نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۱۴۱ – ۱۲۱

جایابی و اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی براساس شاخص پایداری ولتاژ و کاهش تلفات شبکه توزیع

[۱] حسین کریمیان فرد، [۲] حسین حقیقت*

تاریخ دریافت:
۱۹ / ۰۴ / ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش:
۱۹ / ۰۶ / ۱۳۹۸

کلمات کلیدی:
ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی،
پخش‌بار،
بهره‌برداری،
شبکه توزیع.

چکیده

آلودگی زیست‌محیطی، کاهش منابع فسیلی، قیمت گران سوخت فسیلی، دلایل اصلی گرایش و نیازمندی به خودروهای الکتریکی است. با افزایش تعداد خودروهای برقی و پیشرفت در تکنولوژی آن‌ها، در دست داشتن طرحی برای احداث جایگاه‌های شارژ این خودروها الزام‌آور شده است. در واقع، احداث بدون برنامه‌ریزی و تعیین نادرست ظرفیت این ایستگاه‌ها افزایش تلفات، افت ولتاژ، و اضافه باری تجهیزات شبکه را در پی دارد. در این مقاله، براساس میزان افت ولتاژ و افزایش تلفات مجاز در شبکه، مکان و اندازه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع بزرگ محاسبه می‌گردد. در واقع، در این روش لیستی از اولویت‌های مناسب برای شین‌های موجود در شبکه ارایه می‌شود که در آن اصول بهره‌برداری و پخش‌بار ایمن مراعات گردیده است. طرح پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB روی دو شبکه ۳۳ و ۱۳۶ گرهی استاندارد IEEE اجرا شده است و نتایج نشان‌دهنده مؤثر بودن طرح پیشنهادی می‌باشد.

۱. کارشناس ارشد مهندسی برق قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم karimianfard@jia.ac.ir
۲. استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم (نویسنده مسئول) haghighat@jia.ac.ir

۱. مقدمه

در حال حاضر مسائل زیست‌محیطی مانند گرمایش زمین، آلودگی دی‌اکسیدکربن و همچنین هزینه‌های بالای تولید و پخش فرآوردهای نفتی، از مهمترین دلایل گرایش به سمت خودروهای الکتریکی می‌باشد. در سال‌های اخیر به علت پیشرفت در تکنولوژی خودروهای برقی و بهره‌وری مطلوب آن‌ها، پیش‌بینی می‌شود که به صورت گسترده تعداد این وسایل افزایش یابد، در همین راستا ضروری است تا با یک برنامه‌ریزی مناسب بتوان مکان مطلوب را برای احداث ایستگاهی به منظور شارژ خودروهای الکتریکی اتخاذ نمود، تا احداث بدون برنامه این ایستگاه‌ها سبب ضرر از لحاظ فنی و اقتصادی به شبکه توزیع نشود. در این مقاله نشان می‌دهیم که احداث بدون برنامه‌ریزی موجب بهره‌برداری کمتر در شرایط مقید یکسان خواهد شد. لذا یکی از نیازهای امروزه شبکه برق، ارائه یک طرح مناسب برای احداث و تعیین اندازه ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی می‌باشد. مقاله‌های متعددی در زمینه اختصاص بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی مطرح شده است که در ذیل به چند مورد اشاره می‌شود.

طوسی و همکاران (۱۳۹۵) نصب اسپویلر عقب متحرک به همراه یک کنترل‌کننده متمرکز و همچنین پوشاندن چرخ‌های عقب خودروهای الکتریکی را به منظور بهبود مشخصه‌های آیرودینامیکی بر روی خودروی الکتریکی پیشنهاد نموده‌اند، نتایج نشان می‌دهد که بهبود مشخصه‌های آیرودینامیکی در خودروهای الکتریکی نه تنها باعث افزایش پایداری خودرو برقی، بلکه می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر روی سیستم ذخیره‌سازی انرژی، مسافت پیموده شده و بازدهی موتور الکتریکی داشته باشد [۳].

احمدی و همکاران (۱۳۹۳) با ارائه یک رویکردی نوین مدیریت بهینه انرژی در منابع توان خودروهای هیبرید پیل‌سوختی را مورد مطالعه قرار دادند، رویکرد پیشنهادی یک مدیریت انرژی بر مبنای مدل‌سازی منطق فازی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی می‌باشد، در نهایت نشان داده است که رویکرد پیشنهاد شده نویسندگان در میزان صرفه‌جویی مصرف سوخت، حفظ وضعیت شارژ منبع تغذیه خودرو هیبریدی، بهبود عملکرد دینامیکی و افزایش بازدهی خودروهای هیبریدی اثر قابل‌توجهی دارد [۱].

محمدپور و همکاران (۱۳۹۸) یک سیستم توصیه‌گر چند معیاره مکان شارژ ایستگاه‌های خودروهای برقی برای مسیریابی آن‌ها ارائه کرده‌اند، روش ارائه شده یک رویکردی نوین در مسیریابی

خودروهای برقی با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مربوط به مسیریابی خودرو می‌باشد. در این روش با بهره‌گیری از پارامترهای مسافت و ترافیک، مسیریابی با داده‌های به‌روز صورت می‌گیرد. در نهایت با استفاده از پارامترهای قیمت و زمان دریافت سرویس خودروهای الکتریکی در ایستگاه، میزان بار هر ایستگاه به‌دست آمده است [۴].

حجت و همکاران (۱۳۹۷) مکان بهینه نصب و احداث ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی را با هدف کمینه‌سازی هزینه‌هایی شامل هزینه احداث ایستگاه و هزینه تلفات شبکه توزیع در نظر گرفته‌اند. الگوریتم مورد استفاده در بهینه‌سازی، یک الگوریتم فراابتکاری به نام الگوریتم انبوه ذرات می‌باشد. همچنین در این مرجع عدم قطعیت موجود در پروفیل بار، شامل زمان شروع شارژ، مدت زمان شارژ و مقدار توان لازم برای شارژ به روش شبیه‌سازی مونت کارلو در محاسبات منظور شده است [۲].

خیابانی و همکاران (۱۳۹۶) یک مدیریت تأمین انرژی برق برای ایستگاه‌های شارژ سریع خودروهای برقی دارای سیستم فتوولتاییک و بانک باتری ارائه شده است. در واقع با در نظر گرفتن تولید انرژی خورشیدی در ایستگاه و تعرفه‌بندی قیمت خرید انرژی از شبکه روشی جهت مدیریت شارژ و دشارژ بانک باتری پیشنهاد کرده‌اند. در این روش با ارائه یک مسأله بهینه‌سازی در یک دوره ۲۴ساعته، بانک باتری در ساعات کم باری که قیمت خرید انرژی از شبکه کمتر است شارژ می‌شود و در ساعات پیک بار که قیمت خرید انرژی از شبکه بیشتر است دشارژ شده و انرژی خود را به ایستگاه تزریق می‌نماید و یا در صورت زیاد بودن انرژی دشارژ شده بانک باتری نسبت به مصرف ایستگاه، مازاد آن به شبکه فروخته می‌شود. در این مرجع نشان داده شده است که حضور بانک باتری می‌تواند تأثیر به‌سزایی در هزینه تأمین انرژی برق ایستگاه داشته باشد [۵].

ژائو و همکاران (۲۰۱۸) منابع تولید پراکنده را به منظور کاهش اثرات منفی شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های بزرگ پیشنهاد داده کرده‌اند. در این مرجع از یک مدل دو سطحی عدد صحیح مرکب[۱] برای حل مسئله بهینه‌سازی ارائه شده به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های تلفات انرژی و بهره‌برداری پیشنهاد شده است [۱۲].

یسیر و همکاران (۲۰۱۷) اختصاص بهینه ایستگاه‌های خودروهای الکتریکی براساس مدلی با نسبت موفقیت سفر ارائه کرده‌اند. در این مقاله رابطه بین اختلاف ظرفیت باتری‌ها و تفاوت طرح‌های ایستگاه‌های شارژ مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱].

کاندیلا و همکاران (۲۰۱۸) چهارچوبی بـرای تخصـیص منـابع ترکیبـی از جملـه ایسـتگاه شـارژ خودروهای الکتریکی منابع تولید پراکنده و سیستم ذخیره‌ساز انرژی ارائه کرده‌اند. روش پیشنهادی ایـن مقاله براساس الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور کمینـه‌سـازی هزینـه‌هـای وارده بـه شبکه می‌باشد [۱۷]. زانکولی و همکاران (۲۰۱۵) تخصیص بهینه و اندازه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های انرژی بـا اسـتفاده از ترکیـب الگـوریتم کلونی زنبور عسل[۲] و الگوریتم آتش‌بازی[۳] ارائه کرده‌اند [۷].

هو و همکاران (۲۰۱۲) مسئله برنامه‌ریزی توسعه توزیع را با در نظر گرفتن مکـان و انـدازه بهینـه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی ارائه کرده‌اند. در این مرجع مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مرکب (MILP) به منظور کمینه‌سازی هزینه انجام داده‌اند [۲۴]. خوارز و همکاران (۲۰۱۶) روشی برای کنترل شارژ خودروهای الکتریکی به منظور مدیریت ولتاژ و گرمای حاصل از منابع تولید همزمان برق و حرارت در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف (LV) ارائه کردند. در این مرجع، کنترل پیشـنهادی روی تـپ ترانسفورماتور و تعداد خودروهای متصل به شبکه انجام شـده اسـت [۱۱]. سـانگ و همکـاران (۲۰۱۷) مدل‌سازی مسئله زمان‌بندی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهـای الکتریکـی را بـه صـورت یـک مـدل محدب[۴] صورتبندی کرده‌اند. همچنین نشان داده شده است کـه بـا رهاسـازی محـدب و تبـدیل مـدل غیرخطی به محدب، به جواب بهینه سراسری می‌توان رسید [۲۲].

چائو و همکاران (۲۰۱۱) از الگوریتم اکتشافی مبتنی بر بهینـه‌سـازی ازدحـام ذرات (PSO) بـرای مدیریت بهینه وضعیت شارژ خودروهای الکتریکی (SOC) اسـتفاده گردیـده اسـت. ایـن مرجـع نشـان می‌دهد که با استفاده از الگوریتم‌های اکتشافی می‌توان تعداد بسیار زیاد ایستگاه‌های شـارژ خودروهـای الکتریکی را مدل‌سازی و سپس وضعیت شارژ (SOC) بهینه آن‌هـا را بـه‌دسـت آورد [۱۹]. ابـومحتی و همکاران (۲۰۱۱) تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده (DG) را در حضور پارکینگ خودروهای الکتریکی ارائه داده‌اند. در این مرجع، هدف کمینه‌سازی تلفات و بهبود ولتاژ در نظر گرفته شده است که با استفاده از بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل حل می‌شود [۶]. فرانکو و همکاران (۲۰۱۵) مدلی براساس برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (MILP) برای هماهنگی مسئله شارژ خودروهای الکتریکـی در شـبکه‌هـای توزیـع الکتریکی نامتعادل ارائه کرده‌اند [۱۰].

فان (۲۰۱۲) الگوریتمی بر مبنای پاسخ تقاضای توزیع، برای کاربرد در شارژ پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی در شبکه‌های هوشمند ارائه کرده است. در این مرجع یک کنترل شارژ غیرمتمرکز براساس طرح قیمت تراکم شبکه ارائه شده است [۲۳]. هاگ و همکاران (۲۰۱۵) شارژ بهینه خودروهای الکتریکی براساس قیود شبکه توزیع به‌دست می‌آید بدین صورت که شارژ بهینه براساس محدودیت‌های شبکه توزیع محاسبه می‌شود [۹]. وی‌جی و همکاران (۲۰۱۴) کنترل شارژ توزیع خودروهای الکتریکی با کمینه‌سازی پشیمانی[۵]، برای یک طرح شارژ آنلاین با هدف کمینه‌سازی هزینه شارژ در یک دوره بلند مدت ارائه کرده‌اند [۲۰]. پنگلیو و همکاران (۲۰۱۸) یک الگوریتم از ترکیب دو الگوریتم تکاملی ژنتیک و ازدحام ذرات را برای حل مسئله اختصاص بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی با ادغام با منابع تجدیدپذیر توزیع شده در شبکه را ارائه نمودند [۱۳].

بوگورا و همکاران (۲۰۱۹) مدلی خطی باینری را برای تعیین و توسعه بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در یک شهر واقعی ارائه کردند [۱۸]. کائو و همکاران (۲۰۱۹) رویکردی براساس یک برنامه‌ریزی دو سطحی اتفاقی را برای مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در شارژ بررسی کرده‌اند [۱۵]. تامی و همکاران (۲۰۱۹) جایابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی را در یک شهر واقعی ارائه نمودند. در این مقاله یک الگوریتم تکاملی ترکیبی شامل الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام مرغ و آموزش بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری نیز پیشنهاد شد [۱۶]. کامپانا و همکاران (۲۰۱۹) اختصاص بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروها را براساس تراکم ترافیک جاده‌ای در شهرهای هوشمند نیز ارائه نمودند. در این مقاله یک الگوریتم اکتشافی براساس نظریه گراف برای حل مسئله پیشنهادی ارائه شده است [۱۴].

در این مقاله رویکردی با در نظر گرفتن قیود ولتاژ، جریان و همچنین کمترین تغییرات تلفات شبکه به منظور ارائه لیست اولویتی برای پیدا کردن مکان ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع ارائه می‌دهیم. هدف از این تحقیق این است که یک لیست اولویت ارائه دهد که در آن، حداکثر ظرفیت قابل بهره‌برداری هر اولویت برای احداث ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی با در نظر گرفتن قیود انتخاب شده مندرج گردد، بنابراین بهره‌بردار شبکه توزیع می‌تواند با رجوع به این لیست، مشخص کند که چه مقدار ظرفیت در هر نقطه از شبکه توزیع برای احداث یا بهره برداری از ایستگاه شارژ موجود است.

سایر بخش‌های این مقاله به صورت زیر است: در بخش دوم طرح پیشنهادی و نحوه ساخت و تعیین لیست اولویت ارائه می‌گردد. در بخش سوم نتایج مربوط به شبکه آزمون ۳۳ و ۱۳۶ گرهی ارائه و نتایج مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در آخرین بخش مقاله، جمع‌بندی نتایج و یافته‌ها ارائه می‌گردد.

۲. مدل‌سازی مسئله

همان‌طور که گفته شد، در این مقاله طرحی براساس روابط پخش‌بار و محدودیت‌های شبکه برای تخصیص ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی ارائه می‌دهد. به همین منظور ابتدا مدل پخش‌بار در نظر گرفته شده، تشریح و سپس روش حل پیشنهادی ارائه می‌گردد.

۲-۱. پخش بار رفت و برگشتی

پخش بار در نظر گرفته شده برای ارزیابی سیستم توزیع شعاعی، روش جاروب رفت‌وبرگشتی می‌باشد [۸]. شکل (۱) را در نظر بگیرید، که یک شبکه توزیع شعاعی با n گره و *(b=n-1)* شاخه و یک منبع ولتاژ واحد به عنوان گره اصلی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱)، در این ساختار درختی گرهی از شاخه L که به ریشه (گره اصلی) نزدیک باشد را L_1 و گره دیگر را L_2 می‌نامیم. مجموعه گره‌ها را با n و شاخه‌ها را با b نشان می‌دهیم. با توجه به ولتاژ مرجع در گره اصلی، روش جاروب رفت و برگشتی تکرارشونده شامل مراحل زیر می‌شود.

الف) محاسبه جریان گره‌ها؛ در تکرار k ام، جریان تزریقی گره *i* ام، I_i^k، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_i^k = \left(\frac{S_i}{V_i^{k-1}}\right)^* - Y_i V_i^{k-1}, \ \ \forall i \in n \tag{۱}$$

که V_i^{k-1} ولتاژ گره *i*ام محاسبه شده در طول تکرار k-1ام و S_i توان تزریقی تعیین شده در گره *i*ام و Y_i مجموع ادمیتانس عناصر موازی با گره iام می‌باشد.

ب) مرحله جاروب برگشت؛ در تکرار kام، طبق شکل (۱) شروع از شاخه‌های موجود در آخرین لایه و حرکت به سمت شاخه‌های متصل به گره اصلی، جریان (J_L) در شاخه L به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$J_L^k = -I_{L_2}^k \sum_{L\in b} I_{L_2}^{k,be}, \ \ \ L = b, b-1, \ldots, 1 \tag{۲}$$

که I_{L2}^{k} جریان تزریقی در گره L_2 و $I_{L_2}^{k,be}$ جریان در شاخه‌های ناشی از گره L_2 می‌باشد.

ج) مرحله جاروب رفت؛ ولتاژ گره‌ها در مرحله رفت که از حرکت شاخه‌ها در لایه اول به سمت لایه آخر شروع می‌شود، به روز رسانی می‌شود. برای هر شاخه، L، ولتاژ در گره L_2 با استفاده از به روزرسانی ولتاژ در گره L_1 و جریان شاخه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{L_2}^{k} = V_{L_1}^{k} - Z_L J_L^{k}, \forall L \in b \tag{۳}$$

که Z_L امپدانس سری شاخه Lمی‌باشد. مراحل الف، ب و ج تا رسیدن به همگرایی تکرار می‌شوند. در نتیجه توان تزریقی در گرهi ام در تکرارk ام، S_i^k، برابر است با:

$$S_i^k = V_i^k (I_i^k)^* - Y_i \left|V_i^k\right|^2, \forall i \in n \tag{۴}$$

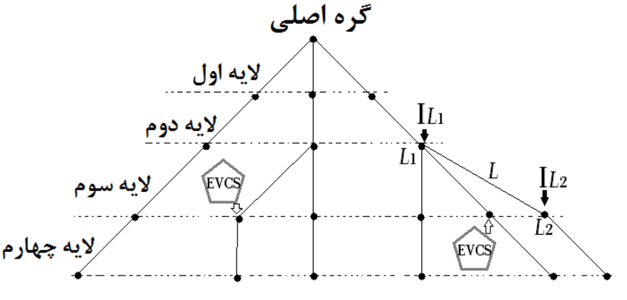
که با در نظر گرفتن توان اخذ شده از شبکه توسط ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی (EVCS)، $S_{i,EVCS}^{k}$به عنوان یک بار بر روی گرهi ام معادله توان تزریقی در گرهi ام در تکرارk ام، $S_{i,Total}^{k}$ برابر است با:

$$S_{i,Total}^{k} = S_i^k + S_{i,EVCS}^{k}, \forall i \in n \tag{۵}$$

در نتیجه معادله کل تلفات توان حقیقی P_{total}^{loss}، در سیستم توزیع شعاعی برابر رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{total}^{loss} = \sum_{b=1} r_b \left(\frac{p_b^2 + q_b^2}{V^2} \right), \forall b \tag{۶}$$

که r_b، مقاومت شاخهb، p_b و q_b به ترتیب فلوی توان اکتیو و راکتیو شاخه b می‌باشد.



شکل ۱. یک نمونه سیستم توزیع شعاعی

۲-۲. روش پیشنهادی

همان‌طور که در بخش قبل روش پخش بار پیشنهادی بیان شد، پس از همگرایی پخش بار مذکور، تلفات توان، ولتاژ گره‌ها و جریان شاخه‌ها به‌دست خواهد آمد که از این شاخص‌ها در روش پیشنهادی استفاده خواهیم کرد.

هدف در این تحقیق تعیین حداکثر ظرفیت ایستگاه‌ها و تعیین محل مناسب است، به نحوی که قیود بهره برداری مانند ولتاژ مجاز در گره‌ها و جریان نامی فیدرها رعایت شود. در این روش تابع تلفات نیز مانند یک قید مدل‌سازی شده است. روابط به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$P_{total}^{loss,new} - P_{total}^{loss,initial} \le \Delta_{\%}^{loss} P_{total}^{loss,initial} \qquad (۸)$$

که در قید بالا، $P_{total}^{loss,initial}$ تلفات اولیه شبکه و $P_{total}^{loss,new}$ تلفات جدید به‌دست آمده از نصب ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد. برای مثال، فرض کنید تلفات اولیه شبکه برابر ۱۰۰ کیلووات باشد، باید محل و ظرفیت ایستگاه شارژ خودرو طوری انتخاب شود که اختلاف تلفات جدید و اولیه کوچکتر یا مساوی $\Delta_{\%}^{loss}$ درصد از تلفات اولیه شود. فرض کنید $\Delta_{\%}^{loss} = 0.01 = 1\%$ باشد، پس ظرفیت و مکان ایستگاه طوری انتخاب می‌شود تا تلفات جدید بین کوچکتر یا مساوی ۱۰۱ کیلووات باشد. بنابراین رابطه (۷) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$P_{total}^{loss,new} \le P_{total}^{loss,initial} + \Delta_{\%}^{loss} P_{total}^{loss,initial} \qquad (۸)$$

تعیین درصد $\Delta_{\%}^{loss}$ به انتخاب طراح بستگی دارد. دو قید دیگر ولتاژ و بارپذیری خط است که برای این طرح برنامه‌ریزی شده و به صورت زیرمدل‌سازی می‌شود.

$$V_{min}^{initial} - V_{min}^{new} \le \Delta_{\%}^{volt} V_{min}^{initial} \qquad (۹)$$

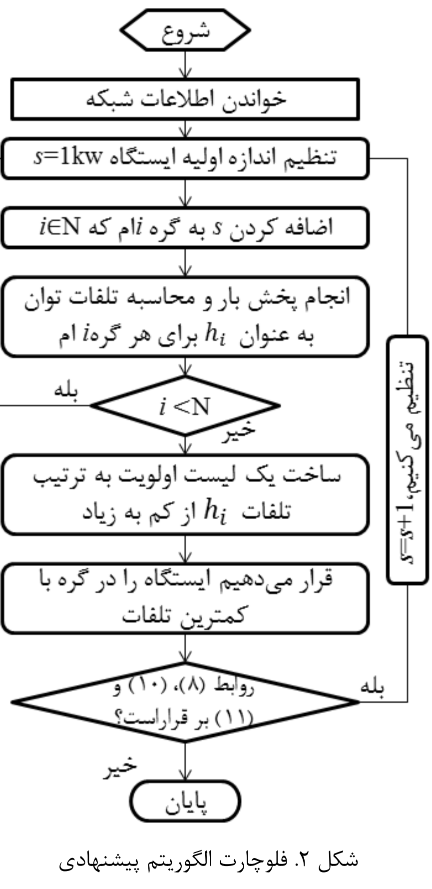
در محدودیت نامعادله (۹) $V_{min}^{new}, V_{min}^{initial}$ به ترتیب برابر کمترین ولتاژ اولیه شبکه و کمترین ولتاژ جدید می‌باشد. $\Delta_{\%}^{volt}$ برابر درصد در نظر گرفته شده برای این حالت در نظر گرفته شده است. می‌توان رابطه (۹) را به صورت زیرمدل کرد.

$$V_{min}^{initial} - \Delta_{\%}^{volt} V_{min}^{initial} \le V_{min}^{new} \qquad (۱۰)$$

قید دیگر، ظرفیت بارپذیری خطوط شبکه می‌باشد که باید محل و اندازه ایستگاه را طوری طراحی کرد که ظرفیت خطی که ایستگاه روی آن احداث می‌شود از مقدار نامی آن تجاوز ننماید. یعنی، قید زیر منظور می‌شود:

$$\mathrm{I}_{\max}^{\mathrm{new,b}} \leq \mathrm{I}_{\max}^{\mathrm{initial,b}} \ , \forall \mathrm{b} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)، $\mathrm{I}_{\max}^{\mathrm{new,b}}$ برابر بیشترین ظرفیت خط b به‌دست آمده در حالت بعد از احداث ایستگاه می‌باشد که باید کوچکتر یا مساوی بیشترین ظرفیت خط b در حالت اولیه $\mathrm{I}_{\max}^{\mathrm{initial,b}}$ شبکه باشد. طرح پیشنهادی به صورت الگوریتم زیر پیاده‌سازی شده است. همچنین شکل (۲) نیز فلوچارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی

گام اول) خواندن اطلاعات شبکه.

گام دوم) تنظیم اندازه اولیه ایستگاه s=1kw.

گام سوم) اضافه کردن s به گره i ام، که i از ۲ تا تعداد کل گره‌های شبکه (|N|) می‌باشد. (گره مرجع در نظر گرفته نمی‌شود)

گام چهارم) محاسبه پخش بار و محاسبه تلفات توان به عنوان h_i برای گره i ام.

گام پنجم) اگر i کوچکتر از |N| باشد به مرحله ۳ می‌رویم و برای i+1 تزریق s را انجام داده و h_i+1 را محاسبه می‌کنیم.

گام ششم) اگر i=|N| شد، به مرحله بعد می‌رویم.

گام هفتم) ساخت یک لیست اولویت به ترتیب تلفات (h) از کم به زیاد.

گام هشتم) قرار می‌دهیم ایستگاه را در گره با کمترین تلفات.

گام نهم) اگر روابط (۸)، (۱۰) و (۱۱) بر قرار باشد، تنظیم می‌کنیم S=S+1 و به گام دوم می‌رویم و برای S=2 kw محاسبه می‌کنیم.

۳. نتایج عددی

در این بخش روش پیشنهادی تخصیص ایستگاه‌های شارژ خودروی الکتریکی، با رعایت قیود مطرح شده، بر روی دو شبکه ۳۳ و ۱۳۶ گرهی در بار متوسط و بار پیک پیاده‌سازی می‌گردد [۱۳]. نتایج در جداول ۱ تا ۶ ارائه شده است. دو سناریوی پیک و بار متوسط منظور گردیده است. برای این شبکه‌ها ۱ تا ۲ درصد برای تلفات توان و قید ۰/۱ درصدی برای ولتاژ منظور شده است. طبق جدول (۱) و (۲) مشاهده می‌شود که با قید ولتاژ و تلفات مفروض، چندین اولویت ارائه شده است. تفاوت مهم این اولویت‌ها در این است که اگر ایستگاه شارژ در اولین اولویت احداث شود، ظرفیت بیشتری را می‌توان از شبکه گرفت و به عبارتی بیشتر بهره‌برداری نمود. طبق جدول (۱) اگر ایستگاه در باس ۲ که اولویت اول است احداث شود، با شرط $\Delta_{\%}^{\text{loss}}=1\%$ تا ۱۹۸ کیلووات می‌توان توان به این ایستگاه اختصاص داد، اما اگر در اولویت دوم که باس ۱۹ می‌باشد، ایستگاه احداث شود، با $\Delta_{\%}^{\text{loss}}=1\%$ تا ۱۶۳ کیلووات می‌توان به این ایستگاه اختصاص داد.

طبق جدول (۱) و (۲) هرچه احداث ایستگاه شارژ خودروهای برقی در مکانی باشد که در آخر لیست قرار دارد، به مراتب ظرفیت بهره‌برداری کمتری را می‌توان به آن اختصاص داد که این را در جدول (۱) نشان داده‌ایم. مشاهده می‌کنیم که طبق جدول (۱) اگر بخواهیم ایستگاه شارژ در گره ۱۸ را که در لیست اولویت آخرین گره می‌باشد، احداث کنیم، با $\Delta_{\%}^{loss}=1\%$، حداکثر ظرفیت ۷/۲۵ کیلووات را باید برای آن در نظر بگیریم. این درحالی است که برای اولویت اول و دوم ظرفیت به ترتیب برابر ۱۹۸ و ۱۶۳ کیلووات است. نکته قابل ذکر این است که طبق جدول (۱) با $\Delta_{\%}^{volt}=0.1\%$ اگر ایستگاه در اولویت اول و یا دوم قرار گیرد، به ترتیب می‌توان ۱۵۹۸ و ۱۵۹۳ کیلووات بهره‌برداری نمود، این در حالی است که طبق آخرین اولویت، این ظرفیت بیشینه بهره‌برداری به ۱۳ کیلووات کاهش پیدا می‌کند.

در احداث ایستگاه‌ها اولویت احداث بر روی گره‌ای است که در اولویت اول است و به ترتیب گره‌های بعدی. اگر اولویت اول به دلیل موقعیت جغرافیایی و یا محدودیت ساخت‌وساز غیراجرایی باشد، به ترتیب لیست اولویت، سراغ بعدی می‌رویم. توجه کنید در روش پیشنهادی هم لیست اولویت و هم حداکثر ظرفیت مناسب برای هر اولویت پیشنهاد شده است. بدین منظور فرض کنید یک بهره‌بردار بخواهد در شبکه‌ای (مثلا ۳۳ گرهی) ایستگاه شارژ احداث کند. فرض کنید بسته به موقعیت جغرافیایی، هیچ گرهی به غیر از گره ۱۸ که در لیست اولویت آخرین است، شدنی نباشد. در این حالت با طرح پیشنهادی، بهره‌بردار می‌تواند حداکثر ظرفیت قابل بهره‌برداری در این گره را مشخص کند تا به شبکه خسارت وارد نشود.

در شبکه ۱۳۶ گرهی طبق جدول (۳) مشاهده می‌شود که اگر ایستگاه شارژ در مکان اولویت اول نصب گردد، یعنی گره ۶۴ به شرطی که قید $\Delta_{\%}^{loss}=1\%$ رعایت شود، می‌توانیم ۷۴۱۵ کیلووات را از این ایستگاه شارژ بهره‌برداری کنیم. مشاهده می‌شود که کمترین ولتاژ برابر ۰/۹۶۶۹ پریونیت و تلفات توان کل برابر ۷۷/۷۷ کیلووات شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که اگر باز ایستگاه شارژ را در اولویت اول، یعنی گره ۶۴ با شرط $\Delta_{\%}^{volt}=0.1\%$ نصب کنیم، تا تضمین قید مربوطه می‌توانیم به‌اندازه ۷۹۵۰ کیلووات بهره‌برداری کنیم. در همین جدول نیز اولویت دوم برای نصب ایستگاه شارژ نیز به‌دست آمده است که طبق این جدول اگر گره ۷۶ را برای نصب ایستگاه شارژ خودرو برگزینیم، می‌توانیم به اندازه حداکثر ۵۷۴۰ کیلووات از آن بهره‌برداری کنیم تا قید در نظر گرفته شده آن ($\Delta_{\%}^{loss}=1\%$) نیز رعایت گردد.

در همین جدول (۳) نیز نشان داده‌ایم که اگر ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی در گرهی که در اولویت آخر لیست پیشنهادی به‌دست بیاید نصب کنیم، یعنی گره ۱۱۸، برای رعایت قید در نظر گرفته شده $\Delta_{\%}^{loss}=1\%$، تنها می‌توان به اندازه حداکثر ۴۱ کیلووات از آن بهره‌برداری نمود تا ولتاژ و تلفات در حد در نظر گرفته شده رعایت شود. در نتیجه به طور خلاصه اگر ایستگاه شارژی در این شبکه بخواهد نصب شود، اگر طبق لیست اولویت، در اولویت اول یعنی گره ۶۴ نصب شود می‌توان حداکثر ۷۴۱۵ کیلووات از آن بهره‌برداری نمود این در حالی است که اگر در لیست اولویت گرهی که در انتهای لیست قرار دارد یعنی گره ۱۱۸ انتخاب نمود، حداکثر ۴۱ کیلووات با رعایت قید $\Delta_{\%}^{loss}=1\%$ می‌توان بهره-برداری نمود. به همین ترتیب جدول (۴) نیز همین نتایج را برای شبکه ۱۳۶ گرهی برای در نظر گرفتن پیک‌بار شبکه نشان می‌دهد.

در جدول (۵) نیز به ترتیب لیست اولویت بهینه برای نصب ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی را برای دو شبکه ۳۳ گرهی و ۱۳۶ گرهی نشان می‌دهد. طبق این جدول مشخص است که اولین اولویت نصب برای شبکه ۳۳ گرهی، گره ۲ و آخرین اولویت گره ۱۸ می‌باشد. به همین صورت برای شبکه ۱۳۶ گرهی، گره ۶۴ در اولویت اول و گره ۱۱۸ آخرین گره پیشنهادی برای نصب ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد.

در جدول (۶) نیز مقایسه بین گره‌ای که در جای اول لیست اولویت با گره آخر لیست اولویت در دو شبکه تست یاد شده بر روی ایستگاه‌های هم‌اندازه انجام شده است. در این جدول برای شبکه ۳۳ گرهی در حالت بار متوسط اگر ایستگاه با اندازه مساوی ۵۰۰ کیلووات در نظر گرفته شود، اگر این ایستگاه بر گره۲ (اولین اولویت) نصب گردد، تلفات و کمترین ولتاژ به ترتیب برابر ۴۸/۳۴ کیلووات و ۰/۹۵۷ پریونیت خواهد شد. این در حالی است که اگر ایستگاه در گره ۱۸ (آخرین اولویت) نصب شود به ترتیب تلفات و کمترین ولتاژ برابر ۱۰۲/۱ کیلووات و ۰/۹۱۹ پریونیت خواهد شد و این در حالی است که اندازه ایستگاه‌ها برابر ۵۰۰ کیلووات در نظر گرفته شده بود. این جدول به‌خوبی تأثیر لیست اولویت پیشنهادی را برای نصب EVCS نشان می‌دهد. به همین ترتیب برای پیک بار شبکه ۳۳ گرهی هم در نظر گرفته شده است. همچنین برای شبکه ۱۳۶ گرهی (حالت پیک) نیز اگر بنا باشد اندازه برابر ۵۰۰۰ کیلووات را برای نصب ایستگاه شارژ انتخاب کنیم، اگر ایستگاه در گره ۶۴ (اولویت اول) نصب گردد به ترتیب تلفات و کمترین ولتاژ برابر ۳۲۱/۹ کیلووات و ۰/۹۳ پریونیت می‌شود. اگر ایستگاه را به همین اندازه در گره ۱۱۸ (آخرین

اولویت) نصب کنیم به ترتیب تلفات توان و کمترین ولتاژ شبکه برابر ۲۴۳۱/۸ کیلـووات و ۰/۶۸ پریونیـت می‌رسدکه بدلیل تأثیرات نامطلوب بر روی شبکه قابل بهره‌برداری نمی‌باشد.

شکل (۳) نشان‌دهنده مقایسه تأثیر نصب ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی در اولین اولویـت بـا آخرین اولویت با در نظر گرفتن اندازه‌های مشابه (۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوواتی) بر ولتـاژ شـبکه ۳۳ گرهـی در حالت بار متوسط می‌باشد. در این شکل نتیجه مکان‌های نصب ایستگاه‌های شارژ مختلف با اندازه‌هـای یکسان بر پروفیل ولتاژ شبکه مشخص است.خطوط نقطه چین نشان‌دهنده پروفیل ولتاژ در حالتی است که ایستگاه در گره اولویت اول نصب شده است که در تمام اشکال در حد بالاتری از حالت خـط ممتـد که ایستگاه در گره اولویت آخر نصب شده است دارد. به ترتیـب نیـز شـکل (۴) مقایسـه بـین اولـین و آخرین اولویت گره برای نصب ایستگاه با اندازه یکسان را بر ولتاژ شبکه ۳۳ گرهی در حالت پیـک بـار نشان می‌دهد. به همین ترتیب دو شکل (۵) و (۶) نیز نشان‌دهنده مقایسه بین اولین و آخـرین اولویـت برای نصب EVCS را با اندازه یکسان بر ولتاژ شبکه ۱۳۶ گرهی را در حالت بـار متوسـط و پیـک بـار نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتایج شبکه ۳۳ گرهی در حالت بار متوسط

Scenario	Max Capacity Size in kW	Min Voltage in p.u	Loss in kW
Base	-	0.95826	47.0708
***First* Priority Station = Node 2**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	198	0.95815	47.5394
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	1598	0.95730	52.1527
***Second* Priority Station = Node 19 (*if* First Priority is infeasible)**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	163	0.95817	47.5414
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	1593	0.95730	55.3621
***Last* Priority Station = Node 18**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	7.25	0.95772	47.5410
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	13	0.95730	47.9204

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۲. نتایج شبکه ۳۳ گرهی در حالت پیک بار

Scenario	Max Capacity Size in kW	Min Voltage in p.u	Loss in kW
Base	-	0.91309	202.6771
***First* Priority Station = Node 2**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	403	0.91283	204.7028
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	1436	0.91217	210.7643
***Second* Priority Station = Node 19 *(if* First Priority is infeasible)**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	333	0.91288	204.7034
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	1430	0.91217	213.9441
***Last* Priority Station = Node 18**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	13.6	0.91200	204.6986
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	11.4	0.91217	204.3689

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۳. نتایج شبکه ۱۳۶ گرهی در حالت بارمتوسط

Scenario	Max Capacity Size in kW	Min Voltage in p.u	Loss in kW
Base	-	0.96690	77.0048
***First* Priority Station = Node 64**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	7415	0.96690	77.7748
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	7950	0.96690	77.8722
***Second* Priority Station = Node 76 *(if* First Priority is infeasible)**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	5740	0.96690	77.7747
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	6120	0.96690	77.8601
***Last* Priority Station = Node 118**			
$\Delta_{\%}^{loss}$**=1%**	41	0.96632	77.7734
$\Delta_{\%}^{V}$**=0.1%**	69	0.96593	78.3127

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۴. نتایج شبکه ۱۳۶ گرهی در حالت پیک بار

Scenario	**Max Capacity Size in kW**	**Min Voltage in p.u**	**Loss in kW**
Base	-	0.93065	320.3639
***First* Priority Station = Node 64**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	7572	0.93065	323.5673
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	8269	0.93065	324.0895
***Second* Priority Station = Node 76 *(if* First Priority is infeasible)**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	5856	0.93065	323.5669
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	6490	0.93065	324.1575
***Last* Priority Station = Node 118**			
$\Delta_{\%}^{loss}$=**1%**	38.6	0.92946	323.5627
$\Delta_{\%}^{V}$=**0.1%**	30.1	0.92972	322.8493

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۵. لیست اولویت ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی برای دو شبکه ۳۳ و ۱۳۶ گرهی

33-Node System
2,19,20,21,3,22,23,4,24,5,25,6,26,7,27,8,28,9,29,30,10,11,12,31,32,33,13,14,15,16,17,18
136-Node System
64,76,122,100,86,65,101,18,19,40,2,3,102,66,103,41,43,87,77,20,88,67,123,44,42,124,4,45, 126,46,21,125,127,78,128,129,5,68,22,47,130,131,89,69,23,48,79,71,25,63,80,90,74,70,24, 132,72,26,91,27,49,6,73,52,50,53,133,54,55,56,51,57,28,104,29,92,30,32,58,93,31,36,39,33 ,134,94,7,98,99,8,135,9,136,59,37,34,95,75,35,10,38,81,96,11,97,60,12,61,62,14,16,17,82,1 3,84,15,83,85,105,119,120,121,106,107,108,111,112,113,114,109,110,115,116,117,118

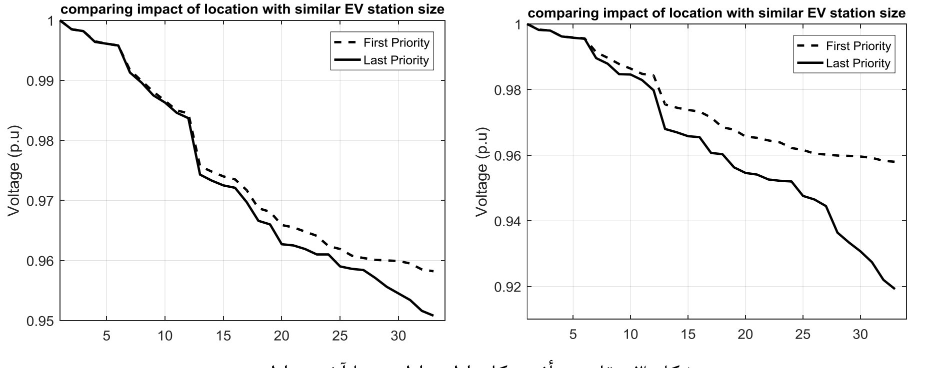
مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۶. مقایسه تأثیر مکان با ایستگاه‌های شارژ هم اندازه

Priority	**Node**	**Losses in kW**	**Min Voltage in p.u**	**Size in kW**
33-Node at nominal load				
First	2	47.302	0.95820	100
Last	18	54.352	0.95080	

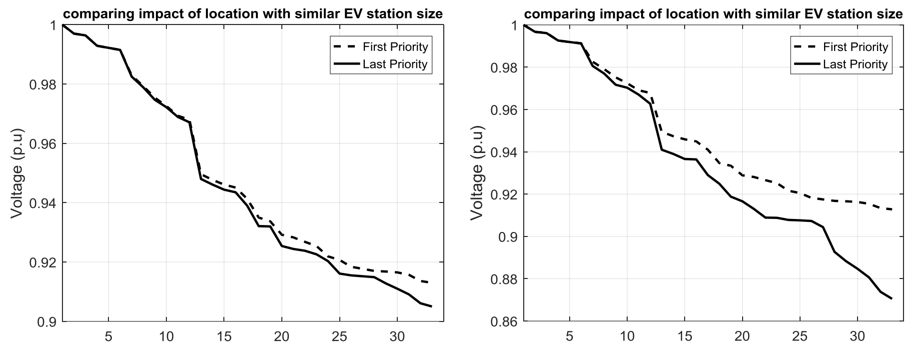
Priority	Node	Losses in kW	Min Voltage in p.u	Size in kW
First	2	48.342	0.95796	500
Last	18	102.10	0.91924	
33-Node at peak load				
First	2	203.16	0.91303	100
Last	18	218.48	0.90501	
First	2	205.22	0.91277	500
Last	18	305.63	0.87051	
136-Node at nominal load				
First	64	77.0454	0.96690	1000
Last	118	103.1346	0.95238	
First	64	77.4050	0.96690	5000
Last	118	393.0012	0.88478	
136-Node at peak load				
First	64	320.5279	0.93065	1000
Last	118	439.5765	0.89776	
First	64	321.972	0.93065	5000
Last	118	2431.8472	0.68024	

مأخذ: نتایج تحقیق



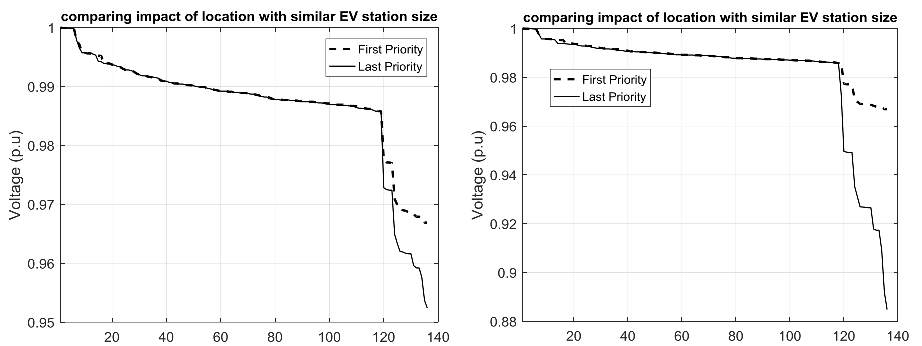
شکل ۳: مقایسه تأثیر مکان اولین اولویت با آخرین اولویت

با ایستگاه اندازه مشابه (۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوواتی) در شبکه ۳۳ گرهی با بار متوسط



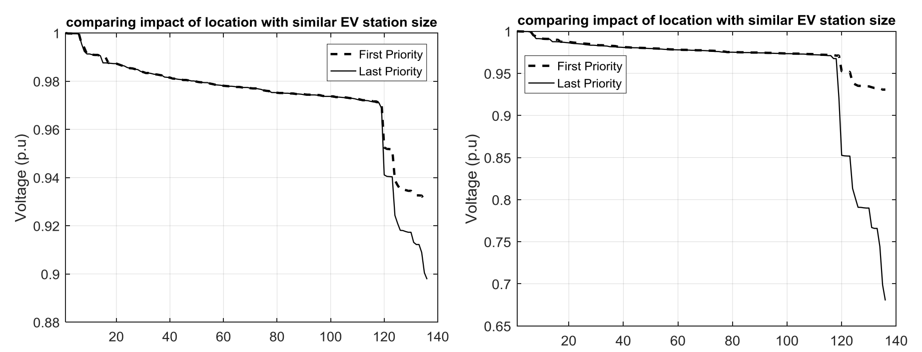
شکل ۴. مقایسه تأثیر مکان اولین اولویت با آخرین اولویت

با ایستگاه اندازه مشابه (۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوواتی) در شبکه ۳۳ گرهی با پیک بار



شکل ۵. مقایسه تأثیر مکان اولین اولویت با آخرین اولویت

با ایستگاه اندازه مشابه (۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ کیلوواتی) در شبکه ۱۳۶ گرهی با بار متوسط



شکل ۶. مقایسه تأثیر مکان اولین اولویت با آخرین اولویت

با ایستگاه اندازه مشابه (۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ کیلوواتی) در شبکه ۱۳۶ گرهی با پیک بار

در نهایت به منظور راستی‌آزمایی و صحت‌سنجی رویکرد ارائه شده، نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهادی را با نتایج مرجع [۱۳] مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم. پنگلیئو و همکاران (۲۰۱۸) از یک الگوریتم تکاملی ترکیبی، شامل ترکیب الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای حل مسئله اختصاص ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی استفاده نموده‌اند [۱۳]. جدول (۷) مقایسه‌ای بین نتایج به‌دست آمده روی شبکه ۳۳ گرهی استاندارد از روش پیشنهادی را با نتایج مرجع [۱۳] نشان می‌دهد. با مقایسه جدول بالا می‌توان بخوبی نتیجه گرفت که، روش پیشنهادی که ارائه یک لیست اولویت با در نظر گرفتن کمترین تغییرات ولتاژ و تلفات بود، بهتر از روش تکاملی ارائه شده در مرجع [۱۳] می‌باشد.

برای مثال مکان‌های ارائه شده توسط روش پیشنهادی برای ۵ ایستگاه شارژ خودرو برقی در شبکه ۳۳ گرهی به ترتیب برابر ۲، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۳ می‌باشد، این در حالی است که مرجع [۱۳] شین‌های ۲، ۸، ۱۱، ۲۳ و ۲۹ را برای نصب ایستگاه ارائه داده است. حال اگر فرض کنیم توان شارژ این مکان‌ها برابر باشد و مثلاً طبق جدول (۷) هر ایستگاه شارژ خودرو ۵۰۰ کیلووات ظرفیت توان شارژ به طور برابر داشته باشند، تلفات توان و کمترین پروفیل ولتاژ در روش پیشنهادی به ترتیب برابر ۲۵۰کیلووات و ۰/۹۰ پریونیت می‌باشد، این در حالی است که روش ارائه شده در مرجع [۱۳] تلفات توان برابر ۴۶۱ کیلووات و کمترین پروفیل ولتاژ برابر ۰/۸۷ پریونیت می‌باشد. که این نشان از برتری روش پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه نتایج روش پیشنهادی در سیستم ۳۳ گرهی

	روش پیشنهادی	روش PSO و GA در [۲۰]
مکان کاندید	2, 19, 20, 21, 3	2, 8, 11, 23, 29
	فرض نصب ۱۰۰ کیلووات توان برای هر ایستگاه	
تلفات و کمترین ولتاژ	(209.44 (kW) , 0.9124 (p.u	(241.75 (kW) , 0.9048 (p.u
	فرض نصب ۲۰۰ کیلووات توان برای هر ایستگاه	
تلفات و کمترین ولتاژ	(217.61 (kW) , 0.9117 (p.u	(286.83 (kW) , 0.8964 (p.u
	فرض نصب ۵۰۰ کیلووات توان برای هر ایستگاه	
تلفات و کمترین ولتاژ	(250.78 (kW) , 0.9097 (p.u	(461.30 (kW) , 0.8702 (p.u

مأخذ: نتایج تحقیق

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی برای تعیین مکان و اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی براساس روابط پخش‌بار ارائه شد. قیود بهره‌برداری ولتاژ و جریان مجاز فیدر در مسئله منظور گردید. این روش، یک لیست اولویت را در هر شبکه‌ای برای ساخت ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی ارائه می‌دهد که بهره‌بردار می‌تواند بسته به نیاز شبکه و موقعیت جغرافیایی بهترین مکان و ظرفیت را برای ساخت در نظر بگیرد. روش پیشنهادی بر روی دو شبکه استاندارد توزیع آزمایش شد و نتایج مورد بحث قرارگرفت. نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی مدل پیشنهادی نشان داد که روش پیشنهادی به‌خوبی می‌تواند مکان‌های بهینه برای احداث ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی را با در نظر گرفتن قیود بهره‌برداری شبکه توزیع به‌دست آورد. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهادی با روش PSO و GA مشخص شد که روش ارائه شده در این مقاله بسیار کارآمد و بهینه‌تر از الگوریتم‌های تکاملی یاد شده می‌باشد. انتظار می‌رود که بتوان روش پیشنهادی را برای جایابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در حضور منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی (باتری) نیز تعمیم داد.

منابع

[۱] احمدی، سامان و سید محمد تقی بطحائی (۱۳۹۳). "بهینه‌سازی راهبرد مدیریت انرژی در خودروی هیبریدی (پیل‌سوختی، باتری و ابرخازن)". *نشریه انرژی ایران*. ۱۷ (۴).

[۲] حجت، مهرداد و مریم کرامتی (۱۳۹۷). "جایابی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروی الکتریکی استفاده از الگوریتم PSO با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های بار". *دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی*. تهران: کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران و دبیرخانه همایش بین‌المللی انرژی.

[۳] طوسی سیدمحمدرضا؛ بیات، پژمان؛ بیات، پیمان و علیرضا حاتمی (۱۳۹۵). "افزایش بازدهی خودروهای الکتریکی از طریق بهبود مشخصه‌های آیرودینامیکی". *نشریه انرژی ایران*. ۱۹ (۲).

[۴] محمدپور، امین؛ صالح یوسفی و لیلا شریفی (۱۳۹۸). "ارائه یک سیستم پیشنهاددهنده چند معیاره مکان شارژ برای خودروهای برقی". *سومین کنفرانس بین‌المللی اینترنت اشیاء و کاربردها*، اصفهان–دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه اصفهان.

[۵] مروی خیابانی، رضا و محسن قاینی (۱۳۹۶). "مدیریت تأمین انرژی در ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی دارای سیستم فتوولتاییک و بانک باتری". *فصلنامه عصر برق* ۱ (۶).

[6] Abu-Mouti FS, El-Hawary ME. (2011) "Optimal Distributed Generation Allocation and Sizing in Distribution systems via Artificial bee colony Algorithm". *IEEE Trans Power Deliver* Oct; 26 (4) :90–101.
[7] Amany El-Zonkoly, Leandro dos Santos Coelho (2015). "Optimal Allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system" *Int. J. Elect. Power Energy Syst*, No. 67, pp. 472-477.
[8] Shirmohammadi D., Hong H. W., Semlyen A. and G. X. Luo (1988). "A Compensation-based Power flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks," *IEEE Trans. Power Syst*., vol.3, No. 2, pp. 753–762.
[9] de Hoog J., Alpcan T., Brazil M., Thomas D. and I. Mareels (2015). "Optimal Charging of Electric Vehicles Taking Distribution Network Constraints into Account", *IEEE Trans. Power Syst*., vol. 30, No. 1, pp.365–375.
[10] Franco J., Rider M. and R. Romero (2015) "A mixed-integer linear programming Model for the Electric Vehicle Charging Coordination Problem in Unbalanced Electrical Distribution Systems," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, No. 5, pp. 2200–2210.
[11] JairoQuirós-Tortós, Luis F. Ochoa, Sahban W. Alnaser, and Tim Butler, (2016). "Control of EV Charging Points for Thermal and Voltage Management of LV Networks", *IEEE Trans Power Syst*, 31(4), pp.3028-3039.
[12] Jian Zhao, Zhao Xu, Jianhui Wang, Cheng Wang, Jiayong Li (2018). "Robust Distributed Generation Investment Accommodating Electric Vehicle Charging in a Distribution Network" *IEEE Trans Power Syst*, Early Access.
[13] Jin-peng Liu, Teng-xi Zhang, Jiang Zhu and Ma. Tian-nan (2018). "Allocation Optimization of Electric Vehicle Charging Station (EVCS) Considering with Charging Satisfaction and Distributed Renewables Integration", *Energy*, No. 164, pp. 560-574.
[14] M. Campaña and E. Inga (2019). "Optimal Allocation of Public Charging Stations based on Traffic Density in Smart Cities", *IEEE Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence (ColCACI)* , Barranquilla, Colombia, pp. 1-6.
[15] Mouna Kchaou Boujelben, Celine Gicquel (2019). "Efficient Solution Approaches for Locating Electric Vehicle fast Charging Stations under Driving range Uncertainty", *Computers & Operations Research*, No.109, pp. 288-299.
[16] Deb S., Tammi K., Kalita K. and P. Mahanta (2019). "Charging Station Placement for Electric Vehicles: A Case Study of Guwahati City, India", in *IEEE Access*, No.7, pp. 100270-100282.
[17] Sarah M. Kandila, Hany E. Faraga Z., Mostafa F., Shaabanb M., ZakiEl-Sharafya, (2018). "A Combined Resource Allocation framework for PEVs Charging Stations, Renewable Energy Resources and Distributed Energy Storage systems" *Energy*, No. 143, pp. 961-972.
[18] Seifeddine Bouguerra, Safa Bhar Layeb (2019). "Determining optimal deployment of Electric Vehicles Charging Stations: Case of Tunis City, Tunisia", *Case Studies on Transport Policy*, No. 7, pp. 628-642.

[19] Su W., Chow Mo-Yuen (2011). "Performance Evaluation of a PHEV Parking Station using Particle Swarm Optimization". *In: Proc. Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, USA.
[20] Ma W. J., Gupta V. and U. Topcu (2014) "Distributed Charging Control of Electric Vehicles using Regret Minimization", *in Proc. Conf. on Decision and Control*, Los Angeles, CA.
[21] YassirA., Alhazmia B, Haytham A., Mostafaa Magdy M.A.Salamaa, (2017). "Optimal Allocation for Electric vehicle Charging Stations using Trip Success Ratio" *Int. J. Elect. Power Energy Syst*, No.91, pp. 101-116.
[22] Yue Song, Yu Zheng and David J. Hill (2017). "Optimal Scheduling for EV Charging Stations in Distribution Networks: A Convexified Mode". *IEEE Trans Power Syst*, 32(2), pp. 1574-1575.
[23] Z. Fan (2012). "A Distributed demand Response Algorithm and its Application to PHEV Charging in Smart Grids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, No. 3, pp. 1280–1290.
[24] Zechun Hu., Yonghua Song, Jianhui Wang, Cheng Wang, Jiayong Li, (2012). "Distribution Network Expansion Planning with Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Charging Stations". *47th International Universities Power Engineering Conference (UPEC).*