



## طراحی بهینه سیستم هیبریدی توربین بادی، پنل فتوولتائیک، دیزل ژنراتور و ادغام آن با شبکه توزیع

رحیم زاهدی<sup>۱</sup>، سیاوش گیتی فر<sup>۲</sup>، ابوالفضل احمدی<sup>۳\*</sup>

۱- دکترای مهندسی سیستم های انرژی، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

۳- دانشیار، گروه سیستم های انرژی، دانشکده فناوری های نوین، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

\* تهران، ۱۳۱۴-۱۶۸۴۶، [a\\_ahmadi@iust.ac.ir](mailto:a_ahmadi@iust.ac.ir)

### چکیده

ناتوانی منابع انرژی متعارف در برآورده ساختن کامل تقاضای روزافزون انرژی در دنیای امروز، به اهمیت فوق العاده زیاد سیستم های تولید برق ترکیبی اشاره دارد. امروزه سیستم های هیبرید تولید برق که قسمتی از آن ها یا تمام منبع های آن از منبع های انرژی تجدیدپذیر است توجه بسیاری از محققان، دانشمندان و سرمایه گذاران را به خود جلب کرده است. در این تحقیق، یک سیستم تولید هیبریدی مستقل با چند منبع، با طراحی بهینه را پیشنهاد می کند که شامل پنل های فتوولتائیک، ژنراتورهای توربین بادی، باتری ها و ژنراتور دیزلی است. هدف این پژوهش به حداقل رساندن انتشار دی اکسید کربن و هزینه است که در قالب ارزش فعلی خالص سیستم بیان می شود. سیستم تولید برق هیبرید طراحی شده بیشتر در سیستم توزیع به عنوان یک تولید پراکنده یکپارچه شده است. این برای بهبود بهینه عملکرد سیستم توزیع با به حداقل رساندن تلفات کل و انحراف ولتاژ کل سیستم توزیع است. هزینه ترکیبی و انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از انرژی خریداری شده از شبکه و انرژی تولید شده توسط تولید پراکنده نیز کاهش می یابد. برای این منظور، یک الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه توسعه داده شده است. الگوریتم های بهینه سازی پیشنهادی با استفاده از نرم افزار متلب برای یک سیستم توزیع استاندارد ۳۳ باسه IEEE پیاده سازی می شوند. مکان، اندازه تولیدهای پراکنده، نوع و تعداد هر منبع مولد سیستم هیبریدی به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می شود و تحلیل های اقتصادی در نرم افزار هامر انجام می شود.

کلیدواژه ها: سیستم هیبرید، الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه، بهینه سازی، تولید پراکنده، نرم افزار متلب، نرم افزار هومر.

## Optimum design of wind turbine, photovoltaic panel, diesel generator hybrid system and its integration with the distribution network

Rahim Zahedi<sup>1</sup>, Siavash Gitifar<sup>2</sup>, Abolfazl Ahmadi<sup>3\*</sup>

1- PhD, Energy Systems Engineering, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- PhD Candidate, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Energy Systems Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author: 13114-16846, Tehran, Iran, [a\\_ahmadi@iust.ac.ir](mailto:a_ahmadi@iust.ac.ir).

Received: 16 August 2022 Accepted: 25 December 2023

### Abstract

The inability of conventional energy sources to fully meet the ever-increasing energy demand in today's world points to the ever-increasing importance of hybrid power generation systems. Today, the hybrid systems of electricity production, in which part or all of its sources are renewable energy sources, have attracted the attention of many researchers, scientists, and investors. This research proposes an independent multi-source hybrid generation system with optimal design, including photovoltaic panels, wind turbine generators, batteries, and diesel generators. This research aims to minimize the emission of carbon dioxide and the cost, which is expressed in the form of the net present value of the



system. The designed hybrid power generation system is further integrated into the distribution system as a distributed generation. This is to optimally improve the distribution system's performance by minimizing the entire distribution system's total losses and voltage deviation. The combined cost and emissions of energy purchased from the grid and energy produced by distributed generation are also reduced. For this purpose, a multi-objective particle swarm optimization algorithm has been developed. The proposed optimization algorithms are implemented using software for an IEEE standard 33-bus distribution system. The location and size of scattered productions and the type and number of each generating source of the hybrid system are considered decision variables.

**Keywords:** Multi-Source Hybrid System, Multi-Objective Particle Swarm, Optimization, Distributed generation, MATLAB, HOMER.

نیستند، استفاده می‌شود [۱۱]. الگوی تولید برق سیستم‌های بادی یا خورشیدی به‌گونه‌ای است که درصد بالایی از ظرفیت نصب‌شده باتری و ژنراتورهای دیزلی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم مورد نیاز است [۱۲، ۱۳] با توجه به هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری باتری‌ها و همچنین هزینه سوخت دیزل ژنراتورها، طراحی یک سیستم تجدیدپذیر متشکل از انرژی باد یا خورشید به صورت جداگانه باعث افزایش هزینه کل سیستم می‌شود. یکی از راه‌حل‌های غلبه بر این مشکل استفاده از سیستم‌های هیبریدی خورشیدی-بادی است [۱۴-۱۷]. مطالعه‌ها و آزمایش‌های قبلی نشان داده‌اند که این دو منبع انرژی الگوی همپوشانی بسیار خوبی را ارائه می‌دهند. همپوشانی سیستم‌های بادی و خورشیدی نیاز به واحدهای ذخیره انرژی، دیزل ژنراتورها و در نتیجه هزینه‌های سیستم را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱۸-۲۰].

دالتون و همکاران [۲۱] به این نتیجه رسیدند که سیستم‌های انرژی هیبریدی که از چند منبع تولید انرژی تشکیل شده‌اند، کیفیت و قابلیت اطمینان بهتری نسبت به سیستم‌های تک منبع ارائه می‌دهند. لونا رویو و همکاران [۲۲] در تحقیق خود بیان کردند که استفاده کارآمد و اقتصادی منابع انرژی تجدیدپذیر در یک سیستم هیبریدی، نیازمند بهینه‌سازی اندازه (ابعاد) آن‌ها است. کوترولیس و همکاران [۲۳] به منظور تعیین تعداد و نوع بهینه هر منبع انرژی، یک الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> برای به حداقل رساندن هزینه یک سیستم خورشیدی-بادی هیبریدی مستقل را پیشنهاد کردند. دوفو لویز و برنال آگوستین [۲۴] برای بدست آوردن پیکربندی بهینه سیستم فتوولتائیک-دیزل با به حداقل رساندن همزمان هزینه کل، انتشار آلاینده‌ها و کل بار برآورده نشده با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه و الگوریتم ژنتیک، یک استراتژی نوین ارائه کردند. سینگ و پریدا [۲۵] به بررسی کمینه‌کردن هزینه برای قرار دادن بهینه سیستم هیبرید تولید برق مبتنی بر خورشید، باد و سلول سوختی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند. کاپال و چاندا [۲۶] یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم تجمعی ذرات<sup>۲</sup> چند هدفه را برای واحدهای تولید برق هیبریدی بر اساس مکان، بادی و خورشیدی برای کاهش تلفات بهینه توان و بهبود پایداری ولتاژ شبکه توزیع معرفی کردند.

در این پژوهش، با استفاده از قابلیت‌های منابع تولید انرژی شامل: توربین‌های بادی، فتوولتائیک، دیزل ژنراتورها و منابع ذخیره‌ساز انرژی به کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ پرداخته می‌شود. همچنین، یک روش جدید برای ادغام منابع تولید پراکنده هیبرید در سیستم توزیع پیشنهاد شده که به صورت همزمان، نوع و اندازه منابع را با اندازه و محل منابع تولید

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، حل مسائل تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش تقاضا برای برق پاک و پایدار شده است [۱، ۲]. سیستم‌های تولید برق هیبریدی، به‌ویژه آن‌هایی که شامل منابع انرژی تجدیدپذیر هستند، در دنیای مدرن امروز بسیار مورد توجه قرار گرفته می‌شوند، زیرا منابع انرژی متعارف (زغال‌سنگ، نفت و گاز) از منابع اصلی تولید برق بوده‌اند، اما به دلیل آلودگی‌های جدی ناشی از این سوخت‌ها که جان انسان‌ها را تهدید می‌کنند، منابع برق پاک بسیار مورد توجه هستند [۳، ۴].

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر ترکیبی برای تولید انرژی، وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد، در نتیجه نرخ تخلیه سوخت فسیلی را کاهش می‌دهد و منجر به آب و هوای سالم‌تر می‌شود و از طرفی سیستم تولید برق هیبریدی مزایای بسیاری دارد و نقاط ضعف سیستم‌های تولید انرژی را با ترکیب کردن چند سیستم کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، انرژی خورشیدی و بادی منابع تجدیدپذیر پراکنده هستند و به آب و هوا و مکان وابسته هستند. سیستم‌های انرژی خورشیدی و بادی مستقل ممکن است قادر به تولید انرژی کافی برای تامین بار در همه ساعت‌های شبانه‌روز نباشند [۵].

انرژی خورشیدی و انرژی باد در برخی ساعت‌های یک شبانه‌روز در دسترس هستند. با این حال، بهترین زمان وزش باد در شب خواهد بود. بنابراین، ترکیب باد و خورشید توانایی تولید برق قابل اطمینان‌تری در ساعات بیشتری از شبانه‌روز را افزایش می‌دهد و هرگونه کمبود در طول روز یا شب توسط منبع دیگر جبران خواهد کرد [۶]. سیستم‌های تولید برق هیبریدی به عنوان یک سیستم مستقل طراحی شده‌اند - سیستمی که مجموعه‌ای از بارها را بدون اتصال به شبکه برق تامین می‌کند. یا به عنوان یک سیستم متصل به شبکه یا سیستمی که در سطح انتقال یا توزیع با شبکه برق یکپارچه شده است.

در سال‌های اخیر، سیستم‌های تولید برق هیبریدی در تحقیقات و مقالات بسیاری بررسی شده است. یکی از این سیستم‌های تولید برق هیبرید ترکیب سیستم فتوولتائیک با توربین‌های بادی، باتری و ژنراتور دیزلی است [۷]. با توجه به اینکه منابع انرژی تجدیدپذیر در تمام ساعت‌های شبانه‌روز در دسترس نیستند، از واحدهای ذخیره انرژی برای ذخیره انرژی اضافی برای تامین بار در سایر زمان‌ها استفاده شده است [۸]. باتری‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود اغلب به عنوان گزینه اصلی برای ذخیره انرژی الکتریکی در سیستم‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شوند [۹، ۱۰].

از دیزل ژنراتورها برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم در شرایط بحرانی، یعنی ساعت‌هایی که منابع انرژی تجدیدپذیر و باتری در دسترس

1.Genetic Algorithm (GA)  
2.Particle Swarm Algorithm (PSO)

بخش به بررسی این الگوریتم پرداخته می‌شود. بهینه‌سازی گروه ذرات، یک تکنیک بهینه‌سازی تصادفی قوی براساس حرکت و هوش گروه‌ها می‌باشد که در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی (روانشناس اجتماعی) و راسل ابرهات (مهندس الکترونیک) توسعه یافته‌است.

این الگوریتم بهینه‌سازی یک روش جستجوی ابتکاری دقیق و با هزینه محاسباتی کم است که مکانیزم آن از رفتارهای گروهی جمعیت‌های زیستی (پرنده‌ها یا ماهی‌ها) الهام گرفته‌است. بهینه‌سازی ازدحام ذرات مفهوم اثر متقابل اجتماعی را برای حل کردن مسئله بکار می‌برد و تعدادی ذره و یک گروه را تشکیل می‌دهند و برای یافتن بهترین پاسخ در فضای جستجو حرکت می‌کنند، تشکیل می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه گروه ذرات، از یک جدول (مخزن) ثانویه خارجی به منظور ذخیره اطلاعات ذرات استفاده می‌شود تا هر ذره بتواند بعداً از این اطلاعات نهایت استفاده را بنماید.

همچنین این الگوریتم مجهز به پارامتر جهش مخصوصی است که امکانات جستجوی بیشتر و بهتری را برای الگوریتم فراهم می‌سازد. نحوه عملکرد الگوریتم چند هدفه گروه ذرات در شکل (۱) بیان شده‌است.

همانطور که اشاره شد در مرحله اول به کمک تئوری مجموعه‌های فازی از بین پاسخ‌های بهینه پارتو<sup>۴</sup> بدست آمده، پاسخی که بهترین مصالحه بین توابع هدف را برقرار می‌کند، به عنوان پاسخ نهایی انتخاب می‌شود. برای معیار تعیین بهترین پاسخ مصالحه‌شده، تابع عضویت فازی هر یک از توابع هدف بصورت رابطه ۱ در نظر گرفته می‌شود.

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{if } f_i \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & \text{if } f_i^{\min} < f_i < f_i^{\max} \\ 0 & \text{if } f_i \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (1-f)$$

$$\text{if } f_i^{\min} < f_i < f_i^{\max} \quad 0 \text{ if } f_i \geq f_i^{\max} \quad (1-b)$$

پراکنده در سیستم توزیع بهینه می‌سازد. این کار با در نظر گرفتن بسیاری از اهداف متناقض در سیستم انرژی هیبریدی و در سیستم توزیع صورت می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی ترکیب نوع، تعداد فتوولتائیک و منابع انرژی هیبریدی بادی، باتری و دیزلی را برای بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش تلفات و حداقل‌سازی هزینه پیدا می‌کند.

با الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات سعی شده‌است منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر را در سیستم توزیع ۳۳ باسه IEEE با هدف حداقل‌سازی اتلاف توزیع، انحراف ولتاژ، هزینه و انتشار آلاینده‌ها ادغام کند که ناشی از انرژی تولیدی بصورت تولید پراکنده<sup>۱</sup> و انرژی خریداری شده از شبکه هستند. هدف این پژوهش، بررسی روش طراحی یک سیستم هیبرید با چند نوع تکنولوژی منابع انرژی است که در آن ولتاژ شبکه بهبود یافته است و تلفات آن کاسته شود. همچنین، علاوه بر دو هدف بیان شده، باید هزینه مطلوبی را در پی داشته باشد. در ادامه منابع توزیع پراکنده، الگوریتم چندهدفه ذرات، روش پیشنهادی و شبیه‌سازی سیستم مورد نظر به ترتیب در بخش‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم بررسی می‌گردند. همچنین، در بخش ششم به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش هفتم نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

## ۲- منابع تولید پراکنده

هنوع تکنولوژی تولید انرژی الکتریکی که می‌تواند در سیستم توزیع برق جای بگیرد و با آن منطبق است را تولید پراکنده می‌گویند. در بعضی مواقع ممکن است استفاده از منبع تولید پراکنده دارای صرفه اقتصادی نباشد اما علاوه بر صرفه اقتصادی مسائل دیگری نیز در استفاده از این مولدها تاثیر دارند که باعث استفاده روز افزون از این تکنولوژی می‌شوند که عبارتند از: اعمال برنامه‌های مدیریت مصرف، کاهش تلفات خطوط و آلودگی‌های محیط زیست، پیک‌زدایی، اصلاح پروفیل ولتاژ و کنترل آن، بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان بیشتر در جهت پاسخگویی به نیازهای مشتریان مختلف.

لازم به ذکر است که منبع تولید پراکنده، بطور کلی به افزایش بازدهی روند تولید انرژی کمک شایانی می‌کند. از جمله مزایای تولید پراکنده می‌توان به کاهش تلفات انتقال و توزیع، مسائل زیست محیطی و استفاده از انرژی‌های نو، کاهش تراکم خطوط انتقال و توزیع، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش عدم تعادل ولتاژ، کاهش هزینه تعمیر و نگهداری، کاهش هزینه محیطی و درمانی ناشی از کاهش آلاینده‌ها، افزایش رقابت در بازار برق و افزایش تولید بخش خصوصی و امکان استفاده در کارخانه‌ها، بخش صنعتی و مجتمع‌های مسکونی اشاره کرد.

معایب استفاده از تولید پراکنده عبارت است از: پیچیده‌تر شدن لایه‌های محافظی، پیچیده‌تر شدن کنترل و بهره‌برداری، جزیره‌ای شدن شبکه در صورت بروز خطا، نیاز به منابع ذخیره انرژی، افزایش فلیکرهای شبکه<sup>۲</sup> و افزایش هارمونیک.

## ۳- الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات

با توجه به اینکه روشی که برای حل مسأله‌ی بهینه‌سازی مرحله اول بکار گرفته می‌شود، الگوریتم چند هدفه گروه ذرات<sup>۳</sup> است، در این بطور خلاصه

3.Distributed Generation (DG)  
1.Network Flicker  
2.Particle Swarm Algorithm (MOPSO)

دیزلی بصورت یک منبع تولید پراکنده فرض می‌شود، سپس مکان نصب و ظرفیت بهینه‌ی تعداد مشخصی از این منابع تولید پراکنده هیبریدی تعیین می‌شود. اهداف بهینه‌سازی این مرحله شامل سه هدف هست که عبارتند از: حداقل‌سازی هزینه انرژی خریداری شده از شبکه، حداقل‌سازی تلفات شبکه و حداقل‌سازی شاخص انحراف ولتاژ شبکه. ابزاری که برای بهینه‌سازی این مرحله انتخاب می‌شود، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات چند هدفه است. در مرحله دوم، برای هر یک از منابع تولید پراکنده بدست‌آمده در مرحله قبل یک سیستم هیبریدی بهینه طراحی می‌شود؛ بطوریکه حداکثر بار قبل یک سیستم هیبرید برابر ظرفیت بدست‌آمده برای منبع تولید پراکنده باشد و الگوی بار، الگوی بار شبکه‌ی توزیع باشد. اجزای داخلی سیستم هیبرید شامل سیستم فتوولتائیک، توربین بادی، دیزل، باتری و مبدل<sup>۲</sup> موردنیاز است. بهینه‌سازی ترکیب اجزای داخلی سیستم هیبرید هر منبع توزیع پراکنده هیبریدی، توسط نرم‌افزار هامر با هدف حداقل‌سازی کمترین هزینه خالص فعلی<sup>۴</sup> انجام می‌شود.

#### ۴-۱- جایابی منابع تولید پراکنده هیبریدی در سیستم توزیع

در این بخش نحوه انجام محاسبات و فرمول‌های مرحله اول که در پاراگراف-های قبل ذکر شد ارائه می‌شود. هزینه سالانه انرژی خریداری شده از شبکه (C<sub>g</sub>) از رابطه ۳ بدست می‌آید و اولین تابع هدف مرحله اول روش پیشنهادی است.

$$C_g = P_{sub} \times LF \times \rho \times 8760$$

(۳)

در رابطه فوق، P<sub>sub</sub> توان خریداری شده از شبکه، LF ضریب بار و ρ قیمت انرژی است. تلفات توان سیستم توزیع (P<sub>loss</sub>) از رابطه زیر بدست می‌آید و دومین تابع هدف مرحله اول روش پیشنهادی است.

$$P_{loss} = \sum_{br=1}^{nbr} R_{br} I_{br}^2$$

(۴)

در رابطه فوق، R<sub>br</sub> و I<sub>br</sub> به ترتیب مقاومت و جریان شاخه nbr و br تعداد شاخه‌های شبکه توزیع است. سومین تابع هدف مرحله اول روش پیشنهادی، شاخص انحراف ولتاژ شبکه است که بصورت مجموع مربعات اختلاف ولتاژ باس‌های شبکه از ولتاژ نامی که در رابطه ۵ بیان شده، تعریف می‌شود:

$$DV = \sum_{bs=1}^{nbs} (V_{bs} - V_r)^2$$

(۵)

در این رابطه، V<sub>r</sub> ولتاژ نامی، V<sub>bs</sub> ولتاژ باس و nbs تعداد باس‌های شبکه توزیع هستند. محدودیت حداکثر ظرفیت نصب منابع تولید پراکنده هیبرید، قیدی است که برای بهینه‌سازی مرحله اول در نظر گرفته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{nDG} P_{DG_i} \leq \gamma \left( \sum_{j=1}^{nbs} P_{L_j} \right)$$

(۶)

در رابطه (۶) توان فعال منبع تولید پراکنده هیبریدی i ام با P<sub>DG<sub>i</sub></sub>، توان فعال در باس j ام با P<sub>L<sub>j</sub></sub>، تعداد منابع تولید پراکنده هیبریدی نصب‌شده در شبکه توزیع با nDG و سطح نفوذ<sup>۵</sup> با g نمایش داده می‌شود.



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم چند هدفه گروه ذرات

در رابطه فوق، μ<sub>i</sub> تابع عضویت هدف i ام، f<sub>i</sub> مقدار تابع هدف i ام، f<sup>min</sup><sub>i</sub> مقدار کاملاً ایده‌آل<sup>۱</sup> تابع هدف i ام و f<sup>max</sup><sub>i</sub> مقدار کاملاً نامطلوب<sup>۲</sup> تابع هدف i ام هستند. اکنون تابع عضویت نرم‌الیزه شده پاسخ k ام که به عنوان شاخص تعیین بهترین پاسخ مصالحه‌شده استفاده می‌شود با رابطه ۲ معرفی می‌گردد.

$$\mu^k = \frac{\sum_{i=1}^{Nobj} \mu_i^k}{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^{Nobj} \mu_i^k}$$

(۲)

که μ<sup>k</sup> تابع عضویت تابع هدف i ام پاسخ بهینه پارتوی k ام، Nobj تعداد توابع هدف و M تعداد پاسخ‌های بهینه پارتو است. پاسخ بهینه پارتو که بیشترین تابع عضویت نرم‌الیزه شده (μ<sup>k</sup>) را داشته‌باشد، بهترین پاسخ مصالحه‌شده است.

تابع عضویت هدف در این مطالعه شامل حداقل‌سازی هزینه انرژی خریداری شده از شبکه، حداقل‌سازی تلفات شبکه است و حداقل‌سازی شاخص انحراف ولتاژ شبکه. تعداد توابع هدف برابر سه است.

#### ۴- روش پیشنهادی

در این بخش روش جدیدی برای تلفیق منابع تولید پراکنده هیبرید به سیستم توزیع پیشنهاد می‌شود که نوع و سائز منابع انرژی داخل سیستم هیبرید را بطور همزمان با سائز و موقعیت منابع تولید پراکنده هیبرید در سیستم توزیع، بهینه می‌کند. در این روش یک بهینه‌سازی دو مرحله‌ای در نظر گرفته شده‌است. در مرحله اول این روش، ابتدا هر سیستم هیبرید دارای پنل‌های فتوولتائیک، ژنراتورهای توربین بادی، باتری‌ها و ژنراتورهای

1. Converter  
2. Net Present Cost (NPC)  
3. Penetration Level

4. Completely Satisfactory  
5. Completely unsatisfactory

در این نرم‌افزار برای هر یک از اجزای سیستم هیبرید، سائزهای مختلفی می‌توان در نظر گرفت تا نرم‌افزار از بین آن‌ها، سائز بهینه را تعیین کند. این نرم‌افزار تمام ترکیبات سائزهای مختلف اجزاء را که توانایی تامین بار را دارند، تحلیل کرده و سپس نتایج را بر اساس کمترین هزینه خالص فعلی مرتب و ارائه می‌کند و در نهایت ترکیبی که کمترین هزینه خالص را دارا است به عنوان ترکیب بهینه اجزا سیستم هیبرید معرفی می‌کند.

#### ۴-۲-۱- استراتژی توزیع توان

استراتژی توزیع توان<sup>۳</sup> مجموعه قواعدی است که عملکرد یک یا چند ژنراتور و یک بانک باتری را هماهنگ و کنترل می‌کند. نرم‌افزار هامر مدل‌سازی دو استراتژی به نام استراتژی تعقیب بار<sup>۴</sup> و استراتژی شارژ دوره<sup>۵</sup> را پشتیبانی می‌کند. البته این‌که استفاده از کدام یک از این دو استراتژی بهینه است به عوامل زیادی نظیر سائز ژنراتورها و بانک باتری، قیمت سوخت، هزینه تعمیر و نگهداری ژنراتورها، بزرگی توان تجدیدپذیر در سیستم و نقش منابع تجدیدپذیر بستگی دارد. در استراتژی تعقیب بار، یک ژنراتور دیزل فقط به اندازه‌ای که برای تامین تقاضا نیاز است، توان تولید می‌کند.

تعقیب بار در سیستم‌هایی بهینه است که توان تجدیدپذیر زیادی وجود دارد و توان خروجی تجدیدپذیر در برخی از مواقع بیشتر از بار می‌شود. در استراتژی شارژ دوره، یک ژنراتور وقتی کار می‌کند، با ظرفیت کامل خود توان تولید می‌کند و توان اضافی اش برای شارژ بانک باتری استفاده می‌شود. شارژ دوره موقعی استفاده می‌شود که باتری‌ها نمی‌توانند بار خالص را تغذیه کنند و در سیستم‌هایی بطور بهینه کار می‌کند که توان تجدیدپذیر کمی وجود دارد. در این بررسی از استراتژی شارژ دوره استفاده شده است.

#### ۴-۲-۲- معرفی شبکه نمونه مطالعاتی

در این بخش، برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، نتایج مراحل مختلف طراحی سیستم تولید هیبرید برای تلفیق در سیستم توزیع استاندارد ۳۳ باس‌های IEEE با ولتاژ کاری ۱۲۶۶۰ ولت که دیگرام تک خطی حالت نرمال آن در شکل ۳ نشان داده شده است، ارائه می‌شود.

لازم به ذکر است که برای محاسبه توان خریداری شده از شبکه، جریان شاخه‌های شبکه و ولتاژ باس‌های شبکه نیاز به پخش بار است، بنابراین برای محاسبه تابع‌های هدف سه‌گانه فوق پخش بار پیشرو-پسرو که مخصوص شبکه‌های توزیع شعاعی است، در نظر گرفته می‌شود.

در بهینه‌سازی این مرحله، سه هدف وجود دارند که باید بطور همزمان بهینه شوند، اما به دلیل غیرهمجنس و غیرقابل مقایسه بودن و احتمالاً متعارض بودن برخی از آن‌ها، نمی‌توان به جوابی دست یافت که همزمان همه تابع‌ها را بهینه کند. بنابراین از مفهومی با عنوان پاسخ نامغلوب<sup>۱</sup> و یا پاسخ پارتو استفاده می‌گردد. پاسخ A بر B غلبه دارد اگر در هیچ یک از توابع هدف بدتر از پاسخ B نباشد و حداقل در یک تابع بهتر از آن باشد. پاسخ بهینه‌ی پارتو پاسخی است که در مقایسه با هیچ پاسخ دیگری مغلوب نشود و در عین حال به مقدار بهینه قابل قبولی برای حداقل یکی از اهداف دست یابد. در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات چند هدفه برای پیدا کردن مجموعه پاسخ‌های بهینه پارتو، یعنی مجموعه پاسخ‌های بهینه‌ای که بر یکدیگر غلبه ندارند (پاسخ‌های بهینه نامغلوب)، استفاده می‌شود و سپس به کمک تئوری مجموعه‌های فازی از بین پاسخ‌های بهینه پارتوی بدست آمده، پاسخی که بهترین مصالحه بین توابع هدف را برقرار می‌کند<sup>۲</sup> به عنوان پاسخ نهایی انتخاب می‌شود و بدین ترتیب مکان (شماره باس) و ظرفیت منابع تولید پراکنده هیبریدی تعیین می‌شود.

DG1 location	DG2 location	DG3 location	DG1 Capacity	DG2 capacity	DG3 capacity
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

شکل ۲ ساختار هر ذره در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات چند هدفه

#### ۴-۲-۳- طراحی بهینه سیستم تولید پراکنده هیبرید

در مرحله دوم، سائز اجزای داخلی هر یک از منابع تولید پراکنده هیبرید بدست آمده در مرحله اول بوسیله نرم‌افزار هامر طراحی می‌شود. اجزای داخلی سیستم هیبرید شامل منابع فتوولتائیک، بادی، دیزل، باتری و نیز مبدل مورد نیاز هستند.

بار سیستم هیبرید طوری قرار داده می‌شود که حداکثر آن برابر ظرفیت بدست آمده برای منبع تولید پراکنده باشد و الگوی آن، الگوی بار شبکه‌ی توزیع باشد. هامر، نرم‌افزار شبیه‌سازی و ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های هیبرید است. ورودی‌های نرم‌افزار هامر عبارتند از: پروفایل روزانه بار در کل سال، اطلاعات تابش سالانه منطقه، اطلاعات سرعت باد منطقه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سوخت، بهره‌برداری (تعمیر و نگهداری) و جایگزینی اجزای سیستم، نرخ بهره واقعی سالانه، طول دوره عمر پروژه و هر یک از اجزای آن، گام زمانی شبیه‌سازی و استراتژی توزیع توان.

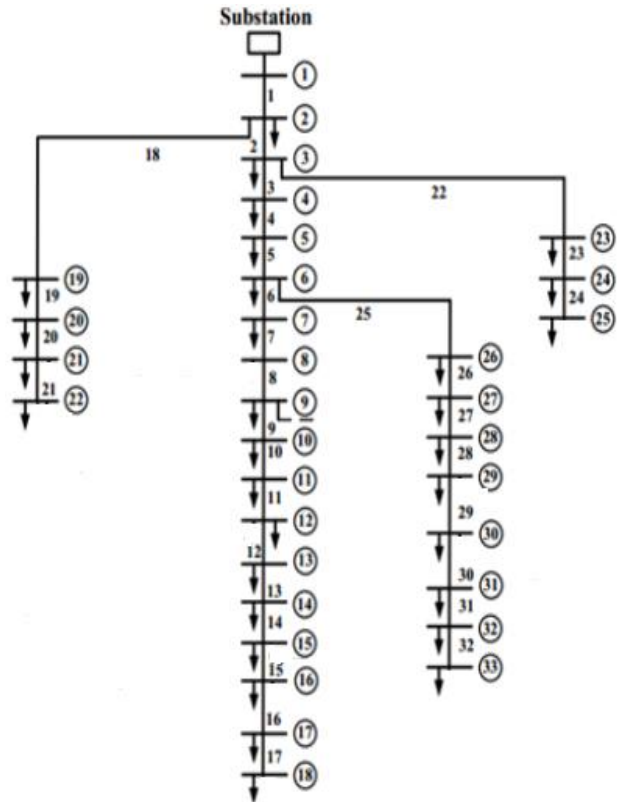
6. Dispatch Strategy  
7. Load following Strategy  
8. Cycle Charging Strategy

4. Non-dominated Solution  
5. Best compromised solution

هدف صفر است و مقدار کاملاً نامطلوب هر سه تابع هدف برابر همان مقدار اولیه سه تابع هدف بدون نصب تولید پراکنده قرار داده شده‌است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این بخش در جدول ۱ خلاصه شده‌است. همانطور که از جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود بر اساس نتایج بهینه‌سازی باید سه سیستم هیبرید با ظرفیت‌های ۵۰، ۱۱۰ و ۲۱۰ کیلووات به ترتیب در باس‌های ۳۳، ۱۵ و ۱۷ نصب شوند. همچنین در این جدول دیده می‌شود که هر سه هدف هزینه سالانه انرژی خریداری شده از شبکه، مجموع تلفات شبکه و شاخص انحراف ولتاژ شبکه بعد از نصب سیستم‌های هیبرید در محل‌های موردنظر نسبت به حالت عدم وجود سیستم‌های هیبرید به ترتیب ۰٫۷، ۲۵ و ۳۲ درصد بهبود (کاهش) می‌یابند. همچنین در شکل ۴، جبهه پارتوی سه هدف بهینه‌سازی نشان داده شده‌است.

جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی برای جایابی منابع تولید پراکنده هیبریدی در سیستم توزیع ۳۳ باسه

پارامتر	بدون نصب تولید پراکنده	با نصب تولید پراکنده	درصد بهبود هدف
باس‌های نصب منبع تولید پراکنده	-	۱۵، ۳۳ و ۱۷	-
ظرفیت منابع تولید پراکنده (کیلووات)	-	۱۱۰، ۵۰ و ۲۱۰	-
هزینه سالانه انرژی خریداری شده از شبکه (میلیون دلار)	۱/۳۹۳۹	۱/۳۰۱۲	۷
مجموع تلفات شبکه (کیلووات)	۱۶۴/۳۶۹	۱۲۲/۷۰۵	۲۵
شاخص انحراف ولتاژ شبکه	۰/۰۹۵۷	۰/۰۶۴۸	۳۲



شکل ۳ سیستم توزیع ۳۳ باسه استاندارد IEEE

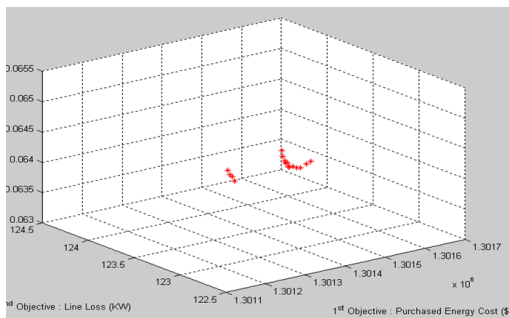
### ۵- شبیه‌سازی سیستم مدنظر

در قسمت‌های قبل تئوری لازم برای مساله ارائه شد. در این بخش، با استفاده از نرم‌افزار متلب و هومر روش پیشنهادی بر روی شبکه تست ۳۳ باسه استاندارد پیاده‌سازی شده مدلسازی می‌شود و نتایج حاصل از شبیه‌سازی بررسی می‌شود. در این بخش به بررسی جایابی منابع تولید پراکنده هیبریدی در سیستم توزیع و طراحی بهینه سیستم تولید پراکنده هیبرید نیز بررسی می‌شود.

### ۵-۱- جایابی منابع تولید پراکنده هیبریدی در سیستم توزیع

بر طبق روش پیشنهادی ابتدا هر سیستم هیبرید بصورت یک منبع تولید پراکنده فرض می‌شود و مکان نصب و ظرفیت بهینه ی منابع تولید پراکنده با اجرای الگوریتم چند هدفه ازدحام جمعیت تعیین می‌شود.

اهداف بهینه‌سازی در این قسمت عبارتند از: حداقل‌سازی هزینه انرژی خریداری شده از شبکه، حداقل‌سازی تلفات شبکه، حداقل‌سازی شاخص انحراف ولتاژ شبکه. در این شبیه‌سازی حداکثر تعداد منابع پراکنده سه فرض شده‌است. حداکثر درصد نفوذ منابع تولید پراکنده برابر ۱۰ درصد بار کل شبکه فرض شده‌است. ظرفیت هر منبع تولید پراکنده ضریبی از ۵ کیلووات با حداکثر ظرفیت ۳۷۰ کیلووات در نظر گرفته شده‌است (۱۰ درصد مجموع بار شبکه). تعداد جمعیت ذرات در الگوریتم، حداکثر تعداد ذرات نگهداری در مخزن الگوریتم، حداکثر تعداد تکرار الگوریتم به ترتیب برابر ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ تکرار در نظر گرفته شده‌است. مقدار کاملاً ایده‌آل برای هر سه تابع



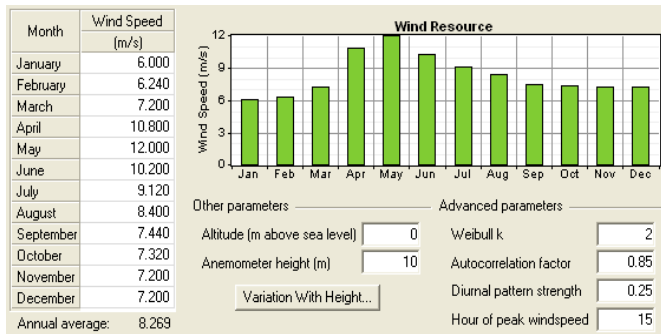
شکل ۴ جبهه پارتوی سه هدف بهینه‌سازی حاصل از اجرای الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات

### ۵-۲- طراحی بهینه سیستم تولید پراکنده هیبرید

بر طبق روش پیشنهادی، برای هر یک از سه منبع تولید پراکنده بدست‌آمده در مرحله قبل یک سیستم هیبرید طراحی می‌شود بطوریکه حداکثر بار سیستم هیبرید برابر ظرفیت بدست‌آمده برای منبع تولید پراکنده و الگوی بار، الگوی بار شبکه توزیع می‌باشد. طراحی بهینه سیستم هیبرید متناظر با هر یک سه منبع تولید پراکنده توسط نرم‌افزار هامر انجام می‌شود. در ادامه

شکل ۸ میزان سرعت باد سالانه منطقه سیستم توزیع مورد نظر برای

توربین بادی سیستم هیبرید را نشان می‌دهد.



شکل ۸ اطلاعات سرعت باد منطقه

برخی از پارامترهای انتخابی برای طراحی سیستم هیبرید در نرم‌افزار هامر در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول ۲ برخی از پارامترهای انتخابی برای طراحی سیستم هیبرید در نرم‌افزار هامر

مقدار	پارامتر
۶ درصد	نرخ بهره‌ی واقعی سالانه
۲۰ سال	طول دوره‌ی عمر پروژه
۶۰ دقیقه	گام زمانی شبیه‌سازی
Cycle Charging	استراتژی انتخابی برای توزیع توان
۰/۸ \$/L	قیمت سوخت دیزل

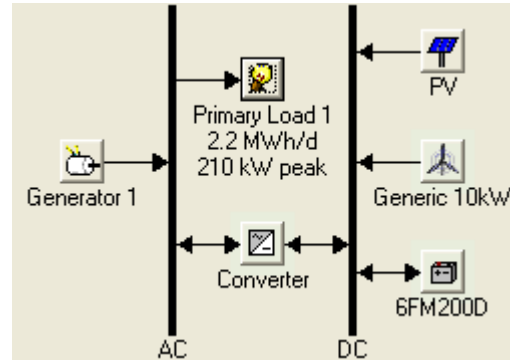
اطلاعات ورودی برای توابع هزینه هر یک از اجزای سیستم هیبرید در نرم‌افزار هامر مطابق جدول ۳ است. مقادیر درج شده در این جدول فقط اطلاعات یک سایز از منحنی هزینه هر عنصر را نشان می‌دهد، مقادیر هزینه برای سایر سایزها بطور خطی متناسب به مقادیر درج شده در جدول است.

جدول ۳ اطلاعات ورودی برای توابع هزینه هر یک از اجزای سیستم هیبرید در نرم‌افزار هامر

عنصر	سایز (KW)	هزینه سرمایه	هزینه جایگزینی (\$)	هزینه تعمیر و نگهداری (\$/yr)
دیزل	۱۰	۴۲۰۰	۴۲۰۰	۰/۲۷\$/h
پنلهای فتوولتائیک	۰/۴	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۱۶
سیستم بادی	۱۰	۳۰۰۰	۲۵۰۰۰	۵۵۰
باتری	2.4 KWh	۷۰۰	۷۰۰	۷
کانورتر	۵	۵۴۰	۵۴۰	۵

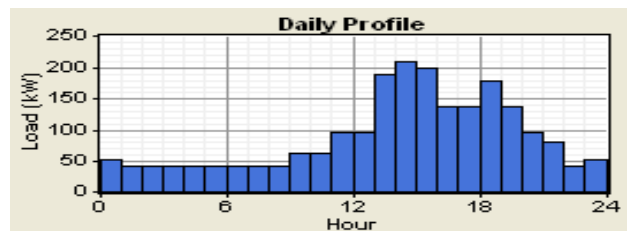
ورودی‌ها و نتایج طراحی به عنوان نمونه برای بزرگترین تولید پراکنده ۲۱۰ کیلووات ارائه می‌شود.

شکل ۵ اجزای در نظر گرفته شده برای سیستم هیبرید مورد طراحی را تحت نرم‌افزار هامر نشان می‌دهد که شامل دیزل ژنراتور، سیستم فتوولتائیک، سیستم توربین ژنراتور بادی، باتری، مبدل دی‌سی/ای‌سی<sup>۱</sup> و بار ای‌سی است. باس ای‌سی متصل به شبکه توزیع است و بار در حقیقت مدل‌کننده توان تحویلی به شبکه است.



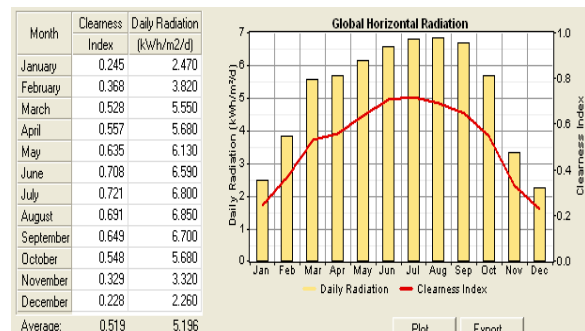
شکل ۵ اجزای در نظر گرفته شده برای سیستم هیبرید مورد طراحی

شکل ۶ پروفایل روزانه بار برای بزرگترین تولید پراکنده (۲۱۰ کیلووات) را نشان می‌دهد. فرض شده‌است که پروفایل بار در تمام روزهای سال یکسان است.



شکل ۶ پروفایل روزانه بار

شکل ۷ میزان تابش سالانه منطقه سیستم توزیع مورد نظر برای پنل‌های فتوولتائیک سیستم هیبرید را نشان می‌دهد.



شکل ۷ اطلاعات تابش سالانه منطقه

۳۰۰۰۷۲۰	۱۶۰۱۵۳۷	۷۳۲۶۱۳	هزینه خالص فعلی (\$) )
۰/۳۳۲	۰/۳۳۱	۰/۳۴	هزینه ی انرژی (\$/KWh)
۷۴	۷۹	۷۰	درصد استفاده از انرژی تجدید پذیر
۱۱۹۳۴۱	۵۸۷۱۳	۳۲۸۹۱	سوخت مورد نیاز دیزل (لیتر)
۴۰۶۸	۳۵۴۵	۴۰۶۸	تعداد ساعت کارکرد دیزل (hr)

در ادامه به بررسی برخی از ویژگی‌ها و جزئیات سیستم هیبرید با تولید پراکنده ۲۱۰ کیلووات پرداخته می‌شود. مشخصات این سیستم در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷ مشخصات سیستم با تولید پراکنده ۲۱۰ کیلووات

مشخصات	اجزا
۶۰ کیلووات 20 Generic 10KW	پنل فتوولتائیک
۱۴۰ کیلووات	توربین بادی
۲۲۰ کیلووات	ژنراتور
۲۲۰ کیلووات	اینورتر <sup>۱</sup>
۲۲۰ کیلووات	رکتیفایر <sup>۲</sup>

مشخصات الکتریکی هر جز سیستم تولید پراکنده هیبرید ۲۱۰ کیلووات در جدول ۸ نمایش داده شده است. همچنین جریان نقدینگی نهایی و خلاصه هزینه‌ها به ترتیب در جدول‌های ۹ و ۱۰ آورده شده‌اند.

جدول ۸ مشخصات الکتریکی اجزا

اجزا	محصولات (KWh/yr)	درصد (%)
پنل خورشیدی	۸۷۱۰۴۶	۸
توربین بادی	۷۴۱۷۲۲	۶۶
ژنراتور	۲۹۵/۱۰۹	۲۶
مجموع	۱۱۲۳/۸۷۶	۱۰۰

جدول ۹ جریان نقدینگی کلی

اجزا	سرمایه (\$)	هزینه جایگزینی نگهداری (\$)	تعمیر و سوخت (\$)	هزینه مازاد (\$)	هزینه کل (\$)
فتوولتایی	۲۴۰۰	۰	۲۷۵۲۸	۰	۲۶۷۵۲
ک	۰	۰	۰	۰	۰
توربین	۶۰۰۰	۲۰۸۶۳۳	۱۲۶۱۶۹	-	۸۳۰
۱۰ کیلووا	۰	۰	۰	۱۰۳۹	۱۰۳۹

1.Inverter  
2.Rectifier

سایزهای مختلف در نظر گرفته شده برای کلیه اجزا سیستم هیبرید در نرم افزار هامر در جدول ۴ آورده شده است. این اعداد در حقیقت انتخاب‌های ممکن برای متغیرهای تصمیم بهینه‌سازی سیستم هیبرید هستند.

جدول ۴ سایزهای مختلف در نظر گرفته شده برای کلیه اجزای سیستم هیبرید در نرم-افزار هامر

عناصر	سایز
دیزل (KW)	۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰
پنلهای فتوولتائیک (KW)	۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰
سیستم بادی KWh)	(۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰) x ۱۰
باتری (	(۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰) x ۲.۴
کانورتر (KW)	۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰، ۱۹۰، ۲۰۰، ۲۱۰

با ورودی‌های ذکر شده در قسمت‌های قبل، سیستم هیبرید بهینه با هدف بدست آوردن کمترین هزینه خالص فعلی توسط نرم‌افزار هامر انجام شد. مشخصات سیستم هیبرید بهینه حاصل از طراحی، برای هر یک سه منبع تولید پراکنده در جدول‌های ۵ و ۶ خلاصه شده است.

جدول ۵ سایز اجزا سیستم هیبرید بهینه حاصل از طراحی

عناصر	سایز بهینه عنصر
تولید پراکنده	تولید پراکنده
۵۰ KW	۱۱۰ KW
تولید پراکنده	تولید پراکنده
۴۰ KW	۸۰ KW
پنلهای فتوولتائیک	۰
سیستم بادی	۱۰ * ۵ KW
باتری	۲.۴ * ۲۰ KWh
کانورتر (شامل اینورتر و رکتیفایر)	۵۰ KW

جدول ۶ برخی از مشخصات سیستم هیبرید بهینه حاصل از طراحی

پارامتر	تولید پراکنده	تولید پراکنده	تولید پراکنده
تولید پراکنده	۲۱۰ KW	۱۱۰ KW	۵۰ KW
هزینه سرمایه گذاری اولیه (\$)	۹۸۵۵۶۰	۵۳۸۵۶۰	۱۸۶۲۰۰
هزینه ی بهره برداری (\$/yr)	۱۷۵۶۹۱	۸۹۶۱۳	۴۷۶۱۳

حقیقت سیستم فتوولتائیک فقط در حالت بزرگترین تولید پراکنده (۲۱۰ کیلووات) وجود دارد.

طبق جدول ۶ با بزرگ شدن ظرفیت تولید پراکنده، انواع هزینه‌ها (سرمایه گذاری، بهره برداری و خالص) سیستم هیبرید افزایش چشم‌گیر داشته‌اند. همچنین، هزینه سرمایه‌گذاری سیستم هیبرید خیلی بیشتر از هزینه بهره برداری آن است. درصد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در هر سه نوع تولید پراکنده حدود ۷۵ درصد است. با افزایش ظرفیت تولید پراکنده، تعداد ساعت کار دیزل افزایش یا کاهش نمی‌یابد. بر اساس جدول (۹)، باتری‌ها بیشترین هزینه جایگزینی را دارند.

با توجه به شکل ۸، سیستم بادی بیشترین میزان تولید سالیانه را دارد و سهم آن در ماه‌های تابستان بیشتر است. مطابق شکل ۹، دیزل هزینه سرمایه‌گذاری کمی دارد ولی هزینه سوخت و بهره برداری (تعمیر و نگهداری) زیادی دارد اما سیستم فتوولتائیک هزینه سرمایه‌گذاری زیاد و هزینه بهره‌برداری بسیار کمی دارد.

#### ۷- نتیجه‌گیری

یک روش دو مرحله‌ای برای تلفیق بهینه نسل‌های پراکنده هیبریدی دارای منابع پنل‌های فتوولتائیک، ژنراتورهای توربین بادی، باتری‌ها و ژنراتورهای دیزلی به سیستم توزیع پیشنهاد شد. در مرحله اول از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات چند هدفه برای تعیین مکان نصب و ظرفیت بهینه تعداد مشخصی از این منابع تولید پراکنده هیبریدی با اهداف حداقل‌سازی هزینه انرژی خریداری‌شده از شبکه، حداقل‌سازی تلفات شبکه و حداقل‌سازی شاخص انحراف ولتاژ و لثاژ شبکه استفاده شد و در مرحله دوم با استفاده از نرم‌افزار هامر برای هر یک از منابع تولید پراکنده بدست‌آمده در مرحله قبل یک سیستم هیبریدی بهینه طراحی گردید بطوریکه حداکثر بار سیستم هیبرید برابر ظرفیت بدست‌آمده برای منبع تولید پراکنده بوده و الگوی بار، الگوی بار شبکه‌ای توزیع باشد.

نتایج مطالعات عددی نشان دادند که با جابجایی منبع‌های تولید پراکنده با کمک الگوریتم گروه ذرات چند هدفه، هر سه هدف هزینه سالانه انرژی خریداری‌شده از شبکه، مجموع تلفات شبکه و شاخص انحراف ولتاژ شبکه بهبود (کاهش) می‌یابند. نتایج طراحی بهینه سیستم هیبرید متناظر با منبع‌های تولید پراکنده به کمک نرم‌افزار هامر نشان داد که اولاً با بزرگتر شدن ظرفیت منبع پراکنده، اندازه تمامی اجزا سیستم هیبرید نیز افزایش یافت.

سیستم فتوولتائیک فقط در حالت بزرگترین منبع تولید پراکنده در طرح بهینه سیستم هیبرید ظاهر گردید. همچنین، درصد استفاده از انرژی تجدیدپذیر در هر سیستم‌های هیبرید طراحی‌شده حدود ۷۵ درصد است و سیستم بادی بیشترین میزان تولید سالیانه را در سیستم هیبرید دارد.

#### ۸- مراجع

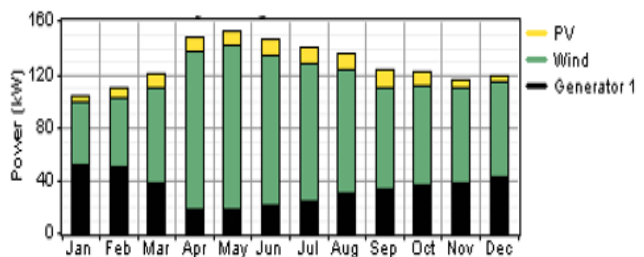
- [1] O. D. T. Odou, R. Bhandari, and R. Adamou, Hybrid off-grid renewable power system for sustainable rural electrification in Benin, *Renewable energy*, Vol. 145, pp. 1266-1279, 2020.
- [2] S. Y. Abujarad, M. W. Mustafa, and J. J. Jamian, Recent approaches of unit commitment in the presence of intermittent renewable energy resources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 70, pp. 215-223, 2017.
- [3] E. Saedpanah, R. F. Asrami, A. Sohani, and H. Sayyaadi, Life cycle comparison of potential scenarios to achieve the foremost

ت	ژنراتور	۵۸۸۰	۲۶۰۴۱۸	۱۷۶۳۷	۱۰۹۵۰	-	۱۵۷۴۸	۳۵
		۰		۴	۶۵	۱۵۸۴	۱۶	
		۶۳۰۰	۲۴۲۴۳۹	۷۲۲۶	۰		۲۹۶۲۵	۱
	Vision 6FM20 0D	۰				۱۶۴۱	۲	
		۲۳۷۵	۹۹۱۴	۲۵۲۳	۰	۴۹۳۹-	۳۱۲۵۹	۳
	کانورتور	۰						
		۹۸۵۵	۷۲۱۴۰۳	۳۳۹۸۲	۱۰۹۵۰	-	۳۰۰۰۷	
	سیستم	۶۰		۰	۶۵	۱۴۱۱	۲۱	
								۲۷

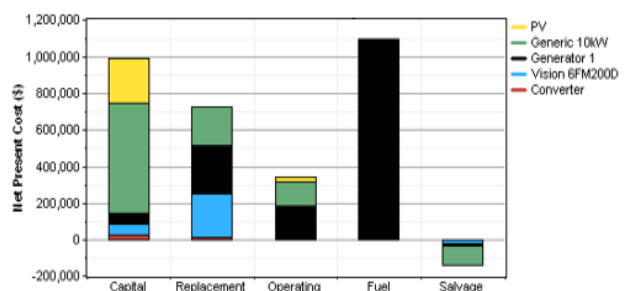
جدول ۱۰ خلاصه هزینه‌ها

کل هزینه خالص فعلی	۳۰۰۷۲۰\$
هزینه یکسان شده انرژی	۰/۳۳۲ \$/KWh
هزینه‌های عملیاتی	۱۷۵۶۹۱ \$/year

در ادامه، برق تولیدی ماهانه هر جز از سیستم هیبرید و جریان نقدینگی به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ قابل مشاهده هستند.



شکل ۸ میانگین برق تولیدی ماهانه



شکل ۹ خلاصه جریان نقدینگی

#### ۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در ادامه به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم پرداخته می‌شود. طبق جدول ۵ با بزرگتر شدن ظرفیت منابع توزیع پراکنده، اندازه تمامی اجزا نیز افزایش یافته‌است. در سیستم هیبرید بهینه بدست‌آمده برای نسل‌های پراکنده ۵۰ و ۱۱۰ کیلووات، سیستم فتوولتائیک وجود ندارد. در

- and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP), 2021: IEEE, pp. 424-429.
- [23] E. Koutroulis, D. Kolokotsa, A. Potirakis, and K. Kalaitzakis, Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms, *Solar energy*, Vol. 80, No. 9, pp. 1072-1088, 2006.
- [24] R. Dufo-López and J. L. Bernal-Agustín, Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms, *Solar energy*, vol. 79, no. 1, pp. 33-46, 2005.
- [25] A. Singh and S. Parida, Combined optimal placement of solar; wind and fuel cell based DGs using AHP, in *World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden*, 2011, no. 057: Linköping University Electronic Press, pp. 3113-3120.
- [26] P. Kayal and C. Chanda, Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 53, pp. 795-809, 2013.
- performance for an off-grid photovoltaic electrification system, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 242, p. 118440, 2020.
- [4] A. Louwen, W. G. Van Sark, A. P. Faaij, and R. E. Schropp, Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development, *Nature Communications*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-9, 2016.
- [5] A. Kaabeche, M. Belhamel, and R. Ibtouen, Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system, *Energy*, Vol. 36, No. 2, pp. 1214-1222, 2011.
- [6] C. Ghenai, A. Merabet, T. Salameh, and E. C. Pigem, Grid-tied and stand-alone hybrid solar power system for desalination plant, *Desalination*, Vol. 435, pp. 172-180, 2018.
- [7] A. S. Al-Buraiki and A. Al-Sharafi, Hydrogen production via using excess electric energy of an off-grid hybrid solar/wind system based on a novel performance indicator, *Energy Conversion and Management*, Vol. 254, p. 115270, 2022.
- [8] A. Elouali *et al.*, Physical models for packed bed: Sensible heat storage systems, *Journal of Energy Storage*, Vol. 23, pp. 69-78, 2019.
- [9] H. Mehrjerdi, E. Rakhshani, and A. Iqbal, Substation expansion deferral by multi-objective battery storage scheduling ensuring minimum cost, *Journal of energy storage*, Vol. 27, p. 101119, 2020.
- [10] H. Mehrjerdi and R. Hemmati, Electric vehicle charging station with multilevel charging infrastructure and hybrid solar-battery-diesel generation incorporating comfort of drivers, *Journal of Energy Storage*, Vol. 26, p. 100924, 2019.
- [11] Y. Venumadhav, Performance analysis of PI controller based grid connected renewable energy system, *Int Res J Eng Technol (IRJET)*, Vol. 5, No. 09, 2018.
- [12] H. Mehrjerdi and R. Hemmati, Modeling and optimal scheduling of battery energy storage systems in electric power distribution networks, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 234, pp. 810-821, 2019.
- [13] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki, and Y. Zeraoui, Energy storage: Applications and challenges, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 120, pp. 59-80, 2014.
- [14] H. Mehrjerdi, Modeling and optimization of an island water-energy nexus powered by a hybrid solar-wind renewable system, *Energy*, Vol. 197, p. 117217, 2020.
- [15] K. M. Kotb *et al.*, A fuzzy decision-making model for optimal design of solar, wind, diesel-based RO desalination integrating flow-battery and pumped-hydro storage: Case study in Baltim, Egypt, *Energy Conversion and Management*, Vol. 235, p. 113962, 2021.
- [16] S. A. Memon, D. S. Upadhyay, and R. N. Patel, Optimal configuration of solar and wind-based hybrid renewable energy system with and without energy storage including environmental and social criteria: A case study, *Journal of Energy Storage*, Vol. 44, p. 103446, 2021.
- [17] W. Zhang and A. Maleki, Modeling and optimization of a stand-alone desalination plant powered by solar/wind energies based on back-up systems using a hybrid algorithm, *Energy*, p. 124341, 2022.
- [18] W. Zhang, A. Maleki, and M. A. Nazari, Optimal operation of a hydrogen station using multi-source renewable energy (solar/wind) by a new approach, *Journal of Energy Storage*, Vol. 53, p. 104983, 2022.
- [19] Y. Cao, M. S. Taslimi, S. M. Dastjerdi, P. Ahmadi, and M. Ashjaee, Design, dynamic simulation, and optimal size selection of a hybrid solar/wind and battery-based system for off-grid energy supply, *Renewable Energy*, Vol. 187, pp. 1082-1099, 2022.
- [20] K. Babaremu *et al.*, Overview of Solar-Wind Hybrid Products: Prominent Challenges and Possible Solutions, *Energies*, Vol. 15, No. 16, p. 6014, 2022.
- [21] G. Dalton, D. Lockington, and T. Baldock, Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations, *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 4, pp. 1134-1144, 2009.
- [22] D. Novitasari, S. P. Hadi, and R. Budiarto, Generation Expansion Planning by Considering Climate-Land Use-Energy-Water (CLEW) Nexus, in *2021 International Conference on Technology*