Management and Sustainable Development Studies

Volume 4, Issue 2 - Summer 2024 - Pages 125-145

Homepage: https://sanad.iau.ir/journal/msds

Financial Management of the Electricity Market and the Role of Smart Microgrid in Sustainable Development by Reducing Economic Costs in an Energy Hub

Ehsan Ghasemi [1], Amin Ranjbaran [2*], Javad Pourhossein [3]

1. Department of Electrical Engineering, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran.
2. Faculty of Computer and Electrical Engineering, University of Gonabad, St. Ghafari, Gonabad, Iran, and Department of Electrical Engineering, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran.
3. Department of Electrical Engineering, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran.

OPEN ACCESS

Article type: Research Article

***Correspondence:** Amin Ranjbaran
a_ranjbaran@gonabad.ac.ir

Received: March 8, 2024
Accepted: September 8, 2024
Published: Summer 2024

Citation: Ghasemi, E., Ranjbaran, A., Pourhossein, J. (2024). Financial Management of the Electricity Market and the Role of Smart Microgrid in Sustainable Development by Reducing Economic Costs in an Energy Hub. Journal of Management and Sustainable Development Studies, 4(2), 125-145.

Publisher's Note: MSDS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published material and institutional affiliations.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract: Governance and sustainable development with energy hub management and energy optimization through the construction of smart microgrids and executive management can improve productivity and reduce costs. Also, marketing and risk management in the electricity market are of great importance and include several approaches and tools that help improve efficiency and reduce risk. A microgrid is a set of distributed generation resources, energy storage systems, and loads that can be used as grid connection and island operations. In this article, the microgrid is modeled as an energy hub to combine different energy carriers and perform conversion in them to provide optimal electrical and thermal loads required by the consumer. In addition to managing the production units, to improve the performance of the microgrid and help the microgrid operator, a responsive load management strategy and charging and discharging of electric vehicles have been proposed, which has reduced the overall cost of the energy hub.

Keywords: Financial Management, Energy Hub, Microgrid, Load and Energy Management, Sustainable Development.

Extended Abstract

Introduction

In the last century, fossil fuels were the most widely used form of energy. However, the lack of fossil energy in different parts of the world has led to important socio-political and economic crises, and the greenhouse gases resulting from the excessive use of fossil fuels have led to serious concerns about the global environment. [1]. Managing development and consumption in the electricity market includes

planning and implementing strategies that help improve efficiency, reduce costs, and increase the stability of the electricity network. With the increase of distributed energy sources in the form of distributed production units, distributed storage, and a combination of these two, the concept of microgrids has been highlighted more than before. The proposed scheme uses dynamic storage resources (electric vehicles) with V2G and G2V mode management to improve microgrid performance. The second tool in this structure is the use of responsive loads and the management program of these loads for microgrid purposes. In the rest of the article, the load response model vehicle modeling, and network limitations are expressed and then simulation and numerical results are presented.

Theoretical framework

The microgrid operator (MGO) is responsible for managing the generation of units to provide energy services properly. The use of domestic diesel generators and production units that use fossil fuels emits harmful gases and creates environmental problems. The operator of such systems must plan to reduce emissions and minimize operating costs.

Despite the many environmental benefits that these renewable production sources have, such as wind and solar energy, they face challenges in the continuous supply of electricity due to the uncertainty in their output power. To provide a comprehensive model of operations, the uncertainty of these sources must also be considered. The stochastic behavior of these sources is modeled by stochastic modeling and Monte Carlo simulator.

Methodology

The objective function is of an economic type, the purpose of which is to minimize the cost of providing electric and thermal energy required by the energy hub and the cost of energy required by electric vehicles in the timing horizon with the participation of charging and discharging management of electric vehicles and electric energy storage resources. In this study Hub Energy is managed cooperatively. This means that all the production and consumption units are at the disposal of the microgrid operator, and the operator's goal is to provide the optimal electrical and thermal load of the hub with the lowest cost. Qutb Energy under study is a residential town with 950 building units.

Discussion and Results

In this research, the problem of financial management with economic optimization for microgrids modeled as energy hubs based on distributed generation and combined heat and power units is presented. In this proposed model, both electrical and thermal loads are modeled, and using the load response program and charge and discharge management of electric vehicles, both the cost function have been minimized, and the daily load curve has been smoothed by transferring peak load hours to non-peak hours. The charging and discharging management strategy of electric vehicles has also significantly improved the performance of microgrids by charging during low load hours and discharging during peak load hours. By examining the results obtained in the third section, it can be seen that by implementing the proposed strategy, the operating cost of the microgrid has improved.

Conclusion

The charging and discharging management strategy of electric vehicles has also significantly improved the performance of microgrids by charging during low load hours

and discharging during peak load hours. By examining the results obtained in the third section, it can be seen that by implementing the proposed strategy, the operating cost of the microgrid has improved.

Contribution of authors

This article is extracted from Ehsan Ghasemi's doctoral thesis entitled "Economic-Environmental Optimum Utilization of Electric Resources in Smart Microgrids with the Influence of Electric Vehicles and Renewable Energy-Based Products." This thesis was presented in Islamic Azad University, Gonabad branch, with the guidance of Dr. Amin Ranjbaran and the advice of Dr. Javad Pourhossein.

Ethical approval

There are no human subjects in this article and informed consent is not applicable.

Conflict of interest

No conflicts of interest are declared by the authors.

مطالعـــات مدیریـــت و توسعـــه پایـــدار

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳ – صفحه ۱۴۵-۱۲۵

Homepage: https://sanad.iau.ir/journal/msds

مدیریت مالی بازار برق و نقش ریز شبکه هوشمند در توسعه پایدار با کاهش هزینه های اقتصادی در یک هاب انرژی

احسان قاسمی[۱]، امین رنجبران[۲*]، جواد پورحسین[۳]

۱. دانشکده مهندسی برق، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران.
۲. دانشکده مهندسی کامپیوتر و برق، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران و دانشکده مهندسی برق، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران.
۳. دانشکده مهندسی برق، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران.

چکیده: حکمرانی و توسعه پایدار با مدیریت هاب انرژی و بهینه‌سازی انرژی از طریق احداث ریزشبکه‌های هوشمند و مدیریت اجرایی می‌تواند به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها بپردازد. همچنین مدیریت بازاریابی و ریسک در بازار برق از اهمیت بالایی برخوردار بوده و شامل چندین رویکرد و ابزار می‌شود که به بهبود کارایی و کاهش ریسک کمک می‌کنند. ریزشبکه مجموعه‌ای از منابع تولید پراکنده، سیستم ذخیره انرژی و بارها می‌باشد که می‌تواند به صورت اتصال به شبکه و عملکرد جزیره‌ای مورد بهره‌برداری قرار گیرد. در این مقاله، ریزشبکه به عنوان یک هاب انرژی به منظور ترکیب حامل‌های انرژی مختلف و انجام تبدیل در آنها برای تأمین بارهای الکتریکی و حرارتی بهینه مورد نیاز مصرف کننده مدل‌سازی شده است. علاوه بر مدیریت واحدهای تولیدی، به منظور بهبود عملکرد ریزشبکه و کمک به اپراتور ریزشبکه، استراتژی مدیریت بار پاسخگو و شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی پیشنهاد شده که باعث کاهش هزینه کلی هاب انرژی شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت مالی، هاب انرژی، ریزشبکه، مدیریت بار و انرژی، توسعه پایدار.

دسترسی آزاد

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

***نویسنده مسئول:** امین رنجبران
a_ranjbaran@gonabad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳

استناد: قاسمی، احسان، رنجبران، امین، پورحسین، جواد. (۱۴۰۳). مدیریت مالی بازار برق و نقش ریز شبکه هوشمند در توسعه پایدار با کاهش هزینه های اقتصادی در یک هاب انرژی. فصلنامه مطالعات مدیریت و توسعه پایدار، ۴(۲)، ۱۲۵-۱۴۵.

یادداشت ناشر: MSDS درخصوص ادعاهای قضایی در مطالب منتشر شده و وابستگی‌های سازمانی بی‌طرف می‌ماند.

کپی‌رایت: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

در قرن گذشته، سوخت‌های فسیلی به معنای پرکاربردترین نوع انرژی بودند. با این حال، کمبود انرژی فسیلی در نقاط مختلف جهان منجر به بروز بحران‌های مهم اجتماعی-سیاسی و اقتصادی شده است و گازهای گلخانه‌ای که ناشی از استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی است، منجر به نگرانی‌های جدی درباره محیط زیست جهانی شده است (O'Malley et al., 2020). از طرفی، رشد روز افزون مصرف برق،

اپراتورهای سیستم‌های قدرت در کشورهای مختلف را بر آن داشته تا همواره به دنبال راه حل‌های جدید برای مدیریت مصرف و تأمین انرژی مورد نیاز مشترکان باشند. مشکلات سوخت های فسیلی باعث افزایش تمایل دولت‌ها به سرمایه گذاری در زمینه منابع انرژی‌های تجدید پذیر و پاک شده است (Shayeghi et al., 2021). با توجه به مشوق‌ها و مزایای ذکر شده، گرایش سرمایه گذاران بخش خصوصی و بهره برداران سیستم برق به سمت ساخت و استفاده از واحدهای تولید پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر است.

مدیریت توسعه و مصرف در بازار برق شامل برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌هایی است که به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری شبکه برق کمک می‌کنند. بازار برق سیستمی است که خرید و فروش برق را بر اساس عرضه و تقاضا تنظیم می‌کند. این بازار به تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان اجازه می‌دهد تا برق را به صورت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی معامله کنند.

مدیریت مصرف برق شامل استفاده از تکنولوژی‌ها و استراتژی‌هایی است که به کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی کمک می‌کنند. این شامل استفاده از سیستم‌های هوشمند، بهینه‌سازی مصرف در ساعات اوج و استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر است. توسعه زیرساخت‌های برق شامل بهبود شبکه‌های انتقال و توزیع، نصب تجهیزات پیشرفته و استفاده از تکنولوژی‌های نوین برای افزایش پایداری و کارایی شبکه است. استفاده از باتری‌ها و سایر سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌تواند به بهبود پایداری شبکه و کاهش هزینه‌ها کمک کند. این سیستم‌ها می‌توانند انرژی تولید شده از منابع تجدید پذیر را ذخیره کرده و در زمان‌های نیاز به شبکه تزریق کنند. مدیریت ریسک در بازار برق شامل شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های مرتبط با تولید، توزیع و مصرف برق است. این شامل استفاده از ابزارهای مشتقه مالی، قراردادهای آتی و اختیار معامله برای مدیریت نوسانات قیمت برق است. در این پژوهش طرح جامع مدیریتی برای بهره‌برداران ریزشبکه با رویکرد اقتصادی و زیست محیطی، ارائه شده است. طرح پیشنهادی بصورت مسئله بهینه‌سازی اقتصادی برای ریزشبکه‌هایی که برپایه تولیدات توزیع‌پذیر با نفوذ خودروهای الکتریکی و منابع مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر هستند، ارائه شده است. از آنجایی که مسئله برنامه‌ریزی برای بارهای الکتریکی و گرمایی اعمال شده است، لذا طرح مورد نظر نه تنها حامل برق، بلکه حامل گاز را نیز در بهینه سازی در نظر گرفته است.

با توجه به نفوذ تولیدات پراکنده مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر در ریزشبکه و عدم قطعیت در توان خروجی این منابع، در ساختار پیشنهادی دو ابزار کاربردی جهت استفاده بهینه از این تجهیزات و افزایش سود بهره بردار ریزشبکه پیشنهاد شده است. مهمترین سوالی که در پایان این پژوهش به آن پاسخ می دهیم این است که چگونه می‌توان به‌صورت همزمان از دید الکتریکی و حرارتی ریزشبکه را مدیریت و منابع تولید این دو را به‌صورت بهینه برنامه‌ریزی و بهره برداری نموده و هزینه های اقتصادی را کاهش داد؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدیریت اجرایی و توسعه پایدار در میکروگریدها به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های اقتصادی و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی انجام می‌شود. در ادامه به برخی از روش‌ها و تکنولوژی‌های کلیدی در این زمینه اشاره می شود:

الف: مدیریت انرژی هوشمند: استفاده از سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند که با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و داده‌های بلادرنگ، مصرف انرژی را بهینه‌سازی می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند مصرف انرژی را بر اساس تقاضا و عرضه بهینه‌سازی کنند و به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی کمک کنند.

ب: استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر: میکروگریدها معمولاً شامل منابع انرژی تجدید پذیر مانند پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی هستند. این منابع به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند.

ج: سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی: باتری‌ها و سایر سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌توانند انرژی تولید شده از منابع تجدید پذیر را ذخیره کنند و در زمان‌های نیاز به شبکه تزریق کنند. این کار به بهبود پایداری و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند.

د: کنترل و مانیتورینگ پیشرفته: استفاده از فنّاوری‌های اینترنت اشیاء و دستگاه‌های مانیتورینگ پیشرفته می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کند. این دستگاه‌ها می‌توانند داده‌های مصرف انرژی را جمع‌آوری و تحلیل کنند و به بهبود تصمیم‌گیری‌ها کمک کنند.

ه: بهینه‌سازی اقتصادی و زیست‌محیطی: استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم جستجوی کلاغ می‌تواند به بهینه‌سازی اقتصادی و زیست‌محیطی میکروگریدها کمک کند. این الگوریتم‌ها می‌توانند هزینه‌های سالیانه و میزان انتشار آلودگی را به حداقل برسانند.

با ازدیاد منابع انرژی پراکنده در قالب واحدهای تولید پراکنده، ذخیره‌سازی پراکنده و ترکیبی از این دو، مفهوم ریزشبکه بیش از پیش نمایان شده است. ریزشبکه شامل منابع توزیع شده (مانند سلول‌های فتوولتائیک و سلول خورشیدی، پیل سوختی، میکروتوربین و CHP[1] و غیره) تجهیزات ذخیره کننده انرژی، شبکه توزیع، کنترل و حفاظت و بارهای مرتبط با آن است (Diaf et al., 2008; Salam et al., 2008).

در ریزشبکه های هوشمند، اپراتور شبکه به عنوان یک نهاد مستقل باید انرژی مورد نیاز مشترکین را به صورت ایمن و قابل اطمینان با کمترین هزینه تأمین کند (Elkazaz et al., 2020). استفاده از خودروهای الکتریکی به عنوان جایگزینی برای خودروهای احتراق داخلی یکی از راهکارهای پیشنهادی در بخش حمل و نقل برای کاهش مصرف انرژی است. خودروهای الکتریکی انرژی را از شبکه (G2V[2]) دریافت می‌کنند و آن را در باتری خود ذخیره می‌کنند و به انرژی

[1] Combined Heat and Power
[2] Grid -to- Vehicle

مکانیکی تبدیل می‌کنند. با استفاده از مبدل‌های دو طرفه در خودروهای برقی، امکان انتقال انرژی از باتری خودرو به شبکه (V2G[1]) در خودرو وجود دارد (El Hafdaoui et al., 2024). نفوذ خودروهای الکتریکی در کنار سایر نسل‌های تولیدات پراکنده در ریزشبکه ها، چالش‌ها و فرصت‌های زیادی را ایجاد کرده است. با توجه به استفاده گسترده از وسایل نقلیه الکتریکی، فناوری V2G می‌تواند اوج بار را در زمانی که وسایل نقلیه در خیابان نیستند، فراهم کند. بنابراین ارائه یک مدل مدیریت مؤثر و کارآمد برای منابع انرژی پراکنده همراه با وسایل نقلیه الکتریکی برای عملیات الکتریکی و حرارتی ریزشبکه یک ضرورت است.

در مطالعه یان[2] و همکاران (۲۰۲۴) خودرهای الکتریکی به‌عنوان منبعی دوطرفه برای تولید و مصرف انرژی در یک هاب انرژی درنظر گرفته شده که می‌تواند به مدیریت مؤثر سمت تقاضا کمک کند (Yan et al., 2024). در مطالعه قاسمی[3] و همکاران (۲۰۲۱) از یک هاب انرژی برای بهینه‌سازی سود شبکه با درنظر گرفتن عدم قطعیت در خودروهای برقی و منابع تولید پراکنده استفاده شده است (Ghasemi et al., 2021). در مطالعه تیان و تالبی‌زاده شاهرودی[4] (۲۰۲۱) تأثیر شارژ و دشارژ خودروهای برقی بر هزینه برق مشترکین مسکونی مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، تأثیر این بار جدید که بیشتر در ساعات پیک به شبکه متصل می‌شود، بر پیک بار مورد بررسی قرار گرفته است (Tian & Talebizadehsardari, 2021). در مطالعه ژو[5] و همکاران (۲۰۲۳) یک مکانیسم چند مرحله‌ای جدید برای مدیریت انرژی انعطاف پذیر در سیستم‌های توزیع ارائه شده است. در این مدل ریزشبکه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، از جمله تولیدات پراکنده، سیستم‌های ذخیره‌سازی، خانه‌های هوشمند و وسایل نقلیه الکتریکی درنظرگرفته شده است (Zhou et al., 2023). در مطالعه هوگولیت[6] و همکاران (۲۰۱۷) رفتار مصرف کنندگان نهایی در ازای طرح‌های قیمت‌گذاری مختلف در محیط شبکه هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، مصرف کنندگان از طریق سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته به اطلاعات قیمت بازار در زمان واقعی دسترسی دارند. با تغییر قیمت، هر مصرف کننده از سیستم پاسخگویی خودکار استفاده می‌کند (Hoogvliet et al., 2017). در مطالعه کلیرند[7] و همکاران (۲۰۱۲) مدلی برای عملکرد بهینه ریزشبکه‌های هوشمند در محیط بازار برق ارائه شده است. این مدل تولید میکروتوربین‌ها و توربین‌های بادی را برای تأمین بار مصرف کنندگان مسکونی مدیریت می‌کند. ریزشبکه به شبکه اصلی متصل است و می‌تواند در محیط بازار برق انرژی خرید و فروش کند. تمام تولیدات ریزشبکه متعلق به اپراتور است و هدف تنها کاهش هزینه تأمین برق ریزشبکه است (Clairand et al., 2018). یک رویکرد قوی بر اساس بدترین سناریو برای مدیریت انرژی ریزشبکه هوشمند در مطالعه یو[8] و همکاران (۲۰۲۰) پیشنهاد شده است. در این مطالعه، تولیدات تجدید پذیر

[1] Grid -to- Vehicle
[2] Yan
[3] Ghasemi
[4] Tian & Talebizadehsardari
[5] Zhou
[6] Hoogvliet
[7] Clairand
[8] Yu

بادی و خورشیدی نیز در نظر گرفته شده و یک مدل بهینه‌سازی تک هدفه توسعه داده شده است. مدیریت و استفاده از بارهای پاسخگو و خودروهای الکتریکی در این مدل انجام نشده است (Yu et al., 2020). یک مدل چند هدفه که با روش‌های وزن دهی به یک مدل تک هدفه تبدیل می‌شود، در مطالعه یو و همکاران (۲۰۲۰) برای استفاده بهینه از ریزشبکه‌ها با مدیریت بار پاسخگو معرفی شده است. در این مدل به خودروهای برقی و تأمین بارهای حرارتی توجهی نشده است. در مطالعه قهرمانی[1] و همکاران (۲۰۲۴) برنامه‌ریزی ریزشبکه احتمالی با حضور نیروگاه بادی و مدیریت بار پاسخگو پیشنهاد شده است (Ghahramani et al., 2019). در مطالعه گائو[2] و همکاران (۲۰۲۰) مدل بهره‌برداری بهینه یک ریزشبکه جزیره‌ای با مدل‌سازی تولیدات تجدید پذیر باد و خورشیدی انجام شده است (Gao et al., 2020). در مطالعه قاسمی[3] و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل هاب انرژی با بهینه‌سازی توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی در حضور منابع تولید پراکنده و خودروهای الکتریکی ارائه شده است (Ghasemi et al., 2023).

بهینه‌سازی چند هدفه در علم مدیریت به معنای یافتن راه‌حل‌هایی است که بتوانند به طور همزمان چندین هدف مختلف را بهینه کنند. در زمینه برق، این اهداف می‌توانند شامل کاهش هزینه‌ها، بهبود کارایی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش پایداری شبکه باشند.

در ادامه مقاله در ابتدا سیستم مدیریت پیشنهادی ارائه شده که شامل مدل پیشنهادی و تابع هدف اقتصادی است. در این مدل اقتصادی، حامل برق و حامل گاز با درنظرگرفتن وسایل نقلیه الکتریکی و منابع تولیدپراکنده با درنظرگرفتن عدم قطعیت در خروجی آنها بهینه شده است. در ساختار پیشنهادی از دو ابزار کاربردی برای استفاده بهینه از تجهیزات و افزایش سود بهره برداران ریزشبکه پیشنهاد شده است. اولین ابزار استفاده بهینه از سیستم ذخیره انرژی است. طرح پیشنهادی از منابع ذخیره‌سازی پویا (وسایل نقلیه الکتریکی) با مدیریت حالت V2G و G2V برای بهبود عملکرد ریزشبکه استفاده می‌کند. دومین ابزار در این ساختار استفاده از بارهای پاسخگو و برنامه مدیریت این بارها برای اهداف ریزشبکه است. سپس، مدل پاسخگوئی بار و مدل‌سازی وسائل نقلیه و محدودیت های شبکه بیان و سپس به شبیه‌سازی و ارائه نتایج عددی پرداخته شده است.

روش پژوهش

سیستم مدیریت انرژی پیشنهادی

اپراتور ریز شبکه (MGO[4]) مسئولیت مدیریت تولید واحدها را به‌منظور ارائه خدمات انرژی به‌درستی بر عهده دارد. استفاده از دیزل ژنراتورهای داخلی و واحدهای تولیدی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، گازهای مضری را منتشر می‌کند و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. اپراتور چنین دستگاه‌هایی باید برای کاهش انتشار گازهای مضر

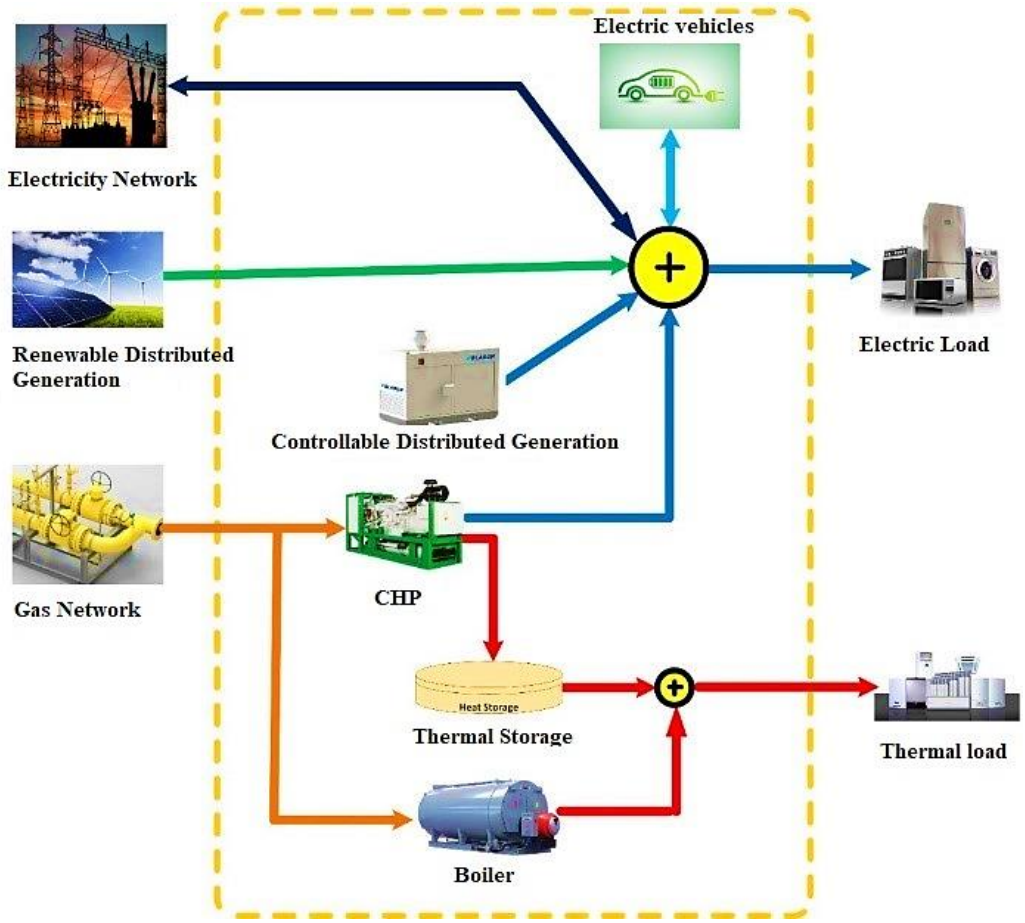
[1] Ghahramani
[2] Gao
[3] Ghasemi
[4] MicroGrid Operator

و به حداقل رساندن هزینه عملیات برنامه‌ریزی کند. علیرغم مزایای زیست‌محیطی فراوانی که این منابع تولید تجدیدپذیر مثل انرژی بادی و خورشیدی دارند، به دلیل عدم قطعیت در توان خروجی خود، در تأمین مداوم برق با چالش‌هایی مواجه هستند. برای ارائه یک مدل جامع عملیات، عدم قطعیت این منابع نیز باید در نظر گرفته شود. رفتار تصادفی این منابع با مدل‌سازی تصادفی و شبیه‌ساز مونت‌کارلو مدل‌سازی شده است که در زیر توضیح داده شده است.

ارائه مدل پیشنهادی

مدل مرکز توزیع برق (هاب انرژی) در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. هدف اصلی از هاب انرژی ارائه خروجی سیستم، یعنی بارهای الکتریکی و حرارتی به بهینه‌ترین شکل ممکن است. برای تأمین این خروجی‌ها، ورودی‌های هاب عبارتند از:

- دو حامل گاز و برق از شبکه سراسری
- تولیدات غیرقابل کنترل مبتنی برانرژی‌های تجدید پذیر باد و خورشیدی



شکل ۱. مدل هاب انرژی پیشنهادی (Source:By author)

ساختار داخلی هاب شامل یک واحد CHP برای تولید همزمان برق و گرما، یک دیگ بخار و یک واحد ذخیره حرارت است. تولید پراکنده قابل کنترل و خودروی الکتریکی نیز اجزای داخلی هاب انرژی هستند. ساختار هاب دارای هر دو ذخیره سازی الکتریکی و حرارتی است.

داده‌های ورودی در ساختار پیشنهادی از دو دسته تشکیل شده است: داده‌های قطعی و داده‌های تصادفی به دست آمده از مدل‌سازی فرآیندهای تصادفی. این کار به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت در تولید منابع خورشیدی و همچنین بار مشترکین توسط شبیه‌ساز مونت‌کارلو و باهدف به حداقل رساندن میزان خطای پیش‌بینی انجام می‌شود. بر این اساس، چندین سناریو در ابتدا بر اساس توابع چگالی احتمال (PDF) تولید می‌شوند (Vahedipour-Dahraie et al., 2017). سپس با استفاده از الگوریتم کاهش سناریو، سناریوی Ns برای مدل‌سازی عدم قطعیت انتخاب می‌شود. در مرحله بعد از سناریوهای کاهش یافته در فرآیند مدل بهینه سازی استفاده می‌شود.

تابع هدف (ECOF)

تابع هدف از نوع اقتصادی بوده که هدف آن به حداقل رساندن هزینه تأمین انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز هاب انرژی و هزینه انرژی مورد نیاز خودروهای برقی در افق زمان‌بندی با مشارکت مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای برقی و منابع ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی است. در توابع هدف از متغیرها و شاخص‌ها به صورت جدول ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۱. متغیرها و شاخص‌ها (Source:By author)

l, t, s	**شاخص سناریو، دوره‌های زمانی و گروه بارها**
e, c, b, j, i	شاخص واحدهای خورشیدی، DGs، بویلرها، CHPو وسایل نقلیه الکتریکی
$N_L\ N_T, N_S$	تعداد (مجموعه) سناریوها، دوره‌های زمانی و گروه بارها
N_b, N_J, N_I	تعداد (مجموعه) واحدهای خورشیدی وDG ها، بویلرها، CHPو وسیله نقلیه الکتریکی
$N_E\ , N_c$	تعداد (مجموعه) CHP و وسیله نقلیه الکتریکی
$P_{j,t,s}$	توان برنامه‌ریزی شدهDG ، jدر دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$P_{i,t,s}^{PV}$	توان برنامه‌ریزی شده واحد خورشیدی i در دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$P_{c,t,s}^{CHP}$	توان الکتریکی برنامه‌ریزی شده واحدCHP ، cدر دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$P_{t,s}^{Grid}$	تبادل برق برنامه‌ریزی شده با شبکه اصلی برق در دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$P_{e,t,s}^{V2G}$	توان برنامه‌ریزی شده وسیله نقلیه الکتریکی e برای شرکت در V2G در دوره زمانی t و سناریوs (kW)
$P_{l,t,s}^{DR}$	توان بار پاسخگو در گروه مشترکین l در دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$P_{l,t,s}^{shed}$	بارهای قطع شده اجباری مصرف کننده گروه l در دوره زمانی t و سناریوs
$H_{b,t,s}^{boiller}$	توان حرارتی برنامه‌ریزی شده واحد بویلر، bدر دوره زمانی t و سناریو s (کیلووات)
$a_{j,t,s}$	متغیر باینری، اگر مقدار آن یک باشد، روشن شدن واحد j را در دوره زمانی t و سناریو s نشان می‌دهد.
$u_{j,t,s}$	متغیر باینری اگر مقدار آن یک باشد نشان می‌دهد که واحد j طبق برنامه‌ریزی انجام شده در دوره زمانی t و سناریو s در مدار است.
τ_t^g	قیمت مبادله برق با شبکه اصلی (قیمت بازار برق) در بازه زمانیt (cents / kWh)
$\tau_{k,t}$	مناقصه قیمت تولید برق واحد بادی k در بازه زمانی t (cents / kWh)
$\tau_{i,t}$	قیمت پیشنهادی واحد خورشیدی i در دوره زمانی t (cents / kWh)
$\tau_{e,t}^{EV}$	قیمت پیشنهادی خودروی الکتریکی e برای مشارکت V2G در دوره زمانی t (cents / kWh)
$\tau_{l,t}^{DR}$	قیمت پیشنهادی بار الکتریکی l برای مشارکت در پاسخ به تقاضا در دوره زمانی t (cents / kWh)

شاخص سناریو، دوره‌های زمانی و گروه بارها	l, t, s
قیمت (تعرفه) فروش انرژی به بار الکتریکی l در دوره زمانی t (cents / kWh)	$\tau_{l,t}^{elc}$
قیمت (تعرفه) فروش انرژی حرارتی در بازه زمانی t (cents / kWh)	τ_t^{heat}
قیمت گاز طبیعی (cents / m^3)	τ^{gas}
ارزش حرارتی گاز طبیعی (kWh / m^3)	HV^{gas}
راندمان CHP	η_c^{CHP}
راندمان دیگ بخار، bm	$\eta_b^{boiller}$
ضرایب تابع هزینه DG ، j	A_j, B_j
هزینه راه اندازی(DGj سنت)	SUC_j

مدل ریاضی تابع هدف در معادله زیر بیان می‌شود:

تابع هدف به دنبال به حداقل رساندن هزینه کلی MGO در افق برنامه‌ریزی انرژی الکتریکی و حرارتی است. هزینه کل MGO شامل چندین قسمت است که در زیر به طور جداگانه توضیح داده‌شده است. با توجه به هر سناریو و مقادیر پیش‌بینی‌شده برای بار و تولید منابع تجدید پذیر، توزیع انرژی در ریزشبکه برنامه‌ریزی می‌شود. مدل ریاضی تابع هدف اقتصادی سیستم به صورت معادله ۱ بیان می‌شود.

$$\sum_{s=1}^{N_s}\sum_{t=1}^{N_T}\pi_s\left[\begin{array}{c}\tau_t^g.P_{t,s}^{grid}+\sum_{e=1}^{N_E}\tau_{e,t}^{EV}.P_{e,t,s}^{V2G}\\+\sum_{j=1}^{N_J}[(A_j.u_{j,t,s}+B_j.P_{j,t,s})+SUC_j.a_{j,t,s}+SDC_j.b_{j,t,s})]\\+\sum_{c=1}^{N_c}[P_{c,t,s}^{CHP}\times\frac{\tau^{gas}}{HV^{gas}\times\eta_c^{CHP}}]\\+\sum_{l=1}^{N_L}[\tau_{l,t}^{DR}.P_{l,t,s}^{DR}]\\+\sum_{b=1}^{N_b}[H_{b,t,s}^{boiller}\times\frac{\tau^{gas}}{HV^{gas}\times\eta_b^{boiller}}]\end{array}\right] \qquad (۱)$$

با توجه به معادله ۱ ECOF از شش قسمت تشکیل شده است. بخش اول $(ECOF_1)$ ، میزان هزینه خرید/فروش انرژی از/به شبکه بالادستی (شبکه برق)، با توجه به قیمت بازار برق و برنامه‌ریزی انجام شده در سناریوهای مختلف است. اگر هاب انرژی برق را به شبکه بالادستی بفروشد این ضریب منفی است و اگر از شبکه بالادستی برق بخرد مثبت است.

$$ECOF_1=\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_S}\pi_s.\tau_t^g.P_{t,s}^{grid} \qquad (۲)$$

بخش دوم $(ECOF_2)$ هزینه تأمین نیروی خودروهای الکتریکی در سناریوهای مختلف است. از آنجایی که اگر خودروی الکتریکی در حالت V2G باشد، منبع تولید است. هزینه مشارکت V2G باید توسط MGO به مشترک (مالک خودرو یا پارکینگ هوشمند) پرداخت شود و اگر وسیله نقلیه الکتریکی در حالت G2V باشد، نشان دهنده بار است. خودروهای برقی متعلق به مشترکین است.

$$ECOF_2 = \sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_S}\pi_s.\sum_{e=1}^{N_E}\tau_{l,t}^{EV}.P_{e,t,s}^{V2G} \quad (۳)$$

قسمت سوم $(ECOF_3)$ هزینه تولید واحدهای DG و هزینه راه اندازی و تعطیلی آنها طبق برنامه‌ریزی برای روز بعد در سناریوهای مختلف است.

$$ECOF_3 = \sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_s}\pi_s.\sum_{j=1}^{N_J}[(A_j.u_{j,t,s} + B_j.P_{j,t,s}) + SUC_j.a_{j,t,s}] \quad (۴)$$

بخش چهارم $(ECOF_4)$ هزینه واحدهای CHP را با توجه به برنامه‌ریزی برای روز بعد در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد.

$$ECOF_4 = \sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_s}\pi_s.\sum_{c=1}^{N_c}[P_{c,t,s}^{CHP} \times \frac{\tau^{gas}}{HV^{gas} \times \eta_c^{CHP}}] \quad (۵)$$

قسمت پنجم $(ECOF_5)$ هزینه مشارکت مشترکین در برنامه DR را نشان می‌دهد.

$$ECOF_5 = \sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_s}\pi_s.\sum_{l=1}^{N_L}[\tau_{l,t}^{DR}.P_{l,t,s}^{DR}] \quad (۶)$$

قسمت ششم $(ECOF_6)$ هزینه واحدهای دیگ را با توجه به برنامه‌ریزی برای روز بعد در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد.

$$ECOF_7 = \sum_{t=1}^{N_T}\sum_{s=1}^{N_s}\pi_s.\sum_{b=1}^{N_b}[H_{b,t,s}^{boiller} \times \frac{\tau^{gas}}{HV^{gas} \times \eta_b^{boiller}}] \quad (۷)$$

مدل‌سازی برنامه پاسخگویی به تقاضا

مدیریت بار پاسخگو نیز در مدل پیشنهادی در کنار وسایل نقلیه الکتریکی برای کمک به بهبود عملکرد ریزشبکه، به ویژه در دوره‌های اوج بار بیان شده است. با توجه به اینکه محل قرارگیری مشترکین در ریزشبکه و میزان مشارکت آنها در برنامه DR متفاوت است، بنابراین مشترکین در گروه N با درجه مشارکت γ_l طبقه بندی می‌شوند. مشترکین شرکت کننده در برنامه DR الگوهای مصرف خود را بر اساس سیگنال‌های قیمت برق تغییر می‌دهند (Wang et al., 2020). بنابراین، کل تقاضای بار سیستم پس از شرکت در برنامه DR در دوره زمانی t و سناریو s به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{t,s}^{load} = \sum_{l=1}^{N_L}[P_{l,t,s}^{NDR} + P_{l,t,s}^{DR}] \quad (۸)$$

در این معادله، $P_{l,t,s}^{NDR}$ و $P_{l.t,s}^{DR}$ بارهای غیر پاسخگو و پاسخگو در گروه مشترکین هستند. هر گروه از مشترکین ممکن است سطح تقاضای خود را از $P_{t,s}^{load}$ به $P_{l.t}^{DR}$ در دوره زمانی t تغییر دهند تا به حداکثر سود دست یابند.

$$P_{l,t,s}^{NDR} = (1-\gamma_l)P_{t,s}^{load} \quad (۹)$$

$$P_{l,t,s}^{DR} = \gamma_l.\left(P_{t,s}^{load}.\exp\sum_{v=1}^{N_T}E_{l,t,v}.\ln\left(\frac{\tau_{l,v}}{\tau_{l,v}^0} + \frac{1}{1+E_{l,t,v}^{-1}}\right)\right) \quad (۱۰)$$

γ_l میزان پتانسیل اجرای برنامه DR در بار l است. $P_{t,s}^{load}$ نرخ تقاضای بار در زمان t است، NT تعداد دوره‌های زمانی است، $E_{l,t,v}$حساسیت تقاضا در دوره t نسبت به تغییرات قیمت در v است. -مین دوره (کشش قیمت متقابل) (Wang et al., 2020)، $\tau_{l,v}$قیمت برق برای بار l در دوره زمانی v است، $\tau_{l,v}^{0}$قیمت اولیه برق برای بار l در دوره زمانی v است.

مدل‌سازی وسایل نقلیه الکتریکی

در مدل پیشنهادی برای خودروی الکتریکی، عوامل اساسی زیر را می‌توان در نظر گرفت (Rodrigues et al., 2018):

تبادل نیرو و تعادل بین باتری خودرو و شبکه

محدودیت‌های فنی شارژ وسیله نقلیه الکتریکی

نرخ تغییرات درصد شارژ باتری خودروی الکتریکی e در زمان t و سناریو s از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$SOC_{e,t,s}^{EV} = SOC_{e,t-1,s}^{EV} - \frac{1}{C_e^{max}}\left(\frac{1}{1-P_{e,t,s}^{L_V2G}}\cdot\frac{1}{\eta_e^{BTB}}\cdot P_{e,t,s}^{V2G} - \left(1-P_{e,t,s}^{L_G2V}\right).P_{e,t,s}^{G2V}.\eta_e^{BTB}\right) \quad (۱۱)$$

در معادله ۱۱، e شاخص EV است، C_e^{max}ظرفیت باتری EV است. $P_{e,t,s}^{L_V2G}$و $P_{e,t,s}^{L_G2V}$ نرخ تلفات در حالت V2G (دشارژ) و حالت G2V (شارژ) برای EV e هستند. $P_{e,t,s}^{V2G}$. و $P_{e,t,s}^{G2V}$ نرخ توان مبادله شده بین شبکه و EV در زمان t و سناریوها در حالت V2G (دشارژ) و حالت G2V (شارژ) هستند. .η راندمان مبدل بین EV e و شبکه است. $SOC_{e,t-1,s}^{EV}$مقدار اولیه شارژ EV است. مقدار اولیه برای اولین SOC برابر با آخرین وضعیت SOC در آخرین دوره زمانی روز قبل در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که حداکثر مقدار شارژ EV 100٪ است، بنابراین برای هر دو خودرو، داریم:

$$0 \le SOC_{e,t,s}^{EV} \le 1 \quad (۱۲)$$

نرخ توان مبادله شده بین شبکه و EV در زمان t و سناریو s با توجه به ظرفیت باتری خودرو و درصد شارژ خودرو محدود می‌شود. متغیر باینری $X_{e,t}^{EV}$ به منظور نشان دادن حالت شارژ و دشارژ EV e در زمان t در نظر گرفته شده است.

$$0 \le P_{e,t,s}^{G2V} \le C_e^{max}\left(1-SOC_{e,t-1,s}^{EV}\right).\frac{1}{1-P_{e,t,s}^{L_{G2V}}}.\frac{1}{\eta_e^{BTB}}.\left(1-X_{e,t,s}^{EV}\right) \quad (۱۳)$$

$$0 \le P_{e,t,s}^{V2G} \le C_e^{max}.SOC_{e,t-1,s}^{EV}.\left(1-P_{e,t,s}^{L_{V2G}}\right).\eta_e^{BTB}.X_{e,t,s}^{EV} \quad (۱۴)$$

توان مبادله شده بین شبکه و $P_{e,t,s}^{G2V}$است اگر EV در حالت شارژ باشد (G2V) و اگر EV در حالت تخلیه (V2G) باشد $P_{e,t,s}^{V2G}$است.).

تعادل محدودیت توان الکتریکی و حرارتی

معادلات تعادل توان الکتریکی و حرارتی در زمان t و سناریو s برای ریزشبکه‌ها به صورت زیر تعریف شده است.

$$P_{t,s}^{grid-buy} + \sum_{j=1}^{N_J} P_{j,t,s} + \sum_{e=1}^{N_E} P_{e,t,s}^{V2G} + \sum_{c=1}^{N_c} P_{c,t,s}^{CHP} + \sum_{i=1}^{N_I} P_{i,t,s}^{PV} = P_{t,s}^{load} + \sum_{e=1}^{N_E} P_{e,t,s}^{G2V} + P_{t,s}^{grid-sell} \quad (۱۵)$$

$$\sum_{b=1}^{N_b} H_{b,t,s}^{boiller} + \sum_{c=1}^{N_c} H_{c,t,s}^{CHP} + H_{t,s}^{HS-Out} = H_{t,s}^{load} + H_{t,s}^{HS-in} \quad (۱۶)$$

محدودیت شبکه بالادستی

با توجه به ظرفیت تبادل برق در حالت خرید ($P_{grid}^{max-buy}$)یا فروش ($P_{grid}^{max-sell}$)برق از / به شبکه بالادستی در زمان t و سناریو s، محدودیت‌های زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$P_{t,s}^{grid-buy} \leq P_{grid}^{max-buy} * \delta_{t,s}^{buy} \quad (۱۷)$$

$$P_{t,s}^{grid-sell} \leq P_{grid}^{max-buy} * \delta_{t,s}^{sell} \quad (۱۸)$$

$$P_{t,s}^{grid} = P_{t,s}^{grid-buy} - P_{t,s}^{grid-sell} \quad (۱۹)$$

$$\delta_{t,s}^{buy} + \delta_{t,s}^{sell} \leq 1 \quad (۲۰)$$

یافته‌های پژوهش

شبیه‌سازی و نتایج عددی

به منظور بررسی اثربخشی رویکرد توضیح داده‌شده، این مدل برای یک ریزشبکه که به عنوان یک هاب انرژی مدل‌سازی شده است، اعمال می‌شود. هاب انرژی به شبکه سراسری برق و گاز متصل است و هدف آن تأمین بارهای الکتریکی و حرارتی بهینه است. شبیه‌سازی ها توسط نرم افزار MATLAB انجام شده است.

اطلاعات ورودی هاب انرژی

ساختار هاب انرژی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده‌شده است. اطلاعات فنی برای وسایل نقلیه الکتریکی در جدول ۲ آورده شده است. اطلاعات مربوط به واحدهای میکروتوربین توزیع شده محلی در جدول ۳ آورده شده است. پارامترهای بویلر و CHP نیز در جدول ۲ نشان داده‌شده است. اطلاعات تکمیلی در مورد پارامترهای اجزای مختلف در مراجع (Gao et al., 2020; Nazari-Heris et al., 2018) ارائه شده است.

در این مطالعه، هاب انرژی به صورت مشارکتی اداره می‌شود. به این معنی که تمامی واحدهای تولید و مصرف در اختیار اپراتور ریزشبکه بوده و هدف اپراتور تأمین بار الکتریکی و حرارتی بهینه هاب با کمترین هزینه است. قطب انرژی مورد مطالعه یک شهرک مسکونی با ۹۵۰ واحد ساختمانی است.

جدول ۲. پارامترهای ورودی (Source:By author)

parameter	value	parameter	value
C_e^{max}	5-10 kW	η_c^{CHP}	95%
SOC_{min}^{i}	0	$\eta_b^{boiller}$	80%
η_e^{BTB}	90%	η^{PV}	15.7%
S	1200 m^2	T_a	25 $°C$

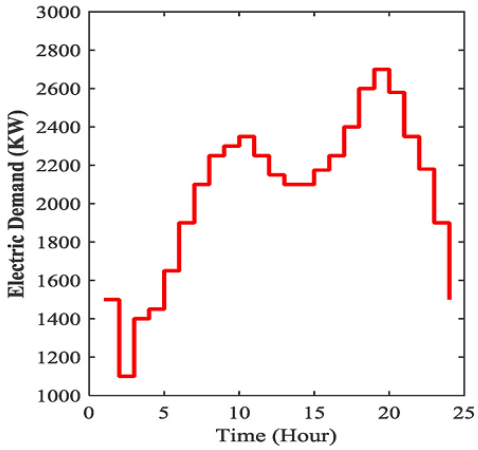
جدول ۳: پارامترهای تولید پراکنده (Source:By author)

$type$	SUC	P^{max}	P^{min}	B	A
	$	KW	KW	$/KW	$

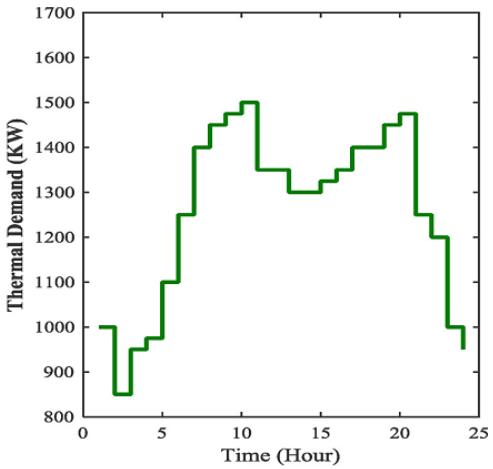
type	SUC	P^{max}	P^{min}	B	A
Microturbine 1	۰.۱	۷۰۰	۱۵۰	۰.۰۵۶	۰.۰۲۸
Microturbine 2	۰.۲	۵۰۰	۱۲۰	۰.۰۵۲	۰.۰۲۶

حداکثر تبادل توان بین شبکه بالادست و ریزشبکه ۱۰۰۰ کیلو وات است و حداکثر مقدار مجاز برای جابجایی بار طبق برنامه پاسخگویی به تقاضا ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است.

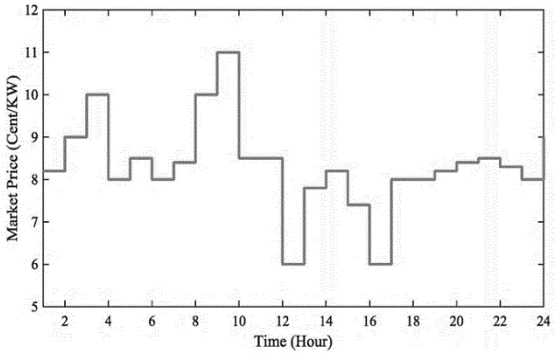
برای مدل‌سازی خطای پیش‌بینی طبق مدل ارائه شده در قسمت قبل، ۱۰۰۰۰ سناریو در ساعت تولید می‌شود و با استفاده از استراتژی کاهش سناریو به ۱۰۰ کاهش می‌یابد. بار الکتریکی و حرارتی روزانه هاب انرژی در شکل ۲و شکل ۳ نشان داده‌شده است. قیمت پیش‌بینی شده برای بازار برق در ۲۴ ساعت مطالعه شده به منظور تبادل نیرو با شبکه بالادستی نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲. پیش‌بینی بار الکتریکی پایه در یک روز (Source:By author)



شکل ۳. پیش‌بینی بار حرارتی پایه در یک روز (Source:By author)

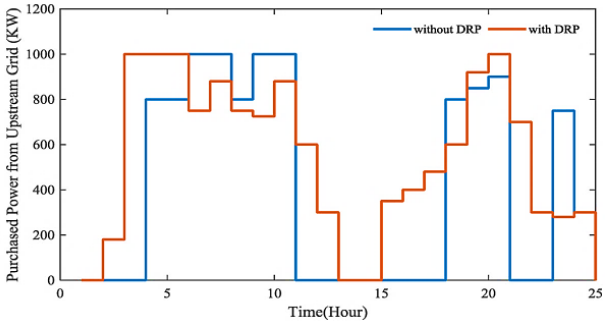


شکل ۴. پیش‌بینی قیمت بازار (Source:By author)

تجزیه و تحلیل یافته‌ها - نتایج عددی

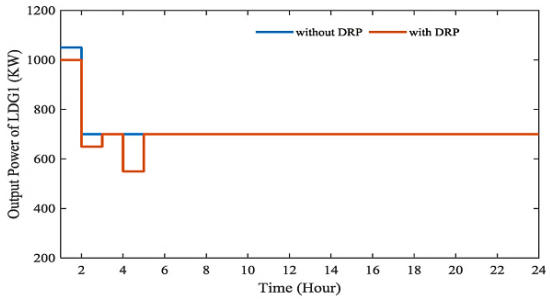
روش پیشنهادی در دو حالت انجام شده است. در حالت اول تابع هدف بدون در نظرگرفتن برنامه پاسخگویی بار و در مرحله دوم با برنامه پاسخگویی بار انجام شده است. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، هاب به شبکه اصلی متصل است و می‌تواند برق را با شبکه بالادستی مبادله کند.

هاب انرژی می‌تواند برق را با شبکه بالادستی مبادله کند. شکل ۵ میزان برق خریداری شده از شبکه سراسری را در دو حالت نشان می‌دهد. بر اساس این رقم خرید از شبکه در ساعات کم پیک افزایش یافته است. این افزایش پیامدهای اقتصادی برای هاب انرژی دارد.

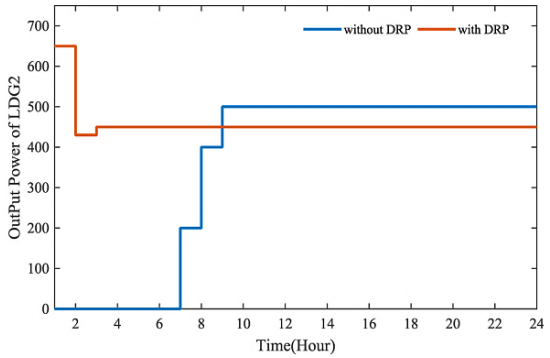


شکل ۵. برق خریداری شده از شبکه بالادستی (Source:By author)

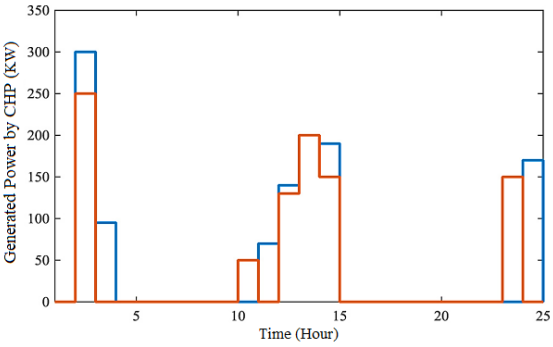
انرژی تولیدشده توسط واحدهای تولید پراکنده برای دو حالت در شکل ۶ و ۷ به طور جداگانه نشان داده‌شده است. انرژی الکتریکی تولید شده توسط واحد CHP و توان خروجی واحد ذخیره سازی حرارتی با و بدون برنامه پاسخگویی بار در شکل ۸ و شکل ۹ نشان داده‌شده است.



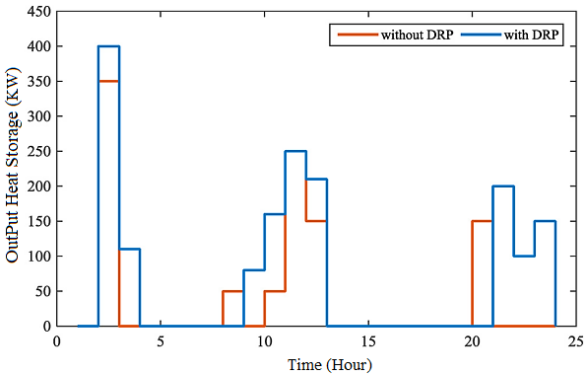
شکل ۶. توان خروجی تولید شده توسط اولین واحد تولید پراکنده (Source:By author)



شکل ۷. توان خروجی تولید شده توسط دومین واحد تولید پراکنده (Source:By author)

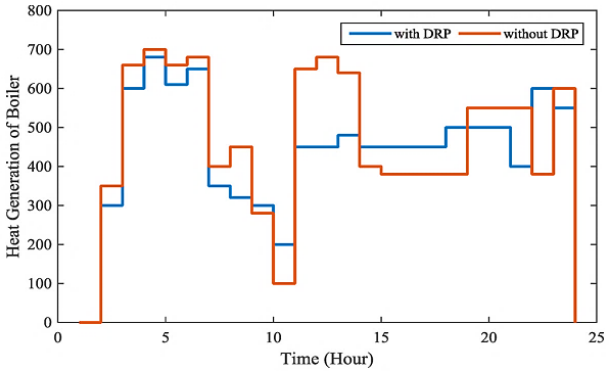


شکل ۸. توان خروجی الکتریکی واحد CHP (Source:By author)



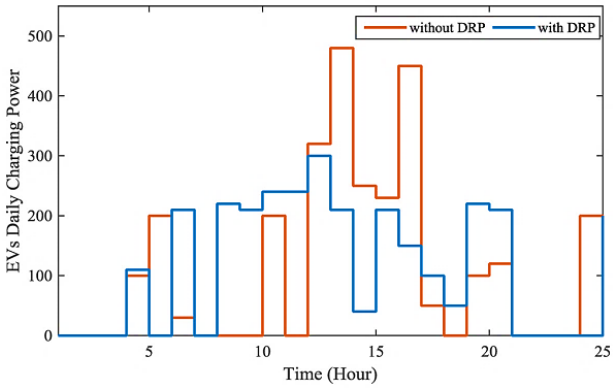
شکل ۹. توان خروجی حرارتی یک واحد ذخیره سازی حرارتی (Source:By author)

مقدار حرارت تولید شده توسط دیگ بخار برای هر دو سناریو در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

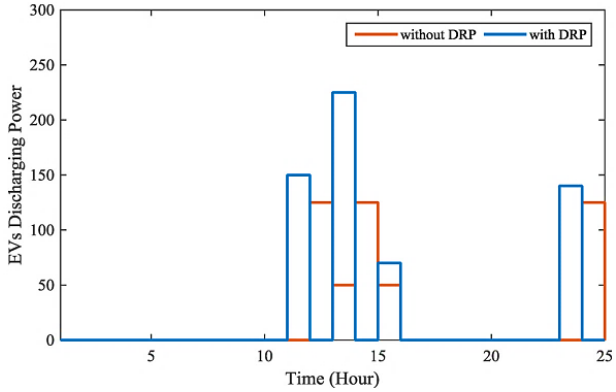


شکل ۱۰. گرمای تولید شده توسط دیگ بخار (Source:By author)

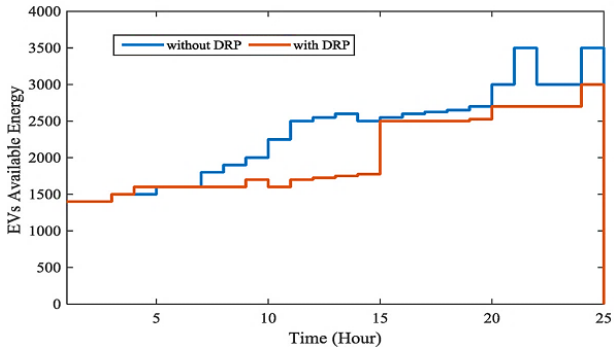
نرخ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی که به عنوان وسایل ذخیره سازی پویا در نظر گرفته می‌شوند، بر اساس استراتژی پیشنهادی در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ نشان داده‌شده است. استفاده از فناوری V2G ابزار دیگری است که در روش پیشنهادی برای کمک به اپراتور ریزشبکه طبق اعداد و ارقام، شارژ خودروهای برقی در ساعات کم بار که قیمت انرژی پایین است و تخلیه در ساعات اوج مصرف، علاوه بر کاهش هزینه‌های بهره برداری، به صاف شدن بار نیز کمک می‌کند. با این استراتژی، وسایل نقلیه الکتریکی بیشتری می‌توانند بدون نیاز به ارتقاء به ریزشبکه نفوذ کنند. شکل ۱۳ ظرفیت شارژ موجود را متناسب با شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. توان شارژ روزانه وسایل نقلیه الکتریکی (Source:By author)



شکل ۱۲. توان تخلیه روزانه وسایل نقلیه الکتریکی (Source:By author)



شکل ۱۳. وضعیت شارژ خودروهای برقی در یک روز (Source:By author)

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، مسئله مدیریت مالی با بهینه‌سازی اقتصادی برای ریزشبکه‌های مدل‌سازی شده به عنوان هاب انرژی بر اساس تولیدات پراکنده و واحدهای حرارتی و توان ترکیبی ارائه شده است. در این مدل پیشنهادی هر دو بار الکتریکی و حرارتی مدل شده و با استفاده از برنامه پاسخگویی بار و مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی هم تابع هزینه حداقل شده و هم منحنی بار روزانه با انتقال ساعت بار پیک به ساعت غیر پیک هموار شده است. استراتژی مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی نیز با شارژ در ساعات کم بار و تخلیه در ساعات اوج بار، عملکرد ریزشبکه ها را به طور قابل توجهی بهبود بخشیده است. با بررسی نتایج بدست‌آمده در نرم افزار MATLAB، می‌توان مشاهده کرد که با اجرای استراتژی پیشنهادی، هزینه عملیاتی ریزشبکه بهبود یافته است. این رویکردهای مدیریتی به بهبود کارایی و پایداری سیستم برق کمک می‌کنند و به مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان امکان می‌دهند تا به صورت بهینه‌تری از منابع برق استفاده کنند. درنتیجه استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها کمک کند. برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود با در نظر گرفتن ریزشبکه‌های چندگانه و ائتلاف بین آن‌ها، مدیریت تجارت انرژی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری را پژوهش نمود.

مشارکت نویسندگان

این مقاله مستخرج از رساله دکتری احسان قاسمی با عنوان «بهره‌برداری بهینه اقتصادی- زیست‌محیطی از منابع الکتریکی در ریزشبکه‌های هوشمند با نفوذ خودروهای الکتریکی و تولیدات مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر» دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد با راهنمایی دکتر امین رنجبران و مشاوره دکتر جواد پورحسین می باشد.

تأیید اخلاقی

هیچ موضوع انسانی در این مقاله وجود ندارد و رضایت آگاهانه قابل اعمال نیست.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

Clairand, J.-M., Arriaga, M., Cañizares, C. A., & Álvarez-Bel, C. (2018). Power generation planning of Galapagos' microgrid considering electric vehicles and induction stoves. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *10*(4), 1916-1926.

Diaf, G. N. S., Belhamel, M., Haddadi, M., & Louche, A. (2008). Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various metrological conditions. *Journal of Applied energy*, *85*, 968-987.

El Hafdaoui, H., Jelti, F., Khallaayoun, A., Jamil, A., & Ouazzani, K. (2024). Energy and environmental evaluation of alternative fuel vehicles in Maghreb countries. *Innovation and Green Development*, *3*(1), 100092.

Elkazaz, M., Sumner, M., & Thomas, D. (2020). Energy management system for hybrid PV-wind-battery microgrid using convex programming, model predictive and rolling horizon predictive control with experimental validation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *115*, 105483.

Gao, H., Xu, S., Liu, Y., Wang, L., Xiang, Y., & Liu, J. (2020). Decentralized optimal operation model for cooperative microgrids considering renewable energy uncertainties. *Applied energy*, *262*, 114579.

Ghahramani, M., Nazari-Heris, M., Zare, K., & Mohammadi-ivatloo, B. (2019). Robust short-term scheduling of smart distribution systems considering renewable sources and demand response programs. *Robust optimal planning and operation of electrical energy systems*, 253-270.

Ghasemi, A., Banejad, M., Rahimiyan, M., & Zarif, M. (2021). Investigation of the micro energy grid operation under energy price uncertainty with inclusion of electric vehicles. *Sustainable Operations and Computers*, *2*, 12-19.

Ghasemi, E., Ranjbaran, A., & Pourhossein, J. (2023). Designing multi-objective electric and thermal energy management system of microgrid in the presence of controllable loads and electric vehicles. *Electrical Engineering*, 1-14.

Hoogvliet, T., Litjens, G., & Van Sark, W. (2017). Provision of regulating-and reserve power by electric vehicle owners in the Dutch market. *Applied energy*, *190*, 1008-1019.

Nazari-Heris, M., Mohammadi-Ivatloo, B., Gharehpetian, G. B., & Shahidehpour, M. (2018). Robust short-term scheduling of integrated heat and power microgrids. *IEEE Systems Journal*, *13*(3), 3295-3303.

O'Malley, M. J., Anwar, M. B., Heinen, S., Kober, T., McCalley, J., McPherson, M., Muratori, M., Orths, A., Ruth, M., Schmidt, T. J., & Tuohy, A. (2020). Multicarrier energy systems: shaping our energy future. *Proceedings of the IEEE, 108*(9), 1437-1456.

Rodrigues, Y. R., de Souza, A. Z., & Ribeiro, P. F. (2018). An inclusive methodology for Plug-in electrical vehicle operation with G2V and V2G in smart microgrid environments. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 102*, 312-323.

Salam, A., Mohamed, A., & Hannan, M. (2008). Technical challenges on microgrids. *ARPN Journal of engineering and applied sciences, 3*(6), 64-69.

Shayeghi, H., Aryanpour, H., Alilou, M., & Jalili, A. (2021). *Microgrid stability definition, analysis, and examples*.Microgrids: Advances in Operation, Control, and Protection.Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59750-4_13

Tian, M. W., & Talebizadehsardari, P. (2021). Energy cost and efficiency analysis of building resilience against power outage by shared parking station for electric vehicles and demand response program. *Energy, 215*, 119058.

Vahedipour-Dahraie, M., Rashidizadeh-Kermani, H., Najafi, H. R., Anvari-Moghaddam, A., & Guerrero, J. M. (2017). Stochastic security and risk-constrained scheduling for an autonomous microgrid with demand response and renewable energy resources. *IET Renewable Power Generation, 11*(14), 1812-1821.

Wang, Z., Jochem, P., & Fichtner, W. (2020). A scenario-based stochastic optimization model for charging scheduling of electric vehicles under uncertainties of vehicle availability and charging demand. *Journal of Cleaner Production, 254*, 119886.

Yan, L., Deng, X., & Li, J. (2024). Integrated energy hub optimization in microgrids: Uncertainty-aware modeling and efficient operation. *Energy*, 130391.

Yu, D., Zhang, T., He, G., Nojavan, S., Jermsittiparsert, K., & Ghadimi, N. (2020). Energy management of wind-PV-storage-grid based large electricity consumer using robust optimization technique. *Journal of Energy Storage, 27*, 101054.

Zhou, X., Mansouri, S. A., Jordehi, A. R., Tostado-Véliz, M., & Jurado, F. (2023). A three-stage mechanism for flexibility-oriented energy management of renewable-based community microgrids with high penetration of smart homes and electric vehicles. *Sustainable cities and society, 99*, 104946.