DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.11.0

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۸۷- ۹۶

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۶

# امکان سنجی تولید بیوگاز از فاضلاب بهداشتی (مطالعه موردی: یک واحد صنعتی در شاهین شهر اصفهان)

**عباس حاتمی[۱]، علیرضا شیرنشان[۲و۳*]، فرهام امین شرعی[۴]**

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات هوافضا و تبدیل انرژی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی ایمنی- بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

* نجف آباد، ۸۵۱۴۱۴۳۱۳۱، arshirneshan@yahoo.com

**چکیده**

ترکیب گازهای مختلف حاصل از تجزیه مواد آلی در شرایط بی‌هوازی بیوگاز نامیده می‌شود و از منابع تجدیدپذیر شامل پسماندهای گیاهی، کشاورزی و شهری و فاضلاب تولید می‌شود. هدف از تحقیق حاضر مطالعه امکان‌سنجی تولید بیوگاز از پساب بهداشتی در یک واحد صنعتی می‌باشد. در این تحقیق ابتدا خصوصیات، منابع تولید، اهمیت و مصارف بیوگاز و مدل‌های مختلف دستگاههای تولید بیوگاز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. سپس محاسبات مربوط به میزان تولید بیوگاز در صنعت مورد مطالعه، بر اساس مقدار دبی پساب ورودی و خروجی و پارامترهای بیولوژیکی انجام شد و میزان بیوگاز قابل تولید مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحلیل با توجه به دبی کم پساب ورودی در صنعت مورد مطالعه، مقدار تولید بیوگاز قابل توجه نبوده و با توجه به جدول مصارف انرژی نمی تواند پاسخگوی برق مصرفی قسمت تصفیه خانه کارخانه صنعتی مورد نظر باشد و فقط پاسخگوی انرژی برق بخش روشنائی محوطه خواهد بود. هر چند از لحاظ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید کود مایع و جامد غنی شده فاقد آلودگی می‌تواند مد نظر قرار بگیرد. ولی در صورتی که پساب ورودی با پساب ورودی دامداری و مرغداری ها و کشتارگاه های مجاور همراه شود و به میزان حداقل ۱۳۰۰ مترمکعب در روز برسد، حجم بیوگاز تولیدی قابل توجه و دارای صرفه اقتصادی خواهد بود.

**کلیدواژگان:** بیوگاز، پساب بهداشتی، متان، آلایندگی، واحد صنعتی

# Feasibility investigation of biogas production from domestic waste water (Case Study: an industrial unit in Shahin-shahr, Isfahan)

**Abbas Hatami[1], Alireza Shirneshan[2,3*], Farham Aminsharei[4]**

1-M.Sc, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad Universtiy, Najafabad, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad Universtiy, Najafabad, Iran

3-Assistant Professor, Aerospace and Energy Conversion Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

4- Assistant Professor, Department of Safety, Environmental and Health Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

* P.O.B. 8514143131, Najafabad, Iran, arshirneshan@yahoo.com

Received: 13 August 2019 Accepted: 26 January 2020

**Abstract**

Biogas is the mixture of gases produced by the breakdown of organic matter in the absence of oxygen. Biogas can be produced from raw materials such as agricultural waste, manure, municipal waste, plant material, sewage, green waste or food waste. The purpose of this study was investigation the feasibility of biogas production from domestic wastewater in an industrial unit. In this research, firstly the characteristics, production sources, importance, usage and models of biogas production systems were studied. Then, the calculations related to the amount of biogas production of the mentioned industry were performed based on influent and effluent wastewater flow rate and biological tests. According to the results, because of the low flow rate of influent wastewater, the amount of produced biogas production was not considerable and it could not supply the heating/cooling demand of the industrial unit and only the electrical energy of the lighting of the area will be supplied by the energy of produced biogas. However, in terms of reducing greenhouse gas emissions, the production of liquid and solid contaminated solid fertilizers can be considered. However, if the wastewater is added to the wastewater of adjacent animal husbandry, poultry houses and slaughterhouses and the flow reaches at least 1300 $m^3$ per day, the biogas production will be considerable and economical.

**Keywords:** Biogas; Domestic wastewater; Methane; Emission

## ۱- مقدمه

امروزه یکی از مشکلات اساسی تمام کشورهای جهان مخصوصا کشورهای در حال توسعه کمبود و یا فقدان انرژی های فسیلی می‌باشد و سوخت رسانی به روستاهای دورافتاده و مناطق صعب العبور حتی در کشوری مثل ایران که منابع غنی انرژی را در اختیار دارد بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. افزایش سریع مصرف انرژی در جهان از یک سو و محدود بودن منابع انرژی از طرف دیگر همچنین اثرات مخرب زیست محیطی انرژی های فسیلی باعث افزایش تمایل به استفاده از منابع تجدیدپذیر گردیده است. آلودگی هایی که سوختهای فسیلی ایجاد می کنند موجب مشکلاتی در جهان گردیده است و اتحادیه های جهانی در حال تصویب قانون‌هایی برای حذف و یا به حداقل رساندن مصرف این سوخت در دهه های آینده می‌باشند. بیوگاز یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر و از منابع عمده تامین انرژی در جهان می‌باشد که اغلب به هدر می‌رود[۱]. باید در نظر داشت که در عصر حاضر سوختهای فسیلی جای خودشان را به انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی، زیست توده، زمین گرمائی و غیره) خواهند داد؛ در میان انرژی‌ها، بیوگاز حاصل از زیست‌توده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بیوگاز به دلیل سالم‌سازی محیط زیست، تولید انرژی و کود مرغوب و قابلیت ایجاد در جوار جوامع بشری از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است[۲] . به مجموعه گازهای تولید شده که از تجزیه بی‌هوازی مواد آلی (مواد آلی تولیدی توسط فضولات انسانی،حیوانی و یا بقایای گیاهی) حاصل می‌گردد بیوگاز گفته می‌شود. تخمیر بی‌هوازی که به متان‌زائی بیولوژیکی نیز شهرت دارد فرایندی است که بطور طبیعی در اماکن دفن زباله، فاضلاب‌ها، مرداب‌ها انجام می‌پذیرد و عمدتاً شامل پنجاه و پنج تا هفتاد درصد متان و حدود سی و پنج تا چهل درصد دی اکسید کربن و مقدار ناچیزی گازهای دیگر مانند هیدوژن، نیتروژن، اکسیژن، منوکسید کربن و سولفید هیدروژن بوده که مقادیر این گازها بستگی به دمای مخزن هضم و نوع مواد آلی داشته و با تغییرات آنها درصد گازها تغییر می‌کند. همچنین ارزش حرارتی آن تقریباً معادل با نصف ارزش حرارتی گاز طبیعی می‌باشد[۳]. این گاز بطور طبیعی در باتلاق‌ها، مرداب‌ها و یا مکان‌های دفن زباله‌های شهری تولید می‌شود. منبع اصلی تولید این گاز، زیست‌توده (مواد بیولوژیکی، گیاهی، حیوانی که هنوز کاملا تجزیه ویا تخمیر نشده اند) می‌باشد که پنج گروه اصلی زیست‌توده به عنوان منبع تولید بیوگاز در شرایط بی هوازی تخمیر شامل پسماندها و ضایعات کشاورزی و گیاهی (بقایای گیاهان، شاخ و برگ درختان، علفهای هرز، بقایای گندم، ذرت، برنج، سبزیجات)، پسماند و زباله های شهری، لجن فاضلاب شهری، فضولات دامی و پرندگان و فاضلاب صنعتی (ضایعات و زائدات جامد و مایعات فساد پذیر صنعتی، لجن، پساب کارخانجات مواد غذائی ،کشتارگاهها و .. می‌باشند[۴ و۵]. از جمله تاثیرات اقتصادی ناشی از تولید و مصرف بیوگاز می‌توان به ایجاد درآمد از طریق فروش انرژی (بیوگاز، برق و حرارت) کود آلی، تصفیه مواد زائد جامد بدون هزینه درازمدت بعدی نظیر آلودگی آب و خاک و جلوگیری از توسعه محل محل دفن زباله و کاهش هزینه‌های مربوطه، بهبود و بهره‌وری بالاتر از خاک به دلیل استفاده از کود آلی حاصل از نیروگاه‌های بیوگازی، دستیابی به ساخت و فن‌آوری نیروگاه‌های بیوگازی در کشور، بومی‌سازی آن و صدور به کشورهای دیگر، امکان تولید انرژی در محل مصرف (کاهش تلفات شبکه) و کاهش تقاضا برای سوختهای فسیلی اشاره کرد. همچنین از اثرات موثر زیست محیطی می‌توان به جلوگیری از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای)، حفظ مراتع و جنگلها، از بین بردن عوامل بیماری‌زا و تخم علف‌های هرز و کنترل بو وآلودگی حاصل از زباله‌ها و پسماندها اشاره کرد.

بیوگاز در سال ۱۶۶۷توسط شرلی[۱]کشف شد. ولتا[۲]در سال ۱۷۷۶ گاز متان را به عنوان ترکیب اصلی بیوگاز از مواد تخمیر شده شناسایی کرد[۱]. دیوی[۳]در سال ۱۸۰۸ تحقیقات وسیع تخمیر بی هوازی را شروع کرد. کامرون[۴]در انگلستان در سال ۱۸۹۵ از یک گودال عفونی بیوگاز به دست آورد. در سال ۱۸۵۹ اولین دستگاه بیوگاز هندی در بمبئی هند ساخته شد و گاز متان برای اولین بار در سال ۱۹۰۷ مورد آزمایش قرار گرفت و با نتیجه مثبت مواجه گردید[۶و۷]. اورتیز[۵] و همکاران یک سیستم اطلاعاتی از عوامل موثر بر انتشار تکنولوژی‌های بیوگاز را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به منظور دستیابی به این هدف از یک روش تحلیلی سه مرحله ای استفاده کردند که شامل مدل مفهومی، تحلیل کیفی و شواهد تجربی که بر اساس بینش دانشمندان در مناطق روستایی بود[۸]. سرانجام با استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی یک برنامه‌ریزی سیستماتیک جهت دستیابی به اهداف انرژی به عنوان یک گزینه امیدوارکننده تا سال ۲۰۳۰ برای جمعیت روستایی ارائه دادند. اگرچه تولید بیوگاز سابقه طولانی در جهان دارد اما استفاده عمومی و رایج آن در خلال قرن اخیر و به ویژه در سه دهه گذشته بوده است. هم‌اکنون علیرغم وجود پتانسیل خوب برای تولید بیوگاز در ایران، فرایندهای بی‌هوازی و تولید بیوگاز گسترش زیادی نیافته است. مهمترین عوامل عدم گسترش این فن‌آوری‌ها عبارتند از ارزان بودن انرژی‌های فسیلی در ایران، نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور و عدم آشنایی و آموزش کافی در زمینه تولید بیوگاز می‌باشد. یکی از منابع تولید بیوگاز در جهان پساب بهداشتی است. بطورکلی به فاضلابی که در نتیجه استفاده انسان از آب برای مصارف بهداشتی تولید می شود، فاضلاب بهداشتی می‌گویند. از آنجا که این فاضلاب در اثر فعالیت‌های انسانی تولید می‌شود، گاهی به آن فاضلاب انسانی یا خانگی نیز گفته می شود. سرویس‌های بهداشتی، استحمام، شستشوی ظروف، شستشوی سطوح و لباسشویی عمده‌ترین فعالیت‌هایی هستند که به تولید فاضلاب بهداشتی-انسانی منجر می‌شوند. با توجه به اینکه درخصوص تولید بیوگاز از پساب بهداشتی در صنایع، مراکز، سازمان‌ها و شهرک‌های با جمعیت بالا در ایران تحقیقی صورت نگرفته است، اهمیت این تحقیق را می‌توان در رفع مشکل زیست محیطی و کاهش انتشار گازهای آلاینده، تامین انرژی پایدار و دسترسی به یک منبع انرژی تجدید پذیر دانست. در این تحقیق، پساب بهداشتی از نظر کمی و کیفی جهت تولید بیوگاز و انرژی حرارتی ناشی از بیوگاز تولیدی همراه با تعیین دبی پساب بهداشتی و کود آلی فاقد باکتری، تعیین میزان عناصر موجود در پساب ورودی و هزینه اقتصادی تولید بیوگاز در یک واحد صنعتی واقع در شاهین شهر اصفهان بررسی شده است.

با مطالعه پیشینه تحقیق مشخص می‌شود که تحقیقات بسیار کمی در دنیا در خصوص تولید بیوگاز به صورت اختصاصی از فاضلاب بهداشتی انسانی صورت گرفته است. بیشتر تحقیقات صورت گرفته مربوط به پساب‌های حیوانی، زباله‌های غذایی، پسماندهای گیاهی و پساب صنعتی بوده است. در ایران نیز در خصوص فرآیندهای بی‌هوازی و تولید بیوگاز تحقیقات محدودی انجام گرفته است که بیشتر آنها در زمینه تولید بیوگاز از پساب‌های حیوانی می باشند که برخی از تحقیقات انجام گرفته در دنیا و ایران شامل موارد زیر می‌باشد:

[۱] Shirley
[۲] Volta
[۳] Davy
[۴] Cameron
[۵] Ortiz

دنگ[1] و همکاران کاربرد و توسعه فناوری‌های بیوگاز را برای تصفیه فاضلاب در چین گزارش کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های پراکنده تصفیه فاضلاب به استفاده در روستاها محدود شده و بیوگاز تولیدی کمتری نسبت به تصفیه خانه‌های متمرکز دارند[۲]. ایزومی[2] وهمکاران تاثیر اندازه ذرات بر هضم بی‌هوازی از مواد زائد غذایی را مورد مطالعه قرار داده اند و به این نتیجه رسیدند که کاهش شدید اندازه ذرات بستر منجر به تجمع اسیدهای چرب فرار، کاهش تولید متان و کاهش حلالیت در فرآیند هضم بی‌هوازی می شود. همچنین نشان داده شدکه با بهینه‌سازی اندازه ذرات بستر به همراه رشد میکروبی، می‌تواند منجر به بهبود تولید متان در فرایند هضم بی‌هوازی گردد[۹]. در ایران نیز اولین دستگاه در سال ۱۳۵۴ در روستای نیازآباد لرستان ساخته شد که گنجایش آن پنج متر مکعب در روز بود. همچنین در سال ۱۳۶۱ دانشگاه صنعتی شریف یک هاضم سه متر مکعبی را به صورت آزمایشی مورد مطالعه قرار داد و از سال ۱۳۵۳ تاکنون، مطالعات انجام شده توسط شانزده موسسه تحقیقاتی و دانشگاهی منجر به ساخت شصت دستگاه آزمایشی در ایران شده است[۱۰]. در ایران قانعی و همکاران استحصال بیوگاز از تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان را بررسی کردند و در نهایت جزئیات سیستم تصفیه بیوگاز بیولوژیکی با دبی ۴۵۰ متر مکعب بر ساعت بررسی و مبانی طراحی آن بیان شد[۱۱]. در سال ۱۳۸۹ بزرگترین پایلوت بیوگاز دامی ایران در ماهدشت کرج ساخته شد[۱۲].تیموری حمزه کولایی و همکاران در یک مطالعه موردی به ارزیابی جنبه های فنی و اقتصادی تولید بیوگاز به جای سوخت فسیلی برای نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی‌های جایگزین از نظر اقتصادی و زیست محیطی نسبت به نوع معمولی برتری داشته است؛ همچنین در مدل پیشنهادی آن‌ها سرمایه سالیانه، درصد بیوگاز تولیدی، زمان بازگشت سرمایه و کاهش میزان تولید دی‌اکسید کربن به ترتیب ۷۳۱۵۹ دلار، ۷۰ درصد، ۲۸ ماهه و ۵۲۹/۶۵ تن در سال می-باشد[۱۳]. افاضلی و همکاران در ایران پتانسیل تولید بیوگاز از کود حیوانی و ضایعات کشتارگاه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تولید بیوگاز از کود دامی در ایران حدود ۸۶۰۰ میلیون متر مکعب در سال است و در این میان استان تهران بزرگترین پتانسیل تولید بیوگاز به میزان حدودی ۹ میلیون متر مکعب در سال را از زباله های کشتارگاهها دارد و استان مازندران از میان سایر استانهای ایران بیشترین توانایی در تولید بیوگاز دارد[۱۴]. داوودی نژاد و همکاران میزان پتانسیل تولید بیوگاز و برق از فاضلاب شهری در ایران را بر اساس آمار و مقادیر میانگین و تقریبی محاسبه نمودند و به این نتیجه رسیدند که با تجهیز تمامی تصفیه خانه‌های دارای سامانه تصفیه لجن به هاضم‌های بی هوازی امکان تولید برق حدود ۴۴ مگاوات وجود دارد[۱۰]. برک تای و ناس[3] تولید بیوگاز از لجن فاضلاب تصفیه خانه‌های شهری در ترکیه را بررسی کردند و نتیجه‌گیری کردند که پتانسیل تولید بیوگاز در ترکیه ۱/۵ تا ۲ میلیون مترمکعب است[۱۵]. امیری و همکاران تولید انرژی از لجن فاضلاب شهری از طریق هضم بی‌هوازی در یک تصفیه خانه بهداشتی با ظرفیت ۲۰۰۰متر مکعب در ساعت را بررسی و محاسبه کردند که نتیجه حاصل شده تولید ۱۰۹ متر مکعب بیوگاز در روز بود[۱۶].

## ۲- روش کار

در این مطالعه ابتدا به بررسی شرایط جغرافیائی و آب و هوایی منطقه، سپس اندازه گیری و تعیین میزان آب مصرفی پرداخته و در ادامه میزان پساب تولیدی بر اساس استانداردها و اندازه‌گیری تجربی مشخص گردید. از پساب خروجی و لجن تصفیه خانه نمونه‌گیری و آزمایش‌های لازم جهت تعیین پارامترهای مورد نیاز برای تولید بیوگاز انجام گرفت و از روی نتایج میزان تولید بیوگاز و میزان کود آلی تولیدی و مقدار آب قابل مصرف در کشاورزی و آبیاری درختان تعیین گردید.

### ۲-۱- شرایط جغرافیائی وآب و هوائی محل مورد مطالعه

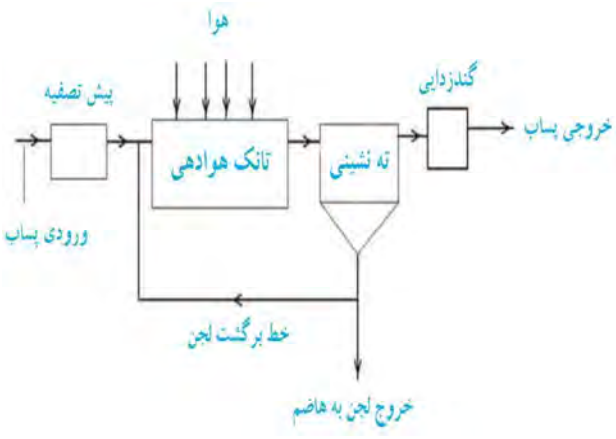
شهرستان شاهین شهر و میمه از شمال به استان مرکزی از شرق به کاشان، نطنز، برخوار از جنوب به اصفهان از غرب به نجف آباد، خمینی شهر و گلپایگان محدود است. شهر شاهین شهر و میمه دارای مساحت ۶۱۰۵/۲ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۲۳۴۶۶۷ نفر(طبق آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال۱۳۹۵) می‌باشد. این شهر آب و هوای خشکی دارد و در حد فاصله بین مدار۳۲/۸۳ عرض شمالی از خط استوا و۳۷/۵۱ طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته و دارای ارتفاع۱۵۹۵ متر از سطح دریا است. با توجه به بافت جوان و زیرساخت مهندسی شهر، واحدهای صنعتی و تولیدی متعدد و فراوانی، ویژگی‌های فرهنگی، اجتماعی و سایر خصوصیات از جمله مهاجر پذیربودن و ساخت و سازهای مسکونی، جمعیت این شهر افزایش چشم‌گیری داشته است. به طوری که پیش‌بینی می‌شود جمعیت آن تا سال ۱۴۰۰ خورشیدی به نیم میلیون نفر برسد. شاهین شهر را می توان اولین شهر جدید و از پیش طراحی شده در ایران نامید که در ۱۹ کیلومتری شمال شهر و میان آزادراه معلم و بزرگراه آزادگان و حد فاصل منطقه بختیاردشت و امیرآباد که از دو جهت جاده اصفهان را به تهران متصل می‌کند، واقع شده است. به علت اینکه نقشه آن به صورت یک شاهین بود، شاهین شهر نامیده شد. هوای شاهین‌شهر با وجود قرار گرفتن در مجاورت نیروگاه شهید منتظری، پالایشگاه و پتروشیمی و... آلودگی نه چندان زیادی دارد. قرار گرفتن شاهین شهر در منطقه اقلیم خشک به نحوی که از هر چهار جهت جغرافیایی به بیابان‌های اطراف منتهی می‌شود. خشکسالی‌های مداوم حاکم بر اقلیم قسمت عمده ای از کشور و تشدید آن در اقلیم شهر، بسیار پایین بودن سفره‌های آب زیرزمینی و عدم صدور مجوز حفر چاه جدید آلودگی خاک شاهین شهر به گچ و آهک و گوگرد و وجود انواع آلاینده‌های خطرناک برای گیاهان در هوای شهر و عدم در اختیارداشتن منابع آبی جایگزین به حد کافی و به طور مداوم شرایط را برای گیاهان کاشت شده و داشتن فضای سبز شهری زیبا و مناسب و توسعه آن به شدت دشوار کرده و حتی ضریب آسیب پذیری گیاهان موجود در فضای سبز را بالا می‌برد. شکل ۱ نقشه هوایی شهر محل مورد مطالعه را نشان می دهد.

[1] Deng
[2] Izumi
[3] Berktay and Nas

**شکل ۱** نقشه هوایی شاهین‌شهر

**۲-۲-مشخصات واحد صنعتی مورد مطالعه**

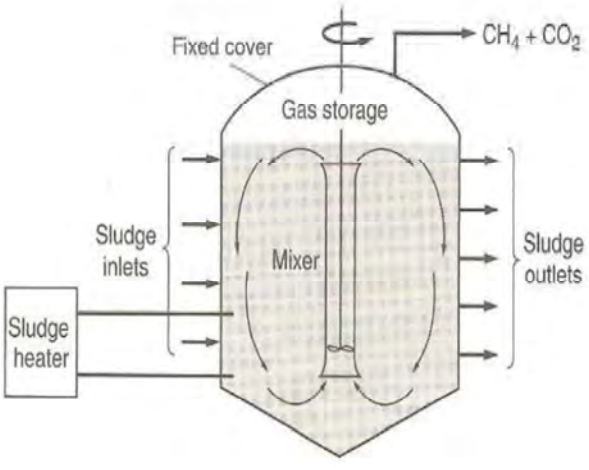
واحد صنعتی مورد مطالعه در این تحقیق واقع در جنوب شاهین شهر می باشد که دارای حدود ۳۰۰۰ نفرپرسنل می‌باشد و شامل قسمت‌های اداری (شیفت روز)، قسمت‌های تولیدی (دو شیفت کاری) و قسمت‌های انتظامات و تاسیسات (سه شیفت کاری) می‌باشند. پساب صنعتی این صنعت از پساب بهداشتی آن مجزا می‌باشد. خروجی‌های فاضلاب بهداشتی شامل پساب آشپزخانه‌ها، رستوران‌ها، توالت‌ها، حمام‌ها، آبدارخانه‌ها توسط سیستم لوله کشی و شبکه فاضلاب وارد تصفیه خانه‌ای که اختصاصاً جهت این صنعت طراحی شده است می‌شود. این تصفیه خانه جهت تصفیه فاضلاب با دبی ورودی ۵۰۰ متر مکعب در روز پیش بینی و طراحی شده است (میزان پساب بهداشتی فعلی کمتر بوده و بطور متوسط ۳۰۰ متر مکعب در روز می‌باشد). برای تصفیه پساب در این تصفیه خانه روش لجن فعال هوادهی گسترده در نظرگرفته شده است. این تصفیه خانه شامل یک حوض هوادهی به شکل مستطیل و با حجم مفید ۶۰۰ متر مکعب و یک حوض ته‌نشینی نهایی(زلال‌ساز) دایره ای به حجم مفید ۴۳۰ مترمکعب همچنین دارای یک مخزن هاضم هوازی لجن به شکل مربعی با حجم مفید ۱۸۰ متر مکعب در روز می‌باشد. همچنین در این سیستم بسترهایی جهت خشک‌کن لجن ایجاد گردیده که دارای هشت بستر به ابعاد ۵ ×۱۵ با ارتفاع لجن نیم متر می‌باشد. از بخش های دیگر این سیستم می توان به واحد کلرزنی(گند زدایی)، فیلترشنی پساب خروجی، دمنده‌های هوا به پساب، کف-کش ها و پمپ‌های انتقال لجن نیز اشاره نمود. شکل ۲ شماتیک قسمت‌های مختلف تصفیه‌خانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد .




**شکل ۲** شماتیک تصفیه‌خانه مورد مطالعه

**۲-۳-انتخاب مدل دستگاه تولید بیوگاز**

در این تحقیق ابتدا مدل دستگاه تولید بیوگاز از بین مدل‌های مطرح در دنیا انتخاب گردید و سپس جهت امکان‌سنجی و بررسی اقتصادی تولید بیوگاز از پساب بهداشتی واحد صنعتی واقع شده در شاهین شهر اصفهان و مطابق با یک سیستم تولید بیوگاز با هاضم بی‌هوازی تک مرحله‌ای (شکل ۳) و با توجه به مکانیزم کاری سیستم تصفیه‌خانه (شکل ۲) میزان تولید بیوگاز و متان مطابق با روابط مشخص برای این نوع هاضم تعیین گردید. در این تحقیق با توجه به روابط مورد نظر نیاز بود که پارامترهای دبی پساب ورودی، میزان عناصر موجود در پساب ورودی شامل نیترات، فسفات، منیزیم، سولفات، سیانید، کربن، نیتروژن، فسفر، چربی و روغن، دترجنت، هدایت الکتریکی، میزان درخواست اکسیژن بیوشیمیایی و شیمیایی، اسیدیته، کدورت و عناصر موجود در لجن ورودی هاضم هوازی شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، کربن، نیتروژن، فسفر و اسیدیته جهت محاسبه پتانسیل استخراج بیوگاز تعیین شود.

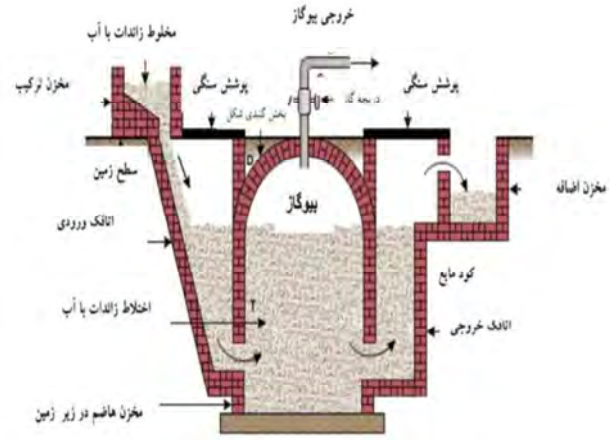



**شکل ۳** سیستم تولید بیوگاز با هاضم بی‌هوازی تک مرحله ای

**۲-۴- انتخاب مدل دستگاه تولید بیوگاز**

هر کشوری با توجه به شرایط جغرافیائی، اقلیمی، فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی خود اقدام به ساخت نوع خاصی و قابل استفاده از دستگاه‌های تولید بیوگاز

کرده است که مهمترین طرحها و مدل‌های اجرا شده شامل مدل‌های هندی(سقف شناور)، چینی(سقف ثابت)، تایوانی(واحدهای بالونی) و راکتورپتوی لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا[1]می‌باشد[۱۷]. در این تحقیق با توجه به اینکه در مدل چینی مخزن تخمیر و گاز آن مشترک می‌باشد و مقاومت دستگاه و نگهداری و تثبیت حرارت در مناطق حشک و سرد بیشتر است و مدل هندی نیز به دلیل استفاده از مصالح فلزی، هزینه‌های اولیه بیشتری نسبت به طرح‌های چینی داشته و هزینه استهلاک و تعمیر و نگهداری آنها نیز بیشتر است از طرح مدل چینی استفاده شده است[۱۸]. این نوع دستگاه برای اولین بار در چین ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است. سقف این نوع واحدها به صورت گنبدی شکل بوده و کف آن ممکن است به صورت تخت یا قوسدار ساخته شده باشد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب طرحواره و تصویری از این مدل دستگاه تولید بیوگاز را نشان می‌دهد.




**شکل۴** مدل چینی(سقف ثابت)

**شکل۵** مدل چینی(سقف ثابت)

**۵-۲- محاسبه حجم هاضم**

حجم هاضم از رابطه زیر محاسبه گردید[۱۹]:

$$V_d = S_v \times SRT \quad (۱)$$

SRT[2]: زمان ماند یا نگهداری مواد جامد (لجن) در هاضم (d)

Sv : حجم لجن روزانه ($m^3/d$)

$V_d$: حجم هاضم

که حجم لجن روزانه از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$S_v = \left[\frac{(VS)(Q_w)}{(SGS)(\rho_W)(۱-moisture\ percentage\ of\ sludge)}\right] \quad (۲)$$

که

VS : مواد جامد فرار[3] ($kg/m^3$)

$Q_{wastewater}$: دبی روزانه پساب ورودی ($m^3/d$)

SGS: گرانروی ویژه لجن

$\rho_W$: گرانروی آب ($kg/m^3$)

**۶-۲- محاسبه میزان تولید بیو گاز از پساب بهداشتی شهری**

برای محاسبه میزان بیوگاز تولیدی حاصل از ازلجن پساب شهری در مدل هاضم انتخابی از رابطه (۳) استفاده شد[۱۹]:

$$V_{CH4} = (۰.۴)\left[\frac{(S_۰-S)(Q)}{\left(\frac{۱۰۰۰\square}{kg}\right)} - ۱.۴۲\square\square\right] \quad (۳)$$

که

$V_{CH4}$: حجم متان تولید شده در شرایط دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و یک اتمسفر می‌باشد ($m^3/d$)

Q: دبی پساب ورودی ($m^3/d$)

$S_0$: مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک پساب ورودی[4] (mg/L)

S: مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک پساب خروجی[5] (mg/L)

$P_X$: جرم مواد جامد بیولوژیکی تولید شده روزانه[6]

که مقدار $P_X$ از رابطه بعدی بدست می آید:

[1] Upflow Anaerobic Sludge Blanket
[2] Solid retention time
[3] Dry volatile solids
[4] Biochemical oxygen demand(BOD of Influent Wastewater
[5] Biochemical oxygen demand(BOD of Effluent Wastewater
[6] Mass of biological solids synthesized daily

$$P_x = \frac{YQ(S_0 - S)\left(\frac{1000}{kg}\right)}{1+((kd)\times SRT)}$$

(۴)

که در رابطه مورد نظر

Y: ضریب محصول[1](gVSS/gBOD)

$K_d$: ضریب درونی[3]که معمولا در محدوده ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ در نظر گرفته می-شود($d^{-1}$)

**۷-۲- آزمایشهای لازم**

قبل از تصفیه فاضلاب به وسیله روش های زیست محیطی ابتدا باید درباره میزان تصفیه پذیری فاضلاب توسط این روش‌ها و همچنین مواد سمی فاضلاب، آزمایش‌هایی انجام گیرد. پارامترهایی که باید مورد آزمایش و بررسی قرار گیرند به نوع فاضلاب بستگی دارند. در مورد فاضلاب‌های شهری تعیین مقدار فاضلاب، دما، BOD وpH مواد ته نشین‌پذیر و میزان مواد جامد معلق اهمیت زیادی دارد. همچنین انجام آزمایش‌هایی در مورد تعیین میزان کل نیتروژن، میزان کل فسفر، میکروب‌های پاتوژن، مواد شیمیایی مضر، آزمایش کمیت، بو و رنگ پساب بدلیل اینکه از لجن خروجی هاضم، کود کمپوست جهت مصارف کشاورزی استفاده خواهد شد نیز ضرورت دارد. انتخاب نوع راکتور، دما، pH، زمان اقامت، شدت جریان خوراک، غلظت مواد جامد در خوراک، تخمینی از میزان بیوگاز تولیدی برای طراحی یک فرآیند تخمیر بی-هوازی ضرورت دارد[۶].

*تعیین مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک(BOD5)*

BOD5 (اکسیژن خواهی بیوشیمیایی) یکی از مهمترین شاخص‌های سنجش آلودگی فاضلاب ها وتعیین کننده مقدار اکسیژن مورد نیاز جهت انجام فعالیت بیولوژیکی در طی ۵ روز در درجه حرارت۲۰ درجه سانتیگراد است. این عمل به عنوان یک مرجع استاندارد برای مقایسه فاضلابها می‌باشد. آلودگی فاضلاب ناشی از مواد خارجی است که وارد آب شده و بصورت معلق یا محلول باعث آلودگی آن و تولید فاضلاب شده اند؛ بنابراین اندازه‌گیری مقدار مواد خارجی فاضلاب کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی وآلایندگی فاضلاب است. در آزمایش تعیینBOD5 از باکتریهای هوازی برای اکسیداسیون ترکیبات استفاده می‌شود. تا مشخص شود که میکروارگانیسم‌ها چه بخشی از کل موادخارجی را می توانند اکسید نمایند. زمان لازم برای انجام آزمایش BOD5 حداقل ۵ روز است[۶].

*آزمایشXRF از مواد جامد لجن*

در آزمایش طیف سنجی فلورسانس پرتوایکس یاXRF[4] با اندازه گیری طول امواج فلورسانس ساطع شده از اتم‌های مختلف نمونه مورد آزمون، عناصر تشکیل دهنده ماده مورد نظر شناسایی شده و با اندازه‌گیری شدت امواج میزان هر عنصر اندازه گیری می‌شود. در این روش تشعشعات حاصل از تیوب مولد اشعه ایکس دستگاه XRF ضمن برخورد با اتمهای تشکیل دهنده نمونه مورد آزمون، منجر به خروج الکترون از ترازهای مختلف گردیده و اتم در حالت برانگیخته و ناپایدار قرار می گیرد که در این حالت برای جبران الکترون خارج شده از اتم، الکترونی از ترازهای با انرژی بالاتر به سمت ترازهای پائین تر منتقل می‌گردد و انرژی مازاد الکترون (از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی کمتر) به صورت امواج اشعه ایکس با طول موجهای مشخص (که همان امواج فلورسانس می باشند) منتشر می‌گردد. با اندازه‌گیری هر طول موج، عنصر مربوطه شناسایی شده و شدت امواج نیز بیانگر میزان عنصر در نمونه مورد نظر می‌باشد. در آزمون XRF درصد عناصر موجود در نمونه در بازه سدیم تا اورانیوم قابل گزارش می‌باشد.

*آزمون تعیین کل کربن آلی TOC[5]*

آزمون کل کربن آلی به خصوص در غلظتهای پایین ماده آلی به کار می‌رود و با تزریق مقدار معینی از نمونه به درون یک کوره با دمای زیاد یا یک محیط اکسایننده شیمیایی انجام می‌گیرد. کربن آلی در حضور کاتالیزور به دی اکسید کربن تبدیل شده و سپس دی اکسید کربن تولید شده به وسیله تجزیه کننده فروسرخ اندازه یری می‌شود. اسیدی کردن و هوادهی نمونه قبل از انجام تجزیه، اشتباهات ناشی از حضور کربن غیرآلی را از بین می-برد. اگر ترکیبات آلی فرار نیز در نمونه وجود داشته باشد، در آن صورت مرحله هوادهی حذف شده تا مانع جداسازی آنها از طریق عمل دفع شود. این آزمون را می‌توان بسیار سریع انجام داد و به همین سبب بسیار رایج شده است. اما برخی از ترکیبات آلی مقاوم را نمی‌توان اکسید کرد و مقدار TOC اندازه گیری شده قدری کمتر از مقدار واقعی موجود در نمونه است.

*آزمون تعیین میزان کل مواد جامدات (TS[6]) در پساب*

مقدار مشخصی از نمونه (فاضلاب ورودی) در یک بوته چینی(کروزه) ریخته شده و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک می‌شود. سپس از کوره خارج کرده و در داخل ظرف دسیکاتور به مدت ۲۰دقیقه قرار داده شده تا سرد شود. سپس نمونه را مجدداً داخل کوره قرارداده و عمل فوق را چندین مرتبه تکرار و وزن کرده تا به وزن ثابت برسد. آن‌گاه با استفاده از روابط مربوطه درصد وزنی مواد جامد کل مشخص می‌گردد[۶].

*آزمون درصد جامدات فرار(VS[7]) در پساب*

مقدار مشخصی از نمونه خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد را در یک بوته چینی ریخته و در آون در دمای ۵۰۵ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت قرار داده می‌شود. سپس ظرف را از کوره خارج کرده و وارد دسیکاتور کرده تا سرد شود و همانند آزمایش TS این عمل تکرار شده تا به وزن ثابت برسد و با استفاده از روابط مربوطه (مشابه TS) درصد وزنی مواد جامد فرار مشخص می-گردد[۶].

*تعیین میزان چگالی*

میزان چگالی فاضلاب با تقسیم وزن مقدار مشخصی از مخلوط بر حجم نمونه محاسبه شد. جهت اندازه گیری چگالی کلی نمونه ۲ لیتر از فاضلاب تهیه و توزین شد و چگالی آن ۱۰۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. همان‌گونه که

[1] Yield coefficient
[2] Volatile suspended solids
[3] Endogenous coefficient
[4] X-ray Fluorescence Spectroscopy
[5] Total Organic Carbon
[6] Total solids
[7] Volatile solids

مشخص است چگالی آن بسیار نزدیک به چگالی آب می باشد که نشان می‌دهد که نمونه دارای مقدار زیادی آب است.

**۸-۲- تعیین زمان ماند لجن در هاضم**

زمان ماند لجن در هاضم بر اساس دمای هاضم در جدول ۱ مطابق با استاندارد آمده است که چون در این تحقیق دمای هاضم ۳۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است، زمان ماند نیز ۱۰ روز در نظر گرفته شد[۱۹].

**جدول ۱** زمان ماند لجن در هاضم بر اساس دمای هاضم

| ردیف | تعداد روز ماند | کمترین زمان ماند | دمای عملکرد |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۸ | ۱۱ | ۱۸ |
| ۲ | ۲۰ | ۸ | ۲۴ |
| ۳ | ۱۴ | ۶ | ۳۰ |
| ۴ | ۱۰ | ۴ | ۳۵ |
| ۵ | ۱۰ | ۴ | ۴۰ |

## ۳- نتایج و بحث

**۳-۱- اندازه گیری پساب ورودی از طریق کنتور خوانی**

با توجه به اینکه در فصول گرم سال مقدار زیادی از آب مصرفی در برجهای خنک کننده مدار باز، مدار بسته و کولرهای آبی مصرف می‌شود، لذا فصولی در نظر گرفته شد که فقط مصرف آب جهت مصارف بهداشتی وجود داشته باشد (فصول بهار و زمستان). پس از اندازه گیری میزان آب مصرفی و با توجه به اینکه طبق استاندارد از کل آب مصرفی، ۸۵ درصد آن به پساب تبدیل می‌شود، پس از محاسبه حجم مخازن تصفیه‌خانه و اندازه‌گیری حجم فاضلاب ورودی در چندین نوبت، مشخص شد که میزان پساب تولید شده در واحد صنعتی مورد نظر از ۲۸۰ تا ۳۲۰ متر مکعب در روز متغیر است. لذا در این مطالعه میزان پساب بهداشتی تولیدی به طور متوسط ۳۰۰ متر مکعب در روز در نظر گرفته شد. جدول ۲ دبی آب ورودی به صنعت و پساب تولیدی در ماه‌های مختلف سال را نشان می دهد.

**جدول۲** دبی آب ورودی به صنعت و پساب تولیدی در ماه های مختلف سال (متر مکعب)

| سال | فروردین | اردیبهشت | خرداد | دی | بهمن | اسفند |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۵ | ۸۷۱۴ | ۱۱۱۵۰ | ۱۱۴۰۰ | ۱۰۵۰۰ | ۱۰۷۲۰ | ۱۰۶۹۰ |
| ۱۳۹۶ | ۸۵۳۰ | ۱۱۵۱۰ | ۱۱۳۸۰ | ۱۰۷۲۰ | ۱۰۸۲۱ | ۱۰۷۱۰ |
| ۱۳۹۷ | ۸۲۱۰ | ۱۱۴۲۰ | ۱۱۲۰۰ | ۱۰۲۱۰ | ۱۰۵۳۵ | ۱۰۲۱۰ |
| متوسط پساب تولیدی ماهانه ۸۵٪ آب مصرفی | ۷۲۱۲ | ۹۶۵۶ | ۹۶۲۸ | ۸۹۰۵ | ۹۰۸۹ | ۸۹۵۶ |
| متوسط پساب روزانه | ۲۳۳ | ۳۱۱ | ۳۱۰ | ۲۹۷ | ۳۰۳ | ۲۹۹ |

**۳-۲-مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده و نتایج آزمون XRF**

مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده و نتایج آزمون XRF از نمونه لجن برگشتی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

**جدول۳** مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده مورد نیاز جهت محاسبه بیوگاز تولیدی از تصفیه خانه صنعت مورد مطالعه

| ردیف | پارامتر | مشخصه | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | Q | دبی پساب ورودی | ۳۰۰ | متر مکعب در روز |
| ۲ | T | دمای نگهداری لجن در هاضم | ۳۵ | درجه سانتیگراد |
| ۳ | $BOD_{IN}$ | میزان اکسیژن خواهی بیوشیمیائی در ورودی تصفیه خانه | ۰/۱۴ | کیلوگرم بر متر مکعب |
| ۴ | $BOD_{OUT}$ | میزان اکسیژن خواهی بیو شیمیائی در خروجی تصفیه خانه | ۰/۰۱۳ | کیلوگرم بر متر مکعب |
| ۵ | VS | مقدار جامدات فرار در پساب ورودی | ۰/۳۰۱ | کیلوگرم بر متر مکعب |
| ۶ | TS | جامدات کل | ۱/۰۳۸ | کیلوگرم بر متر مکعب |
| ۷ | $\phi$ | رطوبت لجن | ۹۹/۵۱٪ | درصد |
| ۸ | $p_S$ | جرم حجمی لجن | ۱۰۲۴ | کیلوگرم بر متر مکعب |
| ۹ | pH | pH لجن | ۶/۷ | - |
| ۱۰ | SRT | زمان ماند لجن در هاضم | ۱۰ | روز |

**جدول۴** نتایج آزمایش XRF نمونه لجن برگشتی

| عنصر | Ca | Fe | K | Si | Al |
|---|---|---|---|---|---|
| درصد | ۶/۴ | ۱ | ۱ | ۳/۲ | ۱/۱ |
| عنصر | Cl | S | P | Other Elements | |
| درصد | ۳۲/۱ | ۸/۴ | ۲/۱ | ۴۴/۷ | |

با توجه به اینکه اکثر باکتری‌های بی‌هوازی شامل باکتری‌های متان‌ساز در دامنه pH ۶/۵ تا ۷/۵ فعالیت می کنند و سرعت تولید متان در pH کمتر از ۶/۳ یا بزرگتر از ۷/۸ کاهش می‌یابد، با توجه به نتایج بدست آمده مقدار pH لجن مناسب می‌باشد. همچنین غلظت‌های زیاد عناصری همچون آهن، پتاسیم، کلسیم و سدیم از عامل بازدارنده تولید گاز و موجب کندی یا توقف رشد باکتری‌های متان زا می‌شوند؛ اما غلظت کمی از آن‌ها سبب تحریک رشد باکتری‌ها و افزایش سرعت تولید گاز می‌شود که با توجه به نتایج آزمون XRF غلظت عناصر مورد نظر قابل توجه نیست[۶].

**۳-۳-تعیین حجم هاضم**

با توجه به مقدار اندازه‌گیری شده جامدات فرار در پساب ورودی، درصد رطوبت لجن و چگالی ویژه لجن و دبی پساب ورودی و مطابق با رابطه (۱)، حجم هاضم بدست خواهد آمد:

حجم لجن روزانه

$$(Sludge\ volume_{Daily}) = \frac{۰.۳۰۱ \times ۳۰۰}{۱.۰۲۴ \left(\frac{۱۰۰۰ \square}{m^۳}\right) (۰.۰۰۴۹)}$$

$$= ۱۸.۰۶۷ \frac{m^۳}{d}$$

حجم هاضم

$$Digester\ volume = ۱۸.۰۶۷ \times ۱۰$$

$$= ۱۸۰.۶۷ m^۳$$

**۳-۴- تعیین میزان گاز متان تولیدی**

مطابق با مقادیر بدست آمده برای BOD در پساب ورودی و خروجی و مطابق با رابطه (۳) مقدار گاز متان تولیدی بدست خواهد آمد:

$$S_. = ۰.۱۴ \times ۳۰۰ = ۴۲\ \text{kg/d}$$

$$S = ۰.۰۱۳ \times ۳۰۰ = ۳.۹\ \text{kg/d}$$

با در نظر گرفتن مقادیر $k_d$ و Y به میزان ۰/۰۳ و ۰/۰۸ مقدار $P_X$ رابطه (۴) بدست خواهد آمد:

$$P_X = \frac{۰.۰۸(۴۲-۳.۹)}{۱+(۰.۰۳\times۱۰)} = ۲.۳۴$$

مقدار حجم متان تولیدی روزانه خواهد بود:

$$V_{CH4} = (۰.۴)[(۴۲ - ۳.۹) - (۱.۴۲ \times ۲.۳۴)] = ۱۳.۹۱ \frac{m3}{d}$$

با در نظر گرفتن اینکه ۶۵ درصد از بیوگاز تولیدی متان است حجم بیوگاز تولیدی روزانه خواهد بود:

$$V_{Biogas} = \frac{۱۳.۹۱}{۰.۶۵} = ۲۱.۴ \frac{m3}{d}$$

با در نظر گرفتن کاهش حجمی ۲۵ درصدی لجن ورودی به هاضم پس از تخمیر و تبدیل آن به کود مایع، مقدار حجمی و جرمی، کود مایع تولیدی روزانه خواهد شد:

$$V_{Muck} = ۱۸.۰۶۷ \times ۰.۷۵ = ۱۳.۵۵\ \text{m}^۳/\text{d}$$

$$M_{Muck} = ۱۳.۵۵ \times ۱۰۲۴ = ۱۳۸۷۵\ kg/\text{d}$$

و میزان کمپوست خشک تولیدی سالانه خواهد شد:

$$M_{\text{Compost}} = ۱۳۸۷۵ \times ۰.۰۰۴۹ = ۶۸\ kg/\text{d}$$

با در نظر گرفتن متوسط انرژی حرارتی بیوگاز به میزان ۲۱/۶ مگاژول (۶ کیلووات ساعت) به ازای هر مترمکعب و نتایج بدست آمده، جدول۵ نتایج نهایی تحقیق را نشان می‌دهد.

**جدول۵** نتایج اطلاعات مربوط به بررسی انرژی صنعت مورد مطالعه

| | |
|---|---|
| میزان بیو گاز تولیدی در روز | ۲۱/۴ مترمکعب |
| میزان کود مایع تولیدی در روز | ۱۳۸۷۵ کیلوگرم |
| میزان کمپوست خشک در روز | ۶۸ کیلوگرم |
| انرژی بیوگاز تولیدی در روز | ۴۷۳ مگاژول<br>۱۳۰ کیلووات ساعت |
| میزان جلوگیری از انتشار $CO_2$ بر حسب Ton/Kw.hr | ۰/۶۳۹ کیلوگرم به ازای یک کیلوات ساعت برق شبکه |

با در نظر گرفتن قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی و هر کیلوگرم کمپوست در صنعت مورد مطالعه به ترتیب به مقدار ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ ریال، میزان ارزش ریالی متان و کمپوست خشک تولیدی در سال بصورت زیر محاسبه می شود:

$$Methane_{\text{Economic value}} = ۱۳.۹ \times ۱۰۰۰ \times ۳۶۵$$

$$= ۵۰۷۳۵۰۰\ Rial/\text{year}$$

$$Compost_{\text{Economic value}} = ۶۸ \times ۴۰۰۰ \times ۳۶۵$$

$$= ۹۹۲۸۰۰۰۰\ Rial/\text{year}$$

### ۳-۵- تعیین میزان مصرف انرژی تجهیزات برقی

جدول۶ مصرف انرژی تجهیزات برقی در تصفیه‌خانه کارخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ بر اساس آن، کل انرژی برق مصرفی روزانه قسمت تصفیه‌خانه حدوداً ۵۷۰ کیلو وات ساعت می‌باشد که تقریباً ۴/۴ برابر میزان انرژی بیوگاز تولیدی است. بنابراین نیاز است که میزان دبی پساب ورودی حداقل به میزان ۱۳۰۰ متر مکعب در روز افزایش یابد تا بتواند پاسخگوی برق مصرفی قسمت تصفیه خانه کارخانه صنعتی مورد نظر باشد.

**جدول۶** مصرف انرژی تجهیزات برقی در تصفیه خانه کارخانه مورد مطالعه

| نام دستگاه | تعداد | توان مصرفی کیلو وات | ساعت کارکرد | جمع مصرف (کیلو وات-ساعت) |
|---|---|---|---|---|
| پمپ لجن کش (ورودی به تصفیه خانه) | ۱ | ۸/۲ | ۲ | ۱۶/۴ |
| پمپ لجن برگشتی | ۱ | ۵ | ۶ | ۳۰ |
| بلوور دمنده هوا | ۱ | ۱۸/۵ | ۲۴ | ۴۴۴ |
| موتور پل گردان | ۱ | ۱/۲ | ۲۴ | ۲۸/۸ |
| موتور آشغالگیر | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ |
| پمپ انتقال خروجی تصفیه خانه | ۱ | ۲۱ | ۱ | ۲۱ |
| کولر آبی(ساختمان کارکنان) | ۲ | ۱/۵ | ۸ | ۱۲ |
| روشنائی محوطه(پروژکتور) | ۲ | ۱ | ۱۰ | ۱۰ |
| جمع | ۱۰ | ۵۷/۴ | ۷۷ | ۵۶۴/۲ |

### ۳-۶- تعیین هزینه مورد نیاز جهت ساخت دستگاه بیوگاز

جدول ۷ میزان مصالح و هزینه مورد نیاز ساخت دستگاه بیوگاز با ظرفیت ۲۰متر مکعب را نشان می‌دهد که کل هزینه برآورد شده حدوداً به مقدار ۴۱۰ میلیون ریال می‌باشد.

**جدول۷** مصالح و هزینه مورد نیاز ساخت دستگاه بیوگاز با ظرفیت ۲۰متر مکعب

| نوع مصالح | مقدار | قیمت واحد(ریال) | مبلغ (ریال) |
|---|---|---|---|
| آجر(عدد) | ۲۸۰۰ | ۱۸۰۰ | ۵۰۴۰۰۰۰ |
| ماسه(کیسه) | ۱۲۰ | ۱۰۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰۰ |
| سنگریزه(کیسه) | ۷۰ | ۱۰۰۰۰ | ۷۰۰۰۰۰ |
| سیمان(کیسه) | ۳۴ | ۹۰۰۰۰ | ۳۰۶۰۰۰۰ |
| میلگرد ۸mm(kg) | ۴۴ | ۵۰۰۰۰ | ۲۲۰۰۰۰۰ |
| رنگ(لیتر) | ۴ | ۲۲۰۰۰۰ | ۸۸۰۰۰۰ |
| لوله پولیکا(متر) | ۲۴ | ۱۷۰۰۰۰ | ۴۰۸۰۰۰۰ |
| کنتور گاز | ۱ | ۴۰۰۰۰۰۰ | ۴۰۰۰۰۰۰ |
| اتصالات | ۱۵ | ۶۰۰۰۰ | ۹۰۰۰۰۰ |
| عایق(متر) | ۵۰ | ۲۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰۰۰ |
| لوله گاز فلزی(متر) | ۲۰ | ۱۵۰۰۰۰ | ۳۰۰۰۰۰۰ |
| استاد کار (روز) | ۱۵ | ۱۴۰۰۰۰۰ | ۲۱۰۰۰۰۰۰ |
| کارگر(روز) | ۵۵ | ۷۰۰۰۰۰ | ۳۸۵۰۰۰۰۰ |
| پمپ و الکترو موتور | ۱ | ۱۵۰۰۰۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰۰۰ |
| مساحت زمین(متر مربع) | ۱۰۰ | ۳۰۰۰۰۰۰ | ۳۰۰۰۰۰۰۰۰ |
| جمع | | | ۴۰۹۵۶۰۰۰۰ |

## ۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که به علت کم بودن مقدار دبی پساب ورودی تولید بیوگاز قابل توجه نبوده و در نتیجه با توجه به جدول مصارف انرژی نمی‌تواند پاسخگوی برق مصرفی قسمت تصفیه خانه کارخانه صنعتی مورد نظر باشد و فقط انرژی برق بخش روشنائی محوطه را تامین می‌کند. هر چند از لحاظ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید کود مایع و جامد غنی شده فاقد آلودگی می‌تواند مد نظر قرار بگیرد و در صورتی که پساب ورودی با پساب ورودی کارخانه‌ها یا دامداری و مرغداری‌ها، صنایع لبنی و کشتارگاه‌های مجاور همراه شود حجم بیوگاز تولیدی قابل توجه و دارای صرفه اقتصادی خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده، میزان برق مصرفی روزانه قسمت تصفیه‌خانه ۵۷۰ کیلووات ساعت است که تقریباً ۴/۴ برابر میزان انرژی بیوگاز تولیدی است. این بدان معنی است که میزان دبی پساب ورودی بایستی حداقل به میزان ۱۳۰۰ متر مکعب در روز افزایش یابد تا بتواند پاسخگوی برق مصرفی روزانه قسمت تصفیه‌خانه کارخانه صنعتی مورد نظر باشد.

## مراجع


[1] I.U. Khan, M.H.T. Othman, H. Hashim, T. Matsuura, Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilization and storage, *Energy Conversion and Management*, Vol.150, pp. 277-294, 2017.

[2] L. Deng, Y. Liu, D. Zheng, L. Wang, X. Pu, L. Song, Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, pp. 845-851, 2017.

[3] H.J.B. Nielsen, T. A. Seadi, P.O. Popiel, The future of anaerobic digestion and biogas Utilization, *Bioresource technology*, Vol.100, pp.5478-5484, 2009.

[4] K. Show, D. Lee, X. Pan, Simultaneous Biological Removal of Nitrogen-Sulfur-Carbon: Recent Advances and Challenges, *Bio-Technology Advances*, Vol. 31, pp. 409-420, 2013.

[5] H. Zhou, D. Loffer, M. Kranert, Model-based Predictions of Anaerobic Digestion of Agricultural Substrates for Biogas Production, *Bioresource Technology*, Vol. 102, pp.10819-10828, ۲۰۱۱.

[6] T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Kottner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen, *Biogas handbook*, Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.

[7] H.M. EI-Mashad, R. Zhang, Biogas production from co-dhgestion of dairy manure and food waste, *Bioresource Technology*, Vol.101, pp. 4021-4028, 2010.

[8] W. Ortiz, J. Terrapon-Pfaff, D. Dienst, Understanding the diffusion of domestic biogas technologies Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries, *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 74, pp. 1287-1298, 2017.

[9] K. Izumi, Y. Okishio, N. Nagao, N. Chiaki, S. Yamamoto, T. Toda, Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol.64, pp 601-608, 2010.

[10] M. Mohammadi Maghanakia, B. Ghobadian, G. Najafi, G., R. Janzadeh Galogah, Potential of biogas production in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.28, pp.702-714, 2013.

[۱۱] م. قانعی، استحصال بیوگاز از فاضلاب شهری اصفهان و تصفیه آن جهت استفاده در مصارف تولید انرژی، *مجموعه مقالات همایش ملی بیوانرژی*، ۱۳۹۰.

[۱۲] ج. شیخ الاسلامی، *نتایج طراحی و ساخت بزرگترین پایلوت بیوگاز دامی ایران (ماهدشت کرج)*، وزارت نیرو سازمان انرژی های نو ایران، ۱۳۸۹.

[13] F.T. Hamzehkolaei, N. Amjady, A techno-economic assessment for replacement of conventional fossil fuel based technologies in animal farms with biogas fueled CHP, *Renewable energy*, Vol. 118, pp. 602-614, 2018.

[14] H. Afazeli, A. Jafari, S. Rafiee, M. Nosrati, An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 34, pp. - , .

[15] A. Berktay and B. Nas, Biogas Production and Utilization Potential of Wastewater Treatment Sludge, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 30, No.2. pp. 179-188, 2007.

[16] W. A. Amiri, J. Tsutsumi, R. Nakamatsu, Energy from Domestic Wastewater and Recovering the Potential Energy of Sewage Sludge, *Journal of Energy Policy and Technology*, Vol.5, No.12, pp.903-0213. 2015.

[17] M. Gerber, R. Span, an Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas, International Gas Union Research Conference, Paris, 2008.

[18] A. Igoni Hilkia, M. F. N. Abowei, M. J. Ayotamuno, C. I. Eze, Comparative Evaluation of Batch and Continuous Anaerobic Digesters in Biogas Production from Municipal Solid Waste using Mathematical Models, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol. X., pp.1-12, 2008.*

[19] F. Dilek Sanin., W.W. Clarkson, P. A. Vesilind, *Sludge Engineering: The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges*, DEStech Publications, 2010.