

سایزینگ بهینه سیستم PV و باتری خانگی متصل به شبکه برق سراسری با توجه به پیک بار شبکه

اشکان توپ شکن^۱، فاطمه رازی آستارایی^۲، حسین یوسفی^{*۲}

۱- دانشجوی دکتری، رشته مهندسی انرژی‌های تجدید پذیر، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

مقاله حاضر به ارائه روشی در سایزینگ سیستم ترکیبی باتری و PV متصل به شبکه برق با هدف تامین بار مصرفی هنگام پیک بار شبکه می‌پردازد. سیستم‌های PV و باتری که امروزه در بسیاری از بخش‌های خانگی، اداری و تجاری در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند غالباً به شبکه برق سراسری متصل می‌باشند و سیستم PV و باتری به عنوان سیستم پشتیبان (Backup) در نظر گرفته می‌شود. مهم ترین کارکرد چنین سیستمی جدا از تامین برق به هنگام قطع شدن برق سراسری، به حداقل رساندن هزینه برق مصرفی از طریق کاهش مصرف برق در هنگام پیک بار شبکه است. در ابتدا بار مصرفی مورد نیاز بخش خانگی با استفاده از نرم‌افزار HOMER شبیه‌سازی شده است. بر اساس زمان پیک بار اعلام شده توسط شبکه سراسری برق ایران، میزان بار مصرفی در زمان پیک به دست آمده و بیشترین میزان برق مصرفی هنگام پیک در ماه‌های گوناگون برابر با ظرفیت سیستم PV و باتری در نظر گرفته شده است. از آنجا که برق تامین شده توسط این سیستم گران‌ترین نوع برق مصرفی است استفاده از سیستم PV و باتری توجیه‌پذیر می‌باشد.

کلیدواژه‌گان: انرژی‌های تجدید پذیر، سایزینگ، سیستم PV و باتری، پیک بار شبکه، نرم افزار HOMER

Optimal Sizing for on grid Residential PV-Battery System Due to the Peak Load of Electricity Grid

Ashkan Toopshakan¹, Fatemeh Razi Astarai², Hossein Yousefi^{*2}

1- PhD Student, Renewable Energies Engineering, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: February 2018 Accepted: December 2018

Abstract

This paper proposes a new method for sizing a residential on-grid PV battery systems based on peak of electricity grid. Nowadays PV battery systems are usually connected to the grid and renewable electricity generation considered as backup. Minimizing cost is one of the most important goals for this systems. For obtaining electricity demand a residential section simulated by HOMER software. According to announced peak time of power grid, electricity demand in peak time is calculated. Maximum demand in peak time provides Battery and PV size. Since the electricity provides with this system is expensive using PV battery system is reasonable.

Keywords: renewable energy, sizing, PV Battery system, Homer software

۱- مقدمه

روش سرانگشتی قدیمی ترین روش سایزینگ است و همانگونه که از نامش پیداست به طور تقریبی و حدودی سایز مورد نظر را به دست می دهد [۲]. مزیت این روش سرعت زیاد و محاسبه ی ساده آن و از معایب آن درصد خطای قابل توجه در بعضی مواقع و قابلیت اطمینان کم و نیاز به سرمایه گذاری اولیه بیشتر می باشد. در این روش سایزینگ پنل های فتولتاییک از میزان توانی که تامین کننده ی بار مصرفی است ضرب در یک ضریب اطمینان S_f به دست می آید. این ضریب معمولاً بر اساس تجربه ی طراح انتخاب می شود [۳].

$$P_{pv} = \frac{E_L}{\mu_s \cdot \mu_{inv} \cdot PSH} S_f$$

E_L میزان انرژی مصرفی بخش مورد نظر، μ_s بازده پنل فتولتاییک مورد استفاده، μ_{inv} بازده اینورتر و PSH میزان تابش خورشید است و معادله ۱ توان مورد نیاز برای PV را به دست می دهد.

در روش عددی که پیشرفته تر و دقیق تر از روش سرانگشتی است محاسبه ی سایز PV و باتری به وسیله ی حل تکراری (تکرار داده های جدید در هر مرحله تا زمان به دست آمدن جوابی قابل قبول) انجام می شود. با محاسبه پارامترهای تکنیکی (مانند درصد عدم توانایی تامین بار، مدت زمان عدم تامین بار و ...) و در نظر گرفتن کمینه و بیشینه سایز مورد نظر برای PV و باتری این روش، اولین و کمترین توان قابل قبول برای PV و باتری را به دست می دهد [۴،۵].

در روش تحلیلی تمام سایزهای باتری از کمترین مقدار تا بیشترین مقدار برای سایز PV مورد نظر امتحان می شود. در صورتی که توان مورد نیاز تامین نشود سایز PV یک پله بزرگتر می شود و دوباره تمام باتری های ممکن برای آن انتخاب می شود و این چرخه همینطور ادامه می یابد تا به اولین جواب مناسب برسیم [۶،۷].

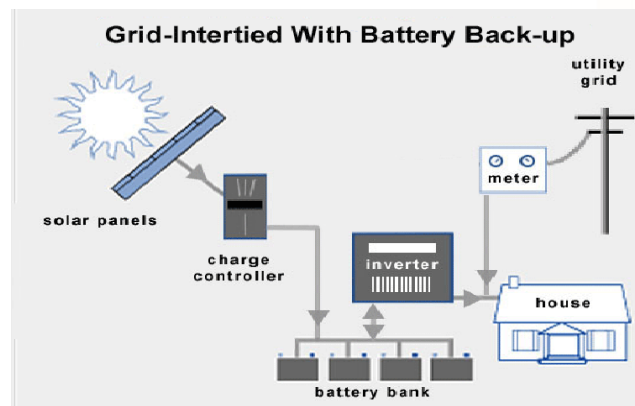
در روش تحلیلی نموداری از متغیرهای تصمیم گیری (در اینجا سایز PV و باتری و پارامترهای تکنیکی) بر حسب هم و برای تمام مقادیر کشیده می شود و از روی این نمودارها بهترین سایز PV و باتری انتخاب می شود. در این روش بر خلاف روش های عددی سایز PV و باتری هم زمان به دست می آید و کمترین میزان اندازه مورد نظر برای پاسخگویی به نیازهای مصرف کننده انتخاب می شود. [۸-۱۲].

امروزه سایزینگ با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری بیشترین کاربرد را در بین روش های مختلف سایزینگ دارد و دلیل این امر دقت زیاد و راحت بودن این روشها است. معروفترین نرم افزار کامپیوتری که در زمینه ی سایزینگ کارایی چشمگیری دارد نرم افزار HOMER است که آزمایشگاه ملی انرژی های تجدید پذیر آمریکا آن را طراحی کرده و در اختیار عموم قرار داده

در دنیای امروز و با گسترش هرچه بیشتر تکنولوژی و ابزارهای صنعتی و همچنین نیاز به تامین انرژی مورد نیاز صنایع گوناگون، استفاده از انرژی های نو و تجدید پذیر به امری اجتناب ناپذیر بدل شده است. در این میان انرژی خورشیدی از جایگاه ویژه ای برخوردار است و استفاده از این انرژی با سرعتی چشمگیر رو به افزایش می باشد. در این میان استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل عدم قطعیت هایی در تولید توان (عدم تابش یکنواخت خورشید و شرایط اقلیمی و منطقه ای، عدم تطابق دقیق زمان تولید و مصرف توان الکتریکی و...) دارای قابلیت اطمینانی کمتر از تامین انرژی از سوخت های فسیلی است که این امر وجود باتری و ذخیره سازهای انرژی الکتریکی را ضروری می سازد.

از سویی دیگر هزینه ی خرید و نصب اولیه ی بالای باتری و پنل های فتولتاییک ما را ملزم به ارزیابی و بررسی دقیق توان مورد نیاز و "سایزینگ" باتری و پنل های فتولتاییک می نماید تا با کمترین هزینه ممکن انرژی مورد نیاز را تامین کنیم.

در این مقاله پس از بررسی انواع روش های سایزینگ پنل های فتولتاییک و باتری روشی برای سایزینگ باتری و PV پیشنهاد می شود که با استفاده از میزان برق مصرفی یک خانه مسکونی در هنگام پیک بار شبکه سراسری برق به دست آمده است. در این روش 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 هزینه های برق مصرفی آن واحد می شود.



شکل ۱ بخش خانگی متصل به شبکه سراسری برق و مجهز به باتری و پنل های فتولتاییک

۲- پیشینه تحقیق

روش های سایزینگ به شش دسته ی کلی تقسیم می شود. روش های سر-انگشتی، عددی، تحلیلی، نرم افزارهای کامپیوتری، هوش مصنوعی و روش های ترکیبی [۱]. این روشها در طول زمان پیشرفت کرده و با دقت بالاتری میزان توان مورد نیاز یک مصرف کننده را محاسبه می کنند.



از سیستم PV و باتری به عنوان سیستم پشتیبان برای تامین مصرف برق در زمان پیک بار شبکه است تا از این راه هزینه های برق مصرفی به حداقل برسد. سایزینگ چنین سیستمی مستلزم دانستن بار مصرفی خانه در زمان پیک بار سراسری شبکه برق است.

با شبیه سازی بار مصرفی خانه ی مورد نظر در ۱۲ ماه سال مطابق قسمت قبل می توان میزان بار مصرفی خانه را به دست آورد. خانه مورد نظر در شهر تهران با طول جغرافیایی ۳۵,۶۸ و عرض ۵۱,۳۸ قرار دارد. در شکل ۵ زمان پیک بار شبکه برای ماه های 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 ماه های مختلف محاسبه شده است. گفتنی است پیک بار مصرفی خانه لزوماً منطبق بر پیک بار شبکه برق نمی باشد و اطلاعات مستخرج از ساعات پیک شبکه سراسری برق تنها در قیمت گذاری برق مصرفی خانه مورد نظر مورد استفاده قرار می گیرد. فرهنگ مصرف خانه می تواند منطبق بر مصرف میانگین جامعه (پیک مصرف در هنگام پیک شبکه) باشد و یا متفاوت از آن در نظر گرفته شود. خانه در نظر گرفته شده در بعضی از ماه ها مطابق شبکه و در بعضی ماه ها متفاوت از آن عمل کرده است.

است. در این نرم افزار با وارد کردن داده های بار مصرفی خانه و انواع سایز های PV و باتری های موجود و همچنین اتصال و یا عدم اتصال بخش مورد نظر به شبکه برق سراسری، نرم افزار بهترین ترکیب و بهترین سایز از سیستم ها را به ترتیب اولویت برای کاربر فهرست بندی می کند [۱۳-۱۵].

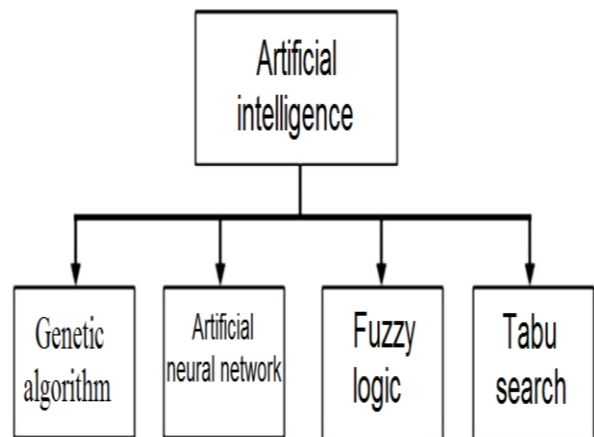
روش های هوش مصنوعی مورد استفاده در سایزینگ به ۴ گروه کلی تقسیم می شوند [شکل ۲] در تمامی این روش ها جمعیتی اولیه تولید و سپس با استفاده از ارزیابی های صورت گرفته مقادیر توابع هدف بهبود می یابند تا به پاسخ مورد نظر نزدیک شوند [۱۶، ۱۴].

در این مقاله بر خلاف روش های ذکر شده که تنها بار الکتریکی مصرفی واحد مورد نظر محاسبه و ظرفیت مناسب برای تامین بار تعیین می شد، پروفیل بار شبکه سراسری برق نیز مد نظر قرار گرفته است.

در ابتدا زمان پیک بار شبکه برق مشخص می شود و سپس بار الکتریکی مصرفی واحد مورد نظر در هنگام پیک بار شبکه محاسبه می گردد تا ظرفیت سیستم به گونه ای تعیین شود که در طول زمان پیک بار پاسخگوی خانه ی مورد نظر باشد.

ساعات آغاز و پایان دوره های مختلف مصرف برق در تیرماه الی اسفندماه ۹۵										
ماه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	مهر
۱	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M
۲	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۳	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۴	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۵	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۶	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۷	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۸	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
۹	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M
۱۰	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۱	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۲	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۳	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۴	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۵	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۶	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۷	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
۱۸	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
۱۹	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P
۲۰	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P
۲۱	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
۲۲	P	P	P	M	M	M	M	M	P	P
۲۳	P	P	P	M	M	M	M	M	M	M
۲۴	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

شکل ۳. ساعات پیک بار مصرفی اعلام شده توسط وزارت نیرو



شکل ۲. انواع روشهای هوش مصنوعی مورد استفاده در سایزینگ

۳- روش تحقیق

در این مقاله بار الکتریکی مصرفی یک خانه مسکونی در یک ماه اندازه گیری شده و سپس با استفاده از نرم افزار HOMER برای کل سال شبیه سازی شده است. همچنین 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 خانه تقریباً برابر ۱۰ kWh و ماکزیمم تا ۱۵ kWh به دست آمده است. نحوه ی مصرف بار الکتریکی در ساعت های مختلف روز در شکل ۴ مشخص شده است.

تعرفه مصرف برق در کشور ایران در ساعات مختلف روز متفاوت است. زمان شروع و اتمام پیک بار شبکه بر اساس اعلام وزارت نیرو در ماه های تیر تا اسفند سال ۱۳۹۵ مطابق شکل ۳ می باشد [۱۱]. این جدول از اطلاعات بورس انرژی ایران بدست آمده است. اطلاعات کامل در باره پیک بار، میان باری و کم باری نیز آورده شده است. روش پیشنهادی در این مقاله استفاده



عنوان سایز مورد نظر برای تامین کامل بار خانگی در زمان پیک انتخاب می شود. با در نظر گرفتن میانگین ۵ ساعت آفتابی در هر روز برای PV ظرفیت حدود ۸۰۰KW و برای باتری نیز دقیقاً برابر بیشترین میزان مصرف یعنی ۴,۱۲KWh به دست می آید.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله پس از معرفی سایزینگ به عنوان گام اول و اساسی نصب و تجهیز سیستم های PV و باتری، روش های گوناگون آن معرفی و موارد استفاده ی هر کدام در نقاط مختلف دنیا بررسی شد. در گام بعدی زمان ورود شبکه سراسری برق به پیک بار در ماه های مختلف سال مشخص گردید.

سیس بار الکتریکی یک ساختمان با استفاده از نرم افزار HOMER در دوازده ماه سال شبیه سازی شد و میزان مصرف در ساعات مختلف روز مشخص شد.

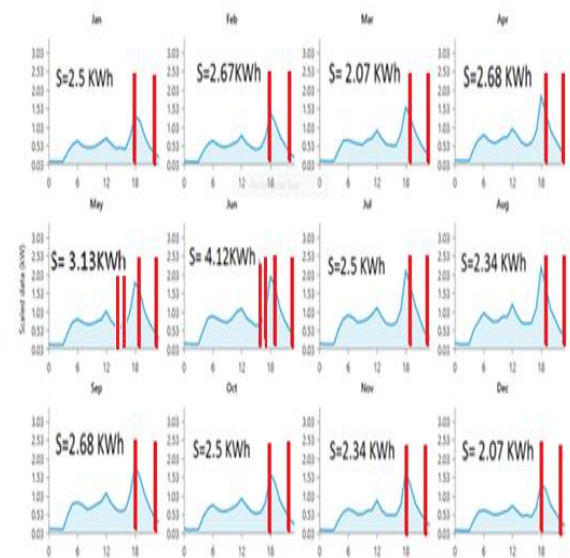
به منظور به حداقل رساندن هزینه برق مصرفی برای خانه ی مورد نظر پیشنهاد شد سیستم PV و باتری تنها در زمان های پیک بار که قیمت برق مصرفی در گرانترین حالت قرار دارد برق خانه مورد نظر را تامین کند زیرا تامین کامل برق واحد مورد نظر از سیستم PV و باتری به هزینه اولیه زیادی نیاز دارد. روش پیشنهاد شده برای سایزینگ بدون نیاز به هزینه سرمایه گذاری بالا در کارآمدترین حالت تمام نیاز الکتریکی خانه ی مورد نظر را در زمان پیک بار شبکه از سیستم PV و باتری تامین و هزینه برق را به شدت کاهش می دهد.

۶- مراجع

- [1]. Agbossou K, Kolhe M, Hamelin J, Bose TK. Performance of a stand-alone renewable energy system based on energy storage as hydrogen. IEEE Trans ENERGY Convers 2004; 19: 633-40.
- [2]. 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. Renew. Energy 2003; 28:2063-87. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00102-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00102-2)
- [3] Beyer HG, Langer C. A method for the identification of configurations of PV/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads. Sol Energy ۱۹۹۶; ۵۷:۲۸۱-۹۱. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00118-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00118-1)
- [4] Bhave A. Hybrid solar-wind domestic power generating system—a case study. RenewEnergy1999;17:355-8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-۴۸۱\(۹۸\)۰۰۱۲۳-۲](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-۴۸۱(۹۸)۰۰۱۲۳-۲)
- [5] Chen S-G. An efficient sizing method for a stand-alone PV system in terms of the observed block extremes. Appl Energy 2012;91:375-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.043> <http://dx.doi.org/10.1306/۴D۷۱BC۲-۲B۲۱-۱۱D۷-8648000102C1865D>
- [6] Elhadidy MA, Shaahid SM. Parametric study of hybrid (wind + solar + diesel) power generating systems. Renew Energy 2000; 21:129-39.
- [7] Gansler RA, Klein SA, Beckman WA. Assessment of the accuracy of generated meteorological data for use in solar energy simulation studies. Sol Energy 1994; 53:279-87. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092\(94\)90634-3](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092(94)90634-3)



شکل ۴. شبیه سازی بار مصرفی یک خانه با نرم افزار HOMER



شکل ۵. محاسبه ی مساحت زیر منحنی بار خانگی در زمان های پیک بار شبکه

۴. سایزینگ

برای سایزینگ سیستم PV و باتری با این روش می توان سناریوهای متفاوتی تعریف کرد. با محاسبه هزینه برای ظرفیت های متفاوت سیستم PV و باتری می توان ظرفیتی را انتخاب کرد که با تامین بخشی از مصرف بیشترین سود به نسبت هزینه را برای مصرف کننده در بر داشته باشد اما در این مقاله، تامین بار الکتریکی مصرفی در هنگام پیک به طور کامل مد نظر قرار گرفته است.

برای تامین کامل برق مصرفی خانه در زمان پیک بار لازم است بیشترین مصرف در هنگام پیک بار در ماه های مختلف انتخاب شود. همانگونه که از شکل ۵ مشخص است بیشترین مساحت به دست آمده ۴,۱۲kWh است که به



- [8] Goletsis Y, Psarras J, Samouilidis JE. Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Ann Oper Res* 2003; 120:135–57. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023330530111>
- [9] Gordon JM, Reddy TA. Time series analysis of hourly global horizontal solar radiation. *Sol Energy* 1988; 41:423–9. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092\(88\)90016-3](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092(88)90016-3)
- [10] Hosseini, S. H., Ghaderi, S. F., & Shakouri, G. H. (2012). An investigation on the main influencing dynamics in renewable energy development: A systems approach. Paper presented at the 2012 2nd Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, ICREDG 2012, 92-97. Retrieved from www.scopus.com
- [11] اطلاعیه ساعات آغاز و پایان دوره های مختلف مصرف برق در تیر ماه الی " [11] <http://www.irenex.ir/Site.aspx?ParTree=1113> /سفندماه ۱۳۹۵
- [12] Kahraman C, Kaya _I, Cebi S. A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy* 2009; 34:1603–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.008>.
- [13] Kellogg, W.D., Nehrir, M.H., Venkataramanan, G., Gerez, V., 1998. Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic and hybrid wind/PV.
- [14] Maharjan L, Inoue S, Akagi H. A transformerless energy storage system based on a cascade multilevel PWM converter with star configuration. *IEEE Trans Ind Appl* 2008; 44:1621–30.
- [15] Nehrir MH, Wang C, Strunz K, Aki H, Ramakumar R, Bing J, et al. A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation. *IEEE Trans Sustain Energy* 2011; 2:392–403.
- [16] Wahab MA, Essa KSM. Extrapolation of solar irradiation measurements: case study over Egypt. *Renew Energy* 1998; 14:229–39.

