

جداسازی سولفید هیدروژن از بیوگاز به روش جاروب کشی با آب به شکل ثقیلی و پلکانی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

کد مقاله: ۶۶۵۳۷

حسین نوروزی مقدم^۱، اقدس بنایی^{۲*}

چکیده

در این پژوهش جداسازی سولفید هیدروژن بر پایه جاروب کشی با آب به شکل ثقیلی پلکانی انجام شده است به همین جهت سامانه‌ای شامل سازه فلزی، مخازن، فیلتر اصلی تصفیه‌کننده و خشک‌کننده، کمپرسور، پمپ آب، پمپ هوا، همزن، پمپ واکيوم، و سایر ملزومات نصب و راه‌اندازی و بهره‌برداری از آن آغاز شد. بهره‌برداری در طی مدت ۳۰ روز انجام و در مجموع تعداد ۷۱ سنجش صورت گرفته است؛ که اطلاعات مربوط به ۳۷ سنجش آنالیز گردیده است. نتایج میزان سولفید هیدروژن وارده شده به سیستم نشان‌دهنده این است که بیش‌ترین میزان سولفید هیدروژن معادل ۴۰/۸ و کمترین میزان معادل ۸/۱ گرم بر مترمکعب در ساعت بوده است. بیش‌ترین درصد جداسازی سولفید هیدروژن معادل ۹۷ و کمترین میزان در شرایطی که هیچ‌گونه تعویض آب یا تزریق آب تازه به سیستم انجام نگرفته است، معادل ۳۱ درصد بوده است. بیش‌ترین مقدار سولفید هیدروژن حذف‌شده توسط سیستم معادل ۲۰/۹ و کمترین مقدار در شرایطی که هیچ‌گونه تعویض آب یا تزریق آب تازه به سیستم انجام نگرفته است، معادل ۸/۱ گرم بر مترمکعب در ساعت بوده است. گستره pH از مقدار ۷/۸ شروع و به مرور با کار کردن سیستم در رنج ۵/۸ ثابت باقی مانده است.

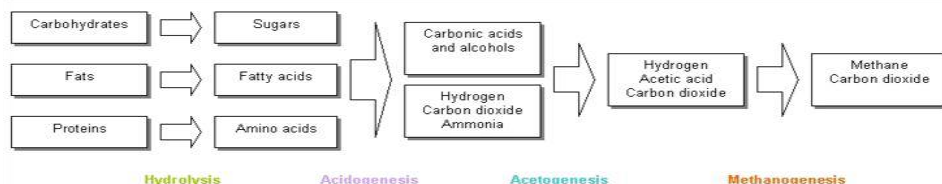
واژگان کلیدی: سولفید هیدروژن، جداسازی، جاروب کشی، بیوگاز

۱- مربی پژوهشی، بخش تولید حیوانات آزمایشگاهی موسسه تحقیقات واکسن و سرم‌سازی رازی شعبه شمال شرق کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- استادیار پژوهشده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسول) banaei@acecr.ac.ir

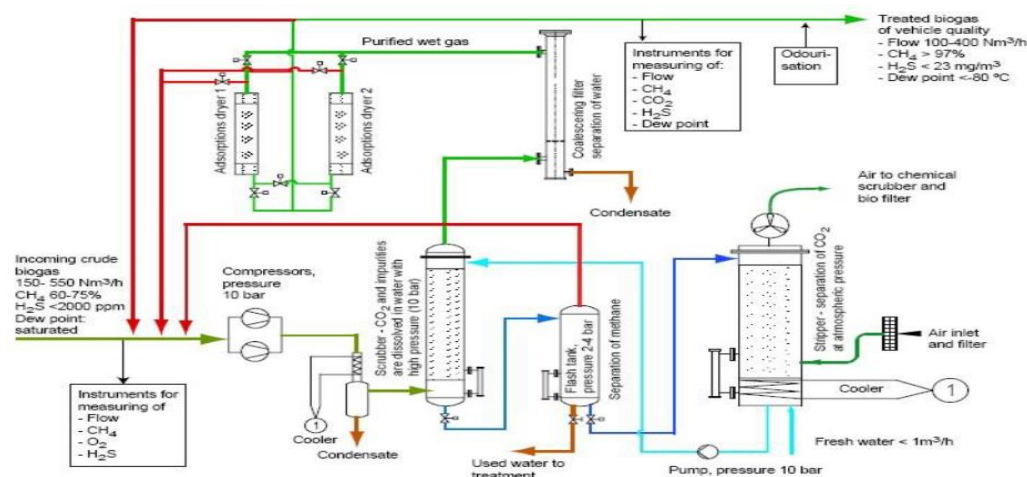
۱- مقدمه

فرایند تولید بیوگاز از زیاله‌های آلی دفن شده تحت شرایط هضم بی‌هوازی توسط باکتری‌ها شامل مراحل متفاوتی می‌باشد. از جمله اینکه کربوهیدراتها، چربیها و پروتئین‌های موجود در زیاله ابتدا تحت فرایند هیدرولیز به مولکولهای اولیه سازنده خود که شامل قندها، اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه است، تبدیل می‌شوند. سپس این بنیان‌ها تحت فرایند اسیدوژن به الکل، اسید کربونیک، هیدروژن، دی‌اکسیدکربن و آمونیوم تبدیل می‌شوند. در مرحله بعد تحت فرایند استوژن این فراورده‌ها به هیدروژن، اسید استیک و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شوند و در نهایت تحت فرایند متانوژن از آنها متان و دی‌اکسیدکربن و مقداری هیدروژن سولفید تولید می‌شود (تصویر ۱).



تصویر ۱: نمایش ایجاد متان تحت شرایط بی‌هوازی (Vijay 2012).

بسته به منشأ اولیه تولید کننده بیوگاز غلظت سولفید هیدروژن در آن ۸۰-۱۰۰۰۰ ppm می‌باشد. مکانیسم اولیه تولید آن ناشی از احیای پروتئینهای گوگردی تحت شرایط بی‌هوازی به وسیله میکروارگانیسمهای احیاکننده سولفات می‌باشد. گوگرد غیرآلی، به ویژه سولفات تحت فرایند بیوشیمیایی تبدیل به مقادیر قابل توجهی سولفید هیدروژن می‌شود. سولفید هیدروژن باعث خوردگی تجهیزاتی نظیرلوله‌ها، مخازن گازی، کمپرسورها و موتورهای می‌شود و برای کاتالیزوهای اصلاح کننده و پیل های سوختی سمی است. علاوه بر این، سوختن سولفید هیدروژن منجر به خروج دی اکسید گوگرد که اثرات زیست محیطی مخربی دارد، لذا به منظور استفاده از بیوگاز تولیدی به عنوان سوخت باید آن را تصفیه نمایم. برای این منظور در قدم اول باید گازهای مضر همراه آن برداشته شود، به طوری که مقدار انرژی گاز افزایش یابد (Nozic 2006). برای حذف سولفید هیدروژن از بیوگاز فناوری های متعددی وجود دارد. این فناوریها بسته به سیستم بیوگاز مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. انتخاب بهترین فناوری به استفاده نهایی که از آن خواهد شد، ترکیب، تنوع، حجم گازی که باید خالص شود، غلظت سولفید هیدروژن در آن و میزان سولفید هیدروژنی که باید حذف شود، وابسته است. به طور کلی روشهای حذف سولفید هیدروژن بر پایه نوع عملکرد به دو دسته روشهای فیزیکیوشیمیایی و بیوتکنولوژی تقسیم می‌شوند. با وجودی که روشهای فیزیکیوشیمیایی سنتی هستند، هنوز هم به طور غالب به کار گرفته می‌شوند. در دو دهه گذشته روشهای بیوتکنولوژی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تجارب زیاد در این زمینه مبین آن است که روشهای بیوتکنولوژی کارایی بیشتری دارند. همچنین این روشها تولید جریان ثانویه از موادی که خودشان نیاز به پاکسازی مجدد داشته باشند را نمی‌کنند. با این وجود استاندارد کردن روشهای حذف بیولوژیک مستلزم تحقیقات پایه و کاربردی است. همچنین ترکیب روشهای فوق در حال توسعه است. (Allegue and Hinge 2014). شهرداری مشهد مقدس با دفن زیاله در محل سازمان بازیافت اقدام به استحصال بیوگاز نموده است. به طور عمومی بیوگاز دارای ۶۵-۵۵ درصد متان، ۴۵-۳۵ درصد دی‌اکسیدکربن، ۱-۰/۵ درصد سولفید هیدروژن و مقدار کمی بخار آب است. از بیوگاز تولیدی در ژنراتورهای مولد برق استفاده می‌شود لذا ضروری است به منظور استفاده بهینه از آن قبل از مصرف خالص سازی شود. از این رو سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد در راستای رفع این مشکل در سایت خود با پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی قراردادی منعقد نموده است. این مقاله حاصل انجام این قرارداد می‌باشد. جذب با آب یا جاروب کشی با آب از فناوریهای غالب در خالص سازی بیوگاز می‌باشد. این فناوری برای این اساس است که قابلیت انحلال دی‌اکسیدکربن و سولفید هیدروژن در آب از متان بیشتر است. همچنین قابلیت انحلال آنها در آب با افزایش فشار زیاد می‌شود. در این فناوری بیوگاز تحت فشار به پایین ستون جذب تزریق می‌شود، در حالی که آب از بالا با فشار وارد می‌شود و جریان این دو برعکس هم می‌باشد. در داخل ستون دی‌اکسیدکربن و سولفید هیدروژن توسط آب جذب می‌شود و گاز خروجی غنی از متان است. آبی که از ستون خارج می‌شود دارای بخشی از گازهای دی‌اکسیدکربن، سولفید هیدروژن و مونو اکسید کربن حذف شده است در این تکنیک باز فرآوری آب در داخل مخزن آزادسازی با تزریق هوا و همزدن انجام می‌شود. (Nozic 2006) در نتیجه آب بازفرآوری شده و مجدد قابل استفاده می‌شود. از مزایای این روش در دسترس بودن و هزینه پایین آن است. با این فرایند سولفید هیدروژن تا کمتر از ۵ میلی گرم در متر مکعب حذف خواهد شد. از طرف دیگر با این تکنولوژی از خروج دی اکسید گوگرد جلوگیری خواهد شد (Allegue and Hinge 2014) استفاده از این روش به دلیل صرفه جویی در هزینه‌ها و استفاده از امکانات و پتانسل موجود در داخل کشور مناسب است.



تصویر ۲- نمایش تکنیک جاروب کشی بیوگاز با آب

۲- مواد و تجهیزات مورد بررسی

۲-۱- سازه پلکانی استقرار تجهیزات

سکوی پلکانی استقرار تجهیزات از آهن با ارتفاع سه متر طراحی و ساخته شده است. این سکوداری چهار پله جهت استقرار تجهیزات می باشد. ارتفاع پیش بینی شده تا اولین پلکان یک متر و فاصله پله ها با هم نیم متر می باشد. طراحی و ساخت سکوی گونه ای است که تجهیزات و مخازن به راحتی بر روی آن استقرار می یابند و هیچگونه لرزشی در حین کار ایجاد نمی گردد.

۲-۲- ستون تصفیه و جاروب کشی بیوگاز

با انجام محاسبات ویژگی های ساختاری مورد نیاز برای سامانه تصفیه و جاروب کشی تعیین و پس از مشورت با کارشناسان مخزن تصفیه و جاروب کشی با مشخصات فنی مد نظر طراحی و ساخته شد. بر این مبنا ستون تصفیه از جنس استیل به ارتفاع هفتاد و قطر ده سانتی متر طراحی و ساخته شد. در این ستون در بالای شیر برای ورود آب با فشار ده اتمسفر به داخل ستون در نظر گرفته شده است. همچنین یک جایگاه خروجی آب از پائین می باشد که دبی خروجی آن دوبرابر دبی آب ورودی می باشد. علاوه بر آن دارای یک جایگاه ورودی بیوگاز خام در پایین و یک شیر برای خروج گاز پس از تخلیص از بالا می باشد. نازل های ورودی گاز و آب دارای مجاری مناسبی می باشند. یک کمپرسور فشار گاز تزریقی را تا ۱۰ بار تامین و گاز را به ستون تزریق خواهد کرد و همچنین یک پمپ آب پر قدرت آب را با فشار ۱۰ بار از روی زمین پمپاژ و به ستون تزریق خواهد کرد. علاوه بر این یک رطوبت گیر اولیه در بالای ستون محل خروجی گاز در نظر گرفته شده است. همچنین محفظه نگه دارنده بستر تماس گاز و آب در داخل فیلتر قرار دارد. این فیلتر جهت کنترل های لازم از سه نقطه قابلیت باز و بسته شدن را دارد. بستر یا ستون پکینگ از جنس سیم های نازک استیل به هم تنیده که دارای قطری معادل هشت سانتی متر است و در داخل فیلتر تعبیه شده است. این بستر بیشترین احتمال برخورد بین مولکول های گاز ناخالص تزریق شده و آب را فراهم می کند.



تصویر ۳- از راست نمایش فیلتر تصفیه، نمونه سیم های نازک استیل به هم تنیده استقرار داده شده در فیلتر، نازل ورودی گاز، نازل ورودی آب که در داخل فیلتر تعبیه شده اند.

۳-۲- مخزن استراحت

پس از ستون تصفیه، مخزن استراحت بر بالاترین سطح سازه پلکانی مستقر است. خروجی ستون تصفیه از طریق یک لوله به ورودی مخزن استراحت مرتبط است. بدین ترتیب آب به همراه ناخالصی‌های گرفته شده از گاز ناخالص در داخل فیلتر ستون تصفیه، به مخزن استراحت وارد می‌شود و فشار آب در آن به حداقل می‌رسد. علاوه بر اینها دارای یک خروجی برای گازهای احتمالی آزاد شده می‌باشد. مانده متان احتمالی همراه آب با توجه به کاهش فشار آب آزاد شده و از طریق خروجی تعبیه شده روی مخزن به پشت کمپرسور وارد خواهد شد. در نهایت مخزن استراحت دارای یک خروجی آب به مخزن آزادسازی و یک خروجی اضطراری آب که به مخزن اصلی متصل شده می‌باشد.

۴-۲- مخزن آزادسازی دی اکسید کربن آب و مشخصات فنی بلوئر و الکتروموتور

مخزن آزادسازی دارای یک ورودی آب از مخزن استراحت و یک خروجی آب به مخزن خلأ می‌باشد. علاوه بر این مخزن مجهز به یک الکتروموتور گیربکسی است که این موتور از طریق یک پروانه با تعداد بیست و هشت دور در دقیقه در داخل مخزن همزدن آب را انجام می‌دهد. در ضمن یک بلوئر یا دمنده هوا از طریق یک شیلنگ به این مخزن متصل است و در زمان کارکرد سیستم به طور مداوم هوا را به داخل مخزن پمپ می‌کند. در نتیجه وارد کردن هوا و هم زدن، دی اکسید کربن آب آزاد و وارد محیط خواهد شد. مشخصات فنی بلوئر و همچنین مشخصات فنی الکتروموتور گیربکسی به کار گرفته شده در طرح در مخزن آزادسازی دی اکسید کربن آب در جداول جداگانه کنترل شده است.

۵-۲- مخزن خلأ

این مخزن دارای یک ورودی آب از مخزن آزادسازی و یک خروجی آب به مخزن زیستی (مخزن بین مخزن خلأ و مخزن اصلی) است. این مخزن مجهز به یک الکتروپمپ خلأ روغنی است که با یک شیلنگ به آن متصل شده است. در زمان کارکرد سیستم این پمپ به طور دائم روشن است و داخل مخزن را خلأ می‌کند. واکيوم کردن این مخزن باعث خروج هوا و گازهای مانده احتمالی خواهد شد.



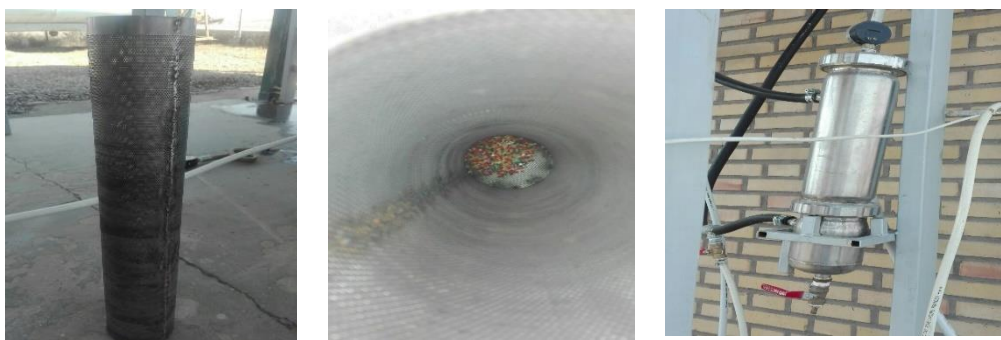
تصویر ۴- از راست نمایش مخزن استراحت و بلوئر استقرار داده شده در کنار آن، مخزن آزاد سازی و همزن، مخزن خلأ و پمپ خلأ متصل به آن

۶-۲- مخزن اصلی ذخیره آب

مخزن ذخیره اصلی به گنجایش حجم پانصد لیتر بر روی زمین قرار دارد. این مخزن دارای یک ورودی آب از مخزن زیستی و یک ورودی آب از مخزن استراحت و یک ورودی آب جبرانی از آب محل می‌باشد. همچنین این مخزن دارای خروجی آب به سیستم از طریق پمپ آب می‌باشد. پمپ فشارقوی آب را از این خروجی مخزن به روی ستون تصفیه منتقل خواهد کرد. علاوه بر این این مخزن دارای یک شیلنگ خروجی آب برای مواقع شستشو هم می‌باشد.

۷-۲- ستون خشک‌کننده گاز متان خالص شده

این ستون دارای فیلتر خشک‌کننده گاز از جنس استیل است. همچنین دارای یک ورودی گاز از پائین و خروجی گاز از بالا می‌باشد. این ستون به شیر خروجی گاز متان خالص شده از طریق ستون تصفیه و جاروب کشی متصل می‌شود و محل استقرار آن در مجاورت مخزن ستون جارو کشی است. در داخل این مخزن موادی جذب کننده رطوبت قرار داده خواهد شد تا بخار آب احتمالی همراه گاز را جذب کند. علاوه بر این یک شیر خروجی برای خروج آب جمع شده در آن در قسمت زیر خشک‌کن تعبیه شده است. همچنین دارای محفظه محتوی مواد رطوبت گیر همراه با فشارسنج می‌باشد و قابلیت باز و بسته شدن را دارد.



تصویر ۵- از راست نمایش ستون خشک کننده، خاک زله ای استقرار داده شده در محفظه آن و محفظه استقرار مواد خشک کننده

۸-۲- کنتور گاز

کنتور گاز متصل به گاز ورودی تصفیه شده از خشک کن است و خروجی گاز از آن به یک مشعل متصل شده است. علاوه بر این در مسیر خروجی گاز یک شیلنگ رابط مجهز به شیر پنیوماتیک جهت نمونه برداری تعبیه شده است. این کنتور دارای نمایشگر دیجیتال و معمولی مقدار گاز تصفیه شده به مترمکعب و دمای گاز می باشد.

۹-۲- تابلو کنترل تجهیزات برقی

تابلو کنترل ساخته شده دارای کلیدهای کنترلی روشن و خاموش کردن پمپ آب، کمپرسور، همزن، هواده و پمپ خلأ می باشد. تمام اتصالات روکش دار و مناسب می باشد و در هرگونه اتصال جریان برق به صورت خودبخود قطع می شود.



تصویر ۶: از راست نمایش نمای داخلی تابلو کنترل برق، نمای بیرونی تابلو کنترل برق، کنتور گاز

۳- روش های مورد بررسی

۳-۱- ابزار های سنجش

در این سیستم در ابتدای ورودی گاز به کمپرسور و پس از خروج گاز از کنتور شیلنگ رابط مجهز به شیر پنیوماتیک تعبیه شده است. از این دو شیلنگ جهت آنالیز گاز ورودی قبل از تصفیه و گاز خروجی بعد از تصفیه استفاده شده است. سنجش گاز با آنالیزور ژئوتک (GA 2000) انجام شده است. برای سنجش، شیلنگ ورودی گاز را به ورودی آنالیزور وصل کرده و کار با دستگاه را شروع می کنیم. مدت زمان لازم تا سنجش کامل را صبر کرده و نتایج را در فرمهای بهره برداری ثبت می نماییم. برای اندازه گیری دما از ترمومتر معمولی آزمایشگاهی و یا ترمومتر دیجیتال استفاده نموده ایم. همچنین برای بررسی تغییرات pH از پی اچ متر پرتابل SANXIN یا آزمایشگاهی Metrohm استفاده شده است. تغییرات EC و TDS از دستگاه کندانکتیویتری WTW COND 7110 ino Lab در آزمایشگاه استفاده شده است.



تصویر ۷: از راست ترمومتر دیجیتال، آنالیزور گاز، pH متر پرتابل

۳-۲- چگونگی عملکرد سیستم

در سیستم ساخته شده کمپرسور تأمین و تنظیم فشار لازم برای گاز تزریقی به فیلتر تصفیه در رنجی برابر ۲ تا ۱۰ بار را فراهم می‌کند. از طرف دیگر پمپ آب باعث تأمین فشار لازم برای پمپاژ آب به فیلتر تصفیه به میزان ۳ تا ۱۲ بار می‌شود. برخورد آب و گاز که هر دو با فشار بالا وارد و در جهت عکس هم وارد فیلتر تصفیه می‌شوند، سبب ایجاد شرایط لازم جهت همراه شدن سولفید هیدروژن و بخشی از دی‌اکسید کربن و منواکسید کربن موجود در گاز ناخالص با آب به منظور خالص‌سازی گاز می‌شود و سپس آب همراه با ناخالصی‌های جذب شده از گاز، وارد مخزن آزادسازی می‌شود که در آن شرایط لازم جهت آزادسازی دی‌اکسید کربن حل شده در آب از طریق همزدن و هوادهی فراهم می‌شود و همچنین واکنش سولفید هیدروژن و اکسیژن که منجر به تولید گوگرد و آب می‌شود در این مخزن انجام می‌شود. (Cebula 2009).



علاوه بر این در مخزن خلأ مکش باقی مانده دی‌اکسید کربن و سایر گازهای همراه با آب انجام می‌شود.

۳-۳- روش محاسبه میزان سولفید هیدروژن لود شده با سیستم

زمان پاسخ در آنالیزور بر حسب دقیقه و مقدار حذف سولفید هیدروژن در آنالیزور به ppm (میلی گرم در لیتر در دقیقه) بیان می‌شود (Ltd 2000). لذا میزان سولفید هیدروژن لود شده (بارگیری شده) در سیستم از یک طرف تابعی از جریان گاز ورودی و غلظت سولفید هیدروژن ورودی و جرم مولکولی آن و از طرف دیگر تابعی از حجم فیلتر و حجم مولکولی گاز در شرایط استاندارد است (Naegele et al. 2013). بنا براین میزان لود به کمک معادله ۱ قابل محاسبه است:

$$loading\ rate = \frac{gase\ flow\ [\frac{l}{h}] H_2S_{input}[ppm] 34.08[\frac{g}{mol}]}{filter\ volum[m^3] 22.41[\frac{l}{mol}] 10^6} \quad (1)$$

۳-۴- روش محاسبه کارایی سیستم در حذف^۱ (RE)

برای محاسبه کارایی سیستم، آنالیز نمونه در ورودی، که قبل از کمپرسور است و در خروجی که بعد از کنتور گاز است، انجام می‌شود. نتایج به دست آمده برای محاسبه کارایی سیستم در حذف سولفید هیدروژن یا هر ماده دیگری به کمک معادله ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Nozic 2006).

$$RE = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (2)$$

A غلظت سولفید هیدروژن قبل از ورود به فیلتر تصفیه و B غلظت سولفید هیدروژن پس از خروج از فیلتر تصفیه است و کارایی سیستم به درصد را بیان می‌کند یا به بیان دیگر قابلیت حذف سولفید هیدروژن در سیستم را با معادله ۳ می‌توانیم محاسبه و به درصد گزارش کنیم. (Naegele et al. 2013).

$$RE = \frac{H_2S_{input}[ppm] - H_2S_{output}[ppm]}{H_2S_{input}[ppm]} \times 100 \quad (3)$$

¹ Removal efficiency

۳-۵- روش محاسبه توان سیستم در حذف^۱ سولفید هیدروژن (EC)

میزان اشباع شدن سولفید هیدروژن در آب برابر ۰/۱ مول بر لیتر که معادل ۳۹۸۰ میلی گرم بر لیتر در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد می‌شود (Luostarinen et al). میتوان حداکثر قابلیت سیستم در حذف سولفید هیدروژن را محاسبه نمود. زمان پاسخ در آنالیزور بر حسب دقیقه و میزان حذف سولفید هیدروژن در آنالیزور بر حسب ppm (میلی گرم در لیتر در دقیقه) بیان می‌شود (Ltd 2000). میزان حذف از اختلاف سنجش غلظت سولفید هیدروژن قبل از ورود به فیلتر تصفیه و بعد از ورود به فیلتر بدست می‌آید. میزان کل سولفید هیدروژن حذف شده از رابطه ذیل قابل محاسبه است. این سیستم توان خالص سازی ۶ متر مکعب گاز در ساعت را دارد. بنابراین اگر بخواهیم سرعت خالص سازی را در همین شرایط افزایش یا کاهش دهیم باید جریان گاز ورودی را به نسبت تغییر دهیم. مقدار سولفید هیدروژن لود شده در سیستم بر حسب گرم بر متر مکعب در ساعت گزارش می‌شود. ظرفیت یا قابلیت حذف را بر حسب گرم در متر مکعب بر ساعت گزارش می‌کنند. (Naegele et al. 2013).

$$EC = \frac{gas\ flow\left[\frac{l}{h}\right]\{H_2S_{input}[ppm] - H_2S_{output}[ppm]\}34.08\left[\frac{g}{mol}\right]}{filter\ volume[m^3]22.41\left[\frac{l}{mol}\right] \times 10^6} \quad (4)$$

طبق تعریف اگر C اختلاف میزان غلظت سولفید هیدروژن ورودی و خروجی باشد، در واقع C مقدار خالص سازی یا حذف سیستم بر حسب میلی گرم در لیتر در یک دقیقه است که با ضرب کردن آن در ۱/۳۸ که ضریب فاکتور برای تبدیل میلی گرم در لیتر به میلی گرم در متر مکعب است (Siefers 2010) میزان خالص سازی سیستم بر حسب میلی گرم در متر مکعب گاز در یک دقیقه به دست خواهد آمد.

۳-۶- آنالیز آب مورد استفاده در سیستم قبل از تصفیه گاز و بعد از تصفیه گاز

به منظور بررسی و آنالیز تغییرات فاکتورهای مختلف آب مورد استفاده در طرح، طی دو مرحله نمونه برداری از آب انجام شد مرحله اول در شروع کار اجرایی و مرحله دوم پس از اینکه مقدار ۲۰ متر مکعب بیوگاز توسط سیستم تصفیه گردیده است نمونه ها جهت آنالیز کامل در اختیار آزمایشگاه معتبر قرار داده شد و نتایج تحویل گردید جزئیات در فصل نتایج بیان گردیده است.

۴- نتایج

۴-۱- بهره برداری آزمایشی

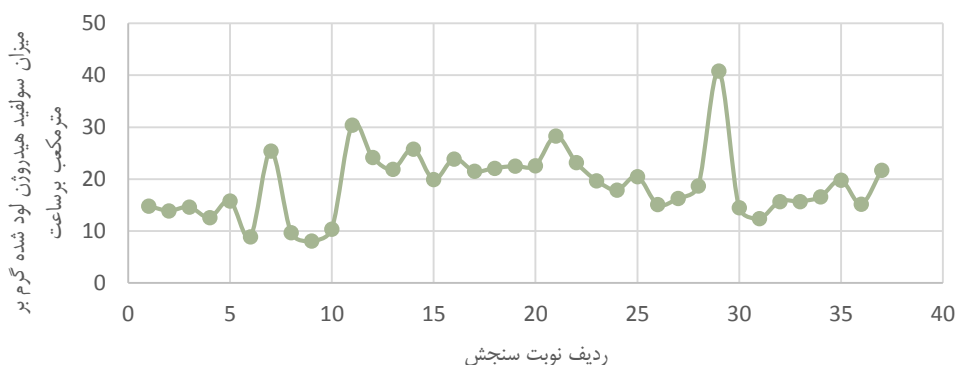
بهره برداری آزمایشی از سیستم از اوایل دی ماه سال ۱۳۹۶ آغاز و تا تاریخ ۹۷/۳/۲۸ به صورت پیوسته در طی مدت ۳۰ روز انجام شده است. در طی هر روز کاری بسته به ضرورت سنجش فاکتورهای مختلف مربوط به کارکرد سیستم انجام گرفته است. نتایج حاصل در جدولی تحت عنوان فرم ثبت داده های پایلوت تصفیه بیوگاز یادداشت گردیده است. این نتایج به تائید طرفین رسیده و نسخه اصلی آن تحویل کارفرما شده و نسخه دوم در اختیار مجریان می باشد. از آنجا که نتایج از مشابهت زیادی برخوردار بوده است در آنالیزهای انجام شده نتایج حاصله در فاصله زمانی ۹۶/۱۰/۱۶ تا ۹۶/۱۱/۴ مورد آنالیز قرار گرفته است. طی این مدت در مجموع تعداد ۷۱ سنجش انجام گرفته است که از این تعداد نتایج ۳۷ آنالیز مربوط به فاصله زمانی ۹۶/۱۰/۲۷ تا ۹۶/۱۰/۱۶ مورد بررسی کامل قرار گرفته است این نتایج در ردیف سنجش کد ۳۷ تا ۳۹ در جدول ۲ بیان شده است. برای محاسبه جریان گاز حجم مخزن کمپرسور ۱۰۰ بوده است وقتی مخزن را از بیوگاز پر کرده و این میزان را با کنتور گاز مورد سنجش قرار دادیم این مقدار معادل ۰/۷ متر مکعب شده است که با تناسب هر متر مکعب گاز معادل ۱۴۰ لیتر می باشد که با ضرب فلو گاز به متر مکعب در ساعت در ۱۴۰ اعداد فلو گاز به لیتر در جداول نتایج فصل بعد گزارش شده است همچنین فیلتر استوانه ای به ارتفاع ۷۰ است که ارتفاع قسمت اصلی فیلتر ۵۰ سانتی متر است و قطر ۱۰ سانتی متر می باشد و با توجه به این که یک استوانه است حجم فیلتر بر اساس فرمول استوانه محاسبه و در فرمول مقدار آن منظور در جداول محاسبات فصل بعد گزارش شده و بیان این مسله در مورد اطلاعات این جدول لازم است که میزان سولفید هیدروژن لود شده در واقع همان توان سیستم در حذف است و به بیان روشن تر همه مقدار لود شده الزاماً حذف نشده است بخشی همراه با آب شسته شده است و بخشی در گاز خروجی است در ایده آل ترین حالت این دو مقدار یکسان خواهند گردید و آن هم زمانی است که درصد حذف سولفید هیدروژن انجام شود

جدول شماره ۲: نتایج حاصله از بررسی فاکتورهای مختلف در سیستم خالص سازی بیوگاز (فاکتورهای سولفید هیدروژن)

ردیف سنجش	تاریخ	H ₂ S ورودی ppm	H ₂ S خروجی ppm	میزان حذف H ₂ S ppm	درصد حذف H ₂ S (RE)	فلو گاز به متر مکعب در ساعت	فلو گاز به لیتر در ساعت	میزان سولفید هیدروژن لود شده گرم بر متر مکعب بر ساعت LR	میزان توان سیستم در حذف H ₂ S گرم بر متر مکعب بر ساعت (EC)
۱	۹۶/۱۰/۱۶	۵۷	۲۳	۳۴	۶۰	۴/۸	۶۷۲	۱۴/۸	۸/۹
۲	۹۶/۱۰/۱۶	۶۰	۱۴	۴۶	۷۷	۴/۳	۶۰۲	۱۳/۹	۱۰/۷
۳	۹۶/۱۰/۱۷	۷۵	۱۴	۶۱	۸۱	۳/۶	۵۰۴	۱۴/۶	۱۱/۹
۴	۹۶/۱۰/۱۷	۷۵	۱۴	۶۱	۸۱	۳/۱	۴۳۴	۱۲/۶	۱۰/۳
۵	۹۶/۱۰/۱۸	۹۷	۱۰	۸۷	۹۰	۳	۴۲۰	۱۵/۸	۱۴/۲
۶	۹۶/۱۰/۱۸	۷۱	۱۵	۵۶	۷۹	۲/۳	۳۲۲	۸/۹	۶/۹
۷	۹۶/۱۰/۱۹	۸۱	۱۸	۶۳	۷۸	۵/۷۸	۸۰۹	۲۵/۴	۱۹/۷
۸	۹۶/۱۰/۲۰	۶۶	۱۰	۵۶	۸۵	۲/۷	۳۷۸	۹/۷	۸/۲
۹	۹۶/۱۰/۲۰	۷۱	۲	۶۹	۹۷	۲/۱	۲۹۴	۸/۱	۷/۹
۱۰	۹۶/۱۰/۲۱	۷۱	۱۰	۶۱	۸۶	۲/۷	۳۷۸	۱۰/۴	۸/۹
۱۱	۹۶/۱۰/۲۳	۸۹	۵۹	۳۰	۳۴	۶/۳	۸۸۲	۳۰/۴	۱۰/۳
۱۲	۹۶/۱۰/۲۴	۷۷	۱۱	۶۶	۸۶	۵/۸	۸۱۲	۲۴/۲	۲۰/۸
۱۳	۹۶/۱۰/۲۴	۸۴	۴۰	۴۴	۵۲	۴/۸	۶۷۲	۲۱/۹	۱۱/۵
۱۴	۹۶/۱۰/۲۴	۹۵	۱۸	۷۷	۸۱	۵	۷۰۰	۲۵/۸	۲۰/۹
۱۵	۹۶/۱۰/۲۴	۹۷	۱۹	۷۸	۸۰	۳/۸	۵۳۲	۱۹/۹	۱۶/۱
۱۶	۹۶/۱۰/۲۴	۹۸	۲۰	۷۸	۷۹	۴/۵	۶۳۰	۲۳/۹	۱۹
۱۷	۹۶/۱۰/۲۵	۸۸	۳۶	۵۲	۵۹	۴/۵	۶۳۰	۲۱/۵	۱۲/۷
۱۸	۹۶/۱۰/۲۵	۹۷	۴۱	۵۶	۵۸	۴/۲	۵۸۸	۲۲/۱	۱۲/۸
۱۹	۹۶/۱۰/۲۵	۱۰۱	۴۶	۵۵	۵۴	۴/۱	۵۷۴	۲۲/۵	۱۲/۲
۲۰	۹۶/۱۰/۲۵	۹۹	۴۶	۵۳	۵۴	۴/۲	۵۸۸	۲۲/۶	۱۲/۱
۲۱	۹۶/۱۰/۲۶	۷۸	۴۳	۳۵	۴۵	۶/۷	۹۳۸	۲۸/۳	۱۲/۷
۲۲	۹۶/۱۰/۲۶	۸۴	۴۵	۳۹	۴۶	۵/۱	۷۱۴	۲۳/۲	۱۰/۸
۲۳	۹۶/۱۰/۲۶	۹۱	۴۲	۴۹	۵۴	۴	۵۶۰	۱۹/۷	۱۰/۶
۲۴	۹۶/۱۰/۲۶	۹۲	۵۲	۴۰	۴۳	۳/۶	۵۰۴	۱۷/۹	۷/۸
۲۵	۹۶/۱۰/۲۷	۸۶	۴۵	۴۱	۴۸	۴/۴	۶۱۶	۲۰/۵	۹/۸
۲۶	۹۶/۱۰/۲۷	۸۷	۴۸	۳۹	۴۵	۳/۲	۴۴۸	۱۵/۱	۶/۸
۲۷	۹۶/۱۰/۲۷	۸۱	۴۳	۳۸	۴۷	۳/۷	۵۱۸	۱۶/۳	۷/۶
۲۸	۹۶/۱۰/۲۸	۸۶	۴۳	۴۳	۵۰	۴	۵۶۰	۱۸/۷	۹/۳
۲۹	۹۶/۱۰/۳۰	۱۰۳	۶۱	۴۲	۴۱	۷/۳	۱۰۲۲	۴۰/۸	۱۶/۶
۳۰	۹۶/۱۱/۱	۸۱	۴۰	۴۱	۵۱	۳/۳	۴۶۲	۱۴/۵	۷/۳
۳۱	۹۶/۱۱/۱	۸۸	۳۸	۵۰	۵۷	۲/۶	۳۶۴	۱۲/۴	۷/۱
۳۲	۹۶/۱۱/۲	۸۵	۵۰	۳۵	۴۱	۳/۴	۴۷۶	۱۵/۷	۶/۵
۳۳	۹۶/۱۱/۲	۸۵	۴۵	۴۰	۴۷	۳/۴	۴۷۶	۱۵/۷	۷/۴
۳۴	۹۶/۱۱/۳	۸۵	۴۷	۳۸	۴۵	۳/۶	۵۰۴	۱۶/۶	۷/۴
۳۵	۹۶/۱۱/۳	۸۵	۵۱	۳۴	۴۰	۴/۴	۶۰۲	۱۹/۸	۷/۹
۳۶	۹۶/۱۱/۴	۸۵	۵۶	۲۹	۳۴	۳/۳	۴۶۲	۱۵/۲	۵/۲
۳۷	۹۶/۱۱/۴	۸۰	۵۵	۲۵	۳۱	۵	۷۰۰	۲۱/۷	۶/۸

۲-۴- نتایج میزان سولفید هیدروژن لود شده با سیستم (Loding rate)

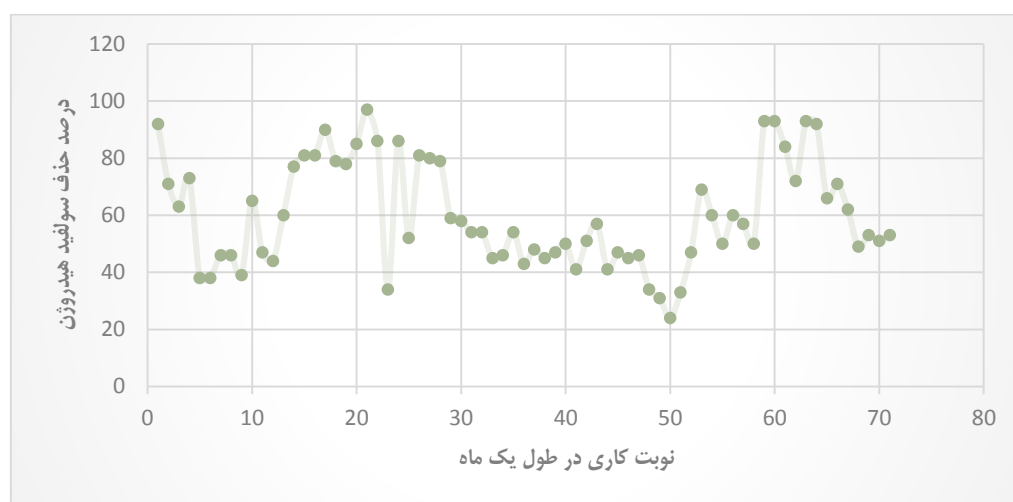
نتایج میزان سولفید هیدروژن لود شده (وارد شده) به سیستم که در جدول ۲ جزئیات بیان شده است، نشان دهنده این است که بیشترین میزان سولفید هیدروژن معادل ۴۰/۸ و کمترین میزان معادل ۸/۱ گرم بر متر مکعب در ساعت بوده است. باید توجه شود که بخشی از این میزان توسط سیستم حذف شده است و بخش جزئی همراه با گاز از سیستم خارج شده است. (نمودار ۱)



نمودار شماره ۱ میزان سولفید هیدروژن لود شده (وارد شده) به سیستم در سنجشهای ۳۷ گانه

۳-۴- نتایج محاسبه کارایی سیستم در حذف سولفید هیدروژن

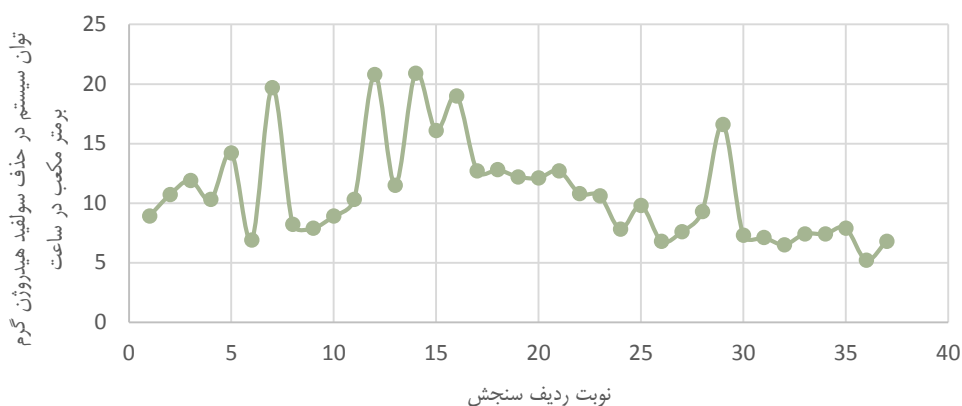
نتایج کارایی سیستم در حذف سولفید هیدروژن لود شده (وارد شده) به سیستم در جدول ۲ با جزئیات بیان شده است. نتایج نشان دهنده این است که بیشترین میزان درصد حذف سولفید هیدروژن معادل ۹۷ و کمترین میزان در شرایطی که هیچ گونه تعویض آب یا تزریق آب تازه به سیستم انجام نگرفته است، معادل ۳۱ درصد بوده است و متوسط کارایی سیستم در حذف سولفید هیدروژن ۶۰ درصد بوده است.



نمودار شماره ۲: درصد حذف سولفید هیدروژن در مدت زمان کارکردی یک ماهه تحت شرایط متفاوت

۴-۴- نتایج محاسبه توان سیستم در حذف سولفید هیدروژن

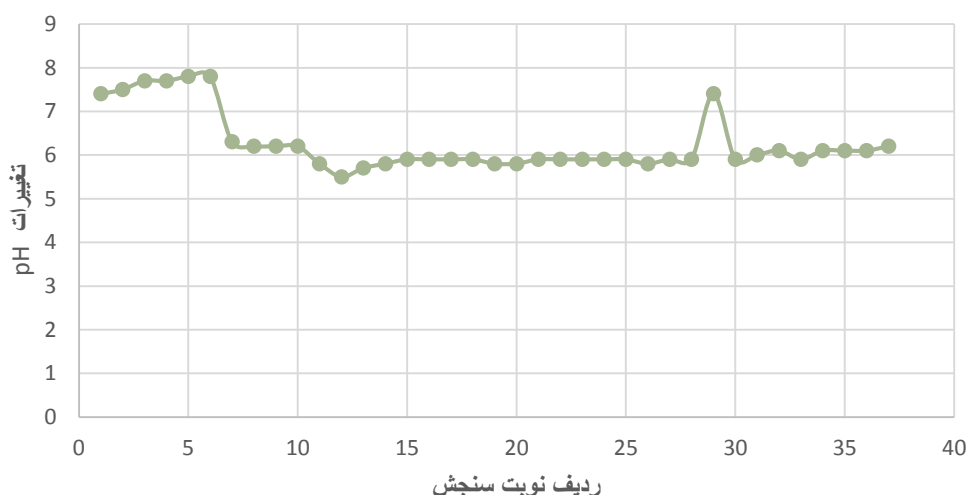
نتایج قابلیت یا توان سیستم در حذف میزان سولفید هیدروژن در ج جدول ۲ با جزئیات بیان شده است. این نتایج نشان دهنده این است که بیشترین میزان سولفید هیدروژن حذف شده توسط سیستم معادل ۲۰/۹ و کمترین میزان در شرایطی که هیچ گونه تعویض آب یا تزریق آب تازه به سیستم انجام نگرفته است، معادل ۸/۱ گرم بر متر مکعب در ساعت بوده است. (نمودار ۳)



نمودار شماره ۳ توان سیستم در حذف سولفید هیدروژن در سنجش های ۳۷ گانه

۵-۲- نتایج تغییرات PH آب در سیستم

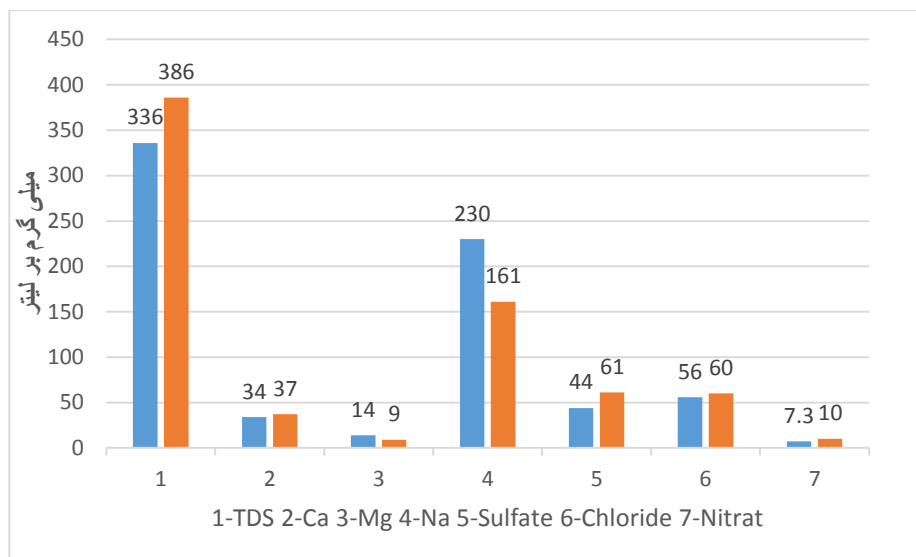
به طور کلی با در نظر گرفتن دمای آب PH از مقدار ۷/۸ که آب تمیز در سیستم بوده شروع و به مرور با کار کردن سیستم روند کاهشی آن آغاز گردیده است (نمودار ۴) و با کاهش حدود ۲ واحد به سمت اسیدی شدن رفته است و در رنج ۵/۸ ثابت باقی مانده است. این در شرایطی صورت گرفته است که عملاً به طور متوسط روزانه صد لیتر آب مخزن تخلیه و با آب تازه جایگزین گردیده است. در حالتی که به مدت یک هفته هیچگونه تزریق آب تازه به مخزن انجام نشده است یعنی ردیف ۲۹ تا ۳۶ عملاً کاهش PH یک واحد بوده است و در همین رنج باقی مانده است.



نمودار شماره ۴ نمایش تغییرات pH در سیستم در سنجش های ۳۷ گانه

۶-۲- نتایج آنالیز آب مورد استفاده در سیستم قبل از تصفیه گاز و بعد از تصفیه گاز

نتایج آنالیز آب مورد استفاده در سیستم قبل از تصفیه گاز و بعد از تصفیه گاز در نمودار شماره ۵ بیان شده است نتایج مبین افزایش غلظت کل جامدات محلول و سولفات و تا حدی نیترات می باشد که با توجه به نوع کارکرد سیستم طبیعی می باشد با توجه به رنج اندک تغییرات PH و از طرفی غنی بودن آب از ترکیبات سولفات و گوگردی این آب برای کشاورزی مناسب خواهد بود.



نمودار شماره ۵ مقایسه تغییرات آب شاهد (آبی) و آبی که ۲۰ متر مکعب بیوگاز در آن جداسازی شده است

۷- نتیجه گیری

همان طور که نتایج این طرح نشان داد میزان سولفید هیدروژن موجود در بیوگاز تولیدی بسیار بالا است و باعث آسیب جدی به تجهیزات در درازمدت خواهد شد. با این تکنیک به طور متوسط بدون در نظر گرفتن میزان سولفید هیدروژن در فلو گاز قادر به حذف سولفید هیدروژن تا ۹۷ درصد بوده است. وجه تمایز طراحی این سیستم در مقایسه با نمونه‌های خارجی مشابه جابجایی ثقلی آب، چیدمان عمودی و پلکانی بودن سیستم، استفاده از مکش برای جداسازی باقی مانده گازها می باشد این سیستم با اندکی تغییرات در ارتفاع فیلتر و پکینگ بستر قادر به حذف تمام وقت در رنجی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد خواهد شد. از طرفی برای تکمیل و بهینه کردن شرایط حذف از یک تکنیک مکمل از جمله استفاده از فیلتر در شرایط جامد با هزینه اندک می‌توان استفاده کرد و این مجموعه با تعهدات لازم توانا به انجام این مهم می‌باشند.

تقدیر و تشکر

جا دارد از همه بزرگوارانی که در مراحل مختلف اجرای طرح از همیاری و مساعدت‌هایشان بهرمند شده ایم اقایان مهندس کریمیان، مهندس آدینه نیا، مهندس: علیزاده، رامشینی، خورشیدی، ابراهیمی، ثنایی، رضوانی، خانمها: نوروزی و موسوی و خلیلی همچنین از آقایان حسن زاده و پژمان قدردانی و تشکر نمائیم.

منابع

1. Allegue L.B. & Hinge J. 2014. Biogas upgrading Evaluation of methods for H2S removal. Danish technological institute 31.
2. Cebula J. 2009. Biogas purification by sorption techniques. ACEE Journal 2: 95-103.
3. Ltd G.I.U. 2000. GA2000 / GA2000Plus Gas Analyser
4. Luostarinen A., Normak A. & Edström M. Overview of Biogas Technology: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. European Union: European Regional Development Fund, 2011. 49 p.
5. Naegele H.-J., Lindner J., Merkle W., Lemmer A., Jungbluth T. & Bogenrieder C. 2013. Effects of temperature, pH and O2 on the removal of hydrogen sulfide from biogas by external biological desulfurization in a full scale fixed-bed trickling bioreactor (FBTB). International Journal of Agricultural and Biological Engineering 6: 69-81.
6. Nozic M. 2006. Removal of carbon dioxide from biogas. Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden. Hlm 1.
7. Siefers A.M. 2010. A novel and cost-effective hydrogen sulfide removal technology using tire derived rubber particles.
8. Vijay V.K. 2012. Biogas Purification Using Water Scrubbing Systems. Center for Rural Development and Technology, Indian Institut Technology, New Delhi.

