



Computational Intelligence in Electrical Engineering  
Vol. 12, No. 1, 2021  
Research Paper

## **Assessing the impact of load response on microgrids with the aim of increasing the reliability and stability of network voltage by examining the uncertainty in the production of renewable resources**

**Amir Seifi <sup>1</sup>, Mohammad Hassan Moradi <sup>2</sup>, Mohammad Abedini <sup>3</sup>, Alireza Jahangiri <sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup> Dept. of Electrical Engineering, Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Lorstan, Iran

<sup>4</sup> Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

### **Abstract:**

In this paper, a method for evaluating the impact of load response on microgrids is presented. Several different modes have been stimulated to better understand the problem. A hybrid optimization algorithm including gray wolf optimization algorithm and shark olfactory optimization algorithm to optimize the multi-purpose objective function under limited conditions and constraints. In addition, to determine the uncertainty in the production of renewable energy sources, the Monte Carlo method has been used to produce the scenario. The parameters considered in this method include technical parameters such as network losses, generation cost, and reliability index and voltage deviation. The proposed method is implemented using a hybrid optimization algorithm using MATLAB software on a modified 69-bus system, including wind turbines, solar power plants and energy storage systems. The results show that the proposed method will increase network productivity.

**Keywords:** Energy, Photovoltaic, Wind Force, Hybrid Optimization.



2252-083X/ © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/isee.2020.119319.1282>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی تأثیر پاسخگویی بار در ریزش شبکه‌ها با هدف افزایش قابلیت اطمینان و پایداری ولتاژ شبکه با بررسی کردن عدم قطعیت در تولید منابع تجدیدپذیر امیر سیفی<sup>۱</sup>، محمدحسن مرادی<sup>۲\*</sup>، محمد عابدینی<sup>۳</sup>، علیرضا جهانگیری<sup>۴</sup>

۱- دانشجو دکتری، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی-واحد همدان-همدان-ایران

amirseify@yahoo.com

۲- استاد، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بوعلی سینا-همدان-ایران

mhmoradi@baus.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آیت... بروجردی- بروجرد-ایران

m.abedini@abru.ac.ir

۴- استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی-واحد همدان-همدان-ایران

a.jahangiri@iauh.ac.ir

**چکیده:** در این مقاله، روشی برای ارزیابی تأثیر پاسخگویی بار در ریزش شبکه‌ها ارائه شده است. چندین حالت مختلف برای درک بهتر مسئله، شبیه‌سازی می‌شوند. همچنین از الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی شامل الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری و الگوریتم بهینه‌سازی بویایی کوسه برای حل تابع هدف چندمنظوره تحت قیود مختلف استفاده شده است. به علاوه برای بررسی عدم قطعیت در تولید منابع انرژی تجدیدپذیر از روش مونت کارلو برای تولید سناریو بهره گرفته شده است. تابع هدف مسئله در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل تلفات شبکه، هزینه تولید، شاخص قابلیت اطمینان و پایداری ولتاژ است. روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی و به کمک نرم‌افزار Matlab روی یک سیستم ۶۹ شینه اصلاح شده شامل توربین‌های بادی، نیروگاه‌های خورشیدی و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی، پیاده‌سازی شده است و نتایج حاصل از آن ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند روش معرفی شده سبب افزایش بهره‌وری شبکه خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی، فتوولتائیک، نیروی باد، بهینه‌سازی ترکیبی

### ۱- مقدمه

منطقه را به فکر واداشت که با ارائه راه‌حل مناسب، تلفات و مشکلات ناشی از تأمین برق را به حداقل برسانند. همچنین در طی دو دهه گذشته به دلیل روند اقبال عمومی به انرژی پاک و همچنین خصوصی‌سازی در صنعت برق و مسئله تجدید ساختار در دستگاه‌های قدرت، استفاده از انرژی‌های نو شایان توجه قرار گرفته است. استفاده از انرژی‌های نو با توجه به نوع منبع انرژی نمی‌تواند مانند نیروگاه‌های مرسوم انجام شود؛ بنابراین، باعث ایجاد تولید به صورت پراکنده در سطح شبکه می‌شود. این مسائل موجب شده است تولید پراکنده به عنوان یک انتخاب مناسب برای تولید و پاسخگویی به افزایش تقاضای مصرف مطرح شود.

بروز مشکل افزایش جمعیت و کمبود ظرفیت منابع طبیعی در فراهم آوردن برق مورد نیاز یک منطقه، سیاست‌گذاران آن

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰

نام نویسنده مسئول: محمد حسن مرادی

نشانی نویسنده مسئول: دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه بوعلی سینا

- همدان - ایران

قابلیت اطمینان برای پاسخگویی بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت و فرآیند بازیابی بار در نظر گرفته شده است [۷].  
 زمین‌ها و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی تأثیر شاخص‌های احتمالاتی از منابع انرژی و بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های متعارف را ارزیابی کرده‌اند [۸].

در [۹] به برنامه پاسخگویی تقاضا با در نظر گرفتن عدم قطعیت سرعت باد و تابش خورشید پرداخته و با استفاده توابع احتمالی چون تابع ویوال، میزان سرعت باد و تابش خورشید پیش‌بینی شده است. در این مقاله، سیستم آزمایش شده، یک سیستم سه ژنراتور به همراه توربین‌های بادی و نیروگاه‌های خورشیدی است. در [۱۰] پخش بار اقتصادی در کشور پاکستان با به‌کارگیری نیروگاه‌های خورشیدی در شهر اسلام‌آباد ارائه شده است. در این مقاله از پخش بار اقتصادی / زیست‌محیطی برای بهینه‌سازی در شبکه‌ای حاوی ۶ نیروگاه حرارتی و ۱۳ نیروگاه خورشیدی استفاده شده است. روش بهینه‌سازی استفاده شده در این مقاله، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری است. در این روش از تمام نیروگاه‌های خورشیدی در طی فرایند بهینه‌سازی استفاده نمی‌شود؛ بلکه تعدادی از آنها به صورت تصادفی در ابتدای کار، انتخاب و با توجه به تابع شایستگی، بهترین آنها انتخاب می‌شوند. در [۱۱] برنامه پاسخگویی تقاضا در ریزش شبکه، بررسی و نیز مدل‌های ریاضیاتی و راه‌حل‌های مربوط به پخش بار دینامیکی با در نظر گرفتن شبکه‌ای حاوی توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی، میکرو توربین‌ها، پیل‌های سوختی و دیزل ژنراتورها مطالعه شده‌اند. روش بهینه‌سازی در این مقاله، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته و روش مونت کارلو است. مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از منابع تجدیدپذیر در ریزش شبکه انجام شده است؛ از جمله، بهینه‌سازی در ذخیره‌سازی باتری‌ها در ریزش شبکه مستقل با استفاده از روش ازدحام ذرات که در این مقاله، با استفاده از روش کنترل فرکانس، پایداری شبکه، بهبود بخشیده شد [۱۲].  
 در مقاله [۱۳] یک روش مدیریت هوشمند برای استفاده از ماشین‌های برقی ارائه شده است. در مقاله [۱۴] تأثیر برنامه پاسخگویی تقاضا و نیز مکان‌یابی مناسب منابع تجدیدپذیر روی سرمایه‌گذاری و نیز کاهش تلفات لحاظ شده است. مطالعات زیادی در زمینه برنامه پاسخگویی تقاضا همراه با ماشین‌های برقی انجام شده است؛ از جمله، یک مطالعه همراه با در نظر

استراتژی‌های مؤثری با نام برنامه پاسخگویی تقاضا برای مدیریت و کنترل سمت تقاضا مدنظر قرار گرفته است.

در این زمینه، مطالعات فراگیری صورت گرفته که برخی از آنها بر پایه روش‌های کلاسیک بنا شده و برخی دیگر بر پایه روش‌های فزاینده است؛ به چند نمونه اشاره می‌شود:

نیسا و توماس (۲۰۱۷) در تحقیقی از نقش پاسخگویی تقاضا در بهره‌برداری در یک ریزش شبکه خودکار و با در نظر گرفتن عدم قطعیت تعادل بین توان تولیدی و توان مصرفی استفاده کرده‌اند [۱]. در این مقاله، پایداری ولتاژ و فرکانس نیز مدنظر قرار گرفته است. ملاحسنی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) دو شبکه به صورت شبکه خانگی و شبکه مجاور را با در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی تقاضا ارزیابی کرده‌اند. هدف اصلی در این پژوهش، رضایت‌مندی حداکثری مشتری و تحت پایداربودن شبکه است. برنامه پاسخگویی بار تحت اعمال قیود کاری و ایمنی برای جلوگیری از پرداخت هزینه‌های اضافی درخصوص برنامه‌های تعمیراتی در بهره‌برداری از سیستم به کار می‌رود [۲].  
 هاوارد و همکاران (۲۰۱۲) طرحی از پاسخگویی بار چندمرحله‌ای و هماهنگی میان آنها را ارائه داده‌اند؛ به نحوی که حداکثر پاسخگویی بار، بیشترین منفعت و سود را داشته باشد. نتایج نشان می‌دهند به‌کارگیری خودروهای برقی در سیستم سطح باردهی سیستم را افزایش می‌دهد [۳]. وانگ و پیران چاپه (۲۰۱۷) یک سیستم چندمنظوره را برای پاسخگویی بار در ریزش شبکه، تحلیل و ارزیابی کرده‌اند. این مدل برای مدیریت انرژی خانگی به صورت هوشمندانه‌ای به کار گرفته می‌شود [۴].  
 علیپور و همکاران (۲۰۱۸) از یک مدل برنامه‌ریزی آماری برای بهره‌برداری بهینه تحت پاسخگویی بار استفاده کرده‌اند که در آن هزینه‌های کلی، کاهش یافته است. در این پژوهش، عدم قطعیت بار و قیمت در مدل آماری لحاظ شده‌اند. طبق نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، روش ارائه‌شده در این تحقیق، سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و بهبود شاخص‌های فنی می‌شود [۵].

پانوار و همکاران (۲۰۱۷) درباره پاسخگویی بار با برنامه‌ریزی هماهنگ‌شده در ریزش شبکه کار کرده‌اند. در این مقاله، چندین مقایسه در زمینه‌های فنی و اقتصادی تحت پاسخگویی بار آورده شده است [۶]. فنگ و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی برنامه پاسخگویی بار را درخصوص ظرفیت منابع تجدیدپذیر در ریزش شبکه‌ها بررسی کرده‌اند. در این پژوهش، یک مدل ترکیبی از

تغییرات و عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر انرژی است که این امر با به کارگیری ذخیره‌سازهای انرژی مرتفع می‌شود.

در این تحقیق، ارزیابی کمی و کیفی از منابع تجدیدپذیر و منابع ذخیره‌ساز انرژی ارائه شده است. در هر سطح از ارزیابی مسئله، بهینه‌سازی در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته، یک ساعت به یک ساعت صورت می‌پذیرد. تبادل پخش توان دو جهت است؛ بدین معنا که مصرف انرژی و فروش انرژی به شبکه میسر بوده و هزینه انرژی مصرفی نیز مدنظر قرار گرفته است.

هر بار مصرفی به سه نوع تقسیم می‌شوند که به صورت بارهای انطباق‌پذیر با توان، بارهای انطباق‌پذیر با زمان و بارهای کنترل‌ناپذیرند.

بارهای انطباق‌پذیر با توان، بارهایی‌اند که برای برنامه پاسخگویی بار مناسب‌اند؛ بدین گونه که مصرف توان خود را مطابق با برنامه پاسخگویی بار تغییر می‌دهند.

بارهای انطباق‌پذیر با زمان، نوعی دیگر از بارهای کنترل‌پذیرند که زمان مصرف توان را مطابق با برنامه پاسخگویی تقاضا تغییر می‌دهند؛ از جمله این بارها ماشین‌های لباسشویی و دستگاه‌های تهویه هوا هستند.

بارهای کنترل‌ناپذیر، بارهایی‌اند که هیچ‌گونه تغییری در تقاضاهایشان ندارند؛ برای مثال، یخچال‌ها و توسترها و کتری‌های برقی.

## ۲-۱- تابع هدف چندمنظوره

در این مقاله، تابع هدف چندمنظوره به صورت زیر است.

$$F_T = w_1 F_1 + w_2 F_2 + w_3 F_3 + w_4 F_4 \quad (1)$$

در رابطه فوق  $F_1$  مربوط به تلفات سیستم،  $F_2$  مربوط به شاخص پایداری ولتاژ،  $F_3$  مربوط به هزینه تولید منابع تجدیدپذیر و دفع مواد آلاینده و  $F_4$  مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان است. در رابطه فوق مجموع ضرایب وزنی  $w_1$  تا  $w_4$  برابر ۱ است.

## ۲-۲- تلفات توان

پس از محاسبه پخش بار شبکه و به دست آوردن مقادیر نهایی ولتاژها و جریان‌ها، تلفات اکتیو از رابطه زیر محاسبه شده‌اند:

گرفتن محدودیت‌های عملی در مقاله [۱۵]. در مقاله [۱۶] به چگونگی فرمول‌بندی برنامه پاسخگویی تقاضا در ریزشبهکه پرداخته است. با وجود ارائه مقالات متعدد، که به مهم‌ترین آنها اشاره شد، و نظر به فراگیری و پیچیدگی‌های مسئله و دسترسی‌ناداشتن به پاسخ بهینه مطلق، همچنان مطالعات در این زمینه ادامه دارد.

در این مقاله، یک روش برای ارزیابی تأثیر پاسخگویی بار در ریزشبهکه‌ها ارائه شده است که در آن توابع هدف شامل تلفات کل و هزینه تولید کل، شاخص قابلیت اطمینان و ضریب انحراف ولتاژ است. همچنین مقایسه‌ای میان سیستم سنتی با سیستمی صورت می‌پذیرد که منابع انرژی تجدیدپذیر و منابع ذخیره‌ساز انرژی در آن نصب شده‌اند. در این مطالعه، کارایی سیستم در چندین سطوح باردهی به منظور دسترسی به یک تحلیل عددی ارزیابی شده و نیز برای حل مسئله بهینه‌سازی، از یک روش بهینه‌سازی ترکیبی جدید استفاده شده که ترکیبی از دو روش الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری و الگوریتم بهینه‌سازی بویایی کوسه است. با توجه به نتایج به دست آمده، مؤثر بودن روش ترکیبی مذکور تأیید می‌شود.

ساختار مقاله به این ترتیب است: در بخش ۲، شبکه مطالعه‌شده و تابع هدف و قیود مسئله لحاظ شده است. در بخش ۳، روش بهینه‌سازی و در بخش ۴، نتایج مربوط به مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه شده‌اند. در نهایت، نتایج حاصل از شبیه‌سازی آورده شده‌اند و در بخش پایانی، نتیجه‌گیری شده است.

## ۲- شبکه مطالعه‌شده

شبکه توزیع سنتی معمولاً به شبکه اصلی متصل است که به تنهایی بارها را تغذیه می‌کند. فاصله بین بار و شبکه اصلی نسبتاً طولانی است و این امر سبب تلفات زیاد و افت ولتاژ در شبکه می‌شود. به کارگیری منابع تجدیدپذیر انرژی، امتیازات زیادی را به ارمغان آورده‌اند [۹]. نخستین امتیاز به کارگیری منابع تجدیدپذیر این است که قابلیت اطمینان سیستم بهبود می‌یابد و دلیل آن این است که بارها با چندین منبع انرژی تغذیه می‌شوند [۲۴]. دومین نکته مربوط به کاهش مسافت بین تولیدکننده توان و مصرف‌کننده توان است؛ البته از معایب منابع تجدیدپذیر،

$$C_2 = \int_0^T C_K \gamma_{ik} P_i(t) dt \quad (۸)$$

در رابطه فوق،  $C_K$  هزینه آلاینده‌گی مربوط به  $K$  امین دیزل ژنراتور و  $\gamma_{ik}$  مربوط به ضریب آلاینده‌گی  $K$  امین دیزل ژنراتور است.

### ۲-۵- شاخص قابلیت اطمینان

#### ۲-۵-۱- شاخص احتمال از دست دادن بار

این شاخص به صورت قابلیت اطمینان تأمین بار توسط شبکه و منابع تجدیدپذیر است و به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$F_4 = f_{LLP} = \frac{\sum_{j=1}^N [P_d(t_j) - (P_{Wind,t}(t_j) + P_{pv}(t_j) + P_{bs}(t_j) + P_{gen}(t_j))] \Delta t}{\sum_{j=1}^N P_{Load}(t_j) \Delta t} \quad (۹)$$

#### ۲-۵-۲- برنامه پاسخگویی تقاضا

در برنامه پاسخگویی تقاضا، توان بار اصلی باید کمتر از مقدار حداکثرش باشد و در معادله ۱۰ نشان داده شده است. به علاوه، بار کل از مجموع بارهای اصلی و غیراصلی به دست می‌آید و مطابق با معادله ۱۱ است.

$$P_d^{reponsive}(t) \leq PL \times P_d(t) \quad (۱۰)$$

$$P_d^{reponsive}(t) + P_d^{non.reponsive}(t) = P_d(t) \quad (۱۱)$$

مدل بار انطباق‌پذیر با توان به صورت معادله ۱۲ بیان می‌شود.

$$P_d^{flexible\_TIME}(t) = \begin{cases} P^{nom} & t \in \{t_a^b + T_{delay}, \dots, t_a^b + T_a + T_{delay} - 1\} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۱۲)$$

مدل بار انطباق‌پذیر با زمان به صورت معادله ۱۳ بیان می‌شود.

$$P_d^{flexible\_POWER}(t) = \begin{cases} \leq P^{nom} & t \in \{t_a^b, \dots, t_a^b + T_a - 1\} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۱۳)$$

### ۲-۵-۳- مدل اجزا

در این بخش، اطلاعات مربوط به اجزای سیستم به صورت زیر معرفی می‌شوند:

(الف) فتوولتائیک

در سال‌های اخیر در بیشتر کشورها استفاده از سلول‌های خورشیدی افزایش چشمگیری داشته است. توان خروجی

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^{NB} \sum_{j>1}^{NB} Y_{ij} [V_{i,j}^2 + V_{j,i}^2 - 2V_{i,j}V_{j,i} \cos(\delta_{i,j} - \delta_{j,i})] \quad (۲)$$

در رابطه یادشده، زمان برحسب ساعت است و  $NB$  تعداد باس‌ها و  $V_{i,j}$  مقدار ولتاژ مختلط باس است.  $Y_{ij}$  مقدار ادمیتانس  $ij$  امین عنصر ماتریس است و  $\delta_{i,j}$  مقدار زاویه ولتاژ فاز است و  $\delta_{j,i}$  مقدار زاویه عنصر  $ij$  امین ماتریس ادمیتانس است.

### ۲-۳- شاخص پروفیل ولتاژ کل

شاخص پروفیل ولتاژ کل از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{t=1}^{24} VSI_j = V_j^4 - 4 \times [P_j \times x_b - Q_j \times x_b]^2 - 4 \times [P_j \times x_b + Q_j \times x_b]^2 \times V_j^4 \quad (۳)$$

برای بهبود شاخص پروفیل ولتاژ باید مقدار  $F_2$  را در حد پذیرفتنی کاهش داد؛ به طوری که در محدوده مجاز قیود ولتاژ رعایت شود.

### ۲-۴- هزینه تولید منابع تجدیدپذیر و هزینه‌های

#### مربوط به آلاینده‌گی

در این مقاله، هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و مدیریت و نیز هزینه‌های مربوط به آلاینده‌گی محیط‌زیست و هزینه‌های شارژ و دشارژ ماشین‌های برقی به صورت زیر فرمول‌بندی شده‌اند:

$$F_3 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (۴)$$

$$C_1 = \int_0^T (K_1 C_G + K_2 C_{OM}) dt \quad (۵)$$

$$C_G = \sum_{i=1}^{M^*} K_{CFi} P_i(t) \quad (۶)$$

$$C_{OM} = \sum_{i=1}^{M^*} K_{OMi} P_i(t) \quad (۷)$$

در رابطه‌های فوق،  $C_1$  هزینه تولید و مدیریت است.  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب هزینه‌اند.  $C_G$  هزینه تولید منابع تجدیدپذیر و  $C_{OM}$  هزینه مربوط به مدیریت منابع تجدیدپذیر و  $K_{CFi}$  ضریب مصرف سوخت منابع تجدیدپذیر و  $K_{OMi}$  ضریب مدیریت منابع تجدیدپذیر و  $P_i(t)$  توان خروجی تولیدی منابع تجدیدپذیر و  $M^*$  نیز تعداد عناصر تجدید پذیر است؛ هزینه مربوط به آلاینده‌گی به شرح زیر است:

الگوریتم‌های هوش دسته‌جمعی و فراابتکاری است. این فرایند یک فرایند گروهی برای شکارکردن است. از این روش در چندین کاربرد در مطالعه سیستم‌های قدرت از قبیل پخش بار اقتصادی استفاده شده است [۱۷]. در این روش، ۴ رهبر سلسله مراتب وجود دارد که به ترتیب آلفا، بتا، دلتا و گاما نام دارند. رهبران گروهها موقعیت شکار را به‌طور تقریبی تخمین می‌زنند و مکانشان را نسبت به شکار یا قربانی به‌روزرسانی می‌کنند و در نهایت، پس از احاطه‌کردن، آن را شکار می‌کنند. هر گرگ یک تابع هدف است. کوتاه‌ترین راه برای شکارکردن، جواب مسئله است. مشابه دیگر روش‌های هوشمند بهینه‌سازی، هر گرگ باید موقعیت مکانی خود را به‌روزرسانی کند تا به بهترین موقعیت برسد و همچنین بهترین حل در هر تکرار باید نسبت به بهترین حل مجموعه جواب‌ها به‌روزرسانی شود. این روش شامل چهار فرایند است: فضای جستجوی تصادفی برای شکار، احاطه‌کردن شکار، شکارکردن، گرفتن شکار یا قربانی.

### ۳-۱-۱- جستجوی تصادفی برای شکار

مشابه همه روش‌های فراابتکاری، تعدادی اطلاعات اولیه برای شروع الگوریتم مورد نیاز است. هر گرگ به‌طور تصادفی در فضای جستجو قرار گرفته است.

### ۳-۱-۲- احاطه‌کردن شکار

طبق ارزیابی موقعیت تصادفی هر گرگ، جواب‌های تخمینی ۴ رهبر سلسله مراتبی به دست می‌آیند و با توجه به این جواب‌ها موقعیت بعدی هر گرگ محاسبه می‌شود. موقعیت فعلی هر گرگ را با  $\bar{X}(t)$  نشان می‌دهند و بهترین موقعیت شکار  $X\bar{p}(t)$  است. موقعیت بعدی هر گرگ به‌صورت معادله ۱۹ خواهد بود.

$$DM = |CM \bullet X\bar{p}(t) - \bar{X}(t)| \quad (19)$$

$$X(t+1) = X\bar{p}(t) - AM \bullet DM$$

در معادله فوق،  $AM$  و  $CM$  ضرایب وزنی‌اند که تصادفی تولید می‌شوند و به‌صورت معادله ۲۰ و ۲۱ بیان می‌شوند.

$$AM = 2 \times \bar{a} \times r_1 - a \quad (20)$$

$$CM = 2 \times r_2 \quad (21)$$

که  $r_1$  و  $r_2$  اعدادی بین صفر تا یک‌اند و  $a$  نیز یک

سیستم‌های فتوولتائیک به شرایط آب‌وهوایی و میزان تابش خورشید و نیز درجه حرارت پنل خورشیدی وابسته است. این عوامل وابسته به هم به‌صورت معادله ۱۴ نشان داده شده است.

$$P_{PV}(t) = P_{PV}^{rated} \left( \frac{R(t)}{R_{standard}} \right) \left[ 1 + \alpha_p (T^{amb} - T^{ref}) \right] \quad (14)$$

(ب) توربین‌های بادی

توان خروجی توربین‌های بادی بستگی به سرعت بادی دارد که به پره‌های آن برخورد می‌کند؛ بنابراین، توان خروجی توربین‌های بادی به‌صورت معادله ۱۵ است.

$$P_{wind,t} = \begin{cases} 0, & 0 \leq v_{wind}(t) \leq v_{cut.in} \\ P_{wind}^{rated} \frac{v_{wind}(t) - v_{cut.in}}{v_{rated} - v_{cut.in}}, & v_{cut.in} \leq v_{wind}(t) \leq v_{rated} \\ P_{wind}^{rated}, & v_{rated} \leq v_{wind}(t) \leq v_{cut.off} \\ 0, & v_{cut.off} \leq v_{wind}(t) \end{cases} \quad (15)$$

(پ) ذخیره‌سازهای انرژی

این مجموعه‌ها برای متعادل‌کردن انرژی شبکه به کار می‌روند و معمولاً به دو حالت کار می‌کنند؛ مدل‌های حالت شارژ و دشارژ شدن که به‌صورت معادله ۱۶ هستند.

$$S_k(t) = \int_0^t (S_k^{input}(x) - S_k^{output}(x)) dx \quad (16)$$

در حالت فرآیند شارژ شدن به‌صورت معادله ۱۷ است.

$$S_k^{input}(t) = (1 - \lambda) P_k^{charge}(t) \quad (17)$$

در حالت فرآیند دشارژ شدن به‌صورت معادله ۱۸ است.

$$S_k^{output}(t) = \frac{P_k^{discharge}(t)}{(1 - \lambda)} \quad (18)$$

که در آن:

$\lambda$ : میزان تخلیه است که برحسب (%h) بیان می‌شود.

$P_k^{charge}$ : میزان شارژ باتری

$(1 - \lambda)$ : راندمان باتری در حالت شارژ و دشارژ شدن

است.

$S_k(t)$ : ظرفیت باتری است که برحسب kWh بیان

می‌شود.

### ۳- روش بهینه‌سازی

#### ۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری

الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، یکی از جدیدترین

عدد تصادفی بین بازه صفر تا دو است که به صورت خطی کاهش پیدا می کند.

### ۳-۱-۳- شکار کردن

حرکت بعدی هر گرگ مطابق با فاصله ای تعیین می شود که از گرگ های آلفا، بتا و گاما دارد؛ بدین گونه که هر گرگ باید نسبت به سایر گرگ ها آگاه باشد. این مزیت روش های هوش دسته جمعی است. راه شکار کردن با گرگ های خاکستری به صورت معادله های ۲۲ تا ۲۸ بیان می شود.

$$D\vec{M}_\alpha = |C\vec{M}_\alpha \cdot X\vec{P}_\alpha(t) + \vec{X}| \quad (22)$$

$$D\vec{M}_\beta = |C\vec{M}_\beta \cdot X\vec{P}_\beta(t) + \vec{X}| \quad (23)$$

$$D\vec{M}_\delta = |C\vec{M}_\delta \cdot X\vec{P}_\delta(t) + \vec{X}| \quad (24)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha \quad (25)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta \quad (26)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta \quad (27)$$

$$\vec{X}(t+1) = (\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3) / 3 \quad (28)$$

در معادله های فوق،  $D\vec{M}_\alpha$  و  $D\vec{M}_\beta$  و  $D\vec{M}_\delta$  به ترتیب متغیرهای جستجو هستند. وقتی گرگ ها شکار را احاطه می کنند، حرکت کردن را متوقف می کنند و این متوقف کردن به مقدار  $a$  بستگی دارد. عدد تصادفی  $[2a, -2a]$  معیار خاتمه حرکت است. توجه شود  $A$  یک عامل مهم در فضای جستجو است و این مقدار بین  $[1, -1]$  قرار می گیرد و هرچه این مقدار بزرگ تر باشد، فضای جستجو دارای انحراف معیار بزرگ تری خواهد بود.

### ۳-۱-۴- گرفتن شکار

در این حالت، مقدار  $a$  کاهش و  $A$  نیز افزایش می یابد و گرگ ها نیز بدین وسیله گام های کوتاه تری بر می دارند و آهسته تر حرکت می کنند.

### ۳-۲- الگوریتم بهینه سازی بویایی کوسه

این روش فراابتکاری براساس رفتار شکار کردن کوسه ها از مایل ها دور عمل می کند. در این روش، وقتی یک شکار یا طعمه زخمی می شود، خون آن به داخل دریا ریخته می شود و سپس شامه کوسه، آن را از فاصله دور حس می کند و به دنبال بو

می آید و طعمه را شکار می کند. این الگوریتم در مقاله [۱۸] به طور کامل تشریح شده است. در این روش باید اصول زیر را مدنظر داشت:

۱- شکار، خونریزی می کند و درحال خونریزی است. خون شکار به طور پیوسته درحال ریختن به داخل دریا است و سرعت قربانی به دلیل جراحت، کاهش چشمگیری یافته و نسبت به سرعت بالای کوسه قابل چشم پوشی است و در این حالت، قربانی با سرعت ثابت و مکان ثابت در نظر گرفته می شود.

۲- خون شکار به طور پیوسته درحال ریختن به داخل دریا است و به دلیل سرعت بالای کوسه ها از سرعت آب جاری در مقابل سرعت کوسه صرف نظر می شود.

۳- شکار، تنها منبع خون است که با کوسه دنبال می شود.

### ۳-۲-۱- آماده سازی اجزا

یک مجموعه از جواب ها در فضای جستجو به طور تصادفی شکل می گیرد و هر جواب به صورت جزئی از اجزا بیان می شود که محل احتمالی کوسه برای شکار است. بردار جواب به صورت معادله ۲۹ بیان می شود.

$$X^1 = [X_1^1 X_2^1 X_3^1 \dots X_{NP}^1] \quad (29)$$

هر  $X_i^1$  به صورت معادله ۳۰ محاسبه می شود.

$$[X_{i,1}^1 X_{i,2}^1 X_{i,3}^1 \dots X_{i,ND}^1] \forall i \in \{1, 2, \dots, NP\} \quad (30)$$

در معادله فوق،  $X_{i,j}$  به صورت [آمین و آمین مکان کوسه است.

### ۳-۲-۲- حرکت رو به جلوی کوسه

در هر مکان، کوسه به سوی قربانی درحال خونریزی و دارای سرعت ثابت، با سرعت  $v$  حرکت می کند و به قربانی نزدیک می شود. بردار اولیه موقعیت سرعت به صورت معادله ۴۰ است که شامل سرعت های اولیه است.

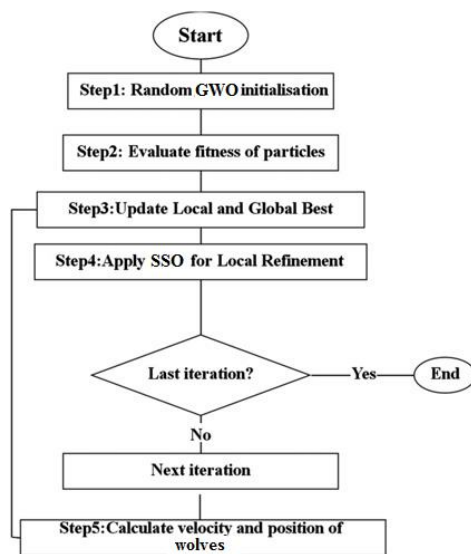
$$V^1 = [V_1^1 V_2^1 V_3^1 \dots V_{NP}^1] \quad (31)$$

سرعت هر کوسه در  $k$  آمین تکرار به صورت  $V^k$  بیان می شود و مقدار  $V_{i,j}^k$  به صورت معادله ۳۲ بیان می شود:

$$|V_{i,j}^k| = \min \left[ \eta_k \cdot R1.g \cdot \frac{\partial(of)}{\partial X_j} X_{i,j}^k + \alpha_k \cdot R2.V_{i,j}^{k-1} \left| \beta_k \cdot V_{i,j}^{k-1} \right| \right] \quad (32)$$

مرحله چهارم: بهترین جواب به دست آمده از مرحله قبل به الگوریتم گرگ خاکستری فرستاده می شود تا دوباره با دقت بیشتری بهترین جواب به دست آید.

مرحله پنجم: اگر شرط خاتمه محقق شود، الگوریتم فوق به همگرایی و تکرار مراحل فوق به پایان می رسد و بهترین جواب ارائه می شود. این روش ترکیبی، هر دو فضای جستجو و فضای اکتشاف را پوشش می دهد. فلوجارت الگوریتم ترکیبی در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل (۱): فلوجارت الگوریتم ترکیبی

#### ۴- تولید و کاهش سناریو عدم قطعیت

در این مقاله، برای پوشش عدم قطعیت پارامترهای طراحی سیستم از روش تولید سناریو استفاده شده است. در این روش با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو از روی تابع توزیع احتمالاتی متغیرهای سیستم، تعدادی حالت تصادفی برای متغیرهای سیستم، ایجاد و سپس احتمال وقوع هر حالت محاسبه می شود. روابط (۳۶) تا (۳۹) به ترتیب نمونه های استخراج شده از توزیع های احتمالاتی برای بار، تولید توربین بادی و تولید سلول های خورشیدی را نشان می دهد که مجموع احتمالات آنها باید برابر یک باشد. رابطه (۳۹) نحوه ترکیب نمونه ها را برای تولید سناریو ها نشان می دهد که مجموع احتمالات سناریو های تولید شده باید همواره برابر

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_{d,k} &= \{(C_d^1, \psi_d^1), (C_d^2, \psi_d^2), \dots, (C_d^n, \psi_d^n)\} \\ \psi_{d,k}^1 + \psi_{d,k}^2 + \dots + \psi_{d,k}^n &= 1 \end{aligned} \right. \quad (36)$$

$$j = 1, 2, \dots, ND$$

$$i = 1, 2, \dots, NP$$

$$k = 1, 2, \dots, k_{max}$$

$$\eta_k \in [0, 1]$$

جمله  $\frac{\partial (of)}{\partial X_j} | X_{i,j}^k$  گرادینان نقطه  $X_{i,j}^k$  است.

موقعیت ها با بردار سرعت و با معادله ۳۳ به روزرسانی می شوند.

$$Y_i^{k+1} = X_i^k + V_i^k \Delta t_k \quad (33)$$

$$i = 1, 2, \dots, NP$$

$$k = 1, 2, \dots, k_{max}$$

#### ۳-۲-۳- حرکت چرخشی

وقتی کوسه به سمت جلو در حال حرکت است، یک حرکت چرخشی نیز دارد که بدین وسیله محل دقیق خونریزی را پیدا می کند و نیز سریع تر به محل خونریزی می رسد. در این الگوریتم بهینه سازی، به این فرایند، فرایند جستجوی محلی گویند که به صورت معادله ۳۴ مدل می شود.

$$Y_i^{k+1} = X_i^k + V_i^k \Delta t_k \quad (34)$$

$$Z_i^{k+1,m} = Y_i^{k+1} + R3Y_i^{k+1}$$

#### ۳-۲-۴- به روزرسانی مکان

مکان جدید هر اجزا به صورت معادله ۳۵ بیان می شود.

$$X_i^{k+1,m} = \arg \max \{f(Y_i^{k+1}), f(Z_i^{k+1,1}), \dots, f(Z_i^{k+1,M})\} \quad (35)$$

در معادله فوق، M تعداد حرکت چرخشی کوسه هاست.

در نهایت، بهترین پاسخ در مجموعه کوسه ها با  $X^{kmax}$  بیان می شود.

#### ۳-۳- روش پیشنهادی ترکیبی

برای بالابردن راندمان، از ترکیب این دو الگوریتم استفاده شده است. فرایند انجام کار در روش ترکیبی به صورت زیر است:

مرحله اول: روش الگوریتم گرگ خاکستری فضای جستجو را جستجو می کند و بهترین جواب را ارائه می دهد.

مرحله دوم: بهترین جواب به دست آمده در مرحله اول به روش الگوریتم بویایی کوسه فرستاده می شود.

مرحله سوم: الگوریتم بویایی کوسه شروع به بهینه سازی اطراف بهترین جواب فرستاده شده از مرحله اول می کند.



۵- نتایج

۵-۱- سناریوها

در سیستم‌های توزیع سنتی، هیچ‌گونه منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز انرژی وجود ندارند؛ بنابراین برای ارزیابی حالات مختلف بهره‌برداری یک سیستم، سناریوهای زیر در نظر گرفته می‌شوند.

سناریو-۱: تمامی بارها تنها با شبکه اصلی تغذیه می‌شوند و انتظار می‌رود هزینه تولید توان و تلفات شبکه و پروفایل، ولتاژ بالا باشد. هزینه تحویل انرژی از طرف شبکه به مصرف‌کننده معادل ۵۰ دلار بر مگاوات ساعت در نظر گرفته می‌شود. سطوح باردهی به صورت ۰ و ۵۰ و ۱۰۰ درصد فرض می‌شوند. اطلاعات و نتایج شبیه‌سازی روی شبکه اصلاح شده ۶۹ باسه IEEE در شکل ۲ نمایش داده شده است.

$$\phi_{WT} = \{(C_{WT}^1, \psi_{WT}^1), (C_{WT}^2, \psi_{WT}^2), \dots, (C_{WT}^n, \psi_{WT}^n)\} \quad (37)$$

$$\psi_{WT}^1 + \psi_{WT}^2 + \dots + \psi_{WT}^n = 1$$

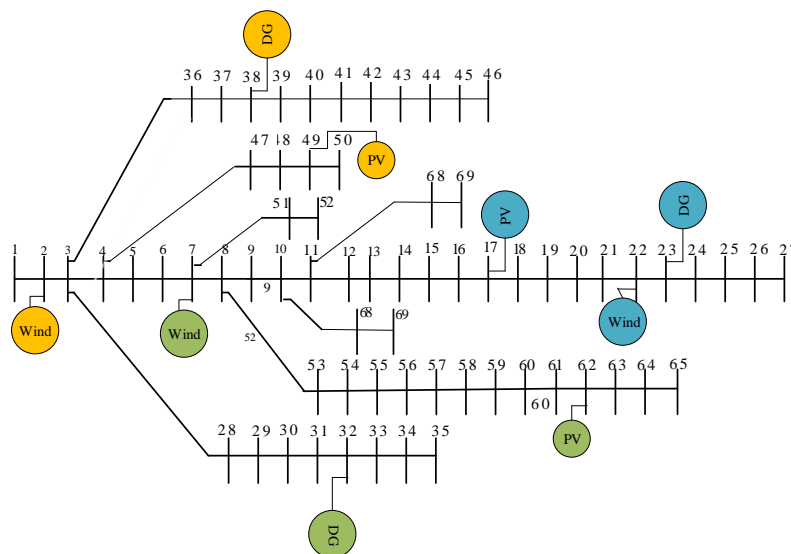
$$\phi_{PV} = \{(C_{PV}^1, \psi_{PV}^1), (C_{PV}^2, \psi_{PV}^2), \dots, (C_{PV}^n, \psi_{PV}^n)\} \quad (38)$$

$$\psi_{PV}^1 + \psi_{PV}^2 + \dots + \psi_{PV}^n = 1$$

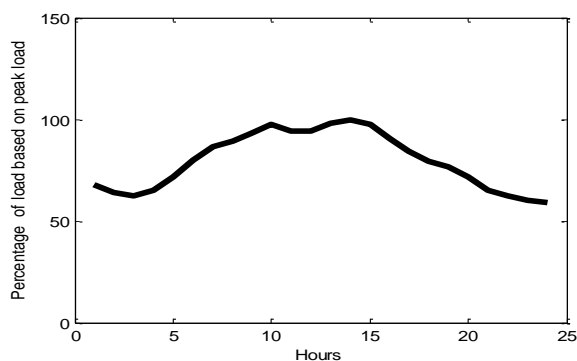
$$S = \phi_d \times \phi_{WT} \times \phi_{PV} \quad (39)$$

$$\sum_{S \in N_s} \psi_d^S + \psi_{WT}^S + \psi_{PV}^S = 1$$

با یک باشد. در روابط فوق  $\psi_{WT}^S, \psi_{PV}^S$  و  $\psi_d^S$  به ترتیب احتمال وقوع حالت‌های محتمل بار، تولید توربین بادی و صفحات خورشیدی را نشان می‌دهند. همچنین مقادیر عددی مقادیر استخراج شده از توزیع احتمالاتی برای بار، تولید توربین بادی و صفحات خورشیدی را به ترتیب ارائه می‌دهد و  $N_s$  تعداد کل سناریوهای تولیدی است. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت، سناریوهای مختلف تعریف می‌شود. برای تعریف سناریو از توابع توزیع احتمالی موجود استفاده می‌شود [۱۹].

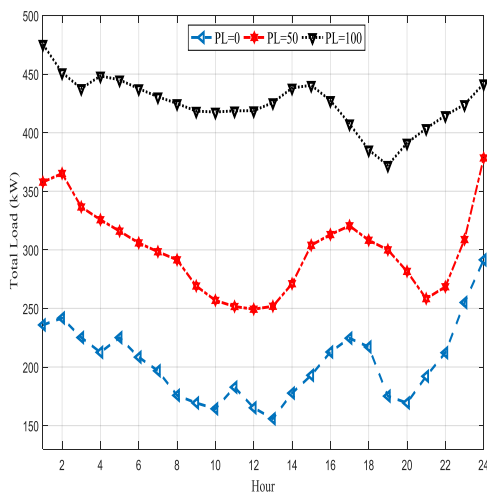


شکل (۲): شبکه اصلاح شده ۶۹ باسه IEEE



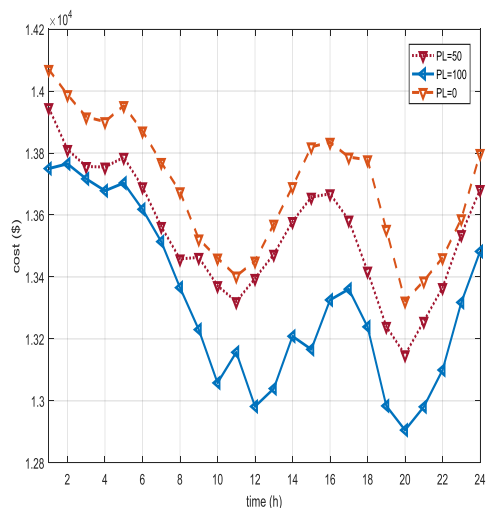
شکل (۳): تغییرات ساعتی هر بار

پروفایل بار کامل روزانه هر مصرف‌کننده در شکل ۳ ارائه شده است. هزینه تلفات برابر با ۱۰۰ دلار بر مگاوات ساعت در نظر گرفته شده است.

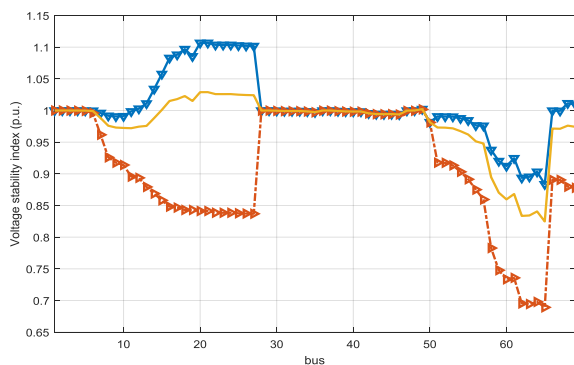


شکل (۶): بار کل مصرفی برای سطوح مختلف باردهی

شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ هزینه کل توان تولیدی، پایداری ولتاژ شبکه و ولتاژ باس‌ها را در سناریو ۱ به ترتیب نشان می‌دهند.

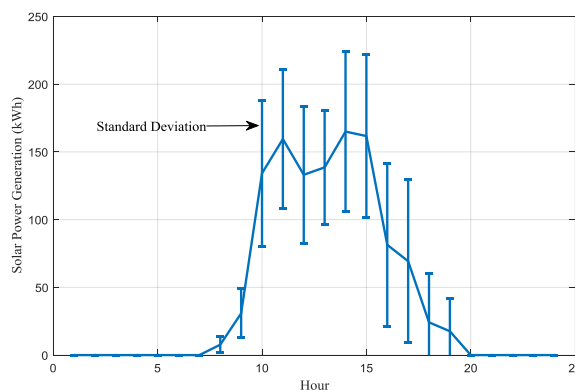


شکل (۷): هزینه کل توان تولیدی تحت سطوح باردهی مختلف در سناریو ۱

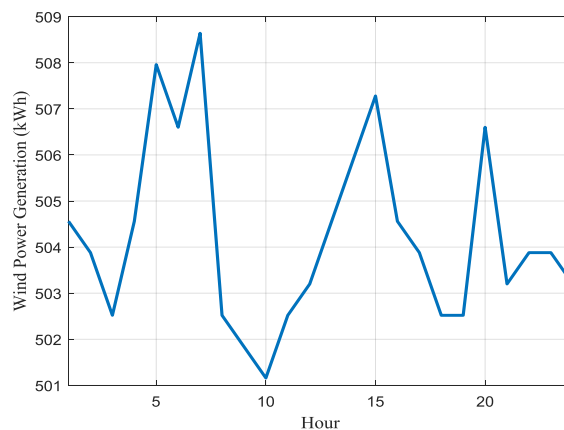


شکل (۸): پایداری ولتاژ کل تحت سطوح مختلف باردهی در سناریو ۱

سناریو-۲: منابع انرژی تجدیدپذیر از قبیل سلول‌های خورشیدی و توربین‌های بادی به شبکه متصل شده‌اند. میزان تولید ساعتی پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان داده شده‌اند.



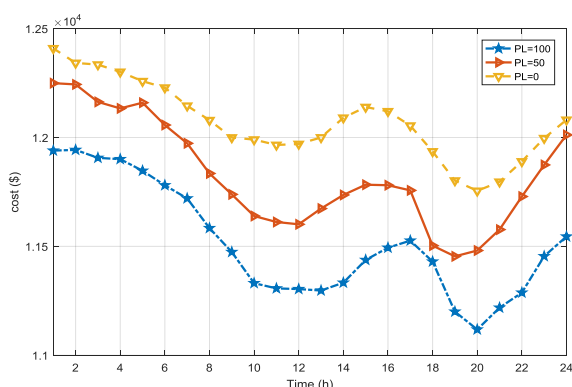
شکل (۴): تغییرات ساعتی پنل‌های خورشیدی



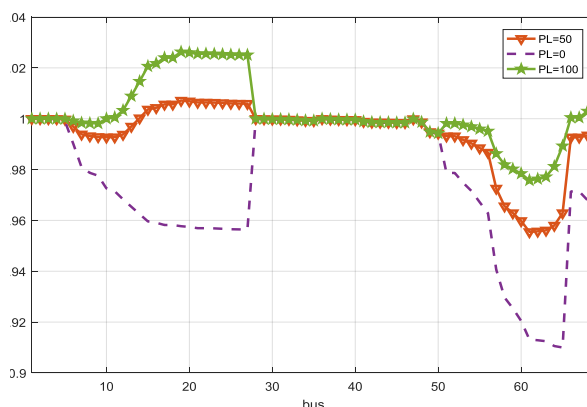
شکل (۵): تغییرات ساعتی توربین‌های بادی

## ۵-۲- داده‌های شبیه‌سازی

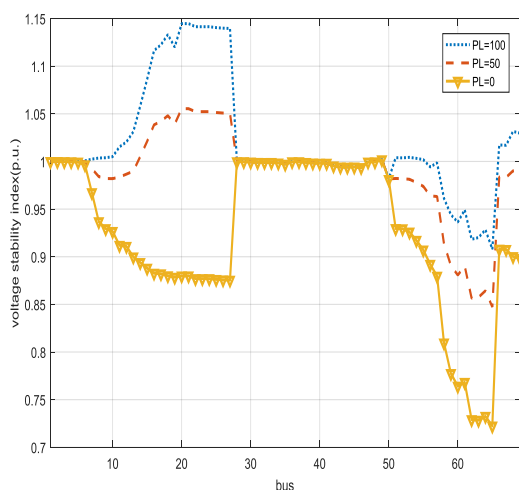
در سناریو ۱، بار کل ۱۰۰۰ مصرف‌کننده در شکل ۶ نشان داده شده است. در حالت اوج مصرف شبکه، بار اصلی می‌تواند به صورت مقطعی قطع شود و در ساعات کم‌بار دوباره به شبکه وصل شود؛ این امر سبب می‌شود اصلاح بار در شبکه به وجود آید و پروفایل بار صاف‌تر باشد که در شکل ۶ به وضوح مشخص است. با افزایش مقدار بار اصلی، الگوی مصرف توان بهبود می‌یابد و برنامه پاسخگویی تقاضا، طرف مصرف‌کننده را کنترل و مدیریت می‌کند؛ در نتیجه، اصلاح بار و ضریب شکل بهبود می‌یابد.



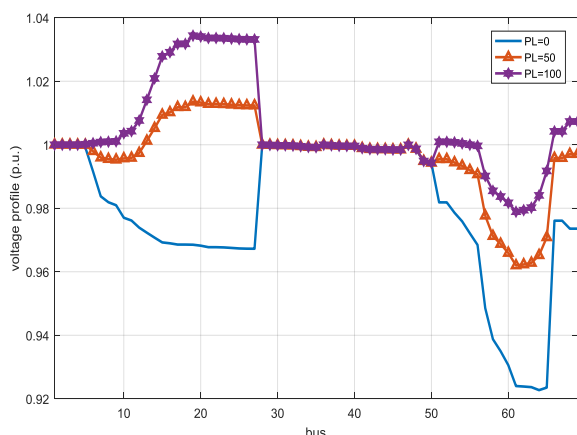
شکل (۱۰): هزینه کل در سناریو ۲



شکل (۹): پروفایل ولتاژ در سناریو ۱



شکل (۱۱): پایداری ولتاژ کل تحت سطوح مختلف باردهی در سناریو ۲



شکل (۱۲): پروفایل ولتاژ در سناریو ۲

همچنین در سناریو ۱، تلفات شبکه برای سطوح مختلف نفوذ بار ۰، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب عبارت‌اند از  $6,831 \text{ MW}$ ،  $5,783 \text{ MW}$ ،  $6,045 \text{ MW}$ ،

در شکل ۸ مشاهده می‌شود شاخص پایداری ولتاژ شبکه با افزایش سطح نفوذ بار پاسخگو، در حدود ۱۹ درصد بهبود یافته است. در شکل ۹ نیز وضعیت پروفایل ولتاژ شبکه نمایش داده شده است که نشان می‌دهد افزایش بار پاسخگو سبب بهبود پروفایل ولتاژ شبکه شده و در حدود ۱۱ درصد رشد داشته است.

نتایج سناریو ۲ در شکل‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲ نمایش داده شده‌اند که به ترتیب بیان‌کننده هزینه کل شبکه و شاخص پایداری شبکه و پروفایل ولتاژ سیستم است. با توجه به شکل ۱۰، با افزایش سطح باردهی در ریزشکده، هزینه شبکه کاهش می‌یابد. در شکل ۱۱ با افزایش سطح باردهی شاخص پایداری ولتاژ شبکه بهبود می‌یابد. همچنین در شکل ۱۲، انحراف ولتاژ کم با افزایش سطح باردهی به دست می‌آید. مقایسه سناریو ۱ و ۲ نشان می‌دهد با اضافه کردن منابع انرژی تجدیدپذیر، انحراف ولتاژ بسیار کم می‌شود؛ بنابراین، قابلیت اطمینان و امنیت شبکه با افزودن منابع انرژی تجدیدپذیر افزایش می‌یابد. شکل ۱۳ نیز هزینه‌های مربوط به کاهش آلاینده‌ها را نمایش می‌دهد. همچنین در سناریو ۲، تلفات شبکه برای سطوح مختلف نفوذ بار ۰، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب عبارت‌اند از  $5,152 \text{ MW}$ ،  $4,367 \text{ MW}$ ،  $5,083 \text{ MW}$ ،

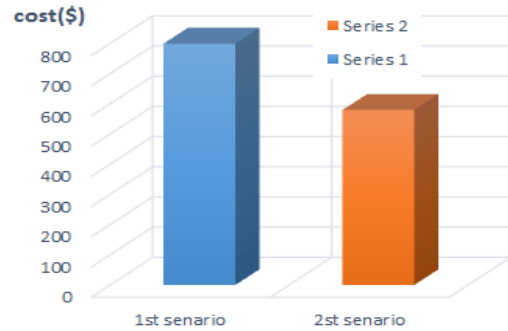
و  $P_G$  با توجه به جدول ۲ و ۳، افزایش توان سبب کاهش تلفات سیستم، افزایش شاخص پایداری ولتاژ، کاهش هزینه توان خریداری از شبکه بالادست و افزایش شاخص قابلیت اطمینان شبکه می‌شود.

جدول ۲- تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامتر  $P_L$

$P_L$	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
$F_1$	۶,۸۳۱	۶,۰۵۳	۵,۶۳۷	۵,۴۰۶	۴,۷۵۳
$F_2$	۱,۰۷	۱,۱۵	۱,۳۲	۱,۴۱	۱,۵۷
$F_3$	۲۶۴۵۴۷	۲۳۸۷۱۸	۲۱۶۳۸۱	۱۹۸۷۳۴	۱۸۲۶۸۱
$F_4$	۸,۶۵	۷,۱۹	۶,۲۵	۵,۷۳	۴,۲۹

جدول ۳- تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامتر  $P_G$

$P_G$	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۲,۵
$F_1$	۶,۳۵۱	۶,۱۸۴	۵,۸۱۶	۵,۵۴۹	۵,۳۵۱
$F_2$	۱,۱۶	۱,۲۶	۱,۳۸	۱,۴۹	۱,۶۳
$F_3$	۲۵۳۱۶۴	۲۲۸۱۴۶	۲۰۶۳۸۴	۱۸۵۲۷۱	۱۷۸۵۱۶
$F_4$	۷,۱۶	۶,۸۴	۶,۲۶	۵,۷۴	۵,۱۶



شکل (۱۳): کاهش هزینه‌های آلاینده‌ها

در جدول ۱ نیز روش پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود براساس شاخص‌های مختلف مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند روش پیشنهادی رتبه همگرایی بالاتری دارد و نیز شانس رسیدن به مینیمم محلی آن نیز زیاد است؛ اما زمان اجرایی برنامه، بالاست و پیچیدگی بالاتری در مقایسه با روش‌های دیگر در پیاده‌سازی خواهد داشت.

جدول ۱: مقایسه میان روش‌های مختلف در شبکه ۶۹ باس

پارامترها	ABC [۲۳]	SA [۲۲]	DE [۲۱]	ACO [۲۰]	GWO+SSO
اندازه جمعیت	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
تعداد تکرار	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
زمان اجرا	۴۲۸ sec	۵۱۴ sec	۲۸۹ sec	۵۶۸ sec	۸۵۹ sec
پیچیدگی کد %	۵۰	۶۰	۳۰	۵۰	۷۰
احتمال رسیدن به مینیمم محلی	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد
رتبه همگرایی	۲	۳	۴	۳	۱

## ۶- تحلیل حساسیت

در اینجا به منظور انتخاب استراتژی مناسب برای افزایش پایداری شبکه و کاهش هزینه، به دنبال تعیین تأثیر پارامترهای کلیدی مدل بر خروجی آنیم؛ بنابراین، در این بخش، تأثیر پارامترهای توان تولیدی واحدها، میزان بار پاسخگویی بر توابع هدف بررسی شده است؛ نتایج حاصل در جداول ۲ درج شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش پارامترهای  $P_L$

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک ریزشبکه متعارف تحت چندین سناریو و سطوح باردهی مختلف آزمایش شد. تأثیر منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز انرژی با روش الگوریتم ترکیبی گرگ خاکستری و بویایی کوسه ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهند افزایش سطح باردهی، تلفات توان، مصرف توان و نیز هزینه کل را کاهش می‌دهد و نیز سبب بهبود انحراف ولتاژ می‌شود. همچنین افزودن منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز انرژی نوسانات توان و تلفات شبکه را کاهش می‌دهد. افزودن منابع تجدیدپذیر، امتیازاتی از قبیل کاهش هزینه تولید و کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ را به همراه دارد. تجمیع تولیدات پراکنده هزینه تولید را کاهش می‌دهد و نیز تلفات شبکه و شاخص انحراف ولتاژ را بهبود می‌بخشد. مجموعه ذخیره‌سازهای انرژی می‌تواند به نحوی پاسخگوی تغییرات بار باشد و نیز تلفات شبکه را تا حدی کاهش دهد و یک پروفایل بار مسطح و تخت را برای سیستم فراهم کند.

## مراجع

[1] A. Nisar, M. S. Thomas, "Comprehensive control for microgrid autonomous operation with demand

- [13] D. Sara, A.S. Masoum, P.S. Moses, M. Masoum, "Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile", *IEEE Trans Smart Grid*, Vol. 5, No. 2, pp.456-461, 2011.
- [14] L. Zhipeng, F. Wen, G. Ledwich, "Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems", *Power deliver. IEEE Trans*, Vol. 3, No. 7, pp.102-112, 2012.
- [15] P. Fernandez, T. Gomez, S. Roman, R. Cossent, C. Domingo, P. Frías, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks. Power systems", *IEEE Trans*, Vol. 10, No. 6, pp.206-213, 2011.
- [16] M.A Abdelaziz, H.E Farag, E.F El-Saadany, Y. A Mohamed "novel and generalized three-phase power flow algorithm for islanded microgrids using a newton trust region method", *IEEE Trans Power Sys*, Vol. 2, No. 7, pp.190-201, Feb. 2013.
- [17] H. Rezaei, O. Bozorg-Haddad, X. Chu, "Grey Wolf Optimization (GWO) Algorithm. In *Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms*", Springer, Singapore, Vol. 3, No. 2, pp. 81-91, 2018.
- [18] S. Mohammad-Azari, O. Bozorg-Haddad, X. Chu, "Shark Smell Optimization (SSO) Algorithm. In *Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms*", Springer, Singapore, Vol. 11, No. 2, pp. 93-103, 2018.
- [19] A. J. Conejo, M. Carrión, J. M. Morales, "Decision Making under Uncertainty in Electricity Markets", Springer, New York, Vol. 5, No. 3, pp.208-222, 2010.
- [20] M. Kefayat, A. Lashkar Ara, NA. Nabavi Niaki. "A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources", *Energy Conversion and Management*, Vol. 5, No. 7, pp.149-161,2015.
- [21] R. Storn, K. Price, "Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *J Global Optim*, Vol. 2, No. 4, pp.11:341-59, 1997.
- [22] O. Ekren, B.Y. Ekren, "Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing", *Appl Energy*, Vol. 5, No. 5, pp.592-602,2010.
- [23] K. Roy, K.K Mandal, "Hybrid optimization algorithm for modeling and management of micro grid connected system", *frontiers in energy*, Vol. 8, No. 3, pp 305-314, Sept, 2014.
- [24] M. Shahabi, M. Rezaie, " Simultaneous location of scattered production resources and separator keys to reduce losses and improve reliability in distribution network with the possibility of island performance and time-varying loads improved by genetic algorithm", *Computational intelligence in electrical engineering*, Vol. 6, No. 4, pp.107-120, 2016.
- response", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 8, No. 5, pp.2081-2089, August 2017.
- [2] M.Pour, M. Rashidinejad, M. Abdollahi, A. Forghani, "Demand Response Resources' Allocation in Security-Constrained Preventive Maintenance Scheduling via MODM Method", *IEEE Systems Journal*, Vol. 11, No. 2, 1196-1207.
- [3] B.Howard,L.Parshal,J.Thompson,S.Hammer,J.Dickinson,V.Modi, "Spatial distribution of urban building energy consumption by end use,Energy and Buildings", Vol. 45, No. 2, 141-151, 2012.
- [4] Z. Wang, R. Paranjape, "Optimal residential demand response for multiple heterogeneous homes with real-time price prediction in a multigene framework", *IEEE transactions on smart grid*, Vol. 8, No. 3,pp. 1173-1184, 2017.
- [5] M. Alipour, K. Zare, M. Abapour, "MINLP probabilistic scheduling model for demand response programs integrated energy hubs", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 14, No. 1, pp. 79-88, 2018.
- [6] L. Panwar, K. Konda, S. R. Verma, A. Panigrahi, B. K. Kumar, "Demand response aggregator coordinated two-stage responsive load scheduling in distribution system considering customer behavior", *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 11, No. 4, pp.1023-1032, 2017.
- [7] J. Feng, B. Zeng, D. Zhao, G Wu., Z. Liu, J. Zhang, "Evaluating demand response impacts on the capacity credit of renewable distributed generation in smart distribution systems", *IEEE Access*, Vol. 2, No. 4 pp. 14307-14317, 2018.
- [8] R. Zimmerman, D. Murillo-Sánchez, R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education", *IEEE Transactions on power systems*, Vol. 26, No. 1, pp 12-19,2011.
- [9] N. Ahmed Khan, A. B.Awan, A. Mahmood, "Combined emission economic dispatch of power system including solar photo voltaic generation", *International Journal of Electrical Power&Energy Systems*, Vol. 12, No. 4, pp.82-91,2015.
- [10] X. Ran, S.Miao, Z. Jiang, H. Xu, "A framework for uncertainty quantification and economic dispatch model with wind-solar energy", *International Journal of Electrical Power&Energy Systems*, Vol. 2, No. 8, pp.23-33,2015.
- [11] H. Wu, X.Liu, M. Ding, "Dynamic economic dispatch of a microgrid: Mathematical models and solution algorithm",*International Journal of Electrical Power&Energy Systems*, Vol. 11, No. 9,pp.336-346,2014.
- [12] S. Han, K. Sezaki," Design of an optimal aggregator for vehicle-to-grid regulation service", *IEEE Trans Smart Grid*, 2010.