

Feasibility investigation of biogas production from raw sewage and reducing greenhouse emissions (case study: Joveyn sugar factory)

Ghasem Zolfaghari^{1*}; Iman Vaezi²

- *1. Associate Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran,
2. MSc., Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran,

*Email Address: ghr_zolfaghari@yahoo.com

| Article Info | ABSTRACT |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Article Type: Research Paper</p> <p>Article History:</p> <p>Received Date: 2024/11/13</p> <p>Revised Date: 2024/11/29</p> <p>Accepted Date: 2025/04/19</p> <p>Published Date: 2025/08/06</p> <p>Keywords: Treatment plant, sludge, sewage, digester</p> | <p>Sewage sludge is a byproduct of the sewage treatment process. After processing, sewage sludge can be used as a raw material or substrate for energy production. Energy recovery from sewage sludge has received increasing attention in recent years. This can be attributed to the diminishing nature of conventional energy sources (fossil fuels) and the belief that energy from sludge, as a renewable resource, can help achieve a circular green economy. Biogas and synthesis gas have been identified as two important renewable energy carriers that can replace fossil fuels to some extent. The purpose of this research is to calculate the potential of biogas obtained from the sludge of the wastewater treatment process of the sugar factory in Joveyn city. Based on the obtained results, the amount of biogas produced is $1891/498 \frac{m^3}{day}$ and the amount of energy produced is $11373 \frac{kwh}{day}$. 2600 kg of carbon dioxide is released into the atmosphere for every cubic meter of fuel oil. Also, the amount of carbon dioxide emission per cubic meter of biogas is 0.005 kg, and if biogas is used instead of fuel oil, we will see a significant decrease in the emission of carbon dioxide into the atmosphere.</p> |

Cite this article:

Ghasem Zolfaghari , Iman Vaezi (2025). Feasibility investigation of biogas production from raw sewage and reducing greenhouse emissions (case study: Joveyn sugar factory), Journal of Environmental Sciences Studies, 10 (2), Pages 10280- 10289.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Sewage sludge (SS), as observed, is a by-product of wastewater treatment process. Its treatment and management incur about 50% of the total operating costs in wastewater treatment plants. In terms of generation capacity, approximately 10 million tons of sewage sludge are produced in Europe, 8 million in the United States, and 4 million tons in China annually. The generated sewage sludge poses a threat to the environment and humans alike due to the presence of heavy metal pollutants, a high portion of organic, and toxin contents.

Materials and methods

In this study, instead of a full case-specific design study, an initial potential calculation was performed. Equation No (1) was used to calculate the amount of biogas produced from industrial sewage sludge.

$$V_{CH_4} = (0.4) \left[\frac{(S_0 - S)(Q)}{1000 \frac{gr}{kg}} - 1.42 P_x \right] \quad (1)$$

The value of P_x is obtained from equation (2):

$$P_x = \frac{YQ(S_0 - S) \left(\frac{1000 \frac{gr}{kg}}{kg} \right)}{1 + (K_d) * SRT} \quad (2)$$

In relation (2), ($Y=0.08$) and ($0.02 < K_d < 0.04$) are efficiency coefficient and endogenous coefficient respectively for mesophilic conditions. Efficiency coefficient is the ratio of volatile solids production per BOD_5 ($\frac{gVSS}{gBOD}$). K_d is constant and accepted as 0.03. SRT is the sludge residence time (days) in the digester. Under mesophilic conditions, for SRT values higher than 12-13 days, the changes in increasing volatile solids degradation are relatively small. Therefore SRT is accepted as 13 days.

Results and discussion

Having the value of Q, the total volatile solid production per day can be calculated.

$$P_x = \frac{YQ(S_0 - S) \left(\frac{1000 \frac{gr}{kg}}{kg} \right)}{1 + (K_d) * SRT} = \frac{0.08 \times 2400 (1/666 - 0/055)}{1 + (0/03 \times 13)} = 223.3$$

Having all the required values, the volume of methane produced is calculated from the following equation.

$$V_{CH_4} = (0/4) \left[\frac{(S_0 - S)(Q)}{1000 \frac{gr}{kg}} - 1.42 P_x \right] = (0/4) [(1/666 - 0/055) \times 2400 - 1.42 \times 223.3] = 1229.474 \frac{m^3}{day}$$

The average thermal energy of biogas is 5.96 kilowatts per cubic meter. Therefore, the amount of biogas energy produced per day will be equal to 11273 kilowatts. According to the value of each cubic meter of natural gas based on the tariff of 1401 in the amount of 1350 Rials, the value of biogas in Rials per year is calculated as follows:

$$\text{biogas}_{\text{economic value}} = 1891.498 \times 1350 \times 365 = 932035639/5 \frac{\text{Rial}}{\text{year}}$$

Conclusion

The main goal of this research is to evaluate the feasibility of producing biogas from raw sewage and reducing greenhouse emissions (case study: sugar factory). According to the findings, the following can be concluded:

- 1- Considering that in the cold seasons of the year due to the increase in domestic gas consumption, most industries are facing a shortage of gas, biogas can be introduced as a suitable alternative.
- 2- Due to the country's high potential in biogas production, if all refineries in the country use biogas technology, the added value of the energy sector will increase significantly due to the production of biogas and electricity.
- 3- Due to the significant amount of biogas energy produced, in the hot seasons of the year due to the increase in per capita electricity consumption in the country and the severe lack of electricity, the produced electric energy can compensate a part of the unit's electricity shortage in the hot seasons.
- 4- It is suggested that other researchers investigate the potential of biogas and energy produced from dry household waste in future studies.



امکان سنجی تولید بیوگاز از فاضلاب خام و کاهش انتشار گلخانه ای (مطالعه

موردی: کارخانه قند جوین)

قاسم ذوالفقاری^{۱*}، ایمان واعظی^۲

^{۱*} - دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
^۲ - کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
 * ایمیل نویسنده مسئول: ghr_zolfaghari@yahoo.com

| چکیده | اطلاعات مقاله |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>لجن فاضلاب محصول جانبی فرآیند تصفیه فاضلاب است. پس از پردازش، لجن فاضلاب می تواند به عنوان یک ماده اولیه یا بستر برای تولید انرژی باشد. بازیافت انرژی از لجن فاضلاب در سالهای اخیر مورد توجه فزاینده ای قرار گرفته است. این را می توان به ماهیت رو به کاهش منابع انرژی متعارف (سوخت فسیلی) و این باور که انرژی حاصل از لجن، به عنوان یک منبع تجدید پذیر، می تواند در دستیابی به اقتصاد سبز چرخشی کمک کند، نسبت داد. بیوگاز و گاز سنتز به عنوان دو ناقل انرژی تجدیدپذیر مهم شناسایی شده اند که می توانند تا حدی جایگزین سوخت های فسیلی شوند. هدف از انجام این پژوهش محاسبه پتانسیل بیوگاز لجن حاصل از فرآیند تصفیه فاضلاب کارخانه قند شهرستان جوین می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان بیوگاز تولیدی $\frac{m^3}{day}$ ۱۸۹۱/۴۹۸ و میزان انرژی تولیدی $\frac{kwh}{day}$ ۱۱۳۷۳ می باشد. به علت کمبود گاز و انرژی برق در فصول سرد و گرم سال بیوگاز می تواند به عنوان جایگزینی مناسب جهت جبران بخشی از انرژی مورد نیاز صنعت مورد استفاده قرار گیرد. به ازای هر متر مکعب مازوت ۲۶۰۰ کیلوگرم دی اکسید کربن در اتمسفر آزاد می شود. همچنین میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای هر متر مکعب بیوگاز ۰/۰۰۵ کیلوگرم می باشد که در صورت استفاده از بیوگاز به جای مازوت شاهد کاهش قابل ملاحظه انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر خواهیم بود.</p> | <p>نوع مقاله: مقاله علمی پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵</p> <p>کلید واژه ها: تصفیه خانه، لجن، فاضلاب، هاضم.</p> |

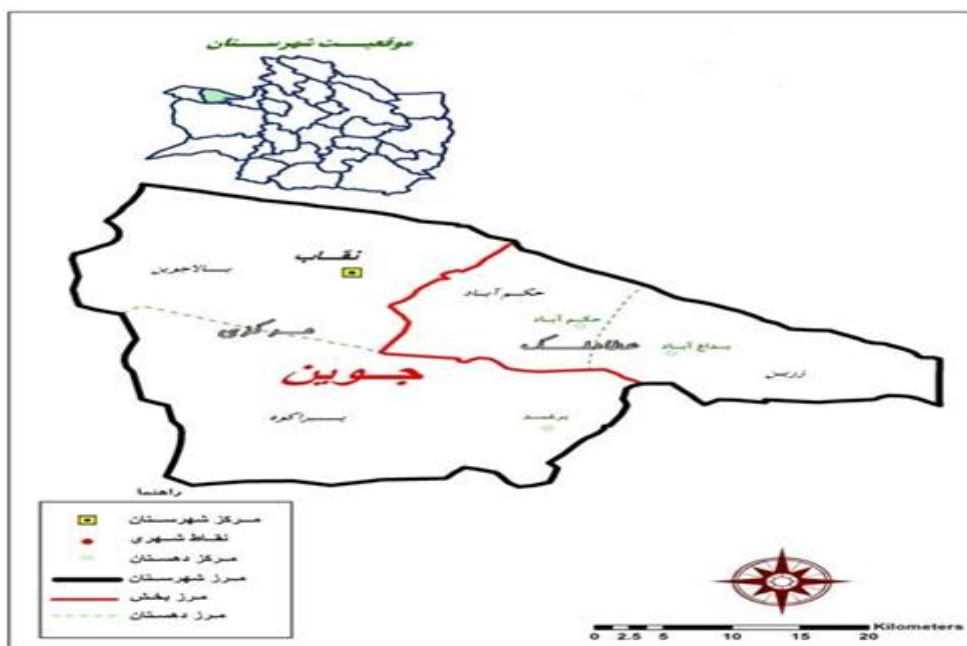
لجن فاضلاب محصول جانبی فرآیند تصفیه فاضلاب است. تصفیه و مدیریت آن حدود ۵۰٪ از کل هزینه های عملیاتی در تصفیه خانه های فاضلاب را شامل می شود. از نظر ظرفیت تولید، سالانه تقریباً ۱۰ میلیون تن لجن فاضلاب در اروپا، ۸ میلیون تن در ایالات متحده و ۴ میلیون تن در چین تولید می شود. لجن فاضلاب تولید شده به دلیل وجود آلاینده های فلزات سنگین و مقدار زیاد مواد آلی و سمی، تهدیدی برای محیط زیست و انسان است. اما علیرغم مملو بودن از آلاینده ها، استفاده پایدار از این مقدار فرآینده لجن فاضلاب تولیدی می تواند آن را به یک منبع ارزشمند تبدیل کند. پس از پردازش، لجن فاضلاب می تواند به عنوان یک ماده اولیه یا بستر برای تولید انرژی باشد. بازیافت انرژی از لجن فاضلاب در سال های اخیر مورد توجه فزاینده ای قرار گرفته است. این را می توان به ماهیت رو به کاهش منابع انرژی متعارف (سوخت فسیلی) و این باور که انرژی حاصل از لجن به عنوان یک منبع تجدید پذیر می تواند در دستیابی به اقتصاد سبز چرخشی کمک کند نسبت داد. تولید این محصولات با ارزش افزوده متکی بر محصولات انرژی زا به عنوان یک ماده خام است که به طور ناخواسته و منفی بر عرضه مواد غذایی تأثیر می گذارد. به این ترتیب، لجن فاضلاب به عنوان یک جایگزین مناسب برای تولید انرژی (بیوگاز، گاز سنتز) جستجو شده است. بیوگاز و گاز سنتز به عنوان دو ناقل انرژی تجدیدپذیر مهم شناسایی شده اند که می توانند تا حدی جایگزین سوخت های فسیلی شوند. بیوگاز و گاز سنتز از طریق دو فناوری رقابتی، یعنی هضم بی هوازی و گازسازی به دست می آیند. به زبان ساده، هضم بی هوازی شامل تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم ها برای تولید بیوگاز است. هضم بی هوازی می تواند یکی از ابزارهای پایدار ارزش گذاری لجن فاضلاب برای بهبود کیفیت پساب و به حداکثر رساندن بازیابی مواد مغذی باشد. این تکنیک تثبیت هدف دوگانه تولید بیوگاز برای کاربردهای گرما و برق و به عنوان کود برای کاربردهای کشاورزی است. ادغام یک هاضم بی هوازی در فرآیند تصفیه خانه فاضلاب می تواند بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز را جبران کند و آن را از نظر انرژی کارآمدتر کند. گازی شدن یکی دیگر از تکنیک های پایدارسازی است که مزایای تجزیه آلاینده های آلی، خنثی کردن عوامل بیماری زا و کاهش حجم لجن فاضلاب را ارائه می دهد. گازی شدن به طور کلی شامل تبدیل ترموشیمیایی زیست توده به گاز سنتز در یک محیط بدون اکسیژن است. گاز سنتز محصول اصلی فرآیند تبدیل به گاز را تشکیل می دهد که به عنوان محصولات فرعی قیر، زغال ساخت و/یا خاکستر است. استفاده از لجن فاضلاب به عنوان ماده اولیه برای تولید انرژی از طریق گازی شدن معمولاً نیازمند برخی اقدامات پیش تصفیه است. هدف از انجام مطالعه پیش رو محاسبه پتانسیل تولید بیوگاز و انرژی حرارتی حاصل از لجن فاضلاب کارخانه قند شهرستان و همچنین محاسبه میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن حاصل از تولید بیوگاز می باشد. اخیراً گازی شدن لجن فاضلاب به عنوان یک مسیر امیدوارکننده برای تولید هیدروژن ظاهر شده است. استفاده از فناوری های هضم گازی و بی هوازی برای تولید انرژی کاملاً جدید نیست، زیرا انواع مختلف سوخت/زیست توده مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، بررسی اخیر توسط آتلگی و همکاران روندهای فعلی در فرآیندهای هضم بی هوازی را مشخص کرده و پارامترهای فرآیند عملیاتی مورد نیاز برای افزایش تبدیل ضایعات زیست توده به بیوگاز را ارزیابی کرده است. نویسندگان تأکید کردند که بهبود فرآیندهای کلی کاهش زمان ماند هیدرولیکی را تضمین می کند و به همان اندازه بازده بیوگاز را افزایش می دهد. هانوم و همکاران وضعیت فعلی تصفیه لجن فاضلاب در مالزی را همراه با چالش هایی که هضم بی هوازی لجن فاضلاب را محدود می کند، مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس این مطالعه، استفاده از ضایعات مواد غذایی به عنوان یک بستر کمکی نه تنها کارایی فرآیند را افزایش می دهد، بلکه به مدیریت مشکل رو به رشد ضایعات مواد غذایی در مالزی نیز کمک می کند. چاو و همکاران هضم بی هوازی لجن فاضلاب را با هدف شناسایی بهترین بستر مشترک بالقوه بررسی کرد. با مقایسه بازده متان هضم همزمان با هضم تک، دستاوردهایی از ۱۳ تا ۱۷۶ درصد به دست آمد. مطالعه دیگری جدیدترین روش های پیش تصفیه را برای افزایش هضم بی هوازی لجن فاضلاب تجزیه و تحلیل کرد. طبق این مطالعه، استانداردسازی فرآیندهای پیش تصفیه از منظر تعادل انرژی و پایداری محیطی کاملاً ضروری است. وضعیت، اثربخشی و معایب دو تکنیک کم هزینه برای تصفیه بیولوژیکی لجن فاضلاب خطرناک با استفاده از ورمی کمپوست و لارو مگس سرباز سیاه در مروری توضیح داده شده است. مطالعه ارلی و سو بک تولید جاذب جامد، سوخت گازی و فسفر را در طول تبدیل به گاز لجن فاضلاب مورد بررسی قرار داد. بررسی نشان داد که کسر جامد حاصل از گازی شدن لجن فاضلاب می تواند به عنوان منبع مفیدی از فسفر و مواد جاذب بالقوه استفاده شود. فسفر حاصل مشابه سنگ های فسفات طبیعی (۲۸/۰۵٪) بود. کسر جامد لجن فاضلاب حاوی مواد آلی قابل احتراق است. ارزش حرارتی لجن فاضلاب به طور کلی بین $\frac{MJ}{kg}$ ۱۴-۱۰ است و گاهی اوقات ممکن است به $\frac{MJ}{kg}$ ۱۷ برسد. احتراق و هضم بی هوازی رویکردهای اتلاف به انرژی برای لجن فاضلاب به خوبی بررسی شده است. احتراق مستقیم یا احتراق همزمان با زغال سنگ یا زیست توده راه حل رایج تولید انرژی است. بازیابی کود از خاکستر لجن فاضلاب گزینه دیگری است. بخش آلی جامدات لجن با استفاده از فعالیت باکتری ها در هاضم های مخصوص هضم می شود که منجر به تولید بیوگاز می شود. بیوگاز تولید شده را می توان در موتورهای گازی به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. دیگر فناوری های نوظهور برای بهره برداری از انرژی لجن فاضلاب عبارتند از تبدیل به گاز، تجزیه در اثر حرارت و کربن سازی هیدروترمال. در مطالعه حاضر

گزینه بیوگاز انتخاب شده است زیرا یک فناوری بالغ است. مواد پایدار هضم شده را می‌توان بسته به ترکیب به کود تبدیل کرد. این رویکرد از بازیافت زیست توده در محیط طبیعی پشتیبانی می‌کند.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش کارخانه قند واقع در ۱۰ کیلومتری شهر نقاب مرکز شهرستان جویین استان خراسان رضوی است. شهرستان جویین، شامل دو بخش مرکزی و عظامک می‌باشد. بر اساس سرشماری مرکز آمار ایران، جمعیت شهرستان جویین در سال ۱۳۹۵ هجری برابر با ۵۴۱۴۵ نفر و مساحتی در حدود ۱۶۵۶/۰۵ کیلومتر مربع، با ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، در دامنه‌ی شمالی رشته‌کوه جغتای و دامنه‌ی جنوبی رشته‌کوه‌های آلاداغ و شاه جهان، در محدوده‌ی تقریبی ۳۶/۲۵ تا ۳۶/۵۰ عرض شمالی و ۵۷/۱۲ تا ۵۷/۵۳ طول شرقی قرار داشته و از شمال با شهرستان اسفراین، از شرق با شهرستان خوشاب، از جنوب با شهرستان سبزوار و شهرستان داورزن و از غرب با شهرستان جغتای همجوار است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

• مشخصات واحد صنعتی مورد مطالعه

کارخانه قند با ظرفیت اسمی ۵۰۰۰ تن در شبانه روز در جنوب شهرستان جویین واقع شده است. تعداد پرسنل و کارگران مشغول به کار در این واحد ۷۰۰ نفر می‌باشد. خروجی پساب حاصل از شستشوی مواد اولیه و همچنین پساب حاصل از شستشوی سالن‌ها، آشپزخانه وارد تصفیه‌خانه این صنعت می‌شود. ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه ۲۴۰۰ متر مکعب در روز بوده و در زمان بهره‌برداری واحد تمام ظرفیت تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش کار تصفیه‌خانه به صورت لجن فعال و هوادهی است. این تصفیه‌خانه شامل ۴ استخر ته‌نشینی، ۲ استخر هوادهی، دو استخر زلال ساز می‌باشد.

• محاسبه میزان تولید بیوگاز از فاضلاب صنعتی

در این مطالعه به جای یک مطالعه طراحی کامل موردی خاص، یک محاسبه پتانسیل اولیه انجام شد. برای محاسبه میزان بیوگاز تولیدی حاصل از لجن پساب صنعتی از رابطه شماره (۱) استفاده شد.

$$V_{CH_4} = (0.4) \left[\frac{(S_0 - S)(Q)}{1000gr} - 1.42 P_x \right] \quad (1)$$

در آن V_{CH_4} : برابر حجم متان تولید شده در شرایط دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و یک اتمسفر می باشد $(\frac{m^3}{d})$.

Q: دبی پساب ورودی $(\frac{m^3}{d})$

S_0 : مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک پساب ورودی $(\frac{mg}{l})$

S: مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک پساب خروجی $(\frac{mg}{l})$

p_x : جرم مواد بیولوژیکی تولید شده روزانه

مقدار p_x از رابطه (۲) به دست می آید:

$$Px = \frac{YQ(S_0 - S) \left(\frac{1000gr}{kg} \right)}{1 + (K_d) * SRT} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $(Y=0.08)$ و $(0.02 < K_d < 0.04)$ برای شرایط مزوفیل به ترتیب ضریب بازده و ضریب درون زا هستند. ضریب بازده نسبت تولید جامدات فرار به ازای BOD_5 $(\frac{gVSS}{gBOD})$ است. K_d ثابت است و به عنوان ۰/۰۳ پذیرفته شده است. SRT زمان ماندن لجن (روزها) در هاضم است. در شرایط مزوفیل، برای مقادیر SRT بالاتر از ۱۲-۱۳ روز تغییرات در افزایش تخریب مواد جامد فرار نسبتاً کم است. از این رو SRT به عنوان ۱۳ روز پذیرفته می شود. ترکیب بیوگاز لجن فاضلاب CH_4 : ۵۰-۷۵٪، CO_2 : ۲۴-۴۰٪، H_2O : ۱-۲٪ و مقدار نسبتاً کمی H_2S ، N_2 ، H_2 و O_2 نیز وجود دارد. به عنوان یک رویکرد میانگین، نرخ متان در بیوگاز را می توان ۶۵ درصد پذیرفت. با توجه به این مقدار، کل تولید بیوگاز را می توان با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد. در جدول (۱) مقادیر پارامتر ثابت نشان داده شده است.

$$V_{biogas} = V_{CH_4} / 0.65 \quad (3)$$

جدول ۱- مقادیر پارامترهای ثابت

| پارامتر | مقدار | واحد |
|--------------------|-------|--------------------|
| وزن مخصوص آب | ۱/۰۲ | - |
| محتوای جامد لجن | ۵ | % |
| SRT | ۱۳ | day |
| چگالی آب | ۱۰۰۰ | $(\frac{kg}{m^3})$ |
| ضریب بازده-Y | ۰/۰۸ | - |
| ضریب درون-زا-Kd | ۰/۰۳ | - |
| محتوای متان بیوگاز | ۶۵ | % |
| نرخ تبدیل متان | ۴۰ | % |

موتورهای احتراق داخلی، پیل های سوختی، میکرو توربین های گازی دستگاه های اصلی برای تبدیل الکتریکی بیوگاز هستند. موتور احتراق داخلی (موتور گازی) به عنوان دستگاه تبدیل برای ارزیابی انتخاب شده است. راندمان تبدیل الکتریکی یک موتور گازی ۳۵ درصد است. ورودی انرژی بیوگاز را می توان با استفاده از ارزش حرارتی گاز متان محاسبه کرد.

۳- نتایج

مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده

| ردیف | پارامتر | مشخصه | مقدار | واحد |
|------|--------------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------|
| ۱ | Q | دبی پساب ورودی | ۲۴۰۰ | $\frac{m^3}{day}$ |
| ۲ | T | دمای نگهداری لجن در هاضم | ۳۰ | C |
| ۳ | BOD _{IN} | میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در ورودی تصفیه‌خانه | ۱/۶۶۶ | $\frac{kg}{m^3}$ |
| ۴ | BOD _{OUT} | میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی در خروجی تصفیه‌خانه | ۰/۰۵۵ | $\frac{kg}{m^3}$ |

با داشتن مقدار Q کل تولید جامد فرار در روز قابل محاسبه خواهد بود.

$$Px = \frac{YQ(S_0 - S) \left(\frac{1000gr}{kg} \right)}{1 + (K_d) * SRT} = \frac{0.08 \times 2400 (1.666 - 0.055)}{1 + (0.03 \times 13)} = 223.3$$

با داشتن تمام مقادیر مورد نیاز حجم متان تولیدی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{CH_4} = (0.4) \left[\frac{(S_0 - S)(Q)}{\frac{1000gr}{kg}} - 1.42Px \right] = (0.4) [(1.666 - 0.055) \times 2400 - 1.42 \times 223.3] = 1229.474 \frac{m^3}{day}$$

با توجه به اینکه ۶۵ درصد از بیوگاز تولیدی گاز متان است حجم بیوگاز تولیدی خواهد بود:

$$V_{biogas} = V_{CH_4} / 0.65 = 1229.474 / 0.65 = 1891.498 \frac{m^3}{day}$$

متوسط انرژی حرارتی بیوگاز به میزان ۵/۹۶ کیلووات به ازای هر متر مکعب می‌باشد لذا انرژی بیوگاز تولیدی در روز برابر ۱۱۳۷۳ کیلووات ساعت محاسبه می‌شود. با توجه به ارزش هر متر مکعب گاز طبیعی بر اساس تعرفه سال ۱۴۰۱ به میزان ۱۳۵۰ ریال، میزان ارزش ریالی بیوگاز در سال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Biogas_{economic\ value} = 1891.498 \times 1350 \times 365 = 932035639.5 \frac{Rial}{year}$$

• میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن

فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر متر مکعب بیوگاز معادل ۰/۰۰۵ کیلوگرم دی اکسید کربن است و میزان بیوگاز تولیدی ۱۸۹۱/۴۹۸ متر مکعب بر روز می‌باشد. بر اساس ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای بیوگاز و مقدار تولید بیوگاز روزانه، مقدار تولید دی اکسید کربن ناشی از سوزاندن آن برابر با ۹/۴۵۷ کیلوگرم بر روز می‌باشد. هر یک لیتر مازوت ۰/۸۵ کیلوگرم وزن دارد و معادل ۲/۶ کیلوگرم دی اکسید کربن آزاد می‌کند. در فصول سرد سال به دلیل جلوگیری از افت فشار گاز خانگی گاز مصرفی صنایع محدود شده و مجبور به استفاده از مازوت خواهند بود که کارخانه قند جوین نیز از این امر مستثنی نمی‌باشد. همانطور که گفته شد به ازای سوزاندن هر لیتر مازوت ۲/۶ کیلوگرم دی اکسید کربن آزاد خواهد شد. پس به ازای ۱ متر مکعب که معادل ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد؛ خواهیم داشت:

$$۱۰۰۰ * \frac{۲}{۶} = ۳۳۳ \text{ لیتر} = \text{میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای هر متر مکعب مازوت}$$

پس به ازای هر متر مکعب مازوت ۳۳۳ کیلوگرم دی اکسید کربن در اتمسفر آزاد می‌شود. همانطور که پیشتر اشاره شد میزان انتشار دی اکسید نیتروژن به ازای هر متر مکعب بیوگاز ۰/۰۰۵ می‌باشد که در صورت استفاده از بیوگاز به جای مازوت شاهد کاهش قابل ملاحظه انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر خواهیم بود. ایگلینسکی و همکاران در سال ۲۰۱۵ پتانسیل تولید بیوگاز از بسترهای مختلف را به شرح ذیل محاسبه کردند: ۸۲ میلیون متر مکعب از زباله‌های شهری، ۲۰ میلیون متر مکعب از لجن فاضلاب، ۱۶۰۳ میلیون متر مکعب از فضولات حیوانات، ۵۵۱ میلیون متر مکعب از ذرت و ۲۵۴ میلیون متر مکعب از علف. مقناکی و همکاران در سال ۲۰۱۳ برآورد کردند مقدار معمول تولید بیوگاز از پسماندهای کشاورزی، فاضلاب و پسماندهای صنعتی و شهری و با احتساب ضریب ایمنی مناسب، بیوگاز در ایران حدود ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون متر مکعب که تقریباً ۳۲۳ پتا ژول انرژی است تولید خواهد کرد. لوهانی در سال ۲۰۱۳ پتانسیل تولید

بیوگاز را در کشور نپال مورد بررسی قرار داد و دریافت که پتانسیل تولید بیوگاز از فاضلاب شهری حدود ۲۲ میلیون متر مکعب در سال معادل ۱۴/۵ مگاوات ساعت است، در عین حال پتانسیل کاهش انتشار دی اکسید کربن حدود ۹۴۵۰۰ تن در سال است. طلوعی و همکاران در سال ۱۴۰۳ هضم بی هوازی RPMW با استفاده از فناوری UASB را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، آزمایش AD در حالت پیوسته با دبی ورودی پساب معادل ۱ لیتر در ساعت انجام شد. آنها نشان دادند راکتور در زمان ماند هیدرولیکی بهینه ۱۵،۱۴ (HRT) ساعت با حجم تولید بیوگاز با مقدار بهینه L/D ۶۲،۵ کار می کند. فرج پور باصر و ولی زاده در سال ۱۳۹۸ پتانسیل تولید انرژی از پسماندهای خانگی را برای شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند روزانه بیش از ۳۰۰ تن از مخلوط پسماندهای این شهر پردازش شده و بیوگاز تولیدی پس از خالص سازی سوزانده و ۲ مگاوات ساعت الکتریسته تولیدی وارد شبکه خانگی برق و از گرمای تولیدی جهت گرمایش مخازن خود سیستم استفاده می شود.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش امکان سنجی تولید بیوگاز از فاضلاب خام و کاهش انتشار گلخانه ای (مطالعه موردی: کارخانه قندچوبین) می باشد. با توجه به یافته ها می توان این موارد را نتیجه گیری نمود: ۱- با توجه به اینکه در فصول سرد سال به علت افزایش مصرف گاز خانگی اکثر صنایع با کمبود گاز مواجه هستند بیوگاز می تواند به عنوان جایگزین مناسب معرفی گردد. ۲- با توجه به پتانسیل بالای کشور در تولید بیوگاز چنانچه تمام تصفیه خانه های کشور از فناوری بیوگاز استفاده نمایند به دلیل تولید بیوگاز و برق ارزش افزوده بخش انرژی افزایش قابل ملاحظه ای خواهد داشت. ۳- با توجه به مقدار قابل توجه انرژی بیوگاز تولیدی، در فصول گرم سال به دلیل افزایش سرانه مصرف برق در کشور و کمبود شدید برق، انرژی برق تولیدی می تواند بخشی از کمبود برق واحد را در فصول گرم جبران نماید. ۴- پیشنهاد می شود در مطالعات آتی توسط سایر پژوهشگران پتانسیل بیوگاز و انرژی تولیدی از پسماندهای خشک پسماندهای خانگی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755-781. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.peccs.2008.06.002> .
- Atelge, R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D. D., Chang, S.-W., Atabani, A., Al-Muhtaseb, A. a., & Ünalán, S. (2020). Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives. *Waste and Biomass Valorization*, 11. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>
- Burton, F. L., Tchobanoglous, G., Tsuchihashi, R., Stensel, H. D., Metcalf, & Eddy, I. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education. <https://books.google.com/books?id=6KVKMAEACAAJ>
- Chow, W. L., Chong, S., Lim, J.-W., Chan, Y., Chong, M., Tiong, J., Chin, J., & Pan, G.-T. (2020). Anaerobic Co-Digestion of Wastewater Sludge: A Review of Potential Co-Substrates and Operating Factors for Improved Methane Yield. *Processes*, 8, 39. <https://doi.org/10.3390/pr8010039>
- Chrispim, M. C., Scholz, M., & Nolasco, M. A. (2020). A framework for resource recovery from wastewater treatment plants in megacities of developing countries. *Environmental Research*, 188, 109745. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109745>
- Felca, A. T. A., Barros, R. M., Tiago Filho, G. L., dos Santos, I. F. S., & Ribeiro, E. M. (2018). Analysis of biogas produced by the anaerobic digestion of sludge generated at wastewater treatment plants in the South of Minas Gerais, Brazil as a potential energy source. *Sustainable Cities and Society*, 41, 139-153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.035>
- Ferreira, L. C., Donoso-Bravo, A., Nilsen, P. J., fdz-polanco, F., & Pérez-Elvira, S. (2013). (Influence of thermal pretreatment on the biochemical methane potential of wheat straw. *Bioresource technology*, 143C, 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.065>
- Frišták, V., Pipiška, M., & Soja, G. (2018). Pyrolysis treatment of sewage sludge: A promising way to produce phosphorus fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1772-1778. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.015>
- Gao, N., Li, J., Qi, B., Li, A., Duan, Y., & Wang, Z. (2014). Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.002>

- Gherghel, A., Teodosiu, C., & De Gisi, S. (2019). A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 228, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>
- Hanum, F., Yuan, L., Kamahara, H., Aziz, H., Atsuta, Y., Yamada, T., & Daimon, H. (2019). Treatment of Sewage Sludge Using Anaerobic Digestion in Malaysia: Current State and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, 7, 19. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00019>
- Igliński, B., Buczkowski, R., & Cichosz, M. (2015). Biogas production in Poland—Current state, potential and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 686-695. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.013>
- Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijałkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., Rorat, A., Brattebo, H., Almås, Å & Singh, B. R. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environ Res*, 156, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>
- Kliopova, I., & Makarskienė, K. (2015). Improving material and energy recovery from the sewage sludge and biomass residues. *Waste Management*, 36, 269-276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.030>
- Lechtenberg, D., & Diller, H. (2012). *Alternative Fuels and Raw Materials Handbook for the Cement and Lime Industry*. MVW, Lechtenberg & Partner. <https://books.google.com/books?id=KrNNMwEACAAJ>
- Liew, C. S., Yunus, N. M., Chidi, B. S., Lam, M. K., Goh, P. S., Mohamad, M., Sin, J. C., Lam, S. M., Lim, J. W., & Lam, S. S. (2022). A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. *J Hazard Mater*, 423(Pt A), 126995. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126995>
- Lohani, S. (2013). Sustainable Biogas Production Potential from Urban Wastewater in Nepal. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4, 595-599. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2013.V4.420>
- Lorenzo-Toja, Y., Vázquez-Rowe, I., Amores, M. J., Termes-Rifé, M., Marín-Navarro, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2016). Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective. *Sci Total Environ*, 566-567, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.110>
- Maghanaki, M. M., Ghobadian, B., Najafi, G., & Galogah, R. J. (2013). Potential of biogas production in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 702-714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.021>
- Murakami, T., Suzuki, Y., Nagasawa, H., Yamamoto, T., Koseki, T., Hirose, H., & Okamoto, S. (2009). Combustion characteristics of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery. *Fuel Processing Technology*, 90(6), 778-783. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.03.003>
- Nguyen, V., Chaudhary, D., Dahal, R. H., Trinh, H., Kim, J., Chang, S.-W., Hong, Y., La, D. D., Nguyen, X., Ngo, H., Chung, W., & Nguyen, D. D. (2020). Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Fuel*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119105>
- Nwokolo, N. L., Mukumba, P., Oibileke, K., & Enebe, M. C. (2020). Waste to Energy :A Focus on the Impact of Substrate Type in Biogas Production. *Processes* .
- Sanin, F. D., Clarkson, W. W., & Vesilind, P. A. (2011). *Sludge Engineering: The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges*. DEStech Publications, Incorporated. <https://books.google.com/books?id=LO8czJTqbQ0C>
- Santos, I. F. S. d., Barros, R. M., & Tiago Filho, G. L. (2016). Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. *Journal of Cleaner Production*, 126, 504-514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.072>
- Svardal, K., & Kroiss, H. (2011). Energy requirements for waste water treatment. *Water Science and Technology*, 64(6), 1355-1361. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.221>
- Tomasi Morgano, M., Leibold, H., Richter, F., Stapf, D., & Seifert, H. (2017). Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment. *Waste Management*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.049>
- Wang, H., Yang, Z., Li, X., & Liu, Y. (2020). Distribution and transformation behaviors of heavy metals and phosphorus during hydrothermal carbonization of sewage sludge. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27(14), 17109-17122. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08098-4>
- Werle, S., & Sobek, S. (2019). Gasification of sewage sludge within a circular economy perspective: a Polish case study. *Environ Sci Pollut Res Int*, 26(35), 35422-35432. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05897-2>

- Werther, J., & Ogada, T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25(1), 55-116. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(98\)00020-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1285(98)00020-3)
- Winkler, M. K. H., Bennenbroek, M. H., Horstink, F. H., van Loosdrecht, M. C. M., & van de Pol, G. J. (2013). The biodrying concept: An innovative technology creating energy from sewage sludge. *Bioresource technology*, 147, 124-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.138>
- Xu, Z., Song, H., Zhang, S., Tong, S.-Q., He, Z., Wang, Q., Li, B., & Hu, X. (2019). Co-hydrothermal carbonization of digested sewage sludge and cow dung biogas residue: Investigation of the reaction characteristics. *Energy*, 187, 115972. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115972>
- طلوعی, ع., & احمدی, م. (۲۰۲۵). تولید بیوگاز از پساب کارخانه کاغذ بازیافت شده توسط UASB هاضم: شرایط بهینه و مزوفیلیک. *مطالعات علوم محیط زیست*, ۹(۴), ۹۵۶۰-۹۵۵۲. <https://doi.org/10.22034/jess.2024.397583.2033>
- فرج پور باصر, س., & ولی نژاد, ز. (۲۰۱۹). پتانسیل سنجی امکان تولید انرژی از پسماندهای خانگی (نمونه مطالعاتی شهر تهران). *مطالعات علوم محیط زیست*, ۴(۳), ۱۶۴۴-۱۶۵۲. https://www.jess.ir/article_95612_fe614fe45c0ae3448ac1bd6a1380bec9.pdf