

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

بررسی حذف هیدروژن سولفید از بیوگاز با استفاده از فرایندهای بیولوژیکی

میثم عسگریانی^{۱*} - حمزه علی طهماسبی^۲ - سوسن خسرویاری^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

Email:meysamasgaryani@yahoo.com

چکیده

سولفید هیدروژن (H_2S) سمی است و در حال حاضر ترکیبی بودار در بیوگاز تولید شده توسط هضم بیهوازی لجن و سایر مواد آلی است. با توجه به اهمیت و طبیعت خورنده آن در موتورهای احتراق داخلی، در این مقاله مروری بر فرایند حذف بیولوژیکی سولفید هیدروژن می شود. باکتری های فوتوتراپی و شیمی تراپی هر دو میکروارگانیسم های مناسبی برای بیواکسیداسیون سولفید هیدروژن هستند. فوتوتراپیک باکتری ایده ال برای حذف فرایند های بیولوژیکی به دلیل توانایی آن برای رشد تحت شرایط بیهوازی تنها با استفاده از بسترهای معدنی و یک منبع نور محصول خروجی عنصر سولفور از H_2S می باشد. راکتورهای فیلم ثابت فوتوتراپیک یک مفهوم جالب مقرون به صرفه برای حذف هیدروژن سولفید از بیوگاز به دلیل توانایی برای عمل کردن در یک دوره طولانی بدون جداسازی زیست توده و توانایی عمل کردن تحت بارگذاری بالا و متغیر است. با این حال، یک منبع نور یکی از محدودیت های اصلی برای این فرایند است. باکتریهای شیمی تراپیک را می توان در راکتور فیلم ثابت مورد استفاده قرار داد که منجر به تولید گوگرد به جای سولفات تحت شرایط کنترل شده اکسیژن است. این بیواسکراپها پذیرش قابل قبولی برای تصفیه گازهای حاوی سولفید هیدروژن از طیف وسیعی از منابع مانند بیوگاز، گاز خروجی از واحد تصفیه پساب، کود مزارع و غیره دارند. بیوفیلترها ارزان هستند و ممکن است به اندازه کافی شامل میکرو مواد مغذی برای تجمع میکروبی باشند. نیازهای تحقیقات آینده عبارت از بهینه سازی فرایند بیهوازی بیوفیلتراسیون و توسعه یک سیستم ترکیبی از باکتریهای فوتوتراپیک و شیمی تراپیک برای حذف سیلوکسان در فرایند می باشد.

واژه های کلیدی: هیدروژن سولفید، فوتوتراپیک، اکسیداسیون بیولوژیکی، بیوفیلتراسیون، بیواسکراپی

۱-مقدمه

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

۲-استادیار گروه مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان ۳-عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

سولفید هیدروژن موجود در بیوگاز تولید شده در طی هضم بیهوازی از مواد زیستی تخریب پذیر است. که از تخریب پروتئین ها و سایر ترکیبات حاوی گوگرد در پسماندهای آلی توسط هاضم تولید می شود. غلظت سولفید هیدروژن در بیوگاز بستگی به مواد اولیه متفاوت بوده و بین ۰,۱ تا ۰,۲٪ می باشد [1,2]. به طور کلی، بیوگاز از کود و پروتئین پسماندهای صنعتی که شامل مقدار زیادی هیدروژن سولفید است تولید می شود [3]. مقدار زیادی سولفید هیدروژن نیز از فعالیت های صنعتی مانند پالایش نفت، تولید کاغذ و خمیر کاغذ، فرایندهای مواد غذایی، دامداری، و فرایند گاز طبیعی آزاد می شود. همچنین بیوگاز در زباله یافت می شود و یکی از مولفه های بودار اصلی در ترکیب گاز خروجی از جمع آوری پساب و امکانات تصفیه ای می باشد. بیوگاز حاصل از این فرایند تثبیت مواد زائد به عنوان یک منبع انرژی تجدیدشونده است که معمولاً استفاده نمی شود. یکی از بزرگترین عوامل محدودکننده استفاده از بیوگاز سولفید هیدروژن موجود در آن است که در موتورهای احتراق داخلی بسیار خورنده است [4]. در حال حاضر، فن آوری تجاری برای حذف H_2S بر پایه شیمیایی و گران قیمت هستند [5,7,6].

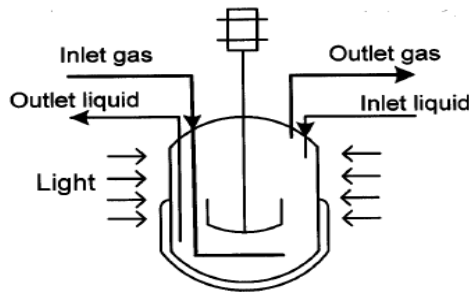
علاوه بر بوی ناخوشایند آن سولفید هیدروژن (H_2S) گاز بسیار سمی است. پس از استنشاق سولفید هیدروژن با آنزیم های موجود در جریان خون واکنش نشان می دهد و مانع از تنفس سلولی و در نتیجه فلج ریوی ناگهانی و مرگ می شود. قرار گرفتن در معرض مداوم غلظت پائین ۵۰ تا ۱۵ ppm به طور کلی باعث تحریک غشاء مخاطی و نیز ممکن است باعث سردرد، سرگیجه و حالت تهوع شود. غلظت های بالاتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ ppm ممکن است باعث ایست تنفسی و منجر به کما و بییهوشی شود. و قرار گرفتن در معرض بیش از ۳۰ دقیقه در غلظت های بیش از ۷۰۰ ppm منجر به مرگ شده است [8].

شستشو، جذب سطحی کربن، اکسیداسیون حرارتی و شیمیایی برای حذف H_2S از جریان گاز استفاده می شوند [9]. فرایند کلاوس (Claus) یکی از محبوب ترین فرایندهای مورد استفاده برای حذف سولفید هیدروژن و بازیابی گوگرد در مقیاس صنعتی می باشد. در اولین مرحله از فرایند کلاوس، H_2S تا حدی با هوا به SO_2 اکسید می شود. سپس مخلوط H_2S/SO_2 با بیش از یک کاتالیزور بوکسیت واکنش می دهد و به عنصر سولفور (S) و آب تبدیل می شود. به طور معمول ۹۰ تا ۹۵ درصد H_2S به S تبدیل می شود. باقیمانده H_2S نیز به SO_2 اکسید شده یا در یک واحد تصفیه گاز خروجی به گوگرد تبدیل می شود.

فرایند حذف شیمیایی H_2S به دلیل نیاز به مواد شیمیایی به مقدار زیاد، انرژی و هزینه های دفع گران قیمت هستند. به این دلایل، روش های تصفیه بیولوژیکی برای حذف سولفید هیدروژن به عنوان یک جایگزین تصفیه شیمیایی مطلوب هستند. فرایند بیولوژیکی حذف سولفید هیدروژن پتانسیلی برای غلبه بر همه یا تعدادی از معایب فرایندهای شیمیایی را داراست [10,11]. در این مقاله به بررسی فرایندهای بیولوژیکی حذف هیدروژن سولفید در عمل و شناسایی نیازهای پژوهشی در جهت بهبود فرایند می پردازیم.

۲- بیوراکتورهای برای حذف H_2S شامل باکتری فوتوتراپیک (phototrophic)

۱-۲- راکتورهای ناپیوسته خوراک گاز: به طور معمول یک راکتور ناپیوسته تغذیه کننده گاز (شکل ۱) همانند یک مخزن همزن دار است که به طور مداوم یا متناوب برای فاز گاز (شارهدف) و برای فاز مایع (محلول مغذی) به صورت دوره ای عمل می کند. این میکروارگانیسم ها می توانند در محلول به حالت تعلیق و یا بی حرکت بر روی رسانه های مختلف باشند.



شکل ۱- راکتور خوراک ناپیوسته یا جریان پیوسته

اثرات مقدار و شدت نور روی متابولیسم H_2S در یک راکتور ناپیوسته تغذیه کننده گاز بررسی شد [12]. در این آزمایش، شدت منبع نور متفاوت است، تابش بالا منجر به حذف سولفید و بیش از نیمی آن به سولفات تبدیل شد. در تابش کم، سولفید به طور کامل اکسید نمی شود و در راکتور انباشته می شود. بین این حدود در راکتور نه سولفید و نه سولفات دریافت نشد. عنصر سولفور و تیوسولفات ($S_2O_3^{2-}$) تنها محصول بودند. برای نور سفید (۳۸۰ تا ۹۰۰ نانومتر) بهترین نتیجه را H_2S نافذ تبدیل به ۶۰٪ S و ۴۰٪ $S_2O_3^{2-}$ شد. برای نور مادون قرمز (۷۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر)، گوگرد بهینه محصول ۳:۹۷ ($S: S_2O_3^{2-}$) بود. نور مادون قرمز بهینه نیز در سطح تابش پائینتر ($219 W/m^2$) از نور سفید ($406 W/m^2$) رخ می دهد. این یافته ها برتری نور مادون قرمز به عنوان یک منبع نور برای تولید گوگرد با استفاده از باکتری سولفور سبز را نشان می دهد.

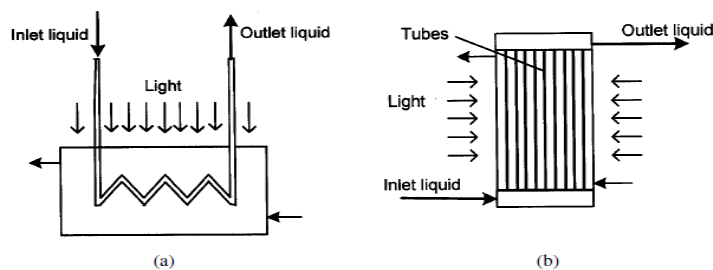
تبدیل هیدروژن سولفید به عنصر سولفور توسط *C. limicola* در یک راکتور سلول بی حرکت و مخزن ته نشینی گوگرد با یک راکتور بازیافتی سلول آزاد مورد مطالعه قرار گرفته است [13]. در راکتور اول سلول ها را در بستر آلژینات استرانتیوم بی حرکت می شوند و در راکتور دوم، گوگرد تولید شده توسط ته نشینی گرانشی برداشته می شود و متوسط به راکتور تغذیه ناپیوسته بازیافت می شود. در مقایسه با سلول های آزاد، در ابتدا سلول های بی حرکت ۳۰٪ کمتر نیاز به انرژی در حذف H_2S با سرعت $68 mg h^{-1} L^{-1}$ دارد اما پس از ۴۰ ساعت، راندمان حذف H_2S به طور قابل توجهی با توجه به تجمع گوگرد در بستر کاهش می یابد. حذف سولفید در راکتورهای متفاوت ۲ و ۴ لیتری را مقایسه کردند. آنها همچنین مشاهده کردند که میانگین قطر دانه های گوگرد ۱۰ برابر سلول های باکتریایی بوده است.

راکتور همزن دار پیوسته مجهز به یک جداکننده گوگرد برای حذف هیدروژن سولفید از جریان گاز شامل ۲.۵٪ H_2S در فشار جو به کار برده شد [14]. در یک میزان از بارگیری سولفید نرخ $94.4 mg h^{-1} L^{-1}$ هیدروژن سولفید توسط کلروبیوم تیوسولفات از ۵۳٪ در زمان اقامت ۱۲.۲ دقیقه به ۱۰۰٪ در زمان اقامت ۲۳.۷ دقیقه می رسد. بازیابی سولفور از فرایند جداسازی ثقلی ۹۹.۲٪ از بازده تئوری بود. جداسازی گوگرد از محتویات بیوراکتور ضروری است تا ارزش خود را در پسماندهای صنعتی شیمیایی مشخص کند. بهینه کردن انرژی ورودی نور توسط دیویدهای ساطع نور (LEDs) با طول موج حداکثر ۷۱۰ نانومتر در راکتور همزن دار ناپیوسته انجام شد. عملکرد LED در نوعی فوتو بیوراکتور (photo-bioreactor) صفحه ای مورد بررسی قرار گرفت. آنها مشاهده کردند حداکثر عملکرد در واحد شار نوری با به کار بردن LED، ۳۱ برابر لامپ های رشته ای بود. این بهره وری تنها با تامین نور در محدوده طول موج جذب شده توسط باکتریها حداکثر بود بدست آمد.

۲-۲- راکتورهای جریان پیوسته: در یک راکتور جریان پیوسته (شکل ۱) نفوذ گاز یا مایع به طور مداوم به راکتور تغذیه و با همان سرعت خارج می شود. محتویات راکتور به طور مداوم همزده می شود.

با استفاده از پساب بیوراکتورهای همزن دار جریان پیوسته، جداسازی گوگرد با ته نشینی، اقامت در PH بالا، فیلتراسیون و سانتریفوژ تست شد [15]. سانتریفوژ بهترین جداسازی را نتیجه داد، ۹۰٪ گوگرد و ۲۹٪ باکتری از سوسپانسیون خارج شد. آنها اشاره کردند جریان پیوسته مواد معلق بیوراکتور برای حذف سولفید یا بازیافت سولفور رشد می کند و نیاز به دو مرحله دارد یکی جداسازی گوگرد از پساب بیوراکتور و دیگری جدا کردن زیست توده از محصول مایع است. یک راکتور فیلم ثابت می تواند به از بین بردن و یا کاهش نیاز برای دو جداسازی از بقایای زیست توده در راکتور کمک کند.

۳-۲- راکتورهای فتوتیوب (Phototube): دو نوع از راکتورها فتوتیوب در شکل نشان داده شده است. شکل 2a و 2b اینها راکتورهای لوله ای هستند که به طور مداوم عمل می کنند. این راکتور می تواند به صورت افقی (شکل a) که می تواند چندگذر یا ماریچی برای بهبود زمان اقامت در راکتور است. یا می تواند به صورت عمودی گرا که در شکل 2b ارائه شده است [16]. مواد لوله به نور شفاف و نفوذناپذیر به اکسیژن بوده و باکتری بر روی دیواره داخلی راکتور لوله ای (راکتور فیلم ثابت) ایجاد می شود. لوله قادر به دستیابی به حذف ۹۵٪ سولفید در حدود ۲۴,۶ دقیقه در حالی که سرعت بارگیری سولفید $67 \text{ mgh}^{-1}\text{L}^{-1}$ می باشد.



شکل ۲- راکتورهای فوتوتیوب: (a) افقی، (b) عمودی

فرض می شود که ساختار رشد عمودی می تواند حذف یا کاهش قابل توجهی مشکل انباشت گوگرد را کاهش یا حذف کند. آزمایش توانایی GSB برای رشد روی شش ماده شفاف لوله پلاستیکی که برای تعیین رسانه می تواند به عنوان بهترین رسانه در جریان عمودی بیوراکتورهای جریان فیلم ثابت به کار رود. برتری Tygon به مواد دیگر به لحاظ تعداد باکتری کلروفیل در واحد سطح و نفوذپذیری کم اکسیژن آزمایش شده است.

با به کار بردن فیلم ثابت، فتوبیوراکتورهای جریان پیوسته و به کارگیری *C. limicola* و یک منبع نوری مادون قرمز، موفق شده اند سولفید را از پساب ترکیبی که نرخ بارگیری سولفید از ۱۱۱ به $286 \text{ mgh}^{-1}\text{L}^{-1}$ در حالی که ۹۲ تا ۹۵ درصد از سولفید نافذ به عنصر سولفید تبدیل می شد. راکتورهای فیلم ثابت به خاطر توانایی در حفظ زیست توده برای اکسیداسیون سولفید بیشتر

انتخاب شدند. در این فرایند، نور به راحتی می تواند برای پیوستن به زیست توده در داخل لوله های شفاف در یک فرایند رشد سوسپانسیونی انتقال یابد، نور می تواند در مرکز راکتور به طور قابل توجهی ضعیف شود. در آزمایش بعدی اثر اندازه لوله و کیفیت نور روی حذف H_2S بررسی شده است. آنها مشاهده کردند که کوچکترین قطر لوله راکتور بالاترین حذف سولفید در همان شدت نور (لامپ مادون قرمز و LED) به دست آمد. بالاترین سرعت بارگیری سولفید وقتی که LED نوری مطابق با طیف جذب اوج GSB منبع نور بدست آمد. سیستم راکتور را می توان برای حذف H_2S گازی بعد از حل کردن آن در آب به کار برد.

۳- بیوراکتور برای حذف H_2S شامل باکتری شیمی تراپیک (chemotrophic)

تعدادی از مطالعات، در جدول 1 خلاصه شده است که با استفاده از باکتری شیمی تراپیک انجام شده است.

۳-۱- راکتورهای ناپیوسته تغذیه کننده گاز : با استفاده از دو راکتور ناپیوسته اکسیداسیون سولفید با به کار بردن مخلوطی از کشت میکروبی تیوباسیل مورد مطالعه قرار گرفت [17]. اکسیژن خالص برای راکتورها فراهم شد. حداکثر تولید گوگرد ($73 \pm 10\%$) با نسبت اکسیژن به گوگرد 0.6 به $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ h}^{-1} / \text{mol L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ رخ داده است. در نسبت های پائینتر اکسیژن به سولفید، ظرفیت اکسیداسیون بیولوژیکی منجر به محصول بیشتر تیوسولفات شد. در نسبت های بالاتر اکسیژن به سولفید، سولفات بیشتری تولید شد به دلیل اینکه انرژی بیشتر برای رشد باکتری نسبت به تشکیل گوگرد مصرف می شد.

۳-۲- راکتورهای جریان پیوسته : راکتورهای همزده پیوسته (CSTR) سیستم به کار رفته تیوباسیل برای حذف H_2S از جریان گاز گزارش شده است. ۹۷٪ از حباب H_2S حذف و به سولفات اکسیده شد.

ساختار سه راکتور فیلم ثابت CSTR، بیوروتور biorotor و یک راکتور فیلم ثابت fixed-film upflow متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت [18]. برای راکتورهای upflow و بیوروتور ۹۵ تا ۱۰۰٪ راندمان حذف سولفید برای سرعت بارگیری $500 \text{ mg H}_2\text{S h}^{-1} \text{ L}^{-1}$ بدست آمد. راندمان حذف در سرعت های بالاتر از این نرخ کاهش یافت. در بارگیری ۹۳۸ (بیوروتور) و $1040 \text{ mg H}_2\text{S h}^{-1} \text{ L}^{-1}$ (upflow)، بازده حذف سولفید به ترتیب ۶۹ و ۷۳٪ بود. در نرخ بارگیری $500 \text{ mg H}_2\text{S h}^{-1} \text{ L}^{-1}$ سولفید، بازده حذف راکتورهای همزن دار تقریباً ۶۲٪ بود.

۳-۳- بیو شستشو دهنده ها (Bioscrubbers) : حذف H_2S با به کار بردن بیوشستشوگرها (شکل 3a) شامل یک فرایند دو مرحله ای، در مرحله اول جذب H_2S توسط یک مایع با اکسیداسیون بیولوژیکی H_2S در مایع است.

با استفاده از برج تماس حباب سینی محفوظ از هوا (بیو شستشوگرها) هیدروژن سولفید را از بیوگاز حاصل شده توسط فرایند تصفیه پساب بیهوازی شستشو می دهد. سیستم دو راکتور (برج تماس گاز- مایع و یک تانک بیهوازی) که برای جداسازی فرایند اکسیداسیون توسط فرایند جذب تا از مخلوط شدن با بیوگاز جلوگیری کند مورد استفاده قرار گرفت. مایع مخلوط از فرایند لجن فعال به طور پیوسته به آن تغذیه و از برج تماس خارج می شد. در برج تماس، H_2S از بیوگاز به داخل مخلوط مایع جذب شد و پس از آن توسط باکتریهای اکسیدکننده سولفور بعد از بازگشت به تانک هوادهی به سولفات اکسید شد. براساس نتایج اولیه، یک

مقیاس نیمه صنعتی تصفیه فرایند پساب سیب زمینی ساخته شد. زمانی که تصفیه H_2S 2000ppm از بیوگاز بازده بیش از ۹۹٪ حذف صورت گرفت.

یک سیستم بیوشستشوگر که می تواند به یک سیستم یکپارچه برای حذف H_2S از بیوگاز توسط ترکیب فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی شرح داده شود. حذف H_2S را توسط جذب محلول سولفات فریک می توان سولفات آهن و عنصر گوگرد تولید کرد. سولفات آهن می تواند با اکسیداسیون بیولوژیکی با به کار بردن اسید احیا فرواکسیدان بازسازی کرد. مطالعه اکسیداسیون آهن مورد بررسی قرار گرفت. فرواکسیدان که روی پلی اورتان فوم بی حرکت بود و در یک ستون هوادهی ذرات حمایت شدند. ذرات آهن روی حمایت کننده جمع شده بود و روی دیفیوزر هوا که وقفه های دوره ای برای تمیز کردن فرایند لازم است. ته نشینی، منبع هوا و هزینه های مواد شیمیایی محدودیت هایی برای این فرایند است.

یک مقیاس کامل در شمال شرق بروکس، آلبرتا، کانادا برای گوگرد زدایی گاز طبیعی ساخته شد. H_2S جریان گازی توسط جذب در داخل محلول بی کربنات سدیم حذف شد. سولفید حاوی شستشو دهنده های مایع است که در بیوراکتورها که عمدتاً به عنصر گوگرد بیولوژیکی تبدیل می شود. بیوراکتورها با جریان مغذی، هوا، آب و سود عرضه می شوند. گزارش شده که معمولاً کمتر از ۳،۵٪ سولفید به سولفات و یک جریان پیوسته برای جلوگیری از سولفات نیاز است. یک فیلتر ترکیبی برای تصفیه مقدار کمی از H_2S موجود در هوا از بیوراکتورها استفاده می شود.

۳-۴- بیوفیلتر: بیوفیلتر (شکل 3b) یک بیوراکتور سه فاز است (گاز، مایع، جامد) با یک بستر فیلتر که دارای تخلخل، ظرفیت بافر، در مواد مغذی در دسترس و ظرفیت نگهداری رطوبت بالایی هستند برای اطمینان از میکروارگانیزم های هدف که می تواند روی آن رشد کند. گاز آلوده به طور مداوم در بیوفیلتر به طور پیوسته تغذیه می شود، در حالی که حلال مغذی به طور غیر مداوم اضافه می شود. انواع مختلف بیوفیلترهای واسطه توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته است که در زیر حالات آنها بحث شده است. جدول ۱- تحقیقات انجام شده روی حذف هیدروژن سولفید با به کار بردن بیوشستشوگرها، بیوفیلترها، biotrickling فیلترها را نشان می دهد.

جدول ۱- تحقیقات انجام شده روی حذف هیدروژن سولفید با به کار بردن بیوشستشوگرها، بیوفیلترها، biotrickling فیلترها

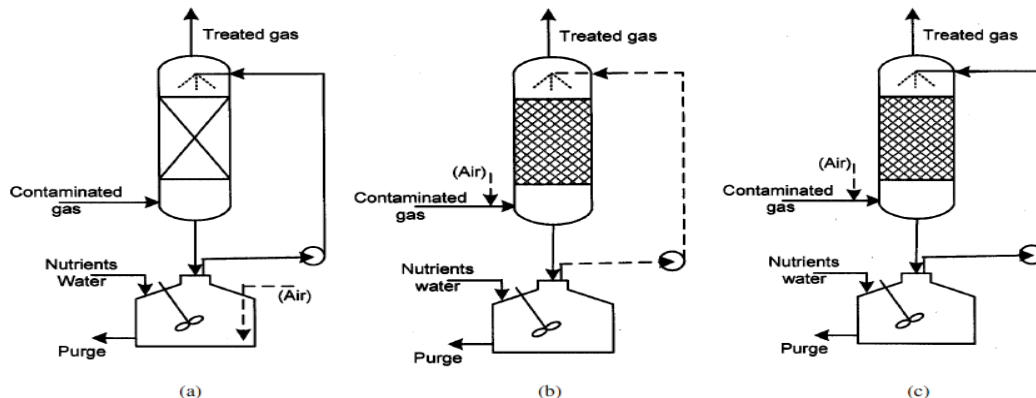
مقیاس	نوع فرایند	نوع بستر	حجم بستر	تصفیه آلاینده و غلظت گاز	سرعت گاز وزمان اقامت	باکتری	بازده حذف	مرجع
آزمایشگاهی	بیوفیلتراسیون	Cell-laden Ca-alginate	0.7 L	5-100 ppm H ₂ S, در تعادل هوا	18-150 L/h	باکتری تیوپاروس	85-99% (H ₂ S)	[19]
صنعتی	بیوشستشوگرها : جذب غیرهوازی+بیواکسیدان هوازی	لجن فعال	3 m ³ (شستشوگر) 550m ³ (تانک هوازی)	بیوگاز از واحد تصفیه پساب: 300-2000 ppm H ₂ S, 80% CH ₄ , 20% CO ₂	40 m ³ /h	ایندجنوس(تیوباسیل و غیره)	>99% (H ₂ S)	[20]
آزمایشگاهی	بیواکسیدان در راکتورستون حباب	پلی-۴-پلی وینیدیل (ماتریس)(pvp)	6.3 L(حجم راکتور)	گاز مخلوط شامل 30 ppm H ₂ S, MM, DMS, and DMDS*	-	نوولوس	100% (H ₂ S) 100% (MM) 87% (DMDS) 73% (DMS)	[7]
آزمایشگاهی	بیوفیلتراسیون	کمپوست و یا سوخت خوک	18 L	10-450 ppm H ₂ S, در تعادل هوا	1.7 m ³ /h 38s	ایندجنوس(در لجن)	90-100% (H ₂ S)	[21]
آزمایشگاهی	بیوفیلتراسیون	Cell-laden Caalginate	0.7 L	60-120 ppm H ₂ S, 60-120 ppm NH ₃ , در تعادل هوا	36 L/h 72 s	سودوموناس پوتیدا(برای H ₂ s) اکسیدان آرتوباکتر(برای آمونیاک)	>90% (H ₂ S) >95% (NH ₃)	[22]
آزمایشگاهی	Biotrickling	پلی پروپیلن	10 L	170 ppm H ₂ S, 2.2 g/m ³ toluene, در تعادل هوا	1 m ³ /h 36 s	تولون - باکتری اکسید کننده سولفید	100% (H ₂ S) 25-75% (تولون)	[23]
آزمایشگاهی	بیوفیلتراسیون	کود خوک + سبوسه	5.9 L	10-45 g H ₂ S m-3 h-1, در تعادل هوا	13.5-27 s	ایندجنوس	>90% (H ₂ S)	[10]
نیمه صنعتی	Biotrickling	-	3.8 m ³	واحد تصفیه پساب 10-50 ppm H ₂ S, 0-150 ppb VOC,	650 m ³ /h 21 s	-	- 98% (H ₂ S) 50-70% (VOC)	[24]
صنعتی	Biotrickling	با ساختار پرکننده پلاستیک	51 m ³	هوای خروجی از سلفون 60-155 ppm H ₂ S, 35-100 mg/m ³ CS ₂	44200 m ³ /h 4-10 s	-	85-99% (H ₂ S) 40-70% (CS ₂)	[24]

ادامه جدول ۱

صنعتی	biotrickling	کف پلی اورتان	500 m ³ (عواحد)	800-1200 OU	11 s	-	>90% (H ₂ S)	[24]
-------	--------------	---------------	----------------------------	-------------	------	---	-------------------------	------

آزمایشگاه	بیوفیلتراسیون	براده های چوب، دانه های کربن فعال	1 L	30-450 ppm H ₂ S, 35-200 ppm NH ₃ , تعادل هوا	60-180 L/h 20-60 s	باکتری نیتروفرینگ تیوپاروس	75-99% (H ₂ S) 30-92% (NH ₃)	[11]
آزمایشگاه	بیواکسیدان در راکتور فیلم ثابت	ذرات پلی اورتان	1 L	مخلوط سولفید نیترات (2-20 mM as S-tot)	-	باکتری نیتروفرینگ	>80% (S-tot)	[25]
صنعتی	بیوشش و گرها (ج ذب+بیواکسیدان هوازی)+ جداسازی بیوفیلتر	محلول قلبایی برای شستشوی کمپوست برای بیوفیلتراسیون	-	گاز طبیعی: 2000 ppm H ₂ S	322000 nm ³ /d	ایندیجنو س	>99.8% (H ₂ S)	[26]
صنعتی	بیوفیلتراسیون	چوب	بیوفیلتر بستر باز	(24,544 OU): 1.07 mg H ₂ S/m ³ , 5.2 mg NH ₃ /m ³ , 0.66 mg/m ³ methanethol, 1.2 mg/m ³ ethylamine, 775.25 mg/m ³ DMS	25485 m ³ /h 30 s	ایندیجنو س	>96% (all compounds, with exception of methanethiol, 70%)	[9]
صنعتی	Biotrickling	پلی اورتان فوم	7.3 m ³	5-25 ppm H ₂ S, 67 ppb carbonyl sulfide, 192 ppb MM, 70 ppb CS ₂ (4000 ppm CO ₂)	1.6-2.3 s	تیوباسیل	>97% (H ₂ S) 67% (MM) 44% (carbonyl sulfide) 35% (CS ₂)	[6]
آزمایشگاه	بیوفیلتراسیون	لجن گرانوله	10 L	170-680 g H ₂ S m-3 d-1, 86- 340 g NH ₃ m-3 d -1, در تعادل هوا	-	باکتری نیتروفرینگ، باکتری اکسید کننده سولفید	100% (H ₂) 80% (NH ₃)	[27]
آزمایشگاه	بیوفیلتراسیون	کمپوست	8 L	50 ppm H ₂ S, در تعادل هوا	10 L/min	ایندیجنو س	90-100% (H ₂ S)	[28]
آزمایشگاه	بیوفیلتراسیون	ذغال سنگ	1 L	355-1400 ppm H ₂ S, در تعادل هوا	30 L/h	تیوپاروس	65-100% (H ₂ S)	[29]
صنعتی	بیوفیلتراسیون	-	-	بیوگاز از تصفیه بیهوازی فاضلاب	10-350 m ³ /h	تیوباکتری	>90% (H ₂ S)	[3]

MM = متیل مرکاپتان ، DMS = دی متیل سولفید ، DMDS = دی متیل دی سولفید



شکل ۳- سیستم هایی برای حذف H_2S : (a) بیوشستشوگرها، (b) بیوفیلتر، (c) فیلتر biotrickling

۳-۵- فیلتر Biotrickling: عملکرد Biotrickling (شکل 3c) همان بیوفیلتر است به جز اینکه بستر پر شده به طور مداوم توسط یک محلول فاز آبی مغذی چکه می شود [23].

دو مقیاس آزمایشگاهی فیلترهای biotrickling ساخته شده با پلی پروپیلن، تلفیق شده با زیست توده از یک فیلتر Biodegrading تولوئن که در pH های ۷ و ۴٫۵ برای تصفیه H_2S و تولوئن در جریان گازی عمل می کند. تفاوت معناداری بین اجرای دو راکتور در حذف H_2S وجود ندارد. در غلظت ورودی 50ppmv، مصرف کامل H_2S مشاهده شد. با این حال، بازده حذف به ۷۰ تا ۸۰٪ کاهش می یابد زمانی که غلظت ورودی تا 170 ppmv مطرح شد.

برای بازده حذف بالای H_2S ، در مقایسه با دیگر ترکیبات کاهش دهنده گوگرد با به کار بردن تیوباسیل در فیلتر Biotrickling بدست آمد [6]. برای غلظت H_2S ورودی بالا 30ppmv، بازده حذف معمولی ۹۸٪ بود. و بازده حذف متیل مرکاپتان، سولفیدکربنیل و دی سولفید کربن به ترتیب ۶۷، ۴۴، و ۳۵٪ در غلظت ورودی به ترتیب ۶۷، ۱۹۳، و 70ppbv بود.

حذف هوازی هیدروژن سولفید با به کار بردن فیلتر biotrickling پر شده با حلقه های پروپیلن (۷۳٪ حجم آزاد) تلفیق شده با تیواکسیدان اسیدی می باشد. غلظت ورودی H_2S بین ۴۰۰ و ۲۰۰۰ ppm و نرخ جریان هوا بین ۰٫۰۳ و ۰٫۱۲ m^3/h است. با این حال عملکرد سیستم با تغییر عملیاتی تحت تاثیر قرار نگرفت و یک بازده حذف ماکسیمم ۱۰۰٪ بدست آمد. در طول این آزمایش محلول مغذی به ۲ تا ۳ کاهش یافت، اما تحت تاثیر عملکرد فرایند قرار نگرفت.

در مقیاس آزمایشگاهی بیوتریکلینگ سیستم به منظور حذف H_2S هاضم بیوگاز تحت شرایط غیرهوازی توسعه یافت. در این آزمایشات، توپ های پروپیلن با لجن هاضم غیرهوازی تلفیق شده است که به عنوان مواد پرکننده در بیوراکتور استفاده می شود. سدیم نیترات به عنوان پذیرنده الکترون در غیاب اکسیژن مورد استفاده قرار گرفت. بازده حذف بیشتر از ۸۵٪ برای H_2S ورودی با غلظت 500ppm و سرعت جریان گازی $0.05m^3/h$ بدست آمد. مهار روند بیولوژیکی توسط مقادیر کمی از اکسیژن زمانیکه محلول نیترات به عنوان تنها نیتروژن یا منبع مغذی مورد توجه بود.

۴- نتیجه گیری

بحث فوق نشان می دهد که روش تصفیه انتخابی برای جریان گاز شامل H_2S بستگی به منبع گازی دارد. در حالت H_2S موجود در بیوگاز، روش بیهوازی شامل باکتریهای فوتوتراپیک مزیت های ذاتی حفظ طبیعت بیهوازی گاز را ارائه می کند و از مشکلات بالقوه ایمنی جلوگیری می کند. کلروبیوم لیمیکولا (Limicola) یک باکتری مطلوب که به علت رشد آن تنها با استفاده بسترهای معدنی، بهره وری تبدیل سولفید به عنصر گوگرد، و محصول خروجی گوگرد است. از آنجا که برای جدایی از زیست توده و توانایی برای رسیدن به بارگذاری بالاتر، کاهش می یابد راکتورهای فیلم ثابت پتانسیل بیشتری برای تبدیل سولفید مقرون به صرفه تر است.

اگر نور به درستی کنترل شود، محصول اکسیداسیون عمدتاً گوگرد است که غیر سمی و غیر خورنده می باشد. تامین نور یکی از اجزای کلیدی هزینه و محدودیت اصلی برای این فرایند است. مهم این است که تامین انرژی نور مقرون به صرفه است به طوری که این فرایند می تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای فرایندهای شیمی فیزیکی در حال حاضر استفاده شود. توسعه و کاربرد بازدهی LED و استفاده مناسب از نور خورشید و منعکس کننده ها برای کم کردن انرژی الکتریکی در حال حاضر نیاز به تحقیقات دارد.

باکتری شیمی تراپیک نیاز به کنترل دقیق غلظت اکسیژن برای تولید گوگرد به جای سولفات است. حتی در بالاترین نرخ تبدیل سولفید به گوگرد، مقداری سولفات هنوز تولید می شود. باکتری تیوباسیل توانایی برای رشد تحت شرایط تنش های مختلف محیطی مانند کمبود اکسیژن، شرایط اسیدی و غیره را دارد. به طور گسترده برای تبدیل H_2S و سایر ترکیبات گوگردی از فرایندهای بیولوژیکی استفاده می شود. حذف H_2S با به کار بردن بیواسکرابرها شامل دو مرحله فرایند است: جذب H_2S توسط مایع واسطه به دنبال اکسیداسیون بیولوژیکی H_2S در مایع است. اطلاعات کمی در هزینه بیوشستشوگرها در دسترس است، با این حال وجود امکانات در مقیاس صنعتی شاخص خوبی از مقرون به صرفه بودن آنهاست.

بیوفیلتراسیون نیز برای حذف H_2S از گاز خروجی از تصفیه پساب نشان داده شده است. همچنین موثر در از بین بردن دیگر ترکیبات آلی فرار موجود در بیوگاز است. این فرایند اساساً هوای و محصول اکسیداسیون عمدتاً سولفات و نه گوگرد است. مشکل این تکنولوژی این است که سولفات می تواند pH واسطه را کاهش دهد و بازده رسوب گوگرد کاهش می یابد. با این حال، واسطه ی بیوفیلتر ارزان است و ممکن است شامل ماده مغذی کافی برای جامعه میکروبی باشد. این فرایند همچنین برای تصفیه گاز خروجی از دامداری که شامل مخلوط H_2S و NH_3 می باشد مناسب است. بیوفیلتراسیون توسط باکتری هوازی برای تصفیه بیوگاز از سطوح اکسیژن در گاز خالص مناسب نیست و ممکن است یک مشکل بالقوه ایمنی را در بر خواهد داشت.

بیوفیلتراسیون بی هوازی H_2S می تواند همان مزایای بیوفیلتراسیون هوازی از جمله هزینه کم مواد، حذف هزینه های هوادهی و همچنین خطرات ایمنی در ارتباط با عملیات در یک محیط غنی از اکسیژن از بین می برد. با بدون نیترات کردن پتانسیل بسیار بزرگی در این رابطه و مخلوط جامد معلق لجن فعال با حذف ماده مغذی بیولوژیکی پیشنهاد شد. که می تواند یک منبع نیترات مفید باشد. مطالعات پژوهشی متعددی در این زمینه انتظار می رود. یک سیستم ترکیبی از مزایای فوتوتراپی و شیمی تراپی ممکن است در نظر گرفته شود. دو بیوفیلتر جداساز لیمیکولا و بی نیترات کردن می تواند برای تصفیه بیوگاز از یک منبع جایگزین شود. فیلتر بیوراکتورها شامل باکتری فوتوتراپی می تواند سولفید هیدروژن را در طول روز با به کار بردن نور خورشید تصفیه کند در حالیکه که بیوگاز به بیوفیلتر شامل بی نیترات کننده در طول شب می تواند هدایت شود. انعطاف پذیری عملیاتی در

مورد بازیابی گوگرد و تمیز کردن فیلتر می تواند با به کار بردن فرایند دو فیلتر بدست آورد. در نهایت، سیستم تصفیه بیوگاز حذف سولفید هیدروژن و سیلوکسان به طور همزمان نیازمند این است که سیلوکسان خودش می تواند باعث آسیب های قابل توجهی به موتور سوخت شود. توسعه فرایند بیهوازی قادر به حذف هر دو سیلوکسان و سولفید هیدروژن به طور همزمان است و نیازمند پژوهش های مهم است.

منابع:

- 1-Lastella, G., C. Testa, G. Cornacchia, M. Notornicola, F. Voltasio and V.K. Sharma. 200۹. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: Biogas production and its purification. *Energy Conversion and Management* 43: 63-75.
- 2- Boyd, R. 200۷. Internalising environmental benefits of anaerobic digestion of pig slurry in Norfolk. Student research paper. University of East Anglia, Norwich, Norfolk, UK.
- 3- Schieder, D., P. Quicker, R. Schneider, H. Winter, S. Prechtel and M. Faulstich. 2003. Microbiological removal of hydrogen sulfide from biogas by means of a separate biofilter system: Experience with technical operation. *Water Science and Technology* 48(4): 209-212.
- 4- Tchobanoglous, G., F.L. Burton and H.D. Stensel. 2003. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*, 4th edition. McGraw-Hill Companies, New York, NY. Cap. 14: 1505-1532.
- 5- Monteith, H., M. Béland and W. Parker. 2005. Assessment of economic viability of digester gas cogeneration at Canada's largest wastewater treatment plants. CD of Proceedings of the 34th Water Environment Association of Ontario Annual Conference. Huntsville, ON.
- 6- Gabriel, D. and A.M. Deshusses. 2003. Retrofitting existing chemical scrubbers to biotrickling filters for H₂S emission control. In Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America 100(11): 6308-6312.
- 7- Cha, J.M., W.S. Cha and J.H. Lee. 1999. Removal of organosulphur odour compounds by *Thiobacillus novellas* SRM, sulphur-oxidizing microorganisms. *Process Biochemistry* 34(6-7): 659-665.
- 8- MSDS 1996. Material Safety Data Sheet for Hydrogen Sulfide. Murray Hill, NJ: BOC Gases. <http://www.vngas.com/pdf/g94.pdf> (2006/02/20)
- 9- Shareefdeen, Z., B. Herner and S. Wilson. 2002. Biofiltration of nuisance sulfur gaseous odors from a meat rendering plant. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 77: 1296-1299.
- 10- Elias, A., A. Barona, A. Arreguy, J. Rios, I. Aranguiz and J. Peñas. 2002. Evaluation of a packing material for the biodegradation of H₂S and product analysis. *Process Biochemistry* 37: 813-820.
- 11- Kim, H., J.Y. Kim, S.J. Chung and Q. Xie. 2002. Long-term operation of a biofilter for simultaneous removal of H₂S and NH₃. *Air & Waste Management Association* 52: 1389-1398.
- 12-Maka, A. and D. Cork. 1990. Quantum efficiency requirements for an anaerobic photobioreactor. *Journal of Industrial Microbiology* 5: 337-354.
- 13-Kim, B.W and H.N. Chang. 1991. Removal of hydrogen sulfide by *Chlorobium thiosulfatophilum* in immobilized cell and sulfur settling free-cell recycle reactors. *Biotechnology Progress* 7: 495-500.
- 14-Basu, R., E.C. Clausen and J.L. Gaddy. 1996. Biological conversion of hydrogen sulfide into elemental sulfur. *Environmental Progress* 15(4): 234-238.
- 15-Henshaw, P.F., J.K. Bewtra and N. Biswas. 1997. Biological conversion of sulfide to elemental sulfur. *Indian Journal of Engineering & Material Sciences* 5: 202-210.
- 16-Syed, M.A. and P.F. Henshaw. 2003. Effect of tube size on performance of a fixed-film tubular bioreactor for conversion of hydrogen sulfide to elemental sulfur. *Water Research* 37(8): 1932-38.
- 17-Janssen, A.J.H., R. Sleyster, C.V.D. Kaa, A. Jochemsen, J. Bontsema and G. Lettinga. 1995. Biological sulphide oxidation in a fed-batch reactor. *Biotechnology Bioengineering* 47: 327-333.
- 18-Buisman, C.J.N., B. Wit and G. Lettinga. 1990. Biotechnological sulphide removal in three polyurethane carrier reactors: stirred reactor, biorotor reactor and upflow reactor. *Water Research* 24(2): 245-251.
- 19-Chung, Y.C., C. Huang and C.P. Tseng. 1996. Operation optimization of *Thiobacillus thioparus* CH11 biofilter for hydrogen sulfide removal. *Journal of Biotechnology* 52: 31- 38.
- 20- Nishimura, S. and M. Yoda. 1997. Removal of hydrogen sulfide from an anaerobic biogas using a bio-scrubber. *Water Science and Technology* 36(6-7): 349-356.
- 21- Wani, A.H., A.K. Lau and M.R. Branion. 1999. Biofiltration control of pulping odors – hydrogen sulphide: Performance, microkinetics and coexistence effects of organo-sulfur species. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 74: 9-16.
- 22- Chung, Y.C., C. Huang and C.P. Tseng. 2001. Biological elimination of H₂S and NH₃ from wastegases by biofilter packed with immobilized heterotrophic bacteria. *Chemosphere* 43: 1043-1050

- 23- Cox, H.H.J. and A.M. Deshusses. 2001. Co-treatment of H₂S and toluene in a biotrickling filter. *Chemical Engineering Journal* 3901: 1-10.
- 24- Cox, H.H.J. and A.M. Deshusses. 2002. Biotrickling filters for air pollution control. In *The Encyclopedia of Environmental Microbiology*, ed. G. Britton, 2: 782-795. New York, NY: J. Wiley & Sons.
- 25- Kleerebezem, R. and R. Mendez. 2002. Autotrophic denitrification for combined hydrogen sulfide removal from biogas and post-denitrification. *Water Science and Technology* 45(10): 349-356.
- 26-Benschop, A., A. Janssen, A. Hoksberg, M. Seriwala, R. Abry and C. Ngai. 2002. The shell-Paques/THIOPAQ gas desulphurization process: Successful start up first commercial unit. <http://www.paques.nl> (2006/02/15)
- 27-Malhautier, L., C. Gracian, C.J. Roux, L.J. Fanlo and P. Le Cloirec. 2003. Biological treatment process of air loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture. *Chemosphere* 50: 145-153.
- 28-Morgan-Sagastume, M.J., A. Noyola, S. Revah and J.S. Ergas. 2003. Changes in physical properties of a compost biofilter treating hydrogen sulfide. *Journal of Air & Waste Management Association* 53: 1011-1021.
- 29-Oyarzún, P., F. Arancibia, C. Canales and E.G Aroca. 2003. Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thioparus*. *Process Biochemistry* 39: 165- 170.

meysamasgaryani@yahoo.com میثم عسگریانی

susankhosroyar@yahoo.com سوسن خسرویاری

hatahmasebi@yahoo.com حمزه علی طهماسبی

09151883868 میثم عسگریانی

05842225982

درس: خراسان شمالی بجنورد- خ طالقانی غربی- کرچه شریف واقفی ۵ - پ ۲۹

عنوان مقاله ها برای همایش

- ۱- بررسی تاثیر هاضم های بیهوازی مزوفیلیک و ترموفیلیک روی محصول بیوگاز
- ۲- بررسی حذف هیدروژن سولفید از بیوگاز با استفاده از فرایندهای بیولوژیکی
- ۳- بررسی نقش های کاربردی فناوری بیوگاز
- ۴- حذف از بیوگاز توسط غشاهای ماتریس آمیخته با نانو لوله های کربنی
- ۵- بررسی روش های غنی سازی محصول بیوگاز

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه

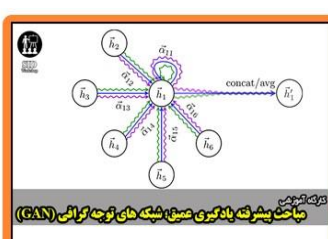


فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی