



## Design, Analysis and Optimization of a Grid-Connected University Microgrid in the presence of Renewable Energies using HOMER Software

Ashkan Karim<sup>1</sup> | Hadi Delavari<sup>2\*</sup>

1. PhD Student in Energy Systems Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran. Email: [ashkan.karimi2509@gmail.com](mailto:ashkan.karimi2509@gmail.com)

2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Hamadan University of Technology, Hamedan, Iran. Email: [delavari@hut.ac.ir](mailto:delavari@hut.ac.ir)

### ARTICLE INFO

**Article type:**  
Research Paper

**Article History:**

**Received:** 22 June 2025

**Revised:** 27 July 2025

**Accepted:** 26 November 2025

**Published Online:** 28 May 2026

**Keywords:**

Homer Software,  
Microgrid,  
Renewable Energies,  
Solar Energy,  
Wind turbine.

### ABSTRACT

Due to the increasing need for energy and the global warming phenomenon resulting from climate change, the increasing need to use renewable energies is undeniable. Among renewable energies, solar energy is the most popular for many reasons, including its accessibility and the conversion of sunlight into electrical energy has significant implications. This paper presents the design, performance analysis, and optimization of a hybrid microgrid for the Hamedan University of Technology, using multiple energy resources optimization software (HOMER). In the aforementioned microgrid design, photovoltaic panels, wind turbines, diesel generators, batteries, converters, and loads are integrated as a combined system. The costs associated with global deployment and the lifespan of the microgrid are taken into account in the 20-year period. The simulation results show that in the first scenario, using 50 kW of solar energy and 15 kW of wind energy. The amount of energy purchased from electricity network will be reduced by 117,021 kWh per day, which will reduce the cost of electricity. The consumption and release of carbon dioxide in the amount of 71,153 kilograms of carbon dioxide also exceeds the consumption of the contract. The electricity bill, which is accompanied by the implementation of the penalty, prevents the second statute, which was amended to include a hybrid microgrid system. The proposal will meet the university's energy needs in a sustainable manner and independent of the grid, with the aforementioned microgrid 27.63 percent renewable energy penetration rate contributes to the clean campus concept.

**Cite this article:** Karim, A. & Delavari, H. (2026). Design, Analysis and Optimization of a Grid-Connected University Microgrid in the presence of Renewable Energies using HOMER Software. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 5 (2), 219-234. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.398748.1168>



© Ashkan Karim, Hadi Delavari **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.398748.1168>

### Introduction

Recent developments in the energy sector, particularly the continuous growth in electricity demand, the depletion of fossil fuel resources, and increasingly strict environmental regulations, have emphasized the need to transform conventional electricity generation and distribution systems. In this context, renewable energy resources integrated within distributed generation frameworks and microgrids have emerged as effective solutions for sustainable power system planning. Microgrids enable local electricity generation, reduce transmission and distribution losses, enhance system reliability and flexibility, and facilitate the transition of consumers from passive electricity users to active participants in energy production.

Educational campuses and public institutions represent suitable candidates for microgrid

implementation due to their relatively predictable load profiles and regulatory obligations to integrate renewable energy sources. However, the optimal design and planning of hybrid energy systems that simultaneously satisfy technical, economic, and environmental objectives remain a significant challenge. Therefore, this study aims to develop an optimally designed and sustainable hybrid microgrid to ensure reliable and cost-effective electricity supply for an educational complex.

## **Methodology**

In this study, a hybrid energy system based on a microgrid architecture is designed and analyzed by integrating multiple energy sources, including solar photovoltaic panels, wind turbines, battery energy storage systems, a diesel generator, and the utility grid. The system components are selected and modeled based on their economic, physical, and operational characteristics. A comprehensive optimization framework is employed to determine the optimal configuration and operational strategy of the system with the objective of maximizing renewable energy penetration while minimizing operational costs.

To evaluate system performance under different operating conditions, two distinct scenarios are considered. In the first scenario, the microgrid operates in grid-connected mode, allowing energy exchange with the utility grid. In the second scenario, a diesel generator is added, and the microgrid is disconnected from the main grid to simulate islanded operation. Annual simulations are conducted to assess energy production, load balancing capability, and overall system performance under each scenario.

## **Results**

The simulation results indicate that the proposed hybrid microgrid is capable of producing 476,804 kWh of electrical energy annually, which fully meets the electricity demand of the studied educational campuses. In the grid-connected scenario, the installation of a 50 kW photovoltaic system combined with 15 kW vertical-axis wind turbines results in a total annual renewable energy generation of 117,021 kWh.

This level of renewable energy integration significantly reduces reliance on the utility grid, decreases electricity purchasing costs, and prevents penalty charges associated with exceeding the contracted demand. Additionally, the renewable energy contribution satisfies the regulatory requirement of supplying at least 20% of electricity consumption in public institutions from renewable energy sources.

In the islanded scenario, the incorporation of a diesel generator enables the microgrid to independently supply the entire electrical load. Under this configuration, renewable energy sources and the diesel generator collectively ensure continuous and reliable power supply without reliance on the utility grid.

## **Discussion**

The results demonstrate that hybrid microgrids integrating renewable energy sources and backup generation units can effectively supply electricity to educational campuses under both grid-connected and islanded operating conditions. The grid-connected scenario offers economic advantages by reducing electricity costs and complying with renewable energy regulations, while the islanded scenario enhances system autonomy and resilience.

Although the islanded configuration relies partially on a fossil fuel-based diesel generator, local energy generation eliminates transmission and distribution losses associated with centralized power systems. Consequently, from a macro-level perspective, this approach contributes to improved energy efficiency and potential fuel savings. Overall, the findings highlight the practicality, economic feasibility, and sustainability of optimally designed hybrid microgrids and provide valuable insights for energy planners and policymakers seeking to promote decentralized and renewable-based energy systems.



## طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی یک ریزشبه‌دانشگاهی متصل به شبکه در حضور انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از نرم‌افزار هومر

اشکان کریمی<sup>۱</sup> | هادی دلاوری<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی سیستم‌های انرژی - دانشگاه صنعتی همدان. رایانامه: [ashkan.karimi2509@gmail.com](mailto:ashkan.karimi2509@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی برق - دانشگاه صنعتی همدان. رایانامه: [delavari@hut.ac.ir](mailto:delavari@hut.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۷

کلیدواژه:

انرژی‌های تجدیدپذیر،

انرژی خورشیدی،

توربین بادی،

ریزشبکه،

نرم‌افزار هومر.

با توجه به نیاز روزافزون انرژی و پدیده گرمایش جهانی که نتیجه آن تغییرات آب‌وهوایی است، لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر امری انکارناپذیر است. از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، خورشید به دلایل زیادی از جمله دسترسی آسان و سهولت تبدیل شدن به انرژی الکتریکی اهمیت قابل توجهی دارد. این مطالعه طراحی، تحلیل عملکرد و بهینه‌سازی یک ریزشبه‌ترکیبی را برای مجتمع دانشگاهی واقع در شهر همدان (دانشگاه صنعتی همدان) با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی منابع انرژی چندگانه (HOMER) ارائه می‌کند. در طراحی ریزشبه‌یادشده پنل‌های فتوولتائیک، توربین بادی، دیزل ژنراتور، باتری، مبدل و بارها به عنوان یک سیستم ترکیبی متصل و منفصل از شبکه پیکربندی شده‌اند، هزینه‌های مربوطه به صورت جهانی و عمر ریزشبه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سناریو اول با بهره‌برداری از ۵۰ کیلووات انرژی خورشیدی و ۱۵ کیلووات انرژی بادی میزان خرید انرژی از شبکه برق سراسری به میزان ۱۱۷۰۲۱ کیلووات ساعت در سال تقلیل می‌یابد که کاهش هزینه برق مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن به مقدار ۷۱۱۵۳ کیلوگرم در سال را به همراه دارد. همچنین، از مصرف بیش از سقف قرارداد خرید برق که اعمال جریمه را به همراه دارد جلوگیری می‌کند. در سناریو دوم مشخص شد که سیستم ریزشبه‌ترکیبی پیشنهادی تقاضای انرژی دانشگاه را به صورت پایدار و منفصل از شبکه برق سراسری تأمین می‌کند، ریزشبه‌یادشده با ۲۷/۶۳ درصد ضریب نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر به مفهوم پردیس پاک کمک می‌کند.

**استناد:** کریمی، اشکان و دلاوری، هادی (۱۴۰۵). طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی یک ریزشبه‌دانشگاهی متصل به شبکه در حضور انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از نرم‌افزار هومر. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۵ (۲) ۲۱۹-۲۳۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.398748.1168>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© اشکان کریمی، هادی دلاوری

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.398748.1168>



## ۱. مقدمه

مصرف برق در جهان با متوسط رشد سالیانه ۴ درصدی به افزایش روزافزون تولید انرژی منجر شده است. منبع اصلی تولید انرژی در جهان انواع سوخت‌های فسیلی هستند، اما روند کلی استفاده از این منابع در تأمین انرژی جهانی کاهش و سهم منابع تجدیدپذیر و کم‌کربن در تولید انرژی جهانی افزایش قابل توجهی داشته است [۱].

از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد و خورشید در دسترس‌ترین هستند، اما از مشکلات آن‌ها می‌توان وابستگی به شرایط اقلیمی و محیط‌های مختلف را اشاره کرد. از آنجا که انرژی تولیدی توسط منابع تجدیدپذیر ناپیوسته هستند، بنابراین ترکیب این منابع می‌تواند راه حل مناسبی برای تولید برق در مناطق مختلف باشد [۲]. استفاده از پتانسیل منابع انرژی تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و بلندمدت تولید الکتریسیته یکی از مسائل حیاتی است، از این‌رو تولیدات پراکنده و واحدهای ذخیره انرژی به گزینه جدیدی در مدیریت انرژی تبدیل شده است. در نقاط دور دست و مستقل از شبکه قدرت ریزشکده‌ها مزایای زیادی نسبت به سیستم‌های مقیاس بزرگ دارند، در بازار انرژی سنتی مشترکین فقط می‌توانند به عنوان مصرف‌کننده باشند، اما از طریق استقرار ریزشکده‌ها می‌توانند به عنوان تولیدکننده نقش ایفا کنند. همچنین، انتشار دی‌اکسید کربن و تلفات انتقال توزیع به دلیل تولید محلی و نزدیک به بار کاهش و قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری افزایش می‌یابد [۳]. در شبکه‌های انرژی سنتی، برق تولیدشده توسط منابع فسیلی متمرکز بوده و انتقال انرژی با خطوط فشار قوی از فواصل طولانی انجام می‌شود. در ریزشکده‌ها تولید و مصرف به صورت محلی مدیریت می‌شود، با این استراتژی منابع انرژی تجدیدپذیر به طور مؤثر در فرایند تولید انرژی نقش دارند [۴]. در مواقع تولید انرژی بیش از مصرف بار توسط منابع تجدیدپذیر می‌توان از باتری‌ها به عنوان ذخیره‌ساز انرژی و یا اتصال به شبکه برق سراسری به منظور مبادله انرژی بهره‌برد [۵ و ۶]. در عمل ثابت شده است که سیستم ترکیبی می‌تواند باعث جبران کمبودهای انرژی یک منبع توسط دیگر منابع شود. بنابراین، می‌توان گفت که سیستم‌های ترکیبی تجدیدپذیر نیاز به ظرفیت بالای باتری‌ها را کاهش می‌دهند. با این‌وجود باز هم به ظرفیت مناسبی از ذخیره‌کننده‌ها نیاز دارند تا در صورتی که توان تولیدی توسط منابع از توان بار بیشتر باشد، توان مازاد را ذخیره کنند و هنگامی که نتوانند توان بار را تأمین کنند، توان مورد نیاز را از ذخیره‌کننده‌ها بگیرند [۷].

ریزشکده‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (جریان AC، جریان DC و ترکیبی) برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی جریان DC مربوط به تولید برق در پنل‌های خورشیدی و ذخیره انرژی در واحدهای باتری است، برخی بارها به صورت مستقیم به جریان DC متصل می‌شوند که در این حالت به مبدل DC/DC نیاز دارند. ریزشکده‌هایی که در آن‌ها از مبدل‌های AC/DC استفاده می‌شود ترکیبی نامیده می‌شوند، در این حالت منابع و بارها به یکدیگر اتصال می‌یابند [۸].

طی پژوهشی در دانشگاه خلیج فارس در استان بوشهر، به منظور امکان‌سنجی و بهینه‌سازی اقتصادی برای سیستم ترکیبی انرژی‌های نو شامل انرژی خورشیدی و باد به کمک نرم‌افزار هومر انرژی<sup>۱</sup> مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل اقتصادی قرار گرفته است [۹]. هدف از مطالعه یادشده، طراحی سیستمی بهینه به منظور تولید بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز برای دانشگاه خلیج فارس است. میزان الکتریسته تولیدی توسط انرژی باد، انرژی خورشید و دیزل ژنراتور در ماه‌های مختلف سال و سهم هر تجهیز در هزینه‌ها پارامترهای دیگری هستند که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰ تا ۲۵ درصد از تولید الکتریسیته در جهان تا سال ۲۰۵۰ از طریق سیستم‌های خورشیدی خواهد بود، میانگین بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال نشان‌دهنده پتانسیل بالای ایران در بهره‌برداری از سیستم‌های خورشیدی است. یکی موانع استفاده از انرژی خورشیدی، مقدار متغیر و متناوب انرژی آن است [۱۰ - ۱۲].

در پژوهشی دیگر [۱۳] امکان‌سنجی سیستم انرژی ترکیبی مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر برای مجموعه پردیس شمالی دانشگاه تهران انجام شده است. منابع مورد بررسی انرژی خورشیدی به همراه ذخیره‌ساز انرژی در حضور شبکه سراسری برق است. بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار هومر با توجه به داده‌های آب‌وهوایی و پروفیل بار مصرفی صورت گرفته، هزینه سیستم بر اساس قیمت واقعی تجهیزات تعیین شده است. عوامل متعددی مانند هزینه خالص فعلی، هزینه تولید انرژی، میزان انتشار گازهای

گلخانه‌ای و توانایی سیستم ترکیبی به منظور برآورد بار در شرایط مختلف هواشناسی برای ارزیابی در نظر گرفته شده است. در پژوهشی [۱۴] مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی در خراسان‌های جنوبی، شمالی و رضوی ایران با استفاده از شاخص‌ها و گزینه‌های مختلف مانند جمعیت، فاصله از شهر، فاصله تا خطوط انتقال و... با روش وزن‌دهی بررسی شده است. تولید برق برای یک مصرف‌کننده خانگی در شهر کرمان با استفاده از سیستم فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفته است. در این طرح سیستم فتوولتائیک به برق ورودی منزل مسکونی متصل است و میزان برق مصرفی روزانه این خانواده ۱۲ کیلووات در نظر گرفته شده است. سیستم فتوولتائیک مورد استفاده شامل پنل‌های خورشیدی، مبدل و باتری است. برای ارزیابی و امکان‌سنجی اقتصادی این طرح از نرم‌افزار هومر استفاده شده است [۱۵].

در پژوهشی دیگر [۱۶] به پتانسیل و ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه‌های هم‌زمان برق و حرارت بیوگاز با استفاده از منابع انرژی زیست‌توده (فضولات دامی گاو) در یک مجتمع صنعتی - کشاورزی نمونه در شهرستان شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شده است. هدف از انجام پژوهش یادشده، امکان‌سنجی استفاده از نیروگاه بیوگاز است. مفروض است که مجتمع در حال حاضر به شبکه برق سراسری دسترسی دارد و نیروگاه تجدیدپذیر به عنوان یک سیستم کمکی تأمین برق و حرارت در این مجموعه به کار گرفته خواهد شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در نرم‌افزار هومر در سیستم متصل به شبکه تمام بار مصرفی گاوداری از شبکه برق سراسری تأمین شده است. به دلیل نبود مالیات بر کربن تولیدی توسط نیروگاه‌های فسیلی و همچنین پایین بودن تعرفه برق خریداری‌شده توسط گاوداری در کشور ایران، حالتی که گاوداری کل برق مورد نیاز خود را از شبکه برق تأمین کند نسبت به سایر سیستم‌های معرفی‌شده کمترین هزینه را در بر خواهد داشت. نتایج تحقیق یادشده نشان می‌دهد افزایش نرخ سوخت‌های فسیلی در کشور ایران می‌تواند زمینه را برای توسعه سیستم‌های تجدیدپذیر فراهم آورد. طبق مطالعات صورت‌گرفته با نرم‌افزار هومر مشخص شده است که استفاده از سیستم بیوگاز از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نخواهد بود. در مطالعه دیگری سیستم ترکیبی دیزل ژنراتور و توربین بادی برای تأمین برق روستایی در آذربایجان با استفاده از استفاده از نرم‌افزار هومر بررسی شده است. در مقاله یادشده سوخت بر اساس قیمت‌های داخلی و بین‌المللی در نظر گرفته شده است [۱۷]. در یک پژوهش [۱۸] بررسی جنبه‌های فنی و اقتصادی و طراحی بهینه سیستم‌های بادی، میکروتوربین و باتری برای تأمین نیاز و تأمین برق روستایی در میرجاوه استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نرم‌افزار هومر انجام شده است.

در پژوهش دیگری [۲۱] برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری و ارزیابی فنی - اقتصادی بهینه یک سیستم ریزشبکه انرژی تجدیدپذیر هیبریدی پایدار را در سانگو اوتا، ایالت اوگان، نیجریه به عنوان مطالعه موردی ارائه می‌دهد. منابع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته‌شده در این مطالعه عبارت‌اند از: توربین‌های بادی، فتوولتائیک خورشیدی، دیزل ژنراتور و سیستم ذخیره‌سازی (باتری). این مطالعه از برنامه و الگوریتم HOMER PRO برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند. طی پژوهشی [۲۲] یک راه حل جایگزین برای تولید برق با هزینه کمتر و چندین گزینه به عنوان پشتیبان ارائه شد. مطالعه یادشده به بررسی امکان‌سنجی یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس بزرگ در اندونزی می‌پردازد و بر تعرفه‌های انرژی تجدیدپذیر تازه‌اجراشده بر اساس دیدگاه تولیدکنندگان مستقل برق (IPP) و شرکت برق دولتی اندونزی (PLN) تمرکز می‌کند. در دو پژوهش [۲۳ و ۲۴] امکان استفاده از سیستم هیبریدی متشکل از شبکه، توربین بادی، پنل خورشیدی، الکترولایزر، مبدل، باتری از لحاظ فنی - اقتصادی و محیط زیستی برای جبران خاموشی‌های برق مصرفی واحدهای مسکونی و مجتمع رفاهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

در دو پژوهش دیگر [۲۶ و ۲۷] یک مدل جدید برای کمی‌سازی و توانمندسازی ریزشبکه با استفاده از رویکرد ارزیابی ریسک ارائه شده است. هزینه، آلودگی و تاب‌آوری سه تابع هدف به طور هم‌زمان با استفاده از یک روش بهبودیافته بهینه‌شده‌اند. همچنین، به مدیریت انرژی در ریزشبکه با در نظر گرفتن منابع انرژی تجدیدپذیر مانند منابع خورشیدی، بادی و جزر و مد در حضور برنامه پاسخ به بار و سیستم‌های ذخیره‌سازی می‌پردازد.

طی پژوهشی [۲۸] یک چارچوب مبتنی بر ریسک برای برنامه شارژ/دشارژ روزانه در سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS) و بهینه‌سازی ژنراتورهای دیزلی و سیستم فتوولتائیک (PV) در ریزشبکه‌های به‌هم‌پیوسته بررسی شده است. دو تابع هدف اصلی، شامل هزینه‌های سرمایه‌ای، و ضریب پایداری ولتاژ (VSF) توسعه داده شده و سپس به طور هم‌زمان از طریق الگوریتم

بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری چندهدفه، که مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را به جای یک راه‌حل کلی ارائه می‌دهد، بهینه‌سازی می‌شوند. در پژوهش دیگری [۲۹] با توجه به داده‌های هواشناسی منطقه مورد بررسی تلاش شده است تا تأثیر استفاده از این منابع در یک ریزشکه به صورت بهینه و عینی مورد مطالعه قرار گیرد و محاسبات به گونه‌ای انجام شده است تا سیستم طراحی شده بتواند نیاز بار منطقه مورد مطالعه را در سناریوهای مختلف با کمترین هزینه، کمترین آلودگی و بالاترین قابلیت اطمینان تأمین کند.

برخی از مزایا و نوآوری‌های انجام‌شده در این مقاله به شرح زیر است:

- افزایش نفوذپذیری سیستم‌های تجدیدپذیر ترکیبی شامل فتوولتائیک و توربین بادی در ریزشکه.
- افزایش قابلیت اطمینان شبکه.
- کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی.
- کاهش هزینه برق مصرفی.

## ۲. مدل تحقیق

در این تحقیق ریزشکه هیبریدی دانشگاه صنعتی همدان با هدف کاهش هزینه برق مصرفی و قابلیت اطمینان بالا طراحی شده است. پیش‌بینی اینکه ریزشکه پیشنهادی چه بازدهی‌ای در شرایط کاری ۲۰ساله خواهد داشت دشوار است، زیرا در شرایط بهره‌برداری عوامل متعددی تأثیر منفی بر عملکرد سیستم دارند که می‌توان به مواردی از جمله کاهش توان خروجی پنل‌های خورشیدی، افزایش تقاضا، کاهش راندمان مبدل و ذخیره‌سازها، افزایش قیمت برق شبکه سراسری، شرایط آب‌وهوایی، افزایش قیمت سوخت، هزینه تعمیرات و نگهداری اشاره کرد.

با تجزیه و تحلیل این متغیرها می‌توان نتیجه گرفت که ریزشکه طی عمر پروژه چه عملکردی خواهد داشت. فرایند ارزیابی چنین سیستمی نیاز به ارزیابی بسیاری از متغیرها و اثرات دارد، با این‌وجود نرم‌افزار هومر چنین تحلیل‌هایی را با دقت و اطمینان بالا انجام می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار هومر تجزیه و تحلیل ۲۰ساله ریزشکه‌ای که برای مجتمع دانشگاهی پیشنهادی انجام می‌شود و تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نرم‌افزار هومر توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده توسعه یافته است. این نرم‌افزار یک مدل کامپیوتری است که فناوری‌ها و کاربردهای مختلف شامل تولید، ذخیره‌سازی و بارها را در ریزشکه با یا بدون اتصال به شبکه برق سراسری طراحی می‌کند. طی چرخه عمر پروژه بسیاری از موارد مرتبط با هزینه مانند هزینه سرمایه‌گذاری، جایگزینی و هزینه بهره‌برداری را در نظر می‌گیرد و امکان ارزیابی و مقایسه مزایا و معایب جنبه‌های فنی و اقتصادی پروژه‌ها را فراهم می‌کند. فرایند طراحی با هومر در سه مرحله شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و تحلیل حساسیت انجام می‌شود. در مرحله شبیه‌سازی تجزیه و تحلیل فنی و ارزیابی هزینه ریزشکه انجام می‌شود، در مرحله بهینه‌سازی پیکربندی‌های مختلف سیستم مدل شده و عواملی مانند اجزای ریزشکه و اندازه این تجهیزات از نظر کمترین هزینه ارزیابی و تعیین می‌شود، در آخرین مرحله تحلیل حساسیت، متغیرها و عدم قطعیت‌هایی که طراح نمی‌تواند در بلندمدت کنترل کند مدل‌سازی می‌شود.

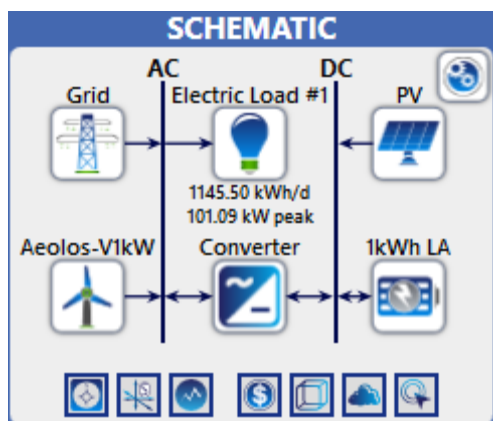
## ۲-۱. ریزشکه یادشده در ۲ سناریو مورد بررسی قرار می‌گیرد:

**سناریو اول:** تأمین انرژی مورد نیاز توسط شبکه برق سراسری، پنل‌های خورشیدی و باد.

در ساختار ریزشکه در سناریو اول، بارها و شبکه برق سراسری به شینه AC و سیستم خورشیدی به شینه DC متصل می‌شوند. یک مبدل قدرت جریان مستقیم تولیدی سیستم خورشیدی و بادی را به جریان متناوب تبدیل می‌کند و به شینه AC برای انتقال به بار تحویل می‌دهد. اتصال به شبکه برق سراسری می‌تواند قابلیت اطمینان بالایی به ریزشکه بدهد از طرفی حضور منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز در ساعت پیک موجب کاهش خرید برق از شبکه قدرت می‌شود. منابع تجدیدپذیر با ضریب نفوذ بیش از ۲۰ درصد کاهش آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی و کاهش تلفات انتقال و توزیع برق سراسری را به همراه دارند.

### ساختار پیکربندی

در شکل ۱، شماتیک سناریو اول (متصل به شبکه) در نرم‌افزار هومر ترسیم شده است، که در این شکل شبکه با Grid، باتری با LA، پنل خورشیدی با PV، مبدل با Converter، توربین بادی با برند شرکت سازنده آن با Aeolos و بار الکتریکی با Load نمایش داده شده است.

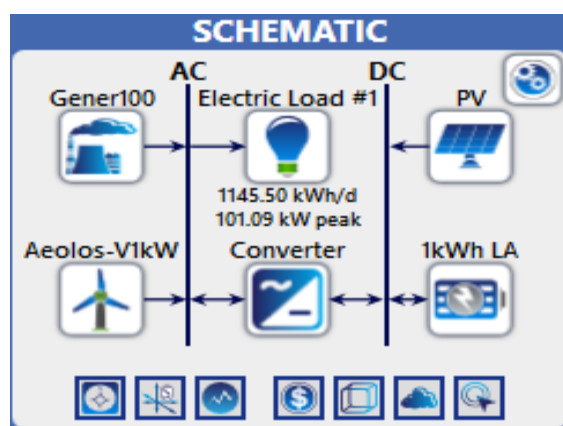


شکل ۱. شماتیک سناریو اول (متصل به شبکه)

**سناریو دوم:** در این سناریو بار بدون اتصال به شبکه بالادست و با حضور پنل‌های خورشیدی، دیزل ژنراتور، باتری و مبدل تغذیه می‌شود.

در سناریو دوم بارها و دیزل ژنراتور به شینة AC متصل می‌شوند، سیستم خورشیدی و واحد ذخیره انرژی به شینة DC اتصال دارند و مبدل قدرت همانند سناریو اول جریان مستقیم ذخیره‌ساز و سیستم خورشیدی را جهت انتقال به بار به جریان متناوب تبدیل می‌کند. در این حالت با بهره‌برداری از دیزل ژنراتور و تأمین انرژی به صورت محلی مصرف سوخت در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی مرسوم کاهش می‌یابد. مدیریت تولید و تقاضای ریزشبه‌دانشگاه در حالت جزیره‌ای به صورت پایدار در این سناریو مشاهده می‌شود.

در شکل ۲، شماتیک سناریو دوم (منفصل از شبکه) در نرم‌افزار هومر ترسیم شده است، که در این شکل دیزل ژنراتور با Gener100، باتری با LA، پنل خورشیدی با PV، مبدل با Converter، توربین بادی با برند شرکت سازنده آن با Aeolos و بار الکتریکی با Load نمایش داده شده است.

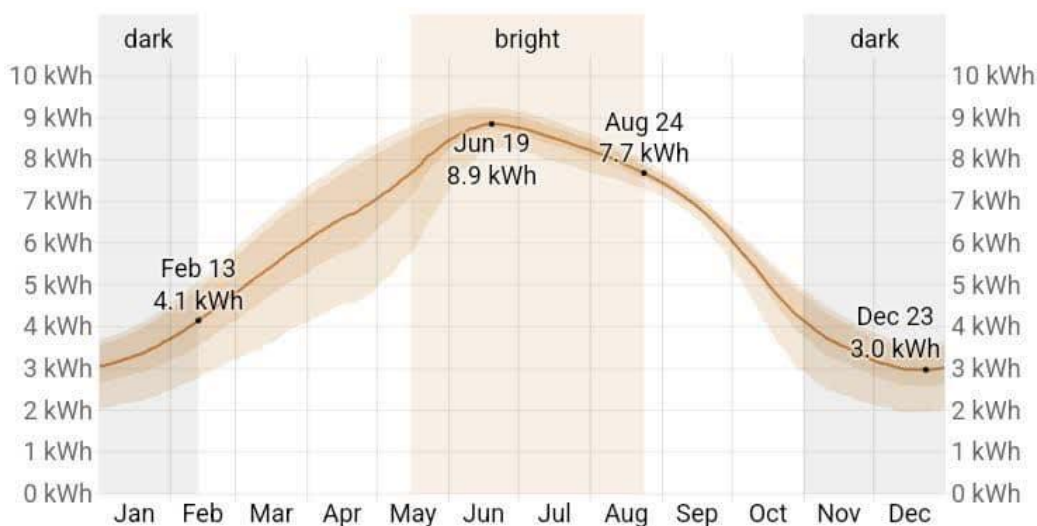


شکل ۲. شماتیک سناریو دوم (منفصل از شبکه)

## ۲-۲-۲. اطلاعات مورد استفاده در تحقیق

### ۲-۲-۲-۱. اطلاعات مربوط به میزان تابش خورشید

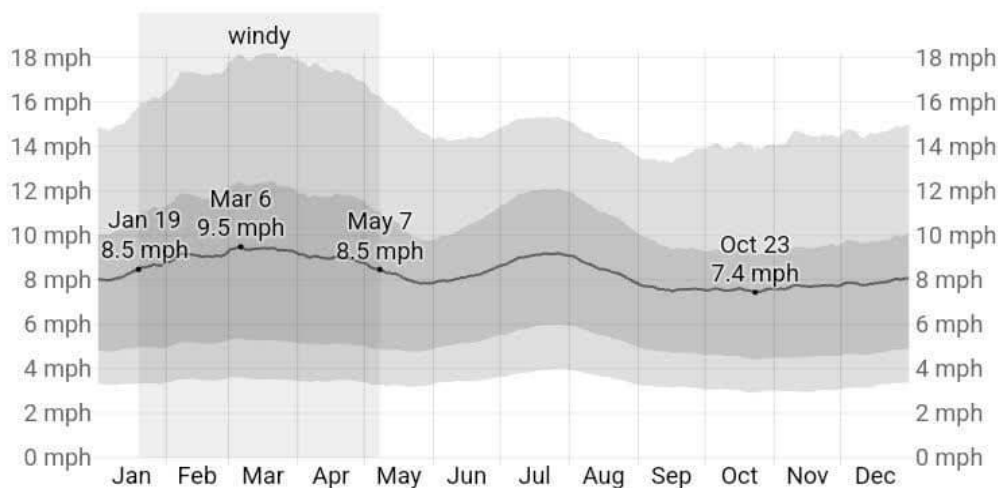
با افزایش شدت تابش، انرژی تولیدی پنل خورشیدی افزایش می‌یابد، اما این امر به دلیل تغییرات دما همواره به معنای افزایش راندمان نیست. تشعشعات خورشیدی منطقه مطالعه شده در شکل ۳ نشان داده شده است [۲۵].



شکل ۳. نمودار میزان تابش محیط در یک سال

### ۲-۲-۲-۲. اطلاعات سرعت باد

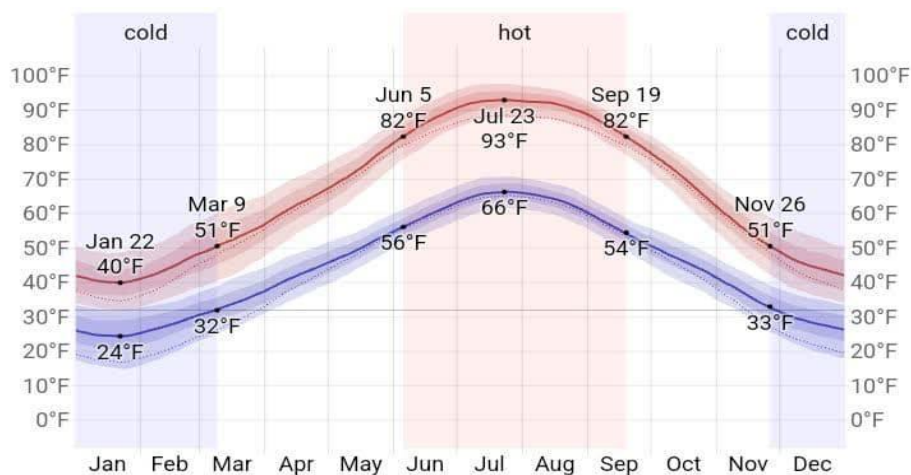
سرعت باد یک عامل مهم در پیش‌بینی میزان کارایی توربین است و سرعت باد یک مکان از طریق ارزیابی منبع باد قبل از طراحی سیستم هیبریدی سنجیده می‌شود. بررسی سرعت باد نشان می‌دهد نقاط کوه‌پایه‌ای در معرض وزش بادهای دشت - کوه هستند و (گرم باد) پدیده خاص هواشناسی ناشی از اثر کوهستان در شهر همدان رخ می‌دهد. شکل ۴ میانگین تغییرات سرعت باد در شهر همدان را نشان می‌دهد [۲۵].



شکل ۴. نمودار تغییرات سرعت باد در یک سال

### ۲-۲-۲-۳. اطلاعات دمای منطقه

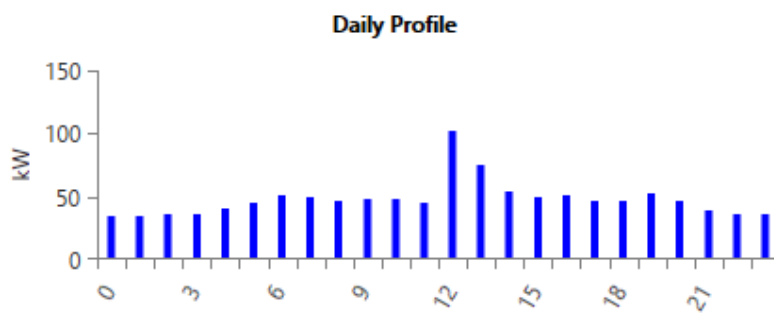
به دلیل تأثیر دمای هوا بر راندمان پنل‌های خورشیدی، هرچه دما بالاتر باشد، بازده پنل‌های خورشیدی کمتر می‌شود. شکل ۵ میانگین تغییرات دما در شهر همدان را نشان می‌دهد [۲۵].



شکل ۵. نمودار تغییرات دما در یک سال

### ۲-۲-۴. بار مصرفی

توان الکتریکی مورد نیاز مجموعه دانشگاهی با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب به صورت ساعتی جمع‌آوری شده است. بار الکتریکی مورد نظر به نرم‌افزار داده می‌شود. با وارد کردن بار ساعتی، نرم‌افزار تخمینی برای پروفایل بار فصلی و سالانه ارائه می‌دهد.



شکل ۶. پروفایل بار مصرفی در یک روز

### ۲-۲-۵. پارامترهای فنی و هزینه‌های ریزشبه

قیمت خرید انرژی الکتریکی و سوخت همچنین هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه، جایگزینی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری تجهیزات با قیمت جهانی در نظر گرفته شده است. اطلاعات فنی مربوط به پنل‌های خورشیدی، دیزل ژنراتور، باتری و مبدل از دیتا بیس نرم‌افزار هومر به دست آمده است.

جدول ۱. قیمت خرید حامل‌های انرژی

حامل انرژی	واحد	قیمت
برق	کیلووات	۱۰ سنت
گازوئیل	لیتر	۱/۳ دلار

جدول ۲. هزینه‌های سرمایه‌گذاری

شرح تجهیز	واحد	هزینه اولیه	هزینه جایگزینی	هزینه تعمیر و نگهداری
پنل خورشیدی	کیلووات	۱۳۰ دلار	۱۳۰ دلار	۱۰ دلار بر سال
مبدل	کیلووات	۹۰ دلار	۹۰ دلار	۷ دلار
دیزل ژنراتور	کیلووات	۱۱۹ دلار	۱۱۹ دلار	۱۹ دلار
باتری	عدد	۱۳۸ دلار	۱۳۸ دلار	۱۰ دلار بر سال
توربین بادی	کیلووات	۳۵۰ دلار	۳۵۰ دلار	۲۰ دلار بر سال

### ۲-۲-۶. سیستم فتوولتائیک

تابش خورشیدی توسط ماژول‌های فتوولتائیک به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. توان خروجی یک ماژول فتوولتائیک به پارامترهای زیادی مانند نوع ساختار سلول، توان اسمی پنل، ضریب کاهش، تابش خورشیدی بستگی دارد. این پنل‌ها نیز مانند سایر المان‌های نرم‌افزار دارای کتابخانه هستند. در این تحقیق از پنل‌های خورشیدی تخت با مجموع ظرفیت نامی ۵۰ کیلووات استفاده شده است. توان خروجی ماژول فتوولتائیک برای یک شرایط محیطی مشخص در زمان  $t$  را می‌توان توسط رابطه ۱ تخمین زد [۸].

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

در رابطه ۱  $Y_{PV}$  توان نامی پنل خورشیدی،  $f_{PV}$  ضریب تلفات  $G_T(t)$  تابش خورشیدی دریافتی ماژول در زمان  $t$ ،  $G_{STC}$  میزان تابش در شرایط استاندارد آزمایش،  $\alpha_p$  ضریب دمایی  $T_C(t)$  دمای سلول فتوولتائیک در زمان  $t$  و  $T_{c,STC}$  دمای سلول در شرایط استاندارد آزمایش است.

به کمک تعادل انرژی و دمای سلول در شرایط عملکرد اسمی  $T_{c,NOCT}$  (گزارش شده توسط شرکت سازنده ماژول)، تخمینی از دمای سلول در شرایط عملکرد واقعی بر حسب دمای محیط  $T_a$  از رابطه ۲ به دست می‌آید [۸].

$$T_c(t) = T_a(t) + G_T(t) \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{\eta_c}{\alpha} \right) \quad (2)$$

که  $T_{c,NOCT}$  و  $T_{a,NOCT}$  به ترتیب بیانگر دمای هوای محیط (۲۰ درجه سانتی‌گراد) تابش دریافتی ماژول (۸۰۰ وات بر متر مربع) در شرایط اسمی و  $\alpha$  حاصل ضرب ضرایب عبور و جذب سلول هستند. همچنین،  $\eta_c$  بازدهی تبدیل انرژی سلول فتوولتائیک بوده که طبق رابطه ۳ متغیر با دمای محیط است [۸].

$$\eta_c(t) = \eta_{c,STC} \left[ 1 + a_p (T_c(t) - T_{c,STC}) \right] \quad (3)$$

### ۲-۲-۷. واحد ذخیره‌ساز انرژی

استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی به منظور اطمینان از تداوم انرژی در سیستم‌های با حضور منابع تجدیدپذیر که تابع شرایط آب و هوایی هستند ضرورت دارد. در شرایط مساعد انرژی تولیدی در بار مصرف می‌شود و مازاد آن ذخیره می‌شود. هنگامی که تولید کاهش می‌یابد یا زمانی که به حداکثر توان نیاز است، پایداری ولتاژ توسط واحدهای ذخیره‌ساز حفظ می‌شود، میزان انرژی موجود در باتری در زمان  $t$  برای دو حالت شارژ و تخلیه طبق رابطه ۴ به دست می‌آید [۸].

$$E_{batt}(t) = \begin{cases} E_{batt}(t-1) * (1-d) + \left[ P_{prod}(t) - \frac{P_{demand}(t)}{\eta_{inv}} \right] * \eta_{ch} & \text{for charging} \\ E_{batt}(t-1) * (1-d) + \left[ \frac{P_{demand}(t)}{\eta_{inv}} - P_{prod}(t) \right] / \eta_{dech} & \text{for discharging} \end{cases} \quad (4)$$

که  $E_{batt}(t-1)$  بیانگر انرژی باتری در گام زمانی پیشین،  $d$  نرخ خود تخلیه ۱،  $P_{prod}$  کل انرژی تولیدی مؤلفه‌های سیستم هیبریدی،  $P_{demand}$  بار الکتریکی مجموعه و  $\eta_{ch}$  بازدهی شارژ و  $\eta_{dech}$  بازدهی تخلیه باتری هستند.

در این تحقیق از باتری سرب اسید دارای ظرفیت ۱ کیلو وات ساعت با طول عمر ۱۰ سال یا توان عملیاتی ۸۰۰ کیلو وات ساعت، حداکثر و حداقل نرخ شارژ و دشارژ به ترتیب ۴۰ - ۱۰۰ درصد برای ذخیره انرژی الکتریکی در سیستم انرژی ترکیبی استفاده شده است.

### ۲-۲-۸. دیزل ژنراتور

دیزل ژنراتورها به عنوان منابع انرژی جایگزین در مواردی که دسترسی به شبکه میسر نیست و یا قطعی انرژی الکتریکی وجود دارد استفاده می‌شوند. در نرم‌افزار هومر یک کتابخانه کامل برای ژنراتور با ظرفیت‌ها و برندهای مختلف وجود دارد که مقادیر

مربوط به هزینه‌ها، عمر ژنراتور و برنامه‌ریزی عملکرد را می‌توان اعمال کرد. دیزل ژنراتورها به دلیل ساختارشان منبع انرژی قابل اعتمادی را ارائه می‌دهند. مصرف سوخت در ساعت یک ژنراتور دیزلی با سوخت دیزل توسط رابطه ۵ محاسبه می‌شود [۸].

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen} \quad (5)$$

$F$  = نرخ مصرف سوخت (L/hr) است،

$F_0$  = ضریب قطع منحنی سوخت (L/hr/kW)

$F_1$  = شیب منحنی سوخت است (L/hr/kW)

$Y_{gen}$  = ظرفیت نامی ژنراتور (کیلو وات)

$P_{gen}$  = خروجی الکتریکی ژنراتور (کیلو وات)

### ۲-۲-۹. توربین بادی

برای یک توربین بادی سرعت متغیر رابطه بین توان و سرعت باد به صورت رابطه ۶ نوشته می‌شود [۵].

$$P(v) = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \text{ or } v > v_{co} \\ q(v) & v_{ci} \leq v < v_r \\ P_r & v_r \leq v < v_{co} \end{cases} \quad (6)$$

$v_{ci}$  حداقل سرعت باد است که در آن نقطه توربین برق تولید می‌کند.

$v_r$  نقطه حداکثر توان خروجی توربین با توجه به سرعت باد

$v_{co}$  سرعتی از باد است که در آن برای محافظت از پره‌ها و جلوگیری از آسیب‌دیدگی، توربین متوقف می‌شود.

$P_r$  ماکزیمم توان قابل تولید توربین

$q(v)$  بخش غیرخطی منحنی توان در فاصله بین  $v_r$  و  $v_{ci}$

### ۳. بهینه‌سازی

پس از طراحی ریزشبه می‌توان شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را انجام داد. پس از شبیه‌سازی معیارهای ارزیابی مختلفی در مرحله بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه معیارهای ارزیابی مانند ارزش خالص فعلی، هزینه عملیاتی و سرمایه‌گذاری اولیه در نظر گرفته می‌شود.

- (NPC): هزینه خالص فعلی یک سیستم هیبریدی: مجموع ارزش فعلی هزینه‌های نصب و نگهداری تمام مؤلفه‌های

سیستم منهای ارزش فعلی درآمدهای سیستم طی مدت عملکرد آن است.

- (Operating Cost): هزینه عملیاتی ارزش سالانه تمام هزینه‌ها و درآمدها به غیر از هزینه‌های سرمایه اولیه است.

- (Initial capital cost): هزینه سرمایه اولیه کل هزینه نصب‌شده در ابتدای پروژه است.

- (COE): متوسط هزینه تولید هر کیلووات ساعت برق تولیدی سیستم است.

هدف تأمین تقاضای انرژی است، در صورت تقاضا برای انرژی تمام منابع تولید به سمت تأمین این تقاضا هدایت می‌شوند. ظرفیت‌های بهینه توسط نرم‌افزار هومر در مرحله بهینه‌سازی برای PV، توربین بادی، دیزل ژنراتور، باتری و مبدل تعیین می‌شود. آنالیز حساسیت به گونه‌ای تعیین می‌شود که توان حداقل و حداکثر PV محدوده ۰ تا ۵۰ کیلووات، توربین بادی ۰ تا ۱۵ کیلووات را داشته باشند، دیزل ژنراتور بین ۳۰ کیلووات تا ۱۰۰ کیلووات محدود است و عمر سیستم ۲۰ سال تعیین شده است، پس از اتمام طراحی و تعیین محدودیت‌ها سیستم شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌شود.

### نتایج شبیه‌سازی سناریو اول

همانطور که مشاهده می‌شود، برای تأمین انرژی مورد نیاز در شبانه‌روز باید از سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و شبکه برق

سراسری استفاده کرد. نتایج شبیه‌سازی این سناریو در بخش‌های اقتصادی شامل هزینه خالص فعلی و متوسط هزینه تولید هر کیلووات ساعت در دوره ۲۰ ساله است. برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز در این سناریو، طبق جدول ۳، باید از یک سیستم خورشیدی با ظرفیت ۵۰ کیلووات، توربین بادی با ظرفیت ۱۵ کیلووات به همراه شبکه برق با قرارداد خرید ۳۰۶۰۰۱ کیلووات در سال و یک مبدل با ظرفیت ۳۹/۶ کیلووات وات استفاده شود، میزان نفوذ سیستم خورشیدی و شبکه برق در جدول ۴ نشان داده شده است.

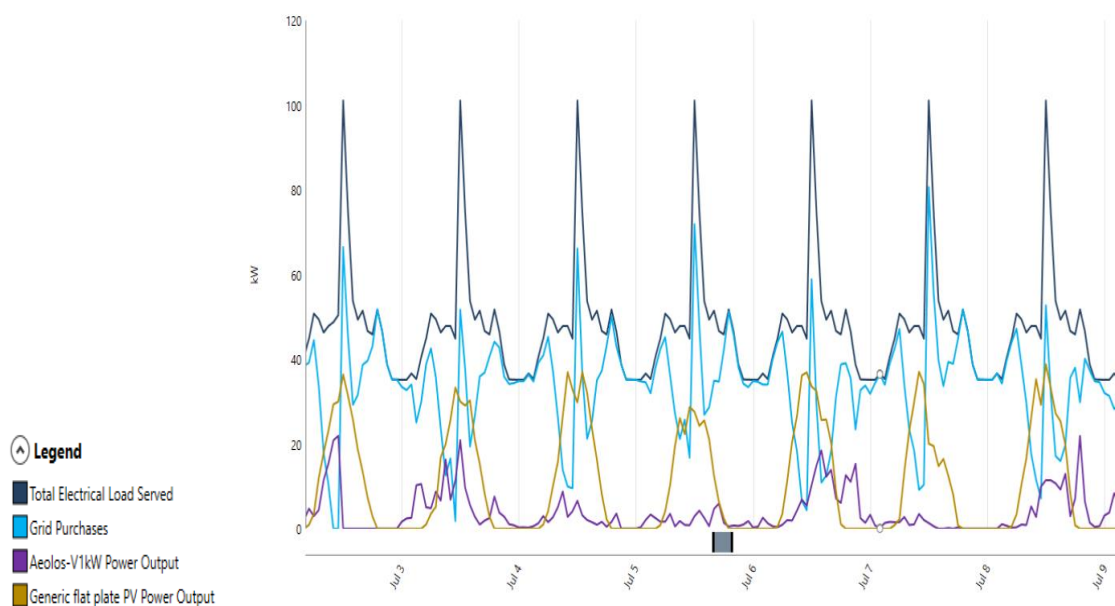
جدول ۳. پارامترهای اقتصادی و فنی سناریو اول

Conve(kw)	Wt(kw)	Pv (kw)	Grid (kw/y)	NPC(\$)	LCOE(\$/kwh)
۳۹/۶	۱۵	۵۰	۳۰۶۰۰۱	۴۳۷/۵۱۹	۰/۰۸۰۹

جدول ۴. میزان تولید و ضریب نفوذ منابع در سناریو اول

Production	kWh/yr	%
Pv	۸۲۱۸۶	۱۹/۴
GRID	۳۰۶۰۰۱	۷۲/۳
Wt	۳۴۸۳۵	۸/۲۳
Total	۴۲۳۰۲۳	۱۰۰

همچنین، در شکل ۷ میزان تقاضا (رنگ سورمه‌ای)، خرید از شبکه برق (رنگ آبی)، تولید سیستم خورشیدی (رنگ قهوه‌ای) و تولید سیستم بادی (رنگ بنفش) در یک روز نمایش داده می‌شود. مشاهده می‌شود در ساعت‌های آفتابی حضور سیستم خورشیدی، کاهش خرید برق از شبکه سراسری و در پی آن، کاهش تولید آلاینده‌ها و کاهش هزینه خرید برق را به همراه دارد.



شکل ۷. میزان تولید و مصرف انرژی در سناریو اول

### نتایج شبیه‌سازی سناریو دوم

در این سناریو برای تأمین انرژی مورد نیاز از سیستم فتوولتائیک، توربین بادی، دیزل ژنراتور و ذخیره‌ساز استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی این سناریو در بخش‌های اقتصادی شامل هزینه خالص فعلی و متوسط هزینه تولید هر کیلووات ساعت در دوره ۲۰ ساله است.

برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز در این سناریو، طبق جدول ۵، از یک سیستم خورشیدی با ظرفیت ۵۰ کیلووات، توربین بادی با ظرفیت ۱۵ کیلووات، دیزل ژنراتور با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات، باتری با ظرفیت ۵۱۲ کیلووات و مبدل با ظرفیت ۷۸/۹ کیلووات وات استفاده می‌شود. میزان نفوذ سیستم خورشیدی و دیزل ژنراتور در جدول ۶ نشان داده شده است.

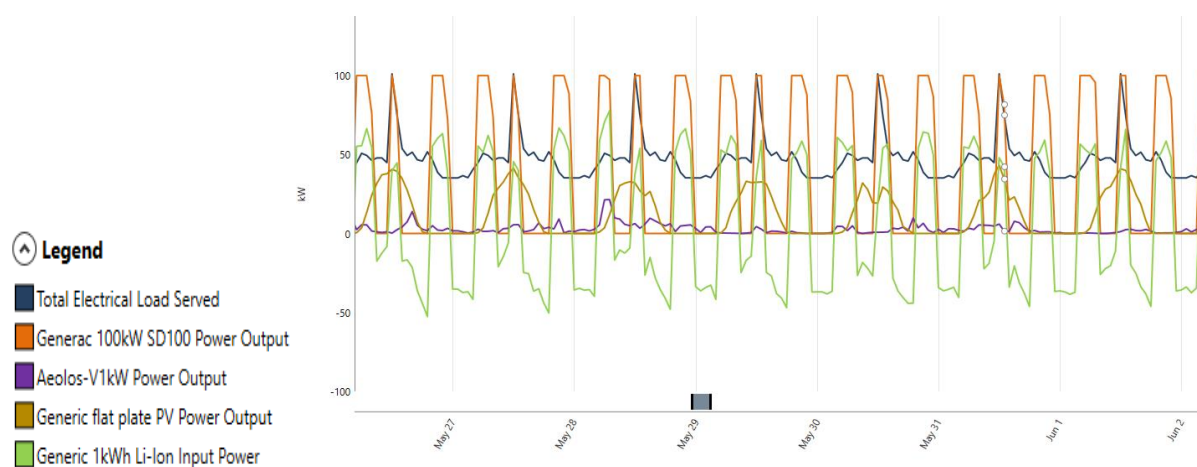
جدول ۵. پارامترهای اقتصادی و فنی سناریو دوم

Conve(kw)	Pv (kw)	wt	Gener(kw)	Batt(no)	NPC(\$)	LCOE(s/kWh)
۷۸/۹	۵۰	۱۵	۱۰۰	۵۱۲	۳/۱۷ میلیون	۰/۵۸۷

جدول ۶. میزان تولید و ضریب نفوذ منابع در سناریو دوم

Production	kWh/yr	%
PV	۸۲۱۸۶	۱۷/۲
GENE	۳۵۹۷۸۲	۷۵/۵
wt	۳۴۸۳۵	۷/۳۱
Total	۴۷۶۸۰۴	۱۰۰

در شکل ۸ میزان تقاضا (رنگ سورمه‌ای) تولید دیزل ژنراتور (رنگ نارنجی) تولید سیستم خورشیدی (رنگ قهوه‌ای)، تولید توربین بادی (رنگ بنفش) و شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز (رنگ سبز) در یک روزنمایش داده می‌شود. در ساعات پیک بار علاوه بر حضور دیزل ژنراتور و سیستم خورشیدی انرژی موجود در ذخیره‌ساز باعث تأمین تقاضا می‌شود و در ساعات کاهش تقاضا ذخیره‌ساز دوباره شارژ می‌شود.



شکل ۸. میزان تولید و مصرف انرژی در سناریو دوم

## نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی و برنامه‌ریزی بهینه یک سیستم انرژی هیبریدی پایدار در مجموعه آموزشی با استفاده از انرژی باد، خورشید، باتری، دیزل ژنراتور و شبکه برق انجام شد، به طوری که اجزا و ورودی‌ها بر اساس ویژگی‌های اقتصادی، فیزیکی و عملیاتی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی این مطالعه، بهینه‌سازی تولید برق پایدار برای تأمین و متعادل‌سازی تقاضای بار الکتریکی است و این هدف با تولید برق ۴۷۶۸۰۴ کیلووات ساعت در سال که برابر تقاضای بار است، محقق شده است. در سناریو اول پنل خورشیدی با ظرفیت ۵۰ کیلووات و توربین‌های بادی عمود محور با ظرفیت ۱۵ کیلووات در مجموع ۱۱۷۰۲۱ کیلووات ساعت در سال برق تولید کرده‌اند که علاوه بر کاهش هزینه خرید برق از شبکه قدرت از جریمه ناشی از مصرف بیش از قرارداد دیماند جلوگیری می‌کند و تکلیف وزارت نیرو بر مراکز و سازمان‌های عمومی مبنی بر تأمین ۲۰ درصد از برق مصرفی از

سیستم‌های تجدیدپذیر را محقق می‌کند. در سناریو دوم با نصب دیزل ژنراتور، اتصال ریزش‌بکه به برق سراسری قطع و مجموعه به صورت جزیره‌ای شبیه‌سازی شد. در این حالت تمام نیاز بار توسط منابع تجدیدپذیر و دیزل ژنراتور تأمین شد. تأمین محلی انرژی با دیزل ژنراتور با حذف تلفات مربوط به انتقال و توزیع شبکه برق سراسری موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت در نگاه کلان می‌شود.

در هر دو حالت میزان انتشار آلاینده‌ها با توجه به نزدیکی بار و منابع تولید و بهره‌وری از سیستم خورشیدی و بادی کاهش می‌یابد. همچنین، حضور ذخیره‌ساز قابلیت اطمینان و پایداری ولتاژ را به همراه دارد. در تحقیقات آینده این پژوهش استفاده از هوش مصنوعی مد نظر نویسندگان خواهد بود که در این صورت انتظار می‌رود که پیش‌بینی دقیق تقاضا بهینه‌سازی و مدیریت منابع انرژی به شکل قابل توجهی بهبود یابد که کاهش هزینه و حفظ منابع طبیعی را به همراه خواهد داشت.

## منابع

- [1] International Energy Agency-IEA, [https://www.iea.org\(n.d\)](https://www.iea.org(n.d)). Data and statistics, 2026.
- [2] Wang L & C. PSO-based multi-criteria optimum design of a grid-connected hybrid power system with multiple renewable sources of energy. in 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium. 2007; 01-05.
- [3] Boudoudouh S & Maaroufi M. Multi agent system solution to microgrid implementation. *Sustainable Cities and Society*. 2018; 39, 252-261.
- [4] Cetinbas İ, Tamyurek B & Demirtas M. Microgrid topologies and evaluation of Turkey's renewable energy potential in terms of microgrids. 9th Renewable Energy Resources Symposium and Exhibition. 2017; 152-15.
- [5] Barakat S, Ibrahim H & Elbaset A. Multi-objective optimization of grid-connected PV-wind hybrid system considering reliability, cost, and environmental aspects. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 60, 102178.
- [6] Baneshi M & Hadianfard F. Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions. *Energy Conversion and Management*. 2016; 127, 233-244.
- [7] Kellogg W. Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems. *IEEE Transactions on energy conversion*. 1998; 13(1),70-75.
- [8] Cetinbas I, Tamyurek B, Demirtaş M. Design, Analysis and Optimization of a Hybrid Microgrid System Using HOMER Software: Eskişehir Osmangazi University Example. *Journal of Renewable Energy Development*. 2019; vol.8, 65-79.
- [9] Jokar A, Azari A, Ayobianzade F. Feasibility study and technical-economic analysis of using a hybrid system to supply the electrical energy consumption of Persian Gulf University. First National Green University Conference. 2016. (Persian)
- [10] Sadeghi A, Firouz Abadi Dehghani J, Ajili H. Requirements of Iranian energy diplomacy in international political economy. *Studies of International Relations Journal*. 2018; 11,73-105.
- [11] Dervishi Bolorani A, Pak Tinat H, Ebrahimi A. Estimating economic value of Adjustment of the Tilt Angle of solar panels to the optimum angle using remote sensing data. *Energy Economics Review*. 2014; 10,95-109.
- [12] Mehrabi Boshir Abadi H, Sadeghi Z, Shojaadini H. Economic and environmental assessment of photovoltaic systems in commercial use and dynamic simulation of electricity prices. *Iranian Energy Economics*. 2018; 7,159-201.
- [13] Khedmatlo S, Aslani A, Noralahi Y. Technical and Economic Assessment of Distributed Power Generation Using Renewable Resources in an Urban Area. The Second International Conference on Interdisciplinary Studies in Management and Engineering. 2016; 2182-2196. (Persian)
- [14] Shahraki Shahd abadi R, Eftekhari A, Rostam Zade H. Global Location in Computer, Electrical, and Mechanical Engineering. 2023. (Persian)
- [15] Jahangard A, Mostafayi Por A. Design of a Grid-Connected Photovoltaic System for Household Consumption Using HOMER Software in Kerman City. The First National Conference on Sustainable Development in Energy, Water, and Environmental Engineering Systems. 2015. (Persian)
- [16] Karimi M, Safarpor Dehkordi A, Jahangiri M. Feasibility of Using Animal Waste Biomass Energy in Chaharmahal and Bakhtiari Province Using HOMER Software. The First National Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics in Iran. 2016. (Persian)
- [17] Shahsondi E, Khodainejad R, Rashidinejad M. Technical evaluation and economic optimization of the use of a combined diesel-wind turbine system in East Azerbaijan using Homer software. The First Conference on New Approaches to Conservation Tehran. 2011.
- [18] Maktabdar H, Bedrsimaei M, Jalilizadeh M. Techno-economic study and optimal design of hybrid wind, microturbine and battery systems to meet load demand. Paper Presented at the 9th Symposium on Mashhad Science and Technology Progress. 2014.
- [19] Alberizzi J. C, Frigola J. M, Rossi M & Renzi M. Optimal sizing of a Hybrid Renewable Energy System: Importance of data selection with highly variable renewable energy sources. *Energy Conversion and Management*. 2020; 223, 113303.

- [20] Atashgar k, Abasi I, Modeling of Wind Turbine Power Curve with a Parametric Approach and Analysis of Their Performance. Scientific Research Journal of Energy Engineering and Management. 2020; 70 –77. (Persian)
- [21] Alayande A, Emmies I, Okakwu O, K.Gbenga O. HOMER PRO-based Approach for designing and optimizing a grid-tied hybrid renewable energy system for a rural community. arid zone journal of engineering, technology & environment. 2025; Vol.21(1):72-86.
- [22] Timotiyas Paradongan H, Firmansyah Hakam D, Kaderi Wiryono D, Prahastono I, Aditya I. Banjarnahor K, Irma Sinisuka N, Asekomeh A. Techno-economic feasibility study of solar photovoltaic power plant using RETScreen to achieve Indonesia energy transition. Heliyon. Volume 10, Issue7. 2024.
- [23] Vaziri Rad M, Ghasemi mobtaker H, Khanali M, Salehi M. Techno-economic and environmental assessment of the performance of a hybrid system for compensating power grid outages in residential areas. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 2024; Vol. 55. (Persian)
- [24] Ebrahimi F, Ansari A, Mohamadi S. Assessment of the energy supply potential for a service complex in hot and arid regions using a combined power generation system. 9th Annual Clean Energy Conference, Kerman. 2024. (Persian)
- [25] Weather spark, <https://weatherspark.com/y/104612/Average-Weather-in-Hamad%C4%81n-Iran-Year-Round>, 2026.
- [26] Hajjamoosha P, Rastgou A, Bahramara S, Sadati M. Stochastic energy management in a renewable energy-based microgrid considering demand response program. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021; Volume 129,106791.
- [27] Ahmadisourenabadi B, Marzband M, Hosseini hemati S, Sadati, M, Rastgou A. Quantifying and enabling the resiliency of a microgrid considering electric vehicles using a Bayesian network risk assessment. Energy. 2024; Volume 308, 133036.
- [28] Gholami K, Karimi Sh, Rastgou A. Fuzzy risk-based framework for scheduling of energy storage systems in photovoltaic-rich networks. Journal of Energy Storage. 2022; Volume 52, Part B,104902.
- [29] Zahedi R, Mohseni A, Sadeghi tabar A, Ahmadi A, Ranjbar N, Shaghghi A, Tahone M. Optimal planning of a grid-connected hybrid microgrid using HOMER software for the city of Ahvaz. Quarterly Journal of Sustainable Energy Systems. Vol 2. 2023; 183–197. (Persian)