مدیریت شهری
شماره ۵۷ زمستان ۹۸
No.57 Winter 2020
۷۳-۸۸

تاریخ دریافت : ۱۳۹۸/۹/۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۸

ارزیابی مناسبترین روش برای بهبود کیفیت بیوگاز در نیروگاه هاضم

■ رضـا نقـوی*، دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست ، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران
■ محمدعلی عبدلی، استاد گروه مهندسی محیط زیست ، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران
■ مهرداد عدل، استادیار پژوهشگاه انرژی ، پژوهشگاه مواد و انرژی وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری
■ عبدالرضا کرباسی، دانشیار گروه مهندسی محیط زیست ، دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

چکیده :

نیروگاه هاضم بیهوازی تهران با هدف فراوری پسماندهای فسادپذیر شهری در حاشیه شرقی تهران احداث شده است . یکی از روش های مناسب برای تصفیه مواد آلی فسادپذیر استفاده از فرآیند هضم بیهوازی است که ضمن کاهش قابل ملاحظه بار آلودگی پسماندهای آلی ، باعث تولید انرژی با ارزشی نیز خواهد شد . کمک به حفظ محیط زیست ، بهبود بهداشت شهری ، صرفه جویی در مصرف سوخت های فسیلی و تولید کودی غنی برای مصارف کشاورزی از مزایای مهم هضم بیهوازی می باشد . این نیروگاه با ظرفیت پذیرش روزانه ۳۰۰ تن انواع پسماند آلی و توان نامی تولید برق به میزان ۲۰۰۰ کیلووات، درسال ۱۳۹۳ راه اندازی شده است . این سیستم در طی راهبری با چالش های قابل توجهی از نظر کمیت و کیفیت بیوگاز روبرو بوده است . غلظت بسیار بالای سولفید هیدروژن (H_2S) در بیوگاز تولیدی و عدم وجود فناوری های مناسب در نیروگاه برای پالایش بیوگاز تا حد مطلوب برای موتور ژنراتورهای بیوگازسوز مستقر در مجموعه از برجسته ترین این چالش ها می باشد . هدف از این مقاله بررسی عوامل موثر بر بهبود کیفیت و کمیت بیوگاز هاضم تهران با رویکرد کاهش H_2S و انتخاب فناوری های اجرایی مناسب می باشد . نتایج حاصله نشان می دهد که بازگردش محتویات هاضمها، باعث افزایش درصد متان بیوگاز به میزان بیش از ۳۰ درصد و کاهش H_2S به میزان بیش از ۹۸ درصد گردیده است .

کلید واژه: پسماندآلی؛ مدیریت پسماند؛ انرژی زیست توده؛ هضم بیهوازی؛ بیوگاز؛ کاهش سولفید هیدروژن؛ بازچرخش مواد

The most appropriate evaluation methods to improve the quality of biogas digester plant

Reza Naghavi- PhD student in Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran
Mohammad Ali Abdoli- Full Professor-Environmental Engineering- University of Tehran
Mehrdad ADL*-Assistant Professor–Environmental Engineering (Bio Energy) -Material and Energy Research Center
Abdolreza Karbasi- Associate Professor - Environmental Engineering- University of Tehran

ABSTRACT

Tehran anaerobic digestion power plant has been built on the eastern margin of the urban district by the purpose of processing the organic fraction of municipal solid waste. One of the most suitable methods for the treatment of organic matter is the use of anaerobic digestion (AD) process, which in addition to significant reduction of organic solid wastes, will produce valuable energy. Contributing to maintain the environment, improve urban health, saving on fossil fuels and producing rich fertilizer for agricultural use are important advantages of anaerobic digestion. The plant has been set up in 2014 with a nominal acceptance capacity of 300 tons of organic solid wastes per day and the nominal power generation of 2000 kW_e. This system has been faced with considerable challenges in terms of quantity and quality of biogas during operation. The high concentration of hydrogen sulfide (H_2S) in produced biogas and the lack of appropriate technologies in the plant for biogas refining are critical for the biogas generator engine deployed in the complex. The purpose of this article is to investigate the factors affecting the quality and quantity of Tehran's AD plant biogas using various H_2S reduction approaches and selection of appropriate implementing technologies. The results showed that the recirculation of the digester slurry increased the methane content by more than 30% and reduced H_2S by more than 98%.

Keywords: Organic waste, Waste management, Biomass energy, Anaerobic digestion, Biogas, H_2S reduction, Material recirculation

* نویسنده مسئول: ایمیل naghavi99@gmail.com تلفن ۰۲۱۵۵۳۰۱۳۰ - تلفن همراه : ۰۹۱۲۱۰۰۲۷۹۸ – نمابر : ۰۲۱۵۵۵۳۰۱۳۹

مقدمه:

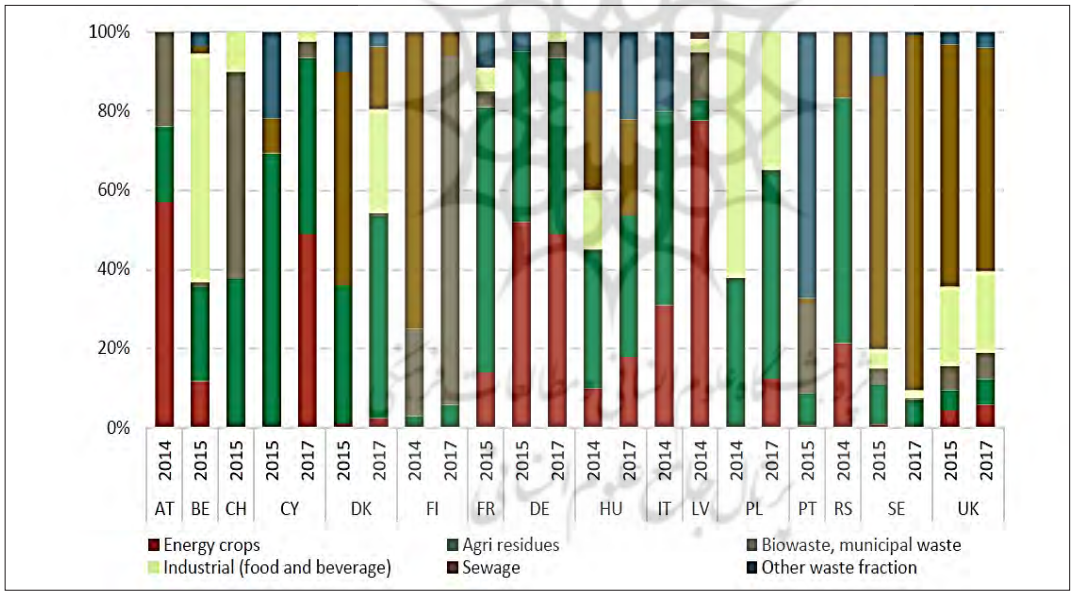
مدیریت پسماند جامد در مراکز شهری کشورهای در حال توسعه یک مساله جدی زیست محیطی و بهداشتی می باشد. رشد سریع جمعیت شهری و افزایش مداوم در تولید پسماند، چالش را بیشتر و عمیق تر میکند. غالباً بیش از ۵۰ درصد پسماند تولید شده آلی[1] و زیست تخریب پذیر است. بنابراین گزینه‌های مناسب برای تصفیه ارگانیک میتواند به کاهش مشکل پسماندها کمک موثری کند[۱, ۲].

هضم بیهوازی پسماندهای فسادپذیر منجر به تولید بیوگاز میشود، این رویکرد به بهبود روش های مدیریت پسماند کمک میکند و در عین حال اهداف مدیریت پایدار انرژی را برآورده می سازد. استفاده از بخش فسادپذیر پسماند شهری برای تولید بیوگاز باعث ایجاد یک چرخه خنثی کربن میشود که در آن کربن منتشر شده از سوختن گاز توسط محصولات جدیدی جذب میشود که باقیمانده پسماند را میتوان دوباره به عنوان ماده خام مورد استفاده قرار داد[2] .

هضم بیهوازی به عنوان یکی از فن‌آوری‌های برتر تولید کود با ارزش و بیوگاز بعنوان یک حامل انرژی تجدیدپذیر از همه انواع زیست توده قابل هضم در سرتاسر جهان به رسمیت شناخته می‌شود. پس از انجام یک سلسله فرآیند پالایش و بهسازی، بیوگاز می‌تواند به شکل بیومتان به عنوان جایگزین تجدید پذیر برای گاز طبیعی استفاده شود[۳].

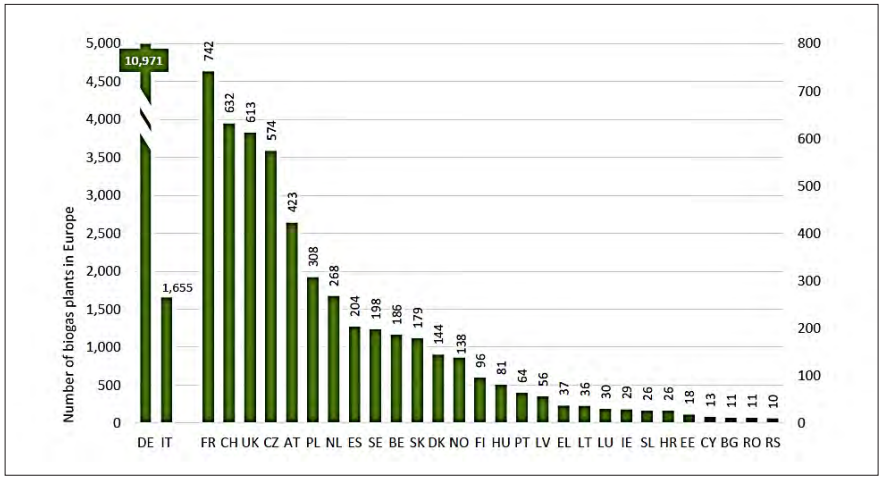
در اروپا، بازار استفاده از مواد مختلف برای تولید بیوگاز به سرعت و با رشد دو رقمی در هر سال، در حال توسعه است و انتظار می‌رود که این بازار در سال‌های آینده به رشد خود ادامه دهد.

اشکال شماره ۱ و ۲ انواع مواد اولیه مورد نیاز برای تولید بیوگاز و تعداد نیروگاه های تولید بیوگاز در اروپا را نشان می دهد.



شکل۱ : انواع مواد اولیه برای تولید بیوگاز در کشورهای اروپایی (به جز دفن پسماند), به صورت درصد جرمی [۴]

1. organic



شکل ۲ : تعداد نیروگاه‌های بیوگاز در کشورهای اروپایی [۴]

مزایای فن آوری های تولید بیوگاز از پسماندهای شهری

هضم بیهوازی پسماندهای فسادپذیر مزایای زیادی را فراهم می‌کند. این امر شامل تولید انرژی تجدیدپذیر، کاهش گازهای گلخانه‌ای، کاهش وابستگی به سوخت فسیلی، ایجاد شغل و تکمیل شدن چرخه غذایی است. این فناوری، مواد زائد ارگانیک را به منابع با ارزش تبدیل می‌کند در حالی که حجم پسماندهای جامد را کاهش داده و در نتیجه هزینه‌های دفع پسماند را نیز کاهش می‌دهد (شکل شماره ۳) .

شکل ۳ : مزایای زیست محیطی هضم بی هوازی بخش فسادپذیر پسماند جامد شهری[۵]

بیوگاز به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر نه تنها تعادل انرژی یک کشور را بهبود می‌بخشد، بلکه به حفظ منابع طبیعی با کاهش جنگل‌زدایی و حفاظت از محیط‌زیست با کاهش آلودگی ناشی از ضایعات و استفاده از سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند[۲] .

کاربردهای استفاده از بیومتان بسیار زیاد و متنوع هستند. توانایی تزریق بیوگاز به زیرساخت گاز طبیعی موجود به این معنی است که گاز گرفته شده از زیست توده را می‌توان به طور موقت ذخیره کرد و به اندازه مورد نیاز مورد استفاده قرار داد. این عمل امکان دستیابی به بالاترین سطوح بهره وری را فراهم می‌آورد که هم در تولید برق از طریق تولید همزمان برق و حرارت و همچنین تولید برق در استفاده مستقیم از گرما می باشد. این روش به طور قابل توجهی به تثبیت تامین انرژی و توازن نوسانات انرژی تجدید پذیر ناشی از باد و خورشید کمک میکند.

علاوه بر کاربردهای ساکن، بیوگاز میتواند به عنوان سوخت خودرو (برای حمل و نقل مسافر، حمل بار سنگین مانند کامیون‌ها و کشتی‌ها، یا در صنعت و کشاورزی) و یا به عنوان یک منبع مواد خام برای کاربردهای مواد بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

کارخانجات بیوگاز از اهمیت خاصی به عنوان تامین کنندگان تولید انرژی بی خطر برای آب و هوا برخوردارند.

علاوه بر این محصول فرعی, دی‌اکسید کربن می‌تواند به عنوان مبنایی برای ساخت و یا دیگر فرآیندهای صنعتی استفاده شود.

فرآیند بیوگاز یک فرآیند طبیعی است که برای مثال در بیابانها و مرداب‌ها و همچنین بخش‌های گوارشی برخی از حیوانات مانند گاوها رخ می‌دهد. در طول فرآیند, مواد آلی توسط ارگانیسم‌های میکروبی در غیاب اکسیژن تجزیه می‌شود و عمدتاً به متان(CH4) تبدیل می‌شود که ارزش حرارتی آن مقدار $9.97\ kWh/m^3$ است [۳] .

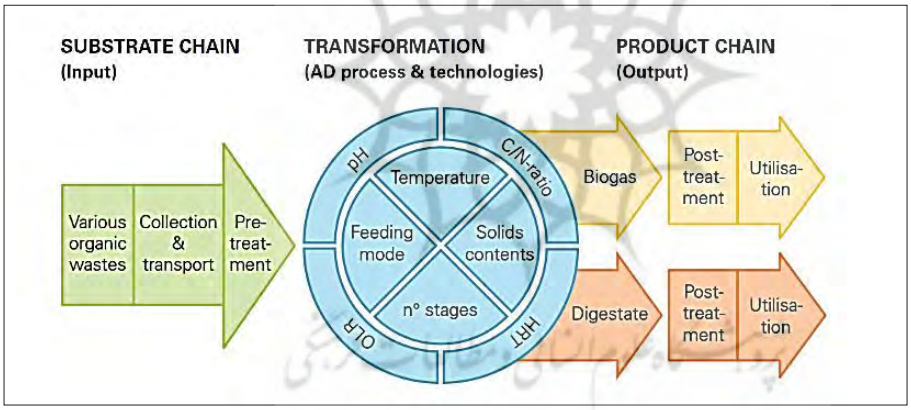
زنجیره فرآیند هضم غیر هوازی پسماندهای فسادپذیر

اطلاعات فرآیندهای هضم بیهوازی و عناصر آن براساس یک دیدگاه زنجیره تامین درشکل ۴ نشان‌داده شده است. در این جریان سه جز اصلی مورد توجه قرار گرفته‌اند:

زنجیره سوبسترا[1] : تولید پسماند، جمع‌آوری، حمل و نقل و عرضه به تاسیسات هضم ، قبل از تصفیه پسماند و قبل از تغذیه به هاضم.

فرآیند تبدیل: فرایندهای تبدیل بیولوژیکی و شیمیایی ماده خام در هاضم بیهوازی که منجر به تولید محصولات با ارزش می‌شود .

زنجیره محصول: پس از تصفیه[2] در هاضم که محصولات با ارزش بهبود یافته و قابل توزیع را برای استفاده از آنها اصلاح می‌کند.



شکل ۴ : زنجیره فرآیند هضم بی هوازی [۲]

اندازه گیری، کنترل و نحوه ارتباط این پارامترها بر راندمان کاری هاضم و کیفیت و کمیت بیوگاز تولیدی و دیگر محصولات آن بسیار موثر است. در این تحقیق سعی شده است که با تامین مواد مناسب و ارتباط و انتقال مناسب زنجیره تامین و همچنین بازچرخانی مواد، موجب حل کاهش تولیدسولفید هیدروژن و افزایش راندمان نیروگاه هاضم تهران گردد .

مدیریت پسماند در شهر تهران

بر اساس آمار سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران در سال ۱۳۹۸ در تهران با جمعیتی حدود ۹ میلیون نفر و مساحتی برابر با ۸۹۶ کیلومتر مربع روزانه ۶۲۰۰ تن پسماند تولید می شود . این میزان پسماند بوسیله ۱۳۴۶ دستگاه خودرو جمع آوری و به ۱۱ ایستگاه انتقال میانی منتقل می شود . پسماندها پس از تخلیه در ۱۲۶ سمی تریلی بوسیله ۹۶ کشنده به مجموعه پردازش و دفع آرادکوه منتقل می شوند . آنالیزهای پسماند خانگی در شهر تهران نشان می دهد که حدود ۷۰ درصد از از پسماندهای تولیدی ارگانیک بوده و قابلیت تبدیل به انرژی (بیوگاز) و کود کمپوست را دارد.

1. Substrate

2. treatment

شهرداری تهران در راستای اهداف زیست محیطی خود و به منظور به حداقل رساندن دفن پسماند در مرکز آرادکوه و کاهش حمل و نقل پسماند در سطح شهر تهران و جلوگیری از انتشار آلودگی ها و بسترسازی برای تولید انرژی از پسماند ، عملیات ساخت ابنیه و نصب تجهیزات را از ابتدای سال ۱۳۹۰ شروع و در سال ۱۳۹۳ بهره برداری از پروژه را آغاز نمود . این پروژه اولین پروژه زیست‌محیطی کشور جهت تولید انرژی از پسماندهای شهری به روش هضم بیهوازی[1] می‌باشد.

مشخصات نیروگاه هاضم تهران:

نوع سازه نیروگاه هاضم تهران، بتنی- فلزی بوده و در زمینی به وسعت تقریبی ۳ هکتار تاسیس شده است .

در مجموعه نیروگاه هاضم ۱۴ مخزن با ظرفیت های زیر وجود دارد :

- ۲ مخزن پیش هاضم (pre-chamber) با ظرفیت هرکدام ۵۰۰ متر مکعب
- ۴ مخزن هاضم اولیه با ظرفیت هرکدام ۱۲۰۰متر مکعب
- ۴ مخزن هاضم ثانویه با ظرفیت هرکدام ۱۵۰۰متر مکعب
- ۴ مخزن نهایی (فاین) با ظرفیت هرکدام ۲۵۰۰متر مکعب

لازم به ذکر است که این مخازن در ۲ فاز مجزا و ۴ خط قرار گرفته اند.

ظرفیت پذیرش این پروژه روزانه ۳۰۰ تن پسماند مخلوط شهری و توانایی نامی تولید برق آن ۲ مگاوات می باشد .

تصویر شماره 5 نمای کلی نیروگاه هاضم تهران را نشان می‌دهد.

شکل ۵ : نمای کلی نیروگاه هاضم تهران

وضعیت راهبری سامانه هاضم بی‌هوازی شهر تهران

سیستم هاضم در این کارخانه از نوع تر، مزوفیل و دو مرحله ای می باشد . هضم بی هوازی در صورتی که غلظت کل مواد جامد بستر کمتر از ۱۵ درصد باشد مرطوب محسوب شده و در صورتی که غلظت آن به ۲۰ تا ۴۰ درصد برسد خشک می باشد. هریک از هاضم های تر یا خشک مزایا و معایب خاص خود را دارند [۶] .

هاضم های بی هوازی با حداقل دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و حداکثر دمای ۶۰ درجه سانتیگراد عمل می کنند. دو محدوده اصلی دما برای تولید متان عبارتند از: ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد برای شرایط مزوفیلیک و ۵۰ تا ۶۵ درجه سانتیگراد برای شرایط ترموفیلیک که دمای مطلوب به ترتیب ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد هستند. متان را می توان با دو مسیر، به عنوان مثال متانوژنز هیدروژنوتروفی و

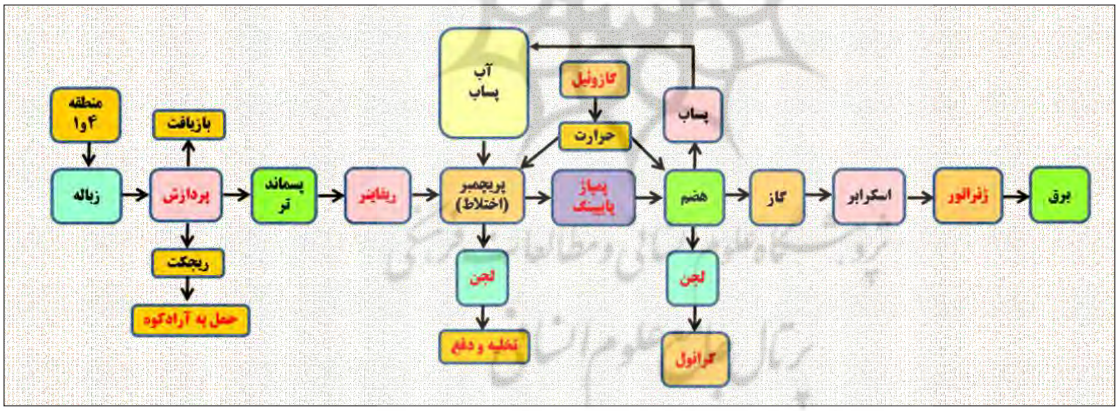
1 Anaerobic Digestion.

استوکلاستیک تولید کرد. مسیر تولید متان تحت تاثیر دمای کار است. در سیستم مزوفیلیک[1] و ترموفیلیک[2] ، مسیر برای متان تولید به ترتیب هیدروژنوتروفیک[3] و متانوژنز استوکلاستیک[4] است [۷] .

در یک سیستم تک مرحله ای همه فرآیندهای بیوشیمیایی به صورت همزمان در یک هاضم اتفاق می افتد. اشکال اصلی این نوع سیستم این است که این فرآیندها برای عملیات مختلف شرایط مشابهی را به سیستم اعمال می کنند، علی رغم اینکه اختلاف در سرعت رشد و pH بهینه برای هر گروه از میکروارگانیسم ها کاملا ثابت شده است. این دلیل نشان دهنده ضعف سیستم های تک مرحله ای در مقایسه با سیستم های چند مرحله ای می باشد. این مشکل بیشتر در مورد بسترهایی (پسماندهای دارای سلولز اندک) که مرحله هیدرولیز در آن ها محدود شونده می باشد قابل درک است. این پسماندها به سرعت اسیدی شده و وقتی که مواد اولیه به اندازه کافی مخلوط نمی شود مانع تولید متان می شوند [۸].

در هاضم تهران به صورت میانگین روزانه حدود ۱۲۰ تن پسماند مخلوط شهری از یکی از ایستگاه انتقال میانی پذیرش شده و پس از انجام عملیات در خط پردازش (با ۳۰ نفر کارگر)، زیر سرندی در دستگاه ریفاینر خرد شده و با پساب حاصل از هضم در مخزن ثانویه هاضم و پساب مخزن فاین و آب تازه در پیش هاضم مخلوط شده و پس از همگن شدن[5] کامل مواد در مخزن مذکور، براساس برنامه عملیاتی مشخص ، مواد با حجمی ثابت به مخازن هاضم اولیه شارژ و پس از گذشت مدت زمان ماند لازم، به مخازن هاضم ثانویه (مجموعاً حدود ۲۸ روز) و از آنجا به مخازن نهایی (فاین) منتقل می شوند (شکل ۶) .

بارگیری و تزریق مخازن براساس سیستم بارگیری پیوسته[6] می باشد و مواد آلی پسماندهای شهری بوسیله فرایند هضم بیهوازی با تبدیل زیستی به بیوگاز تبدیل می شود. بیوگاز تولیدی از مخازن هاضم ، پس از طی مراحل تصفیه و رطوبت گیری به واحد تولید برق (ژنراتورها) هدایت شده و برق تولیدی به شبکه سراسری توزیع برق تزریق می گردد.



شکل ۶ : فرآیند گردش مواد در هاضم تهران

مشخصات پسماند ورودی به نیروگاه هاضم

آنالیز پسماندهای تولیدی در مناطق ۱ و ۴ بر اساس اندازه گیری در پاییز سالهای ۸۷ و ۹۶ به شرح جدول ۱ میباشد . پسماند ورودی به سامانه هاضم بیهوازی تهران از مناطق ۱ و ۴ شهری تهران تامین می گردد .

1 mesophili.c
2 thermophili.c
3 hydrogenotrophi.c
4. acetoclastic methanogenesis.
5. Homogenization
6 continuous.

جدول ۱: متوسط درصد هر یک از اجزاء پسماند خانوارهای مناطق ۱ و ۴ شهر تهران در پاییز سال های ۸۷ و۹۶

(سازمان مدیریت پسماند تهران، ۱۳۹۸)

سال	منطقه	نان	پلاستیک	پت	مشمع	طلق	فوم	کاغذ	مقوا	فلزات آهنی	فلزات غیر آهنی	پارچه	شیشه	چوب	لاستیک	چرم	خاک	تتراپک	ویژه	پسماند تر	سایر
۱۳۸۷	۱	۳,۷	۳,۷	۱,۶	۲,۳	۰,۶	۰,۲	۷,۵	۷,۸	۱,۴	۱,۲	۰,۴	۲,۵	۰,۱	۰,۰	۰,۳	۰,۰	۰,۱	۱,۱	۶۵,۱	۰,۶
	۴	۴,۸	۲,۵	۰,۸	۳,۷	۰,۷	۰,۴	۳,۹	۵,۵	۱,۵	۰,۴	۱,۱	۱,۸	۰,۶	۰,۶	۰,۱	۰,۷	۰,۳	۱,۸	۶۸,۹	۰,۰
۱۳۹۶	۱	۰,۵	۲,۸	۰,۷	۵,۶	۰,۷	۱,۹	۱,۹	۲,۳	۰,۲	۰,۸	۲,۷	۰,۹	۰,۲	۰,۰	۰,۱	۰,۰	۰,۱	۰,۰	۷۷,۸	۰,۸
	۴	۰,۷	۳,۱	۰,۴	۶,۸	۱,۸	۱,۶	۲,۴	۱,۸	۰,۲	۰,۲	۲,۵	۱,۳	۱,۶	۰,۲	۰,۲	۰,۰	۰,۱	۰,۵	۷۲,۳	۲,۳

این پسماندها پس از عبور از خط پردازش موجود به سه دسته پسماندهای خشک ارزشمند، پسماندهای خشک غیر ارزشمند و پسماندهای فسادپذیر تقسیم می شود. درصد مربوط به هر یک از این مواد در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ : درصد مواد پس از عبور از خط پردازش نیروگاه هاضم شهر تهران

(سازمان مدیریت پسماند تهران، ۱۳۹۵)

منطقه شهرداری	درصد پسماند بی ارزش (ریجکت)	درصد مواد آلی فسادپذیر	درصد باز یافتی (پسماند ارزشمند)
پسماند منطقه ۴	۴۹	۴۸	۳
پسماند منطقه ۱	۵۸	۳۷	۵

مدیریت شهری
فصلنامه مدیریت شهری
Urban Management
شماره ۵۷ زمستان ۹۸
No.57 Winter 2020

درصد توزیع مواد و عناصر عمده تشکیل دهنده پسماندهای فسادپذیرکه از آنالیزهای دوره ای در مجموعه هاضم بدست آمده به شرح جدول ۳ می باشد :

جدول ۳ : درصد توزیع مواد و عناصر عمده تشکیل دهنده پسماندهای فسادپذیر

(سازمان مدیریت پسماند تهران، ۱۳۹۵)

ردیف	ترکیب	درصد توزیع عناصر عمده تشکیل دهنده پسماندهای تجزیه پذیر	
		کاغذ ، روزنامه ، مقوا	مخلوط غذایی (میوه ، سبزی، دورریز آشپزخانه)
1	وزن نمونه پسماند تر(کیلوگرم)	7.6	3.8
2	درصد وزنی ماده خشک (٪)	90.26	30.65
3	درصد رطوبت (٪)	9.74	69.35
4	کربن (٪ از ماده خشک)	45.78	48.07
5	هیدروژن (٪)	6.27	6.00
6	اکسیژن (٪)	39.50	37.77
7	نیتروژن (٪)	2.77	2.57
8	گوگرد (٪)	0.43	0.43
9	خاکستر (٪)	5.24	5.15

بر اساس آنالیز شیمیایی فوق ، فرمول شیمیایی مواد فسادپذیر خارج شده از واحد پردازش نیروگاه هاضم تهران دارای فرمول شیمیایی زیر است:

فرمول شیمیایی بدون آب : $C_{۱۰۲/۷}H_{۱۶۶/۷}O_{۶۵/۷}N_{۴/۷}S_{۱}$
فرمول شیمیایی همراه با آب : $C_{۱۰۲/۷}H_{۲۸۰}O_{۱۲۱/۳}N_{۴/۷}S_{۱}$

با مواد ورودی که شرح داده شد از سال ۹۳ تا اواخر سال ۹۵ مجموعه فعالیت نمود لیکن به دلایلی نظیر :عدم تولید گاز به میزان مورد نیاز، عدم توانایی فنی در کاهش میزان H_2S بیوگاز تولید شده، ایرادات فنی خط پردازش، مشکلات فنی و تأسیساتی جمعاً ۴۹۶ مگاواتساعت انرژی الکتریکی تولید شد که در مقایسه با ظرفیت نامی مجموعه (۲ مگاوات) و ساعات کاری ناخالص در بازه زمانی یادشده، رقم بسیار اندکی بوده و دلایل کمبود تولید انرژی مواردی بودند که به شرح آنها پرداخته می شود.

چالش های موجود(بیان مسئله):

مانع اصلی در تبدیل بخش آلی پسماندهای شهری به متان، ماهیت ناهمگن و ساختار پیچیده آن است. موفقیت مقیاس آزمایشگاهی هاضم بیهوازی و شناخت عوامل موثر در امکانسجی اقتصادی– زیست محیطی نیازهای اولیه برای موفقیت طرح می باشد که این مهم در خصوص هاضم تهران انجام نشده است . با توجه به اینکه این طرح برای اولین بار در کشور اجرا می شد مشکلات ناشناخته زیادی را در پیش رو داشت که برخی از آنها به شرح ذیل می باشند:

- **فناوری نامناسب:** فناوری و برخی از تجهیزات نیروگاه موجود با پسماند شهر تهران جهت هضم بیهوازی متناسب نبوده و صرفاً بر اساس خوراک ورودی یکسان و همگنی همچون ضایعات کشاورزی ویا مواد ارگانیک با درجه خلوص بالا طراحی شده بود.
- **عدم اجرای طرح پایلوت :** اجرای پایلوت تحقیقات کمکی برای حل برخی مسائل کلیدی مانند هزینه, انتخاب خوراک ورودی و کارایی سیستم و بومی سازی است.
- عدم تطبیق فناوری پردازش با ترکیب پسماند تهران (با توجه به آنالیز پسماند مخلوط شهر تهران) : بر اساس طراحی اولیه خط پردازش میبایست ظرفیت پذیرش ۳۰۰ تن پسماند مخلوط شهری را داشته و خروجی پسماند تر آن دارای خلوص بیش از ۹۰٪ درصد باشد . در حال حاضر این خط توانایی پذیرش حداکثر ۱۲۰ تن در یک شیفت را دارا می باشد و راندمان خروجی پسماند تر آن ۷۴٪ است .
- **تولید زیاد لجن از مواد ناخالص:** نا خالصی های موجود در مواد ورودی باعث تولید بیش از حد لجن در مخازن و کاهش حجم مفید آنها و در نتیجه کاهش تولید گاز و راندمان مجموعه میشود .
- **تولید بیوگاز حاوی سولفید هیدروژن بالا :** اجرای دستورالعمل تهیه شده با نوع پسماند شهری تهران تطبیق نداشت و موجب تولید بیوگازی با میزان بالای H_2S (بیش از ppm ۱۵,۰۰۰) شده بود. که علیرغم هزینه های بسیار و استفاده از روشها و مواد شیمیایی متفاوت نهایتاً کاهش میزان H_2S به سطح ppm ۳,۰۰۰ بدست آمد .میزان بالای H_2S موجب خوردگی در برخی قطعات موتور ژنراتور بیوگاز سوز شده بود .

روش های اصلاحی (اهداف) :

به منظور اصلاح کمی و کیفی فرآیند تولید بیوگاز در نیروگاه هاضم بیهوازی تهران اقدامات اصلاحی زیر صورت گرفت :

- **تغییر و بهبود خوراک ورودی به هاضم بیهوازی** با توجه به کارگاه ها و کارخانجات موجود در حاشیه منطقه چهار برخی اوقات پسماندهای صنعتی و مواد شیمیایی با پسماندهای شهری وارد مجموعه هاضم میشد که ورود آنها باعث وارد آمدن شوک (کاهش شدید فعالیت) به راکتورها میگردید. بدین لحاظ و به منظور جلوگیری از وارد شدن شوک حاصل از پسماندهای شیمیایی مخلوط در منطقه ۴ به مجموعه باکتریایی هاضم، پسماندهای ایستگاه خدمات شهری منطقه یک که نزدیک ترین ایستگاه بعد از ایستگاه منطقه ۴ بود جایگزین پسماندهای این منطقه شد .

همچنین به منظور بهبود کیفیت سوبسترا و افزایش راندمان و کاهش لجن حاصل از مواد غیر آلی روزانه ۸ تن پسماند سبز بخش فروش سبزی میدان مرکزی میوه و تره بار (با خلوص بیش از ۹۵ درصد) و ۴ تن کود حیوانی (اسبی) در مخزن پیش هاضم(پری چمبر) مخلوط شده و پس از هموژن شدن کامل مواد در مخزن مذکور، براساس برنامه عملیاتی مشخص، مواد با حجمی ثابت به مخازن هاضم اولیه شارژ و پس از گذشت مدت زمان ماند لازم، به مخازن هاضم ثانویه و از آنجا به مخازن نهایی (فاین) منتقل می شدند.

♦ اجرای روشهای مختلف به منظورحذف یا کاهش H_2S

سمیت و پتانسیل خوردگی سولفید هیدروژن در بیوگاز خا م، نیاز به تصفیه بیوگاز را ایجاب میکند. روشهای مختلفی برای حذف یا کاهش H_2S وجود دارد . به منظور اصلاح کمی و کیفی فرآیند تولید بیوگاز و کاهش H_2S در بخش مخازن هاضم از روشهای اصلاحی بشرح زیر استفاده شد که نتایج آنها در جدول ۵ خلاصه شده است :

۱. حذف H_2S توسط محلول قلیایی هیدرواکسید سدیم [۹, ۱۰]

این روش برمبنای اکسیداسیون در فاز مایع می باشد. بیوگاز تولید شده در مخازن هاضم توسط حلالی مانند آب (که به آن مقداری هیدرواکسید سدیم اضافه شده) شستشو[1] میگردد و در اثر این فرآیند مقدار قابل توجهی از H_2S بیوگاز تولید شده جذب آب و هیدرواکسید سدیم میگردد.

از معایب این روش اقتصادی نبودن آن (به دلیل مصرف زیاد هیدرواکسید سدیم) و تولید سولفید سدیم یا هیدروسولفید سدیم است که احیاء نمی شود و دفع آن مشکل است.

▪ روش اجرا : تماس مستقیم هیدروکسید سدیم با بیوگاز تولیدی در برج شستشوی پکینگ دار

▪ میزان کاهش H_2S : از ppm ۱۰۰۰۰ به ppm ۳۰۰۰ (راندمان متوسط)

▪ توضیحات : به جهت حجم بالای بیوگاز تولیدی و درصد بالای H_2S موجود در آن و هزینه زیاد تهیه هیدرواکسید سدیم و تولید پساب سمی، ادامه این روش مناسب نبود.

۲. حذف H_2S توسط اضافه کردن کلرید آهن به راکتور بی هوازی [۱۱, ۱۲]

تشکیل نمک های نامحلول سولفید آهن و در نتیجه جداشدن H_2S از محیط مبنای این روش است. واکنش تشکیل رسوب سولفید آهن به صورت زیر می باشد :

$2fe^{+3} + 3S^{-2} \rightarrow 2feS + S$

این روش در کاهش مقادیر H_2S موثر بوده و با کمک آن میتوان به غلظت خروجی کمتر از ppm ۱۰۰ دست یافت و بیشتر مناسب برای هاضم های بیهوازی کوچک است.

▪ روش اجرا : افزودن کلرید آهن به مخزن پیش هاضم به مقدار معین

▪ میزان کاهش H_2S : از ppm ۱۰,۰۰۰ به ppm ۵,۰۰۰ (راندمان متوسط)

▪ توضیحات : این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H_2S ، مقرون به صرفه می باشد و برای حجم زیاد مقرون به صرفه نمی باشد .

۳. حذف H_2S به روش جذب سطحی بر روی دانه های اکسید آهن [۱۳]

سازوکار این روش بر جذب سطحی H_2S روی دانه های اکسید آهن می باشد. H_2S مطابق واکنش زیر با اکسید آهن ترکیب می گردد.

$Fe_2o_3 + 3H_2S \rightarrow fe_2S_3 + 3H_2O$

دانه های اکسید آهن پس از اشباع شدن توسط جریان هوا مجدداً احیاء می شوند. این روش بیشتر مناسب برای هاضم های بیهوازی کوچک است.

▪ روش اجرا : افزودن اکسید آهن به مخزن پیش هاضم به مقدار معین

▪ میزان کاهش H_2S : از ppm ۱۰,۰۰۰ به ppm ۵,۰۰۰ (راندمان متوسط)

▪ توضیحات : این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H_2S ، جوابگو می باشد و برای حجم زیاد مقرون به صرفه نمی باشد .

۴. حذف H_2S با استفاده از کربن اکتیو [۱۴]

1. Scrub

کربن فعال با یدید پتاسیم آغشته شده در اثر واکنش کاتالیستی با بیوگاز، به فرم آب و گوگرد تبدیل می شود (در شرایط عملیاتی فشار بین ۷ الی ۸ بار و دمای ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتیگراد) که این سیستم وقتی به حالت اشباع می رسد می تواند احیاء یا جایگزین گردد.

▪ روش اجرا : تماس مستقیم کربن اکتیو با بیوگاز تولیدی طی زمان تماس معین

▪ میزان کاهش H_2S : بسیار ناچیز

▪ توضیحات : این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H_2S ، جوابگو می باشد. با توجه به هزینه قابل توجه تهیه کربن اکتیو، این روش مقرون به صرفه نبود.

۵. حذف H_2S با زئولیت [۱۵]

در بین راه‌حل‌های ممکن برای حذف H_2S ، یکی از آن‌ها استفاده از فرایندهای جذب از طریق زئولیت های آب دوست یونی است. مواد زئولیت به طور خاص ، به دلیل انتخاب پذیری بالا و سازگاری با ترکیبات قطبی مثل H_2S برای فرایندهای حذف جذبی مناسب هستند. انتخاب زئولیت مناسب و بهترین شرایط عملیاتی می‌تواند با استفاده از ابزار مفید تکنیک‌های شبیه‌سازی مولکولی اصلاح شود.

▪ روش اجرا : تماس مستقیم زئولیت با بیوگاز تولید شده

▪ میزان کاهش H_2S : ناچیز

▪ توضیحات : این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H_2S ، جوابگو می باشد. و بدلیل هزینه زیاد تهیه زئولیت این روش مقرون به صرفه نبود.

۶. حذف H_2S با باکتری های هوازی [۱۶]

باکتریهای مطلوب مورد استفاده در بیوپروسس برای تبدیل H_2S به SO باید دارای ویژگی های اساسی زیر باشند: قابلیت قابل اعتماد در تبدیل H_2S به SO ، حداقل ورودی مواد مغذی و جداسازی آسان SO از زیست توده. بر این اساس باکتریهایی برای کاهش تولید سولفید پرورش داده شده و به صورت پودر در بازار به فروش میرسند، که پس از تهیه و آماده سازی محیط برای رشد و تکثیر آنها ، به میزان لازم از آن برداشته و به مخزن پیش هاضم اضافه گردید .

▪ روش اجرا : افزودن باکتری مذکور به مخزن پیش هاضم به مقدار معین

▪ میزان کاهش H_2S : ناچیز

▪ توضیحات : این روش برای حجم های پایین دوغاب و بیوگاز با درصد پایین H_2S ، مقرون به صرفه می باشد.

۷. حذف H_2S با تزریق اکسیژن / هوا به بیوگاز [17]

این روش برمبنای اکسیداسیون هوازی H_2S توسط میکروارگانیزم ها می باشد. در اثر اکسیداسیون، آب و گوگرد تولید می شود. این روش غلظت H_2S را تا ۲۰ الی ۱۰۰، ppm کاهش می دهد. راندمان عمل بین ۸۰ تا ۹۵ درصد می باشد واکنش اکسیداسیون هوازی H_2S به صورت زیر می باشد:

$$2H_2S+O_2 \rightarrow 2S+2H_2O$$

▪ روش اجرا : با آنالیز بیوگاز تولیدی در مخزن ذخیره گاز و افزودن اکسیژن (هوا) به مقدار معین

▪ میزان کاهش H_2S : از ppm ۱۰,۰۰۰ به ppm ۱,۵۰۰

▪ توضیحات : با توجه به حجم بالای میزان بیوگاز تولیدی و درصد بالای H_2S آن، این روش موثر واقع گردید. لیکن اجرای این روش به جهت جلوگیری از خطرات آتش سوزی و انفجار ، مستلزم داشتن دستگاه های آنلاین آنالیز گاز می باشد .

۸. چرخش مواد هضم شده

چرخش مواد هضم شده بر عملکرد متان و بار گذاری مواد آلی تاثیر مثبت دارد. چرخش مواد هضم شده به طرز قابل توجهی باعث افزایش قلیائیت سیستم، حفظ pH بهینه برای متانزاها می شود. بنابراین کنترل مناسب سیستم دو مرحله ای هاضمهای بیهوازی همراه با چرخش مواد هضم شده، نه تنها بارگذاری مواد آلی را تنظیم میکند بلکه از تجمع آمونیاک نیز جلوگیری می کند [۱۸] و در نهایت بر کاهش میزان سولفید هیدروژن در ترکیب بیوگاز موثر می باشد و همچنین باز چرخانی مواد باعث افزایش میزان باکتریهای متانوژن ها در فرآیند هضم می شود که باعث افزایش میزان تولید بیوگاز خواهد شد و از دیگر محاسن آن رقابت لود بیشتر متانوژن ها با باکتری های تولید کننده سولفید هیدروژن می باشد که در نتیجه اجازه فعالیت به این باکتری ها در کنسرسیوم باکتریایی کمتر داده می شود و بالطبع سولفید هیدروژن کمتری تولید می شود[۱۸] .

البته شایان ذکر است در مطالعات انجام شده، براساس بررسی های صورت پذیرفته در سال های اخیر پیرامون استفاده از لجن برگشتی به عنوان ماده تلقیح، در صورت بازیافت مواد هضم شده در نیروگاه هاضم بیهوازی

(استفاده از لجن به عنوان ماده تلقیح)، نگرانی هایی از بابت تجمع آمونیاک و اسیدهای چرب فرار می باشد زیرا تجمع آمونیوم بیش از حد می تواند نسبت آمونیاک آزاد را افزایش دهد که برای متانوژنز سمی و منجر به تولید متان پایین تر می شود. [۱۹, ۲۰]

با توجه به مشاهدات انجام شده ، در مطالعات ، یک استراتژی برای کنترل pH در مرحله اول سیستم هضم بی هوازی از طریق مرتبط ساختن مرحله اسیدزایی با مرحله متان زایی به وسیله چرخش مواد هضم شده که حاوی مواد بافر است، به منظور افزایش pH راکتور اسیدزایی ایجاد شده است[۲۱] . در شرایط بحرانی OLR، آمونیوم انباشته شده بر روی آستانه تعادل بین باکتری های هیدرولیزکننده و متان ساز (متانوژن) از بین می رود.

تجمع اسیدهای چرب[1] در نهایت منجر به کاهش pH می‌شود و واکنش های متان سازی از کار می افتند. بنابراین، کنترل مناسب سیستم‌های دو مرحله‌ای هاضم بیهوازی با چرخش مواد هضم شده نه تنها به تنظیم OLR محدود نمی‌شود بلکه جلوگیری از تجمع آمونیاک نیز ضروری است.[22]

- روش اجرا : انجام فرآیند گردش مواد در بخش بارگیری مخازن هاضم
- میزان کاهش H_2S : از ppm ۱۰،۰۰۰ به ۵۰ الی ppm۱۰۰
- توضیحات : با توجه به حجم بالای میزان بیوگاز تولیدی و درصد بالای H_2S آن، این روش موثر واقع گردید.

۹. تلفیق بازچرخش مواد و تزریق هوا/اکسیژن

در این روش علاوه بر بازچرخانی محتویات هاضم ها بصورت آمیزش با خوراک ورودی، تزریق هوا نیز به مخازن هاضم بیهوازی مورد استفاده قرار گرفت و مشاهده شد که غلظت سولفید هیدروژن به کمتر از 50ppm رسید. بدلیل وجود خطر انفجار در محیط هاضم در اثر آمیزش اکسیژن و متان، تزریق هوا یا اکسیژن و تنظیم میزان تزریق بایستی با دقت صورت گیرد و براساس نتایج آنالیز پیوسته کیفیت بیوگاز باشد که نصب یک آنالایزر برخط (آنلاین) در مسیر خط بیوگاز الزامی خواهد بود.

سنجش ها

همزمان با اجرای روشهای فوق الذکر به منظور اصلاح کمی و کیفی فرآیند تولید بیوگاز در هاضم تهران با انتخاب یک فاز از دو فاز موجود و انجام عملیات اجرایی در آن در یک دوره کامل هضم (۲۸ روز) ، فاکتورهای مختلف در هریک از روشهای اجرایی با فواصل زمانی مشخص در آزمایشگاه مجموعه اندازه گیری شد که نتایج نهایی آنها در جدول شماره ۴ ارائه شده است .

جدول ۴ : مقادیر فاکتورهای اندازه گیری شده بعد از اقدامات اصلاحی (پارامترهای فیزیکی و شیمیایی)

عنوان آزمایش	فواصل آزمایش	روش ۱	روش ۲	روش۳	روش۴	روش۵	روش۶	روش ۷	روش ۸	روش ۹
PH	روزانه	۷	۸	۷,۵	۷	۶,۸	۷,۲	۷,۳	۷	۶,۹
EC(ds/m)	روزانه	۱۴	۱۷	۱۵	۱۴	۱۶	۱۳,۵	۱۶	۱۸	۱۵
TS (%)	روزانه	۳	۵	۴	۴,۵	۵	۵,۴	۶	۶,۲	۵,۸
VS (%)	روزانه	۶۰	۵۰	۶۱	۵۱	۵۳	۵۸	۴۶	۴۲	۵۴
VFA(mg/l)	سه روز یکبار	۶۶۳۰	۱۲۱۰	۱۲۸۰	۱۱۰۰	۱۴۸۰	۲۳۰۰	۴۸۰۰	۵۹۰۰	۴۲۰۰
TAK(mg/l)	سه روز یکبار	۶۵۸۰	۱۳۲۰۰	۱۴۱۰۰	۸۱۰۰	۷۲۰۰	۱۱۴۰۰	۱۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۱۵۸۰۰
CH_4 (٪)	روزانه	۵۴	۶۰	۵۶	۶۲	۵۸	۵۵	۶۳	۶۵	۶۴
H_2S(ppm)	روزانه	۳۲۰۰	۵۲۰۰	۵۵۰۰	۹۶۰۰	۸۸۰۰	۹۱۰۰	۱۳۰۰	۵۵	۱۰
CO_2(٪)	روزانه	۴۰	۳۴	۴۱	۳۷	۳۸	۳۳	۳۰	۲۵	30
O_2(٪)	روزانه	۰,۲	۰	۰,۳	۰	۰,۳	۰	۰	۰	۰
COD(mg/l) Output	ابتدا و انتهای دوره	20000	27000	26000	29000	26000	25000	18000	16500	15000

1. VFA

توضیح۱ : COD کل دوغاب ورودی به هاضم در اندازه گیریهای مختلف بین ۳۸۰۰۰ تا ۴۲۰۰۰ میلیگرم در لیتر بوده است .

تجزیه و تحلیل داده ها

بررسی پارامترهای جدول ۴ وارزیابی انجام شده در جدول ۵ و مقایسه پارامترهای بیوگاز تولیدی در روشهای مختلف در اشکال ۸ و ۹ و ۱۰ مشخص میکند که روش نهم از دیگر روشها اثر بخش تر است چرا که با توجه به نمودارها ، بیوگاز تولیدی دارای بالاترین درصد متان، کمترین مقدارH_2S است ، لیکن از نظر اقتصادی این روش مقرون به صرفه نمی باشد.

جدول ۵ : نتایج روش های مورد استفاده جهت حذف H2S از ترکیب بیوگاز در سامانه هاضم تهران

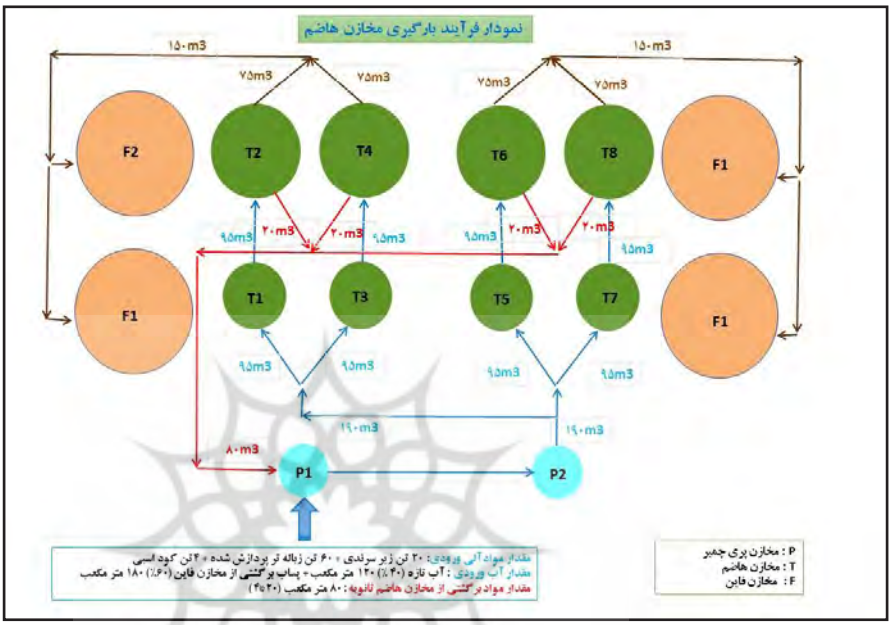
ردیف	روش حذف H2S	ارزیابی									توضیحات
		زیست محیطی			اقتصادی			اجرایی			
		بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی زیاد	ارزان	متوسط	گران	آسان	متوسط	سخت	
۱	توسط محلول قلیایی هیدرواکسید سدیم			*			*			*	به جهت حجم بالای بیوگاز تولیدی و درصد بالای H2S موجود در آن و هزینه زیاد تهیه هیدرواکسید سدیم و تولید پساب سمی، ادامه این روش به صرفه نبود.
۲	توسط کلرید آهن		*				*	*			این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H2S ، جوابگو می باشد.
۳	توسط اکسید آهن		*			*				*	این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H2S ، جوابگو می باشد.
۴	توسط کربن اکتیو		*				*		*		این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H2S ، جوابگو می باشد.
۵	توسط زئولیت		*			*			*		این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H2S ، جوابگو می باشد.
۶	با استفاده از باکتری سولفور خوار	*					*		*		این روش برای تصفیه حجم های پایین بیوگاز با درصد پایین H2S ، جوابگو می باشد.
۷	با تزریق اکسیژن/ هوا به مخازن هاضم	*					*	*			با توجه به حجم بالای میزان بیوگاز تولیدی و درصد بالای H2S آن، این روش موثر واقع گردید.
۸	با بازچرخانی مواد در فرآیند بارگیری مخازن هاضم	*			*			*			با توجه به حجم بالای میزان بیوگاز تولیدی و درصد بالای H2S آن، این روش موثر واقع گردید.
۹	ترکیب روش های تزریق اکسیژن/هوا و بازچرخانی مواد	*				*			*		این روش نیازمند تجهیزات و کنترل برخط می باشد و دارای ریسک خطر بالایی است.

توضیح۱ : محدوده H_2S موجود در بیوگاز تولیدی در سامانه هاضم حدود ۱۵۰۰۰ الی ۲۰۰۰۰ PPM می باشد.

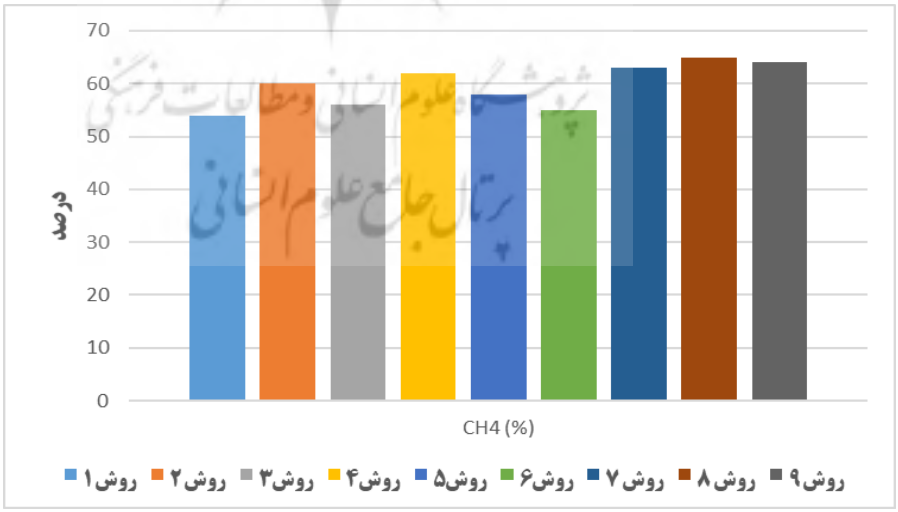
توضیح۲ : در خصوص ردیفهای ۲،۳،۴و۵ ، کاربرد روشهای مذکور در محدوده زمانی کوتاه (بین یک الی سه روز) تاثیر خوبی در کاهش H_2S بیوگاز تولید شده

باشد ولی پس از گذشت این مدت بدلیل حجم بالای بیوگاز تولیدی و همچنین نیاز به احیاء و یا جایگزین نمودن مواد و ادوات مربوطه و همچنین هزینه تهیه ملزومات مورد نیاز، کاربرد این روشها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد.

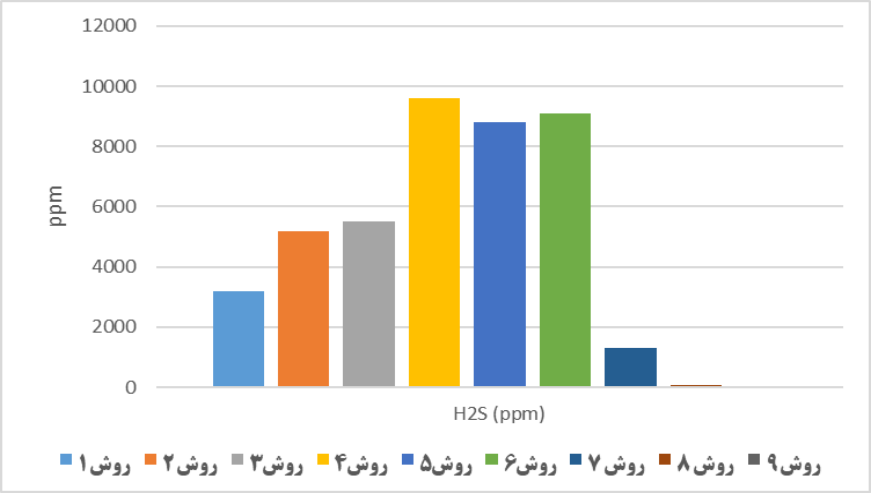
بر اساس ارزیابی های انجام شده و نتایج حاصله از آزمایشات، روش هشتم اجرایی ترین و به صرفه ترین روش می باشد . روش بازچرخانی مواد در فرآیند بارگیری مخازن هاضم بیشترین راندمان کاهش H_2S و مقرون به صرفه ترین روش بوده و به عنوان روش برتر انتخاب شد. و در پی آن با آزمایشهای مکرر برنامه گردش مواد به ترتیب زیر برنامه ریزی گردید. (شکل ۷)



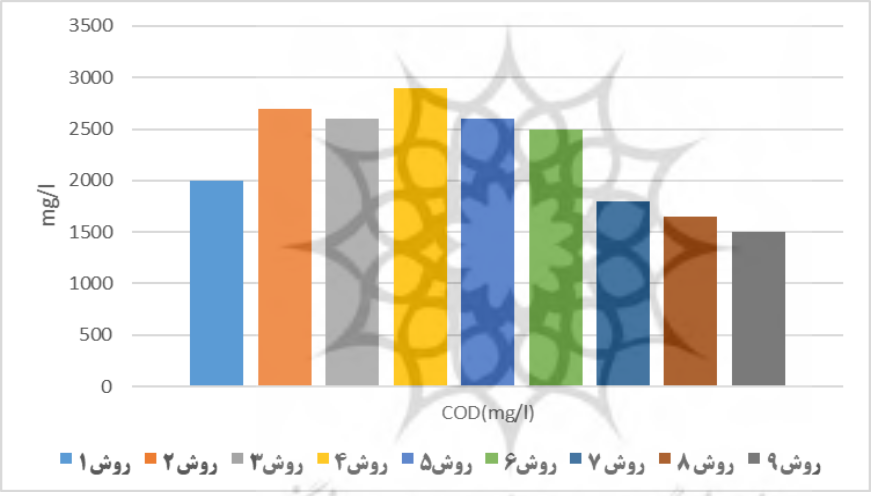
شکل۷ : نمودار فرآیند بارگیری مخازن نیروگاه هاضم شهر تهران



شکل ۸ : مقایسه درصد متان در بیوگاز تولیدی در روشهای مختلف



شکل۹ : مقایسه میزان سولفید هیدروژن در بیوگاز تولیدی در روشهای مختلف



شکل ۱۰ : مقایسه میزان کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در بیوگاز تولیدی در روشهای مختلف

مدیریت شهری
فصلنامه مدیریت شهری
Urban Management
شماره ۵۷ زمستان ۹۸
No.57 Winter 2020

نتیجه گیری و پیشنهاد

مطالعات انجام شده بر روی هضم بیهوازی پسماند جامد نشان می دهد هضم بیهوازی یک منبع انرژی تجدیدپذیر است که توانایی تولید بیوگاز با درصد متان بالا را دارد . در هاضم های دو مرحله ای با چرخش مواد هضم شده، قلیاییت سیستم از هاضم های (تک مرحله ای و یا دو مرحله ای) بدون چرخش مواد هضم شده که غنی از عوامل بافری است بیشتر می باشد. قلیائیت بالا می‌تواند مقدار بیشتری هیدروژن را خنثی کند، که برای نگهداری pH در محدوده مطلوب متانوژن‌ها سودمند است؛ بنابراین OLR هاضم افزایش می‌یابد. با این حال به طور ویژه، فعالیت متانوژن ممکن است با آمونیوم، به جای pH به خصوص در pH بالا محدود شود. چرخش مجدد مواد هضم شده می تواند کل هزینه های عملیاتی را با کاهش تصفیه دوغاب تخمیر شده و کاهش مقدار افزودنی های قلیایی کاهش دهد.[۲۳]

بررسی جامع، همبستگی متابولیتی برای انجام موفقیت آمیز هضم بی هوازی دو مرحله ای با سیستم چرخش مجدد مواد هضم شده بسیار مهم است زیرا متابولیت ها به طور جدایی ناپذیری با بهبود پایداری و بهره وری سیستم ارتباط دارد.[24]

با توجه به مطالعات انجام شده، ارتقاء عملکرد هاضم بیهوازی با چرخش مواد هضم شده می‌تواند توضیح داده شود:

در سیستم هضم بیهوازی بدون تنظیم کننده قلیایی و چرخش مواد هضم شده ، تبدیل کامل مواد آلی (به

عنوان مثال گلوکز) به متان باعث تغییر در قلیائیت یا pH مایع تخمیر نخواهد شد. معادلات مربوط به تبدیل فوق در جاهای دیگر گزارش شده است [25] .

در این مطالعه سعی بر آن بود که بتوان با بررسی روشهای مختلف کاهش سولفید هیدروژن ، به روشی برای تولید بیوگاز مناسب با درصد متان بالا و سولفید پایین رسید. کلیه آزمایشات در مقیاس صنعتی انجام گردیده و روش بازچرخانی کارآمدترین و کم هزینه ترین روش در بین روشها بود. این روش علاوه بر منافع زیست محیطی و کاهش آلودگی ناشی از مصرف مواد شیمیایی موجب بهبود کارایی فنی و افزایش راندمان تولید برق و بهره وری اقتصادی نیز شده است . پس از اجرای این روش برای اطمینان از کارایی در یک دوره ۱۰۰ روزه یک موتور ژنراتور بطور مداوم و بدون هیچ مشکلی تولید برق نمود .

شایان ذکر است به منظور بهبود بیشتر بیوگاز تولیدی نیاز به مطالعه پیرامون انتخاب نوع مواد ورودی و تنظیم نسبت مواد و زمان ماند مواد در مخازن هاضم پیشنهاد می گردد.

مراجع :

- Khalid, A., et al., The anaerobic digestion of solid organic waste. Waste management, 2011. 31(8): p. 1737-1744.
- Vögeli, Y., Anaerobic digestion of biowaste in developing countries: Practical information and case studies. 2014: Eawag-Sandec.
- Wellinger, A., J.D. Murphy, and D. Baxter, The biogas handbook: science, production and applications. 2013: Elsevier.
- Tsachidou, B., et al., BIOGAS RESIDUES IN SUBSTITUTION FOR CHEMICAL FERTILIZERS: CONVERTING ORGANIC WASTE INTO RESOURCE.
- Hospido, A., et al., Environmental evaluation of different treatment processes for sludge from urban wastewater treatments: Anaerobic digestion versus thermal processes (10 pp). The International Journal of Life Cycle Assessment, 2005. 10(5): p. 336-345.
- Lissens, G. ,et al., Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion. Water science and technology, 2001. 44(8): p. 91-102.
- Lin, Q., et al., Temperature regulates methane production through the function centralization of microbial community in anaerobic digestion. Bioresource technology, 2016. 216: p. 150-158.
- Gerardi, M.H., The microbiology of anaerobic digesters. 2003: John Wiley & Sons.
- Kulkarni, M. and P. Ghanegaonkar, Hydrogen sulfide removal from biogas using chemical absorption technique in packed column reactors. Global Journal of Environmental Science and Management, 2019. 5(2): p. 155-166.
- Zulkefli, N., et al., Overview of H2S removal technologies from biogas production. International Journal of Applied Engineering Research, 2016. 11(20): p. 10060-10066.
- Dezham, P., E. Rosenblum, and D. Jenkins, Digester gas control using iron salts. Journal (Water Pollution Control Federation), 1988: p. 514-517.
- Park, C.M. and J.T. Novak, The effect of direct addition of iron (III) on anaerobic digestion efficiency and odor causing compounds. Water Science and Technology, 2013. 68(11): p. 2391-2396.
- Janetaisong, P., V. Lailuck, and S. Supasitmongkol. Pelletization of iron oxide based sorbents for hydrogen sulfide removal. in Key Engineering Materials. 2017. Trans Tech Publ.
- Zulkefli, N.N., et al., Removal of hydrogen sulfide from a biogas mimic by using impregnated activated carbon adsorbent. PloS one, 2019. 14(2): p. e0211713.
- Cosoli, P., et al. ,Hydrogen sulfide removal from biogas by zeolite adsorption. Part II. MD simulations. Chemical Engineering Journal, 2008. 145(1): p. 93-99.
- Syed, M., et al., Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes• a review. Canadian Biosystems Engineering, 2006. 48: p. 2.
- Krayzelova, L., et al., Microaeration for hydrogen sulfide removal during anaerobic treatment: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2015. 14(4): p. 703-725.
- Moestedt, J., et al., Effects of trace element addition on process stability during anaerobic co-digestion of OFMSW and slaughterhouse waste. Waste management, 2016. 47: p. 11-20.
- Silvestre, G., A. Bonmatí, and B. Fernández, Optimisation of sewage sludge anaerobic digestion through co-digestion with OFMSW: effect of collection system and particle size. Waste management, 2015. 43: p. 137-143.
- Massé, D.I., R. Rajagopal, and G. Singh, Technical and operational feasibility of psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for processing ammonia-rich waste. Applied energy, 2014. 120: p. 49-55.
- Micolucci, F., et al., Automatic process control for stable bio-hythane production in two-phase thermophilic anaerobic digestion of food waste. International Journal of Hydrogen Energy,

- Gottardo, M., et al., Pilot scale fermentation coupled with anaerobic digestion of food waste-effect of dynamic digestate recirculation. Renewable Energy, 2017. 114: p. 455-463.
- Wu, C., et al., Effect of ethanol pre-fermentation and inoculum-to-substrate ratio on methane yield from food waste and distillers' grains. Applied energy, 2015. **155**: p. 846-853.
- Wu, C., et al., Effects of digestate recirculation on a two-stage anaerobic digestion system, particularly focusing on metabolite correlation analysis. Bioresource technology, 2018. 251: p. 40-48.
- Cavinato, C., et al., Optimization of two-phase thermophilic anaerobic digestion of biowaste for hydrogen and methane production through reject water recirculation. Bioresource technology, 2011. 102(18): p. 8605-8611.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی