The use of MPSO algorithm in the optimal management of charging stations for hybrid electric vehicles in electric energy distribution networks

Morad Mohammadin [1,*]
[1] Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Sabzevar Branch, Sabzevar, Iran
E-mails: mohamediiiianmoraad@gmail.com
* corresponding author

Abstract
In recent years, attention has been focused on the problems of fossil fuels, environmental pollution and the development of electric vehicle technology. The industry is growing at an ever-increasing rate around the world. Hence, one of the industry's leading challenges is the need to build fast charging stations to encourage consumers to switch to this transit vehicle at low cost and very fast times than home chargers. In this context, the optimal location of charging stations is examined by the multi particle optimization algorithm with environmental factors and radius of servicing and servicing of electric vehicle charging stations. Then, the objective function of optimizing the charging stations of electric vehicles is minimized to minimize the total costs associated with the target function, using the MPSO particle optimization algorithm. Finally, the simulated results in IEEE bus systems indicate that the optimization model and method can lead to a reasonable optimization for charging stations and help reduce network losses and improve the voltage profile.

Keywords
Electric vehicles, charging stations, network losses, MPSO algorithm

استفاده از الگوریتم MPSO در مدیریت بهینه ایستگاه های شارژ خوروهای هیبرید در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی

مراد محمدیان[۱]
گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران
ایمیل نویسندگان: mohamediiiianmoraad@gmail.com

چکیده
در سال‌های اخیر با توجه به مشکلات تامین سوخت فسیلی، آلودگی‌های محیط زیستی و پیشرفت تکنولوژی ساخت خودروهای الکتریکی، توجه خاصی به این سمت معطوف شده است. به گونه‌ای که این صنعت با رشد صعودی در حال فراگیر شدن در سرتاسر دنیا می‌باشد. از این رو یکی از چالش‌های پیش‌رو این صنعت، لزوم احداث ایستگاه‌های شارژ سریع می‌باشد تا با هزینه اندک و زمان بسیار سریع نسبت به شارژرهای خانگی باعث تشویق مصرف کننده‌گان جهت روی آوردن به این وسیله حمل و نقل پاک شود. در این زمینه، مکان بهینه ایستگاه‌های شارژ، توسط روش الگوریتم بهینه سازی ذره‌ای چند هدفه و MPSO با عوامل محیطی و شعاع سرویس دهی و خدمات رسانی ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس تابع هدف بهینه سازی ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی برای به حداقل رساندن کل هزینه‌های مرتبط با تابع هدف، توسط الگوریتم بهینه سازی ذره ای MPSO حل می‌گردد. سرانجام نتایج شبیه سازی شده در سیستم‌های توزیع استاندارد باسه IEEE نشان می‌دهد که مدل و روش بهینه سازی، می‌تواند باعث دست یابی به یک بهینه سازی معقول برای ایستگاه‌های شارژ شود و به کاهش تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ کمک نماید.

کلمات کلیدی
خودروهای الکتریکی، ایستگاه های شارژ، تلفات شبکه، الگوریتم MPSO

نام نویسنده مسئول: مراد محمدیان
ایمیل نویسنده مسئول: mohamediiiianmoraad@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷
تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

۱- مقدمه

در سال 1900 ، پرجمعیت ترین شهر جهان لندن بود که بیش از 6 میلیون نفر جمعیت داشت، اما در سال 2015، پرجمعیترین شهر جهان، توکیو، با 36 میلیون نفر جمعیت شد.حمل و نقل شهری این حجم از شهروندان، تفاوت چشمگیری در کیفیت هوای شهرهای بزرگ و کوچک بوجود آورده است که با اقدامات موقتی و مقطعی چون طرحهای ترافیک و محدودههای ممنوعه تردد خودروها، مواجهه مناسب و ریشه ای با آلودگی هوای شهرها صورت نمی گیرد.

امروزه در سطح جهان سیستمهای قانونگذاری نیز تمام تلاش خود را جهت کاهش عواقب این آلودگی بکار بسته اند. به گونه ای که حد مجاز تولید گازکربنیک توسط خودروها در هر کیلومتر، که در سال 2015 توسط اتحادیه اروپایی به 130 گرم محدود شده است، در سال 2020 باید تا 95 گرم کاهش یابد [1-3]. این الزامات قانون جهانی، که در آینده نزدیک در ایران نیز مشابه خواهند داشت، چه راهی پیش روی آینده تکنولوژی میگذارند؟

این مقدمه، ما را به یک نتیجه رهنمون می سازد که صنعت حمل و نقل، دیر یا زود، الکتریکی خواهد شد و اتفاقی که پیشگام آن، متروها و قطارهای شهری بودند، در خودروها و موتورسیکلتها نیز رخ خواهد داد.

بخش حمل و نقل بالاترین سهم از مصرف نهایی فرآوردههای نفتی در جهان را دارا می باشید. براساس ترازنامه انرژی کشور، سهم بخش حمل و نقل بیش از 25درصد از کل انرژی مصرفی کشور می باشید. هر چند گزارش حاضر بر آن نیست که پیشنهاد کند که تمام این میزان مصرف انرژی در بخش حمل و نقل، از طرح حمل و نقل الکتریکی تامین شود، اما میزان مصرف انرژی این صنعت در کشور از یک سو و تصمیم گیری توسعه پایدار صنعت حمل و نقل از طریق الکتریکی کردن خودروها در سطح جهان، این پایان نامه را بر آن داشت که از زاویه دید صنعت برق، به موضوع نیازمندیهای توسعه خودروهای الکتریکی بپردازد.

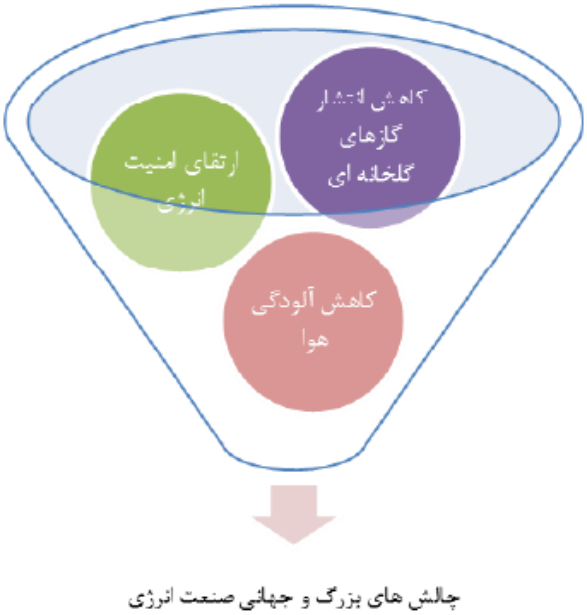
انرژی مورد نیاز سیستم حمل و نقل، عمدتاً از سوختهای فسیلی تأمین شده است، اما با الکتریکی کردن خودروها، امکان بهره برداری از سیستم حمل و نقل پاکتر و تحقق حمل و نقل پایدار نیز فراهم شده است. در گامهای نخست این تحول صنعتی، ضرورت ادغام ملاحظات آن در شبکه های برق، از اهمیت بسزایی برخوردار نبود، اما امروزه و با رشد بهره برداری از خودروهای الکتریکی متنوع، این تکنولوژی بعنوان تهدیدی بالقوه برای کیفیت و امنیت برق، قابلیت اطمینان و پایداری شبکه شناخته شده است.

در سطح جهان، با ادغام ساختارهای کنترل هوشمند خودروهای الکتریکی قابل اتصال بیه شبکه در طراحی و مدیریت شبکه های هوشمند، این تهدید بالقوه به فرصتی بی نظیر بدل شده است که نه تنها حمل و نقل پایدار را توسعه میدهد، بلکه مزایای جانبی اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه را نیز عملیاتی خواهد کرد .حضور هدفمند این خودروها در برنامههای پاسخگویی بار، یکی از نخستین دستاوردهای این ایده ارزشمند است .(شکل۱-۱)

شکل ۱- شبکه هوشمند، ضرورتی جهت تبدیل تهدید خودروهای الکتریکی به فرصت

همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، عمده چالش های جهانی صنعت انرژی، شامل ارتقای امنیت انرژی، کاهش آلودگی هوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است. یکی از پرمصرف ترین صنایع انرژی بر در سطح جهان و همچنین در ایران، صنعت حمل و نقل است و این چال ها، طبیعتاً این صنعت را نیز تحت تاثیر گذاشته است.

در روند بهبود بهره وری در این صنعت در دهه های اخیر، ایده سیستمهای حمل و نقل الکتریکی پیادهسازی شده و امروزه راه آهن الکتریکی، خودروهای سبک و سنگین الکتریکی، موتورسیکلتهای الکتریکی، دوچرخه های الکتریکی و... ، روند روبه رشدی در زیرساخت حمل و نقل ایفا می کنند.



شکل۲- عمده چالش های جهانی صنعت انرژی

به صورت ویژه در خصوص خودروهای سبک و سنگین الکتریکی، این روند در شکل ۳ نشان داده شده است.

امروزه، خودروها نه تنها زیرساخت احتراقی خود را حفظ کرده اند، بلکه از طریق موتور الکتریکی نیز نیروی محرکه دارند همچنین سیستم شارژر و باتری این خودروها امکان شارژ از طریق شبکه برق داشته و میتواند برق ذخیره شده در باتری را به شبکه تحویل دهد.

شکل۳- روند توسعه تکنولوژی خودروهای سبک و سنگین

امروزه، خودروهای الکتریکی در تنوع قابل توجهی از نقطه نظر ظرفیت موتور، باتری، سرعت و ... تولید میشیوند. اما عوامل زیادی از قبیل بهبود امکانات شبکه شارژ خودروهای برقی ، راحتی استفاده و در دسترس بودن ایستگاه‌های شارژ ، هزینه شارژ برای کاربران ، هزینه ساخت ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی ، نداشتن اثرات نامطلوب مانند تلفات و افت ولتاژ بر روی شبکه توزیع برق و ... به طور مستقیم در میزان نفوذ و به‌کارگیری خودروهای برقی تاثیرگذار خواهد بود . بنابراین مطالعه بر روی برنامه ریزی بهینه در مورد ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی برای برنامه‌ریزان شهری ، سازمان حمل و نقل ، و شرکت توزیع برق اهمیت زیادی دارد [7-4].

بنابراین شارژ کنترل نشده وکافی نبودن زیرساخت ایستگاه های شارژ و جایابی نادرست مکان ، اندازه و نوع ایستگاه های شارژ باعث بروز مشکلاتی در شبکه ترافیکی خودروها و همچنین شبکه توزیع برق ازجمله افزایش تلفات سیستم توزیع ، افت ولتاژ و افزایش پیک توان شبکه خواهد شد . هدف از این پژوهش این است که برای دستیابی به کاهش تلفات توان و همچنین کاهش انحراف ولتاژ ناشی از شارژ خودروهای برقی در شبکه توزیع و همچنین دسترسی آسان به ایستگاه های شارژ با در نظر گرفتن مدل ترافیکی خودروها در ناحیه موردنظر ، مکان ، اندازه و نوع مناسب ایستگاه های شارژ مشخص شود .

۲- اهداف تحقیق

-کاهش تلفات انرژی الکتریکی شبکه توزیع برق با استفاده از مکان یابی مناسب و بهینه ایستگاه شارژ خودرو برقی

-افزایش ولتاژ شبکه توزیع برق با استفاده از مکان یابی مناسب و بهینه ایستگاه شارژ خودرو برقی

-افزایش پیک توان شبکه توزیع برق با استفاده از مکان یابی مناسب و بهینه ایستگاه شارژ خودرو برقی

-کاهش اثرات هارمونیک های ولتاژ در نقطه اتصال ایستگاه شارژ خودرو برقی با شبکه

-کاهش اثرات عدم تعادل بار در شبکه توزیع برق با استفاده از مکان یابی مناسب و بهینه ایستگاه شارژ خودرو برقی

-کنترل بار شبکه توزیع برق با استفاده از مکان یابی مناسب و بهینه ایستگاه شارژ خودرو برقی

۳- مدلسازی و طراحی بهینه ایستگاه های شارژ خودرو برقی

برنامه ریزی چند هدفه ایستگاه های شارژ خودروهای برقی با محدودیت ترافیکی

این پژوهش یک روش برنامه ریزی چند هدفه برای ایستگاه‌های شارژ ارائه می‌دهد که سرویس‌دهی به تقاضاهای شارژ را در حالتی که تلفات توان الکتریکی و انحراف ولتاژ سیستم توزیع نیزکاهش می‌یابد را تضمین می‌کند.در واقع این مدل برنامه‌ریزی مکان کاندید برای ایستگاه‌های شارژ را در حالتی که جریان ترافیکی خودروهای برقی ماکزیمم می‌شود ارائه می‌کند. در این کار، توزیع توان و توپولوژی شبکه ترافیکی و رفتار رانندگی صاحبان خودروهای برقی مورد بررسی قرار گرفته شده و یک برنامه‌ریزی چند هدفه برای ایستگاه‌های شارژ فرمول بندی شده است. به عبارتی هدف اصلی مسئله برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی در این مقاله دارای دو مولفه اصلی می‌باشد.

الف) حداکثر کردن بهره‌برداری از ایستگاه‌های شارژ توصیف شده توسط مجموع جریان ترافیکی خودروهای برقی طبق مسیر سفر خودروها در شبکه ترافیکی

ب) حداقل کردن تلفات توان و انحراف ولتاژ گره‌ها در شبکه توزیع برق

الف) حداکثر کردن توانایی خدمات‌دهی شارژ

به دلیل رفتار حرکتی خودروهای برقی، خدمات‌دهی تقاضای شارژ یک ایستگاه شارژ متغیر با زمان است و بستگی به عوامل متنوعی از قبیل رفتارهای شخصی رانندگان خودروی برقی، شرایط ترافیکی مکان، توان شارژ و مجموع ظرفیت باتری‌های ذخیره‌کننده و همچنین وضعیت شارژ آنها دارد.در مدل کردن تقاضاهای شارژ خودروهای برقی ، تمرکز در برآوردن نیازهای سفر رانندگان این خودروها می‌باشد که به دلیل تعداد زیاد خودروهای برقی و رفتارهای سفر متنوع، مسئله پیچیده‌ای به‌شمار می‌رود.

یکی از رویکردهای این مقاله برای حل مسئله این است که تقاضای شارژ خودروهای برقی را به عنوان یک جریان ترافیکی درون شبکه ترافیکی، با در نظر گرفتن مواردی مانند ظرفیت ذخیره خودرو برقی و مسافت سفر، مدل کند. در این پژوهش جریان ترافیکی خودرو برقی، به عنوان تعداد خودروهایی که در طول خطوط متصل به گره‌های مختلف در میان یک مسیر مسافرتی از پیش مشخص شده مسافرت می‌کنند تعریف می‌شود. ویژگی اساسی مدل برنامه‌ریزی ترافیکی ارائه شده در مقاله این است که توپولوژی شبکه ترافیکی و الگوهای رانندگی به خوبی می‌تواند برای سفر و راحتی شارژ مد نظر گرفته شود.در نهایت یکی از اهداف کلی این مقاله این است که مجموع جریان ترافیکی از خودروهای برقی را که می‌توانند توسط ایستگاه های برنامه‌ریزی شده شارژ شوند را طبق تابع هدف زیر ماکزیمم کند.

$$\begin{cases} \text{maximize}: \ F_1 = \sum_{q\in Q} f_g y_q \\ \text{subject to}: \ \sum_{h\in H} q_{qh} v_h \geq y_q \quad \forall q \in Q \\ a_{hk} U_{ik} \geq v_h \quad \forall h \in H; \quad U_{ik} \in U \\ \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{m} U_{ik} = M \\ \sum_{k=1}^{m} U_{ik} \leq 1 \\ fq = W_o * W_D/(d_q * 1.5) \end{cases} \quad (۱)$$

که در تابع هدف بالا، f_q جریان ترافیکی در مسیر q می‌باشد. برای یک سیستم عملی باید بتوان جریان ترافیکی را توسط روش‌های مختلفی اندازه‌گیری کرد. در این مقاله اطلاعات جریان ترافیکی توسط رابطه‌ای که بتواند ساختار واقعی از ترافیک را انعکاس دهد به صورت زیر استفاده شده است.

ب) حداقل کردن مجموع تلفات توان و انحراف ولتاژ در سیستم توزیع

یکی دیگر از اهداف این مقاله این است که مکان‌یابی طوری صورت گیرد که تلفات و انحراف ولتاژ ناشی از ایستگاه‌های شارژ بر روی شبکه توزیع برق حداقل شود. که این مهم در مقاله توسط دو تابع هدف مربوط به تلفات و انحراف ولتاژ و قیدهای مربوط به آنها آورده شده است.

در نهایت در این مقاله از روش کراس-آنتروپی برای حل مسئله چند هدفه بهره گرفته شده است و سپس از یک روش جدید پوشش داده‌ای برای تعیین بهینه مکان و اندازه ایستگاه‌های شارژ استفاده شده است.

تعیین بهینه مکان و ظرفیت ایستگاه شارژ سریع

این مقاله یک رویکرد بهینه‌سازی جدیدی برای تعیین بهینه مکان و ظرفیت ایستگاه‌های شارژ سریع ارائه می‌کند. رویکرد ارائه شده در پی حداقل کردن مجموع هزینه‌ها شامل:توسعه ایستگاه، هزینه‌های برق رسانی به ایستگاه، همچنین هزینه تلفات الکتریکی شبکه و تلفات خودروهای برقی می‌باشد. هزینه توسعه ایستگاه شامل هزینه تجهیزات ایستگاه و هزینه زمین می‌باشد و فرض می‌شود هزینه تجهیزات تابع خطی از ظرفیت ایستگاه بوده و ظرفیت ایستگاه نیز تابع تعداد و ظرفیت کانکتورهای نصب شده در ایستگاه می‌باشد. هزینه برق‌رسانی به ایستگاه به فاصله ایستگاه تا نقطه اتصال به شبکه برق و نوع تکنولوژی به کار رفته در اتصال بستگی دارد. و اینکه خودروهای برقی باید یک مسیر معینی را برای رسیدن به نزدیک‌ترین ایستگاه طی کنند تا بتواند باتری خود را شارژ کند در این مقاله برای محاسبه تلفات شارژ هر خودرو از اطلاعاتی مانند مصرف ویژه برق هر خودرو، طول مسیری که خودرو برای رفتن تا ایستگاه باید طی کند و قیمت برق استفاده شده است. در این مقاله جاده‌های شهری برای یافتن نقاط کاندید برای ایستگاه‌های شارژ و محاسبه تلفات انرژی خودرو برقی و پست های توزیع برای محاسبه هزینه برق کشی به ایستگاه‌های شارژ در نظر گرفته شده‌اند. این مسئله به عنوان یک مسئله (MINLP) فرمول بندی شده است که سرانجام توسط الگوریتم ژنتیک حل شده است. کاربرد رویکرد ارائه شده و تحلیل آن در سناریوهای مختلف نیز بررسی شده است.

شکل زیر فلوچارت روش ارائه شده برای تعیین بهینه اندازه و مکان ایستگاه های شارژ را نشان می‌دهد.

شکل۴- انرژی فلوچارت الگوریتم روش پیشنهادی

برنامه ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی در سیستم های توزیع

در این پژوهش مکان‌های بهینه ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی ابتدا توسط روش غربالگری دو مرحله‌ای با در نظر گرفتن فاکتورهای محیطی و شعاع خدمات دهی ایستگاه های شارژ شناسایی می‌شود. سپس یک مدل ریاضیاتی برای اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ با حداقل کردن مجموع هزینه‌های مرتبط با ایستگاه‌های شارژ برنامه ریزی شده به عنوان تابع هدف توسعه داده می‌شود.

۱) تعیین مکان‌های کاندید شده

الف) فاکتورهای محیطی

در این پژوهش برای در نظر گرفتن مکان‌های کاندید برای احداث ایستگاه‌های شارژ دیدگاه‌های زیر در نظر گرفته شده‌اند:

از دیدگاه برنامه‌ریزان مدرن شهری، مکان هر ایستگاه شارژ باید مطابق با نیازهای طرح‌بندی شبکه ترافیکی باشد. از دیدیگاه برنامه‌ریزی سیستم قدرت مکان ایستگاه‌های شارژ باید نزدیک به مراکز بار باشد و قیدهای تعادل بار،

کیفیت توان و قابلیت اطمینان تغذیه توان رعایت شود. و از منظر صاحبان خودروهای برقی مکان ایستگاه‌های شارژ باید باعث راحتی صاحبان خودروها و نزدیک تقاضاهای شارژ باشد.

ب) شعاع خدمات دهی ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی

به منظور تطابق نیازهای مسافرتی روزانه صاحبان خودروها و تضمین توانایی رانندگی خودروها، فاصله واقعی بین دو ایستگاه شارژ مجاور نباید خیلی دور باشد. و همچنین برای اجتناب از اتلاف منابع، فاصله واقعی بین دو ایستگاه شارژ مجاور نباید خیلی نزدیک باشد. در این پژوهش شعاع خدمات‌رسانی ایستگاه‌های شارژ و فاصله واقعی دو ایستگاه شارژ مجاور به ترتیب طبق قیود زیر لحاظ شده‌اند.

$$\begin{cases} d^{S}_{EVCS} \le d^{E}_{EV} \\ d^{S}_{EVCS} < D_{EVCS} < 2d^{S}_{EVCS} \end{cases} \quad (۲)$$

به منظور تطابق نیازهای مسافرتی روزانه صاحبان خودروها و تضمین توانایی رانندگی خودروها، فاصله واقعی بین دو ایستگاه شارژ مجاور نباید خیلی دور باشد. و همچنین برای اجتناب از اتلاف منابع، فاصله واقعی بین دو ایستگاه شارژ مجاور نباید خیلی نزدیک باشد. در این پژوهش شعاع خدمات‌رسانی ایستگاه‌های شارژ و فاصله واقعی دو ایستگاه شارژ مجاور به ترتیب طبق قیود زیر لحاظ شده‌اند. که در آن d^{S}_{EVCS}مسافتی است که خودروهای برقی می‌توانند متناظر با وضعیت شارژی که دارند بپیمایند که طبق فرمول زیر (روش سرعت ثابت) در پژوهش آورده شده است.

$$d^{E}_{EV} = \eta^{me}_{EV} v_{EV}\left(\eta^{min}_{EV} - \eta^{max}_{EV}\right)\eta I \omega^{rat}_{EV} V_{EV}/P_{EV} \quad (۳)$$

مدل ریاضیاتی

الف) تابع هدف

تابع هدف به عنوان حداقل کردن مجموع هزینه های مرتبط با ایستگاه‌های شارژی که باید برنامه ریزی شوند می‌باشد. که شامل هزینه های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملکرد ایستگاه‌ها، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های تلفات شبکه در طول مدت برنامه‌ریزی می‌باشند. که تابع هدف مربوطه به صورت زیر بیان شده‌است.

$$\min f = \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+\eta)^t}\left[\sum_{i=1}^{N_{EVCS}}\left(C^{I}_{EVCS_i}(t) + C^{O}_{EVCS_i}(t)\right) + C^{L}_{PS}(t)\right] \quad (۴)$$

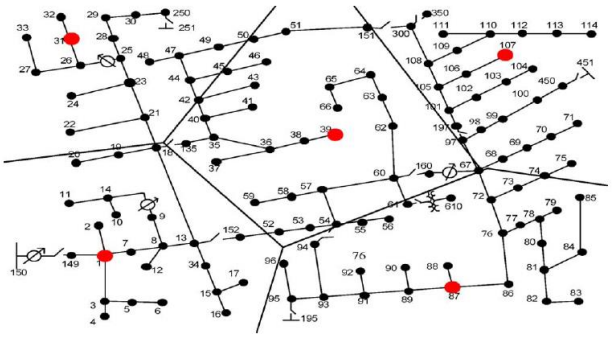
که در رابطه فوق $C^{I}_{EVCS_i}$ هزینه سرمایه گذاری و تعمیرات ایستگاه می باشد، $C^{O}_{EVCS_i}$ هزینه عملکرد ایستگاه و C^{L}_{PS} هزینه‌های تلفات شبکه می باشد.

ب) قیود

در این مقاله قیود مسئله بیشتر بر روی بخش کیفیت توان شبکه تمرکز دارد که به صورت زیر می‌باشند:

- ✓ حداکثر محدوده مجاز ظرفیت ترانس در ایستگاه ها
- ✓ حد بالا و پایین توان راکتیو مورد نیاز برای جبرانسازی ایستگاه ها
- ✓ حد بالا و پایین ولتاژ در هر باس
- ✓ حداکثر جریان مجاز در هر فیدر
- ✓ محدودیت های حداقل و حداکثر مجاز توان شارژ ایستگاه های شارژ

نمونه ای از احداث ایستگاه‌های شارژ بر روی یک سیستم ۱۲۳ باسه به صورت زیر پیشنهاد داده شده‌اند



شکل۵- جایابی بهینه ایستگاه‌های شارژ در یک سیستم ۱۲۳ باسه

۴- شبیه سازی و نتایج

در این بخش از مقاله مدیریت سیستمهای توزیع با در نظر گرفتن شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای الکتریکی مدلسازی و حل می شود. این مسئله از دیدگاه بهرهبردار سیستم توزیع که وظیفه تأمین پیوسته بار و حفظ قیود شبکه را بر عهده دارد، برای مدیریت انرژی انجام میپذیرد. در این بررسی طی سناریوهای مختلف جایابی و تعین ظرفیت بهینه ایستگاه های شارژ خودروهای الکتریکی به هدف بهود شاخص های الکتریکی انجام گردید. سپس مطالعه دینامیکی شارژ/دشارژ خودروهای الکتریکی برای دو منطقه مسکونی و تجاری با توجه به نرخ خرید و فروش انرژی انجام شد.

۱-۴- بیان مساله

زمان شارژ خودروهای الکتریکی توسط مالکان آنها که شامل تقاضا آنها در رانندگی و سایر عوامل تحت تأثیر آن قرار می گیرد.

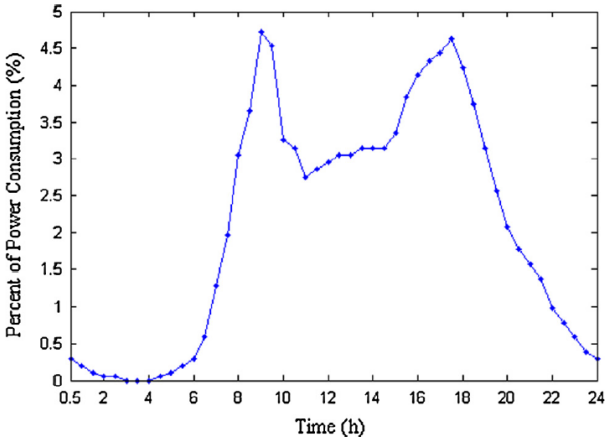
داده های آماری استفاده از ماشین های الکتریکی نشان می دهد که اتومبیل های شخصی ۹۵ درصد از روز بلااستفاده می باشد. در نتیجه صاحبان خودروهای الکتریکی می توانند انرژی بیشتری را برای تولید درآمد حاصل از فروش انرژی الکتریکی به شبکه قرار بدهند. و این امر در ساعات پرمصرف به عنوان ظرفیت چرخان و تنظیم فرکانس بکار آید.

خودروهای الکتریکی در زمان پارک به شبکه متصل می شوند، بنابراین منحنی مشخصه خودروهای الکتریکی در لحظه ای که به شبکه متصل می شود، نمایه خاصی است.

در هر دسته بار شارژ خودروهای برقی در شکل توابع دوجملهای استخراج میشود. سپس بر پایه اصول حاکم بر علم احتمالات توابع دوجمله ای هر دسته با توابع توزیع احتمال نرمال تقریب زده میشوند و در انتها توابع توزیع احتمال نرمال بدست آمده برای هر دسته با یکدیگر ترکیب خواهند شد و تابع توزیع احتمال کل بار شارژ خودروهای برقی در هر ساعت بدست آورده میشود. زمانی که خودروهای الکتریکی از شبکه برق جدا می شوند، توزیع نرمال را در زمان رفت و آمد در پی توزیع یکنواخت در زمان باقیمانده خودرو دنبال می کنند.

متغیر $P_{leave,\beta}$ احتمال این است که خودروهای برقی در زمان β از شبکه جدا شوند. بدین ترتیب $P_{r\beta} \approx 1 - P_{leave,\beta}$ که برابر است با نسبت خودروهای برقی متصل شده به شبکه در زمان β.

معمولا ، مالکان خودروهای الکتریکی تیاز سفر دور دارند که در فاصله های دور به مصرف بیشتر برق در زمان رفت و برگشت نیاز دارد(۸ تا ۱۰صبح و ۳-۶ عصر). این درحالی است که خودروهای الکتریکی در زمان استراحت روز (مابین زمان رفت و برکشت) به توان خیلی کمی نیاز دارد. مصرف برق خودروهای الکتریکی در یک روز در شکل ۴-۱ نشان داده شده است[۳۹].



شکل۶- درصد مصرف برق خودروهای الکتریکی در یک روز در منطقه شهری.

پس از شارژ خودروهای الکتریکی از شبکه برق برای شارژ باتری، می توان انرژی اضافی خودروهای الکتریکی را به شبکه برای خدمت به بهره برداری شبکه بازگرداند.

برای باتری SOC ، متغیر $E_{\alpha,\beta}^{store}$ را به عنوان انرژی باقی مانده در باتری در معادله زیر تعریف می کنیم. فرض بر این است که خودرو ها متصل به شبکه برق در یک گره واحد به عنوان یک واحد ذخیره انرژی با جریان برق دو طرفه هستند:

$$E_{\alpha,\beta+1}^{store} = E_{\alpha,\beta}^{store} + P_{r\beta}.N_{\alpha,EV}.P_{\alpha,\beta}^{EV}.\Delta t - (1 - P_{r\beta})E_{\beta}^{v2r} \quad (۵)$$

که در آن $E_{\alpha,\beta}^{store}$ و $E_{\alpha,\beta+1}^{store}$ نشاندهنده انرژی باقی مانده خودروهای الکتریکی در گره α و زمان β و $\beta+1$ به ترتیب می باشد. $N_{\alpha,EV}$ نشاندهنده تعداد خودروهای الکتریکی در گره α ، $P_{r\beta}$ مقدار تناسب خودروهای الکتریکی وصل شده به شبکه در زمان β می باشد. E_{β}^{v2r} انرژی احتمالی دشارژ شده برای رانندگی خودروهای الکتریکی در زمان β، $P_{\alpha,\beta}^{EV}$ نشان دهنده توان شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در گره α در زمان های β و $\beta+1$ ، و Δt فاصله زمانی بین β و $\beta+1$ می باشد.

۳-۳ مدل استراتژی بهینه شارژ

برای بهینه سازی رفتار شارژ و دشارژ تعداد زیادی از خودروهای الکتریکی متصل به شبکه برق، تابعی متشکل از سه هدف به شرح زیر ارائه می شود.

شرکت های توزیع برق همواره بدنبال کاهش تلفات توان به منظور کاهش هزینه های بهره برداری شبکه برق هستند؛ بنابراین کاهش تلفات توان یک هدف است. بنابراین هدف اول بهینه سازی، کاهش تلفات است که به صورت رابطه زیر نشان داده شده است.

$$F_1 = \min(P_{loss}) \quad (۶)$$

$$P_{loss} = v_l \sum_l (I_l + I_{cs})^2 R_l - I_l^2 R_l \quad (۷)$$

در معادله فوق I_l جریان اکتیو خط، I_{cs} جریان اکتیو مصرف شده توسط ایستگاه شارژ، R_l مقاومت خط و v_l نشاندهده وضعیت این اس که اگر یک باشد ایستگاه شارژ جریان اکتیو مصرف می کند و اگر صفر باشد در حالت غیر فعال می باشد.

در معادله فوق VD انحراف ولتاژ، $V_{initial,i}$ ولتاژ اولیه شین های شبکه، $V_{new,i}$ ولتاژ جدید شین های شبکه می باشد.

تابع هدف سوم مربوط به هزینه بهره برداری شبکه می باشد که به صورت زیر تعریف می شود.

$$F_3 = \min\left\{\left\{\sum_{h=1}^{24}\sum_{v=1}^{station,res}\left(\sum_{g,Ra,Rd}\left[\left(P_{G2V,v,h,g,Ra,Rd} * Elec.cost_h\right) - \left(P_{V2G,v,h,g,Ra,Rd} * Elec.cost_h\right)\right]\right) + \sum_{h=1}^{24}\sum_{v=1}^{station,com}\left(\sum_{g,Ca,Cd}\left[\left(P_{G2V,v,h,g,Ca,Cd} * Elec.cos_h\right) - \left(P_{V2G,v,h,g,Ca,Cd} * Elec.cost_h\right)\right]\right)\right\} \quad (۸)$$

در رابطه فوق، station,res ایستگاه های شارژ سمت مناطق مسکونی می باشد، station,com ایستگاه های شارژ سمت مناطق تجاری می باشد، $P_{G2V,v,h,g,Ra,Rd}$ توان انتقالی از شبکه به خودرو در زمان ورود و خروج خودرو به منطقه مسکونی، $P_{V2G,v,h,g,Ra,Rd}$ توان انتقالی از خودرو به شبکه در زمان ورود و خروج خودرو به منطقه مسکونی، $Elec.cost_h$ هزینه توان می باشد. $P_{G2V,v,h,g,Ca,Cd}$ توان انتقالی از شبکه به خودرو در زمان ورود و خروج خودرو به منطقه تجاری، $P_{V2G,v,h,g,Ca,Cd}$ توان انتقالی از خودرو به شبکه در زمان ورود و خروج خودرو به منطقه تجاری می باشد.

۳-۴ محدودیت ها

در ارتباط با تابع هدف، چارچوب دو منطقه پیشنهادی همچنین محدودیت های وضعیت شارژ باتری خودروهای الکتریکی، حد شارژ و دشارژ را در ادامه بررسی می شود.

محدودیت ولتاژ

ولتاژ شین های شبکه در حالت های مختلف شارژ ودشارژ خودروهای الکتریکی در محدوده مجاز ۰.۹۵ تا ۱.۰۵ پریونیت باید قرار بگیرد این روابط به صورت زیر تعریف می شود.

$$V_{min} \leq V_{initial,i} \leq V_{max} \quad (۹)$$

$$V_{min} \leq V_{new,i} \leq V_{max} \quad (۱۰)$$

مسئله شارژ و دشارژ

برای برنامه ریزی شارژ و دشارژ وسیله نقلیه، لازم است که محدودیت آن که به صورت زیر می باشد را در نظر بگیریم.

$$P_{g.h}^{min} C_{g.h} \leq P_{G2V,g,h} \leq P_{g,h}^{max} C_{g.h} \quad (۱۱)$$

$P_{g,h}^{min}$ حداقل توان شارژ خودروی g ، $P_{g,h}^{max}$ حداکثر توان شارژ خودروی g، $C_{g,h}$ نشانگر وضعیت شارژ خودروی g در ساعت h می باشد.

مشابه رابطه فوق نیز برای حالتی که خودرو در حالت دشارژ و انتقال توان به شبکه می باشد صادق است.

$$P_{g.h}^{min} D_{g.h} \leq P_{V2G,g,h} \leq P_{g,h}^{max} D_{g.h} \quad (۱۲)$$

$D_{g,h}$ نشانگر وضعیت دشارژ خودرو g ام در ساعت h می باشد.

بنابراین فرایند شارژ و دشارژ در حد حداقل و حداکثر تنظیم می شود. علاوه بر این، باید شرط زیر برای جلوگیری از شارژ و دشارژ وسایل نقلیه به طور همزمان رعایت شود.

$$C_{g,h} + D_g h \leq 1 \quad (۱۳)$$

۴-۴- تعریف سناریوهای شبیه سازی

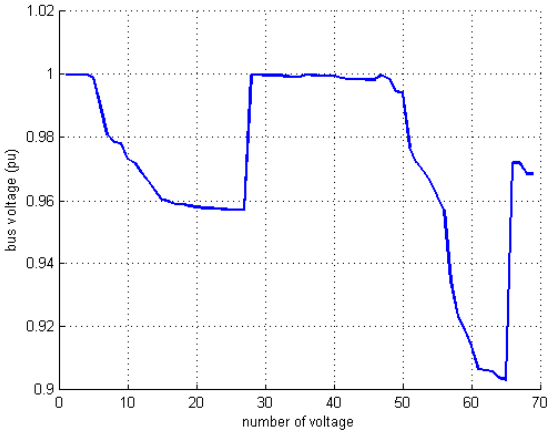
در این بخش به منظور تحلیل شبکه ۶۹ شینه در دو حالت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی چندین سناریو به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

- سناریو۱: پخش بار از شبکه و بررسی وضعیت قبل از نصب ایستگاه های شارژ
- سناریو۲: وجود ایستگاه های شارژ در شین ۵۴ (منطقه مسکونی) و شین ۶۴ (منطقه اقتصادی) و وضعیت شارژ

سناریو۱ پخش بار از شبکه و بررسی وضعیت قبل از نصب ایستگاه های شارژ

در این سناریو شرایط فعلی شبکه را در وضعیت قبل از نصب ایستگاه های شارژ بررسی می شود. همانطور که در فصل قبل بیان شد، پخش بار پیشرو-پسرو برای شبکه ۶۹ شینه در نظر گرفته می شود و میزان تلفات و پروفیل ولتاژ شبکه بدست می آید.

در شکل ۴-۳ پروفیل ولتاژ شبکه قبل از نصب ایستگاه های شارژ آورده شده است. همانطور که مشخص است میزان افت ولتاژ در شین هاب ۱۵ تا ۲۷ و شین های ۵۵ تا ۶۶ زیر ۴ درصد می باشد. تلفات خطوط شبکه نیز در این سناریو برابر ۲۲۵ کیلووات می باشد.



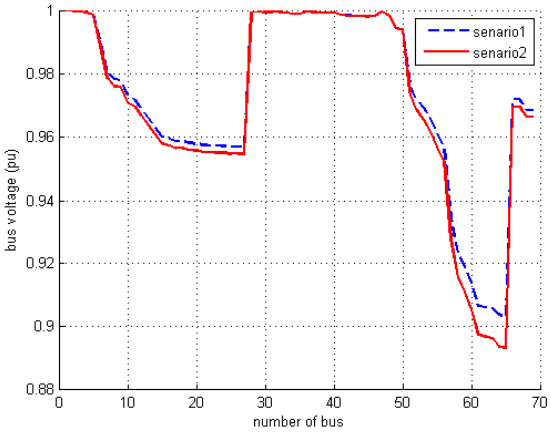
شکل۷- پروفیل ولتاژ شبکه قبل از نصب ایستگاه های شارژ برای سناریو۱

سناریو۲ وجود ایستگاه های شارژ در شین ۵۴ (منطقه مسکونی) و شین ۶۴ (منطقه اقتصادی) و وضعیت شارژ

در این سناریو همانطور که مشخص است جهت شارژ خودروهای الکتریکی در منطقه مسکونی یک ایستگاه شارژ در شین ۵۴ و برای منطقه تجاری در شین ۶۴ تعبیه شده است. ظرفیت ایستگاه شارژ منطقه مسکونی برابر با ۲۰۰ کیلووات و ظرفیت ایستگاه شارژ منطقه تجاری برابر با ۱۵۰ کیلووات می باشد. در این سناریو هر دو ایستگاه در وضعیت شارژ خودروهای الکتریکی و با کل ظرفیت مورد استفاده قرار می گیرند.

در شکل ۴-۴ پروفیل ولتاژ شبکه در وضعیت نصب ایستگاه های شارژ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است مکان نامطلوب نصب دو ایستگاه شارژ بخصوص شین ۶۴، افت ولتاژ شدیدی در وضعیت شارژ خودروهای الکتریکی بوجود آمده است و از سوی دیگر تلفات شبکه را نیز افزایش داده است. در این سناریو

حداقل ولتاژ شین های شبکه ۰.۸۸۷پریونیت می باشد. تلفات خطوط شبکه نیز در این سناریو برابر ۲۶۸.۱۷کیلووات می باشد.



شکل۸- پروفیل ولتاژ شبکه در وضعیت نصب ایستگاه های شارژ برای سناریو۲

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله برای یک شبکه ۶۹ شینه استاندارد IEEE که دارای دو بخش مسکونی و تجاری مطالعات جایابی و تعیین ظرفیت ایستگاه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی صورت پذیرفت. با بررسی سناریو های مختلف و استفاده از الگوریتم NPSO بهترین مکان و ظرفیت بهینه ایستگاه های شارژ بدست آمد. که در این راستا دو شاخص مهم الکتریکی تلفات خطوط و افت ولتاژ بهینه گردیدند. با توجه به نرخ خرید و فروش انرژی در دو ناحیه مسکونی و تجاری، مطالعه دینامیکی شارژ/دشارژ خودروهای الکتریکی انجام گردید.

مراجع

[1] Kishan Bhushan Sahay, Mohammed A. S. Abourehab, Ulaganathan Sakthi, “Computation of electrical vehicle charging station (evcs) with coordinate computation based on meta-heuristics optimization model with effective management strategy for optimal charging and energy saving,” Sustainable Energy Technologies and Assessments24 July 2022.

[2]M.ghasemipour, A.sedghi, NOV.2013. M.aghaebrahimi, M.ramezani,"28th international power system conference ", Tehran, ۶-۴.

[3] Fareed Ahmad, Imtiaz Ashraf, Irfan Khan, “A novel AI approach for optimal deployment of EV fast charging station and reliability analysis with solar based DGs in distribution network,” Energy Reports20 September 2022.

[4] Iranmehr H, Aazami R, Tavoosi J, Shirkhani M, Azizi AR, Mohammadzadeh A, Mosavi AH, Guo W. Modeling the price of emergency power transmission lines in the reserve market due to the influence of renewable energies. Frontiers in Energy Research. 2022 Jan 13;9:792418.

[5] Azizi A, Toohidinejad Z, Haghighatpoor I. Design and analysis of adaptive control of the reference model to control the output pressure of the boiler system. Computational methods in engineering sciences. 2023 May 22;1(1):21-6.

[6] E.L.Kkarfopoulos, N.D.hatziargyriou, May2013. A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles. IEEE transaction. Vol33. Pp:74-79.

[7] Abdali A, Monjezi V. Machine Learning-based Flexible Link Robot Control. Computational methods in engineering sciences. 2023 Aug 23;1(2):12-7.