



Computational Intelligence in Electrical Engineering
Vol. 12, No. 2, 2021
Research Paper

Locating Electric Vehicle Charging Stations Based on Trip Success in Urban Transportation System

Pooya Tadayon Roody¹, Maryam Ramezani^{2*}, Hamid Falaghi³

¹ Dept. of Electrical and Computer Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

² Dept. of Electrical and Computer Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

³ Dept. of Electrical and Computer Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

Abstract:

Environmental concerns and recent developments in electric vehicle (EV) technology have attracted the attention of the international community to use EVs. In this paper, by considering an urban transportation network, a design strategy is presented to maximize drivers' travel comfort in urban trips. Further, the presented strategy meets various constraints, such as properly locating charging stations in the city, considering traffic volume, taking the shortest route per trip, reducing charging waiting time, etc. The travel comfort index in this paper corresponds to a situation in which the driver does not experience a depleted battery during a trip and successfully finish the trip. Therefore, charging stations should be located throughout the city so that the drivers can access them. Since the movement of vehicles over the course of a day does not follow any particular pattern, in this paper, we use unscented transformation (UT) to investigate the uncertainty in different probabilistic parameters of EVs. Moreover, by clustering the locations of EVs within the urban area, the optimal locations of EV charging stations are determined over the course of the day using an objective function based on a genetic algorithm. The simulation results of the urban transportation confirm the efficacy of the proposed method.

Keywords: Electric vehicles, Charging stations, vehicle trip success, unscented transformation, k-means clustering, urban traffic volume.



2252-083X/ © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/isee.2020.122220.1351>

مکان‌یابی ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی مبتنی بر موفقیت سفر آنها در شبکه

حمل و نقل شهری

پویا تدین رودی^۱، مریم رضانی^۲، حمید فلقی^۳

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

pooya.tadayon@birjand.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

mramezani@birjand.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

falaghi@birjand.ac.ir

چکیده: نگرانی‌های زیست‌محیطی استفاده از خودروهای سوخت فسیلی و پیشرفت‌های اخیر در زمینه تکنولوژی خودروهای الکتریکی^۱ توجه جامعه جهانی را به سمت استفاده از خودروهای الکتریکی جلب کرده است. در این مقاله، یک استراتژی طراحی به‌منظور تأمین بیشینه شاخص آسایش سفر رانندگان در سفرهای شهری با رعایت شرط در نظر گرفتن سایر پارامترها، نظیر توزیع مناسب ایستگاههای شارژ^۲ در سطح شهر و کمترین مسافت پیمایش خودروها ارائه شده است. فاکتور آسایش سفر در این مقاله بدین صورت پیشنهاد می‌شود که راننده با صرف کمترین مسافت، در مسیر حرکت خود، ایستگاه شارژ دردسترس داشته باشد و سفر موفق را به انجام برساند. با توجه به اینکه حرکت خودروهای الکتریکی در طول روز از هیچ‌الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند، در این مقاله، برای بررسی عدم قطعیت پارامترهای خودروهای الکتریکی از تبدیل بی‌بو^۳ و دسته‌بندی مکان اولیه خودروهای الکتریکی موجود در منطقه شهری، استفاده و در نهایت به‌منظور طراحی بهینه از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است. تابع هدف شامل دو بخش است؛ بخش اول، میزان موفقیت سفر خودروهای الکتریکی تا رسیدن به مقصد و بخش دیگر، تعداد ایستگاههای شارژ مکان‌یابی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی روی شبکه حمل و نقل، کیفیت روش پیشنهادی را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: خودروهای الکتریکی، ایستگاههای شارژ، موفقیت سفر خودروها، تبدیل بی‌بو، دسته‌بندی kmeans حجم

ترافیک شهری

۱- مقدمه

فسیلی و نیز پیشرفت‌های اخیر در زمینه تکنولوژی خودروهای الکتریکی، تمایل زیادی را به گسترش استفاده از آنها جلب کرده است [۱]؛ بنابراین، تلاش‌های زیادی برای تشویق جامعه در جهت استفاده هرچه بیشتر از خودروهای الکتریکی صورت می‌گیرد. یکی از پارامترهای مهم تشویق، فاکتور آسایش سفر رانندگان صاحب خودروی الکتریکی است [۲]. آنچه معمولاً موجب افزایش ریسک سفر با خودروی الکتریکی می‌شود، دسترسی نداشتن به ایستگاه شارژ خودرو در طول سفرهای روزانه یا افزایش زمان انتظار

^۱ افزایش شدید مصرف انرژی، قابلیت استفاده از انرژی الکتریکی دردسترس، آلودگی و هزینه‌های سوخت‌های

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

نام نویسنده مسئول: مریم رضانی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند -

دانشکده برق و کامپیوتر

بهینه‌ایستگاههای شارژ PHEV^۵ و منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) ارائه شده است. تابع چندهدفه بهینه‌سازی شامل هزینه‌های شارژکردن و دشارژکردن است. در این ایستگاهها امکان V2G^۶ وجود دارد. توابع هدف مسئله، هزینه شارژ و دشارژ و ولتاژ و تلفات شبکه است [۱۴]. در [۱۵] یک الگوریتم چندهدفه برای اختصاص بهینه تعدادی از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر از جمله پارکینگ‌های PHEV به سیستم توزیع، ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادشده، تعداد، محل و اندازه‌های RES و پارکینگ‌ها را تعیین می‌کند. در این مراجع مسافت قابل پیمایش خودرو مطرح نشده است. در [۱۶]، مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی ایستگاههای شارژ سریع خودروهای الکتریکی در شبکه‌های حمل‌ونقل و توزیع بررسی شده است. در این مطالعه، محدودیت‌های رانندگان مربوط به شارژ EVs در نظر گرفته شده است؛ اما چون این روش در خارج از محدوده شهری مطالعه شده، پیچیدگی‌های شبکه حمل‌ونقل شهری در نظر گرفته نشده است. در [۱۷]، رویکرد جدیدی مبتنی بر عدم قطعیت برای تعریف متغیرهای احتمالی مدنظر و مکان‌یابی بهینه ایستگاههای شارژ EV ارائه شده است. مرجع [۱۸] روی طراحی شبکه شارژ پویا، یعنی نحوه بهینه‌سازی مکان ایستگاه شارژ و تعداد شارژرهای موجود در هر ایستگاه در مراحل زمانی مختلف تمرکز دارد. مرجع [۱۹] از الگوریتم ژنتیک برای شناسایی محل قرارگیری ایستگاه و جزئیات طراحی با سود حداکثر استفاده می‌کند؛ به طوری که هزینه نصب، بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات از جمله تملک زمین را در نظر می‌گیرد. در مرجع [۲۰] از الگوریتم PSO^۷ استفاده کرده است. مرجع [۲۱] مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی ایستگاه شارژ عمومی (PCS)^۸ را براساس توزیع گسسته تقاضای شارژ EV پیشنهاد می‌کند. در بیشتر تحقیقات فوق، میزان موفقیت سفر و آسایش راننده در نظر گرفته نشده است.

هدف از این مقاله، ارائه روشی جدید برای مکان‌یابی ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن شبکه حمل‌ونقل شهری با الگوریتم ژنتیک است. تابع هدف مسئله بهینه‌سازی، میزان موفقیت سفر خودروهای الکتریکی خواهد بود؛ به گونه‌ای که خودرو با طی کوتاه‌ترین مسیر در

در صف ایستگاههای شارژ خودرو است [۳]؛ بنابراین، کاهش ریسک‌های مذکور موجب افزایش فاکتور آسایش سفر صاحبان خودروی الکتریکی خواهد بود. با وجود مزایای ذکرشده برای استفاده هرچه بیشتر از خودروهای الکتریکی، افزایش بار شبکه توزیع الکتریکی و وجود برخی از محدودیت‌های فنی الکتریکی و غیر الکتریکی از معایب استفاده از این تکنولوژی است [۴]. رفتار خودروهای الکتریکی در سیستم حمل‌ونقل، ماهیت تصادفی دارد و رانندگان الزامی به تبعیت از الگوی خاصی برای طی مسیر روزانه ندارند؛ بنابراین، لازم است برای مدل‌سازی رفتار خودروها مطالعاتی مبتنی بر عدم قطعیت انجام شود. روش‌های مبتنی بر عدم قطعیت به دو دسته احتمال و امکان تقسیم‌بندی می‌شود [۵]. روش فازی از جمله روش‌های مبتنی بر امکان است. در [۶] به مدل‌سازی عدم قطعیت توان مصرفی PEV^۹ با استفاده از روش فازی پرداخته است. روش فازی ضمن ساده‌سازی حل مسئله، خطاهایی را به دنبال دارد. این مطالعه به منظور ساده‌سازی مسئله بهینه‌سازی و واردنکردن پیچیدگی‌های سیستم حمل‌ونقل شهری به نصب باتری در محل ایستگاه شارژ خودروی الکتریکی پرداخته است. روش اصلی مطالعات احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو است. در [۷-۱۰] از این روش برای مطالعات روی خودروهای الکتریکی استفاده شده است. در [۸] از توزیع آماری نرمال برای متغیرهای مسافت طی‌شده، شارژ اولیه و زمان شروع شارژگیری استفاده شده است. در این مرجع، علاوه بر بررسی شبکه توزیع الکتریکی، به روان‌سازی ترافیک شهری نیز توجه شده است. اگرچه روش آماری مونت کارلو، روش دقیقی برای بررسی مطالعات آماری است؛ اما برای شبکه‌های بزرگ به تعداد تکرار زیاد نیاز دارد. در مطالعات آماری مکان‌یابی ایستگاههای شارژ، تعداد متغیرهای آماری، زیاد و شبکه حمل‌ونقل پیچیده خواهد شد. در [۱۱] از تبدیل بی‌بو برای انجام مطالعات آماری استفاده شده است. تعداد تکرارهای لازم برای بررسی مسئله آماری با این روش بسیار کم است؛ برای مثال، برای ۳ متغیر به ۴ یا ۵ نمونه نیاز است [۱۲]. این درحالیست که در روش مونت کارلو به بیش از ۱۰۰۰ تکرار نیاز است. در [۱۳] روشی برای مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی

یکنواخت یا در طول مسیرهای پرتردد یا در کل شبکه حمل و نقل مطالعه شده پخش شده است. دومین پارامتر، زمان آغاز سفر خودرو است که با استفاده از توزیع لگاریتمی نرمال به دست آمده است. با توجه به زمان آغاز سفر، حرکت خودروها در گام‌های زمانی مختلف تعیین می‌شود. پارامتر سوم، میزان مسافت خودرو در سفر است که با استفاده از توزیع یکنواخت به دست آمده و تعیین‌کننده مقصد خودرو است و پارامتر چهارم، مقدار شارژ اولیه خودروهای الکتریکی (SOC) است که با استفاده از توزیع نرمال تعیین می‌شود.

۳- تابع هدف مسئله مکان‌یابی

خودروهای الکتریکی توان مورد نیاز خود را برای حمل و نقل در محل ایستگاههای شارژ و از شبکه توزیع انرژی الکتریکی دریافت می‌کنند؛ بنابراین، لازم است مکان‌های کاندیدا برای احداث ایستگاه شارژ، جدا از مباحث اقتصادی دارای ویژگی‌هایی از قبیل در دسترس بودن زمین، دسترسی مناسب به شبکه توزیع، ایجاد نشدن بار ترافیکی در مسیرهای منتهی به ایستگاههای شارژ و رعایت مؤلفه‌های الکتریکی و غیر الکتریکی دیگر باشد تا بدین وسیله نیاز رانندگان را برای شارژ خودروهای الکتریکی خود برآورده سازند. ظرفیت ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی به ظرفیت فیدر تغذیه توزیع، ظرفیت تجهیزات شارژ و ظرفیت فیزیکی محل ایستگاه بستگی دارد. برای کاهش زمان انتظار رانندگان برای شارژ خودروهای الکتریکی، ایستگاههای شارژ به سیستم شارژ سریع مجهزند؛ البته در بلندمدت شارژ سریع خودروها موجب فرسایش سریع باتری می‌شود و عمر مفید آنها را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، در برخی از ایستگاههای شارژ، باتری تحت شارژ کند قرار می‌گیرد و نیز گاهی هنگام مراجعه رانندگان برای تأمین شارژ، باتری خالی با باتری پُر تعویض می‌شود [۱۶]. تأکید این مقاله بیشتر بر آسایش سفر رانندگان است؛ بنابراین، ظرفیت ایستگاههای شارژ براساس تعداد خودرو در نظر گرفته شده است؛ به طوری که ۲۰۰ خودرو می‌تواند در یک بازه زمانی مشخص به ایستگاه شارژ مراجعه کنند.

سفر، آسایش رانندگان را به دنبال داشته باشد و تعداد مکان ایستگاههای شارژ نیز کمینه شوند. از قیود این مسئله، محدودیت مسافت قابل پیمایش، حجم ترافیک مسیرها، محدودیت تعداد و ظرفیت ایستگاههای شارژ هستند. در این مقاله به منظور انجام مطالعات آماری پارامترهای احتمالی خودروهای الکتریکی از روش ساده تبدیل بی‌سو استفاده شده است و به جای مطالعه تعداد زیاد حالات مختلف، چند نمونه مشخص بررسی شده است.

نوآوری‌های این مقاله به شرح زیرند:

- طراحی ایستگاههای شارژ خودروی الکتریکی در شبکه حمل و نقل شهری شامل عدم قطعیت؛
- کاهش پیچیدگی‌های مسئله جایابی ایستگاههای شارژ با استفاده از روش احتمالاتی تبدیل بی‌سو؛
- محدودیت حجم ترافیک شهری

این مقاله به بخش‌های ذیل تقسیم می‌شود: در بخش ۲ به مدل شارژ خودروهای الکتریکی و پارامترهای احتمالی آنها اشاره شده است. بخش ۳ شامل مدلسازی سفر و تابع هدف مسئله بهینه‌سازی است. تبدیل بی‌سو و روابط آن در بخش ۴ شرح داده شده‌اند. بخش ۵ شامل استراتژی روش پیشنهادی است. شبکه مطالعه شده و نتایج شبیه‌سازی در بخش ۶ آمده‌اند و سرانجام در بخش ۷ نتیجه‌گیری مقاله بیان شده است.

۲- خودروهای الکتریکی و مدلسازی

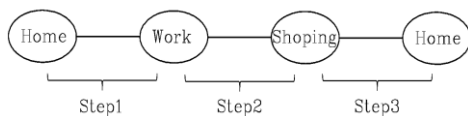
پارامترهای احتمالاتی

خودروهای الکتریکی به دلیل داشتن ماهیت تصادفی دارای پارامترهای احتمالاتی مختلفی‌اند که بسته به نوع مدلسازی از آنها استفاده می‌شود؛ برای مثال، مکان اولیه خودرو، زمان آغاز و پایان سفر، طول مسیر سفر، مقدار شارژ اولیه و ظرفیت باتری خودرو، مدل رفتار رانندگان و ... از جمله پارامترهای احتمالی است که از توزیع‌های آماری مختلفی برای مدلسازی آنها استفاده می‌شود.

در این مقاله، برای خودروهای الکتریکی چهار پارامتر احتمالاتی در نظر گرفته شده است. پارامتر اول، مکان اولیه خودروهای الکتریکی است که با استفاده از تابع توزیع

شود. با توجه به اینکه در سفرهای درون‌شهری خودروها هیچ‌گونه الگوی خاصی تکرار نمی‌شود و برای انجام بهره‌برداری از الگوهای تصادفی استفاده شده، بازه ۲۴ ساعته برای تعیین صحت بررسی، مناسب است؛ در نتیجه، طراحی مبتنی بر بهره‌برداری تصادفی ۲۴ ساعته خواهد بود؛ البته هر خودرو با توجه به میزان شارژ اولیه و طول مسیر طی شده، در هر لحظه از ۲۴ ساعت به شارژ نیاز پیدا می‌کند؛ بنابراین، لازم است بررسی مسئله بهره‌برداری با دقت یک دقیقه صورت گیرد. این نشان می‌دهد در حل مسئله جایابی ایستگاههای شارژ برای تعداد زیاد خودروها در شبکه شهری با دقت یک دقیقه تعداد گام‌ها خیلی زیاد و محاسبات، سنگین و مشکل‌ساز می‌شود.

در این مقاله، به منظور کاهش حجم محاسبات و حذف حالت‌های تکراری، طراحی در گام‌های زمانی پیشنهاد می‌شود؛ به این صورت که بازه مطالعاتی ۲۴ ساعته به چند گام زمانی تقسیم می‌شود که در هر گام خودروهای الکتریکی سفر خود را کامل به انجام می‌رسانند. در هر گام زمانی، خودروهای الکتریکی می‌توانند سفری داشته باشند که دارای مبدأ و مقصد مشخصی است؛ بدین‌گونه که در گام زمانی اول، خودرو از مبدأ سفر خود را آغاز می‌کند و با توجه به میزان شارژ اولیه (SOC_0) و ایستگاههای شارژ مسیر پیش رو به مقصد می‌رسد و سفر آن موفق خواهد بود. در مرحله بعد، مقصد گام اول به‌عنوان مبدأ خودرو در سفر گام زمانی دوم تعریف خواهد شد و خودرو، سفر جدید با مقصد جدیدی را آغاز می‌کند. این عمل همانند آنچه در شکل (۱) مشاهده می‌کنید، مانند حرکت خودرو در ابتدای صبح از منزل تا محل کار و بعد مراجعه به فروشگاه برای خرید و سپس برگشت از محل کار به منزل در بعدازظهر است. در طول شبانه‌روز و بعد از طی سه گام زمانی، سفر خودرویی موفق خواهد بود که در تمام گام‌های زمانی با موفقیت به مقصد برسد.



شکل (۱): گام‌های زمانی در سفر خودروهای الکتریکی

به‌منظور موفقیت جایگزینی تکنولوژی خودروهای الکتریکی با خودروهای سوخت فسیلی، لازم است این تکنولوژی جدید، خواسته‌های اولیه رانندگان را برآورده کند. یکی از این خواسته‌ها آسایش سفر است که در این مقاله، موفقیت مسافرت‌های شهری خودروها بدون آنکه دچار کمبود شارژ شوند و با پیمودن کوتاه‌ترین مسیر و کمترین حجم ترافیک به مقصد برسند، تعریف شده است. هر خودروی الکتریکی در ابتدای سفر با توجه به میزان شارژ اولیه باطری خود (SOC_0) مقداری از مسافت سفر پیش روی خود را به مقدار L_1 بر حسب واحد طول مسیر (km) مطابق رابطه (۱) طی می‌کند تا میزان شارژ باتری آن به مقدار حداقل SOC_{min} برسد. SOC_{min} حداقل مقدار شارژ باتری است که خودرو باید سریعاً به ایستگاه شارژ مراجعه کند.

$$L_1 = \frac{C_p * (SOC_0 - SOC_{min})}{P_c} \quad (1)$$

که C_p ظرفیت خودرو بر حسب kw و P_c میزان مصرف توان بر حسب kw/km است. سپس خودرو باید برای شارژ به نزدیک‌ترین ایستگاه شارژ مراجعه کند تا ظرفیت باتری را حداکثر (SOC_{max}) کند. بعد از آن، سفر خود را ادامه دهد و مطابق رابطه (۲) مقدار L_2 دیگری را طی کند.

$$L_2 = \frac{C_p * (SOC_{max} - SOC_{min})}{P_c} \quad (2)$$

حال مجموع مسافت قابل پیمایش خودرو بر حسب km به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$L_t = L_1 + L_2 \quad (3)$$

اگر پارامتر D_t بر حسب km طول مسیر خودرو در سفر از مبدأ تا مقصد تعریف شود، آنگاه سفر خودرو الکتریکی زمانی موفق خواهد بود که میزان مسافت قابل پیمایش خودرو از طول مسیر کمتر شود.

if $D_t \leq L_t$ then trip is successful

برای بررسی صحت طراحی ایستگاههای شارژ خودرو در یک شبکه حمل‌ونقل شهری، لازم است عملکرد سیستم شارژ خودروها در یک بازه زمانی مشخص، بهره‌برداری

۴- تبدیل بی بو

در مطالعات احتمالاتی، جامع‌ترین روش بررسی، شبیه‌سازی مونت کارلو است. این روش دقیق آماری با اجرای تمام حالات ممکن متغیرهای احتمالی در برخی مطالعات سیستم قدرت تا چند هزار یا چند ده هزار تکرار به همراه خواهد داشت. با وجود این، در مطالعاتی که تعداد متغیرهای احتمالاتی زیاد است، زمان شبیه‌سازی برای رسیدن به همگرایی، بسیار طولانی و پیچیده خواهد بود. روش قدرتمند تبدیل بی بو، ضمن فراهم کردن دقت بالا، حجم پردازش ناچیزی را به دنبال دارد. در این مقاله، به دلیل زیادبودن متغیرهای احتمالاتی روش پیشنهادی، از روش تبدیل بی بوی کرولی برای مطالعات احتمالاتی استفاده شده است. گام‌های مطالعات احتمالی به روش تبدیل بی بوی کرولی به صورت زیر است [۲۲].

الف) استفاده از اطلاعات ورودی متغیرهای تصادفی برای محاسبه بردار مقدار میانگین (m) و محاسبه ماتریس کوواریانس متغیرهای ورودی (COV).

ب) انتخاب ضریب وزنی g^k مطابق رابطه (۶):

$$g^k = \frac{1-g^0}{n+1}, \quad k=1, 2, \dots, n+1 \quad (6)$$

$$0 \leq g^0 \leq 1$$

ج) تولید بردارهای U به صورت بازگشتی مطابق رابطه (۷).

$$U_i^{(j)} = \begin{cases} \begin{bmatrix} U_0^{(j-1)} \\ 0 \end{bmatrix} & i=0 \\ \begin{bmatrix} U_i^{(j-1)} \\ 1 \\ \sqrt{j(j+1)g^1} \end{bmatrix} & i=1, \dots, j \\ \begin{bmatrix} 0 \\ j \\ \sqrt{j(j+1)g^1} \end{bmatrix} & i=j+1 \end{cases} \quad (7)$$

که $U_0^{(1)}=0$ ، $U_1^{(1)}=-1/2g^1$ و $U_2^{(1)}=1/2g^1$ است. U معرف بردار نمونه‌ها، i شمارنده بازگشتی و $j=n$ هستند؛ بنابراین، نمونه‌هایی که لازم است به سیستم مطالعه شده اعمال شوند تا بتوان با استفاده از آنها خروجی را تخمین زد، مطابق رابطه (۸) است.

مکان بهینه ایستگاههای شارژ باید به گونه‌ای انتخاب شود تا میزان موفقیت سفر خودروها در طول یک شبانه‌روز و بعد از پیمایش سفرهای مختلف در چند گام زمانی حداکثر و برای کاهش هزینه‌ها از تعداد ایستگاههای شارژ کمتری استفاده شود؛ زیرا بدیهی است با وجود تعداد زیاد ایستگاههای شارژ هیچ خودرویی برای سفر خود به مشکلی بر نخواهد خورد. همچنین به دلیل هزینه‌های مربوط به ایستگاههای شارژ شامل زمین و تجهیزات و همچنین محدودیت‌های جغرافیایی، باید تعداد ایستگاههای شارژ کمینه شود؛ بنابراین، باید مکان و تعداد ایستگاههای شارژ به گونه‌ای بهینه شود تا خودروهای الکتریکی سفر موفق‌تری داشته باشند و هزینه‌های اضافی به سیستم تحمیل نشود؛ بنابراین، رابطه (۴) به عنوان تابع هدف مسئله، به گونه‌ای تعریف می‌شود که باید مقدار ناموفق بودن سفر خودروها و تعداد ایستگاههای شارژ کمینه شود.

$$F = \alpha_1 \left(1 - \frac{N_{succes}}{N_T}\right) + \alpha_2 \left(\frac{N_{cs}}{N_{Tcs}}\right) \quad (4)$$

که N_{succes} برابر تعداد خودروهایی که سفر موفق داشته‌اند، N_T کل خودروهای موجود در شبکه، N_{cs} تعداد مکان ایستگاههای شارژ مکان‌یابی شده و N_{Tcs} تعداد کل مکان‌های موجود در شبکه برای نصب ایستگاههای شارژ است. برای این مسئله، قیود محدودیت حجم ترافیک و محدودیت ظرفیت ایستگاه شارژ در نظر گرفته شده است. حجم ترافیک هیچ‌یک از مسیرها مطابق رابطه (۵) نباید از مقدار مجاز آن تجاوز کند و خودرو سفر خود را بین مبدأ و مقصد با پیمایش کمترین مسیر ممکن طی کند و برای کاهش زمان انتظار به ایستگاه شارژی مراجعه کند که دارای ظرفیت خالی در آن گام زمانی باشد.

$$T_{Lb} < T_{maxb} \quad \text{for } b=1, \dots, B \quad (5)$$

که در این رابطه T_{Lb} میزان ترافیک مسیر b ام و T_{maxb} ماکزیمم حجم ترافیک مجاز مسیر b ام و B تعداد کل مسیرها است.

زمان سفر در سناریوهای مختلف از توزیع‌های آماری متناسب با آن سناریو استفاده شده است؛ ولی برای مقدار SOC_0 و طول مسیر با استفاده از روش UT کروی تعداد نمونه‌های لازم به دست آمده است. با استفاده از این روش، به جای اجرای شبیه‌سازی برای تمام ۱۰۰۰ خودرو، فقط ۴ نمونه اجرا می‌شود. هر نمونه دارای ضریب وزنی مربوط به خود است که باید با در نظر گرفتن هر نمونه به آن اعمال شود. با استفاده از روش دسته‌بندی k means مکان خودروهای الکتریکی به تعداد دسته‌های مشخصی تقسیم می‌شود تا از حجم زیاد محاسبات و پیچیدگی مسئله کاسته شود. هر دسته دارای نماینده و میزان احتمال مشخصی برای آن دسته بوده و در این شبیه‌سازی، تعداد دسته‌ها ۱۲ در نظر گرفته شده است [۲۶]. در جدول (۱) مقادیر میانگین و انحراف معیار برای توابع توزیع پارامترهای مذکور نشان داده شده است.

جدول (۱): متغیرهای توابع توزیع احتمالی مسئله

متغیرهای احتمالاتی	نوع تابع توزیع احتمالی	میانگین	انحراف معیار
مکان اولیه خودروها	تابع توزیع احتمالی یکنواخت دوبعدی		
مقدار SOC_0	نرمال	۰/۵	۰/۱۵
طول مسیر سفر	تابع توزیع احتمالی یکنواخت تک‌بعدی		
زمان آغاز سفر	لگاریتمی نرمال	ساعت ۷ صبح	ساعت ۵

برای مدلسازی میزان ترافیک مسیرهای شبکه حمل‌ونقل مطالعه شده، با استفاده از داده‌های حجم ترافیکی سال‌های گذشته، چند مسیر پرتردد، مسیرهای پیش‌فرض مشخص شده‌اند و برای آنها میزان حجم مشخصی از ترافیک تعیین شده است. خودروهای الکتریکی برای سفرهای روزانه خود باید از این مسیرهای پیش‌فرض و با توجه به حجم ترافیکی آنها تردد کنند تا همیشه ترافیک کنترل شود. همچنین برای سفر خودروها بین مبدأ و مقصد کوتاه‌ترین مسیر ممکن، بررسی و انتخاب می‌شود.

در سناریوی اول، خودروها براساس حجم ترافیک مسیرهای پیش‌فرض و مقصد، به یکی از مسیرها اختصاص می‌یابند و با توجه به میزان شارژ اولیه خودرو (SOC_0)

$$m^i = \bar{m} + \sqrt{COV} \cdot U_i^j, \quad i = 0, 1, \dots, n+1 \quad (8)$$

با مشخص شدن نمونه‌ها و ضرایب وزنی، خروجی‌ها به صورت رابطه‌های (۹) تا (۱۱) محاسبه می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای n متغیر تعداد $n+2$ نمونه از روش تبدیل بی‌بوی کروی به دست می‌آید.

$$Y^k = f(m^k), \quad k = 0, 1, \dots, 2n \quad (9)$$

$$\bar{Y} = \sum_{k=0}^{2n} g^k Y^k \quad (10)$$

$$COV(Y) = \sum_{k=0}^{2n} g^k (Y^k - \bar{Y})(Y^k - \bar{Y})^T \quad (11)$$

که Y بردار متغیرهای خروجی و $COV(Y)$ کواریانس متغیرهای خروجی است.

۵- استراتژی پیشنهادی

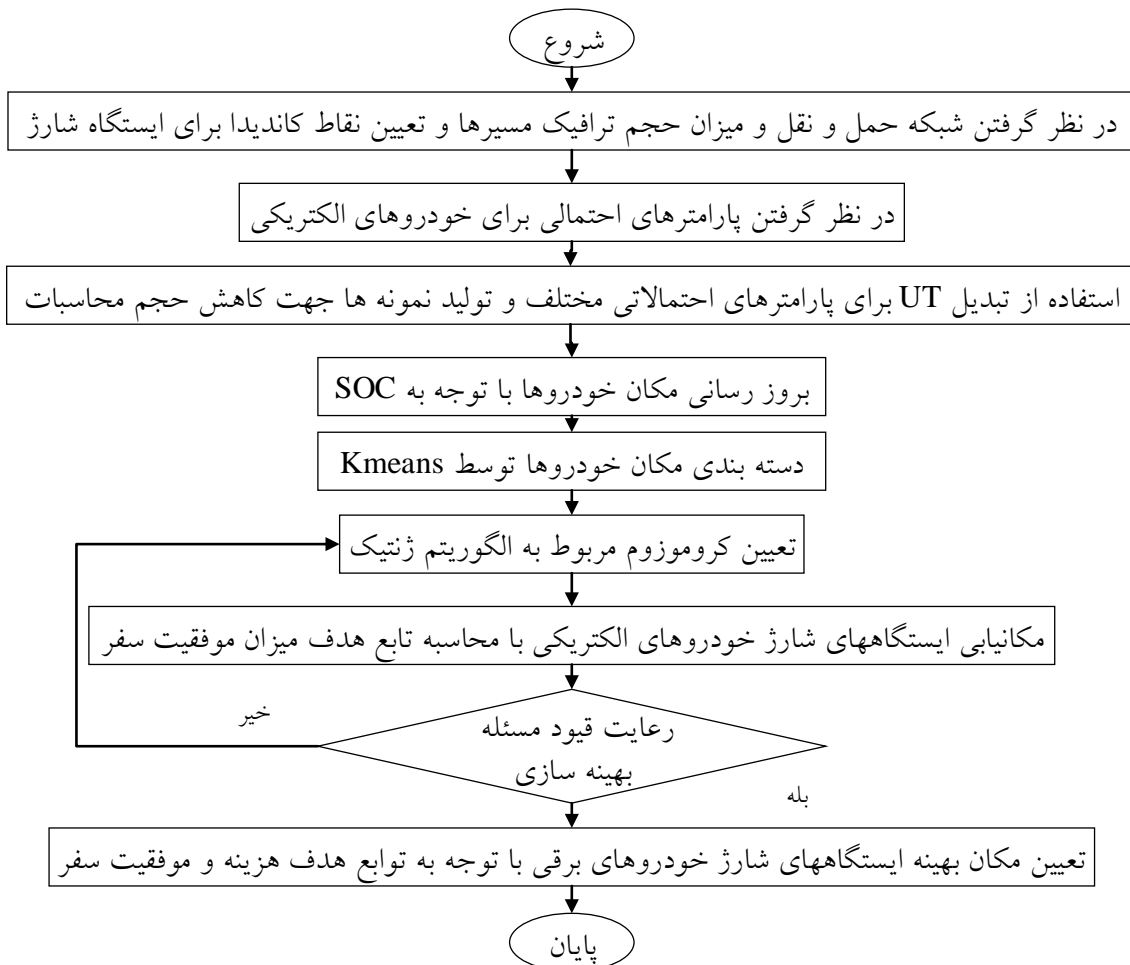
برخلاف مطالعات گذشته که به منظور ساده‌سازی طراحی ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی در ساعات خاصی از شبانه‌روز انجام گرفته است [۲۳-۲۵]، در این مقاله، برای مدلسازی بهتر و دقیق‌تر تعیین مکان بهینه، ایستگاههای شارژ براساس موفقیت سفر در طول یک شبانه‌روز و در چند گام زمانی شبیه‌سازی شده‌اند و از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تابع هدف مسئله استفاده شده است.

کروموزوم پیشنهادی که مکان کاندیدای ایستگاههای شارژ را نشان می‌دهد، برای تمام گام‌های زمانی برآزش می‌شود و مقدار تابع هدف نهایی مجموع مقادیر توابع هدف در گام‌های زمانی مختلف است.

با توجه به مکان اولیه تصادفی خودروها و وجود مسیرهای مختلف در شبکه، دو سناریوی مختلف برای مدلسازی روش پیشنهادی ارائه شده است. در این مقاله، تعداد ۱۰۰۰ خودرو الکتریکی در نظر گرفته شده که برای آنها چهار متغیر تصادفی شامل مقدار SOC_0 (میزان شارژ اولیه باتری)، مکان خودرو در شبکه، طول مسیر سفر روزانه که تعیین‌کننده مقصد است و زمان شروع سفر، مدلسازی شده است. برای متغیرهای مکان اولیه خودرو و

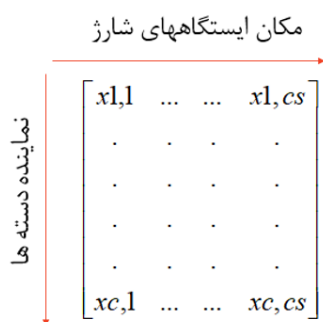
دسته‌بندی با توجه به مکان خودروها در شبکه شهری طبق روش دسته‌بندی kmeans صورت گرفته و نماینده دسته‌ها تعیین می‌شود؛ با این تفاوت که در سناریو اول، پس از اعمال تبدیل UT به پارامترهای احتمالی، به دلیل به‌روزشدن مکان خودروها دسته‌بندی صورت می‌گیرد و در سناریو دوم، قبل از تعیین متغیرهای تصادفی دسته‌بندی انجام می‌شود؛ در نتیجه، خروجی مسئله مکان ایستگاههای شارژی در شبکه مطالعه شده خواهد بود که ضمن رعایت حجم ترافیک مسیرها، خودروهای الکتریکی با پیمایش کمترین مسیر ممکن و کاهش تعداد مکان ایستگاههای شارژ بیشترین میزان موفقیت سفر و در نتیجه، آسایش سفر رانندگان را به دنبال خواهد داشت. فلوجارت کلی مسئله در شکل (۲) نشان داده شده است.

مسافتی از سفر خود را طی می‌کنند و مکان آن به‌روز می‌شود و بعد از آن، متقاضی مراجعه به ایستگاههای شارژ خواهد بود؛ اما در سناریو دو، مکان خودروها در کل شبکه شهری شامل معابر و کوچه‌ها و منازل پخش می‌شود تا بتوان در مطالعات بعدی از بهبود قابلیت اطمینان شبکه با استفاده از امکان V2G خانگی سود برد. سپس هر خودرو براساس مقصد، حجم ترافیک مسیرهای پیش‌فرض و SOC₀ سفر خود را آغاز می‌کند و در طول سفر در صورت نیاز باید به ایستگاههای شارژ مراجعه کند. برای به دست آمدن مکان بهینه، ایستگاههای شارژ قسمت‌هایی از شبکه مطالعه شده را مکان کاندیدا انتخاب کرده که حداکثر ظرفیت آنها تعداد ۲۰۰ خودروی الکتریکی در هر بازه زمانی مطالعه شده است. در هر دو سناریو خودروها در هر گام زمانی دسته‌بندی می‌شوند. این



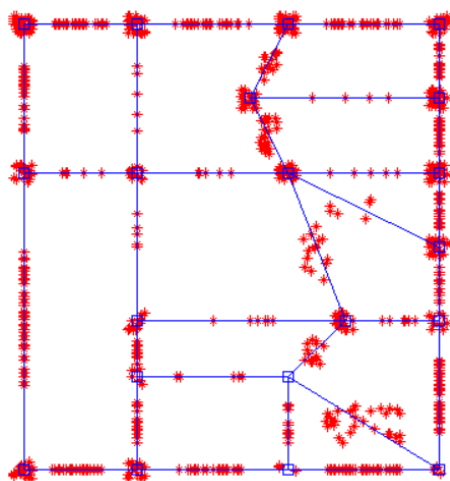
شکل (۲): فلوجارت مسئله مکان‌یابی ایستگاههای شارژ

داده شد، مکان اولیه خودروها در طول مسیرهای پیش‌فرض است و بعد از طی مسافتی براساس نمونه‌های UT مکان آنها بروز می‌شود و سپس خودروها دسته‌بندی می‌شوند. در این سناریو، کروموزوم به‌صورت دوبعدی پیشنهاد می‌شود و با توجه به شکل (۵)، بُعد افقی مکان ایستگاههای شارژ در نقاط کاندیدا نشان داده می‌شود و بُعد عمودی مکان نماینده دسته‌ها را نشان می‌دهد. مجموع درایه‌های هر سطر، عدد یک بوده و مجموع درایه‌های هر ستون، کمتر از ظرفیت آن ایستگاه است که در این مسئله ۲۰۰ خودرو است. درخور ذکر است ضرایب وزنی مربوط به نمونه‌های UT و احتمال نماینده دسته‌های kmeans در هر مرحله اعمال می‌شود. شکل‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب مکان اولیه خودروهای الکتریکی را قبل و بعد از دسته‌بندی در سناریو یک نمایش می‌دهد.



شکل (۵): کدبندی مسئله برای مکان‌یابی ایستگاههای شارژ -

سناریو یک

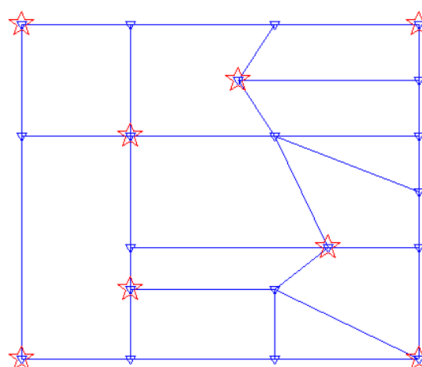


شکل (۶): شماتیک مکان خودروها در شبکه حمل‌ونقل -

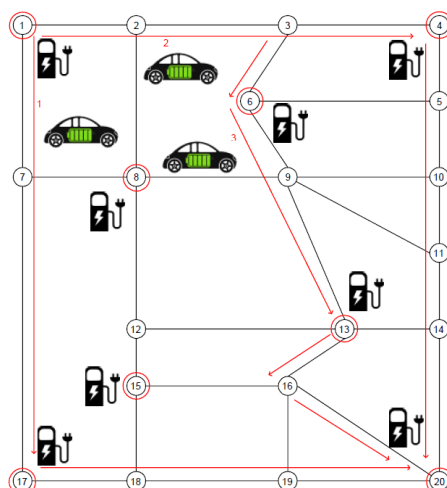
سناریو یک

۶- سیستم مطالعه‌شده و نتایج شبیه‌سازی

شکل (۳) برای انجام شبیه‌سازی شبکه حمل‌ونقل در نظر گرفته شده و این شبکه مطابق شکل (۴) شامل ۲۰ گره (تقاطع) و ۳۱ خیابان است. برای شبکه مذکور، ۸ مسیر پرتدد در نظر گرفته می‌شود که با توجه به سناریوهای توضیح داده شده در حین برنامه، شبیه‌سازی خودروها به این مسیرها اختصاص می‌یابند. بدین‌گونه خودروهای الکتریکی سفر خود را در طول این مسیرها به انجام می‌رسانند و در صورت نیاز باید به ایستگاههای شارژ برای تأمین انرژی مورد نیاز برای طی کردن مابقی مسیر مراجعه کنند. در شکل (۴) تعدادی از مسیرهای پرتدد و مکان‌های کاندیدا برای احداث ایستگاههای شارژ شامل گره‌های ۱، ۴، ۶، ۸، ۱۳، ۱۵، ۱۷ و ۲۰ نشان داده شده است.



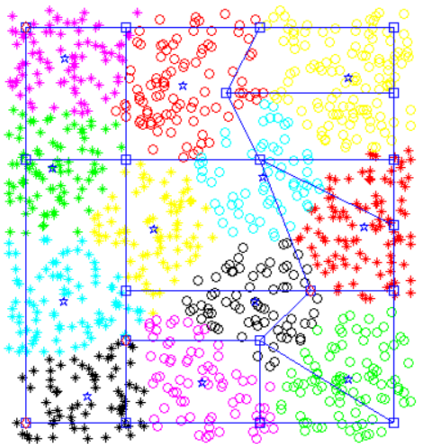
شکل (۳): شبکه حمل‌ونقل مطالعه‌شده [۲۷]



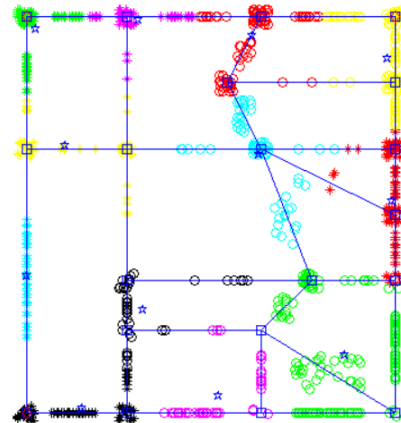
شکل (۴): تعدادی از مسیرهای پرتدد و مکان‌های کاندیدا

۶-۱- سناریو یک

در سناریو یک، همان‌طور که در بخش قبل توضیح



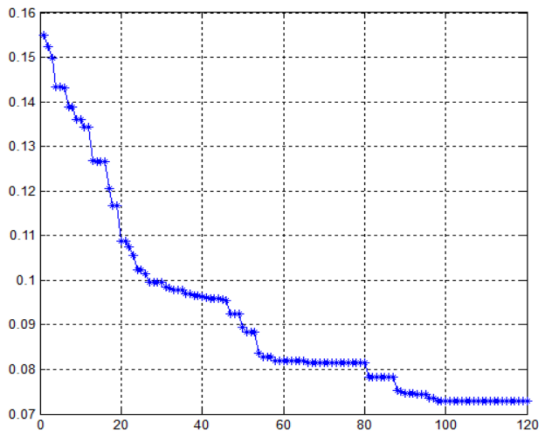
شکل (۱۰): شماتیک دسته‌بندی مکان خودروها در شبکه حمل و نماینده هر دسته - سناریو یک



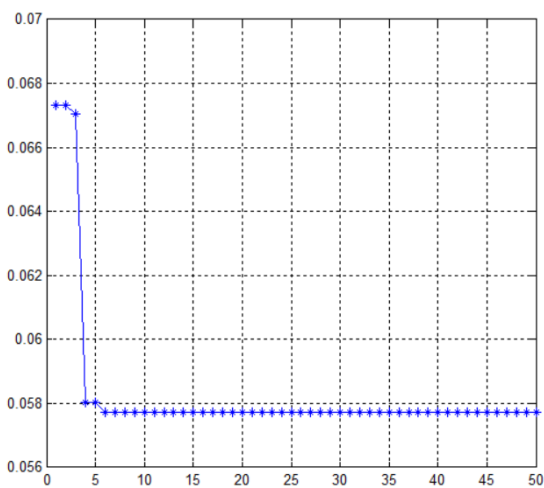
شکل (۷): شماتیک دسته‌بندی مکان خودروها در شبکه حمل و نماینده هر دسته - سناریو یک

۶-۲- سناریو دو

در سناریو دو، مکان خودروها در تمام شبکه شهری به صورت یکنواخت است و براساس بُعد جغرافیایی با k means دسته‌بندی می‌شود و نماینده هر دسته برای هر نمونه UT سفر خود را انجام می‌دهد. در این سناریو کروموزوم به صورت تک‌بعدی شکل (۸) و شامل مکان کاندید ایستگاههای شارژ است که هر درایه حضورداشتن یا نداشتن ایستگاه شارژ را در مکان مربوطه نشان می‌دهد. شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب مکان اولیه خودروهای الکتریکی را قبل و بعد از دسته‌بندی در سناریو دو نشان می‌دهد.



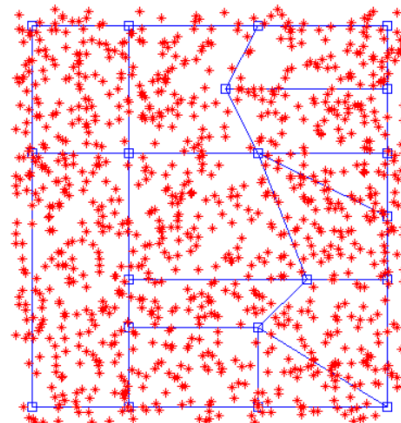
شکل (۱۱): روند همگرایی تابع هدف - سناریو یک



شکل (۱۲): روند همگرایی تابع هدف - سناریو دو

x_1	x_2	x_{n-1}	x_n
-------	-------	-------	-----------	-------

شکل (۸): کدبندی مسئله - سناریو دو



شکل (۹): شماتیک مکان خودروها در شبکه حمل و نقل - سناریو دو

منحنی‌های همگرایی سناریو یک و دو به ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده که برای تابع

به ایستگاههای شارژ در دسترس بیشتری نیاز است.

هدف، رابطه (۴) با ضرایب $\alpha_1 = 0.9$ و $\alpha_2 = 0.1$ به دست آمده است.

جدول (۲): مقایسه نتایج حالات مختلف

روش حل	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۲ با سه گام زمانی	مرجع [2]
مکان ایستگاههای شارژ	-۵-۱ ۱۷	-۱۰-۲ ۱۷-۱۶	-۱۳-۱۰-۲ ۱۷	-۷-۶ -۱۷-۱۱ ۲۰
مقدار تابع هدف	۰/۰۷۳۵	۰/۰۵۷۸	۰/۰۹۷۴	-
موفقیت سفر (%)	۹۲/۵	۹۵/۸	۹۱/۴	۹۶/۵

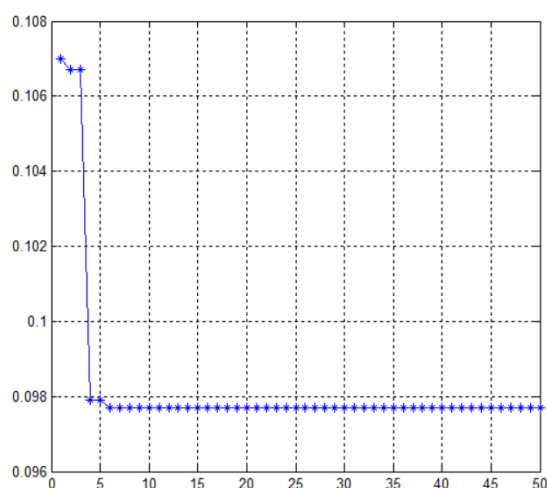
بر اساس نتایج سناریو دو با گام زمانی، مشاهده می‌شود که دلیل در نظر گرفتن سه گام زمانی در طول ۲۴ ساعت و افزایش حجم سفرها، موفقیت سفر خودروهای الکتریکی کاهش یافته است؛ یعنی ممکن است خودرویی در گام زمانی اول، سفر موفق داشته باشد؛ اما در گام‌های زمانی بعد با موفقیت به مقصد نرسیده باشد؛ بنابراین، باید طراحی و بهره‌برداری برای مدلسازی دقیق‌تر و به دست آوردن مکان بهینه‌تر ایستگاههای شارژ، در یک بازه زمانی مشخص انجام گیرد. جدول (۲) نشان می‌دهد مرجع [۲] درصد موفقیت سفر بالاتری نسبت به سناریوهای پیشنهادی ما دارد؛ زیرا بدون در نظر گرفتن هزینه‌ها و با احداث یک ایستگاه شارژ، درصد موفقیت سفر را افزایش داده است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به مکان‌یابی بهینه ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن شاخص موفقیت سفر و کمینه‌سازی مکان ایستگاههای شارژ به منظور کاهش هزینه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است. با توجه به اینکه تعداد متغیرهای تأثیرگذار شامل شارژ اولیه خودروها و مسافت طی شده در شبکه شهری کاملاً تصادفی است و بر اساس توزیع آماری رفتار می‌کند، از روش تبدیل بی‌بو برای سادگی محاسبات و فرآیند مکان‌یابی مبتنی بر بهره‌برداری بهینه استفاده شده است. به منظور افزایش دقت نتایج، آیتم گام زمانی در شبیه‌سازی وارد شده است تا

۳-۶- سناریو دو با در نظر گرفتن گام زمانی

در این بخش، مکان‌یابی ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی در سناریو دو در مدت ۲۴ ساعت شبانه‌روز و به‌ازای سه گام زمانی انجام شده است؛ یعنی هر خودرو در طول یک روز سفرهای متعددی دارد که هر کدام دارای مبدأ، مقصد و مسیر متفاوتی خواهند بود؛ بنابراین، مکان بهینه ایستگاههای شارژ برای تابع هدف در طول ۲۴ ساعت تعیین می‌شود؛ بنابراین، با در نظر گرفتن گام زمانی و تکرار مسئله در سناریو دو خروجی تابع هدف، محاسبه و منحنی همگرایی تابع هدف برای این بخش در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۳): روند همگرایی تابع هدف - سناریو دو با در نظر

گرفتن گام زمانی

نتایج سه حالت مذکور در جدول (۲) نمایش داده شده‌اند که با یکدیگر و با مرجع [۲] مقایسه شده‌اند. از مقایسه نتایج سناریو یک و دو مشاهده می‌شود سناریو دو نسبت به سناریو یک میزان موفقیت سفر را با اضافه کردن یک ایستگاه شارژ در شبکه افزایش داده است؛ به طوری که تابع هدف رابطه (۴) دارای مقدار پایین‌تری است؛ زیرا با حضور خودروهای الکتریکی در کل شبکه به صورت یکنواخت، مسافت قابل پیمایش خودروها افزایش یافته و

- Firuzabad, "Planning and operation of parking lots considering system, traffic, and drivers behavioral model," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018.
- [5] M. H. Moradi, M. Abedini, S. R. Tousi, and S. M. Hosseinian, "Optimal siting and sizing of renewable energy sources and charging stations simultaneously based on Differential Evolution algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 73, pp. 1015-1024, 2015.
- [6] A. Ahmadian, M. Sedghi, and M. Aliakbar-Golkar, "Fuzzy load modeling of plug-in electric vehicles for optimal storage and DG planning in active distribution network," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, pp. 3622-3631, 2016.
- [7] S. N. Jahromi, A. Askarzadeh, and A. Abdollahi, "Modelling probabilistic transmission expansion planning in the presence of plug-in electric vehicles uncertainty by multi-state Markov model," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 11, pp. 1716-1725, 2017.
- [8] M. R. Khalghani, S. Khushalani-Solanki, and J. Solanki, "Optimal integration and location of PHEV aggregators in power distribution systems," in 2016 North American Power Symposium (NAPS), pp. 1-6, 2016.
- [9] Q. Yang, S. Sun, S. Deng, Q. Zhao, and M. Zhou, "Optimal sizing of PEV fast charging stations with Markovian demand characterization," IEEE Transactions on Smart Grid, 2018.
- [10] H. Hashemi-Dezaki, M. Hamzeh, H. Askarian-Abyaneh, and H. Haeri-Khiavi, "Risk management of smart grids based on managed charging of PHEVs and vehicle-to-grid strategy using Monte Carlo simulation," Energy conversion and management, Vol. 100, pp. 262-276, 2015.
- [11] A. Zare, C. Chung, B. Khorramdel, N. Safari, and S. OmarFaried, "A Novel Unscented Transformation-Based Framework for Distribution Network Expansion Planning Considering Smart EV Parking Lots," in 2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE), pp. 1-5, 2018.
- [12] S. J. Julier, "The spherical simplex unscented transformation," in Proceedings of the American Control Conference, pp. 2430-2434, 2003.
- [13] M. H. Moradi, M. Abedini, and S. M. Hosseinian, "Improving operation constraints of microgrid using PHEVs and renewable energy sources," Renewable energy, Vol. 83, pp. 543-552, 2015.
- [14] I. Goroohi Sardou, M. J. Shahriyari, "Power system probabilistic scheduling with electric vehicles considering renewable energy sources uncertainties," Computational intelligence in electrical engineering, Vol. 11, pp. 111-30, 2020.
- [15] A. El-Zonkoly, "Intelligent energy management of optimally located renewable energy systems incorporating PHEV," Energy conversion and management, Vol. 84, pp. 427-435, 2014.

علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای احتمالی مانند مکان اولیه خودروها و مقدار شارژ اولیه باتری خودروها، زمان بهره‌برداری در مدت زمان ۲۴ ساعت و در سه گام زمانی لحاظ شود.

با توجه به نتایج جدول (۲) و مقایسه سناریوهای مختلف، مشخص است در صورت افزایش طول مسیر سفر خودروهای الکتریکی، به ایستگاه شارژ بیشتری برای بالابردن میزان موفقیت سفر خودروها در شبکه حمل و نقل نیاز است و همچنین، اگر در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز و در چند گام زمانی، تعداد سفر خودروها افزایش یابد، در صورت نبود ایستگاه شارژ کافی درصد موفقیت سفر کاهش خواهد یافت که برای جبران آن، مطابق مرجع [۲] باید تعداد ایستگاههای شارژ را افزایش داد و بنابراین، هزینه‌ها افزایش خواهد یافت.

بر طبق نتایج این مقاله، روش پیشنهادی توانسته است با کنترل حجم ترافیک شهری و کاهش مسافت قابل پیمایش خودروهای الکتریکی در شبکه حمل و نقل، بهینه‌ترین مکان ایستگاههای شارژ با میزان موفقیت سفر بالاتر و به دنبال آن آسایش سفر رانندگان را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از آقای محسن عکافی مبارکه برای راهنمایی‌های راهگشایشان، کمال قدردانی را دارند.

مراجع

- [1] H. Xing, M. Fu, Z. Lin, and Y. Mou, "Decentralized optimal scheduling for charging and discharging of plug-in electric vehicles in smart grids," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 31, pp. 4118-4127, 2015.
- [2] Y. A. Alhazmi, H. A. Mostafa, and M. M. Salama, "Optimal allocation for electric vehicle charging stations using Trip Success Ratio," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 91, pp. 101-116, 2017.
- [3] S. Wang, Z. Y. Dong, F. Luo, K. Meng, and Y. Zhang, "Stochastic collaborative planning of electric vehicle charging stations and power distribution system," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 14, pp. 321-331, 2018.
- [4] M. Rahmani-Andebili, H. Shen, and M. Fotuhi-

- [22] X. Wang, M. Shahidehpour, C. Jiang, and Z. Li, "Coordinated Planning Strategy for Electric Vehicle Charging Stations and Coupled Traffic-Electric Networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 34, pp. 268-279, 2018.
- [23] M. M. Islam, H. Shareef, and A. Mohamed, "Optimal location and sizing of fast charging stations for electric vehicles by incorporating traffic and power networks," *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 12, pp. 947-957, 2018.
- [24] X. Huang, J. Chen, H. Yang, Y. Cao, W. Guan, and B. Huang, "Economic planning approach for electric vehicle charging stations integrating traffic and power grid constraints," *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 12, pp. 3925-3934, 2018.
- [25] S. J. Julier, "The scaled unscented transformation", *IEEE American Control Conference*, 2002.
- [26] M. Ramezani, C. Singh, M.-R. Haghifam, "Role of clustering in the probabilistic evaluation of TTC in power systems including wind power generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 24, no. 2, pp. 849 - 858, 2009.
- [27] Yao W, Zhao J, Wen F, Dong Z, Xue Y, Xu Y, et al. "A multi-objective collaborative planning strategy for integrated power distribution and electric vehicle charging systems." *IEEE Trans Power System*, Vol, 29. pp. 1–11, 2014.
- [16] H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu, W. Qi, and Y. Song, "A second-order cone programming model for planning PEV fast-charging stations," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 33, pp. 2763-2777, 2017.
- [17] H.-C. Liu, M. Yang, M. Zhou, and G. Tian, "An integrated multi-criteria decision making approach to location planning of electric vehicle charging stations," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vvol. 20, pp. 362-373, 2018.
- [18] Y. Zhang, J. Chen, L. Cai, J. Pan, "Expanding EV Charging Networks Considering Transportation Pattern and Power Supply Limit," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 10, pp. 6332-6342, 2019.
- [19] Y. Huang, K. M. Kockelman, "Electric vehicle charging station locations: Elastic demand, station congestion, and network equilibrium," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 78, 102179, 2020.
- [20] I. Goroohi Sardou, "Optimal Multi-objective Development Scheduling of Electric Vehicles in Distribution Network using Particle Swarm Optimization," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 9, pp. 55-64, 2018.
- [21] Y. Liang, C. Guo, J. Yang, Z. Ding, "Optimal planning of charging station based on discrete distribution of charging demand," *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 14, pp. 965-974, 2019.

-
- ¹ Electric Vehicle
² Charging Station
³ Unscented Transformation
⁴ Plug-in Electric Vehicle
⁵ Plug-in Hybrid Electric Vehicle
⁶ Renewable Energy Sources
⁷ Vehicle-to-Grid
⁸ Particle Swarm Optimization
⁹ Public Charging Station
¹⁰ State of Charge