Archive of SID

ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2020;20(9):2363-2375

Environmental Analysis and Evaluation of Energy Consumption Using Hybrid System for Industrial Unit in Mianeh City

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Akbari R.*[1] *MSc,*
Ajabshirchi Y.[1] *PhD,*
Haghighat Shoar F.[2] *MSc*

How to cite this article
Akbari R, Ajabshirchi Y, Haghighat Shoar F. Environmental Analysis and Evaluation of Energy Consumption Using Hybrid System for Industrial Unit in Mianeh City. Modares Mechanical Engineering. 2020-;20(9):2363-2375.

[1]Biosystems Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]Biosystems Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

***Correspondence**
Address: Agriculture Faculty, University of Tabriz, 29 Bahman Street, Tabriz, Iran. Postal Code: 5166616471
Phone: +98 (41) 52274053
Fax: -
akbari.r1992@gmail.com

Article History
Received: February 5, 2020
Accepted: July 2, 2020
ePublished: September 20, 2020

ABSTRACT

Due to the increasing costs of energy and reducing fossil fuel, the use of renewable energy is more important. In this study, the possibility of using hybrid energy systems was evaluated to supply electricity to an animal husbandry unit in Mianeh City. For this purpose, three sources including wind turbine, photovoltaics and diesel generator were evaluated in terms of environmental, technical, and economic. This evaluation was performed by Homer Energy Analysis Software, and the results demonstrated that diesel generator is the least expensive solution in compared to other conditions. Then, analysis of the results showed that hybrids of diesel generator-photovoltaic, wind turbine-diesel generator, and diesel generator-photovoltaics-wind turbine systems have low cost, respectively. But environmental results depicted that the use of triple hybrid system in condition of 38% diesel generator, 51% photovoltaic and 11% wind turbine, has lowest emissions, so that carbon dioxide emissions were reduced by 38.4% compared to single diesel. Considering the capital return index, which is a key indicator in the design of feasibility studies, the time of capital return for using a diesel generator was obtained more than three years and seven months. While this index in the condition of using diesel generator-photovoltaic was obtained less than a year, in this respect, this condition was in the first rank.

Keywords Hybrid Systems; Renewable Energy; Homer Software; Environmental and Economic Analysis

CITATION LINKS

[1] The effect of thermochemical pretreatment on biogas production efficiency from kitchen waste using a novel lab scale ... [2] Analysis of energy status in Iran for designing sustainable energy ... [3] Development a scenario-based model for Iran's energy ... [4] Energy consumption, economic growth and CO2 emissions in Middle ... [5] Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: a review of lifecycle ... [6] Carbon dioxide separation from flue gases: A technological review emphasizing reduction in greenhouse gas ... [7] Iranian energy and climate policies adaptation to the Kyoto ... [8] The essentials of Iranian energy diplomacy in the system of international ... [9] Global status report of renewable energy ... [10] Estimating the economic value of tilt angle adjustment of solar panels ... [11] Economic and environmental assessment of photovoltaic systems in ... [12] Assessment of wind energy in Iran ... [13] The potential of harnessing solar radiation in Iran: Generating solar maps and viability study of PV ... [14] Design, manufacture and evaluation of a flat panel PV/T photovoltaic ... [15] Guide to the design of photovoltaic systems for electric and climatic ... [16] A review of solar photovoltaic ... [17] Multi-objective optimization and design of photovoltaic-wind hybrid system for intelligent DC ... [18] Photovoltaic panels ... [19] Feasibility study of wind energy potential in the northwest of Iran using ... [20] LLK1694-wind energy resources and development in ... [21] A mathematical model to evaluate wind energy potential in ... [22] Evaluation of wind energy status in Khuzestan province for use of wind ... [23] GIS- based evaluation of multifarious local renewable energy sources ... [24] Design and optimization of a hybrid system with renewable sources of electricity ... [25] Design of solar wind hybrid power plant using Homer ... [26] Handbook for Solar photovoltaic (PV) ... [27] Electronic reference [Internet]. Germany: Energy Park ... [28] Hybrid renewable energy ... [29] Modelling and simulation of distributed generation system using ... [30] Techno-economic study and optimal design of hybrid wind ... [31] Practical technical assessment of small wind turbines for energy supply of agricultural greenhouses in Saveh ...

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل و ارزیابی زیست‌محیطی و مصرف انرژی با به‌کارگیری سیستم هیبریدی برای واحد صنعتی در شهرستان میانه

رضا اکبری* MSc
گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
یحیی عجب‌شیرچی PhD
گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
فرید حقیقت شعار MSc
گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده
با توجه به رشد روزافزون قیمت حامل‌های انرژی و کاهش ذخایر سوخت فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پر اهمیت‌تر می‌شود. در این پژوهش امکان استفاده از سامانه‌های هیبریدی انرژی در مقیاس کوچک جهت تامین برق مصرفی یک واحد دامپروری در شهرستان میانه مورد ارزیابی قرار گرفت و به این منظور سه منبع توربین بادی، فوتوولتائیک و ژنراتور دیزلی از لحاظ زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی توسط نرم‌افزار تحلیل انرژی هومر صورت گرفت و نتیجه آن نشان داد که استفاده از یک ژنراتور دیزلی، کم‌هزینه‌ترین راه‌کار است. سپس به‌ترتیب استفاده از ترکیب ژنراتور دیزلی با سیستم‌های فوتوولتائیک، توربین بادی و ژنراتور و در نهایت آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی به همراه استفاده از فوتوولتائیک و توربین بادی کمترین هزینه را به دنبال داشت. اما به لحاظ زیست‌محیطی، استفاده از سیستم هیبریدی سه‌گانه ژنراتور دیزلی ۳۸، فوتوولتائیک ۵۱ و توربین بادی ۱۱% کمترین میزان انتشار آلایندگی را به همراه داشت، به‌طوری که در مقایسه با دیزل تک‌گانه انتشار کربن‌دی‌اکسیدکربن را ۳۸/۴% کاهش می‌داد. با احتساب شاخص بازگشت سرمایه که یک شاخص اصلی در طرح مسایل امکان‌سنجی است، زمان بازگشت سرمایه برای استفاده از ژنراتور دیزلی بیش از ۳ سال و ۷ ماه به‌دست آمد؛ در حالی که در راه‌کار استفاده از ژنراتور دیزل- فوتوولتائیک این شاخص کمتر از یک سال حاصل شد، که از این لحاظ این آرایش در رتبه نخست قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های هیبریدی، انرژی تجدیدپذیر، نرم‌افزار هومر، تحلیل زیست‌محیطی و اقتصادی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲
*نویسنده مسئول: akbari.r1992@gmail.com

مقدمه

گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از نیازهای اساسی و مهم در زندگی بشر بوده و تلاش برای دست‌یابی به یک منبع تمام‌نشدنی انرژی از آرزوهای دیرینه انسان بوده است؛ به همین دلیل استفاده از انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، هیدروژن، به‌جای انرژی‌های حاصل از سوخت فسیلی ضمن کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی از کمبود انرژی نیز جلوگیری می‌کند[1]. از سوی دیگر، هم جمعیت و هم اقتصاد هر ساله در حال افزایش است، بنابراین متقابلاً تقاضای انرژی آن نیز افزایش می‌یابد. این افزایش تقاضا باید همراه با توسعه پایدار در اقتصاد و هم در مسیر بالابردن رفاه باشد[2, 3]. تولید برق بزرگ‌ترین مشارکت در انتشار گازهای گلخانه‌ای است[4]. به‌عنوان مثال اکثر دستگاه‌های تولید برق از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. در ایران، در چند دهه گذشته انتشار گازهای گلخانه‌ای به سرعت در حال افزایش است[5, 6]، در حالی که این کشور به پیمان کیوتو (Kyoto) متعهد است[7] و دیدگاه آن در جهت اقتصاد کم کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. لذا اهمیت موضوع انرژی برای کشورهای جهان سوم، دوچندان بوده و شناسایی راه‌کارهای مدیریت انرژی و مسایل مربوط به آن می‌تواند راه‌گشای برخی از مشکلات آنها باشد. اگر چه سوخت‌های فسیلی همچنان بیشترین سهم در تولید انرژی را به خود اختصاص می‌دهند (حدود ۷۵% از کل مصرف انرژی جهانی)، اما پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۵، بخش غیرفسیلی انرژی (انرژی‌های نو، انرژی اتمی و برق آبی) در حدود نیمی از افزایش تقاضای انرژی را پوشش دهد[8]. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر همچنان به میزان زیادی تحت تاثیر سیاست دولت‌ها است. تا ابتدای سال ۲۰۱۵ حداقل ۱۶۴ کشور از انرژی تجدیدپذیر استفاده داشته‌اند[9]. مطابق با گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، الکتریسته خورشیدی تا سال ۲۰۵۰ بالغ بر ۲۰ الی ۲۵% از تولید الکتریسیته جهان را شامل می‌شود[10]. انرژی خورشید به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند به دیگر شکل‌های انرژی همانند گرما و الکتریسیته تبدیل شود. موانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی شامل متغیر و متناوب‌بودن میزان انرژی و توزیع بسیار وسیع آن است[11]. با درنظرگرفتن نقشه‌های GIS و آمار آب‌وهوای سالیانه ایران می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، کشور ایران مناطق خورشیدی مناسبی را دارد[12]. یافته‌های *آلامداری* و همکاران[12]، توسط تحقیقات بالقوه با استفاده از نقشه‌های خورشیدی و مقایسه سیستم‌های فوتوولتائیک MW ۵ در ۵۰ شهر مختلف ایران استفاده از تابش خورشید را تایید کرد[13].

در ایران به‌طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که رقم بالایی به‌حساب می‌آید[14]. انواع مختلف سیستم‌های فوتوولتائیک وجود دارند، اما همه آنها متشکل از سه بخش اصلی ماژول (انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کند)، مبدل (الکتریسیته را به جریان متناوب تبدیل می‌کند تا بتوان از آن در مصارف مختلف خانگی استفاده کرد[15]) و باتری (انرژی الکتریسیته اضافی تولیدشده در سیستم را ذخیره می‌کند[16])، هستند. لازم به ذکر است که کاربری دیگر سیستم‌های فوتوولتائیک استفاده از آنها به شکل هیبرید در کنار منابع دیگر مانند توربین بادی یا دیزل است[17, 18]. در کنار انرژی خورشیدی، امروزه انرژی بادی نیز یکی از منابع تجدیدپذیر مهم است[19]. تحقیقات نقشه‌های باد ایران نشان می‌دهد که ایران مناطق بالقوه‌ای برای استفاده از انرژی باد دارد[20, 21]. از انرژی‌های بادی جهت تولید الکتریسیته و نیز پمپاژ آب می‌توان استفاده نمود و به‌عنوان یک منبع جایگزین برای نیروگاه‌های گازی به‌کار گرفت[22].

www.SID.ir

Archive of SID

امروزه فعال‌ترین کشورها در این زمینه آلمان، اسپانیا، دانمارک، هندوستان و آمریکا هستند. معمولاً، حداقل سرعت باد جهت راه‌اندازی توربین‌های بزرگ بین ۳ تا ۴متر بر ثانیه بسته به نوع و طراحی توربین است[23]. سرعت باد براساس مایل بر ساعت، کیلومتر بر ساعت و یا متر بر ثانیه گزارش می‌شود[24].

انرژی هیبریدی، ترکیبی از دو یا چند منبع انرژی است. طبق تحقیقات، ثابت شده است که تولید انرژی در صورت ترکیب منابع انرژی می‌تواند بازده بیشتری داشته باشد[25]. یکی از نمونه‌های موفق نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر هیبرید را می‌توان به نیروگاه طاهارا (Tahara) خورشیدی- بادی واقع در شهر تاهارا ژاپن دانست. این نیروگاه ۵۶مگاواتی بزرگ‌ترین نیروگاه هیبریدی بادی- فوتوولتائیک در ژاپن و نیز در سطح جهان است. تولید توان سالیانه این نیروگاه در حدود ۶۷/۵گیگاوات بر سال و میزان کاهش انتشارات آن در حدود ۳۲۰۰۰تن کربن‌دی‌اکسید در سال است[26]. در تلفیق انرژی بادی و تولید هیدروژن، آلمان یکی از کشورهای پیشرو است. این کشور با توجه به پتانسیل بالای تولید انرژی بادی، یکی از کشورهای برتر در تکنولوژی‌های مرتبط با صنعت انرژی بادی است[27]. نمونه دیگر استفاده از سیستم‌های هیبرید در ابعاد نیروگاهی که ضمن کاربردی‌بودن بسیار خلاقانه طراحی شده است، سیستم انرژی هیبریدی طراحی‌شده توسط کمپانی AORA به‌نام Tulip است. این سیستم از تلفیق سیستم خورشیدی متمرکز (Concentration Solar Power; CSP) و بیوگاز، انرژی لازم برای به حرکت درآوردن میکروتوربین‌های خود به‌دست می‌آورد[28]. در تحقیقی *کانسارا* و *پاریخ*[29]، از نرم‌افزار هومر جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک سیستم هیبریدی شامل دیزل، ژنراتور توربین بادی و پنل فوتوولتائیک با توانایی تولید ۹۱۰وات بر روز انرژی الکتریکی پرداخته بودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در صورتی که سهم توربین بادی، فوتوولتائیک و ژنراتور دیزل در این سیستم هیبریدی به‌ترتیب ۴۸، ۳۱ و ۲۱% باشد، شرایط استفاده مناسب می‌شود. *مکتب‌دار* و همکاران[30]، در تحقیقی به بررسی فنی اقتصادی و طراحی بهینه سیستم ترکیبی بادی، میکروتوربین و باتری جهت تامین تقاضای بار و تامین توان برای روستایی در منطقه میرجاوه استان سیستان‌وبلوچستان پرداخته بودند و اندازه بهینه سیستم ترکیبی را با استفاده از نرم‌افزار هومر ارایه کرده بودند. *نوراللهی* و *ربانی*[31]، در پژوهشی به ارزیابی فنی کاربرد توربین‌های بادی کوچک برای تامین انرژی مورد نیاز گلخانه‌های کشاورزی در شهرستان ساوه پرداخته بودند و به این نتیجه رسیده بودند که با استفاده از یک توربین بادی ۳۰۰کیلووات می‌توان در سال انرژی مورد نیاز هشت واحد گلخانه به متراژ ۲۸۸متر مربع را تامین نمود.

استفاده از انرژی تجدیدپذیر در واحدهای صنعتی از جمله موضوعات مهم قابل تحقیق است. از میان این واحدها، واحدهای دامپروری از جمله واحدهای صنعتی مهم هستند؛ زیرا شرایط مستعد برای نصب صفحات فوتوولتائیک در سقف دامپروری وجود دارد و به‌دلیل وجود منطقه باز، پتانسیل مناسبی برای استفاده از انرژی بادی فراهم است. نیروگاه‌های هیبریدی به‌دلیل استفاده از چندین منبع مختلف انرژی تجدیدپذیر می‌توانند در جهت کاهش مصرف انرژی مفید باشند و حتی انرژی مورد نیاز مناطق دوردست از شبکه سراسری برق را تامین نمایند. در این راستا بر آن شد تا تحلیل زیست‌محیطی، انرژی و اقتصادی را برای یک واحد دامپروری در شرایط استفاده از یک سامانه هیبریدی (دیزل ژنراتور، توربین بادی، فوتوولتائیک و باتری) با استفاده از نرم‌افزار هومر جهت تعیین مناسب‌ترین سیستم انجام پذیرد.

مواد و روش‌ها

روش انجام تحقیق و نمونه‌برداری

آزمایش در یک واحد دامپروری واقع در حومه شهرستان میانه انجام گرفت. این واحد دامپروری شامل ۴۰ راس گاو شیری بود و در روستای گلوجه اسلام در ۱۸کیلومتری شهر میانه قرار داشت. برای دست‌یابی به اطلاعات مورد نیاز در واحدهای دامی پرسش‌نامه‌هایی براساس تعداد گله، تعداد دام شیرده، میزان شیردهی هر گاو برحسب لیتر بر سال، میانگین مدت زمان شیردهی و اطلاعات مربوط به واحد شیردهی اعم از نوع ساختمان و مصارف انرژی برق در آنها تنظیم شد. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مورد نیاز، با صاحبان و کارکنان واحد دامی بررسی صورت گرفت و در مراحل مختلف، آمار و اطلاعات مربوط به تعداد روزهای آفتابی در شهرستان میانه، جهت و میانگین سرعت باد ماهانه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ میلادی، میانگین میزان تابش ماهانه برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع در روز از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ میلادی از داده‌های بایگانی‌شده در هواشناسی شهرستان میانه استخراج شد.

از آن جا که ارزیابی امکان‌سنجی در نرم‌افزار هومر نیازمند اطلاعاتی در رابطه با تعرفه برق دریافتی از شبکه برقی برای واحدهای دامی، تعرفه فروش برق، قیمت سوخت گازوییل به‌صورت آزاد و یارانه‌ای و هزینه‌های مربوط به نصب، تعویض و نگه‌داری سامانه‌های ترکیبی اعم از توربین بادی و سامانه‌های فوتوولتائیک و اجزای آنها را نیازمند بود، لذا تعرفه‌های فروش قیمت برق و گازوییل برای سال ۱۳۹۵، استفاده شد. علاوه‌بر این، بخشی از داده‌های میزان وزش باد و تابش خورشیدی نیز از وب‌سایت RET screen مورد استخراج قرار گرفت.

نرم‌افزار مورد نظر برای تحلیل و ارزیابی

از نرم‌افزار هومر به‌منظور شبیه‌سازی و ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های هیبریدی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر ایالات متحده آمریکا طراحی و توسعه یافته است. نرم‌افزار هومر کاربران را قادر می‌سازد تا گزینه‌های طراحی متفاوت را براساس شرایط فنی و اقتصادی مقایسه کند. نرم‌افزار از معادله خالص هزینه فعلی (Total Net Present Cost; NPC)، برای هزینه چرخه عمر استفاده می‌کند

www.SID.ir

Archive of SID

که شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه جایگزینی، تعمیرات، سوخت، خرید برق از شبکه، جریمه‌های ناشی از آلودگی هوا و فروش برق به شبکه است. لذا برای مدل‌سازی سامانه‌های انرژی از نرم‌افزار هومر استفاده شد. هومر یک مدل بهینه‌سازی انرژی در قدرت‌های کم است که کار ارزیابی و قیمت‌گذاری سیستم قدرت را در دو حالت متصل به شبکه و مستقل از شبکه برای کاربردهای گوناگون انجام می‌دهد. واحد دامپروری از دیدگاه زیست‌محیطی، مصرف انرژی و اقتصادی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

هومر برای محاسبه ارزش بازیافتی هر مولفه در پایان عمر پروژه، از رابطه ۱ استفاده می‌کند.

$$S = C_{rep}\frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (۱)$$

که S ارزش بازیافتی، C_{rep} هزینه جابه‌جایی مولفه، R_{rem} عمر باقی‌مانده مولفه و R_{comp} که طول عمر مولفه است.

برای هر مولفه، هومر هزینه‌های سرمایه، جابه‌جایی، تعمیر و نگه‌داری و سوخت را با ارزش بازیافتی و هر هزینه یا درآمد دیگر برای یافتن هزینه سالیانه مولفه‌ها ترکیب می‌کند. رابطه ۲ برای محاسبه هزینه خالص شبکه به‌کار برده می‌شود.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF_{(i,Rproj)}} \quad (۲)$$

که $C_{ann.tot}$ مجموع هزینه سالیانه، i نرخ بهره واقعی سالیانه (نرخ سود)، R_{proj} طول عمر پروژه و CRF(i. N) شاخص جبران سرمایه است.

هومر رابطه ۳ را نیز برای محاسبه هزینه سطح‌بندی‌شده انرژی به‌کار می‌برد.

$$CRF(i,N) = \frac{i(i+1)^N}{(i+1)^{N-1}} \quad (۳)$$

که i نرخ بهره واقعی سالیانه و N تعداد سال‌ها است.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{gridsales}} \quad (۴)$$

که $C_{ann.tot}$ مجموع هزینه سالانه، E_{prim} و E_{def} به‌ترتیب مجموع مقادیر بارهای اولیه و ثانویه است، $E_{grid\ sales}$ مقدار انرژی فروخته‌شده به شبکه در سال است. مخرج رابطه ۴ عبارت است از مجموع مقادیر انرژی مفید که سیستم در سال تولید می‌کند؛ بنابراین هزینه سطح‌بندی‌شده انرژی، متوسط هزینه به‌ازای کیلووات ساعت از انرژی الکتریکی تولیدشده مفید به‌وسیله سیستم است.

قابلیت شبیه‌سازی هومر، شامل شبیه‌سازی عملیات یک سیستم زیر قدرت در درازمدت است. لازم به ذکر است در تمامی محاسبات برای تبدیلات ارزی نرخ دلار به‌طور متوسط ۱۰۰۰۰۰ریال درنظر گرفته شده است. همچنین نرخ بهره یا سود بانکی برای ۲۵ سال عمر سامانه ۱۹% فرض شده است. برای این مقادیر معیار و سالی که به‌عنوان شاخص درنظر گرفته شده است، سال ۱۳۹۵ است.

نتایج و بحث

پیکربندی ابتدایی سامانه به همراه نتایج

هدف از این سامانه‌های انرژی هیبریدی، ترکیب انرژی خورشیدی و بادی برای تامین بار مورد نیاز به‌صورت دایمی و در تمام فصل سال است. لذا با استفاده از نرم‌افزار هومر پیکربندی سامانه تعیین می‌شود. استفاده از یک منبع پشتیبان و یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی، منبع باتری، به‌منظور تامین انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان ضروری است. منابع انرژی تجدیدپذیر در این مطالعه باد و خورشید هستند و منبع پشتیبان ژنراتور دیزلی درنظر گرفته شده است. در هومر، اصطلاح بار اشاره به تقاضای الکتریکی و حرارتی انرژی دارد. تامین بارها دلیلی بر وجود سامانه‌های ریزقدرت است؛ بنابراین مدل‌سازی یک سیستم ریزقدرت یا مدل‌سازی بار یا بارهایی که سیستم باید تامین کند، آغاز می‌شود. واحد دامی شامل ۴۰ راس گاو شیری نژاد هلشتاین (Holstein) با دوره شیردهی متوسط ۱۹۰ روز است. در واحد دامی از دو دستگاه ماشین شیردوش دو واحده با توان اسمی ۵۵۰وات و روشنایی سالن نیز با استفاده از ۶ لامپ ۱۰۰واتی تامین می‌شود. فاکتور فروش شیر دامداری برای یک سال عدد ۱۱۰۶۱۰کیلوگرم را نشان می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱) تولید شیر ماهانه واحد دامی برحسب کیلوگرم (سال ۱۳۹۵)

ماه‌های سال	مقدار
فروردین	۸۶۷۰
اردیبهشت	۸۱۶۰
خرداد	۹۹۹۰
تیر	۹۹۳۰
مرداد	۱۰۳۲۰
شهریور	۱۰۰۸۰
مهر	۹۶۶۰
آبان	۹۲۴۰
آذر	۹۴۲۰
دی	۸۷۶۰
بهمن	۸۲۸۰
اسفند	۸۱۰۰
مجموع	۱۱۰۶۱۰
میانگین روزانه	۳۰۳

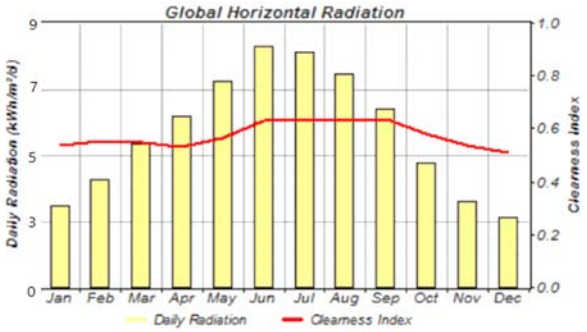
عملیات شیردوشی در هر روز دو مرتبه و در ساعت ۶ الی ۸ صبح و ۱۸ الی ۲۰ عصر صورت می‌گیرد. پروفیل روزانه بار براساس میزان توان مصرفی ماهانه که به‌طور میانگین ۲۵۰کیلووات ساعت است، برای این واحد دامی به‌صورت نمودار ۱ است که میزان بار مصرفی روزانه ۸/۳کیلووات ساعت برآورد شده است؛ یعنی به‌ازای عملیات دوشش هر کیلو شیر ۲۷/۴وات ساعت مصرف انرژی برق داریم. براساس بیشینه بار میزان توان خروجی برای آرایه‌ها ۳کیلووات انتخاب می‌شود. با اطلاع از بازار منابع تجدیدپذیر در ایران، شرکت‌های مرتبط نظیر مدرن افروغ گستران انرژی که یک شرکت

www.SID.ir

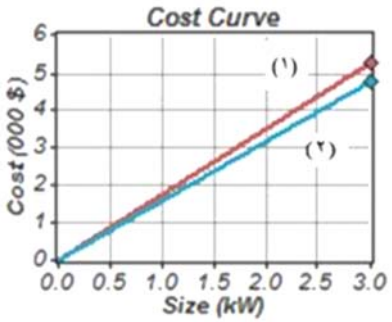
Archive of SID

نصب و احداث تجهیزات تجدیدپذیر است، هزینه نصب و راه‌اندازی و هزینه‌های جایگزینی در سال ۱۳۹۵ برای هر کیلووات سامانه خورشیدی به‌صورت مستقل از شبکه به‌ترتیب ۲۰ و ۱۷/۵میلیون تومان برآورد شد. لذا برای نصب ۳کیلووات سامانه خورشیدی، با استفاده از نرم‌افزار هومر هزینه‌ها مطابق نمودار ۲ به‌دست آمد. لازم به ذکر است که این برای شرایطی است که طول عمر آرایه ۱۵ سال در نظر گرفته شد.

مقادیر داده‌های تابش خورشیدی افقی در جدول ۲ به‌صورت میانگین ماهانه برای ۱۰ سال متوالی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ برای منطقه مورد نظر از داده‌های بایگانی‌شده در هواشناسی شهرستان میانه استخراج شده است که در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۱) منحنی میانگین ماهیانه تابش افقی برای ۱۰ سال در شهرستان میانه رفرنس میانه

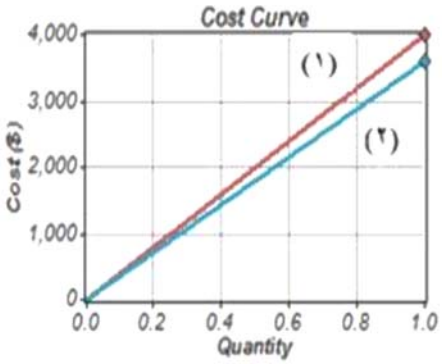


نمودار ۲) منحنی هزینه‌ها برای آرایه‌های فوتوولتائیک (۱) نصب و (۲) جابه‌جایی

جدول ۲) میانگین تابش افقی روزانه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در شهرستان میانه

ماه‌های سال	تابش روزانه بر سطح افقی برحسب (kWh/m^2)
ژانویه	۴۷/۳
فوریه	۲۹/۴
مارس	۳۱/۵
آپریل	۱۷/۶
می	۲۱/۷
ژوئن	۲۸/۸
جولای	۱۳/۸
آگوست	۴۴/۷
سپتامبر	۴۱/۶
اکتبر	۷۷/۴
نوامبر	۶۱/۳
دسامبر	۱۲/۳

براساس داده‌های به‌دست‌آمده مشخص می‌شود که بیشترین تابش در خردادماه اتفاق می‌افتد. نمودار ۲ نشان‌دهنده بیشترین تابش در ماه‌های اردیبهشت (May) تا مرداد (August) اتفاق می‌افتد. یک توربین بادی ۳کیلوواتی انتخاب شد. در سال ۱۳۹۵، برای این توربین بادی کوچک هزینه نصب و راه‌اندازی حدودا ۴۰میلیون تومان برآورد شد، که برحسب نرخ دلار ۱۰۰۰۰ تومانی هزینه ۴۰۰۰دلار را داشت. این هزینه‌ها از شرکت دانش‌بنیان بادافرا انرژی که یک شرکت تامین، تجهیز و نصب منابع تجدیدپذیر در استان اردبیل است در سال ۱۳۹۵ گرفته شده است که در نمودار ۳ نشان داده شده است.



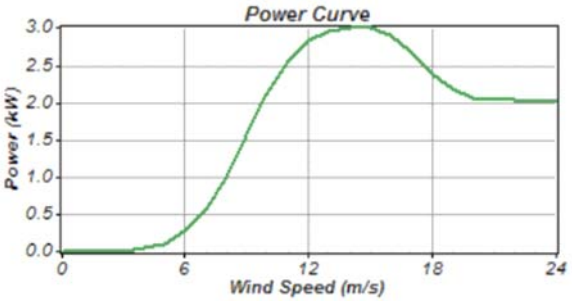
نمودار ۳) منحنی هزینه‌ها برای توربین بادی (۱) نصب و (۲) جابه‌جایی

هزینه جایگزینی ۹۰% و هزینه نصب و نگه‌داری سالیانه ۱۰% هزینه کل را شامل می‌شود. منحنی توان توربین براساس سرعت باد مطابق نمودار ۴ حاصل شد. براساس نمودار به‌دست‌آمده از نرم‌افزار هومر در سرعت ۱۵ الی ۱۶متر بر ثانیه بیشترین توان تولیدی وجود دارد. داده‌های سرعت باد از سایت هواشناسی شهرستان میانه، به‌صورت میانگین ماهانه و برای مدت ۱۰ سال متوالی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ به‌دست آمده است که در جدول ۳ نشان داده شده است. داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۴۰متری بوده و براساس ارتفاع توربین بادی با به سرعت در ارتفاع ۱۰متری تبدیل شده‌اند که در نمودار ۵ قابل مشاهده است.

ویژگی‌های فیزیکی اصلی ژنراتور شامل بیشینه توان الکتریکی خروجی، طول عمر مورد انتظار آن در ساعات کار، نوع سوخت و منحنی سوخت ژنراتور است که وابسته به مقدار سوخت مصرف‌شده نسبت به توان الکتریکی تولید می‌شود. هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعویض و نگه‌داری یک دستگاه ژنراتور دیزل ۳کیلووات از نوع STC-China، از سایت شرکت آبیاران که یکی از مهم‌ترین شرکت‌های واردکننده دستگاه‌های صنعتی است در سال ۱۳۹۵ برآورد شد و منحنی هزینه‌ها با استفاده از نرم‌افزار هومر مطابق نمودار ۶ برای آن رسم شد. سوخت مصرفی، گازوییل بوده و قیمت هر لیتر گازوئیل برابر ۸۰۰۰ریال و نرخ دولتی برابر ۴۰۰۰ریال در سال ۱۳۹۵ درنظر گرفته شد. این منحنی نشان‌دهنده هزینه کمتر تعویض دستگاه ژنراتور دیزلی نسبت به هزینه‌های سرمایه‌گذاری نصب آن است.

www.SID.ir

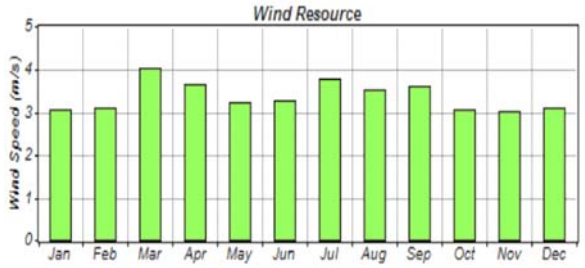
Archive of SID



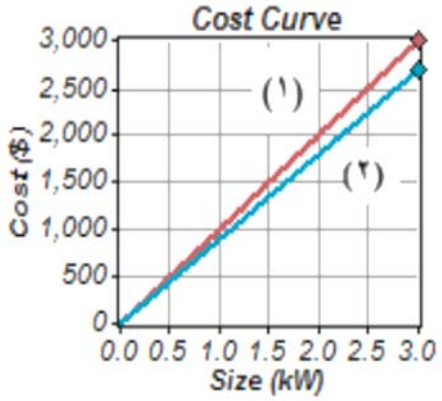
نمودار ۴) منحنی توان سرعت باد برای توربین بادی پیشنهادی

جدول ۳) میانگین سرعت متوسط باد (متر بر ثانیه) ماهیانه در ارتفاعات مختلف برای ۱۰ سال متوالی مستخرج از اسناد اداره هواشناسی شهرستان میانه

ماه‌های سال	ارتفاع (متر)			
	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
ژانویه	۳/۰۴	۳/۷۶	۴/۲۸	۴/۶۵
فوریه	۳/۱	۳/۸۴	۴/۳۷	۴/۷۴
مارس	۴/۰۲	۴/۹۸	۵/۶۶	۶/۱۵
آوریل	۳/۶۶	۴/۵۳	۵/۱۶	۵/۶
می	۳/۲۴	۴/۰۱	۴/۵۶	۴/۹۴
ژوئن	۳/۲۶	۴/۰۴	۴/۵۹	۴/۹۶
جولای	۳/۷۸	۴/۶۸	۵/۳۲	۵/۷۸
آگوست	۳/۵	۴/۳۴	۴/۹۳	۵/۳۵
سپتامبر	۳/۶	۴/۶۴	۵/۰۷	۵/۵
اکتبر	۳/۰۴	۳/۷۶	۴/۲۸	۴/۶۵
نوامبر	۳	۳/۷۲	۴/۲۳	۴/۶
دسامبر	۳/۰۸	۳/۸۱	۴/۳۴	۴/۷۱

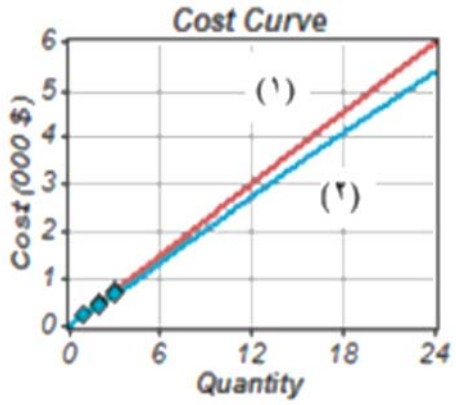


نمودار ۵) میانگین سرعت متوسط باد در ارتفاع ۱۰متری برای شهرستان میانه



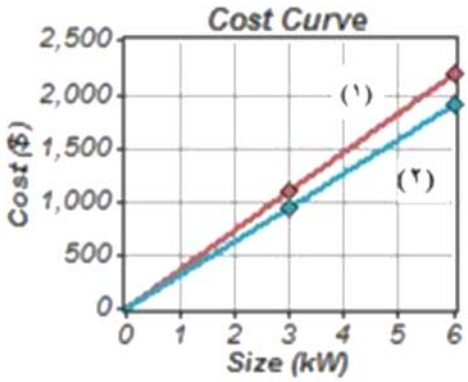
نمودار ۶) منحنی هزینه‌ها برای توربین بادی (۱) نصب و (۲) جابه‌جایی

در هومر جزییات شامل باتری‌ها، ولتاژ نمای، منحنی ظرفیت، منحنی طول عمر، حداقل حالت شارژ و بازده Roundtrip هستند. برای این مجموعه، باتری‌های سیلد اسید ۱۲ولتی با ظرفیت ۶۵آمپر و توان خروجی ۷۸۰وات ساعت که در بازار ایران به فراوانی یافت می‌شود، درنظر گرفته شده است. هزینه‌های این محصولات از شرکت مدرن افروغ گستران انرژی به‌دست آمد؛ برای داده‌های حاصل، با استفاده از نرم‌افزار هومر نمودار ۷ ترسیم شد. باتری‌های پیشنهادی نرم‌افزار برای سیستم هیبریدی باد و خورشیدی از نوع Surrette 4ks-25P انتخاب شدند. در این نمودار نیز مشخص است که هزینه تعویض و جابه‌جایی کمتر از هزینه نصب باتری است.



نمودار ۷) منحنی هزینه‌ها برای بانک باتری (۱) نصب و (۲) جابه‌جایی

چون برق تولیدی ژنراتور از نوع متناوب است از مبدل قدرت برای تبدیل جریان برق متناوب به مستقیم استفاده می‌شود. هزینه اولیه، جایگزینی و نگه‌داری برای این مدل که از نوع Sunny Island 3324 که مناسب برای سیستم‌های ۲ تا ۵/۲کیلووات است، که تنها مبدل با اتصال متناوب برای همه منابع انرژی است، که برای سامانه‌های هیبریدی مستقل مناسب است، از وب‌سایت شرکت مدرن افروغ گستران انرژی به‌دست آمد و با استفاده از نرم‌افزار هومر مطابق نمودار ۸ رسم شد. لازم به ذکر است میزان بازده برای این دستگاه ۹۰% بود.



نمودار ۸) منحنی هزینه‌های مبدل قدرت (۱) نصب و (۲) جابه‌جایی

www.SID.ir

Archive of SID

اضافه‌کردن متغیرهای حساسیت نیز یکی از موارد نهایی است که در آن مقادیر حساسیت برای متوسط سالیانه سرعت باد و قیمت سوخت نیز درنظر گرفته شد. این آنالیز حساسیت، امکانی را فراهم می‌آورد تا تاثیر تغییرات متوسط سرعت باد ماهیانه و قیمت سوخت دیزل بر روی طراحی بهینه سیستم به‌دست آید. آنالیز و طراحی سامانه‌های ریزقدرت به‌دلیل فراوانی گزینه‌های طراحی و عدم اطمینان در پارامترهای کلیدی مانند اندازه و هزینه سوخت در آینده، می‌تواند یک چالش باشد. منابع قدرت تجدیدپذیر پیچیدگی بیشتری را بر این امر اضافه می‌کند؛ زیرا توان خروجی آنها می‌تواند به‌صورت متناوب، فصلی و یا غیرقابل ارسال باشد و همچنین قابلیت دسترسی منابع تجدیدپذیر متغیر باشد. هومر سه وظیفه مهم شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و آنالیز حساسیت را انجام می‌دهد. در فرآیند شبیه‌سازی، هومر عملکرد پیکربندی یک سیستم ریزقدرت را برای هر ساعت از سال به‌منظور تعیین امکان‌پذیری فنی و هزینه چرخه عمر مدل می‌کند.

پیکربندی نهایی سامانه به همراه نتایج بهینه‌سازی

نرم‌افزار هومر با توجه به ورودی‌ها (سرعت وزش باد و هزینه سوخت، میزان تابش و زاویه تابش، تعداد روزهای آفتابی) که به آن داده شده است، با انجام تحلیل روی هر سیستم، بهینه‌سازی را انجام داده و سامانه‌های شبیه‌سازی‌شده را براساس افزایش هزینه نهایی کل در جدولی به نام جدول بهینه‌سازی مرتب‌سازی می‌کند. در بهینه‌سازی بهترین ترکیب آن است که تمام قیود از پیش تعیین‌شده را همراه با کمترین NPC تامین کند. پیکربندی حاصل شامل ۴۳۲ مورد شبیه‌سازی و ۸۶۴ مورد، تحلیل حساسیت است. نرم‌افزار هومر پس از بررسی حالت‌های مختلف، آرایش بهینه‌ای را برای سیستم ترکیبی پیشنهاد می‌کند، که نتایج حاصله و بهینه‌سازی‌های صورت‌گرفته به‌طور خلاصه به صورت شکل ۱ تنظیم شده است. همان طور که پیش‌بینی می‌شد نتایج حاصل از بهینه‌سازی در نرم‌افزار نشان می‌دهد که اقتصادی‌ترین روش برای منطقه مورد نظر استفاده از یک ژنراتور دیزلی است. در این جدول ردیف اول مربوط به آرایش ژنراتور دیزلی، ردیف دوم مربوط به آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک، ردیف سوم مربوط به آرایش ژنراتور دیزلی- بادی و ردیف چهارم مربوط به آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک-بادی است.

برای تعریف قیمت درآرایه PV، کاربرد هزینه سرمایه اولیه، هزینه جابه‌جایی، هزینه تعمیر و نگه‌داری در سال به دلار تعیین می‌شود. هزینه جابه‌جایی، هزینه تعویض یا جایگزینی آرایه PV در پایان طول عمر مفید آن است. به‌طور پیش‌فرض هزینه جابه‌جایی برابر با هزینه سرمایه است؛ اما این دو به دلایل زیادی می‌توانند متفاوت باشند.

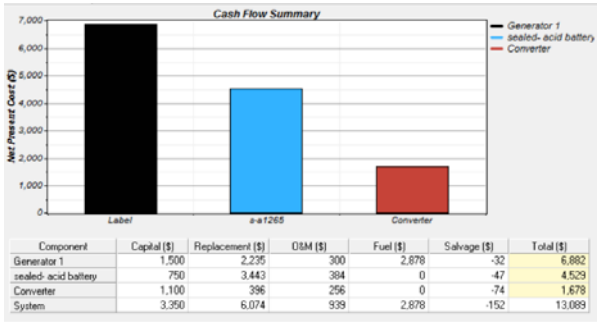
آرایش ژنراتور دیزلی

در رابطه با به‌کارگیری ژنراتور دیزلی تنها برای برق واحد مورد نظر، نرم‌افزار نمودارهای مربوط به مجموع هزینه کل را برای طول عمر سامانه که ۲۵ سال در نظر گرفته شده است، ارایه می‌دهد که بخش اصلی مربوط به نصب، جابه‌جایی و نگه‌داری ژنراتور دیزلی است. مجموع NPC برای این آرایش حدود ۱۳۰۰۰دلار برآورد شده است که برای هر کیلووات ساعت انرژی برق تولیدی حدود ۰/۳۳۸دلار هزینه درپی خواهد داشت. این در حالتی است که نرم‌افزار تعداد سه عدد باتری سیلد- اسیدی را برای سامانه پیشنهاد داده است، اما برای اینکه بدانیم بخش اصلی هزینه‌ها در طی سال‌های مختلف به چه طریق نهاده می‌شود از نمودار شرح روند موجودی استفاده می‌کنیم (نمودار ۹).

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	G3	Label (kW)	a-a1265	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac	Diesel (L)	Label (hrs)
			3		3	3	$ 3,350	762	$ 13,089	0.338	0.00	1,501	2,345
	3		3		3	3	$ 8,600	671	$ 17,180	0.444	0.03	1,219	2,024
		1	3		3	3	$ 7,350	1,144	$ 21,970	0.567	0.00	1,282	2,040
	3	1	3		3	3	$ 12,600	1,106	$ 26,733	0.690	0.14	1,084	1,817

شکل ۱) نتایج حاصل از بهینه‌سازی



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
Generator 1	1,500	2,235	300	2,878	-32	6,882
sealed- acid battery	750	3,443	384	0	-47	4,529
Converter	1,100	396	256	0	-74	1,678
System	3,350	6,074	939	2,878	-152	13,089

نمودار ۹) خلاصه نتایج مربوط به روند موجودی در آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی

با توجه به نمودار مشخص است که بیشترین هزینه مربوط به ژنراتور دیزلی است. یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که در بهره‌برداری از سامانه‌های تجدیدپذیر می‌تواند مهم باشد، شاخص زمان برگشت سرمایه است که این شاخص برای تمامی آرایش‌ها محاسبه شده است.

$$PBT = \frac{NPC}{INCOM} \quad (۵)$$

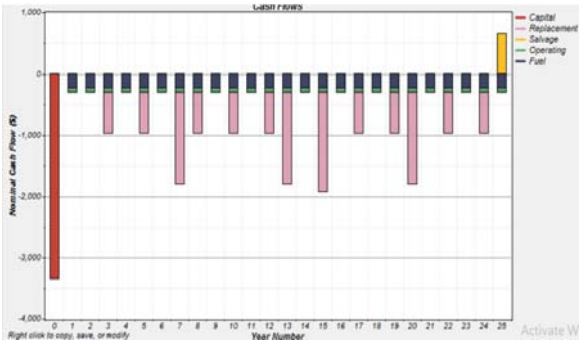
در این رابطه PBT زمان بازگشت سرمایه، NPC مجموع خالص هزینه‌ها و INCOME مجموع خالص درآمدها است.

در این آرایش میزان تولید روزانه برق حدود ۱۰/۳کیلووات ساعت است که با توجه به میزان بار مصرفی حدود ۱/۹۸کیلووات ساعت آن مازاد بر نیاز است. طبق آخرین تعرفه‌گذاری وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵، برای خرید تضمینی برق واحدهای تجدیدپذیر زیر ۲۰کیلووات، قیمت هر کیلووات ساعت ۸۰۰۰ریال درنظر گرفته شده است که با این حساب درآمد حاصل از فروش روزانه حدود ۱۶۰۰۰ریال است که برای چرخه عمر سامانه حدود ۱۴۴۷۰۰۰۰ریال است. لذا زمان بازگشت سرمایه ۳/۶۱ سال خواهد بود. نمودار ۱۰ نشان می‌دهد علاوه‌بر هزینه نصب، به‌دلیل عمر پایین ژنراتور به‌طور مداوم نیاز به جایگزینی خواهد داشت. علاوه‌بر آن، هزینه مربوط به تامین سوخت و نگه‌داری به‌طور ثابت طی عمر سامانه تکرار می‌شوند. با این حال ارزش بازیافتی برای آرایش بسیار پایین است.

www.SID.ir

Archive of SID

میزان مصرف سالیانه سوخت دیزل در این آرایش حدود ۱۵۰۰لیتر است که این میزان برای تولید ۳۷۵۳کیلووات ساعت برق است و مصرف سوخت ویژه برای هر کیلووات ساعت ۰/۴لیتر است. نتایج حاصل از بهینه‌سازی میزان آلایندگی ناشی از استفاده از ژنراتور دیزلی ۳کیلوواتی به‌منظور تامین برق واحد شیردوشی در طی سال را طبق جدول ۴ نشان می‌دهد که به‌طور معقول میزان آلایندگی در این حالت نسبت به سایر ترکیبات انرژی بیشتر است. بر این اساس با محدودکردن مصرف برق کل واحدهای دامی استان به سامانه روشنایی و ماشین شیردوشی میزان انتشارات مربوط به گاز کربن‌دی‌اکسید برای تولید ۱۱۰۶۱۰کیلوگرم شیر خام، ۳۹۵۳کیلوگرم است که برای کل شهرستان با تولید سالیانه ۱۲۶۶۴۸۰ تن این آلایندگی به بیش از۵۴۰۰۰ تن در سال می‌رسد. به‌عبارتی در استفاده از آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی برای دوشش هر کیلوگرم شیر حدود ۳۶گرم آلایندگی مربوط به کربن‌دی‌اکسید را خواهیم داشت.



نمودار ۱۰) شرح روند موجودی در چرخه عمر برای آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی

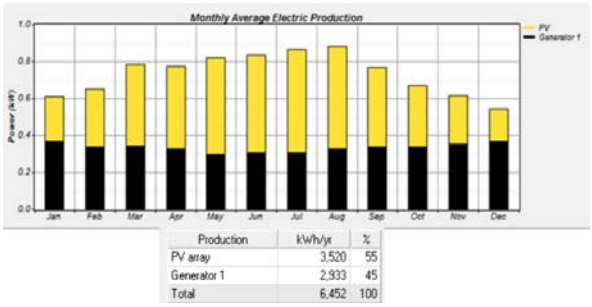
جدول ۴) نتایج مربوط به آلایندگی آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی

آلاینده	انتشارات (کیلوگرم بر سال)
دی‌اکسید کربن	۳۹۵۳
مونواکسید کربن	۹/۷۶۰
هیدروکربن نسوخته	۱/۰۸
مواد ریز	۰/۷۳۶
دی‌اکسید گوگرد	۷/۹۴۰
اکسید ازت	۸۷/۱۰۰

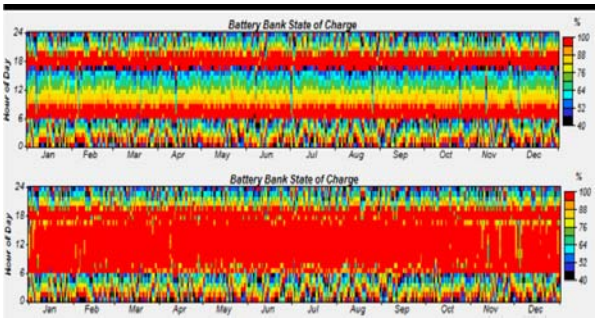
آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک

در رابطه با استفاده از آرایش دیزلی- خورشیدی برای تامین برق واحد مورد نظر، نمودار ۱۱ برق تولیدی ماهانه از هر آرایه را نشان می‌دهد. میزان برق تولیدی از آرایه‌های فوتوولتائیکی در ۶ الی ۷ ماهه اول سال شمسی به‌دلیل زاویه تابش مناسب و شدت تابش بالا مناسب بوده، ولی در چند ماهه آخر سال شمسی با کاهش روبه‌رو می‌شود. به‌طوری که در ماه‌های آذر، دی و بهمن میزان برق تولیدی از آرایه‌های فوتوولتائیک کمتر خواهد بود. به‌طور کلی در این آرایش سهم فوتوولتائیک در تولید برق ۵۵ و سهم ژنراتور ۴۵% برآورد شده است (نمودار ۱۱).

تولید برق سالیانه نشان می‌دهد روزانه چیزی بیش از دو برابر میزان مورد نیاز تولید برق خواهیم داشت زیرا تولید برق روزانه حدود ۱۷/۶۸کیلووات ساعت خواهد بود. درحالی که میزان مورد نیاز ۸/۳کیلووات ساعت است، لذا مازاد بر این مقدار در باتری ذخیره می‌شود. نمودار ۱۲ مربوط به وضعیت شارژ و دشارژ باتری‌ها به‌طور کامل بیانگر این موضوع است. با توجه به مجموع برق تولیدی و بار مصرفی، روزانه حدود ۷۵۰۰ریال درآمد حاصل از فروش برق در فرآیند استفاده از این آرایش صورت می‌گیرد. لذا زمان بازگشت سرمایه برابر ۱/۰۴ سال می‌شود. نمودار خلاصه هزینه‌ها در این آرایش نشان می‌دهد مجموع هزینه‌ها در چرخه عمر سامانه تقریباً برای هر دو آرایه برابر است. در این آرایش میزان مصرف سوخت دیزلی به ۱۲۱۹لیتر در سال کاهش پیدا می‌کند و میزان تولید برق از ژنراتور به ۲۹۳۳کیلووات ساعت در سال و میزان تولید برق از آرایه فوتوولتائیک به ۳۵۲۰کیلووات ساعت در سال می‌رسد که در نمودار ۱۳ نشان داده شده است. در نمودار مربوط به روند موجودی در آرایش دیزل- فوتوولتائیک میزان ارزش بازیافتی حاصل، بسیار بیشتر از آرایش ژنراتور دیزلی مشاهده می‌شود؛ و عمده هزینه‌ها مربوط به هزینه نصب و جایگزینی اجزا در طی ۲۵ سال عمر مفید سامانه است که در نمودار ۱۴ قابل مشاهده است. در جدول ۵، میزان انتشار آلایندگی برای استفاده از آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک نشان داده شده است. براساس اینکه در این آرایش از سیستم فوتوولتائیک به میزان ۵۵% در کنار ژنراتور دیزلی استفاده شده است، لذا استفاده از انرژی تجدیدپذیر و کاهش به‌کارگیری ژنراتور دیزلی سبب کاهش انتشار آلایندگی در مقایسه با دیزل شده است.



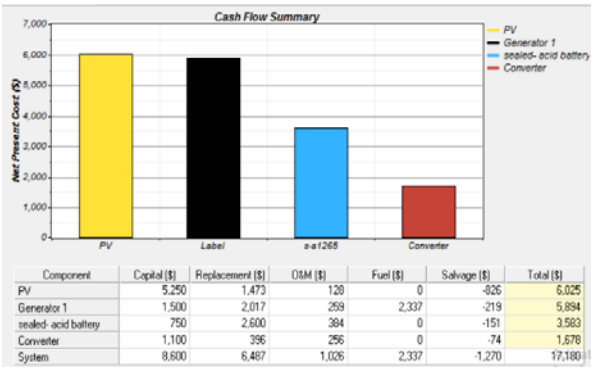
نمودار ۱۱) نتایج مربوط به میانگین تولید برق ماهیانه در آرایش دیزل- فوتوولتائیک



نمودار ۱۲) پروفیل مقایسه مربوط به وضعیت شارژ و دشارژ باتری‌ها، آرایش تکی ژنراتور دیزلی (بالا)، آرایش ژنراتور به همراه آرایه فوتوولتائیک (پایین)

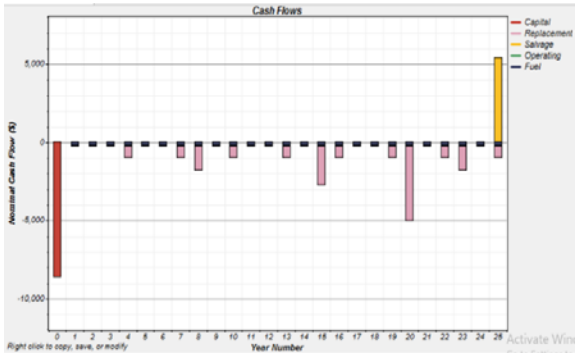
www.SID.ir

Archive of SID



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	5,250	1,473	128	0	-826	6,025
Generator 1	1,500	2,017	259	2,337	-219	5,894
sealed- acid battery	750	2,600	384	0	-151	3,583
Converter	1,100	396	256	0	-74	1,678
System	8,600	6,487	1,026	2,337	-1,270	17,180

نمودار ۱۳) خلاصه نتایج مربوط به روند موجودی در آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک



نمودار ۱۴) شرح روند موجودی در چرخه عمر برای آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک

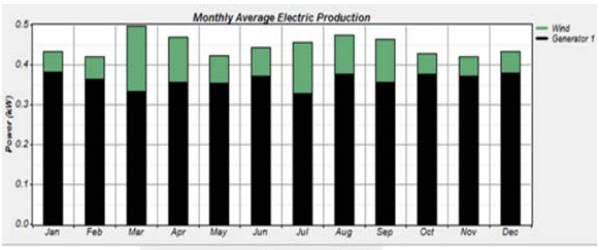
جدول ۵) نتایج مربوط به آلایندگی آرایش ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک

آلاینده	انتشارات (کیلوگرم بر سال)
دی‌اکسید کربن	۲۹۸۵
مونواکسید کربن	۷/۹۸۰
هیدروکربن نسوخته	۰/۸۷
مواد ریز	۰/۶۴۳
دی‌اکسید گوکرد	۷/۱۱۲
اکسید ازت	۶۹/۳۵۱

آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی

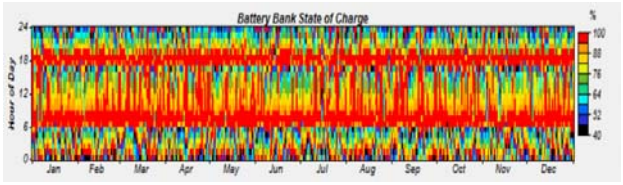
آنچه مشخص است در استفاده از آرایش دیزلی- بادی میزان تولید برق از توربین بادی بسیار کم است به‌طوری که سهم ۱۹درصدی از تولید کل برق در این آرایش را به خود اختصاص می‌دهد که نمودار ۱۵ نشان داده شده است. این در حالی است که ارتفاع مناسب برای توربین‌های خانگی ۱۰متر انتخاب شده است.

با این حال تولید برق روزانه حدود ۲/۵کیلووات ساعت بیشتر از میزان برق مورد نیاز است. لذا شاخص بازگشت سرمایه برابر ۳/۹۵ سال است. نمودار ۱۶ مربوط به وضعیت شارژ و دشارژ باتری‌ها در این آرایش نشان می‌دهد که ژنراتور دیزلی در زمان استفاده از دستگاه شیردوش در اوایل روز یعنی ساعت ۶ الی ۸ صبح بیشتر از زمان دوشش بعدازظهر دام به‌کار گرفته می‌شود. برای ارتفاع ۱۰متری میزان تولید برق سالیانه توربین باد بسیار کم و حدود ۷۵۰کیلووات ساعت است. سهم ژنراتور دیزلی در تولید برق سالیانه، ۲۸۹۰کیلووات ساعت است و میزان مصرف سوخت دیزل سالیانه به ۱۱۷۸لیتر می‌رسد. همان طور که از نتایج حاصل از نمودار خلاصه روند موجودی مشخص است عمده هزینه‌ها که منجربه کاهش رتبه اقتصادی این آرایش دیزل- فوتوولتائیک شده است مربوط به هزینه‌های نگه‌داری است. لازم به ذکر است که طول عمر آرایه توربین بادی پنج سال کمتر از آرایه فوتوولتائیک پیشنهادی است که در نمودار ۱۷ نشان داده شده است. نمودار شرح روند موجودی به خوبی دلایل این افزایش میزان مجموع هزینه‌ها را نشان می‌دهد که نتیجه آن کاهش ارزش بازیافتی موجودی‌ها در این آرایش نسبت به آرایش دیزل- فوتوولتائیک مشاهده می‌شود (نمودار ۱۸). استفاده از این نوع آرایش دیزل ۸۱ و ۱۹% توربین بادی توانسته بود مقدار آلایندگی انتشاری را در مقایسه با دیزل کاهش دهد و لذا از لحاظ زیست‌محیطی مناسب‌تر بود ولی این آرایش در مقایسه با دیزل- فوتوولتائیک از آلایندگی بیشتری برخوردار بود. نتایج مربوطه در جدول ۶ آورده شده است.

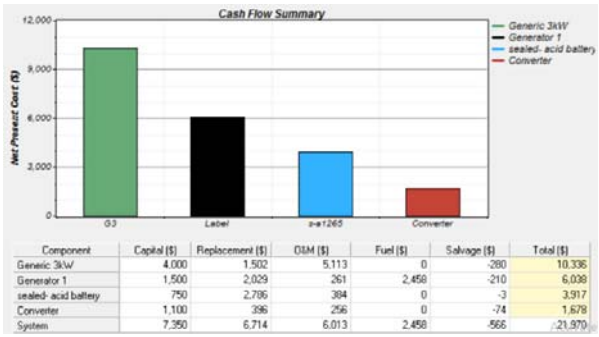


Production	kWh/yr	%
Wind turbine	748	19
Generator 1	3,170	81
Total	3,918	100

نمودار ۱۵) نتایج مربوط به میانگین تولید برق ماهیانه در آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی



نمودار ۱۶) منحنی وضعیت شارژ و دشارژ باتری‌ها، آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی

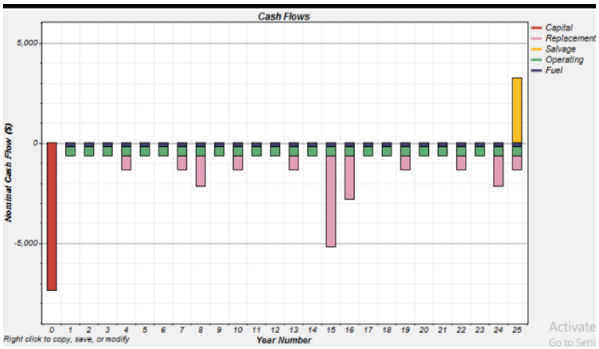


Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
Generic 3kW	4,000	1,502	5,113	0	-280	10,336
Generator 1	1,500	2,029	261	2,458	-210	6,038
sealed- acid battery	750	2,786	384	0	-3	3,917
Converter	1,100	396	256	0	-74	1,678
System	7,350	6,714	6,013	2,458	-566	21,970

نمودار ۱۷) خلاصه نتایج مربوط به روند موجودی در آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی

www.SID.ir

Archive of SID



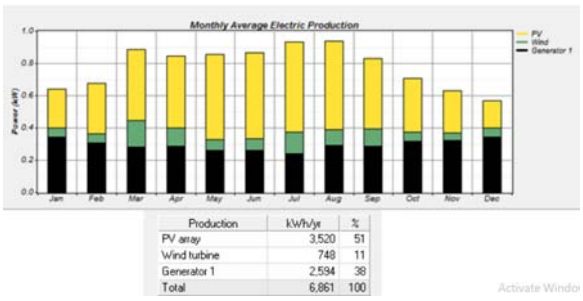
نمودار ۱۸) شرح روند موجودی در چرخه عمر برای آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی

جدول ۶) نتایج مربوط به آلایندگی آرایش ژنراتور دیزلی-توربین بادی

آلاینده	**انتشارات** (کیلوگرم بر سال)
دی‌اکسید کربن	۳۲۸۶
مونواکسید کربن	۹/۰۱
هیدروکربن نسوخته	۰/۹۸
مواد ریز	۰/۶۸
دی‌اکسید گوکرد	۷/۳۵۲
اکسید ازت	۷۳/۲۱۵

آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی- فوتوولتائیک

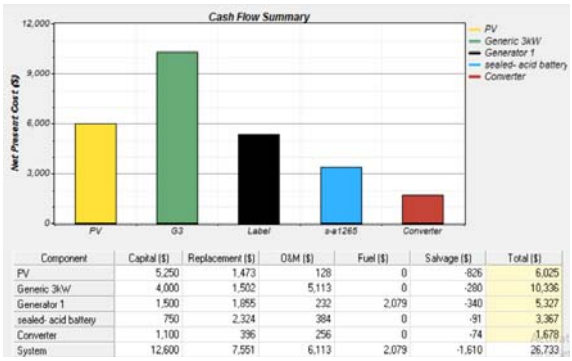
در مورد آرایش سه‌گانه دیزل- باد- خورشید نیز، آرایه فوتوولتائیک سهم بیشتری نسبت به ژنراتور دیزل، و ژنراتور دیزل سهم بیشتری نسبت به توربین بادی ایفا می‌کند. به‌طوری که برای توربین با ارتفاع ۱۰متری، فوتوولتائیک ۵۱، ژنراتور دیزلی ۳۸ و توربین بادی ۱۱% از تولید برق آرایش را به خود اختصاص می‌دهند که در نمودار ۱۹ نشان داده شده است. میزان انرژی برق تولیدی کل در این آرایش ۶۸۶۱کیلووات ساعت در سال است که برای هر روز به حدود ۱۸/۸کیلووات ساعت می‌رسد. برای این آرایش نیز میزان فروش روزانه برق براساس تعرفه سال ۹۷ حدود ۸۵۰۰۰ریال است که مقدار سالیانه این فروش به بیش از ۳۱۰۰۰۰۰۰ریال می‌رسد.



Production	kWh/yr	%
PV array	3,520	51
Wind turbine	748	11
Generator 1	2,594	38
Total	6,861	100

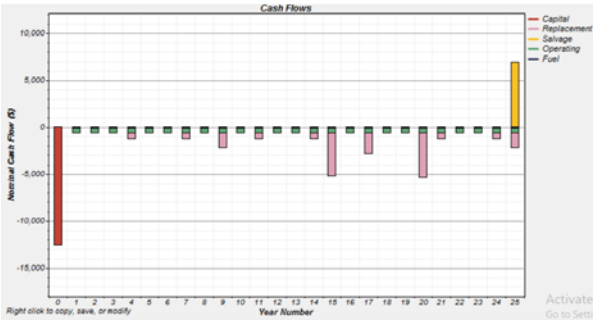
نمودار ۱۹) نتایج مربوط به میانگین تولید برق ماهیانه در آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک- توربین بادی

با توجه به کل انرژی برق تولیدی و میزان بار مصرفی، روزانه حدود ۱۰/۵کیلووات ساعت توان مازاد بر نیاز خواهیم داشت که روزانه ۸۴۰۰۰ریال درآمد حاصل از فروش آن است، لذا شاخص بازگشت سرمایه حدود ۱/۴ سال است که در نمودار ۲۰ نشان داده شده است. نمودار ۲۱ نشان از تعویض چند باره باتری‌ها و مبدل قدرت و یک بار تعویض آرایه‌های فوتوولتائیک و توربین بادی در طول عمر پروژه را دارد که موجب افزایش NPC شده است. با این حال به‌دلیل استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش استفاده از ژنراتور دیزلی، میزان انتشارات حاصل از آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزل- توربین بادی- فوتوولتائیک، به مراتب کمتر از آرایش دوگانه و تک‌گانه است که در جدول ۷ آمده است. در نتایج به‌دست‌آمده مشخص است که کمترین آلودگی مربوط به زمانی است که پنل‌های خورشیدی، توربین بادی، مبدل قدرت و باتری علاوه‌بر ژنراتور در مدار باشند که نتیجه منطقی است، زیرا که در صورت بودن تمام اجزا در مدار، توان گرفته‌شده از ژنراتور که باعث آلودگی است پایین‌تر خواهد آمد.



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	5,250	1,473	128	0	-826	6,025
Generic 3kW	4,000	1,502	5,113	0	-280	10,336
Generator 1	1,500	1,855	232	2,079	-340	5,327
sealed- acid battery	750	2,324	384	0	-91	3,367
Converter	1,100	396	256	0	-74	1,678
System	12,600	7,551	6,113	2,079	-1,610	26,733

نمودار ۲۰) خلاصه نتایج مربوط به روند موجودی در آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک- توربین بادی



نمودار ۲۱) شرح روند موجودی در چرخه عمر برای آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک- توربین باد

جدول ۷) نتایج مربوط به آلایندگی آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی- فوتوولتائیک- توربین باد

آلاینده	**انتشارات** (کیلوگرم بر سال)
دی‌اکسید کربن	۲۸۵۶
مونواکسید کربن	۷/۰۵
هیدروکربن نسوخته	۰/۷۸۱
مواد ریز	۰/۵۳۱
دی‌اکسید گوکرد	۵/۷۳۰
اکسید ازت	۶۲/۹۰۰

در این آرایش سهم هر کیلوگرم شیر خام از میزان آلایندگی مربوط به گاز کربن‌دی‌اکسید به حدود ۲۶گرم کاهش پیدا می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عبارتی برای شهرستان میانه در این آرایش نسبت به آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی سالانه فقط ۳۰% از آلایندگی مربوط به کربن‌دی‌اکسید را کاهش خواهیم داد. به همین دلیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه کشورها قرار گرفته، و میزان استفاده از آن سالانه افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که بیشترین آلودگی مربوط به حالتی است که هیچ کدام از منابع تجدیدپذیر در مدار نبوده، در نتیجه وجود ژنراتور تنها باعث ایجاد آلودگی زیست‌محیطی برای ما خواهد شد. لازم به ذکر است در صورت تعیین و تصویب مقادیر مناسب برای جرایم آلایندگی می‌توان میزان مجموع هزینه خالص، هزینه طبقه‌بندی‌شده انرژی و شاخص بازگشت سرمایه را نیز برای آرایش سه‌گانه کاهش داد.

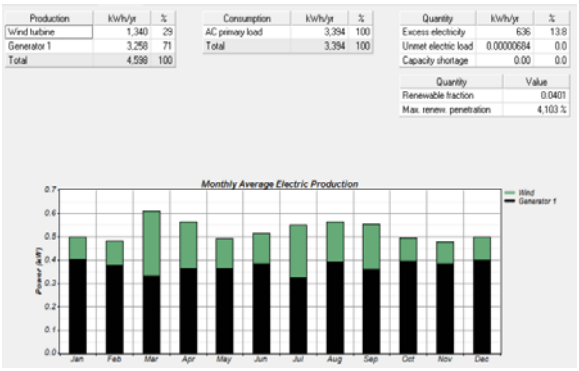
مقابله با عدم قطعیت

چالشی که اغلب یک طراح سامانه‌های ریزقدرت با آن مواجه است عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی است. آنالیز حساسیت به طراح در درک بهتر تاثیرات عدم قطعیت و اتخاذ تصمیمات مناسب طراحی با وجود عدم قطعیت کمک می‌کند. برای انجام این آنالیز، مدل قیمت سوخت را برابر با ۰/۶دلار به‌ازای هر لیتر درنظر می‌گیرد که این برای ۲۵ سال عمر پروژه فرض می‌شود. بدیهی است که عدم اطمینان قابل توجهی در این مقدار وجود دارد، اما ممکن است بسیاری از ورودی‌های دیگر مانند طول عمر توربین بادی، هزینه تعمیر و نگه‌داری ژنراتور دیزلی، سرعت متوسط باد در دراز مدت و حتی متوسط بار الکتریکی نامشخص باشد. آنالیز حساسیت می‌تواند به مدل‌کننده کمک کند که تاثیر تغییرات در این ورودی‌ها بر روی رفتار، امکان و اقتصاد یک پیکربندی خاص را تعیین نماید.

تحلیل حساسیت

یکی از استفاده‌های مقدماتی آنالیز حساسیت برخورد با عدم قطعیت است. حساسیت کاربردهای فراتر از مقابله با عدم قطعیت دارد. در رابطه با متغیرهای حساسیت سه مقدار برای بار مصرفی، چهار مقدار برای تابش افقی، سه مقدار برای میانگین سرعت باد، دو مقدار برای بهای سوخت دیزل، دو مقدار برای طول عمر سامانه فوتوولتائیک، سه مقدار برای ارتفاع توربین بادی و دو مقدار در رابطه با عمر کاری ژنراتور دیزلی تعریف شد. با این حال در اکثر موارد تغییرات محسوس و قابل تحلیلی در نتایج بهینه‌سازی ایجاد شد. علت مربوط به تفاوت بالای میزان NPC توربین بادی و ژنراتور دیزلی است که موجب تثبیت نتایج می‌شود. با این حال تغییرات در برخی پارامترها نتایج قابل توجهی در پی دارد.

سهم اندک توربین بادی در نتایج بهینه‌سازی، کمی عجیب به‌نظر می‌رسد. با اندکی تامل در نتایج بهینه‌سازی مشخص شد که با وجود هزینه سرمایه‌گذاری کمتر توربین بادی نسبت به سامانه فوتوولتائیک، هزینه نگه‌داری بالا برای توربین‌های بادی علت این مساله است، به‌طوری که میزان NPC و به تبع آن COE برای توربین افزایش می‌یابد. همچنین ارتفاع برای توربین بادی در حد توربین‌های خانگی ۱۰متر درنظر گرفته شده است که در صورت استفاده از توربین با ارتفاع ۴۰متری میزان NPC آرایش دیزل- باد کاهش یافته و به میزان NPC آرایش دیزل- فوتوولتائیک نزدیک می‌شود. با اعمال متغیرهای حساسیت و تغییر داده‌های سرعت باد به ارتفاع ۳۰متری این سهم به ۲۹% و میزان تولید انرژی برق به ۱۳۴۰کیلووات افزایش می‌یابد که در نمودار ۲۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲۲) نتایج مربوط به میانگین تولید برق ماهیانه در آرایش ژنراتور دیزلی- توربین بادی در ارتفاع۳۰متری

همچنین در رابطه با آرایش دیزل- فوتوولتائیک، شاخص خروج از تنظیم برای آرایه فوتوولتائیک یک شاخص قیاسی به‌حساب می‌آید. به‌معنای به‌حساب‌آوردن اثرات گردوغبار بر روی صفحه خورشیدی، تلفات سیم، درجه حرارت بالا یا هر چیزی که باعث انحراف خروجی آرایه PV از مقدار قابل انتظار در شرایط ایده‌آل شود، وجود دارد. هومر این حقیقت را نادیده می‌گیرد که توان خروجی یک آرایه PV با افزایش درجه حرارت پنل کاهش می‌یابد، اما کاربر هومر می‌تواند هنگام مدل‌سازی سامانه‌ها در آب‌وهوای گرم شاخص خروج را برای تصحیح این اثر کاهش دهد. لذا با دخالت دادن این شاخص میزان COE برای آرایش دیزل- فوتوولتائیک افزایش می‌یابد.

در حقیقت، خروجی یک آرایه PV به‌صورت غیرخطی، به ولتاژی که در معرض آن قرار گرفته بستگی دارد. نقطه بیشینه قدرت (ولتاژی که در آن توان خروجی حداکثر است) به تابش خورشید و درجه حرارت آن بستگی دارد. اگر آرایه PV مستقیماً به یک بار *مستقیم* با یک بانک خازنی متصل شده باشد، همیشه در معرض یک ولتاژ متفاوت با نقطه بیشینه قدرت قرار می‌گیرد و کارآیی آن کاهش خواهد یافت. ردیاب نقطه بیشینه قدرت (MPPT) یک وسیله حالت جامد است که در بین آرایه PV و بقیه مولفه‌های برق مستقیم سیستم قرار گرفته است و ولتاژ آرایه را از بقیه بخش‌های سیستم جدا می‌کند و تضمین می‌کند که ولتاژ آرایه همواره برابر با نقطه بیشینه توان است. با نادیده‌گرفتن اثر ولتاژی که آرایه PV در معرض آن قرار گرفته است، هومر به‌طور موثر فرض می‌کند که ردیاب نقطه بیشینه توان در سیستم وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

امکان استفاده از سامانه‌های هیبریدی انرژی در مقیاس کوچک برای تامین برق مصرفی واحد دامپروری مورد ارزیابی قرار گرفت و به این منظور سه منبع توربین بادی، آرایه‌های فوتوولتائیک و ژنراتور دیزلی از لحاظ فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی توسط نرم‌افزار تحلیل انرژی هومر صورت گرفت و در نتیجه آن استفاده از یک ژنراتور دیزلی به‌عنوان کم‌هزینه‌ترین راه‌کار معرفی شد و سپس به‌ترتیب استفاده از ترکیب ژنراتور دیزلی ۴۵، با آرایه‌های فوتوولتائیک ۵۵، و سپس آرایش توربین بادی ۱۹ و ژنراتور ۸۱ و در نهایت آرایش سه‌گانه ژنراتور دیزلی ۳۸ به همراه آرایه‌های فوتوولتائیک ۵۱ و توربین بادی ۱۱% کمترین هزینه را داشتند. این نتایج با نتایج تحقیق *کانسارا* و همکاران[29]، قابل مقایسه است. در پژوهش آنها استفاده از انرژی بادی و فوتوولتائیک در مقایسه با دیزل راه‌کار کم هزینه‌تری گزارش شده بود، این بدین جهت ممکن است باشد که منطقه جغرافیایی مورد بررسی آنها به لحاظ استفاده از انرژی‌های بادی و خورشیدی بسیار مناسب بوده باشد، اما به لحاظ اینکه استفاده از این سیستم‌های خورشیدی و بادی در جهت کاهش آلایندگی موثر است، با پژوهش حاضر مطابقت داشت. از سویی دیگر یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق *نورالهی* و *ربانی*[31] و تحقیق *مکتب‌دار* و همکاران[30]، مطابقت داشت. اما به لحاظ کاهش آلایندگی استفاده از حالت سه‌گانه دیزل ۳۸، فوتوولتائیک ۵۱ و بادی ۱۱% و بعد از آن نیز ترکیب ژنراتور دیزلی ۴۵ با سیستم فوتوولتائیک ۵۵ و درنهایت ژنراتور دیزلی ۸۱ و توربین بادی ۱۹% در مقایسه با دیزل تک‌گانه اولویت داشت؛ در آرایش سه‌گانه میزان انتشار آلایندگی دی‌اکسیدکربن و اکسید ازت در مقایسه با دیزل به‌ترتیب ۳۸/۴ و ۳۸/۴۳% است. اما با کمی تامل و لحاظ‌کردن شاخص بازگشت سرمایه که یک شاخص اصلی در طرح مسایل امکان‌سنجی مشخص شد زمان بازگشت سرمایه در استفاده از ژنراتور دیزلی بیش از سه سال و هفت ماه است در حالی که در راه‌کار استفاده از آرایش ژنراتور دیزل- فوتوولتائیک این شاخص ۱/۰۴ سال است که از این لحاظ این آرایش در رتبه نخست قرار می‌گیرد، زیرا درصد تجدیدپذیری در این آرایش نسبت به آرایش تک‌گانه ژنراتور دیزلی افزایش می‌یابد. همچنین در رابطه با آرایش سه‌گانه دیزل ۳۸، توربین باد ۱۱ و فوتوولتائیک ۵۱% شاخص بازگشت سرمایه حدود یک و نیم سال است که از این لحاظ نیز آرایش در رتبه دوم قرار می‌گیرد.

تشکر و قدردانی: از تمامی اساتید محترم، دوستان عزیز و همچنین سازمان هواشناسی شهرستان میانه نهایت تشکر و قدردانی می‌شود.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان تایید می‌کنند که تمامی نتایج ذکرشده صرفاً حاصل فعالیت‌های پژوهشی آنها است.

تعارض منافع: نتایج هیچ گونه تعارض منافع وجود ندارد.

سهم نویسندگان: رضا اکبری (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی (۵۰%)؛ یحیی عجب‌شیرچی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی (۲۵%)؛ فرید حقیقت‌شعار (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی (۲۵%).

منابع مالی: از محل اعتبارات دانشگاه تبریز تامین شده است.

منابع

1- Haghighat Shoar F, Abdi R, Najafi B, Faizollahzadeh Ardabili S. The effect of thermochemical pretreatment on biogas production efficiency from kitchen waste using a novel lab scale digester. Renewable Energy Focus. 2019;28:140-152.

2- Tofigh AA, Abedian M. Analysis of energy status in Iran for designing sustainable energy roadmap. Renewable Sustainable Energy Reviews. 2016;57:1296-1306.

3- Bahrami M, Abbaszadeh P. Development a scenario-based model for Iran's energy future. Renewable Sustainable Energy Reviews. 2016;62:963-970.

4- Arouri MEH, Youssef AB, M'henni H, Rault C. Energy consumption, economic growth and CO_2 emissions in Middle East and North African countries. Energy Policy. 2012;45:342-349.

5- Amponsah NY, Troldborg M, Kington B, Aalders I, Hough RL. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: a review of lifecycle considerations. Renewable Sustainable Energy Reviews. 2014;39:461-475.

6- Songolzadeh M, Soleimani M, Takht Ravanchi M, Songolzadeh R. Carbon dioxide separation from flue gases: A technological review emphasizing reduction in greenhouse gas emissions. The Scientific World Journal. 2014;2014(1):828131.

7- Alizadeh R, Majidpour M, Maknoon R, Salimi J. Iranian energy and climate policies adaptation to the Kyoto protocol. International Journal Environmental Research. 2015;9(3):853-864.

8- Sadeghi A, Firouzabadi SJ, Ajili H. The essentials of Iranian energy diplomacy in the system of international political economy. Research Letter of International Relations. 2018;11(43):73-105. [Persian]

9- Sidan MH, Abdollahi Sarvari G. Global status report of renewable energy in 2015 [Report]. Tehran: Renewable Energy and Energy Efficiency Organization; 2015. [Persian]

10- Dervishi Bolorani A, Paktinat H, Ebrahimi A. Estimating the economic value of tilt angle adjustment of solar panels on optimal value using remote sensing data. Energy Economics Review. 2014;10(40):95-109.

11- Basharabadi H, Sadeghi G, Shujauddini H. Economic and environmental assessment of photovoltaic systems in commercial use and dynamic simulation of electricity prices. Journal of Iranian Energy Economics. 2018;7(27):201-159. [Persian]

12- Alamdari P, Nematollahi O, Mirhosseini M. Assessment of wind energy in Iran: A review. Renewable Sustainable Energy Reviews. 2012;16(1):836-860.

13- Besarati SM, Padilla RV, Goswami DY, Stefanakos E. The potential of harnessing solar radiation in Iran: Generating solar maps and viability study of PV power plants. Renewable Energy. 2013;53:193-199.

14- Moradi A. Design, manufacture and evaluation of a flat panel PV/T photovoltaic thermal collector using an extended plate [dissertation]. Tabriz: Tabriz University;

www.SID.ir

Archive of SID

24- Yazdan Panah Jahromi MA. Design and optimization of a hybrid system with renewable sources of electricity generation [dissertation]. Zahedan: University of Sistan and Baluchestan; 2012.
25- Hassanalian M, Badri MA. Design of solar wind hybrid power plant using Homer software. National Conference on Modification of Production and Consumption Pattern. Kerman: Kerman Higher Education Institute; 2011.
26- Tan D, Kian Seng A. Handbook for Solar photovoltaic (PV) systems. Singapore: Energy Market Authority; 2011.
27- Germany Energy Park Mainz. Electronic reference [Internet]. Germany: Energy Park Mainz; 2015 [Unknown Cited]. Available from: http://www. energipark- mainz. de/en project/energypark/.
28- Ganadha E. Hybrid renewable energy systems. Unknown City: Virtual Energy Group Report on Carbon and Energy; 2015.
29- Kansara BU, Parekh BR. Modelling and simulation of distributed generation system using HOMER software. International Conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering, 15-17 December 2011, Sivakasi, India. Piscataway: IEEE; 2011.
30- Maktabdar A, Bedrsimaei H, Jaliliizadeh M, Pakdel M. Techno-economic study and optimal design of hybrid wind, microturbine and battery systems to meet load demand. 9th Symposium on Mashhad Science and Technology Progress, Mashhad, Iran. Birjand: Birjand University; 2014.
31- Noorullahi Y, Rabani A. Practical technical assessment of small wind turbines for energy supply of agricultural greenhouses in Saveh township. 10th International Energy Conference, 26-27 Aug 2014. Unknown Publisher; 2014.
2016. [Persian]
15- Niroo Research Institute, Ministry of Energy. Guide to the design of photovoltaic systems for electric and climatic applications. Tehran: Niroo Research Institute, Ministry of Energy; 2014. [Persian]
16- Parida B, Iniyan S, Goic R. A review of solar photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15(3):1625-1636.
17- Shadmand MB, Balog RS. Multi-objective optimization and design of photovoltaic-wind hybrid system for intelligent DC microgrid. IEEE Transactions on Smart Grid. 2014;5(5):2635-2643.
18- Kazemi Kargar H, Nowruzi MP. Photovoltaic panels (introduction, principles, and design). Tehran: Kahkashan-e Danesh; 2010. [Persian]
19- Zinnali B, Azimi A. Feasibility study of wind energy potential in the northwest of Iran using the fuzzy algorithm. Regional Planning Quarterly. 2016;(24):73-78. [Persian]
20- Najafi G, Ghobadian B. LLK1694-wind energy resources and development in Iran. Renewable Sustainable Energy Reviews. 2011;15(6):2719-2728.
21- Abbaspour M, Atabi F. A mathematical model to evaluate wind energy potential in Iran. World Renewable Energy Congress, Unknown Date & Location of congress. Tehran: Islamic Azad University; 1994.
22- Khosravi M, Ebrahimi M, Behrozi M. Evaluation of wind energy status in Khuzestan province for use of wind turbines Regional Planning Quarterly. 2016;6(22):22-42. [Persian]
23- Yue CD, Wang SS. GIS- based evaluation of multifarious local renewable energy sources: A case study of the Chigu area of southwestem Taiwan. Energy Policy. 2006;34(6):730-742.

www.SID.ir