



The University of Tehran Press

Optimum charging and discharging scheduling of EVs in a smart parking-lot in the presence of random behaviour of EV owners

Shahriar Abbasi* 

Faculty of Electrical and Computer Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran. Email: shabbasi@tvu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received: 17 February 2026

Revised: 14 March 2026

Accepted: 12 May 2026

Published Online: 23 September 2026

Keywords:

Smart Parking lot,
Electric Vehicle (EV),
Scheduling,
Random behaviour,
Particle Swarm Optimization (PSO).

ABSTRACT

Air pollution, greenhouse gas problems and the rapid increase in demand for clean energy have led to increase in the demand for electric vehicles (EVs). However, unscheduled charging and discharging of EVs can cause many technical and economic issues for the upstream power grid, such as security and reliability concerns. Therefore, smart scheduling of EVs charging and discharging is essential. In this paper, a PSO-based algorithm is proposed for optimal scheduling of EVs charging and discharging in smart parking lots under real-world conditions. This algorithm is based on the initial and final values of the State Of Charge (SOC) of all EVs and the expected time information of entering and exiting the parking lot. For the uncertain behaviors of EV owners, penalties paid to the parking lot is considered. In the corresponding optimization problem, the profit of smart parking and the cost of EV owners are maximized. The proposed algorithm has been successfully tested with four real scenarios. According to the test results, the more flexibility is included in the uncertain behavior of EV owners, the parking profit decreases due to the reduction of penalty costs received from EV owners and vice versa. In scenario 2 with the highest fault flexibility, the parking profit decreases to a minimum of £2245. Also, in scenario 1, where no flexibility is allowed in the uncertain behavior of EV owners, parking profit reaches its maximum value of £20512. Also, cost of EV owners is minimized in scenario 2 and maximized in scenario 1.

Cite this article: Abbasi, Sh. (2026). Optimum charging and discharging scheduling of EVs in a smart parking-lot in the presence of random behaviour of EV owners. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 5 (4), 647-664. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2026.413326.1232>



© Authors retain the copyright and full publishing rights.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2026.413326.1232>

Publisher: University of Tehran Press.

1. Introduction

Due to the excessive increase of greenhouse gases and the air pollution of carbon derivative emissions, the use of electric vehicles (EVs) in the world is increasing compared to gasoline vehicles. According to the report of the International Energy Agency, the number of 13 countries in the world will replace 30% of their fossil fuel vehicles with electric type by 2030. Statistics show, more than one million plug-in EVs were sold in the US from 2018 to 2020. This sales rate has increased from about 5,000 units per month in Sep. 2012 to more than 20,000 units per month in May 2018. Recently, the UK government has announced that it will stop selling petrol and diesel cars by 2030 and the country will be driven to achieve net zero emissions by 2050.

2. Methodology

In this paper, a smart parking lot, for example, for 200 EVs, is presented to schedule charging and discharging of EVs. This scheme is based on the initial and final values of the State-of-charge (SOC) of all EVs and the expected time of entry and exit to the parking lot. The scheme is formulated as an optimization problem and solved by the PSO algorithm. The scheme was tested with four different

scenarios of random behavior of EV owners and parking. For each of these scenarios, the optimization problem of Figure 1 is solved by PSO.

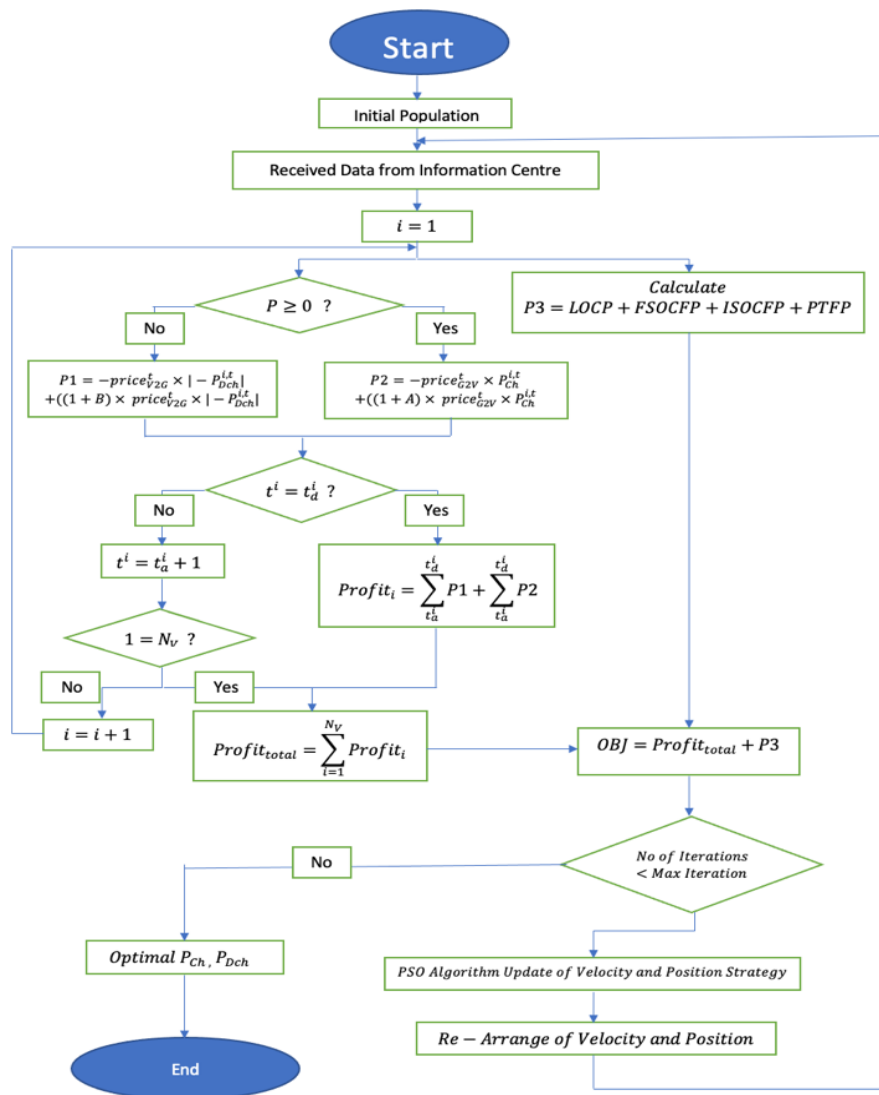


Fig. 1. Optimum charging and discharging scheduling of EVs in a smart parking-lot.

The considered scenarios are as follows:

Scenario 1:

In this scenario, 40% of EV owners behave randomly, which means that 80 EVs of the total of 200 EVs do not have the expected and actual behavior per day. The behavior of the other 60% of EV owners is accurate and fault-free.

Scenario 2:

In this scenario, some margin is considered to tolerate the behavioral fault of EV owners and parking. In other words, EVs in this case have a fault of 2 kWh from the actual SOC. Also, the 2 hours fault from the actual time spent in the parking lot will be from the expected state. In other words, those EVs that have a fault equal to or less than these values are not considered to be at fault and will not be fined.

Scenario 3:

As mentioned in scenario 2, some flexibility is assumed in the initial SOC and the fault in the entry and exit time of EVs. In this scenario, no time flexibility is considered for further analysis of parking profit. However, the fault in SOC is forgivable and EVs can still have some fault in these limited states defined in Equation (1).

$$SOC_{exp}^a - SOC_{act}^a \leq 2 \quad (1)$$

Scenario 4:

In this scenario, no marginal tolerance is considered in the initial SOC to further analyze the parking profit. However, EVs can still have faults during arrival and departure, and these types of forgivable faults are defined in equation (2).

$$(t_{act}^a - t_{exp}^a) + (t_{exp}^d - t_{act}^d) \leq 2 \quad (2)$$

3. Test Results and Discussion

The simulation results for four different scenarios of random behavior of EV owners and parking are summarized in the Table I. This table shows, when with random behavior of EV owners' and parking, their costs will increase due to the imposed penalties. However, with imposing these penalties, the presented scheme operates better and EVs and parking will have optimal transactions with each others.

In scenario 1, the offending EV owners have to pay a fine to the parking lot, and the parking lot has to pay another fine to the EV owners for not meeting their requirements. Overall, in this scenario, parking has the highest amount of profit compared to other scenarios.

In scenario 2, some fault flexibility is assumed. EV owners in this scenario can have a fault of 2 kWh relative to the initial input SOC and a fault of 2 hours relative to the actual versus expected time spent in parking. This means that EV owners with a fault less than or equal to these values are not considered faulty and are not fined. Table 5 shows that in this scenario the amount of parking profit has decreased significantly.

In scenario 3, as expected, due to the lower fault flexibility in entry and exit times compared to scenario 2, the parking lot received higher profits than in scenario 2, and the faulty EV owners pay more fines.

In scenario 4, the same scenario as 3 is applied, in which parking will be more profitable due to less fault flexibility than scenario 2. In this scenario, there is no margin for fault in the initial SOC. Therefore, the total profit of parking is about 2.6 times higher than the total profit in scenario 2.

In comparison, when considering the total profit of SPL in scenarios 3 and 4, it can be seen that the case with the margin of fault in time will bring more profit compared to SOC.

Table 1. Money transaction in different scenarios.

Scenario No.	LOCP	FSOCCP	ISOCCP	PTFP	Profit of buying / selling electricity for parking	Net profit of parking
1	£-388	£-4639	£4774	£19800	£965	£20512
2	£-66	£-4972	£1894	£4452	£938	£2245
3	£0	£-3940	£2316	£4956	£1053	£4385
4	£-53	£-4247	£1995	£7161	£1092	£5947

4. Conclusions

In this paper, a PSO-based algorithm is presented for scheduling EVs charging and discharging in a smart parking lot in the presence of uncertain EV owners' behaviors. The algorithm is designed to allow for power exchange between EVs, parking lot, and upstream power grid. Operational constraints, rules, and limitations for power exchanging among of parking lot, EVs, and upstream grid are addressed in the algorithm. Different penalties are considered to improve the performance of the algorithm. In addition, in order to make the parking lot performance more realistic, flexibility in EV owners' and parking lot faults is considered.

The proposed algorithm was successfully implemented on the scheduling of 150 EVs in a parking lot with a capacity of 200 EVs in different scenarios. The simulation results show that, the parking lot earns the most net profit of £20,512 in scenario 1. Because, in this scenario, no flexibility and forgiveness in the fault of EV owners in the timing and amount of charging and discharging powers is considered. Consequently, the parking lot obtains more profit from receiving fines from EV owners. With increasing flexibility in the fault of EV owners, the parking lot's profit decreases. In this way, in scenario 2, the parking benefit is reduced to the minimum amount of £2,245. This is because, in this scenario, the greatest flexibility in the fault of EV owners is considered. Similar results can be deduced in other scenarios.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ هوشمند lot در حضور رفتار نامعین مالکین خودرو

شهریار عباسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. رایانامه: shabbasi@tvu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

پارکینگ هوشمند lot،

خودرو الکتریکی،

برنامه‌ریزی،

رفتار نامعین،

بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO).

سطح بالای آلودگی هوا، مشکلات گازهای گلخانه‌ای و افزایش سریع تقاضا برای انرژی پاک به افزایش تقاضا وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) منجر شده است، اما شارژ و دشارژ برنامه‌ریزی نشده EVها می‌تواند شبکه تغذیه بالادستی را با مسائل فنی و اقتصادی زیادی مانند امنیت انرژی و ریسک قابلیت اطمینان مواجه کند. بنابراین، برنامه‌ریزی هوشمند شارژ و دشارژ EVها ضروری است. در این مقاله، یک الگوریتم مبتنی بر PSO برای برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ EVها در پارکینگ هوشمند با شرایط واقعی ارائه شده است. این الگوریتم بر اساس مقادیر اولیه و نهایی وضعیت شارژ (SOC) تمام EVها و اطلاعات زمان مورد انتظار ورود و خروج به پارکینگ است. برای رفتارهای نامعین مالکین EV، جریمه پرداختی به پارکینگ لحاظ می‌شود. در مسئله بهینه‌سازی مربوطه، حداکثر کردن سود پارکینگ هوشمند و حداقل کردن هزینه مالکین EV مد نظر است. الگوریتم پیشنهادی با موفقیت با سناریوهای چهارگانه واقعی آزمایش شده است. مطابق نتایج آزمایش، هر چقدر انعطاف‌پذیری بیشتری در رفتار نامعین مالکین EV لحاظ شود، سود دریافتی پارکینگ به دلیل کاهش جریمه‌های دریافتی از مالکین EV کاهش می‌یابد و به عکس. لذا در سناریو ۲ با بیشترین انعطاف خطا، سود پارکینگ به حداقل مقدار ۲۲۴۵ پوند کاهش می‌یابد. همچنین، در سناریو ۱ که هیچ‌گونه انعطافی در رفتار نامعین مالکین EV مجاز نیست، سود پارکینگ به حداکثر مقدار خود یعنی ۲۰۵۱۲ پوند می‌رسد. به علاوه، هزینه مالکین EV در سناریو ۲ حداقل و در سناریو ۱ حداکثر می‌شود.

استناد: عباسی، شهریار (۱۴۰۵). برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ هوشمند lot در حضور رفتار نامعین مالکین خودرو. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۵ (۴) ۶۴۷-۶۶۴

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2026.413326.1232>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2026.413326.1232>



۱. مقدمه

تأمین انرژی در جهان با تحولاتی گسترده مواجه است که تحت تأثیر روندهای کلیدی در سه بخش انرژی‌های فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر قرار دارد. محدودیت ذخایر فسیلی و انتشار آلاینده‌های ناشی از به‌کارگیری این ذخایر محرک عمده تحولات یادشده است [۱-۲]. با توجه به افزایش بیش از حد گازهای گلخانه‌ای و آلودگی نگران‌کننده انتشار مشتقات کربن، استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی^۱ (EV) در جهان در مقایسه با خودروهای بنزینی رو به افزایش است [۳-۵]. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی^۲، تعداد ۱۳ کشور جهان تا سال ۲۰۳۰ حدود ۳۰ درصد از خودروهای با سوخت فسیلی خود را با نوع الکتریکی جایگزین می‌کنند [۶]. طبق آمار، بیش از یک میلیون EV پلاگین^۳ از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ در ایالات متحده فروخته شده است. این نرخ فروش از حدود ۵ هزار دستگاه ماهیانه در سپتامبر ۲۰۱۲، به بیش از ۲۰ هزار دستگاه ماهیانه در می ۲۰۱۸ افزایش یافته است [۷]. به‌تازگی دولت بریتانیا اعلام کرده است که فروش خودروهای بنزینی و دیزلی را تا سال ۲۰۳۰ متوقف خواهد کرد و کشور به سمت دستیابی به آلاینده‌ی خالص صفر تا سال ۲۰۵۰ سوق داده خواهد شد [۸].

پیش‌بینی نفوذ گسترده EVها به زندگی انسان‌ها، مسائل فنی بسیاری را در سیستم‌های قدرت الکتریکی ایجاد می‌کند. این موضوع که ناشی از شارژ و دشارژ کنترل‌نشده EVها است، می‌تواند سیستم‌های شبکه برق مرتبط را در معرض مشکلات بهره‌برداری بزرگی مانند افزایش جریان اتصال کوتاه، افزایش تلفات توان اکتیو، اضافه بار فیدرها، افزایش تعداد نوسانات برق، افزایش تغییرات ولتاژ، افزایش مشکلات هارمونیک و غیره قرار دهد [۹]. به عنوان مثال، در شرایط شارژ کنترل‌نشده، تقریباً ۳۰ درصد از امکانات شبکه برای ضریب نفوذ ۲۵ درصدی EVها به ارتقا نیاز دارند. در حالی که اگر بتوان بار را به دوره‌های خارج از پیک منتقل کرد، این میزان می‌تواند به ۵ درصد کاهش یابد [۱۰]. بنابراین، انجام برنامه‌ریزی^۴ بهینه برای شارژ و دشارژ EVها در پارکینگ هوشمند lot ضروری است. به‌ناچار، رفتارهای تصادفی^۵ صاحبان EV است که برنامه‌ریزی بهینه آن‌ها را پیچیده‌تر می‌کند. بنابراین، استفاده از نوعی رویکرد بهینه‌سازی مناسب برای برنامه‌ریزی EVها در پارکینگ هوشمند lot با در نظر گرفتن رفتارهای تصادفی مالکین EV ضروری است [۱۱]. پارکینگ هوشمند lot نوعی سیستم مدیریت انرژی هوشمند است که می‌تواند شارژ و دشارژ تعداد زیادی از خودروهای برقی را مدیریت کند. به‌تازگی، ساختار و عملکرد مربوط به زمان‌بندی بهینه برای پارکینگ‌های هوشمند lot توسعه سریعی را تجربه کرده است. بسیاری از محققان عمدتاً بر پرداخت غرامت به صاحبان EV تنها با جریمه کردن پارکینگ هوشمند lot تمرکز کردند. با این حال، در کارهای قبلی رفتارها و تصمیمات تصادفی صاحبان EV تا حد زیادی نادیده گرفته شد. در نتیجه، کمبودی در تعریف کاربردی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پارکینگ هوشمند lot وجود داشت.

برای رفع این مشکل، یک مدل تصادفی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضای آینده در زمان‌بندی شارژ و دشارژ EVها در پارکینگ هوشمند lot پیشنهاد شده است [۳]. این مدل نوعی سیستم برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندمرحله‌ای است که هدف آن به حداقل رساندن هزینه کل انرژی مورد انتظار در یک افق زمانی خاص است. همچنین، یک سیستم مدیریت انرژی جدید^۶ (EMS) برای بهینه‌سازی زمان‌بندی مجموعه‌ای از خودروهای برقی از دو دیدگاه (الف) زمان؛ (ب) هزینه، برای دارندگان خودروهای برقی هیبریدی پلاگین^۷ (PHEVs) ارائه شده است [۱۰]. برای رفع چالش شارژ و دشارژ کنترل‌نشده EVها در پارکینگ هوشمند با EVهای متعدد، یک استراتژی EMS جدید با هدف رضایت هم زمان مالکین EV و اپراتور پارکینگ هوشمند پیشنهاد شده است [۱۲]. از سوی دیگر، پارکینگ‌هایی وجود دارند که روی منابع انرژی خاص مانند سیستم‌های فتوولتائیک^۸ (PV) تمرکز دارند که در آن سیستم مدیریت شارژ هوشمند یک سیستم ذخیره انرژی^۹ (ESS) را نیز در خود جای

1. Electric Vehicles
2. International Energy Agency
3. Plug-in
4. Scheduling
5. Random Behavior
6. Energy Management System
7. Plug-in Hybrid Electric Vehicles
8. Photovoltaic
9. Energy Storage System

داده است [۱۳]. در این طرح، یک سیستم برنامه‌ریزی جریان برق مشترک بین شبکه، سیستم ESS و PV به منظور شارژ چندین EV طراحی شده است. این کار در واقع نشان داده است که رفتارهای تصادفی صاحبان EV در زمان‌بندی بهینه پارکینگ هوشمند lot بسیار مهم است. با انجام این کار، مدیریت بهینه پارکینگ هوشمند lot با تبادل انرژی بین پارکینگ، صاحبان EV و سیستم بالادستی ممکن می‌شود [۳، ۱۲ و ۱۴].

بنابراین، ارائه طرحی برای زمان‌بندی عملیاتی پارکینگ هوشمند lot با نظر گرفتن رفتارهای تصادفی مالکین EV و انعطاف‌پذیری جریمه^۱ هدف اصلی این مقاله است. یک پارکینگ با ظرفیت EV ۲۰۰ برای برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ EVها در نظر گرفته شده است (این ظرفیت به صورت دلخواه انتخاب شده و قابل تغییر است). هر مالک EV مقادیر اولیه و نهایی وضعیت شارژ^۲ EV (SOC) را یک روز قبل و همچنین، زمان ورود و خروج به پارکینگ (سیستم) می‌دهد، که سپس توسط سیستم برای بهینه‌سازی زمان‌بندی پردازش می‌شود. از آنجا که رفتار مالکین EV تصادفی است، این طرح برنامه‌ریزی راهبردی را برای اعمال جریمه با انعطاف‌پذیری‌هایی سوق می‌دهد. برای پرداختن به این موضوع، یک مسئله چندهدفه فرموله می‌شود و پاسخ بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) ارائه می‌شود. PSO یک الگوریتم نسبتاً ساده در مقایسه با سایر روش‌های حل است [۱۵-۱۷]. چندین سناریو پارکینگ در این طرح اعمال شده و نتایج شبیه‌سازی‌ها با هم مقابله شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها مؤید کارایی طرح برنامه‌ریزی پیشنهادی در این مقاله است.

ادامه این مقاله به این صورت سازماندهی شده است: در بخش ۲، مدل‌سازی و فرمول‌بندی ریاضی ارائه شده است. بخش ۳ مربوط به نتایج آزمایش و بحث بوده و نتایج در بخش ۴ خلاصه شده است.

۲. مدل‌سازی و فرمول‌بندی ریاضی

شبیه‌سازی‌ها در این بخش، مدل‌سازی ریاضی طرح برنامه‌ریزی پارکینگ ارائه شده است. به این منظور، توابع هدف، قیود تساوی و عدم تساوی، داده‌های ورودی، متغیرهای خروجی و پارامترهای مسئله بهینه‌سازی مرتبط معرفی شده است.

۲-۱. تابع هدف اصلی

همان‌طور که گفته شد، پارکینگ هوشمند lot یک تبادل هوشمند انرژی بین دو جزء (شخصیت) است: تراکنش از شبکه به وسیله نقلیه (G2V) و وسیله نقلیه به شبکه (V2G). در مسئله بهینه‌سازی، هدف به حداکثر رساندن سود پارکینگ و به حداقل رساندن هزینه مالکین EV است. به عنوان هدف اصلی این مسئله زمان‌بندی، سود پارکینگ باید به حداکثر برسد. بنابراین، یک تابع هدف به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$OBJ = \sum_{t=1}^{N_t} [P_1 + P_2] + P_3 \quad (1)$$

که، P_1 سود خالص به‌دست‌آمده از انرژی خریداری‌شده از شبکه برای شارژ EVها است و به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

$$P_1 = - \sum_{i=1}^{N_V} (price_{G2V}^t \times P_{Ch}^{i,t}) + \sum_{i=1}^{N_V} (1+A) \times (price_{G2V}^t \times P_{Ch}^{i,t}) \quad (2)$$

عبارت P_2 سود خالصی خرید انرژی از EVها برای تخلیه آن‌ها است و به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$P_2 = - \sum_{i=1}^{N_V} (price_{V2G}^t \times |P_{Dch}^{i,t}|) + \sum_{i=1}^{N_V} (1+B) \times (price_{V2G}^t \times |P_{Dch}^{i,t}|) \quad (3)$$

که، P_3 جریمه‌های خالصی $(LOCP_i + FSOCF_i)$ است که پارکینگ باید به مالکین EV به دلیل برآورده نشدن انتظارات آن‌ها پرداخت کند. همچنین P_3 شامل جریمه‌های خالصی $(ISOCF_i + PTFP_i)$ که مالکین EV به دلیل رفتار تصادفی‌شان باید به پارکینگ بپردازند، می‌شود.

1. Penalty

2. State-of-Charge

$$P_3 = \sum_{i=1}^{N_V} (LOCP_i + FSOCFP_i) + \sum_{i=1}^{N_V} (ISOCFP_i + PTFP_i) \quad (۴)$$

توجه داشته باشید که عبارت‌های جداگانه با علامت منفی یا مثبت در P_1 ، P_2 و P_3 نقش دارند که به ترتیب نشان‌دهنده هزینه یا درآمد پارکینگ است.

۲-۲. جریمه‌ها

برخی از عوامل جریمه در توابع هدف یادشده به منظور دستیابی به برنامه‌ریزی بهینه برای پارکینگ هوشمند lot در تمام دوره‌های زمانی گنجانده شده‌اند. این جریمه‌ها برای مدیریت رفتارهای تصادفی مالکین EV بوده و در ادامه تشریح می‌شوند:

الف) جریمه هزینه از دست دادن فرصت (LOCP)

در طرح برنامه‌ریزی ارائه‌شده، امکان خرید برق در ساعت‌های کم‌بار و فروش آن در زمان‌های گران‌قیمت برای مالکین EV وجود دارد. به دلایلی مانند رفتار تصادفی سایر مالکین EV یا زمان‌بندی غیربهینه پارکینگ، ممکن است این فرصت از دست برود. در این شرایط، طرح پیشنهادی جریمه‌ای برای پارکینگ به عنوان غرامت به مالکین EV پرداخت می‌کند. $LOCP_i$ هزینه فرصت ازدست‌رفته وسیله نقلیه نام است که به صاحبان وسیله نقلیه پرداخت می‌شود و به صورت رابطه ۵ بیان می‌شود:

$$LOCP = \max(0, pay_{act}^i - pay_{exp}^i) \quad (۵)$$

که pay_{exp}^i مبلغ مورد انتظار پرداخت وسیله نقلیه نام به پارکینگ است. pay_{act}^i مبلغی است که اپراتور پارکینگ در پایان روز کاری از خودروی i دریافت می‌کند و به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$pay_{act}^i = \sum_{t=t_a^i}^{t_d^i} [(1+A) \times (price_{G2V}^t \times p_{act,ch}^{i,t}) + (price_{V2G}^t \times p_{act,Dch}^{i,t})] \quad i \in \{1, 2, \dots, N_V\}, p_{act,Dch}^{i,t} < 0 \quad (۶)$$

که، t_a^i زمان ورود نامین EV به پارکینگ و t_d^i زمان خروج نامین وسیله نقلیه از پارکینگ است. $p_{act,ch}^{i,t}$ و $p_{act,Dch}^{i,t}$ به ترتیب قدرت شارژ و دشارژ شده نامین EV در بازه زمانی t است.

ب) جریمه شکست در وضعیت نهایی شارژ (FSOCFP)

جریمه عدم ارائه شارژ مورد نیاز به EV نام هنگام خروج از پارکینگ به صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$SOC_{d,dif}^i = SOC_{d,exp}^i - SOC_{d,act}^i \quad (۷)$$

اکنون، متغیر x_i به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$x_i = (1+A) \times \max(price_{G2V}^{i,t}) \times SOC_{d,dif}^i \quad (۸)$$

سپس، FSOCFP به صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$FSOCFP_i = \max(0, x_i) \quad (۹)$$

که، $SOC_{d,act}^i$ و $SOC_{d,exp}^i$ به ترتیب شارژ مورد انتظار و شارژ واقعی EV نام در پارکینگ است. $SOC_{d,dif}^i$ تفاوت بین مقدار شارژ برآورده نشده در دو حالت مورد انتظار و واقعی است. در صورتی که اختلاف شارژ تأمین نشده بیشتر از نرخ شارژ یک ساعت باشد، برای این مقدار اضافی، باید طی ساعت‌هایی که وسیله نقلیه در پارکینگ حضور دارد در ساعت گران دوم ضرب شود. عبارت $\max(price_{G2V}^{i,t})$ حداکثر نرخ است که وسیله نقلیه نام می‌تواند طی زمان پارک خود از شبکه انرژی بخرد.

ج) جریمه شکست در وضعیت ابتدایی شارژ (ISOCFP)

جریمه عدم تعیین مقدار شارژ اولیه EV نام هنگام ورود به پارکینگ به صورت رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

1. Loss of Opportunity Cost Penalty
2. Final State of Charge Failure Penalty
3. Initial State of Charge Failure Penalty

$$SOC_{a,dif}^i = SOC_{a,exp}^i - SOC_{a,act}^i \quad (10)$$

اکنون، متغیر x_i به صورت رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$y_i = (1+B) \times \max(price_{V2G}^{i,t}) \times SOC_{a,dif}^i \quad (11)$$

سپس، ISOCP به صورت رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$ISOCP_i = \max(0, y_i) \quad (12)$$

قابل توجه است که $\max(price_{V2G}^{i,t})$ حداکثر نرخ است که پارکینگ می‌تواند انرژی الکتریکی را توسط EV نام طی زمانی که در پارکینگ است به شبکه بفروشد. $SOC_{a,exp}^i$ و $SOC_{a,act}^i$ به ترتیب شارژ مورد انتظار و واقعی EV هنگام ورود به پارکینگ هستند. $SOC_{a,dif}^i$ تفاوت بین مقدار شارژ تأمین‌نشده در دو حالت مورد انتظار و واقعی است. بنابراین، اگر اختلاف این شارژ الکتریکی از حداکثر نرخ شارژ بیشتر باشد، مقادیر قبلی باید بر دومین ساعت گران‌قیمت انرژی فروخته‌شده به EV نام در مدت زمان حضور آن در پارکینگ ضرب شود.

(د) جریمه شکست زمان حضور (PTFP)

ممکن است زمان ورود یا خروج نامین وسیله نقلیه در پارکینگ دقیق نباشد؛ یعنی دارای خطا باشد. بنابراین، جریمه دیگری برای این خطا به صورت روابط ۱۳ و ۱۴ لحاظ می‌شود:

$$z_i = (1+B) \times [\max(0, t_{a,act}^i - t_{a,exp}^i) + \max(0, t_{d,act}^i - t_{d,exp}^i)] \times |P_{V2G,max}^i| \times \max(price_{V2G}^{i,t}) \quad (13)$$

$$PTFP_i = \max(0, z_i) \quad (14)$$

این خطا زمانی رخ می‌دهد که وسیله نقلیه پس از زمان ورود وارد شود یا خروج آن قبل از زمان خروج باشد. که $t_{a,act}^i$ و $t_{d,exp}^i$ زمان واقعی و مورد انتظار رسیدن نامین EV به پارکینگ است. $t_{d,act}^i$ و $t_{a,exp}^i$ به ترتیب زمان واقعی و مورد انتظار خروج نامین EV از پارکینگ است.

۲-۳. محدودیت‌های طرح برنامه‌ریزی پیشنهادی

به منظور به حداکثر رساندن سود پارکینگ، در طرح پیشنهادی در این مقاله مشخصات و محدودیت‌های زیر در نظر گرفته می‌شود:

(الف) ظرفیت پارکینگ: در این مقاله، هدف برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تعداد ۲۰۰ EV است، اما ظرفیت این پارکینگ تعداد ۱۵۰ EV است. لذا، تعداد EVهای هم‌زمان در پارکینگ نمی‌تواند از ۱۵۰ عدد بیشتر باشد.

(ب) حداکثر و حداقل ظرفیت تبادل انرژی در پارکینگ: حداکثر و حداقل ظرفیت تبادل انرژی در حالت شارژ و دشارژ به ترتیب ۱۰ کیلووات ساعت و ۱۰- کیلووات ساعت است.

(ج) ظرفیت باتری EV: در این مقاله، خودروی تسلا مدل ۳ با ظرفیت باتری ۵۰ کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است [۱۸]. البته، هر خودروی برقی دیگری با اندازه باتری متفاوت را می‌توان در نظر گرفت. تسلا مدل ۳ تنها نمونه‌ای از EV و البته یکی از EVهای محبوب در جهان است.

(د) محدودیت‌های SOC: برای جلوگیری از کاهش عمر باتری، محدودیت‌هایی برای SOC خودروهای برقی در نظر گرفته شده است: باتری‌ها می‌توانند بین ۵ کیلووات ساعت (۱۰ درصد اندازه باتری) و ۴۵ کیلووات ساعت (۹۰ درصد اندازه باتری) متفاوت باشند [۱۹].

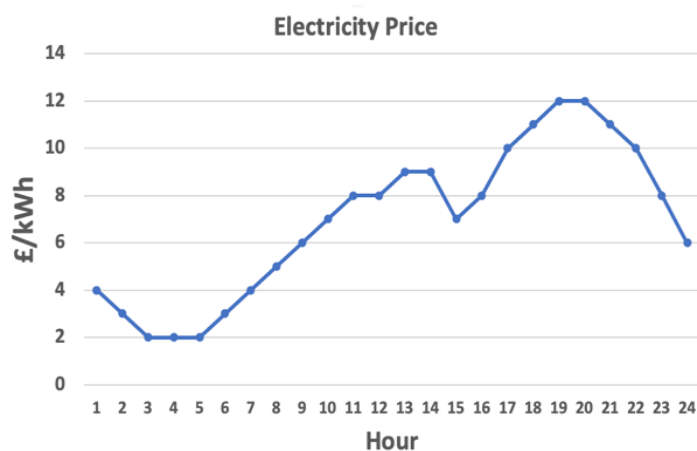
(ه) راندمان شارژ و دشارژ: در این مقاله، راندمان تبادل شارژ و دشارژ ۰/۹ است؛ یعنی $\eta_{G2V} = \eta_{V2G} = 0.9$.

(و) ضریب خرید و فروش: ضرایب A و B سود تبادل انرژی است که پارکینگ به شبکه بالادستی خرید یا فروش می‌کند و در تمام سناریوها ۰/۱ در نظر گرفته می‌شوند.

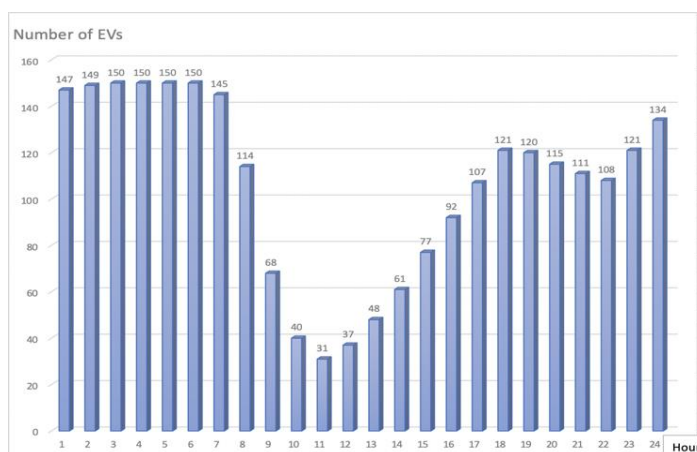
ز) شارژ و دشارژ: عدم امکان شارژ و دشارژ هم‌زمان باتری EV.

ط) قیمت برق: لیست قیمت برق نوعی در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۰].

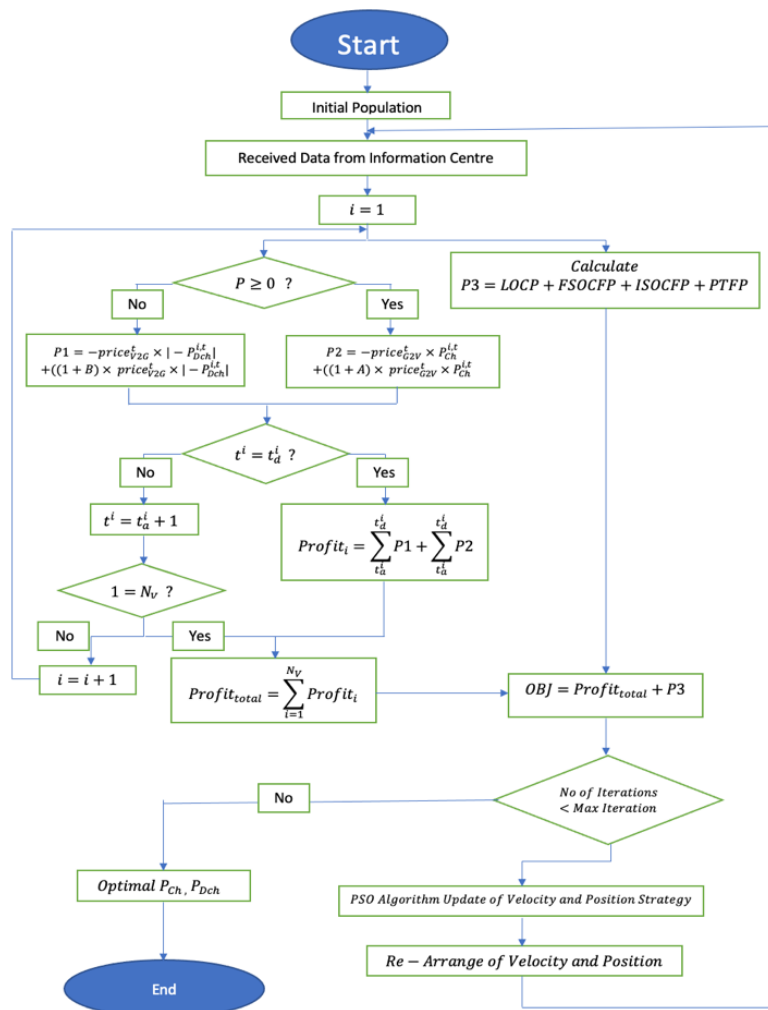
نمونه‌های داده‌های مورد نیاز در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. در شکل ۱، قیمت برق نوعی در ۲۴ ساعت ارائه شده است. شکل ۲، تعداد EVهای حاضر در EV در ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد، است. فرایند شارژ و دشارژ بهینه به کمک الگوریتم PSO به صورت شکل ۳ است. از این الگوریتم برای بهینه‌سازی زمان‌بندی شارژ و دشارژ EVها در پارکینگ استفاده شده است. پس از درج جمعیت اولیه، داده‌های مورد نیاز از مرکز اطلاعات دریافت می‌شود. برای تمام ذرات جمعیت، تابع هدف محاسبه و تا رسیدن به حداکثر تعداد تکرار در PSO، این محاسبه تکرار می‌شود. در هر تکرار، عملگر PSO روی جمعیت اجرا می‌شود تا جمعیت را برای جست‌وجوی پاسخ بهینه بهبود بخشد. در نهایت، طرح شارژ و دشارژ بهینه EVها در پارکینگ چاپ خواهد شد.



شکل ۱. قیمت برق نوعی [۲۰]



شکل ۲. تعداد EVها در پارکینگ در ۲۴ ساعت



شکل ۳. فرایند شارژ و دشارژ بهینه

۲-۴. روش انجام آزمایش

در این مقاله، تعداد ۲۰۰ EV طی روز با زمان‌های مختلف ورود و خروج به پارکینگ سفر می‌کنند. ظرفیت این پارکینگ مسکونی ۱۵۰ EV فرض شده است (این اعداد به صورت دلخواه انتخاب شده و قابل تغییر هستند).

طرح برنامه‌ریزی پیشنهادی برای سناریوهای زیر اعمال شده و هدف آن تعیین مقدار بهینه انرژی قابل مبادله در ساعت به منظور به حداکثر رساندن سود پارکینگ و به حداقل رساندن هزینه مالکین EV است.

الف) سناریو ۱

در این سناریو، ۴۰ درصد از مالکین EV رفتار تصادفی دارند؛ به این معنا که تعداد ۸۰ EV از مجموع ۲۰۰ EV، رفتار مورد انتظار و واقعی در روز را ندارند. رفتار ۶۰ درصد دیگر مالکین EV ها دقیق و بدون خطا است. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله، EV ها یا پارکینگ خطا کار جریمه می‌شوند. بنابراین، شرط جریمه در این سناریو به صورت رابطه ۱۵ تعریف می‌شود:

$$t_{exp}^a \neq t_{act}^a, t_{exp}^d \neq t_{act}^d, SOC_{exp}^a \neq SOC_{act}^a, SOC_{exp}^d \neq SOC_{act}^d \quad (15)$$

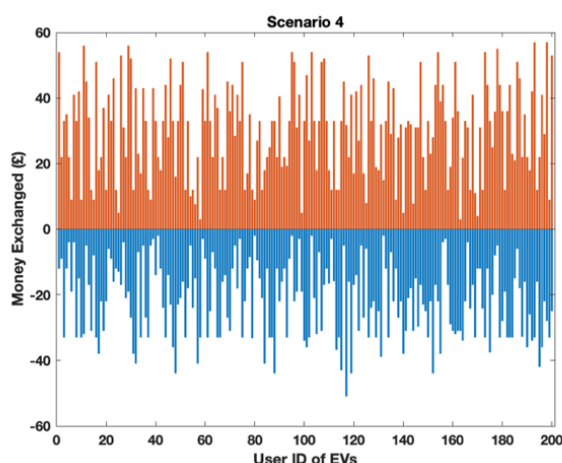
جدول ۱ نشان می‌دهد هر دو مالک EV و پارکینگ خطا کار هستند. (LOCP و FSOCFP جریمه‌های پارکینگ و ISOCFP و PTFP جریمه‌های مالکین EV هستند).

مقدار خالص پول مبادله‌شده ناشی از خرید یا فروش انرژی هر EV در ۲۴ ساعت در شکل ۴ نشان داده شده است.

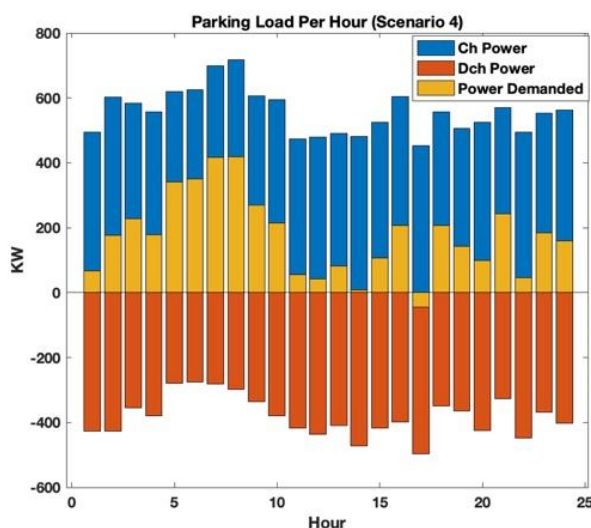
شکل ۵ مقدار بهینه توان شارژ شده و توان تخلیه شده پارکینگ را در هر ساعت نشان می‌دهد. هنگامی که قیمت برق طی شب ارزان‌تر باشد (زمان غیر اوج بار) پارکینگ EVها را شارژ و در زمان پیک که قیمت برق بالاتر است (زمان اوج مصرف) پارکینگ برق را به شبکه تزریق می‌کند. مقدار توان مبادلاتی پارکینگ به شدت به تقاضای مالکین EV و SOC خروج مورد نیاز آنها مرتبط است.

جدول ۱. مقادیر تراکنش مالی در سناریو ۱

LOCP	FSOCFP	ISOCFP	PTFP	سود خرید / فروش برق برای پارکینگ	سود خالص پارکینگ
-۳۸۸£	-۴۶۳۹£	۴۷۷۴£	۱۹۸۰۰£	۹۶۵£	۲۰۵۱۲£



شکل ۴. خرید و فروش برق برای هر EV در سناریو ۱



شکل ۵. تبادل توان پارکینگ در هر ساعت در سناریو ۱

ب) سناریو ۲

در این سناریو، مقداری حاشیه برای تحمل خطا رفتاری مالکین EV و پارکینگ در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر، EVها در این مورد دارای خطای ۲ کیلووات ساعت نسبت به SOC واقعی هستند. همچنین، ۲ ساعت خطا نسبت به زمان واقعی صرف شده در پارکینگ (t_a, t_d) نسبت به حالت مورد انتظار خواهند بود. به بیان دیگر، آن دسته از EVهایی که خطایی کمتر یا مساوی این مقادیر داشته باشند، خطاکار محسوب نشده و جریمه نمی‌شوند.

بر این اساس، در این سناریو تنها ۲۰ درصد از EVها خطا کار و ۲۰ درصد دیگر آن‌ها در سطح حاشیه خطا قرار دارند که دسته دوم بخشوده تلقی می‌شوند. بنابراین، از هر ۲۰۰ EV تعداد ۴۰ EV خطا کار و مابقی یعنی ۱۶۰ EV دیگر خطا کار نیستند. بنابراین، شرط این سناریو بر اساس موارد زیر است:

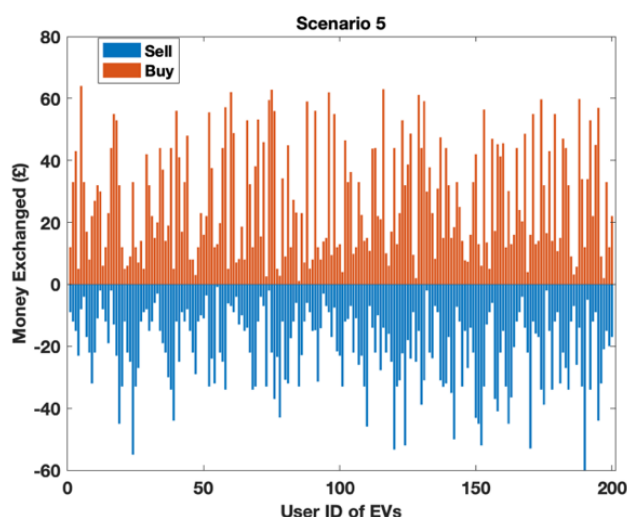
$$SOC_{exp}^a - SOC_{act}^a \leq 2, (t_{act}^a - t_{exp}^a) + (t_{exp}^d - t_{act}^d) \leq 2 \quad (16)$$

جدول ۲ تراکنش مالی محاسبه شده پس از حل مسئله بهینه‌سازی را نشان می‌دهد هم مالکین EV و هم پارکینگ خطا کار هستند.

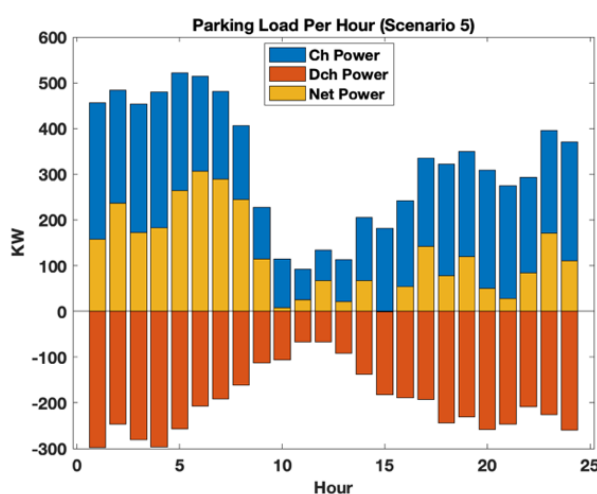
مقدار خالص پول مبادله شده که هر EV در ۲۴ ساعت خرید و فروش می‌کند در شکل ۶ نشان داده شده است. مقادیر بهینه توان‌های شارژ و دشارژ پارکینگ در هر ساعت نیز در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۲. مقادیر تراکنش مالی در سناریو ۲

LOCP	FSOCP	ISOCP	PTFP	سود خرید / فروش برق برای پارکینگ	سود خالص پارکینگ
-۶۶£	-۴۹۷۲£	۱۸۹۴£	۴۴۵۲£	۹۳۸£	۲۲۴۵£



شکل ۶. خرید و فروش برق برای هر EV در سناریو ۲



شکل ۷. تبادل توان پارکینگ در هر ساعت در سناریو ۲

ج) سناریو ۳

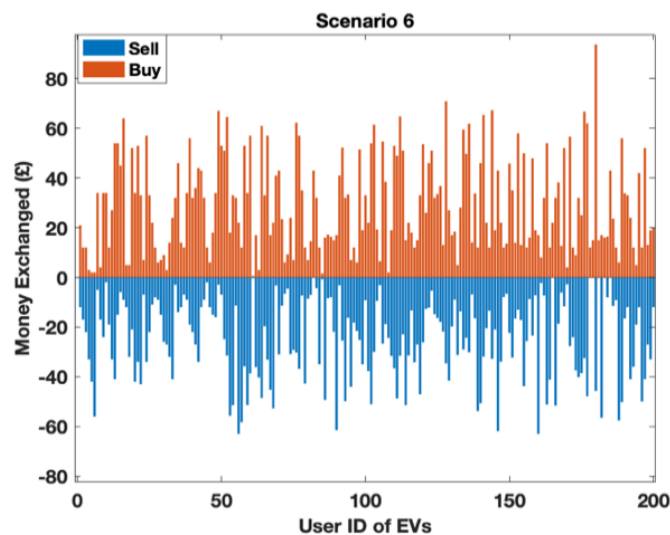
همان‌طور که در سناریوی ۲ گفته شد، مقداری انعطاف در SOC اولیه و خطا در زمان ورود و خروج EVها در نظر گرفته شده است. در این سناریو، برای تحلیل بیشتر سود پارکینگ، هیچ انعطافی در زمان در نظر گرفته نشده است. با این حال، خطا در SOC قابل بخشش است و EVها همچنان می‌توانند در این حالت‌های محدود تعریف‌شده در رابطه ۱۷ مقداری خطا داشته باشند.

$$SOC_{exp}^a - SOC_{act}^a \leq 2 \quad (17)$$

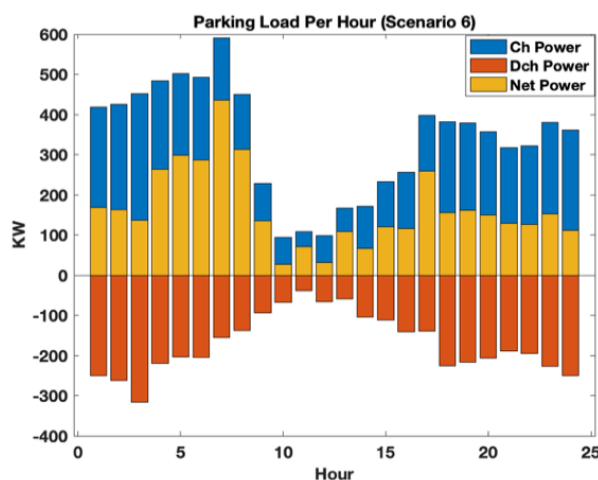
جدول ۳ تراکنش‌ها را برای حالتی که هر دو مالکین EV و پارکینگ خطا کار هستند، نشان می‌دهد (FSOCFP و LOCP). جریمه‌های پارکینگ و ISOCP و PTFP جریمه‌های مالکین EV هستند. شکل ۸ مقدار خالص پول مبادله‌شده هر EV در ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۹ مقدار بهینه توان‌های شارژ و دشارژ پارکینگ را در هر ساعت نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر تراکنش مالی در سناریو ۳

LOCP	FSOCFP	ISOCP	PTFP	سود خرید / فروش برق برای پارکینگ	سود خالص پارکینگ
۰.£	-۳۹۴۰.£	۲۳۱۶.£	۴۹۵۶.£	۱۰۵۳.£	۴۳۸۵.£



شکل ۸. خرید و فروش برق برای هر EV در سناریو ۳



شکل ۹. تبادل توان پارکینگ در هر ساعت در سناریو ۳

(د) سناریو ۴

در این سناریو، برای تحلیل بیشتر سود پارکینگ، هیچ تحمل حاشیه‌ای در SOC اولیه در نظر گرفته نشده است. با این حال، EVها همچنان می‌توانند در زمان ورود و خروج خطا داشته باشند و این نوع خطاهای قابل بخشش در رابطه ۱۸ تعریف شده است.

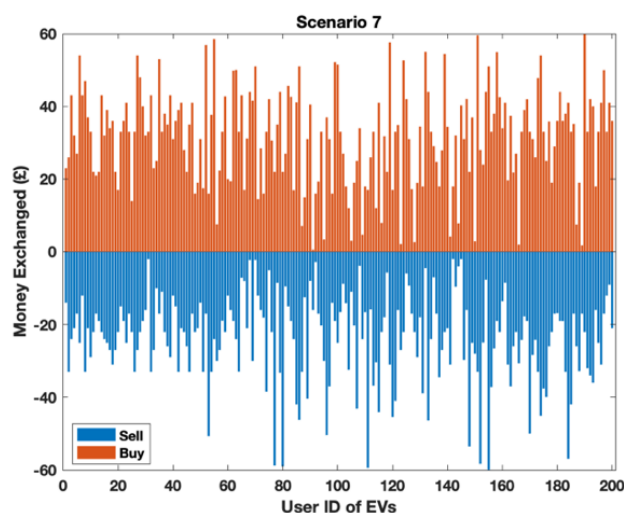
$$(t_{act}^a - t_{exp}^a) + (t_{exp}^d - t_{act}^d) \leq 2 \quad (18)$$

جدول ۴ تراکنش‌ها را در حالتی که هر دو مالکین EV و پارکینگ خطا کار هستند را نشان می‌دهد (FSOCFP و LOCP جریمه‌های پارکینگ و ISOCFP و PTFP جریمه‌های مالکین EV هستند).

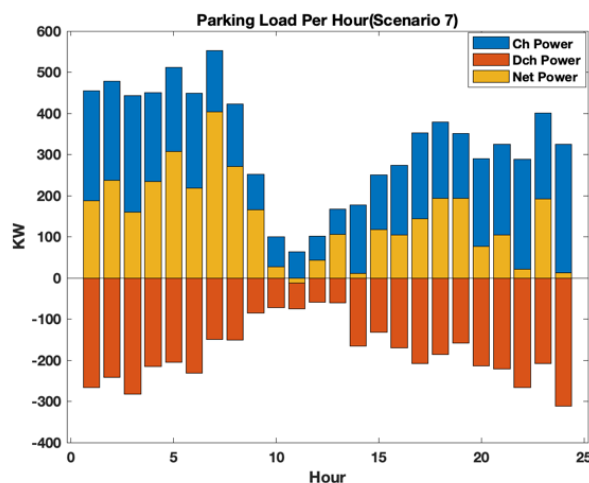
مقدار خالص پول مبادله شده که هر EV در ۲۴ ساعت خرید و فروش می‌کند در شکل ۱۰ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تقریباً نیمی از مالکین EVها می‌توانند سودی حاصل شده و EV خود را در روز شارژ کنند. مقادیر بهینه توان‌های شارژ و دشارژ پارکینگ در هر ساعت در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر تراکنش مالی در سناریو ۴

LOCP	FSOCFP	ISOCFP	PTFP	سود خرید / فروش برق برای پارکینگ	سود خالص پارکینگ
-۵۳£	-۴۲۴۷£	۱۹۹۵£	۷۱۶۱£	۱۰۹۲£	۵۹۴۷£



شکل ۱۰. خرید و فروش برق برای هر EV در سناریو ۴



شکل ۱۱. تبادل توان پارکینگ در هر ساعت در سناریو ۴

۳. نتایج آزمایش و بحث

جرایم مربوطه و تراکنش‌های پارکینگ در سناریوهای مختلف در جدول ۵ با هم مقایسه شده‌اند. در سناریوی ۱، مالکین EV خطا کار باید به پارکینگ جریمه بپردازند و پارکینگ نیز باید جریمه دیگری را به مالکین EV به دلیل عدم تأمین الزامات آن‌ها بپردازند. در مجموع، پارکینگ باید مبلغ ۵۰۲۷/۸۳ پوند به صاحبان EV بدون خطا بپردازد، زیرا پارکینگ آن‌ها را از نظر SOC و LOCP نهایی تأمین نکرده است. به دلیل تعداد بالای مالکین EV خطا کار در سناریوی ۱، پارکینگ مبلغ ۲۴۵۷۴ پوند را از EVهای خطا کار دریافت می‌کند. در مجموع در این سناریو پارکینگ بالاترین میزان سود را نسبت به سایر سناریوها دارد. مشاهده می‌شود اگر تعداد مالکین EV خطا کار افزایش یابد، سود پارکینگ نیز بیشتر خواهد داشت. در واقع، هر چقدر تعداد مالکین EV خطا کار بیشتر شود، سود بیشتری نصیب پارکینگ می‌شود که این سود از دریافت جریمه از مالکین EV خطا کار دریافت می‌شود. در سناریو ۲، مقداری انعطاف خطا و صرفنظر از رفتارهای نادقیق مالکین EV خطا کار در نظر گرفته شده است. به گونه‌ای که مالکین EV در این سناریو می‌توانند خطای ۲ کیلووات ساعت نسبت به SOC اولیه ورودی و خطای ۲ ساعت نسبت به زمان صرف شده در پارکینگ در حالت واقعی نسبت به حالت مورد انتظار داشته باشند؛ به این معنا که مالکین EV با خطای کمتر یا مساوی این مقادیر، خطا کار محسوب نشده و جریمه نمی‌شوند. جدول ۵ نشان می‌دهد در این سناریو، مقدار سود پارکینگ به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. در سناریو ۲، مشابه سناریو ۱، ۴۰ درصد از EVها خطا کار هستند. با این حال، با انعطاف‌پذیری خطا در این سناریو، سود کل پارکینگ تنها حدود ۱۱ درصد از کل سود پارکینگ در سناریو ۱ است. لذا، انعطاف‌پذیری خطا، به کاهش قابل توجه سود پارکینگ منجر شد.

در سناریو ۳، همان‌طور که انتظار می‌رفت، به دلیل انعطاف‌پذیری کمتر خطا در زمان‌های ورود و خروج در مقایسه با سناریو ۲، پارکینگ سود بیشتری نسبت به سناریو ۲ دریافت کرده است و مالکین EV خطا کار جریمه‌های بیشتری می‌پردازند. در این سناریو، سود پارکینگ در مقایسه با سناریو ۲ حدود ۱۰۰ درصد افزایش یافته است. با این حال، سود کل پارکینگ در سناریو ۳ برابر ۲۰ درصد از کل سود پارکینگ در سناریو ۱ است. این اعداد قابل انتظار بودند، زیرا هر چقدر سناریو برنامه‌ریزی پارکینگ انعطاف بیشتری داشته باشد جریمه کمتری از مالکین EV دریافت می‌شود و به تبع آن، سود دریافتی پارکینگ کاهش می‌یابد. در سناریو ۴، همان روند سناریو ۳ اعمال می‌شود که در آن به دلیل انعطاف‌پذیری خطای کمتر نسبت به سناریو ۲، پارکینگ سود بیشتری خواهد داشت. در این سناریو، هیچ حاشیه‌ای برای خطا در SOC اولیه وجود ندارد. بنابراین، سود کل SPL حدود ۲/۶ برابر بیشتر از سود کل در سناریو ۲ می‌شود.

نتایج اخذ شده در سناریوهای ۳ و ۴ نشان می‌دهند سناریو با حاشیه خطا در زمان سود بیشتری در مقایسه با SOC سود برای پارکینگ به دنبال خواهد داشت.

در مجموع، بیشترین سود خالص برای پارکینگ در سناریو ۱ و به مبلغ ۲۰۵۱۲ پوند بوده است، زیرا در این سناریو، هیچ‌گونه انعطاف و بخششی در صرفنظر کردن از خطای مالکین EV وجود ندارد. هر چقدر انعطاف بیشتری در نادیده گرفتن خطای مالکین EV اعمال شود، سود دریافتی پارکینگ از جریمه دریافتی مالکین EV افزایش می‌یابد. همچنین، کمترین سود خالص برای پارکینگ در سناریو ۲ و به مبلغ ۲۲۴۵ پوند است. این سود قابل انتظار بود، زیرا در این سناریو حداکثر انعطاف برای رفتار مالکین EV در نظر گرفته شده است.

لذا، سناریوهای اعمالی با موفقیت روی مدل پیشنهادی در برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ هوشمند IoT در حضور رفتار نامعین مالکین EV اجرا شده است.

جدول ۵. تبادل پول در تمام سناریوها

شماره سناریو	LOCP	FSOCFP	ISOCFP	PTFP	سود خرید / فروش برق برای پارکینگ	سود خالص پارکینگ
۱	-۳۸۸۴	-۴۶۳۹۴	۴۷۷۴۴	۱۹۸۰۰۴	۹۶۵۴	۲۰۵۱۲۴
۲	-۶۶۴	-۴۹۷۲۴	۱۸۹۴۴	۴۴۵۲۴	۹۳۸۴	۲۲۴۵۴
۳	۰۴	-۳۹۴۰۴	۲۳۱۶۴	۴۹۵۶۴	۱۰۵۳۴	۴۳۸۵۴
۴	-۵۳۴	-۴۲۴۷۴	۱۹۹۵۴	۷۱۶۱۴	۱۰۹۲۴	۵۹۴۷۴

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، نوعی الگوریتم مبتنی بر PSO برای برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ EVها در پارکینگ هوشمند lot در حضور رفتارهای نامعین مالکین EV ارائه شد. الگوریتم به گونه‌ای طراحی شد که امکان تبادل توان بین EVها، پارکینگ و شبکه بالادستی برق میسر است. محدودیت‌های عملیاتی، قوانین و محدودیت‌ها برای تعامل پارکینگ، EVها و شبکه بالادست ارائه شد. جریمه‌های متفاوتی برای بهبود عملکرد طرح در نظر گرفته شد. به علاوه، به منظور واقعی‌تر کردن عملکرد پارکینگ، انعطاف‌پذیری در خطاهای مالکین EV و پارکینگ در نظر گرفته شده است.

الگوریتم پیشنهادی روی برنامه‌ریزی EV ۱۵۰ در پارکینگ با ظرفیت EV ۲۰۰ در سناریوهای مختلف با موفقیت اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند بیشتری سود خالص با مبلغ ۲۰۵۱۲ پوند در سناریو ۱ نصیب پارکینگ شده است، زیرا در این سناریو هیچ‌گونه انعطاف و بخششی در خطای مالکین EV در زمان‌بندی و مقدار شارژ و دشارژ EV لحاظ نشده است. به طبع، سود بیشتری از دریافت جریمه از مالکین EV نصیب پارکینگ می‌شود. با افزایش انعطاف در خطای مالکین EV سود دریافتی پارکینگ کاهش یافت، به گونه‌ای که در سناریو ۲ سود پارکینگ به حداقل مقدار یعنی مبلغ ۲۲۴۵ پوند کاهش می‌یابد، زیرا در این سناریو، بیشترین انعطاف در خطای مالکین EV در نظر گرفته شده است. در سایر سناریوها نیز نتایج مشابهی قابل استنتاج است.

منابع

- [1] Kavyani K, Azimzadeh AM, Afzali A, Tahmasbi BR, Saremi MS. A Study of France's Energy Outlook for 2050 Focusing on the Analysis of Global Energy Supply Trends. 2025;4(4); 463-486. [https:// 10.22059/ses.2025.392926.1133](https://10.22059/ses.2025.392926.1133)
- [2] Ahmadi H, Mirjalali SR, Yazdani A, Razeghi M. Application of renewable energies in the food industry for cooling and heating. Journal of sustainable Energy Systems. 2024 Sep 10;3(3):303-22. [https:// 10.22059/ses.2024.383265.1101](https://10.22059/ses.2024.383265.1101)
- [3] Fallah-Mehrjardi O, Yaghmaee MH, Leon-Garcia A. Charge scheduling of electric vehicles in smart parking-lot under future demands uncertainty. IEEE Transactions on Smart Grid. 2020;11(6):4949-59. [https:// 10.1109/TSG.2020.3000850](https://10.1109/TSG.2020.3000850)
- [4] Sun D, Kyere F, Sampene AK, Asante D, Kumah NY. An investigation on the role of electric vehicles in alleviating environmental pollution: evidence from five leading economies. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(7):18244-59. [https:// 10.1007/s11356-022-23386-x](https://10.1007/s11356-022-23386-x)
- [5] Andersson Ö, Börjesson P. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. Applied Energy. 2021;289:116621. [https:// doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116621](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116621)
- [6] <https://www.iea.org/programmes/electric-vehicles-initiative>
- [7] "Plug-in electric vehicles sales," Feb.10.2020. [Online] <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1057-november-26-2018-one-million-plug-vehicles-have-been-sold-united>
- [8] "Ban on new petrol and diesel cars in UK from 2030 under PM's green plan," Nov.18.2020. Accessed on Jan.07.2021. [Online]. Available: <https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-54981425>
- [9] Honarmand M, Zakariazadeh A, Jadid S. Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition. Energy. 2014;65:572-9. [https:// doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.045](https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.045)
- [10] Tabari M, Yazdani A. An energy management strategy for a DC distribution system for power system integration of plug-in electric vehicles. IEEE Transactions on Smart Grid. 2015;7(2):659-68. [https:// 10.1109/TSG.2015.2424323](https://10.1109/TSG.2015.2424323)
- [11] Abdelaziz MM, Abdelaziz AY, El-Sehiemy RA, Rashad BA. Optimal Scheduling of Electric Vehicle Charging and Discharging Using two Optimization Paradigms. Results in Engineering. 2025;108768. [https:// 10.1016/j.rineng.2025.108768](https://10.1016/j.rineng.2025.108768)
- [12] Mirzaei MJ, Kazemi A, Homaei O. RETRACTED: Real-world based approach for optimal management of electric vehicles in an intelligent parking lot considering simultaneous satisfaction of vehicle owners and parking operator. Energy. 2014;76:345-56. [https:// doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.026](https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.026)
- [13] Jiang W, Zhen Y. A real-time EV charging scheduling for parking lots with PV system and energy store system. IEEE Access. 2019;7:86184-93. [https:// 10.1109/ACCESS.2019.2925559](https://10.1109/ACCESS.2019.2925559)
- [14] Ghosh A, Aggarwal V. Control of charging of electric vehicles through menu-based pricing. IEEE Transactions on Smart Grid. 2017;9(6):5918-29. [https:// 10.1109/ICC.2017.7997119](https://10.1109/ICC.2017.7997119)
- [15] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, WA, Australia. 1995;36:1942-1948. [https:// 10.1109/ICNN.1995.488968](https://10.1109/ICNN.1995.488968)
- [16] Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer. In Evolutionary computation proceedings. 1998;890:69-73. [https:// 10.1109/ICEC.1998.699146](https://10.1109/ICEC.1998.699146)
- [17] Chen Q, Chen Y, Jiang W. Genetic particle swarm optimization-based feature selection for very-high-resolution remotely sensed imagery object change detection. Sensors. 2016 Jul 30;16(8):1204. [https:// doi.org/10.3390/s16081204](https://doi.org/10.3390/s16081204)
- [18] Kelley TR. Optimization, an important stage of engineering design. The Technology Teacher. 2010;69(5):18. [https:// 10.1109/ICEC.2010.477116](https://10.1109/ICEC.2010.477116)
- [19] Eiben AE, Raue PE, Ruttkay ZS. Genetic algorithms with multi-parent recombination. In International conference on parallel problem solving from nature. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 1994;78-87. [https:// 10.1007/3-540-58484-6_252](https://10.1007/3-540-58484-6_252)

- [20] Alinejad M, Rezaei O, Kazemi A, Bagheri S. An optimal management for charging and discharging of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle owner's random behaviors. Journal of Energy Storage. 2021 Mar 1;35:102245. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102245>