Journal of Systems Smartening and Data Processing
Vol. 1 - No. 3 - Fall 2023

Improving the voltage profile in the distribution network using electric vehicles in V2G mode

Rahfarsa, sajjad, *M.Sc*, Seyedyazdi, Masoumeh Sadat, *Assistant Professor*

School of Electrical and Electronics Engineering, Pasargad Higher Education Institue, shiraz, Iran
sajadrahfarsa972@gmail.com
ma.seyedyazdi@gmail.com

Received: 3 August 2024 **Revised:** 16 September 2024 **Accepted:** 18 October 2024

Abstract:

Global warming, the limitation of non-renewable resources such as fossil fuels and the requirement to reduce global CO2 emissions by 20% by 2050, which has been introduced by the International Energy Agency, have given great attention to the use of electric vehicles as a main transportation solution. It has created a legend in the world. The significant increase in the production of electric vehicles and the unplanned and controlled use of electric vehicles are considered as additional loads for the power grid, and may be caused by overloading the grid equipment, disrupting the stability of the grid voltage and injecting harmonics. to the power grid, create possible risks for the reliability of the power grid. On the other hand, EV can be a promising future technology that can be connected to the grid as mobile energy storage to create a smart grid application. In the proposed method, using intelligent planning of charging and discharging of electric vehicles based on the charging level of the selected vehicles with the help of PSO optimization algorithm by performing load leveling and peaking and providing the required power with the participation of the energy produced from the available PV cells. improve the voltage profile of the distribution network. The network studied to evaluate the proposed algorithm in this research is the standard IEEE bus 33 network and coding has been done in the MATLAB software environment.

Keywords: Electric vehicle, vehicle to grid, voltage profile, smart charging.

Corresponding Author: Sajjad rahfarsa
Corresponding Author Address: Pasargad Institute of Higher Education – Shiraz - Shahrak-e-Valfajr - Western Fajr Blvd -Iran

بهبود پروفایل ولتاژ در شبکه توزیع با بهره‌گیری از خودروهای برقی در حالت V2G

سجاد ره فرسا، کارشناسی ارشد، معصومه السادات سیدیزدی، استادیار

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک - مؤسسه آموزش عالی پاسارگاد، شیراز، ایران
sajadrahfarsa972@gmail.com
ma.seyedyazdi@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳ **تاریخ بازنگری مقاله:** ۱۴۰۳/۰۶/۲۶ **تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۳/۰۷/۲۷

چکیده: گرمایش جهانی، محدودیت منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و الزام کاهش ۲۰ درصدی انتشار CO_2 جهانی تا سال ۲۰۵۰ که توسط آژانس بین المللی انرژی معرفی شده است، توجه زیادی به استفاده از خودروهای الکتریکی به عنوان یک راه‌حل اصلی حمل و نقل در جهان ایجاد کرده است. افزایش قابل‌توجه تولید وسایل نقلیه الکتریکی و استفاده بدون برنامه‌ریزی و کنترل از خودروهای برقی (EV) به عنوان بارهای اضافی برای شبکه برق در نظر گرفته می‌شوند و ممکن است با بارگذاری بیش از حد تجهیزات شبکه، برهم زدن ثبات ولتاژ شبکه و تزریق هارمونیک‌ها به شبکه برق، خطرات احتمالی را برای قابلیت اطمینان شبکه برق ایجاد کنند. ازسوی دیگر، EV می‌تواند یک فناوری آینده امیدوارکننده باشد که می‌توان آن را به عنوان ذخیره‌سازی انرژی سیار به شبکه متصل کرد تا یک برنامه شبکه هوشمند ایجاد کند. در روش پیشنهادی با استفاده از برنامه‌ریزی هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی براساس سطح شارژ خودروهای انتخابی به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) با انجام تسطیح و پیک‌سایی بار و همچنین تأمین قدرت موردنیاز با مشارکت انرژی تولیدی حاصل از سلول‌های فوتوولتاییک (PV) در دسترس، پروفایل ولتاژ شبکه توزیع را بهبود دهیم. شبکه مورد مطالعه برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، شبکه استاندارد IEEE bus 33 است و کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: خودروی برقی، خودرو به شبکه، پروفایل ولتاژ، شارژ هوشمند.

نام نویسنده‌ی مسئول: سجاد ره فرسا
نشانی نویسنده‌ی مسئول: شیراز_ بلوار امیر کبیر_ شهرک والفجر_ بلوار فجر غربی_ موسسه آموزش عالی پاسارگاد شیراز

۱- مقدمه

امروزه نگاه قابل توجهی به خودروهای برقی برای مقابله با گرمایش جهانی شده است. با توجه به اینکه بخش حمل و نقل دومین عامل انتشار کربن در نظر گرفته می‌شود، چالش‌ها را تغییر دهد. با این‌حال، استقرار خودروهای برقی در مقیاس بزرگ نیاز به نیروی اضافی از یک شبکه توزیع سنتی دارد. در یک شبکه توزیع برای شارژ مجدد باتری‌های EV مشکلات و مسائلی را برای شبکه برق از نظر افت ولتاژ، افزایش پیک‌بار، اضافه‌بار و مسائل کیفیت توان ایجاد می‌کند. این سناریو نشان‌دهنده طیف گسترده‌ای از اثرات نامطلوب قابل‌توجه بر این شبکه توزیع است. این اثرات ممکن است براساس سطوح نفوذ EV، ویژگی‌های باتری EV، الگوهای شارژ، مکان‌های شارژ، حالت‌های شارژ، زمان‌های شارژ، سطح شارژ باتری در حین شارژ، الگوهای رانندگی EV، پروفایل‌های شارژ ناوگان، مسافت‌های رانندگی، استراتژی پاسخ به تقاضا و تعرفه‌ها متفاوت باشد. با این‌حال، EV هیچ تهدیدی برای عملکرد شبکه برق به طور مستقل ایجاد نخواهد کرد. اما پذیرش روبه‌رشد EV می‌تواند بر قابلیت‌اطمینان شبکه برق تأثیر بگذارد که در این خصوص، مطالعاتی برای ارزیابی تأثیرات نفوذ EV در مقیاس بزرگ بر روی شبکه برق انجام شده است[۱]. علاوه بر این، بسیاری از صنایع، سازمان‌ها و کشورها میلیون‌ها دلار برای توسعه و کنترل خودروهای الکتریکی با پیش‌بینی چالش‌ها و فرصت‌های این خودروها سرمایه‌گذاری می‌کنند. مفهومی که در ادبیات علمی امروز از آن به اتصال خودرو به شبکه[۱](V2G) تعبیر می‌شود علاوه بر سازگاری با محیط زیست، سیستم‌های V2G می‌توانند به کاربران خودروهای برقی متصل[۲] (PEV) در کاهش هزینه‌های انرژی خود کمک کنند و همچنین می‌توانند به تثبیت تقاضای انرژی در شبکه برق کمک کنند. تکنولوژی V2G سیستمی را توصیف می‌کند که درآن خودروهای الکتریکی با شبکه برق ارتباط برقرار می‌کنند تا خدمات پاسخگویی به تقاضا را با شارژ یا تخلیه انرژی تسهیل کنند[۴]. از یک طرف، اگر PEV ها شارژ را از شبکه برق انجام دهند، انرژی برای سفر و ذخیره‌سازی در باتری‌های آنها ذخیره می‌شود. از سوی دیگر، اگر PEV ها تخلیه را به شبکه برق انجام دهند، انرژی باتری‌های آنها با هدف تثبیت تقاضای انرژی به شبکه برق بازگردانده می‌شود. به عنوان مثال، زمانی که عرضه انرژی از ژنراتورها از تقاضا بیشتر می‌شود، به عنوان مثال، درساعات غیر اوج بار، قیمت انرژی پایینی را می‌توان برای تشویق PEV ها برای شارژ باتری‌های خود از ایستگاه‌های شارژ ارائه داد. در مقابل، زمانی که عرضه انرژی نمی‌تواند تقاضا را برآورده کند، به عنوان مثال، در ساعات اوج مصرف، PEV ها می‌توانند انرژی خود را به شبکه برق بفروشند. از این رو، PEV ها می‌توانند به عنوان یک ذخیره انرژی عمل کنند. به این ترتیب، انتظار می‌رود PEV ها به طور بالقوه مزایای بی‌سابقه‌ای را به شبکه ارائه دهند. با این وجود، V2G می‌تواند یک فناوری امیدوارکننده برای ذخیره سازی انرژی سیار و قابل اتصال به شبکه برای ایجاد یک برنامه شبکه هوشمند در آینده باشد[۲]. اثربخشی سیستم‌های V2G به تعداد PEVهای شرکت‌کننده و میزان خوب داده‌ها، به عنوان مثال، اطلاعات PEVs و ایستگاه‌های شارژ، بین اپراتور V2G و PEVs به منظور بهینه‌سازی عملیات سیستم ردوبدل می‌شود. به همین ترتیب، PEVها می‌توانند برای به حداکثر رساندن عملکرد و به حداقل رساندن هزینه، باتری‌های خود را شارژ یا دشارژ کنند. از آنجایی که در بیشتر طول روز این‌گونه خودروها در پارکینگ هستند، امکان مناسبی برای استفاده از باتری آنها فراهم می‌شود. این سیستم همچنین می‌تواند به‌عنوان منبع ذخیره انرژی کوتاه‌مدت مورد بهره‌برداری شبکه‌های توزیع برق قرار بگیرد [۳]. شبکه‌های توزیع جدید که در آنها بر خلاف شبکه‌های مرسوم، الکتریسیته و اطلاعات دو جهته جریان دارد به‌عنوان شبکه‌های قدرت نسل بعد شناخته می‌شوند، منابع تولیدپراکنده[۳](DG) نقش مهمی در تولید توان موردنیاز شبکه دارند. ازجمله این منابع تولیدکننده توان، می‌توان به سلول‌های خورشیدی، توربین باد و همچنین خودروهای برقی با قابلیت اتصال به شبکه تحت مدیریت شبکه‌های هوشمند، اشاره کرد که خدمات تأمین انرژی و ذخیره را با مرغوبیت بیشتری نسبت به واحدهای مرسوم به سیستم قدرت ارائه می‌دهند [۵]. انگیزه اصلی این مطالعه شارژ و دشارژ برنامه‌ریزی شده EV و برنامه‌های کاربردی V2G را با یک استراتژی بهینه برای بهینه‌سازی میزان شارژ و دشارژ باتری بر اساس سطح شارژ[۴] (SOC) باتری خودروهای الکتریکی و سطح ولتاژ شبکه توزیع جهت بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع مورد

[1] Vehicle to gride
[2] Plug-in electric vehicle
[3] Distributed generation
[4] State Of Charge

بحث قرار می‌دهد.

۲- مروری بر مقالات پیشین

در [۷] به طور انتقادی چالش‌های نگران‌کننده را با اولویت تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی شارژ EV، از جمله پیش‌بینی، زمان‌بندی، و بهینه‌سازی شارژ جمع‌آوری شده، بررسی می‌کند. انگیزه‌های اصلی این مطالعه به طور انتقادی شارژ هماهنگ و مشترک EV و برنامه‌های کاربردی V2G را مورد بحث قرار می‌دهد. پیش‌بینی تقاضا یکی از بزرگترین چالش‌ها در مدیریت شارژ EV است. پیش‌بینی دقیق تقاضا برای شارژ EV می‌تواند عدم قطعیت‌ها را در طول بهینه‌سازی مدیریت تقاضا کاهش دهد. مطالعات بسیار کمی روش‌های پیش‌بینی را برای استراتژی‌های هماهنگ شارژ EV با استفاده از داده‌های میدانی بررسی کرده‌اند. این مطالعه همکاری بین تکنیک‌های پیش‌بینی و شارژ هماهنگ را برجسته می‌کند. در [۸] باتوجه به اینکه وسایل نقلیه الکتریکی می‌توانند از طریق تکنولوژی V2G با تخلیه انرژی باتری در شبکه برق، از شبکه برق پشتیبانی کنند، یک استراتژی بهینه برای بهینه‌سازی میزان شارژ/دشارژ قدرت بر اساس وضعیت شارژ باتری خودروی الکتریکی ارائه می‌دهد. این مطالعه به دنبال یافتن یک نقطه مرکزی است که می‌تواند برای کاربران برق و وسایل نقلیه الکتریکی مفید باشد. این الگوریتم می‌تواند در سه حالت کار کند که عبارتند از پرکردن شارژ، اصلاح اوج بار و شارژ اولویت‌دار. تا زمانی که نیاز به شارژ خودروی برقی باشد در هر سه حالت قابل انجام است. در همین حال، تخلیه وسیله نقلیه الکتریکی فقط در حالت اصلاح اوج بار رخ می‌دهد. برای اطمینان از عملی‌بودن این مطالعه، محدودیت‌های متعددی در نظر گرفته شد و مطالعه در یک منطقه تجاری - مسکونی پرتراکم با ۱۳۰۰ وسایل نقلیه الکتریکی انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم قادر است واریانس بار شبکه را به حداقل برساند و درعین‌حال خودروهای الکتریکی را با درصد پایینی از حالت شارژ، در اولویت قرار دهد. در [۹] مطالعه‌ای برای درک تأثیر کمی تفاوت‌های کلیدی بین سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی وسیله نقلیه به شبکه و ثابت، بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انتشار گازهای گلخانه‌ای و متعادل‌سازی عملکرد ناوگان، از کالیفرنیا به عنوان یک مثال موردی استفاده شده است. برای شبیه‌سازی ترکیبی یک سیستم برق و یک سیستم حمل و نقل سبک، یک مدل دقیق توزیع شبکه الکتریکی (شامل سیستم‌های ذخیره انرژی ثابت) با یک مدل توزیع شارژ خودروی الکتریکی که قابلیت‌های هوشمند معمولی و وسیله نقلیه به شبکه را در بر می‌گیرد، ترکیب شد. باتوجه به هماهنگی بین منابع انرژی تجدیدپذیر وEV ها، یک مدل بهینه‌سازی در [۱۰] ارائه شده است. در مدل بهینه‌سازی، واریانس مینیمم بار معادل در قالب تابع هدف، باتوجه به رفتار درایو خودروهای الکتریکی و محدودیت‌های ظرفیت الکتریکی، توان شارژ و دشارژ EV ها در هر دوره زمانی به‌دست آمده است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از کارایی این مدل هستند. نتایج نشان داد که شارژ و دشارژ EV ها می‌توانند برای کاهش بار معادل و افزایش ظرفیت جذب انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شوند. در [۱۱] یک استراتژی توزیع چندهدفه V2G بر اساس رفتار کاربر پیشنهاد می‌کند. ابتدا، یک مدل رفتار V2G بر اساس بررسی‌های پرسش‌نامه رفتار کاربر ایجاد شد و اثر مؤثر بار EV از طریق شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۵] شبیه‌سازی شد. سپس، همراه با منحنی بار روزانه منطقه‌ای و قیمت‌های برق زمان استفاده در اوج دره بار، باهدف تثبیت نوسانات بار شبکه و افزایش مزایای کاربرانEV ، یک مدل دیسپاچینگ بهینه چندهدفه برای شارژ و دشارژ خوشه‌های EV ایجاد شده است. در نهایت باتوجه‌به نیاز کاربران EV و محدودیت‌های عملیاتی ریزشبکه، از الگوریتم ژنتیک برای به‌دست‌آوردن جواب بهینه پارتو استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که هنگام اعزام با حداکثر سود کاربران، نسبت قله به دره سمت شبکه را می‌توان ۲.۹۹٪ کاهش داد و واریانس را می‌توان تا ۹.۵۲٪ کاهش داد. استراتژی بهینه‌سازی می‌تواند از قیمت‌های اوج و دره زمان استفاده برق برای هدایت شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای الکتریکی در حین برآوردن نیازهای کاربر استفاده کند تا به منفعت چندهدفه بهینه مشارکت V2G در پاسخ به توان دست یابد.

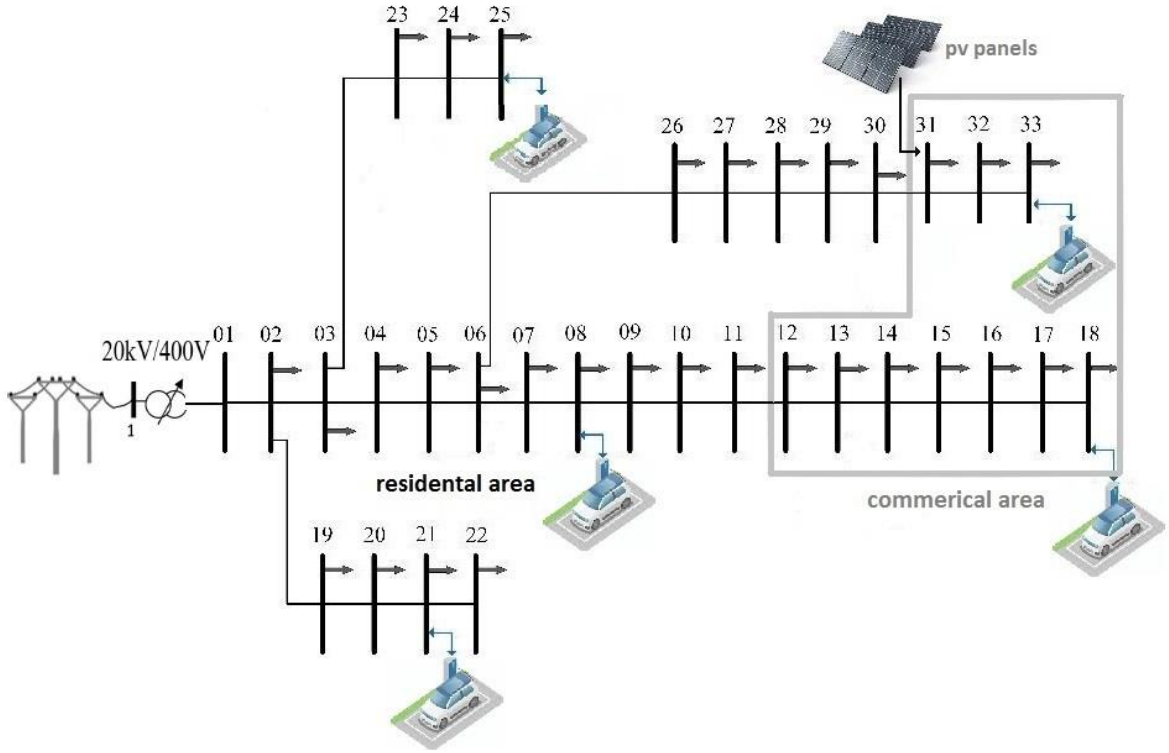
۳- نوآوری‌های تحقیق و بیان مسئله

بسیاری از مطالعات موجود، مسائل کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش تغییرات بار شبکه، مزایای V2G برای شبکه برق و کاربران EV و همچنین اثرات تولید پراکنده در شبکه توزیع را به صورت مجزا ارزیابی و بررسی کرده‌اند.

[1]Monte carlo simulation

هدف این پژوهش بررسی و ارزیابی برنامه‌هایی به‌منظور بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع در حضور خودروهای برقی و ارائه یک برنامه بهینه برای حل مشکل دره منحنی بار خودروهای برقی است. بدین ترتیب میتوان با استفاده از فناوری V2G و تخلیه انرژی الکتریکی از باتری خودروهای برقی که سطح شارژ مناسبی دارند به شبکه برق و با کمک توان تولیدی واحدهای DG نصب شده در سطح شبکه توزیع، با کاهش فاصله منابع تولید تا مصرف کننده‌ها انرژی مورد نیاز مصرف‌کننده‌ها را در نزدیکترین مکان ممکن به آنها تحویل داد و پروفایل ولتاژ در سطح شبکه توزیع را در نقاط بهینه بهبود داد. اگر بتوانیم با برنامه‌ریزی‌هایی بر مبنای مدل‌سازی و طراحی و همچنین به کمک اعمال سیاست‌های تشویقی، توان موردنیاز را در شب از شبکه جذب کنیم، نه‌تنها مشکلی برای شبکه پیش نمی‌آید، بلکه پروفایل ولتاژ شبکه نیز بهبود می‌یابد.

در این مطالعه یک شبکه توزیع برق 20kV/400V شامل بارهای تجاری، مسکونی، خودروهای الکتریکی وتولید PV در نظر گرفته شده است. هدف مطالعه، بهبود پروفایل ولتاژ در شبکه توزیع و بهینه‌سازی نرخ شارژ و دشارژ هرباتری EV با توجه به سطح شارژ باتری آن است. با توجه به اهمیت ثبات حرکت EV در کل روز، منطقه مورد مطالعه به‌عنوان ترکیبی از منطقه تجاری و منطقه مسکونی مجاور مدل‌سازی شده است. شکل (۱) نمودار تک‌خطی شبکه پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمودار تک‌خطی شبکه پیشنهادی

۴- علت انتخاب الگوریتم پیشنهادی

در این مطالعه، استراتژی بهینه‌سازی V2G را پیشنهاد می‌کند. فناوری V2G سرویسی را ارائه می‌دهد که در آن انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری EV به شبکه بازگردانده می‌شود، به این معنی که انرژی در هر دو جهت بین EV و شبکه جریان می‌یابد. بنابراین به عنوان شرکت‌کنندگان در بازار V2G، خودروهای برقی نقشی حیاتی در خدمات جانبی مانند مدولاسیون فرکانس شبکه، تنظیم ولتاژ و کیفیت توان ایفا می‌کنند[۶]. به این ترتیب، با استفاده از الگوریتم PSO انحراف ولتاژ شبکه را به حداقل رسانده و هم‌زمان عملیات شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی متصل به شبکه را تا سطح SOC باتری‌هایشان بهینه می‌نماید.علاوه برمزایای ذکر شده، EV با انرژی تولیدی حاصل از منابع تجدیدپذیر مانند سلول‌های فتوولتاییک PV ادغام شده و مزایای متنوعی از جمله کاهش تقاضای اوج بار، به حداکثر رساندن ظرفیت انرژی تجدیدپذیر و جذب انرژی مازاد حاصل از منابع تجدیدپذیر را به همراه داشته باشد.

۴-۱- معرفی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

در الگوریتمPSO ، هر ذره در فضای جستجو با یک مکان و یک سرعت مشخص حرکت می‌کند. مکان هر ذره نشان دهنده موقعیت فعلی آن در فضای جستجو است و سرعت آن نشان دهنده نحوه حرکت و تغییر موقعیت آن است. برای تعیین سرعت و مکان ذرات در الگوریتمPSO ، از دو مفهوم اصلی به نام‌های بهترین موقعیت شخصی و بهترین موقعیت گروه استفاده می‌شود. بهترین موقعیت شخصی برای هر ذره، بهترین موقعیتی است که آن ذره تا کنون دیده است و به آن دست یافته است. بهترین موقعیت گروه نیز بهترین موقعیتی است که هر ذره در گروه تاکنون دیده است.

در هر مرحله از الگوریتم PSO، سرعت و مکان هر ذره براساس فرمول‌های (۱) و (۲) تغییر می‌کند. برای تغییر سرعت و مکان ذرات، از دو عامل به نام‌های عامل حافظه و عامل جستجو استفاده می‌شود. عامل حافظه با تاثیر بهترین موقعیت شخصی ذره و عامل جستجو با تاثیر بهترین موقعیت گروه، تغییرات لازم را در سرعت و مکان ذرات اعمال می‌کند. با تغییر سرعت و مکان ذرات در هر مرحله، ذرات به سمت بهینه‌سازی ادامه حرکت می‌دهند تا به نقطه بهینه‌ای در فضای جستجو برسند. این روش حرکت ذرات و تعیین سرعت و مکان آن‌ها، با توجه به رفتار گروهی و هماهنگی بین ذرات، بهبود عملکرد الگوریتم PSO را فراهم می‌کند[۷].

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + C_1 \times \text{rand}\left(X_i^{best} - X_i(t)\right) + C_2 \times \text{rand}\left(X^{gbest} - X_i(t)\right) \quad (۱)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + v_1 \times (t+1) \quad (۲)$$

خودروهای قابل اتصال به شبکه می‌توانند به‌عنوان واحدهای متحرک تولید توان، به منظور افزایش امنیت و قابلیت‌اطمینان شبکه‌های برق استفاده شوند. در سال‌های اخیر، تکنولوژی اتصال خودرو به شبکه توجه زیادی را به خود جلب کرده است و موفقیت آن به زمان‌بندی و مدیریت هوشمند استقرار خودروهای الکتریکی در پارکینگ‌های تعیین شده وابسته می‌باشد. اتصال خودورهای الکتریکی به شبکه می‌تواند وابستگی و نیاز شبکه به واحدهای تولید توان کوچک و بسیار گران را کاهش دهد، که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌های عملکردی، افزایش ذخایر برق، افزایش قابلیت‌اطمینان شبکه و کاهش تلفات می‌شود. بهینه‌سازی اجتماع ذرات PSO ، به منظور تعادل بین کاهش هزینه و انتشار آلاینده‌ها برای شبکه دارای خودرو استفاده می‌شود. PSO با اطمینان و دقت زیاد، این مسیله پیچیده بهینه‌سازی را حل می‌کند [۱۲].

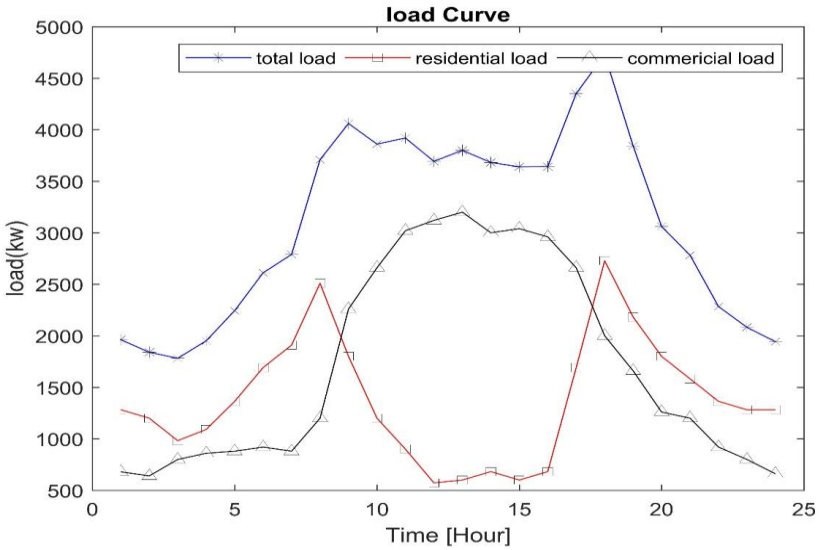
۴-۲- تنظیم سناریو

در این سناریو منطقه تجاری شامل ۱۰ مجتمع تجاری اداری با حداکثر تقاضای ۲۴۰ کیلووات برای هر مجتمع و مساحت زیربنای هر مجتمع ۱۰۰۰ مترمربع با ظرفیت پارکینگ ۸۰ خودرو است. در همین حال، منطقه مسکونی شامل ۴۵۰ واحد خانه و آپارتمان با حداکثر تقاضای ۶/۲ کیلووات برای هر واحد است. برخی از مفروضات اضافی نیز در این مطالعه برای هموارسازی اجرای فناوری V2G در منطقه پیشنهادی ارائه شد. مفروضات به شرح زیر است:

- سه مدل باتری با ظرفیت‌های ۲۵ ، ۴۰ و ۶۰kW (توزیع یکنواخت)
- سطح SOC اولیه باتری EV به طور تصادفی از ۲۹ درصد تا ۱۰۰ درصد تنظیم شد.
- شارژر V2G سطح ۱ با توان ۳.۶kW و راندمان ۸۵ درصد برای بارهای خانگی.
- شارژر V2G سطح ۲ با توان ۷kW و راندمان ۸۵ درصد برای بارهای تجاری.
- تأمین شبکه در طول روز بدون وقفه در دسترس است.
- میزان تحرک EV تعداد ۳۱۰ خودرو تعیین شد که مناطق پیشنهادی و مجاور را در بر می‌گیرد.

همان‌طور که در نمودار شکل (۲) مشاهده می‌شود ، پروفایل کل بار که مجموع بارهای مسکونی و تجاری است با خط آبی نشان‌داده‌شده است. تفاوت اصلی بین منحنی‌های مسکونی و تجاری وجود دو قله قابل توجه در منحنی بار مسکونی است: یکی پیک صبح (بین ساعت ۰۷:۰۰ تا ۰۹:۰۰) و دیگری پیک عصر (بین ساعت ۱۷:۰۰ تا ۱۹:۰۰). وقوع این پیک‌ها به ویژه در منحنی بار مسکونی نشان می‌دهد که افراد قبل از رفتن به محل کار و پس از بازگشت به خانه از برق بیشتری استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، منحنی بار تجاری، پیک اوج بار نسبتا ثابت را در طول روز (بین ساعت ۱۰:۰۰ و ۱۷:۰۰) به دلیل فعالیت

اکثر واحدهای تجاری نشان می‌دهد.



شکل (۲): نمودار تقاضای بار روزانه شبکه

۴-۳- تابع هدف

هدف این مطالعه، بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع با کاهش انحراف ولتاژ حین بهینه‌سازی قدرت شارژ و دشارژ EV متصل به شبکه باتوجه‌به SOC باتری آنهاست. تابع هدف به دو بخش بهینه‌سازی بیرونی و درونی تقسیم می‌شود. هدف از بهینه‌سازی بیرونی، کاهش انحراف ولتاژ و بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع با استفاده از EV های متصل به شبکه و قابل توضیح توسط معادله (۳) است. الگوریتم بهینه‌سازی داخلی نیز نرخ شارژ/ دشارژ EV ها را با توجه به سطح SOC باتری آنها بهینه می‌نماید. معادلات (۴) تا (۷) برای بیان این عملکرد استفاده می‌شود.

ابتدا، الگوریتم ولتاژ کنونی شبکه را از طریق مقایسه با مقادیر هدف از پیش تعیین‌شده مشخص می‌کند. سپس براساس این مقایسه، الگوریتم وارد یکی از این سه حالت (پرکردن دره ، اصلاح پیک یا شارژ اولویت) می‌شود.

حالت پرکردن دره زمانی است که ولتاژ شبکه بیشتر از مقدار هدف با شارژ EV متصل به شبکه باشد و فقط خودروهای برقی متصل به شبکه با SOC کمتر از ۸۰ درصد مجاز به شارژ خواهند بود.

درحالت شارژ اولویتی، ولتاژ شبکه بین "حداقل و حداکثر مقدار هدف" قرار دارد و فقط خودروهای برقی متصل به شبکه با SOC کمتر از ۵۰ درصد مجاز به شارژ خواهند بود و خودروهای با SOC بیشتر از ۷۰ درصد مجاز به دشارژ خواهند بود.

علاوه بر این، حالت اصلاح پیک زمانی رخ می‌دهد که ولتاژ شبکه کمتر از مقدار هدف بوده و همزمان EV های متصل به شبکه برای پشتیبانی از شبکه ، تخلیه انرژی انجام می‌دهند. در این حالت ، به دلیل تمرکز الگوریتم بر اولویت خودروهای برقی با سطح SOC پایین تر، EV های متصل به شبکه با SOC بیش از ۵۰ درصد تخلیه شده و EV متصل به شبکه با SOC کمتر از ۵۰ درصد شارژ می‌گردد. دلیل آن این است که الگوریتم از مفهوم مبتنی بر اولویت استفاده می‌کند که بیشتر بر خودروهای برقی با سطح SOC پایین تمرکز دارد.

تابع هدف نهایی در این مطالعه کاهش انحراف ولتاژ روزانه شبکه که به بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه توزیع مورد مطالعه می‌انجامد از طریق نرم افزارمتلب شبیه‌سازی شده است.

$$Voltage_deviation(t) = \sum_{v=1}^{I} \left||v| - 1\right| \qquad (۳)$$

معادلات (۴) و (۵) برای بیان عملکرد تناسب بیرونی استفاده می‌شود و معادلات (۶) - (۹) برای بیان عملکرد تناسب درونی استفاده می‌شود.

$$min\Delta P(t) = \sum_{t=1}^{H}[P_{target}(t) - P_{load}(t) - P_{loss}(t) - P_{EV}(t)] \quad (۴)$$

$$P_{target}(t)=\begin{cases} P_{targetmin}\ (t)\ , \text{for valley mode} \\ P_{targetmax}(t)\ , \text{for peak load shaving and priority charging} \end{cases} \quad (۵)$$

$$P_{EV}(t) = \sum_{i=1}^{I} C(i) * P_{EV}(i) \quad (۶)$$

$$P_{EV}(i)=\begin{cases} P_{EV\ charging}\ (i)\ , \text{for all mode} \\ P_{EV\ discharging}\ (i)\ , \text{for peak load shaving and priority charging} \end{cases} \quad (۷)$$

$$P_{EV_{Charging}}(i)=Chargem*SOC_{EV}(i)+Chargec \quad (۸)$$

$$P_{EV_{Discharging}}(i)=Dischargem*SOC_{EV}(i)+Dischargec \quad (۹)$$

که در آن min ΔP بار شبکه برق بهینه شده است. P targetmin حداقل بار هدف برای حالت پرکردن شارژ. P EV کل توان شارژ/ دشارژ EV، C وضعیت اتصال، P EV charging توان شارژ EV، P targetmax حداکثر بار هدف برای حالت اصلاح پیک و حالت شارژ اولویت، P EV discharging توان تخلیه EV، i عدد شاخص، P Charge قدرت شارژ EV، Chargem شیب معادله، SOCEV وضعیت شارژ EV، Chargec نقطه‌ی تلاقی محور y معادله ، PDischarge قدرت تخلیه EV، Dischargem شیب معادله، Dischargec نقطه‌ی تلاقی محور y این معادله است.

محدودیت‌ها درالگوریتم بهینه‌سازی V2G پیشنهادی شامل دو دسته محدودیت‌های شبکه برق و محدودیت‌های مربوط به EV است. دسته اول با هماهنگ کردن تعادل عرضه و تقاضا از پایداری شبکه محافظت می‌نماید به نحوی‌که توان تولیدی نیروگاه‌ها و توان الکتریکی تخلیه شده EVها در سمت عرضه و سمت تقاضا شامل بار شبکه و توان تخلیه شده EVها است. محدودیت‌های شبکه برق را می‌توان به دو حالت تقسیم کرد که با معادلات زیر بیان می‌شوند.

• پرکردن شارژ و حالت‌های اولویت شارژ

$$P_{grid}(t) + P_{pv}(t) = P_{load}(t) + P_{EVCharging}(t) + P_{loss}(t) \quad (۱۰)$$

• حالت اصلاح پیک

$$P_{grid}(t) + P_{EVDischarging}(t) + P_{pv}(t) = P_{load}(t) + P_{loss}(t) + P_{EVCharging}(t) \quad (۱۱)$$

که در آن P grid منبع تغذیه از شبکه، P load بار شبکه Ploss تلفات کل شبکه است. دسته دوم محدودیت‌ها مربوط به EV است که به جنبه‌هایی مانند نرخ تبادل برق، وضعیت وصل EV و SOC باتری دسته‌بندی می‌گردند. این محدودیت‌ها توسط معادلات به شرح ذیل توصیف شده‌اند.

• نرخ تبادل توان EV برای عملیات شارژ در واحدهای تجاری به میزان ۷ کیلو وات و برای تخلیه توان به میزان ۷- کیلووات محدود شده است.

$$0\ \text{kW} \le P_{EVcharging} \le 7\ \text{kW} \quad (۱۲)$$

$0\ kW \geq P_{EVDischarging} \geq -7\ kW$ (۱۳)

• نرخ تبادل توان EV برای عملیات شارژ در واحدهای مسکونی به میزان ۳.۶ کیلو وات و برای تخلیه توان به میزان -۳.۶ کیلووات محدود شده است.

$0\ kW \leq P_{EVDischarging} \leq 3.6\ kW$ (۱۴)

$0\ kW \geq P_{EVDischarging} \geq -3.6\ kW$ (۱۵)

• وضعیت اتصال EV: برای اهداف کاربردی انعطاف‌پذیر می‌توان EV را در هرزمان معین به شبکه متصل و یا از آن جدا کرد.

$C = 1$, EV is connected to the grid (۱۶)

$C = 0$, EV is not connected to the grid (۱۷)

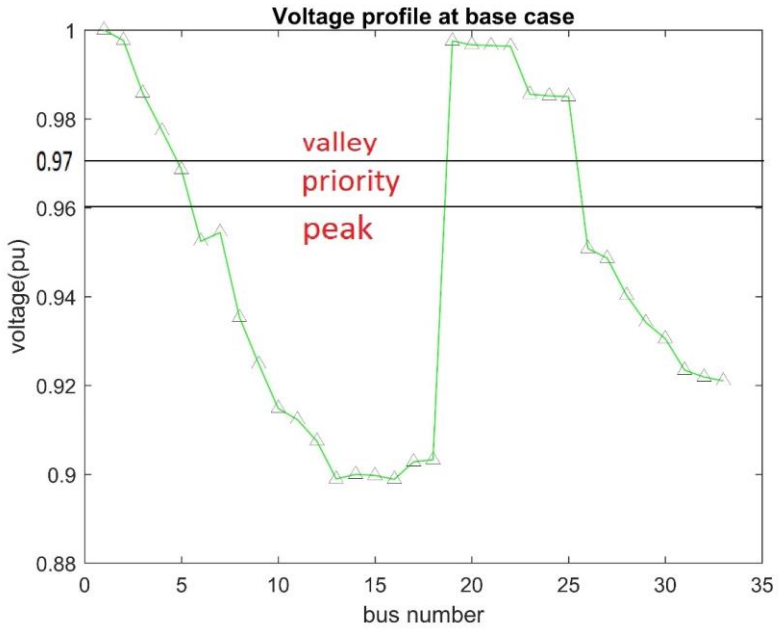
• SOC باتری EV: برای اطمینان از وجود انرژی کافی در باتری، جهت تأمین نیروی محرکه خودرو و حفظ سلامت باتری ، می‌بایست SOC باتری EV در محدوده معین ، نگهداری و کنترل شود . در این مطالعه حداکثر مقدار SOC ۱۰۰ درصد و حداقل آن ۳۰ درصد تعیین می‌شود. هنگامی که SOC باتری EV کمتر از حداکثر مقدار از پیش تعیین شده باشد، EV مجاز است از شبکه شارژ دریافت نموده و درصورتیکه SOC باتری EV بالاتر ازحداقل مقدار از پیش تعیین شده باشد EV مجاز است انرژی باتری خود را به شبکه برق تخلیه و تحویل نماید.

با این حال، اگر SOC باتری EV در محدوده ۵۰ درصد تا ۸۰ درصد قرار گیرد، EV مجاز است بسته به مود الگوریتم و بنابر روند سناریو، فرآیند شارژ یا دشارژ را انجام دهد.

$SOCEV < 50\%$, Charging (۱۸)

$50\% \leq SOCEV \leq 70\%$, Charging and Discharging (۱۹)

$SOCEV > 70\%$, Discharging (۲۰)



شکل (۳): نمودار پروفایل ولتاژ و سناریو انتخابی الگوریتم پیشنهادی

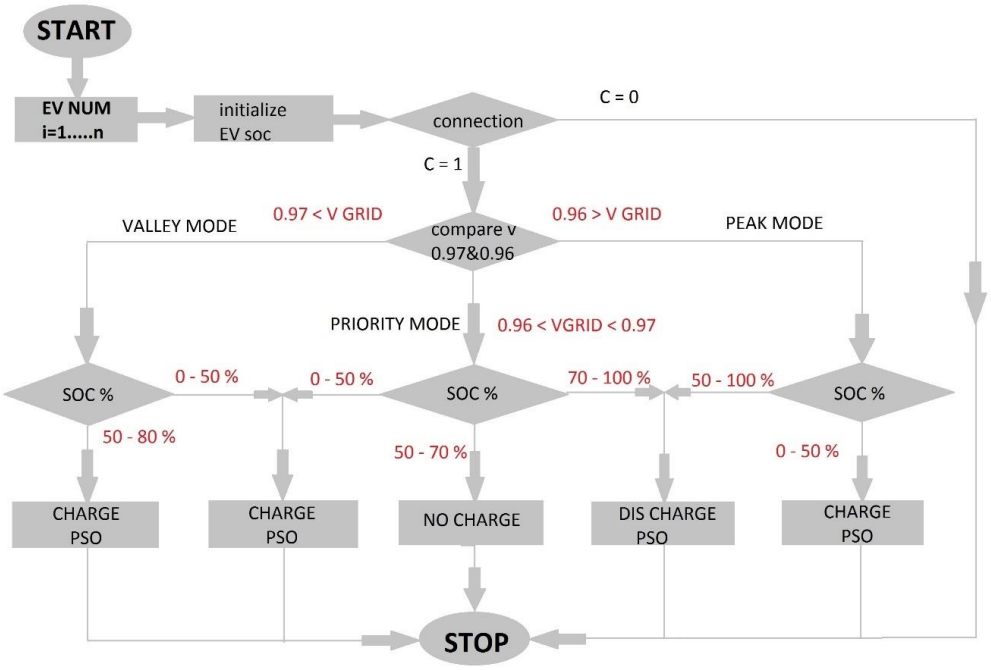
۴-۴- تکنیک و مفهوم الگوریتم بهینه‌سازی V2G

شکل (۳) نمودار پروفایل ولتاژ شبکه پیشنهادی و سناریو انتخابی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر ولتاژ شبکه پیشنهادی دارای انحراف ولتاژ نسبتا زیادی دارند، بر این اساس دو مقدار حداکثر و حداقل (۰.۹۷pu و۰.۹۶pu) که در شکل با

دو خط افقی مشخص شده است، مرجع انتخاب حالت V2G در نظر گرفته می‌شود. در اینجا الگوریتم پیشنهادی ابتدا ولتاژ شبکه را با اهداف تعیین شده مقایسه می‌کند و سپس یکی از ۳حالت پرکردن شارژ، اصلاح پیک‌بار، یا شارژ اولویت را انتخاب می‌کند. در مرحله بعد الگوریتم پیشنهادی میزان شارژ و دشارژ EVها را براساس بهینه‌ساز PSO مشخص می‌کند.

۵- فلوچارت بهینه‌سازی

شکل (۴) نمودار جریان کلی الگوریتم بهینه‌سازی V2G را نشان می‌دهد. متغیرهایی مانند SOC باتری EV و وضعیت اتصال EV در مرحله ابتدایی الگوریتم، مقداردهی اولیه می‌شوند. پس از این مرحله، الگوریتم وارد یکی از سه حالت یعنی پرکردن شارژ، اصلاح پیک‌بار یا اولویت شارژ می‌شود. در اینجا، الگوریتم ولتاژ شبکه را با مقادیر هدف (حداقل و حداکثر) مقایسه می‌کند. به‌عنوان‌مثال، اگر ولتاژ شبکه بیشتراز ۰.۹۷واحد باشد، در حالت پرکردن دره کار خواهد کرد. از طرف دیگر، اگر ولتاژ شبکه برق کمتر از ۰.۹۶ واحد باشد، الگوریتم انتخاب می‌کند که در حالت اصلاح پیک کار کند. اگر ولتاژ شبکه بین دو مقدار هدف حداکثر و حداقل قرار گیرد، الگوریتم در حالت شارژ اولویت عمل می‌کند؛ بنابراین، حلقه تکرار زمان و حلقه تکرار وسیله نقلیه برای اطمینان از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی به مدت ۲۴ ساعت و وضعیت هر EV تا رسیدن به معیارهای توقف هر ساعت به‌روزرسانی می‌شود.

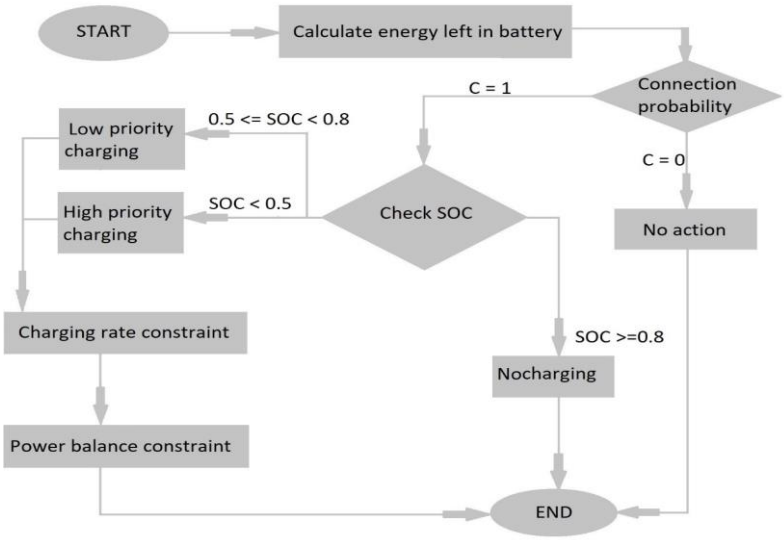


شکل (۴): فلوچارت روش پیشنهادی

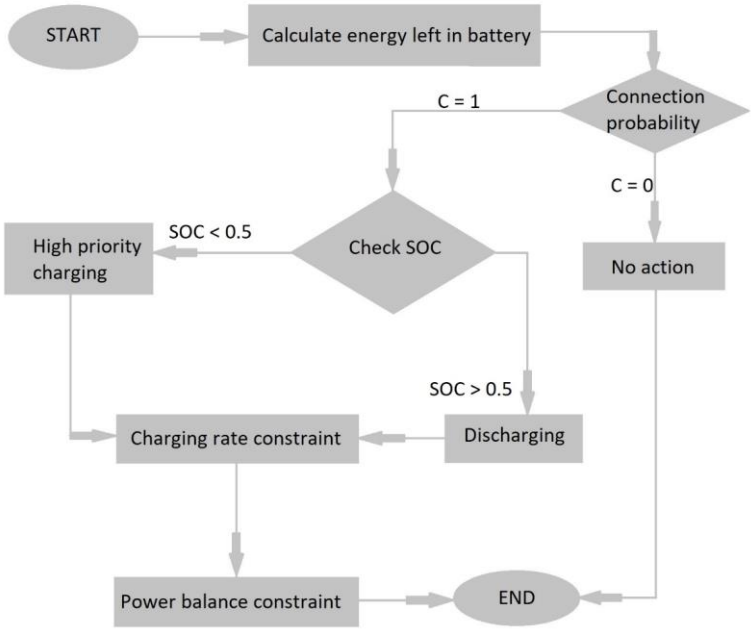
۵-۱- مراحل فلوچارت بهینه‌سازی

مراحل کار فلوچارت به این صورت است که بعد از مقایسه ولتاژ شبکه برق با مقادیر هدف (حداقل و حداکثر) و انتخاب یکی از ۳ حالت (پرکردن شارژ، اصلاح پیک، و اولویت شارژ)، در حالت اول EV متصل شده را می‌توان به شارژ با اولویت پایین و شارژ با اولویت بالا دسته‌بندی کرد. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌کنیم EV با دامنه SOC از ۵۰ درصد تا ۸۰ درصد به‌عنوان نوع کم اولویت در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، قدرت شارژ کمتری دریافت می‌کند. در ضمن اگر SOC باتری زیر۵۰ درصد باشد، EV به‌عنوان اولویت بالا در نظر گرفته می‌شود. ازاین‌رو، این EV قدرت شارژ بالاتری را بر اساس محاسبه بهینه‌ساز PSO از شبکه برق برای شارژ دریافت می‌کند.

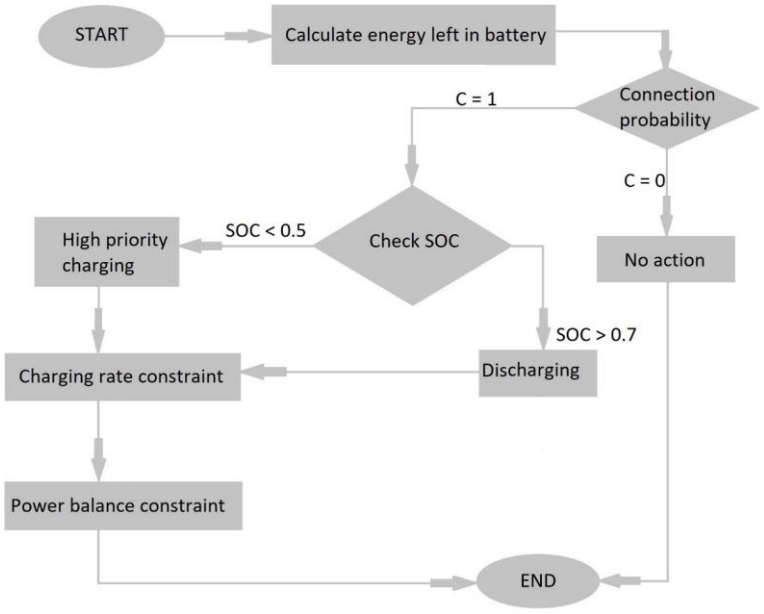
اکثر مراحل کاری برای حالت‌های اصلاح پیک و شارژ اولویتی مشابه حالت پرکردن شارژ است. تفاوت اصلی قابل مشاهده در معیارهای انتخاب است که در آن EV متصل شارژ یا انرژی خود را تخلیه می‌کند. در طول حالت اصلاح پیک، EV متصل هر دو عملیات شارژ و تخلیه باتری خودرو را انجام می‌دهد. انتخاب به سطح SOC باتری EV متصل شده بستگی دارد. در شکل (۶) مشاهده می‌کنیم که سطح SOC باتری EV بالاتر از ۵۰ درصد باعث می‌شود EV انرژی باتری خود را به شبکه برق تخلیه کند. در همین حال، اگر سطح SOC باتری EV کمتر از ۵۰ درصد باشد (شارژ با اولویت بالا) را توسط بهینه ساز PSO، از شبکه برق دریافت می‌کند. به طور مشابه، نیز در حالت شارژ اولویت استفاده می‌شود، در شکل (۷) مشاهده می‌کنیم که درصورتی‌که سطح SOC باتری EV کمتر از ۵۰ درصد باشد، EV متصل به شبکه، نیروی شارژ را از شبکه برق دریافت می‌کند و سطح SOC باتری EV بالاتر از ۷۰ درصد باعث می‌شود EV انرژی باتری خود را به شبکه برق تخلیه کند.



شکل (۵): فلوچارت سناریوی پیشنهادی در valley mode



شکل(۶): فلوچارت سناریوی پیشنهادی درpeak mode



شکل(۷): فلوچارت سناریوی پیشنهادی در priority mode

۶- نتایج شبیه‌سازی

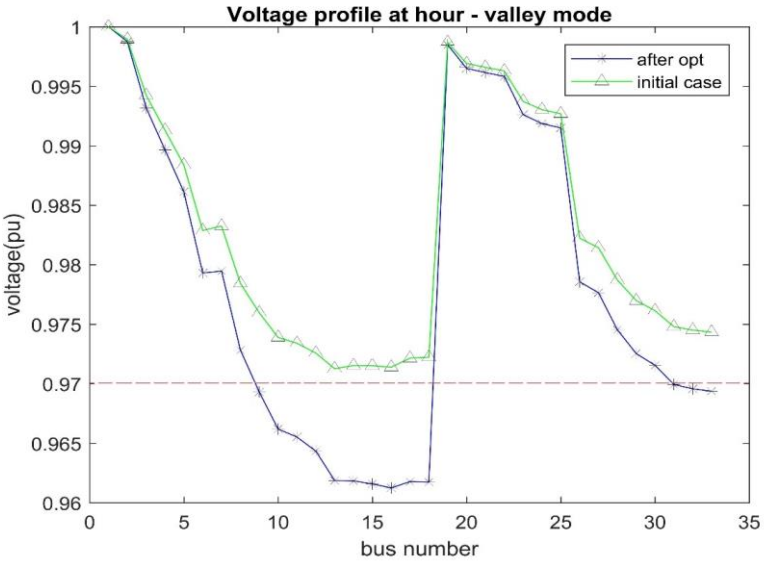
این بخش در مورد اثربخشی الگوریتم بهینه‌سازی V2G مبتنی بر PSO برای بهبود پروفایل ولتاژ در شبکه توزیع و همچنین در مورد بهینه‌سازی نرخ شارژ/دشارژ هر باتری EV بحث می‌کند.

شکل (۸) تا (۱۰) نمودار تغییرات پروفایل ولتاژ پس از اجرای الگوریتم V2G پیشنهادی در سه حالت برنامه‌ریزی شده در ساعاتی از شبانه‌روز نشان می‌دهد. سطح ولتاژ شبکه طبق الگوریتم پیشنهادی در صورتی که بیشتر از ۰.۹۷پریونیت باشد سناریوی برنامه‌ریزی شده وارد حالت پر کردن دره می‌شود و در صورتی که کمتر از ۰.۹۶پریونیت باشد سناریوی برنامه‌ریزی شده وارد حالت پیک می‌شود و در صورتی که پروفایل ولتاژ شبکه بین ۰.۹۷ و ۰.۹۶ قرار گیرد در حالت شارژ اولویت قرار می‌گیرد.

۶-۱- سناریو اول در حالت VALLEY

در سناریو اول طبق فلوچارت در حالت VALLEY خودروهای متصل شده به شبکه بعد از محاسبه شارژ باقیمانده باتری در صورتی که دارای سطح شارژ کمتر از ۸۰ درصد باشند جهت شارژ انتخاب می‌شوند و خودروهای با سطح شارژ ۸۰ درصد و بالاتر اجازه شارژ نخواهند داشت. همانطور که در شکل (۸) نمودار مقایسه‌ای پروفایل ولتاژ در حالت برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی شبکه ۳۳ باس پیشنهادی مشاهده می‌شود، خط سبز نمایانگر پروفایل ولتاژ اصلی شبکه برق و خط آبی نمایانگر پروفایل ولتاژ بهینه‌سازی شده توسط الگوریتم پیشنهادی است.

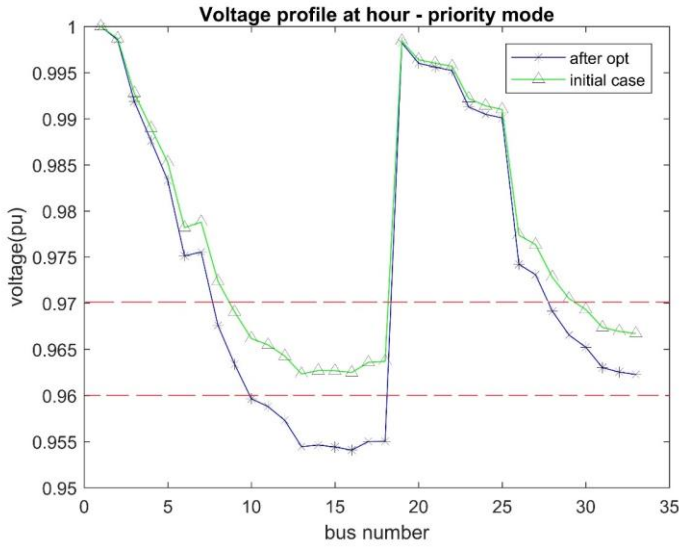
در شکل (۸) سطح ولتاژ بالاتر از ۰.۹۷ p.u می‌باشد و حالت انتخابی سناریو برنامه‌ریزی شده در مد valley قرار گرفته و انجام شارژ براساس سطح شارژ خودروهای انتخابی با سطح شارژ کمتر از ۸۰ درصد انجام می‌گیرد. بعد از اینکه سناریو برنامه‌ریزی شده به کمک بهینه‌ساز PSO شبیه‌سازی شد پروفایل ولتاژ به‌روز شده و در ساعت بعد مجددا با مقدار هدف ما مقایسه می‌شود و مجددا در چرخه انتخاب یکی از سناریوهای پرکردن دره و پیک و شارژ اولویت قرار می‌گیرد تا به مقدار بهینه برنامه‌ریزی شده دست یابیم.



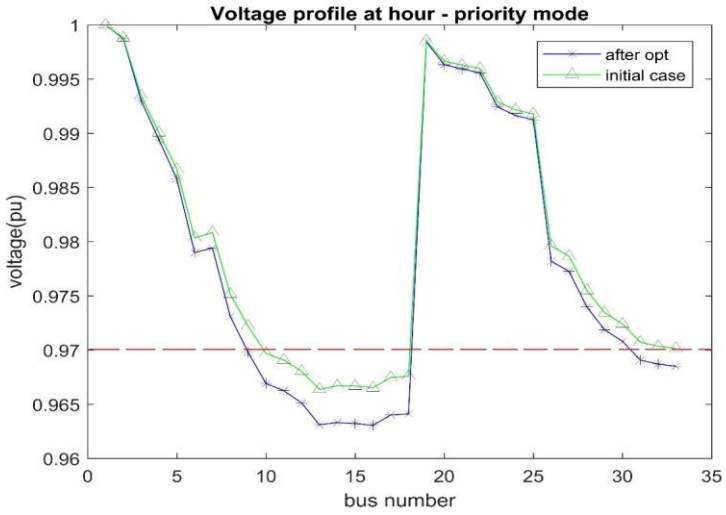
شکل (۸): نمودار مقایسه پروفایل ولتاژ درحالت valley برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی

۶-۲- سناریو دوم در حالت PRIORITY

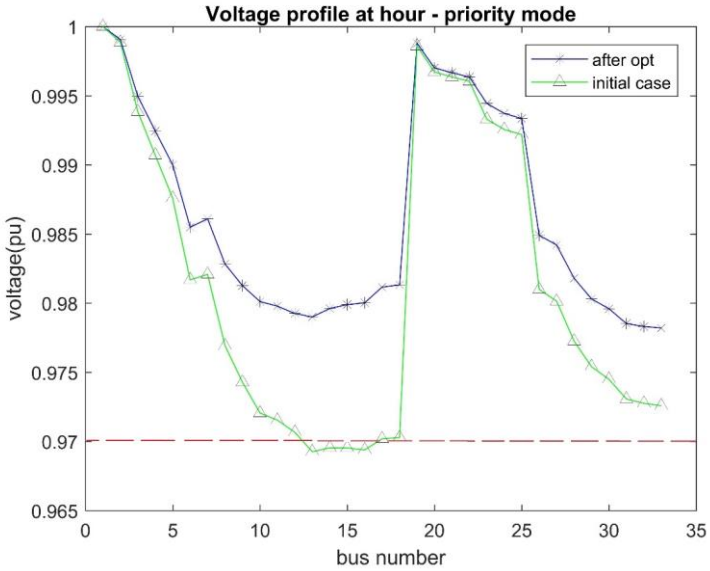
در سناریو دوم طبق فلوچارت در حالت PRIORITY خودروهای متصل شده به شبکه بعد از محاسبه شارژ باقیمانده باتری در صورتی که دارای سطح شارژ کمتر از ۵۰ درصد باشند جهت شارژ انتخاب می‌شوند و خودروهای با سطح شارژ بالاتر از۷۰ درصد جهت دشارژ انتخاب می‌شوند. همانطور که در شکل(۹) نمودار مقایسه تغییرات پروفایل ولتاژ در حالت برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی (الف) – (ج) شبکه ۳۳ باس پیشنهادی را در سه ساعت مشاهده می‌کنیم سطح ولتاژ پایین‌تر از ۰.۹۷ p.u و بالاتر از ۰.۹۶ p.u می‌باشد و حالت انتخابی سناریو برنامه‌ریزی شده در مد priority قرار گرفته و اولویت شارژ و دشارژ براساس سطح شارژ خودروهای انتخاب شده در صورتی که سطح شارژ کمتر از ۵۰درصد باشد جهت اولویت شارژ و سپس خودروهای با سطح شارژ بیشتر از ۷۰ درصد عملیات دشارژ انجام می‌گیرد. مجددا بعد از اینکه سناریو برنامه‌ریزی شده به کمک بهینه‌ساز PSO شبیه‌سازی شد پروفایل ولتاژ به‌روز شده و در ساعت بعد مجددا با مقدار هدف ما مقایسه می‌شود و مجددا در چرخه انتخاب یکی از سناریوهای پرکردن دره و پیک و شارژ اولویت قرار می‌گیرد تا سطح ولتاژ افزایش یافته و به مقدار بهینه برنامه‌ریزی شده دست یابیم.



(الف)



(ب)

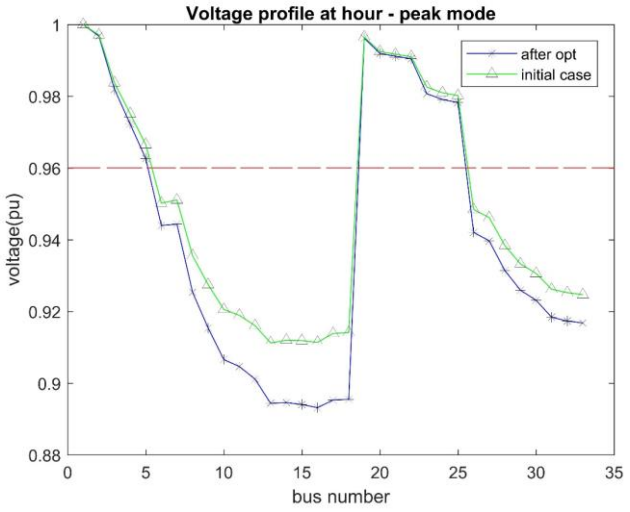


(ج)

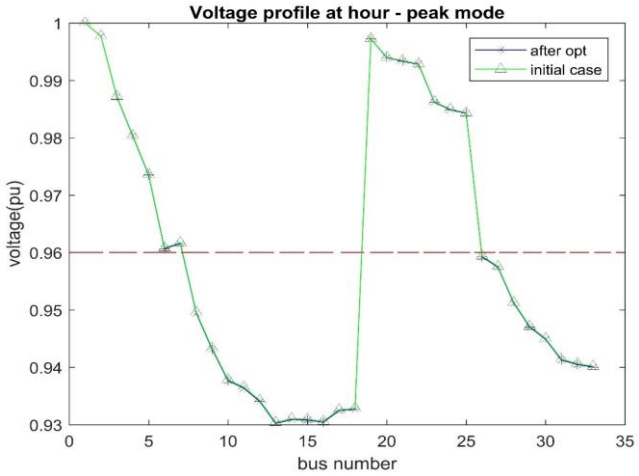
شکل (۹): نمودار مقایسه پروفایل ولتاژ درحالت priority برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی، الف) زمان اول ب) زمان دوم ج) زمان سوم

۶-۳- سناریو سوم در حالت PEAK

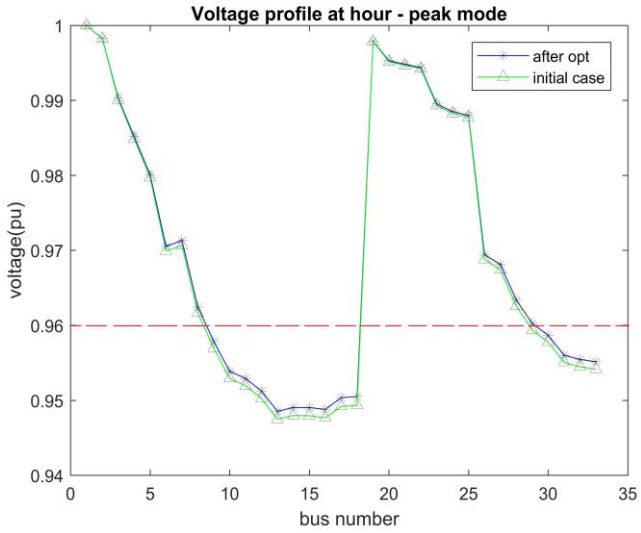
در سناریو سوم طبق فلوچارت در حالت PEAK خودروهای متصل شده به شبکه بعد از محاسبه شارژ باقیمانده باتری در صورتی که دارای سطح شارژ کمتر از ۵۰ درصد باشند جهت شارژ انتخاب می‌شوند و خودروهای با سطح شارژ بالاتر از۵۰ درصد جهت دشارژ انتخاب می‌شوند. همانطور که در شکل(۱۰) نمودار مقایسه تغییرات پروفایل ولتاژ در حالت برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی (الف) – (ج) شبکه ۳۳ باس پیشنهادی را در سه ساعت مشاهده می‌کنیم سطح ولتاژ پایین‌تر از ۰.۹۶ p.u می‌باشد و حالت انتخابی سناریو برنامه‌ریزی شده در مد peak قرار گرفته و اولویت شارژ و دشارژ براساس سطح شارژ خودروهای انتخاب شده در صورتی که سطح شارژ کمتر از ۵۰درصد باشد جهت شارژ و بیشتر از ۵۰درصد جهت دشارژ انتخاب می‌شوند تا سطح ولتاژ شبکه افزایش یابد انجام می‌گیرد.



(الف)



(ب)



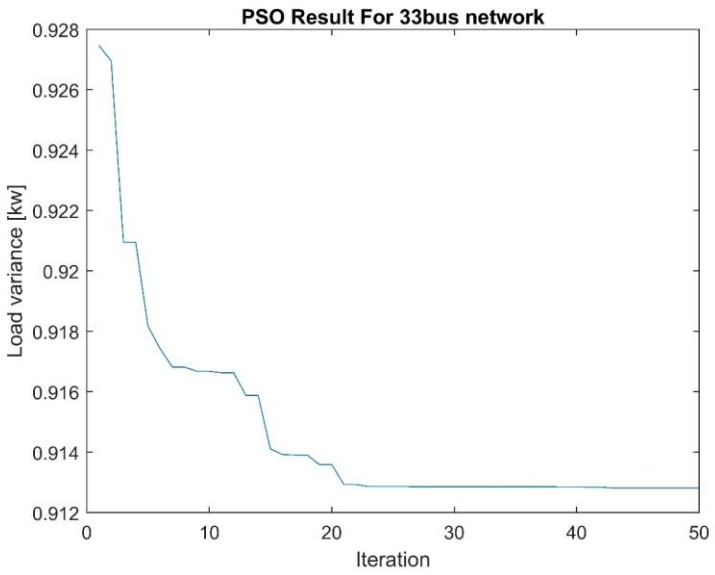
(ج)

شکل (۱۰): نمودار مقایسه پروفایل ولتاژ درحالت peak برنامه‌ریزی شده و قبل از برنامه‌ریزی الف) زمان اول ب) زمان دوم ج) زمان سوم

مجددا بعد از اینکه سناریو برنامه‌ریزی شده به کمک بهینه‌ساز PSO شبیه‌سازی شد پروفایل ولتاژ به‌روز شده و در ساعت بعد مجددا با مقدار هدف ما مقایسه می‌شود و مجددا در چرخه انتخاب یکی از سناریوهای پرکردن دره و پیک و شارژ اولویت قرار می‌گیرد تا سطح ولتاژ افزایش یافته و به مقدار بهینه برنامه‌ریزی شده دست یابیم.

الگوریتم بهینه‌سازی در سه حالت مختلف (پرکردن شارژ، اصلاح پیک بار و شارژ اولویت) انجام شده و با استفاده از ظرفیت EVهای متصل به شبکه براساس میزان شارژ/دشارژ برنامه‌ریزی شده توسط بهینه‌ساز PSO، تفاوت بین پروفایل ولتاژ اصلی شبکه و پروفایل ولتاژ بعد از اتصال خودروها به شبکه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنیم سطح ولتاژ در حالت پیک بار به ۰.۹ رسیده که با تخلیه انرژی باتری EV های متصل به شبکه برق طبق سناریو عملاً به ۰.۹۵ افزایش یافت. از نظر بهبود عملکرد، الگوریتم توسعه‌یافته V2G توانست با تزریق توان خودروهای برقی به شبکه در زمان پایین بودن سطح ولتاژ شبکه و همچنین با دریافت توان از شبکه جهت شارژ خودروهای برقی در زمان بالابودن سطح ولتاژ از مقدار هدف، در نهایت با کاهش انحراف ولتاژ شبکه پروفایل ولتاژ را در سطح قابل قبولی نسبت به پروفایل ولتاژ اصلی تغییر دهد و به سطح ولتاژ بهینه برنامه‌ریزی شده رسید.

در ادامه شکل (۱۱) بهبود نتایج روش پیشنهادی براساس همگرایی داده‌های اولیه تصادفی توسط بهینه‌ساز PSO در ۵۰ مرحله تکرار را نشان می‌دهد.



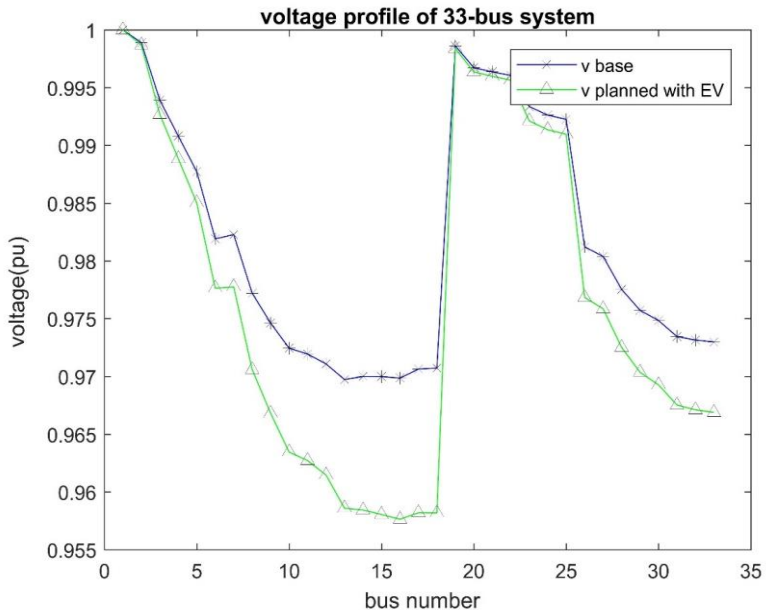
شکل (۱۱): نمودار همگرایی الگوریتم PSO در ۵۰ تکرار

همانطور که در شکل (۱۱) نشان داده شده، با افزایش تعداد دفعات تکرار به تعداد ۵۰ مرحله، در نهایت خروجی الگوریتم بعد از ۵۰ تکرار همگرا شده، در نهایت پروفایل ولتاژ شبکه توزیع بهبود یافته و پاسخ بهینه می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مساله کنترل ولتاژ و توان در سیستم توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و تکنولوژی V2G خودروهای برقی مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به رشد فعلی خودروهای الکتریکی که منجر به نفوذ گسترده به شبکه‌های برق در آینده نزدیک می‌شود، مصرف انرژی تکمیلی خودروهای برقی بارهای زیادی را بر شبکه‌های برق اضافه می‌کند. این بارهای اضافی اثرات نامطلوب متعددی بر شبکه‌های توزیع موجود دارند. درمقابل، استفاده گسترده از خودروهای الکتریکی با فناوری‌های هوشمند تأثیرات مطلوبی بر محیط زیست و اقتصاد دارد. مطالعه حاضر یک الگوریتم بهینه‌سازی به‌منظور بهبود پروفایل ولتاژ

شبکه توزیع با مشارکت تکنولوژی V2G به همراه برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ هر EV براساس SOC باتری آن و به کمک الگوریتم PSO که درنهایت به بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع می‌انجامد. در این مطالعه، ابتدا مقادیر پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی متلب و مقادیر در نظرگرفته شده در تابع هدف بیان شد. سپس نتایج به‌دست آمده در سه سناریوی برنامه ریزی شده مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. در هر سه سناریو مقادیر سطح ولتاژ شبکه و مقدار هدف بررسی و با توجه به شکل‌ها و نتایج به‌دست آمده پروفایل ولتاژ به مقدار مطلوب نزدیک شد. درنهایت الگوریتم بهینه‌سازی V2G پیشنهادی توانست باتری خودروهای برقی را با توجه به سطوح مختلف SOC ضمن تأمین قدرت شارژ متناسب با آن اولویت‌بندی کند. به این صورت که هرچه درصد SOC باتری EV کمتر باشد، قدرت شارژ دریافتی بیشتر است و هر چه درصد SOC باتری EV بیشتر باشد، قدرت شارژ تخلیه شده بیشتر است. همانگونه که در شکل (۱۲) ملاحظه می‌شود، پروفایل ولتاژ کل شبکه توزیع پس از بهینه‌سازی بهبود یافته و در محدوده بالاتر از پروفایل اصلی قبل از بهینه‌سازی می‌باشد. نمودار سبز رنگ، منحنی پروفایل ولتاژ معمول شبکه را نشان می‌دهد که در صورت اتصال بدون برنامه و تصادفی به شبکه و گرفتن شارژ بی‌رویه در ساعات متفاوت روز برای شبکه توزیع به لحاظ سطح ولتاژ تغییرات زیادی خواهیم داشت. درصورت شارژ هماهنگ و اتصال برنامه‌ریزی شده طبق الگوریتم، به نمودار آبی رنگ که یک منحنی مطلوب و ایده‌ال خواهیم رسید. بدین ترتیب با مقایسه دو منحنی و رسیدن به نتایج نهایی منحنی آبی رنگ، به مفید و موثر بودن بهینه‌سازی زمانبندی V2G مبتنی برشارژ هماهنگ خواهیم رسید.



شکل (۱۲): پروفایل ولتاژ کل شبکه پس از بهینه سازی

References
مراجع

[1] Jia, Zixuan, Jianing Li, Xiao-Ping Zhang, and Ray Zhang. "Review on optimization of forecasting and coordination strategies for electric vehicle charging." *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* ,vol.11, no. 2 ,pp.389-400, 2022.

[2] A.Trivi, J.Aguado, S .Torre, Energy, "Joint routing and scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G", *Journal of M_alaga, Spain, Energy* ,vol.175,pp.113-122, 2019.

[3] E. Sortomme, and M.A. El-Sharkawi, " Optimal Charging Strategies forUnidirectional Vehicle-to-Grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.2, pp. 131 – 138, 2011.

[4] Shareef, Hussain, Md Mainul Islam, and Azah Mohamed. "A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,vol.64,pp.403-420, 2016.

[5] Mohd Syahmi Hashim et al, “Priority-based vehicle-to-grid scheduling for minimization of power grid load variance”, *Journal of Energy Storage*,vol.39,2021.

[6] Elkadeem, M.R., et al., "Optimal planning of renewable energy-integrated distribution system considering uncertainties." *IEEE Access*, vol.7, pp. 164887-164907,2019.

[7] Garcia-Villalobos, Javier, Inmaculada Zamora, José Ignacio San Martín, Francisco Javier Asensio, and Víctor Aperribay. "Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches." *Renewable and Sustainable Energy* Reviews ,vol.38 ,pp.717-731, 2014.

[8] H.Krueger, D.Fletcher, A.Cruden, “Vehicle-to-Grid (V2G) as line-side energy storage for support of DC-powered electric railway systems”, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol.19,p.100263, ISSN 2210-9706, 2021.

[9] Nunna, HSVS Kumar, Swathi Battula, Suryanarayana Doolla, and Dipti Srinivasan. "Energy management in smart distribution systems with vehicle-to-grid integrated microgrids." *IEEE Transactions on Smart Grid* vol.9, no. 5,pp.4004-4016, 2016.

[10] Jiang, Xiuli, Jinkuan Wang, Yinghua Han, and Qiang Zhao. "Coordination dispatch of electric vehicles charging/discharging and renewable energy resources power in microgrid." *Procedia Computer Science* ,vol.107 ,pp. 157-163, 2017.

[11] Li, Tianyu, Shengyu Tao, Kun He, Mengke Lu, Binglei Xie, Biao Yang, and Yaojie Sun. "V2G multi-objective dispatching optimization strategy based on user behavior model." *Frontiers in Energy Research* 9 : 739527, 2021.

[۱۲] ناظمی فر، امین و امیر، وحید و ابریشمی، علی اکبر، "بکارگیری الگوریتم *PSO* در بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه توزیع در حضور خودروهای برقی"، *سومین کنفرانس ملی مهندسی برق و کامپیوتر سیستمهای توزیع شده و شبکه های هوشمند*، کاشان، ۱۳۹۵.