Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Research Paper

Economic Evaluation of Energy Production Potential from Municipal Wastewater: Case Study Khorramabad City

Zahra Zolfaghari[1], Sina Kazzazi[2] , Ahmad Hajinezhad[3*]

[1] Master Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran
[2] Master Student, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[3] Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 27 January 2022
Revised 13 March 2022
Accepted 28 March 2022

Keywords:
Anaerobic Digestion
Biogas
Municipal Wastewater
Sustainable Energy Development
Waste Management

ABSTRACT

Global economic development requires increasing water demand for various purposes. Wastewater treatment in these processes leads to an increase in the volume of sewage sludge. However, a significant amount of renewable energy can be recovered from sludge from wastewater treatment. Biomass is one of the energy sources that has the potential of sustainable replacement for fossil fuels, a significant part of which consists of municipal and industrial wastewater. Anaerobic digestion is used as a strategy to generate energy and biogas from municipal waste and sewage. In this study, the energy production potential of wastewater treatment plants in Khorramabad city has been investigated and evaluated using preliminary data (including BOD) on wastewater treatment performance over one year (2021). The results show that annually 2261728 cubic meters of biogas can be produced using the anaerobic digestion method. Using the combined heat and power system can generate 24879008 MW of thermal energy and 476.34 kWh of electricity. Also, the economic evaluation of the system shows that the annual investment costs and operating costs will be 103251697000 and 14620633 Rials, respectively. On the other hand, the refinery can save 44689938600 Rials annually by saving natural gas consumption, selling fertilizer produced, and selling electricity generated to the network. The rate of return on economic capital for implementing this plan is calculated for 3 years and 6 months. In addition to economic justification, implementing this plan will be able to prevent greenhouse gas emissions significantly.

Introduction

In recent years, the rapid growth of the population of cities and the increase in urbanization, the expansion of industries in the direction of industrial development, and the increasing trend of energy consumption have created the phenomenon of an energy crisis. On the other hand, the limited resources of fossil fuels, their non-renewable nature, environmental hazards, and the predicted increase in the price of carriers have led to the use of clean and renewable fuels as a suitable option in replacing carriers for energy production. Also, the attention of policy-makers and planners expand the use of renewable energy sources because of having multiple potentials, geographical locations, and capacities towards the exploitation of the material and energy available in Waste and sewage have been collected. Waste management in the era of urbanization is an open and vital issue that not only helps to recycle waste but also helps to produce green energy in the form of biogas. Therefore, the purpose of this research is to use the wastewater from the Khorramabad refinery for different purposes. The extraction rate of organic matter and the amount of biogas produced from the urban sewage treatment plant of Khorramabad city have

* Corresponding Author, Email: hajinezhad@ut.ac.ir

been evaluated. Also, the amount of energy that can be obtained from this refinery has been checked and the intended economic evaluation has been done to check the operating costs and investment costs.

Method

The wastewater treatment plant of Khorramabad city has three modules, two of which have been put into operation with the anaerobic lagoon process, with a capacity of 100,000 people, and an average flow rate of 55,872 cubic meters of incoming wastewater per day. The third module of this treatment plant is also operating with the capability of a conventional activated sludge process, with a capacity of 150000 people and an input flow rate of 26,231, and an output of 25,937 cubic meters per day. To evaluate the potential of biogas production and calculate the renewable energy from urban sewage in this province, the IPCC method has been used. The information needed to estimate and calculate the amount of energy produced has also been collected from the plant of this province for one year. And the economic evaluation carried out examines operating costs, investment costs, and income from project implementation.

Results and discussions

The increasing use of energy to achieve sustainable development and protection of natural resources and the environment requires societies to identify and use new energy sources. The continuous use of fossil fuels has exposed them to destruction and exhaustion; Also, the pollution caused by their use has increased the amount of greenhouse gases and has provided the basis for global warming. According to Iran's potential in using renewable sources of biomass, it is expected that an important share of energy production will be provided through these sources in the coming years. Also, millions of tons of wastewater are produced annually in various industrial, agricultural, and domestic processes, which can be used for this purpose. In general, there will only be the possibility of producing energy carriers such as biogas from municipal waste through anaerobic digestion. Waste Management Technologies such as aerobic and anaerobic digestion not only help to recycle waste but also help to produce green energy in the form of biogas. Anaerobic digestion produces methane, which can be used in a variety of applications including natural gas grids, boilers, automotive fuel, kitchen stoves, and combined heat and power systems.

The current research has investigated the amount of biogas, organic matter, and the amount of extractable gas. Based on the results obtained from the calculations, the amount of biogas produced from the three modules is calculated to be 2261728 cubic meters annually from the anaerobic digestion method, and by producing this amount of biogas, we can avoid buying 646208 cubic meters of natural gas. It is also suggested to use a CHP system for the simultaneous production of electricity and heat recovery. The results showed that the resulting system will be able to produce 24879008 megawatts of thermal energy and 476.34-kilowatt hours. Also, the economic evaluation of the mentioned system shows that the total annual income will be 44689938600, of which the share of electricity sales will be 4172738 Rials, the share of income from saving gas will be 594511360 and the income from fertilizer sales will be 13425800000 Rials. The annual investment costs and operating costs will be 103251697000 and 14620633 rials, respectively. Based on this evaluation, the system will be able to repay the expenses after 6 years and 3 months.

In total, according to the calculations, the current plan, in addition to being economically attractive, will increase energy efficiency, reduce environmental pollution, and progress in the industry of using clean fuels; Therefore, according to the potential of energy production from the Khorramabad city refinery, the transfer of superior technologies in this field can contribute to the increasing progress of the establishment of renewable energies and the development of clean energies and their exploitation.

سیستم‌های انرژی پایدار، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۳، تابستان ۲۰۲۲، ص ۲۶۳-۲۵۱

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

ارزیابی اقتصادی پتانسیل استحصال انرژی از فاضلاب شهری: مورد مطالعه خرم‌آباد

زهرا ذوالفقاری[۱]، سینا کزازی[۲]، احمد حاجی‌نژاد[۳*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

[۳] دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۰۷

تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۱/۰۸

کلیدواژه:

بیوگاز

توسعهٔ پایدار انرژی

فاضلاب شهری

مدیریت پسماند

هضم بی‌هوازی

چکیده

توسعهٔ اقتصادی جهانی مستلزم افزایش تقاضا برای استفاده از آب به منظور اهداف مختلف است. تصفیهٔ فاضلاب در این فرایندها منجر به افزایش حجم لجن فاضلاب می‌شود. با این‌حال، مقدار قابل توجهی از انرژی تجدیدپذیر را می‌توان از لجن حاصل از تصفیهٔ فاضلاب بازیابی کرد. زیست‌توده، از جمله منابع انرژی است که پتانسیل جایگزینی مداوم برای سوخت‌های فسیلی را دارد که بخش قابل توجهی از آن از فاضلاب‌های شهری و صنعتی تشکیل می‌شود. هضم بی‌هوازی به‌عنوان یک استراتژی برای تولید انرژی و بیوگاز، از زباله و فاضلاب شهری به کار می‌رود. در این مطالعه پتانسیل استحصال انرژی از فاضلاب تصفیه‌خانه‌های شهرستان خرم‌آباد با استفاده از داده‌های اولیه (شامل BOD) در مورد عملکرد تصفیهٔ فاضلاب طی یک دورهٔ یک‌ساله (۱۴۰۰) بررسی و ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد به طور سالیانه با استفاده از روش هضم بی‌هوازی می‌توان ۲۲۶۱۷۲۸ مترمکعب بیوگاز تولید کرد. با استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت می‌توان ۲۴۸۷۹۰۰۸ مگاوات انرژی حرارتی و ۴۷۶٫۳۴ کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی تولید کرد. همچنین، ارزیابی اقتصادی سیستم نشان می‌دهد هزینه‌های سالانه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی به‌ترتیب ۱۰۳۲۵۱۶۹۷۰۰۰ و ۱۴۶۲۰۶۳۳ ریال خواهد بود. در مقابل تصفیه‌خانه قادر است تا با صرفه‌جویی مصرف گاز طبیعی، فروش کود تولید شده و فروش برق تولیدی به شبکه به طور سالیانه ۴۴۶۸۹۹۳۸۶۰۰ ریال درآمد کسب کند. نرخ بازگشت سرمایهٔ اقتصادی برای اجرای این طرح ۳ سال و ۶ ماه محاسبه شده است. اجرای این طرح علاوه بر توجیه‌پذیری اقتصادی قادر خواهد بود تا از انتشارت گازهای گلخانه‌ای به طور قابل توجهی جلوگیری کند.

مقدمه

در سال‌های اخیر رشد سریع جمعیت شهرها و افزایش شهرنشینی، گسترش صنایع در جهت توسعهٔ صنعتی و روند رو به افزایش مصرف انرژی، پدیدهٔ بحران انرژی را به وجود آورده است [۱]. از سوی دیگر، محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، تجدیدناپذیر بودن، مخاطرات زیست‌محیطی و پیش‌بینی افزایش قیمت حامل‌ها سبب شده است تا استفاده از سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر به عنوان گزینهٔ مناسبی در جایگزینی حامل‌ها برای تولید انرژی در نظر گرفته شوند [۲]. همچنین، توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان حوزهٔ انرژی در جهت گسترش استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به

* نویسندهٔ مسئول

Email: hajinezhad@ut.ac.ir

داشتن پتانسیل‌ها، موقعیت‌های جغرافیایی و ظرفیت‌های متعدد به سوی بهره‌برداری از ماده و انرژی موجود در پسماندها و فاضلاب‌ها جلب شده است [۳]. وقوع بحران کم‌آبی و محدودیت در این منابع در بیشتر نقاط کشور موجب شده است تا استفادهٔ مجدد از منابع پساب تصفیه‌خانه‌های شهری به عنوان روشی پایدار در جهت مقابله با این بحران در کشور اهمیت پیدا کند. علاوه بر این، حدود ۷۵ درصد از آبی که در مصارف شهری استفاده می‌شود، به فاضلاب تبدیل می‌شود.

بر اثر فعالیت‌های زیستی انسان، ترکیب رقیقی از انواع آب‌های دورریختنی حاصل شده که فاضلاب نامیده می‌شود که اغلب توسط شبکه‌های فاضلاب جمع‌آوری می‌شوند. تولیدات فاضلاب با روند روبه‌رشدی مواجه است که پیشگیری از ایجاد آن امکان‌پذیر نیست [۴]. بنابراین باید از روش‌هایی استفاده شود که هم از آلودگی آب‌ها جلوگیری شود و هم میزان انتشار آن در محیط زیست کاهش یابد، و هم از مواد حاصل پتانسیل تولید انرژی ایجاد شود. استفاده از انرژی تولیدی حاصل از فاضلاب و پسماندها برای تأمین تقاضای انرژی، مدیریت کمی، کیفی یا اقتصادی منابع انرژی سوخت‌های تجدیدناپذیر، یکی از راهبردهای فرایند توسعهٔ پایدار در نظر گرفته می‌شود [۵].

فضولات طی فرایندها و فعالیت‌های مختلف در دو حالت جامد و مایع تولید می‌شود که بخش مایع این فضولات به عنوان فاضلاب شناخته می‌شود و دارای میکروارگانیسم‌ها و ترکیبات بیماری‌زا و سمی بسیاری است که قابلیت ایجاد سرطان را دارند. لجن فاضلاب، حاصل از ته‌نشین شدن مواد معدنی و آلی است که در مراحل گوناگون تصفیه به صورت تودهٔ متراکمی از فاضلاب تشکیل شده و جدا می‌شود [۶]. همچنین، می‌توانند به عنوان یک منبع انرژی قابل کاربرد در تولید انرژی الکتریکی و یا در صنعت قابل بهره‌برداری باشد.

به واسطهٔ ترکیبی از فعل و انفعالات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی که در فرایند تصفیهٔ فاضلاب انجام می‌شود، مواد آلی، معدنی و مواد مغذی از آن جدا می‌شوند. در حالی که راه‌های بسیاری برای استفادهٔ مجدد از فاضلاب و پساب به منظور حفظ سلامت پیشنهاد شده است، این رهنمودها بر مبنای پایش‌های سنتی مانند ارگانیسم‌های بیماری‌زا و PH,BOD,TSS هستند [۷].

برگزیدن یک روش مناسب برای استحصال انرژی از لجن تحت تأثیر فناوری و امکانات فنی و اقتصادی، همچنین نوع و مقدار لجن است. استحصال انرژی از فرایند هضم بی‌هوازی برای تولید بیوگاز یکی از روش‌های مدیریت لجن فاضلاب است که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. طی این فرایند، مواد آلی پیچیده و نامحلول موجود در فاضلاب توسط میکروارگانیسم‌ها به مواد آلی محلول تبدیل می‌شوند و در صورت نبود اکسیژن، به انرژی زیستی یا بیوگاز تبدیل می‌شوند که مخلوطی از گاز متان و کربن‌دی‌اکسید است [۸].

تا کنون مطالعات داخلی بسیاری برای بررسی تصفیهٔ فاضلاب به منظور مصارف متنوع و تولید انرژی صورت گرفته است. بخشی و همکاران پتانسیل ایران را در زمینهٔ به‌کارگیری روش هضم بی‌هوازی در ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد با در نظر گرفتن پتانسیل ۹۶ تصفیه‌خانه در کشور که در حال بهره‌برداری هستند (با ظرفیت ۲۷۹۴۷۰۰ مترمکعب فاضلاب) می‌توان سالیانه ۵۰۸۱۹۸ گیگا ژول انرژی تولید کرد که این مقدار انرژی معادل ۱۴۱ مگاوات ساعت برق خواهد بود. همچنین، کلان‌شهرهای ایران بیشترین پتانسیل تولید بیوگاز را دارند [۹].

درخشان‌فر و همکاران به بررسی و ارزیابی استحصال بیوگاز به روش لجن فعال از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب استان اصفهان به منظور استفاده در سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت[1] (CHP) پرداختند. همچنین، در این پژوهش جنبه‌های اقتصادی نیروگاه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش یادشده نشان داد در سال‌های آتی کشور قادر است تا سهم بسزایی از تولید انرژی را از طریق نیروگاه‌های زیست‌توده تأمین کند. علاوه بر این، استفاده از بیوگاز تولیدشده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب قابلیت توجیه‌پذیری اقتصادی دارد و باعث کاهش آلودگی زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی خواهد شد [۱۰]. گرجی تهرانی و همکاران به بررسی و ارزیابی روش‌های تولید انرژی از فاضلاب پرداختند و دریافتند که امکان تولید انرژی به صورت گاز یا مایع از لجن فاضلاب شهری وجود دارد. در فرایند تصفیهٔ فاضلاب هر فرد روزانه قادر به تولید ۵۰۰ گرم لجن است که

1. Combined Heat and Power

می‌تواند به عنوان یکی از منابع مهم انرژی مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین، نویسندگان دریافتند به طور کلی بازیابی انرژی را از دو طریق شیمیایی- حرارتی و بیولوژیکی می‌توان انجام داد و در حال حاضر تنها از طریق هضم بی‌هوازی لجن امکان تولید حامل‌های انرژی وجود دارد [۵].

شهیدی و دولت‌آبادی به بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب پرداختند. در این پژوهش پارامترهای کیفی مانند هدایت الکتریکی، فلزات سنگین، غلظت کل مواد محلول، BOD_5،COD و TSS را در بازهٔ زمانی دوساله مورد بررسی قرار دادند و به منظور بررسی مجدد در صنعت کشاورزی با استانداردهای ارائه‌شده توسط سازمان محیط زیست مقایسه کردند. این ارزیابی نمایان ساخت که پساب یادشده با استانداردها مطابقت دارد و می‌توان با پایش مداوم و تجهیز و توسعهٔ تصفیه‌خانه در آبیاری فضای سبز، مناطق تفریحی و کشاورزی استفاده کرد [۱۱]. جمشیدی و همکاران رویکرد جدیدی را برای استفادهٔ پساب معرفی کردند. در این مطالعه پیشنهاد شد جریان خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری که حاوی مقادیر زیادی از مواد مغذی است را برای آبیاری محصولات کشاورزی مانند ذرت استفاده کنند. همچنین، محصولات تولیدشده پس از دپو، با روش هضم بی‌هوازی از طریق تولید بیوگاز، انرژی الکتریکی تولید کنند. طبق نتایج و برآوردهای صورت‌گرفته با استفاده از رویکرد پیشنهادی می‌توان از هر متر پساب بین ۳۰ تا ۴۰ مگاژول انرژی استحصال کرد که در کاهش گازهای گلخانه‌ای راهکاری مؤثر است [۱۲].

سلمانی و همکاران مطالعه‌ای را در زمینهٔ امکان‌سنجی احداث واحد CHP با بیوگاز در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر کاشان انجام دادند و فرایند موتور بیوگازسوز قابل اجرا در این تصفیه‌خانه را بررسی کردند. اجرای سیستم حاضر باعث کاهش هزینه‌های سوخت و استفاده از انرژی‌های پاک برای تولید انرژی الکتریکی و حرارتی می‌شود. سیستم طراحی‌شده قادر به تولید ۴۶۶ کیلووات برق و ۵۶۶ کیلووات حرارت خواهد بود. همچنین، هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و نصب دو واحد CHP حدود ۲۷۰ هزار دلار برآورد شده است که این هزینه طی ۴ سال برگشت داده خواهد شد [۱۳]. خدایاری و همکاران پژوهشی به منظور بررسی فنی و اقتصادی استحصال بیوگاز از پسماندهای شهری در جهت تولید برق انجام دادند. در این پژوهش پارامترهای فنی و اقتصادی استحصال بیوگاز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خاطرنشان کرد استفاده از بیوگاز در تولید برق کاملاً به‌صرفه بوده و به ازای تولید هر کیلوات ساعت برق از بیوگاز، می‌توان ۰/۲۶ مترمکعب در مصرف گاز صرفه‌جویی کرد [۱۴].

طالبی و محمدزاده مطالعه‌ای را در مورد بررسی پتانسیل تولید انرژی الکتریکی از تصفیه‌خانهٔ تبریز به منظور استفاده در سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت انجام دادند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد استفاده از CHP و سلول‌های سوختی یکی از بهترین راهکارهای ممکن در تولید انرژی و حرارت در تصفیه‌خانه بوده که علاوه بر این قادر به کاهش عوامل بیماری‌زا و حجم لجن است. تصفیه‌خانهٔ شهر تبریز قابلیت تولید ۲/۵ مگاوات برق را دارد و قادر است بخش اعظمی از انرژی مورد نیاز در دو مدول این تصفیه‌خانه را تأمین کند [۱۵].

علاوه بر مطالعات داخلی، بسیاری از کشورهای جهان مشتاق استفاده از بیوگاز تولیدی حاصل از فاضلاب به عنوان منبع امیدوارکنندهٔ تجدیدپذیر هستند. Northumbrian Water یکی از شرکت‌های آب بریتانیا از روش هضم بی‌هوازی در فرایند تصفیهٔ فاضلاب خود برای تولید بیوگاز استفاده کرد. این شرکت از یک CHP به منظور تبدیل بیوگاز به برق و حرارت استفاده کرد. پتانسیل تولید برق سالانهٔ این تصفیه‌خانه ۳۷ گیگاوات ساعت بود [۱۶].

در پژوهشی که راینار و همکاران انجام دادند، طراحی یک نیروگاه پسماند آلی با استفاده از فناوری هضم بی‌هوازی و سلول سوختی اکسید جامد همراه با بررسی این فناوری‌ها ارائه شده است. کیفیت و کمیت بیوگاز تولیدشده از این سیستم از طریق فرایند هضم بی‌هوازی با مدل‌سازی ترکیب شیمیایی زبالهٔ شهری و محتوای اکسیژن شیمیایی[1] (COD) تعیین شد. نتایج مشخص کرد که ترکیب فناوری‌های هضم بی‌هوازی و سلول‌های سوختی در مقیاس شهری می‌تواند برای محیط زیست مفید باشد. سلول‌های سوختی قادرند انرژی پتانسیل شیمیایی ذخیره‌شده در زباله‌های شهری را به طور مؤثر به انرژی الکتریکی و گرمایی مفید تبدیل کنند.

1. Chemical Oxygen Demand

به طور کلی، این سیستم ترکیبی می‌تواند بین ۴۸۰ کیلووات تا ۱۴۱۰ کیلووات انرژی الکتریکی پاک و کربن خنثی تولید کند. استفاده از فناوری سلول‌های سوختی همچنین از انتشار آلاینده‌ها در جو جلوگیری می‌کند. ادغام این دو فناوری یک راه‌حل پایدار و به‌صرفه برای مدیریت زباله و تولید انرژی است [۱۷].

ژانگ و همکاران به مطالعهٔ استحصال متان از لجن فاضلاب با استفاده از روش هضم بی‌هوازی پرداختند. در این مطالعه از روش اکسیداسیون هوای مرطوب[1] (WAO) برای تجزیهٔ لجن هضم‌شده به منظور تولید بیشتر متان استفاده شد. اکسیداسیون هوای مرطوب می‌تواند بیشتر مواد آلی را در لجن هضم‌شده حل و تبدیل به مواد معدنی کند و آبگیری لجن را بهبود بخشد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد مواد آلی هضم‌شده مانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها طی WAO به اسید استیک و سایر اسیدهای چرب فرّار تجزیه می‌شوند و استفادهٔ این سیستم میزان استحصال متان را ۵۱ درصد افزایش می‌دهد [۱۸].

ژو و همکاران با استفاده از روش پیش‌حرارت‌دهی جریان فاضلاب تصفیه‌خانه به بهبود اثر هضم بی‌هوازی پرداختند. نتایج تعیین کرد پیش‌حرارت‌دهی فاضلاب اثر حلالیت خاصی بر مواد آلی موجود در فاضلاب داشته است. میزان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول به بالاترین حد خود (۷۵ درصد) و بازده متان تجمعی به ۶۶ درصد افزایش یافت. بر اساس این پژوهش با تصفیهٔ روزانه ۱۵ هزار تن فاضلاب، می‌توان به طور کامل مصرف برق تصفیه‌خانهٔ فاضلاب را با سیستم هضم بی‌هوازی تأمین کرد و هزینه‌ها را به طور قابل توجهی کاهش داد [۱۹].

مدیریت پسماند در عصر شهرنشینی یک موضوع باز و حیاتی است که نه‌تنها به بازیافت زباله کمک می‌کند، بلکه به تولید انرژی سبز در قالب بیوگاز کمک‌کننده خواهد بود. از این‌رو هدف این پژوهش، استفاده از فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه خرم‌آباد برای مصارف مختلف است. میزان استحصال مواد آلی و میزان بیوگاز تولیدشده از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری شهرستان خرم‌آباد مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، میزان انرژی قابل دریافت از این تصفیه‌خانه بررسی شده و ارزیابی اقتصادی مورد نظر در جهت بررسی هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری صورت گرفته است.

معرفی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهرستان خرم‌آباد

خرم‌آباد بیست و سومین شهر پرجمعیت ایران و مرکز استان لرستان با جمعیت ۵۰۶۴۷۱ نفر با میزان مصرف سرانهٔ آب ۲۵۴ لیتر در روز به ازای هر نفر است. تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهرستان خرم‌آباد در سال ۱۳۸۸ احداث شده و دارای سه مدول بوده که دو مدول آن با فرایند لاگون بی‌هوازی به ظرفیت هر یک ۱۰۰ هزار نفر و میانگین دبی فاضلاب ورودی ۵۵۸۷۲ و خروجی ۵۴۲۷۰ متر مکعب در روز به بهره‌برداری رسیده‌اند. مدول سوم این تصفیه‌خانه نیز با قابلیت فرایند لجن فعال متعارف، با ظرفیت ۱۵۰ هزار نفر و دبی ورودی ۲۶۲۳۱ و خروجی ۲۵۹۳۷ متر مکعب در روز در حال فعالیت است. در مجموع، تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر خرم‌آباد قادر به تصفیهٔ فاضلاب جمعیت ۳۵۰ هزار نفر در این شهر است. شکل ۱ نمایی از تصفیه‌خانهٔ شهرستان خرم‌آباد را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

استحصال انرژی

به منظور ارزیابی پتانسیل تولید بیوگاز و محاسبهٔ انرژی قابل بازیافت از فاضلاب شهری این استان از روش IPCC[2] استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز برای برآورد و محاسبهٔ میزان انرژی تولیدی نیز به مدت یک سال از تصفیه‌خانهٔ این استان جمع‌آوری شده است.

استحصال انرژی از طریق فرایند هضم بی‌هوازی صورت می‌گیرد که میزان بیوگاز تولیدی از این روش تقریباً یک مترمکعب از هر کیلوگرم لجن است [۲۰]. گاز متان به‌دست‌آمده از لجن فاضلاب شامل ۵۵ـ ۷۵ درصد متان، ۲۵ـ ۴۵ درصد گاز کربن‌دی‌اکسید و مقادیری از گازهای دیگر است [۲۱]. گاز کربن‌دی‌اکسید ناشی از احتراق متان به‌دست‌آمده از منابع زیست‌توده، توسط فرایند فتوسنتز به چرخهٔ زیستی وارد می‌شود و اشتعال آن کربن‌دی‌اکسید اضافی را به محیط زیست وارد نمی‌کند [۲۲]. همچنین، گاز متان حاصل از هضم بی‌هوازی می‌تواند به عنوان سوخت در مخازن فشار یا در تأمین حرارت و الکتریسیتهٔ پیل‌های سوختی و نیروگاه‌های CHP یا منبع حرارتی در دیگ‌های بخار[3] مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، از

1. Wet-Air Oxidation

2. The Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Boiler

بیوگاز در موتورهای احتراقی که سوخت مورد نیاز آن‌ها از گاز تأمین می‌شوند، به همراه یک سیستم CHP برای تولید الکتریسیتهٔ مورد نیاز در تصفیه‌خانه و یا ارسال بخار داغ تولیدی در واحد CHP به منظور گرمایش برای افزایش رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌هایی که باعث بهتر شدن فرایند هضم و تخمیر و تولید بیوگاز می‌شوند، می‌توان استفاده کرد که به موجب آن خواص کود به‌دست‌آمده از لجن هضم‌شده نیز افزایش می‌یابد و محصولی مناسب برای استفاده در صنعت کشاورزی به شمار می‌رود [۲۳].

همان‌طور که پیش‌تر شرح داده شد، استفاده از لجن فاضلاب برای استحصال انرژی و کاربرد در صنایع متفرقه مانند تولید الکتریسیته یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای مدیریت لجن است که شامل مزایای خاص خود است که استفاده از آن همچنان در کشورهای سطح جهان درحال‌توسعه است. جدول ۱ میزان الکتریسیتهٔ تولیدشدهٔ حاصل از لجن فاضلاب تصفیه‌خانه‌های برخی از کشورهای جهان را نشان می‌دهد [۲۴].

شکل ۱. نمایی از تصفیه‌خانهٔ خرم‌آباد

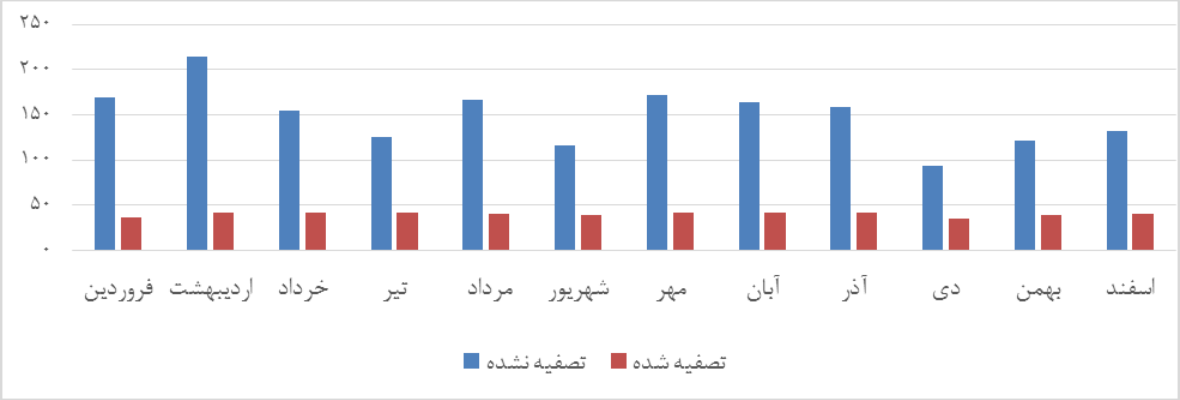
جدول ۱. تولید برق از فاضلاب در برخی کشورهای جهان [۲۴]

	استرالیا	برزیل	دانمارک	فنلاند	فرانسه	آلمان	نروژ	کره	سوئد	سوئیس	انگلیس
تعداد واحدها	۴۴	۵	۵۷	۱۶	۶۰	۱۴۰۰	۲۵	۳۸	۱۳۷	۴۶۵	۱۴۶
ظرفیت تولید برق (GWH/Y)	۲۶	۴۲	۲۵۰	۱۲۶	۹۷	۱۳۱۰	۱۶۴	۹۶۹	۶۷۲	۵۵۰	۷۶۱

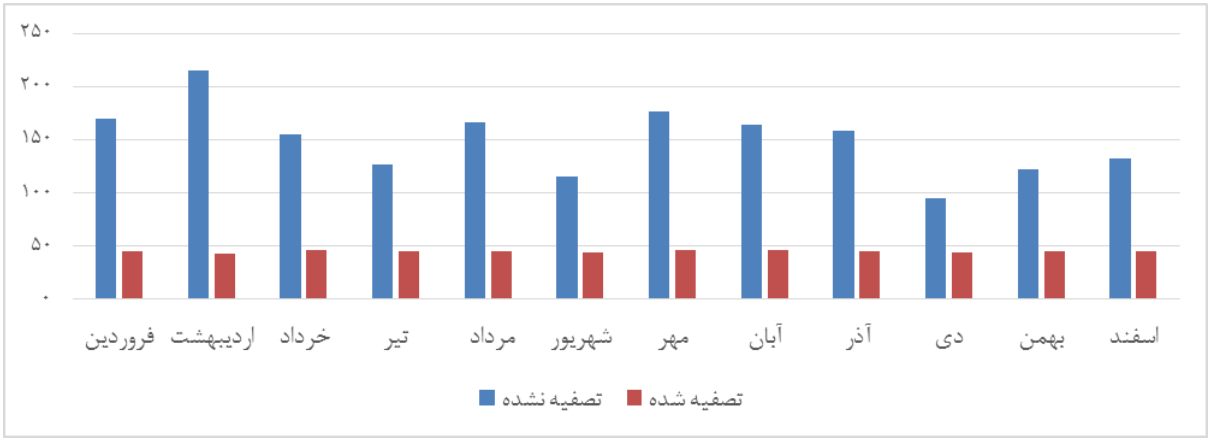
میزان تولید متان در بیوگاز به دما، PH، رابطهٔ کربن - نیتروژن، غلظت مواد جامد موجود، زمان ماند و میزان مواد آلی تجزیه‌پذیر موجود در جریان فاضلاب ورودی و نوع سامانهٔ تصفیه و فرایند آن بستگی دارد که میزان مواد آلی تجزیه‌پذیر موجود در فاضلاب از جمله عوامل اصلی است که بر میزان تولید متان از بیوگاز تأثیر می‌گذارد [۲۵ و ۲۶]. در روش هضم بی‌هوازی، انرژی قابل استحصال از فاضلاب شهری رابطهٔ مستقیمی با میزان متان یا بیوگاز استحصالی از فاضلاب دارد؛ پس برای به دست آوردن انرژی، نیاز به برآورد متان قابل استحصال داریم [۲۷].

دستورالعمل IPCC رویه برآورد میزان کل متانی که به عنوان گاز گلخانه‌ای به جو منتشر می‌شود را ارائه می‌دهد. تمامی متانی که از مرحلهٔ تولید فاضلاب تا انتقال، تصفیه، لجن و پساب خروجی تولید می‌شود را می‌توان به کمک این روش محاسبه کرد. پارامترهای اصلی در تعیین پتانسیل متان فاضلاب، میزانBOD (تقاضای بیوشیمیایی مقدار متان قابل تولید، تابعی است از میزان کربن فسادپذیر موجود در فاضلاب، که میزان کربن فسادپذیر نیز به کمک پارامتر BOD سنجیده می‌شود. هرچه مقدار کربن فسادپذیر بیشتر باشد، مقدار متان قابل تبدیل در

واکنش‌های بی‌هوازی بیشتر خواهد شد. میزان BOD ورودی و خروجی در سه مدول فاضلاب در شکل‌های ۲ و ۳ میانگین میزان BOD فاضلاب ورودی به مدول یک و دو ۱۴۴ و میانگین خروجی آن ۴۰ میلی گرم بر لیتر است. همچنین، میانگین میزان BOD فاضلاب ورودی به مدول سه ۱۴۴ و خروجی آن ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر است.



شکل ۲. میزان BOD در مدول ۱ و ۲ تصفیه‌خانهٔ فاضلاب



شکل ۳. میزان BOD در مدول ۳ تصفیه‌خانهٔ فاضلاب

برآورد پتانسیل متان قابل استحصال از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب از روش IPCC به شرح زیر خواهد بود [۲۹]:

۱ـ میزان کل مواد آلی موجود در فاضلاب در سال مورد نظر با استفاده از معادلهٔ ۱ محاسبه می‌شود:

$$TOW=D\times I\times 0.001\times BOD\times C \qquad (۱)$$

TOW= پارامتر نشان‌دهنده کل مواد آلی در فاضلاب (kg BOD/year)

D= تعداد روزهای فعالیت (حداکثر ۳۶۵)

I= ضریب تصحیح BOD فاضلاب با توجه به فاضلاب‌های جانبی ورودی (که به طور متوسط عدد ۱/۲۵ در نظر گرفته می‌شود).

0.001= ضریب تبدیل BOD (g BOD/kg)

BOD= شاخص میانگین BOD در فاضلاب شهری (mg/L)

C= ظرفیت تصفیه‌خانهٔ فاضلاب (m^3/year)

۲ـ ضریب انتشار با استفاده از معادلهٔ ۲ قابل محاسبه خواهد بود.

$$EF=MCF\times B_O \qquad (۲)$$

EF[1]= ضریب انتشار

MCF[2]= ضریب تصحیح متان (متناسب با دستورالعمل IPCC برابر با ۰٫۵ لحاظ می‌شود).

1. Emission Factor
2. Methane Correction Factor

B_O = حداکثر ظرفیت تولید گاز متان بر حسب kg CH4/kg BOD که حدود ۰/۵۵۴ فرض می‌شود.

۳ـ میزان متان قابل استحصال از تصفیهٔ فاضلاب از معادلهٔ ۳ برآورد می‌شود.

$$Kg\ CH4/kg\ BOD = TOW \times EF \quad (۳)$$

یک مترمکعب متان دارای ارزش حرارتی ۳۳۸۱۰ کیلوژول است؛ به این معنا که ۱ کیلوگرم متان ۵۰/۳۱۲۵ مگاژول انرژی تولید می‌کند. تبدیل انرژی با استفاده از رابطه تبدیل 1KWh=3.6 MJ انجام می‌شود.

میزان انرژی الکتریکی قابل استحصال از متان حاصل بیوگاز تولیدی از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود:

$$P_e = \frac{E \times \eta}{M} \quad (۴)$$

P_e = میزان انرژی الکتریکی قابل استحصال

η = بازده الکتریکی ژنراتور که به طور متوسط ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است.

E= پتانسیل تولید برق از متان (MWh/kg CH4)

M= درصدی از سال که سامانه عملکرد بهینه دارد که ۱۰۰ درصد فرض شده است.

نتایج و بحث

قابلیت تولید انرژی

میزان متان قابل استحصال از فاضلاب متأثر از جمعیت تحت پوشش واحدهای تصفیه‌خانه است. شهرستان خرم‌آباد واقع‌شده در استان لرستان در سه تصفیه‌خانه قادر به تصفیهٔ فاضلاب جمعیت ۳۵۰ هزار نفر در این شهر است. همچنین، در این تصفیه‌خانه هیچ‌گونه بهره‌برداری از هاضم‌ها و بیوگاز استحصال‌شده صورت نمی‌گیرد. به طور خلاصه، نتایج برآوردشده از محاسبات در جدول ۲ شرح داده شده است.

با توجه به میزان دبی‌های ورودی به تصفیه‌خانه که در جدول ۲ ذکر شده است و با در نظر گرفتن میزان BOD استخراج‌شده از هر لیتر فاضلاب ورودی، مقدار کل مواد آلی ورودی به سیستم سالیانه ۳۸۳۵۹۴۷ کیلوگرم خواهد بود. علاوه بر این، میزان بیوگاز تولیدی از سه مدول به طور سالانه از روش هضم بی‌هوازی ۲۲۶۱۷۲۸ کیلوگرم محاسبه می‌شود. همچنین، با توجه به معادلات شرح‌داده‌شده در قسمت بالا میزان متان به‌دست‌آمده از هر سه مدول این تصفیه‌خانه ۱۰۶۲۵۵۷ کیلوگرم در سال است.

جدول ۲. نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات

دبی ورودی مدول ۱ (m^3/day)	۵۵۸۷۲
دبی ورودی مدول ۲ (m^3/day)	۲۶۲۳۱
کل مواد آلی ورودی به سیستم (kg/year)	۳۸۳۵۹۴۷
مقدار بیوگاز تولیدی (m^3/year)	۲۲۶۱۷۲۸
کل متان ورودی به سیستم (kg/year)	۱۰۶۲۵۵۷

ارزیابی اقتصادی

با توجه به ضریب تبدیل هر مترمکعب گاز طبیعی به بیوگاز (انرژی هر مترمکعب گاز طبیعی برابر با انرژی ۱/۷۵ مترمکعب بیوگاز است)، مقدار بیوگاز تولیدی برابر با تولید سالانه ۱۲۹۲۴۱۶ مترمکعب گاز طبیعی است. در نتیجه، با استفاده از این میزان گاز طبیعی صرفه‌جویی کرد که خود مزایای زیست‌محیطی بسیاری دارد. در این مطالعه راندمان تولید حرارت ۰/۵ و راندمان تولید برق ۰/۳ در نظر گرفته شده است. همچنین، با توجه به اینکه میزان استحصال انرژی از هر مترمکعب بیوگاز، ۲۲ هزار کیلوژول است، میزان تولید انرژی حرارتی ۲۴۸۷۹۰۰۸ مگاژول و میزان

با توجه به میزان استحصال بیوگاز از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهرستان خرم‌آباد، چنانچه به صورت بهینه از این گاز استفاده نشود؛ باید سوزانده شود که این امر موجب اتلاف انرژی، آلودگی محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین، با در نظر گرفتن یارانه‌هایی بر تعرفهٔ برق که دولت‌ها به مصرف‌کنندگان برق تولیدی از بیوگاز ارائه می‌دهند، امکان فروش برق به دولت نیز وجود خواهد داشت. به همین دلیل، استفاده از سیستم CHP برای تولید هم‌زمان برق و حرارت پیشنهاد شده است که سوخت مورد نیاز از طریق بیوگاز تولیدی توسط هاضم‌های بی‌هوازی تصفیه‌خانه تأمین می‌شود.

تولید برق الکتریکی ۱۴۹۲۷۴۰۴٫۸ مگاژول (۴۱۴۶۵۰۱ کیلووات‌ساعت) خواهد بود. این میزان انرژی تولیدی به طور سالیانه با فرض اینکه تصفیه‌خانه و CHP در هر ۲۴ ساعت شبانه‌روز فعالیت می‌کنند، در نظر گرفته شده است. نتایج این محاسبات در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. تولید انرژی حرارتی و الکتریسیته

ضریب تبدیل هر مترمکعب گاز طبیعی به هر مترمکعب بیوگاز	۱٫۷۵
گاز طبیعی استحصال‌شده (m^3)	۱۲۹۲۴۱۶
انرژی حاصل از تولید یک متر بیوگاز (MJ)	۲۲
انرژی حرارتی بازیافتی از یک مترمکعب بیوگاز	٪۸۰
کارایی تولید برق از یک مترمکعب بیوگاز	٪۳۰
کارایی تولید حرارت از یک مترمکعب بیوگاز	٪۵۰
انرژی حاصل از کل بیوگاز تولیدی (MJ)	۴۹۷۵۸۰۱۶
انرژی (حرارتی) قابل بازیابی (MJ)	۲۴۸۷۹۰۰۸
انرژی (الکتریکی) قابل بازیابی (KWh)	۴۷۶٫۳۴

درآمدها

درآمد طرح یادشده از دو بخش عمده تشکلی شده است که شامل است از: درآمد حاصل از صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی، درآمد حاصل از فروش کود و درآمد حاصل از فروش برق تولیدشده. صرفهٔ اقتصادی هر یک از موارد یادشده در زیر شرح داده شده است. همچنین، جدول ۴ نتایج حاصل از محاسبات زیر را به طور مختصر نشان داده است.

الف) درآمد حاصل از صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی

از جمله درآمدهای طرحی که برای تصفیه‌خانهٔ فاضلاب به شمار می‌رود، استفاده از بیوگاز تولیدی است که باعث می‌شود در مصرف گاز طبیعی صرفه‌جویی قابل توجهی شود. با استفاده از CHP درنظرگرفته‌شده، می‌توان نیمی از حرارت و برق را بازیابی کرد؛ بنابراین همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد با استفاده از میزان بیوگاز تولیدی از تصفیه‌خانهٔ شهر خرم‌آباد، استفاده از گاز طبیعی ۶۴۶۲۰۸ مترمکعب کاهش پیدا می‌کند. به بیان دیگر، با محاسبهٔ قیمت خرید گاز در بخش کشاورزی (۹۲۰ ریال بر مترمکعب) ۵۹۴۵۱۱۳۶۰ ریال به درآمدهای این سیستم افزوده خواهد شد.

ب) درآمد حاصل از فروش کود

با توجه به دبی ورودی به سیستم تصفیه‌خانهٔ این استان، سالانه میزان ۱۳۴۲۵۸ کیلوگرم کود استحصال می‌شود. میانگین قیمت فروش هر کیلو ۱۰۰ هزار ریال در نظر گرفته شده است؛ بنابراین ۱۳۴۲۵۸۰۰۰۰۰ ریال درآمد از طریق فروش کود حاصل می‌شود.

ج) درآمد حاصل از فروش برق تولیدشده

بنا بر تصمیم هیئت دولت و طبق مصوبه، قیمت خرید برق از نیروگاه‌های انرژی‌های پاک، پایه قیمت فروش برق در سال ۱۴۰۰ در واحدهای صنعتی به طور متوسط برابر با ۷۳۵۰ ریال به ازای هر کیلووات برق تولید است. با توجه به اینکه در سیستم پیشنهادی سالانه ۴۱۷۲۷۳۸ کیلووات برق تولیدشده، درآمد حاصل از فروش آن سالیانه ۳۰۶۶۹۶۲۷۲۰۰ ریال است.

جدول ۴. درآمد سالیانه طرح بر حسب ریال

درآمد حاصل از صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی	۵۹۴۵۱۱۳۶۰
درآمد حاصل از فروش کود	۱۳۴۲۵۸۰۰۰۰۰
درآمد حاصل از فروش برق تولیدشده	۳۰۶۶۹۶۲۷۲۰۰
مجموع درآمد سالیانه	۴۴۶۸۹۹۳۸۶۰۰

در مجموع، این سیستم سالیانه ۴۴۶۸۹۹۳۸۶۰۰ ریال درآمد خواهد داشت.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری

جدول ۵ هزینه‌های اولیه و هزینهٔ عملیاتی طرح را نشان می‌دهد. هزینهٔ اولیه برای راه‌اندازی این سیستم، ۲۱۶۷۶۰۵۰۰۰۰۰ ریال به ازای هر یک مگاوات برق تولیدی است. با توجه به اینکه این سیستم ۴۷۶ کیلووات برق تولید می‌کند، هزینهٔ راه‌اندازی ۱۰۳۲۵۱۶۹۷۰۰۰ ریال محاسبه می‌شود که از این مقدار ۵۵ درصد مربوط به

سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت، ۱۵درصد مربوط به سیستم تصفیهٔ گاز، ۱۰درصد هزینهٔ اتصال به شبکه، ۱۰ درصد هزینه لوله‌گذاری و ساختمان‌سازی و ۱۰ درصد هزینهٔ طراحی و راه‌اندازی خواهد بود. به طور کلی، هزینهٔ عملیاتی این سیستم در یک سال نیز برابر با ۱۴۶۲۰۶۳۳ ریال است.

جدول ۵. هزینه‌های سرمایه‌گذاری طرح

نرخ تنزیل	٪۲۱
ساعت کارکرد سالانه	۸۷۶۰
نرخ تورم	٪ ۴۰
هزینهٔ استهلاک	٪ ۱۰
هزینهٔ اولیه برای راه‌اندازی	۱۰۳۲۵۱۶۹۷۰۰۰
هزینهٔ عملیاتی	۱۴۶۲۰۶۳۳

همچنین به منظور ارزیابی اقتصادی این سیستم از دو روش دورهٔ بازگشت سرمایه‌گذاری حسابداری و دورهٔ بازگشت سرمایه اقتصادی استفاده شده است. با توجه به محاسبات انجام‌شده، نتایج به‌دست‌آمده برای روش دورهٔ بازگشت سرمایه‌گذاری حسابداری و اقتصادی در جدول ۶ نمایش داده شده است. بر اساس موارد یادشده در جدول دورهٔ بازگشت سرمایه‌گذاری حسابداری سیستم حاضر ۲ سال و ۴ ماه بوده و در مقابل دورهٔ بازگشت سرمایه اقتصادی ۳ سال و ۶ ماه خواهد بود.

جدول ۶. دورهٔ بازگشت سرمایه

دورهٔ بازگشت سرمایه‌گذاری حسابداری	۲ سال و ۴ ماه
نرخ بازگشت سرمایه	٪۴۳
دورهٔ بازگشت سرمایه اقتصادی	۳ سال و ۶ ماه
ارزش فعلی جریان ورودی پایان سال اول	۳۶،۹۲۱،۷۵۰،۳۸۶
ارزش فعلی جریان ورودی پایان سال دوم	۳۰،۵۱۳،۸۴۳،۲۹۴
ارزش فعلی جریان ورودی پایان سال سوم	۲۵،۲۱۸،۰۵۲،۳۰۹
ارزش فعلی جریان ورودی پایان سال چهارم	۲۰،۸۴۱،۳۶۵،۵۴۵

با مقایسهٔ مقادیر تولید بیوگاز و لجن تولیدی از فاضلاب و هزینه‌های اقتصادی به‌دست‌آمده با پژوهش سلمانی و همکاران [۱۳] مشاهده می‌شود که میزان انرژی استحصال‌شده به دلیل تفاوت اندک فاضلاب ورودی، همخوانی دارد و هزینه‌های محاسبه‌شده نیز به دلیل وجود تفاوت اندکی در نرخ تورم و نرخ تنزیل و افزایش هزینه‌ها در حد قابل قبولی خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش استفادهٔ جوامع از انرژی برای حصول به توسعهٔ پایدار و حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست، جوامع را مستلزم به شناسایی و بهره‌وری از منابع جدید انرژی کرده است. استفادهٔ پی‌درپی از سوخت‌های فسیلی آن‌ها را در معرض نابودی و اتمام قرار داده است؛ همچنین آلودگی ناشی از استعمال آن‌ها به حجم گازهای گلخانه‌ای افزوده و بستر لازم برای گرمایش زمین را فراهم کرده است. با توجه به پتانسیل ایران در استفاده از منبع تجدیدپذیر زیست‌توده، پیش‌بینی می‌شود تا در سال‌های آتی سهم حائز اهمیتی از تولید انرژی از طریق این منابع تأمین شود. همچنین، سالانه میلیون‌ها تن فاضلاب در فرایندهای مختلف صنعتی، کشاورزی و خانگی تولید می‌شود که می‌توان آن را به این منظور به کار برد. به طور کلی، تنها امکان تولید حامل‌های انرژی مانند بیوگاز از پسماند شهری به روش هضم بی‌هوازی وجود خواهد داشت. مدیریت زباله فناوری‌هایی مانند هضم هوازی و بی‌هوازی، نه‌تنها به بازیافت زباله کمک کرده، بلکه به تولید انرژی سبز در قالب بیوگاز نیز کمک می‌کند. هضم بی‌هوازی متان تولید می‌کند که می‌تواند در کاربردهای مختلفی از جمله شبکهٔ گاز طبیعی، دیگ‌های بخار، سوخت خودرو، اجاق‌های آشپزخانه و سیستم‌های حرارتی و برق ترکیبی استفاده شود.

پژوهش حاضر به بررسی میزان بیوگاز، مواد آلی، میزان گاز قابل استحصال پرداخته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات، میزان بیوگاز تولیدی از سه مدول به طور سالانه از روش هضم بی‌هوازی ۲۲۶۱۷۲۸ مترمکعب محاسبه می‌شود که با تولید این مقدار بیوگاز می‌توان از خرید ۶۴۶۲۰۸ مترمکعب گاز طبیعی خودداری کرد. همچنین، استفاده از یک سیستم CHP به منظور تولید هم‌زمان برق و بازیافت حرارت پیشنهاد شده است. نتایج نشان داد سیستم حاصل قادر به تولید ۲۴۸۷۹۰۰۸ مگاوات انرژی حرارتی و ۴۷۶/۳۴ کیلووات‌ساعت خواهد بود. همچنین، ارزیابی اقتصادی سیستم یادشده نشان می‌دهد مجموع درآمد سالیانه ۴۴۶۸۹۹۳۸۶۰۰ خواهد بود

که سهم فروش برق از این مقدار ۴۱۷۲۷۳۸ ریال، سهم درآمد حاصل از صرفه‌جویی گاز ۵۹۴۵۱۱۳۶۰ و درآمد حاصل از فروش کود ۱۳۴۲۵۸۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. هزینه‌های سالانهٔ سرمایه‌گذاری و هزینهٔ عملیاتی به‌ترتیب ۱۰۳۲۵۱۶۹۷۰۰۰ و ۱۴۶۲۰۶۳۳ ریال خواهد بود. بر اساس این ارزیابی سیستم نیز قادر خواهد بود پس از ۶ سال و ۳ ماه هزینه‌های صرف‌شده بازپرداخت کند.

در مجموع، طبق محاسبات صورت‌گرفته طرح حاضر علاوه بر توجیه‌پذیری اقتصادی، موجب افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش آلودگی‌های محیط زیستی و پیشرفت در صنعت استفاده از سوخت‌های پاک می‌شود؛ بنابراین با توجه به پتانسیل تولید انرژی از تصفیه‌خانهٔ شهرستان خرم‌آباد، انتقال فناوری‌های برتر در این زمینه می‌تواند به پیشرفت روزافزون استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعهٔ انرژی‌های پاک و بهره‌برداری از آن‌ها کمک‌کننده باشد.

منابع

[1].Zolfaghari Z AA, Moshari A , Malekli M Direct air capture from demonstration to commercialization stage: A bibliometric analysis. International Journal of Energy Research. 2021.

[2].Shokri M, Alami H. Innovation in clean energy technologies to achieve global energy and climate goals. 14th National Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering2022 [Persian].

[3].Mahboudi N. Evaluation of life cycle of wastewater treatment plants in South Pars Economic Energy Special Zone. The Second National Conference on Sustainable Development of the Persian Gulf: Environment on Coastal Areas2022 [Persian].

[4].Lasemi S, Alaei E, Arjmandi R, Hassani AH. Environmental management of sanitary wastewater sludge (bio-solids) for compost production and comparison for replacement with conventional chemical fertilizers. 2021 [Persian].

[5].Georgi Tehrani P, Mehrdadi N, Amiri MJ. Investigation and evaluation of energy production methods from wastewater with an attitude towards sustainable development. Fifth Scientific Conference on Renewable and Clean Energy2013 [Persian].

[6].Britannica E. wastewater treatment | Process, History, Importance, Systems, & Technologies. 2020.

[7].Tchobanoglous George LBF, Stensel David Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Edition t, editor2002.

[8].Hanum F, Yuan LC, Kamahara H, Aziz HA, Atsuta Y, Yamada T, et al. Treatment of Sewage Sludge Using Anaerobic Digestion in Malaysia: Current State and Challenges. Frontiers in Energy Research. 2019;7.

[9].Bakhshi M, Khankeshizadeh MGC, saied. Evaluate the energy extraction potential of municipal wastewater and present its model. 7th National Conference on Energy (Energy Sustainability, Supply Security, Demand Management and Consumption Pattern Improvement)2009 [Persian].

[10]. DerakhshanFar H, Ghanei M, Hosseini SH, Shiri M. Feasibility study of extraction and biogas treatment of Isfahan wastewater treatment plant for use in combined heat and power. Second Iranian Bioenergy Conference (Biomass and Biogas)2011 [Persian].

[11]. Shahidi A, Dolatabadi S. Evaluation of wastewater quality of Birjand University wastewater treatment plant for reuse in agriculture. Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering2016 [Persian].

[12]. Jamshidi S, Ardestani M. Energy extraction from wastewater of municipal wastewater treatment plant. Second Conference on Environmental Science, Engineering and Technology2016 [Persian].

[13]. Salmani F, Amiri Rad E, Salimi MR. Feasibility study of constructing two combined heat and power with biogas in municipal wastewater treatment plant. Mechanical Engineering, University of Tabriz. 2017;47(3):325-31 [Persian].

[14]. Khodayari F, Ijadpanah Saravi H, Sayadi A, Khodadadi A. Technical and economic study of biogas extraction from municipal waste for electricity generation. National Bioenergy Conference of Iran. 2019 [Persian].

[15]. Talebi AH, Mohammadzadeh B. Investigating the use of CHP to extract electrical energy Case study: Tabriz Wastewater Treatment Plant. 3rd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering2020 [Persian].

[16]. Graham N. Advanced Anaerobic Digestion: More Gas. from Sewage Sludge [Online].

[17]. Rayner AJ, Briggs Johnathan, Tremback R, M.C CR. Design of an organic waste power

plant coupling anaerobic digestion and solid oxide fuel cell technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017;71:563-71.

[18]. Zhang Y, Li H, Li D. Maximize methane recovery from sludge anaeobic digestion by combining an optimal wet air oxidation process. Renewable Energy. 2021;179:359-69.

[19]. Zhou W, Tuersun N, Zhang Y, Wang Y, Cheng C, Chen X. Optimization and system energy balance analysis of anaerobic co-digestion process of pretreated textile dyeing sludge and food waste. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021;9(6):106855.

[20]. Xu Y, Lu Y, Zheng L, Wang Z, Dai X. Perspective on enhancing the anaerobic digestion of waste activated sludge. J Hazard Mater. 2020;389:121847.

[21]. Demirbas A, Taylan O, Kaya D. Biogas production from municipal sewage sludge (MSS). Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2016;38(20):3027-33.

[22]. Bachmann N, la Cour Jansen J, Bochmann G, Montpart N. Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants: IEA Bioenergy Massongex, Switzerland; 2015.

[23]. Albatayneh A, Halaweh G, Assaf M. Evaluation of potential biogas productopn from construction of anaerobic digestion from WWTP in jordan2019.

[24]. IEA Bioenergy Country Report 2015.

[25]. Shafieipour R, Qureshi SM, Jazini MH, Mah Pishanian AM. Factors and methods of preprocessing affecting the increase of biogas production 8th Scientific Conference on Renewable, Clean and Efficient Energy 2015 [Persian].

[26]. Davoudinejad M, Biparva P, Akbarpour tolooti A. Estimation of production potential of biogas and electricity from municipal Sewage sludge in the Iran. Journal of Water Recycling. 2015;2(1): 41-8 [Persian].

[27]. Hajinezhad A, Servati p, Yousefi H. Effect of The Landfill Leachate to quality of Groundwater of Bojnourd City With the Approach Standard Landfill Design or Replacement of Anaerobic Digester. Eco Hydrology. 2015;2(3):301-10 [Persian].

[28]. Hajinezhad A, E Z. Study landfill development in Rasht And latex management in order to reduce pollution Anzali Lagoon. Eco Hydrology. 2015;2(1):11-22 [Persian].

[29]. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas. 2006;1–20.