

## امکان سنجی فنی-اقتصادی استفاده از منابع تجدیدپذیر به منظور تامین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته مناطق روستایی دورافتاده

لیلا صیدآبادی<sup>۱</sup>، علی مظاهری<sup>۱</sup>، مصطفی مافی<sup>۲\*</sup>، اسماعیل مفرد بوشهری<sup>۳</sup>، علیرضا نصیرایی<sup>۳</sup>، شهرام فلاح فیشانی<sup>۳</sup>،  
علی اصغر توسلیان<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج

۲- عضو هیئت علمی گروه مکانیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳- شرکت گاز استان قزوین، قزوین

\* قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، صندوق پستی ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸، m.mafi@eng.ikiu.ac.ir

### چکیده

استفاده از سیستم‌های نوین تامین انرژی، از جمله راهکارهای در دست بررسی برای تامین انرژی در مناطق سخت‌گذر است. از جمله این سیستم‌های نوین، می‌توان به سیستم‌های تجدیدپذیر اشاره نمود. در این تحقیق، امکان سنجی فنی-اقتصادی سیستم‌های تامین انرژی بر پایه منابع تجدیدپذیر برای سه روستای سخت‌گذر پیچبن، نرملات و دینه‌رود، واقع در الموت شرقی قزوین، انجام شده است. با بررسی انواع سیستم‌های تجدیدپذیر و پتانسیل منطقه، دو سیستم خورشیدی و زیست‌گاز برای سه روستا برگزیده شدند. محاسبات فنی بیانگر این موضوع است که برای روستاهای پیچبن، نرملات و دینه‌رود به ترتیب ۱۲۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰۰ پنل فتوولتاییک مورد نیاز است. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که گاز تولیدی از فضولات حیوانی در این سه روستا به ترتیب ۱۴۵۰۰۸، ۶۲۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ مترمکعب است. با توجه به محاسبات اقتصادی، توجیه‌پذیرترین طرح، سیستم‌های ترکیبی فتوولتاییک-زیست‌گاز با ۵/۵ سال دوره بازگشت سرمایه و ۱۶/۱۳ درصد نرخ بازگشت داخلی (IRR) است.

کلیدواژه‌گان: پنل فتوولتاییک، سیستم ترکیبی، سیستم زیست‌گاز، نرخ بازگشت داخلی

## Technical-economic feasibility study on renewable resources in order to satisfying heating, cooling and electricity needs of remote rural areas

L. Seidabadi<sup>1</sup>, A. Mazaheri<sup>1</sup>, M. Mafi<sup>2\*</sup>, E. Mofrad Bushehri<sup>3</sup>, A. Nasirae<sup>3</sup>, Sh. Fallah Fishani<sup>3</sup>,  
A. A. Tavsolian<sup>3</sup>

1- Department of energy, Material & Energy Research center, Karaj, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini University, Qazvin, Iran

3- Qazvin province gas company, Qazvin, Iran

\* P.O.B. 3414896818 Qazvin, Iran, m.mafi@eng.ikiu.ac.ir

Received: 19 May 2017

Accepted: 10 September 2017

### Abstract

Using of modern energy systems is the one of ways for supplying energy in hard transition zones. In this investigation, a technical-economic feasibility study on energy production systems from renewable sources was done for three hard transition rural areas including Pichbon, Narmellat and Dinehroud, located in the eastern Alamut, Qazvin. Among different renewable energy production systems, solar and biogas systems were selected based on the rural areas potential. Technical calculation reveals that Pichbon, Narmellat and Dinehroud require 1200, 150 and 1000 Photovoltaic (PV) panels, respectively. The gas produce from animal waste, in these rural areas, are 145008, 62000 and 50000 m<sup>3</sup>, respectively. According to economic calculations, a hybrid PV-biogas system was chosen as the most viable economic, with payback period equal to 5.5 years and internal rate of return equal to 16.13 percent.

**Keywords:** Photovoltaic panels, hybrid systems, biogas systems, internal rate of return.



## ۱- مقدمه

بند «ق» تبصره ۲ قانون بودجه، بر سرعت بخشیدن به گازرسانی روستاهای کشور تاکید دارد. با توجه به روند مثبت گازرسانی به روستاهای کشور از محل اعتبار بند «ق»، انتظار می‌رود در پایان برنامه ششم، میانگین ضریب نفوذ گاز طبیعی در روستاهای کشور به بیش از ۹۰ درصد برسد. ۱۰ درصد باقیمانده، شامل روستاهای سخت‌گذری است که گازرسانی به آن‌ها از طریق اجرای شبکه‌گذاری گاز طبیعی و حتی CNG و LNG نیز توجیه فنی-اقتصادی ندارد و می‌بایستی تامین انرژی موردنیاز آن‌ها از طریق سایر حامل‌های انرژی، مدنظر قرار گیرد. یکی از گزینه‌هایی که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان و مهندسان جهت تامین انرژی در مناطق دورافتاده قرار گرفته است، تولید انرژی بر پایه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر علاوه بر اینکه می‌تواند نیازهای سرمایشی، گرمایشی و الکتریسیته مناطق روستایی را تامین نماید، می‌تواند به عنوان مهم‌ترین مولفه، در توسعه پایدار این مناطق نیز نقش داشته باشد.

اغلب روستاهای دور افتاده و سخت‌گذر در ایران، در مکان‌هایی با ویژگی‌های جغرافیایی خاصی قرار دارند که در صورت تامین انرژی می‌تواند به توسعه اقتصاد بر پایه صنعت گردشگری در این مناطق کمک شایانی نمود. این موضوع، روند مهاجرت از مناطق روستایی و خالی از سکنه شدن آن‌ها را کاهش و به تبع آن، نقش مهمی در شکوفا شدن اقتصاد روستایی خواهد داشت. خوشبختانه در اغلب مناطق روستایی کشور، اقتصاد بر پایه دامپروری شکل گرفته است که این امر حاکی از در دسترس بودن منابع عظیمی از انرژی زیست‌توده در این مناطق است. در این پروژه، توسعه فناوری و ارائه طرح اولیه سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی مقیاس کوچک بر پایه منابع تجدیدپذیر (با تاکید بر زیست‌توده و فضولات حیوانات اهلی) در مناطق روستایی با اقتصاد دامپروری به منظور تامین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته مدنظر قرار گرفته است. علت بکارگیری سیستم ترکیبی، اطمینان از پایداری تامین انرژی در تمام فصول سال است.

در این پژوهش، منطقه‌ای روستایی واقع در الموت شرقی (شامل سه روستای پیچین، نرمات، دینه‌رود) که گازرسانی به آن‌ها از طریق اجرای شبکه‌گذاری به لحاظ فنی امکان‌پذیر نمی‌باشد، به عنوان منطقه مورد مطالعه، انتخاب شده است. گازرسانی به این مناطق به علت صعب‌العبور بودن حتی از طریق روش‌های دیگر نظیر CNG و LNG نیز امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین تامین گاز از منابع زیست‌توده برای دامداری‌های صنعتی (علاوه بر منطقه روستایی فوق‌الذکر) از دیگر اهداف تحقیق حاضر است. بنابراین اهداف مقاله را می‌توان به صورت موردی چنان بیان نمود:

- ۱- تامین انرژی گرمایشی، سرمایشی و الکتریکی پایدار با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۲- جلوگیری از مهاجرت بی‌رویه روستاییان
- ۳- دستیابی به محیطی پاک و بدون هرگونه ضایعات انسانی و حیوانی
- ۴- توسعه صنعت گردشگری

## ۲- معرفی منطقه

آل‌موت نام منطقه‌ای در استان قزوین است که خود متشکل از دو بخش الموت غربی و الموت شرقی در رشته‌کوه‌های البرز، واقع در شمال شرقی یکی از بخش‌های استان قزوین، جنوب مازندران و گیلان،

باختر طالقان و خاور رودبار زیتون قرار دارد [۱]. عمده شهرت این منطقه به علت وجود دو دژ الموت و لمبسر در آن است.

روستای پیچین در منطقه الموت شرقی، ۳۴ کیلومتری شرق بخش معلم کلایه در ارتفاع ۲۷۲۰ متری از سطح دریا به مختصات جغرافیایی ۵۰،۴۶۷۲۸ در طول جغرافیایی و ۳۶،۲۴۲۴۱ در عرض جغرافیایی واقع شده است. ارتفاع نسبتاً بالا و نزدیکی این روستا به جریان‌های هوایی شمالی، باعث سردسیر و مرطوب بودن آب و هوای منطقه شده است. این روستا از جبهه‌ی شمالی به ارتفاعات بلندتر و رشته کوه‌ها، و از جبهه‌ی جنوبی، به ارتفاعات پایین‌تر و رودخانه محدود می‌شود. این شرایط منطقه باعث شکل‌دهی به جریان‌های هوایی و مسیر بادها می‌شود. وضعیت طبیعی این روستا دره‌ای می‌باشد.

منطقه‌ی زیبای نرمات در دهستان الموت پایین بعد از روستای گرمارود، نرسیده به روستای پیچین در سمت راست جاده قرار دارد که با جاده‌ی فرعی جدا می‌گردد. این روستا در منطقه‌ی الموت شرقی، ۳۵ کیلومتری شرق بخش معلم کلایه و در ارتفاع ۲۱۰۰ متری از سطح دریا به مختصات ۵۰،۷۷۷۴۶ در طول جغرافیایی و ۳۶،۳۶۲۸۶ در عرض جغرافیایی واقع شده است. وجود ارتفاعات و بلندی‌های ۳۰۰۰ متری که در قسمت شمالی و جنوبی روستا واقع شده‌اند، باعث سردسیر بودن و کمبود ساعات آفتابی در این روستا شده است. روستای نرمات در بالا دست محل تلاقی رودخانه‌های جاری از روستاهای اواتر و دینه‌رود قرار گرفته است و همین امر باعث وجود باغ‌ها و پوشش گیاهی مناسبی در منطقه شده است. وجود رودخانه‌هایی که از یخچال‌های بالادست سرچشمه می‌گیرند، دلیل بر طوبیت بالای منطقه شده است.

منطقه‌ی بکر و زیبای دینه‌رود در دهستان الموت پایین بعد از روستای نرمات واقع شده است. در واقع آخرین روستای الموت از سمت کوه‌های شاه البرز می‌باشد. این روستا در ادامه‌ی روستای نرمات بوده و از طریق جاده فرعی از راه اصلی گرمارود-پیچین جدا می‌گردد. روستای دینه‌رود در منطقه‌ی الموت شرقی، ۳۷ کیلومتری شرق بخش معلم کلایه در ارتفاع ۲۲۲۰ متری از سطح دریا به مختصات ۵۰،۷۸۲۷۳ در طول جغرافیایی و ۳۶،۳۴۸۶۵ در عرض جغرافیایی واقع شده است. روستای دینه‌رود در دامنه ارتفاعات بلند ۴۰۰۰ متری که به نام رشته کوه‌های شاه البرز مرکزی معروف هستند، واقع شده است. از قسمت جنوب غربی روستا، الموت‌رود عبور می‌کند. الموت‌رود از شاه البرز سرچشمه گرفته و پس از عبور از روستای نرمات، به سمت گرمارود و در ادامه به دشت قزوین سرازیر می‌شود. این رود، در فصل بهار طغیان می‌کند و موجب آسیب به بستر رودخانه و راه‌های ارتباطی و پل روستا می‌شود که البته در شش ماهه اول سال ۱۳۹۵، سعی بر احداث پل ارتباطی در جنوب غربی روستا شده است. کوه زردکوله در ۱ کیلومتری غرب، کوه گچ‌پس در شرق و کوه کیله‌وا در جنوب آبادی است. دره تنورکان در ۲ کیلومتری جنوب آبادی است [۲].

با توجه به مطالعات میدانی انجام شده، استفاده از داده‌های هواشناسی و مراجع [۲] اطلاعات سه روستا به صورت جدول ۱ می‌باشد.



انواع انرژی‌های تجدیدپذیر عبارتند از: انرژی خورشیدی، انرژی بادی، زیست‌انرژی، انرژی زمین گرمایی، انرژی آبی (برق‌آبی)، انرژی جزر و مد و انرژی امواج دریا (لازم به ذکر است که به علت نبود دریا در منطقه، انرژی‌های جزر و مد و امواج دریا بررسی نخواهند شد).

#### ۲-۱- بررسی سه روستا از نظر انرژی زمین گرمایی

باتوجه به بازدید میدانی به عمل آمده از منطقه و آنالیز نوع خاک منطقه این نتایج حاصل شد که، منطقه‌ی قرارگیری سه روستای پیچ‌بن، نرمات و دینه‌رود در قسمت نازک پوسته‌ی زمین نمی‌باشد و همچنین صخره‌ای و کوهستانی بودن منطقه دسترسی به منابع زمین گرمایی را برای ما دشوار می‌سازد. چرا که نیاز به حفاری‌های عمیق‌تر و ماشین آلات سنگین‌تر برای حفاری می‌باشد. همچنین امکان دسترسی سخت‌تر ماشین آلات حفاری و تجهیزات سنگین زمین گرمایی به سه روستا به خصوص دو روستای نرمات و دینه‌رود، شرایط این انرژی را برای این سه روستا هموار نمی‌سازد. نبود فضای کافی برای نصب تجهیزات نیز عامل بعدی کم‌رنگ شدن استفاده از این انرژی می‌باشد. لذا با بررسی‌های انجام شده از موقعیت روستاها، همچنین اندازه‌گیری دمای خاک در ساعات مختلف و ارتفاع‌های زیر سطح زمین، و نبود اختلاف دمایی زیاد برای نصب این سیستم‌ها، امکان استفاده از انرژی زمین گرمایی در این سه روستا غیرممکن می‌باشد. در نتیجه از این انرژی نمی‌توان استفاده نمود.

#### ۲-۲- بررسی زیست‌انرژی در سه روستا

با بررسی‌های انجام شده از سه روستای منتخب، این نتیجه حاصل شد که با توجه به دامپروری بودن شغل مردمان آن منطقه و تعداد مناسب دام‌های موجود، استفاده از زیست‌انرژی یکی از بهترین انرژی‌هایی می‌باشد که می‌توان استفاده نمود و با استفاده از این انرژی می‌توان ظرفیت دامپروری منطقه را افزایش داد. هم اکنون نیز از فضولات جمع‌آوری شده‌ی دام‌ها با روش سنتی و به عنوان سوخت استفاده می‌نمایند. لذا استفاده از زیست‌گاز به عنوان یک انرژی پاک و در دسترس، جزء انرژی‌های قابل بررسی قرار خواهد گرفت تا صرفه‌ی فنی-اقتصادی این انرژی و قابلیت تامین نیازهای روستا را دریافته شود.

#### ۲-۳- بررسی انرژی برق‌آبی در سه روستا

از آن جایی که امکان ساخت سد به علت قرارگیری روستاها در دره، تغییر اقلیم منطقه، نیاز به ماشین آلات و تجهیزات سنگین و ایجاد مشکلات آبرسانی در منطقه را در پی خواهد داشت، لذا ساختن سد در منطقه از نظر بررسی‌های انجام گرفته برای روستاها امکان ندارد. تنها نوعی از انرژی برق‌آبی که ممکن است پاسخگوی نیاز روستاییان باشد استفاده از میکروتوربین‌ها می‌باشد. بنابراین سه روستا نیز از نظر نصب میکروتوربین‌ها مورد بازرسی قرار گرفت. نتیجه بدین صورت حاصل گردید که:

- در روستای پیچ‌بن رودهای روستا فصلی بوده و دبی آن بسیار کم می‌باشد. بنابراین، قابلیت نصب میکروتوربین را ندارند.
- در روستای نرمات نیز با وجود اینکه رودهای روستا پربار می‌باشند ولی عرض زیادی دارند و هم ارتفاع می‌باشند، لذا قابلیت نصب میکروتوربین را ندارند.

جدول ۱ اطلاعات مربوط به مطالعات میدانی و داده‌های هواشناسی

روستا	پیچ بن	نرمات	دینه رود
کیفیت آب و هوایی [۲]	سرد و نیمه خشک	سرد و نیمه مرطوب	سرد و نیمه مرطوب
تعداد خانوار	شش ماهه اول سال	شش ماهه دوم سال	شش ماهه اول سال
تعداد افراد در روستا	شش ماهه اول سال	شش ماه دوم سال	شش ماه اول سال
دمای هوا در شش ماه اول سال*	کمینه دما (°C)	بیشینه دما (°C)	کمینه دما (°C)
دمای هوا در شش ماه دوم سال*	کمینه دما (°C)	بیشینه دما (°C)	کمینه دما (°C)
تعداد راس گاو	شش ماه اول سال	شش ماه دوم سال	شش ماه اول سال
تعداد راس گوسفند	شش ماه اول سال	شش ماه دوم سال	شش ماه اول سال
شغل [۲]	دامداری، کشاورزی	دامداری، کشاورزی	دامداری، کشاورزی

\*لازم به ذکر است این میانگین دمای هوایی مربوط به دوسال ۹۳، ۹۴ تا اواخر شهریور سال ۹۵ می‌باشد [۳].

#### ۲- سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر

چشم انداز استفاده از این انرژی در کشور ما نیز همانند سایر کشورهای توسعه یافته از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده به گونه‌ای که دولت در برنامه پنجم توسعه، برنامه‌ریزی لازم را صورت داده است، لذا با توجه به سیاست‌های جهانی، توسعه این انرژی‌ها در کشور ما به منظور حل مشکلات و ایجاد اشتغال اجتناب ناپذیر خواهد بود. بررسی‌های صورت گرفته در این رابطه حاکی از این بوده که توسعه استفاده از انرژی‌های نو می‌تواند نقش بسزایی در افزایش درجه امنیت سیستم انرژی کشور ایفا نماید. در این پروژه، توسعه فناوری و ارائه طرح اولیه سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی مقیاس کوچک بر پایه منابع تجدیدپذیر (با تاکید بر زیست‌توده و فضولات حیوانات اهلی) در مناطق روستایی با اقتصاد دامپروری به منظور تامین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته مدنظر قرار گرفته است.



➤ در روستای دینه‌رود وجود رودهای پرآب در روستا فرصت خوبی را برای نصب سیستم‌های میکرو توربین فراهم می‌سازد ولی سیلابی بودن این رودها در فصل بهار باعث آسیب رساندن به سیستم می‌شود. در نتیجه نصب این نوع سیستم‌ها در این سه روستا نه تنها انرژی مفیدی را حاصل نمی‌کند، بلکه موجب افزایش هزینه می‌گردد.

#### ۲-۴- بررسی انرژی خورشیدی در سه روستا

با توجه به عدم وجود بار الکتریکی دائمی در روستاهای پیچ‌بن و نرملات و نبود برق در روستای دینه‌رود همچنین وجود شار و تابش انرژی خورشیدی مناسب می‌تواند از انرژی خورشیدی در سه روستا استفاده‌ی فراوان برد. نکته قابل توجه متوسط دمای پایین منطقه می‌باشد که باعث افزایش بازدهی پنل‌ها می‌گردد و استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه را قابل توجه می‌نماید. وضعیت انرژی خورشیدی در سه روستا به شرح زیر می‌باشد:

– روستای پیچ‌بن: در ارتفاع ۲۸۰۰ متری از سطح دریا دشتی به وسعت حدود ۵۰ هکتار وجود دارد که برای نصب پنل‌های فتوولتاییک خورشیدی بسیار مناسب است و فاصله آن تا روستا حدود ۵۰ متر می‌باشد. که می‌تواند به شبکه متصل یا از شبکه جدا باشد که توسط باتری انرژی الکتریکی ذخیره شود. همچنین به علت نصب آبرگمکن‌های خورشیدی در سقف‌های خانه‌ها و به علت قرارگیری روستا در سایه نمی‌تواند از انرژی حرارتی و آبرگمکن خورشیدی در این روستا بهره برد.

– روستای نرملات: بهترین مکان برای نصب پنل‌های فتوولتاییک و یا آبرگمکن‌های خورشیدی در این روستا سقف خانه‌ها می‌باشد. زیرا به علت نبود مکان مناسب و فضای وسیع و همچنین تعداد کم افراد در این روستا و نوع تابش خورشیدی، سقف منازل بهترین مکان برای نصب سیستم‌های خورشیدی می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد که بجای آبرگمکن‌های خورشیدی از سیستم‌های فتوولتاییک استفاده نمود و برای گرمایش آب از سیستم‌های برقی استفاده نمود چرا که باتوجه به نوع تابش خورشید در این روستا استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک دارای بازدهی بیشتری می‌باشد.

– روستای دینه رود: نیز به علت نبود برق در روستا تنها سیستم پیشنهادی فتوولتاییک می‌باشد. در این روستا نیز قرارگیری خانه‌ها به صورتی است که کوه‌ها کاملاً سایه بر روی خانه‌ها ایجاد می‌کنند بنابراین بهترین مکان برای نصب پنل‌های فتوولتاییک ضلع شمال شرقی روستا می‌باشد که بهمین در آن جا اتفاق نمی‌افتد و تابش آفتاب به صورت مستقیم می‌باشد.

#### ۲-۵- بررسی انرژی بادی در سه روستا

با توجه به مشاهدات تجربی و داده‌های هواشناسی [۳] این نکته دریافت شده می‌شود که رژیم سرعت باد در این مناطق قوی نمی‌باشد و علت آن وجود کوه‌های بلند و محصور بودن منطقه بوسیله کوه‌ها، علی‌الخصوص در دو روستای دینه‌رود و نرملات می‌باشد. لذا با وجود قرارگیری روستای پیچ‌بن در ارتفاع بالاتر و وجود دشت وسیع، باد جهت ثابتی ندارد و سرعت آن در روز به شدت کاهش می‌یابد و از طرفی به دلیل عظیم بودن سازه‌های بادی امکان حمل و نقل آن به آن جا وجود نخواهد داشت. در روستاهای نرملات و دینه‌رود علاوه بر محصور بودن دو روستا در بین کوه‌ها و همچنین قرارگیری منطقه در نقاط پستی و بلندی باعث می‌گردد که منطقه، مکانی مناسب

برای نصب توربین بادی نداشته باشد. و نکته ی قابل توجه دیگر این می‌باشد که در این دو روستا همانطور که در فصل پیشین به آن اشاره گردید، راه دسترسی مناسبی وجود ندارد و امکان حمل و نقل سازه های عظیم توربین بادی به این دو روستا تقریباً غیرممکن می‌باشد.

با توجه به آنچه در قسمت‌های پیشین ذکر گردید، و بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در سه روستای پیچ‌بن، دینه‌رود و نرملات واقع در منطقه‌ی الموت شرقی، این نتیجه حاصل می‌گردد که انرژی خورشیدی و زیست‌گاز در این سه مناطق بهترین بازدهی را دارا می‌باشند و قابل اجرا می‌باشند. لذا از بررسی‌های انرژی‌های دیگر صرفه نظر کرده و با انجام محاسبات فنی-اقتصادی، پتانسیل این دو انرژی در این مناطق، بررسی خواهد گردید.

#### ۳- محاسبات فنی

##### ۳-۱- سیستم فتوولتاییک

سیستم‌های فتوولتاییک دارای اجزای مختلفی مانند: مبدل، آرایه‌های خورشیدی، باتری و غیره هستند که در دو حالت متصل به شبکه و یا جدا از شبکه کار می‌کنند. طراحی سیستم فتوولتاییک شامل انتخاب مازول فتوولتاییک، تعیین تعداد مازول موردنیاز، تعیین نحوه چیدمان مازول‌ها به منظور تشکیل آرایه فتوولتاییک، انتخاب ظرفیت مبدل، تعیین مشخصات سیستم ذخیره (در صورت نیاز) و تعیین مشخصات سایر اجزای جانبی سیستم فتوولتاییک می‌باشد. عواملی مانند کاربری‌های مختلف سیستم‌های فتوولتاییک، شرایط محیطی و اقلیمی، محدودیت های مکانی و مالی می‌توانند تعیین کننده معیار طراحی باشند.

جداول ۲ و ۳ به ترتیب برآورد مصرف انرژی الکتریکی یک واحد مسکونی در روستای پیچ‌بن ارائه می‌گردند [۴] که نشان دهنده‌ی تجهیزات الکتریکی مصرفی در روستا و بار مصرفی آن‌ها در فصول گرم و سرد است.

جدول ۲ تجهیزات الکتریکی مصرفی یک واحد مسکونی در روستای پیچ بن در شرایط سنتی در زمستان.

ردیف	وسیله الکتریکی	توان مصرفی (W)	تعداد	ساعت کارکرد	مجموع (Wh)
۱	یخچال	۳۰۰	۱	۱۱	۳۳۰۰
۲	لامپ	۴۰	۱۰	۸	۳۲۰۰
۳	تلویزیون	۲۱۳	۱	۶	۱۲۷۸
۴	بخاری برقی	۲۰۰۰	۱	۵	۱۰۰۰۰
۵	سماور برقی	۱۰۰۰	۱	۵	۵۰۰۰
	جمع	۲۵۵۳			۲۲۷۷۸

جدول ۳ تجهیزات الکتریکی مصرفی یک واحد مسکونی در روستای پیچ بن در شرایط سنتی در تابستان.



دینه رود	نرمیلات	بیچ بن	
۱۶/۵	۱۶/۵	۲۲/۷۷۸	بیشترین توان مورد نیاز مصرفی در هر خانه (کیلووات ساعت)
۲۴	۲۴	۳۳	تعداد پنل برای هر خانه
۴۸	۴۸	۴۸	حداقل ولتاژ ورودی به مبدل (ولت)
۳	۳	۳	کمترین تعداد مازول در هر رشته
۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	بیشترین ولتاژ مجاز مبدل (ولت)
۱۳	۱۳	۱۳	بیشترین تعداد مازول در هر رشته
۴۰	۵	۳۵	تعداد خانه
۱۰۰۰	۱۵۰	۱۲۰۰	تعداد کل پنل برای روستا
۲۰۰	۳۰	۲۴۰	توان کل خروجی (کیلووات)
۶۰	۶۰	۹۰	مساحت مورد نیاز برای هر خانه (متر مربع)
۲۵۰۰	۳۰۰	۳۵۰۰	مساحت کل مورد نیاز (متر مربع)
۶۰۰/۹۵	۶۰۰/۹۵	۱۶۰۲/۵۴	توان اینورتر (وات)

در جدول ۵، تمامی محاسبات زیست‌گاز به صورت طبقه‌بندی شده برای هر سه روستا نشان داده شده است. با توجه به تعداد دام‌های موجود در منطقه، میزان گاز استحصالی از فضولات دامی نیز قابل ملاحظه می‌باشد. از آنجایی که حدود نصف دام‌های هر روستا در شش ماهه دوم سال را به دشت‌های پایین‌تر انتقال می‌دهند، با ساخت یک دامداری نیمه صنعتی می‌توان تمام دام‌ها را در یک محل به صورت متمرکز در روستا در تمام فصول سال نگاهداشت. در این صورت می‌توان به گاز استحصالی بیشتری دست یافت و تمام انرژی حرارتی مورد نیاز برای روستا را در تمام فصول سال تامین نمود.

جدول ۵ محاسبات زیست‌گاز برای روستاها.

دینه‌رود	نرمیلات	بیچ‌بن
----------	---------	--------

ردیف	وسيله الكتريكي	توان مصرفي (W)	تعداد	ساعت كارکرد	مجموع (Wh)
۱	یخچال	۳۰۰	۱	۱۱	۳۳۰۰
۲	لامپ	۴۰	۱۰	۸	۳۲۰۰
۳	تلویزیون	۲۱۳	۱	۶	۱۲۷۸
۴	سماور برقی	۱۰۰۰	۱	۵	۵۰۰۰
۵	پنکه	۳۰۰	۱	۴	۱۲۰۰
	جمع	۱۸۵۳			۱۳۹۷۸

مساحت خانه‌های روستایی به طور متوسط ۱۰۰ مترمربع در نظر گرفته شده است. از آنجایی که طراحی باید طوری در نظر گرفته شود که جوابگوی حداکثر بار مصرفی باشد، بنابراین با توجه به بیشترین بار مصرفی یعنی بار زمستانی و جدول ۲ طراحی صورت گرفته است. جدول ۴ نتایج محاسبات سیستم فتوولتاییک را برای هر سه روستا ارائه می‌دهد.

### ۳-۲- سیستم زیست‌گاز

در این بخش منظور از دام در دسترس، تعداد دامی است که در فصل زمستان درون اصطبل نگهداری می‌شود و منظور از فضولات قابل جمع‌آوری، فضولاتی است که در فضولی که دام در اصطبل حضور دارد، قابل جمع‌آوری است که به‌طور میانگین ۵ ماه از سال در زمستان را شامل می‌شود.

آمارهای ملی نشان می‌دهد که گاوهای موجود در ایران سالیانه به‌طور متوسط ۲۰-۲۱ تن فضولات دفع می‌کنند و هم‌چنین گوسفندهای موجود، میانگین دفع ۱۴۰۰ کیلوگرم فضولات در سال را دارند. هم‌چنین بررسی‌های تجربی انجام‌شده بر روی فضولات دامی در آزمایشگاه‌های مربوطه نشان می‌دهد که به ازای هر کیلوگرم فضولات گاوی، ۲۸۱ لیتر و به ازای هر کیلوگرم فضولات گوسفندی ۱۲۰ لیتر گاز می‌باشد [۴].

برای محاسبه‌ی حجم هاضم باید نرخ بارگذاری آلی تعیین شود که نرخ بارگذاری آلی عبارت است از: میزان جرم ماده آلی ورودی به واحد حجم راکتور در واحد زمان. و حجم کل هاضم باید ۱۵ الی ۲۰٪ بیشتر از حجم خالص باشد، بنابراین داریم:

$$OLR = 2.5 \sim 4 \left( \frac{kg \cdot v_s}{m^3 \cdot d} \right) \quad (1)$$

$$\text{میزان خوراک ورودی} = \frac{\text{حجم هاضم}}{OLR} \quad (2)$$

اتلاف حرارت در هاضم با توجه به نوع هاضم، شکل و ابعاد آن مطابق با رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Q_{loss} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3)$$

جدول ۴ نتایج محاسبات سیستم فتوولتاییک برای هر سه روستا.



$$\text{Total Ta} = \text{Ta} \times \text{Pr} \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

#### ۴-۱- ارزش فعلی خالص

ارزش فعلی خالص تفاوت بین ارزش فعلی جریانات نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی است. و به صورت زیر نمایش داده می‌شود [۶]:

$$\text{NPV} = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \quad (6)$$

#### ۴-۲- نرخ و دوره بازگشت سرمایه

نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری در کسب و کار متریکی برای اندازه‌گیری است و به یک سرمایه‌گذار اجازه می‌دهد تا عملکرد سرمایه‌گذاری را ارزیابی و مقایسه کند. در هر دوره، نرخ بازگشت بدین معنی است که سرمایه‌گذاری انجام شود یا نه؟! رابطه‌ی (۷) نشان دهنده‌ی نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری می‌باشد. همچنین دوره‌ی بازگشت سرمایه، به دوره زمانی اطلاق می‌شود که کل عایدات مرتبط با کارکرد و نصب تاسیسات پس از کسر تمام مخارج شامل مالیات، معادل با میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز، برای مشاوره، خرید و ساختن تاسیسات باشد. و به صورت رابطه‌ی (۸) می‌باشد [۶]:

$$\text{ROI} = \text{Pr} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

$$\text{ROC} = \frac{C_0}{S} \quad (8)$$

در ابتدای این قسمت، معیار تمام هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، سرمایه‌گذاری جاری و درآمدها به تفکیک در جدول ۶ آمده است. لازم به ذکر است فرضیات در نظر گرفته شده در تمامی راهبردها به صورت زیر می‌باشد:

- ✓ مدت زمان بهره‌برداری در ۱۵ سال [۷].
- ✓ نرخ سود بانکی ۱۵٪ [۸].
- ✓ افزایش بهای فروش برق بطور نسبی، سالانه ۱۰٪ [۹].
- ✓ هر تن کاهش تولید کربن معادل ۱۰ دلار [۱۰].
- ✓ قیمت برق در ساعات پیک، ۴۱٫۶ تومان [۱۱].
- ✓ قیمت برق در ساعات میان باری، ۳۶ تومان [۱۱].
- ✓ افزایش قیمت کود کمپوست بطور نسبی سالانه ۵٪ [۱۲].
- ✓ قیمت دلار معادل ۳۵۰۰ تومان.
- ✓ میزان ایجاد درآمد به ازای هر گردشگر ۷۵۰ دلار [۱۳].
- ✓ خرید برق تجدیدپذیر به صورت تضمینی توسط وزارت نیرو برای نیروگاه‌های خورشیدی زیر یک مگاوات، ۵۷۰ تومان به هر کیلووات ساعت [۱۴].
- ✓ هزینه حقوق کارگران و تکنسین‌ها براساس مصوبه ی وزارت کار با افزایش سالانه ۱۵٪، تعیین گردیده شده است [۱۵].

جدول ۶ معیار هزینه‌ها و درآمدهای در نظر گرفته شده در راهبرد سیستم ترکیبی فتوولتائیک-زیست‌گاز.

معیارها	
درآمدها	هزینه‌های جاری
	هزینه‌های سرمایه‌گذاری

تعداد دام گاو	۱۵	۲۰	۴۰
تعداد دام گوسفند	۲۰۰	۲۰۰	۷۰۰
تعداد میانگین ماه‌های حضور دام در اصطبل	۵	۵	۵
گاز استحصالی از فضولات گاوی (مترمکعب)	۳۶۰۰۳/۱۲	۴۸۰۰۴/۱۶	۹۶۰۰۸/۳۳
گاز استحصالی از فضولات گوسفندی (مترمکعب)	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۴۹۰۰۰
گاز کل استحصالی از فضولات کل دام‌ها (مترمکعب)	۵۰۰۰۳/۱۳	۶۲۰۰۴/۱۷	۱۴۵۰۰۸/۳
حجم هاضم (مترمکعب)	۶۴۳/۸۳۵	۷۵۶/۱۶۴	۱۹۷۲/۶۰۳
ابعاد هاضم استوانه‌ای (متر مربع)	۱۰*۱۰	۱۰*۱۰	۱۴*۱۴
حرارت اتلافی از هاضم استوانه‌ای (کیلووات)	۳۲/۳	۴۲/۲	۵۳/۵
ابعاد هاضم مکعبی (متر مربع)	۱۲/۵*۵	۱۳/۸*۵/۵	۱۶/۵*۶/۵
حرارت اتلافی از هاضم مکعبی (کیلووات)	۱۶/۸	۲۰/۱	۲۸/۲

#### ۴- محاسبات اقتصادی

یکی از محورهای مهم مطالعات امکان‌سنجی پروژه، ارزیابی اقتصادی آن است. هر پروژه صرفنظر از نوع و اندازه بایستی صرفه اقتصادی داشته باشد. وجاهت اقتصادی یک پروژه حصول اطمینان از سودمند سرمایه گذار آن بوده و موجبات پایدار و ماندگار آنرا فراهم می‌سازد.

برای محاسبات اقتصادی نیاز است که مقدار سود بانکی، مالیات برارزش افزوده و تعداد سال بهره‌برداری از سیستم مشخص باشد. سپس با مشخص شدن هزینه‌های اولیه و جاری و همچنین درآمدهای ناشی از نصب سیستم می‌توان مقادیر سود حاصل از نصب سیستم، دوره بازگشت سرمایه را محاسبه نمود. در این روش ابتدا تمامی درآمدها و هزینه‌ها به نرخ سود سالانه محاسبه می‌شوند. سپس طبق روابط (۴) و (۵) مقدار مالیات برارزش افزوده‌ی سالیانه بدست می‌آید [۵]:

$$S = R - C \quad (4)$$



نرخ سود بانکی	٪۱۵
مالیات (تومان)	۴۲۶،۵۰۴،۳۸۹
به روز شده میزان کل درآمد به کسر هزینه‌ها در طی ۱۵ سال بهره‌برداری (NPV)	۹۳۹،۳۲۵،۳۰۷
سود محاسباتی مورد انتظار از پروژه (نرخ بازگشت داخلی) (IRR)	٪۱۶/۱۳۶
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۵،۵

با توجه به مطالعات، اندازه‌گیری‌ها و بازدیدهای میدانی انجام شده در بین سیستم‌های تجدیدپذیر (زمین گرمایی، انرژی بادی، برق آبی، خورشیدی، زیست‌گاز) این نتیجه حاصل می‌شود که از میان سیستم‌های تجدیدپذیر سیستم‌های خورشیدی و زیست‌گاز به صورت تلفیقی، بهترین نوع سیستم‌های انرژی در سه روستای فوق‌الذکر می‌باشد.

با انجام مطالعات و محاسبات فنی بر روی سیستم‌های خورشیدی و زیست‌گاز این دستاورد حاصل می‌گردد که برای روستای پیچین (نمونه موردی)، به ۱۲۰۰ پنل فتوولتاییک برای تامین برق خورشیدی که مساحتی در حدود ۳۵۰۰ مترمربع را اشغال می‌کند، نیازمندیم. همچنین با استفاده از زیست‌گاز می‌توان در پنج‌ماه سال به ۱۴۵۰۰۰ مترمکعب گاز متان دست یافت، درحالی‌که با توجه به محاسبات انجام گرفته، میزان مصرف متوسط سالانه مردم این روستا به حدود ۸۰،۰۰۰ مترمکعب می‌رسد. بنابراین، استفاده از سیستم زیست‌گاز نه تنها پاسخگوی مصرف روستاییان خواهد بود بلکه می‌توان مقداری از گاز را برای روزهای بسیار سرد نیز ذخیره و استفاده نمود. بنابراین استفاده از سیستم فتوولتاییک و زیست‌گاز از لحاظ فنی می‌تواند پاسخگوی نیاز روستاییان باشد. با بررسی اقتصادی سیستم‌های تجدیدپذیر این نتیجه بدست می‌آید با انجام محاسبات اقتصادی برای سیستم ترکیبی فتوولتاییک-زیست‌گاز، مقدار نرخ بازگشت داخلی اجرای این سیستم ۱۶/۱۳۶ درصد با دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی ۵/۵ سال حاصل گردید که با توجه به سود بانکی ۱۵ درصد اجرای این پروژه برای سرمایه‌گذار منطقی و قابل انجام خواهد بود. نکته‌ی قابل توجه این سیستم‌ها، ایجاد درآمد برای روستاییان می‌باشد. چرا که با انجام این سیستم‌ها علاوه بر هزینه‌ها، می‌توان به یک منبع درآمد برای روستاییان دست یافت. علاوه بر آن با توجه به مباحث مربوط به توسعه‌ی پایدار، که اجرای این سیستم‌ها علاوه بر ایجاد درآمد و جلوگیری از مهاجرت روستاییان، می‌تواند برای گردشگران، محققان و مسئولین قابل توجه باشند و خود باعث رونق صنعت گردشگری و ایجاد ارزش افزوده منطقه می‌گردند. اجرای شبکه‌ی گازسانی و استفاده از سوخت‌های فسیلی شاید بتواند از مهاجرت روستاییان جلوگیری نماید ولی پتانسیل جذب گردشگر را ندارد. همچنین به کاهش تولید کربن که کاهش آن یکی از مباحث مهم روز در دنیاست، نمی‌تواند کمکی کند و باعث افزایش آن نیز می‌گردد. نکته‌ی قابل توجه استفاده از سوخت‌های فسیلی این می‌باشد که در این نوع سیستم‌ها، برخلاف سیستم‌های ترکیبی فتوولتاییک-زیست‌گاز، فقط هزینه‌ها تولید شده و نمی‌توان درآمدی قابل توجه برای روستاییان را سبب شود.

جمع‌بندی مباحث فوق‌الذکر بیانگر این مهم است که استفاده از سیستم‌های ترکیبی فتوولتاییک-زیست‌گاز نه تنها می‌تواند از لحاظ فنی پاسخگوی تامین انرژی مردم منطقه باشد بلکه می‌تواند درآمدی پایدار برای روستاییان

فروش برق به شبکه	تعمیر و نگهداری	طراحی مهندسی
کاهش تولید گاز CO <sub>2</sub>	کاربری نیروی کارگری	پنل فتوولتاییک
فروش کود کمپوست تولیدی	کاربری نیروی تکنسین	اینورتر
توسعه پایدار	باتری	
	کرایه حمل و نقل	
	تجهیزات جانبی	
	دستمزد نصب	
	مالیات بر ارزش افزوده خرید تجهیزات	
	هزینه‌های پیش بینی نشده	
	مشاوره و نظارت	
	عملیات ساختمانی	
	تابلو برق و اتصالات	
	مخزن ذخیره گاز و هاضم	
	آموزش تکنسین	

بنابراین طبق فرضیات در نظر گرفته شده و با توجه به معیارها و معادلات حاکم بر روابط اقتصادی، مقادیر نهایی محاسبات اقتصادی به شرح جدول ۷ بدست می‌آیند.

#### ۵- نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر در مناطق سخت‌گذر و روستاهای کم جمعیت از بهترین گزینه‌های تامین انرژی می‌باشد. در این پروژه با امکان‌سنجی فنی-اقتصادی سیستم‌های تجدیدپذیر، بهترین سیستم‌های تامین انرژی برای سه روستای پیچین، نرمات و دینه‌رود در منطقه‌ی الموت شرقی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت

**جدول ۷ نتایج محاسبات اقتصادی در راهبرد سیستم‌های ترکیبی فتوولتاییک-زیست‌گاز.**

متغیر اقتصادی	خروجی مطلوب
کل میزان درآمد حاصل از صرفه جویی در طی ۱۵ سال بهره‌برداری (تومان)	۴،۰۵۴،۸۶۳،۹۹۱
کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و جاری در طی ۱۵ سال بهره‌برداری (تومان)	۳،۶۰۵،۵۳۸،۶۸۳



- [1] اطلس گیتهانشناسی استان‌های ایران، انتشارات موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۳.
- [2] ت. آقافیشانی، کتاب *طلایی‌الموت*، انتشارات کتاب طلایی جامع، ۱۳۸۹.
- [3] داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵، اداره کل هواشناسی استان قزوین، ایستگاه معلم کلايه، ۱۳۹۵.
- [4] سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، وزارت نیرو، Accessed 02 Nov 2016; <http://www.suna.org.ir>.
- [5] م. نکوآمال کرمانی، م. پناهی، ف. طهماسبی، راهنمای کاربردی عملیاتی مالیات بر ارزش افزوده و تکالیف قانونی مؤدیان، انتشارات کتاب راه، ۱۳۹۰.
- [6] G.T. Thuesen, W.J. Fabrych, *Engineering Economy*, 9th edition, Prentice-Hall College Div, 2000.
- [7] J. Yang, B. Chen, *Extended exergy-based sustainability accounting of a household biogas project in rural China, Energy Policy*, Vol. 68, pp. 264-272, 2014.
- [8] بخشنامه مصوبه‌ی بانک مرکزی به شماره ۹۳/۹۶۵۹۳ مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۱۱.
- [9] بخشنامه مصوبه‌ی وزارت نیرو به شماره ۹۵/۲۴۷۲۸/۲۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۵/۰۵/۲۴.
- [10] *State and Trends of Carbon Pricing*, World Bank Group, climate change, Washington DC, 99533, 2015.
- [11] شبکه آمار و اطلاعات وزارت نیرو، Accessed 23 Mar 2017; <http://www.isn.moe.gov.ir>.
- [12] کود کمپوست قیمت بالا یا بازار فروش، خبرگزاری مهر، Accessed 01 Mar 2017; <http://www.mehrnws.com>.
- [13] سازمان میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری، Accessed 02 Apr 2017; <http://www.ichto.ir>.
- [14] سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، Accessed 20 Apr 2017; <http://www.satba.gov.ir>.
- [15] بخشنامه مصوبه‌ی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی به شماره ۲۵۳۹۹۴ مورخ ۹۵/۱۲/۲۸.
- [16] سی.جی. بارو، توسعه پایدار: مفهوم ارزش و عمل، ترجمه ع. بدری، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۴-بهار، ۱۳۷۶.
- [17] ک. زیاری، توسعه پایدار و مسئولیت برنامه ریزان شهری در قرن بیست و یکم، مجله ادبیات دانشگاه تهران زمستان / شماره ۳۷۲، تهران، ۱۳۸۰.
- [18] تودارو، مایکل، توسعه اقتصادی در جهان سوم، ترجمه غ. فرجادی، انتشارات سازمان برنامه بودجه، ۱۳۸۲، چاپ چهارم.
- [19] ح. مطیعی لنگرودی، برنامه‌ریزی روستایی با تاکید بر ایران، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد، ۱۳۸۶.

را سبب شود و به توسعه‌ی روستا و ارزش افزوده منطقه کمک نمود. نکته‌ی نهایی قابل‌الذکر این است که وجود فضولات حیوانی در روستاها و نبود سیستم مناسب برای جمع‌آوری زباله‌ها، موجبات بیماری‌های فراوانی در روستاها را فراهم می‌نماید و از زیبایی مناطق می‌کاهد. بنابراین با اجرای سیستم زیست‌گاز می‌توان از زباله‌ها و فضولات حیوانی در هاضم استفاده نمود و به زیبایی و پاکسازی منطقه در راستای حفظ محیط زیست کمک شایانی کرد و با این پیشنهاد می‌توان به سمت دهکده شدن روستاها با تدوین برنامه و تهیه سند چشم‌انداز مربوطه، قدم برداشت.

#### ۶- فهرست علائم

A	مساحت (m <sup>2</sup> )
C	هزینه (تومان)
f	ضریب کاهش توان
i	نرخ بهره بانکی (%)
n	تعداد سال‌های بهره‌برداری
N	تعداد
NPV	ارزش خالص فعلی (تومان)
Q	انرژی حرارتی (J)
Pr	قیمت (تومان)
r	نرخ تنزیل (%)
R	درآمد (تومان)
ROC	دوره بازگشت سرمایه (سال)
ROI	نرخ بازگشت سرمایه (%)
S	مقدار صرفه‌جویی (تومان)
T	دما (°C)
Ta	مالیات %
U	ضریب انتقال حرارت W/(m <sup>2</sup> .°K)
V	ولتاژ (V)

#### علائم یونانی

Y ضریب دمای انرژی

#### زیرنویس‌ها

cell	سلول خورشیدی
eff	روزانه مؤثر
inv	ورودی به مبدل
loss	اتلاف
max	حداکثر
min	حداقل
mp	خروجی
mpp	MPPT مؤثر ورودی به مبدل
oc	مدار باز
string	رشته ماژول
stc	شرایط استاندارد آزمون
temp	اثر دما
v	ولتاژ

#### ۷- مراجع

