

# جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروی برقی به صورت هم‌زمان با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی GA-PSO

محمدحسن مرادی، مصطفی رضایی مظفر و پرهام محمد علیزاده

این خودروها از باتری‌هایی پیشرفته و تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده شده که خودروها را قادر می‌سازد به عنوان بارهایی کنترل‌پذیر در شبکه وارد شوند که می‌توانند نقش منابع ذخیره انرژی برای پشتیبانی از شبکه را در مواقع نیاز ایفا کنند. این کار از طریق پروسه خودرو به شبکه (V2G) که نخستین بار در سال ۱۹۷۷ معرفی شده صورت می‌گیرد [۴] تا [۶]. این مفهوم نخستین بار با ارائه مدل درآمد و هزینه در جهت شرکت در بازار تنظیم و خدمات جانبی استفاده شده است [۷].

بنا بر گزارش‌ها خودروها ۹۵٪ از زمان شبانه‌روز را در حالت پارک هستند لذا می‌توان از این ظرفیت برای خدمات تنظیم ولتاژ و فرکانس و اصلاح پیک بار در مواقع نیاز استفاده کرد [۸] و [۹]. نفوذ خودروهای برقی به شبکه چالش‌هایی نیز از قبیل نقض محدودیت حرارتی خطوط انتقال ناشی از اضافه بار و افت ولتاژ در برخی باس‌های حساس شبکه و عدم قطعیت در میزان تقاضا را موجب می‌شود که می‌بایست برطرف شوند [۱۰] تا [۱۲]. شرکت خودروها در V2G هم برای مالکین خودروها درآمدزایی دارد و هم از دیدگاه اپراتور سیستم توزیع می‌تواند برای مینیمم‌کردن چالش‌های شبکه استفاده شود و از این رو برای استفاده حداکثری از قابلیت‌های خودروی برقی از ایستگاه شارژ PHEV استفاده می‌شود [۱۳] تا [۱۵]. در این ایستگاه‌ها خودروها علاوه بر شارژ باتری خود قادر به فروش مازاد انرژی ذخیره‌شده به شبکه و کسب درآمد هستند. در این حالت مدیریت شارژ و دشارژ خودروها از روش‌های مختلفی مثل تغییر تعرفه انرژی در ساعات مختلف امکان‌پذیر می‌باشد.

در این بین منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) در سالیان اخیر به عنوان جایگزین برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این منابع به دلیل نصب در نزدیکی محل بار می‌توانند باعث کاهش تلفات و نوسانات ولتاژ [۱۶] و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری [۱۷] شوند. اما نفوذ گسترده این منابع به شبکه به دلیل ماهیت تصادفی در میزان تولید می‌تواند چالش‌هایی را ایجاد کند و لذا می‌بایست از سیستم‌های ذخیره انرژی (ESS) با ظرفیت بالا به منظور پشتیبانی از شبکه استفاده کرد تا تقاضای توان و قیود عملیاتی سیستم در تمام مدت شبانه‌روز تأمین شود. ایستگاه‌های شارژ می‌توانند از طریق V2G به عنوان ESS در شبکه معرفی شوند. در یک شبکه هوشمند با ترکیب بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ PHEV می‌توان نرخ آلاینده‌گی را کاهش داد و بسیاری از چالش‌های فنی و اقتصادی را مرتفع ساخت [۱۸]. ایستگاه‌های

چکیده: نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) و خودروهای برقی به شبکه به دلیل ماهیت تصادفی بودنشان می‌تواند تأثیرات منفی بر عملکرد شبکه مثل کاهش کیفیت توان و افزایش تلفات داشته باشد. این چالش‌ها می‌بایست با برنامه‌ریزی دقیق بر مبنای تغییرات خروجی این منابع برای تأمین تقاضای اضافی ناشی از شارژ خودروها به حداقل برسد. به این منظور در این مقاله روشی جدید برای جایابی و تعیین ظرفیت هم‌زمان منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروهای برقی و مدیریت پروسه شارژ خودروها در شبکه ارائه شده است. تابعی چند هدفه در جهت کاهش تلفات توان، نوسانات ولتاژ، هزینه تأمین انرژی و هزینه تعمیر و نگهداری باتری خودرو معرفی شده که در آن یافتن مکان و ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروی برقی به عنوان متغیرهای هدف انجام می‌گیرد. ضریبی وابسته به سرعت باد، تابش خورشید و نسبت تقاضای پیک سیستم برای بهبود ضریب بار شبکه و مدیریت الگوی شارژ خودروها در ساعات پیک و غیر پیک معرفی شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی GA-PSO بهبودیافته برای حل مسئله بهینه‌سازی در چهار سناریو مختلف استفاده شده و عملکرد روش مذکور با شبیه‌سازی بر روی شبکه تست IEEE ۳۳ باسه در نرم‌افزار Matlab بررسی شده است.

کلیدواژه: بهینه‌سازی، خودروی برقی، ایستگاه شارژ، منابع انرژی تجدیدپذیر، الگوریتم ترکیبی GA-PSO.

## ۱- مقدمه

امروزه تقاضای جهانی برای سوخت فسیلی در بخش حمل و نقل و نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی سیر صعودی را تجربه می‌کند. استفاده از این منابع در کنار تحمیل هزینه‌های زیاد باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌گی محیط زیست می‌شود [۱]. بنا بر مطالعات انجام شده در [۲] تا سال ۲۰۳۵ تقاضا در بخش حمل و نقل رشد ۵۴٪ را تجربه خواهد کرد و این افزایش تقاضا باعث افزایش هزینه‌ها و آلاینده‌گی‌ها می‌شود، لذا بسیاری از کشورها به دنبال جایگزینی خودروهایی با مصرف سوخت پاک به جای خودروهای احتراق داخلی هستند [۳].

خودروهای برقی در مقایسه با خودروهای بنزینی هم سازگار با محیط زیست و هم از نقطه نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر می‌باشند. در ساختار

این مقاله در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

محمدحسن مرادی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، (email: mh\_moradi@yahoo.co.uk).

مصطفی رضایی مظفر، دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، (email: m.rezaeimozafar@iauh.ac.ir).

پرهام محمد علیزاده، گروه هوش مصنوعی، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، (email: prhmma@qiau.ac.ir).

1. Vehicle to Grid
2. Plug in Hybrid Electric Vehicle
3. Renewable Sources
4. Energy Storage Systems

در برابر مطالعات انجام شده، در این مقاله جایابی و تعیین ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ به صورت هم‌زمان و برنامه‌ریزی بهینه شارژ خودروهای برقی به منظور استفاده از خودروها برای پشتیبانی از شبکه انجام شده است. تابعی چهارهدفه برای مینیمم‌سازی تلفات باتری اکتیو، نوسانات ولتاژ، هزینه تأمین انرژی و هزینه تعمیر و نگهداری باتری خودروهای برقی تعریف شده است. محاسبات پخش بار بر روی شبکه نمونه<sup>۱</sup> IEEE ۳۳ باسه در قالب چهار سناریوی مختلف و با استفاده از الگوریتم پخش بار پسر-پیشرو برای یک بازه زمانی ۲۴ ساعته انجام شده است و همچنین برای حل تابع هدف و محاسبه مقادیر مناسب برای متغیرهای هدف از روش حل ضرایب وزنی و الگوریتم بهینه‌سازی GA-PSO<sup>۲</sup> بهبودیافته در فضای نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. به منظور تأیید کارآمدی الگوریتم GA-PSO<sup>۳</sup> بهبودیافته در حل این مسئله بهینه‌سازی، تابع هدف با استفاده از الگوریتم DE<sup>۴</sup> نیز حل شده و نتایج به دست آمده از دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج، کارآمد بودن روش مذکور در تحقق اهداف تعیین شده و نیاز به محاسبات کمتر و در نتیجه صرف زمان کمتر برای یافتن پاسخ بهینه در مقایسه با روش‌های قبلی را تأیید می‌کند.

## ۲- مدل‌سازی سیستم

### ۲-۱ مدل سلول خورشیدی (PV)

PV<sup>۴</sup> تکنولوژی تبدیل مستقیم نور به انرژی و بهترین روش شناخته شده برای تولید برق از تشعشعات نور خورشید می‌باشد و استفاده از این تکنولوژی از سال ۲۰۰۲ با رشد ۴۸٪ سالانه مواجه بوده است [۲۹]. با توجه به تأثیر دما بر عملکرد سلول‌های خورشیدی، لحاظ کردن دما در بررسی رفتار این سلول‌ها حایز اهمیت است و به این منظور شاخص NOCT<sup>۵</sup> که بیانگر دمای سلول در شرایط دمای محیط ۲۰°C، تابش خورشید ۰/۸kw/m<sup>۲</sup> و سرعت باد ۱m/s است معرفی شده است. برای تعیین دمای سلول از (۱) استفاده می‌شود

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{NOCT - 20}{0.8} \times S \quad (1)$$

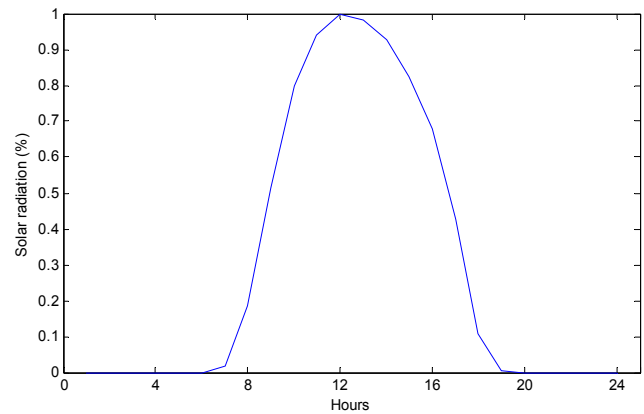
$T_{cell}$  دما بر حسب درجه سانتی‌گراد،  $T_{amb}$  دمای محیط و  $S$  تابش خورشید بر حسب sun می‌باشد (هر sun برابر ۱kw/m<sup>۲</sup> است)

$$P = \eta \times (T_{cell} - 25) \quad (2)$$

معادله (۲) توان خروجی سلول خورشیدی را با در نظر گرفتن ضریب بازدهی سلول در تبدیل انرژی نشان می‌دهد. تغییرات تابش خورشید در نظر گرفته شده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۲-۲ مدل توربین بادی

توان خروجی توربین بادی وابسته به سه پارامتر سرعت و جهت باد، وضعیت جغرافیایی محل قرارگیری توربین‌های بادی و چگالی باد می‌باشد [۳۱]. در این میان تغییرات سرعت باد از اهمیت بیشتری برخوردار است که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای محاسبه توان استحصال شده

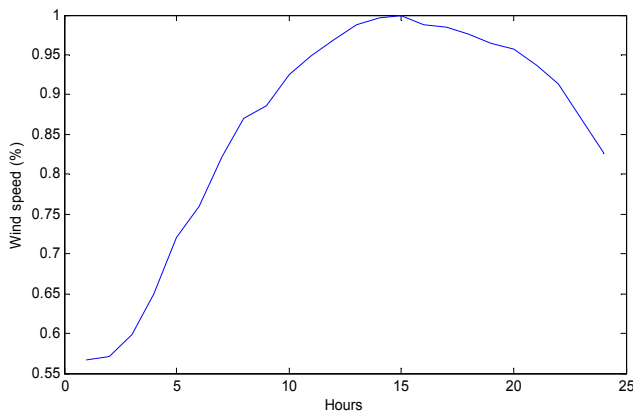


شکل ۱: منحنی تغییرات تابش خورشید در ۲۴ ساعت [۳۰].

شارژ مازاد توان تولیدی منابع تجدیدپذیر را ذخیره و در مواقع نیاز به شبکه پس می‌دهند و از این طریق باعث توزیع پذیری این منابع و کاهش استرس‌های وارده به شبکه توزیع می‌شوند.

مطالعات متعددی در گذشته بر روی موضوع خودرو به شبکه در سیستم‌های قدرت و ایستگاه‌های شارژ و RES انجام شده است. مطالعه در [۱۹] نشان می‌دهد که در صورت جایگزینی خودروهای بنزینی با برقی و استفاده از قابلیت V2G این خودروها در شبکه رشد ۴۵٪ ظرفیت نصب شده جهانی RES تا سال ۲۰۲۰ را شاهد خواهیم بود. تجمیع‌کننده به عنوان واسطه بین صاحبان خودروهای برقی و بازار برق با بهره‌گیری از مدل مبتنی بر عامل‌های چندلایه در [۲۰] مدل شده است. در [۲۱] مطالعات با در نظر گرفتن تقاضای پیک، هزینه شارژ و رفتار مشترکین به منظور تخصیص مقدار بهینه انرژی برای پارکینگ خودروی برقی با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه صورت گرفته است. در [۲۲] مدلی برای دستیابی به حداکثر میزان شارژ متوسط خودروها از طریق مدیریت انرژی مطرح شده است، خودروها دارای قابلیت V2G هستند و به منظور بهبود راندمان شبکه و قابلیت اطمینان شبکه می‌توانند استفاده شوند. در [۲۳] از خودروی برقی در خدمات تنظیم فرکانس استفاده گردیده و تأثیر خودروی برقی بر محیط زیست و اقتصاد در [۲۴] بررسی شده است. مرجع [۲۵] با مطالعه شاخص‌های سیستم توزیع شامل شاخص قابلیت اطمینان، تلفات سیستم و هزینه و بدون در نظر گرفتن خطای پیش‌بینی بار در مدل بهینه‌سازی و معادلات پخش بار به جایابی پارکینگ خودروی برقی از طریق مسئله بهینه‌سازی چندهدفه پرداخته است. در [۲۶] مدلی برای محاسبه صورت‌حساب در سیستم‌های انرژی هوشمند بر مبنای پاسخ تقاضا ارائه شده است. مرجع [۲۷] روشی برای قیمت‌گذاری لحظه‌ای انرژی با توجه به اطلاعات تصادفی ارائه داده که می‌تواند به منظور بهینگی شارژ خودروها و همچنین زمان‌های دشارژ توان به کار گرفته شود. پژوهشگران دیگری در اقداماتی مشابه به مطالعه روش‌های مطالعاتی هوشمند نظیر الگوریتم تخمین توزیع، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و روش نقطه داخلی در حل مسایل بهینه‌سازی پرداخته‌اند [۲۸]. با مطالعه کارهای انجام شده، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروهای برقی و برنامه‌ریزی برای شارژ خودروها به صورت هم‌زمان انجام نشده است. همچنین تابع هدف به صورت تک یا دوهدفه تعریف شده و بیشتر محققین در زمینه کاهش تلفات و هزینه‌ها کار کرده‌اند. به علاوه، بسیاری از مقالات از یک مدل خودرو برای شبیه‌سازی بخش حمل و نقل و رفتار رانندگان استفاده کرده‌اند و مشخصات خودروها و هزینه‌های مربوط به باتری خودرو در نظر گرفته نشده‌اند.

1. The Institute of Electrical and Electronics Engineers
2. Genetic-Particle Swarm Optimization Algorithm
3. Differential Evolution
4. Photovoltaic
5. Nominal Operating Cell Temperature



شکل ۲: منحنی تغییرات سرعت باد در ۲۴ ساعت [۳۰].

که  $\mu_{md}$  و  $\sigma_{md}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مسافت پیموده شده توسط خودروی برقی بر اساس داده‌های آماری است و مقدرشان به ترتیب ۴۰ و ۲۰ مایل می‌باشد. دومین پارامتر مؤثر بر عملکرد خودروی برقی و میزان تقاضای شارژ، مصرف انرژی بر مسافت طی شده است که بر حسب کیلووات ساعت بر مایل محاسبه می‌شود

$$E_m = aK_{EV}^b \quad (10)$$

که  $E_m$  مصرف انرژی بر حسب kWh/mile ثابت  $a$  مصرف انرژی خودروی برقی بر حسب kWh/mile و  $b$  ثابت (نمای) مصرف انرژی خودروی برقی است. نسبت انرژی الکتریکی به کل انرژی مصرفی خودروی برقی با  $K_{EV}$  نمایش داده می‌شود و در این مقاله برابر عدد یک در نظر گرفته شده است. بیشترین مسافت قابل پیمودن در حالتی که باتری کاملاً شارژ شده است از (۱۱) محاسبه می‌شود

$$M_{dMax} = \frac{BCAP}{E_m} \quad (11)$$

که در آن BCAP ظرفیت باتری خودروی برقی بر حسب Kwh و  $M_{dMax}$  حداکثر مسافت قابل پیمودن با یک بار شارژ کامل باتری است. برای محاسبه تقاضای شارژ ( $E_{demand}$ ) از (۱۲) استفاده می‌شود

$$E_{Demand} = \begin{cases} BCAP, M_d \geq M_{dMax} \\ M_d E_m, M_d < M_{dMax} \end{cases} \quad (12)$$

برای محاسبه سومین پارامتر از توزیع گوسی استفاده شده است که این توزیع بهترین تخمین از رفتار رانندگان خودروهای شخصی را ارائه می‌کند. رابطه (۱۳) محاسبه زمان ورود و خروج خودروها بر اساس داده‌های آماری می‌باشد

$$\begin{cases} t_{arrival} = \mu_{arrival} + \sigma_{arrival} N_1 \\ t_{departure} = \mu_{departure} + \sigma_{departure} N_2 \end{cases} \quad (13)$$

$t$ ،  $\mu$  و  $\sigma$  به ترتیب میانگین، انحراف معیار و زمان احتمالی برای دو حالت ورود و خروج خودروی برقی به/از ایستگاه شارژ می‌باشد.  $N_1$  و  $N_2$  متغیرهای تصادفی با میانگین صفر و واریانس یک است. رابطه (۱۴) مدت زمان حضور خودرو در ایستگاه شارژ را محاسبه می‌کند

$$t_{duration} = t_{departure} - t_{arrival} \quad (14)$$

سطح شارژ انتظاری احتمالاتی ( $SOC_{desired}$ ) از (۱۵) محاسبه می‌شود

$$SOC_{desired} = \min \left\{ \left[ SOC_{init} + \frac{E_{demand}}{BCAP} \right], \left[ SOC_{init} + \frac{t_{duration}}{BCAP} chr \right] \right\} \quad (15)$$

جدول ۱: اطلاعات خودروهای برقی مدل سازی شده [۳۲] تا [۳۵].

تویوتا	فورد	هوندا	شورلت	برند
Prius	Fusion	Accord	Volt	مدل
۴۴	۷۶	۶۶	۱۶	ظرفیت باتری (kWh)
۱۱	۲۱	۱۳	۳۷	مسافت قابل پیمایش با ذخیره باتری (mile)
۳٫۵	۳٫۵	۶٫۶	۳٫۵	حداکثر نرخ شارژ (kw)
۲۹	۳۴	۲۹	۳۶	مصرف انرژی الکتریکی (kWh/mile)

برای محاسبه توان استحصال شده از انرژی باد

$$KE = \frac{1}{2} m V^2 \quad (3)$$

$$P_{wind} = \frac{dKE}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} V^2 = \frac{1}{2} m^* V^2 \quad (4)$$

$$m = \rho A L \rightarrow m^* = \rho A \frac{dL}{dt} = \rho A V \quad (5)$$

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (6)$$

که در آن  $\rho$  چگالی حجمی هوا ( $1.225 \text{ kg/m}^3$  در دمای  $15^\circ \text{C}$  و فشار ۱ at) می‌باشد. با توجه به رابطه، نقش سرعت باد در میزان توان خروجی کاملاً مشهود است به طوری که سرعت باد با توان ۳ در (۶) ظاهر شده است.

### ۳-۲ مدل خودروی برقی

جدول ۱ مشخصات چهار نوع خودروی در نظر گرفته شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

برای مدل سازی خودروی برقی در شبکه توجه به سه مؤلفه مرتبط با خودروها ضروری است. مسافت پیموده شده انتظاری، مصرف انرژی بر مسافت طی شده و زمان انتظاری حضور خودرو در ایستگاه شارژ. مسافت پیموده شده انتظاری را می‌توان با استفاده از توزیع لوگ-نرمال [۳۶] مدل سازی کرد. به این منظور متغیر تصادفی  $N$  به روش باخ-مولر تولید می‌شود [۳۷]

$$N = \sqrt{-2L_n(u_1)} \times \cos(2\pi u_2) \quad (7)$$

که در آن  $u_1$  و  $u_2$  متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع یکنواخت در بازه  $[0, 1]$  و  $N$  متغیر تصادفی با میانگین صفر و واریانس یک است. رابطه (۸) مسافت پیموده شده بر اساس داده‌های آماری را محاسبه می‌کند

$$M_d = e^{\mu_m + \sigma_m N} \quad (8)$$

$\mu_m$  و  $\delta_m$  پارامترهای توزیع احتمالی لوگ-نرمال و  $M_d$  مسافت پیموده شده انتظاری توسط خودروی برقی است. پارامترهای  $\mu_m$  و  $\delta_m$  از میانگین و انحراف معیار استاندارد داده‌های آماری مستخرج از مسافت پیموده شده خودروی برقی محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} \mu_m = L_n \frac{\mu_{md}^2}{\sqrt{\mu_{md}^2 - \sigma_{md}^2}} \\ \sigma_m = \sqrt{L_n \left( 1 + \frac{\sigma_{md}^2}{\mu_{md}^2} \right)} \end{cases} \quad (9)$$

با نفوذ منابع تجدیدپذیر و خودروهای برقی به شبکه ظرفیتی برای تأمین بخشی از توان و تقاضای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌شود که این موضوع باعث کاهش تلفات سیستم و بهبود شاخص نوسانات ولتاژ می‌شود. با بهبود این شاخص، ولتاژ در هر باس نزدیک به مقدار مطلوب یک پریونیت باقی می‌ماند که این مسئله خود باعث کاهش تلفات سیستم می‌گردد.

### ۳-۱-۳ هزینه تأمین انرژی

$$f_{\tau} = \sum_{t=1}^{Tf} (P_{sub,t} \times \pi^{TOU}) + f_{ch} - f_{dc} \quad (20)$$

$$P_{sub,t} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} P_{di,t} + P_{Loss,t} - \sum_{k=1}^{n_{PHEV}} P_{dck,t}^{PHEV} + \sum_{k=1}^{n_{PHEV}} P_{dck,t}^{PHEV} - P_{wind,t} - P_{pv,t} \quad (21)$$

$$f_{ch} = \sum_{t=1}^{Tf} \sum_{m=1}^{N_{ST}} P_{station,m,t} \pi^{TOU} T_{m,t} \frac{D_t}{M_{Max}} \frac{PM_{wind}}{P_{wind,t}} \frac{P_{MPV}}{P_{PV,T}} \quad (22)$$

$$f_{dc} = \sum_{t=1}^{Tf} \sum_{m=1}^{N_{ST}} P_{station,m,t} \pi^{TOU} t_{disp,m,t} \quad (23)$$

$$P_{station} = P_{Rate} \times n_{PHEV} \quad (24)$$

رابطه (۲۱) میزان توان خریداری‌شده از شبکه را نشان می‌دهد. رابطه (۲۲) هزینه شارژ خودروها با توجه به قیمت متغیر برق در ساعات مختلف را نشان می‌دهد که در این رابطه از تعرفه متغیر برای بهبود تغییرات شارژ استفاده شده است. در (۲۲) به منظور بهبود ضریب بار شبکه، تعرفه در نسبت تقاضای ساعتی بر ماکسیمم تقاضا ضرب می‌شود، همچنین برای افزایش سهم منابع تجدیدپذیر در تأمین تقاضا، ماکسیمم توان هر یک از این منابع ضرب در تابع هدف و تقسیم بر خروجی ساعت به ساعت این منابع می‌شود. با این کار مازاد توان تولیدی منابع تجدیدپذیر در تجهیزات ذخیره انرژی ذخیره می‌شود. در (۲۲) زمان مورد نیاز برای شارژ کامل خودرو توسط ایستگاه  $m$  با  $T_{m,t}$  نشان داده شده است. این زمان با در نظر گرفتن میزان شارژ اولیه خودرو، ظرفیت باتری و نرخ توان برای هر سطح شارژ محاسبه می‌شود. در (۲۳) سود ناشی از شرکت خودروها در V2G محاسبه شده است. برای افزایش انگیزه صاحبان خودرو برای شرکت در فرایند V2G قیمت برق در زمان دشارژ ۱۰٪ گران‌تر محاسبه می‌شود. معادله (۲۴) میزان تقاضای شارژ خودروها در ایستگاه را محاسبه کرده است.

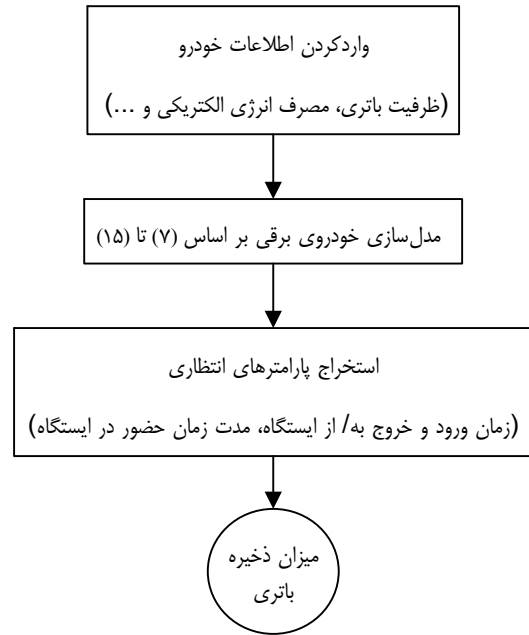
### ۳-۱-۴ هزینه تعمیر و نگهداری باتری

$$f_{\tau} = \frac{C_b E_b + C_L}{L_c E_b DOD} E_{dis} \quad (25)$$

در (۲۵) هزینه بر ساعت باتری، هزینه تعویض باتری، ظرفیت باتری و طول عمر باتری لحاظ شده است. نکته حایز اهمیت ارتباط بین هزینه استهلاک باتری با میزان توان ارائه‌شده در V2G است که این عامل می‌تواند باعث افزایش هزینه‌های باتری و در نتیجه صاحبان خودرو شود و عاملی بازدارنده از دیدگاه صاحبان برای شرکت در V2G تلقی می‌شود.

### ۳-۲ قیود و محدودیت‌ها

در مسئله بهینه‌سازی پنج قید عملیاتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۳: روندنمای مدل‌سازی خودروی برقی.

که در آن  $chr$  نرخ شارژ و  $SOC_{init}$  سطح شارژ اولیه است. در ادامه شکل‌های ۳ و ۴ روندنمای مدل‌سازی خودروی برقی و ایستگاه شارژ را نشان می‌دهند.

### ۳- فرمولاسیون و روش حل

در این بخش روابط و مدل‌های مرتبط با تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ به صورت هم‌زمان از دو دیدگاه مختلف در دستور کار قرار می‌گیرد. نخست از دیدگاه اپراتور سیستم و با هدف کاهش تلفات و نوسانات ولتاژ سیستم و در حالت دوم از دیدگاه مشترکین و صاحبان خودروها با هدف کاهش هزینه‌ها، تابعی چندهدفه به منظور مینیمم‌کردن تلفات و نوسانات ولتاژ و هزینه تعریف شده و وضعیت شبکه در چهار سناریوی متفاوت عملیاتی بررسی می‌شود.

### ۳-۱-۱ تابع هدف

$$\min F_t = \tau f_1 + \beta f_{\tau} + \gamma f_{\tau} + \alpha f_{\tau} \quad (16)$$

هر کدام از ضرایب تابع هدف بنا بر اهمیت هر یک از توابع به صورت  $\tau = 0.4$ ,  $\beta = 0.3$ ,  $\gamma = 0.2$ ,  $\alpha = 0.1$  تعریف شده‌اند. توابع در (۱۶) با تقسیم بر مقدار مبنای خود به صورت پریونیت نوشته شده‌اند تا در تعیین مقیاس برای بهینه‌سازی مشکلی ایجاد نشود.

### ۳-۱-۲ تلفات توان اکتیو

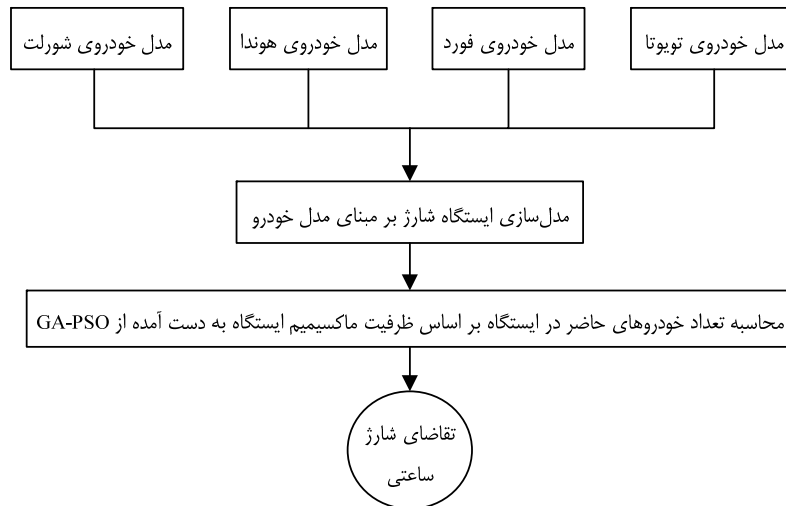
$$f_1 = P_{Loss} \quad (17)$$

$$P_{Loss} = \sum_{t=1}^{Tf} \sum_{i=1}^{NB} \sum_{j>1}^{NB} Y_{ij} [V_{i,t}^2 + V_{j,t}^2 + 2V_{i,t} V_{j,t} \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t})] \quad (18)$$

در بحث مدیریت انرژی می‌توان با اتخاذ تصمیمات درست تلفات را به حداقل رساند.

### ۳-۱-۳ شاخص کل نوسانات ولتاژ

$$f_{\tau} = \sum_{t=1}^{Tf} \sum_{i=1}^{NB} |1 - V_{i,t}| \quad (19)$$



شکل ۴: روندنمای مدل سازی ایستگاه شارژ بر مبنای مدل فردی خودروی برقی.

$$Q_{dc,\min}^{PHEV} \leq Q_{dc,k,t}^{PHEV} \leq Q_{dc,\max}^{PHEV} \quad (۳۶)$$

$$C_{station} \leq C_{SM} \quad (۳۷)$$

### ۳-۳ روش حل

در مسئله بهینه‌سازی عملکرد سیستم متأثر از مکان و ظرفیت نصب‌شده منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ به عنوان متغیرهای هدف می‌باشد. انتخاب مقادیر مناسب برای متغیرهای هدف می‌تواند موجب بهبود شاخص نوسانات ولتاژ و جریان خطوط انتقال شود که این موضوع خود موجب کاهش تلفات سیستم می‌شود. بنابراین مکان‌یابی و تعیین ظرفیت می‌تواند تلفات توان را که خود جزئی از رابطه تابع هدف می‌باشد تغییر دهد. در این مقاله منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ به صورت باس PQ مدل شده‌اند. روش استفاده‌شده برای پخش بار روش پیشرو-پسرو مبتنی بر توان شاخه‌ها می‌باشد. در این روش اجرای فاز پیشرو و پسرو بر اساس معادلات توان صورت می‌گیرد و از جریان شاخه‌ها به طور مستقیم استفاده نمی‌شود. برای حل مسئله بهینه‌سازی و انتخاب مقادیر متغیرهای هدف از الگوریتم ترکیبی GA-PSO بهبودیافته استفاده شده است. این الگوریتم با توجه به رابطه تابع هدف و مقادیر به دست آمده از پخش بار به انتخاب بهترین مقدار برای متغیرهای هدف می‌پردازد.

الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی (اعم از هوشمند و غیر هوشمند) هر کدام دارای قابلیت‌ها و ویژگی‌های خاصی هستند. ایده الگوریتم‌های ترکیبی با توجه به تفاوت‌های عملکردی و ساختاری الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلف شکل گرفته و هدف از آن ایجاد الگوریتم‌های ترکیبی است که بتواند با استفاده از نقاط قوت الگوریتم‌های ترکیب‌شونده عملکرد بهتری را در حل مسئله بهینه‌سازی مختلف داشته باشند. با توجه به این که متغیرهای هدف در این مقاله از دو جنس عدد صحیح و اعشاری می‌باشند و با توجه به این که الگوریتم PSO برای فضاهای بی‌نهایت و پیوسته و الگوریتم GA برای فضاهای گسسته عملکرد مناسب‌تری دارند در این مقاله از GA-PSO استفاده شده است. از نقطه نظر مقایسه الگوریتم‌های مختلف و انتخاب بهترین الگوریتم در مواجهه با این مسئله شاخص NOFE<sup>۱</sup> معرفی شده که در واقع سرعت الگوریتم در حل مسئله را بیان می‌کند و هرچه این شاخص کمتر باشد الگوریتم سریع‌تر عمل می‌کند. با مقایسه مقدار این شاخص برای چند الگوریتم مختلف مقدار

### ۳-۲-۱ بالانس تقاضا و تولید

توان اکتیو و راکتیو تولیدی باید با مجموع تلفات و تقاضا برابر باشد

$$P_{gi,t} = P_{di,t} + V_{i,t} \sum_{j=1}^{NB} V_{j,t} Y_{i,j} \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} - \theta_{i,j}) \quad (۲۶)$$

$$Q_{gi,t} = Q_{di,t} + V_{i,t} \sum_{j=1}^{NB} V_{j,t} Y_{i,j} \sin(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} - \theta_{i,j}) \quad (۲۷)$$

برای باس دارای ایستگاه شارژ

$$P_{gi,t} = P_{di,t} + P_{chi,t} + V_{i,t} \sum_{j=1}^{NB} V_{j,t} Y_{i,j} \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} - \theta_{i,j}) \quad (۲۸)$$

### ۳-۲-۲ محدودیت ولتاژ

فاز و اندازه ولتاژ می‌بایست در محدوده  $Min$  و  $Max$  مقدار خود قرار گیرد

$$V_{\min} \leq V_{i,t} \leq V_{\max} \quad (۲۹)$$

$$\delta_{\min} \leq \delta_{i,t} \leq \delta_{\max} \quad (۳۰)$$

### ۳-۲-۳ محدودیت تولید

توان تولیدی منابع  $RE$  در بازه زمانی  $t$  می‌بایست در محدوده مجاز قرار گیرد

$$P_{\min}^{RES} \leq P_{i,t}^{RES} \leq P_{\max}^{RES} \quad (۳۱)$$

### ۳-۲-۴ محدودیت حرارتی خطوط انتقال

وجود بار اضافی ناشی از شارژ خودروها باعث افزایش شارش توان در خطوط انتقال و افزایش حرارت خطوط می‌شود. به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از افزایش حرارت خطوط می‌بایست شارش توان در محدوده مجاز قرار گیرد

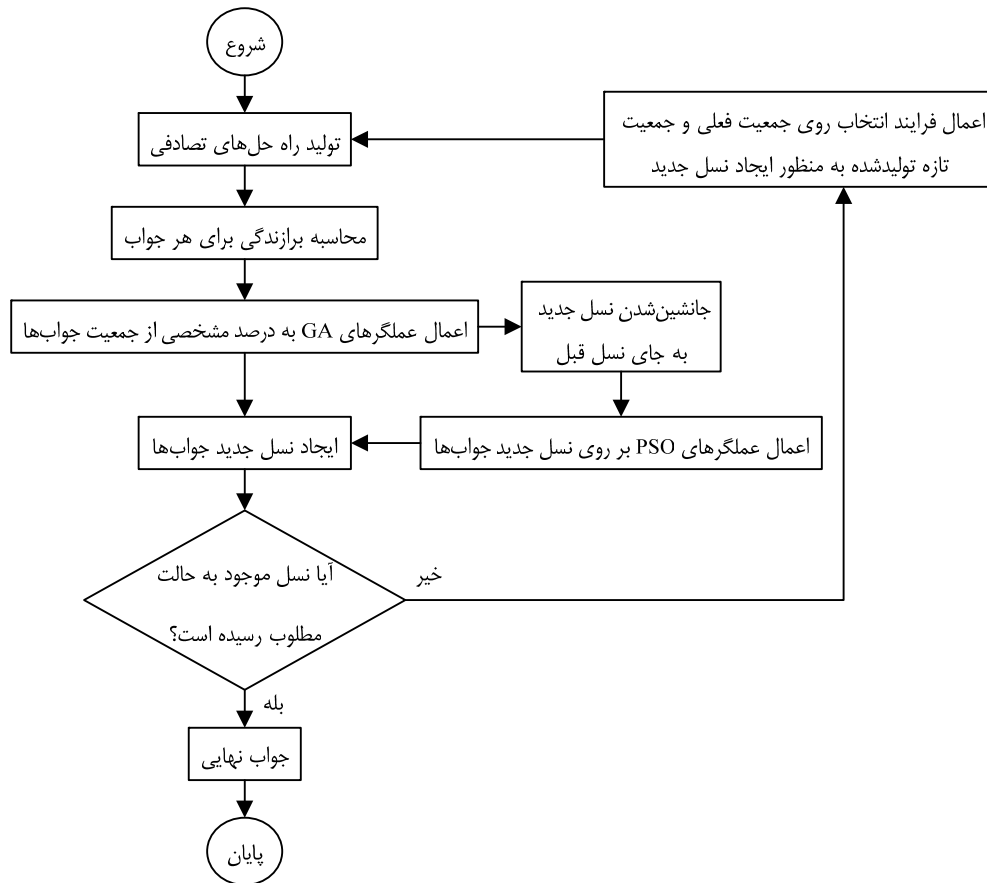
$$|S_{i,t}| \leq |S_i^{\max}|, \quad i = 1, \dots, N_r \quad (۳۲)$$

### ۳-۲-۵ محدودیت خودروهای برقی

$$P_{\min}^{PHEV} \leq P_{k,t}^{PHEV} \leq P_{\max}^{PHEV} \quad (۳۳)$$

$$Q_{\min}^{PHEV} \leq Q_{k,t}^{PHEV} \leq Q_{\max}^{PHEV} \quad (۳۴)$$

$$P_{dc,\min}^{PHEV} \leq P_{dc,k,t}^{PHEV} \leq P_{dc,\max}^{PHEV} \quad (۳۵)$$



شکل ۵: روندنمای الگوریتم بهینه‌سازی GA-PSO برای جایابی و تعیین ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ.

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم GA-PSO.

تعداد جمعیت	$P_c$	$P_m$	$W$	$C_1$	$C_2$	تعداد تکرار
۵۰	$P_c \times (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})$ $i = 1, 2, 3, \dots, 200$	$P_m \times (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})$ $i = 1, 2, 3, \dots, 200$	۱	۲	۲	۲۰۰

برای متغیرهای هدف و بهترین مقدار برای تنظیم پارامترهای الگوریتم محاسبه می‌شود. الگوریتم ارائه‌شده در این مقاله دارای ساختاری جدید در پروسه تولید جمعیت و حذف جواب‌های نامطلوب بر مبنای تنظیم خودکار پارامترهای الگوریتم بر اساس رفتار جمعیت جواب می‌باشد. بنابراین علاوه بر محاسبه بهترین مجموعه جواب، سرعت الگوریتم نیز در حل مسئله بهینه‌سازی افزایش خواهد یافت. روندنمای الگوریتم بهینه‌سازی و الگوریتم مقاله در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است.

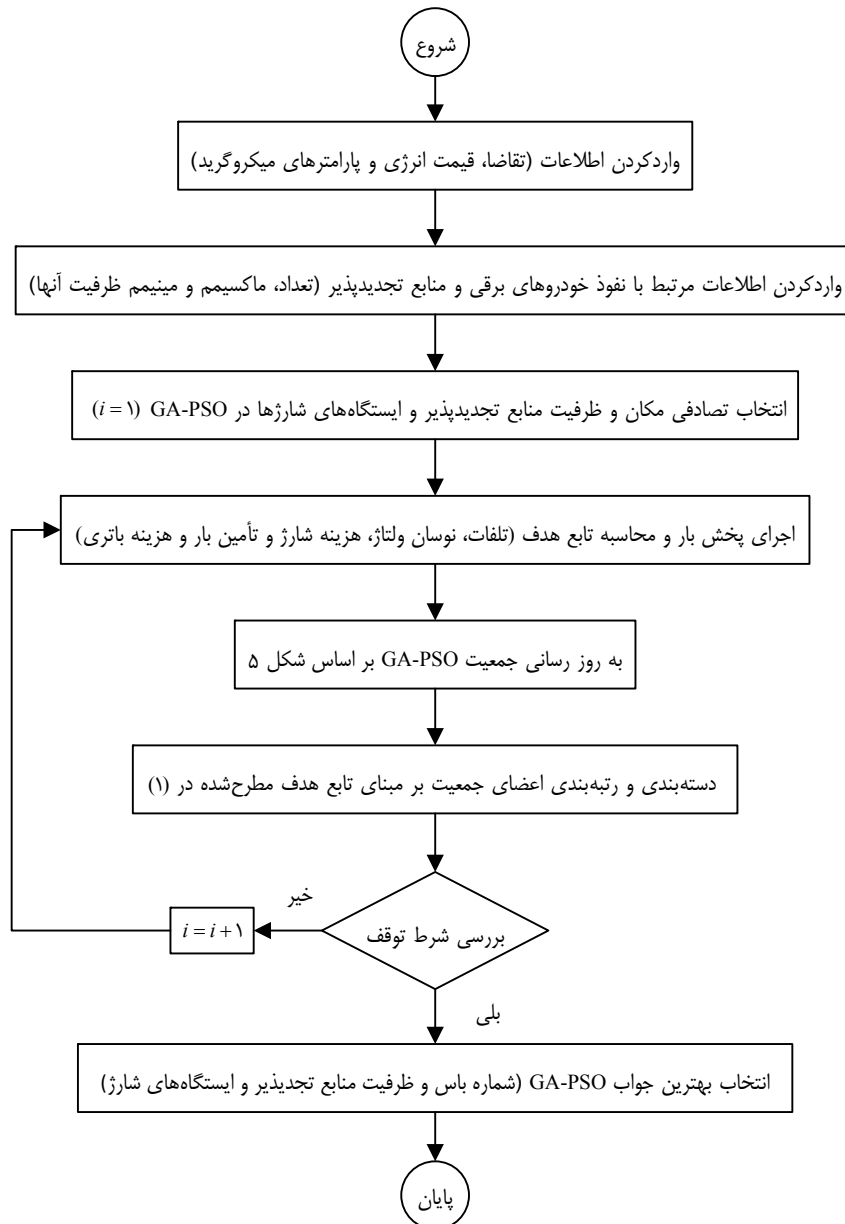
## ۴- شبیه‌سازی و نتایج

### ۴-۱ شبکه تست IEEE ۳۳ باسه

به دلیل گستردگی و پیچیدگی سیستم‌های توزیع واقعی، مدل کردن این سیستم‌ها به منظور مطالعات و شبیه‌سازی کار خیلی سخت و غیر ضروری می‌باشد. در این مقاله از سیستم تست IEEE ۳۳ باسه استفاده شده که در شکل ۷ نشان داده شده است. منحنی تغییرات تقاضا برای این سیستم در شکل ۸ و اطلاعات مربوط به الگوریتم GA-PSO در جدول ۲ آمده است. تعداد تکرار فرایند بهینه‌سازی ۲۰۰ بار به عنوان قید خاتمه در نظر گرفته شده است. در این مقاله حداکثر مقدار مجاز برای ظرفیت هر ایستگاه شارژ ۱/۵ mw و تعداد ایستگاه‌ها دو ایستگاه و برای منابع تجدیدپذیر به ترتیب ۱ mw و دو منبع تعیین شده و تغییرات ۲۴ ساعته قیمت انرژی در شکل ۹ نشان داده شده است.

NOFE برای GA-PSO نسبت به دیگر الگوریتم‌های کاندید در این نوع مسئله بهینه‌سازی کمتر بود.

مثل سایر الگوریتم‌های تکاملی، GA-PSO تکنیکی مبتنی بر جمعیت برای پیدا کردن مقدار بهینه می‌باشد. در این الگوریتم پنج پارامتر قابل تنظیم  $w$ ،  $C_1$ ،  $C_2$ ،  $P_c$  و  $P_m$  وجود دارد.  $w$  ضریب اینرسی و  $C_1$  و  $C_2$  ضرایب یادگیری هستند که این دو پارامتر اغلب برابر دو هستند. ضرایب یادگیری می‌توانند مختلف باشند اما غالباً برابر هم و در بازه  $[0, 4]$  مقدار می‌گیرند.  $P_c$  و  $P_m$  نیز به ترتیب درصد عملگر تقاطع و درصد جهش جمعیت در قسمت ژنتیک روش پیشنهادی می‌باشند. در این مقاله  $P_c$  و  $P_m$  با توجه به رفتار جمعیت جواب تولیدشده تغییر می‌کنند و الگوریتم در هر تکرار با تنظیم خودکار این دو پارامتر اقدام به حذف جواب‌های نامطلوب و یافتن جواب‌های بهتر می‌کند به طوری که در هر تکرار میانگین جواب‌های به دست آمده بهبود می‌یابد. الگوریتم به صورت کلی ۲۰۰ بار تکرار می‌شود که در هر تکرار GA ۵ بار و PSO ۲ بار تکرار می‌شود، در هر تکرار داخلی در صورتی که جواب تولیدشده به ازای ۴۰٪ جمعیت جواب ثابت بماند مقدار  $P_c$  و  $P_m$  با ضرب در مقدار تصادفی  $\varepsilon_i$  تغییر می‌کند.  $\varepsilon$  متغیر تصادفی یکنواخت و مستقل در بازه  $[0, 1]$  می‌باشد. در تکرار بیرونی دوم فرایند بالا برای جمعیت جدید تکرار می‌شود و این بار  $P_c$  و  $P_m$  در  $\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$  ضرب می‌شود تا جواب بهبودیافته جدید تولید شود. در نهایت و بعد از ۲۰۰ تکرار خارجی بهترین مقدار



شکل ۶: روندنمای جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ.

جدول ۳: توضیح حالت سیستم در سناریوهای مختلف.

سناریو	توضیح حالت سیستم تحت بررسی
سناریوی پایه	میکروگرید بر مبنای سوخت فسیلی
سناریوی اول	میکروگرید با حضور ژنراتورهای تجدیدپذیر در نزدیکی محل بار
سناریوی دوم	میکروگرید با حضور ژنراتورهای تجدیدپذیر و خودروهای برقی (بدون V2G و شارژ تصادفی)
سناریوی سوم	میکروگرید با حضور ژنراتورهای تجدیدپذیر و خودروهای برقی (با V2G و شارژ کنترل شده)
سناریوی چهارم	سناریوی سوم با قیمت‌گذاری لحظه‌ای و متأثر از تغییرات تقاضای ساعتی سیستم

تجدیدپذیر یا ایستگاه شارژ معرفی شده‌اند.

(ب) ظرفیت و مکان منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ به عنوان متغیرهای هدف در مسئله بهینه‌سازی آورده شده است.

(ج) اطلاعات تقاضای سیستم در ۲۴ ساعت مدل‌سازی شده است. اطلاعات و الگوی بار شبکه منطبق بر اطلاعات شبکه انتاریو در تاریخ ۲۷ نوامبر ۲۰۱۵ می‌باشد [۳۰].

(د) شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی سیستم برای یک دوره زمانی ۲۴ ساعته انجام شده است.

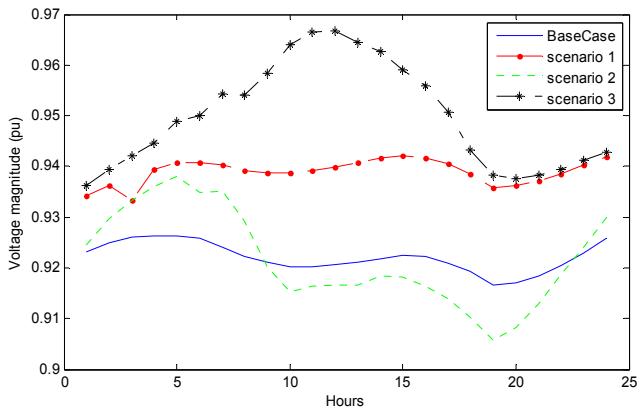
سناریوهای مختلف مطالعه‌شده در این مقاله در جدول ۳ آمده است.

نمودار تقاضا در حالت پایه سیستم نشان‌دهنده تغییرات زیاد در مقدار تقاضا برای ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد که هدف کاهش این نوسانات و در نتیجه کاهش تلفات و هزینه‌ها می‌باشد.

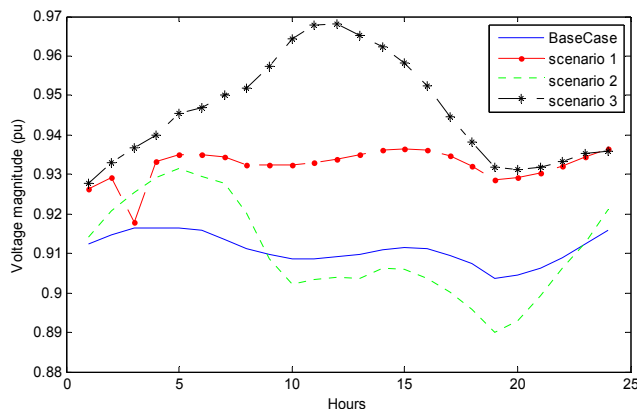
#### ۴-۲ فرضیات و اطلاعات مورد نیاز

در این قسمت ابتدا فرضیات و اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله بهینه‌سازی عنوان گردیده و سپس نتایج مطرح شده است.

(الف) در فرایند جایابی تمامی باس‌ها به غیر از باس شماره یک که اسلک باس می‌باشد به عنوان کاندید برای قرارگیری منابع



شکل ۱۰: تغییرات ولتاژ باس ۳۳ در ۲۴ ساعت.



شکل ۱۱: تغییرات ولتاژ باس ۱۸ در ۲۴ ساعت.

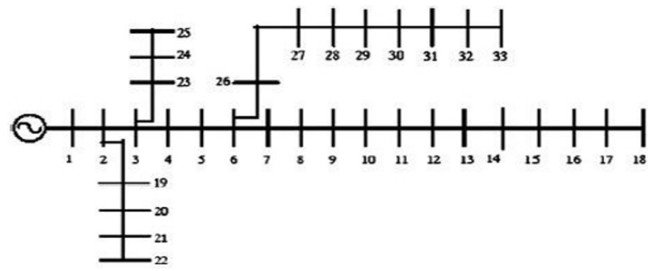
جدول ۴: مقادیر به دست آمده از حل مسئله بهینه‌سازی برای مکان و ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ در سناریوهای مختلف.

سناریو	مکان منابع	ظرفیت منابع (Mw)	مکان ایستگاه	ظرفیت ایستگاه (Mw)
اول	۲ ۱۵	۰,۶۴۹۳ ۰,۶۷۲۲	-	-
دوم	۲ ۱۵	۰,۶۴۹۳ ۰,۶۷۲۲	-	-
سوم	۱۳ ۳۰	۰,۶۹۳۹ ۰,۷۱۲۶	۲۳ ۶	۱,۰۵۱۲ ۰,۹۰۳۵

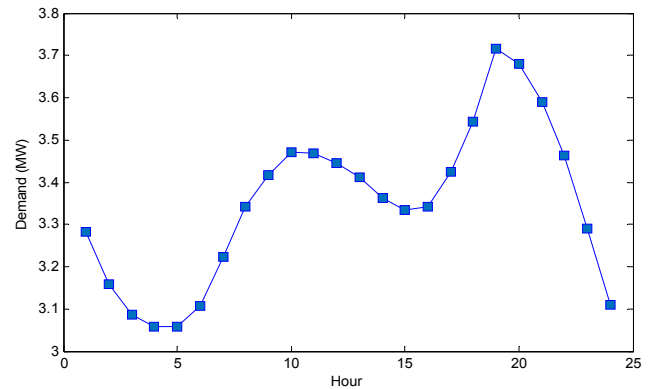
جدول ۵: مقادیر محاسبه شده برای توابع هدف در سناریوهای مختلف.

سناریو	$F_1$ (MW)	$F_2$ (pu)	$F_3$ (\$)	$F_4$ (\$)
پایه	۴,۳۴۶۳۸۸	۳۹,۱۷۰۶	۱۸,۵۴۳,۹۵۲	-
اول	۲,۷۱۷۳۵۶	۳۰,۰۶۴۶	۱۰,۲۶۲,۸۶۱	-
دوم	۴,۴۷۱۱۶۲	۳۹,۳۵۱	۲۴,۹۰۰,۶۲۵	-
سوم	۲,۱۰۸۹۰۶	۲۴,۱۰۷۳	۸,۲۲۱,۶۴۰	۱۴۷,۱۸۹

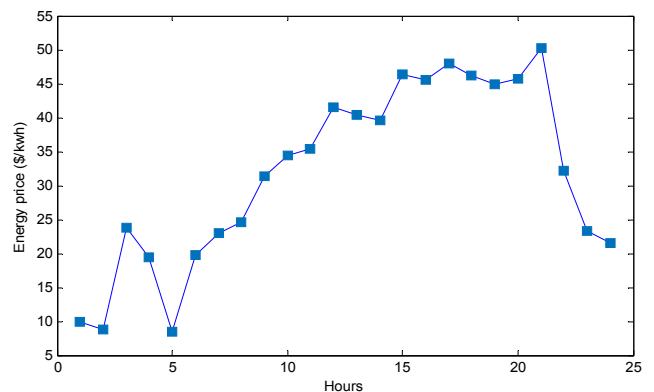
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ هر کدام نوسانات ولتاژ باس‌های انتهایی شبکه در بازه زمانی ۲۴ ساعت را برای سناریوهای مختلف نشان می‌دهند. هدف از این مقایسه، مشاهده تأثیر حضور خودروها بر ولتاژ باس‌های انتهایی شبکه به عنوان مراکز دور از واحد تولید متمرکز و در واقع باس‌های حساس شبکه در برابر تغییرات در ساختار شبکه می‌باشد. با دقت در نتایج به دست آمده کمترین مقدار نوسان ولتاژ مربوط به سناریوهای پایه و اول است و با نفوذ PHEV به شبکه تغییرات ولتاژ در ۲۴ ساعت بیشتر شده است اما از نظر اندازه ولتاژ بیشترین سطح ولتاژ برای باس‌های انتهایی



شکل ۷: شمای تک‌خطی شبکه نمونه IEEE ۳۳ باس.



شکل ۸: تغییرات تقاضای سیستم در ۲۴ ساعت [۳۰].

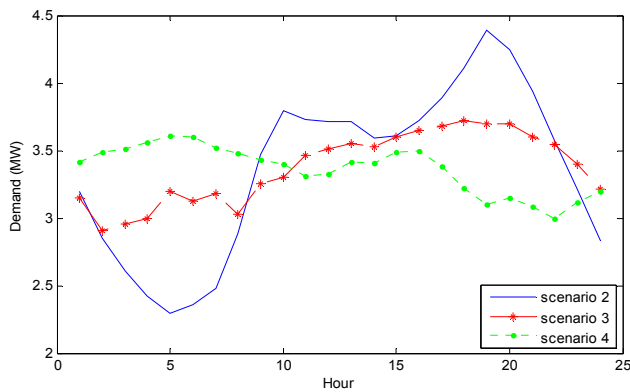


شکل ۹: تغییرات قیمت انرژی سیستم در ۲۴ ساعت [۳۰].

هدف از بررسی سیستم در سناریوی پایه مطالعه رفتار سیستم قبل از تغییر ساختار می‌باشد. در سناریوی اول تأثیر نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر به شبکه بررسی شده و در سناریوهای دوم و سوم نفوذ خودروها به شبکه با در نظر گرفتن تأثیر V2G و مدیریت شارژ خودروها شبیه‌سازی شده است. سناریوی چهارم صرفاً به بررسی تأثیر قیمت‌گذاری لحظه‌ای بر الگوی مصرف شبکه پرداخته است، قیمت‌گذاری بر مبنای بار مصرفی در همان لحظه روشی به منظور کنترل غیر مستقیم مصرف‌کنندگان شبکه می‌باشد. در سناریوی چهارم از ساختار شبکه در سناریوی سوم استفاده شده و صرفاً روش قیمت‌گذاری تغییر پیدا کرده است.

جدول ۴ مقادیر متغیرهای هدف برای سناریوهای مختلف و جدول ۵ مقادیر تابع هدف برای چهار حالت عملیاتی شبکه را نشان می‌دهد. با دقت در مقادیر تابع هدف درمی‌یابیم که بهترین حالت به منظور بهره‌برداری از شبکه سناریوی سوم می‌باشد به طوری که مقادیر  $f_1$ ،  $f_2$  و  $f_3$  مقدار کمتری را به نسبت سایر سناریوها تجربه می‌کنند و تنها  $f_4$  که مربوط به هزینه استهلاک باتری ناشی از حضور در پروسه V2G است اضافه شده است. هر چند هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری در نظر گرفته نشده است اما با در نظر گرفتن این هزینه‌ها در درازمدت باز هم اولویت با بهره‌گیری از سناریوی سوم به دلیل مزایای این طرح است.





شکل ۱۴: تغییرات تقاضای شبکه در حضور خودروی برقی در ۲۴ ساعت.

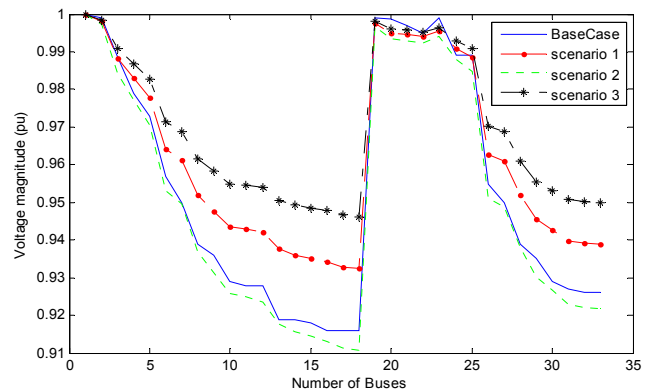
$$r(t) = \beta_1 + \beta_r \alpha \frac{P_{sys}^t - P_{avg}}{P_{avg}} \quad (38)$$

که  $\beta_1$  و  $\beta_r$  پارامترهای قیمت،  $P_{sys}^t$  تقاضای سیستم در زمان  $t$  و  $P_{avg}$  تقاضای متوسط سیستم می‌باشد. در این پروژه  $\beta_1 = 1 \$/kwh$ ،  $\beta_r = 2 \$/kwh$  و  $\alpha = 1$  در نظر گرفته شده است.

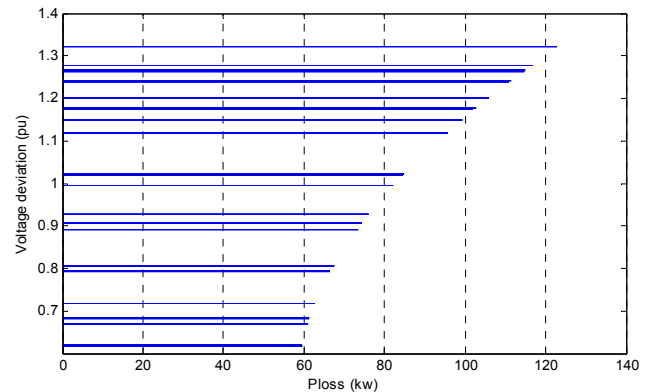
بنا به شکل ۱۴ تقاضای سیستم در سناریوی دوم به علت حضور خودروها و برنامه شارژ تصادفی آنها با نوسان زیادی مواجه است و عملاً اضافه بار در ساعات پرباری به شبکه تحمیل شده که این موضوع استفاده از ژنراتورهای با هزینه بالا برای زمان‌های پیک تقاضا و در نتیجه افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارد. با توجه به نوسانات شدت تابش خورشید و سرعت باد نشان داده شده در شکل‌های ۱ و ۲ بیشترین شدت تابش بین ساعات ۱۴-۱۰ و کمترین آن بین ساعات ۱۹-۷ رخ داده است. همچنین کمترین سرعت باد در ساعات ۲۴-۷ و بیشترین آن در ساعات ۱۷-۱۳ اتفاق افتاده است. با استفاده از برنامه شارژ کنترلی می‌توان شارژ خودروها را با استفاده از مازاد تولید این منابع در این ساعات، تأمین و به اصلاح منحنی تقاضای سیستم کمک کرد. با کنترل برنامه شارژ خودروها از طریق اعمال تعرفه متغیر انرژی برای ساعات مختلف (سناریوی سوم) منحنی تقاضا اصلاح شده و نوسان کمتر می‌شود. با به کارگیری مدل قیمت‌گذاری لحظه‌ای در سناریوی چهارم منحنی تقاضا در مقایسه با سناریوی سوم حالت مطلوب‌تری دارد چرا که انتقال تقاضا به ساعات کم‌باری یا همان اصلاح تقاضای پیک سیستم انجام شده است. بنابراین استفاده از این روش برای کنترل برنامه شارژ خودروها می‌تواند به عنوان روشی هوشمند و اقتصادی به کار گرفته شود.

به منظور بررسی کارایی الگوریتم GA-PSO بهبودیافته ارائه شده در این مقاله، عملکرد الگوریتم در حل مسئله بهینه‌سازی و یافتن مقادیر متغیرهای هدف با الگوریتم DE استفاده شده در [۱۸] مقایسه گردیده است. در هر دو حالت از سیستم ۳۳ باسه IEEE استفاده شده و شبیه‌سازی‌ها در فضای نرم‌افزار Matlab R2004a و با استفاده از سیستم ASUS x55 انجام شده و نتایج در جدول ۶ آمده است.

بنا به جدول ۶ الگوریتم GA-PSO در مقایسه با DE مقدار NOFE کمتری دارد، در نتیجه GA-PSO نسبت به DE به مقدار ۹/۷۴ ثانیه در شرایط یکسان سریع‌تر عمل می‌کند اما نکته مهم نتایج به دست آمده برای متغیرهای هدف می‌باشد. هر دوی الگوریتم‌ها تابع هدف را حل کرده و مکان و ظرفیت بهینه برای منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ را به دست آورده‌اند. آنچه مشخص است، این است که مقادیر تابع هدف به دست آمده از روش GA-PSO کمتر از مقادیر برای الگوریتم DE می‌باشد به جز مقدار  $F_+$ . بنابراین الگوریتم GA-PSO مطرح شده در این مقاله در



شکل ۱۲: تغییرات ولتاژ شبکه ۳۳ باسه در ۲۴ ساعت.



شکل ۱۳: تغییرات تلفات توان نسبت به میزان نوسانات ولتاژ سیستم (سناریوی سوم).

شبکه در سناریوی سوم اتفاق افتاده است. بنابراین حضور خودروها در شبکه می‌تواند باعث افزایش سطح ولتاژ باس‌های انتهایی شود اما می‌بایست برای جلوگیری از افزایش نوسانات ولتاژ، شارژ و دشارژ خودروها به صورت هدفمند و برنامه‌محور صورت گیرد. شکل ۱۲ متوسط تغییرات ولتاژ باس‌های شبکه را نشان می‌دهد، بیشترین و کمترین سطح ولتاژ به ترتیب مربوط به سناریوی سوم و دوم است. در سناریوی سوم بهبود سطح ولتاژ و نزدیک‌تر شدن اندازه ولتاژ باس‌ها به مقدار یک پریونیت و کاهش نوسانات اتفاق افتاده که این موضوع می‌تواند باعث کاهش تلفات، بهبود عملکرد سیستم و افزایش رضایتمندی مشترکین شود. شکل ۱۳ ضرورت رگولاسیون ولتاژ برای سیستم‌های توزیع را نشان می‌دهد و بنا بر شکل افزایش نوسانات ولتاژ شبکه باعث افزایش تلفات در سیستم و در نتیجه افزایش هزینه‌ها می‌شود. با استفاده از خودروها در شبکه توزیع به عنوان سیستم ذخیره انرژی در کنار منابع تولید پراکنده به منظور خدمات تنظیم ولتاژ می‌توان نوسانات را کم کرد در نتیجه تلفات سیستم کاهش می‌یابد. بنا به تغییرات تابش خورشید و سرعت باد نشان داده شده در شکل‌های ۱ و ۲ بیشترین توان خروجی واحد خورشیدی در بازه زمانی ۱۴-۱۰ و برای واحد نیروگاه بادی بین ساعات ۱۷-۱۳ و کمترین تولید به ترتیب برای هر واحد در بازه‌های زمانی ۲۴-۷ و ۷-۱۹ رخ داده است. این موضوع لزوم شارژ مدیریت شده برای خودروها را بیش از پیش روشن می‌سازد.

### سناریوی چهارم

اصولاً مصرف‌کنندگان به دنبال کاهش هزینه‌های خود می‌باشند. از آنجایی که این ساختار قیمت‌گذاری قیمت بالایی را در زمان پرباری (پیک) به مصرف‌کننده پیشنهاد می‌دهد مصرف‌کننده را از مصرف برق به منظور شارژ خودرو در این ساعات منصرف می‌سازد و عملاً اضافه بار به شبکه تحمیل نمی‌شود. مدل محاسبه قیمت برق در ساعات و تقاضای مختلف شبکه در (۳۸) آمده است

جدول ۶: مقایسه بین الگوریتم GA-PSO و DE.

تعداد تکرار	تعداد جمعیت	NOFE	مدت زمان حل مسئله	مکان تجدیدپذیر	ظرفیت تجدیدپذیر	مکان ایستگاه شارژ	ظرفیت ایستگاه شارژ	$F_1$ (MW)	$F_2$ (pu)	$F_3$ (\$)	$F_4$ (\$)
GA-PSO	۲۰۰	۵۰	۶۹۵۹۰	۲۰/۱۸	۱۳ ۰/۶۹۳۹	۳۳	۱/۰۵۱۲	۲/۱۰۸۹۰۶	۲۴/۱۰۷۳	۶۴۰,۲۲۱,۸	۱۸۹,۱۴۷
DE	۲۰۰	۵۰	۱۰۳۴۱۰	۲۹/۹۲	۱۲ ۰/۴۷۴۸	۱۹	۰/۲۲۵۱	۲/۴۷۱۸۱۱	۲۵/۴۵۱۲	۷۲۵,۹۳۶,۸	۶۱۲,۱۳۹
					۲۶ ۰/۸۴۱۶	۳۳	۰/۶۲۰				

- [2] Office of Integrated Analysis and Forecasting, *International Energy Outlook 2011: Energy Information Administration (EIA)*, U. S. Department of Energy, Washington DC, 2011.
- [3] M. H. Amini, K. G. Boroojeni, and C. J. Wang, "Effect of electric vehicle parking lot's charging demand as dispatchable loads on power loss," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Electro Information Technology EIT'16*, pp. 19-21, May 2016.
- [4] A. Changsun, C. T. Li, and H. Peng, "Optimal decentralized charging control algorithm for electrified vehicles connected to smart grid," *J. Power Sources*, vol. 196, no. 23, pp. 10369-10379, Dec. 2011.
- [5] W. Kempton and A. Dhanju, "Electric vehicles with V2G," *Wind-Tech International*, vol. 2, no. 2, pp. 18-21, Mar. 2006.
- [6] T. Katrasnik, "Energy conversion phenomena in plug-in hybrid-electric vehicles," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 7, pp. 2637-2650, Jul. 2011.
- [7] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue," *J. of Power Sources*, vol. 144, no. 1, pp. 268-279, Jun. 2005.
- [8] M. Ehsani, M. Falahi, and S. Lotfifard, "Vehicle to grid services: potential and applications," *Energies*, vol. 5, no. 10, pp. 4076-4090, Oct. 2012.
- [9] D. Freund, M. Lutzenberger, and S. Albayrak, "Costs and gains of smart charging electric vehicles to provide regulation services," *Procedia Computer Science*, vol. 10, pp. 846-853, 2012.
- [10] M. H. Amini, O. Karabasoglu, and M. D. Ilic, "ARIMA-based demand forecasting method considering probabilistic of electric vehicle's parking lots," in *Proc. IEEE Power and Energy and Energy Society General Meeting*, pp. 26-30, Jul. 2015.
- [11] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, and P. M. R. Almeida, "Integration of electric vehicles in the electric power system," in *Proc. of the IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 168-183, Jan. 2011.
- [12] J. de Hoog, *et al.*, "The importance of spatial distribution when analysing the impact of electric vehicles on voltage stability in distribution networks," *Energy System*, vol. 6, no. 1, pp. 63-84, 2014.
- [13] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Self-scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot using stochastic optimization," *J. of the Franklin Institute*, vol. 352, no. 2, pp. 449-467, Feb. 2015.
- [14] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition," *Energy*, vol. 65, pp. 572-579, Feb. 2014.
- [15] Z. Liu, F. Wen, and G. Ledwich, "Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 28, no. 1, pp. 102-110, Jan. 2013.
- [16] A. T. Davda, B. Azzopardi, B. R. Parekh, and M. D. Desai, "Dispersed generation enable loss reduction and voltage profile improvement in distribution network - case study, Gujarat India," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 29, no. 3, pp. 1242-1249, May 2014.
- [17] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "An optimal investment planning framework for multiple distributed generation units in industrial systems," *Applied Energy*, vol. 124, no. 1, pp. 62-72, Jul. 2014.
- [18] M. H. Moradi, M. Abedini, S. M. R. Tousi, and S. M. Hosseini, "Optimal siting and sizing of renewable energy sources and charging stations simultaneously based on differential evolution algorithm," *International J. of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 73, pp. 1015-1024, Dec. 2015.
- [19] H. Turton and F. Moura, "Vehicle-to-grid systems for sustainable development: an integrated energy analysis," *Technological*

مواجهه با این مسئله بهینه‌سازی سریع‌تر عمل می‌کند و مینی‌م‌سازی مقادیر تابع هدف در این حالت بهتر از الگوریتم DE صورت گرفته است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی برای مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ خودروی برقی به صورت هم‌زمان معرفی شده است. به منظور استفاده از خودروهای برقی برای پشتیبانی از شبکه مدیریت شارژ و دشارژ خودروها از طریق تعرفه متغیر انرژی در دو حالت قیمت‌گذاری روز پیش و قیمت‌گذاری لحظه‌ای متأثر از تغییرات تقاضا صورت گرفته است. تابعی چهارهدفه برای مینی‌م‌سازی تلفات توان اکتیو شبکه ( $f_1$ )، نوسانات ولتاژ شبکه ( $f_2$ )، هزینه تأمین انرژی ( $f_3$ ) و هزینه تعمیر و نگهداری باتری خودرو ( $f_4$ ) معرفی شده و برای حل آن از روش حل ضرایب وزنی و الگوریتم ترکیبی GA-PSO بهبودیافته در فضای نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. مطالعات بر روی شبکه استاندارد IEEE ۳۳ باسه در حالت پایه و چهار سناریوی مختلف انجام شده است. همچنین عملکرد الگوریتم GA-PSO بهبودیافته در حل تابع هدف با الگوریتم DE مقایسه شده و نتایج قابلیت بهتر GA-PSO در مواجهه با این مسئله را تأیید می‌کند.

بنا بر نتایج، استفاده برنامه‌ریزی شده از منابع تجدیدپذیر به دلیل نزدیکی به محل بار باعث کاهش تلفات و کاهش نوسانات ولتاژ و هزینه‌ها می‌شود. با اضافه‌شدن ایستگاه‌های شارژ و استفاده از تعرفه متغیر انرژی برای مدیریت شارژ و دشارژ خودروها می‌توان از وقوع اضافه بار ناشی از تقاضای شارژ در زمان پیک بار و افت ولتاژ در باس‌های پر بار و باس‌های انتهایی شبکه جلوگیری کرد. انتخاب مقادیر مناسب برای ضرایب تابع هدف و انتخاب روش قیمت‌گذاری لحظه‌ای انرژی به اصلاح منحنی تقاضا کمک می‌کند و می‌توان از این طریق تقاضای شارژ خودروها را به ساعات کم‌باری و تولید زیاد منابع تجدیدپذیر انتقال داد. به طور کلی این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از خودروها به عنوان منابع ذخیره انرژی در کنار منابع تجدیدپذیر می‌تواند باعث کاهش تلفات، کاهش تغییرات ولتاژ و کاهش هزینه‌های شبکه و مشترکین شود. در این مقاله عدم قطعیت پارامترهای ورودی در محاسبات پخش بار و شبیه‌سازی لحاظ شده و می‌تواند به برنامه‌ریزان برای تصمیم‌گیری کمک کند.

## مراجع

- [1] F. Fazelpour, M. Vafaiepour, O. Rahbari, and M. A. Rosen, "Intelligent optimization to integrate a plug-in hybrid electric vehicle smart parking lot with renewable energy resources and enhance grid characteristics," *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp. 250-261, Jan. 2014.

- [34] <http://www.ford.com/cars/fusion/trim/seenergi/>.
- [35] <http://www.toyota.com/prius-plug-in/>.
- [36] IEEE Reliability Test System Task Force of the Applications of Probability Methods Subcommittee, "IEEE reliability test system," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 98, no. 6, pp. 2047-2054, Nov./Dec. 1979.
- [37] S. Letendre, P. Denholm, and P. Lilienthal, "Plug-in hybrid and all-electric vehicles: new load, or new resource," *Public Utility Fortnightly*, vol. 144, no. 12, pp. 28-37, Dec. 2006.
- محمدحسین مرادی** در سال ۱۳۶۹ و ۱۳۷۲ مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را به ترتیب از دانشگاه صنعتی شریف و دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمود. از سال ۱۳۷۲ نامبرده در گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان به عنوان عضو هیأت علمی مشغول به فعالیت گردید. دکتر مرادی در سال ۱۳۷۷ به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه استراسکلاید در گلاسکو اسکاتلند وارد گردید و در سال ۱۳۸۱ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه مذکور گردید. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند انرژی‌های نو، ریزشبکه، مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و فرایندهای صنعتی، کیفیت توان و اتوماسیون می‌باشد.
- مصطفی رضائی مظفر** در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک و دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل: انرژی‌های نو، خوروه‌های الکتریکی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی شبکه‌های انرژی می‌باشد.
- پرهام محمدعلیزاده** در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۳ به عضویت تیم شبیه‌ساز امداد دانشگاه آزاد اسلامی قزوین درآمد است. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل: بهینه‌سازی و یادگیری ماشین می‌باشد.
- [20] M. Shafie-khah and J. P. S. Catalao, "A stochastic multi-layer agent based model to study electricity market participants behavior," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 30, no. 2, pp. 867-881, Mar. 2015.
- [21] A. El-Zonkoly, "Intelligent energy management of optimally located renewable energy systems incorporating PHEV," *Energy Conversion and Management*, vol. 84, pp. 427-435, Aug. 2014.
- [22] W. Su and C. Mo-Yuen, "Performance evaluation of a PHEV parking station using particle swarm optimization," in *Proc. Power and Energy Society General Meeting*, pp.24-29, San Diego, USA, Jul. 2011.
- [23] J. Donadee and M. Ilic, "Stochastic optimization of grid to vehicle frequency regulation capacity bids," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 1061-1069, Mar. 2014.
- [24] A. Gholami, J. Ansari, M. Jamei, and A. Kazemi, "Environmental/economic dispatch incorporating renewable energy sources and plug-in vehicles," *IET Generation, Transmission, and Distribution*, vol. 8, no. 12, pp. 2183-2198, Dec. 2014.
- [25] M. Moradjoz, M. Parsa Moghadam, M. R. Haghifam, and E. Alishahi, "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network," *International J. of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 46, pp. 115-122, Mar. 2013.
- [26] W. Pei, Y. Du, W. Deng, K. Sheng, H. Xiao, and H. Qu, "Optimal bidding strategy and intra-market mechanism of micro-grid aggregator in real-time balancing market," *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 2, pp. 587-596, Jan. 2016.
- [27] X. Zhang and G. Hug, "Bidding strategy in energy and spinning reserve markets for aluminium smelters' demand response," in *Proc. IEEE ISGT Conf.*, 5 pp., 18-20 Feb. 2015.
- [28] W. Su and M. Y. Chow, "Computational intelligence-based energy management for a large-scale PHEV/PEV enabled municipal parking deck," *Applied Energy*, vol. 96, pp. 171-182, Aug. 2012.
- [29] X. Zhang, G. Hug, Z. Kolter, and I. Harjunkoski, "Industrial demand response by steel plants with spinning reserve provision," in *Proc. IEEE North American Power Symp.*, 6 pp., Nov. 2015.
- [30] <http://www.ieso.ca/Pages/Power-Data/default.aspx>.
- [31] T. Markvart, *Solar Electricity*, 2nd Ed., USA: Wiley, 2000.
- [32] <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>.
- [33] <http://automobiles.honda.com/accord-plug-in/>.