



Optimum planning of hybrid microgrid system connected to the grid using Homer software for Ahvaz city

Rahim Zahedi¹ | Ehsan Mohseni² | Erfan Sadeghitabar³ | Abolfazl Ahmadi^{4*} |
Nadia Ranjbar⁵ | Aidin Shaghghi⁶ | Mohammad Taghi Tahooneh⁷

1. Faculty of Energy Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: rahimzahedi@ut.ac.ir

2. School of Advanced Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: ehsanmohseni1@iust.ac.ir

3. Faculty of Energy Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: sadeghi1@ut.ac.ir

4. Corresponding Author, School of Advanced Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: a_ahmadi@iust.ac.ir

5. Department of Accounting, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ranjbarnadia@yahoo.com

6. School of Advanced Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: shaghghi.aidin1995@gmail.com

7. School of Advanced Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: taghitahooneh@iust.nt.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article History:

Received 26 October 2022

Revised 20 November 2022

Accepted 15 December 2023

Published Online 27 December 2023

Keywords:

Renewable Energies,
Microgrid,
Hybrid system,
HOMER Software.

ABSTRACT

Homer software acts as a tool for modeling and optimizing an energy production system based on renewable technologies. The purpose of this study is to investigate the performance of different scenarios and optimize the best type of their use in accordance with the geographical data of the target area in the presence of different renewable sources of wind, solar and diesel generators in the presence of the main power grid. The necessity of using renewable resources is not hidden from anyone, but due to high fluctuations and dependence on weather conditions, these resources need to have a realistic analysis according to the conditions of each region in order to get the best performance from them. In this research, according to the meteorological data of the studied area, it has been tried to study the effect of using these resources in a microgrid optimally and objectively, and the calculations were done in such a way that the designed system can meet the load requirements of the studied area. To overcome the intermittency of renewable energy sources such as wind and sun, a combination of these sources was considered in a hybrid system. The data of solar radiation and wind speed required by the software were obtained from the meteorological website of the country and NASA and were used in the software. The results of the analysis of three scenarios including power grid/diesel generator, power grid/diesel generator/solar cell and power grid/diesel generator/solar cell/wind turbine show the prices of 0.579 dollars, 0.308 dollars and 0.431 dollars per kilowatt hour, respectively dollar showed. In these scenarios, the share of renewable energies was 0, 27.4 and 48.3 percent, respectively. The higher the price of diesel, the more the optimization software goes towards the use of renewable energies; Therefore, considering that the subsidy of energy carriers (fossil fuels) is high in our country, it is recommended that if this subsidy is reduced or allocated to the use of renewable energies, the use of renewable energies will increase. He will find that this issue will be very effective in reducing environmental pollution.

Cite this article: Zahedi, R.; Mohseni, E.; Sadeghitabar, E.; Ahmadi, A.; Ranjbar, N.; Shaghghi, A. & Taghitahooneh, M. (2023). Optimum planning of hybrid microgrid system connected to the grid using Homer software for Ahvaz city. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (2), 183-197. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.370277.1049>



© Rahim Zahedi, Ehsan Mohseni, Erfan Sadeghitabar, Abolfazl Ahmadi, Nadia Ranjbar, Aidin Shaghghi, Mohammad Taghitahooneh. **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.370277.1049>

Introduction

Renewable energy sources are clean and unlimited, making them a viable alternative to fossil fuels. The reduction of fossil fuels, increased greenhouse gas emissions, and higher energy consumption have led to a growing use of renewable energy sources for grid-connected applications. Other influential factors in the use of renewable energy include the availability of various types of these sources, low long-term production costs, low maintenance costs, and their safety. According to the 2016 report, 19.2% of the world's energy consumption and 23.7% of electricity production are supplied by renewable energy. Of this figure, 8.9% comes from traditional biomass, 4.2% from thermal energy (modern biomass, solar heating, and geothermal), 3.9% from hydropower, and 2.2% from wind, solar, geothermal, and biomass electricity.

The integration of these resources to meet local loads has led to the concept known as microgrids, one of the most critical topics in optimizing their performance. Homer software functions as a tool for modeling and optimizing the performance of renewable energy-based microgrids. In this project, actual monthly load data in Homer software was used to design a renewable energy-based microgrid in grid-connected mode for the residential area of Industrial Town No. 3 in Ahvaz (Khuzestan). Calculations were performed in a way that the designed system could meet the demand of the study area with the minimum cost, the least pollution, and the highest reliability. Solar radiation and wind speed data required for this software were obtained from the National Meteorological Organization and NASA websites and were used in this software.

Model description

The use of microgrid systems to meet the required energy, assessing and aligning various combinations in terms of cost, pollution, and reliability - aiming for the minimum cost, least pollution, and highest reliability - should be noted. It should be considered that the more decentralized our production resources are, the better it is for environmental diversity, as any pollution generated is dispersed among various sources, preventing a single type of pollutant from reaching a constant level and concentration that could have continuous effects on humans, other organisms, and structures. Therefore, the system must be managed in a way to minimize pollution. Additionally, considering the intermittent nature of renewable energy sources, it is necessary to use non-renewable resources alongside renewable ones to maintain and stabilize the network. In this way, pollution is distributed among these sources, and the contribution of each source to pollutants is minimized.

The optimized microgrid system includes a diesel generator, wind turbine, solar panel, converter, battery, and power grid. The optimization of this system has been carried out using Homer software.

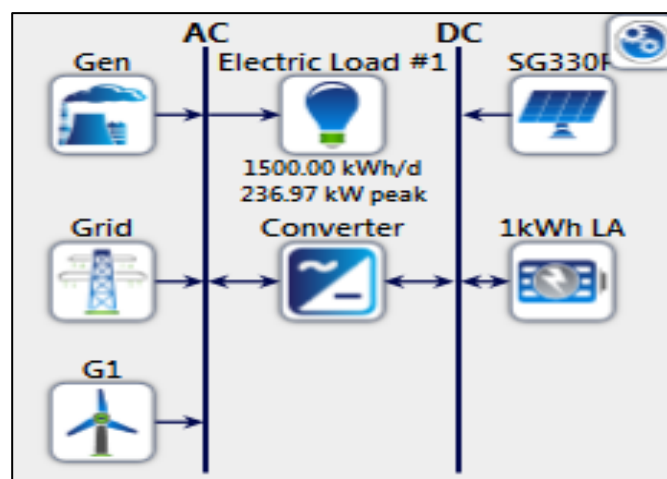


Fig. 1. Schematic of the optimized model

Results and discussions

To reduce greenhouse gas emissions and encourage greater use of renewable energy in Iran, the authors of this project have investigated the electricity consumption in Industrial Town No. 3 in Ahvaz

over a period of 12 months based on real data. Using Homer software in three different scenarios, the system analysis results indicate that:

- Economically, the most cost-effective system is priced at \$0.308 per kilowatt-hour produced (Scenario 2).
- The highest utilization of renewable energy, 48.2%, is associated with the scenario of grid/diesel generator/solar panel/wind turbine, which also has the lowest CO₂ emissions at 196,524 kilograms per year (Scenario 3).
- In none of the scenarios does the net electricity sold to the grid exceed the amount purchased from the grid.
- The relatively low wind speed has led to the optimization preference for diesel generators even with a tenfold increase in fuel prices compared to the use of wind turbines.

It might be assumed that renewable energy sources contribute to environmental pollution management and inherently do not cause environmental pollution; however, renewable resources themselves have environmental implications. While they have less pollution compared to combustion power plants (fossil fuels), if a renewable source is utilized, it will introduce a certain level of pollution to the environment. Therefore, microgrid and hybrid systems, utilizing multiple sources for power generation, help disperse pollution and reduce its impact, even though they produce less pollution than combustion plants.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

برنامه‌ریزی بهینه ریزشبه ترکیبی متصل به شبکه با استفاده از نرم‌افزار هومر برای شهر اهواز

رحیم زاهدی^۱ | احسان محسنی^۲ | عرفان صادقی تبار^۳ | ابوالفضل احمدی^۴ | نادیا رنجبر^۵ | آیدین شقاقی^۶ | محمدتقی طاحونه^۷

۱. دکترای تخصصی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: rahimzahedi@ut.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: ehsan_mohseni@nt.iust.ac.ir
۳. کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: erfansadeghitabar@ut.ac.ir
۴. نویسنده مسؤل، دانشیار، گروه سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: a_ahmadi@iust.ac.ir
۵. کارشناسی، گروه حسابداری، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ranjbaradi@yahoo.com
۶. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: shaghghi_aidin@nt.iust.ac.ir
۷. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: m_taghi@nt.iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

کلیدواژه:

انرژی‌های تجدیدپذیر، میکرو گرید، سیستم هیبریدی، نرم‌افزار هومر.

نرم‌افزار هومر به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید انرژی مبتنی بر فناوری‌های تجدیدپذیر عمل می‌کند. هدف این مطالعه، بررسی نحوه عملکرد سناریوهای مختلف و بهینه‌سازی بهترین نوع استفاده از آن‌ها متناسب با داده‌های جغرافیایی منطقه مورد نظر در حضور منابع مختلف تجدیدپذیر بادی، خورشیدی و دیزل ژنراتور در حضور شبکه اصلی برق است. ضرورت استفاده از منابع تجدیدپذیر بر کسی پوشیده نیست، اما این منابع به دلیل نوسانات زیاد و وابستگی به شرایط آب‌وهوایی نیاز به داشتن یک تحلیل واقع‌گرایانه متناسب با شرایط هر منطقه دارد تا بتوان بهترین عملکرد را از آن‌ها دریافت کرد. در این پژوهش با توجه به داده‌های هواشناسی منطقه مورد بررسی تلاش شده است تا تأثیر استفاده از این منابع در یک ریزشبه به صورت بهینه و عینی مورد مطالعه قرار گیرد و محاسبات به گونه‌ای انجام شد که سیستم طراحی شده بتواند نیاز بار منطقه مورد مطالعه را در سناریوهای مختلف با کمترین هزینه، کمترین آلودگی و بالاترین قابلیت اطمینان تأمین کند. برای غلبه بر متناوب بودن منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد و خورشید، ترکیبی از این منابع در یک سیستم هیبریدی در نظر گرفته شد. داده‌های تابش خورشیدی و سرعت باد مورد نیاز نرم‌افزار از سایت هواشناسی کشور و ناسا تهیه شده و در نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحلیل سه سناریو شامل شبکه برق/دیزل ژنراتور، شبکه برق/دیزل ژنراتور/سلول خورشیدی و شبکه برق/دیزل ژنراتور/سلول خورشیدی/توربین بادی به ترتیب قیمت‌های هر کیلووات‌ساعت را ۵۷۹/۰ دلار، ۳۰۸/۰ دلار و ۴۳۱/۰ دلار نشان داد. در این سناریوها، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ۲۷/۴٪ و ۴۸/۳٪ درصد بود. هر چه قیمت گازوییل بیشتر باشد، نرم‌افزار برای بهینه‌سازی به سمت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌رود؛ لذا با توجه به اینکه پارانه حامل‌های انرژی (سوخت‌های فسیلی) در کشور ما بالا است، توصیه می‌شود که این پارانه اگر کاهش پیدا کند یا به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تخصیص پیدا کند، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت که این موضوع روی کاهش آلودگی محیط بسیار مؤثر خواهد بود.

استناد: زاهدی، رحیم؛ محسنی، احسان؛ صادقی تبار، عرفان؛ احمدی، ابوالفضل؛ رنجبر، نادیا؛ شقاقی، آیدین و طاحونه، محمدتقی (۱۴۰۲). برنامه‌ریزی بهینه ریزشبه ترکیبی متصل به شبکه با استفاده از نرم‌افزار هومر برای شهر اهواز. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۲ (۲) ۱۸۳-۱۹۷. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.370277.1049>

© رحیم زاهدی، احسان محسنی، عرفان صادقی تبار، ابوالفضل احمدی، نادیا رنجبر، آیدین شقاقی، محمدتقی طاحونه.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.370277.1049>



۱. مقدمه

منابع انرژی تجدیدپذیر منابع پاک و نامحدود هستند؛ بنابراین می‌توانند جایگزین خوبی برای سوخت‌های فسیلی باشند. کاهش سوخت‌های فسیلی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی بالاتر منجر به افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای حالت متصل به شبکه شده است. سایر عوامل مؤثر در استفاده از انرژی تجدیدپذیر مانند در دسترس بودن انواع مختلف این منابع، هزینه‌های کم تولید در طولانی‌مدت، هزینه‌های کم نگهداری و ایمنی آن‌ها است. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶، ۱۹/۲ درصد از انرژی مصرفی جهان و ۲۳/۷ درصد از تولید برق توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شده است. از این تعداد، ۸/۹ درصد از زیست‌توده سنتی، ۴/۲ درصد از انرژی حرارتی (زیست‌توده مدرن، گرمایش خورشیدی و زمین‌گرمایی)، ۳/۹ درصد از برق آبی و ۲/۲ درصد از انرژی برق از انرژی‌های باد، خورشید، زمین‌گرمایی و زیست‌توده تأمین شده است [۱].

ادغام این منابع برای تأمین بارهای محلی به مفهومی به نام ریزشبه منجر شده است یکی از موضوعات مهم در مورد ریزشبه عملکرد بهینه آن‌ها است. نرم‌افزار هومر به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی ریزشبه تولید انرژی بر اساس فناوری تجدیدپذیر عمل می‌کند. در این پروژه از داده‌های بار واقعی ماهانه در نرم‌افزار هومر برای طراحی یک ریزشبه مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در حالت متصل به شبکه برای منطقه مسکونی شهرک صنعتی شماره ۳ در شهر اهواز (خوزستان) استفاده شده. محاسبات به گونه‌ای انجام شده که سیستم مورد طراحی بتواند تقاضای بار منطقه مورد مطالعه را با کمترین هزینه، کمترین آلودگی و بیشترین قابلیت اطمینان تأمین کند [۲]. برای غلبه بر تناوب منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد و خورشید، ترکیبی از این منابع در یک سیستم ترکیبی و نصب سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری در نظر گرفته شد. داده‌های تابش خورشید و سرعت باد مورد نیاز این نرم‌افزار از وبسایت هواشناسی کشور و ناسا گرفته شده و در این نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. نرم‌افزار هومر با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، انتقال تجهیزات به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است و کمک می‌کند تا با ارائه طرح‌های هوشمند و بهینه‌سازی تجهیزات فعلی بتوانند ضمن حفظ محیط زیست، هزینه‌های شبکه‌بندی را تا حد چشم‌گیری کاهش دهند، لذا استفاده درست از این نرم‌افزار و بهینه‌سازی ریزشبه‌های مورد استفاده با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه بسیار ضروری و پراهمیت است که در این مقاله این مطالعه برای منطقه اهواز که از نظر مصرف انرژی و تولید آلاینده‌گی بسیار خاص است صورت گرفته است.

۲. مرور پیشینه تحقیق

لیبو و همکاران در تحقیق خود از هومر برای انجام بهینه‌سازی و تجزیه و تحلیل حساسیت در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی در روستای سنت مارتین، بنگلادش استفاده کرده‌اند. سیستم مورد مطالعه آن‌ها شامل سلول‌های خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور، باتری و مبدل بوده. آن‌ها روی ۶ سناریو مختلف برای تهیه ۲۹۹ کیلووات‌ساعت در روز مطالعه کردند و نتایج بیانگر آن است که سناریوی توربین بادی/ سلول خورشیدی/ ژنراتور، که ۳۵۹۷۲۹ دلار هزینه داشت، کمترین قیمت در هر کیلووات‌ساعت انرژی معادل ۰/۲۷ دلار را داشت [۱] در حالی که پیراپونگ و همکاران برای بهینه‌سازی توسعه برق در یک ریزشبه مبتنی بر دیزل در یک جزیره تایلند تلاش کردند. آن‌ها نیز از نرم‌افزار هومر برای تجزیه و تحلیل استفاده کردند و می‌خواستند مشاهده کنند که چگونه افزایش استفاده از پنل‌های خورشیدی بر ریزشبه تأثیر می‌گذارد. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد در صورت استفاده از سلول‌های خورشیدی و همچنین دیزل ژنراتور، قیمت هر کیلووات‌ساعت برق از ۰/۴۲۹ دلار به ۰/۳۷۴ دلار کاهش می‌یابد. همچنین، این امر به کاهش حدود ۷۹۷ تن کربن دی‌اکسید در سال منجر می‌شود که به دلیل کاهش ۳۰۲۵۱ لیتر در مصرف سوخت دیزل است، زیرا سلول‌های خورشیدی می‌تواند ۴۱ درصد تقاضا را فراهم کند [۴]. در این نمونه تنها از یک منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده شده است که قابلیت اطمینان را کاهش می‌دهد. همچنین سوئیتا و همکاران از هومر برای انجام یک مطالعه امکان‌سنجی در مورد تولید قدرت از هیبرید سیستم‌های تجدیدپذیر برای سواحل شمالی موریتانی استفاده کرده‌اند. در این تحقیق نویسندگان به دنبال تحلیل حساسیت با پنج قیمت مختلف دیزل و سرعت باد بودند. نتایج نشان داد با افزایش قیمت دیزل، قیمت هر کیلووات‌ساعت انرژی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، سرعت باد بالاتر به پایین آمدن قیمت

در هر کیلووات ساعت انرژی منجر شد. قابل توجه است که برای سرعت باد بیش از ۷ متر بر ثانیه، قیمت انرژی تولید شده مستقل از قیمت دیزل خواهد بود، به طوری که برای سرعت باد ۷ و ۸ متر بر ثانیه قیمت هر کیلووات ساعت انرژی تولید شده به ترتیب ۰/۰۸۹ دلار و ۰/۰۸۶ دلار خواهد بود [۵]. همچنین در این مورد نیز تنها از یک منبع تجدیدپذیر استفاده شده است و نوسانات این منبع می‌تواند پایایی شبکه را کاهش دهد.

هانتور و همکاران تقاضای انرژی و طراحی سیستم هیبریدی در جزیره باوین، اندونزی را با استفاده از هومر تجزیه و تحلیل کرده‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد برای تأمین حداکثر بار ۱۳۱ کیلووات سیستم بهینه شامل سلول‌های خورشیدی (۱۵۰ کیلووات)، دو توربین بادی (هر یک ۱۰ کیلووات)، ژنراتور دیزل (۷۵ کیلووات) و باتری است. در حالت بهینه، حدود ۴۸ درصد انرژی توسط سلول خورشیدی، ۲ درصد توسط توربین بادی و بقیه توسط ژنراتور دیزل تولید می‌شود. علاوه بر این، سالانه حدود ۷۶۶۰۰ کیلووات ساعت انرژی مازاد تولید می‌شود [۶]. در این مورد مطالعه که از چند منبع استفاده شده، تحلیل حساسیت برای عوامل مؤثر بر منابع انجام نشده و از طرفی، انرژی تأمین شبکه مورد بررسی قرار نگرفته است.

ستیناس و همکاران در یک مطالعه طراحی، تجزیه و تحلیل عملکرد و بهینه‌سازی یک ریزشبکه ترکیبی را برای مجتمع بیمارستانی واقع در پردیس دانشگاه اسکی شهیر عثمانگازی (ESOGU) با استفاده از نرم‌افزار ترکیبی بهینه‌سازی منابع انرژی چندگانه (HOMER) ارائه کردند. به منظور بهینه‌سازی سیستم، خرابی مازول (PV)، افزایش تقاضا، افزایش هزینه سوخت ژنراتورهای دیزل و قطع برق به عنوان متغیرهای عملکرد تعریف شده و به طور واقعی در شبیه‌سازی (HOMER) مدل شده است. در این مطالعه هدف بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و پایداری شبکه تأمین کننده برق بوده و به موارد اقتصادی اشاره نشده است [۷]. همچنین لاتیتا و همکاران یک استراتژی جدید با استفاده از فایل پیوند کنترلی (Matlab) سازگار با (HOMER Pro) را ارائه کردند که عملکرد بهتری نسبت به استراتژی‌های شارژ چرخه و بارگذاری دنبال می‌کند، که دو استراتژی پیش فرض موجود در (HOMER) هستند [۸]. در این مطالعه سلول‌های سوختی برای ارائه حداکثر استفاده در مقایسه با سایر اجزا در ریزشبکه پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. در این مطالعه نیز ارائه منابع بیشتر می‌تواند نقص‌های موجود را پوشش دهد.

عزیز و همکاران نوعی سیستم هیبریدی دیزل و سلول خورشیدی با باتری خارج از شبکه را بررسی کرده‌اند. آن‌ها یک استراتژی توزیع بهبود یافته و جدید با استفاده از (MATLAB) و (HOMER) پیشنهاد دادند که پیش‌بینی ۱۲ ساعته در مورد تقاضای بار و تابش خورشیدی (استراتژی شارژ چرخه بهبود یافته) را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، مقایسه الگوریتم جدید پیشنهادی و استراتژی شارژ چرخه پیش فرض برای نشان دادن عملکرد بهتر استراتژی جدید نشان داده شده است [۹]. الگوریتم پیشنهادی مدیریت باتری (چرخه شارژ/دشارژ) بهتری را ارائه می‌دهد، زیرا نمایه تابش آینده از قبل پیش‌بینی شده است. در این مطالعه یک ریزشبکه متصل به شبکه نیز می‌توانست در نظر گرفته شود. ارتقا به سایر استراتژی‌های پیش فرض ارسال مانند استراتژی‌های پیگیری بار یا سفارش ژنراتور موجود در (HOMER) می‌تواند یک موضوع تحقیقاتی جدید باشد.

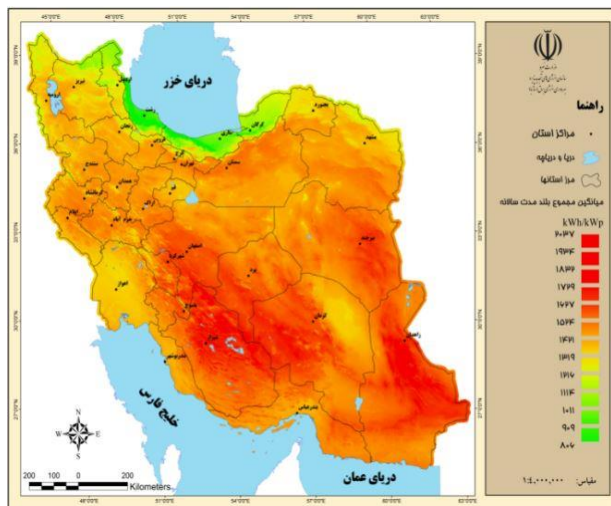
نرم‌افزار (HOMER) توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده توسعه یافته است. (HOMER) که یک مدل کامپیوتری است در ترکیبی از فناوری‌ها و کاربردهای مختلف به عنوان تولید، ذخیره‌سازی و بار استفاده می‌شود. فرایند طراحی با (HOMER) در سه مرحله شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و تحلیل حساسیت انجام می‌شود [۱۰]. در مرحله اول که شبیه‌سازی است، تجزیه و تحلیل فنی و ارزیابی هزینه سیستم ریز قدرت انجام می‌شود. پس از مرحله شبیه‌سازی، بهینه‌سازی آغاز می‌شود. در این مرحله پیکربندی‌های مختلف سیستم مدل‌سازی می‌شود و عواملی مانند اجزای سیستم ریز قدرت و اندازه این قطعات از نظر کمترین هزینه ارزیابی و تعیین می‌شوند. زمان‌های شبیه‌سازی بسیار طولانی را می‌توان با موفقیت با (HOMER) مدیریت کرد. با استفاده از این ویژگی (HOMER) در آخرین مرحله تحلیل حساسیت، متغیرها و عدم قطعیت‌هایی که طراح نمی‌تواند در بلندمدت کنترل کند، مدل‌سازی می‌شود.

حامدی و همکاران به منظور نحوه تأمین برق یک مصرف‌کننده کشاورزی واقع در دشت اردبیل، امکان‌سنجی فنی اقتصادی برای سیستم ترکیبی انرژی‌های نو شامل انرژی خورشیدی و انرژی باد به کمک دیتای باد و تابش استخراج شده برای منطقه مورد نظر و نرم‌افزار (Homer Energy) مورد مطالعه قرار گرفته دادند. خروجی نرم‌افزار اقتصادی‌ترین و بهینه‌ترین سیستم ترکیبی

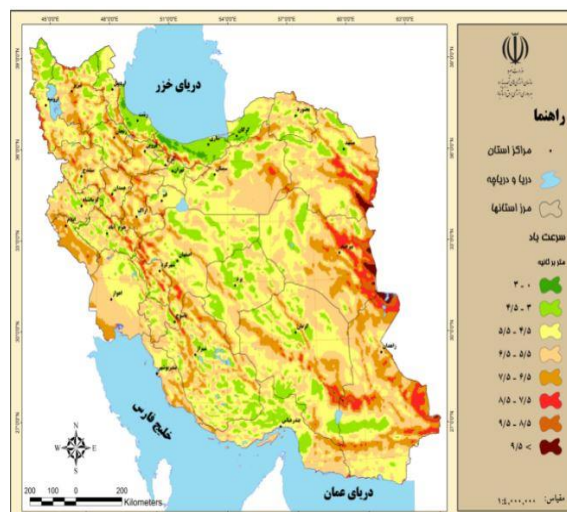
هیبریدی را نشان داده و نتایج حاصل از آن با هزینه‌های تأمین برق از طریق توسعه شبکه (احداث خطوط فشار متوسط) مقایسه شد تا قشر زحمت‌کش کشاورز با صرف کمترین هزینه، برق مورد نیاز خود را تأمین کند. در این مطالعه نیز فقط به مینیمم کردن هزینه تأمین برق پرداخته شده و مقایسه‌ای بین دو گزینه مد نظر جهت این امر صورت گرفته است نه تحلیل حساسیت عوامل مختلف ریزشکته و منابع تجدیدپذیر [۱۱].

مطالعه حاضر به طور خاص به یکی از استان‌های کشور ایران می‌پردازد. در این باره در حال حاضر ۹۰۰ مگاوات نیروگاه‌های تجدیدپذیر در شبکه برق کشور وجود دارد و وزارت نیرو در دولت جدید مکلف شده تا طی چهار سال ۱۰ هزار مگاوات به ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر اضافه کند. از ۹۰۰ مگاوات نیروگاه انرژی تجدیدپذیر نصب‌شده در کشور، ۳۱۰ مگاوات مربوط به نیروگاه‌های بادی، ۳۹۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی و باقی مربوط به برق‌آبی‌های کوچک، زیست‌توده و انبساطی‌ها می‌شود، به طور متوسط در جهان ظرفیت نیروگاهی که از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود، ۳۰ درصد است که در برخی کشورها این عدد نیز به ۸۰ درصد نیز می‌رسد؛ اما در ایران تجدیدپذیرها تنها یک درصد ظرفیت نیروگاهی کشور را دربرگرفته‌اند، طبق بررسی‌های انجام‌شده امکان تأمین ۱۴۰ هزار مگاوات برق از تجدیدپذیرها وجود دارد که از این میزان ۱۰۰ هزار مگاوات مربوط به نیروگاه‌های خورشیدی و ۴۰ هزار مگاوات مربوط به نیروگاه‌های بادی می‌شود.

با توجه به مرور انجام‌شده بر تحقیقات پیشین مشاهده شد در تحقیقات مختلف بهینه‌سازی با روش‌های متعددی در زمینه ریزشکته و انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گرفته است. در برخی از این مطالعات به تمام منابع پرداخته نشده و در برخی دیگر که منابع مختلف در نظر گرفته شده، جنبه‌های خاصی از قابلیت اطمینان، کاهش آلودگی و بهیجگی اقتصادی مورد توجه بوده است. از طرفی، در مطالعات انجام‌شده در ایران به بحث تغییرات قیمت سوخت اشاره خاصی نشده بود که در این مورد به آن پرداختیم. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب اطلس باد و تابش خورشید در کشور ایران را نشان می‌دهد. در این دو شکل می‌توان ظرفیت شهر اهواز را نسبت به این دو پارامتر اصلی در تولید انرژی تجدیدپذیر مشاهده کرد.



شکل ۲. پتانسیل انرژی خورشید در ایران

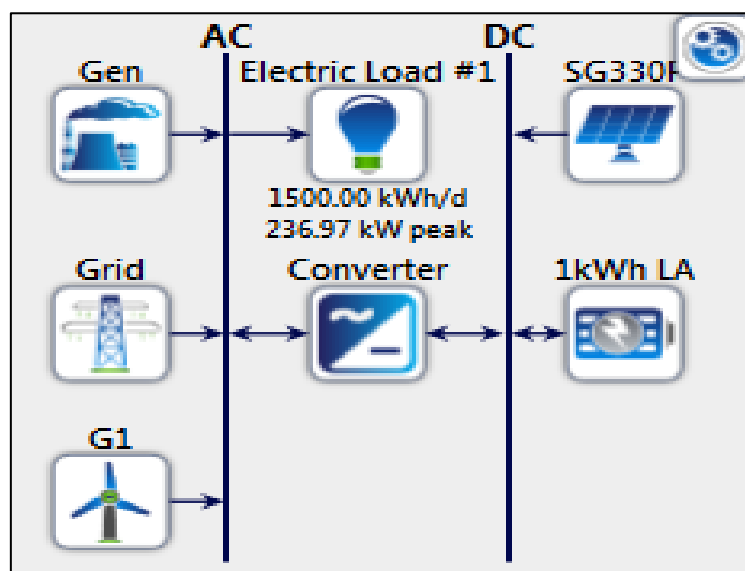


شکل ۱. پتانسیل انرژی باد در ایران

۳. روش تحقیق

استفاده از سیستم‌های ریزشکته برای تأمین انرژی مورد نیاز، ارزیابی و مطابقت ترکیب‌های مختلف از نظر هزینه، آلودگی و قابلیت اطمینان که باید کمترین هزینه، کمترین آلودگی و بیشترین قابلیت اطمینان را داشته باشد، ضمن اینکه باید توجه داشت که هر چقدر منابع تولید ما پراکنده‌تر باشد، از لحاظ آلودگی محیط زیست بهتر است به دلیل اینکه آلودگی‌های به‌وجودآمده نیز بین منابع مختلف پراکنده شده و مقدار و غلظت یک نوع آلاینده به نحوی نخواهد بود که اثرات دائمی روی انسان و سایر موجودات و ابنیه داشته باشد [۱۲]، لذا سیستم باید به نحوی مدیریت شود که کمترین آلاینده را داشته باشد و از طرفی با توجه به متناوب بودن تولیدات منابع

تجدیدپذیر نیاز است که در کنار این منابع از منابع تجدیدناپذیر برای حفظ و پایداری شبکه استفاده کرد، ضمن اینکه در این صورت آلاینده‌گی هم بین این منابع تقسیم شده و سهم هر یک از آلاینده‌های به‌وجودآمده کم خواهد شد. سیستم بهینه‌سازی شده ریزشکبه شامل دیزل ژنراتور، توربین بادی، پنل خورشیدی، مبدل، باتری و شبکه برق است که با استفاده از نرم‌افزار هومر این بهینه‌سازی انجام گرفته است.

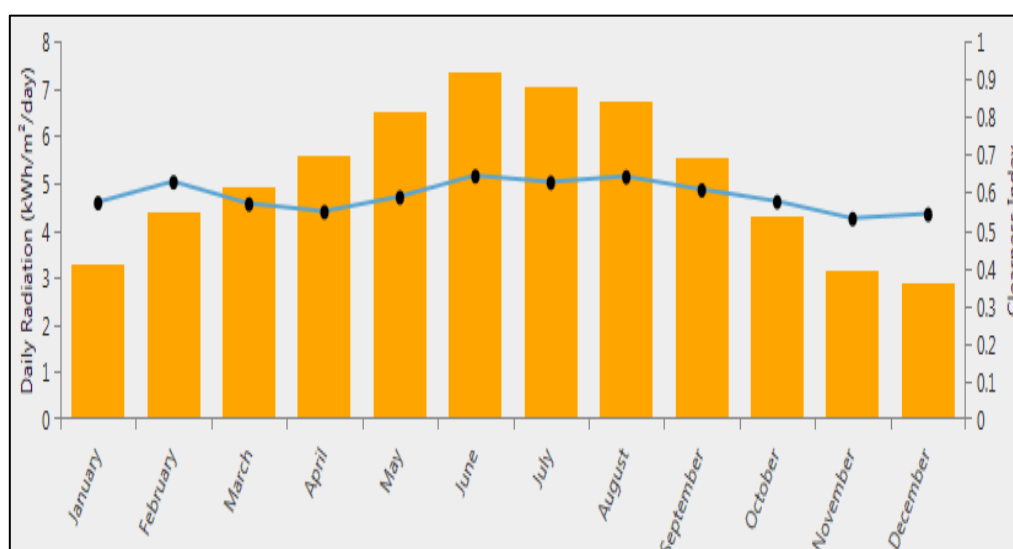


شکل ۳. شماتیک مدل بهینه‌شده

منابع مورد استفاده در بهینه‌سازی و مدل‌های ریاضی به شرح زیر هستند:

۱.۳. خورشیدی

مقادیر ماهانه تابش خورشیدی مورد استفاده در هومر از ناسا گرفته می‌شود [۱۳]. برای این منظور، از عرض جغرافیایی $31^{\circ}16'$ و طول جغرافیایی $48^{\circ}47'$ (از مختصات جغرافیایی شهرک صنعتی شماره ۳ اهواز) استفاده شد. نمودار تابش خورشیدی متوسط ماهانه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار تابش خورشیدی متوسط ماهانه در اهواز

با وارد کردن میانگین تابش ماهانه (کیلووات ساعت / مترمربع)، این نرم‌افزار شاخص تمیزی هوا را با رابطه ۱ محاسبه می‌کند [۱۲].

$$K_t = \frac{H_{ave}}{H_{o,ave}} \quad (1)$$

جایی که H_{ave} و $H_{o,ave}$ به ترتیب تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین و تابش بالای جو هستند.

۱. تابش خورشیدی که سطح زمین و بالای تابش جو وجود دارد به ترتیب از وب‌سایت ناسا گرفته شده است و بر اساس عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه $H_{o,ave}$ را محاسبه می‌کند [۱۴].

$$H_{o,ave} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{24}{n} G_{on} (\cos \varnothing \cos \delta \sin w_s + \frac{mw_s}{180^\circ} \sin \varnothing \sin \delta)}{N} \quad (2)$$

که \varnothing طول جغرافیایی منطقه و N تعداد روز در هر ماه است.

۲. پنل خورشیدی [۱۴]:

در مدل‌سازی انرژی خورشیدی، هومر با استفاده از معادلات ۳ و ۴ به محاسبه خروجی آرایه خورشیدی می‌پردازد:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (3)$$

Y_{PV} ظرفیت مجاز آرایه فتوولتاییک

f_{PV} فاکتور کاهش ظرفیت به خاطر اثر سایه، تجمع گرد و غبار و برف و اتلاف تجهیزات است.

G_T تابش خورشیدی بر آرایه فتوولتاییک است.

$G_{T,STC}$ تشعشع در شرایط تست استاندارد

T_c دمای سلول فتوولتاییک

$T_{c,STC}$ دمای سلول در شرایط تست استاندارد (۲۵ درجه سانتی‌گراد)

α_p ضریب دمایی، اثر افزایش دما بر توان خروجی پنل ۰٫۲۵- درصد، $0.25\% \text{ } ^\circ\text{C}$ در نظر گرفته شده.

هومر دمای سلول در هر مرحله زمانی را با معادله ۴ محاسبه می‌کند.

$$\tau \alpha G_T = \eta_c G_T + U_L (T_c - T_a) \quad (4)$$

τ عبور خورشید از پوشش روی فتوولتاییک

α جذب خورشید توسط آرایه فتوولتاییک

η_c بازده تبدیل الکترونیسته آرایه فتوولتاییک

U_L ضریب انتقال حرارت به محیط

T_a دمای محیط

حل این معادله برای دمای سلول در نظر گرفته $T_{c,NOCT}$ به عنوان دمای نامی عملکردی سلول تعریف شده در یک تابش

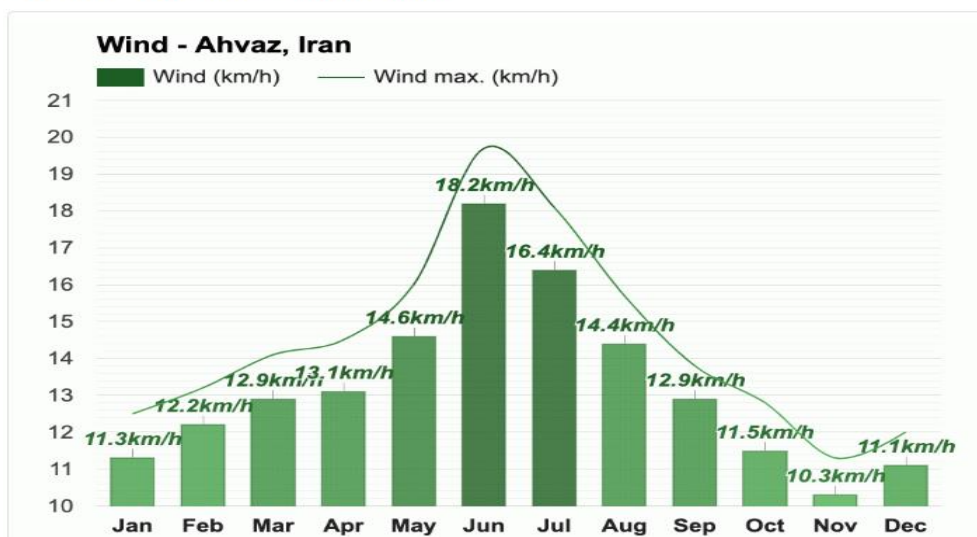
۰/۸ کیلووات بر متر مربع، دمای محیط 20°C ، سرعت باد 1 m/s در زمانی که η_c مساوی صفر است، که توسط کارخانه سازنده

ارائه می‌شود.

$$\frac{\tau \alpha}{U_L} = \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \quad (5)$$

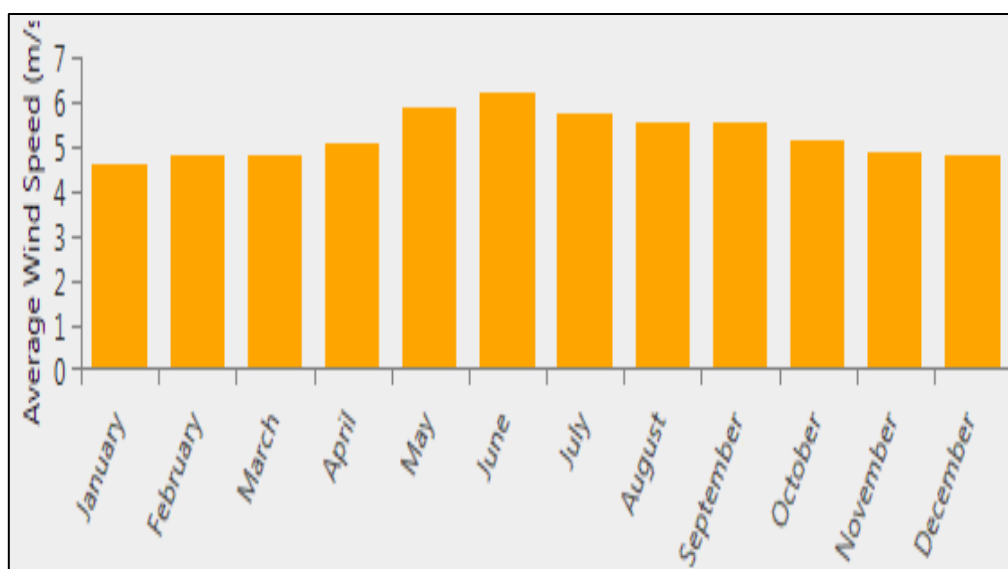
۲.۳. بادی

Average wind speed Ahvaz, Iran



شکل ۵. نمودار توزیع سرعت باد در اهواز

شکل ۶ نمودار توزیع سرعت باد در ماه‌های مختلف سال به منظور استفاده برای توربین باد در اهواز که از وبسایت ناسا گرفته شده است را نشان می‌دهد [۱۴].



شکل ۶. نمودار توزیع سرعت باد در ماه‌های مختلف سال در اهواز

یکی از ابزارهای رایج را برای آنالیز مشخصات سرعت باد (v) در یک مکان مشخص، توزیع ویبول است. معادله تابع امکان دانسیته ویبول را نشان می‌دهد که در آن K ضریب شکل و C فاکتور مقیاس و f_v تابع امکان دانسیته ویبول هستند.

$$f_v = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (۶)$$

K (بدون بعد) و C (m/s) به ترتیب از طریق روابط ریاضی زیر می‌توانند تخمین زده شوند:

$$K = \left(\frac{\sum_1^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_1^n v_i^k} - \frac{\sum_1^n \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} \quad (7)$$

و

$$C = \left(\frac{1}{n} \sum_1^n v_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (8)$$

در هومر، سرعت باد در هر ارتفاعی از هاب توربین با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\alpha} \quad (9)$$

v_1 سرعت باد واقعی (m/s) اندازه‌گیری شده در ارتفاع z_1 (m)

v_2 سرعت باد (m/s) در ارتفاع مورد نیاز z_2 (m)

α بستگی به زبری سطح دارد.

که آلفا با استفاده از معادله ۱۰ به دست می‌آید [۱۵]:

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(v_1)}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z_1}{10}\right)} \quad (10)$$

هومر میانگین توان توربین بادی P_{wind} را با فرض آنکه انرژی جنبشی باد مطابق با یک منحنی توان خاص به برق تبدیل می‌شود بر اساس تابع امکان دانسیته ویبول که به صورت رابطه ۱۱ توضیح داده شده است محاسبه می‌کند.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \tau \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot \sum_{x=1}^j f(v) \cdot v_x^3 \quad (11)$$

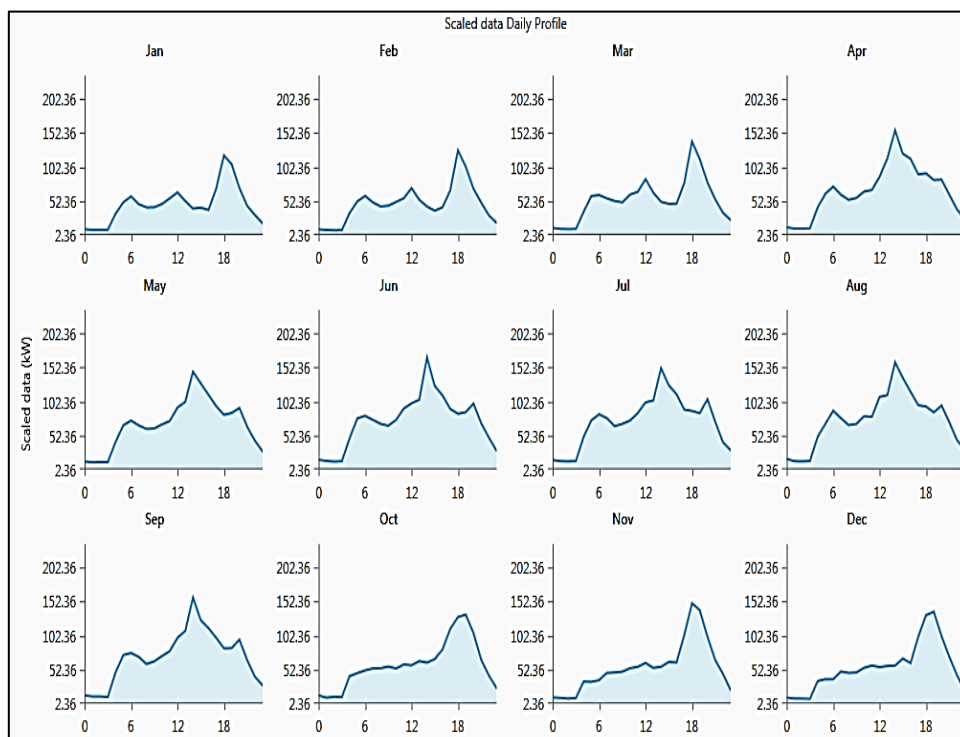
C_p فاکتور ظرفیت ژنراتور باد، τ زمان بررسی شده (غالباً یک سال)، V سرعت باد، $f(v)$ تابع ویبول، j کلاس داده هستند.

۴. پیش‌بینی

ابتدا باید عنوان کرد که به خاطر نوسانی بودن قیمت دلار در سال‌های اخیر سعی شده داده‌های خود را بر اساس دلار معادل (۴۰۰۰ تومان) محاسبه کنیم تا هنگام بهینه‌سازی دچار مشکل نشویم. شکل ۷ مقدار بار مصرفی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در ماه‌های گرم سال (آوریل تا سپتامبر) نیاز به برق بیشتری وجود دارد به خاطر نیاز به تجهیزات خنک‌کننده و حداقل بار مورد نیاز مربوط است به ماه‌های ژانویه و فوریه، و حداقل برق مصرفی بین ساعت ۰ بامداد تا ۶ صبح اتفاق می‌افتد. با توجه به آماری که از وب‌سایت هواشناسی تهیه شده، بیشترین توزیع سرعت باد در ماه‌های مختلف سال تقریباً بین ۴ تا ۴/۵ متر بر ثانیه است که از لحاظ جغرافیایی منطقه متوسط رو به پایین از لحاظ سرعت وزش باد جهت نصب توربین بادی است (البته ذکر این نکته ضروری است که تنها سرعت باد در بازدهی توربین بادی اثرگذار نیست، بلکه دوری از مناطق مسکونی، ناهمواری سطح زمین، نوع توربین استفاده‌شده در بازدهی نیروگاه بادی مؤثر است که باید تمام این فاکتورها را در نظر داشت). از طرفی با توجه به اختلاف قیمت حامل‌های انرژی کشورمان نسبت به کشورهای دیگر در نظر داریم که با دو قیمت سوخت برای دیزل ژنراتور بهینه‌سازی را انجام می‌دهیم:

۱- قیمت گازوییل مصرفی $\$/l$ ۰/۱، ۲- قیمت گازوییل مصرفی $\$/l$ ۱ که با توجه به قیمت گازوییل در مورد اول انتظار می‌رود که سیستم طراحی شده بیشتر به سمت استفاده از دیزل ژنراتور برود به دلیل اینکه قیمت گازوییل پایین‌تر بوده و استفاده دیزل ژنراتور باعث کاهش هزینه عملیاتی و در نتیجه، افزایش سود و کاهش زمان بازگشت سرمایه می‌شود، ولی در این صورت مقدار دی‌اکسید کربن تولیدی بیشتر خواهد شد چون در بین اجزای استفاده‌شده تنها دیزل ژنراتور است که از سوخت‌های فسیلی

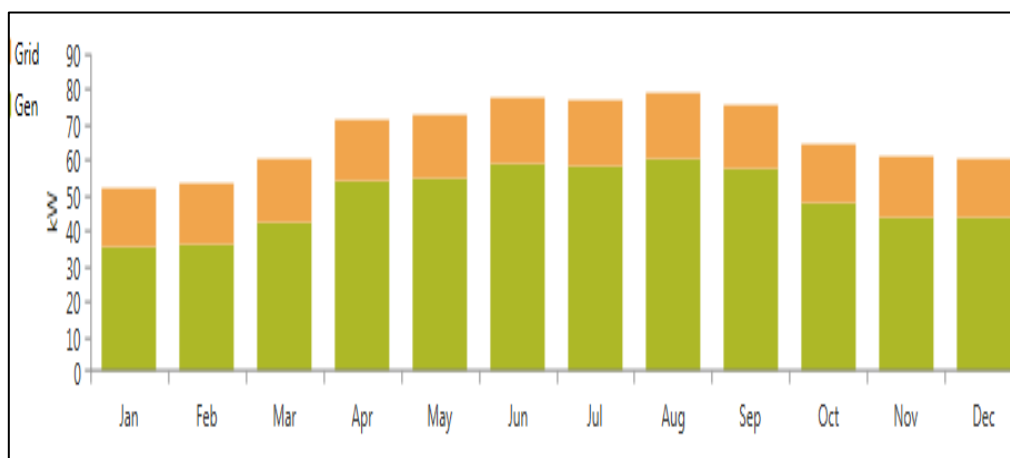
برای تأمین انرژی استفاده می‌کند و این خود باعث آلاینده‌گی زیست‌محیطی بسیار زیادی خواهد شد که ما را از اهداف خود برای استفاده از سیستم‌های انرژی که اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد دور می‌کند.



شکل ۷. نمودار توضیح بار مصرفی ماهانه در اهواز

۵. نتایج

عرضه بار ۱۵۰۰ کیلووات‌ساعت در روز با حداکثر مقدار ۲۳۶/۹۷ در ۳ سناریو با ۲ قیمت گازوییل (که در قسمت پیش‌بینی توضیح داده شد) مورد بررسی قرار گرفت: ۱- دیزل ژنراتور و شبکه؛ ۲- دیزل ژنراتور/ پمپ خورشیدی و شبکه؛ ۳- دیزل ژنراتور/ پمپ خورشیدی/ توربین باد/ شبکه. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد هزینه برای هر کیلو وات ساعت برق تولیدشده به ترتیب ۰/۵۷۹ دلار، ۰/۳۰۸ دلار، ۰/۴۳۱ دلار است. سهم انرژی تجدیدپذیر نیز به ترتیب ۰، ۲۷/۴، ۴۸/۳ درصد و مقدار CO₂ منتشرشده به ترتیب ۴۴۲۷۷۳، ۲۸۹۶۹۴، ۱۹۶۵۲۴ کیلوگرم بر سال است.

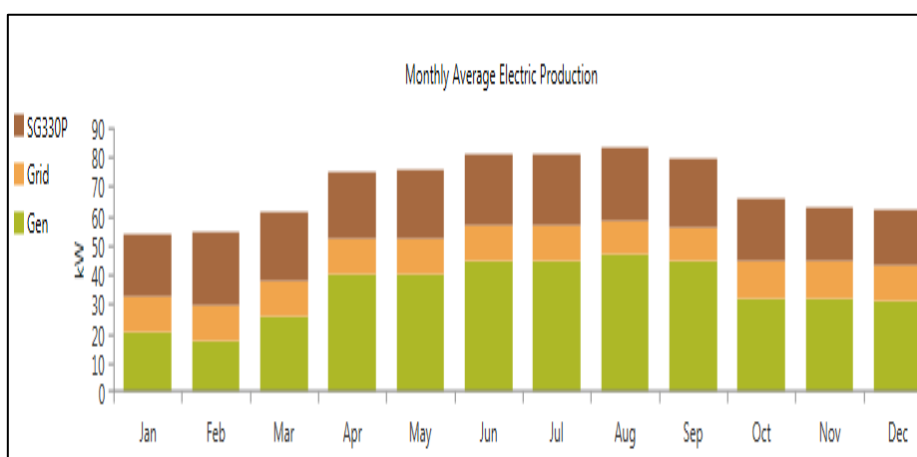


شکل ۸. تولید متوسط توان الکتریکی توسط شبکه و ژنراتور

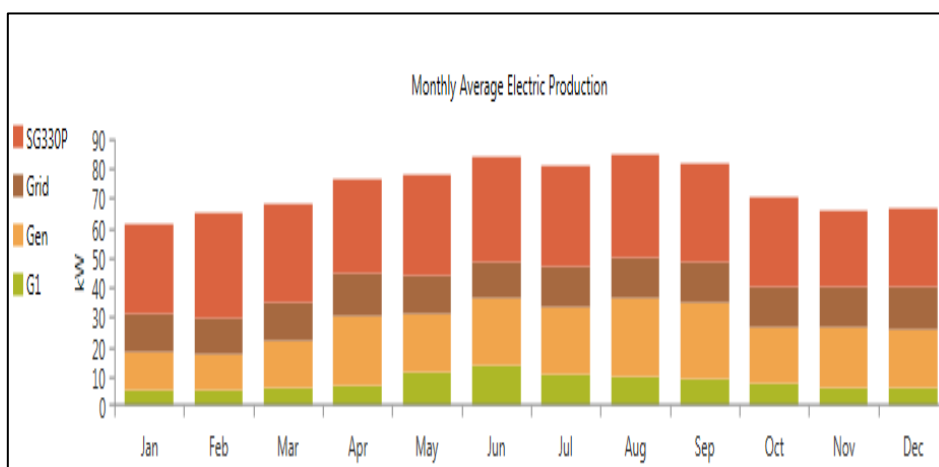
در سناریوی ۱ همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، دیزل ژنراتور به همراه شبکه، برق مورد نیاز را تأمین می‌کنند. در ماه‌های گرم سال از دیزل ژنراتور برای تأمین بار شبکه به مقدار بیشتری نسبت به ماه‌های دیگر استفاده شده و دلیل آن محدود کردن خرید و فروش برق به شبکه به مقدار ۲۰ درصد است که این مقدار در کل ماه‌های سال ثابت است و اگر انرژی بیشتری نیاز داشته باشیم، باید از دیزل ژنراتور برای تأمین بار مصرفی استفاده کنیم. در این سناریو ۷۳/۹ درصد از دیزل ژنراتور و ۲۶/۲ درصد از شبکه برای تأمین بار شبکه استفاده شده و همچنین مقدار هزینه کل، هزینه سربه‌سر (LCOE)، هزینه عملیاتی به ترتیب ۴۰۹۶۹۵۲، ۰/۵۷۹، ۲۸۴۷۸۹ است.

در سناریوی ۲ همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود ۳۲/۴ درصد از پنل خورشیدی ۵۰/۲ درصد از ژنراتور و ۱۷/۲ درصد از شبکه برای تأمین بار مصرفی استفاده کردیم، و سهم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را به ۲۷/۴ درصد رساندیم. لذا همین امر باعث کاهش الودگی هوا شده است. از طرفی هزینه کل، هزینه سربه‌سر و همچنین هزینه عملیاتی (به ترتیب ۲۲۶۲۰۳۵، ۰/۳۰۸، ۱۰۵۳۴۳) نسبت به سناریوی اول کاهش پیدا کرد.

در سناریوی ۳ با توجه به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود مقدار ۴۳/۶ درصد از پنل خورشیدی، ۲۷/۲ درصد دیزل ژنراتور، ۱۱ درصد توربین باد و ۱۸/۲ درصد از شبکه برای تأمین بار مصرفی استفاده می‌شود که هزینه کل، هزینه سربه‌سر، و هزینه عملیاتی به ترتیب ۳۱۵۶۹۸۸، ۰/۴۳۱، ۱۴۰۱۱۲ دلار هستند که در این سناریو مقدار انتشار کربن دی‌اکسید نسبت به دو سناریوی قبل کاهش بیشتری داشته است.



شکل ۹. تولید متوسط توان الکتریکی توسط شبکه و ژنراتور و پنل خورشیدی



شکل ۱۰. تولید متوسط توان الکتریکی توسط شبکه و ژنراتور و پنل خورشیدی و توربین بادی

با توجه به موارد یادشده در این مطالعه یکی از محدودیت‌های این طرح استفاده هم‌زمان از چند منبع تجدیدپذیر جهت کاهش نوسانات است و از طرفی نبود عدم توانایی در کنترل چند منبع تجدیدپذیر با هم است. یکی از مسیریابی که برای مطالعات پیشین می‌توان متصور شد، استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در راه‌اندازی متنوع و جابه‌جایی چند انرژی تجدیدپذیر در یک شبکه با توجه به شرایط موجود است. همچنین در این پژوهش به تأثیر یارانه‌های تخصیصی به سوخت‌های فسیلی در ایران اشاره شد که می‌تواند در یک مطالعه جداگانه میزان یارانه بهینه جهت توسعه و تشویق به استفاده از منابع تجدیدپذیر می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

۶. نتیجه‌گیری

به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشویق برای استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و مطابق با تحقیقات قبلی نویسندگان این پروژه بر اساس داده‌های واقعی مصرف برق در شهرک صنعتی شماره ۳ اهواز را به مدت ۱۲ ماه بررسی کرده‌اند، با استفاده از نرم‌افزار هومر در سه سناریوی مختلف نتایج تجزیه و تحلیل سیستم نشان داد:

- از نظر اقتصادی به صرفه‌ترین سیستم با قیمت هر کیلووات‌ساعت تولیدی ۰/۳۰۸ دلار است (سناریوی ۲).
- بیشترین استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ۴۸/۲ درصد مربوط به سناریوی شبکه / دیزل ژنراتور / سلول خورشیدی / توربین بادی است که همچنین کمترین میزان انتشار CO₂ را با ۱۹۶۵۲۴ کیلوگرم در سال را دارد (سناریوی ۳).
- در هیچ‌یک از سناریوها برق خالص فروخته‌شده به شبکه بیشتر از میزان خریداری‌شده از شبکه نیست.
- سرعت نسبتاً پایین باد باعث شده که حتی با ده برابر شدن قیمت سوخت مصرفی استفاده از دیزل ژنراتور نسبت به توربین باد در بهینه‌سازی ترجیح داده شود.

شاید تصور شود که انرژی تجدیدپذیر عامل مدیریت آلودگی محیط زیست هستند و خود باعث از بین رفتن آلاینده‌های محیط زیست نمی‌شوند در صورتی که منابع تجدیدپذیر خود نیز دارای آلاینده‌های برای محیط زیست هستند. هر چند که آلودگی کمتری نسبت به نیروگاه‌های احتراقی (سوخت فسیلی) دارند؛ ولی اگر از یک منبع تجدیدپذیر استفاده شود هم نوعی آلاینده‌ها خواهد داشت لذا سیستم‌های ریزشبکه و هیبریدی به خاطر اینکه از چند منبع برای تولید برق استفاده می‌کنند باعث پراکندگی آلودگی و کاهش اثرات آن خواهد شد.

با توجه به قیمت پایین دیزل در ایران در مقایسه با شبکه ملی و برق مبتنی بر تجدیدپذیر، از ژنراتور دیزل در کلیه سناریوها استفاده می‌شود، ولی همان‌طور که پیش‌تر اشاره شده ۲ قیمت برای گازوییل در این سه سناریو استفاده شده که برای سناریوی اول و دوم قیمت ۰/۱ دلار و برای سناریوی سوم قیمت گازوییل را ۱ دلار در نظر گرفته شد که نتایج نشان داد هر چه قیمت گازوییل بیشتر باشد نرم‌افزار برای بهینه‌سازی به سمت استفاده بیشتر از انرژی تجدیدپذیر می‌رود؛ لذا با توجه به اینکه یارانه حامل‌های انرژی در کشور ما بالا هستند توصیه می‌شود که این یارانه اگر کاهش پیدا کند یا به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تخصیص پیدا کند، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت که این موضوع روی کاهش آلودگی محیط بسیار مؤثر خواهد بود. همین‌طور مشاهده می‌شود که در دو سناریوی اول در ماه‌های گرم سال که برق مصرفی افزایش پیدا می‌کند، تغییری در استفاده از شبکه و پنل خورشیدی برای تأمین بار مصرفی نسبت به ماه‌های دیگر نمی‌بینیم، ولی در سناریوی سوم با افزایش مصرف در ماه‌های گرم تغییرات در تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر نه‌تنها دیده می‌شود، بلکه در بعضی موارد حتی بیشتر از دیزل ژنراتور است که باز همان قیمت حامل‌های سوخت فسیلی و یارانه بالایی که برای این سوخت‌ها در ایران نسبت به سایر کشورهای خارجی تعلق می‌گیرد دلیلی برای این موضوع است.

منابع

- [1] M. S. H. Lipu, M. G. Hafiz, M. S. Ullah, A. Hossain, and F. Y. Munia, "Design optimization and sensitivity analysis of hybrid renewable energy systems: A case of Saint Martin Island in Bangladesh," *Int. J. Renew. energy Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 988–998, 2017.
- [2] M. A. V. Rad, R. Ghasempour, P. Rahdan, S. Mousavi, and M. Arastounia, "Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran," *Energy*, vol. 190, p. 116421, 2020.
- [3] K. K. Sharma *et al.*, "Economic evaluation of a hybrid renewable energy system (HRES) using hybrid optimization model for electric renewable (HOMER) software—a case study of rural India," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 814–821, 2021.
- [4] P. Peerapong and B. Limmeechokchai, "Optimal electricity development by increasing solar resources in diesel-based micro grid of island society in Thailand, Energy Reports 3 (2017) 1–13." 2017.
- [5] M. Soukeyna *et al.*, "Feasibility analysis of hybrid electricity generation system by HOMER for Mauritanian northern coast," *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 13, no. 8, pp. 120–131, 2018.
- [6] R. Hantoro, C. Budiono, R. K. Ketter, and N. A. Satwika, "Energy demand analysis and design of a hybrid power system in bawean islands, indonesia," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2018, p. 1038.
- [7] İ. Çetinbaş, B. Tamyurek, and M. Demirtaş, "Design, analysis and optimization of a hybrid microgrid system using HOMER software: Eskisehir osmangazi university example," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 8, no. 1, 2019.
- [8] L. Uwineza, H.-G. Kim, J. Kleissl, and C. K. Kim, "Technical control and optimal dispatch strategy for a hybrid energy system," *Energies*, vol. 15, no. 8, p. 2744, 2022.
- [9] S. A. Shezan *et al.*, "Effective dispatch strategies assortment according to the effect of the operation for an islanded hybrid microgrid," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 14, p. 100192, 2022.
- [10] H. Shahinzadeh, G. B. Gharehpetian, S. H. Fathi, and S. M. Nasr-Azadani, "Optimal Planning of an Off-grid Electricity Generation with Renewable Energy Resources using the HOMER Software," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 6, no. 1, p. 137, 2015.
- [11] M. Hamedi, M. Siahkahi, and A. Alaei, "Comparison of network development costs with the optimal design of the renewable energy hybrid system to supply the electricity required by agricultural wells in the Ardabil plain using Homer software," *6th Sired regional conference. Tehran*, 1397.
- [12] S. Ebrahimi, M. Jahangiri, H. A. Raiesi, and A. R. Ariae, "Optimal planning of on-grid hybrid microgrid for remote island using HOMER software, Kish in Iran," 2018.
- [13] NASA Langley Research Center, "Index @ Power.Larc.Nasa.Gov." 2021.
- [14] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, "Micropower system modeling with HOMER," *Integr. Altern. sources energy*, vol. 1, no. 1, pp. 379–385, 2006.
- [15] R. Zahedi, A. Ahmadi, R. Eskandarpanah, and M. Akbari, "Evaluation of resources and potential measurement of wind energy to determine the spatial priorities for the construction of wind-driven power plants in Damghan City," *Int. J. Sustain. Energy Environ. Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–22, 2022.