



## تصفیه بیولوژیکی مخلوط گاز هیدروژن سولفید و آمونیاک از جریان گاز آلوده با استفاده سیستم بیوفیلتر با بستر خرده‌های پلاستیکی سخت و کمپوست

دکتر حسن تقی پور

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه دانشگاه علوم پزشکی تبریز

دکتر محمد رضا شاه‌منصوری، دکتر بیژن بینا، دکتر حسین موحدیان

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

### چکیده:

تصفیه بیولوژیکی مخلوط آمونیاک و هیدروژن در نسبت‌های مختلف توسط یک سیستم بیوفیلتر در مقیاس آزمایشگاهی که با مخلوط لجن تغلیظ شده، کمپوست و خرده‌های پلاستیک پر شده بود مورد مطالعه قرار گرفت. هدف از این مطالعه بررسی ظرفیت و راندمان حذف سیستم، اثر تغییرات pH بستر و سولفید هیدروژن ورودی بر میزان حذف آمونیاک بود. در زمان ماند خالی ۱ دقیقه و بار گذاری  $8/32 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $8/32 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  (نسبت آمونیاک و سولفید هیدروژن ۱ به ۲) ظرفیت حذف سیستم به  $8/22 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $7/42 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  و راندمان حذف به  $89/18\%$  و  $98/8\%$  رسید. در بار گذاری  $8/32 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $16/64 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  (نسبت آمونیاک و سولفید هیدروژن ۱ به ۱) ظرفیت حذف سیستم به  $7/48 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $15/03 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  و راندمان حذف  $90/3\%$  و  $90/3\%$  رسید. ولی در بار گذاری  $4/16 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $16/64 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  (نسبت آمونیاک و سولفید هیدروژن ۱ به ۲) و تحت شرایط مشابه بهره برداری ظرفیت حذف آمونیاک به  $3 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و راندمان حذف آن به  $72/34\%$  کاهش یافت در حالی که ظرفیت حذف هیدروژن سولفید به  $14/90 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  و راندمان حذف آن به  $90/11\%$  رسید. کاهش ظرفیت حذف آمونیاک با وجود کاهش بار ورودی آن به اسیدی شدن بستر و کاهش pH از  $7/4$  به  $6/6$  نسبت داده شد. نتایج مطالعه نشان داد که اکسیداسیون غلظت‌های زیاد سولفید هیدروژن به همراه آمونیاک می‌تواند سبب ایجاد استرس‌های محیطی بر روی رشد و فعالیت باکتری‌های نیتریفایر گردد.

**کلید واژه‌ها:** بیوفیلتر، آمونیاک، هیدروژن سولفید، کمپوست، ظرفیت حذف

## ۱- مقدمه

سولفید هیدروژن نیز گازی بدبو و یک آلاینده سمی هوا است. مقدار قابل توجهی از این گاز در فرایندهای صنعتی از قبیل پالایشگاه‌های نفت، صنایع تبدیل ضایعات پروتئینی، کشتارگاه‌ها و تصفیه‌خانه فاضلاب تولید می‌گردد. سمیت گاز سولفید هیدروژن در حد سمیت گاز سیانید هیدروژن می‌باشد. حداکثر غلظت مجاز یک ساعته سولفید هیدروژن، حدود ۰/۱۴ppm می‌باشد. با وجود بوی شدید گاز سولفید هیدروژن اگر غلظت آن به بیش از ۵۰۰ppm برسد انسان فقط برای چند لحظه می‌تواند بوی آن را تشخیص دهد، و بلافاصله سیستم بویایی فلج می‌گردد و انسان قادر به تشخیص بوی آن نخواهد بود و این ویژگی گاز سولفید هیدروژن می‌تواند سبب مرگ انسان گردد (۸).

نکته‌ای که لازم به توضیح است این موضوع می‌باشد که گاز سولفید هیدروژن می‌تواند به همراه آمونیاک در صنایع و تأسیسات مختلف نظیر تصفیه خانه‌های فاضلاب، تأسیسات فرآوری کود کمپوست و بویژه مجتمع‌های تولید طیور (مرغداری‌ها) نیز تولید گردد. لذا با عنایت به اهمیت موضوع از نظر بهداشتی و زیست محیطی کنترل این آلاینده‌ها در محیط ضروری می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالب فوق و با عنایت به این موضوع که سیستم بیوفیلتراسیون در تصفیه آلاینده‌های هوا تولید محصولات جانبی مضر نمی‌کند و محصولات جانبی آن عموماً شامل دی‌اکسید کربن، آب، نیترات، سولفات و ... هستند که بی‌ضرر می‌باشند و همچنین بدلیل اینکه با وجود دارا بودن راندمان حذف خوب، راهبری آسان بوده و نیاز به مصرف انرژی کم، هنوز بعنوان یک فن آوری جدید و پیشرفته در کشورمان بکار گرفته نشده است. هدف از این مطالعه بررسی ظرفیت و راندمان و حذف سیستم بیوفیلتر در حذف مخلوط سولفید هیدروژن و آمونیاک و همچنین اثر تغییرات pH بستر و میزان سولفید هیدروژن ورودی بر حذف آمونیاک می‌باشد.

## ۲- روش بررسی

### ۲-۱- مشخصات بیوفیلتر مورد استفاده

بیوفیلتراسیون یک فن آوری نوین جهت کنترل آلاینده‌های هوا می‌باشد و کاربرد جدیدی از بیوتکنولوژی است. بیوفیلترها با عبور هوای آلوده مرطوب از میان توده بستر که عموماً مخلوط کمپوست با خرده‌های چوب و یا هر ماده حجیم کننده دیگر می‌باشد کار می‌کنند. باکتری‌هایی که کار تجزیه آلاینده‌ها را انجام می‌دهند به طوری طبیعی بر روی بستر رشد می‌کنند و تثبیت می‌گردند (۱،۲).

آمونیاک گازی بی‌رنگ و خورنده می‌باشد که دارای بوی زننده و تحریک کننده است. مقدار قابل توجهی از این گاز در صنایعی مانند صنایع پتروشیمی، صنایع فرآوری مواد غذایی، فرایندهای تولید مواد منفجره، صنایع کاغذ و خمیر کاغذ، نساجی، سیستم‌های خنک کننده، مجتمع‌های دامپروری و تولید طیور، تصفیه خانه‌های فاضلاب و تأسیسات فرآوری کود کمپوست تولید می‌گردد (۳،۴،۵). با توجه به وسعت و تعداد منابع پخش کننده این آلاینده، انتشار این گاز به محیط از طریق فرایندهای مختلف اجتناب ناپذیر است. تنفس آمونیاک در غلظت‌های بالا سمی می‌باشد. در غلظت‌های بالاتر از ۲۲۰۰ppm سلامت انسان را به شدت خطر انداخته و در غلظت ۴۵۰۰ppm سبب مرگ انسان می‌گردد. در غلظت‌های پائین‌تر باعث سردرد، حالت تهوع، تحریک و سوزش چشم، گلو، پوست، بینی و ریه انسان می‌گردد. تماس کوتاه مدت با گاز آمونیاک باعث گرفتگی بخش‌های بالای دستگاه تنفسی انسان و بیماری ادم و تماس طولانی مدت سبب برونشیت می‌گردد. علاوه بر آن بوی زننده آمونیاک بعنوان یک عامل مزاحم بوده و سبب شکایات و ناراضایتی عمومی در جوامع می‌گردد و بسیاری از صنایع و تأسیسات به علت بوی بد آمونیاک با خطر تعطیل مواجه می‌شوند. غلظت مجاز توصیه شده توسط US EPA برای گاز آمونیاک ۰/۱۳ppm ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) می‌باشد (۳،۴،۶،۷).

1- United State Environmental Protection Agency

رشد میکروارگانیسم‌ها در بیوفیلتر از خرده‌های پی وی سی به عنوان ماده افزودنی به کمپوست استفاده گردید. همچنین به دلیل این که باکتری‌های نیتروفاير که عمدتاً شامل باکتری‌های نیتروموناس و نیتروباکتر و سایر گونه‌هائی می‌باشند که شیمواتوترف و هوازی هستند و مشخصه اصلی آنها کند رشد بودن آنها می‌باشد به این دلیل جهت تسريع فرآیند نیتروفيکاسيون از لجن برگشتی تغلیظ شده فاضلاب شهری که از تصفیه خانه فاضلاب شهری جنوب اصفهان تهیه گردید به عنوان ماده تلقیح کننده استفاده گردید. نحوه آماده سازی بستر به این صورت بود که کمپوست و خرده های پی وی سی و لجن به ترتیب با نسبت‌های ۲،۳،۱ با هم مخلوط شدند.

## ۲-۲- روش‌های آنالیز

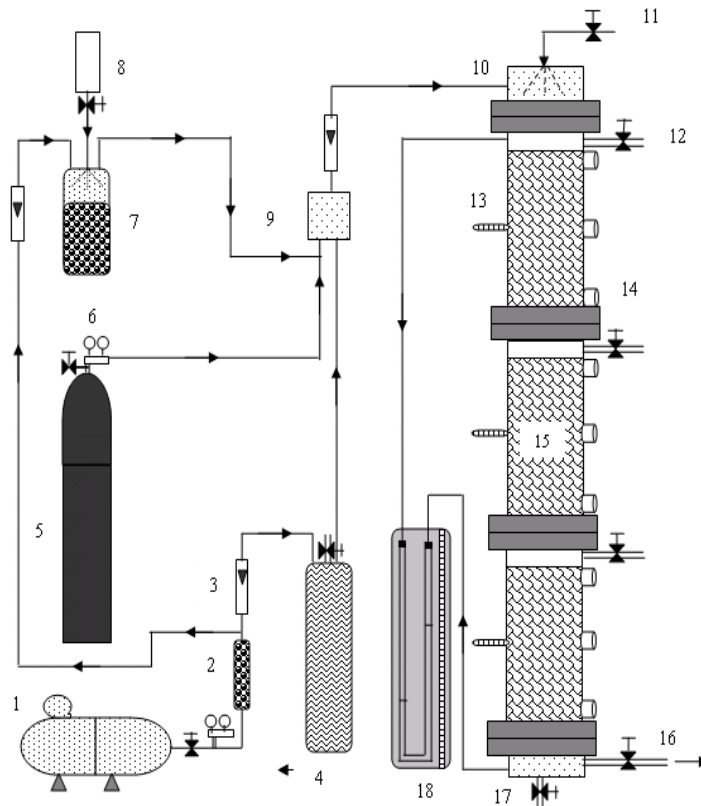
اندازه‌گیری غلظت آمونیاک با استفاده با روش ایندوفنل<sup>۱</sup> انجام گرفت (۹). در این روش آمونیاک موجود در هوا ورودی با عبور دادن حجم مشخص از هوا از داخل محلول اسید سولفوریک موجود در یک ایمپنجر (گاز شوی) به سولفات آمونیوم تبدیل شده و جمع آوری می‌گردد. سولفات آمونیوم تشکیل شده در نمونه به روش رنگ سنجی آنالیز می‌شود و با واکنش فنل، هیپوکلریت سدیم قلیایی، ایندوفنل که دارای رنگ آبی می‌باشد تشکیل می‌شود. واکنش فوق با افزودن نیتروپروپید سدیم به عنوان کاتالیزور واکنش تسريع می‌گردد (۹). برای اندازه‌گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن از روش ژاکوب و همکاران استفاده شد. این روش بر اساس جذب سولفید هیدروژن هوا در یک محلول قلیائی و سپس افزودن معرف های رنگی می‌باشد، شدت رنگ ایجاد شده در محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود، شدت رنگ ایجاد شده متناسب با غلظت سولفید هیدروژن جذب شده در محلول می‌باشد (۱۰). برای اندازه‌گیری PH مقادیر ۵ گرم از بستر را برداشته شده و ۵۰ میلی آب مقطر دوبار تقطیر شده مخلوط می‌گردد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی هم‌زن قرار داده

این تحقیق یک مطالعه تجربی بود که در مقیاس آزمایشگاهی در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انجام گرفت. فلودیاگرام پایلوت سه بستری مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. بیوفیلتر مورد استفاده در مقیاس آزمایشگاهی به قطر ۸ سانتیمتر که از سه قسمت قابل تفکیک از هم و هر کدام به ارتفاع ۴۰ سانتیمتر ساخته شد. هر کدام از این بخش‌ها بعنوان یک لایه از سیستم بیوفیلتراسیون سه بستری جدا عمل می‌کنند. در هر قسمت علاوه بر یک شیر نمونه‌برداری از جریان گاز دو دریچه جهت کنترل، بازدید و نمونه‌برداری طراحی و نصب شد. علاوه بر آن از یک مانومتر و یک ترمومتر برای ثبت فشار و درجه حرارت استفاده شد. جهت حفظ درجه حرارت در حد مطلوب و ثابت نگهداشتن دمای کل ستون بیوفیلتر در سه لایه ستون پایلوت مورد استفاده به یک المنت حرارتی به همراه یک ترموکوپل استفاده گردید جهت اطمینان از کنترل درجه حرارت در هر یک از سه لایه بیوفیلتر یک دماسنج الکلی با دقت  $\pm 1$  درجه سانتی نصب گردید به منظور جلوگیری از افت درجه حرارت به دلیل تبادل حرارتی موجود با هوای محیط کل ستون بیوفیلتر با استفاده از پشم شیشه کاملاً پوشانده و ایزوله گردید. در بالاترین قسمت بیوفیلتر یک دریچه به منظور افزایش احتمالی آب، یا افزایش مجدد شیرابه خروجی به آن و همچنین مواد معدنی طراحی و نصب گردید. همچنین در قسمت انتهای سیستم یک شیر و دریچه خروجی جهت خروج شیرابه احتمالی تولید شده طراحی و نصب گردید. جهت اندازه‌گیری دبی هوا دو فلومتر مخصوص به ترتیب با مقیاس ۴ تا ۱۰ لیتر در دقیقه و ۱۰ تا ۱۰۰ لیتر در دقیقه بر روی پایلوت نصب گردید.

در این مطالعه به دلیل این که کمپوست رسیده دارای انواع مختلفی از جمعیت‌های میکروبی می‌باشد و توان خوبی در حفظ آب دارد به عنوان ماده اصلی بستر انتخاب گردید (۱). کمپوست مورد استفاده از کارخانه کمپوست اصفهان تهیه شد. جهت جلوگیری از اقت فشار و یا فشردگی بستر و ممانعت از کانالیزه شدن جریان هوا و همچنین ایجاد محیط مناسب برای

1-Indophenol Method

می شود و با ۳۵۰ دور در دقیقه آن را مخلوط می گردد، سپس به وسیله دستگاه pH متر مقادیر آن را قرائت می گردد(۱۱).



شکل ۱- فلودباگرام پابلوت مورد استفاده (۱- کمپرسور، ۲- ستون کربن فعال، ۳- فلومتر، ۴- برج رطوبت ساز، ۵- کپسول گاز آمونیاک، ۶- ظرف سولفید سدیم، ۷- رگلاتور، ۸- تزریق کننده اسید کلریدریک، ۹- محفظه اختلاط، ۱۰- ورودی، ۱۱- ورودی آب، ۱۲- نمونه برداری از هوا، ۱۳- ترمومتر، ۱۴- نمونه برداری از بستر، ۱۵- بستر بیوفیلتر، ۱۶- خروجی، ۱۷- خروجی شیرابه، ۱۸- مانومتر)

در این شرایط راندمان سیستم در حذف آمونیاک در روز دهم به بیش از ۹۷ درصد رسید. شرایط فوق با افزایش تدریجی بار آمونیاک ورودی ادامه پیدا کرد و پس از ۱۰۶ روز حداکثر ظرفیت حذف سیستم برای آمونیاک در بار ورودی  $9/85 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  به  $9/86 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  رسید که معادل ۹۹٪ راندمان حذف بود (جزئیات این مرحله در مقالات جداگانه ای ارایه شده است). پس از این مرحله ظرفیت و راندمان حذف کاهش پیدا کرد. جهت ایجاد مجدد شرایط

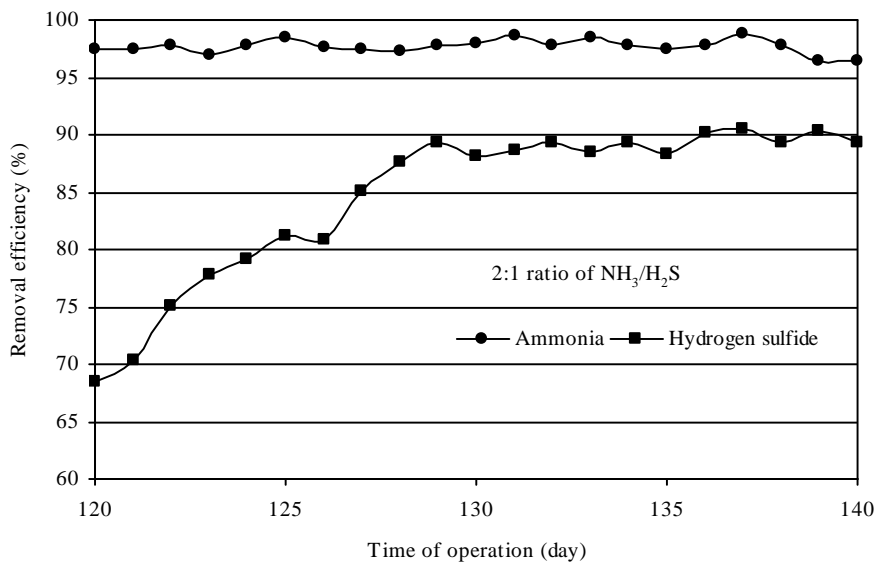
### ۳- نتایج

#### ۳-۱- ظرفیت و راندمان حذف سیستم

جهت سازگاری سیستم پس از راه اندازی پابلوت و رفع مشکلات و نواقص اولیه موجود، تزریق آمونیاک با غلظت پائین به داخل سیستم شروع گردید. در این مرحله دبی هوای ورودی به بیوفیلتر برابر با  $0/388 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $6/48 \text{ L/min}$ )، زمان ماند خالی سیستم (EBRT) برابر ۱ دقیقه، و متوسط بار آمونیاک ورودی به بیوفیلتر برابر با  $2/15 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  بود.

گرددید و راندمان بیوفیلتر در حذف این دو گاز مورد پایش قرار گرفت. علت انتخاب این غلظت ها برای آمونیاک و سولفید هیدروژن به ترتیب داده‌های به دست در ارتباط با حذف آمونیاک در مراحل قبل و تجربیات و نتایج حاصل از یافته‌های سایر محققین بود.

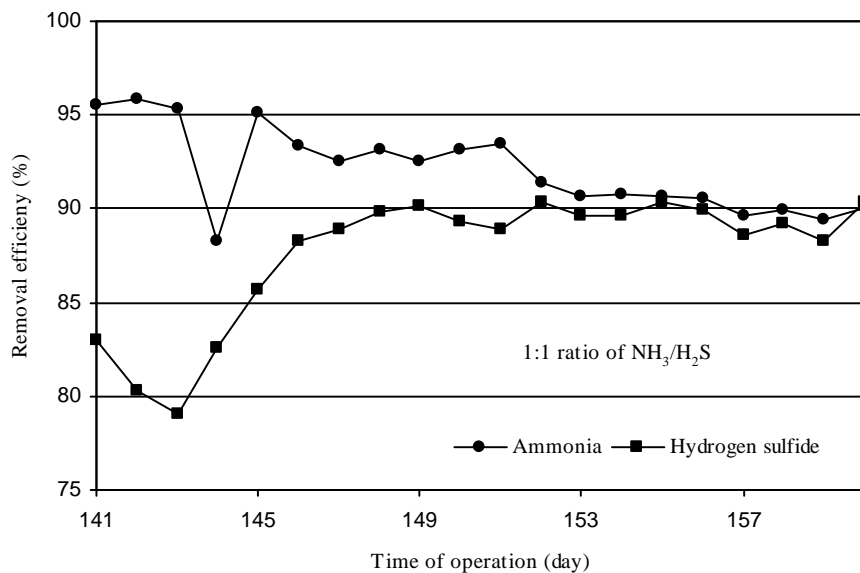
پایدار سیستم با بار ورودی  $8/32 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  به مدت ۲ هفته مورد بهره‌برداری قرار گرفت و شرایط کاملاً پایدار در سیستم ایجاد شد. سپس نسبت‌های مختلفی از ترکیب آمونیاک و سولفید هیدروژن در سه مرحله وارد راکتور گردید. در مرحله اول که نتایج آن در نمودار ۱ نشان داده شده است مخلوط آمونیاک و هیدروژن سولفید با نسبت ۱ به ۲ به ترتیب به غلظت‌های حدود  $200 \text{ ppm}$  و  $100 \text{ ppm}$  و بار گذاری



نمودار ۱- راندمان حذف آمونیاک و هیدروژن سولفید در هنگام تزریق همزمان این دو گاز با غلظت‌های  $200$  و  $100$  پی پی ام (نسبت ۲ به ۱)

ترتیب برابر با حدود  $200 \text{ ppm}$  و  $200 \text{ ppm}$  شد (بار گذاری  $8/32 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $16/64 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$ ). نمونه‌های لازم از بیوفیلتر گرفته شد و آزمایش‌های مربوط بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و نتایج ثبت گردید که در نمودار ۲ نشان داده شده است.

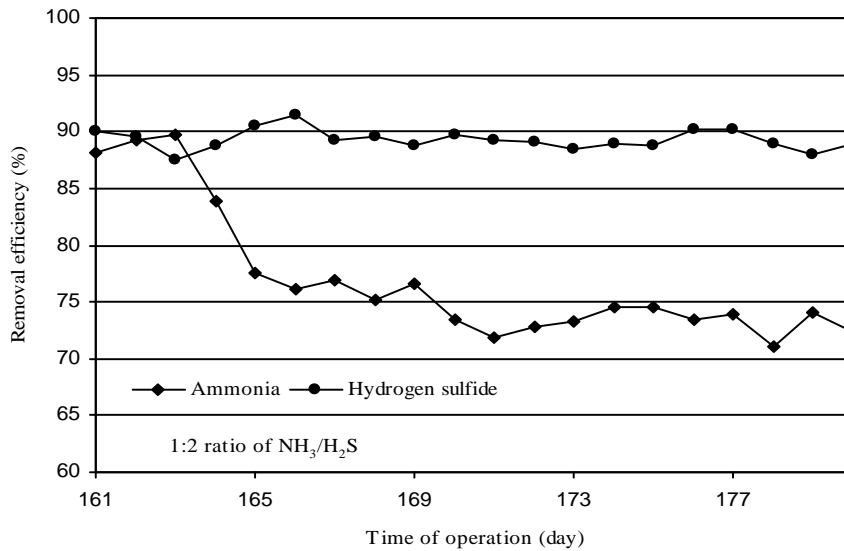
در مرحله دوم و در ادامه مرحله قبل از روز ۱۴۱ مقادیر غلظت آمونیاک ورودی برابر با مرحله قبل حفظ شد ولی مقادیر هیدروژن سولفید ورودی به میزان دو برابر افزایش یافت در نتیجه نسبت آمونیاک و هیدروژن سولفید ورودی به مقادیر ۱ به ۱ رسید و غلظت‌های آمونیاک و هیدروژن سولفید ورودی به



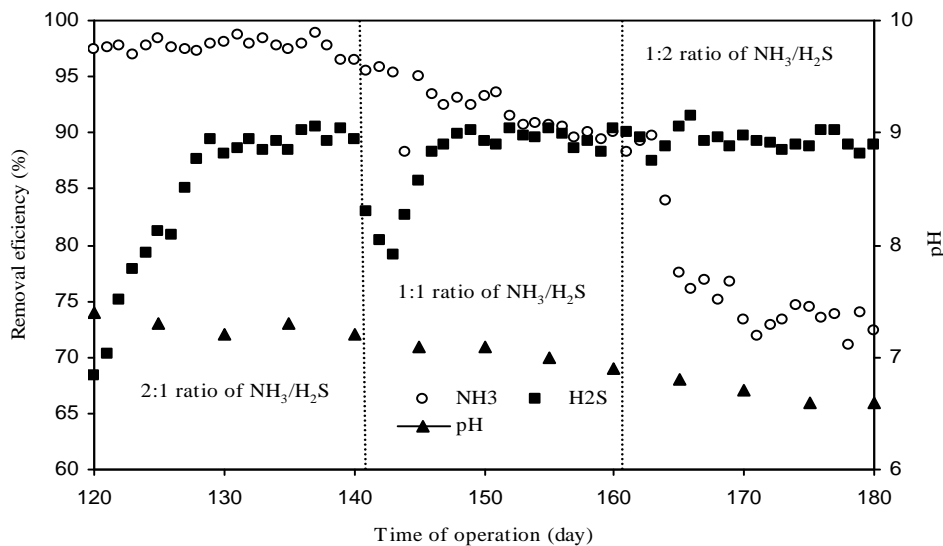
نمودار ۲- راندمان حذف آمونیاک و سولفید هیدروژن در هنگام تزریق همزمان این دو گاز با غلظت های به ترتیب در حدود ۲۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام (نسبت ۱ به ۱)

خروجی سیستم به طور مداوم نمونه برداری از گاز آمونیاک و هیدروژن سولفید صورت گرفت و مورد آنالیز قرار گرفت. همزمان روند تغییرات pH در بیو فیلتر سه بستری در حذف مخلوط مخلوط گاز آمونیاک و هیدروژن سولفید طی دو ماه و در هر سه مرحله مطالعه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در نمودار ۴ نشان داده شده است.

در مرحله سوم و در ادامه مرحله قبل از روز ۶۱ که نتایج آن در نمودار ۳ نشان داده شده است غلظت آمونیاک ورودی به نصف کاهش پیدا کرد و غلظت هیدروژن سولفید ورودی برابر با مرحله دوم حفظ شد در نتیجه نسبت غلظت آمونیاک ورودی به هیدروژن سولفید به ۱ به ۲ رسید و غلظت های و بارهای ورودی به ترتیب به حدود ۱۰۰ ppm و ۲۰۰ ppm و  $4/16 \text{ NH}_3/\text{m}^3 \text{ h}$  و  $g \text{ H}_2\text{S}/\text{m}^3 \text{ h}$  رسید. از ورودی و



نمودار ۳- راندمان حذف آمونیاک و سولفید هیدروژن در هنگام تزریق همزمان این دو گاز با غلظت‌های به ترتیب در حدود ۲۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام (نسبت ۱ به ۲)



نمودار ۴- روند تغییرات PH در بیو فیلتر سه بستری در حذف مخلوط گاز آمونیاک و هیدروژن سولفید طی دو ماه

تصفیه فاضلاب، تاسیسات فراوری کود کمپوست و صنایع مختلف دیگر وارد محیط زیست می‌گردد. لذا در این مطالعه با فرض این که ممکن است که این دو آلاینده به طور همزمان در منبع آلوده ساز تولید و وارد بیوفیلتر گردد بررسی کارائی

#### ۴- بحث

همان طور که ذکر شد به دلیل اینکه هیدروژن سولفید گازی است که می‌تواند به همراه آمونیاک در صنایع مختلف نظیر تصفیه و پالایش نفت، متالورژی، فراوری مواد غذایی، تاسیسات

کارایی بیوفیلتر در حذف آمونیاک بهتر از سولفید هیدروژن بوده است (۱۳). براساس نتایج این مرحله می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کارایی بیوفیلتر در حذف آمونیاک در این غلظت‌ها (غلظت آمونیاک ۲۰۰ ppm و سولفید هیدروژن ۱۰۰ ppm) تحت تاثیر سولفید هیدروژن ورودی قرار نگرفته است.

مرحله دوم (نسبت ۲ به ۱ آمونیاک به سولفید هیدروژن) که نتایج آن در نمودار ۲ نشان داده است راندمان حذف آمونیاک با روند خیلی کندی کاهش پیدا کرده است و از حدود ۹۵/۵ درصد به حدود ۹۰ درصد کاهش پیدا کرده است ولی در مورد سولفید هیدروژن به غیر روز های ۱۲۱ و ۱۲۲ که همزمان با زمان افزایش سولفید هیدروژن بود راندمان حذف روندی رو به افزایش داشت و از ۸۹/۱۸ به حداکثر ۹۰/۳ در انتهای هفته سوم رسید. در مرحله سوم (نمودار ۳) از روز ۱۶۱ غلظت و بار ورودی آمونیاک کاهش داده شد و به ترتیب به حدود ۱۰۰ و ۴/۱۶  $g NH_3/m^3 h$  رسانده شد ولی تزریق غلظت و بار ورودی سولفید هیدروژن ورودی به داخل بیوفیلتر مانند مرحله دوم و برابر با ۲۰۰ ppm و ۱۶/۶۵  $g H_2S/m^3 h$  ادامه پیدا کرد. در نتیجه نسبت مخلوط غلظت آمونیاک و سولفید هیدروژن ورودی در هوای ورودی به ۱ به ۲ تغییر پیدا کرد. این مرحله نیز مانند دو مرحله قبلی در حدود ۳ هفته ادامه پیدا کرد. راندمان حذف سولفید هیدروژن در ۸۸/۹۳ درصد تا ۹۰/۱۱ درصد در نوسان بود و در مقایسه با مرحله قبلی تغییرات خیلی محسوسی نداشت ولی کارایی بیوفیلتر در حذف آمونیاک با سولفید هیدروژن به سرعت رو به کاهش گذاشت به طوری از ۹۰ درصد موجود در روز ۱۶۰ به ۷۲/۳۴ درصد در روز ۱۸۰ کاهش پیدا کرد و غلظت خروجی گاز آمونیاک از بیوفیلتر به ۲۷/۶۲ ppm رسید که کارایی مطلوبی نمی‌باشد و در مقایسه با استانداردها به هیچ عنوان از استانداردهای خروجی تبعیت نمی‌کند (۱۰) البته باید توجه داشت که مقادیر غلظت و بار ورودی آمونیاک در این مرحله نسبتاً پائین بود، لذا باید دلیل کاهش شدید کارایی سیستم در حذف آمونیاک فعل و انفعالات بیولوژیکی و شیمیایی داخل راکتور بیوفیلتر باشد که مهم‌ترین

بیوفیلتر در هنگام تزریق مخلوط آمونیاک و هیدروژن سولفید به داخل بیوفیلتر و اثر احتمالی متقابل آنها بر راندمان حذف سیستم مورد مطالعه قرار گرفت.

در مرحله اول (نسبت ۲ به ۱ آمونیاک به سولفید هیدروژن) که نتایج آن در نمودار ۱ ارایه شده است، همان طور که مشاهده می‌گردد در شروع بهره‌برداری و تزریق سولفید هیدروژن راندمان حذف آن به حدود ۶۸/۴ درصد رسید و با گذشت زمان راندمان حذف افزایش یافت و پس از گذشت ۱ هفته به ۸۰/۸ درصد رسید و در پایان هفته دوم به ۸۸/۴۵ درصد افزایش پیدا کرد ولی از اواخر هفته دوم و کل هفته سوم شرایط به صورت پایدار پیش رفت و حداکثر راندمان حذف مشاهده شده برابر با ۸۹/۱۸ در پایان هفته سوم بود که اختلاف معنی‌داری با مقادیر حذف شده در اواخر هفته دوم نداشت و نشان دهنده این موضوع بود که پایلوت از نظر حذف سولفید هیدروژن به حالت پایدار رسیده است در طی این مدت راندمان حذف آمونیاک بین ۹۵/۵ تا ۹۸/۸ درصد حفظ گردید و نوسانات محسوسی در راندمان حذف آمونیاک مشاهده نگردید. با توجه به نتایج حاصل از این مرحله می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کارایی بیوفیلتر در حذف آمونیاک در این غلظت‌ها تحت تاثیر سولفید هیدروژن ورودی قرار نگرفته است در مقایسه با مطالعه‌ای که توسط Ying-Chien.c و سایر همکارانش صورت گرفته و حذف مخلوط آمونیاک و سولفید هیدروژن را با غلظت‌های به ترتیب ۱۲۰ ppm و ۶۰ ppm را با استفاده از بیوفیلتر مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند تطابق نسبی دارد. (۱۲) ولی در مطالعه‌ای دیگر که توسط Malhautier.L و همکارانش صورت گرفته و حذف مخلوط آمونیاک و سولفید هیدروژن را با غلظت‌های به ترتیب ۱۴۰ ppm و ۷۰ ppm مورد تحقیق قرار داده‌اند راندمان حذف ۱۰۰ درصدی برای سولفید هیدروژن و ۶۰ تا ۸۰ درصدی برای آمونیاک گزارش کرده‌اند تطابق خوبی نشان نمی‌دهد در واقع در مطالعه فوق کارایی بیشتری از نظر حذف سولفید هیدروژن گزارش شده است در حالی که در تحقیق حاضر



مطالعه مشابهی که توسط Malhautier.L و همکارانش انجام شده نیز مورد مشابهی گزارش شده است (۱۳).

### نتیجه گیری:

- در تزریق مخلوط آمونیاک و سولفید هیدروژن با نسبت ۲ به ۱ آمونیاک و سولفید هیدروژن ( ۲۰۰ ppm و ۱۰۰ ppm ) و زمان ماند خالی ۱ دقیقه حداکثر راندمان حذف به ترتیب به ۸/۹۸٪ و ۱۸/۸۹٪ رسید.
- در نسبت ۱ به ۱ آمونیاک و سولفید هیدروژن ( ppm ۲۰۰ و ۱۰۰ ) حداکثر راندمان حذف به ترتیب به ۹۰٪ و ۳/۹۰٪ رسید.
- ولی در نسبت ۱ به ۲ ( ۱۰۰ ppm و ۲۰۰ ppm ) به علت اسیدی شدن بستر و کاهش PH از ۷/۴ به ۶/۶ به دلیل وارد شدن استرس به باکتری‌های نیتریفایر راندمان حذف به دلیل کاهش راندمان حذف آمونیاک از ۹۸/۸٪ در مرحله اول به ۳۴/۷۲٪ کاهش پیدا کرد.
- حذف بیولوژیکی مخلوط آمونیاک به همراه غلظت‌های زیاد سولفید هیدروژن می تواند سبب وارد شدن استرس‌های محیطی به میکروارگانیسم‌های اکسید کننده آمونیاک گردد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به دلیل تامین هزینه های این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

این موارد تبدیل سولفید هیدروژن به  $SO_4^{2-}$  و آمونیاک به  $NO_3^{-1}$  و اسیدی شدن بستر بیوفیلتر (نمودار ۴) می باشد. همان طور که در نمودار روند تغییرات pH مشاهده می گردد در طی ۲ ماه مقادیر pH همواره رو به کاهش بوده است ولی سرعت کاهش آن در مراحل مختلف متفاوت بوده است به طوری که در طی حدود ۲۰ روز اول از ۷/۴ به ۷/۲ کاهش پیدا کرد. در طی این مدت نسبت آمونیاک ورودی به سولفید هیدروژن ورودی ۲ به ۱ بوده و راندمان حذف آمونیاک نوسان خیلی محسوسی نداشت ولی به دلیل اینکه میکروارگانیسم‌ها در حال سازگار شدن به سولفید هیدروژن بودند با گذشت زمان راندمان حذف سولفید هیدروژن افزایش پیدا کرده است. در فواصل روزهای ۱۴۰ تا ۱۶۰ که نسبت آمونیاک به سولفید هیدروژن به مقادیر ۱ به ۱ تغییر پیدا کرد مقادیر pH از ۷/۲ به ۶/۹ کاهش پیدا کرد و در واقع کم کم بستر به سمت اسیدی شدن حرکت کرد که دلیل این موضوع در این مرحله سازگاری کامل میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده سولفید هیدروژن و تولید شدن مقادیر بیشتری از  $SO_4^{2-}$  و همچنین تولید  $NO_3^{-1}$  در داخل بستر می باشد البته مشخص است که نقش  $SO_4^{2-}$  در این امر بیشتر می باشد افت pH در طی این مرحله و اسیدی شدن بیشتر بستر سبب شد راندمان حذف آمونیاک ۵ درصد کاهش پیدا کند. در فواصل روز های ۱۶۰ تا ۱۸۰ که نسبت مخلوط آمونیاک و سولفید هیدروژن برابر با ۱ به ۲ می باشد pH بستر براساس نمودار ۴ از ۶/۹ به ۶/۶ کاهش پیدا کرد و شرایط اسیدی به طور قابل توجهی در بستر حاکم شد. به دلیل حساسیت خیلی زیادی که باکتری‌های نیتروزوموناس و نیتروباکتر به کاهش pH محیط دارند. افت شدیدی در راندمان حذف آمونیاک مشاهده گردید و به حداقل مقدار ۳۴/۷۲ درصد رسید. در نتیجه می توان گفت که میکروارگانیسم‌های فعال در فرایند نیتریفیکاسیون در هنگام مواجه شدن با مخلوط آمونیاک و سولفید هیدروژن در غلظت‌های نسبتا زیاد (حدود ۱۰۰ ppm و ۲۰۰ ppm) به علت حاکم شدن شرایط اسیدی حساسیت نشان داده اند و کارائی مطلوبی را نداشته اند در

7. Boyeette, R.A., "Compost facility odor control using biofiltration comparison of approach and performance at open facility and a totally enclosed facility" E & A environmental consultants, Inc.
8. [http:// www.epa.gov/air/](http://www.epa.gov/air/)
- 9- Busca, G., Pistarino, C. "Abatement of ammonia and amines from waste gases: a summary" Journal of loss prevention in the process Industries 16: 157-163, 2003
- 10- Morris, B., Jacobs, M.M., Braveman and et al. "Ultra micro determination of sulfides in Air" Analytical Chemistry, Vol. 29, No 9, pp.1349- 1351, 1957.
- 11- Bitton, G." Waste water microbiology" Wiley – Liss, 1994.
- 12- Chung, Y.C., Huang, C., and et al. "Biofiltration of H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> – containing waste gas by co-immobilized cells" Chemosphere, 41:329-336. 2000.
- 13- Malhautier, L., Grecian, C., and et al., "Biological treatment process of loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture" Chemosphere 50: 145-153, 2003.
1. Deviny, J.S., Deshusses, M.A, Webster, T.S. "Biofiltration for air pollution control" Lewis publishers, CRC Press, 1999.
- 2- Deshusses, M.A., Cox H.H.j. "Biotrickling filters for air pollution control" Department of chemical and environmental engineering university of California, 2000.
3. US EPA. "Control and pollution prevention options for Ammonia emission" 466. R – 95-002, 1995.
4. Ontario Ministry of the environment. "Ontario air standards for Ammonia" Ontario., 2001.
5. Liang, Y. Quan, X & et al. "Long – term results of ammonia removal and transformation by bifiltration" Journal of Hazardous Material., B80.259-269, 2000.