

تعیین همزمان مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ خودرو برقی در یک شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات، انحراف ولتاژ و افزایش پایداری ولتاژ

حسین اصغر پور علمداری و کوروش فتاحی و محمد ربیعی

چکیده

در حال حاضر، شبکه‌های قدرت از قابلیت ذخیره‌سازی ناچیزی برخوردار هستند و به همین دلیل، استفاده از ظرفیت خودرو برقی در جهت اهداف شبکه‌های توزیع، توجه بسیاری از بهره‌برداران و برنامه ریزان را به خود جلب نموده که می‌توان با تجمیع باتری‌های تک‌تک خودروهای موجود در یک پارکینگ شهری، ظرفیت ذخیره‌سازی قابل ملاحظه‌ای را حاصل نمود که از دید شبکه به‌عنوان یک منبع ذخیره‌سازی واحد و یکپارچه، مورد استفاده قرار گیرد. از آنجایی که این خودروها در شبکه با دو کاربری بار الکتریکی و منبع تولید توان ایفای نقش می‌کنند بنابراین نقش به سزایی در بهره‌برداری از یک شبکه توزیع دارند. از این‌رو در این مقاله به جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ این خودروها در یک شبکه‌ی توزیع با هدف بهبود تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش پایداری ولتاژ پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از دقت و کارآمدی روش پیشنهادی در تعیین مکان و ظرفیت بهینه این منابع است.

واژه‌های کلیدی: پارکینگ خودرو برقی، جایابی بهینه، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ پایداری ولتاژ.

۱. مقدمه

پارکینگ‌های شهری از جمله بهترین مکان‌هایی هستند که خودروهای الکتریکی می‌توانند در آن‌ها پارک شده و برای شارژ شدن (یا دشارژ شدن) به شبکه متصل شوند. این پارکینگ‌ها معمولاً دارای ظرفیت بالایی بوده و می‌توانند تعداد بسیار زیادی خودرو الکتریکی را به صورت هم‌زمان در خود جای دهند [۱، ۲]. بنابراین، با تجمع باتری‌های تک‌تک خودروهای موجود در یک پارکینگ شهری، ظرفیت ذخیره‌سازی قابل‌ملاحظه‌ای حاصل می‌شود که می‌تواند از دید شبکه به عنوان یک منبع ذخیره‌سازی واحد و یکپارچه، مورد استفاده قرار گیرد. اما باید توجه داشت که خودروهای الکتریکی هم می‌توانند به عنوان یک بار الکتریکی عمل کرده و انرژی الکتریکی را از شبکه دریافت کنند و هم می‌توانند به عنوان یک تولیدکننده عمل کرده و انرژی الکتریکی را به شبکه بازگردانند که این امر موجب ایجاد پیچیدگی‌های فراوان در تأمین مناسب نیازمندی‌های صاحبان خودروها می‌شود [۳-۵]. از سوی دیگر، در شبکه‌های قدرت برای کنترل ولتاژ و اصلاح ضریب قدرت و جلوگیری از نوسانات قدرت در شبکه از خازن‌ها به علت ارزان‌ی و سادگی در سیستم‌های قدرت به وفور استفاده می‌شود و اهمیت این عناصر در دستگاه‌های توزیع بر هیچ‌کس پوشیده نبوده که این عناصر در دستگاه‌های توزیع نقش کلیدی دارند [۶-۷]. در شبکه‌های توزیع به خاطر ولتاژ پایین‌تر، جریان عبوری از خطوط بالا است و این امر باعث می‌شود که XI^2 بالا باشد، که به همراه توان مصرفی حقیقی، اندازه‌ی توان ظاهری را بالاتر برده، لازم می‌دارد که از تجهیزاتی با قدرت بالاتر استفاده کنیم، توان راکتیو القایی که بیشتر از خاصیت سلفی عناصر هست به وفور در سیستم‌هایی توزیع و قدرت یافت می‌شود که از عوامل تولیدکننده‌ی آنی می‌توان به موتورهای القایی مورد استفاده در صنعت، خطوط انتقال و غیره اشاره کرد [۸].

همانطور که مشخص است یک خودروی برقی به شبکه تأثیر چندانی بر شبکه قدرت ندارد، در برخی تحقیقات، با معرفی بازیگر جدیدی به نام تجمع کننده، که با تشویق صاحبان خودرو برای اتصال به شبکه و ایجاد ارتباط بین بهره‌بردار مستقل سیستم و صاحبان خودرو، نقش خود را ایفا میکند، خودروهای برقی را به عنوان منابع انرژی پراکنده در بازار انرژی الکتریکی معرفی نموده‌اند [۹]. با توجه به ظرفیت الکتریکی محدود خودروهای برقی، آنها به تنهایی تأثیری بر شبکه ندارند، بنابراین، در این مقاله از پارکینگ‌هایی نام برده شده است که همزمان با داشتن تجهیزاتی که قابلیت اتصال به شبکه را برای خودرو فراهم می‌آورند با جای دادن تعداد قابل توجهی خودرو در خود، نقش خودرو به شبکه را در زمینه هم‌چون تنظیم فرکانس بررسی کرده‌اند [۱۰]. در مرجع [۱۱، ۱۲] مطالعاتی در مورد پروفیل شارژ بهینه برای افزایش مصرف در ساعات کم‌باری انجام گرفته و مرجع [۱۳] به بررسی تأثیر پروفیل شارژ بر شبکه توزیع پرداخته است. به طور کلی، اکثر تحقیقات انجام گرفته در زمینه خودروهای برقی بر برنامه‌ریزی شارژ بهینه در راستای نیل به سطح مطلوب شاخص‌های مختلف، از قبیل تلفات و پروفیل ولتاژ و همچنین، استفاده از فناوری خودروهای متصل به شبکه به عنوان ذخیره‌ساز تمرکز کرده‌اند. جایابی پارکینگ خودروهای متصل به شبکه با لحاظ کردن قیود تلفات و قابلیت اطمینان به صورت قیود اقتصادی در مرجع [۱۴] پیاده‌سازی شده است. همچنین، مطالعاتی در خصوص ارائه الگوریتم شارژی که امکان افزایش بار در ساعات کم‌باری را فراهم نماید، انجام گرفته است [۱۵، ۱۶]. همانطور که در تمامی پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود در هیچ یک از آن‌ها شاخص‌های مهمی نظیر حاشیه پایداری ولتاژ، انحراف ولتاژ و تلفات به طور همزمان در نظر گرفته نشده اند از این رو در این مقاله به جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ خودروهای برقی با در نظرگیری شاخص‌های ذکر شده پرداخته می‌شود.

۲- مدل‌سازی حالت شارژ و دشارژ پارکینگ خودروهای برقی

همانطور که قسمت قبل بیان گردید، پارکینگ خودروهای برقی که محل مناسب جهت تجمع خودروهای برقی در شبکه توزیع هستند می‌توانند به عنوان یک بار عمل کرده و انرژی الکتریکی را از شبکه دریافت کنند و هم می‌توانند به عنوان یک تولیدکننده عمل کرده و انرژی الکتریکی را به شبکه بازگردانند، از این رو وضعیت شارژ و دشارژ این خودروها نقش مهم و به-سزایی در شاخص‌ها و پارامترهای یک شبکه توزیع دارد. بنابراین در این بخش به معرفی یک مدل مناسب جهت مطالعات

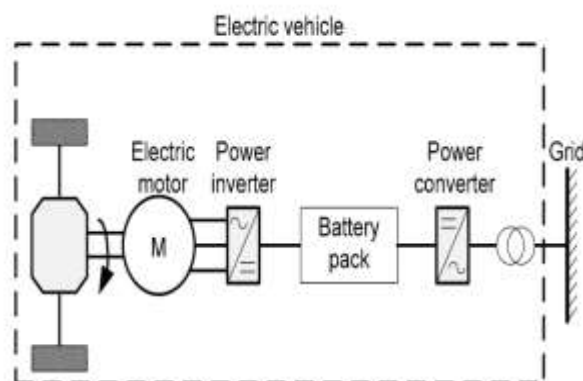
برنامه ریزی و جابجایی به منظور تعیین وضعیت شارژ و دشارژ این خودروها پرداخته می‌شود. بدین منظور مطابق شکل (۱) توان دریافتی خودرو برقی از شبکه در حالت شارژ از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید [۱۷]:

$$P_{EV}^{charge}(t) = P_{EV_{max}} (1 - e^{-\alpha t/t_{max}}) + P_{EV0} \quad (1)$$

همچنین توان تزریقی به شبکه توسط خودرو برقی از رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید [۱۷]:

$$P_{EV}^{discharge}(t) = P_{EV0} e^{-\alpha t/t_{max}} \quad (2)$$

که در روابط بالا: P_{EV0} : توان شارژ اولیه خودرو برقی، α : ثابت زمانی شارژ باتری خودرو برقی، t_{max} : کل زمان مورد نیاز برای شارژ باتری خودرو برقی از شارژ صفر تا شارژ ماکزیمم و $P_{EV_{max}}$: ماکزیمم توان شارژ خودرو برقی می‌باشد.



شکل ۱- شماتیک خودرو برقی متصل به شبکه

۳- فرموله کردن مسأله

۳-۱- شاخص تلفات

تلفات در سیستم‌های انتقال امری غیرقابل اجتناب بوده که باعث محدود شدن توان انتقالی در خطوط می‌شود و همواره هزینه‌هایی اضافی به شبکه تحمیل می‌کند لذا کاهش هر چه بیشتر آن همواره هدف طراحان خطوط انتقال می‌باشد. در این مقاله تلفات کلی شبکه توسط پخش بار به روش رفت و بازگشتی بدست آمده و به عنوان یکی از فاکتورهای تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد که با استفاده از رابطه‌ی (۳) تلفات کلی شبکه بدست می‌آید.

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{nl} I_i^2 \times R_i \quad (3)$$

۳-۲- شاخص انحراف ولتاژ

یکی دیگر از اهداف مورد نظر در این مقاله کاهش انحراف ولتاژ در شبکه توزیع به هنگام تعیین ظرفیت و مکان بهینه پارکینگ خودرو برقی می‌باشد. مقدار انحراف ولتاژ از رابطه‌ی (۴) بدست می‌آید.

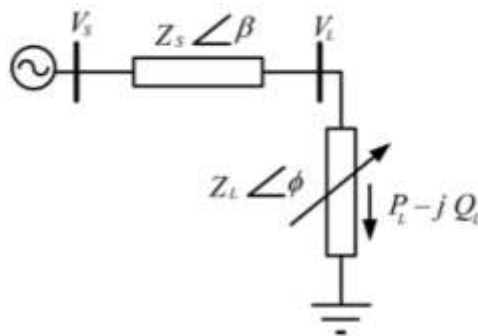
$$F_V = \sqrt{\sum_{i=1}^{Nb} (1 - V_i)^2} \quad (4)$$

۳-۳- شاخص پایداری ولتاژ

پایداری ولتاژ در یک شبکه‌ی توزیع، عبارتست از ماکزیمم بار الکتریکی که می‌توان به یک شبکه اعمال کرد به شرطی که ولتاژ در تمامی شین‌ها در محدوده‌ی مجاز باشند و به طور ناگهانی صفر نشوند. از این رو شاخص پایداری ولتاژ در یک شبکه‌ی توزیع که خطوط و بارهای الکتریکی آن مطابق شکل (۲) مدل شده‌اند با استفاده از رابطه‌ی (۵) بدست می‌آید.

$$VSI = V_S^4 - 4V_S^2(RP_L + XQ_L) - 4(RP_L - RQ_L)^2 \quad (5)$$

که در رابطه‌ی (۵) هرچه مقدار VSI به صفر نزدیک‌تر شود حاشیه پایداری ولتاژ کاهش می‌یابد و سیستم به سمت ناپایداری می‌رود و هرچه این شاخص بزرگتر شود این سیستم پایدارتر است.



شکل ۲- مدار معادل سیستم توزیع جهت محاسبه شاخص پایداری ولتاژ

۴- قیود مسأله

به منظور حل مسأله مورد نظر به هنگام بهینه‌سازی لازم است قیود زیر که در ادامه معرفی می‌گردد در نظر گرفته شود. با تغییر نقاط مانور در شبکه توزیع آرایش جدیدی به وجود می‌آید. ولی نمی‌توان گفت هر آرایش جدید به دست آمده حتماً مورد قبول است. از این آرایش شبکه‌ای که در هر تغییر بدست می‌آید باید محدودیت‌های ذیل را رعایت کند. رابطه (۶) قید محدوده ولتاژ مجاز شین‌ها و رابطه (۷) محدوده جریان مجاز عبوری از خطوط را نشان می‌دهند. اما قید اصلی درمساله جایابی، ماندن شبکه شعاعی پس از جایابی می‌باشد. شعاعی ماندن شبکه به این صورت است که اولاً هیچ حلقه‌ای در شبکه ایجاد نگردد و ثانیاً هیچ شینی در شبکه بدون برق باقی نماند. به همین منظور برای ارضا کردن این قید از دو محاسبه ساده (شرط لازم و شرط کافی) استفاده شده است.

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad (6)$$

$$I_{\min} \leq I_i \leq I_{\max} \quad (7)$$

محاسبه اول (شرط لازم) بدین صورت است که تعداد خطوط در مدار شبکه باید یک عدد کمتر از تعداد شین ها باشد، محاسبه دوم (شرط کافی) با استفاده از پاسخ دترمینان ماتریس تلاقی شاخه و گره جهت جلوگیری از ایزوله شدن شین ها پس از ارزیابی محاسبه اول صورت می پذیرد که در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$\det(A) = 1 \text{ or } -1 \quad (8)$$

$$\det(A) = 0 \quad (9)$$

از آنجایی که خطوط انتقال دارای ظرفیت حرارتی محدودی می باشند با افزایش توان عبوری از خطوط انتقال دمای آن ها بالا می رود از این رو یکی از قیودی که می بایست در حل مسأله ی پیش رو مورد توجه قرار گیرد قید توان عبوری از خطوط انتقال می باشد که با استفاده از رابطه ی (۱۰) تعریف می شود:

$$P_{T,i}^{\min} \leq P_{T,i} \leq P_{T,i}^{\max} \quad (10)$$

۵- تعریف تابع هدف سیستم

در این بخش به منظور تحقق اهداف بیان شده در ابتدای مقاله لازم است برای حل مسأله، تابع هدف به نحوی تعریف شود که به هنگام بهینه سازی ضمن کاهش تلفات، انحراف ولتاژ نیز کاهش یابد و حاشیه پایداری ولتاژ نیز بهبود یابد. از این رو ابتدا تابع مناسبی به عنوان تابع هزینه که در بردارنده ی تمامی این قیود می باشد تعیین شده و پس از آن این تابع با استفاده از الگوریتم جست و جوی گرانشی بهینه می شود و مکان بهینه پارکینگ خودرو برقی مشخص می گردد. بنابراین با توجه به توابع هدف که به ترتیب در بخش های قبل معرفی شدند؛ تابع هزینه ی کل سیستم به صورت رابطه ی (۱۱) تعریف می شود:

$$F_{system} = \frac{P_{LOSS}^{SC}}{P_{LOSS}^{NORMAL}} + \frac{F_V^{SC}}{F_V^{NORMAL}} + \frac{VSI^{NORMAL}}{VSI^{SC}} \quad (11)$$

۵-۱- کدبندی با استفاده از الگوریتم جست و جوی گرانشی

برای انجام محاسبات توسط الگوریتم گرانش در ابتدا لازم است پارامترهای معادله مورد نظر کدگذاری شود. در این مقاله دو پارامتر محل نصب و ظرفیت پارکینگ رمزگذاری شده و هر یک توسط شمارهای خاصی (جرم) در یک بعد قرار می گیرند. که اولین شماره نشان دهنده مکان قرارگیری عنصر پارکینگ و دومین شمار نشان دهنده ی نیروی وارده به هر جرم بوده که طبق فرمول (۱۱) مشخص می شود. در جدول (۱) نمونه های از جرم کدگذاری شده قابل مشاهده است.

جدول ۱- بعد کدگذاری شده برای الگوریتم گرانش

مقادیر نامی (پریونیت)	محل قرارگیری (شماره شین)
۰/۲۵	۳ پارکینگ خودرو برقی

۵-۲- جمعیت اولیه

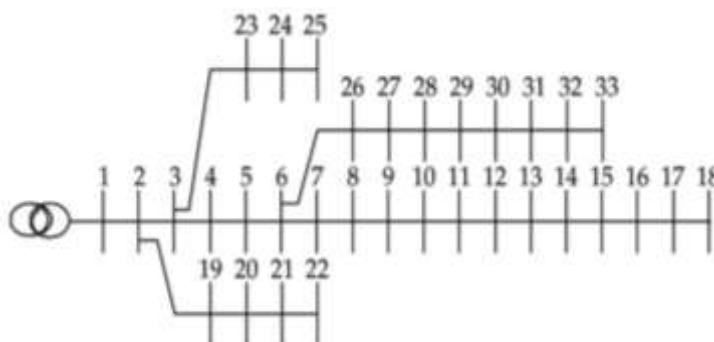
شامل تعدادی از اجرام کدگذاری شده در مرحله قبل می باشد که به طور اتفاقی توسط خود الگوریتم جست و جوی گرانش انتخاب می شوند.

۵-۳- برآورد میزان سازگاری

بعد از رمزگذاری جمعیت اولیه، باید برای هر یک از ژن‌ها میزان سازگاری تعیین شود، سازگاری یک معیار از کیفیت است و برای اهداف مختلف متفاوت خواهد بود.

۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در بخش قبل پس از معرفی تابع هدف و قیود حاکم بر مسئله چگونگی انجام الگوریتم گرانش بیان شد. در این بخش شبکه نمونه (استاندارد) IEEE ۳۳-باسه توسط الگوریتم گرانش مکان‌یابی شده که به بررسی و تحلیل نتایج اجرای الگوریتم پرداخته می‌شود. شکل (۳) ساختار این شبکه را نشان می‌دهد.

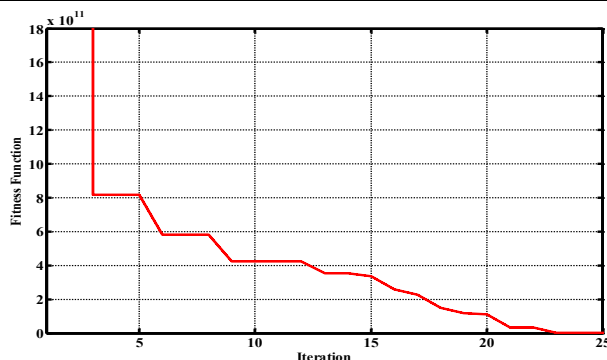


شکل ۳- ساختار شبکه ۳۳ شینه

پس از اجرای برنامه با استفاده از الگوریتم گرانش مکان و مقدار بهینه پارکینگ خودرو به ترتیب در جدول (۲) نشان داده شده است. هم‌چنین روند بهینه‌سازی تابع هدف در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود تابع هدف در ۲۵ تکرار به مینیمم مقدار خود رسیده است.

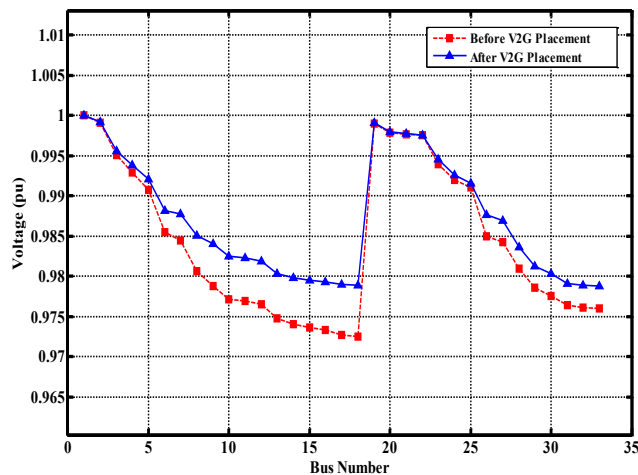
جدول ۲- مکان و مقدار بهینه پارکینگ خودرو برقی

مقدار بهینه (کیلووات)	مکان بهینه (شماره باس)	
۵۰	۱۲	پارکینگ خودرو برقی
۴۰۰	۱۴	
۵۰	۱۸	

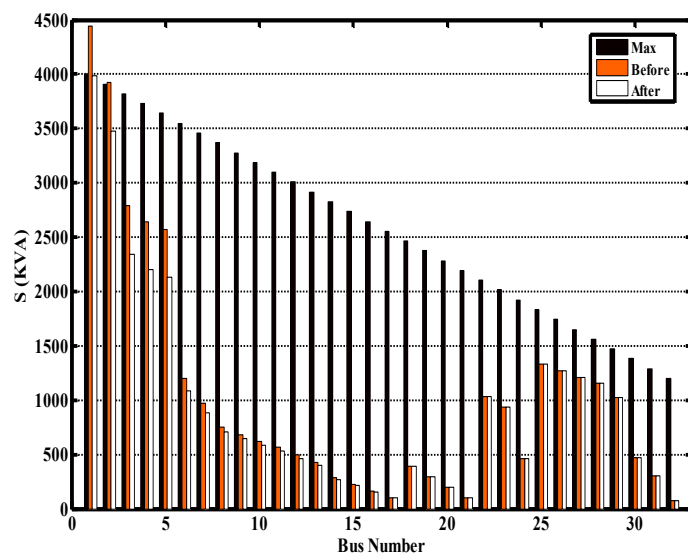


شکل ۴- روند بهینه‌سازی تابع هدف

در شکل (۵) ولتاژ شین‌ها قبل و بعد از مکان‌یابی نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود بهبود بسیار زیاد ولتاژ شین‌ها پس از جابجایی بهینه پارکینگ خودرو برقی می‌باشد. همچنین در شکل (۶) نمودار توزیع توان در ۳۳ شین این شبکه نشان داده شده است.

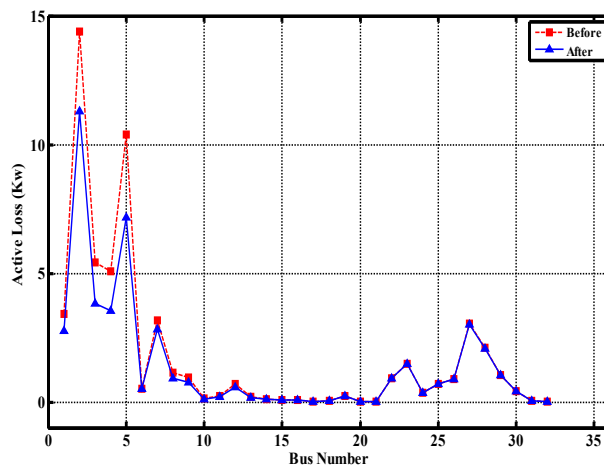


شکل ۵- مقادیر ولتاژ شین‌ها قبل از جابجایی (نقاط قرمز) و پس از جابجایی (نقاط آبی)

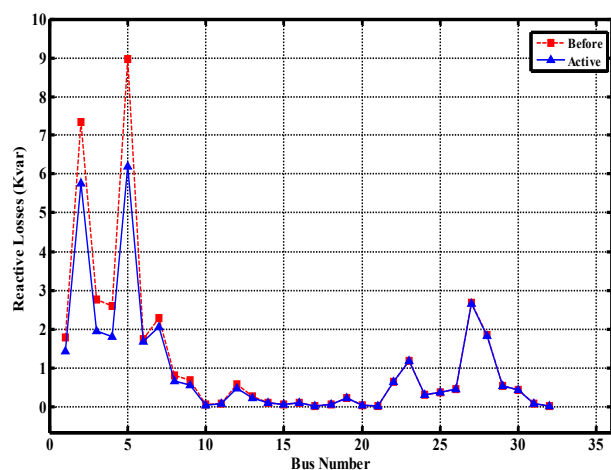


شکل ۶- نمودار توزیع توان در شبکه ۳۳ شینه قبل و بعد از جابجایی

همچنین در شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب نمودار میزان تلفات اکتیو و راکتیو قبل و بعد از جابجایی نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود وضعیت تلفات در تمامی باس‌ها به نسبت بسیار زیادی بهبود یافته است.



شکل ۷- نمودار توزیع تلفات اکتیو در هر باس



شکل ۸- نمودار توزیع تلفات راکتیو در هر باس

۷- نتیجه گیری

بالارفتن هزینه‌های تولید و سوخت در نیروگاه‌ها، طراحان سیستم‌های الکتریکی را وادار می‌سازند که شبکه‌ای الکتریکی با کمترین تلفات و بیشترین حد بارگذاری سیستم را به وجود آورند. سیستم‌های توزیع نیز عنوان بخش بسیار مهمی که ارتباط با مصرف‌کننده را برقرار می‌سازد نیز در این محدوده قرار دارند به عبارت بهتر، کاهش تلفات و افزایش حاشیه پایداری ولتاژ در سیستم‌های توزیع به عنوان یک اصل مهم می‌تواند مورد توجه قرار بگیرد. از این رو در این مقاله به جایابی و تعیین ظرفیت بهینه پارکینگ‌های خودرو برقی با هدف کاهش تلفات، انحراف ولتاژ و افزایش پایداری ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه سازی حاکی از کارآمدی روش پیشنهادی در بهبود شاخص‌های نام برده در شبکه استاندارد ۳۳ باسه می‌باشد.

مراجع

- [۱] B. K. Sovacool, J. Axsen, and W. Kempton, "The Future Promise of Vehicle-to-Grid (V²G) Integration: A Sociotechnical Review and Research Agenda," *Annual Review of Environment and Resources*, vol. ۴۲, pp. ۳۷۷-۴۰۶, ۲۰۱۷.
- [۲] B. K. Sovacool, L. Noel, J. Axsen, and W. Kempton, "The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V²G) transition: a critical and systematic review," *Environmental Research Letters*, vol. ۱۳, no. ۱, pp. ۰۱۳۰۰۱, ۲۰۱۸.

- [۳] B. K. Sovacool, L. Noel, J. Axsen, and W. Kempton, *The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition*, ۲۰۱۸.
- [۴] D. T. Hoang, P. Wang, D. Niyato, and E. Hossain, "Charging and discharging of plug-in electric vehicles (PEVs) in vehicle-to-grid (V2G) systems: A cyber insurance-based model," *IEEE Access*, vol. ۵, pp. ۷۳۲-۷۵۴, ۲۰۱۷.
- [۵] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, and J. Y. Yong, "Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۵۳, pp. ۷۲۰-۷۳۲, ۲۰۱۶.
- [۶] Y. M. Shuaib, M. S. Kalavathi, and C. C. A. Rajan, "Optimal capacitor placement in radial distribution system using gravitational search algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. ۶۴, pp. ۲۰۱۵, ۳۹۷-۳۸۴.
- [۷] A. A. A. El-Ela, R. A. El-Sehiemy, A.-M. Kinawy, and M. T. Mouwafi, "Optimal capacitor placement in distribution systems for power loss reduction and voltage profile improvement," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. ۱۰, no. ۵, pp. ۱۲۰۹-۱۲۲۱, ۲۰۱۶.
- [۸] T. George, A.-R. Youssef, M. Ebeed, and S. Kamel, "Ant lion optimization technique for optimal capacitor placement based on total cost and power loss minimization." pp. ۳۵۰-۳۵۶.
- [۹] C. S. Antúnez, J. F. Franco, M. J. Rider, and R. Romero, "A new methodology for the optimal charging coordination of electric vehicles considering vehicle-to-grid technology," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. ۷, no. ۲, pp. ۵۹۶-۶۰۷, ۲۰۱۶.
- [۱۰] H. Liu, Z. Hu, Y. Song, J. Wang, and X. Xie, "Vehicle-to-grid control for supplementary frequency regulation considering charging demands," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. ۳۰, no. ۶, pp. ۳۱۱۰-۳۱۱۹, ۲۰۱۵.
- [۱۱] S. Habib, M. Kamran, and U. Rashid, "Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks—a review," *Journal of Power Sources*, vol. ۲۷۷, pp. ۲۰۵-۲۱۴, ۲۰۱۵.
- [۱۲] E. L. Karfopoulos, and N. D. Hatziaargyriou, "Distributed coordination of electric vehicles providing V2G services," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. ۳۱, no. ۱, pp. ۳۲۹-۳۳۸, ۲۰۱۶.
- [۱۳] A. Nazarloo, M. R. Feyzi, M. Sabahi, and M. B. B. Sharifian, "Improving Voltage Profile and Optimal Scheduling of Vehicle to Grid Energy based on a New Method," *ADVANCES IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING*, vol. ۱۸, no. ۱, pp. ۸۱-۸۸, ۲۰۱۸.
- [۱۴] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, and J. Y. Yong, "Optimal vehicle to grid planning and scheduling using double layer multi-objective algorithm," *Energy*, vol. ۱۱۲, pp. ۱۰۶۰-۱۰۷۲, ۲۰۱۶, ۳.
- [۱۵] A. T. Radu, M. Eremia, and L. Toma, "OPTIMAL CHARGING OF ELECTRICAL VEHICLES IN THE SMART CITY FOR LOSS MINIMIZATION AND VOLTAGE IMPROVEMENT," *Scientific Bulletin of the "Petru Maior" University of Targu Mures*, vol. ۱۴, no. ۱, pp. ۱۷-۲۳, ۲۰۱۷.
- [۱۶] A. Neagoe-Stefana, M. Eremia, L. Toma, and A. Neagoe, "Impact of charging electric vehicles in residential network on the voltage profile using Matlab." pp. ۷۸۷-۷۹۱.
- [۱۷] A. Jimenez, and N. Garcia, "Power flow modeling and analysis of voltage source converter-based plug-in electric vehicles." pp. ۱-۶.