



Techno-Economic Feasibility of Energy Supply Systems from Renewable Sources of Solar and Biomass in Rural Areas Located In Cold and Dry Climate

M. Sadat Alaeipour¹, M. Mafi^{1*}, M. Khanaki¹, M. Ebrahimi²

¹Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

²Department of Mechanical Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ABSTRACT: The present work focuses on the feasibility study of locally available renewable energy production systems for mountainous rural areas with cold and dry climates (including solar systems and biomass resulted from manure dung). The studied rural area consists of three cold and impassable villages of Pichebon, Narmelat, and Dinheroud, located in Eastern Alamut of Qazvin. Three scenarios have been presented and related techno-economic analyses have been done. Firstly, all heating needs and electricity demands have been met solely by the photovoltaic system. In the second scenario, heating and electricity needs have been supplied by biogas and combined heat and power system. Moreover, the heat loss of the motor has been used to warm up the digester. In the last survey, the electricity need has been supplied by the photovoltaic system along with covering heating demand through biogas. In this scenario, the required heat to operate digester is provided using the photovoltaic system. The results show that the second scenario that has a positive Net Present Value in each discount rate (5%, 10% and 15%) and Internal Rate of Return is 24.24% , 23.26% and 38.6% for Pichebon, Narmelat and Dinehroud villages, respectively, is as practical design and economic option.

Review History:

Received: 2019-04-18

Revised: 2019-07-14

Accepted: 2019-09-02

Available Online: 2019-09-21

Keywords:

Energy production system

Mountainous rural areas

Technical and economic calculations

Photovoltaic

biogas

1- INTRODUCTION

Energy is a key asset required to reduce poverty, improve the standards of lifestyle, and facilitate socio-economic development. Nowadays, almost 80% of the global energy demand is met by means of fossil fuels, resulting in significant environmental impacts [1]. World reduction of fossil fuel energy resources, increasing the greenhouse gas emissions and global warming along with the increase of energy demand and raising the price of energy have motivated researchers to find renewable and clean energy resources [2]. On the other hand, the supply of fuel and energy to the impassable and remote rural areas lacking the national electrical grid and gas pipeline is highly costly due to long distance and unsuitable geographic conditions. In many studies, hybrid energy systems that consist of different energy resources have been considered for providing energy needs of remote and isolated rural areas.

Singh et al. [3], proposed a hybrid Photo Voltaic (PV)-wind generation system along with biomass and storage to fulfill the electrical load demand of a small area. The results showed that a hybrid energy system is a more reliable, economical and suitable source of electricity, particularly for off grid locations. Ahmad et al. [4], studied the techno-economic feasibility of a grid-tied hybrid microgrid system for local inhabitants of Kallar Kahar near Chakwal city of Punjab province in Pakistan and investigated the potential

for electricity generation through hybrid wind, photovoltaic and biomass system. The results of the techno-economic feasibility study showed that the hybrid power system can generate more than 50 MW.

In this study, meeting the energy needs of three cold and impassable villages including Pichebon, Narmelat and Dinehroud locating in eastern Alamut in Qazvin (Iran), has been evaluated. To conduct the studies, three different types of systems, based on existing renewable energy sources, in order to supply electrical and heating needs for the mentioned villages comprising of PV-Battery, Biomass (Anaerobic Digestion (AD) of livestock's dung)-Combined Heat and Power (CHP) engine and PV-Biomass (AD) are investigated. The most economical system is recommended in terms of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR).

2- METHODOLOGY

2.1. Description of the selected rural areas

The three studied villages as Pichebon, Narmelat, and Dinehroud, with geographical coordinates as defined: longitude E 50.78, and latitude N are 36.40, 36.36 and 36.35, respectively, as well as altitude 2720 m, 2100 m and 2220 m above sea level respectively, are located in the eastern Alamut in Qazvin, Iran. The number of households living in Pichebon, Narmelat and Dinheroud is 35, 5, and 40, respectively. According to the field studies, it is concluded that only two renewable energy sources namely solar and

*Corresponding author's email: m.mafi@eng.ikiu.ac.ir



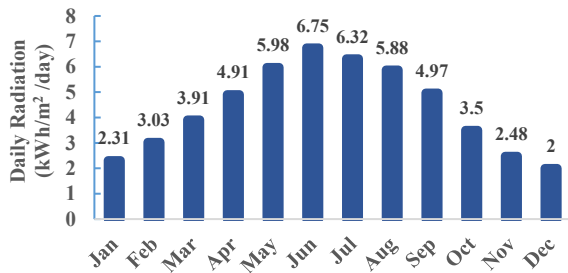


Fig. 1. Monthly solar radiation profile in the selected rural area [5]

biogas (from anaerobic digestion of animal dung) are available to meet energy needs. The solar radiation data for these regions were obtained from the National Aeronautics and Space Administrative (NASA) surface meteorology and solar energy website [5]. Based on the NASA data, the annual average of solar irradiation is estimated at 4.34 kWh/m²/day which is more than the standard amount (3.5 kWh/m²/day) for the use of solar collectors or photovoltaic systems [6]. The monthly solar radiation profile is depicted in Fig. 1.

2.2. Estimation of gas and electricity consumption

The amount of electricity and gas consumption of each household per day has been assessed by considering the electricity and gas bills of other villages with the same climates. Based on the electricity consumption and natural gas bills, the maximum amount of power and gas consumption per household are 3.5 kWh/day and 14 $\frac{m^3}{day}$ respectively.

2.3. Description of sustainable energy production systems

Regarding renewable energy sources existing in these areas, three scenarios are considered to supply required heating and electrical needs. Each scenario is explained in subsequent sections.

2.3.1. The first scenario (PV system)

In this scenario, all heating (cooking is included) and electrical needs have been met solely by the photovoltaic system. Therefore the amount of required NG should be equalized to electrical energy.

2.3.2. The second scenario (Biogas and CHP system)

In the second scenario, heating and electricity have been supplied by biogas as well as the CHP system. Moreover, the heat loss of the CHP has been used to warm up the digester.

2.3.3. The third scenario (Biogas and PV)

In the last scenario, the electricity need has been supplied by the photovoltaic system along with covering heating demand through biogas. The required heat to operate digester is provided using the photovoltaic system.

In each scenario, the volume of the digester, type of CHP engine, gas pipeline, heating need for warming the digester and equipment of solar system have been calculated.

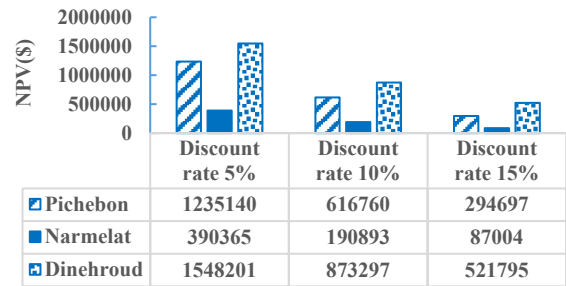


Fig. 2. NPV of the second scenario for each village

2.4. Economic analysis

The economic analysis has been done by means of NPV and IRR criteria.

Net present value is the present value of the expected cash inflow from an investment minus the cost of acquiring the investment. In a general form the NPV is calculated as [7]:

$$NPV = \sum_{j=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^j} - I \quad (1)$$

where N is the project lifetime; Q_n is the cash flow in the year n with $n=1, \dots, N$; i is the return rate and I is the initial investment. The internal rate of return on an investment or project is the annualized effective compounded return rate or rate of return that sets the net present value of all cash flows (both positive and negative) from the investment equal to zero.

The cost of scenarios contains the expenses relating to the panel, battery, charge controller, inverter, digester, CHP engine and gas piping. The revenue of these projects including to sell power and gas, compost of manure as well as decreasing the emission of carbon dioxide. In this survey, three discount rates of (5%, 10% and 15%) have been taken into account.

3- RESULTS AND DISCUSSION

The results of the calculation revealed that the NPV of the first and third scenarios, even at a discount rate of 5%, are negatively representing this fact, these scenarios are not economical to meet the energy needs of studied villages. But the NPV of the second scenario is positive at all considered discount rates for each village that can be seen in Fig. 2. In addition, the internal rate of return in this scenario is 24.24% 23.26% and 38.6% for Pichebon, Narmelat and Dinehroud villages, respectively.

4- CONCLUSION

In this study, three scenarios have been considered to supply the energy needs of studied rural areas. Results illustrated the second scenario with positive NPV as well as the internal rate of return for each village is greater than discount rates is the best and economical alternative to meet the energy demands of three villages.

REFERENCES

- [1] A.H. Mamaghani, S.A.A. Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, F. Rinaldi, Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, *Renewable Energy*, 97 (2016) 293-305.
- [2] F.T. Hamzehkolaei, N. Amjady, A techno-economic assessment for replacement of conventional fossil fuel based technologies in animal farms with biogas fueled CHP units, *Renewable energy*, 118 (2018) 602-614.
- [3] S. Singh, M. Singh, S.C. Kaushik, Feasibility study of an islanded microgrid in rural area consisting of PV, wind, biomass and battery energy storage system, *Energy Conversion and Management*, 128 (2016) 178-190.
- [4] J. Ahmad, M. Imran, A. Khalid, W. Iqbal, S.R. Ashraf, M. Adnan, S.F. Ali, K.S. Khokhar, Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar, *Energy*, 148 (2018) 208-234.
- [5] NASA Website for Surface Meteorology and Solar Energy, in, www.Eosweb.nasa.gov/sse/.
- [6] M. Taghvaei, E. Sabouhi, Locating of solar power plants in Isfahan province, *Urban research and planning*, 8(28) (2017) 61-82. (In Persian).
- [7] L.G. Acuña, M. Lake, R.V. Padilla, Y.Y. Lim, E.G. Ponzón, Y.C.S. Too, Modelling autonomous hybrid photovoltaic-wind energy systems under a new reliability approach, *Energy conversion and management*, 172 (2018) 357-369.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Sadat Alaeipour, M. Mafi, M. Khanaki, M. Ebrahimi, *Techno-Economic Feasibility of Energy Supply Systems from Renewable Sources of Solar and Biomass in Rural Areas Located In Cold and Dry Climate*, *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(1) (2021) 27-30.

DOI: [10.22060/mej.2019.16153.6287](https://doi.org/10.22060/mej.2019.16153.6287)





امکان‌سنجی فنی - اقتصادی سیستم‌های تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر خورشیدی و زیست توده در مناطق روستایی با اقلیم سرد و خشک

مریم سادات علائی پور^۱، مصطفی مافی*^۱، منصور خانکی^۱، مسعود ابراهیمی^۲

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸-۰۱-۲۹
بازنگری: ۱۳۹۸-۰۴-۲۳
پذیرش: ۱۳۹۸-۰۶-۱۱
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۶-۳۰

کلمات کلیدی:

سامانه تولید انرژی
مناطق روستایی کوهستانی
محاسبات فنی و اقتصادی
فتوولتائیک، بیوگاز

خلاصه: این تحقیق، به مطالعه امکان‌سنجی توسعه سیستم‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در دسترس برای مناطق روستایی با اقلیم سرد و خشک کوهستانی (شامل سامانه‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی و منابع زیست توده حاصل از کودهای دامی) می‌پردازد. منطقه روستایی مورد مطالعه شامل سه روستای سردسیر و سخت‌گذر پیچ‌بن، نرمات و دینه‌رود واقع در الموت شرقی قزوین هستند. سه سناریو برای تأمین انرژی این منطقه روستایی ارائه و مطالعات فنی و اقتصادی آن انجام شده است. در مرحله اول، تمام گرمایش موردنیاز ساختمانی و تولید آبگرم و همچنین الکتریسیته موردنیاز با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک تأمین می‌شود. در سناریو دوم، گرمایش و الکتریسیته از طریق بیوگاز و سیستم تولید همزمان توان و حرارت تأمین گردیده است؛ و از حرارت موتور جهت گرم کردن هاضم استفاده شده است. در سناریوی آخر، نیاز الکتریسیته توسط سیستم فتوولتائیک و نیازهای گرمایشی توسط بیوگاز پوشش داده شده است. در این سناریو، گرمای مورد نیاز جهت عملکرد هاضم توسط سیستم فتوولتائیک تأمین می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سناریو دوم در نرخ‌های تنزیل ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ با ارزش فعلی خالص مثبت و نرخ بازده داخلی ۲۴/۴۴٪، ۲۳/۲۶٪ و ۳۸/۶٪ به ترتیب برای روستاهای پیچ‌بن، نرمات و دینه‌رود، گزینه‌ای اقتصادی و بهینه‌ترین طرح است.

۱- مقدمه

است. داس^۱ و همکاران [۲] به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در منطقه ساراواک^۲ در شرق مالزی پرداختند. آن‌ها یک سیستم تلفیقی فتوولتائیک - باتری و سلول سوختی برای تأمین الکتریسیته ۵۰ خانوار موجود در آن ناحیه پیشنهاد دادند. حقیقت و همکاران [۳] توسعه یک سیستم ترکیبی (باد، فتوولتائیک و دیزل) در مناطق روستایی کلمبیا را مدنظر قرار دادند. نتایج نشان داد که سیستم ترکیبی تولید دی اکسید کربن کمتری دارد. همچنین سیستم ترکیبی با مقدار ارزش فعلی خالص ۸۳۶۲۱۰ دلار به عنوان بهینه‌ترین سیستم انتخاب شده است. احمد و همکاران [۴] با توسعه یک سیستم ترکیبی باد، فتوولتائیک و بیوماس برای تأمین الکتریسیته موردنیاز

امروزه، افزایش تقاضای انرژی، کاهش سطح موجودی منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش آلودگی هوا و گرمایش کره زمین بواسطه‌ی تولید گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های ناشی از احتراق منابع فسیلی و افزایش قیمت این انرژی، محققان را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک به عنوان جایگزین، سوق داده است [۱]. تأمین سوخت و انرژی موردنیاز مناطق روستایی سخت‌گذر و دورافتاده از شبکه‌های سراسری برق و خط لوله گاز با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس بدلیل اهمیت آن در توسعه پایدار مناطق روستایی و جلوگیری از مهاجرت به شهرها، یکی از مهم‌ترین مواردی است که امروزه مورد توجه دولتمردان و محققان قرار گرفته

1 Das
2 Saravak

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m.mafi@eng.ikiu.ac.ir



دی اکسید در سال با استفاده از موتور بیوگاز به عنوان پشتیبان به جای موتور دیزل جلوگیری شود. رحمان و همکاران [۱۰] به بررسی سیستم ترکیبی فتوولتاییک و بیوگاز برای تأمین انرژی و توسعه پایدار روستایی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که سیستم فتوولتاییک به تنهایی قادر به تأمین انرژی نیست و اگر هر خانوار حداقل ۳ گاو داشته باشد؛ سیستم ترکیبی فتوولتاییک و بیوگاز بهترین روش تأمین نیازهای الکتریکی و گرمایشی (پخت و پز و...) برای آن‌ها است. سینگ^۵ و همکاران [۱۱] به مطالعه امکان‌سنجی استفاده از منابع (فتوولتاییک، باد، زیست‌توده و باتری) جهت تأمین انرژی برای روستایی در هند پرداختند. نتایج نشان داد که سیستم ترکیبی شامل همه‌ی منابع، قابل اعتمادترین و اقتصادی‌ترین گزینه جهت تأمین الکتریسیته منطقه روستایی مورد نظرشان است. همچنین نشان داده شد که الگوریتم کلونی زنبور عسل روشی کارا تر جهت انتخاب سیستم بهینه نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات است. حمزه کلایی و همکاران [۱] به ارزیابی فنی و اقتصادی برای جایگزینی تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی در مزارع با واحدهای تولید همزمان توان و حرارت با سوخت زیستی پرداختند و نشان دادند که دوره بازگشت سرمایه ۲۸/۵ ماه است و در صورت توسعه این تکنولوژی برای مزرعه مورد نظر، حدود ۵۲۹/۶۵ تن از نشر کربن دی اکسید در سال کاسته می‌شود. حیدری و عسکرزاده [۱۲] به بررسی بهینه‌سازی سیستم ترکیبی فتوولتاییک و بیوگاز برای تأمین انرژی در بردسیر واقع در کرمان پرداخته‌اند. نتایج نشان داده که سیستم ترکیبی از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر از استفاده از هر سیستم به صورت جداگانه است.

نگارندگان در تحقیق پیشین [۱۳]، به بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی و بیوگاز تولیدی از فضولات دامی در سه روستای واقع در الموت شرقی پرداخته‌اند. محاسبات سیستم فتوولتاییک بر اساس مصرف وسایل برقی رایج موجود در یک ساختمان مسکونی، انجام شد. همچنین نشان داده شد که بیوگاز تولیدی از فضولات دامی قادر به تأمین انرژی وسایل گازسوز است. در این تحقیق، مطالعات امکان‌سنجی فنی و اقتصادی سیستم‌های تأمین انرژی الکتریکی و گرمایشی سه روستای سردسیر و سخت‌گذر پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود واقع در الموت شرقی استان قزوین بر اساس منابع انرژی

منطقه روستایی کالار کهر^۱ در پاکستان نشان دادند که این سیستم ترکیبی می‌تواند بیش از ۵۰ مگاوات برق تولید کند. هزینه سیستم ترکیبی برای پیک بار (۷۳/۶ مگاوات) ۱۸۰/۲ میلیون دلار آمریکا و هزینه انرژی ۰/۵۷۴۴ دلار به ازای هر کیلووات گزارش شده است.

آزی^۲ و همکاران [۵] به بررسی و توسعه تکنولوژی‌های مقرون به صرفه برای توسعه پایدار روستاها، مخصوصاً در مناطقی که گرفتار فقر انرژی و آب شرب هستند، پرداختند. آن‌ها نشان دادند که سیستم ترکیبی تولید انرژی تجدیدپذیر (فتوولتاییک، باتری، زیست‌توده) همراه با سیستم تقطیر غشایی هوا، برق و آب موردنیاز را با هزینه ۰/۱۱ دلار به ازای هر کیلووات ساعت تأمین می‌کنند که پایین‌تر از توان پرداخت جامعه (۰/۳ دلار به ازای هر کیلووات ساعت) است. کاستلانو^۳ و همکاران [۶] به آنالیز فنی و اقتصادی و طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی (فتوولتاییک، هضم بی‌هوازی) منفصل از شبکه در یک منطقه روستایی واقع در بنگال هند با نیازمندی الکتریکی حدود ۲۲ مگاوات پرداخته‌اند. در این تحقیق سیستم ترکیبی شامل فتوولتاییک، باتری و میکروتوربین پیشنهاد شده است که هزینه کمتری نسبت به سناریوهای دیگر داشت. صالحین و همکاران [۷] یک مدل بهینه از سیستم ترکیبی بیوگاز - فتوولتاییک - دیزل برای جزیره آدرشو در بنگلادش ارائه دادند. نتایج نشان داد که اقتصادی‌ترین پیکربندی برای تأمین تقاضا بار، به کار بردن همه منابع انرژی در دسترس است. این سیستم الکتریسیته را با هزینه الکتریکی ۰/۲۱۷ دلار به ازای هر کیلووات و هزینه ارزش خالص ۱۰۷۱۶۴ دلار تأمین می‌کند. همچنین مشخص شد که ژنراتور بیوگاز بیشترین سهم تولید الکتریسیته را نسبت به سایر منابع دارد. بهات^۴ و همکاران [۸] به مطالعه فنی و اقتصادی استفاده از منابع (فتوولتاییک، بیوگاز، دیزل و باتری) جهت تأمین الکتریسیته روستایی در هند پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که سیستم ترکیبی شامل همه منابع با ارزش فعلی خالص ۵۳۳۶۵۴ دلار و نشر ۱۵۹۳۰ کیلوگرم کربن دی اکسید در سال، بهینه‌ترین سیستم از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی است. قائم و همکاران [۹] نشان دادند که سیستم ترکیبی (فتوولتاییک، باد و باتری) با موتور بیوگاز به عنوان پشتیبان می‌تواند راه حل بهتری نسبت به موتور دیزل باشد. همچنین می‌توان از انتشار ۱۷ تن کربن

1 Kallar Kahar
2 Eziyi
3 Castellanos
4 Bahatt

جدول ۱. تعداد دام‌های موجود در روستاهای مورد مطالعه به تفکیک فصول گرم و سرد سال
Table 1. The number of livestock in the studied villages during hot and cold seasons of the year

۵ ماه فصل سرد سال		۷ ماه فصل گرم سال		فصل سال نوع دام روستا
گوسفند	گاو	گوسفند	گاو	
۷۰۰	۴۰	۲۰۰۰	۴۰	پیچ‌بن
۲۰۰	۲۰	۶۰۰	۲۰	نرملات
۲۰۰	۱۵	۶۰۰	۱۵	دینه‌رود

مطالعات قبلی انجام شده در منطقه روستایی فوق‌الذکر بیانگر این مهم است که تنها دو منبع تجدیدپذیر انرژی خورشیدی و زیست‌توده (فضولات دامی) برای تأمین نیازهای انرژی در این مناطق مناسب هستند. به علت محصور شدن در دل کوهستان‌ها، استفاده از انرژی باد گزینه مناسبی برای این مناطق نیست. صخره‌ای بودن منطقه مورد مطالعه و صعب‌العبور بودن آن، استفاده از انرژی زمین گرمایی را بسیار دشوار می‌نمایاند. همچنین به علت فصلی و سیلابی بودن رودهای منطقه و یخ زدن در فصول سرد، استفاده از میکروتوربین‌ها جهت تأمین برق از انرژی آب امکان‌پذیر نمی‌باشد [۱۴]. جدول ۱ تعداد دام‌های موجود در روستا برای دو بازه فصول گرم و فصول سرد را ارائه می‌دهد. در ۵ ماه سرد سال (از ابتدای آبان تا انتهای اسفند)، تمامی دام‌ها در دامداری‌های سنتی نگهداری می‌شوند و فضولات آن‌ها در حال حاضر توسط روستاییان جمع‌آوری می‌شود و از آن به روش سنتی (کرسی) برای گرمایش استفاده می‌کنند. در فصول گرم، دام‌ها به مناطق کوهستانی اطراف برای چرا برده می‌شوند و لذا فضولات دامی قابل جمع‌آوری نمی‌باشند.

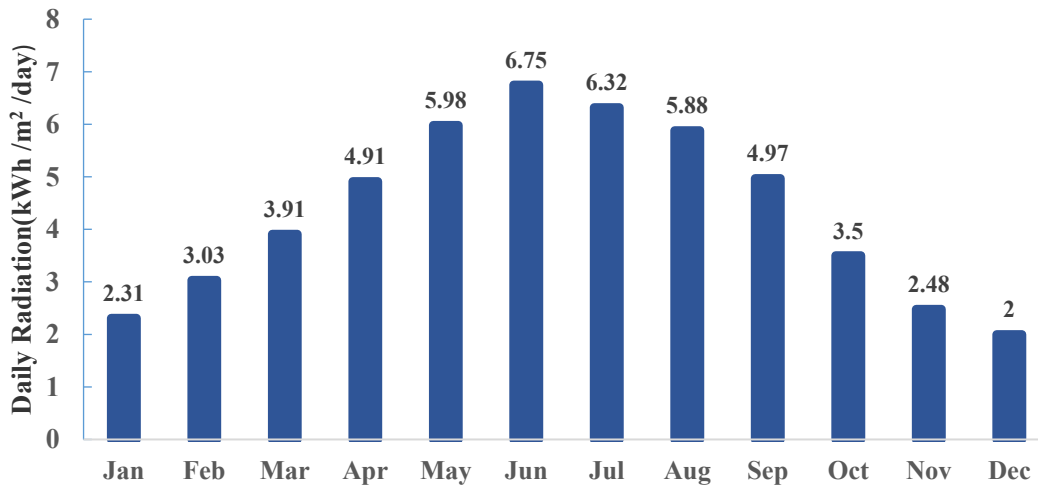
با توجه به استانداردهای بین‌المللی و همچنین دستورالعمل سازمان انرژی نو ایران، اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز در یک منطقه بیش از $3/5$ کیلو وات ساعت در مترمربع باشد استفاده از سامانه‌های خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتاییک توجیه‌پذیر است [۱۵]. با توجه به موقعیت جغرافیایی روستاها، میانگین ماهانه شدت تابش خورشید در طول ۲۲ سال بر اساس داده‌های ناسا برابر $4/343$ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز است [۱۶]. پروفیل تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال با توجه به داده‌های ناسا در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۶].

تجدیدپذیر در دسترس، مد نظر است. مقدار مصرف انرژی خانوارهای روستاهای مورد مطالعه بر حسب قبض‌های گاز و برق روستاهای مشابه از نظر آب و هوایی و واقع در همان منطقه - که از ادارات مرتبط استعلام شده است - تخمین زده شده است. سیستم‌های مورد بررسی شامل سیستم فتوولتاییک با حضور ذخیره‌ساز (باتری)، هضم بی‌هوازی^۱ جهت تولید بیوگاز و سیستم تولید همزمان توان و حرارت است. سه سناریو جهت تأمین انرژی این مناطق در نظر گرفته شده و برای هر یک، طراحی و محاسبات تجهیزات (اجزای فتوولتاییک، حجم هاضم و گرمایش آن، شبکه توزیع گاز محلی و...) انجام شده است. اقتصادی‌ترین سناریو بر اساس ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی معرفی شده است. ارائه بهینه‌ترین سیستم ترکیبی تأمین انرژی برای مناطق روستایی سخت‌گذر واقع در اقلیم سرد و خشک کوهستانی با تعداد خانوارهای کم و اقتصاد مبتنی بر دامداری که دور از شبکه‌های سراسری توزیع برق و گاز هستند؛ هدف اصلی تحقیق حاضر است.

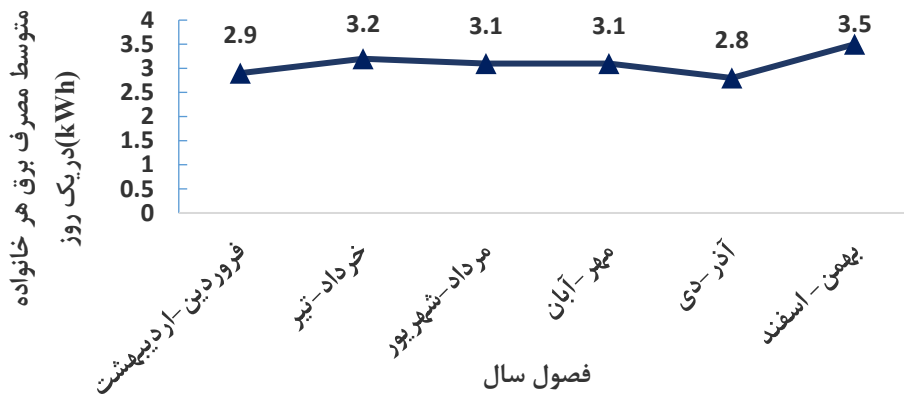
۲- توصیف مناطق روستایی مورد مطالعه و پتانسیل منابع تجدیدپذیر در دسترس

منطقه روستایی مورد مطالعه در این تحقیق شامل سه روستای پیچ‌بن، نرملات و دینه‌رود با طول جغرافیایی $50/78$ و عرض‌های جغرافیایی $36/40$ ، $36/36$ و $36/35$ هستند که به ترتیب با ارتفاع از سطح دریا 2720 متر، 2100 متر و 2220 متر در الموت شرقی استان قزوین واقع شده‌اند. تعداد خانوارهای ساکن در روستاهای پیچ‌بن، نرملات و دینه‌رود به ترتیب 35 ، 5 ، 40 خانوار است. نتایج

1 Anaerobic digestion



شکل ۱. پروفیل تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال
Fig. 1. Monthly solar radiation profile



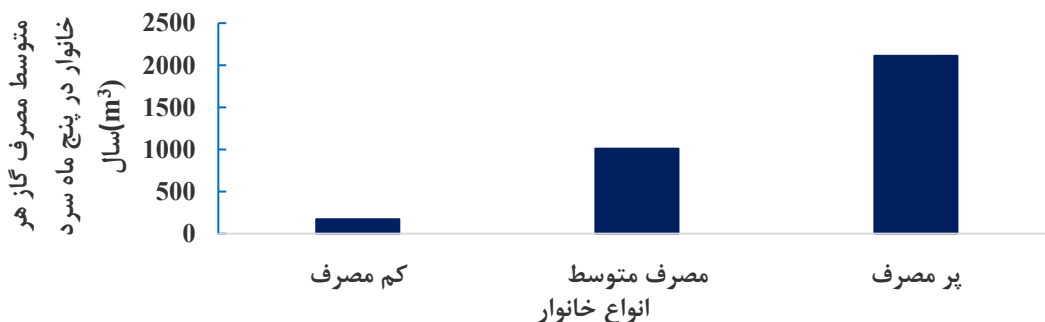
شکل ۲. میزان برق مصرفی هر خانوار روستایی در ماه‌های مختلف سال در یک شبانه‌روز (منبع: قبوض برق [۱۷])
Fig. 2. The amount of electricity consumption for each rural household per day in different months

(روستایی با اقلیم مشابه) که شامل دو قبض سالانه پنج ماه فصل سرد و هفت ماه فصل گرم است، استخراج شده است [۱۸]. چون طراحی باید طوری انجام شود که جوابگوی حداکثر بار مصرفی باشد؛ بنابراین طراحی با توجه به مصرف در فصول سرد سال انجام شده است. میزان متوسط مصرف گاز هر خانوار، در سه گروه پرمصرف، با مصرف متوسط و کم مصرف در پنج ماه فصل سرد سال گروه‌بندی شده و داده‌ها در شکل ۳ قابل مشاهده است. با در نظر گرفتن خانواده‌های پرمصرف به عنوان پایه محاسبات، هر خانواده روستایی در یک شبانه‌روز حدود ۱۴ متر مکعب گاز مصرف می‌کند.

در سناریو اول تأمین تمام انرژی از طریق سیستم فتولتائیک انجام می‌شود در نتیجه لازم است مقدار انرژی مصرفی گاز به صورت

۲-۱- تخمین بار الکتریکی مصرفی هر خانوار در روز در این مطالعه، میزان بار الکتریکی موردنیاز هر خانوار روستایی در یک شبانه‌روز با بررسی قبوض برق روستاهای با شرایط اقلیمی مشابه (روستاهای سرخکوله و حسن آباد واقع در الموت شرقی)، استخراج شده و در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۷]. در محاسبات، بیشترین مقدار مصرف یعنی ۵ kWh/۳ در یک شبانه‌روز، مد نظر قرار گرفته است.

۲-۲- تخمین میزان گاز مصرفی هر خانوار در روز میزان مصرف گاز هر خانوار روستایی در یک شبانه‌روز، از قبوض صادره شرکت گاز استان قزوین برای خانوارهای روستای نیکوبه قزوین



شکل ۳. میزان گاز مصرفی هر خانوار روستایی در ۵ ماه سرد سال (منبع: قبوض گاز [۱۸])

Fig. 3. The amount of natural gas consumption for each rural household during 5 cold months of year

غروب خورشید نیز به انرژی الکتریکی نیاز است، وجود یک ذخیره‌ساز (باتری) برای این سیستم‌ها یک الزام است. مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده سیستم فتوولتاییک عبارتند از: ماژول، باتری (بانک باتری)، شارژکنترلر و اینورتر [۲۰].

۱-۱-۳- طراحی سیستم فتوولتاییک

برای شروع طراحی عواملی را که بر روی خروجی سیستم فتوولتاییک تأثیر می‌گذارند باید مورد بررسی قرار داد و تأثیر آن‌ها را لحاظ نمود این عوامل عبارتند از [۲۰]:

۱- خطای خروجی سازنده (f_{man}): توان خروجی ماژول فتوولتاییک بر حسب وات با خطایی تقریباً برابر $\pm 5\%$ بیان می‌شود که بر اساس دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای سلول‌ها است.

۲- اثر آلودگی و گرد و خاک (f_{dirt}): میزان توان خروجی یک ماژول فتوولتاییک ممکن است به دلیل آلودگی‌های موجود بر سطح ماژول، کاهش یابد و این کاهش با فاکتور کاهش در اثر آلودگی، هوا محاسبه می‌شود. میزان کاهش در توان ماژول‌ها در اثر آلودگی، بستگی به اقلیم محل نصب آرایه‌ها دارد.

۳- اثر دما: براساس استاندارد، $AS4059/2$ میانگین دمای سلول داخل ماژول فتوولتاییک را می‌توان براساس رابطه (۱) تخمین زد:

$$T_{cell,eff} = T_{a,eff} + 25 \quad (1)$$

$T_{cell,eff}$: میانگین دمای روزانه مؤثر سلول، $T_{a,eff}$: میانگین دما در طول روز. میزان کاهش توان بر اثر دما می‌تواند با رابطه (۲) محاسبه شود:

الکتریکی معادل شود. ارزش حرارتی گاز طبیعی با توجه به ترکیبات آن از $35-42/8$ مگاژول بر متر مکعب متغیر است. در این تحقیق، ارزش حرارتی گاز طبیعی برابر با $8600 \frac{kcal}{m^3}$ ($36 \frac{MJ}{m^3}$) فرض شده است [۱۹]. مقدار انرژی آزاد شده از ۱۴ متر مکعب گاز برابر با $505/68$ مگاژول خواهد شد که معادل با $140/46$ کیلووات ساعت است. بنابراین میزان الکتریسیته موردنیاز هر خانوار در یک شبانه‌روز در سناریو اول (فقط سیستم فتوولتاییک) جهت تأمین هر دو نیاز گرمایشی و الکتریسیته برابر با $143/96$ کیلووات ساعت به دست خواهد آمد. پر واضح است که سناریو اول به لحاظ اقتصادی گزینه مناسبی نخواهد بود و صرفاً جهت مقایسه نتایج محاسبات فنی و اقتصادی آن ارائه شده است.

۳- معرفی سناریوهای مختلف تولید انرژی جهت تأمین نیازهای گرمایشی و الکتریسیته موردنیاز و محاسبات فنی

۱-۳- سناریو اول (سیستم فتوولتاییک)

در این سناریو تمام انرژی مورد نیاز خانوارهای روستایی از طریق سیستم فتوولتاییک تأمین شده و بار الکتریکی معادل بار گرمایشی حساب شده است. همانطور که در بخش ۲-۲ ذکر شد؛ مقدار کل بار الکتریکی مصرفی هر خانوار در یک شبانه‌روز در این حالت برابر با $143/96$ کیلو وات ساعت است.

سیستم‌های فتوولتاییک به سیستم‌های مستقل از شبکه و متصل به شبکه گروه‌بندی می‌شوند. در سیستم‌های مستقل، سیستم انرژی خورشیدی باید متناسب با انرژی الکتریکی مورد نیاز باشد. از آنجایی که استحصال انرژی الکتریکی از خورشید، با توجه به حضور خورشید در آسمان، تابع شرایط احتمال است و اینکه در اکثر کاربردها، پس از

مؤثر سلول است. در این طراحی کمترین ولتاژ مجاز مبدل، ۱۱۰ ولت در نظر گرفته شده است. برای محاسبه تعداد ماژول‌ها پیشنهاد می‌گردد که ۱۰ درصد حاشیه اطمینان در کمترین مقدار مجاز اعمال گردد [۲۰]. بدین ترتیب کمترین تعداد ماژول در هر رشته ۴ عدد است. در سردترین دمای ممکن، ولتاژ مدار باز آرایه نباید هرگز بیش از بیشترین ولتاژ مجاز ورودی مبدل باشد. در اینجا از ولتاژ مدار باز V_{oc} استفاده می‌شود، چون این ولتاژ از ولتاژ نقطه حداکثر توان بیشتر است. در روشنایی‌های اولیه صبح، دمای سلول به دمای محیط بسیار نزدیک است، زیرا خورشید زمان کافی برای گرم کردن پنل را ندارد. بنابراین از کمترین دمای ساعات روز برای تعیین بیشترین V_{oc} باید استفاده کرد که با رابطه (۵) مشخص می‌شود:

$$V_{max.oc} = V_{oc.stc} - (\gamma_v \times (T_{min} - T_{stc})) \quad (5)$$

که $V_{max.oc}$ ولتاژ مدار باز در کمترین دمای سلول، $V_{oc.stc}$ ولتاژ مدار باز در شرایط استاندارد و T_{min} کمترین دمای روزانه مورد انتظار است. برای نمونه مورد طراحی، با در نظر گرفتن منطقه و داده‌های هواشناسی، کمترین دمای روزانه برابر با -10 درجه سانتی‌گراد است [۲۲]. پس ولتاژ مدار باز در کمترین دمای سلول برابر با $47/35$ ولت است. فرض می‌شود که بیشترین ولتاژ مجاز مبدل در نمونه مورد طراحی 450 ولت باشد [۲۰]. بدین ترتیب بیشترین تعداد ماژول‌ها در رشته با رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$N_{max.per.string} = \frac{V_{inv.max}}{V_{oc.max}} \quad (6)$$

که $V_{inv.max}$ بیشترین ولتاژ ورودی مبدل و $V_{oc.max}$ بیشترین ولتاژ اتصال کوتاه است. لذا بیشترین تعداد ماژول‌ها در هر رشته برابر با ۹ است.

۲-۱-۳- مراحل انتخاب ظرفیت و ابعاد آرایه فتوولتاییک در حضور

ذخیره‌ساز

در این مطالعه، سیستم با شبکه تبادل انرژی ندارد و تمام بار مصرفی توسط سیستم فتوولتاییک و باتری تأمین گردیده است. با در نظر گرفتن تأثیر تلفات که بیشترین مقدار آن ۵٪ فرض شده^۲ و لحاظ

$$f_{temp} = 1 - (\gamma \times (T_{cell.eff} - T_{stc})) \quad (2)$$

که f_{temp} ضریب کاهش توان بر اثر دما، γ مقدار مطلق ضریب دمای انرژی به ازای هر درجه افزایش از 25 درجه سانتی‌گراد و T_{stc} دمای سلول در شرایط استاندارد آزمون است. در این تحقیق از پنل AE۳۵.SM-M۶-۷۲ استفاده شده که دارای توان 350 وات است. جزییات بیشتر در مرجع [۲۱] آورده شده است. با در نظر گرفتن خطای خروجی ۵٪ و میزان گرد و غبار ۲٪، توان عملکردی پنل برابر با $325/85$ وات می‌شود. با توجه به داده‌های هواشناسی، دمای میانگین سال 15 درجه سانتی‌گراد است [۲۲]؛ پس میانگین دمای روزانه مؤثر سلول برابر با 40 درجه سانتی‌گراد خواهد شد. با توجه به مقدار مطلق ضریب دمای انرژی در کاتالوگ ($-0/41\%$) ضریب کاهش توان بر اثر دما برابر با $0/9385$ خواهد بود، با ضرب این عدد در توان عملکردی، مقدار $305/81$ وات توان، به عنوان توان عملکردی نهایی پنل به دست آمده است.

ولتاژ خروجی پنل، مشابه توان خروجی، تحت تأثیر تغییرات دمایی سلول است. کاهش ولتاژ بر اثر درجه حرارت به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$V_{mp.cell.eff} = V_{mp.stc} - (\gamma_v \times (T_{cell.eff} - T_{stc})) \quad (3)$$

که $V_{mp.cell.eff}$ کمترین ولتاژ خروجی در دمای مؤثر سلول، $V_{mp.stc}$ بیشترین ولتاژ خروجی در دمای مؤثر سلول و γ_v ضریب دمایی ولتاژ (ولت به ازای درجه سانتی‌گراد) است. با توجه به ضریب دمایی ولتاژ در کاتالوگ ($-0/33\%$)، این مقدار برابر با $39/41$ ولت است که با در نظر گرفتن ۵٪ افت ولتاژ، به ازای هر پنل، ولتاژی برابر $37/44$ ولت به مبدل می‌رسد. این عدد برابر با $V_{min.mp.inv}$ یعنی حداقل ولتاژ نقطه حداکثر توان^۱ مؤثر ورودی به مبدل است. کمترین تعداد ماژول‌های رشته را می‌توان با رابطه (۴) تعیین کرد:

$$N_{min.per.string} = \frac{V_{inv.min}}{V_{min.mp.inv}} \quad (4)$$

که $V_{inv.min}$ حداقل ولتاژ ورودی به مبدل و $V_{min.mp.inv}$ حداقل ولتاژ نقطه حداکثر توان مؤثر یک ماژول در مبدل به ازای بیشترین دمای

انرژی کل با روابط (۸) تا (۱۰) محاسبه شده است.

$$I_{Charging} = 53 \times 0.1 \times 1000 = 5300 \text{ Ah} \quad (8)$$

$$E_{Battery} = 5300 \times 24 = 127200 \text{ Wh} \quad (9)$$

$$E_{Total} = 127200 + 164000 = 291200 \text{ Wh} \quad (10)$$

در نهایت برای محاسبه تعداد پنل‌ها، باید مقدار کل انرژی مورد نیاز که در مرحله پیشین محاسبه شد بر میانگین تعداد ساعات تابش خورشید با توان یک کیلووات بر متر مربع در شبانه‌روز که ۴ ساعت است تقسیم شود؛ در این صورت مقدار کیلووات توان مورد نیاز جهت تولید بوسیله پنل‌ها محاسبه شده و در انتها جهت محاسبه تعداد پنل‌ها، مقدار توان مورد نیاز که باید توسط پنل‌ها تأمین شود بر توان خروجی حقیقی محاسبه شده برای هر پنل تقسیم می‌شود. بدین ترتیب تعداد پنل‌های مورد نیاز برابر با ۲۳۸ شده، که می‌تواند به صورت ۳۰ رشته پنل ۸ تایی چیده شود.

شارژکنترلرها وظیفه شارژ کردن مناسب باتری‌ها را بر عهده دارند که سرعت شارژ باتری‌ها به جریان الکتریکی نامی شارژ کنترلرها بستگی دارد. بنابراین با داشتن تعداد روزهایی که بین دو روز ابری وجود دارد، فرصت شارژ شدن باتری به دست می‌آید. با در نظر گرفتن ۴ روز آفتابی بین دو روز ابری و همینطور داشتن ۴ ساعت تابش مناسب خورشید در روز، میزان آمپر ساعت مورد نیاز برای شارژ باتری‌ها برابر است با مقدار آمپر ساعت باتری در روزهای ابری تقسیم بر تعداد روزهای در نظر گرفته شده برای شارژ باتری‌ها بعلاوه نیاز معمول مصرف روزانه، که برابر با ۶۶۶۲۱ Ah خواهد بود. از تقسیم آمپر ساعت به دست آمده، بر مدت زمان تابش مناسب خورشید در روز (۴ ساعت)، جریان الکتریکی مورد نیاز عبوری از شارژکنترلر به دست می‌آید که برابر با ۱۶۶۵۵ A است. در این طراحی شارژکنترلر ۱۰۰ آمپر ساعت ۲۴ ولت در نظر گرفته شده است [۲۴].

طراحی مبدل الکترونیک قدرت، وابسته به نوع کاربردی که از سامانه فتوولتاییک و ذخیره ساز انتظار داریم، است. در سیستم‌های الکتریکی با توجه به شرایط، پیشنهاد می‌شود به جای استفاده از یک سیستم مرکزی، از چند سیستم استفاده شود. بیشترین توان تولیدی آرایه‌های فتوولتاییک به صورت حاصل ضرب تعداد پنل‌ها در آرایه در توان نامی هر پنل انتخابی محاسبه می‌شود؛ که طبق رابطه (۱۱)

کردن بازده مبدل (۹۲٪ فرض شده)¹، میزان انرژی روزانه مورد نیاز از رابطه (۷) برابر است با [۲۰]:

$$\frac{143/96}{0.95 \times 0.92} \cong 164 \text{ kWh} \quad (7)$$

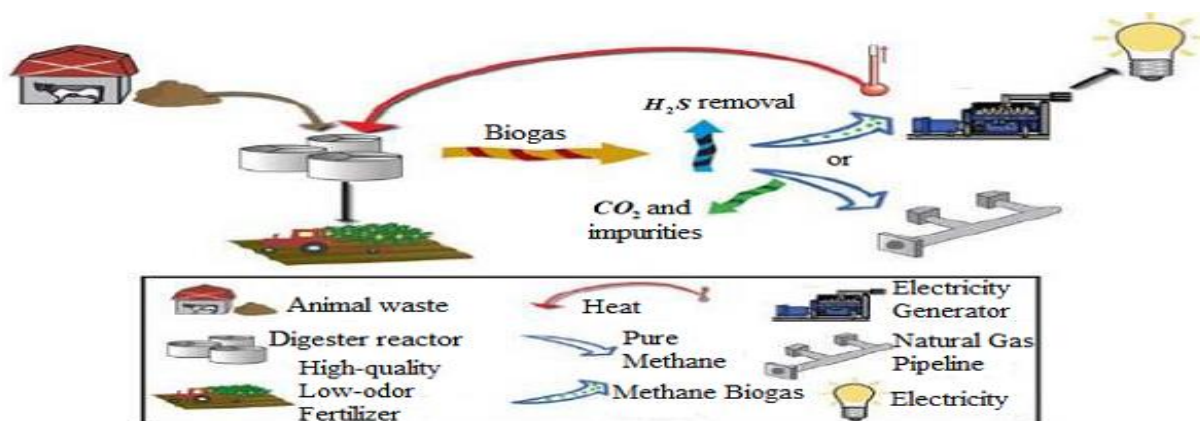
برای محاسبه آمپرساعت مورد نیاز سیستم (برای یک خانوار)، این مقدار بر ولتاژ سیستم که ۲۴ ولت است تقسیم می‌گردد؛ بنابراین ظرفیت مورد نیاز برای یک شبانه‌روز برابر با ۶۸۳۳۳ Ah است. در ادامه با ضرب این مقدار در تعداد روزهای ابری متوالی (۴ روز)، ظرفیت کل باتری‌های مورد نیاز برابر با ۲۷۳۳۲ آمپر ساعت است. معمولاً محدوده ولتاژی که باتری‌ها دشارژ شده ولی هنوز قادر به کار باشند بین ۰/۲ تا ۰/۸ است که در این طراحی ۰/۸ گرفته شده است. در طی شارژ و دشارژ بانک باتری، بخشی از انرژی تلف می‌شود و بنابراین باید انرژی ذخیره شده در باتری با لحاظ کردن میزان این تلفات محاسبه شود. با در نظر گرفتن ضریب تلفات باتری ۲۰ درصد و ولتاژ دشارژ ۰/۸، میزان آمپر ساعت ذخیره برابر با ۴۰۹۹۸ آمپرساعت است. خروجی باتری تابع دمای باتری و محیط آن است. بنابراین تغییرات دما خروجی بانک باتری را تغییر می‌دهد. برای تأثیر دادن تغییرات دما بر روی خروجی باتری، لازم است آمپر ساعت به دست آمده در یک ضریب تصحیح ضرب شود. در سیستم نمونه، با توجه به منطقه و داده‌های هواشناسی در دو سال ۹۳ و ۹۴، متوسط درجه حرارت منطقه در زمستان نزدیک به ۴/۴ درجه سانتی‌گراد است [۲۲]، و لذا ضریب مورد نظر ۱/۳ خواهد شد [۲۰]، در نهایت ظرفیت باتری‌ها برابر با ۵۳۲۹۷ آمپر ساعت خواهد بود. بعد از محاسبه کل آمپر ساعت لازم برای واحد خورشیدی لازم است تعداد باتری برای ایجاد چنین ظرفیتی محاسبه شود. باتری انتخابی دارای ظرفیت ۱۰۰۰ آمپرساعت است پس تعداد باتری برابر ۵۳ می‌شود [۲۳].

تعداد پنل‌های فتوولتاییک باید به گونه‌ای طراحی شوند که هم بتوانند توان مصرفی واحد مسکونی را تأمین کنند و هم باتری‌های تعیین شده را شارژ کنند. با توجه به ظرفیت باتری‌های تعیین شده، باید جریان مورد نیاز برای شارژ باتری با فرض دشارژ کامل باتری محاسبه و انرژی متناظر با آن به مقدار انرژی بار مصرفی افزوده شود تا مقدار انرژی که باید توسط سیستم فتوولتاییک تأمین شود، تعیین گردد. ضریب ۰/۱ به منظور رعایت قید نرخ شارژ شدن باتری است.

1 Dc to ac conversion losses

جدول ۲. تعداد اجزای سیستم فتوولتائیک برای سه روستا (سناریوی اول)
Table 2. The number of photovoltaic system components for three villages (first scenario)

روستا	اجزای سیستم فتوولتائیک	پنل	باتری	اینورتر
پیچ‌بن		۸۳۳۰	۱۸۵۵	۱۰۵۰
نرملات		۱۱۹۰	۲۶۵	۱۵۰
دینه‌رود		۹۵۲۰	۲۱۲۰	۱۲۰۰



شکل ۴. شماتیکی از فرایند تولید متان از هضم بی‌هوازی فضولات دامی [۴]
Fig. 4. Schematic of the methane production process from anaerobic digestion of animal dung

باید به تعداد رشته‌ها اینورتر نصب شود که در اینجا ۳۰ اینورتر حدوداً ۲/۵ کیلو واتی لازم است. نتایج محاسبات فنی برای سه روستا در جدول ۲ آورده شده است.

۳-۲ سناریو دوم (هضم بی‌هوازی و سیستم تولید همزمان توان و حرارت)

در سناریو دوم، نیاز الکتریکی روستاها از طریق سیستم تولید همزمان توان و حرارت (با سوخت بیوگاز) و نیاز گرمایشی منازل روستایی نیز از طریق لوله‌کشی گاز حاصله از تخمیر بی‌هوازی در هاضم تأمین می‌گردد. همچنین از گرمای تولیدی در موتور برای گرمایش هاضم استفاده می‌شود. شکل ۴ شماتیک فرایند تولید متان از هضم بی‌هوازی فضولات دامی را نشان می‌دهد.

۳-۲-۱- بیوگاز و هضم بی‌هوازی

بیوگاز مخلوطی است گازی شکل و قابل اشتعال که در اثر تخمیر

برابر است با:

$$8 \times 350 = 2800 \text{ W} \quad (11)$$

البته لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن تاثیرات کاهش توان در تفرانس سازنده ضریب تصحیح ۰/۹۵، آلودگی ضریب تصحیح ۰/۹۸ و دما ضریب تصحیح ۰/۸۷۵ در نظر گرفته شود [۲۰]. ضریب تصحیح کلی و توان اینورتر به ترتیب از رابطه‌های (۱۲) و (۱۳) محاسبه شده است.

$$K = 0.95 \times 0.98 \times 0.875 \cong 0.82 \quad (12)$$

$$P = 2800 \times 0.82 = 2296 \text{ W} \quad (13)$$

بنابراین توانی که از هر اینورتر عبور می‌کند عدد فوق است. البته باید توجه داشت که آرایش کلی سیستم به صورت ۳۰ رشته ۸ تایی است؛ که این توان عبوری از اینورتر، مربوط به یک رشته است. پس

جدول ۳. مقدار فضولات تولیدی توسط هر دام
Table 3. The amount of produced waste by each animal

گونه	میانگین وزن دام (kg)	فضولات روزانه هر دام (kg)	فضولات سالانه هر دام (kg)
گاو	۴۵۳/۶	۳۷/۲	۱۳۵۷۸
گوسفند	۴۵/۳۴	۱/۸۱	۶۶۰/۶۵

جدول ۴. بیوگاز استحصالی از دام‌های موجود در روستا
Table 4. Extracted biogas from livestock in the villages

روستا	بیج‌بن	نرمات	دینه‌رود
مجموع پتانسیل گاز تولیدی از دام‌ها ($\frac{m^3}{day}$)	۶۹۳	۲۸۴	۲۳۳

اسیدیته بر فعالیت آنزیمی و عملکرد هاضم تاثیر گذار است. اکثر باکتری‌های بی‌هوازی و از جمله متان‌ساز در محدوده اسیدیته ۷/۲-۶/۸ به خوبی فعالیت می‌کنند [۲۷].

۲-۲-۳- محاسبه بیوگاز تولیدی و حجم هاضم

در مرحله اول باید محاسبات مربوط به بیوگاز تولیدی از فضولات دامی در دسترس (۵ ماه فصل سرد سال) برای روستاها انجام شود. میزان فضولات تولیدی از گاو و گوسفند در جدول ۳ نشان داده شده است [۲۹ و ۳۰]. به ازای هر کیلوگرم فضولات گاوی ۲۷۰ لیتر و به ازای هر کیلوگرم فضولات گوسفندی ۲۳۰ لیتر بیوگاز تولید می‌شود [۳۱]. با توجه به داده‌های فوق مقدار گاز قابل استحصال از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$q = N \times M \times G \quad (14)$$

که در آن q بیوگاز تولیدی، N تعداد دام، M فضولات جمع‌آوری شده در طول سال و G بیوگاز تولیدی به ازای هر کیلوگرم فضولات دامی است. مقدار بیوگاز تولیدی برای سه روستا در جدول ۴ خلاصه شده است. اصولاً حجم دستگاه بیوگاز (V_D) بستگی کامل به زمان ماند هیدرولیکی و میزان تغذیه روزانه موادی دارد که در دستگاه بارگیری می‌شود [۲۶]. که از رابطه (۱۵) قابل محاسبه است [۳۲]:

$$V_D = \frac{(HRT \times W)}{BD} \quad (15)$$

مواد آلی در شرایط معین (دما، اسیدیته^۱ و...) و محیط بی‌هوازی توسط باکتری‌های خاصی بوجود می‌آید. بیوگاز شامل ۷۰-۵۰٪ متان CH_4 ، ۴۵-۲۵٪ کربن دی‌اکسید CO_2 ، ۷-۲٪ آب H_2O در $40^\circ C$ ، ۲۰-۵٪ نیتروژن N_2 ، ۲-۰٪ اکسیژن O_2 ، کمتر از ۱٪ هیدروژن H_2 ، ۱-۰٪ آمونیاک NH_3 ، ۶۰۰-۰ PPM، هیدروژن سولفید H_2S است [۲۵]. پارامترهایی که تأثیر عمده‌ای در فرآیند بی‌هوازی و نهایتاً بازده تولید گاز متان دارند، شامل: نوع مواد مورد استفاده (سوبسترا^۲)، نور، غلظت مواد، درجه حرارت، فشار نسبی هیدروژن، نسبت کربن به ازت، اختلاط، اسیدیته، مواد مغذی، سمیت، زمان ماند و غلظت میکروارگانیسم‌ها است [۲۶]. شرایط بهینه برای انجام تخمیر به صورت زیر است:

-بهترین غلظت برای تخمیر بی‌هوازی در مخازن بیوگاز ۷ تا ۹ درصد است [۲۶].

- دما یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فعالیت میکروبی در هاضم‌های بی‌هوازی بوده و درصد متان در بیوگاز تولیدی تا حد بسیار زیادی به دما وابسته است. بهترین محدوده دمایی که تولید متان در آن پیوسته و پایدار است $35^\circ C$ - $32^\circ C$ است [۲۷]. میکروارگانیسم‌های متان‌ساز به دما بسیار حساس بوده و کاهش ناگهانی دما موجب توقف فعالیت باکتری‌های متان‌ساز شده، بنابراین در مناطق با آب و هوای سرد لازم است هاضم تا $35^\circ C$ درجه سانتی‌گراد گرم شود [۲۸].

1 pH
2 Substrate

جدول ۵. حجم هاضم روستاها براساس تعداد دام موجود و مقدار آب لازم برای رقیق سازی

Table 5. The volume of digester of villages based on the number of available livestock and the amount of water needed for dilution

دینه‌رود	نرملات	پیچ‌بن	روستا
۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۹	غلظت متوسط
۳۳۳۵	۳۵۹۵	۱۰۸۷۹	مقدار آب لازم جهت رقیق سازی (kg)
۲۱۰	۲۳۵	۶۸۱	حجم هاضم (m ^۳)

هاضم استفاده کرد. با در نظر گرفتن انجام تخمیر در دمای مزوفیلیک ۳۵ °C [۲۸] و هم چنین گرمای ویژه ۱۸ $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ برای مواد و فرض اینکه مواد در دمای محیط وارد هاضم می‌شوند (۵ °C)؛ انرژی لازم جهت گرم نگه داشتن مخلوط در دمای مورد نظر از روابط (۱۶) تا (۲۰) محاسبه می‌شود [۶]:

$$Q_{loss} = \frac{(T_{op} - T_a)}{\sum R_{th}} \quad (16)$$

$$Q_d = mc(T_{op} - T_a) \quad (17)$$

$$Q_{total} = Q_{loss} + Q \quad (18)$$

$$R_{wall} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kl} \quad (19)$$

$$R_{bottom} = \frac{\Delta x}{kA} \quad (20)$$

که Q_{loss} گرمای اتلافی از هاضم، T_{op} دمای عملکردی هاضم، T_a دمای محیط، Q_d گرمای مورد نیاز مواد هاضم، m جرم مواد ورودی، R مقاومت حرارتی، r شعاع هاضم، l ارتفاع هاضم، k ضریب رسانندگی حرارتی، A مساحت و Δx ضخامت است. ضریب رسانندگی حرارتی اجزای دیواره و کف هاضم در جدول ۶ آورده شده است [۳۶ و ۳۷].

۳-۲-۴- انتخاب موتور مناسب سیستم تولید همزمان توان و حرارت هر مترمکعب بیوگاز، ۱/۸۷ الکتریسیته تولید می‌کند [۲۵]. مقدار برق مصرفی یک خانوار روستایی برابر با ۳/۵ است. اگر انتخاب موتور

که در آن HRT زمان ماند هیدرولیکی (روز)، W مجموع وزن آب و فضولات دامی، BD چگالی است.

نسبت قطر به عمق هاضم در محدوده ۱/۲ تا ۲ است که در این طراحی ۱/۲ در نظر گرفته شده است [۳۳]. همانطور که گفته شد؛ غلظت مواد یکی از عوامل مؤثر بر تولید بیوگاز است. موادی که عموماً در این دستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل درصد بالاتری از مواد جامد هستند؛ بنابراین ضروری است این مواد با آب رقیق شوند. مقدار غلظت^۱ فضولات دامی، متوسط مقدار ارائه شده در مراجع [۳۲-۳۴] در نظر گرفته شده است که برای گاو و گوسفند به ترتیب برابر با ۱۸/۳۸٪، ۶۴/۵٪ است. با توجه به مقدار فضولات تولیدی گاو و گوسفند در یک روز که به ترتیب برابر ۳۷/۲ و ۱/۸۱ کیلوگرم است و تعداد گاو و گوسفند در روستاها، غلظت متوسط برای یک کیلوگرم مخلوط فضولات دامی به دست آورده می‌شود. بهترین غلظت برای تخمیر بی‌هوازی در این تحقیق، ۸٪ در نظر گرفته شده است؛ در نتیجه مقدار آب لازم برای اضافه کردن به فضولات برای رساندن غلظت متوسط آن‌ها به ۸٪ محاسبه شده است. با در نظر گرفتن زمان ماند هیدرولیکی ۵۰ روز [۳۲ و ۳۳] و چگالی مخلوط برابر با چگالی آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) [۶]، حجم هاضم برای سه روستا در جدول ۵ خلاصه شده است.

۳-۲-۳- گرمایش هاضم

همانطور که گفته شد دمای مخزن یکی از عوامل مؤثر و مهم در تولید بیوگاز است به طوری که در دماهای پایین‌تر از ۱۵ °C نرخ تولید بیوگاز به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد یا حتی مختل می‌شود [۳۵]. بنابراین می‌توان از حرارت موتور جهت گرم کردن

1 Total solid (Ts)

جدول ۶. ضریب هدایت حرارتی مصالح هاضم [۳۶، ۳۷]
 Table 6. The thermal conductivity coefficient of digester materials

مقاومت حرارتی $\left(\frac{C}{W}\right)$	ضریب رسانندگی حرارتی $\left(\frac{W}{m.K}\right)$	ضخامت (cm)	مصالح
--	۰/۷۲	۱	اندود ماسه و سیمان
--	۰/۷۲	۲۲	آجر دیواره
--	۰/۷۲	۵	آجر کف
۰/۰۰۹	--	۰/۳	قیرگونی
--	۰/۴۶	۵	بتن سبک دانه
--	۰/۵۲	۳۰	خاک
--	۲/۳	۵	بتن مسلح (بین ۱ تا ۲ درصد میلگرد)

بیوگاز تولید می‌کند. در این تحقیق فرض شده است که کمبود بیوگاز از طریق اضافه نمودن گاو تأمین می‌شود زیرا با بالا بردن تعداد گاو نسبت به گوسفند، هاضم با حجم کمتری مورد نیاز بوده و در نتیجه مقرون به صرفه‌تر است. دلیل این کمتر بودن حجم به خاطر پایین‌تر بودن غلظت فضولات گاو و در نتیجه مقدار آب کمتر جهت رسیدن به غلظت مناسب است. همچنین یک گاو روزانه حدوداً ۲۰ برابر فضولات بیشتری نسبت به یک گوسفند در روز تولید می‌کند و علاوه بر آن هر کیلوگرم فضولات گاو تقریباً ۱/۲ برابر بیشتر از گوسفند، بیوگاز تولید می‌کند. مقادیر حجم هاضم و نوع موتور در جدول ۷ آورده شده است.

۵-۲-۳- محاسبات فنی شبکه توزیع گاز محلی

در این مطالعه، از روش شاخه‌ای جهت سایزینگ لوله‌های گاز استفاده شده است؛ به طوری که پس از تعیین محل احداث هاضم، فاصله دورترین مصرف کننده را در نظر گرفته و بر اساس آن و مقدار مصرف هر شاخه و در نظر گرفتن افت ۱۰ درصدی و فشار اولیه psi ۱۵، قطر اسمی لوله‌ها محاسبه شده است [۳۹]. برای محاسبه مصرف گاز بر حسب مترمکعب بر ساعت، تعداد دستگاه‌های گازسوز هر خانوار با مصرفشان در نظر گرفته شده و طراحی در بحرانی‌ترین شرایط (یعنی تمام وسایل همزمان با هم کار کنند)، انجام شده است. با توجه به مدل کردن خانه‌های روستایی در دو حالت سنتی (دیوارهای

بر اساس تأمین کل برق خانوارها انجام شود، موتور انتخاب شده در بعضی حالات، حرارت لازم جهت گرمایش هاضم‌ها را تأمین نمی‌کند. لذا گرمای مورد نیاز هاضم نیز باید محاسبه شود. در این تحقیق از کاتالوگ شرکت بوش برای انتخاب موتور استفاده شده و بازده موتور، ۳۰٪ در نظر گرفته شده است [۳۸]. مدل انتخابی برای تأمین برق روستا و گرمایش هاضم برای روستا پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود به ترتیب CE۱۹-۲NA، CE۱۲NA، CE۱۹-۲NA هستند که دارای تولید توان الکتریکی برابر با ۱۹، ۱۲ و ۱۹ کیلووات هستند؛ بنابراین برای روستای پیچ‌بن و دینه‌رود ۱۰/۱۶ مترمکعب بیوگاز در روز و برای روستاهای نرم‌لات ۶/۴۲ مترمکعب بیوگاز در روز نیاز است. با توجه به تعداد خانوارهای هر روستا و اینکه هر خانوار ۱۴ مترمکعب گاز در روز مصرف می‌کند و همچنین در نظر گرفتن اینکه ۶۰ درصد بیوگاز تولیدی شامل متان است، مقدار بیوگاز لازم جهت تأمین گاز متان در یک روز (با توجه به تعداد دام‌های موجود در ۵ ماه دوم) در روستاهای پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود به ترتیب برابر با ۸۱۷، ۱۱۷، ۹۳۳ مترمکعب است؛ در کل بیوگاز مورد نیاز (تأمین الکتریسیته و گاز) سه روستای پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود در یک روز به ترتیب برابر با ۸۲۷/۱۶، ۱۲۳/۴۲ و ۹۴۳/۱۶ است. همانطور که مشاهده می‌شود دو روستای پیچ‌بن و دینه‌رود از کمبود بیوگاز جهت تأمین انرژی برخوردارند و با اضافه کردن دام باید این کمبود جبران شود. هر گاو و گوسفند به ترتیب در یک روز ۱۰ و ۰/۴۲ مترمکعب

جدول ۷. حرارت مورد نیاز هاضم، تعداد گاو لازم و نوع موتور
Table 7. Required heat for digester, the number of needed cows and the type of engine

موتور (تأمین حرارت و برق)	تعداد گاو مورد نیاز	حرارت هاضم (kW)	روستا
CE۱۹-۲NA	۱۴	۳۲/۱	پیچ‌بن
CE۱۲NA	--	۱۲/۶	نرملات
CE۱۹-۲NA	۷۱	۲۳/۶	دینه‌رود

جدول ۸. سایز و مترایز لوله‌های مورد نیاز جهت شبکه توزیع گاز محلی
Table 8. The size and length of required pipes for local gas network

مترایز لوله (m)			سایز لوله (in)
دینه‌رود	نرملات	پیچ‌بن	
۴۸۱	۱۳۴	۸۱۰	۱
۵۳	--	۱۲۵	$\frac{1}{4}$
۳۷	--	۸۴	$\frac{1}{2}$
۱۲۵	--	۲۲	۲

تخلیه ۱۰ بار انتخاب شده است [۴۰].

۳-۳- سناریو سوم (تأمین برق روستا و گرمایش هاضم از طریق فتوولتاییک)

در این سناریو تأمین الکتریسیته مورد نیاز روستاها و گرمایش هاضم با سیستم فتوولتاییک صورت گرفته و نیاز گرمایشی روستاها از طریق شبکه لوله‌کشی گاز تأمین شده است. تمامی تجهیزات فتوولتاییک مانند پنل فتوولتاییک، باتری، شارژکنترلر و مبدل همانند مشخصات سناریو اول است. مقدار بیوگاز مورد نیاز در یک روز، حجم هاضم و گرمای مورد نیاز آن برای سه روستا در جدول ۹ آمده است. همچنین اجزای فتوولتاییک برای سه روستا در جدول ۱۰ ارائه شده است.

۴- محاسبات اقتصادی

پس از محاسبات فنی، در این بخش به آنالیز اقتصادی سناریوها پرداخته شده است.

خشتی و در و پنجره چوبی) و پیشرفته (دیوار بلوکی و در و پنجره آلومینیومی) در نرم افزار کریر و در نظر گرفتن میانگین آن‌ها، بار حرارتی هر خانه با زیر بنای ۱۰۰ مترمربع برابر با ۲۰ کیلووات است که برای تأمین آن دو بخاری گازی با مصرف ۰/۶ مترمکعب در ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین هر خانه یک اجاق گاز پنج شعله، یک آبگرمکن مخزن دار، یک شیر مصرف گاز در حیاط و یک روشنایی دارد که مقدار مصرف آن‌ها به ترتیب ۰/۷، ۱/۵، ۰/۳ و ۰/۱ مترمکعب در ساعت است [۳۹]. در این صورت مصرف هر خانوار در حالت پیک تقریباً برابر با ۴ متر مکعب در ساعت است. با توجه به دورترین مصرف کننده که فاصله آن از هاضم در روستای پیچ‌بن، نرملات و دینه‌رود به ترتیب برابر با ۲۴۳، ۷۷ و ۲۴۱ متر است، مترایز و سایز لوله‌های مورد نیاز محاسبه شده است جدول ۸. سایز لوله‌ها نباید کمتر از ۱ اینچ باشد [۲۶]. همچنین برای فشرده کردن گاز برای ذخیره‌سازی در مخزن و تأمین فشار دورترین نقطه مصرف، با توجه به دبی مصرفی کل روستاهای پیچ‌بن، نرملات و دینه‌رود که به ترتیب برابر با ۲/۳، ۰/۳ و ۲/۷ مترمکعب بر دقیقه است یک کمپرسور اسکرو با فشار

جدول ۹. مقدار بیوگاز مورد نیاز، حجم و گرمایش هاضم و تعداد گاو مورد نیاز برای سه روستا

Table 9. The amount of required biogas, the volume and heating of the digester and the number of needed cows for the three villages

گرمایش هاضم (kWh)	تعداد گاو مورد نیاز	حجم هاضم (m ^۳)	بیوگاز مورد نیاز (m ^۳)	روستا
۷۱۸	۱۳	۷۳۷	۸۱۷	پیچ‌بن
۲۹۳	--	۲۳۵	۱۱۷	نرمات
۵۷۱	۷۰	۵۰۹	۹۳۳	دینه‌رود

جدول ۱۰. تعداد اجزای سیستم فتوولتاییک

Table 10. The number of Photovoltaic system components

اینورتر	باتری	پنل	اجزای سیستم فتوولتاییک	روستا
۵۹	۲۷۳	۵۲۶		پیچ‌بن
۲۲	۱۰۱	۱۹۸		نرمات
۵۰	۲۳۱	۴۵۳		دینه‌رود

۴-۱- هزینه شبکه توزیع گاز محلی

در جدول ۱۱ نشان داده شده است. هزینه تصفیه بیوگاز یک درصد هزینه هاضم بی‌هوای در نظر گرفته شده است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه هر سه سناریو برای هر سه روستا در جدول ۱۲ ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده است؛ سناریو دوم کمترین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را داراست.

هزینه لوله‌کشی بر اساس وزن لوله بر حسب تن محاسبه می‌شود که در اینجا هزینه آن ۸۱۰ دلار به ازای هر تن در نظر گرفته شده است [۴۱]. هزینه لوله‌کشی برای طول لوله از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود [۴۲]:

$$PMC = 0.10246(D-T)TLC \quad (21)$$

۴-۳- درآمد بالقوه سناریوها

درآمدهای حاصل از طرح شامل فروش برق و گاز، کمپوست و کاهش گازهای گلخانه‌ای است که جزییات در جدول ۱۳ و جدول ۱۴ آورده شده است. قیمت‌ها بر اساس تراز نامه انرژی ۹۵ در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به تفاوت قیمت دلار در سال ۹۵ تاکنون، فرض شده است که به میزان افزایش نرخ دلار به همان مقدار قیمت خرید نیز افزایش پیدا کرده است. نرخ دلار با استناد به بانک مرکزی ۴۲۰۰ تومان در نظر گرفته شده است که حدود ۲۴/۵٪ نسبت به سال ۹۵ افزایش داشته است.

که در این رابطه PMC هزینه جنس لوله به دلار، D قطر خارجی لوله، T ضخامت لوله، C مشخصه هزینه جنس لوله و L طول لوله است. هزینه عایق، ۵٪ هزینه کل لوله‌کشی و هزینه مهندسی و مدیریت ساخت (کارکنان و حمل و نقل) ۱۵٪ درصد هزینه لوله‌کشی در نظر گرفته شده است [۴۲]. قیمت کمپرسور انتخاب شده ۵۰۰۰ دلار است [۴۰]. هزینه تعمیر و نگهداری در هر سال ۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری منظور گردیده است. هزینه لوله‌کشی محلی برای روستاهای پیچ‌بن، نرمات و دینه‌رود به ترتیب برابر با ۱۹۷۸، ۲۲۷ و ۱۵۴۰ دلار است.

۴-۴- ارزش فعلی خالص

یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی، ارزش

۴-۲- هزینه فتوولتاییک و هاضم

هزینه‌های اجزای پایه سیستم فتوولتاییک، ساخت هاضم و موتور

جدول ۱۱. قیمت پایه و هزینه تعمیر و نگهداری اجزای سیستم فتوولتائیک و بیوگاز

Table 11. The main price and maintenance cost of photovoltaic and biogas system components

طول عمر (سال)	هزینه بهره برداری و نگهداری در سال	هزینه اولیه	هزینه (\$) / تجهیزات
۲۵	$4 \frac{\$}{\text{kW}}$ [۱۱]	$2520 \frac{\$}{\text{kW}}$ [۶]	پنل خورشیدی
۱۰	$1/67 \frac{\$}{\text{unit}}$ [۱۱]	$210 \frac{\$}{\text{unit}}$ [۲۳]	باتری
۱۵	--	$636 \frac{\$}{\text{kW}}$ [۶]	اینورتر
۱۵	--	$259 \frac{\$}{\text{unit}}$ [۲۴]	شارژکنترلر
۲۵	--	$628/52 \frac{\$}{\text{m}^2}$ [۶]	هاضم بی‌هوازی
۲۵	$0/01 \frac{\$}{\text{kW}}$ [۶]	$1300 \frac{\$}{\text{kW}}$ [۶]	موتور سیستم تولید همزمان

جدول ۱۲. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سه سناریو برای هر سه روستا بر حسب دلار

Table 12. The cost of initial investment of three scenarios for all three villages in dollars

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	سناریوها / روستا
۱۸۹۰۹۶۹	۵۰۲۰۶۹	۱۴۲۷۲۴۰۶	پیچ‌بن
۶۷۹۳۰۲	۱۷۰۰۰۶	۲۰۳۹۲۷۵	نرم‌لات
۱۵۲۸۵۸۳	۳۴۷۷۹۵	۱۶۳۱۱۶۸۲	دینه‌رود

جدول ۱۳. تعرفه فروش برق، گاز، کمپوست و کاهش آثار گلخانه‌ای

Table 13. The cost of electricity, gas and compost sale and the depletion of greenhouse gases

ضریب انتشار کربن دی‌اکسید $\frac{\text{TonCO}_2}{\text{MWh}}$ [۴۳]	قیمت (دلار)	قیمت (تومان)		
۰/۷	$0/104 \frac{\$}{\text{kWh}}$	$350 \frac{\text{Toman}}{\text{kWh}}$	زیست‌توده [۴۴]	برق
	$0/145 \frac{\$}{\text{kWh}}$	$490 \frac{\text{Toman}}{\text{kWh}}$	فتوولتائیک [۴۴]	
--	$0/24 \frac{\$}{\text{m}^3}$	$100 \frac{\text{Toman}}{\text{m}^3}$	گاز [۴۴]	
--	$0/12 \frac{\$}{\text{kg}}$	$500 \frac{\text{Toman}}{\text{kg}}$	کود جامد (کمپوست) [۴۵]	
--	$10 \frac{\$}{\text{TonCO}_2}$	--	کاهش کربن دی‌اکسید [۴۶]	
۲۰٪			درصد هضم جامد فرار [۳۲]	

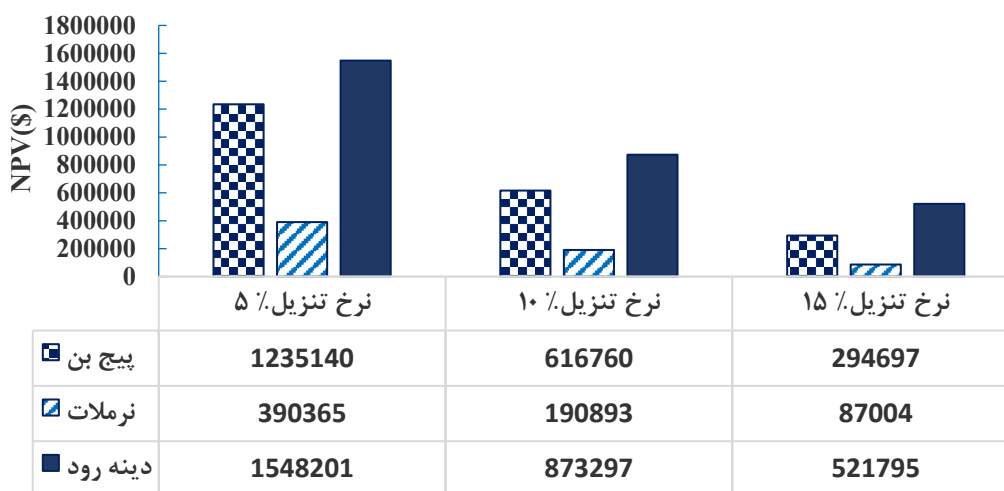
فعلی خالص است؛ در این روش تمامی هزینه‌ها و درآمدهای طرح در طول دوره بهره‌برداری را به سال اول سرمایه‌گذاری انتقال می‌دهند.

جدول ۱۴. درآمد سالیانه از هر سناریو در سه روستا بر حسب دلار
Table 14. Annual revenue of each scenario in three villages in dollars

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	سناریوها روستا
$1/246 \times 10^5$	$1/241 \times 10^5$	$3/191 \times 10^5$	پیچ بن
$4/035 \times 10^4$	$4/01 \times 10^4$	$4/559 \times 10^4$	نرملات
$1/362 \times 10^5$	$1/354 \times 10^5$	$3/647 \times 10^5$	دینه رود

جدول ۱۵. ارزش فعلی خالص برای سناریوهای اول و سوم با نرخ تنزیل ۵٪ برای سه روستا
Table 15. The net present value of first and third scenarios with 5% discount rate for three villages

دینه رود	نرملات	پیچ بن	روستا سناریو
$-4/24 \times 10^6$	$-2/37 \times 10^6$	$-1/66 \times 10^7$	سناریو اول
$-3/87 \times 10^5$	$-4/51 \times 10^5$	$-1/05 \times 10^6$	سناریو سوم



شکل ۵. مقادیر ارزش فعلی خالص سناریو دوم برای سه روستا
Fig.5. The amount of net present value of the second scenario for the three villages

ز شمارشگر. محاسبات برای نرخ تنزیل ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ انجام شده است. برای سناریو اول و سوم در نرخ تنزیل ۵٪ مقدار ارزش فعلی خالص منفی شد که نشان دهنده این است که طرح توجیه اقتصادی ندارد؛ مقادیر آن در جدول ۱۵ آمده است. سناریو دوم دارای ارزش فعلی خالص مثبت است که مقادیر آن برای سه نرخ تنزیل در شکل ۵ نشان داده شده است.

نرخ بازده داخلی که از آن تحت عنوان کارایی نهایی سرمایه نیز

هزینه‌ها با علامت منفی و درآمدها با علامت مثبت در رابطه (۲۲) وارد می‌شوند اگر عدد حاصل مثبت باشد، طرح اقتصادی است و برای ارزیابی‌های بیشتر مورد بررسی قرار گرفته می‌شود [۴۷].

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{Q_n}{(1+i)^j} - I \quad (22)$$

که در این رابطه n طول عمر پروژه، i نرخ تنزیل، Q_n جریان نقدی (تفاوت درآمدها و هزینه‌ها)، I سرمایه‌گذاری اولیه و

ضریب دمایی ولتاژ	γ_v	یاد می‌گردد، عبارت است از نرخ تنزیلی که به ازای آن، ارزش فعلی جریان نقدینگی وارده برابر با ارزش فعلی نقدینگی خارج شده است.
$\frac{W}{mK}$ ، ضریب رسانش حرارتی،	k	به عبارت دیگر نرخ بازده داخلی نشان دهنده نرخ بهره‌ای می‌باشد که اگر سرمایه‌گذاری در آن نرخ صورت گیرد؛ حاصل طرح، سود اقتصادی صفر برای سرمایه‌گذار خواهد بود [۴۸]. نرخ بازده داخلی برای سه روستا پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود در سناریو دوم برابر با ۲۴/۴۴٪، ۲۳/۲۶٪ و ۳۸/۶٪ است که از نرخ تنزیل در نظر گرفته شده بزرگتر هستند.
تعداد پنل	N	
جرم مواد ورودی، $\frac{kg}{day}$	m	
ولتاژ، v	V	
ضخامت، m	Δx	
قطر خارجی لوله، km	D	
جریانات نقدی، $\$$	Q_n	
جریان باتری، Ah	I	
حجم هاضم، m^3	V_D	
توان اینورتر، W	P	
بیوگاز تولیدی، m^3	q	
طول لوله، km	L	
مقدار فضولات، kg	M	
مساحت، m^2	A	
شعاع هاضم، m	r	
نرخ تنزیل	i	
شمارشگر	j	
ارتفاع هاضم، m	l	
تولید بیوگاز به ازای هر کیلوگرم فضولات، m^3	G	
انرژی الکتریکی، Wh		
زمان ماند هیدرولیکی، day	HRT	
مجموع وزن آب و فضولات، kg	W	
چگالی، $\frac{kg}{m^3}$	BD	
انرژی گرمایی، W	Q	
مقاومت حرارتی، $\frac{^\circ c}{W}$	R	
ارزش فعلی خالص، $\$$	NPV	
هزینه لوله کشی، $\$$	PMC	
تعداد دام - طول عمر پروژه	n	
مشخصه هزینه جنس لوله، $\frac{\$}{metricTon}$	C	
	T	دما، $^\circ c$ - ضخامت لوله، mm
	f_{temp}	ضریب کاهش توان بر اثر دما
	γ	مقدار مطلق ضریب دمایی انرژی

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی تأمین انرژی سه روستای سخت‌گذر و سردسیر شامل روستاهای پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر موجود در این مناطق (انرژی خورشیدی و زیست‌توده) پرداخته شده است. برای تأمین انرژی سه سناریو مختلف در نظر گرفته شد. سناریو اول شامل سیستم فتوولتائیک، سناریو دوم تلفیق هضم بی‌هوازی و سیستم تولید همزمان توان و حرارت و سناریو سوم تلفیق سیستم فتوولتائیک و هضم بی‌هوازی است. آنالیز فنی و اقتصادی این سه سناریو برای روستاهای مورد مطالعه نشان داد که در سه نرخ تنزیل ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪، ارزش فعلی خالص، تنها برای سناریو دوم در سه روستا مثبت شد و نرخ بازده داخلی برای روستاهای پیچ‌بن، نرم‌لات و دینه‌رود به ترتیب برابر با ۲۴/۴۴٪، ۲۳/۲۶٪ و ۳۸/۶٪ شد که بالاتر از نرخ‌های تنزیل طرح است. بنابراین سناریو دوم برای اجرا در روستاهای مورد نظر توجیه اقتصادی دارد. لازم به ذکر است که در صورت توسعه صنعت گردشگری در این مناطق و ایجاد زیرساخت‌های لازم اقامتی برای افراد غیربومی - که دسترسی دائمی به نیروهای متخصص را فراهم می‌آورد- استفاده از نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی نظیر گیرنده سهموی، بازتاب‌کننده خطی و... نیز می‌توانند مطرح گردند که در تحقیقات آتی می‌بایستی مورد توجه قرار گیرند.

علائم و اختصارات

T دما، $^\circ c$ - ضخامت لوله، mm

f_{temp} ضریب کاهش توان بر اثر دما

γ مقدار مطلق ضریب دمایی انرژی

- decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system–Case study Kenya, *Energy*, 1841-1830 (2015) 90.
- [10] M.M. Rahman, M.M. Hasan, J.V. Paatero, R. Lahdelma, Hybrid application of biogas and solar resources to fulfill household energy needs: A potentially viable option in rural areas of developing countries, *Renewable Energy*, 68 45-35 (2014).
- [11] S. Singh, M. Singh, S.C. Kaushik, Feasibility study of an islanded microgrid in rural area consisting of PV, wind, biomass and battery energy storage system, *Energy Conversion and Management*, 190-178 (2016) 128.
- [12] A. Heydari, A. Askarzadeh, Optimization of a biomass-based photovoltaic power plant for an off-grid application subject to loss of power supply probability concept, *Applied Energy*, 611-601 (2016) 165.
- [13] M. Alaeipour, M. Mafi, M. Khanaki, M. Kamali, Development of biogas-photovoltaic hybrid energy system in order to meet heating and electrical requirements of villages located in cold climate, in: 3rd National Conference on Air Conditioning & Heating Cooling Installation, Imam Khomeini International University, 2018. (in Persian).
- [14] M. Mafi, A. Mazaheri, L. Seydabadi, S.F. Fishani, Feasibility study on integrated energy production systems from renewable resources for heating, cooling and electrification of remote areas and thermo-economic comparison with other energy carriers such as CNG, LPG and natural gas pipeline, in: Internship Project, Qazvin Providence Gas Company, 2017. (in Persian).
- [15] M. Taghvaei, E. Sabouhi, Locating of solar power plants in Isfahan province, *Urban research and planning*, (28)8 82-61 (2017). (in Persian).
- [16] NASA Website for Surface Meteorology and Solar Energy, in, www.Eosweb.nasa.Gov/sse/.
- [17] Qazvin Providence Electrical Power Distribution Company, in, <http://www.nigc-qazvin.ir/>.
- [18] Qazvin Providence Gas Company, in, <https://qazvin-ed.co.ir/>.
- [19] S. Mokhatab, J.Y. Mak, J.V. Valappil, D.A. Wood, Handbook of liquefied natural gas, Gulf Professional
- [1] F.T. Hamzehkolaei, N. Amjady, A techno-economic assessment for replacement of conventional fossil fuel based technologies in animal farms with biogas fueled CHP units, *Renewable energy*, 614-602 (2018) 118.
- [2] H.S. Das, C.W. Tan, A. Yatim, K.Y. Lau, Feasibility analysis of hybrid photovoltaic/battery/fuel cell energy system for an indigenous residence in East Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1347-1332 (2017) 76.
- [3] A.H. Mamaghani, S.A.A. Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, F. Rinaldi, Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, *Renewable Energy*, 97 305-293 (2016).
- [4] J. Ahmad, M. Imran, A. Khalid, W. Iqbal, S.R. Ashraf, M. Adnan, S.F. Ali, K.S. Khokhar, Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar, *Energy*, 234-208 (2018) 148.
- [5] I. Eziyi, A. Krothapalli, Sustainable rural development: solar/biomass hybrid renewable energy system, *Energy Procedia*, 1501-1492 (2014) 57.
- [6] J.G. Castellanos, M. Walker, D. Poggio, M. Pourkashanian, W. Nimmo, Modelling an off-grid integrated renewable energy system for rural electrification in India using photovoltaics and anaerobic digestion, *Renewable Energy*, 398-390 (2015) 74.
- [7] S. Salehin, A.S. Islam, R. Hoque, M. Rahman, A. Hoque, E. Manna, Optimized model of a solar PV-biogas-diesel hybrid energy system for Adorsho Char Island, Bangladesh, in: 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), IEEE, 2014, pp. 6-1.
- [8] A. Bhatt, M. Sharma, R. Saini, Feasibility and sensitivity analysis of an off-grid micro hydro–photovoltaic–biomass and biogas–diesel–battery hybrid energy system for a remote area in Uttarakhand state, India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69-53 (2016) 61.
- [9] S.G. Sigarchian, R. Paleta, A. Malmquist, A. Pina, Feasibility study of using a biogas engine as backup in a

- digestion of cattle dung, *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 106-103 (2013) (1)26.
- [33] J. Martí-Herrero, R. Alvarez, R. Cespedes, M. Rojas, V. Conde, L. Aliaga, M. Balboa, S. Danov, Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude, *Bioresource technology*, 246-238 (2015) 181.
- [34] R. Alvarez, G. Lidén, Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production, *Biomass and bioenergy*, 533-527 (2009) (3)33.
- [35] D. Yin, W. Liu, N. Zhai, Y. Wang, C. Ren, G. Yang, Regional differentiation of rural household biogas development and related driving factors in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1018-1008 (2017) 67.
- [36] T.L. Bergman, F.P. Incropera, D.P. DeWitt, A.S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*, John Wiley & Sons, 2011.
- [37] National Regulations of building, 19th topic, Saving energy, Nashr Tosehe publication, 2011. (in Persian).
- [38] Kar Andishe Company, in, <http://boschhvac.com/chp/>.
- [39] National Regulations of building, 17th topic, Natural gas piping, Nashr Tosehe publication, 2011. (in Persian).
- [40] Baosi Co, in, <https://baosi.en.alibaba.com/?spm=a2700.details.cordpanyb.1.17507ab5sPkO1M>.
- [41] Hubei Blue Sky Co, in, <https://hbtltube.en.alibaba.com/?spm=a2700.details.cordpanyb.1.65f377beYfE5pN>.
- [42] E.S. Menon, *Gas pipeline hydraulics*, Crc Press, 2005.
- [43] F. Salmani, E. Amirirad, M.R. Salimi, The feasibility of building two units combined heat and power (CHP) with biogas in urban wastewater treatment plant, *Tabriz mechanical engineering*, 331-325 (2017) (3)47. (in Persian).
- [44] Renewable Energy Organization, in, <http://www.satba.gov.ir>.
- [45] Sale of livestock manure, in, <http://www.takparvar.blogfa.com>.
- [46] C. Hope, D. Newbery, Calculating the social cost of carbon, (2007).
Publishing, 2013.
- [20] M. Setareh, S.V. Khatami, H. Kouhani, A guide to photovoltaic (PV) system design and installation, in, Niroo Research Institute, 2014. (in Persian).
- [21] Radman Panel Catalog, in, <http://radmanenergy.ir/wp-content/uploads/01/2018/AE-Solar.pdf>.
- [22] Meteorology data, in, Department of Meteorology of Qazvin province, Moallem Kelayeh station, 2016. (in Persian).
- [23] Yangzhou Zhongming Technology Co, in, <http://yzzmkj.en.alibaba.com/?spm=a2700.Wholesale.Cordpanyb2a2pHwvPt>.
- [24] Hefei Bluesun Solar Energy Technology Co, in, <https://chinasolarhome.en.alibaba.com/?spm=a2700.wholesale.cordpanyb.1.7ce74f3cucViqc>.
- [25] A. Akbulut, Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study, *Energy*, 390-381 (2012) (1)44.
- [26] G.A. Omrani, *Biogas production from urban and rural waste*, Tehran university publications, 1997. (in Persian).
- [27] M.N.I. Siddique, Z.A. Wahid, Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: a review, *Journal of cleaner production*, 371-359 (2018) 194.
- [28] H.S. Sorathia, P.P. Rathod, A.S. Sorathiya, Biogas generation and factors affecting the Bio-gas generation—a review study, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 78-72 (2012) (3)3.
- [29] J.A. Ogejo, S. Wildeus, P. Knight, R.B. Wilke, Estimating goat and sheep manure production and their nutrient contribution in the Chesapeake Bay watershed, *Applied engineering in agriculture*, 1065-1061 (2010) (6)26.
- [30] University of Illinois Board of Trustees, in, <http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paper/Display.cfm?ContentID=274>.
- [31] Y. Noorollahi, M. Kheirrouz, H.F. Asl, H. Yousefi, A. Hajinezhad, Biogas production potential from livestock manure in Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 754-748 (2015) 50.
- [32] S.R. Desai, P. Vijaykumar, M. Rajeshwar, Performance evaluation of fixed dome type biogas plant for solid state

- [48] E.M. Ghelichi, M. Sharifi, S. Rafiei, Economic feasibility of energy production from livestock dung using Dranco Anaerobic digestion, *Bio system engineering*, (2017) (3)48 387-379. (in Persian).
- [47] L.G. Acuña, M. Lake, R.V. Padilla, Y.Y. Lim, E.G. Ponzón, Y.C.S. Too, Modelling autonomous hybrid photovoltaic-wind energy systems under a new reliability approach, *Energy conversion and management*, 369-357 (2018) 172.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Sadat Alaeipour, M. Mafi, M. Khanaki, M. Ebrahimi, Techno-Economic Feasibility of Energy Supply Systems from Renewable Sources of Solar and Biomass in Rural Areas Located In Cold and Dry Climate, Amirkabir J. Mech Eng., 53(1) (2021) 81-100.

DOI: [10.22060/mej.2019.16153.6287](https://doi.org/10.22060/mej.2019.16153.6287)



