Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 38-46

Vol. 10 / No. 4/ Winter 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

Self-scheduling of electric vehicles aggregator in the energy market based on TOU pricing plan

Atena Tazikeh Lemeski[1], Reza Ebrahimi[1*], Alireza Zakariazadeh[2]

[1] Department of Electrical Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
a.tazikeh@gorganiau.ac.ir, r.ebrahimi@gorganiau.ac.ir
[2] Department of Electrical and Computer Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran
zakaria@mazust.ac.ir

Abstract

In recent years, the issue of air pollution caused by greenhouse gas emissions and rising energy prices have contributed to developing and increasing the number of electric vehicles. Despite the many advantages of these vehicles, their increasing number and consequently their simultaneous charging in the distribution network can have destructive effects such as increased peak load, increased losses, unauthorized voltage drop, etc. On the other hand, managing the charging of vehicles by aggregators and using them as flexible loads and, if there is vehicle-to-grid (V2G) capability, as distributed generation units distributed across the distribution network can bring many financial and technical opportunities for the network. Accordingly, managing and planning the charging and discharging of these vehicles from the view point of network operators, aggregators, or vehicle owners in a centralized and decentralized manner are among the interesting topics that many articles have dealt with so far. This paper presents, a new solution for self-scheduling the charging and discharging of the private aggregator of electric vehicles to increase their profitability in the distribution network. Given the private ownership of the aggregator, it is obvious that the only factor influencing planning is cost reduction or profit enhancement, so its effect is unknown and/or negative on network indicators such as losses and voltage profiles. To solve this problem, a Time of Use (TOU) pricing model has been proposed by the Distribution Network Operator (DSO), so the aggregator plans to charge and discharge vehicles so that it can improve indicators such as losses and voltage profiles of the network in addition to be profitable. Density functions might have been used to include the uncertainty of vehicle drivers' behavior and to model the possible parameters related to him/her. Finally, the proposed approach is applied to a 33-bus test network by a genetic optimization algorithm using a private aggregator. The simulation results show that, in addition to maximizing the aggregator gain, the proposed method smoothes the network load curve, which reduces losses and improves voltage profile. It seems that in the probabilistic environment of vehicle behavior, the combination of TOU in private aggregator planning, which has led to an increase in their profits and at the same time in terms of the use of improved technical indicators, has not been studied yet.

Keywords: Electric Vehicle Aggregator, Charging and Discharging Management, TOU Pricing, Energy Market

Received: 2021-02-13
Accepted: 2021-10-25

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص 46-38

Vol. 10 / No. 4/ Winter 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

خودبرنامه‌ریزی تجمیع کننده خودروهای الکتریکی در بازار انرژی براساس طرح قیمت‌گذاری TOU

نوع مطالعه: پژوهشی

آتنا تازیکه لمسکی[1]، دانشجوی دکتری، رضا ابراهیمی[2]، استادیار، علیرضا ذکریازاده[3]، استادیار

۱و۲- گروه مهندسی برق، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
a.tazikeh@gorganiau.ac.ir, r.ebrahimi@gorganiau.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران
zakaria@mazust.ac.ir

چکیده: در این مقاله، راهکاری جدید جهت خودبرنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تجمیع‌کننده‌ی خصوصی خودروهای الکتریکی باهدف افزایش سودآوری آن‌ها در شبکه توزیع ارائه‌شده است. با توجه به مالکیت خصوصی تجمیع کننده، بدیهی است که تنها عامل مؤثر در برنامه‌ریزی، کاهش هزینه و یا افزایش سود بوده که درنتیجه اثر آن بر شاخص‌های شبکه همچون تلفات و پروفیل ولتاژ نامشخص و یا منفی می‌باشد. جهت حل این مسئله، یک مدل قیمت‌گذاری تجاری بر اساس پاسخگویی بار زمان استفاده (TOU) توسط بهره‌بردار شبکه توزیع (DSO) ارائه‌شده که درنتیجه تجمیع کننده به‌گونه‌ای برای شارژ و دشارژ خودروها برنامه‌ریزی می‌کند تا ضمن سودآوری خود، بتواند شاخص‌هایی همچون تلفات و پروفیل ولتاژ شبکه را نیز بهبود بخشد. جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت رفتار رانندگان خودروها و مدل کردن پارامترهای احتمالی مربوط به آن، از توابع چگالی احتمال استفاده‌شده است. در پایان، رویکرد پیشنهادی بر یک شبکه ۳۳ شینه نمونه توسط الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک با در نظر گرفتن یک تجمیع‌کننده‌ی خصوصی به اجرا درآمده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده که روش پیشنهادی علاوه بر حداکثرسازی سود تجمیع‌کننده، منجر به هموار کردن منحنی بار شبکه شده که کاهش تلفات و بهبود ولتاژ مشترکین را به دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: تجمیع‌کننده‌ی خودروهای الکتریکی، مدیریت شارژ و دشارژ، قیمت‌گذاری TOU، بازار انرژی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۸/۰۴

نام نویسنده‌ی مسئول: رضا ابراهیمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: استان گلستان، گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گروه مهندسی برق

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، مسئله آلودگی هوا درنتیجه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین افزایش قیمت حامل‌های انرژی، منجر به توسعه و افزایش تعداد خودروهای الکتریکی شده به‌نحوی‌که پیش‌بینی می‌شود حدود نیمی از سهم بازار خودرو را تا سال ۲۰۵۰ به خود اختصاص دهند (Liu et al. 2021 and Hashemi et al. 2019). باوجود مزیت‌های بسیار این خودروها، افزایش روزافزون تعداد و درنتیجه شارژ هم‌زمان آن‌ها در شبکه توزیع می‌تواند اثرات مخربی مانند افزایش پیک بار، افزایش تلفات، افت ولتاژ غیرمجاز و غیره برای شبکه به همراه داشته باشند (Moradi et al. 2015). از طرفی مدیریت شارژ خودروها توسط تجمیع‌کننده‌ها و استفاده از آن‌ها به‌عنوان بارهای انعطاف‌پذیر و نیز در صورت وجود قابلیت V2G[1]، به‌عنوان واحدهای تولید پراکنده توزیع‌شده در سطح شبکه توزیع می‌تواند فرصت‌های مالی و فنی بسیاری برای شبکه به همراه داشته باشد (Mukherjee and Gupta, 2017). بر این اساس مدیریت و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ این خودروها ازنقطه‌نظر بهره‌بردار شبکه، تجمیع‌کننده‌ها و یا مالکان خودروها به‌صورت متمرکز و غیرمتمرکز، از موضوعات جذابی به شمار می‌رود که تاکنون مقالات بسیاری به آن پرداخته‌اند. در (Fan et al. 2018) برنامه‌ریزی شارژ خودروها توسط تجمیع‌کننده باهدف کاهش تلفات انرژی ارائه‌شده که برنامه‌ریزی شارژ به‌صورت غیرمتمرکز و با استفاده از الگوریتم توزیع‌شده انجام‌شده است. در (Chung at al. 2019) مدیریت شارژ و دشارژ خودروها توسط تجمیع‌کننده در ریزشبکه بررسی‌شده است. تابع هدف آن، کاهش هزینه‌های ایستگاه‌های شارژ و همچنین افزایش رضایتمندی مالکان خودروها در نظر گرفته‌شده است. در (Gan at el. 2013) هموارسازی منحنی بار شبکه با استفاده از برنامه‌ریزی مناسب شارژ و دشارژ خودروها انجام‌شده است. ابتدا خودروها اطلاعاتی مانند نوع وسیله نقلیه، ظرفیت باتری و میزان شارژ موردنیاز را به تجمیع کننده ارسال کرده و سپس تجمیع کننده بر اساس اطلاعات و محدودیت‌هایی مانند محدودیت پیمایش وسیله نقلیه و شرایط شبکه در هر ساعت میزان توان مشخصی را به هر خودرو تخصیص داده است. در (Clement-Nyns at el. 2010) تأثیر شارژ خودروهای الکتریکی در مکان‌های مسکونی بر شبکه توزیع ازنقطه‌نظر تلفات توان و تغییرات ولتاژ بررسی‌شده است. نتایج نشان داده که، شارژ غیر هماهنگ منجر به بروز مشکلات شبکه شده و شارژ با برنامه‌ریزی خودروها می‌تواند تلفات را کاهش و ضریب بار شبکه را افزایش دهد. در (Liu at el. 2021) روشی جهت زمان‌بندی شارژ خودروهای الکتریکی ارائه‌شده که می‌تواند از توانایی خودروهای الکتریکی برای پشتیبانی محلی شبکه از طریق کنترل توان راکتیو استفاده کند.

از دیگر موارد مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی شارژ خودروها، عدم قطعیت پارامترها در مدل‌سازی رفتار رانندگان بوده که به‌طورمعمول در مقالات در نظر گرفته نشده و خودروها به‌صورت بارهای ثابت فرض شده‌اند (Chen at el. 2012, Fan at el. 2012, Wen at el. 2012). در عمل پارامترهای تصادفی در برنامه‌ریزی خودروهای الکتریکی، زمان قطع و وصل شدن به شبکه و سطح شارژ اولیه باتری خودروها در لحظه اتصال به آن بوده که باید در نظر گرفته شوند. در (Tan Kamankesh at el. 2016, and Wang, 2014, Hashemi at el. 2018) برای مدل‌سازی عدم قطعیت از توابع چگالی احتمال و منطق فازی و در (Moghaddam and Akbari, 2018) از روش مونت‌کارلو استفاده‌شده است. روش مونت‌کارلو برای تولید داده‌های تصادفی از تابع چگالی احتمال به کار می‌رود. رویکرد بهینه‌سازی فازی زمانی استفاده می‌شود که هیچ داده تاریخی از پارامتر مدنظر وجود نداشته باشد و هیچ تابع احتمالی نتوان به آن پارامتر نسبت داد. در (Mohiti at el. 2019) برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تجمیع‌کننده‌ها در شبکه توزیع باهدف کاهش هزینه‌ها ارائه‌شده است. نویسندگان جهت حفظ اطلاعات خصوصی واحدها از روش غیرمتمرکز استفاده کرده و همچنین عدم قطعیت برای قیمت انرژی بازار و تولید توان توربین‌های بادی در نظر گرفته‌شده است. در (Alipourat el. 2017) عملکرد بهینه تجمیع‌کننده خصوصی باهدف افزایش سودآوری آن با شرکت در بازار انرژی ارائه‌شده این در حالی است که در روش مفروض شاخص‌های شبکه در نظر گرفته نشده است.

در این مقاله، روشی جهت خودبرنامه‌ریزی تجمیع‌کننده خصوصی بر اساس سیاست قیمت‌گذاری DSO[2] با در نظر گرفتن بهبود شرایط بهره‌برداری شبکه و باهدف افزایش سودآوری به کمک برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی ارائه‌شده است. ازآنجایی‌که تجمیع‌کننده خصوصی مسئولیتی در برابر بهبود شرایط شبکه ندارد، یک مدل قیمت‌گذاری جدید بر مبنای روش قیمت‌گذاری برنامه پاسخگویی بار زمان استفاده (TOU[3]) برای مشارکت تجمیع کننده در هموار ساختن منحنی بار شبکه و کاهش تلفات ارائه‌شده است. روش TOU یا زمان استفاده به تغییر قیمت انرژی مشتریان در زمان‌های مختلف برای تحقق اهداف خاصی در شبکه اطلاق می‌شود. این اهداف می‌تواند هموار کردن منحنی بار شبکه، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و غیره باشد. بر این اساس، از یک ضریب TOU برای قیمت‌گذاری توان مبادله شده بین تجمیع کننده و DSO استفاده‌شده است. در روش ارائه‌شده بهره‌بردار شبکه، برای خریدوفروش انرژی با تجمیع کننده، قیمت جدیدی تعریف کرده که بر اساس آن در صورت افزایش یا کاهش بار از مقدار متوسط، تجمیع کننده ملزم به پرداخت جریمه‌شده که همچنین کاهش سود را برای آن به دنبال خواهد داشت. بنابراین تجمیع کننده میزان شارژ و دشارژ خود را در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز به نحوی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

تنظیم کرده که بتواند حداکثر منفعت اقتصادی را [redacted] نموده که ازاین‌رو عنوان خودبرنامه‌ریزی برای آن‌ها برقرار است. همچنین جهت کاربردی شدن، مسئله بهینه‌سازی [redacted] صورت یک برنامه‌ریزی تصادفی مدل شده و عدم قطعیت [redacted] رانندگان با استفاده از توابع چگالی احتمال جهت مدل [redacted] پارامترهای غیرقطعی، بیان‌شده است.

به نظر می‌رسد که در فضای احتمالاتی [redacted] TOU در برنامه‌ریزی تجمیع‌کننده‌ی خصوصی [redacted] به افزایش سود آن‌ها شده و به‌طور هم‌زمان ازنظر بهره‌برداری [redacted] های فنی ارتقا یافته تاکنون بررسی نشده و به‌عنوان نوآوری [redacted] می‌باشد.

ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم مدل‌سازی سیستم شامل مدل رفتار رانندگان خودروها و باتری‌های موجود آن‌ها ارائه‌شده است. در بخش سوم، روش پیشنهادی حل مسئله بهینه‌سازی همراه تابع هدف و قیود به‌صورت روابط ریاضی بیان‌شده است. نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی برای سناریوهای مختلف در بخش چهارم ارائه‌شده و در پایان، نتیجه‌گیری مقاله در بخش پنجم خواهد بود.

جدول (۱):معرفی نمادهای مورداستفاده در روابط ریاضی

نماد	توضیح
d	شاخص خودرو از ۱ تا D
t	شاخص زمان از ۱ تا T
M_d	میزان مسافت طی شده توسط خودروی dام
AER_d	کل مسافت طی شده توسط خودروی dام در حالت الکتریکی
C_d^{batt}	ظرفیت باتری خودروی dام برحسب کیلووات ساعت
$Cons_d$	میزان مصرف خودروی dام برحسب کیلووات ساعت بر مایل
$SOC_d^{initial}$	سطح شارژ اولیه خودروی dام
SOC_d^{final}	سطح شارژ نهایی خودروی dام
π^{Ave}	متوسط قیمت انرژی بازار
$P_{d,t}^{G2V}$	توان شارژ خودروی d ام در زمان t
$P_{d,t}^{V2G}$	توان دشارژ خودروی d ام در زمان t
Req_t^{Energy}	میزان درخواست انرژی در زمان t ام توسط تجمیع‌کننده در بازار انرژی
$\pi(t)$	قیمت انرژی بازار در زمان t
p	پارامتر ثابت رابطه قیمت
$Demand^t$	میزان بار شبکه در زمان t
$Demand^{ave}$	میزان متوسط بار شبکه
$SOC_{d,t}$	سطح شارژ باتری خودروی dام در زمان t
SOC_d^{min}	حد پایین سطح شارژ باتری خودرو dام
SOC_d^{max}	حد بالای سطح شارژ باتری خودرو dام

۲- مدل‌سازی سیستم

در نظر گرفتن ماهیت تصادفی داده‌ها جهت رسیدن به راه‌حل‌های بهینه مقاوم‌تر، در شرایط مختلف برنامه‌ریزی ضروری است (Hashemi at el. 2019). ازاین‌رو، در این مقاله ماهیت تصادفی الگوی رانندگی هر خودرو، به‌عنوان منبع عدم قطعیت در نظر گرفته‌شده است. به‌طورمعمول در برنامه‌ریزی‌های خودروهای الکتریکی، مهم‌ترین پارامترها، سطح شارژ و وضعیت باتری خودروها است که باید به‌درستی مدل شود (Hashemi at el. 2018). در ادامه هریک از این پارامترها بیان‌شده است.

۲-۱- مدل‌سازی الگوی رانندگی

ویژگی‌های اصلی که می‌توان بر اساس آن الگوی رانندگی مالکان خودروها را تحلیل کرد، مسافت طی شده روزانه و زمان قطع/وصل از شبکه می‌باشد. با توجه به پارامترهای تصادفی استخراج‌شده از NHTS (Santos at el. 2011) و منحنی‌های مربوط به آن‌ها، زمان رسیدن به ایستگاه شارژ، زمان خروج از ایستگاه و مسافت پیموده شده در طول روز را می‌توان به‌صورت توابع چگالی احتمال بر اساس Weibull، Lognormal و Gamma به ترتیب مدل کرده که به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

$$F^a(\mathrm{t}) = \frac{b}{a}\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad , 0 < \mathrm{t} < 24 \qquad (۱)$$

$$F^d(\mathrm{t}) = \frac{1}{t\delta\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(Ln\, t-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad , 0 < \mathrm{t} < 24 \qquad (۲)$$

$$F^{dm}(\mathrm{t}) = \frac{1}{b^a \mathcal{T}(a)} d^{a-1} e^{\frac{-d}{b}} \quad , \ \mathrm{d} > 0 \ \text{and} \qquad (۳)$$
$$\mathcal{T}(a) = \int_0^\infty t^{a-1} e^{-t} dt$$

در این روابط، F^d،F^a و F^{dm} به ترتیب توابع چگالی احتمال مربوط به زمان رسیدن، زمان ترک و مسافت طی شده می‌باشند (Hashemi at el. 2019).

۲-۲-مدل‌سازی باتری خودروها

در مدل‌سازی باتری، مهم‌ترین پارامتر سطح شارژ آن بوده که بر اساس نسبت انرژی ذخیره‌شده به ظرفیت باتری سنجیده می‌شود. زمانی که خودروی الکتریکی به شبکه متصل می‌شود، سطح شارژ باتری آن، بر اساس مسافت طی شده آن مطابق رابطه (۴) و (۵) به دست می‌آید (Hashemi at el. 2018). به‌طورمعمول برای جلوگیری از فرسوده‌شدن باتری فرض می‌شود سطح شارژ آن کمتر از ۲۰٪ نشود.

$$SOC_d^{initial} = \begin{cases} \left(1 - \frac{M_d}{AER_d}\right) \times 100, & ; \forall d \in D \\ 20\%, & M_d > 0.8 AER_d \end{cases} \qquad (۴)$$

$$AER_d = \frac{C_d^{batt}}{Cons_d} \ ; \quad \forall d \in D \qquad (۵)$$

در رابطه (۴)، $SOC_d^{initial}$ سطح شارژ اولیه باتری خودروی dام و مقدار AER_d کل مسافتی است که خودروی d ام می‌تواند در حالت الکتریکی طی کند (Hashemi at el. 2018).

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

۳- روش پیشنهادی حل مسئله

به‌طورمعمول، شارژ و دشارژ خودروها به دو صورت کنترل‌نشده و کنترل‌شده انجام می‌گیرد. در حالت شارژ کنترل‌نشده، عملیات شارژ خودروها بلافاصله پس از اتصال به شبکه شروع‌شده و تا زمانی‌که باتری شارژ کامل شود، ادامه دارد. در حالت شارژ کنترل‌شده، فرآیند شارژ خودروها توسط تجمیع‌کننده با توجه به در نظر گرفتن توابع هدف جهت تعیین برنامه بهینه بیان خواهد شد. روش پیشنهادی به‌عنوان یک مسئله برنامه‌نویسی خطی فرمول‌بندی شده که در ادامه بیان‌شده است.

۳-۱- تابع هدف

تابع هدف مسئله، افزایش سودآوری تجمیع‌کننده در نظر گرفته‌شده که به‌صورت رابطه (۶) فرمول‌بندی شده است:

$$f_{obj}= \text{MAX}\ \{Earn_d^{owner} - Cost^{market}\} \quad (۶)$$

بخش اول رابطه (۶) مربوط به درآمد تجمیع‌کننده از خریدوفروش انرژی به مالکان خودروها و بخش دوم به هزینه‌ی تجمیع‌کننده جهت مبادله انرژی با شبکه توزیع اشاره دارد. در ادامه، جزئیات تابع هدف شرح داده‌شده است (Hashemi at el. 2019).

تجمیع کننده با فروش انرژی به خودروها می‌تواند بر اساس اختلاف قیمت در خریدوفروش انرژی، درآمد داشته باشد. بدیهی است در صورت وجود قابلیت V2G خودروها، درواقع یک تجمیع کننده می‌تواند با برنامه‌ریزی مناسب شارژ و دشارژ سود خود را بیشینه نماید. رابطه (۷) چگونگی کسب درآمد تجمیع کننده را نشان می‌دهد:

$$Earn_d^{owner} = \sum_{t=1}^{T=24} \pi^{Ave} \times (P_{\mathrm{d,t}}^{G2V} - P_{\mathrm{d,t}}^{V2G}) \quad (۷)$$

در نقطه مقابل، با خرید انرژی از شبکه مطابق قیمت بازار، تجمیع کننده متحمل هزینه شده که در طول شبانه‌روز مطابق رابطه (۸) محاسبه می‌گردد و می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

$$Cost^{market} = \sum_{t=1}^{T=24} \lambda(t) \times Req_t^{Energy} \quad (۸)$$

بر اساس رابطه (۸)، Req_t^{Energy} مثبت به مفهوم خرید انرژی از بازار (هزینه) و Req_t^{Energy} منفی به مفهوم فروش انرژی به بازار (درآمد) می‌باشد. $\lambda(t)$ قیمت لحظه‌ای انرژی شبکه است که بر اساس روش TOU تعریف‌شده و در رابطه (۹) آمده است.

$$\lambda\,(\mathrm{t})=\pi(t) + p \times 10^{\frac{Demand^t - Demand^{ave}}{Demand^{ave}}} \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، قیمت لحظه‌ای انرژی شبکه برای مشارکت تجمیع کننده در پیک زدایی بر اساس روش TOU تعریف‌شده است. لازم به ذکر است روش قیمت‌گذاری ارائه‌شده بسیار حساس به میزان بار شبکه بوده و در صورت افزایش بار به‌خصوص در زمان پیک بار، سود تجمیع‌کننده را به‌شدت کاهش می‌دهد.

۳-۲-قیدها

برای حل روش پیشنهادی، لازم است محدودیت‌های فنی شبکه و PEVها در نظر گرفته شود. قیود فنی و اقتصادی به شرح زیر ارائه‌شده است (Liu at el. 2021).

- توازن توان

$$Req_t^{Eergy} = \sum_{d=1}^{D} (P_{d,t}^{G2V} - P_{d,t}^{V2G}) \quad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، Req_t^{Energy} مقدار درخواست انرژی در زمان t ام توسط تجمیع‌کننده در بازار انرژی بوده که باید برابر با اختلاف توان شارژ کل خودروها (خرید) از توان دشارژ (فروش) باشد.

- وضعیت سطح شارژ باتری‌ها در مدت‌زمان اتصال به شبکه

$$SOC_{d,t} = SOC_{d,t-1} + (P_{d,t}^{G2V} - P_{d,t}^{V2G}) \times 100/C_d^{batt} \quad (۱۱)$$

$$SOC_d^{min} < SOC_{d,t} < SOC_d^{max} \quad (۱۲)$$

لازم به ذکر است وضعیت سطح شارژ باتری خودروها در هر پله زمانی به میزان انرژی تبادلی با شبکه بستگی دارد.

- حداقل انرژی باتری خودروها در زمان قطع از شبکه

$$SOC_d^{initial} + \left(\sum_{t=1}^{T=24} (P_{d,t}^{G2V} - P_{d,t}^{V2G})/Cap_d^{batt}\right) \times 100 \geq SOC_d^{final} \quad (۱۳)$$

رابطه (۱۳) شرط برقراری سطح شارژ نهایی باتری خودروها در زمان قطع شدن از شبکه را بیان می‌کند.

با توجه به ساختار مسئله پیشنهادی، یک چارچوب تصمیم‌گیری تصادفی برای مدل‌سازی خودبرنامه‌ریزی یک تجمیع کننده خصوصی در بازار انرژی، عملیاتی می‌شود. تجمیع‌کننده تصمیمات اساسی درباره درخواست‌های خرید/فروش انرژی را اتخاذ کرده و شارژ/دشارژ خودروی متصل به شبکه را بر اساس درخواست‌های موجود در بازار انرژی هماهنگ می‌کند. علیرغم این‌که یک تجمیع‌کننده خصوصی مسئولیتی در برابر شاخص‌های شبکه نداشته، اما مطالعه قابلیت‌های طراحی مکانیسمی جهت رفع

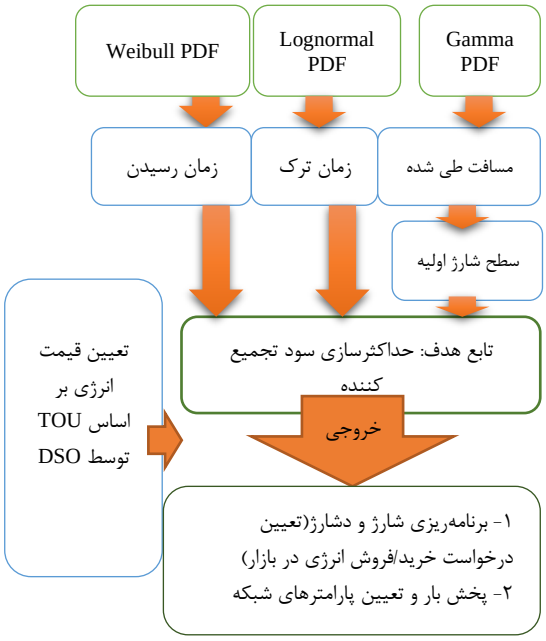
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

چالش‌های احتمالی شبکه برحسب نفوذ بالای خودروها امری ضروری است. بنابراین، این مقاله به بررسی عملکرد تجمیع‌کننده پرداخته که علاوه بر افزایش سودآوری خود، عملکرد قابل‌اعتماد شبکه را نیز تضمین خواهد کرد. بر اساس مدل‌سازی، چارچوب روش پیشنهادی برای حل مسئله بهینه‌سازی مطابق شکل (۱) نشان داده‌شده است. بر اساس شکل (۱)، با استفاده از داده‌های ورودی و با توجه به ماهیت تصادفی مسئله، برنامه‌نویسی تصادفی، مسئله بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، تهیه و تدوین‌شده است.

۴- شبیه‌سازی و نتایج عددی

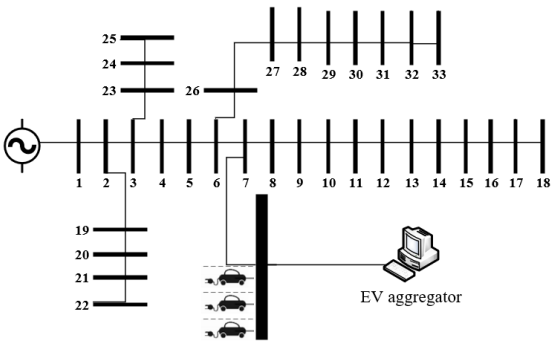
در ادامه، نتایج و تحلیل عددی ارائه‌شده و عملکرد روش پیشنهادی در قالب یک برنامه‌ریزی بهینه برای سناریوهای مختلف بررسی می‌گردد. با در نظر گرفتن ماهیت تصادفی رفتار رانندگان خودروها، تجمیع‌کننده باید بهترین شرایط لازم با بیشترین سودآوری را فراهم نماید. بر این اساس، مدل بهینه‌سازی، یک برنامه‌ریزی زمانی ۲۴ ساعته و تعیین‌کننده میزان بهینه شارژ/دشارژ خودروها در قالب تجمیع‌کننده خصوصی می‌باشد. در این بخش، جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی، برنامه تهیه‌شده بر روی شبکه آزمایشی ۳۳ باسه IEEE پیاده‌سازی شده است. شکل (۲) شبکه تست موردنظر را نشان می‌دهد (Mohiti at el. 2019). بر اساس شکل (۲)، فرض می‌شود تعداد خودروها برابر با ۳۰۰ بوده و توسط یک واحد تجمیع کننده خصوصی که در باس ۷ قرار دارد، کنترل می‌شوند. جهت نشان دادن کارآیی روش پیشنهادی، سناریوهای مختلف مطابق جدول (۲) در نظر گرفته می‌شود. بر اساس جدول (۲)، سناریوی ۱ جهت شارژ کنترل نشده خودروهای الکتریکی در نظر گرفته‌شده است. در حالت شارژ کنترل نشده و ناهماهنگ، هیچ کنترلی بر روی فرآیندهای شارژ وجود ندارد و خودروها بلافاصله پس از اتصال به شبکه، عملیات شارژ را آغاز کرده و تا زمان شارژ کامل باتری‌ها ادامه دارد. سناریوی۲، شارژ کنترل‌شده بدون در نظر گرفتن پارامترهای شبکه توزیع و قیمت‌گذاری به روش TOU را ارائه می‌نماید. در این سناریو تجمیع‌کننده باهدف افزایش سودآوری خود، شارژ و دشارژ خودروها را مدیریت می‌کند. در سناریو ۳، شارژ کنترل‌شده با در نظر گرفتن هم‌زمان تابع هدف تجمیع‌کننده و تأثیر قیمت‌گذاری TOU بررسی می‌شود. باید توجه داشت، مدل‌سازی الگوی رانندگی وابسته به زمان ورود و خروج از پارکینگ است که این موضوع برای همه خودروهای الکتریکی با استفاده از توابع چگالی احتمال تعریف‌شده و در شکل ۳ نشان داده‌شده است. مقدار میانگین برای توابع چگالی احتمال مربوط به زمان رسیدن، زمان ترک و مسافت طی شده به ترتیب برابر با ۵/۹، ۲/۲ و ۱/۱ و انحراف معیار آن‌ها به ترتیب برابر ۱۸/۹، ۰/۳ و ۳/۱ در نظر گرفته‌شده است (Hashemi at el. 2019). بر اساس شکل (۳)، با توجه به تعداد خودروها، ورود به پارکینگ از ساعت ۲۳:۰۰-۱۰:۰۰ و خروج آن‌ها در ساعت ۲۰:۰۰-۴:۰۰ لحاظ شده است.



شکل (۱): چارچوب کلی مسأله بهینه‌سازی

جدول (۲): ویژگی‌های سناریوهای تعریف‌شده

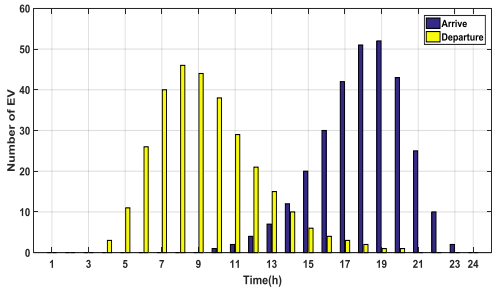
	حالت هماهنگ شارژ	در نظر گرفتن تابع هدف DSO
سناریو ۱	×	×
سناریو ۲	✓	×
سناریو ۳	✓	✓



شکل (۲): شبکه ۳۳ شینه آزمایش IEEE به‌عنوان سیستم موردمطالعه

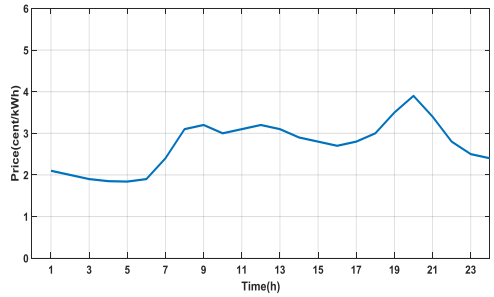
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]



شکل (۳): تعداد خودروهای رسیده/خارج‌شده به/از پارکینگ‌های شارژ

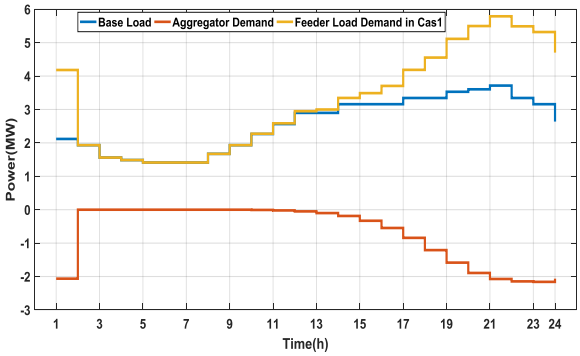
ازاین‌رو، با توجه به زمان قطع/وصل خودرو الکتریکی از/به شبکه و انرژی ذخیره‌شده از قبل، می‌توان میزان شارژ یا دشارژ خودروهای الکتریکی را به‌صورت بهینه تعیین نمود. سطح شارژ نهایی خودروها در زمان قطع شدن از شبکه برابر با ۸۰٪ ظرفیت باتری خودروها در نظر گرفته‌شده است. نرخ شارژ خودروها برابر با ۷/۲ کیلووات، ظرفیت باتری خودروها برابر با ۷۲ کیلووات ساعت و کل مسافتی که خودروها در حالت الکتریکی می‌توانند طی کنند (AER) برابر با ۲۱۲ مایل فرض شده است (Liu at el. 2021). بر اساس روش پیشنهادشده تجمیع‌کننده خصوصی با توجه به قیمت انرژی، برنامه‌ریزی شارژ/دشارژ خودروها را در بازه زمانی ۲۴ ساعت طوری برنامه‌ریزی می‌کند که تابع هدف مسئله برآورده شود. قیمت انرژی زمان واقعی در شکل ۴ نشان داده‌شده است. مطابق شکل (۴) بیشترین و کمترین قیمت انرژی به ترتیب برای ساعات ۲۰ و ۵ حاصل‌شده است. ضریب مؤثر در قیمت انرژی بر اساس TOU در این مقاله برابر با (cent/kWh) ۳ در نظر گرفته‌شده است. به‌منظور مشاهده عملکرد شبیه‌سازی برای روش پیشنهادی، منحنی بار قبل و بعد از مدیریت تجمیع‌کننده برای سناریوهای مختلف بررسی‌شده است.



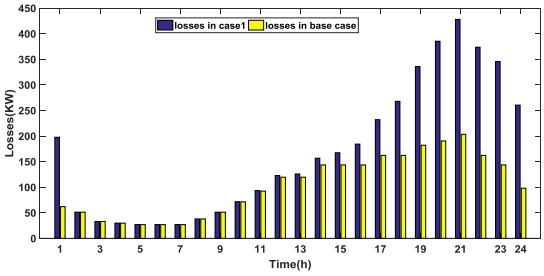
شکل (۴): قیمت زمان واقعی انرژی در بازار (Hashemi at el. 2019)

۱-۴-سناریو ۱

نتایج شبیه‌سازی در حالت شارژ کنترل نشده‌ی خودروها در شکل (۵) نشان داده‌شده است. بر این اساس، مقدار توان دریافتی از شبکه برای شارژ خودروها و منحنی بار شبکه با/بدون حضور خودروها رسم شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، در سناریو ۱ بلافاصله پس از رسیدن خودروها به پارکینگ، عملیات شارژ آن‌ها بدون هیچ مدیریتی آغازشده و تا زمان شارژ کامل باتری ادامه خواهد داشت. بر اساس شکل (۵)، بیشترین توان موردنیاز جهت شارژ خودروهای الکتریکی در ساعت ۲۳ و ۲۴ به مقدار ۲/۱۶ مگاوات بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده که شارژ کنترل نشده باعث افزایش بار اوج شبکه در ساعت ۲۱ از ۳/۷ به ۵/۷۸ مگاوات شده که افزایش ۵۶/۲۲ درصدی را به همراه داشته است. با افزایش بار اوج شبکه، تلفات نیز بسیار افزایش می‌یابد که در شکل (۶) نشان داده‌شده است. بر اساس شکل (۶)، می‌توان مشاهده کرد که نتیجه افزایش بار پیک شبکه، افزایش قابل‌ملاحظه تلفات در این ساعات بوده است. بنابراین، تلفات شبکه در ساعت‌های ورود خودروها به ایستگاه شارژ، افزایش چشمگیری داشته است که حضور شارژ کنترل‌شده و هماهنگ احساس می‌شود. همچنین مطابق نتایج به‌دست‌آمده، تلفات شبکه با حضور خودروهای الکتریکی در طول یک شبانه‌روز برابر ۴/۰۵۹۱ مگاوات ساعت می‌باشد.



شکل (۵): منحنی بار شبکه (سناریو ۱)



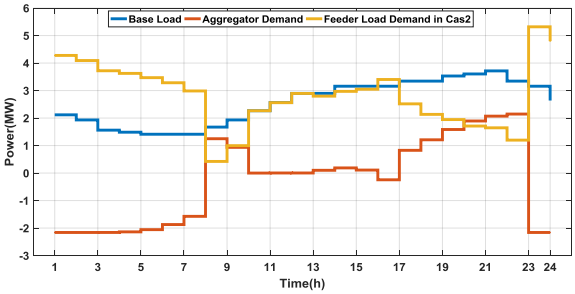
شکل (۶): مقایسه تلفات شبکه در ساعات مختلف (سناریو ۱)

۲-۴-سناریو ۲

بر اساس نتایج سناریو ۱، عدم برنامه‌ریزی شارژ/دشارژ خودروها بر منحنی بار شبکه، تلفات و پروفیل ولتاژ تأثیر زیادی گذاشته که نتیجه آن نیاز به مدیریت بهینه است. شکل (۷) منحنی بار شبکه بدون/با حضور خودروها و میزان توان تجمیع‌کننده را نشان می‌دهد که هماهنگ‌سازی شارژ/دشارژ خودروها در سناریوی ۲ انجام‌شده است. مطابق شکل (۷)، از آن‌جایی که تابع هدف در سناریو ۲

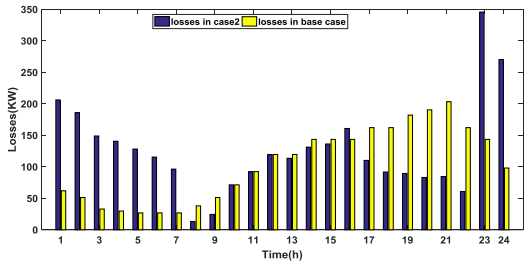
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

افزایش سودآوری تجمیع کننده بوده، با فرض V2G خودروها با افزایش قیمت انرژی در ساعات ۲۲-۱۷(مطابق شکل (۴))، دشارژ خودروها در این ساعت‌ها باعث سودآوری تجمیع کننده شده است.



شکل (۷): منحنی بار شبکه در حالت شارژ و دشارژ هماهنگ خودروها (سناریو ۲)

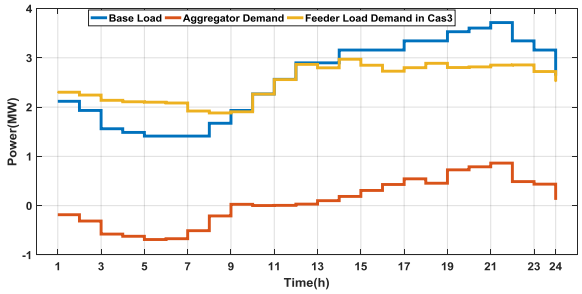
ازآنجایی‌که این دشارژ در زمان پیک شبکه رخداده، باعث کاهش پیک در منحنی بار نیز شده است. از طرفی دیگر، به دلیل کاهش قیمت انرژی در ساعات ابتدایی روز، تجمیع‌کننده باهدف سودآوری بیشتر خود، شارژ خودروها را به آن زمان انتقال داده و درنتیجه پیک جدیدی برای شبکه ایجاد کرده است. پیک شبکه در ساعت ۲۳ به میزان ۵/۳۱ مگاوات رخداده و سود تجمیع‌کننده در این سناریو به ۱۸۰/۳ دلار رسیده است. اگرچه در این سناریو مدیریت شارژ/دشارژ توسط تجمیع کننده خصوصی باهدف افزایش سودآوری انجام‌شده، اما شاخص‌های شبکه نادیده گرفته‌شده است. این پیک جدید ایجادشده روی شبکه، بر روی تلفات شبکه اثر گذاشته که در شکل (۸) برای سناریوی۲ نشان داده‌شده است. بر اساس شکل (۸)، اگرچه تلفات در ساعت‌های پرباری کاهش‌یافته، اما تلفات کلی شبکه نسبت به حالت پایه، افزایش را نشان می‌دهد. در این سناریو، تلفات شبکه به ۳/۰۱۸۸ مگاوات ساعت رسیده است.



شکل (۸): مقایسه تلفات شبکه در ساعات مختلف (سناریو ۲)

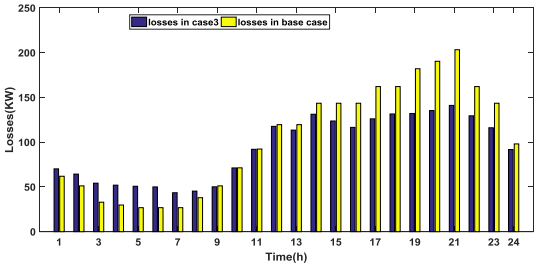
۳-۴-سناریو۳

در سناریو سوم، بر اساس سیاست و نحوه قیمت‌گذاری DSO برای خرید/فروش انرژی از/به تجمیع‌کننده، شارژ و دشارژ خودروها موجب مسطح شدن منحنی بار شبکه و همچنین کاهش تلفات شبکه شده است. بر این اساس، منحنی بار شبکه برای سناریو۳ در شکل (۹) نشان داده‌شده است.



شکل (۹): منحنی بار شبکه (سناریو ۳)

مطابق نتایج شکل (۹)، می‌توان مشاهده کرد که به دلیل کم باری در ساعات اولیه روز، مقدار زیادی از شارژ خودروها به آن ساعات منتقل‌شده است. در این سناریو، بر اساس نحوه قیمت‌گذاری DSO، شارژ/دشارژ خودروها توسط تجمیع‌کننده به‌صورت توزیع‌شده در طول شبانه‌روز و به‌طور هماهنگ اتفاق افتاده است. همچنین، منحنی بار شبکه مسطح شده و پیک منحنی بار در ساعت ۲۱ از ۳/۷ به ۲/۸۵ مگاوات،یعنی به میزان ۲۳ درصد کاهش‌یافته است. این راهکار از بارگیری بیش‌ازحد خطوط و ترانسفورماتورهای شبکه جلوگیری کرده و منحنی بار روزانه را با پر کردن دره‌های آن، مسطح می‌کند. اگرچه پیک بار شبکه در ساعت ۱۴ به میزان ۲/۹۷ مگاوات رسیده، اما این مقدار از پیک بار پایه کمتر بوده و نشان‌دهنده هماهنگی و برنامه‌ریزی مناسب توسط تجمیع کننده است. باید توجه داشت که در این سناریو نیز سود تجمیع‌کننده به ۱۸۰ دلار رسیده که نسبت به سناریو دوم تفاوت محسوسی ندارد. در سناریو سوم و بر اساس سیاست و نحوه قیمت‌گذاری DSO برای خرید/فروش انرژی از/به تجمیع‌کننده، پیاده‌سازی روش پیشنهادی، منجر به کاهش تلفات شبکه در طول زمان برنامه‌ریزی و مسطح شدن سطح ولتاژ شده است. شکل (۱۰) مقایسه تلفات شبکه در سناریو ۳ را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): مقایسه تلفات شبکه (سناریو ۳)

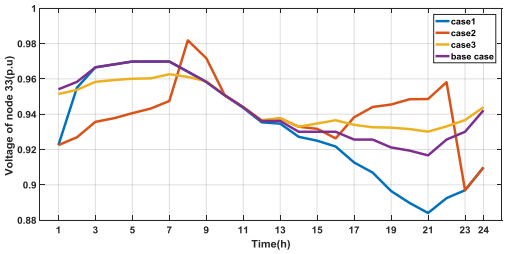
بر اساس شکل (۱۰)، تلفات در زمان‌های پیک بار کاهش زیادی داشته و در ساعت‌های کم‌باری افزایش‌یافته است. اما تلفات کلی در زمان برنامه‌ریزی کاهش‌یافته و به ۲/۲۴۹۷ مگاوات ساعت رسیده است.

۴-۴-مقایسه سناریوها

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از سناریوهای قبل، حضور خودروهای الکتریکی در شبکه، آن را با چالش‌هایی روبه‌رو می‌کند که با

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

مدیریت بهینه شارژ/دشارژ خودروها نه‌تنها می‌توان اثرات مخرب را کاهش داد، بلکه می‌توان شرایط مساعدی برای شبکه به وجود آورد. نتایج سناریو ۲ نشان داده که با مدیریت ناهماهنگ خودروها و بدون در نظر گرفتن شاخص‌های شبکه، موجب افزایش بار بر روی شبکه توزیع‌شده که نتایج نامطلوبی مانند افزایش تلفات، اشغال ظرفیت خطوط، و کاهش قابلیت اطمینان شبکه را به همراه خواهد داشت. جهت اجتناب از رخداد این مسائل، مطابق با روش پیشنهادی، مدیریت هماهنگ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن شاخص‌های شبکه نیاز بوده که ضمن افزایش سود تجمیع‌کننده، مسطح شدن سطح ولتاژ و کاهش تلفات را به همراه خواهد داشت. شکل (۱۱) مقایسه پروفیل ولتاژ در شین ۳۳ که یکی از ضعیف‌ترین شین‌های ازنظر سطح ولتاژ در این شبکه به شمار می‌رود را برای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۱۱)، در سناریو۱، به دلیل شارژ ناهماهنگ خودروها به‌خصوص در زمان پرباری شبکه، سطح ولتاژ شبکه در مقایسه با بار پایه بسیار کاهش‌یافته به‌طوری‌که ولتاژ در شین ۳۳ به میزان ۰/۸۸۴ پریونیت رسیده است. در سناریو ۲ در ساعات ابتدایی روز که شارژ خودروها انجام می‌شود، بار شبکه افزایش‌یافته و موجب کاهش سطح ولتاژ نسبت به بار پایه شده است. در این سناریو، کمینه و بیشینه ولتاژ به ترتیب برابر ۸۹/۶۹ و ۹۸/۱۸ پریونیت بوده که حد پایین ولتاژ در محدوده مجاز قرار ندارد. در سناریو ۳، کمینه و بیشینه ولتاژ در شین ۳۳ به ترتیب به میزان ۰/۹۳ و ۰/۹۶۲ پریونیت رسیده، درحالی‌که در بار پایه به میزان ۰/۹۱۷ و ۰/۹۷ پریونیت بوده است. بر این اساس، برخلاف حالت شارژ ناهماهنگ، انحراف ولتاژ به میزان مطلوبی کاهش‌یافته که نشان‌دهنده کارایی روش پیشنهادی است. همچنین جهت مقایسه بیشتر، تلفات توان و سودآوری تجمیع‌کننده در سناریوهای مختلف در جدول (۳) ارائه‌شده است. بر اساس جدول (۳)، اگرچه سودآوری تجمیع‌کننده در سناریو ۳ تغییرات محسوسی نداشته اما تلفات توان نسبت به سناریوهای ۱ و ۲ به ترتیب به میزان ۴۴/۵۷ و ۲۵/۴۷ درصد کاهش داشته که کارآیی روش پیشنهادی در کاهش تلفات را نمایان می‌سازد.



شکل (۱۱): مقایسه سطح ولتاژ در باس ۳۳ در سناریوهای مختلف

جدول (۳): مقایسه تلفات شبکه و سود تجمیع‌کننده در سناریوهای مختلف

سود تجمیع‌کننده ($)	تلفات (MWh)	
-	-	حالت پایه شبکه
۱۸۰/۳۵	-	سناریو ۱
۱۸۰/۰۱	۳/۰۱۸۸	سناریو ۲
	۲/۲۴۹۷	سناریو ۳

۲/۴۸۲۳	-	حالت پایه شبکه
۴/۰۵۹۱	-	سناریو ۱
۳/۰۱۸۸	۱۸۰/۳۵	سناریو ۲
۲/۲۴۹۷	۱۸۰/۰۱	سناریو ۳

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی جهت خودبرنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تجمیع‌کننده‌ی خصوصی خودروهای الکتریکی با درنظر گرفتن مدل تصادفی آن‌ها به‌منظور حداکثر شدن سود تجمیع کننده و بهبود شاخص‌های فنی شبکه ارائه‌شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده که عدم برنامه‌ریزی مناسب شارژ و دشارژ خودروها، اگرچه می‌تواند سود تجمیع کننده را به دنبال داشته باشد، اما باعث افزایش تلفات و کاهش غیرقابل‌قبول ولتاژ شبکه خواهد شد. بنابراین، عدم توجه به چگونگی شارژ و دشارژ خودروها عملاً شرایط غیرقابل قبولی برای شبکه به وجود خواهد آورد. همچنین مطابق بررسی‌های انجام‌شده می‌توان مشاهده کرد که در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تجمیع‌کننده‌ها، توجه به پارامترهای شبکه علاوه بر تضمین سود تجمیع کننده، منجر به بهبود شاخص‌هایی همچون تلفات شبکه و پروفیل ولتاژ شده که نتیجه آن شرایط برد-برد برای بخش خصوصی و بهره‌بردار شبکه خواهد بود.

مراجع

Alipour, M., Mohammadi-Ivatloo, B., Moradi-Dalvand, M., Zare, K., (2017). Stochastic scheduling of aggregators of plug-in electric vehicles for participation in energy and ancillary service markets, Energy, vol. 118, pp. 1168-1179.

Chen, N., Quek, T. Q. S., Tan, C. W., (Nov, 2012). Optimal charging of electric vehicles in smart grid: Characterization and valley-filling algorithms, nIEEE 3rd Int. Conf. Smart Grid Commun. (Smart Grid Comm), Tainan, Taiwan.

Chung, H., Li, W., Yuen, C., Wen, C., Crespi, N., (2019). Electric Vehicle Charge Scheduling Mechanism to Maximize Cost Efficiency and User Convenience, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 3, pp. 3020-3030.

Clement-Nyns, K., Haesen, E., Driesen, J., (2010). The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 371–380.

Fan, H., Duan, C., Zhang, C., Jiang, L., Mao, C., Wang, D., (2018). ADMM-Based Multiperiod Optimal Power Flow Considering Plug-In Electric Vehicles Charging, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 33, no. 4, pp. 3886-3897.

Fan, Z., (2012). A distributed demand response algorithm and its application to PHEV charging in smart grids, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 3, pp. 1280–1290.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]

Gan, L., Topcu, U., Low, S. H., (2013). Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 2, pp. 940-951.

Hashemi, B., Shahabi, M., Teimourzadeh-Baboli, P., (2018). A Novel Charging Plan for PEVs Aggregator Based on Combined Market and Network Driven Approach, International Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 7, no. 2, pp. 43-50.

Hashemi, B., Shahabi, M., Teimourzadeh-Baboli, P., (2019). Stochastic-Based Optimal Charging Strategy for Plug-In Electric Vehicles Aggregator Under Incentive and Regulatory Policies of DSO, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 4, pp. 3234-3245.

Moradi, M. H., Abedini, M., Hosseinian, M., (2015). Improving operation constraints of microgrid using PHEVs and renewable energy sources, Renewable Energy, Volume 83, pp. 543-552.

Mukherjee, J. C., Gupta, A., (2017). Distributed Charge Scheduling of Plug-In Electric Vehicles Using Inter-Aggregator Collaboration, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 331-341.

Santos, A., McGuckin, N., Nakamoto, H. Y., Gray, D., Liss, S., (2011). Summary of travel trends: 2009 national household travel survey," Tech. Rep.

Tan, J., Wang, L., (2014). Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles into Residential Distribution Grid Based on Two-Layer Intelligent Optimization, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 1774-1784.

Kamankesh, H. R., Agelidis, V. G., Kavousi-Fard, A., (2016). Optimal scheduling of renewable micro-grids considering plug-in hybrid electric vehicle charging demand, Energy, vol. 100, pp. 285-297.

Liu, D., Wang, L., Wang, W., Li, H., Liu M. and Xu, X., (2021). Strategy of Large-Scale Electric Vehicles Absorbing Renewable Energy Abandoned Electricity Based on Master-Slave Game, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 92473-92482.

Moghaddam, S. Z., Akbari, T., (2018). Network-constrained optimal bidding strategy of a plug-in electric vehicle aggregator: A stochastic/robust game theoretic approach, Energy, vol. 151, pp. 478-489.

Mohiti, M., Monsef, H., Lesani, H., (2019). A decentralized robust model for coordinated operation of smart distribution network and electric vehicle aggregators, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 104, pp. 853-867.

Moradi, M. H., Abedini, M., Hosseinian, M., (2015). Improving operation constraints of microgrid using PHEVs and renewable energy sources, Renewable Energy, Volume 83, pp. 543-552.

Mukherjee, J. C., Gupta, A., (2017). Distributed Charge Scheduling of Plug-In Electric Vehicles Using Inter-Aggregator Collaboration, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 331-341.

Santos, A., McGuckin, N., Nakamoto, H. Y., Gray, D., Liss, S., (2011). Summary of travel trends: 2009 national household travel survey," Tech. Rep.

Tan, J., Wang, L., (2014). Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles into Residential Distribution Grid Based on Two-Layer Intelligent Optimization, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 1774-1784.

Wen, C. K., Chen, J. C., Teng, J. H., Ting, P., (2012). Decentralized plug-in electric vehicle charging selection algorithm in power systems, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1779–1789.

زیرنویس‌ها

[1] Vehicle to grid

[2] Distribution network operator

[3] Time of use

[4] National Household Travel Survey

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.4.5.6]