سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

**Summer 2024, 5 (2), 33-43**
**DOI: 10.71856/impcs.2024.903610**

**Received: 8 Apr 2024**
**Accepted: 27 May 2024**

**مقاله پژوهشی**

# Optimal Allocation of Electric Vehicle charging Parking Lots in the Distribution System with Reliability Evaluation

**Mohammad Reza Fadavi Amiri[1*], Yaser Barari[2]**

1. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Shomal University, Amol, Iran. **Corresponding Author*, fadavi@shomal.ac.ir
2. MSc, Electrical Engineering, Aryan Institute of Science & Technology, Babol, Iran.

## Abstract

**Introduction:** The increase in the number of PEVs in recent years requires solving the challenges related to them, such as providing charging and discharging infrastructure and managing load changes caused by charging cars on the distribution network. PEVs spend a significant amount of time in the parking mode. Therefore, the use of electric energy stored in PEVs batteries using the vehicle-to-grid capability plays a significant role in solving the challenges of the distribution network in the coming years. Charging parked PEVs during off-peak periods and discharging them during peak times is an interactive strategy between electric vehicles and the distribution network in order to improve or solve challenges. As a result of these mutual effects, in the planning and management of the charging of these PEVs, the indicators of the distribution network such as energy losses, voltage profile, reliability, etc..., are always considered. Therefore, it is very important to allocate a suitable PL based on technical and economic issues. Reducing the unsupplied energy in the distribution network, by using the energy stored in the batteries of PEVs, increases the reliability of the network.

**Method:** In this research, a model based on mixed-integer linear programming is proposed to determine optimal location and capacity of PEV's parking lots with the aim of maximizing the profit of PL owners Also, a method for measuring the reliability of the distribution network has been proposed. In the proposed model, the goals of trips, the number of PEVs and their arrival and departure times in different areas, based on the type of trip, are taken into account. The constraints of the distribution network are also taken into account using linearized equations for distribution power flow. The suggested model has been implemented in a distribution system with 37 buses, which includes four different areas in terms of the type of vehicle travel.

**Results:** The results show the effectiveness of the proposed model for locating electric vehicle's PLs and measuring the reliability of the network.

**Discussion:** Three case studies were evaluated in this paper. In the first case study, the state of losses and the reliability of the network under test, along with verification, have been checked before the parking lot is set up; In the second case study, the primary goal of the presented model is to maximize the profit of the parking lot investor, and in this case, the maximum profit that can be obtained is calculated as 3.735 million dollars, and also in the second step, the reliability of the network is measured under The study found that the parking lots in the system were effective in increasing the reliability of the network by 1.4%. In the third case study, it has been determined that moving the location of the parking lots can have a positive effect on the reliability of the network.

**Keywords:** Charging parking, parking placement, electric vehicle, reliability, mixed integer linear programming (MILP).

سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)
انجمن علمی تجارت الکترونیکی ایران
واحد نجف‌آباد

# تخصیص بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی در سیستم توزیع با ارزیابی قابلیت اطمینان

تاریخ دریافت: ۲۰/ ۰۱/ ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش:۰۷/ ۰۳/ ۱۴۰۳

دورهٔ پنجم، تابستان ۱۴۰۳
شمارهٔ دوم، صص: ۳۳-۴۳

**محمدرضا فدوی‌امیری[1*]، یاسر براری[2]**

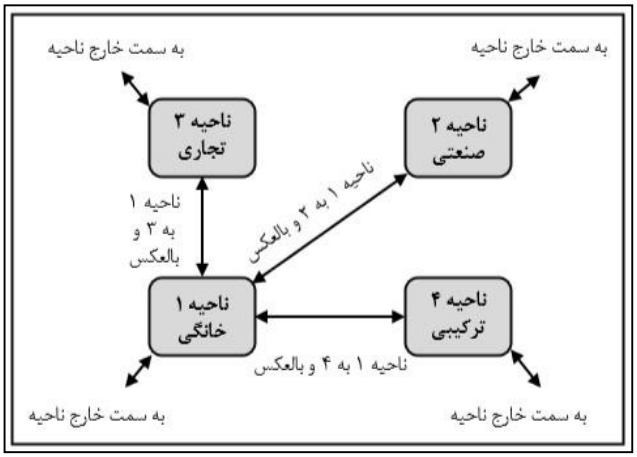
۱- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شمال، آمل، ایران(نویسندهٔ مسئول).fadavi@shomal.ac.ir
۲- کارشناسی ارشد مهندسی برق، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، مؤسسه آموزش عالی علوم و فناوری آریان، بابل، ایران.
y.barari@aryan.ac.ir

**چکیده:** افزایش تعداد خودروهای برقی در سالیان اخیر، مستلزم رفع چالش‌های مرتبط با آن‌ها مانند فراهم‌نمودن زیرساخت‌های شارژ و دشارژ و مدیریت تغییرات بار ناشی از شارژ خودروها بر شبکه توزیع می‌باشد. اکثر خودروها در بیشتر اوقات شبانه‌روز به شکل پارک‌شده می‌باشند؛ بنابراین بهره‌برداری از انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در باتری خودروها با استفاده از قابلیت خودرو به شبکه، در سال‌های آتی نقش به‌سزایی در رفع چالش‌های شبکه توزیع دارد. شارژخودروهای پارک‌شده در زمان کم‌باری و دشارژ آن‌ها در زمان پرباری، راهبرد تعاملی بین خودرو برقی و شبکه توزیع، در جهت بهبود یا رفع چالش‌ها است. در نتیجه این تأثیرات متقابل، در برنامه‌ریزی و مدیریت شارژ این خودروها، شاخص‌های شبکه توزیع مانند تلفات انرژی، پروفیل ولتاژ، قابلیت اطمینان و... همواره مورد توجه می‌باشد. ازاین‌رو، جایابی و تعیین ظرفیت مناسب پارکینگ، با درنظرگرفتن عوامل فنی و اقتصادی، بسیار مهم است. در این پژوهش، مدلی براساس برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح، به منظور جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی با هدف بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار پارکینگ‌ها ارائه، همچنین روشی برای سنجش تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع پیشنهاد شده‌است. در مدل پیشنهادی، مقاصد سفرها، تعداد خودروها و ساعات ورود و خروج آن‌ها در نواحی مختلف، بر اساس نوع سفر لحاظ‌می‌گردد. محدودیت‌های شبکه توزیع نیز با استفاده از معادلات خطی‌شده پخش بار درنظرگرفته‌می‌شوند. مدل ارائه‌شده در یک سیستم توزیع با ۳۷ شین که شامل چهار ناحیه مختلف از نظر نوع سفر خودروها می‌باشد، پیاده‌سازی‌شده‌است. نتایج حاصل، کارایی مدل ارائه‌شده برای مکان‌یابی پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی و تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه را نشان‌می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پارکینگ شارژ، جایابی پارکینگ، خودروی برقی، قابلیت اطمینان، برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح (MILP).

## ۱. مقدمه

آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در دهه‌های گذشته، کره زمین را با معضلات زیست‌محیطی چشمگیری روبه‌رو کرده‌است. این امر موجب توجه دولت‌ها به جایگزینی خودروهای بنزینی با خودروهای برقی(EV[1]) در ابعاد گسترده شده‌است[۱]. با پذیرش خودرو برقی به عنوان عضو مشترک سیستم حمل و نقل و سیستم الکتریکی، هر دو سیستم با فرصت‌ها و چالش‌های جدیدی مواجه‌می‌شوند؛ لذا به‌نظرمی‌رسد تأمین رضایت در هر دو سیستم، مستلزم رسیدن به نقطه بهینه‌ای با حفظ قابلیت اطمینانی قابل‌قبول است. از روش‌هایی که می‌توان در جهت بهبود عملکرد ایمن سیستم توزیع (با نفوذ بالای خودروهای برقی) به‌کاربرد، جابه‌جایی زمان شارژ خودروها به زمان کم‌باری است؛ کاهش تلفات انرژی و صرفه‌جویی ۵ تا ۳۵ درصدی در هزینه سرمایه‌گذاری مورد نیاز، با این راه‌کار انجام‌می‌پذیرد[۲]. فناوری خودرو به شبکه (V2G[2]) همچنین در پی حضور ماشین های برقی ارائه‌گردید. با توجه به زمان پارک بالای اکثر خودروها در پارکینگ، اگر این مراکز، مجهز به تکنولوژی V2G باشند، می‌توان با مدیریت ظرفیت باتری خودروها، از این انرژی بهره‌مندشد. با درنظرگرفتن اثربخشی خودورهای برقی در شبکه قدرت، توسعهٔ سیستم‌های توزیع، رابطه تنگاتنگی با به‌کارگیری انرژی الکتریکی ذخیره‌ای در باتری ماشین‌هایی که به شبکه متصل‌اند دارد؛ همچنین خودروهای متصل به شبکه هنگام قطع جریان برق می‌توانند قابلیت اطمینان شبکه را نیز (با تزریق توان به شبکه) افزایش دهند. در شکل (۱) انواع سفرها در این مدل نمایش‌آمده‌است.




**شکل ۱: انواع سفر خودروها در نواحی مختلف [۳]**

وجود تکنولوژی V2G در پارکینگ‌ها موجب‌می‌شود تا خودرو برقی در شبکه توزیع گونه نوینی از مخازن انرژی توزیع‌شده (DER[3]) به‌حساب‌آید؛ بدین ترتیب در برنامه‌ریزی آن‌ها، شاخص‌های سیستم توزیع مانند تلفات، پایداری ولتاژ، قابلیت اطمینان و ... درنظرگرفته‌می‌شود[۳].

## ۲. مفاهیم کلی مرتبط با خودروهای برقی

خودروی برقی، خودرویی است که نیروی محرکه مورد نیاز آن از حداقل یک موتور الکتریکی فراهم‌می‌شود [۴]. در سالیان اخیر، ظهور باتری‌هایی با ظرفیت بالا و همچنین ضرورت کاهش گازهای گلخانه‌ای به‌دلیل مشکلات زیست‌محیطی و به‌علاوه، دغدغه‌هایی درخصوص هزینه تأمین و تجدیدناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی، موجب‌شد تا انقلابی در صنعت خودروسازی صورت‌پذیرد. به‌دلیل آلودگی کمتر و بازدهی بیشتر خودروهای برقی، از آن‌ها با عنوان خودروهای سبز یا وسایل نقلیه دوستدار محیط زیست یادمی‌شود. با وجود این که انرژی مورد نیاز جهت شارژ این وسایل نقلیه از طریق نیروگاه‌ها که قسمت گسترده‌ای از آن‌ها از سوخت‌های فسیلی تغذیه‌می‌شوند، فراهم‌می‌گردد؛ امّا پژوهش‌های انجام‌شده مشخص نموده است که آلاینده‌های ناشی از به‌کارگیری خودروهای برقی، بسیار کمتر از آلاینده‌های حاصل از خودروهای احتراقی می‌باشد؛ پذیرش نقش این خودروها در سیستم ترافیکی و شبکه توزیع، در درجه اول، مستلزم تأمین انرژی محرکه آن‌هاست. پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی (EVPL[4]) یکی از این مراکزند که صاحب خودرو می‌تواند خودروی خود را در آنجا شارژکند. از سوی دیگر، با توجه به دور بودن بیشتر مراکز تولید برق از حوزه‌های شهری، آلاینده‌های ناشی از آن‌ها، در مقایسه با خودروهای احتراقی، ساکنان شهرهای بزرگ را کمتر متأثر می‌سازد [۵ و ۶].

تولید خودروهای برقی با درنظرگرفتن شرایط و محدودیت‌ها، در انواع متفاوت انجام‌می‌پذیرد. خودروهای برقی را بر مبنای قابلیت اتصال به شبکه، می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی‌کرد:

- خودروهای برقی قابل‌اتصال به شبکه
- خودروهای برقی غیرقابل‌اتصال به شبکه

شارژ خودروهای الکتریکی به دو روش کلی زیر تقسیم‌بندی‌می‌شوند [۷]:

۱- شارژ کنترل‌شده (CCM[5])

در این روش، شارژ و نحوه زمان‌بندی آن، به‌طور مستقیم و توسّط یک عامل کنترل‌کننده تعیین می‌شود.

۲- شارژ کنترل‌نشده (UCM[6])

شارژ خودروها در این حالت، به صورت دلخواه و بدون هیچ محدودیت و کنترلی، توسط کاربر انجام‌می‌شود.

## ۳. پیشینه پژوهش

به‌دلیل اینکه وسایل نقلیه برقی، جایگزین امیدبخشی برای جلوگیری از افزایش آلاینده‌های هوا و مصرف جهانی سوخت‌های فسیلی در شبکه‌های هوشمند آتی ارائه‌می‌دهند، پژوهش‌ها و مقالات بسیاری در زمینه برنامه‌ریزی و طراحی بهینه (جایابی و تعیین ظرفیت) پارکینگ خودروهای برقی با درنظرداشتن عوامل متعددی مانند اهداف شبکه توزیع همچون تلفات، پایداری ولتاژ، قابلیت اطمینان، الگوی بار سیستم

توزیع یا الگوی ترافیک شهری، رفاه مالکان خودرو و مانند این‌ها، با به‌کارگیری روش‌های گوناگون از قبیل الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی تجمع ذرات، برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته و تکنیک‌های دیگر، جهت جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ خودروهای برقی و با هدف بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار یا کمینه‌سازی هزینه از دید بهره‌بردار سیستم توزیع، و یا به‌شکل ترکیبی از این دو صورت گرفته‌است.

در سال ۲۰۱۵ یک مدل چندهدفه، به‌منظور تخصیص بهینه پارکینگ خودروهای برقی، با هدف کمینه‌سازی هزینه شبکه توزیع پیاده‌شده‌است. به‌علاوه از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جمعیت زنبور عسل، کرم شب‌تاب و ازدحام ذرات استفاده‌شده‌است. سیستم مطالعاتی با توجه به مقاصد سفر خودروها به دو ناحیه مسکونی و تجاری تفکیک شده و دو نوع پارکینگ تجاری و مسکونی، بر اساس مکان احداث پارکینگ‌ها درنظر گرفته‌شده تا با برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها بتوان از شبکه در ساعات اوج بار، پشتیبانی‌کرد. لذا بهره‌گیری از پارکینگ خودروهای الکتریکی، موجب کمترشدن توان تزریقی از شبکه و نهایتاً پایین‌آمدن هزینه کل شبکه توزیع و نیز تلفات، می‌شود[۸].

در پژوهشی دیگر یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه برای پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی، با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های احداث و بهره‌برداری شبکه توزیع و بیشینه‌سازی میزان سالیانه پوشش جریان ترافیکی خودروها پیاده‌شده‌است؛ به‌علاوه از مدل تصادفی پیشنهادی، دو متغیر زمان شروع شارژ و مدت‌زمان اجرای فرآیند شارژ جهت لحاظ‌نمودن عدم‌قطعیت‌های مربوط به بار ناشی از شارژ باتری خودروها نیز استفاده‌شده‌است[۹].

در سال ۲۰۱۹ پژوهشی انجام‌شده که در آن ابتدا از تئوری زنجیرهٔ سفر برای تشریح چگونگی حرکت خودروها استفاده و بر اساس توزیع استاتیکی جریان ترافیک، یک مدل شبه‌دینامیکی برای نشان‌دادن تأثیر ترافیک شهری درنظرگرفته‌شده‌است. سپس با استفاده از زنجیره مونت کارلو تأثیر عدم‌قطعیت رفتار مالکان خودروها محاسبه‌شده‌است. در این مورد مطالعاتی، تأثیر نفوذ گسترده خودروها، آستانه دشارژ و ظرفیت باتری‌ها بر قابلیت اطمینان شبکه توزیع و همچنین خودروها مورد مطالعه قرارگرفته‌است[۱۰].

سال ۲۰۱۹ مطالعه‌ای درخصوص پتانسیل مشارکت پارکینگ‌ها برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آینده صورت‌گرفت. در این پژوهش شاخص‌های قابلیت اطمینان با در نظرگرفتن مدل اتفاقی برای SOCخودروها و همچنین دردست‌داشتن داده‌های خروج اجزا و قطعی بار محاسبه و برای ارزیابی کلی، یک الگوریتم ترکیبی بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو به‌کارگرفته‌شد[۱۱].

در پژوهشی در سال ۲۰۲۲ دو نوع پارکینگ شارژ برای مکان‌های تجاری، منظور گردیده‌است؛ در نوع اول جایگاه‌های شارژ با هدف کار یا پارکینگ خودروها راه‌اندازی‌شده که خودرو می‌تواند ساعاتی بلااستفاده باقی‌بماند و در نوع دوم مراکزی مانند بیمارستان یا مراکز خرید می‌باشند، که خودرو ساعات کمتری در آن‌ها توقّف دارد. هدف دوم، بهینه‌سازی نرخ رسیدن خودروها به پارکینگ به‌منظور تعیین ظرفیت بهینه است. الگوی ورود خودروها به پارکینگ از فرآیند پوآسن و خدمات‌رسانی به آن‌ها، از توزیع نمایی تبعیت‌کند. هدف اول در این پژوهش، ارائه مدلی به‌منظور تخصیص بهینه پارکینگ و هدف دوم بهینه‌سازی نرخ رسیدن خودروها به ایستگاه، جهت تعیین ظرفیت بهینه است. جهت پیاده‌سازی مدل و مشخص‌نمودن ظرفیت پارکینگ، از مدل صف مارکوف استفاده‌شده‌است. در بهینه‌سازی تقاضای کاربر، بیشینه‌سازی رفاه اجتماعی و بهینه‌کردن اندازه تجهیزات نیز لحاظ گردیده‌است که نهایتاً ظرفیت بهینه پارکینگ تعیین‌می‌گردد. بر اساس نتایج این پژوهش با بیشترشدن نرخ شارژ، هزینه اتلاف وقت، کاهش یافته؛ با این وجود، هزینه کلی پارکینگ، در ابتدا کمتر ولی در ادامه، بیشتر می‌شود[۱۲].

در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۲ یک مدل دو لایه‌ای اتفاقی برای تخمین میزان تقاضای بار برای شارژ باتری خودروها درنظرگرفته‌شده‌است. این مدل شامل یک لایه ترافیکی برای نشان‌دادن توزیع فضایی زمانی خودروها و یک لایه الکتریکی برای نمایش میزان تقاضای بار برای شارژ باتری خودروها می‌باشد. یک مدل مارکوف دینامیکی پنهان، برای تفسیر حرکت خودروها درنظرگرفته‌شده‌است[۱۳].

تعیین مکان بهینه پارکینگ با درنظرگرفتن مسائل فنی و اقتصادی، حائز اهمیت است. از طرفی، سیستم توزیع، تدریجاً با تقاضای زیاد شارژ خودروهای برقی روبه‌رو خواهدگردید که این موضوع، چالش به‌مخاطره‌افتادن قابلیت اطمینان شبکه توزیع برق را به همراه دارد. به این علت که قابلیت اطمینان می‌تواند یک عامل محدودکننده اساسی در عملکرد سیستم توزیع باشد.

با توجه به تحقیقات انجام‌شده مشاهده‌می‌شود که در این پژوهش‌ها مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ خودروهای الکتریکی، همراه با ارائه شاخصی به‌منظور ارزیابی قابلیت اطمینان نبوده، که در این مقاله به این موضوع پرداخته‌شده و حل مسأله بهینه‌سازی مربوطه، با برنامه‌ریزی خطی انجام‌گرفته‌است.

مدل‌سازی با هدف بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار پارکینگ انجام‌گرفته‌است. همچنین نوآوری پژوهش ارائه رابطه جدیدی برای سنجش تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد.

## ۴. معرفی مدل پیشنهادی برای جایابی پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی

در این بخش، مدل تک‌مرحله‌ای جهت مشخص‌نمودن مکان و ظرفیت پارکینگ‌ها، با وجود شبکه ترافیکی چندناحیه‌ای درنظرگرفته‌می‌شود. بار حاصل از شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌های خودروها، امکان ایجاد چالش قابلیت اطمینان در سیستم توزیع برق را به همراه خواهدداشت. فرضیات درنظرگرفته‌شده در مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

- در مطالعات پخش‌بار، از معادلات پخش‌بار خطی‌شده بهره گرفته شده‌است.

- در تعیین بار سیستم توزیع، عدم‌قطعیت، لحاظ‌شده و الگوی حضور خودروها در پارکینگ‌ها نیز بر حسب داده‌های تاریخی مشخص می‌گردد.

- درصورتی‌که در پی حضور پارکینگ‌ها، تلفات سیستم توزیع نسبت به حالت اولیه آن افزایش‌یابد؛ پرداخت هزینه مربوط به عهده مالک پارکینگ‌ها است.

- هزینه استهلاک باتری به تمامی خودروهای شرکت‌کننده در برنامه V2G پرداخت‌می‌گردد.

- قبل از ترک پارکینگ، صاحبان خودروهای برقی، مقدار کمینه‌ای را برای SOC باتری خودروی خود، مشخص‌می‌کنند.

- احتمال فراخوانی رزرو ۰/۰۱ درنظرگرفته‌شده‌است. لازم به ذکر است برای محاسبه دقیق‌تر، باید مسأله به‌صورت برنامه‌ریزی تصادفی حل‌شود.

- درخصوص خودروهای پارک‌شده در ناحیه خانگی، به‌علت نبود پارکینگ‌های شارژ عمومی، مکان متمرکزی جهت شارژ آن‌ها وجودنداشته و بنابراین بار متناظر با میزان شارژ آن‌ها به نسبت، روی باس‌های موجود در ناحیه تقسیم‌می‌گردند؛ با این حال پارکینگ‌های شارژ می‌توانند در دیگر نواحی با لحاظ‌کردن الگوی ترافیکی ناحیه‌های مختلف و قیود شبکه توزیع راه‌اندازی‌شوند.

- کلیه خودروهای واردشده به هر ناحیه، در پارکینگ‌های احداث‌شده در آن ناحیه، پارک‌کرده و بنابراین محدودیتی از نظر تعداد جایگاه‌های شارژ وجود نخواهدداشت

- مبادله توان پارکینگ‌ها با شبکه، بر اساس قیمت ساعتی بازار انرژی، انجام‌می‌شود؛ با این وجود، قیمت انرژی فروخته‌شده به خودروها در پارکینگ ( $\pi_{i,t}^{G2V}$)، کمتر از قیمت بازار است. (فروش انرژی به خودروها با قیمت کمتر، به صورت یک طرح تشویقی، جهت افزایش حضور خودروهای برقی در پارکینگ‌ها، توسّط مالکان پارکینگ‌ها، در نظرگرفته‌می‌شود).

- تعداد خودروهای ورودی به پارکینگ‌های هر ناحیه و خارج‌شده از آن‌ها، به صورت پارامترهای معلوم درنظرگرفته‌می‌شود، که این تعداد بر پایه مطالعات آماری خودروها مدل‌می‌گردد؛ به‌علاوه ظرفیت کلی باتری‌های خودروها، به شکل پارامترهای معلوم لحاظ‌می‌شود.

- حوزه شهری تحت مطالعه، بر اساس مقاصد سفر خودروها، به چهار ناحیه خانگی، صنعتی، تجاری، و ترکیبی (ترکیبی از مقاصد تجاری و صنعتی) تقسیم‌می‌گردد.

- برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه توزیع، در ابتدای تمامی شاخه‌ها، سکسیونر درنظرگرفته‌شده‌است.

- با توجه به میزان بار شبکه و سطح شارژ پارکینگ‌ها، در صورتی که پیشامد احتمالی در ساعات ۱۲ تا ۱۵ رخ‌دهد، امکان تغذیه بار شبکه توسط پارکینگ‌ها، وجودخواهدداشت.

- بار شبکه به صورت کنترل‌نشده فرض‌می‌گردد.

- در صورت عدم امکان تأمین بار یک شین توسط یک پارکینگ، امکان تأمین بار شینه‌های بعدی در آن مسیر، بررسی‌نمی‌شود.

در این پژوهش، تابع هدف، جایابی و مشخص‌کردن ظرفیت بهینه پارکینگ‌های خودروهای برقی، با هدف بیشینه‌سازی سود مالک پارکینگ‌ها در مدت‌زمان دوره برنامه‌ریزی است که این سود، به‌صورت معادل یکنواخت سالانه، یعنی سود معادل به‌ازای ۳۶۵ روز، درنظرگرفته‌شده‌است. تفاضل مجموع درآمدها در تمام الگوهای تردد خودروها، در تمام نواحی شبکه و در تمام زمان‌ها، از هزینه کل آن‌ها، برابر سود کل پارکینگ‌ها خواهدبود، تابع هدف مطابق رابطه (۱) ارائه‌می‌گردد:

$$Maximize\ profit^{PL} = N_d \cdot \sum_i \sum_t \left(Revenue_{i,t}^{PL}\right) - cost^{PL} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، d نرخ تنزیل و n تعداد سال‌های برگشت سرمایه است.

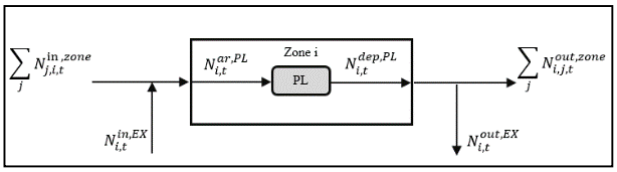
معادلات پخش بار AC خطی‌شده، به‌منظور محاسبه تابع تلفات انرژی، بر روی شبکه توزیع شعاعی حل‌می‌شود. همچنین روابط ۲ و ۳ نیز برای ازدست‌رفتن بار درنظرگرفته‌شده‌اند.

$$loss_t = \sum_l R_l \left(i_{l,t}\right)^2 \qquad (۲)$$

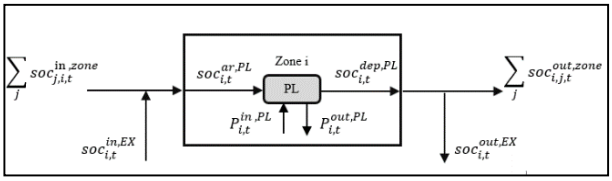
$$c^{loss} = N_d \cdot \sum_p \sum_t \left(loss_t - loss_{0,t}\right) \cdot \pi_t^E \qquad (۳)$$

### ۱،۴. قیود مسئله

تعداد خودروهای ورودی به پارکینگ‌های هر ناحیه و خروجی از آن‌ها و نیز ظرفیت کلی باتری‌های خودروهای الکتریکی به‌صورت پارامترهای معلوم لحاظ‌می‌گردند، که این مقادیر بر اساس داده‌های تاریخی و آماری در شبکه حمل و نقل مدل‌سازی گردیده‌است. شکل (۲) و (۳) این الگوها را نمایش‌می‌دهند.




**شکل ۲: نمودار الگوی ورود و خروج خودروها در ناحیه *i* [۳]**




**شکل ۳: نمودار الگوی شارژ خودروها در ناحیه *i* [۳]**

از رابطه (۴) برای برگزیدن نقطه احداث پارکینگ استفاده‌می‌شود.

$$si_b^{PLA} \le Can_b^{PLA} \qquad (۴)$$

به‌منظور ایجاد محدودیت کمینه و بیشینه در نصب پارکینگ‌ها در هر ناحیه، از رابطه (۵) استفاده‌شده‌است.

$$min_i^{PL} \le \sum_b si_{b,i}^{PLA} \le max_i^{PL} \qquad (۵)$$

تعادل توان اکتیو و راکتیو در باس موردنظر b، در روابط (۶) و (۷) کنترل می‌گردد.

$$p_{b,t}^{Sys,in}|_{b=1} + p_{b,t}^{PLA,out} - p_{b,t}^{PLA,in} - \sum_l \left(p_{l,t}^{line} + R_l\left(i_{l,t}\right)^2\right) = p_{b,t}^{D} \qquad (۶)$$

$$q_{b,t}^{Sys,in} - \sum_l \left(q_{l,t}^{line} + X_l\left(i_{l,t}\right)^2\right) = q_{b,t}^{D} \qquad (۷)$$

در ادامه، محاسبات به منظور محاسبه شاخص مربوط به سنجش تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع، انجام خواهد شد. نرخ وقوع خرابی در شاخه $l$ ام، در هر ساعت، از رابطه (۸) حاصل‌می‌شود [۱۴].

$$\rho_l = \frac{\lambda_l}{8760} \qquad (۸)$$

شکل(۴) نشان‌دهنده روند محاسبه شاخص قابلیت اطمینان است:

| گام | روند کار |
|---|---|
| ۱ | محاسبه احتمال وقوع خرابی در شاخه l ام، در هر ساعت |
| ۲ | محاسبه بیشینه انرژی قابل تأمین توسط پارکینگ، با توجّه به حداقل سطح شارژ خودرو در زمان خروج از پارکینگ و سطح شارژ لحظه‌ای پارکینگ |
| ۳ | محاسبه انرژی مورد نیاز کوچکترین جزیره شامل پارکینگ در مدت‌زمان بازیابی (r) |
| ۴ | محاسبه توان لحظه‌ای مورد نیاز کوچکترین جزیره شامل پارکینگ |
| ۵ | بررسی امکان تأمین توان و انرژی مورد نیاز کوچکترین جزیره شامل پارکینگ |
| ۶ | محاسبه امید ریاضی میزان انرژی تأمین‌شده توسط کلیه پارکینگ‌ها در ساعات تأمین بار |

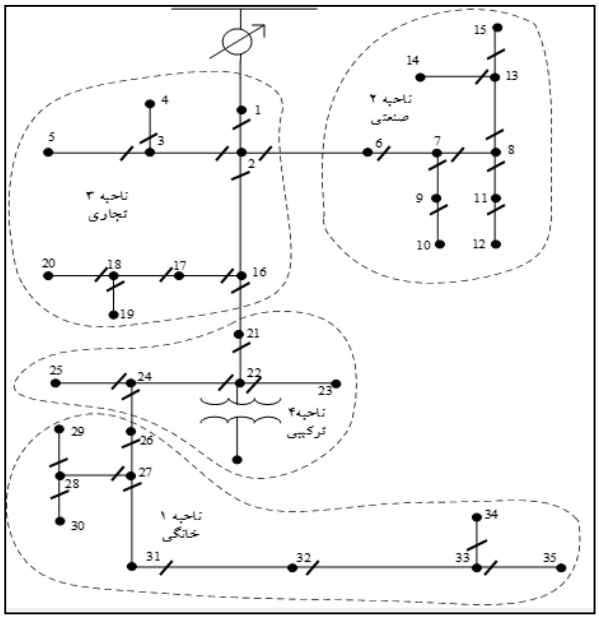
**شکل ۴: روند محاسبه شاخص سنجش تأثیر خودرو برقی روی قابلیت اطمینان شبکه**

مکان‌یابی پارکینگ‌های خودروهای برقی مستلزم مدل‌سازی دقیق تمامی عوامل تأثیرگذار و مرتبط با آن است؛ بنابراین در این بخش مدلی با هدف مکان‌یابی و معین‌کردن گنجایش بهینه پارکینگ‌های خودروهای برقی و در نهایت جابجایی پارکینگ‌ها و محاسبه سنجش تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع، به همراه قیود به‌کاررفته در مسأله بهینه‌سازی و دیگر عوامل قابل‌توجه، ارائه‌گردید.

## ۵. پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و نتایج حاصل

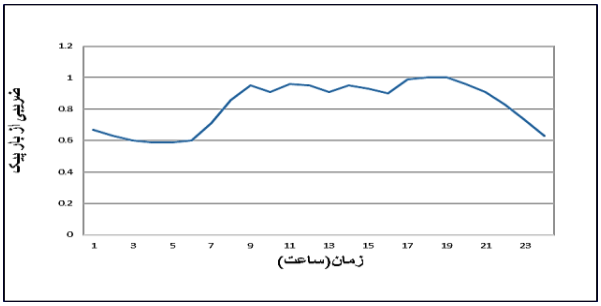
مدل ارائه‌شده به‌منظور مکان‌یابی پارکینگ‌های خودروهای برقی، به شکل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح بوده و در محیط نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی‌شده‌است. مدل پیشنهادی در شبکه شعاعی ۳۷ شینه IEEE پیاده‌سازی‌شده که آرایش مربوطه و حدود ناحیه‌های مختلف در آن مشخص‌شده‌است [۱۵]. سطح ولتاژ شبکه تحت مطالعه ۴/۸ KV و بیشینه‌بار آن ۲/۵ MW می‌باشد؛ مفروض است که در ناحیه ۱ که با کاربری غالب مسکونی بوده و بدون پارکینگ‌های شارژ است، خودروها از شارژرهای خانگی با نرخ شارژ ۳kW/h بهره‌می‌برند و در پارکینگ‌های دیگر ناحیه‌ها، صرفاً از شارژرهایی با نرخ شارژ ۱۱kW/h استفاده‌می‌شود [۱۶].

در شکل(۵) شبکه مورد مطالعه، با جانمایی سکسیونرها (در ابتدای تمامی خطوط)، نمایش‌داده‌شده‌است.



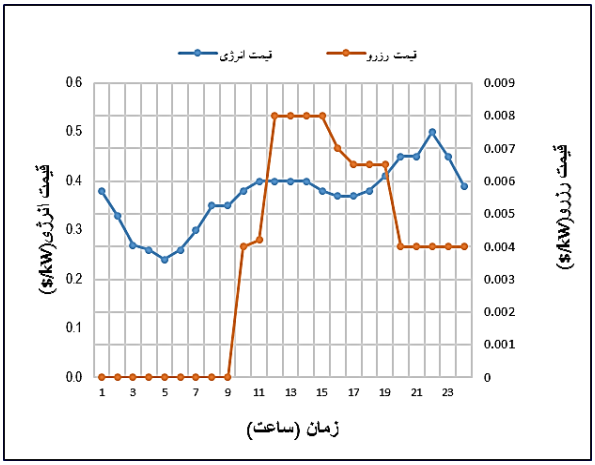

**شکل ۵: شبکه شعاعی ۳۷ شینه**

مقادیر بار ساعات مختلف شبانه‌روز و نرخ‌های قیمتی انرژی و رزرو در ساعات مختلف، با توجه به داده‌های آماری پیاده‌سازی‌شده که مقادیر بار ساعتی، در شکل ۶ مشخص گردیده است[۱۶].



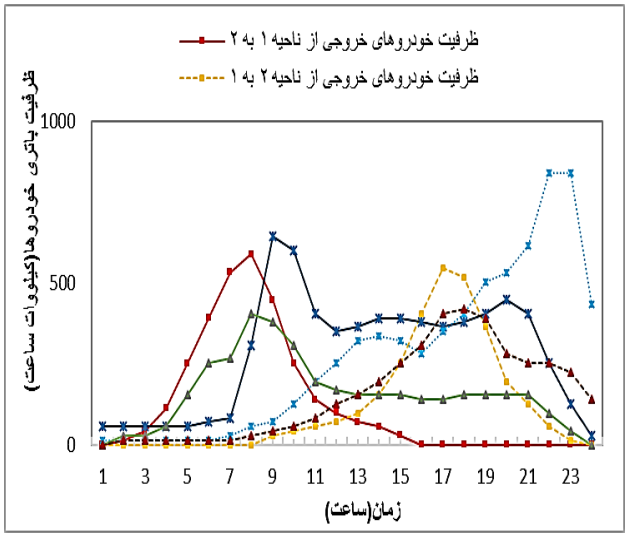
**شکل ۶: منحنی تغییرات بار ساعتی [۱۶]**

به‌علاوه، نمودار قیمت انرژی و رزرو در ساعات مختلف، همانند شکل۷ است [۳].




**شکل ۷: قیمت ساعتی انرژی و رزرو در بازار [۳]**

در این مطالعه، قیمت V2G و G2V به اندازه ۰/۰۲ $/kWh پایین‌تر از قیمت انرژی شبکه توزیع و قیمت $\pi_{p,t}^{con}$ به‌میزان ۲۰ درصد، بالاتر از قیمت انرژی شبکه لحاظ‌می‌گردد (فروختن انرژی به خودروهای برقی با قیمت ارزانتر، به صورت یک راهبرد ترغیب‌کننده به‌وسیله مالک پارکینگ و با هدف افزایش حضور خودروهای برقی در پارکینگ، به‌کارگرفته‌می‌شود). الگوی تردد خودروها، با بهره‌گیری از داده‌ها با فاصله‌های زمانی ساعتی، مدل‌سازی‌می‌گردد. تردد بین ناحیه‌ها به نسبت ظرفیت باتری خودروهای وارد و خارج‌شده ناحیه‌ها، در شکل(۸) لحاظ‌گردیده‌است. مطابق شکل زیر مشاهده‌می‌گردد که الگوی ورود و خروج و شارژ و دشارژ خودروهای یک ناحیه مشابه است [۳]و[۱۷].




**شکل ۸: ظرفیت باتری خودروهای ورودی و خروجی نواحی مختلف [۱۷]**

با توجه به شکل مشهود است که خودروها ناحیه مسکونی را در ساعت‌های ابتدایی روز ترک‌کرده و در پایانِ روز بازخواهندگشت؛ به‌علاوه مفروض است که واحدهای صنعتی در سه شیفت فعال می‌باشند. در محدوده تجاری، به‌علت تردد بیشتر، زمان‌های ورود و خروج خودروها، در مقایسه با دیگر انواعِ سفرها، همراه با گستردگی بیشتری است.

## ۶. مطالعات موردی انجام‌شده در پژوهش

در این بخش مطالعات در چند حالت زیر درنظرگرفته‌شده‌است:

- مورد مطالعاتی اول: محاسبه تلفات و شاخص مربوط به ارزیابی میزان تأثیر عدم‌حضور خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع، و صحت‌سنجی نتایج.
- مورد مطالعاتی دوم: تعیین مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی مطابق مدل پیشنهادی و محاسبه میزان تلفات، درآمد یا هزینه و شاخص مربوط به ارزیابی میزان تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با حضور پارکینگ‌ها.
- مورد مطالعاتی سوم: تغییر مکان پارکینگ‌ها (با همان ظرفیت قبلی) و بررسی مجدد میزان تلفات، درآمد یا هزینه و شاخص مربوط به ارزیابی میزان تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع.

در مورد مطالعاتی اول، نتیجه صحت‌سنجی مدل پیشنهادی برای محاسبه شاخص مربوط به ارزیابی میزان تأثیر عدم‌حضور خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه مورد مطالعه، نشان‌می‌دهد که اختلاف مقادیر به میزان ۰/۱۶۷کیلووات‌ساعت و معادل تقریبی ۰/۰۰۱ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که در این مورد با بهره‌گیری از روش پیشنهادی برای محاسبه شاخص قابلیت اطمینان، میزان انرژی غیرقابل‌تأمین (بدون حضور پارکینگ‌ها) یا به‌عبارتی امید ریاضی انرژی تأمین‌نشده (بدون حضور پارکینگ‌ها) با انرژی حاصل از رابطه مربوط به شاخص ENS مقایسه گردیده‌است.

در مورد مطالعاتی دوم، تعیین مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی، با هدف بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار پارکینگ و مطابق مدل ارائه‌شده انجام‌شده‌است. با شبیه‌سازی مسأله، مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ‌ها، مؤلفه‌های درآمد، هزینه پارکینگ‌ها و تلفات شبکه مورد مطالعه و نهایتاً شاخص مربوط به ارزیابی میزان تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع، محاسبه گردیده‌است.

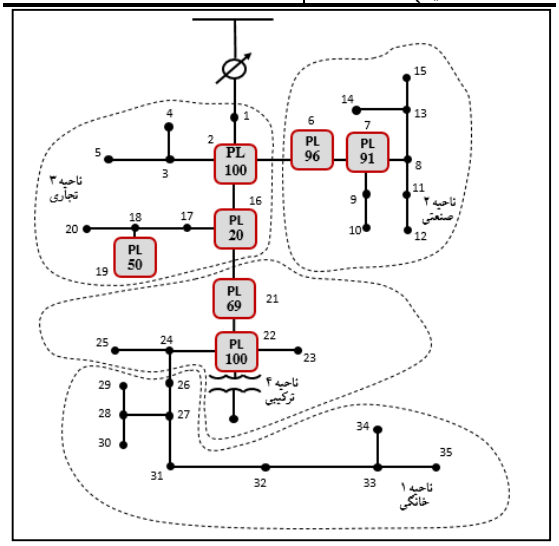
با لحاظ‌نمودن تأثیر حضور پارکینگ‌ها در شبکه، بیشترین میزان تلفات مربوط به ساعت ۹ با ۱۰۰,۶۵۹ کیلووات و سپس ساعت ۱۹ با ۹۵/۸۰۹ کیلووات است و مجموع تلفات در یک شبانه‌روز، به میزان ۱۸۲۰/۴۴۲ کیلووات‌ساعت می‌باشد که این میزان، نسبت به مورد اول (بدون حضور پارکینگ‌ها)، به میزان ۶۹۸/۰۰۳ کیلووات‌ساعت (۶۲ درصد)، بیشتر می‌باشد که این به‌دلیل تأثیر بار ناشی از حضور پارکینگ‌های خودروهای برقی می‌باشد؛ همچنین جابجایی ساعت تلفات اوج، از

ساعت ۱۸ و ۱۹ در مورد مطالعاتی اول به ساعت ۹ در مورد مطالعاتی دوم، ناشی از تأثیر خودروهای حاضر در مورد دوم و این ساعت و نقش بیشتر آن در ایجاد تلفات، نسبت به دیگر بارها می‌باشد.

با توجه به پاسخ حاصل از حل مسأله بهینه‌سازی، مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی، در شکل(۹) نشان‌داده شده-است؛ به‌علاوه، تعداد جایگاه‌های شارژ هر ناحیه نیز در جدول (۱) آمده-است. ملاحظه‌می‌شود که مطابق فرض درنظرگرفته‌شده در ناحیه خانگی، پارکینگ شارژ و جایگاه شارژ عمومی، موجود نمی‌باشد.

**جدول ۱: مجموع جایگاه‌های شارژ هر ناحیه در مورد مطالعاتی دوم**

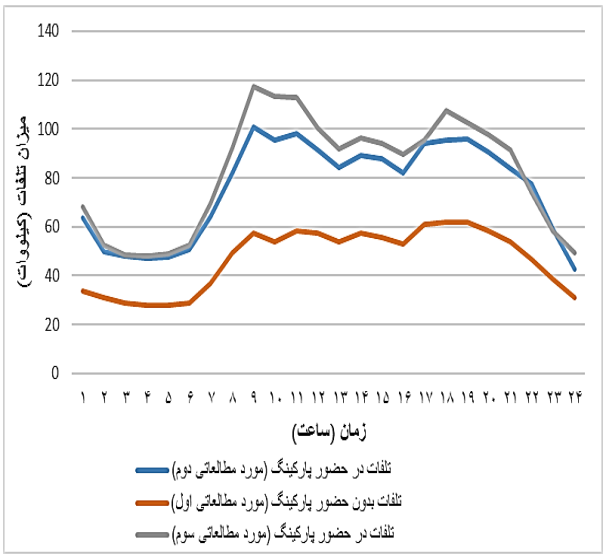
| نواحی | مجموع تعداد جایگاه‌های |
|---|---|
| ناحیه اول خانگی | - |
| ناحیه دوم صنعتی | ۱۸۷ جایگاه |
| ناحیه سوم تجاری | ۱۷۰ جایگاه |
| ناحیه چهارم | ۱۶۹ جایگاه |




**شکل ۹: مکان و تعداد ایستگاه های شارژ پارکینگ ها در مورد مطالعاتی دوم**

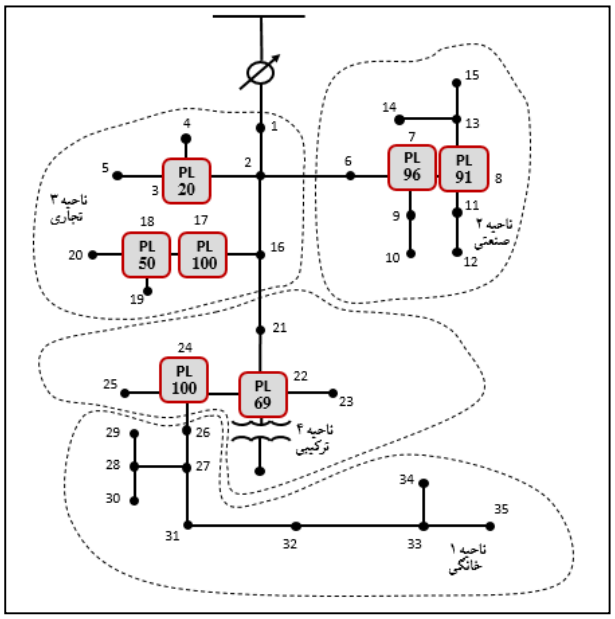
در مورد مطالعاتی سوم، پس از تغییر مکان پارکینگ‌ها (با فرض عدم تغییر تعداد جایگاه‌های هر ناحیه)، مؤلفه‌های درآمد، هزینه پارکینگ‌ها و تلفات شبکه مورد مطالعه و نهایتاً شاخص پیشنهادی قابلیت اطمینان، مجدداً محاسبه‌گردیده‌است.

در شکل (۱۰) میزان تلفات در موارد مطالعاتی اول، دوم و سوم، به نمایش گذاشته‌شده‌است. در مورد مطالعاتی سوم، بیشترین میزان تلفات در ساعت ۹ و به میزان ۱۱۷/۱۵ کیلووات می‌باشد؛ به‌علاوه مجموع تلفات در یک شبانه‌روز در این مورد مطالعاتی، به میزان ۱۹۷۳/۳۸۳ کیلووات-ساعت بوده که این عدد، به اندازه ۱۵۲/۹۵۱ کیلووات‌ساعت و معادل ۸ درصد نسبت به تلفات مورد مطالعاتی دوم و به اندازه ۸۵۰/۹۴۴ کیلووات‌ساعت و معادل ۷۵ درصد نسبت به تلفات مورد مطالعاتی اول، افزایش داشته‌است. لازم به ذکر است که زمان رخداد بیشترین تلفات در مواردی که پارکینگ‌ها حضوردارند (موارد مطالعاتی دوم و سوم) نسبت به موردی که پارکینگ‌ها حضورندارند (مورد اول)، از ساعات انتهایی روز (۱۸ و ۱۹) به ساعات ابتدایی روز (۹و۱۰)، تغییریافته و این به‌دلیل افزایش بار شبکه و ناشی از بار تعداد زیاد خودروهای در حال شارژ پارکینگ‌ها در این ساعات می‌باشد.



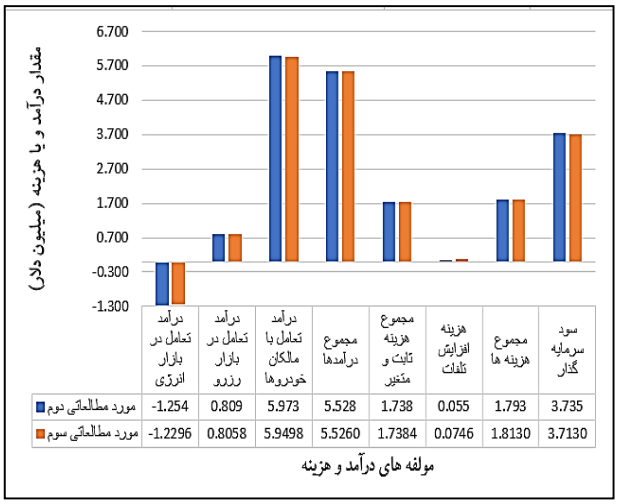

**شکل۱۰: منحنی تلفات توان در شبکه مورد نظر در مورد مطالعاتی اول تا سوم**

در شکل ۱۱، مکان جدید پارکینگ‌های شارژ در نواحی صنعتی، تجاری و ترکیبی، نشان داده شده‌است.




**شکل ۱۱: مکان و تعداد ایستگاه های شارژ پارکینگ ها در مورد مطالعاتی سوم**

با توجه به نمودار شکل ۱۲ مشاهده‌می‌گردد که در مورد مطالعاتی سوم نیز، به‌دلیل به‌صرفه‌نبودن قیمت بازار انرژی، سرمایه‌گذار تمایل چندانی برای حضور در این بازار نداشته و مطابق رابطه مربوطه، درآمد حاصله، منفی خواهدبود. با توجه به افزایش میزان تلفات، هزینه افزایش تلفات در مورد سوم نیز، بیشتر از مورد دوم می‌باشد. نهایتاً با درنظرداشتن این موضوع که حل مسأله بهینه‌سازی در مورد مطالعاتی دوم، با هدف بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار انجام‌شده‌است، بنابراین بدیهی است که با تغییر این حالت بهینه (درخصوص مکان پارکینگ‌ها)، انتظارمی‌رود که میزان سود در مورد مطالعاتی سوم کاهش‌یابد. همان‌گونه که در شکل دیده‌می‌شود سود سرمایه‌گذار در حالت سوم نسبت به حالت دوم، به میزان ۰/۰۲ میلیون دلار و معادل ۰/۵۹ درصد کاهش‌یافته‌است.




**شکل ۱۱: مقادیر مؤلفه‌های درآمد و هزینه در مورد مطالعاتی سوم**

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ‌های خودروهای برقی در شبکه، با استفاده از مدل خطی آمیخته با عدد صحیح، با لحاظ‌نمودن الگوی حرکت خودروها بین ناحیه‌های چهارگانه (با کاربری مختلف)، پیشنهادشده‌است. سپس قابلیت اطمینان سیستم توزیع با بهره‌گیری از شاخص پیشنهادی مورد ارزیابی قرارگرفت. هدف این مدل، بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار پارکینگ و کاهش تلفات ناشی از احداث پارکینگ در شبکه و نهایتاً ارزیابی میزان تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با حضور پارکینگ‌ها با شاخص پیشنهادی می‌باشد. پیاده‌سازی مدل مربوط به مسأله بهینه‌سازی در نرم‌افزار GAMS به‌وسیله حل‌کننده CPLEXانجام شده و پیاده‌سازی الگوریتم ارزیابی قابلیت اطمینان در نرم‌افزار MATLAB اجرا شده‌است.

سه مورد مطالعات مورد ارزیابی قرار گرفت. در مورد مطالعاتی اول، وضعیت تلفات و قابلیت اطمینان شبکه تحت آزمایش، به همراه صحت‌سنجی، پیش از راه‌اندازی پارکینگ، بررسی‌شده‌است؛ در مورد مطالعاتی دوم، هدف اولیه مدل ارائه‌شده، بیشینه‌سازی سود سرمایه‌گذار پارکینگ‌ها بوده که در این حالت، بیشینه سود قابل حصول، به میزان ۳/۷۳۵ میلیون دلار محاسبه‌گردیده و همچنین در گام دوم سنجش قابلیت اطمینان شبکه تحت مطالعه، که مشخص گردیده که پارکینگ‌های موجود در سیستم در این حالت، به میزان ۱/۴ درصد در افزایش قابلیت اطمینان شبکه، موثر بوده‌اند. در مورد مطالعاتی سوم مشخص گردیده‌است که با جابجائی مکان راه‌اندازی پارکینگ‌ها می‌توان تأثیر مثبتی روی قابلیت اطمینان شبکه داشت؛ از نتایج مطالعات انجام‌شده در این مورد می‌توان به کاهش سود سرمایه‌گذار به میزان ۰/۵۹ درصد و رشد ۱/۳۶ درصدی شاخص قابلیت اطمینان نسبت به مورد دوم اشاره‌نمود، بنابراین بهره‌گیری از این مدل می‌تواند جهت ارزیابی اقتصادی نصب پارکینگ‌های شارژ و نیز ارزیابی میزان تأثیر خودروهای برقی روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با حضور پارکینگ‌ها به‌کاررود.

با درنظرگرفتن شاخص قابلیت اطمینان به صورت هدف دوم در مدل موردنظر، موجب‌می‌گردد که سود سرمایه‌گذار و قابلیت اطمینان شبکه، در نقطه بهینه‌ای به مقدار حداکثر برسد؛ به‌علاوه در صورتی‌که پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی دارای منابع تولید انرژی تجدیدپذیر باشند؛ قادر خواهندبود به بهبود قابلیت اطمینان شبکه کمک‌کنند.

همچنین بر اساس تجربیات حاصل، موارد زیر به‌عنوان پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شوند.

۱- تخصیص بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی با درنظرگرفتن شاخص قابلیت اطمینان، به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های تابع هدف و یا یکی از توابع هدف مسأله دوهدفه (با اهداف حداکثرسازی سود سرمایه‌گذار و نیز قابلیت اطمینان سیستم).

۲- تخصیص بهینه پارکینگ‌های شارژ خودروهای برقی مجهز به منابع انرژی تجدیدپذیر، با درنظرگرفتن شاخص قابلیت اطمینان.

## مراجع


[1] Mozaffari, M. Abyaneh, H. A. Jooshaki, M. Moeini-Aghtaie, M. (2020). Joint expansion planning studies of EV parking lots placement and distribution network. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(10), 6455-6465.

[2] Fernandez, L. P. San Román, T. G. Cossent, R. Domingo, C. M. Frias, P. (2010). Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks. IEEE transactions on power systems, 26(1), 206-213.

[3] Neyestani, N. Damavandi, M. Y. Shafie-Khah, M. Contreras, J. Catalão, J. P. (2014). Allocation of plug-in vehicles' parking lots in distribution systems considering network-constrained objectives. IEEE Transactions on Power Systems, 30(5), 2643-2656.

[4] Fox, G. H. (2013). Electric vehicle charging stations: Are we prepared. IEEE Industry Applications Magazine, 19(4), 32-38.

[5] Guille, C. Gross, G. (2009). A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. Energy policy, 37(11), 4379-4390.

[6] Sabzevari, K. (2022). Power Sharing Between Islanded Microgrid Inverters by Modifying the Droop Control Method,

Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS), Issue 4, Vol. 3.

[7] Karfopoulos, E. L. Hatziargyriou, N. D. (2012). A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles. IEEE Transactions on Power Systems, 28(2), 1196-1204.

[8] El-Zonkoly, A. dos Santos Coelho, L. (2015). Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system. International Journal of Electrical Power Energy Systems, 67, 472-477.

[9] Gholami, Kh. Karimi, Sh. Anvari-Moghaddam, (2022). Am. Multi-objective Stochastic Planning of Electric Vehicle Charging Stations in Unbalanced Distribution Networks Supported by Smart Photovoltaic Inverters, Sustainable Cities and Society,Volume 84, 2022, 104029, ISSN2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104029.

[10] Zhang, Q. Zhu, Y. Wang, Z. Su, Y. Li, C. (2019). Reliability assessment of distribution network and electric vehicle considering quasi-dynamic traffic flow and vehicle-to-grid. IEEE Access, 7, 131201-131213.

[11] Zeng, B. Gao, Y. Zhu, Z. (2019). Assessing Impacts of EV Parking Lots on Distribution System Reliability with Consideration of User Behavioral Uncertainties. Journal of Electrical Systems, 15(3), 346-358.

[12] Bayram, I. S. Devetsikiotis, M. Jovanovic, R. (2022). Optimal design of electric vehicle charging stations for commercial premises. International Journal of Energy Research, 46(8), 10040-10051.

[13] Xu, P. Zhang, J. Gao, T. Chen, S. Wang, X. Jiang, H. Gao, W. (2022). Real-time fast charging station recommendation for electric vehicles in coupled power-transportation networks: A graph reinforcement learning method. International Journal of Electrical Power Energy Systems, 141, 108030.

[14] Guner, S. Ozdemir, A. (2020). Reliability improvement of distribution system considering EV parking lots. Electric Power Systems Research, 185, 106353.

[15] Kersting, W. H. (1991). Radial distribution test feeders. IEEE Transactions on Power Systems, 6(3), 975-985.

[16] Briones, A. Francfort, J. Heitmann, P. Schey, M. Schey, S. Smart, J. (2012). Vehicle-to-grid (V2G) power flow regulations and building codes review by the AVTA. Idaho National Lab. Idaho Falls, ID, USA, 1.

[17] Asghari rad, H., Jafari Nokandi, M., & Hosseini, S. M. (2023). Optimal Allocation of Electric Vehicles' Parking Lots in Distribution Systems Considering Urban Traffic. *Energy Engineering and Management*, *11*(2), 70-81. doi: 10.22052/11.2.3

## فهرست نمادها و نشانه‌ها:

### شاخص‌ها

| | |
|---|---|
| شاخص تعداد مشترکین | $c$ |
| شاخص زمان | $t$ |
| شاخص ناحیه ها | $i,j$ |
| شاخص شین های شبکه توزیع | $b$ |
| شاخص خطوط شبکه | $l$ |
| شاخص جایگاه های شارژ | $k$ |
| شاخص تعداد قطعی های شبکه | $x$ |

### پارامترها

| | |
|---|---|
| فضای مورد نیاز برای نصب هر جایگاه شارژ ( متر مربع ) | $A$ |
| هزینه استهلاک باتری خودروها به‌دلیل عملکرد V2G (دلار بر کیلووات‌ساعت) | $C_d$ |
| *ظرفیت باتری خودروها در پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kwh)$* | $c_{i,t}^{PL}$ |
| هزینه‌های خرید و نگهداشت هر جایگاه شارژ *(دلار)* | $c^M, c^{eq}$ |
| هزینه زمین برای نصب جایگاه شارژ *$(\$/m^2)$* | $c^{land}$ |
| هزینه ثابت مورد نیاز برای احداث پارکینگ (دلار) | $c^{fix}$ |
| ظرفیت باتری خودروهای وارد شده در ساعت$t$ *به ناحیه $j$ از ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kWh)$* | $C_{i,j,t}^{in,zone}$ |
| ظرفیت باتری خودروهای خارج‌شده از ناحیه $i$ به سمت ناحیه $j$ در زمان $t$ *$(kWh)$* | $C_{i,j,t}^{out,zone}$ |
| پارامتر باینری که یک بودن آن، نشان می‌دهد شین $b$ کاندیدای احداث پارکینگ می‌باشد | $Can_b^{PLA}$ |
| احتمال عدم موفقیت پارکینگ‌های ناحیه $i$ در تحویل رزرو فراخوانی شده | $FOR_i^{PL}$ |
| حداقل و حداکثر جریان مجاز خط $L$ (پریونیت) | $I_L{}^{min}, I_L{}^{ma.}$ |
| مسافت طی شده توسط خودروها برای رسیدن از ناحیه $i$ *به ناحیه $j$ $(km)$* | $L_{i,j}$ |
| توان اکتیو متوسط هر شین (کیلووات) | $L_b$ |
| تعداد خطوط شبکه | $L$ |
| حداقل و حداکثر تعداد پارکینگ قابل نصب در ناحیه $i$ | $min_i^{PL}, ma$ |
| تعداد کلیه مشترکین | $m$ |
| تعداد سالهای برگشت سرمایه | n |
| تعداد کلیه خودروهای پارک‌شده در پارکینگ‌ها در ساعت $t$ *و ناحیه $i$* | $n_{i,t}^{pl}$ |
| *تعداد مشترکینی که بر اثر خرابی خط $l$* ام دچار قطعی برق شده‌اند | $N_l$ |
| تعداد مشترکین هر شین | $N_b$ |
| تعداد خودروهای وارد شده از ناحیه خارجی به ناحیه $i$ *در زمان $t$* | $N_{i,t}^{in,EX}$ |
| تعداد خودروهای خروجی از ناحیه $i$ به ناحیه خارجی در زمان $t$ | $N_{i,t}^{out,EX}$ |
| تعداد خودروهای واردشده به ناحیه $i$ *از ناحیه $j$ در زمان $t$* | $N_{j,i,t}^{in,zone}$ |
| تعداد خودروهای خروجی از ناحیه $i$ *به سمت ناحیه $j$ در زمان $t$* | $N_{i,j,t}^{out,zone}$ |
| تعداد مشترکینی که متأثّر از قطعی $x$ *ام می‌باشند* | $N_x$ |
| شین حداقل تعداد جایگاه شارژ قابل نصب در پارکینگ $b$ | $ns_b^{PLA,min}$ |
| حداکثر تعداد جایگاه شارژ قابل نصب در پارکینگ شین $b$ | $ns_b^{PLA,max}$ |
| مصرف انرژی خودرو در مسافرت از ناحیه $i$ *به $j$ $(kWh/km)$* | $P_{i,j}^{Fuel}$ |
| توان حقیقی مورد تقاضا در شین $b$ *در ساعت $t$ $(kW)$* | $p_{b,t}^D$ |
| توان از دست‌رفته در خاموشی $x$*/م* | $P_x$ |
| توان راکتیو مورد تقاضا در شین $b$ *در ساعت $t$ $(kVAr)$* | $q_{b,t}^D$ |
| مقاومت، راکتانس و امپدانس خط بین شین $b$ و $b'$ (پریونیت) | $R_{b,b'}, X_{b,b'}$ |
| مدت زمان بازیابی شبکه (ساعت) | $r_l$ |
| حداقل $soc$ قابل قبول خودروهای موجود در ناحیه $i$ *$(kwh)$* | $soc_i^{EV,min}$ |
| حداکثر $soc$ قابل قبول خودروهای موجود در ناحیه $i$ *$(kwh)$* | $soc_i^{EV,max}$ |
| سرعت مسافرت خودروها در حرکت از ناحیه $i$ به ناحیه $j$ *$(km/h)$* | $S_{i,j}$ |
| حداقل و حداکثر ولتاژ مجاز شین $b$ *(پریونیت)* | $v_b{}^{min}, v_b{}^{m}$ |
| در دسترس ناپذیری سیستم *$(h)$* | $U$ |
| زمان قطعی $x$*/م* *$(h)$* | $U_x$ |
| بازده شارژ و دشارژ در جایگاه شارژ *$(\%)$* | $\eta_d, \eta_c$ |
| حداقل $soc$ موردنیاز خودرو هنگام خروج از ناحیه $i$ *$(\%)$* | $\phi_i^{PL}$ |
| نرخ شارژ و دشارژ جایگاه‌های شارژ در ناحیه $i$ *$(kW/h)$* | $\Gamma_i^{PL}$ |
| $soc$ قابل استفاده در پارکینگ طبق قرارداد با خودروها *$(\%)$* | $\kappa_i^{PL}$ |
| قیمت انرژی و رزرو در بازار برق در ساعت $t$ *$(\$/kW)$* | $\pi_t^E, \pi_t^R$ |
| نرخ جریمه در زمان عدم موفقیت پارکینگ‌ها در تأمین رزرو مورد نیاز در ساعت $t$ *$(\$/kW)$* | $\pi_t^{con}$ |
| تعرفه استفاده از پارکینگ *$(\$/h)$* | $\pi^{Tariff}$ |
| قیمت خرید و فروش انرژی از خودروها در ساعت $t$ *$(\$/kW)$* | $\pi_t^{V2G}, \pi_t^{G2V}$ |
| احتمال فراخوانی رزرو خریداری شده از ناحیه $i$ *در ساعت $t$* | $\rho_{i,t}^{del}$ |
| نرخ خرابی خطوط شبکه (خرابی بر سال) | $\lambda_l$ |
| احتمال خرابی خطوط (خرابی بر ساعت) | $\rho_l$ |
| تعداد کل قطعی‌های شبکه | $X$ |

## متغیرها

| | |
|---|---|
| $cost_{i,t}^{PL}$ | هزینه‌های مربوط به پارکینگ ناحیه i در زمان $t$ (دلار) |
| $c_i^{ins}$ | هزینه نصب پارکینگ‌های ناحیه $i$ (دلار) |
| $c_t^{loss}$ | هزینه تلفات انرژی در شبکه توزیع در زمان $t$ (دلار) |
| $c_i^{var}$ | هزینه متغیر مورد نیاز برای احداث پارکینگ در شین $b$ (دلار) |
| $E_{PL,L,t}$ | انرژی تأمین‌شده توسط کلیه پارکینگ‌ها (کیلووات ساعت) |
| $ENS$ | مقدار انرژی تأمین‌نشده (کیلووات‌ساعت) |
| ${E_{pl}}^{max}$ | حداکثر انرژی قابل تحویل توسط پارکینگ (کیلووات ساعت) |
| $E_{island}$ | انرژی نیاز کوچک‌ترین جریزه شامل پارکینگ در مدت زمان رفع خطا(کیلووات ساعت) |
| $E_{assist}$ | امید ریاضی انرژی تأمین‌شده توسط کلیه پارکینگ‌ها (کیلووات-ساعت) |
| $loss_t$ | تلفات شبکه توزیع در زمان $t$ با حضور پارکینگ‌ها $(kW)$ |
| $loss_{0,t}$ | تلفات شبکه توزیع در زمان $t$ بدون حضور پارکینگ‌ها $(kW)$ |
| $n_{i,t}^{ar,PL}$ | تعداد خودروهای ورودی به پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ |
| $n_{i,t}^{dep,PL}$ | تعداد خودروهای خروجی از پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ |
| $n_{i,t}^{PL}$ | تعداد خودروهای موجود در پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ |
| $ns_b^{PLA}$ | تعداد جایگاه‌های شارژ در پارکینگ نصب‌شده در شین $b$ |
| $NS_i^{PL}$ | تعداد کل جایگاه‌های شارژ در پارکینگ‌های ناحیه $i$ |
| $p_{b,t}^{Sys,in}$ | توان حقیقی ورودی از شبکه بالادست به سیستم در شین $b$ $(kW)$ |
| $q_{b,t}^{Sys,in}$ | توان راکتیو ورودی از شبکه بالادست به سیستم در شین $b$ $(kvar)$ |
| $p_{b,b',t}^{line}$ | توان حقیقی عبوری از خط بین شین $b$ و $b'$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $profit^{PL}$ | سود پارکینگ‌های شارژ $(\$)$ |
| ${P_{pl,t}}^{max}$ | حداکثر توان قابل تزریق در هر پارکینگ در هر ساعت(کیلووات) |
| $P_{i,t}^{PL,in}$ | توان ورودی به پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $P_{i,t}^{PL,out}$ | توان خروجی از پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $P_{b,t}^{PLA.in}$ | توان ورودی به پارکینگ موجود در شین $b$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $P_{b,t}^{PLA,out}$ | توان خروجی از پارکینگ موجود در شین $b$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $q_{b,b',t}^{line}$ | توان راکتیو عبوری از خط بین شین $b$ و $b'$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $re_{i,t}^{PL,out}$ | رزرو فراخوانی شده از پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $re_{i,t}^{PL}$ | رزرو پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $t$ $(kW)$ |
| $soc_{i,t}^{PL}$ | سطح شارژ خودروهای موجود در پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $(kWh)t$ |
| $soc_{i,t}^{ar,PL}$ | سطح شارژ خودروهای وارد شده به پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $(kWh)\ t$ |
| $soc_{i,t}^{dep,PL}$ | سطح شارژ خودروهای خارج‌شده از پارکینگ‌های ناحیه $i$ در زمان $(kWh)\ t$ |
| $soc_{i,t}^{in,Ex}$ | سطح شارژ خودروهای واردشده از ناحیه خارجی به ناحیه $i$ در زمان $(kWh)\ t$ |
| $soc_{i,t}^{out,Ex}$ | سطح شارژ خودروهای خارج‌شده از ناحیه$i$ به سمت ناحیه خارجی در زمان $(kWh)t$ |
| $soc_{i,j,t}^{in,zone}$ | سطح شارژ خودروهای واردشده از ناحیه $j$ به ناحیه $i$ در زمان $(kWh)t$ |
| $soc_{i,j,t}^{out,zone}$ | سطح شارژ خودروهای خارج شده از ناحیه $i$ به ناحیه $j$ در زمان $(kWh)t$ |
| $soc_{i,t}^{dep,zone}$ | سطح شارژ خودروهای خارج شده از ناحیه $i$ در زمان $(kWh)\ t$ |
| $soc_t^{PL}$ | سطح شارژ پارکینگ در زمان $t$ $(kwh)$ |
| $si_b^{PLA}$ | متغیر باینری که یک بودن آن، نشان می‌دهد شین $b$ برای احداث پارکینگ انتخاب شده است. |
| $V_{b,t}$ , $i_{b,t}$ | ولتاژ شین $b$ و جریان تزریقی به شین $b$ در زمان $t$ (پریونیت) |
| $u_{b,k,t}^{PL}$ | متغیر باینری که یک بودن آن، نشـان می‌دهد جایگاه شـارژ $k$ از پارکینگ موجود در شین $b$، در زمان $t$ تو سط خودرویی ا شغال شده است. |

[1] Electric vehicle
[2] Vehicle to Grid
[3] Distributed energy resources
[4] Electric Vehicles Parking Lot
[5] Controlled charging mode
[6] Uncontrolled charging mode