نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۷/شماره ۱۰۷/ پاییز۱۴۰۱

علمی- فنی

# بازیابی بهینه بارهای بحرانی در شبکه توزیع به کمک تغییر آرایش شبکه و با استفاده از قابلیت دشارژ خودروهای الکتریکی

# Optimal critical load restoration in distribution system using network reconfiguration considering electric vehicles discharging capability

**چکیده**

**در این پژوهش یک استراتژی بهینه بازیابی برای برق‌دار کردن مجدد بارهای بحرانی شبکه توزیع برق قابل بازآرایی در حضور خودروهای الکتریکی تحت شرایط وقوع رویدادهای احتمالی پیشنهاد شده است. در این راستا، از منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی برای تأمین بارهای بحرانی شبکه توزیع برق (در صورت قطعی) بهره‌گیری می شود. به‌منظور مدل‌سازی دقیق‌تر رفتار خودروهای الکتریکی در فرایند بازیابی بارهای بحرانی شبکه توزیع برق، محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل به‌صورت دقیق مدل‌سازی شده است. استراتژی بازیابی پیشنهاد شده در این پژوهش در چارچوب یک مسئله بهینه‌سازی دوسطحی ارائه شده است. در سطح اول این مسئله، توزیع مکان تصادفی خودروها در شبکه حمل‌ونقل تعیین می‌گردد و سپس مسیریابی بهینه خودروها به نزدیک‌ترین ایستگاه شارژ انجام می‌شود تا خودروها بتوانند در سریع‌ترین زمان به بازیابی بار کمک کنند. در سطح دوم با درنظرگرفتن قابلیت تغییر آرایش در شبکه توزیع و دشارژ باتری خودروهای در دسترس، ضمن آنکه تلفات کل شبکه به میزان قابل‌قبولی کاهش می‌یابد، مسئله برنامه‌ریزی احتمالاتی بازیابی بار در شبکه توزیع بررسی می‌گردد و مقایسه‌ای بین نتایج حاصل شده و حالت پیش از تغییر آرایش و مشارکت خودروها در برنامه بازیابی بار انجام می‌پذیرد. روش پیشنهادی در یک شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی می‌گردد و شبیه‌سازی‌ها در محیط نرم‌افزارهای MATLAB و GAMS کدنویسی و ارزیابی خواهد شد.**

کلمات کلیدی:خودرو الکتریکی، شارژ و دشارژ باتری، مدیریت بارهای بحرانی، شبکه برق
نوع مقاله: مروری

پارسا پرهیزگار[1*]، زهرا دهقانی[2]، پریسا پرهیزگار[3]
۱. دانشجوی ارشد مهندسی برق،گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دکتری تخصصی مهندسی برق، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد شیراز، شیراز، ایران
۳. دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی برق،گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:
parsa001100par@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

## مقدمه

با افزایش تعداد خودروهای برقی در جاده‌ها، کنترل شارژ و دشارژ آن‌ها در مدت‌زمان کوتاهی به طور فزاینده‌ای دشوار می‌شود. ادغام ناهماهنگ EV در شبکه با منابع انرژی دیگر، ممکن است مشکلاتی را در کنترل، مدیریت و عملکرد سیستم قدرت ایجاد کند و با ایجاد پیک تقاضای جدید برای سیستم قدرت، پایداری آن را به خطر بیندازد. در نتیجه، هماهنگی شارژ و دشارژ تأثیر مخرب خودروهای برقی روی شبکه را به حداقل می‌رساند و ممکن است به افزایش کارایی سیستم به طرق مختلف کمک کند. EVها می‌توانند برای ارائه خدمات متعددی به سیستم‌های قدرت، مانند کنترل فرکانس، کنترل ولتاژ، مدیریت بار پیک، پرکردن دره‌های پروفیل بار و کاهش تلفات برق در سیستم استفاده شوند. این موارد با درنظرگرفتن آن‌ها به‌عنوان منابع ذخیره‌سازی توزیع‌شده و استفاده از ظرفیت باتری آن‌ها در زمان اتصال به شبکه (V2G)[1] آن‌ها قابل‌انجام است. علاوه بر کسب درآمد از فروش شارژ خودرو به شبکه، خودروهای برقی می‌توانند به طور مؤثری استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را در شبکه برق با شارژکردن در دوره‌های غیرپیک که بازده انرژی تجدیدپذیر زیاد است و در ساعات اوج تخلیه می‌شوند، ترویج کنند. از سوی دیگر، با مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای برقی، می‌توان از اضافه‌بار ترانسفورماتورها و خطوط انتقال جلوگیری کرد تا پیری زودرس در تجهیزات شبکه رخ ندهد. در شرایط بحرانی، از ظرفیت ایستگاه شارژ EV نیز می‌توان برای افزایش پایداری شبکه و بازیابی بارهای ضروری استفاده کرد. یکی دیگر از مزایایی که می‌توان با شارژ و دشارژ هوشمند EV به دست آورد، بهبود کارایی شبکه‌های توزیع است.

با بررسی مقالاتی که در زمینه خودروهای برقی تمرکز کرده‌اند، تاکنون جنبه‌های مختلفی از ادغام EV در سیستم‌های انرژی در نظر گرفته شده است و دسته‌بندی‌های متفاوتی برای استراتژی‌های شارژ و دشارژ EV معرفی شده‌اند. بااین‌حال، فقدان یک طبقه‌بندی جامع که سایر اهداف شارژ EV و استراتژی‌های مدیریت دشارژ آن‌ها را در راستای تغییر آرایش شبکه پوشش دهد، مشاهده می‌گردد. جدا از مقالات بررسی شده در حوزه EV، هدف پروپوزال پیش رو، ارائه یک روش برای بازیابی بهینه بارهای بحرانی شبکه توزیع به کمک تغییر آرایش شبکه و با استفاده از قابلیت دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد؛ بنابراین، ابتدا انواع روش‌های شارژ و دشارژ باتری EV و ساختارهای کنترلی آن‌ها در شبکه برق مورد بررسی قرار گرفته و سپس طبقه‌بندی جامعی از استراتژی‌های مدیریت شارژ و دشارژ EV باتوجه‌به اهداف ارائه می‌شود. سپس به بازیابی بار پرداخته شده و تغییرات آرایش شبکه موردمطالعه قرار می‌گیرد. ازاین‌رو، اهدافی که با مدیریت بهینه شارژ و دشارژ خودروهای برقی قابل‌دستیابی است به سه دسته عملیات اهداف فنی شبکه، اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که به‌تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در حال حاضر، شبکه‌های قدرت از قابلیت ذخیره‌سازی ناچیزی برخوردار هستند و به همین دلیل، مفهوم V2G که با معرفی خودروهای الکتریکی ظهور پیدا کرده است، توجه بسیاری از بهره‌برداران و برنامه‌ریزان را به خود جلب نموده است؛ چراکه می‌توان با تجمیع باتری‌های تک‌تک خودروهای موجود در یک پارکینگ شهری، ظرفیت ذخیره‌سازی فراوانی را حاصل نمود که می‌تواند از دید شبکه به‌عنوان یک منبع ذخیره‌سازی واحد و یکپارچه، مورداستفاده قرار گیرد. ازآنجایی‌که این خودروها در شبکه با دو کاربری بار الکتریکی و منبع تولید توان ایفای نقش می‌کنند؛ بنابراین نقش بسزایی در بهره‌برداری از یک شبکه توزیع دارند. به‌علاوه با افزایش روزافزون ضریب نفوذ خودروهای برقی (هیبرید) در شبکه‌های

1. vehicle-to-grid (V2G)

توزیع فشار ضعیف، برنامه‌ریزی شارژ/دشارژ باتری آن‌ها به‌منظور حفظ تعادل شبکه و همچنین افزایش سود مالکان خودروها، اهمیت زیادی پیدا می‌کند. ازآنجایی‌که خودروهای الکتریکی می‌توانند به‌عنوان یک منبع انرژی در ساعات پیک‌بار به شبکه متصل شوند (V2G) و ضمن مسطح کردن پروفیل توان، افت ولتاژ شین‌های شبکه را بهبود بخشند، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و دردسترس‌ترین منبع تولید درآمد از دید مالکان آن‌ها به شمار می‌آیند. به دلیل آنکه خودرو می‌تواند در ساعات کم باری که قیمت برق ارزان است، برق را در باتری خود ذخیره نموده و در ساعات پرباری که قیمت برق بالاست، آن را به شبکه تحویل دهد، می‌تواند سودآور باشد. همچنین خودروها می‌توانند در بازار خدمات جانبی به‌عنوان رزرو مورد بهره‌برداری قرار گیرند تا هرگاه بر اثر وقوع حادثه، نیاز به تزریق فوری توان الکتریکی توسط خودروها به شبکه قدرت باشد، خودروهای پارک شده‌ای که به شبکه متصل هستند، از طریق دشارژ باتری خود بتوانند؛ مانند ارائه‌دهندگان رزرو گردان عمل نمایند. به‌علاوه خودروهای الکتریکی می‌توانند در بازار تنظیم فرکانس نیز مشارکت نموده و از طریق شارژ و دشارژ توان الکتریکی متناسب با فرامین دریافتی از بهره‌بردار شبکه تحت قالب سیگنال AGC، به حفظ فرکانس شبکه در محدوده مجاز خود کمک رسانند. هنگامی‌که به خودروهای الکتریکی پارک شده و متصل به شبکه، به‌عنوان منابع ارائه‌دهنده خدمت به شبکه برق نگاه شود، ورود به بحث V2G صورت‌گرفته است. به بیان دیگر V2G به معنای استفاده از ظرفیت باتری خودروهای الکتریکی به‌عنوان ذخیره‌کننده انرژی الکتریکی برای ارائه توان الکتریکی یا خدمات جانبی به شبکه قدرت است. یکی از پارامترهای مهم دیگر V2G کنترل حالت شارژ می‌باشد.

به‌صورت کلی تجدید آرایش در فیدرهای شبکه توزیع به‌صورت اجباری با اهدافی چون تغییر جهت شارش توان در زمان وقوع خطا در شبکه، و یا به‌صورت اختیاری با اهدافی چون کاهش تلفات و به‌حداقل‌رساندن انحراف ولتاژ[1] انجام می‌گیرد. باتوجه‌به وسیع بودن شبکه‌های توزیع و نیز رعایت محدودیت‌های فنی و اقتصادی شبکه، مانند جریان مجاز و نیز حداکثر افت ولتاژ قابل‌قبول برای هرکدام از فیدرهای شبکه، دستیابی به شاخص قابلیت اطمینان[2] بالاتر در شبکه و همچنین دیگر قیود تجدید ساختار نظیر تعداد کلیدزنی‌ها[3]، این پرسش مهم مطرح می‌شود که کدام نوع آرایش برای بهینه بودن تغذیه فیدرها و همچنین پست‌های توزیع مناسب‌تر است. از طرف دیگر به دلیل آنکه بهره‌بردار شبکه قادر است برای تأمین برخی از توابع هدف از جمله کاهش تلفات شبکه، متعادل‌سازی بار در فیدرها، تأمین حداقل ولتاژ استاندارد در شبکه و یا برای جداکردن قسمتی از سیستم باهدف توسعه آن و یا نگهداری و تعمیرات تأسیسات[4]، آرایش فعلی شبکه را تغییر دهد، لذا استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در این حوزه نیز بسیار موردتوجه قرار گرفته است. در این میان، مسئله تجدید آرایش شبکه برق به‌عنوان یک استراتژی ارزان‌قیمت، کارآمد و مهم می‌تواند به‌عنوان یک ابزار در دسترس در شبکه توزیع، برای دستیابی به اهداف متنوع مورداستفاده قرار گیرد؛ بنابراین ماهیت مسئله تجدید ساختار در حضور خودروهای برقی یک مسئله بهینه‌سازی چندلایه است که برای حل دقیق آن نیاز به روش‌های قدرتمند بهینه‌سازی وجود دارد [۱]. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ارائه روش‌های حل مختلفی به‌منظور دستیابی به این مهم انجام شده است که هرکدام به نوبه خود به نتایج قابل‌قبولی دست پیدا کرده‌اند. بااین‌وجود هنوز تضمینی وجود ندارد که این روش‌های موجود به‌خوبی فضای جستجوی مسئله را مورد بررسی قرار داده و بتوانند همه اهداف ازپیش‌تعیین‌شده را محقق سازند. به‌علاوه، انرژی الکتریکی که به مشترکین تحویل داده می‌شود باید از دو ویژگی کیفیت توان مطلوب و تداوم طولانی‌مدت

1. Voltage deviation
2. Reliability
3. Switching
4. Maintenance

برخوردار باشد و نبود هرکدام از این ویژگی‌ها، باعث افت قابلیت اطمینان شبکه و بروز نارضایتی مشترکین می‌گردد. ازآنجایی‌که شبکه‌های توزیع به‌خاطر گستردگی آن همواره در معرض آسیب‌های گوناگون قرار دارد، آمار خاموشی‌هایی ناشی از این خرابی‌ها همواره سرویس‌دهی دائمی به مشترکین را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد [۲]. زمانی که در شبکه توزیع به دلیل خطا یا برنامه‌ریزی جهت تعمیرات، بخشی از شبکه بی‌برق شود، تمام یا قسمتی از این بخش بی‌برق را می‌توان از طریق فیدرهای سالم یا تولیدات پراکنده، با استفاده از کلیدهای شبکه تغذیه نمود. در شرایطی که زمان تعمیر عیب طولانی باشد، ضروری است که بار قطع شده را از طریق نقاط مانور به فیدرهای مجاور انتقال داد که به این عمل بازیابی بار گفته می‌شود [۳]. در زمان حضور خودروهای برقی، عملیات بازیابی بار باید با مدیریت مناسبی انجام شود که در این پایان‌نامه به آن پرداخته خواهد شد.

## پیشینه پژوهش

باتوجه‌به نقش مهم سیستم قدرت در جوامع مدرن، تاب‌آوری آن در برابر بلایای طبیعی به اولویت اول برای بهره‌برداران و برنامه‌ریزان سیستم قدرت تبدیل شده است[۴]. علاوه بر این، در سال‌های اخیر، باتوجه‌به افزایش تعداد و شدت رویدادهای مرتبط با آب‌وهوا، راه‌حل‌های بهره‌برداری متعددی برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های قدرت ارائه شده است. به‌عنوان‌مثال، در بخش توزیع سیستم‌های قدرت، تشکیل ریزشبکه دینامیکی می‌تواند انعطاف‌پذیری را با استفاده از منابع انرژی توزیع شده در زمانی که شبکه اصلی در دسترس نیست، افزایش دهد. با پیروی از این مفهوم، قابلیت‌های وسایل نقلیه الکتریکی مانند وسیله V2G، استفاده از انرژی ذخیره شده در داخل آنها را برای بازیابی بارهای بحرانی ممکن می‌سازد؛ بنابراین، تجمع EVs در سیستم توزیع را می‌توان به‌عنوان یک DER از دیدگاه اپراتور سیستم مشاهده کرد و اپراتورها قادر هستند از این منبع انرژی محدود در ریزشبکه بهره‌مند شوند. مرجع [۱۸] از دو نوع EV برای این منظور استفاده می‌کند، یعنی یک پارکینگ عمومی و یک پارکینگ مسکونی که در نهایت برای بهبود عملکرد سیستم در هنگام استفاده از این منابع، برنامه مدیریت سمت تقاضا نیز در نظر گرفته شده است. در [۵]، یک چارچوب برنامه‌ریزی مختلط با عدد صحیح برای بازیابی سریع بار در یک شبکه توزیع متشکل از منابع DER پیشنهاد شده است. بازیابی بار در این مقاله به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه با درنظرگرفتن به‌حداقل‌رساندن بارهای بدون انرژی و تعداد کل عملیات سوئیچینگ فرموله شده است. علاوه بر این، مدل DGها به‌عنوان شین کنترل ولتاژ و بار نیز در این ساختار در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی بر روی سیستم ۳۳ شینه و سیستم ۸۴ شینه شرکت توزیع برق تایوان آزمایش شده است تا اثربخشی آن را نشان دهد.

ویژگی‌های V2G و G2V در خودروهای الکتریکی، و همچنین وجود ژنراتورهایی با موتور پرقدرت که در PHEV ها تعبیه شده است، قابلیت جدیدی را برای استفاده از انرژی الکتریکی و فسیلی ذخیره شده در خودروهای برقی برای بازیابی بارهای بحرانی در هنگام قطعی فراهم می‌کنند. در این راستا، در [۶] یک فرمول‌بندی متشکل از مشارکت سیستم مدیریت خاموشی (OMS)[1] در کنار تجمیع‌کننده‌های EV و سایر منابع تولیدی مانند دیزل ژنراتورها و واحدهای فتوولتائیک (PV) برای بازیابی بار و مدیریت انرژی منابع موجود تحت یک چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را ارائه می‌دهد. روش پیشنهادی برای بازیابی بارهای بحرانی در شبکه حلقوی با استفاده از کنترل بار و تکنیک کنترل ارباب-برده پیاده‌سازی شده است. این مسئله به‌صورت یک

1. outage management system

برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح فرمول‌بندی می‌شود و شبیه‌سازی‌ها بر روی شبکه ۱۲۳ شینه IEEE و یک شبکه توزیع واقعی آزمایش می‌گردد.

در [۷]، یک استراتژی برای بازیابی بار بحرانی در شبکه‌های توزیع برق با درنظرگرفتن مسیریابی بهینه زمانی-مکانی EVها پیشنهاد می‌شود. این چارچوب با تخصیص منطقی EVهای موجود و برنامه‌ریزی هماهنگ آنها در حضور EVهای جدید، پیکربندی یکپارچه مکانی-زمانی بهینه انرژی را تحقق می‌بخشد. در ادامه تأثیر محدودیت‌های شبکه‌های توزیع برق به همراه محدودیت‌های حرکت خودروها و ترافیک شهری به طور هم‌زمان بررسی می‌شوند. باتوجه‌به نتایج توزیع EV در شبکه و اتصال آنها به ایستگاه‌های شارژ مختلف، مسیرهای رانندگی EVها به طور بهینه برنامه‌ریزی می‌شوند و تأثیر زمان و انرژی مصرف شده در بهینه‌سازی لحاظ می‌شود. برای مقابله با عدم‌قطعیت‌های ترافیک شبکه و SOC اولیه EV ها، از الگوریتم زمان‌بندی مکانی-زمانی[1] استفاده می‌شود تا مسیریابی زمانی-مکانی EVها برای رسیدن به ایستگاه‌های شارژ در زمان‌های نرمال و حادثه نیز به طور بهینه به دست آید. مسئله فوق از روش ساده‌سازی مخروطی مرتبه دوم[2] حل می‌گردد.

در [۸] یک استراتژی بازیابی بار با استفاده از PHEVها به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم ارائه شده است. هدف این مسئله بهینه‌سازی، یافتن ترتیب و اولویت بازیابی بار برای به حداکثر رساندن انرژی بازیابی شده می‌باشد که توسط روش برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح مختلط فرمول‌بندی شده است. نتایج شبیه‌سازی روی یک سیستم آزمایشی ۱۰۰ فیدر، کارایی استراتژی بازسازی مبتنی بر MILP و ویژگی‌های PHEVs برای بازیابی بار بیشتر در زمان معین را نشان می‌دهد. استراتژی بازیابی بار ارائه شده در این مقاله، پتانسیل زیادی برای سادگی دستورالعمل مورداستفاده برای اپراتورهای سیستم را نشان می‌دهد. در ادامه مشوق‌هایی برای استقرار تعداد زیادی PHEV در شبکه برای بهبود در مشارکت آنها در فرایند بازیابی بار به مالکان خودروهای الکتریکی پیشنهاد شده است تا نسبت به عملیات V2G ترغیب شوند.

به طور خلاصه، جدول (۱) روش‌های مختلف بازیابی بار در شبکه توزیع به کمک خودروهای الکتریکی را دسته‌بندی می‌کند.

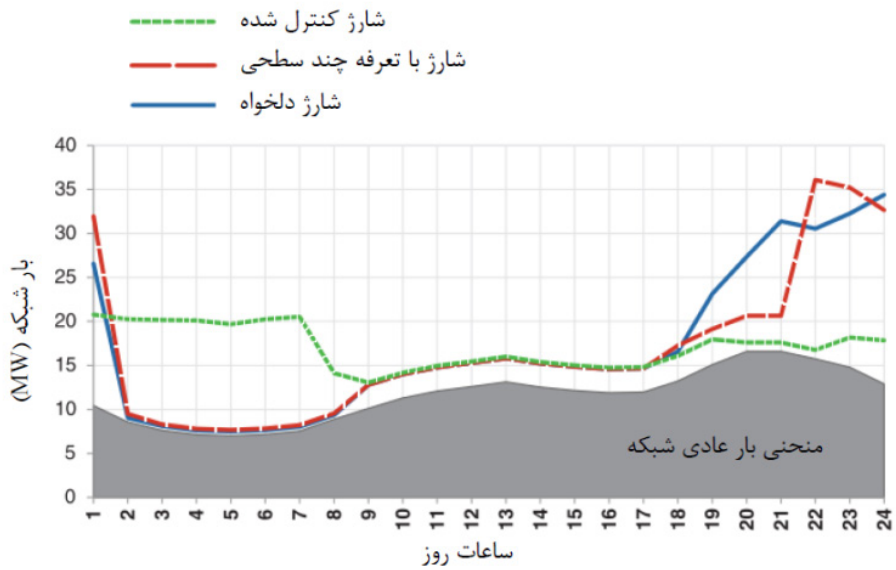
## تاثیر خودروهای الکتریکی بر عملکرد شبکه توزیع

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که نفوذ بالای خودروهای الکتریکی می‌توانند شبکه‌های توزیع را به طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت‌تأثیر قرار داده و باعث افزایش تلفات انرژی، افزایش افت ولتاژ و ... شود. اما باید توجه داشت که میزان تأثیر نامطلوبی که خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع ایجاد می‌کنند، عملاً به نحوه شارژ آن‌ها وابسته است. همان‌طور که در فصل قبل بیان شد، خودروهای الکتریکی می‌توانند به دو روش کنترل نشده (شارژ دلخواه و شارژ با تعرفه چندسطحی) و کنترل شده، انرژی موردنیاز خود را از شبکه دریافت کنند [۹]. به‌منظور بررسی تأثیراتی که هرکدام از روش‌های شارژ می‌توانند بر شبکه‌های توزیع داشته باشند، یک شبکه توزیع نمونه در کشور پرتغال در نظر گرفته شده و از جنبه‌های گوناگون موردمطالعه قرار گرفته است. برای انجام مطالعات فرض شده است که در منطقه تحت پوشش این شبکه توزیع نمونه، تعداد ۱۲۷۰۰ خودرو وجود دارد که ۶۳٪ از آن‌ها را خودروهای الکتریکی تشکیل می‌دهند. در ادامه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مرجع که تأثیر روش‌های مختلف شارژ بر منحنی بار شبکه، پروفیل ولتاژ و تلفات شبکه را نشان می‌دهند، ارائه می‌گردد.

1. Spatio-temporal scheduling
2. Second-order conic relaxation

جدول ۱. خلاصه نتایج فرضیات

| مرجع | هدف | روش |
|---|---|---|
| [۴] | تاب آوری - بازیابی بار بحرانی | برنامه‌ریزی احتمالاتی – حل شده توسط برنامه‌ریزی آمیخته با عدد صحیح |
| [۵] | بازیابی بار - تجدید آرایش | برنامه‌ریزی احتمالاتی – حل شده توسط برنامه‌ریزی آمیخته با عدد صحیح |
| [۶] | بازیابی بار - مدیریت انرژی | برنامه‌ریزی احتمالاتی – حل شده توسط برنامه‌ریزی آمیخته با عدد صحیح |
| [۷] | بازیابی بار | second-order conic relaxation |
| [۸] | بازیابی بار | برنامه‌ریزی آمیخته با عدد صحیح |




شکل (۱): تغییرات ایجاد شده در منحنی بار شبکه در اثر شارژ خودروهای الکتریکی

## نتیجه‌گیری

یکی از پارامترهای مهم V2G کنترل حالت شارژ می‌باشد. ازآنجایی‌که خود خودروها هم برای شبکه به‌عنوان بار (در برخی لحظات) محسوب می‌شوند، لذا باید یک استراتژی مدیریت توان بهینه پیاده‌سازی نمود تا هم سودآوری پایین نیاید و هم راندمان شبکه در تأمین بار، افزایش یابد. به دلیل آنکه خودرو می‌تواند در ساعات کم باری که قیمت برق ارزان است، برق را در باتری خود ذخیره نموده و در ساعات پرباری که قیمت برق بالاست، آن را به شبکه تحویل دهد، می‌تواند برای مالک خودرو سودآور باشد. به بیان دیگر، V2G به معنای استفاده از ظرفیت باتری خودروهای الکتریکی به‌عنوان ذخیره‌کننده انرژی الکتریکی برای ارائه توان الکتریکی یا خدمات جانبی به شبکه قدرت است.

در این پژوهش یک استراتژی بهینه بازیابی برای برقرارکردن مجدد بارهای بحرانی شبکه توزیع برق قابل بازآرایی در حضور خودروهای الکتریکی تحت شرایط وقوع رویدادهای احتمالی پیشنهاد شده است. در این راستا، از منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی برای تأمین بارهای بحرانی شبکه توزیع برق (در صورت قطعی) بهره‌گیری می‌شود. استراتژی بازیابی پیشنهاد شده در این پژوهش در چارچوب یک مسئله بهینه‌سازی دوسطحی ارائه شده است. در سطح اول این مسئله، توزیع مکان تصادفی خودروها در شبکه حمل‌ونقل تعیین می‌گردد و سپس مسیریابی بهینه خودروها به نزدیک‌ترین ایستگاه شارژ انجام می‌شود تا خودروها بتوانند در سریع‌ترین زمان به بازیابی بار کمک کنند. در سطح دوم با درنظرگرفتن قابلیت تغییر آرایش در شبکه توزیع و دشارژ باتری خودروهای در دسترس، ضمن آنکه تلفات کل شبکه به میزان قابل‌قبولی کاهش می‌یابد، مسئله برنامه‌ریزی احتمالاتی بازیابی بار در شبکه توزیع بررسی می‌گردد و مقایسه‌ای بین نتایج حاصل شده و حالت پیش از تغییر آرایش و مشارکت خودروها در برنامه بازیابی بار انجام می‌پذیرد.

**سپاسگزاری** IRM

## منابع

1. Islam, M. R., Lu, H., Hossain, M. J., & Li, L. (2019). Mitigating unbalance using distributed network reconfiguration techniques in distributed power generation grids with services for electric vehicles: A review. Journal of Cleaner Production, 239, 117932.
2. Amin, A., Tareen, W. U. K., Usman, M., Memon, K. A., Horan, B., Mahmood, A., & Mekhilef, S. (2020). An integrated approach to optimal charging scheduling of electric vehicles integrated with improved medium-voltage network reconfiguration for power loss minimization. Sustainability, 12(21), 9211.
3. Momen, H., Abessi, A., & Jadid, S. (2020). Using EVs as distributed energy resources for critical load restoration in resilient power distribution systems. IET Generation, Transmission & Distribution, 14(18), 3750-3761.
4. Momen, H., Abessi, A., & Jadid, S. (2020). Using EVs as distributed energy resources for critical load restoration in resilient power distribution systems. IET Generation, Transmission & Distribution, 14(18), 3750-3761.
5. Li, Y., Xiao, J., Chen, C., Tan, Y., & Cao, Y. (2018). Service restoration model with mixed-integer second-order cone programming for distribution network with distributed generations. IEEE Transactions on Smart Grid, 10(4), 4138-4150.
6. Momen, H., Abessi, A., Jadid, S., Shafie-khah, M., & Catalao, J. P. (2021). Load restoration and energy management of a microgrid with distributed energy resources and electric vehicles participation under a two-stage stochastic framework. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 133, 107320.
7. Su, S., Wei, C., Li, Z., Xia, M., & Chen, Q. (2022). Critical load restoration in coupled power distribution and traffic networks considering spatio-temporal scheduling of electric vehicles. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 141, 108180.
8. Sun, W., Kadel, N., Alvarez-Fernandez, I., Nejad, R. R., & Golshani, A. (2019). Optimal distribution system restoration using PHEVs. IET Smart Grid, 2(1), 42-49.
9. Zamboti Fortes, M., Flores Silva, D., Pires Abud, T., Pereira Machado P., Silva Maciel R., and Nogueira Dias D. (2016). Impact Analysis of Plug-in Electric Vehicle Connected in Real Distribution Network. IEEE Latin America Transactions. 14(5), 2239-2245.

IRM