

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## The fair subsidy of the domestic PV/Battery on-grid system according to the peak load of the city grid

Mohammad Hossein Jahangir<sup>1</sup>, Ashkan Toopshekan<sup>2</sup>, Arash Kargarzadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of renewable energies and environment, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> PhD Candidate, Department of renewable energies and environment, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup> Master of Science student, Department of renewable energies and environment, University of Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2021-12-29

Accepted 2022-03-08

#### Keywords:

Renewable energy

Micro power plant

Simulation

Solar energy

HOMER software

### ABSTRACT

#### INTRODUCTION

In this article, after examining various methods of sizing photovoltaic panels and batteries, a method for sizing batteries and PV is proposed, which is obtained by using the amount of electricity consumed by a residential house during the peak load of the national electricity network. The reason for choosing this system is that the initial capital cost is cheaper than other renewable systems. In this paper, the case study is connected to the grid and the PV/Battery system is used as a backup system to generate power during peak load times to minimize the costs. Today, sizing of energy system using computer software is the most widely used among various sizing methods. The reason for this is the high accuracy and convenience of these methods. The most famous computer software that is effective in the field of sizing is HOMER Pro software. This software is designed by the US National Renewable Energy Laboratory and is available to the public now. In HOMER Pro, by entering the load data and types of PVs and batteries and also by clearing the grid status, the software lists the best combination and the best size of systems for the user.

The innovation of this research is that instead of providing complete residential load through renewable energy systems and imposing large amount of costs on the consumer, the renewable energy system provides the load of the house only during the peak load of the grid.

#### MATERIALS AND METHODS

HOMER Pro software uses predefined patterns to determine peak hours of power consumption in each month and season of the year. These patterns and standards are all based on American standards. In previous researches conducted by Iranian researchers, the patterns and standards of Iranian electricity consumption peak are defined for the software. In this paper, the patterns and standards of Iran is used so that the research results are accurate and real.

The average daily consumption during a month is selected as daily consumption in that month and changes in consumption between days of a month are excluded. The average daily consumption of the case study is approximately 10 kWh and

DOI: [10.22034/UE.2022.3.01.01](https://doi.org/10.22034/UE.2022.3.01.01)

\*Corresponding Author: Email: [mh.jahangir@ut.ac.ir](mailto:mh.jahangir@ut.ac.ir)

Table.1 Peak consumption, peak production, overcapacity and overall consumption in all months

Month	Cons. during (kWh) peak	Prod. rate exceeds (kWh) the peak	Prod. rate exceeds (kWh) battery capacity	Monthly Cons. (kWh)
Far.	2.07	2.13	1.36	340
Ord.	2.5	1.7	1.3	350
Khor.	2.68	1.44	1.32	410
Tir	3.13	1.07	1.49	422
Mor.	4.12	0.08	1.69	455
Shah.	2.68	1.52	1.48	440
Mehr	2.34	1.86	1.31	380
Aban	2.34	1.86	1.28	358
Azar	2.5	1.7	1.12	340
Dey	2.67	1.53	1.09	335
Bahman	2.5	1.7	1.07	330
Esf.	2.5	1.7	1.1	370

the maximum is up to 15 kWh.

Different scenarios can be defined for sizing PV systems and batteries. In this paper, the supply of electrical charge during peak consumption is considered.

To calculate the productive power of photovoltaic cells, HOMER Pro software uses eq. (1) [3].

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

In Equation (1)  $f_{PV}$  related to the reducing agent,  $Y_{PV}$  equal to the nominal capacity of the photovoltaic cell and  $G_T$  also belong to the solar radiation factor.  $G_{T,STC}$  in this equation is equal to the solar radiation in the standard test conditions of photovoltaic cells,  $\alpha_p$  is the temperature coefficient of the solar cells in their catalog,  $T_c$  is the operating temperature and  $T_{c,STC}$  belongs to the standard test conditions of photovoltaic panels.

It should be noted that the software uses Equation (2) to calculate the cost of equipment performance and maintenance.

$$C_{Operation} = C_{ann,tot} - C_{ann,cap} \quad (2)$$

Where,  $C_{ann,tot}$  is equal to the total annual cost and  $C_{ann,cap}$  is equal to the total annual initial capital.

## FINDINGS

Considering the average daily consumption of 12.5 kWh for the consumer, the amount of consumption during peak, no-load and low-load for different months and total consumption per month is shown in Table 1. Also, the surplus production capacity and the amount of surplus power supply by PVs, which is more than the battery capacity, is shown in Table 1.

According to table 1, the maximum monthly consumption

is equal to 455 kWh and is related to the month of Mordad. Since this month is in the middle of summer, it can be guessed that this has happened due to the increased need for cooling and operation of home cooling appliances. On the other hand, the lowest monthly consumption is related to Bahman month with 330 kWh consumption.

As expected, Over Production happens during the summer season. In Mordad month, 1.69 times more electricity is generated than the battery capacity. The lowest amount is related to Bahman and is equal to 1.07 times the electricity produced. Since none of the numbers in this section is less than one, Homer software calculates the correct sizing for the batteries.

In the explanation of the third column of Table 6, it can be said that after installing the maximum capacity of 4.2 kWh, during the times that the needs of the consumer are less than this amount, the rest of it will be used during other hours of the day. The best strategy is to use this energy during off-peak hours and, as far as possible, it should not be used during off-peak hours; therefore, we reduce the installed capacity from the consumption at the peak of different months and use the remaining amount at low load.

According to the amount of electricity produced in each month, the annual household income will be 1,221,182 Tomans. Considering the initial cost of 10,270,000 Tomans, it seems that without the help of the government and subsidies for the installation and implementation of such systems, the existence of these systems is not profitable for the household.

To calculate the fair subsidy that the government can provide to these individuals, a 4-year return on investment for the initial investment seems reasonable. In this regard, regardless of the inflation rate and considering the annual profit of 1,221,182 Tomans and the annual operation cost of 62,400 Tomans, investing 4,635,128 Tomans will be fair for the household and therefore the government should pay 5,634,872 Tomans for such plans.

## CONCLUSION

If the plan of this paper is implemented properly, it can have the following results in the long run:

- Building large number of home power plants instead of using a very large and centralized power plant will reduce the government's initial and current costs for energy production, especially clean energy.
- As households use renewable electricity as a system connected to the PV grid and batteries, the existing pressure on the grid is removed. In this case, the electricity in the network can be used for industrial purposes, etc., and

successive power outages and damage to industries and jobs can be prevented.

- By increasing the use of renewable energy by households and reducing the pressure on the grid, the national grid will have more opportunities to grow and improve, which will reduce the number of power outages in the future.
- In addition to the economic and technical benefits of this project, by creating a fair subsidy for the use of renewable electricity by households, we will see a reduction in carbon dioxide emissions and a reduction in air pollution.

### COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Jahangir M.H., Toopshekan A., Kargarzadeh A. (2022). The fair subsidy of the domestic PV/Battery on-grid system according to the peak load of the city grid. *Urban Economics and Planning*, 3(1): 1-15.

DOI: [10.22034/UE.2022.03.01.01](https://doi.org/10.22034/UE.2022.03.01.01)



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## فصلنامه اقتصاد و برنامه ریزی شهری

سایت نشریه: <http://eghtesadeshahr.tehran.ir>

### مقاله پژوهشی

## یارانه منصفانه سیستم فتوولتاییک و باتری خانگی متصل به شبکه برق سراسری با توجه به پیک بار شبکه شهری

محمدحسین جهانگیر<sup>۱\*</sup>، اشکان توپشکن<sup>۲</sup>، آرش کارگرزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده:

این تحقیق به ارائه روشی در ساینزینگ سیستم ترکیبی باتری و PV متصل به شبکه با هدف تأمین بار مصرفی هنگام پیک بار شبکه و سپس، برآورد هزینه و تعیین میزان یارانه منصفانه از جانب دولت می‌پردازد. سیستم‌های PV و باتری که امروزه در بسیاری از بخش‌های خانگی، اداری و تجاری استفاده می‌شوند، غالباً به شبکه برق سراسری متصل هستند و سیستم PV و باتری به عنوان سیستم پشتیبان (Backup) در نظر گرفته می‌شود. کارکرد مهم چنین سیستمی، به حداقل رساندن هزینه برق مصرفی از طریق کاهش مصرف برق هنگام پیک بار شبکه است. گام نخست برای نصب این سیستم‌ها به دست آوردن اندازه ظرفیت مناسب PV و باتری است، به گونه‌ای که بار مصرفی بخش خانگی هنگام پیک بار شبکه را تأمین کند و از این راه‌ها هزینه‌ها را به حداقل برساند. سپس، هزینه ساینز بهینه به دست آمده محاسبه می‌شود و با توجه به در نظر گرفتن دوره بازگشت سرمایه ۴ ساله میزان یارانه‌ای که دولت باید در ازای نصب و راه‌اندازی این سیستم‌ها بپردازد، محاسبه می‌شود. در این مقاله سعی شده با شبیه‌سازی بار مصرفی یک خانه مسکونی ظرفیت مناسب برای سیستم PV و باتری به منظور برآورده کردن نتیجه یادشده به دست آید. یارانه منصفانه محاسبه شده برابر با ۴/۶ میلیون تومان به ازای هر خانوار محاسبه شده است. همچنین، سود سالیانه برابر ۱/۲ میلیون تومان برای هر خانوار است.

DOI: 10.22034/UE.2022.03.01.01

### اطلاعات مقاله

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

#### کلمات کلیدی:

انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی خورشیدی

شبیه‌سازی

نرم‌افزار هومر

نیروگاه خانگی

### مقدمه

یکنواخت خورشید و شرایط اقلیمی و منطقه‌ای، عدم تطابق دقیق زمان تولید و مصرف توان الکتریکی (... دارای قابلیت اطمینانی کمتر از تأمین انرژی از سوخت‌های فسیلی است که این امر وجود باتری و ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی را ضروری می‌سازد.

از سوی دیگر، هزینه خرید و نصب اولیه زیاد باتری و پنل‌های فتوولتاییک ما را ملزم به ارزیابی و بررسی دقیق توان مورد نیاز و ساینزینگ باتری و پنل‌های فتوولتاییک می‌کند تا با کمترین هزینه ممکن انرژی مورد نیاز را تأمین کنیم.

در این مقاله پس از بررسی انواع روش‌های ساینزینگ پنل‌های

در دنیای امروز و با گسترش هر چه بیشتر تکنولوژی و ابزارهای صنعتی و همچنین، نیاز به تأمین انرژی مورد نیاز صنایع گوناگون، استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به امری اجتناب‌ناپذیر بدل شده است. در این میان، انرژی خورشیدی جایگاه ویژه‌ای دارد و استفاده از این انرژی با سرعتی چشمگیر رو به افزایش است. در این میان، استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل عدم قطعیت‌هایی در تولید توان (عدم تابش

نویسنده مسئول:

ایمیل: [mh.jahangir@ut.ac.ir](mailto:mh.jahangir@ut.ac.ir)

از نامش پیداست، به طور تقریبی و حدودی سایز مورد نظر را به دست می‌دهد [۲ و ۳]. مزیت این روش سرعت زیاد و محاسبه ساده آن و از معایب آن درصد خطای قابل توجه در بعضی مواقع و قابلیت اطمینان کم و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر است. در این روش سایزینگ پنل‌های فتوولتاییک از میزان توانی که تأمین‌کننده بار مصرفی است ضرب در یک ضریب اطمینان  $S_f$  به دست می‌آید. این ضریب معمولاً بر اساس تجربه طراح انتخاب می‌شود [۴]. معادله ۱ توان مورد نیاز برای PV را به دست می‌دهد.

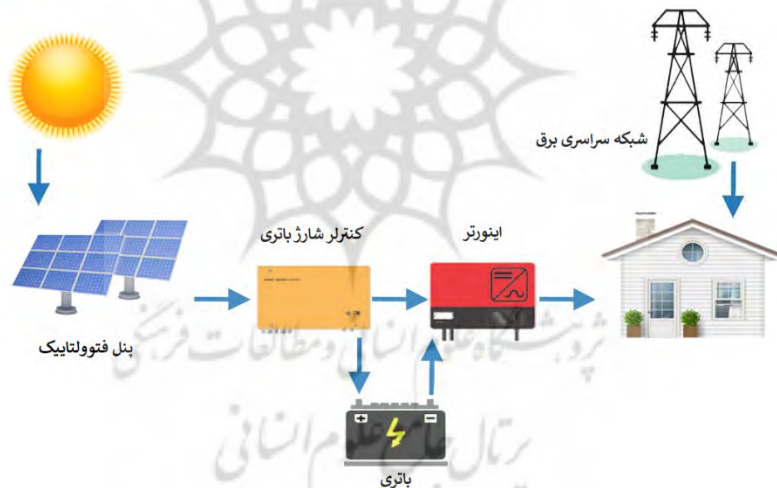
$$P_{pv} = \frac{E_L}{\mu_p \cdot \mu_{inv} \cdot PSH} S_f \quad (1)$$

جایی که،  $E_L$  میزان انرژی مصرفی بخش مورد نظر،  $\mu_p$  بازده پنل فتوولتاییک مورد استفاده،  $\mu_{inv}$  بازده اینورتر و  $PSH$  میزان زمان تابش خورشید است و معادله ۱ توان مورد نیاز برای PV را به دست می‌دهد. در روش عددی که پیشرفته‌تر و دقیق‌تر از روش سرانگشتی است،

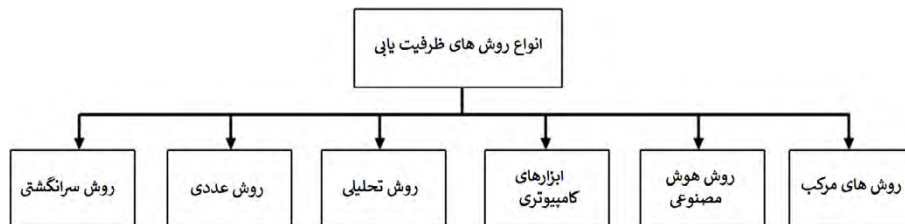
فتوولتاییک و باتری روشی برای سایزینگ باتری و PV پیشنهاد می‌شود که با استفاده از میزان برق مصرفی یک خانه مسکونی هنگام پیک بار شبکه سراسری برق به دست آمده است. دلیل انتخاب این سیستم ارزان‌تر بودن سرمایه اولیه نسبت به سایر سیستم‌های تجدیدپذیر و همچنین، رایج بودن استفاده از آن است. در این پژوهش بخش خانگی، تجاری، اداری و یا صنعتی مورد نظر به شبکه سراسری برق متصل است (شکل ۱) و سیستم خورشیدی به عنوان یک سیستم پشتیبان برای تولید توان در مواقع پیک بار شبکه است. این کار موجب به حداقل رسیدن هزینه‌های مصرفی آن واحد می‌شود.

### پیشینه تحقیق

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است روش‌های سایزینگ به شش دسته کلی تقسیم می‌شود. روش‌های سرانگشتی، عددی، تحلیلی، نرم‌افزارهای کامپیوتری، هوش مصنوعی و روش‌های مرکب [۱]. این روش‌ها طی زمان پیشرفت کرده و با دقت بیشتری میزان توان مورد نیاز یک مصرف‌کننده را محاسبه می‌کنند. روش سرانگشتی قدیمی‌ترین روش سایزینگ است و همان‌گونه که



شکل ۱. بخش خانگی متصل به شبکه سراسری برق و مجهز به PV و باتری



شکل ۲. انواع روش‌های سایزینگ [۱]

مختلفی را برای استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر طراحی کردند. این استراتژی‌ها مخصوص سیستم‌های متصل از شبکه و شهر سابراتا در لیبی طراحی شدند [۱۲].

نرم‌افزار هومر نه تنها می‌تواند ساینزینگ باتری و پنل‌های خورشیدی را به خوبی انجام دهد، بلکه می‌تواند این نرم‌افزار می‌تواند سایر انرژی‌های تجدیدپذیر را نیز با یکدیگر ترکیب کرده و ساینزینگ درستی برای آن‌ها اعمال کند. در تحقیقی که به تازگی در سال ۲۰۲۱ صورت گرفته است، یک منطقه روستایی مورد بررسی قرار گرفته است. انواع سیستم‌های خورشیدی، بادی، هیدروژنی و زیست‌توده در این تحقیق به کار گرفته شده و نرم‌افزار هومر ساینزینگ درست را برای آن‌ها انجام داده است. کمترین میزان قیمت انرژی توسط این سیستم‌ها نیز به وسیله نرم‌افزار هومر محاسبه شده که برابر با ۰/۲۱۴ دلار بر کیلووات ساعت است [۱۳]. یکی از بخش‌های مهمی که می‌تواند از انرژی تجدیدپذیر استفاده کند، بخش کشاورزی است. یک سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی برای یک زمین کشاورزی بزرگ در سال ۲۰۲۱ توسط محققان طراحی شده است. ساینزینگ این سیستم در دو حالت متصل و منفصل از شبکه توسط نرم‌افزار هومر محاسبه شده است. در این مقاله همچنین استفاده از زیست‌توده تولیدی زمین کشاورزی نیز بررسی شده و نرم‌افزار هومر ساینزینگ این سیستم را به همراه سیستم خورشیدی بررسی و محاسبه کرده است. این تحقیق یک نقشه مناسب برای ساینزینگ سیستم‌های تجدیدپذیر برای زمین‌های کشاورزی ارائه داده است [۱۴].

در تمامی این روش‌ها جمعیتی اولیه تولید و سپس، با استفاده از ارزیابی‌های صورت‌گرفته مقادیر توابع هدف بهبود می‌یابند تا به پاسخ مورد نظر نزدیک شوند [۱۹-۱۵].

در این مقاله به خلاف روش‌های یادشده که تنها بار الکتریکی مصرفی واحد مورد نظر محاسبه و ظرفیت مناسب برای تأمین بار تعیین می‌شد، پروفیل بار شبکه سراسری برق نیز مد نظر قرار گرفته است. نوآوری این پژوهش در این امر است که به جای تأمین بار کامل مسکونی از طریق سیستم‌های تجدیدپذیر و تحمیل هزینه‌های گزاف به مصرف‌کننده، سیستم تجدیدپذیر فقط در زمان پیک شبکه سراسری برق بار خانه را تأمین می‌کند. بنابراین، ابتدا زمان پیک بار شبکه برق مشخص می‌شود و سپس، مساحت بار الکتریکی مصرفی واحد مورد نظر از طریق انتگرال گیری معین هنگام پیک بار شبکه محاسبه می‌شود تا ساینز سیستم به گونه‌ای تعیین شود که طی زمان پیک بار پاسخ‌گوی خانه مورد نظر باشد.

## مواد و روش‌ها

### شبیه‌سازی بار مصرفی

در این مقاله بار الکتریکی مصرفی یک خانه مسکونی در یک ماه اندازه‌گیری شده و سپس، با استفاده از نرم‌افزار هومر برای کل سال شبیه‌سازی شده است. نرم‌افزار هومر بار الکتریکی را در دو حالت بار اصلی و بار متغیر بررسی می‌کند. بار الکتریکی اصلی شامل بار ثابت مصرفی ساختمان است. این بار الکتریکی می‌تواند شامل بار مصرفی برای

محاسبه ساینز PV و باتری به وسیله حل تکراری (تکرار داده‌های جدید در هر مرحله تا زمان به دست آمدن جوابی قابل قبول) انجام می‌شود. با محاسبه پارامترهای تکنیکی (مانند درصد ناتوانی تأمین بار، مدت زمان عدم تأمین بار و...) و در نظر گرفتن کمینه و بیشینه ساینز مورد نظر برای PV و باتری این روش، اولین و کمترین توان قابل قبول برای PV و باتری را به دست می‌دهد [۵].

در ساینزینگ با استفاده از روش‌های عددی ابتدا ساینز برای PV در نظر گرفته می‌شود و سپس، تمام ساینزهای باتری از کمترین مقدار تا بیشترین مقدار برای ساینز PV مورد نظر امتحان می‌شود. در صورتی که توان مورد نیاز تأمین نشود، ساینز PV یک پله بزرگ‌تر می‌شود و دوباره تمام باتری‌های ممکن برای آن انتخاب می‌شود و این چرخه همین‌طور ادامه می‌یابد تا به اولین جواب مناسب برسیم [۶ و ۷].

در روش تحلیلی نموداری از متغیرهای تصمیم‌گیری (در اینجا ساینز PV و باتری و پارامترهای تکنیکی) بر حسب هم و برای تمام مقادیر کشیده می‌شود و از روی این نمودارها بهترین ساینز PV و باتری انتخاب می‌شود.

در این روش به خلاف روش‌های عددی ساینز PV و باتری هم زمان به دست می‌آید و کمترین میزان اندازه مورد نظر برای پاسخ‌گویی به نیازهای مصرف‌کننده انتخاب می‌شود [۸ و ۹].

امروزه ساینزینگ با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری بیشترین کاربرد را در بین روش‌های مختلف ساینزینگ دارد و دلیل این امر دقت زیاد و راحت بودن این روش‌ها است. معروف‌ترین نرم‌افزار کامپیوتری که در زمینه ساینزینگ کارایی چشمگیری دارد، نرم‌افزار هومر (HOMER) است که آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا آن را طراحی کرده و در اختیار عموم قرار داده است. در این نرم‌افزار با وارد کردن داده‌های بار مصرفی خانه و انواع ساینزهای PV و باتری‌های موجود و همچنین، اتصال و یا عدم اتصال بخش مورد نظر به شبکه برق سراسری، نرم‌افزار بهترین ترکیب و بهترین ساینز از سیستم‌ها را به ترتیب اولویت برای کاربر فهرست‌بندی می‌کند [۱۰].

در ادامه، به چند تحقیق که با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار هومر صورت گرفته است، می‌پردازیم:

در یک تحقیق که با استفاده از نرم‌افزار هومر صورت گرفته است، یک سیستم انرژی‌های تجدیدپذیر متشکل از پنل‌های خورشیدی، توربین بادی و ژنراتور دیزلی به عنوان پشتیبان طراحی شده است. ساینزینگ این سیستم توسط نرم‌افزار هومر صورت گرفته است و وظیفه تولید برق برای یک کارگاه در استان اردبیل را به عهده دارد. نتایج این مقاله نشان داد دو کیلووات پنل خورشیدی، ۲ عدد توربین ۳ کیلووات و یک ژنراتور دیزلی ۱۳ کیلووات می‌تواند نیاز این کارگاه صنعتی را برطرف کند. در نهایت، هزینه انرژی ۰/۴۶۲ دلار به ازای هر کیلووات به دست آمد [۱۱].

علاوه بر ایران، سایر کشورها نیز اقدام به طراحی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر توسط نرم‌افزار هومر کرده‌اند. محققان کشور لیبی در سال ۲۰۲۱ به منظور کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، استراتژی‌های



نیاز ساعت‌های پیک مصرف بیشترین میزان آلودگی را با کمترین میزان هزینه کاهش می‌دهد. برای طراحی سیستم مد نظر ابتدا باید میزان نیاز ساختمان و ساعت‌های پیک مصرف مشخص شود. در این بخش بار مصرفی و مورد نیاز ساختمان در ساعت‌های پیک محاسبه و گزارش می‌شود. همچنین، این بخش با ارائه یک روش واحد محاسبه پیک بار توسط نرم‌افزار هومر می‌تواند به تحقیقات آینده در این زمینه نیز کمک کند.

تعرفه مصرف برق در کشور ایران در ساعت‌های مختلف روز متفاوت است. بر اساس اعلام وزارت نیرو زمان پیک بار، میان باری و اوج بار سال ۱۳۹۵ مطابق جدول ۱ است [۲۰]. روش پیشنهادی در این مقاله استفاده از سیستم PV و باتری به عنوان سیستم پشتیبان برای تأمین مصرف برق در زمان پیک بار شبکه است تا از این راه هزینه‌های برق مصرفی به حداقل برسد. سائیزینگ چنین سیستمی مستلزم دانستن بار مصرفی خانه در زمان پیک بار سراسری شبکه برق است.

با شبیه‌سازی بار مصرفی خانه مورد نظر در ۱۲ ماه سال مطابق قسمت قبل می‌توان میزان بار مصرفی خانه را به دست آورد. در شکل ۴ زمان پیک بار شبکه برای ماه‌های مختلف سال با خط قرمز مشخص شده است. همچنین، برای سه ماه ابتدای سال که در شکل و جدول وجود ندارد، پیک بار مطابق ماه اسفند در نظر گرفته شده است. با محاسبه سطح زیر نمودار، میزان مصرف برق خانه مورد نظر از زمان ابتدا تا انتهای پیک بار شبکه در ماه‌های مختلف محاسبه شده است.

#### سائیزینگ و برآورد هزینه‌ها

برای سائیزینگ سیستم PV و باتری می‌توان سناریوهای متفاوتی تعریف کرد. در این مقاله، تأمین بار الکتریکی مصرفی هنگام پیک مصرف مد نظر قرار گرفته شده است.

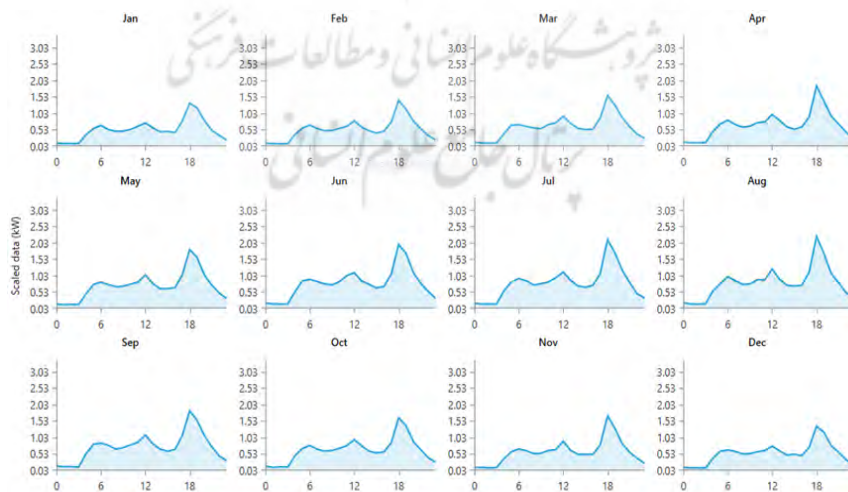
روشنایی ساختمان، بار مصرفی لوازم الکتریکی ساختمان و همچنین، بار مربوط به سیستم گرمایشی و سرمایشی باشد. بار متغیر نیز شامل بار مصرفی پمپ‌ها و وسایل الکتریکی مشابه است که به یک عامل خارجی وابسته هستند. از آنجا که این ساختمان وسایل الکتریکی همچون پمپ ندارد و مصرف برق آن وابسته به عوامل خارجی نیست، از بار متغیر صرف نظر شده و فقط بار الکتریکی اصلی و ثابت ساختمان بررسی شده است. درخور یادآوری است که معمولاً بار متغیر ساختمان‌ها بسیار ناچیز است و در بیشتر پروژه‌ها نیز از آن چشم‌پوشی می‌شود.

نرم‌افزار هومر برای تعیین ساعت‌های پیک مصرف برق در هر ماه و فصل از سال از الگوهای آیزیش تعیین شده استفاده می‌کند. این الگوها و استانداردها همگی براساس استانداردهای کشور آمریکا هستند. در تحقیقات قبلی که توسط محققان ایرانی صورت گرفته است، الگوها و استانداردهای پیک مصرف برق ایران نیز برای نرم‌افزار هومر تعریف شده است [۲۰]. در این مقاله نیز از الگوها و استانداردهای کشور ایران استفاده شده است تا نتایج تحقیق دقیق و واقعی باشند.

میانگین مصرف روزهای یک ماه به عنوان مصرف روزانه در آن ماه انتخاب شده و از تغییرات مصرف بین روزهای یک ماه صرف نظر شده است. میانگین مصرف روزانه تقریباً برابر ۱۰ kWh و ماکزیمم تا ۱۵ kWh به دست آمده است. شیوه مصرف بار الکتریکی در ساعت‌های مختلف روز در شکل ۳ مشخص شده است.

#### محاسبه بار مصرفی هنگام پیک

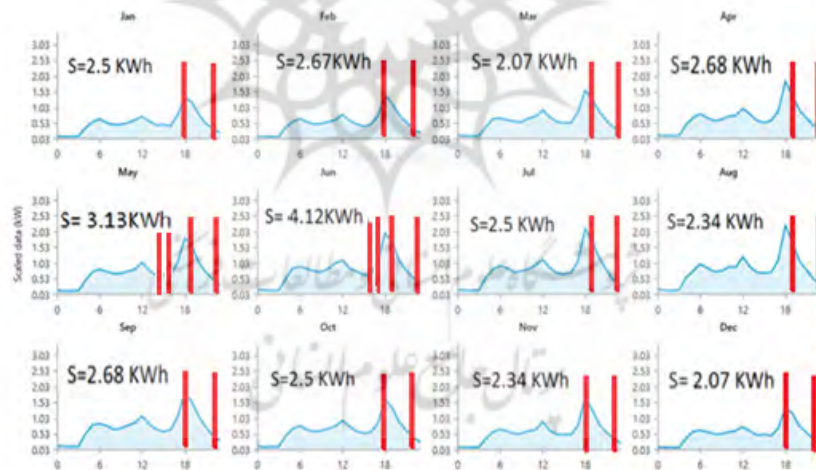
سیستم انرژی تجدیدپذیر طراحی شده که به عنوان یک نیروگاه خانگی شناخته می‌شود با تولید برق طی روز و مصرف آن در ساعت‌های پیک بار شبکه به کاهش فشار روی شبکه برق کمک خواهد کرد. از طرف دیگر، پیش‌بینی می‌شود این سیستم نیروگاه خانگی با تولید برق مورد



شکل ۳. شبیه‌سازی بار مصرفی یک خانه با نرم‌افزار هومر

جدول ۱. زمان پیک بار، میان باری و اوج بار ماههای تیر تا اسفند [۲۰]

ماه/ساعت	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
1	M	M	M	L	L	L	L	L	L	L	L	L
2	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
3	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
4	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
5	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
6	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
7	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
8	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
9	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	M
10	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
11	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
12	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
13	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
14	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
15	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
16	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
17	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
18	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M	M
19	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P	P
20	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
21	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
22	P	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	P
23	P	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M
24	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M



شکل ۴. محاسبه مساحت زیرمنحنی بار خانگی در زمانهای پیک بار شبکه

در معادله ۲  $f_{PV}$  مربوط به عامل کاهش دهنده،  $Y_{PV}$  برابر با ظرفیت نامی سلول فتوولتائیک و  $G_T$  نیز متعلق به عامل تابش خورشید است. در این معادله برابر با تابش خورشید در شرایط آزمایش استاندارد ( $G_{T,STC}$ ) سلولهای فتوولتائیک است،  $\alpha_p$  نیز ضریب دمایی سلولهای خورشیدی است که در کاتالوگ آنها موجود بوده،  $T_c$  دمایی کاری است

برای محاسبه توان تولیدی سلولهای فتوولتائیک، نرم افزار هومر از معادله ۲ استفاده می کند [۲۱].

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left( \frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) (1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})) \quad (2)$$



برای مواقع ابری سایز مورد نظر برای PV برابر با ۱/۲۸ کیلووات خواهد بود.

از آنجا که چنین ظرفیت دقیقی برای PV قابل انتخاب نیست ظرفیت ۱/۳ کیلووات را به عنوان ظرفیت PV انتخاب می‌کنیم و بنابراین، ظرفیت اینورتر و شارژ کنترلر هم همین اندازه در نظر می‌گیریم. همان‌گونه که در توضیحات مربوط به روش‌ها گفته شده است، ضرایب حدودی است و بر اساس نظر و تجربه طراحی انتخاب می‌شود. با توجه به جدول ۲ که قیمت و هزینه عملکرد تجهیزات را نشان می‌دهد، هزینه کل تجهیزات در جدول ۳ آورده شده است.

درخور یادآوری است که برای محاسبه هزینه عملکرد تجهیزات و تعمیر و نگهداری آن‌ها، نرم‌افزار هومر از معادله ۶ استفاده می‌کند [۲۲].

$$C_{Operation} = C_{ann,tot} - C_{ann,cap} \quad (6)$$

که در این معادله،  $C_{ann,tot}$  برابر کل هزینه سالانه و  $C_{ann,cap}$  مربوط به کل سرمایه اولیه سالانه است.

معادلات یادشده که در نرم‌افزار هومر استفاده می‌شوند، به ساینینگ سیستم نیروگاه خانگی که شامل پنل‌های خورشیدی و باتری است، کمک خواهند کرد. حال که بخش فنی طراحی سیستم تکمیل شده، نیاز به بررسی اقتصادی سیستم مورد نیاز است. نرم‌افزار برای بررسی اقتصادی ورودی‌های زیر را برای هر قطعه از سیستم نیاز دارد:

- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای تهیه تجهیزات
- هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات طی عمر آن‌ها
- هزینه جایگزین کردن تجهیزاتی که عمرشان تمام شده
- طول عمر تجهیزات استفاده‌شده

تمامی موارد یادشده در جدول‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. درخور یادآوری است که هزینه سرمایه اولیه کل از مجموع هزینه‌های اولیه هر یک از تجهیزات به دست می‌آید [۲۴].

بنا بر اطلاعات یادشده در جدول‌های ۲ و ۳، مجموع قیمت اولیه سیستم برابر با ۱۰۲۷۰۰۰ تومان و مجموع هزینه‌های عملکرد در مقابل قیمت اولیه ناچیز و برابر ۶۲۴۰۰ T/Year است.

محاسبه سود حاصل از سیستم

در قسمت قبل هزینه‌های ناشی از نصب سیستم PV و باتری برای برآورده کردن بار خانگی در زمان پیک بار شبکه بررسی شد. در این بخش سود سالانه ناشی از صرفه‌جویی در مصرف برق توسط سیستم ارزیابی می‌شود. برای این امر ابتدا باید اطلاعات هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی توسط ساختمان مشخص شود. بر اساس اعلام وزارت نیرو در تاریخ ۱۳۹۵/۵/۱ تعرفه برق خانگی برای تهران که جزء مناطق عادی (غیر گرمسیر) است به صورت جدول ۴ است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، به ازای مصرف بیشتر در هرماه هزینه برق به صورت پلکانی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، هزینه برق مصرفی در

$T_{C,STC}$  متعلق به دمای شرایط آزمایش استاندارد صفحات فتوولتائیک است. همان‌طور که در معادله ۲ واضح است، دما اثری مستقیم روی پنل‌های فتوولتائیک دارد. دمای کاری پنل خورشیدی در نرم‌افزار هومر، با استفاده از معادله ۳ حساب می‌شود [۲۱].

$$T_c = T_a + T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT} \left( \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{\eta_{mp}}{\tau a} \right) \quad (3)$$

درخور یادآوری است که در معادله ۳،  $T_a$  مساوی با دمای محیط،  $T_{c,NOCT}$  مربوط به دمای نامی پنل خورشیدی هنگام عملیات،  $T_{a,NOCT}$  مربوط به دمای محیط است هنگامی که دمای نامی کاری سلول اندازه‌گیری شده است (معمولاً ۲۰ درجه است).  $G_{T,NOCT}$  در این معادله متعلق به تابش خورشید در شرایط نامی کاری سلول فتوولتائیک است (معمولاً برابر ۰/۸ کیلووات بر متر مربع است).  $\eta_{mp}$  برابر با راندمان نقطه حداکثر توان بوده،  $\alpha$  برابر با جذب خورشیدی سلول فتوولتائیک است و  $T$  نیز مربوط به ضریب عبور خورشیدی پنل فتوولتائیک است. نرم‌افزار هومر از طریق رابطه ۴، اثر دما بر تولید توان پنل‌های خورشیدی را محاسبه می‌کند [۲۲].

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

در معادله یادشده،  $U_L$  مربوط به ضریب انتقال گرما است،  $T_a$  نیز دمای محیط است و  $\eta_c$  برابر با بازده پنل‌های فتوولتائیک است. راندمان اینورتر جریان متناوب-مستقیم نیز در توان نهایی و قابل مصرف سلول‌های فتوولتائیک اثر خود را دارد. این اثر با استفاده از معادله ۵ در نرم‌افزار محاسبه شده است [۲۳].

$$P_{cinv,out} = \eta_{cinv} P_{PV} \quad (5)$$

در معادله ۵،  $\eta_{cinv}$  مساوی با بازده اینورتر جریان بوده و مقدار آن نیز ۹۵ درصد فرض شده است.

برای تأمین کامل برق مصرفی خانه در زمان پیک بار باید بیشترین مصرف هنگام پیک بار در ماه‌های مختلف انتخاب شود. همان‌گونه که از شکل ۴ مشخص است، بیشترین مساحت به‌دست‌آمده ۴/۱۲ kWh است که به عنوان سایز مورد نظر برای تأمین کامل بار خانگی در زمان پیک انتخاب می‌شود. سایز باتری باید برابر با همین مقدار یعنی ۴/۱۲ کیلووات ساعت باشد. از آنجا که در عمل دسترسی به چنین سائزی برای باتری با این دقت مشکل است سایز ۴/۲ کیلووات ساعت را برای باتری انتخاب می‌کنیم. همچنین، با فرض وجود حداقل چهار ساعت با تابش حداکثری خورشید در هر روز به طور میانگین (شکل ۴) و در نظر گرفتن ضریب ۱/۲۵ به‌عنوان ضریب قابلیت اطمینان سیستم

جدول ۲. قیمت تجهیزات و هزینه عملکرد آن‌ها [۴۲]

مورد	پنل فتولتائیک	باتری	اینورتر و شارژ کنترلر
توان نامی (کیلووات)	۱	۱	۱
طول عمر (سال)	۲۵	۵	۱۰
قیمت اولیه (تومان)	۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۷۰۰۰۰
هزینه عملکرد	۶۰۰۰	۱۳۰۰۰	۰

جدول ۳. هزینه تمام‌شده برای تجهیزات سیستم بهینه

تجهیزات	سرمایه اولیه (تومان)	هزینه جایگزینی (تومان)	هزینه کارکرد و تعمیرات (تومان)
پنل فتولتائیک	۳۹۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۷۸۰۰
باتری	۵۴۶۰۰۰	۵۴۶۰۰۰	۵۴۶۰۰
اینورتر	۹۱۰۰۰۰	۹۱۰۰۰۰	۰
مجموع	۱۰۲۷۰۰۰۰	۹۹۷۰۰۰۰	۶۲۴۰۰

جدول ۴. تعرفه برق خانگی برای مناطق عادی

قیمت پایه هر کیلووات ساعت (ریال)	متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)
۴۵۰	۰ تا ۱۰۰
۵۲۵	مازاد بر ۱۰۰ تا ۲۰۰
۱۱۲۵	مازاد بر ۲۰۰ تا ۳۰۰
۲۰۲۵	مازاد بر ۳۰۰ تا ۴۰۰
۲۳۲۵	مازاد بر ۴۰۰ تا ۵۰۰
۲۹۲۶	مازاد بر ۵۰۰ تا ۶۰۰
۳۲۲۶	مازاد بر ۶۰۰

محاسبه می‌کنیم. درخور یادآوری است این سیستم دو تأثیر مثبت در کاهش هزینه‌های کلی دارد. نخست، با تأمین برق در زمان پیک گران‌ترین نوع برق را فراهم می‌کند و دوم، با کم کردن حدود kWh ۱۵۰ مصرف کلی را در یک یا دو پله پایین‌تر قرار می‌دهد. برای محاسبه میزان هزینه صرفه‌جویی‌شده ابتدا مصرف اوج بار، کم‌باری و بی‌باری چهار ماهی که در پله ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات ساعت هستند، مطابق معادله ۹ و سپس، هشت ماهی که در پله ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات ساعت هستند را مطابق معادله ۱۰ در نظر می‌گیریم.

هزینه صرفه‌جویی‌شده در چهار ماه پرمصرف (پله ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات ساعت) = هزینه صرفه‌جویی‌شده در زمان پیک + هزینه صرفه‌جویی‌شده از تولید بیش از پیک + هزینه صرفه‌جویی‌شده از تولید اضافه بر ظرفیت باتری (۹)

هزینه صرفه‌جویی‌شده در هشت ماه کم‌مصرف (پله ۳۰۰ تا ۴۰۰

ساعت‌های اوج بار و کم‌باری برای مشترکانی که از کنتور سه‌زمانه استفاده می‌کنند، طبق معادله‌های ۷ و ۸ بیان می‌شود:

هزینه اضافه هر کیلووات در ساعت مصرف اوج بار =  $T_{45}$  (کل مصرف ماهیانه هنگام اوج بار) (۷)

تخفیف به ازای مصرف هنگام بی‌باری =  $T_{22,5}$  (کل مصرف ماهیانه هنگام بی‌باری) (۸)

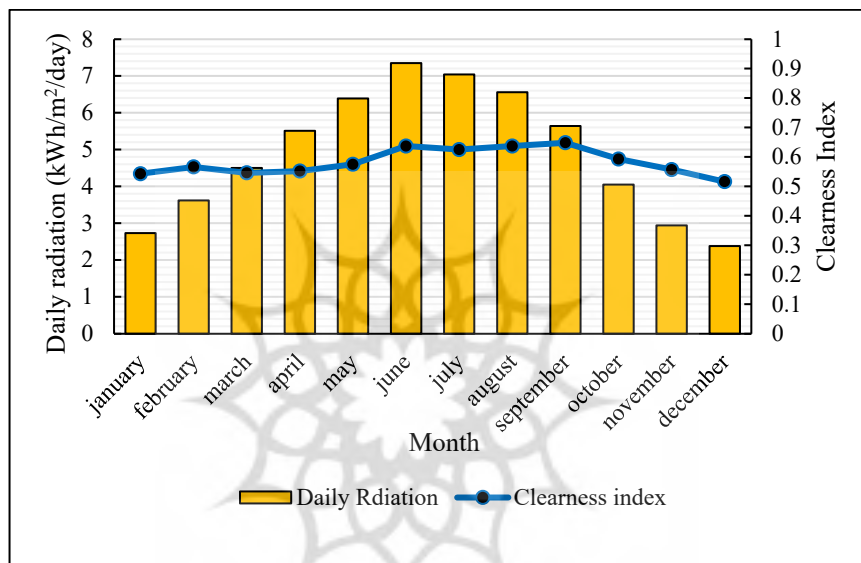
بنابراین، برای ساختمانی در شهر تهران که جزء مناطق عادی (غیر گرمسیر) جغرافیایی است، طبق تعرفه‌های یادشده هزینه‌های برق مصرفی به صورت جدول ۵ به دست می‌آید.

سود حاصل از سیستم تأمین‌کننده کامل اوج بار

برای محاسبه میزان سود حاصل از تأمین برق مصرفی از طریق سیستم PV و باتری میزان صرفه‌جویی انجام‌گرفته در مصرف برق را

جدول ۵. تعرفه برق مصرفی به ازای مصارف مختلف ماهانه

متوسط انرژی مصرف ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت هر کیلووات ساعت (بی باری)	قیمت هر کیلووات ساعت (کم باری)	قیمت هر کیلووات ساعت (اوج)
۰ تا ۱۰۰	۲۲/۵	۴۵	۹۰
۱۰۰ تا ۲۰۰	۳۰	۵۲/۵	۹۷/۵
۲۰۰ تا ۳۰۰	۹۰	۱۱۲/۵	۱۵۷/۵
۳۰۰ تا ۴۰۰	۱۸۰	۲۰۲/۵	۲۴۷/۵
۴۰۰ تا ۵۰۰	۲۱۰	۲۳۲/۵	۲۷۷/۵
۵۰۰ تا ۶۰۰	۲۷۰/۱	۲۹۲/۶	۳۳۷/۶
بیش از ۶۰۰	۳۰۰/۱	۳۲۲/۶	۳۶۷/۶



شکل ۵. داده‌های تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال ۵۹۳۱ شهر تهران

تأمین توان اضافه تولیدی توسط PV که بیش از ظرفیت باتری است و مستقیم وارد مصرف خانگی می‌شود در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۶ نمایش داده شده است، بیشترین میزان مصرف ماهانه برابر با ۴۵۵ کیلووات ساعت و مربوط به ماه مرداد می‌شود. از آنجا که این ماه در میانه تابستان قرار دارد، می‌توان حدس زد که به علت افزایش نیاز به سرمایش و کارکرد وسایل سرمایشی خانه این اتفاق افتاده است. از طرف دیگر، کمترین میزان مصرف ماهانه مربوط به بهمن‌ماه با مصرف ۳۳۰ کیلووات ساعت است.

همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، میزان تولید بیش از ظرفیت باتری نیز در ماه مرداد به اوج خود می‌رسد. در این ماه ۱/۶۹ برابر برق بیش از ظرفیت باتری تولید می‌شود. کمترین میزان نیز مربوط به بهمن‌ماه و برابر با ۱/۰۷ برابر برق تولیدی است. از آنجا که هیچ‌یک از اعداد این بخش کمتر از یک نیست، یعنی نرم‌افزار هومر سایزینگ درستی را برای باتری‌ها

کیلووات ساعت) = هزینه صرفه‌جویی‌شده در زمان پیک + هزینه صرفه‌جویی‌شده از تولید بیش از پیک + هزینه صرفه‌جویی‌شده از تولید اضافه بر ظرفیت باتری (۱۰) تأثیر کاهش پله مصرف نیز از معادله ۱۱ محاسبه می‌شود. تأثیر کاهش پله مصرف در هرماه = (مصرف جدید هرماه \* هزینه پله مصرفی متناظر) - (مصرف قدیم هرماه \* هزینه پله مصرفی متناظر) (۱۱)

#### یافته‌ها

با در نظر گرفتن میانگین مصرف روزانه ۱۲/۵ کیلووات ساعت برای مصرف‌کننده مطابق شکل ۵ میزان مصرف هنگام پیک، بی‌باری و کم‌باری برای ماه‌های مختلف و مصرف کلی در هر ماه در جدول ۶ نشان داده شده است. همچنین، اضافه توان تولیدی توسط ظرفیت نصب‌شده و میزان

جدول ۶. میزان مصرف هنگام پیک، تولید بیش از پیک، تولید بیش از ظرفیت باتری و مصرف کلی در ماه‌های مختلف

ماه	میزان مصرف هنگام پیک (kWh)	میزان تولید بیش از پیک (kWh)	میزان تولید بیش از ظرفیت باتری (kWh)	مصرف ماهانه (kWh)
فروردین	۲/۰۷	۲/۱۳	۱/۳۶	۳۴۰
اردیبهشت	۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۳۰	۳۵۰
خرداد	۲/۶۸	۱/۴۴	۱/۳۲	۴۱۰
تیر	۳/۱۳	۱/۰۷	۱/۴۹	۴۲۲
مرداد	۴/۱۲	۰/۰۸	۱/۶۹	۴۵۵
شهریور	۲/۶۸	۱/۵۲	۱/۴۸	۴۴۰
مهر	۲/۳۴	۱/۸۶	۱/۳۱	۳۸۰
آبان	۲/۳۴	۱/۸۶	۱/۲۸	۳۵۸
آذر	۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۱۲	۳۴۰
دی	۲/۶۷	۱/۵۳	۱/۰۹	۳۳۵
بهمن	۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۰۷	۳۳۰
اسفند	۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۱۰	۳۷۰

آن ماه جولای و آگوست بیشترین میزان تابش خورشید را دارند. این میزان تابش‌ها به ترتیب برابر با ۷/۳۵، ۷/۰۴ و ۶/۵۶ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع در روز است. درخور یادآوری است که کمترین میزان تابش مربوط به ماه دسامبر با ۲/۳۸ کیلووات ساعت بر متر مربع در هر روز است. این تاریخ مربوط به زمستان ایران می‌شود که میانگین تابش خورشید به حداقل خود می‌رسد. صافی هوا نیز یک عامل مهم در تعیین راندمان و برق تولیدی پنل‌های خورشیدی است. این عامل مهم در شکل ۵ در کنار میزان تابش خورشیدی نمایش داده شده است. خوشبختانه، میانگین صافی هوا در تهران عدد قابل قبولی است و اثر منفی روی برق تولیدی پنل‌های خورشیدی ندارد. بیشترین میزان صافی هوا مربوط به ماه سپتامبر بوده و برابر با عدد ۰/۶۴۸ است. پس از ماه سپتامبر ماه آگوست با صافی ۰/۶۳۷ دارای بیشترین و بهترین صافی هواست. ماه دسامبر نیز با صافی ۰/۵۱۷ دارای کمترین میزان صافی هوا است. علاوه بر اطلاعات مربوط به تابش خورشیدی و صافی هوا، دمای محیط نیز مطابق معادله ۳ روی برق تولیدی و نتایج نهایی تحقیق اثر می‌گذارد. شکل ۶ دمای محیط نصب پنل‌های خورشیدی را نمایش می‌دهد. این اطلاعات همانند اطلاعات موجود در شکل ۵ از سایت ناسا به دست آمده است.

بر اساس شکل ۶، بیشترین دمای محیط برابر با ۲۳/۸۸ درجه بوده و مربوط به ماه جولای است. پس از ماه جولای، آگوست با ۲۳/۷۷ درجه

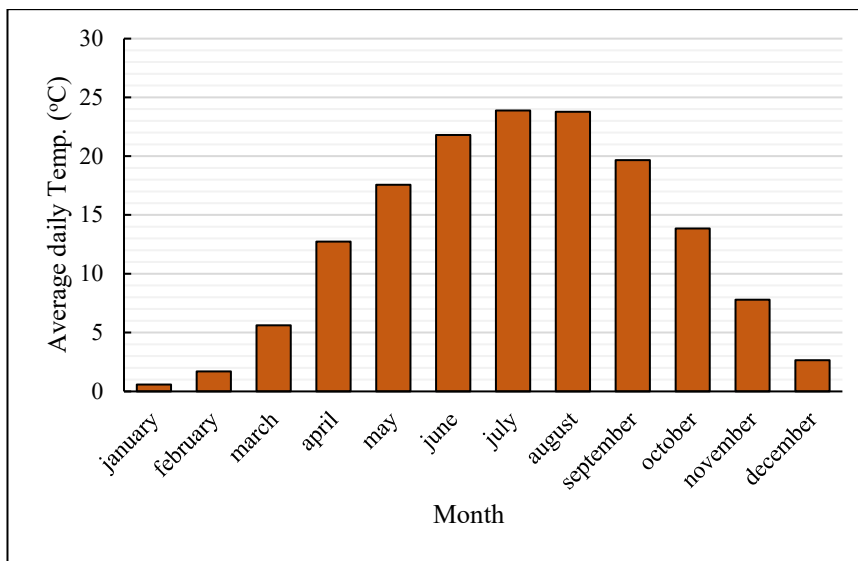
محاسبه کرده است.

در توضیح ستون سوم جدول ۶ می‌توان گفت که بعد از نصب ظرفیت ماکزیمم ۴/۲ کیلووات ساعت در ماههایی که نیاز بخش مصرفی، کمتر از این میزان است، باقی‌مانده آن در بقیه ساعت‌های روز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بهترین استراتژی استفاده از این انرژی در ساعت کم‌باری است و تا حد امکان نباید از آن هنگام بی‌باری استفاده کرد؛ بنابراین ظرفیت نصب‌شده را از میزان مصرف در زمان اوج ماه‌های مختلف کم می‌کنیم و مقدار باقی‌مانده را در زمان کم‌باری مورد استفاده قرار می‌دهیم.

همچنین، در توضیح ستون چهارم جدول می‌توان گفت که در روزهایی از سال که از تابش مناسبی برخوردارند و توان تولیدی توسط PV طی روز بیش از ۴/۲ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کند که از میزان ظرفیت باتری نصب‌شده بیشتر است، می‌توان این انرژی الکتریکی را مستقیم مورد استفاده قرار داد. برای محاسبات این بخش از داده‌های سایت ناسا برای شبیه‌سازی تابش خورشید در ماه‌های مختلف در شهر تهران استفاده شده است (شکل ۵).

از آنجا که ساعت‌های تابش حداکثری خورشید در روزهای مختلف خود به خود منطبق بر ساعت‌های کم‌باری هستند، سودبخش‌ترین استراتژی به وقوع می‌پیوندد.

بر اساس شکل ۵، بیشترین میزان تابش خورشید مربوط به ماه جون است که تقریباً اواسط خرداد تا تیر ماه را شامل می‌شود. بعد از



شکل ۶ میانگین دمای روزانه محیط نصب پنل‌های خورشیدی

دولت و توسعه پایدار جامعه عمل پوشاند. در این مقاله پس از معرفی سایزینگ به عنوان گام اول و اساسی نصب و تجهیز سیستم‌های PV و باتری، روش‌های گوناگون آن معرفی و موارد استفاده هر یک در نقاط مختلف دنیا بررسی شد. در گام بعدی، زمان ورود شبکه سراسری برق به پیک بار در ماه‌های مختلف سال مشخص شد. سپس، بار الکتریکی یک ساختمان با استفاده از نرم‌افزار هومر در دوازده ماه سال شبیه‌سازی شد و میزان مصرف در ساعت‌های مختلف روز مشخص شد. به منظور به حداقل رساندن هزینه برق مصرفی برای خانه مورد نظر پیشنهاد شد سیستم PV و باتری فقط در زمان‌های پیک بار که قیمت برق مصرفی در گران‌ترین حالت قرار دارد، برق خانه مورد نظر را تأمین کند، زیرا تأمین کامل برق واحد مورد نظر از سیستم PV و باتری به هزینه اولیه زیادی نیاز دارد.

روش پیشنهاد شده برای سایزینگ بدون نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری زیاد در کارآمدترین حالت تمام نیاز الکتریکی خانه مورد نظر را در زمان پیک بار شبکه از سیستم PV و باتری تأمین و هزینه برق را به شدت کاهش می‌دهد.

در انتها، پس از محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری و عملکرد سیستم و همچنین، در نظر گرفتن سود سالیانه‌ای که سیستم برای خانوار به همراه دارد برای حصول دوره بازگشت سرمایه ۴ ساله، میزان یارانه‌ای که دولت باید در اختیار خانوار برای تأمین بار خانگی در زمان پیک قرار دهد، مشخص شد.

در صورت اینکه این طرح به درستی اجرا شود، می‌تواند نتایج زیر را در طولانی مدت به همراه داشته باشد:

- ایجاد نیروگاه‌های خانگی با تعداد زیاد به جای استفاده از یک

بیشترین دمای محیطی و چون در جایگاه سوم با ۲۱/۸ درجه قرار دارد. این سه ماه که بیشترین دما دارند بیشترین اثر را روی راندمان پنل‌های خورشیدی دارند.

با توجه به میزان برق تولیدی در هر ماه سالانه ۱،۲۲۱،۱۸۲ تومان سود عاید خانوار خواهد شد. با توجه به هزینه اولیه ۱۰،۲۷۰،۰۰۰ تومان به نظر می‌رسد بدون کمک دولت و اهدای یارانه برای نصب و اجرای چنین سیستم‌هایی وجود این سیستم‌ها برای خانوار به صرفه نیست. برای محاسبه یارانه منصفانه‌ای که دولت می‌تواند در اختیار این افراد قرار دهد بازگشت سرمایه‌ای ۴ ساله برای سرمایه‌گذاری اولیه معقول و منطقی به نظر می‌آید. در این راستا، بدون در نظر گرفتن نرخ تورم و با توجه به سود سالانه ۱،۲۲۱،۱۸۲ تومانی و هزینه عملکرد سالانه ۶۲،۴۰۰ تومان سرمایه‌گذاری به مبلغ ۴،۶۳۵،۱۲۸ تومان برای خانوار منصفانه خواهد بود و بنابراین، دولت باید ۵،۶۳۴،۸۷۲ تومان به ازای چنین طرح‌هایی پرداخت کند.

### بحث و نتیجه‌گیری

بحران انرژی و آلودگی محیط زیست جوامع را مجاب به حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر کرده است. ایران نیز از این قاعده جدا نیست و طبق قانون پنجم برنامه ششم توسعه دولت باید میزان برق تولیدی تجدیدپذیر را به ۵ درصد کل برق تولیدی کشور برساند. از این‌رو، پیشنهاد شده است که به جای ساخت نیروگاه‌های بزرگ تجدیدپذیر که نیاز به سرمایه اولیه بسیار زیاد و نگهداری گران‌قیمت دارند، به نیروگاه‌های کوچک خانگی رو آورد. با حمایت دولت و ایجاد یک یارانه مناسب برای حرکت به سمت ساخت تعداد زیاد نیروگاه‌های خانگی توسط مردم، می‌توان بر برنامه‌های پیش‌بینی شده

- accuracy of generated meteorological data for use in solar energy simulation studies. *Solar Energy*. 1994 Sep 1;53(3):279-87.
- [6] Wahab MA, Essa KS. Extrapolation of solar irradiation measurements: case study over Egypt. *Renewable energy*. 1998 May 1;14(1-4):229-39.
- [7] Gordon JM, Reddy TA. Time series analysis of hourly global horizontal solar radiation. *Solar Energy*. 1988 Jan 1;41(5):423-9.
- [8] Chen SG. An efficient sizing method for a stand-alone PV system in terms of the observed block extremes. *Applied energy*. 2012 Mar 1;91(1):375-84.
- [9] Agbossou K, Kolhe M, Hamelin J, Bose TK. Performance of a stand-alone renewable energy system based on energy storage as hydrogen. *IEEE Transactions on energy Conversion*. 2004 Aug 24;19(3):633-40.
- [10] Ekren O, Canbaz CH, Güvel ÇB. Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software. *Journal of Cleaner Production*. 2021 Jan 10;279:123615.
- [11] Zhang G, Xiao C, Razmjoo N. Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study. *International Journal of Ambient Energy*. 2020 Dec 29:1-4.
- [12] Ali G, Aly HH, Little T. Using HOMER software to investigate, size and apply renewable energy sources in a convention center in Sabratha, Libya. In 2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE) 2021 Jun 12 (pp. 1-6). IEEE.
- [13] Vendoti S, Muralidhar M, Kiranmayi R. Techno-economic analysis of off-grid solar/wind/biogas/biomass/fuel cell/battery system for electrification in a cluster of villages by HOMER software. *Environment, Development and Sustainability*. 2021 Jan;23(1):351-72.
- [14] Sanjay KC, Karthikeyan M, Prasannakumaran KM, Kirubakaran V. Techno commercial study of hybrid systems for the agriculture farm using homer software. *Hybrid Renewable Energy Systems*. 2021 Mar 11:115-33.
- [15] Sood PK, Lipo TA, Hansen IG. A versatile power converter for high frequency link systems. In 1987 2nd IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 1987 Mar 2 (pp. 249-256). IEEE.
- [16] Nehrir MH, Wang C, Strunz K, Aki H, Ramakumar R, Bing J, Miao Z, Salameh Z. A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications. *IEEE transactions on sustainable energy*. 2011 May 27;2(4):392-403.
- [17] Kahraman C, Kaya İ, Cebi S. A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*. 2009 Oct 1;34(10):1603-16.
- [18] Beccali M, Cellura M, Mistretta M. Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable energy*. 2003 Oct 1;28(13):2063-87.
- [19] Goletsis Y, Psarras J, Samouilidis JE. Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Annals of operations research*. 2003 Apr;120(1):135-57.
- [20] Kasaeian A, Rahdan P, Rad MA, Yan WM. Optimal design

نیروگاه بسیار بزرگ و متمرکز، هزینه‌های اولیه و جاری دولت برای تولید انرژی به‌ویژه انرژی پاک را کاهش خواهد داد.

• با افزایش استفاده خانوارها از برق تجدیدپذیر به صورت سیستم متصل به شبکه PV و باتری، فشار موجود از روی شبکه برق برداشته می‌شود. در این حالت می‌توان برق موجود در شبکه را برای مصارف صنعتی و غیره استفاده کرد و از قطعی‌های پیاپی برق و آسیب دیدن صنایع و مشاغل جلوگیری کرد.

• با افزایش استفاده از انرژی تجدیدپذیر توسط خانوارها و کاهش فشار روی شبکه، شبکه سراسری برق فرصت بیشتری برای رشد و ارتقا خواهد داشت که خود باعث کاهش دفعات قطعی برق در آینده خواهد شد.

• علاوه بر مزایای اقتصادی و فنی این طرح، با ایجاد یارانه منصفانه برای استفاده از برق تجدیدپذیر توسط خانوارها، شاهد کاهش تولید دی‌اکسید کربن و کاهش آلودگی هوا خواهیم بود.

افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر توسط خانوارها باعث افزایش شغل در جامعه خواهد بود. افزایش نیاز به تجهیزات، متخصصان نصب و راه‌اندازی سیستم‌های تجدیدپذیر و... همگی به بهبود وضعیت اقتصادی و ایجاد چرخه درآمدزایی در آینده کمک خواهد کرد.

#### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول، نگارنده مقدمه / پژوهشگر اصلی / نگارنده نتایج و بحث (۵۰ درصد)؛ نویسنده دوم، نگارنده روش شناسی / پژوهشگر اصلی / تحلیلگر آماری (۲۵ درصد)؛ نویسنده سوم، نگارنده روش شناسی / پژوهشگر اصلی / ویراستار نهایی (۲۵ درصد)؛

#### تشکر و قدردانی

موردی از سوی نویسندگان بیان نشده است.

#### تعارض منافع

این مقاله فاقد تعارض منافع است.

#### منابع

- [1] Hosseini SH, Ghaderi SF, Shakouri GH. An investigation on the main influencing dynamics in renewable energy development: A systems approach. In 2012 Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation 2012 Mar 6 (pp. 92-97). IEEE.
- [2] Elhadidy MA, Shaahid SM. Parametric study of hybrid (wind+ solar+ diesel) power generating systems. *Renewable energy*. 2000 Oct 1;21(2):129-39.
- [3] Bhave AG. Hybrid solar-wind domestic power generating system—a case study. *Renewable energy*. 1999 Jul 1;17(3):355-8.
- [4] Beyer HG, Langer C. A method for the identification of configurations of PV/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads. *Solar energy*. 1996 Nov 1;57(5):381-91.
- [5] Gansler RA, Klein SA, Beckman WA. Assessment of the



- building in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 Jun 1;143:110877.
- [23] Arasteh MA, Farjami Y. New Hydro-economic System Dynamics and Agent-based Modeling for Sustainable Urban Groundwater Management: A Case Study of Dehno, Yazd Province, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Jun 10:103078.
- [24] Ahmadi S, Abdi S. Application of the Hybrid Big Bang–Big Crunch algorithm for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system. *Solar Energy*. 2016 Sep 1;134:366-74.
- and technical analysis of a grid-connected hybrid photovoltaic/diesel/biogas under different economic conditions: A case study. *Energy Conversion and Management*. 2019 Oct 15;198:111810.
- [21] Jahangir MH, Javanshir F, Kargarzadeh A. Economic analysis and optimal design of hydrogen/diesel backup system to improve energy hubs providing the demands of sport complexes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021 Apr 19;46(27):14109-29.
- [22] Taghavifar H, Zomorodian ZS. Techno-economic viability of on grid micro-hybrid PV/wind/Gen system for an educational

