Journal of Systems Smartening and Data Processing
Vol. 1 - No. 1 - Spring 2023

# Applying the New Meta-Heuristic Algorithm to Determine the Optimal Capacity and Placement of Electric Car Parking with Considering Renewable Energy Sources in the Distribution System

**Reza Sedaghati,** ***Assistant Professor***

**Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.**
**reza.sedaghati@iau.ac.ir**

**Received:** 23 August 2023 **Revised:** 17 October 2023 **Accepted:** 30 October 2023

**Abstract**:

Due to the importance of distribution systems, optimal planning and safety of these networks are very important. On the other hand, electric vehicles are one of the main characteristics of future electricity distribution networks. The uncoordinated and unmanaged presence of electric vehicles as an additional load in the network can aggravate problems such as voltage drop, voltage stability and increase in network losses. In order to alleviate the effects caused by the uncontrolled presence of these cars, it is necessary to manage their required power in coordination with other dispersed production sources. Therefore, we should try to reduce losses by properly planning the charging and discharging of cars, along with scattered productions, having the right voltage and, as a result, better economic efficiency. Therefore, in this article, the optimal use of electric car parking lots with the presence of renewable energy sources in the distribution system has been studied. Optimization of the problem, a new meta-heuristic algorithm based on the flower pollination algorithm was used to determine the variables of the problem, including the optimal capacity and location of solar sources, as well as electric parking lots and diesel generators in the distribution network. The problem is subject to network operation restrictions (thermal line restrictions, network bus voltage restrictions, etc.), the number of cars in electric parking lots, the permitted power capacity of solar units, and the capacity of diesels have been optimized. In this study, the capability of the proposed method based on the flower pollination algorithm has been evaluated with other algorithms. The simulation was done on the distribution network of IEEE 33 buses, and the results show that the convergence speed and accuracy of the proposed method is high.

**Keywords**: Metaheuristic algorithm, renewable energy sources, optimization, electric parking lots, power management.

**Corresponding Author:** Dr. Reza Sedaghati
**Corresponding Author Address:** Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

# بکارگیری الگوریتم نوین فراابتکاری جهت تعیین ظرفیت بهینه و جایابی پارکینگ خودروهای برقی با حضور منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم توزیع

**رضا صداقتی، استادیار**

گروه برق، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران.
Reza.sedaghati@iau.ac.ir

**تاریخ ارسال مقاله:** ۱۴۰۲/۰۶/۰۱ **تاریخ بازنگری مقاله:** ۱۴۰۲/۰۷/۲۵ **تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

**چکیده:** با توجه به اهمیت سیستم‌های توزیع، برنامه‌ریزی بهینه و ایمنی این شبکه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. از طرفی خودروهای برقی یکی از اصلی‌ترین مشخصه‌های شبکه‌های توزیع برق آینده هستند. حضور غیرهماهنگ و مدیریت نشده خودروهای الکتریکی به عنوان بار اضافه در شبکه می‌تواند سبب تشدید مشکلاتی از قبیل افت ولتاژ، پایداری ولتاژ و افزایش تلفات شبکه شود. به منظور تسکین اثرات ناشی از حضور کنترل نشده‌ی این خودروها لازم است که توان مورد نیاز آن‌ها با هماهنگی با سایر منابع تولید پراکنده مدیریت گردد. از اینرو بایستی با برنامه‌ریزی صحیح شارژ و دشارژ خودروها در کنار تولیدات پراکنده سعی در کاهش تلفات، داشتن ولتاژ مناسب و در نتیجه صرفه اقتصادی بهتر داشته باشیم. بنابراین در این مقاله بکارگیری بهینه پارکینگ‌های خودروهای برقی با حضور منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم توزیع مورد مطالعه قرار گرفته است. بهینه‌سازی مساله از الگوریتم نوین فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم گرده افشانی گل استفاده شده تا متغیرهای مساله شامل ظرفیت بهینه و مکان منابع خورشیدی و همچنین پارکینگ‌های الکتریکی و دیزل ژنراتورها در شبکه توزیع بصورت بهینه تعیین گردد. مساله در معرض قیود بهره‌برداری شبکه (قید حرارتی خطوط، قید ولتاژ باس‌های شبکه و ...)، تعداد خودروی پارکینگ‌های الکتریکی و ظرفیت توان مجاز واحدهای خورشیدی و ظرفیت دیزل‌ها بهینه شده است. در این مطالعه قابلیت روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم گرده افشانی گل با الگوریتم‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است. شبیه‌سازی بر روی شبکه توزیع ۳۳ شینه IEEE صورت پذیرفته که نتایج نشان‌دهنده بالا بودن سرعت و دقت همگرایی روش پیشنهادی است.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم فراابتکاری، منابع انرژی تجدیدپذیر، بهینه‌سازی، پارکینگ‌های الکتریکی، مدیریت توان.

**نام نویسنده‌ی مسئول:** دکتر رضا صداقتی
**نشانی نویسنده‌ی مسئول:** شهرستان بیضا- دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیضا

**۱- مقدمه**

طراحان شبکه‌های توزیع تلاش می‌کنند تا مشترکین خود را با برق مطمئن و مقرون به صرفه تامین کنند. این شرکت‌ها فناوری‌های مختلفی چون تولیدات پراکنده و خازن‌ها را برای دستیابی به این مقصود در اختیار می‌گیرند. فناوری‌های تولید پراکنده که در واقع یک منبع تولید انرژی الکتریکی می‌باشند مستقیماً به شبکه توزیع یا به سمت مصرف‌کننده متصل می‌شود، دارای مزایای اقتصادی و فنی فراوانی هستند. این مزایا را نمی‌توان بدون تعیین ظرفیت و مکان بهینهٔ واحدهای تولید پراکنده، بیشینه کرد [۱]. بنابراین، مکان‌یابی بهینهٔ تولید پراکنده یکی از مهم‌ترین مسائلی است که باید در مسالهٔ برنامه‌ریزی توزیع مدنظر قرار گیرد. یک تصمیم‌گیری مناسب می‌تواند موجب مزایای بی‌شماری برای شبکهٔ توزیع، تامین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان شود. شاخص قابلیت اطمینان و کاهش تلفات دو هدف اصلی هستند که باید در یافتن ظرفیت و مکان تولیدات پراکنده در نظر گرفته شوند [۲].

علاوه بر این، در دهه اخیر استفاده از خودروهای الکتریکی در صنعت حمل و نقل مورد استقبال چشم‌گیری قرار گرفته است. خودروهای الکتریکی می‌توانند هزینهٔ سوخت، مصرف مواد نفتی و انتشار آلاینده‌ها را کاهش دهند. تکامل خودروهای برقی باعث می‌شود بتوان آن‌ها را از شبکهٔ برق شارژ کرد، همچنین بتوان انرژی مازاد آن‌ها را به شبکه تزریق نمود [۳،۴]. همچنین امروزه منابع تولید پراکنده[۱] به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر برای صنعت برق از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. این منابع در برخی مواقع جایگزین پروژه‌های توسعه، تولید یا انتقال گردیده و یا آن‌ها را به تعویق می‌اندازند و بدین گونه باعث افزایش سودآوری شرکت‌های برق می‌شوند [۵،۶].

از خودروهای الکتریکی به دلیل بهره‌برداری مختلف از باتری‌های آن‌ها، می‌توان به صورت‌های متفاوتی بهره‌برداری نمود. بدین صورت که در شرایط شارژ، سیستم به عنوان بار در نظر گرفته می‌شود و در شرایط پرباری شارژ به عنوان یک نیروگاه کوچک یا منبع تولید پراکنده در نظر گرفته می‌شود. چنین بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی موجب کاهش هزینه‌های سیستم قدرت در شرایط پیک بار می‌گردد. از طرف دیگر، استفاده قابل توجه از منابع تولید پراکنده در شبکه و گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی، بهره‌برداران شبکه توزیع را با چالش‌های جدیدی از جمله چرخه‌های شارژ و دشارژ باتری این نوع خودورها مواجه ساخته است [۷]. در واقع، قرارگیری منابع تولید پراکنده و پارکینگ خودروهای الکتریکی[۲] در شبکه توزیع بدون برنامه‌ریزی فنی و مکان‌یابی بهینه، به مشکلات اقتصادی برای سرمایه گذار پارکینگ و مشکلات فنی برای بهره‌بردار شبکه توزیع منجر می‌شود. همچنین بکارگیری بهینه پارکینگ خوردوهای الکتریکی برای شرکت‌های توزیع برق از نظر تلفات نیز بسیار پر اهمیت می‌باشد [۸].

در این مقاله، مکان‌یابی، تعیین ظرفیت و همچنین مدیریت انرژی پارکینگ‌های الکتریکی به همراه پنل‌های خورشیدی[۳] و دیزل ژنراتورها[۴] در شبکه‌های توزیع ۳۳ باسه شعاعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مطالعه تعداد دیزل ژنراتور در حالت پایه در شبکه‌های توزیع نصب می‌باشد و تعدادی هم به همراه پارکینگ‌های الکتریکی و پنل‌های خورشیدی در شبکه‌های توزیع مکان‌یابی می‌شوند. هدف مطالعه، تعیین مکان و ظرفیت بهینه پنل‌های خورشیدی، پارکینگ خودروهای الکتریکی و دیزل ژنراتوها برای تامین بار شبکه می‌باشد. در صورتی که انرژی تولیدی بیشتر از تقاضای بار شبکه باشد، پارکینگ‌های الکتریکی در حالت شارژ قرار خواهند داشت. زمانی که انرژی تولیدی کمتر از نیاز بار باشد، کمبود بار توسط دشارژ پارکینگ‌های الکتریکی پاسخ داده می‌شود. در صورتی که پارکینگ‌های الکتریکی نیز قادر به تامین بار نباشند، کسری بار توسط خرید انرژی از شبکه بالادست تامین می‌گردد. بنابراین تابع هدف مساله بصورت کمینه‌سازی هزینه تلفات توان، هزینه تولید توان پنل‌های خورشیدی، هزینه شارژ و دشارژ پارکینگ‌های الکتریکی و هزینه خرید توان از شبکه بالادست ارائه شده است. هزینه بکارگیری منابع تجدیدپذیر بیانگر هزینه انرژی تولیدی توسط واحدهای خورشیدی با درنظر گرفتن هزینه هر کیلووات ساعت می‌باشد. هزینه عدم تامین بار (انرژی تامین نشده) بیانگر هزینه بخشی از انرژی مورد نیاز بار که توسط واحدهای تجدیدپذیر، پارکینگ‌های الکتریکی و خرید توان از شبکه بالادست در شبکه تامین نشده، می‌باشد که بصورت جریمه در مطالعه درنظر گرفته شده است. در این مطالعه برای حل مساله بهینه‌سازی از الگوریتم گرده افشانی گل[۵] (FPA) استفاده می‌گردد. متغیرهای بهینه‌سازی شامل مکان و ظرفیت بهینه منابع خورشیدی و همچنین پارکینگ‌های الکتریکی و دیزل

ژنراتورها در شبکه توزیع است. قیود مساله شامل قیود بهره‌برداری شبکه، ظرفیت توان مجاز واحدهای خورشیدی و تعداد خودروی پارکینگ‌های الکتریکی و ظرفیت دیزل‌ها درنظر گرفته شده است. در این مطالعه تلفات شبکه توزیع و هزینه آن قبل و پس از بهینه‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین میزان عدم تامین بار و هزینه انرژی خریداری شده از شبکه بالادست قبل و پس از بهینه‌سازی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. علاوه بر این حداقل ولتاژ شبکه نیز قبل و پس از بهینه‌سازی بررسی شده و مشارکت هر فن آوری (منابع انرژی و پارکینگ‌های الکتریکی) در کاهش تلفات شبکه و بهبود هزینه‌های انرژی تامین نشده مشترکین و خرید انرژی از شبکه اصلی تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که جهت راستی آزمایی روش پیشنهادی نتایج حاصل با روش زنبور عسل مصنوعی[۶] (ABC) و روش‌های مطرح شده در مطالعات گذشته بر روی سیستم توزیع ۳۳ باسه IEEE مورد مقایسه و تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۲- فرمول‌بندی مسئله

در این مطالعه هدف مساله، مکان‌یابی و مدیریت انرژی پارکینگ خودروهای الکتریکی، واحدهای خورشیدی و واحدهای دیزلی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های تلفات انرژی، هزینه‌های تولید انرژی، هزینه‌های شارژ و دشارژ باتری پارکینگ‌ها، هزینه خرید توان از شبکه اصلی و همچنین هزینه‌های بکارگیری واحدهای خورشیدی و واحدهای دیزلی است. در این مساله علاوه بر تعیین مکان و ظرفیت بهینه نصب واحدهای خورشیدی، پارکینگ‌های الکتریکی و دیزل‌های DS که در فرایند بهینه‌سازی به همراه توربین‌ها و پارکینگ‌ها جایابی و اندازه‌یابی می‌شوند، مدیریت انرژی و مشارکت واحدها در تامین بار شبکه نیز ارائه شده است. تابع هدف مساله بصورت زیر تعریف شده است [۹]:

$$\min f = \sum_{t=1}^{N}[C_{loss}P_{loss}(t)+C_{grid}P_{grid}(t)+C_{UG}(P_{UG}(t))+C_{DS}(P_{DS}(t))+C_{PV}P_{PV}(t)+C_{gr}P_{gr}(t)+C_{ens}ENS] \quad (۱)$$

در رابطه فوق $C_{loss}$ ، $C_{grid}$، $C_{UG}$، $C_{DS}$، $C_{DS}$ و $C_{ens}$ $C_{gr}$ به ترتیب هزینه هر کیلووات تلفات، هزینه هر کیلووات توان دریافتی از شبکه اصلی، هزینه هر کیلووات توان دیزل‌های UG، هزینه هر کیلووات توان دیزل‌های DS، هزینه هر کیلووات توان خورشیدی، هزینه توان پارکینگ الکتریکی و هزینه انرژی تامین نشده شبکه است. همچنین $P_{loss}$، $P_{grid}$، $P_{UG}$، $P_{DS}$، $P_{PV}$، $P_{gr}$ و $ENS$ به ترتیب بیانگر مقدار تلفات توان، توان دریافتی از شبکه اصلی، توان دیزل‌های UG، توان دیزل‌های DS، توان تولیدی واحدهای خورشیدی، توان پارکینگ‌های الکتریکی و انرژی تامین نشده شبکه است. $P_{gr}$ یعنی توان خالص پارکینگ‌های الکتریکی که بصورت اختلاف توان دشارژ و شارژ می‌باشد، بصورت زیر تعریف شده است [۱۰]:

$$P_{gr}(t) = P_{disch}(t) - P_{ch}(t) \quad (۲)$$

در رابطه فوق $P_{disch}(t)$ و $P_{ch}(t)$ توان دشارژ شده و شارژ شده توسط پارکینگ‌ها در ساعت $t$ می‌باشد. رابطه هزینه دیزل‌های UG به صورت زیر تعریف شده است [۱۲]:

$$C_{UG}(P_{UG}(t)) = \sum_{i=1}^{NUG}(a_i + b_i P_{UG-i}t) + c_i P_{UG-i}(t)^2) \quad (۳)$$

در رابطه فوق $a_i$ ، $b_i$ و $c_i$ ضرایب هزینه دیزل ژنراتور می‌باشد. $NUG$ بیانگر تعداد دیزل ژنراتورهای UG است. همچنین رابطه هزینه دیزل‌های DS، که به همراه واحدهای خورشیدی و تعداد خودروی پارکینگ‌ها در شبکه جایابی شده اند، به صورت زیر تعریف شده است [۱۴]:

$$C_{DS}(P_{DS}(t)) = \sum_{i=1}^{NDS}(a_i + b_i P_{DS-i}(t) + c_i P_{DS-i}(t)^2) \quad (۴)$$

در رابطه فوق $NDS$ بیانگر تعداد دیزل ژنراتورهای DS (در این مطالعه تعداد ۴ دیزل DS با ضرایب مشابه برای قرارگرفتن در شبکه انتخاب شده است) است.

در ادامه اگر اتصال شبکه توزیع به فیدر اصلی سیستم قطع گردد امکان دارد مقداری از بار سیستم تامین نگردد که این مساله را با تعریف متغیری به اسم انرژی بار تامین نشده[۷] (ENS) مدل‌سازی کرده و به تابع هدف اضافه می‌گردد. متغیر ENS میزان انرژی تامین نشده بارهای سیستم توزیع را بیان کرده و در صورت بروز این مشکل و قطع سیستم توزیع از فیدر اصلی و عدم

توانایی سیستم در تامین بار باید حذف بار صورت گیرد ولی اگر مدیریت انرژی به گونه‌ای صورت گیرد که PHEV و دیگر منابع تولید توان حمایت کافی را ارائه کنند نیازی به حذف بار نیست و می‌توان عملکرد عادی سیستم را تضمین نمود. ENS بدین صورت تعریف می‌گردد [۷]:

$$ENS = \sum_{i=1}^{N_{branch}} \sum_{j=1}^{N_l} \lambda_i \times P_i \times t_i \quad (۵)$$

که $\lambda_i$ نرخ خروج خط فیدر اصلی، $t_i$ زمان قطع بودن سیستم از فیدر و $P_i$ مقدار بار تامین نشده است. این مقدار بصورت هزینه با ضریب هزینه‌ی هر کیلووات ساعت انرژی تامین نشده بصورت جریمه به تابع هدف کمینه‌سازی اعمال می‌گردد، لذا می‌توان با در نظر گرفتن خروج خط فیدر اصلی مقدار هزینه انرژی تامین نشده را بصورت زیر تعریف کرد:

$$C_{ENS} = C_{ens} \times ENS \quad (۶)$$

### ۱-۲- قیود بهره‌برداری

از طرفی مساله بهینه‌سازی می‌بایست در معرض قیود زیر بهینه شود. قیود بهره‌برداری بصورت زیر می‌باشد [۱۰]:

- قید تعادل توان

$$P_{DG}(t) + P_{grid}(t) + P_{gr}(t) - P_{loss}(t) - P_D(t) = 0 \quad (۷)$$

در رابطه فوق $P_{DG}$ یعنی توان تولیدی متشکل از توان تولیدی واحدهای خورشیدی و دیزل‌ها بصورت زیر است:

$$P_{DG}(t) = P_{UG}(t) + P_{DS}(t) + P_{PV}(t) \quad (۸)$$

- قید توان دریافتی از فیدر اصلی

در این مطالعه حداکثر به اندازه ۳۰٪ بار شبکه در هر ساعت می‌توان از شبکه اصلی توان دریافت کرد ( $P_{grid-\max}$ بیانگر حداکثر توان دریافتی از شبکه است). در صورتی که این قید برآورده شود (طبق رابطه (۹)) ، هزینه هر کیلووات توان دریافتی برابر $C_{s1}$ در نظر گرفته می‌شود. در غیراین‌صورت هزینه توان دریافتی برای هر کیلووات ۱۰٪ بیشتر از $C_{s1}$ یعنی $C_{s2}$ در نظر گرفته می‌شود [۱۰].

$$C_{grid} = C_{s1} \quad \forall P_{grid}(t) \le P_{grid-\max} \quad (۹)$$

$$C_{grid} = C_{s2} = 1.1 * C_{s1} \quad \forall P_{grid}(t) \succ P_{grid-\max} \quad (۱۰)$$

- قید باتری‌های PHEV : میزان SOC یا مقدار شارژ باتری PHEV در لحظه باید بین دو مقدار محدود گردد [۱۰].

$$SOC_{\min} \le SOC_i(t) \le SOC_{\max} \quad (۱۱)$$

$$P_{ch}(t) \le R_{ch} \quad (۱۲)$$

$$P_{disch}(t) \le R_{disch} \quad (۱۳)$$

SOC مخفف state of charge بیانگر مقدار انرژی باتری می‌باشد که بین یک محدوده مینیمم و ماکزیمم می‌باشد. بعبارتی باتری نمی‌تواند بطور کامل دشارژ شود یعنی دارای یک ظرفیت مینیمم یا نرخ دشارژ $R_{disch}$ بوده و از طرفی از ظرفیت حداکثر خود یعنی $R_{ch}$ یا نرخ شارژ نمی‌تواند تجاوز کند. رابطه SOC یا شارژو دشارژ باتری بصورت زیر بیان می‌شود (X و Y دو مقدار باینری می‌باشند) [۱۰]:

$$SOC_i t) = SOC_i(t-1) + P_{ch}(t) X(t) - P_{disch}(t) Y(t) \quad (۱۴)$$

X و Y می‌توانند یا ۰ باشند یا ۱. اعداد ۰ و ۱ برای X(t) به ترتیب بیانگر عدم شارژ و حالت شارژ باتری‌ها است. همچنین اعداد ۰ و ۱ برای Y(t) به ترتیب بیانگر عدم دشارژ و حالت دشارژ باتری‌ها است. می‌بایستی رابطه زیر برقرار باشد:

$$X(t) + Y(t) \le 1 \quad (۱۵)$$

- قید ولتاژ، حداکثر توان عبوری از خط و توان تولیدی ژنراتور [۱۰]

$$V_i^{\min} \le V_i(t) \le V_i^{\max} \qquad i = 1,2,...,nbus \tag{۱۶}$$

$$|S_i(t)| \le |S_i^{\max}| \qquad i = 1,2,...,nline \tag{۱۷}$$

$$P_{DG-i}^{\min} \le P_{DG-i}(t) \le P_{DG-i}^{\max} \qquad i = 1,2,...,ng \tag{۱۸}$$

## ۳- برنامه‌ریزی مدیریت انرژی

در طرح مدیریت انرژی، تبادل و توزیع توان براساس توان در دسترس واحدهای خورشیدی و طبق دسترس‌پذیری خودوری داخل پارکینگ‌های تعریف شده و مقدار SOC خودورها تعیین می‌گردد. کل توان تولیدی در هر ساعت شامل توان واحدهای خورشیدی و حداکثر توانی که توسط دیزل ژنراتورها (UGها و DSها) می‌تواند تامین شود، است.

در ادامه طرح مدیریت انرژی در هر ساعت ارائه شده است. زمانی که کل انرژی تولیدی توسط منابع تولید پراکنده امکان تامین کل بار را نداشته باشد، فیدر اصلی وظیفه تامین بار سیستم را دارد (حداکثر به اندازه ۳۰٪ بار شبکه). بعنوان مثال اگر واحدهای خورشیدی قادر به تامین کامل بار نباشد، آنگاه از انرژی ذخیره شده در باتری PHEV کمک گرفته می‌شود و اگر کافی نبود از دیزل ژنراتورها برای تامین بار بهره گرفته می‌شود [۱۲]. در شرایطی که انرژی تولیدی توسط منابع خورشیدی، پارکینگ‌ها و دیزل قابلیت تامین کامل بار را نداشته باشد، مابقی نیاز بار از فیدر اصلی سیستم تامین می‌گردد. از طرفی اگر تقاضای بار کمتر از تولید کل باشد و SOC کمتر از SOC ماکزیمم باشد آنگاه با در نظر گرفتن نرخ مجاز شارژ، باتری‌های PHEV شارژ می‌شود. اگر (تولید کل-شارژ باتری) بزرگتر از صفر باشد آنگاه توزیع بهینه توان واحدهای دیزل سیستم تعیین می‌شود. در غیر اینصورت اگر ، تقاضای بار بزرگتر از تولید کل باشد و SOC بیشتر از SOC مینیمم باشد آنگاه با در نظر گرفتن نرخ مجاز شارژ، باتری‌های PHEV دشارژ می‌شود.

در این مطالعه از الگوریتم FPA برای حل مساله استفاده شده است. متغیرهایی که بصورت بهینه توسط الگوریتم بهینه‌سازی تعیین شده‌اند، ظرفیت DGها و تعداد خودروی پارکینگ‌های الکتریکی می‌باشد. همانطور که پیشتر بیان شد، در این مطالعه تعدادی واحد خورشیدی، پارکینگ الکتریکی و همچنین تعدادی دیزل DS که پیشتر تعریف گردید، توسط روش بهینه‌سازی جایابی می‌شوند. البته تعداد سه دیزل UG نیز از قبل در شبکه موجود بوده است. لازم به ذکر است که مکان هر یک از این واحدها بطور مفروض ارائه شده و هدف تعیین ظرفیت و همچنین عدم و یا عدم وجود این واحدها در مکان در نظر گرفته شده است. در حل مساله بهینه‌سازی، تعداد متغیرها ۲۶ انتخاب شده است. ۳ متغیر اول بیانگر ظرفیت ۳ واحد خورشیدی و ۸ متغیر بعدی نیز ظرفیت یا تعداد خودروهای ۸ پارکینگ الکتریکی در نظر گرفته شده است. ۴ متغیر دیگر یعنی متغیرهای ۱۲ تا ۱۵ بصورت صفر یا ۱ در نظر گرفته شده که عدد صفر بیانگر عدم وجود دیزل‌های DS و عدد ۱ بیانگر وجود آن می‌باشد (تعداد دیزل‌های DS برابر ۴ انتخاب شده است). ۱۱ متغیر باقیمانده یعنی متغیرهای ۱۶ تا ۲۶ نیز بصورت صفر یا ۱ به معنای عدم وجود و یا وجود تعداد ۳ واحد خورشیدی و ۸ پارکینگ الکتریکی می‌باشند.

## ۴- پیاده‌سازی الگوریتم فراابتکاری گرده افشانی گل

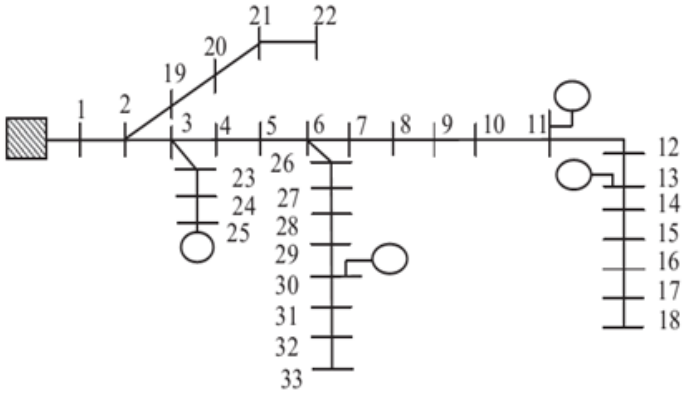
الگوریتم گرده افشانی گل‌ها توسط آقای یانگ معرفی شد [۸]. این روش از گرده افشانی گل‌ها الهام گرفته است. هدف اصلی یک گل تولید مثل از طریق گرده افشانی است. گرده افشانی گل در حقیقت انتقال گرده گل توسط پرندگان، حشرات، خفاش‌ها و یا دیگر حیوانات می‌باشد. گرده افشانی در دو فرم اصلی انجام می‌گیرد. جاندار و غیر جاندار. گل‌دهی گیاهان گل‌دار بیشتر به گرده افشانی جاندار بستگی دارد که در آن گرده‌ها از طریق جانوران منتقل می‌شود. بقیه گرده افشانی بصورت غیرجاندار انجام می‌گیرد که در آن نیازی به پخش‌کننده نیست که از آن جمله می‌توان به علف‌ها اشاره کرد [۸،۹]. باد و انتشار برای گره افشانی در بعضی از گیاهان گل‌دار کمک می‌کند. دو نوع دیگر گرده افشانی گرده افشانی خودی و گرده افشانی تقاطعی است. در گرده افشانی خودی، گرده افشانی برای یک گل توسط همان نوع گل انجام گرفته و در گرده افشانی تقاطعی، گرده گل

افشانی از طریق نوع دیگری انجام می‌گیرد. هدف گرده افشانی گل‌ها، بقای بهترین و بیشترین گل‌هاست. به عبارت دیگر هم از نظر کیفیت و هم از نظر کمیت، بهترین گل‌ها تولید شوند. این می‌تواند به عنوان یک بهینه‌سازی طبیعی در نوع گل در نظر گرفته شود. تمام این کارها (گرده افشانی) برای تولید بهینه گیاهان گل‌دار می‌باشد.

مراحل پیاده‌سازی الگوریتم در حل مساله ارائه شده است: مرحله ۱) ابتدا متغیرهای مساله به ازای جمعیت الگوریتم گرده افشانی گل بصورت تصادفی تعیین می‌شوند. مرحله ۲) برای هر یک از اعضای جمعیت الگوریتم، طرح مدیریت انرژی اعمال شده و قیود بهره‌برداری چک می‌گردد. مرحله ۳) مقدار تابع هدف به ازای متغیرهای انتخاب شده در گام ۱، برای هر یک از اعضای جمعیت الگوریتم محاسبه شده و بهترین جواب مشخص می‌شود. مرحله ۴) بر اساس الگوریتم گرده افشانی گل، جمعیت الگوریتم به‌روزرسانی شده و سپس متغیرها مجدد بطور تصادفی تعیین شده و به ازای آن‌ها مقدار تابع هدف ارزیابی می‌شود. سپس بهترین جواب تعیین می‌گردد. در صورتی که مقدار تابع هدف بدست آمده در گام ۳ بهتر از مقدار تابع هدف در گام ۴ باشد جایگزین شده و مجموعه متغیر متناظر با آن به عنوان بهترین مجموعه در نظر گرفته می‌شود. مرحله ۵) در صورتی که احراز شرایط همگرایی (دست‌یابی به بهترین مقدار تابع هدف و حداکثر تکرار) برقرار گردد به گام ۶ می‌رویم در غیراینصورت به گام ۲ می‌رویم. مرحله ۶) توقف الگوریتم و چاپ نتایج (متغیرهای بهینه و مقدار تابع هدف).

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

مطابق شکل (۱) دیاگرام تک خطی شبکه ۳۳ باسه IEEE نشان داده شده است. شبکه‌های مذکور برای پیاده‌سازی مکان‌یابی پارکینگ‌های الکتریکی به همراه تولیدات پراکنده شامل آرایه‌های خورشیدی و واحدهای دیزلی استفاده شده است.




**شکل (۱): دیاگرام تک خطی شبکه ۳۳ باسه**

### ۵-۱- نتایج شبیه‌سازی حالت پایه

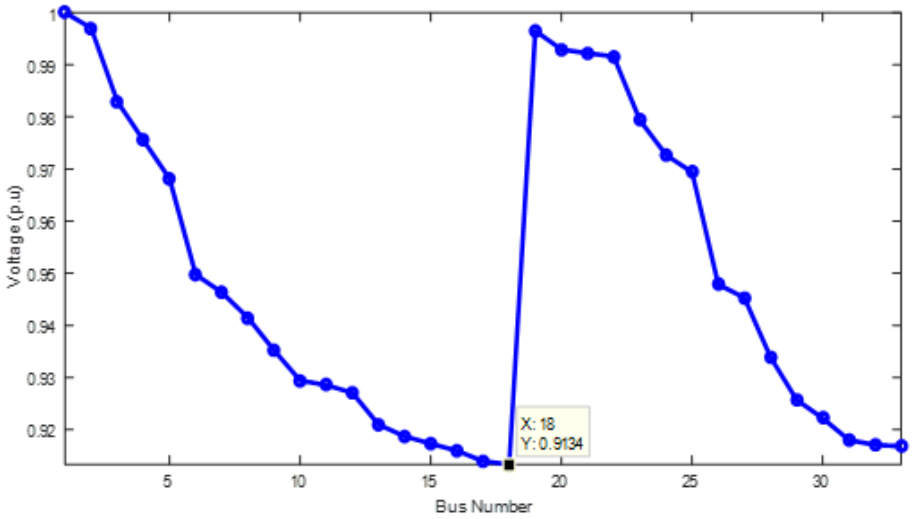
در حالت پایه شبکه طبق شکل (۲)، پروفیل ولتاژ شبکه در شرایط پیک بار و شدیدترین انحراف ولتاژ رسم شده که کمترین ولتاژ شبکه ۰/۹۱۳۴ پریونیت در باس ۱۸ است که از محدوده مجاز ولتاژ خارج شده است.

همچنین در شکل (۳) منحنی تلفات شبکه در طول ۲۴ ساعت پیک بار شبکه رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان حداکثر تلفات اکتیو شبکه در حالت پایه بدون هیچ تولید پراکنده و پارکینگ شارژ ۲۰۱/۹ مگاوات بوده است.

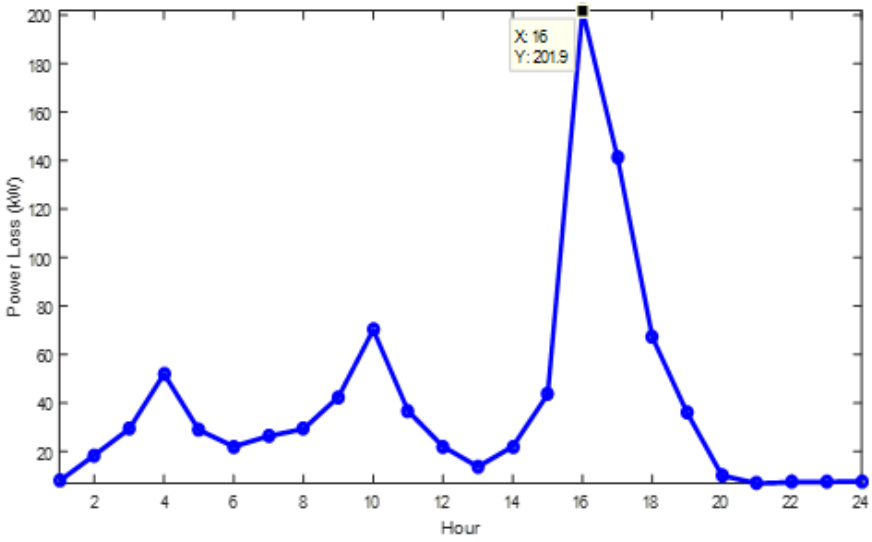
### ۵-۲- نتایج شبیه‌سازی با روش پیشنهادی

در این بخش نتایج مکان‌یابی تولیدات پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم بدون در نظر گرفتن هزینه انرژی تامین نشده مشترکین به عنوان شاخص قابلیت اطمینان با استفاده الگوریتم FPA ارائه شده است. حداکثر توان هر آرایه‌های خورشیدی در شبکه ۳۳ باسه ۲۰۰ کیلووات بوده و بین توان خروجی و میزان تابش رابطه خطی برقرار است. در این مطالعه تعداد ۳ واحد آرایه خورشیدی با حداکثر ظرفیت ۶۰۰ کیلووات بکار گرفته شده است. در جدول (۱)، باس‌های کاندیدا برای نصب آرایه‌های خورشیدی، دیزل ژنراتورهای DS و پارکینگ‌های الکتریکی بیان شده است. در شبکه ۳۳ باسه

حداکثر ۴ دیزل ژنراتور ۲۰۰ کیلوواتی قابل نصب است. پارکینگ‌های الکتریکی نیز حداکثر تعداد هشت پارکینگ تجاری و مسکونی مطابق جدول (۱)، قابل نصب می‌باشد.




**شکل (۲): پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه**




**شکل (۳): منحنی تلفات شبکه در حالت پایه شبکه ۳۳ باسه**

**جدول (۱): باس‌های کاندیدا برای نصب تولیدات پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی در شبکه ۳۳ باسه**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **باس کاندیدا** | ۶ | ۸ | ۲۹ | ۳۰ | ۲۷ | ۱۳ | ۱۰ | -- |
| **نوع DG** | PV | PV | PV | DS | DS | DS | DS | -- |
| **باس کاندیدا** | ۲۴ | ۲۱ | ۳۱ | ۳۲ | ۲۸ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۲ |
| **نوع پارکینگ** | $G_C$ | $G_C$ | $G_C$ | $G_R$ | $G_C$ | $G_C$ | $G_R$ | $G_R$ |

نتایج بهینه‌سازی تابع هدف مساله با استفاده از الگوریتم FPA در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین جهت ارزیابی قابلیت روش پیشنهادی، مساله با روش‌هایی نظیر الگوریتم زنبور عسل مصنوعی (ABC)، الگوریتم اجتماع ذرات[۸] (PSO) ، الگوریتم شیرمورچه[۹] (ALO)، الگوریتم گرگ خاکستری[۱۰] (GWO)، الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری[۱۱] (TLBO)، که

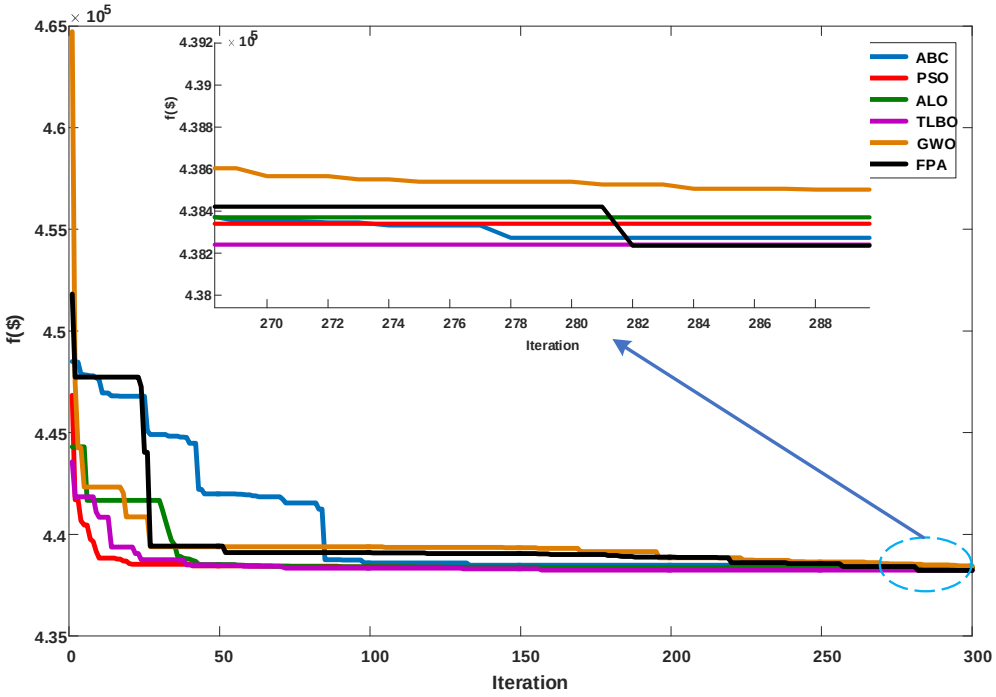
غیر از PSO (روش بهینه‌سازی بسیار قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی مهندسی برق) در سال‌های اخیر ارائه شده اند و از سرعت و دقت همگرایی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند، انجام و نتایج بدست آمده از نظر مقدار تابع هدف و همچنین ظرفیت تجهیزات طبق جدول (۳) مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

هر یک از روش‌های بهینه‌سازی ۳۰ بار اجرا شده اند و بهترین تابع هدف به عنوان بهترین جواب هر یک از روش‌ها انتخاب شده است. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی توانسته است مقدار هزینه کمتری در حل مساله بکارگیری تولیدات پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی به مقدار ۰/۴۳۸۲۳ میلیون دلار بدست آورد. همچنین منحنی همگرایی بدست آمده از روش‌های مختلف در شکل (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ۳۰۰ تکرار روش پیشنهادی توانسته تقریبا مقدار هزینه کمتری بدست آورد.

**جدول (۲): مقدار تابع هدف بدست آمده از روش‌های مختلف در شبکه ۳۳ باسه**

| روش | مقدار تابع هدف |
|---|---|
| **FPA** | **0.43823** |
| ABC | 0.43827 |
| PSO | 0.43833 |
| ALO | 0.43837 |
| GWO | 0.43845 |
| TLBO | 0.43824 |

مطابق نتایج جدول (۳)، در روش پیشنهادی تعداد یک PV در باس ۲۹ با ظرفیت حداکثر ۲۰۰ کیلووات نصب شده است. همچنین تعداد ۴ پارکینگ در باس‌های ۱۵، ۱۲، ۳۱ و ۲۱ به ترتیب با تعداد ۱۱۳۱، ۱۰۰۳، ۱۰۷۵ و ۱۱۳۸ خودرو در شبکه ۳۳ باسه نصب شده است. علاوه بر این تعداد ۲ دیزل DS در باس‌های ۱۳ و ۳۰ هر کدام با ظرفیت ۲۰۰ کیلووات نصب شده است.

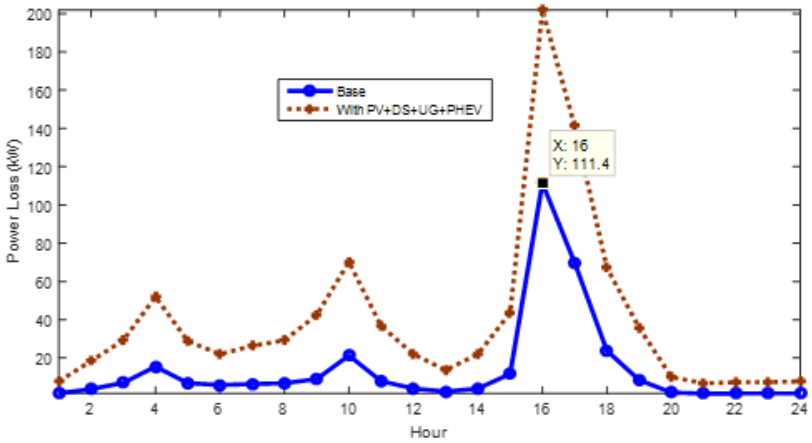



**شکل (۴): منحنی همگرایی روش FPA به همراه سایر روش‌ها در شبکه ۳۳ باسه**

**جدول (۳): مکان، نوع تجهیز و ظرفیت بدست آمده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی در شبکه ۳۳ باسه**

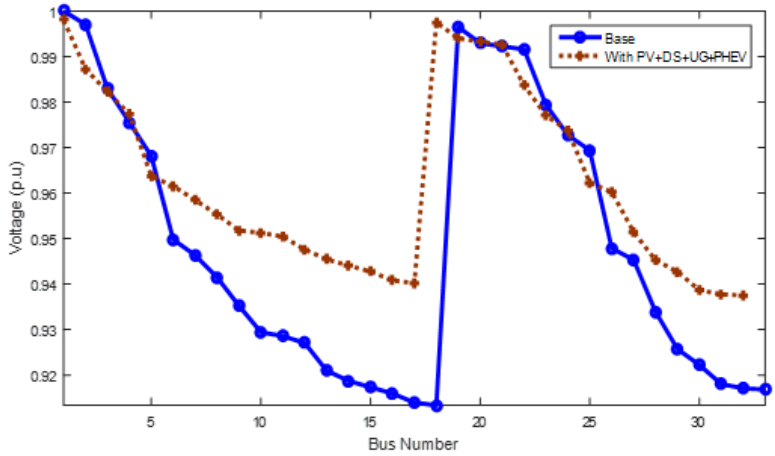
| الگوریتم FPA | | | الگوریتم ABC | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) | نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) |
| PV | ۲۹ | ۲۰۰ | PV | ۶ | ۱۶۷ |
| $G_R$ | ۱۵ | ۱۱۳۱ | PV | ۸ | ۱۳۰ |
| $G_R$ | ۱۲ | ۱۰۰۳ | PV | ۲۹ | ۱۶۵ |
| $G_C$ | ۳۱ | ۱۰۷۵ | $G_R$ | ۱۲ | ۱۷۳۵ |
| $G_C$ | ۲۱ | ۱۱۳۸ | $G_C$ | ۱۷ | ۱۳۴۳ |
| DS | ۱۳ | ۲۰۰ | $G_C$ | ۲۶ | ۱۳۰۰ |
| DS | ۳۰ | ۲۰۰ | $G_C$ | ۳۱ | ۸۶۳ |
| -- | -- | -- | $G_C$ | ۲۱ | ۸۱۹ |
| -- | -- | -- | DS | ۱۰ | ۲۰۰ |
| PV | ۲۹ | ۲۰۰ | PV | ۶ | ۱۶۷ |
| **الگوریتم PSO** | | | **الگوریتم ALO** | | |
| نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) | نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) |
| PV | ۶ | ۱۵۳ | PV | ۶ | ۱۹۸ |
| PV | ۸ | ۹۱ | PV | ۸ | ۱۸۷ |
| $G_R$ | ۱۲ | ۱۱۸۹ | $G_R$ | ۱۲ | ۱۸۹۸ |
| $G_R$ | ۱۵ | ۱۴۶۳ | $G_R$ | ۱۵ | ۲۵۴ |
| $G_C$ | ۳۱ | ۱۳۲۹ | $G_C$ | ۱۷ | ۱۰۱۴ |
| $G_C$ | ۲۴ | ۱۶۸۴ | $G_R$ | ۳۲ | ۱۰۰۶ |
| DS | ۳۰ | ۲۰۰ | $G_C$ | ۳۱ | ۸۷۵ |
| -- | -- | -- | $G_C$ | ۲۴ | ۱۳۴۴ |
| -- | -- | -- | DS | ۳۰ | ۲۰۰ |
| PV | ۶ | ۱۵۳ | PV | ۶ | ۱۹۸ |
| **الگوریتم GWO** | | | **الگوریتم TLBO** | | |
| نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) | نوع تجهیز | باس نصب | ظرفیت (MW) |
| PV | ۸ | ۱۹۷ | PV | ۶ | ۸۳ |
| $G_R$ | ۱۵ | ۱۸۰۸ | PV | ۸ | ۱۶۸ |
| $G_C$ | ۱۷ | ۱۴۹۴ | PV | ۲۹ | ۱۰۶ |
| $G_C$ | ۲۸ | ۳۱۶ | $G_R$ | ۱۲ | ۱۴۲۰ |
| $G_R$ | ۳۲ | ۵۷۳ | $G_C$ | ۱۷ | ۸۲۲ |
| $G_C$ | ۳۱ | ۱۹۲۳ | $G_C$ | ۳۱ | ۱۵۷۵ |
| DS | ۱۳ | ۲۰۰ | $G_C$ | ۲۱ | ۹۶۰ |
| DS | ۳۰ | ۲۰۰ | $G_C$ | ۲۴ | ۹۰۷ |
| PV | ۸ | ۱۹۷ | PV | ۶ | ۸۳ |
| $G_R$ | ۱۵ | ۱۸۰۸ | PV | ۸ | ۱۶۸ |

پس از اعمال نتایج الگوریتم FPA، شبکه از نظر تلفات توان و ولتاژ در طول ۲۴ ساعت پیک بار مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت پایه میزان کل تلفات در شبکه در طول ۲۴ ساعت برابر ۹۵۰/۳۹ کیلووات بوده که پس از بهینه‌سازی میزان تلفات به ۳۳۵/۹۳ کیلووات در طول ۲۴ ساعت یعنی ۶۴/۶۵ درصد کاهش پیدا کرده است. میزان تلفات توان اکتیو در طول ۲۴ ساعت در شکل (۵) رسم شده است. بیشترین مقدار تلفات مربوط به ساعت ۱۶ است که از مقدار ۲۰۱/۹ کیلووات به مقدار ۱۱۱/۴ کیلووات کاهش یافته و ۴۴/۸۲ درصد بهبود را نشان داده است.



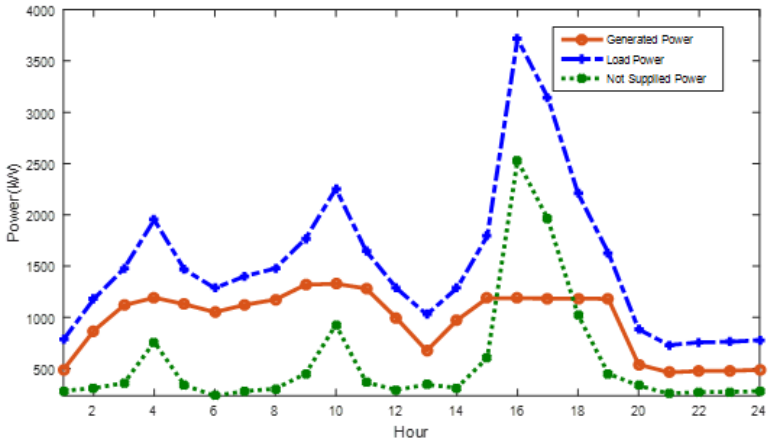

**شکل (۵): منحنی تلفات در طول ۲۴ ساعت قبل و پس از بهینه‌سازی در شبکه ۳۳ باسه**

بدون بکارگیری تولیدات پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی در شبکه ۳۳ باسه، در ساعات ۴، ۱۰ و ۱۶ از شبانه روز ولتاژ افت شدید داشته و از محدوده مجاز خارج شده است. پس از بکارگیری بهینه آرایه‌های خورشیدی، دیزل ژنراتورها و همچنین پارکینگ‌های الکتریکی در تمامی ساعات شبانه روز ولتاژ در رنج مجاز قرار داشته و حداقل ولتاژ از مقدار ۰/۹۱۳۴ پریونیت به مقدار ۰/۹۳۷۵ پریونیت رشد داشته است. پروفیل ولتاژ باس‌های شبکه در شکل (۶) رسم شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد پس از بهینه‌سازی پروفیل ولتاژ هموارتر شده و شرایط شبکه بهبود بسیار چشم‌گیری داشته است.




**شکل (۶): پروفیل ولتاژ باس‌های شبکه در شرایط پیک و بدترین حالت در شبکه ۳۳ باسه**

در مجموع بار کل شبکه و مجموع توان تولیدی بوسیله منابع تولید پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی و همچنین توان تامین نشده مشترکین شبکه رسم شده است. در اکثر مواقع منابع DG نصب شده بطور کافی توانایی تامین بار ساعتی را نداشته بویژه این مساله در ساعات پیک مصرف بیشتر احساس می‌شود. همچنین در شکل (۷)، کمبود نیاز مشترکین با خط چین سبزرنگ بویژه در ساعت ۲۶ کاملا مشخص است. در این حالت برنامه این قابلیت را دارد که توان بیشتری از شبکه بالادست خریداری نموده تا بار را با احتمال بالاتری تامین نماید. البته به دلیل اینکه هزینه توان خریداری شده از شبکه نیز به عنوان بخشی از تابع هدف می‌بایستی کمینه شود، بنابراین بین توان تامین بار مشترکین و هزینه توان خریداری شده از شبکه بالادست مصالحه‌ای صورت می‌گیرد.




**شکل (۷): توان تولیدی در شبکه توسط منابع تولید پراکنده و پارکینگ‌های الکتریکی در شبکه ۳۳ باسه**

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله تعیین ظرفیت و مدیریت انرژی پارکینگ‌های الکتریکی در شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم گرده افشانی گل ارائه شد. علاوه بر بهینه‌سازی پارکینگ خودورهای الکتریکی با در نظر گرفتن واحدهای دیزلی و همچنین با توجه به اهمیت منابع انرژی تجدیدپذیر با بکارگیری پنل‌های خورشیدی در شبکه توزیع شعاعی با هدف کاهش هزینه انرژی و بهبود قابلیت اطمینان با استفاده از روش جدید گرده افشانی گل مورد مطالعه گرفت. در روش پیشنهادی، بهینه‌سازی بصورت کمینه‌سازی هزینه‌های تلفات انرژی، هزینه‌های تولید انرژی، هزینه‌های بکارگیری پنل‌های خورشیدی، هزینه‌های بکارگیری واحدهای دیزلی، هزینه‌های شارژ و دشارژ باتری و هزینه خرید توان از شبکه اصلی و همچنین کاهش هزینه انرژی تامین نشده مشترکین در نظر گرفته شد. در این مطالعه متغیرهای بهینه‌سازی بصورت مکان نصب و ظرفیت (تعداد خودرو) بهینه پارکینگ خوردوهای الکتریکی و پنل‌های خورشیدی در نظر گرفته شد. روش پیشنهادی بر روی شبکه‌های ۳۳ باسه پیاده‌سازی شد. در این مطالعه میزان تلفات شبکه و همچنین هزینه تلفات، میزان توان دریافت شده از فیدر اصلی قبل و پس از بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته و اثر بکارگیری بهینه پارکینگ‌های الکتریکی و پنل‌های خورشیدی ارزیابی شده است. همچنین اثر بکارگیری بهینه پارکینگ‌های الکتریکی و تولیدات پراکنده بر روی نوسانات و حداقل ولتاژ شبکه‌های توزیع نیز مورد بررسی قرار گرفت.

## References

## مراجع

[1] C. D. Anderson and J. Anderson, “Electric and hybrid cars: A history”, McFarland, 2004.
[2] R. E. Brown, “Impact of Smart Grid on distribution system design”, *in 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, pp. 1–4, 2008.
[3] J. Kotowicz, W. Uchman, M. Jurczyk and R. Sekret, “Evaluation of the potential for distributed generation of green hydrogen using metal-hydride storage methods", *Applied Energy*, vol. 344, 2023.
[4] R.A. Ufa, Y.Y. Malkova, V.E. Rudnik, M.V. Andreev and V.A. Borisov, “A review on distributed generation impacts on electric power system”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 47, pp. 20347-20361, 2022.
[5] F. Alanazi, “Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation”, *Applied Science*, vol. 13, no. 10, 2023.
[6] M. S. Hossain, L. Kumar, M. El Haj Assad and R. Alayi, “Advancements and Future Prospects of Electric Vehicle Technologies: A Comprehensive Review”, *Complexity*, vol. 2022, 2022.
[7] A. Oymak, M. Altun, F. Çakmak, S. Atiç, M. Rıda Tür and R. Bayındir, “Distributed generation system planning based on renewable energy source”, *10th International Conference on Smart Grid*, 2022.
[8] X. S. Yang, “Flower Pollination Algorithm for Global Optimization”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7445, pp. 240–249, 2012.

[9] A. El-Zonkoly and L. Dos Santos Coelho, "Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 67, pp. 472-477, 2016.
[10] E. L. Karfopoulos and N. D. Hatziargyriou, "A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 1196-1204, 2018.
[11] M. Moradijoz, M. P. Moghaddam, M.R. Haghifam and E. Alishahi, "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 46, pp. 115-122, 2017.
[12] H. Shariatpanah, M. Sabourikenari, M. Mohammadian and M. Rashidinejad, "Optimal placement and determine parking capacity of electric vehicles to improve VSM and congestion", *In 2nd Iranian Conference on Smart Grids*, pp. 1-6, 2012.
[13] M. Moradijoz, A. Ghazanfarimeymand, M.P. Moghaddam and M.R. Haghifam, "Optimum placement of distributed generation and parking lots for loss reduction in distribution networks", *In Proceedings of 17th Conference on Electrical Power Distribution Networks*, pp. 1-5, 2014.
[14] Z. Liu, F. Wen, G. Ledwich, "Optimal siting and sizing of distributed generators in distribution systems considering uncertainties", *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 26, no. 4, 2541-2551, 2016.

**زیرنویس‌ها:**

1. Distributed Generation (DG)
2. Parking Lots
3. Solar Panel
4. Diesel Generator
5. Flower Pollination Algorithm (FPA)
6. Artificial Bee Colony
7. Energy Not Supplied (ENS)
8. Particle Swarm Optimization (PSO)
9. Ant Lion Optimization (ALO)
10. Grew Wolf Optimization (GWO)
11. Teaching Learning Based Optimization (TLBO)