به منظور حذف گاز سولفید هیدروژن با زمان ماند یک دقیقه در غلظت های ۵ تا ۲۶۵ ppm مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). در ۱۰ روز اولیه راه اندازی، کارایی حذف بالای ۹۵٪ بود و در روز یازدهم کارایی حذف به ۵۰٪ کاهش یافت. بررسیها نشان داد که بیوفیلتر ها در چند روز اول راهبری تصفیه خوبی را فراهم می کنند به این دلیل که بستر بیوفیلتر به عنوان جاذب عمل می کند و با اشباع شدن ظرفیت جذب سطحی بستر، کارایی حذف افت پیدا کرده و بعد از این مرحله حذف گاز سولفید هیدروژن بستگی به تخریب بیولوژیکی خواهد داشت. کاهش کارایی نشانگر این بود که با اشباع شدن بستر هنوز جمعیت میکروبی بر روی بستر رشد نکرده اند. زمان تطابق بهینه یا پایدار شدن سیستم بعد از گذشت ۳۰ روز از راه اندازی بیوفیلتر کسب گردید. که بعد از پایدار شدن سیستم و خو گرفتن میکروارگانیسم ها با محیط رشد و سوبسترا حتی با افزایش تدریجی غلظت از ۱۹ به ۲۶۵ ppm کارایی حذف بالای ۹۸٪ بود و کسب این راندمان بالا دلیل بر پایدار شدن سیستم بود. میانگین کارایی حذف در طول ۴۵ روز اولیه حتی با محسوب کردن دوره خوگیری سیستم ۹۷٪ بود و به محض پایدار شدن سیستم میانگین کارایی حذف به ۹۸٪ رسید.



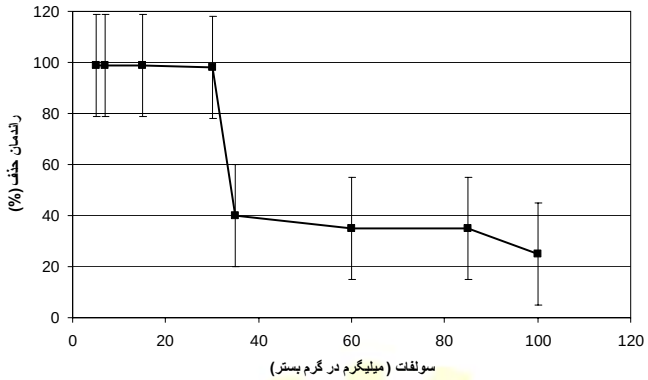
شکل ۲- بررسی عملکرد بیوفیلتر در زمان راه اندازی

ظرفیت حذف بیوفیلتر در بارگذاری متفاوت: حداکثر ظرفیت گاز سولفید هیدروژن در زمان ماند یک دقیقه و در شرایط پایدار سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. غلظت گاز سولفید هیدروژن در جریان ورودی در محدوده ۵ تا ۲۶۰ ppm با میزان جریان ثابت ۶ لیتر در دقیقه ثابت نگهداشته شد. نتایج حاصل از شکل ۳ نشان می دهد که حداکثر ظرفیت حذف گاز سولفید هیدروژن با بستر کمپوست برابر با ۲۲ $g\text{-}s/m^3\text{-}hr$ می باشد. همانطور که در نمودار ۲ مشاهده می گردد رابطه میزان بارگذاری با ظرفیت حذف بیوفیلتر برای تصفیه H_2S صورت خطی بوده و از ضریب پراکنش بالایی برخوردار است.

اثر سولفات بستر بر کارایی حذف سولفید هیدروژن: بدین منظور مقدار سولفات بستر در غلظتهای مختلف گاز سولفید هیدروژن ورودی اندازه گیری شد. نتایج حاصله از شکل ۴ نشان می دهد هنگامی که مقدار سولفات بستر کمتر از ۳۰ $mg\text{-}SO_4/g$ bed است، هیچگونه تاثیری بر کارایی حذف ندارد. به محض اینکه مقدار سولفات بستر از ۳۰ به ۳۵ $mg\text{-}SO_4/g$ bed رسید، کارایی حذف از ۹۹٪ به ۴۰٪ کاهش یافت تا اینکه در $mg\text{-}SO_4/g$ bed ۳۰ کارایی حذف به ۲۵٪ کاهش یافت. همچنین می توان نتیجه گرفت که مقدار سولفات بستر فعال سازی رسیده و فعالیت سطح بحرانی برای فعالیت میکروبی است، بالاتر از این سطح، سولفات به سطح غیر فعال میکروارگانیسم ها را شدیداً تحت تاثیر قرار می دهد.



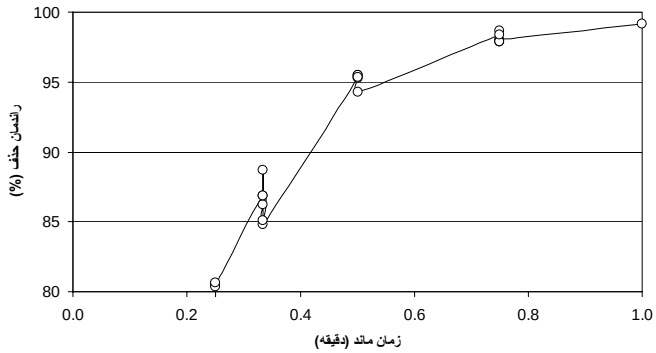
شکل ۳- بررسی رابطه بین ظرفیت حذف با میزان بارگذاری بستر



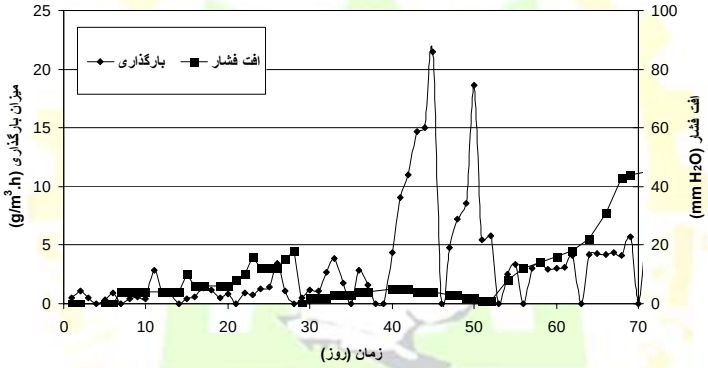
شکل ۴- اثر مقدار سولفات بستر بر کارآیی بیوفیلتر در حذف سولفید هیدروژن

بررسی اثر زمان ماند گاز بر کارایی حذف سولفید هیدروژن: تاثیر زمان ماند گاز بر کارایی حذف سولفید هیدروژن در میزان جریانهای ۶، ۸، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ لیتر در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به حجم ۶ لیتری بستر زمان ماند به ترتیب برابر با ۶۰، ۴۵، ۳۰، ۲۰ و ۱۵ ثانیه می شد. نتایج حاصله از بررسی شکل ۵ نشان می دهد که در زمان ماندهای ۶۰، ۴۵ و ۳۰ ثانیه کارایی حذف بالای ۹۵٪ می باشد. در زمان ماند ۲۰ ثانیه کارایی حذف فقط ۱۰ ٪ و در زمان ۱۵ ثانیه کارایی حذف به ۲۰٪ کاهش می یابد. بهترین کارایی حذف در زمان ماند یک دقیقه حاصل گردید.

بررسی تغییرات افت فشار و رابطه آن با میزان بارگذاری سولفید هیدروژن: رابطه بین افت فشار و میزان بارگذاری در طول دو ماه مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا تصور می رفت که با افزایش میزان بارگذاری سولفید هیدروژن در بستر، افت فشار هم افزایش می یابد چون هر چه گاز سولفید هیدروژن بیشتری وارد بستر شود مقدار سولفات بستر افزایش که خود باعث گرفتگی و افت فشار خواهد شد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می گردد عکس فرضیات ما به اثبات رسید و نتایج حاصل از این نمودار نشان می دهد که حتی با افزایش میزان بارگذاری مقدار افت فشار ثابت و تحت تاثیر میزان بارگذاری نبود. حداکثر افت فشار در طول این دوره با میزان جریان ۶ لیتر در دقیقه و زمان ماند یک دقیقه ، ۱۸ میلی متر آب بود. بیوفیلتر در بالاترین افت فشار (۱۸ میلی متر آب) دارای راندمان حذف ۹۴٪ بود و این بیانگر شرایط خوب بستر می باشد. میانگین افت فشار در طول کل دوره کاری ۶ میلی متر آب بود که بیانگر قابلیت بستر استفاده شده در فراهم آوردن تخلخل لازم همراه با کارایی حذف مطلوب می باشد.



شکل ۵- بررسی اثر زمان ماند بر کارآیی حذف بیوفیلتر

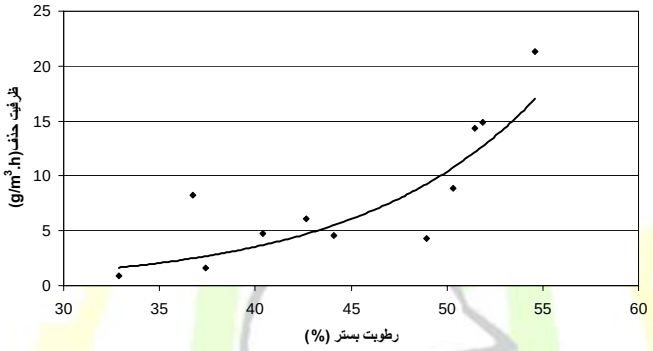


شکل ۶- بررسی تغییرات افت فشار سیستم با میزان بارگذاری بستر

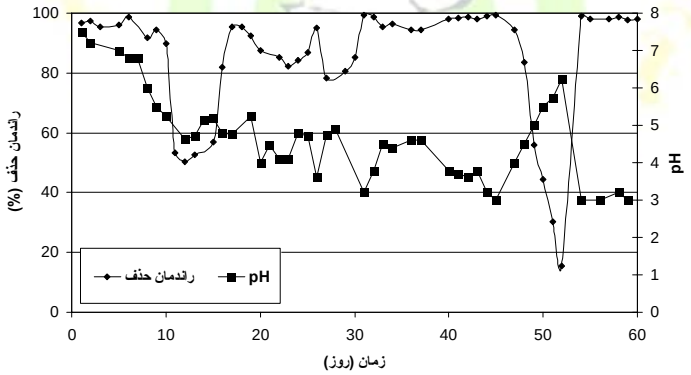
بررسی رابطه میان رطوبت بستر و ظرفیت حذف گاز سولفید هیدروژن: هدف این بود که بدانیم رطوبت بستر در محدوده ۳۰ تا ۶۰ ٪ چه رابطه ای با ظرفیت حذف دارد. نتایج حاصل از شکل ۷ نشان می دهد که با بالا رفتن میزان رطوبت بر توانایی ظرفیت حذف بستر افزوده می شود. همچنانکه مشاهده می گردد در رطوبت ۳۰ تا ۴۰ درصد حداکثر ظرفیت حذف بستر ۸ g-s/m^3.hr بود. در حالیکه در رطوبت ۵۵ درصد ظرفیت حذف بستر به ۲۱/۳ g-s/m^3.hr رسید. میتوان نتیجه گرفت که در سیستم های بیوفیلتر تجهیزات مناسب رطوبت زنی باید نصب و بهره برداری شود بطوریکه مقدار رطوبت در حد مطلوب باقی بماند.

رابطه بین pH بستر و کارایی حذف سولفید هیدروژن در بیوفیلتر: همانطور که شکل ۸ نشان می دهد در روز اول راه اندازی بیوفیلتر pH بستر معادل pH کمپوست یعنی ۷/۵ بود که به عنوان بستر به کار رفت. بعد از ورود گاز سولفید هیدروژن به سیستم pH بستر شروع به کاهش نمود، بطوریکه در روز یازدهم راه اندازی pH به ۴/۶ رسید. در این روز کارایی حذف به شدت کاهش یافت یعنی از ۹۵٪ به ۵۳٪ رسید که این کاهش راندمان می تواند بواسطه اشباع شدن ظرفیت جذب سطحی بستر باشد. گاز سولفید هیدروژن دارای خاصیت اسیدی است و در اکثر بیوفیلتر ها به منظور جلوگیری از اسیدی شدن بستر، مواد بافری همچون کربنات کلسیم اضافه می شود ولی در این تحقیق به منظور بهتر روشن شدن نقش pH بر کارایی بیوفیلتر هیچ نوع بافری اضافه نگردید. بعد از گذشت

بیست روز از راه اندازی بیوفیلتر و پایدار شدن سیستم pH در محدوده ۳ تا ۵ در حال نوسان بود و علت این نوسانات هم به این دلیل بود که بستر بیوفیلتر بصورت دوره ای به منظور رفع تجمع سولفات با آب شسته می شد. از روز ۳۰ تا ۴۷ کارایی حذف گاز سولفید هیدروژن در حد مطلوب و عالی بود، بطوریکه میانگین راندمان حذف ۹۷٪ بدست آمد. در این دوره pH در محدوده ۳ تا ۴/۵ در نوسان بود. با بالا رفتن pH کارایی حذف به شدت کاهش یافت یعنی راندمان از ۹۹ ٪ در pH برابر ۳ به ۱۵٪ در pH برابر ۶/۳ رسید. عکس این حالت با کاهش pH از ۶/۳ به ۳ اتفاق افتاد و راندمان حذف از ۱۵ ٪ سریعاً به ۹۸٪ رسید.



شکل ۷- بررسی اثر میزان رطوبت بستر بر روی ظرفیت حذف بیوفیلتر



شکل ۸- بررسی اثر مقدار pH بستر بر عملکرد بیوفیلتر در حذف سولفید هیدروژن

منابع

۱) نوئل دنورز. **" مهندسی کنترل آلودگی هوا"** ترجمه دکتر ایوب ترکیان , انتشارات دانشگاه صنایع و معادن, سال ۱۳۸۰.

2) Devinny J.S., Deshusses M.A., Webster T.S. “Biofiltration for air pollution control” 1999 by CRC press LLC.

3) Swanson W.J., Loher R.C. "Biofiltration: fundamentals, design and operations principles and application" Journal of Environmental Engineering, Vol.123, PP. 538-546, 1997.
4) ACGIH., "Guide to occupational exposure values" American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Ohio, 1991.
5) Coleman R.N. "Biofilters for Hydrogen Sulfide and Organic Sulfide Oxidation" http: //www.nrcan.gc.ca/mets/biominet/news32e.htm.
6) Langehove H.V., Wuyts E., Schamp N. "Elimination of Hydrogen Sulphide from Odorous Air by a Wood Bark Biofilter" Journal water Research, Vol.20,No12,PP.1471-1476,1986.
7) Yang Y. and Allen E.R. "Biofiltration Control of Hydrogen Sulfide,II. Kinetics, Biofilter Performance and Maintenance" J.Air and Waste Manage.assoc.,Vol.44,PP.1315-1321,1994
8) Hartikainen T., Ruuskanen J., Martikainen P.J. "Carbon Disulfide and Hydrogen Sulfide Removal with a Peat Biofilter" J. Air and Waste Management Association, Vol.51,PP.387-392, 2001.
9) "Determination of Sulfides in Air" Analytical Chemistry, Vol.29, No.9, PP.1349-1351, September 1957.
10) WEF, APHA, AWWA "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" 18 Edition, 1992.