برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در ریزشبکه بر پایه مسافرت روزانه خودروها

مهدی تورانی[۱]، دانشجوی دکتری، محمدرضا آقاابراهیمی[۲]، دانشیار، حمیدرضا نجفی[۳]، دانشیار
۱-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند-بیرجند- ایران - tourani.mahdi@birjand.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند-بیرجند- ایران - aghaebrahimi@birjand.ac.ir
۳-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند-بیرجند- ایران - h.r.najafi@birjand.ac.ir

چکیده: ریزشبکه‌ها مفهومی جدید در شبکه قدرت هستند که سبب بهبود بازدهی سیستم می‌شوند. استفاده از خودروهای الکتریکی به‌عنوان واحدی در ریزشبکه‌ها می‌تواند ضمن بهبود قابلیت اطمینان ریزشبکه، باعث کاهش تلفات و نیز افزایش بهره‌وری ریزشبکه شود. در این مقاله سعی بر آن است تا با استفاده از برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودرو و با درنظرگرفتن جابه‌جایی آن‌ها بین پارکینگ‌ها، به بهینه‌سازی اهداف مسئله پرداخته شود. برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در حضور مدل خط تغذیه ریزشبکه، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش کلیدزنی؛ در کنار ارائه و استفاده ازدیدگاهی جدید در انتقال توان بین پارکینگ‌ها با استفاده از خودروهای الکتریکی از نوآوری‌های این مقاله هستند.

واژه‌های کلیدی: استقلال ریزشبکه، خودروهای الکتریکی، جابه‌جایی خودرو در پارکینگ‌ها، کلیدزنی ریزشبکه، قابلیت اطمینان، مدل خط تغذیه ریزشبکه

Scheduling the Charging and Discharging of Electric Vehicles in Microgrid based on Vehicles' Daily Travel

M. Tourani, Ph. D. Student[1], M. R. Aghaebrahimi, Associate Professor[2], H.R. Najafi, Associate Professor[3]

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: tourani.mahdi@birjand.ac.ir
2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran, Email:aghaebrahimi@birjand.ac.ir
3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran, Email:h.r.najafi@birjand.ac.ir

Abstract: Microgridis a new concept, which improves the efficiency of the power system. Electric vehicles in microgrid can improve reliability, power loses and the efficiency of the microgrid. This paper intends to optimize the microgrid, using scheduling for charging and discharging of electric vehicles with regard to the movement of vehicles between parking lots. The optimization of reliability, power losses and switching of microgrid with a new approach using electric vehicles for power transmission and considering the microgrid's feeder line model, is the innovations of this paper.

Keywords: Autonomy of microgrid, electric vehicles, microgrid switching, microgid reliability, the microgrid and maingrid feeder line model, the movement of vehicles in parking lots

تاریخ ارسال مقاله: ۹۴/۸/۲۳
تاریخ اصلاح مقاله: ۹۴/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۹
نام نویسنده مسئول: محمدرضا آقاابراهیمی
نشانی نویسنده مسئول: ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

یکی از مفاهیم جدیدی که امروزه وارد صنعت برق شده مفهوم ریزشبکه است. پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین و متوسط، نوع جدیدی از سیستم‌های قدرت بنام ریزشبکه را تشکیل می‌دهد. این سیستم‌ها می‌توانند به‌صورت مستقل از شبکه اصلی نیاز مشترکین خود را تأمین نموده و از ورود آسیب‌های شبکه‌های بالادست به خود جلوگیری نمایند. از ویژگی‌های بارز ریزشبکه‌ها، بهبود قابلیت اطمینان به سبب جلوگیری از ورود خطا و تبعات ناشی از آن به داخل سیستم است. هرچقدر زمان اتصال ریزشبکه در کنار میزان دریافتی انرژی از شبکه اصلی کم‌تر باشد، توانایی ریزشبکه در بهبود این هدف بهتر خواهد بود.

امکان استفاده بهتر از واحدهای تولیدی کوچک، به‌کارگیری موثرتر انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش تلفات از دیگر ویژگی‌های ریزشبکه هستند. در این میان، استفاده از خودروهای الکتریکی در ریزشبکه‌ها می‌تواند آثار مطلوبی را به‌دنبال داشته باشد. خودروهای الکتریکی نوعی از وسایل نقلیه هستند که ضمن استفاده در حمل‌ونقل، قابلیت تزریق توان به شبکه را نیز دارا هستند. این خودروها با ذخیره انرژی در خود و تزریق به موقع و بهینه به شبکه، نقش موثری در بهبود بازدهی ریزشبکه ایفا می‌کنند. ازآنجایی‌که این خودروها در حوزه انسانی کاربرد اساسی دارند، ورود آن‌ها به ریزشبکه همراه با عدم‌قطعیت خواهد بود.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه ریزشبکه و خودروهای الکتریکی صورت گرفته است. در مرجع [۱] به ارائه یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان مشترکین ریزشبکه پرداخته شده است. در [۲]، کاربرد سیستم‌های توزیع با قابلیت اطمینان بالا (HRDS)[1] در بهره‌برداری اقتصادی ریزشبکه بررسی شده است. در مرجع [۳]، نویسندگان به معرفی مجموعه‌ای از استانداردها برای تعریف بهتر ریزشبکه پرداخته‌اند. این استانداردها شامل پارامترهای قابلیت اطمینان برای ریزشبکه در حالت مستقل، شاخص حضور تولیدات‌پراکنده، شاخص‌های اقتصادی ریزشبکه و ... هستند. در مرجع [۴] به دسته‌بندی شبکه توزیع به‌منظور تشکیل ریزشبکه‌ها با خصوصیت خودکفایی بهینه پرداخته شده است. در مرجع [۵]، نویسندگان به دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌هایی با قابلیت اطمینان و امنیت تولید بالا پرداخته‌اند. بدین منظور از شاخص‌های SAIDI، SAIFI و MAIFI برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده است. در مرجع [۶]، دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌ها با لحاظ‌کردن خاصیت احتمالاتی بار و تولید پراکنده صورت پذیرفته است. ریزشبکه‌های حاصل، از بهینه‌سازی مسئله، با هدف بهبود قابلیت اطمینان و امنیت تولید، به دست می‌آیند. در زمینه خودروهای‌الکتریکی نیز در مرجع [۷] مطالعاتی بر روی آنالیز هزینه-فایده و تأثیر خودروهای‌هیبریدی برقی متصل‌شونده به شبکه (PHEV[2]) انجام شده است. در مرجع [۸] نویسنده یک روش شارژ برای PHEV با تنظیم تقاضای مصرف بر اساس اطلاعات قیمت ارائه می‌کند. در مراجع [۱۲-۹] تأثیر خودروهای‌الکتریکی بر سیستم توزیع، به‌ویژه اثر آن بر روی امنیت شبکه، بررسی شده است. مطالعات بر روی پروفایل بهینه شارژ برای تشدید بار در ساعات غیرپیک در مرجع [۱۳] انجام شده است. سود شرکت دادن PHEV در انواع بازارهای برق در مرجع [۱۴] مورد بحث قرار گرفته است.

از چالش‌های مطرح در زمینه خودروهای الکتریکی، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها برای رسیدن به اهداف موردنظر است. ازآنجایی‌که در این مقاله خودروهای الکتریکی در بستر ریزشبکه به کار گرفته می‌شوند، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ به‌منظور بهبود اهداف ریزشبکه خواهد بود. یکی از مهم‌ترین اهداف ریزشبکه بهبود قابلیت اطمینان است که درصورتی‌که برنامه ریزی شارژ و دشارژ به درستی انجام گیرد قابلیت اطمینان ریزشبکه بهبود خواهد یافت. در این مقاله برای بررسی قابلیت اطمینان ریزشبکه از سه شاخص انرژی فروخته‌نشده ریزشبکه، مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی و میزان انرژی دریافتی ریزشبکه از شبکه اصلی استفاده می‌شود. ازآنجایی‌که تزریق توان از شبکه اصلی به ریزشبکه از طریق خط تغذیه و با کلید ورودی امکان‌پذیر است، مسئله کلیدزنی در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ وارد می‌شود. این مسئله ازجمله مباحثی است که در زمینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در ریزشبکه‌ها کم‌تر بدان پرداخته شده است. درصورتی‌که بتوان با تغییر پروفیل تولید و تقاضای ریزشبکه، ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی را در کنار هم قرار داد، تعداد قطع و وصل کلید کاهش یافته و درنتیجه کلیدزنی کم‌تر خواهد شد. از دیگر اهداف برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در این مقاله کاهش کلیدزنی خط تغذیه ورودی ریزشبکه است.

ازآنجایی‌که صاحبان خودرو در طول شبانه‌روز علاوه‌بر حضور در خانه، زمان زیادی را در محل کار سپری می‌کنند و با توجه به استفاده از خودروها برای مراجعه به محل کار، می‌توان از پتانسیل انتقال توان الکتریکی از مسیری به غیر از خطوط برق‌رسانی، به‌منظور بهبود اهداف ریزشبکه استفاده کرد. بدین ترتیب، خودروها ضمن جابه‌جایی افراد می‌توانند توان تولیدی را از یک پارکینگ (محل سکونت) به پارکینگ دیگر (محل کار) بدون ایجاد تلفات مازاد و نیز اشغال خطوط انتقال دهند. ازاین‌رو با داشتن اطلاعات مسافرت‌های روزانه صاحبان خودرو و جابه‌جایی خودروها در پارکینگ‌ها، امکان شارژ و دشارژ در مکان‌های بهینه با بیش‌ترین فایده فراهم می‌آید. ذکر این نکته ضروری است که آن‌دسته از مسافرت‌ها در این نگاه لحاظ می‌شوند که از نظر مدت‌زمان حضور در پارکینگ چشمگیر باشند. سایر مسافرت‌های روزانه به‌صورت عدم‌امکان دسترسی و بهره‌برداری از خودرو مدل خواهند شد. به این نوع دیدگاه، که با هدف استفاده از جابه‌جایی خودروها در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ و برای بهبود اهداف مشخص صورت می‌گیرد، کم‌تر توجه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی مسئله در حضور مدل خط تغذیه ورودی ریزشبکه، بهبود قابلیت‌اطمینان و نیز کاهش کلیدزنی در کنار ارائه و استفاده از دیدگاهی جدید در انتقال توان بین پارکینگ‌ها از نوآوری‌های مطرح در این مقاله هستند. در ادامه در بخش دوم به تعریف مسئله، بخش سوم، چهارم و پنجم تعریف نحوه مدل‌سازی اجزای سیستم، در بخش ششم بیان اهداف مسئله و درنهایت به شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری در بخش‌های هفتم و هشتم پرداخته می‌شود.

۲- تعریف مسئله

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در زمینه خودروهای الکتریکی برنامه‌ریزی زمان شارژ و دشارژ آن‌ها برای رسیدن به اهداف موردنظر است. ازآنجایی‌که در این مقاله از خودروهای الکتریکی برای بهبود عملکرد ریزشبکه استفاده شده است، شارژ و دشارژ آن‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که مسائل مربوط به ریزشبکه را بهبود دهد. ازجمله این مسائل قابلیت اطمینان ریزشبکه می‌باشد. برای بهبود این هدف در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها ابتدا بایستی شاخص‌های قابلیت اطمینان موردنظر تعریف گردد. از مهم‌ترین پارامترهای قابلیت اطمینان توانایی تأمین نیاز ریزشبکه است که می‌توان آن را به‌وسیله شاخص انرژی فروخته‌نشده (ENS[۳]) نمایش داد. ازآنجایی‌که امکان فعالیت مستقل از ویژگی‌های ریزشبکه است و این مهم باعث جلوگیری از انتقال خاموشی از شبکه اصلی به ریزشبکه می‌گردد، در این مقاله از شاخص خودکفایی زمانی ریزشبکه نیز در بهبود قابلیت اطمینان استفاده شده است. این شاخص نشان‌دهنده مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی است. هرچقدر این مدت‌زمان کاهش یابد ریزشبکه عملکرد مستقل‌تری خواهد داشت. از طرفی میزان دریافت انرژی از شبکه اصلی در این مدت شاخص دیگری برای بررسی قابلیت اطمینان است. برای بهبود این شاخص باید تاحدامکان انرژی تولیدی در داخل ریزشبکه تأمین شود. با برنامه‌ریزی صحیح شارژ و دشارژ می‌توان به بهبود این اهداف کمک نمود.

ازسویی‌دیگر، اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی توسط کلید صورت می‌گیرد. همانند هر تجهیز دیگر، استفاده مکرر از این کلید باعث کاهش عمر تجهیز می‌گردد و درنتیجه باعث ایجاد هزینه برای شرکت برق می‌گردد. درصورتی‌که درطول زمان بهره‌برداری، ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی به‌صورت پیوسته و پشت‌سرهم قرار گیرند، کلیدزنی خط تغذیه، نسبت به حالتی که این ساعات در طول همان مدت در بازه‌های متفاوت اتفاق می افتد، کاهش چشم‌گیری می‌یابد. لازم به ذکر است ساعات استفاده از شبکه اصلی در هر دو حالت یکسان بوده و تنها تعداد کلیدزنی تغییر خواهد کرد. زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی تابع پروفیل تولید و مصرف ریزشبکه بوده که می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح شارژ و دشارژ به نحو مطلوب آن را تغییر داد. بدین ترتیب با زمان‌بندی مناسب شارژ و دشارژ، نیاز ریزشبکه تاحدامکان برطرف و یا جابه‌جا خواهد شد. با این کار می‌توان ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی را پشت‌سرهم قرار داده و از کلیدزنی اضافه جلوگیری نمود. نکته دیگری که در برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودرو در این مقاله بدان توجه شده است، استفاده از اطلاعات مسافرت‌های روزانه خودروها در بهبود عملکرد ریزشبکه است. در طول شبانه‌روز خودروها ممکن است در نقاط مختلفی از شهر قرار داشته باشند. ازآنجایی‌که این مسافرت‌ها به‌منظور حمل‌ونقل متداول صورت می‌گیرد، پس هیچ هزینه مازادی برای شبکه وجود ندارد. حال درصورتی‌که بتوان از این حمل‌ونقل برای اهداف ریزشبکه استفاده نمود، بازدهی ریزشبکه افزایش خواهد یافت. یکی از مواردی که می‌توان از جابه‌جایی خودروها به دست آورد، امکان شارژ در نزدیکی منابع تولید و نیز دشارژ در مناطق دور از تولید می‌باشد. بدین صورت با کم‌ترین تلفات، خودروها شارژ شده و با بیش‌ترین بازدهی از نظر کاهش تلفات خطوط، دشارژ می‌شوند. در این حالت عملاً" انتقال توان با وسایل نقلیه صورت گرفته و درنتیجه باعث کاهش اشغال خطوط می‌گردد. لازم به یادآوری است که هزینه انتقال خودرو از یک مکان به مکان دیگر به علت حمل‌ونقل، شخصی بوده و منجر به هزینه اضافی برای شبکه نمی‌شود. هر چند که بخشی از هزینه می‌تواند توسط شرکت برق پرداخت گردد. نکته دوم اینکه تنها آن دسته از تغییر مکان‌ها در فرایند شارژ و دشارژ در نظر گرفته می‌شوند که مدت‌زمان لازم برای اجرای برنامه شارژ و دشارژ را داشته باشند. به‌عبارت‌دیگر، آن‌دسته از مسافرت‌هایی در مدل‌سازی شارژ و دشارژ حضور دارند که مدت‌زمان‌های توقف آن‌ها در مقصد دارای یک زمان حداقلی لازم باشند. سایر مسافرت‌های دارای زمان کم توقف به صورت عدم‌حضور در پارکینگ مدل می‌شوند.

بنابر مباحث مطرح‌شده، مسئله موردنظر در این مقاله، بهینه‌سازی شارژ و دشارژ خودروهای‌الکتریکی با توجه به اهداف مشخص با در نظرگرفتن مسافرت‌های خودروها می‌باشد.

۳- مدل حضور خودروها در پارکینگ

برای برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در این مقاله از پارکینگ‌هایی استفاده شده است که خودروها هنگام شارژ و یا تزریق توان به شبکه، در آن‌ها قرار می‌گیرند. برای به دست آوردن مکان خودروها در ۲۴ ساعت آینده، با توجه به اطلاعات مسافرتی خودروها، دریافتی از صاحبان آن‌ها و محدوده پارکینگ‌ها، مکان پارکینگ مقصد خودرو در بازه شارژ و دشارژ به دست می‌آید.

برای مدل‌سازی سایر رفتارهای خودرو از قضیه حد مرکزی استفاده شده است.

قضیه حد مرکزی: درصورتی‌که X_1 ،... و X_n متغیرهای تصادفی مستقل با تابع توزیع احتمالاتی متفاوت باشند، مجموع آن‌ها یعنی $X_1+X_2+...+X_n$ برای nهای بزرگ، دارای تابع توزیع احتمال نرمال خواهد بود.

حال، درصورتی‌که رفتار صاحبان خودرو را مانند هم در نظر بگیریم، می‌توان ساعت خروج و مدت‌زمان عدم حضور در پارکینگ تا رسیدن به

Archive of SID

www.SID.ir

مقصد بعدی را با توجه به مرجع [۱۵]، مطابق رابطه (۱) و (۲) بیان نمود.

$$T_{exit} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_T} EXP\left(\frac{-\left(x-\mu_T{}^2\right)}{2\sigma_T{}^2}\right) \quad (۱)$$

$$\Delta T = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Delta} EXP\left(\frac{-\left(x-\mu_\Delta{}^2\right)}{2\sigma_\Delta{}^2}\right) \quad (۲)$$

که در آن T_{exit} زمان خروج، ΔT مدت زمان عدم‌حضور و μ و σ میانه و واریانس می‌باشند.

ازآنجایی‌که در فرایند جابه‌جایی خودروها، ممکن است مسافت‌های مختلفی طی شود، سطح شارژ باتری (SOC^{τ}) در هنگام رسیدن به پارکینگ بعدی متفاوت خواهد بود. برای مدل‌سازی مسافت پیموده‌شده خودرو هنگام رسیدن به پارکینگ بعدی، با توجه به مرجع [۱۶]، از تابع توزیع احتمالاتی لگاریتمی زیر استفاده شده است:

$$D = e^{(\mu_m + \sigma_m N)} \quad (۳)$$

$$\mu_m = \ln\left(\frac{\mu_{md}{}^2}{\sqrt{\mu_{md}{}^2 + \sigma_{md}{}^2}}\right) \quad (۴)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\ln\left(\frac{\mu_{md}{}^2 + \sigma_{md}{}^2}{\mu_{md}{}^2}\right)} \quad (۵)$$

که در آن N عدد تصادفی با تابع توزیع نرمال بوده و پارامترهای μ_{md} و σ_{md} نیز، از روی داده‌های تاریخی به دست می‌آیند.

درنتیجه این مدل‌سازی، سطح شارژ یک خودرو در هنگام رسیدن به پارکینگ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SOC_{arive} = SOC_{int} - D \times E_m \quad (۶)$$

در رابطه بالا، SOC_{ariv} سطح شارژ خودرو هنگام رسیدن به پارکینگ بعدی، SOC_{int} سطح شارژ خودرو در پارکینگ قبلی و E_m، مقدار شارژ مصرفی به ازای هر واحد پیمایش خودرو می‌باشد.

۴- مدل حضور واحدهای تولیدی بادی و فتوولتاییک

مدل تولید توان بادی، برگرفته از پیش‌بینی داده‌های ساعتی سرعت باد در زمان بهره‌برداری و مدل توربین بادی است. برای این منظور، مدل توربین بادی را می‌توان با استفاده از مرجع [۱۷] به‌صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$P_{Wind} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ aV^2 + bV + c & V_{cut\ in} \le V < V_{rated} \\ P_{rated} & V_{rated} \le V < V_{cut\ out} \\ 0 & V_{cut\ out} \le V \end{cases} \quad (۷)$$

P_{Wind} توان خروجی توربین بادی، V سرعت باد، $V_{cut\ in}$ سرعت قطع پایین، $V_{cut\ out}$ سرعت نامی، V_{rated} سرعت قطع بالا، P_{rated} توان نامی توربین و a، b و c مشخصات وابسته به توربین هستند. مقادیر a، b و c با توجه به سرعت قطع بالا، سرعت قطع پایین و سرعت نامی قابل‌محاسبه بوده که روابط آن در مرجع [۱۷] آمده است.

برای به دست آوردن مدل توان تولیدی فتوولتاییک، شدت تابش و مدل پنل‌های خورشیدی موردنیاز هستند. در این مقاله شدت تابش خورشید، G_h از روی پیش‌بینی داده‌های ساعتی به دست آمده است.

با پیش‌بینی شدت تابش خورشید در زمان بهره‌برداری و با توجه به مرجع [۱۸]، توان تولیدی هر پنل از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$P_{ph} = \begin{cases} -0.0622 \times G_h^2 + 36.5073 G_h + 351.2987 & 0 < G_h < 190 \\ (0.0022 \times G_h + 4.8821) \times 10^3 & 190 \le G_h < 1000 \end{cases} \quad (۸)$$

در رابطه (۸)، P_{Ph} توان پنل فتوولتاییک را برحسب وات و G_h شدت تابش را بر حسب وات‌برمترمربع نشان می‌دهد.

۵- مدل خط تغذیه ریزشبکه

مدل ارائه‌شده برای خط تغذیه ریزشبکه بر اساس حداکثر بار قابل‌انتقال به ریزشبکه، از طرف شبکه اصلی، است. با این مدل، حداکثر توان قابل‌تزریق به ریزشبکه به دست می‌آید و ریزشبکه می‌تواند حداکثر تا این مقدار از شبکه اصلی دریافت کند.

برای به دست آوردن این حداکثر بار، بایستی میزان بار دریافت‌شده توسط باس اتصال ریزشبکه تا جایی افزایش داده شود تا قیود سیستمی شبکه اصلی نقض گردد. روش‌های متفاوتی برای تعیین بیش‌ترین توان قابل‌انتقال به ریزشبکه وجود دارد. یکی از این روش‌ها، که در این مقاله از آن استفاده شده است، روش بهینه‌سازی توان حداکثر است. فرآیند این روش شامل تعیین تابع هدف، تعیین قیود و حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از یک الگوریتم معتبر و کارا است. در این روش زمان محاسبات نسبت به پخش‌بار کلاسیک و پخش‌بار تداومی کم‌تر است.

فرمول‌بندی این مسئله شامل تعریف تابع هدف و محدودیت‌های مسئله بوده که طبق روابط (۹) و (۱۰) قابل بیان است.

$$\max: P_{micro} \quad (۹)$$

$$S.T. \quad \begin{cases} P_G^{main} = P_D^{main} + P_{micro} + P_L^{main} \\ P_{G\ main}^{\min} \le P_G^{main} \le P_{G\ main}^{\max} \\ V_i^{\min} \le V \le V_i^{\max} \\ I_{ij}^{\min} \le I \le I_{ij}^{\max} \end{cases} \quad (۱۰)$$

در رابطه بالا P_{micro} حداکثر توان تزریقی به ریزشبکه، $P_G{}^{main}$ توان تولیدی شبکه اصلی، $P_D{}^{main}$ توان مصرفی شبکه اصلی، $P_L{}^{main}$ تلفات شبکه اصلی و V و I ولتاژ باس‌ها و جریان عبوری از خطوط در شبکه اصلی هستند.

روش‌های متفاوتی برای حل مسئله بهینه‌سازی فوق وجود دارد که این روش‌ها را به‌طورکلی می‌توان به دو دسته روش‌های هوشمند یا ابتکاری و روش‌های کلاسیک طبقه‌بندی نمود. روش‌های هوشمند، از جمله، شامل الگوریتم‌های ژنتیک، اجتماع ذرات، کلونی مورچه و بازپخت فلزات می‌شود. این روش‌ها برای حل مسئله از پخش‌بار کلاسیک جهت ارزیابی استفاده می‌کنند و ازآنجاکه ماتریس ژاکوبین در

Archive of SID

www.SID.ir

نزدیکی نقطه فروپاشی ولتاژ دچار مشکل همگرایی می‌شود این روش‌ها در ارائه جواب مناسب در یک زمان معقول کارا نیستند. علاوه‌براین، روش‌های هوشمند برای انجام محاسبات به مدت‌زمان بالایی نیاز دارند. الگوریتم‌های کلاسیک شامل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی و الگوریتم دور از کرانه است. در این الگوریتم‌ها معمولاً از مشتقات مرتبه دوم معادلات توان استفاده می‌شود. همچنین، این الگوریتم‌ها برای انجام محاسبات به زمان کم‌تری نیاز دارند. در این بخش، الگوریتم دور از کرانه، که مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی است، به اختصار تشریح می‌شود.

مسئله حداکثر توان انتقالی به ریزشبکه را می‌توان به فرم کلی روابط (۱۱) و (۱۲) نوشت. این روابط بیانگر شکل کلی روابط (۹) و (۱۰) هستند.

$$\max : F(x) \tag{۱۱}$$

$$S.T. \quad \begin{cases} G(x)=0 \\ h_{\min} \le H(x) \le h_{\max} \end{cases} \tag{۱۲}$$

که در آن x، متغیر حالت شامل اندازه و زاویه ولتاژ باس‌ها، $G(x)$ بیانگر قیود مساوی شامل معادلات تعادل توان، $H(x)$ قیود نامساوی شامل محدودیت ولتاژ باس‌ها و تولید توان ژنراتورها و جریان خطوط هستند. $F(x)$ نیز تابع هدف شامل حداکثرسازی توان انتقالی به ریزشبکه است. h_{min} و h_{max} بیانگر حدود بالا و پایین قیود نامساوی هستند.

در ابتدا قیود نامساوی از طریق متغیرهای شناور به قیود مساوی به فرم رابطه (۱۳) تبدیل می‌شوند.

$$\begin{cases} H(x)-s_l-h_{\min}=0 \\ H(x)-s_u-h_{\max}=0 \\ s_u, s_l \ge 0 \end{cases} \tag{۱۳}$$

در رابطه بالا، s_l و s_u به‌ترتیب متغیرهای شناور حد پایین و بالا هستند.

پس از تبدیل قیود نامساوی به مساوی، توابع لاگرانژ با استفاده از توابع مرزی لگاریتمی و ضرایب لاگرانژ به شکل رابطه (۱۴) تشکیل می‌شوند.

$$\begin{aligned} L(x,\lambda,s_u,s_l,\pi_u,\pi_l,\mu) &= F(x)-\lambda^T G(x) \\ &-\pi_l^T\left(H(x)-s_l-h_{\min}\right) \\ &-\pi_u^T\left(H(x)-s_u-h_{\max}\right) \\ &-\mu\left(\sum_i \ln\ln s_{li}+\sum_i \ln\ln s_{ui}\right) \end{aligned} \tag{۱۴}$$

که در آن λ ضرایب لاگرانژ برای قیود مساوی، π_l ضرایب لاگرانژ برای قید $\left(H(x)-s_l-h_{\min}\right)$، μ پارامتر مرزی و π_u ضرایب لاگرانژ برای قید $\left(H(x)-s_u-h_{\max}\right)$ هستند.

در ادامه، برای کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی تابع لاگرانژ از شرایط کاروش-کوهان-تاکر[۵] استفاده می‌شود.

۶- اهداف مسئله

در این بخش اهداف مسئله بیان می‌شوند.

۶-۱- بهبود قابلیت‌اطمینان

برای ارزیابی قابلیت اطمینان، از شاخص عدم‌تأمین انرژی، شاخص مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی و شاخص میزان انرژی دریافتی از شبکه اصلی استفاده می‌شود. هرچقدر ریزشبکه توانایی بالاتری در تأمین بار مصرفی خود داشته باشد، عملکرد بهتری در حوزه قابلیت اطمینان خواهد داشت. ازسویی‌دیگر، استقلال از شبکه اصلی، چه از نظر زمانی و چه از نظر میزان وابستگی انرژی، باعث می‌شود خاموشی‌های شبکه اصلی به ریزشبکه منتقل نشده و درنتیجه قابلیت اطمینان ریزشبکه بهبود یابد.

$$ENS = \frac{1}{N}\left(\sum_i^N ENS_i\right) \tag{۱۵}$$

$$T_{conect} = \frac{1}{N}\left(\sum_i^N \alpha_{conect\,i}\right) \tag{۱۶}$$

$$\alpha_{conect} = \begin{cases} 0 & if\ microgrid\ disconected \\ 1 & if\ microgrid\ is\ conected \end{cases} \tag{۱۷}$$

$$E_{transmitted} = \frac{1}{N}\left(\sum_i^N E_{transmitted\,i}\right) \tag{۱۸}$$

در روابط بالا ENS شاخص انرژی تأمین‌نشده ریزشبکه، $E_{transmitted}$ انرژی دریافتی ریزشبکه از شبکه اصلی، $T_{connect}$ شاخص مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی و N مدت‌زمان بهره‌برداری هستند.

۶-۲- کاهش کلیدزنی

از دیگر اهداف مطرح‌شده در این مسئله، کاهش تعداد کلیدزنی می‌باشد.

$$N_{Switching} = \sum_{i=1}^{N} \beta_i \tag{۱۹}$$

$$\beta_i = \begin{cases} 0 & if\ Switch\ Condintion(i) = Switch\ Condition(i-1) \\ 1 & if\ Switch\ Condintion(i) \ne Switch\ Condition(i-1) \end{cases} \tag{۲۰}$$

که در این رابطه، $N_{Switching}$ تعداد کلیدزنی در مدت‌زمان بهره‌برداری، N مدت‌زمان بهره‌برداری، $Switch\ Condition\ (i)$ وضعیت کلید از نظر باز یا بسته‌بودن در زمان i و $Switch\ Condition\ (i\text{-}1)$ وضعیت کلید از نظر باز یا بسته‌بودن در زمان $i\text{-}1$ است. وضعیت اولیه کلید، قبل از اجرای برنامه در زمان $i=0$ ، باز درنظر گرفته شده است. بدین معنی که ریزشبکه در ابتدای اجرای برنامه به‌صورت مستقل از شبکه بوده است.

هرچقدر تعداد کلیدزنی افزایش پیدا کند، عمر تجهیز کاهش می‌یابد. در ریزشبکه‌ها و برای مدت‌زمان اتصال مشخص، تعداد کلیدزنی با توجه به نحوه مصرف ریزشبکه متفاوت است. هرچه‌قدر ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی پیوسته باشد، تعداد کلیدزنی کاهش می‌یابد. خودروهای الکتریکی قادرند با تغییر پروفیل تولید و مصرف ریزشبکه، ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی را جابه‌جا

Archive of SID

www.SID.ir

نمایند و درنتیجه با پیوسته نمودن این ساعات، باعث کاهش تعداد کلیدزنی گردند.

۶-۳- کاهش تلفات

$$P_{\text{Loss}} = \sum \text{R}_{\text{ij}} \times \left|\text{I}_{\text{ij}}\right|^2 \qquad \text{i} \neq \text{j} \tag{۲۱}$$

در این رابطه P_{Loss} تلفات خطوط، R_{ij} مقاومت شاخه بین باس i و j و I_{ij} جریان شاخه بین باس i و j می‌باشد.

درصورتی‌که خودروهای الکتریکی، با توجه به جابه‌جایی در طول شبانه‌روز، در مکان‌های نزدیک به تولید شارژ شوند و در هنگام دشارژ در حوزه‌های دور از تولید تخلیه گردند، بازدهی شبکه افزایش می‌یابد. بدین‌ترتیب در لحظه شارژ، به خاطر نزدیکی به محل تولید، تلفات کم‌تری ایجاد شده و در هنگام دشارژ نیز با توجه به جابه‌جا شدن توان تولیدی و انتقال آن به مشترکین دور از منابع تولید، تلفات مجدداً کاهش می‌یابد. به علت اینکه جابه‌جایی این خودروها در هر صورت باید انجام شود، هزینه مازادی برای انتقال توان الکتریکی انجام نمی‌گیرد.

۶-۴- افزایش سود صاحبان خودرو

صاحبان خودرو می‌توانند با ذخیره به موقع انرژی در باتری‌ها و تبادل آن با شبکه در ساعات مطلوب، به افزایش سود دریافتی خود، حاصل از طرح، کمک نمایند. برای این منظور، با توجه به سیگنال قیمت انرژی، پارکینگ‌ها باید در ساعات ارزان برق اقدام به ذخیره‌سازی انرژی نموده و در ساعات گران برق، آن را به فروش رسانند. این‌کار باعث می‌شود تا علاوه‌بر سود دریافتی از شرکت‌های برق به‌خاطر بهبود وضعیت شبکه (بهبود اهداف قابلیت اطمینان، کاهش کلیدزنی و کاهش تلفات)، درصورت امکان از مزایای خرید و فروش انرژی نیز استفاده نمایند.

$$\textit{Parking Profit} = \sum_{n=1}^{np} c(t) \times \textit{Energy}_{\textit{sell}} - \sum_{n=1}^{np} c(t) \times \textit{Energy}_{\textit{purch}} \tag{۲۲}$$

در این رابطه، *Parking Profit* سود پارکینگ‌ها حاصل از خرید و فروش انرژی، c(t) قیمت برق در زمان t، $Energy_{sell}$ انرژی خریداری‌شده، $Energy_{purch}$ انرژی فروخته‌شده و np تعداد پارکینگ‌ها می‌باشد

۷- روش بهینه‌سازی

برای جستجو در بین پاسخ‌های ممکن از روش‌های مختلفی می‌توان بهره برد. در این مقاله از روش بهبودیافته ازدحام ذرات (EPSO[۶]) به منظور تعیین مقدار شارژ، میزان دشارژ پارکینگ‌های ریزشبکه استفاده شده است. الگوریتم PSO رفتار گروهی از ذرات را که مقادیر اولیه با یک جمعیت از جواب‌های پیشنهادی تصادفی مشخص می‌شود، مدل می‌کند [۱۹]. اصل این الگوریتم بر این اساس است که افراد جمعیت در یک جستجو به سمت نواحی موفقیت‌آمیز قبلی وفق داده می‌شوند و از موفقیت افراد همسایه هم تأثیر می‌پذیرند [۲۰].

در این مقاله برای هر یک از ساعات بهره‌برداری یک متغیر تعریف می‌شود که مقدار این متغیر میزان شارژ، دشارژ و یا عدم‌شارژ و دشارژ را برای پارکینگ تعیین می‌کند. از عیب‌های اساسی در الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) امکان قرار گرفتن پاسخ نهایی در نقطه بهینه محلی است که این امر ممکن است باعث شود پاسخ نهایی مطلوبیت کامل را نداشته باشد. در این مقاله برای برون‌رفت از نقاط بهینه محلی با به‌کارگیری از الگوریتم EPSO، از عملگر جهش در ترکیب با الگوریتم PSO استفاده شده است.

ازآنجایی‌که توابع هدف ارائه‌شده دارای تنوع هستند، امکان ترکیب این ارزش‌ها با هم وجود ندارد. به همین خاطر از روش تئوری فازی به‌منظور تجمیع ارزش اهداف استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از توابع عضویت، ارزش هر هدف با یک مقدار حداکثر و حداقل سنجیده شده و مقداری بین صفر تا یک به آن اختصاص می‌یابد. با این روش، مقدار به‌دست‌آمده برای همه هدف‌ها را می‌توان با یکدیگر ترکیب نمود.

$$\min \textit{Fitness} = \sum_{i}^{n} \alpha_i \mu_i \left(G_i\right) \tag{۲۳}$$

$$\text{G}_\text{i} = \begin{cases} \text{G}_1 = \text{ENS} \\ \text{G}_2 = \text{T}_{\text{connect}} \\ \text{G}_3 = \text{E}_{\text{transmitted}} \\ \text{G}_4 = \text{N}_{\text{Switching}} \\ \text{G}_5 = \text{P}_{\text{Loss}} \\ G_6 = \textit{Parking Profit} \end{cases} \tag{۲۴}$$

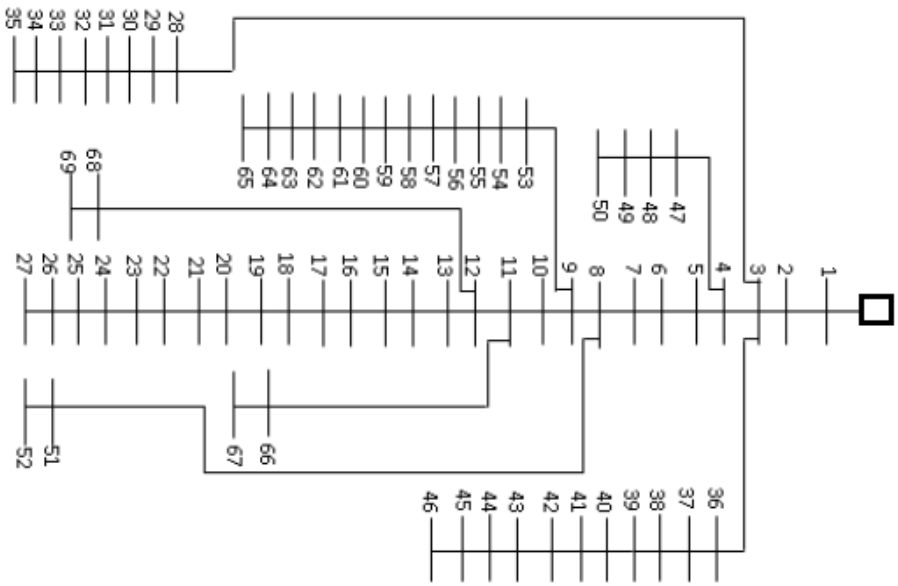
در رابطه بالا *Fitness*، ارزش فازی ناشی از ترکیب اهداف، G_i هدف nام، μ_i تابع عضویت فازی هدف nام، α_i ضرایب تأثیر اهداف، *ENS* انرژی تأمین‌نشده ریزشبکه، $T_{connect}$ مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی، $E_{transmitted}$ انرژی دریافتی ریزشبکه از شبکه اصلی، $N_{Switching}$ تعداد کلیدزنی و P_{Loss} تلفات می‌باشند.

۸- شبیه‌سازی و نتایج

به‌منظور اعتباربخشی به مدل ارائه‌شده در این مقاله به بررسی مسئله بر روی شبکه تست پرداخته می‌شود. ازاین‌رو از شبکه تست ۶۹ باسه IEEE، مطابق با شکل ۱، برای ریزشبکه استفاده شده است. نوع خودروهای الکتریکی مورد استفاده در این مقاله از نوع خودروهای هیبریدی قابل‌اتصال به شبکه (PHEV) می‌باشد.

Archive of SID

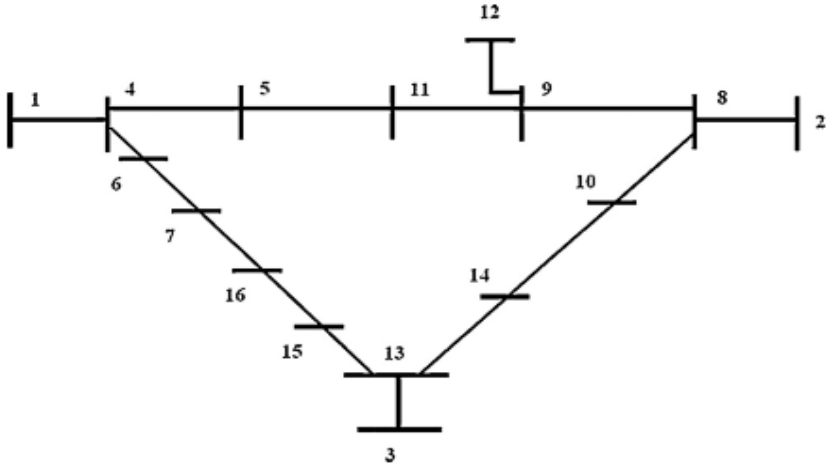
www.SID.ir



شکل ۱: شبکه نمونه تست ریزشبکه **IEEE 69-Bus** [۲۰]

مدت‌زمان برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ ۲۴ ساعت، از ساعت ۷ صبح ۵ آپریل ۲۰۱۵ تا ساعت ۷ صبح روز بعد، بوده و بنابرفرض، اطلاعات مسافرت‌های صاحبان خودرو در طول این زمان گردآوری و تحلیل شده است. در این اطلاعات، خودروها در دو نوبت در مکان‌های مختلفی در محل کار و در محل سکونت قرار می‌گیرند. زمان خروج از مکان اول، مسافت طی‌شده و نیز زمان ورود به پارکینگ دوم به‌صورت احتمالاتی و با توجه به مدل ارائه‌شده، محاسبه می‌شود. فرض بر این است که سایر مسافرت‌های خودروها با مدت‌زمان کم - غیرقابل‌استفاده در پارکینگ‌ها - در فاصله بین این دو جابه‌جایی صورت می‌گیرد. این ریزشبکه دارای دو واحد بادی ۲ مگاواتی، هزار پنل خورشیدی ۱/۵ کیلوواتی و یک واحد زیست‌توده ۲/۵ مگاواتی است که توان خروجی آن‌ها به باس ورودی ریزشبکه هدایت می‌شود. داده‌های سرعت باد و تابش خورشید مربوط به منطقه داکوتای شمالی بخش مک‌هنری بوده و از مرجع [۲۱] برداشت شده است. توربین نصب‌شده واحد بادی نیز از نوع V-100 بوده که اطلاعات آن از مرجع [۲۲] به دست آمده است. میزان بار مشترکین در ساعات مختلف بازه شارژ و دشارژ، تابعی از حداکثر بار باس‌های ریزشبکه بوده که اطلاعات حداکثر بار مشترکین در مرجع [۲۳] آمده است. در این مقاله از جاروب رفت و برگشت به عنوان برنامه پخش‌بار ریزشبکه استفاده می‌شود. تلفات محاسبه‌شده در ارزیابی مسئله با فرض تأمین تمامی مصرف می‌باشد. خودروهای الکتریکی مورد استفاده در این مقاله از نوع شورولت بوده که اطلاعات فنی آن در مرجع [۲۴] آمده است. تعداد خودروهای الکتریکی شرکت‌کننده در طرح ۵۰۰ دستگاه و ظرفیت باتری آن‌ها برطبق مرجع [۲۴]، ۱۶ کیلووات‌ساعت می‌باشد. به‌منظور جلوگیری از کاهش عمر مفید باتری‌ها یک سطح حداقلی برای دشارژ باتری خودرو (DOD^{γ}) درنظر گرفته شده است. حداکثر توان شارژ برای خودروها مطابق مرجع [۲۵]، ۵ کیلووات فرض می‌شود. نرخ شارژ و دشارژ در این مقاله یکسان درنظر گرفته شده است. مکان پارکینگ خودروهای الکتریکی باس‌های ۲، ۲۷ ، ۵۰ و ۶۵ ریزشبکه می‌باشد.

ریزشبکه از طریق باس ورودی به شبکه اصلی متصل می‌شود. در این مقاله از شبکه تست ۱۶ باسه CIVANLAR، مطابق شکل ۲، به عنوان شبکه اصلی استفاده شده است.



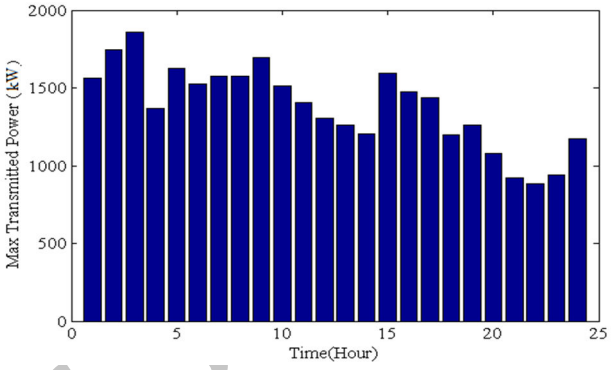
شکل ۲: شبکه تست شبکه اصلی **CIVANLAR 16-Bus** [۲۳]

Archive of SID

www.SID.ir

این شبکه دارای دو پست تغذیه اصلی با ظرفیت حداکثر ۱۵ مگاوات در باس‌های ۱ و ۲ و دو واحد بادی ۲ مگاواتی در باس ۳ است. در این شبکه نیز توربین نصب‌شده و داده‌های هواشناسی مانند ریزشبکه است. اطلاعات مصرف باس‌های این شبکه از مرجع [۲۶] برداشت شده است.

برای به دست آوردن مدل خط تغذیه، باید حداکثر توان قابل‌انتقال از شبکه اصلی به ریزشبکه را به دست آورد. با اجرای شبیه‌سازی‌های مربوط به این مدل، نتایج به‌صورت نمودار شکل ۳ به دست می‌آید.



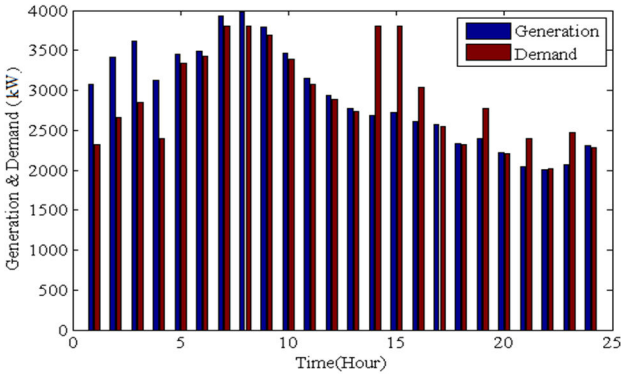
شکل ۳: حداکثر توان قابل انتقال به ریزشبکه از شبکه اصلی

در این نمودار حداکثر توان قابل‌انتقال به ریزشبکه در ساعات بهره‌برداری نشان داده شده است.

در ادامه و به‌منظور بررسی مسئله برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی از سه سناریوی مختلف استفاده شده است. در سناریوی اول وضعیت شبکه بدون استفاده از ظرفیت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در ریزشبکه شبیه‌سازی می‌شود. سناریوی دوم به نشان‌دادن تأثیر مدل بر هدف کاهش کلیدزنی در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها پرداخته است. و در سناریوی سوم تأثیر جابه‌جایی خودروها و حمل توان بر شبکه نشان داده شده است.

۸-۱- سناریوی اول: بدون حضور خودروالکتریکی در ریزشبکه

در این سناریو، وضعیت ریزشبکه بدون استفاده از ظرفیت شارژ و دشارژ خودوهای الکتریکی نشان داده شده است. نمودار شکل ۴، میزان مصرف مشترکین به همراه مقدار تولید واحدهای ریزشبکه را نشان می‌دهد.



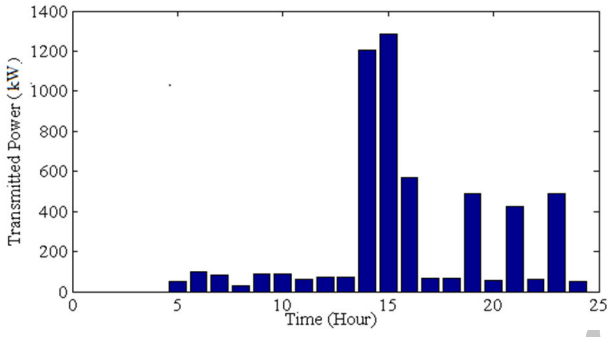
شکل ۴: نمودار مصرف مشترکین و تولیدات داخلی ریزشبکه

در شکل شماره ۴، نمودار آبی‌رنگ میزان توان واحدهای تولیدی ریزشبکه و نمودار قرمزرنگ مقدار مصرف مشترکین را نشان می‌دهد. درصورتی‌که خودروی الکتریکی در ریزشبکه وجود نداشته باشد، وضعیت شاخص‌ها به‌صورت جدول ۱ خواهد بود. این جدول شاخص‌های انرژی فروخته‌نشده، توان انتقالی به ریزشبکه از شبکه اصلی، مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی، تعداد کلیدزنی، تلفات و ارزش فازی مسئله را در این حالت بیان می‌کند.

جدول ۱: وضعیت ریزشبکه بدون در نظر گرفتن خودروها

ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰ kWh	۵۴۰۶ kWh	۲۰ hour	۱	۳۰۱۱ kWh	۰/۲۹۳۶

برای این وضعیت، مقدار توان گرفته‌شده از شبکه بالادست - شبکه اصلی- در ساعات بهره‌برداری، توسط نمودار شکل ۵ بیان شده است.



شکل ۵: نمودار زمان و میزان توان تزریقی به ریزشبکه توسط شبکه اصلی

همان‌طور که از نمودار شکل ۵ مشخص است، ریزشبکه مدت‌زمان زیادی نیاز به شبکه بالا دست دارد؛ این در شرایطی است که تنها مصرف مشترکین ریزشبکه در این حالت تأمین می‌شود و این مقدار، شارژ خودروهای برقی را شامل نمی‌شود. ازسویی‌دیگر، علیرغم تزریق توان توسط شبکه اصلی به ریزشبکه- با توجه به محدودیت شبکه اصلی، که میزان آن از روی مدل‌سازی حداکثر توان قابل انتقال به ریزشبکه، به دست می‌آید و در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است-، تمامی نیاز ریزشبکه در زمان عدم‌حضور خودروهای الکتریکی فراهم نمی‌شود.

ازآنجایی‌که مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی زیاد است، به‌تبع آن، تعداد کلیدزنی کاهش می‌یابد، زیرا فرصت کلیدزنی فراهم نشده است، درنتیجه کاهش تعداد کلیدزنی در این حالت مفهومی پیدا نمی‌کند. برای جلوگیری از ارزش‌یافتن کاهش کلیدزنی در چنین حالاتی- کلیدزنی کم به دلیل مدت‌زمان اتصال بالا ، ضریب تأثیر مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی نسبت به ضریب تأثیر تعداد کلیدزنی بیش‌تر انتخاب شده است.

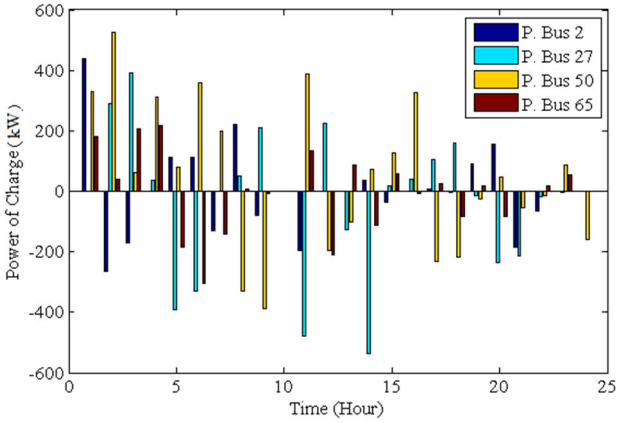
Archive of SID

www.SID.ir

۸-۲- سناریوی دوم: با حضور خودرو و با مقایسه درنظرگرفتن هدف کاهش کلیدزنی

در این سناریو دو مقایسه صورت می‌گیرد. تفاوت حالت اول و دوم در تأثیر هدف کاهش کلیدزنی است. برای این‌منظور، در حالت اول ضریب تأثیر کاهش کلیدزنی صفر می‌شود. برای بهتر نشان دادن هدف کاهش کلیدزنی قیمت برق در ساعات بهره‌برداری در این دو حالت یکسان فرض شده است.

نمودار شکل ۶ نحوه شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها را برای حالت اول نمایش می‌دهند.



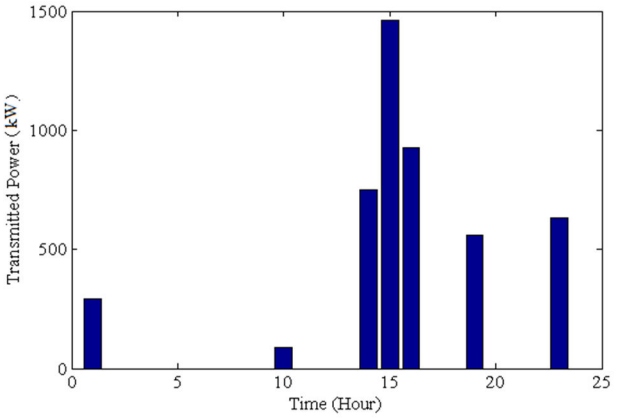
شکل ۶: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

در هر یک از زمان‌های داده‌شده در نمودار، وضعیت شارژ و یا دشارژ هر یک از پارکینگ‌ها با رنگ‌های مختلف آورده شده است. مقادیر مثبت نشان دهنده شارژ خودروها در پارکینگ و مقادیر منفی بیان کننده حالت دشارژ خودروها می‌باشد. در این حالت وضعیت شاخص‌ها به‌صورت جدول شماره ۲ خواهد بود.

جدول ۲: شبیه‌سازی بدون تأثیر هدف کاهش کلیدزنی

ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰ kWh	۴۷۱۱ kWh	۷ hour	۹	۳۰۳۱ kWh	*

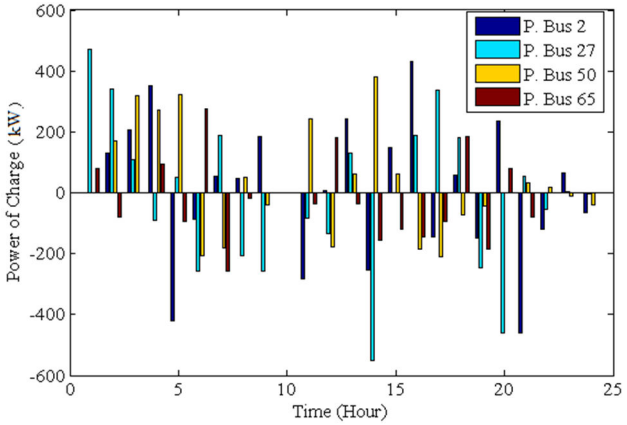
نحوه وابستگی ریزشبکه به شبکه اصلی برای این وضعیت توسط نمودار شکل ۷ بیان می‌شود.



شکل ۷: نمودار زمان و میزان توان تزریقی به ریزشبکه توسط شبکه اصلی

همان‌طور که از نمودار مشخص است مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی ۷ ساعت بوده که به دلیل صفربودن ضریب تأثیر کاهش کلیدزنی این مدت‌زمان با ۹ کلیدزنی صورت گرفته است.

در حالت دوم با ارزش‌دار کردن ضریب تأثیر کاهش کلیدزنی، مجدداً برنامه شبیه‌سازی اجرا می‌گردد. برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ برای این حالت توسط نمودارشکل ۸ بیان می‌شود.



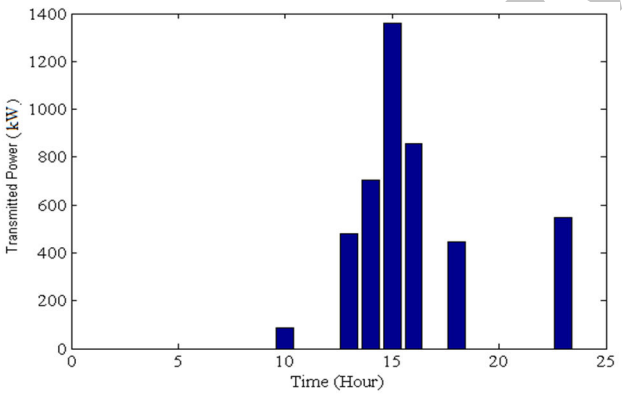
شکل ۸: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، وضعیت شاخص‌های موردمطالعه در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۳: شبیه‌سازی با هدف کاهش کلید زنی

ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰ KWh	۴۴۸۵ KWh	۷ hour	۸	۳۰۱۵ KWh	*

میزان وابستگی این وضعیت به شبکه اصلی، توسط نمودار شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۹: نمودار زمان و میزان توان تزریقی به ریزشبکه توسط شبکه اصلی

در این حالت تعداد ساعات اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی، همانند حالت قبل ۷ ساعت بوده، اما این ۷ ساعت، برخلاف حالت قبل در طی ۸ بار کلیدزنی اتفاق افتاده است که این کار باعث افزایش عمر کلید می‌گردد. با افزایش کلیدزنی، همان‌طور که از شکل ۷ و ۹ قابل‌مشاهده است، نمودار تزریق توان، حالت گسسته‌تری به خود می‌گیرد. این افزایش تعداد کلیدزنی باعث کاهش عمر تجهیزات کلید ورودی ریزشبکه می‌شود. کاهش تعداد کلیدزنی در ریزشبکه به‌عنوان یک عامل کمک‌کننده در جلوگیری از خاموشی است.

www.SID.ir

به‌منظور بررسی تأثیر درصد حضور خودروها در مسئله، شبیه‌سازی در حالت دوم مجدداً اجرا می‌گردد. در این مرحله، درصورتی‌که تعداد خودروهای شرکت کننده در طرح از ۵۰۰ خودرو به ۳۰۰ خودرو کاهش یابد، وضعیت شاخص‌ها در حالت دوم به صورت جدول ۴ خواهد بود.

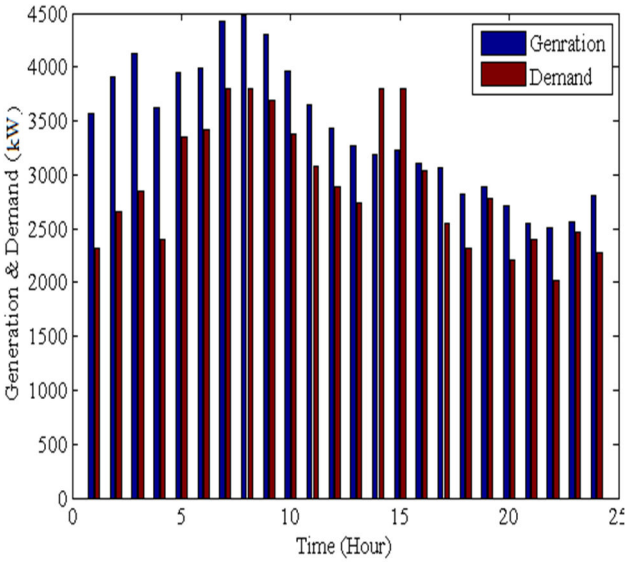
جدول ۴: مقایسه تأثیر درصد حضور خودروها در حالت کاهش کلیدزنی

N	ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۵۰۰	۰ kWh	۴۴۸۵ kWh	۷ hour	۸	۳۰۱۵ kWh	۰/۱۷۶۰
۳۰۰	۰ kWh	۴۲۰۳ kWh	۷ hour	۱۰	۲۹۴۸ kWh	۰/۱۸۴۵

همان‌طور که از جدول برمی‌آید و با توجه به ارزش فازی نمایش داده‌شده در آن، کاهش تعداد خودروها، مطلوبیت طرح را کم‌تر خواهد کرد. لازم به ذکر است در این طرح ضریب تأثیر هدف "کاهش تعداد کلیدزنی" بیش‌تر از هدف "کاهش تلفات" است. با ترکیب ارزش فازی هر یک از اهداف، مقادیر ارزش فازی کل حاصل شده است که با توجه به جدول و در نظر گرفتن مینیمم‌سازی ارزش فازی کل، مطلوبیت حالت ۵۰۰ خودرو بهتر از حالت ۳۰۰ خودرو است.

۸-۳- سناریوی سوم: با حضور خودرو و با مقایسه درنظرگرفتن جابه‌جایی خودروها در پارکینگ‌ها

در این سناریو به‌منظور افزایش قدرت انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی، برای شارژ و دشارژ خودروها، تولید ریزشبکه افزایش داده می‌شود. در این حالت امکان انتخاب متنوع‌تر برای مقدار شارژ و دشارژ خودروها به وجود می‌آید. هرچقدر نیاز ریزشبکه به توان تولیدی بیش‌تر باشد قابلیت انتخاب کاهش می‌یابد. درنتیجه بایستی با افزایش تولید، نیاز ریزشبکه به خودروها را کاهش داده و امکان انتخاب از بین خودروها را افزایش داد. نمودار شکل ۱۰ میزان مصرف مشترکین به همراه مقدار تولید واحدهای ریزشبکه را در این سناریو نشان می‌دهد.

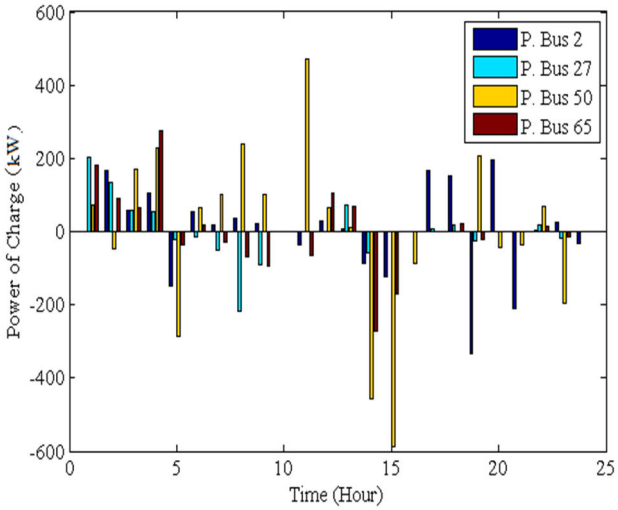


شکل ۱۰: نمودار مصرف مشترکین و تولیدات داخلی ریزشبکه

در این سناریو دو مقایسه صورت می‌گیرد: در حالت اول خودروها تنها در یک پارکینگ حضور دارند، درصورتی‌که در حالت دوم خودروها بین دو پارکینگ جابه‌جا می‌شوند. برای مساوی نمودن شرایط، مقدار توان کسرشده در جابه‌جایی خودرو از یک پارکینگ به پارکینگ دیگر از حالت اول نیز کسر می‌گردد. این کسر توان مربوط به جابه‌جایی مالک خودرو بوده و مرتبط با مسائل برقی نمی‌باشد. سایر فرضیات دو حالت نیز مانند تعداد خودروهای موجود در هر پارکینگ یکسان می‌باشد.

در ابتدای این سناریو قیمت برق در تمامی ساعات یکسان فرض شده و سپس در ادامه، شبیه‌سازی برای تنوع قیمت نیز صورت خواهد پذیرفت

در حالت اول که بدون جابه‌جایی خودرو بین پارکینگ‌ها صورت گرفته است، میزان شارژ و دشارژ در هریک از پارکینگ‌ها به‌صورت نمودارشکل ۱۱ می‌باشد.



شکل ۱۱: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

شاخص‌های موردنظر در این حالت توسط جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۵: شبیه سازی بدون جابه‌جایی خودرو در پارکینگ‌ها

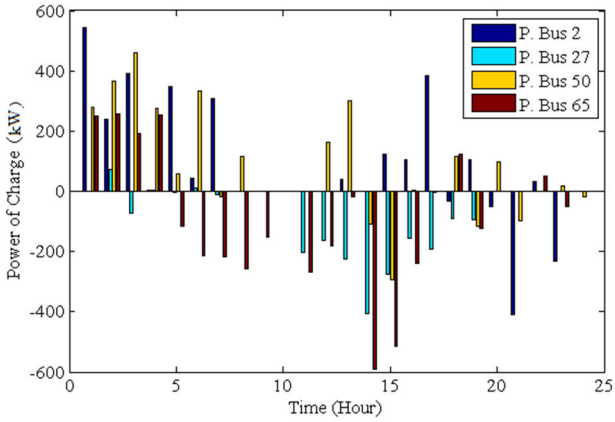
ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰ kWh	۰ kWh	۰ hour	۰	۲۹۹۹ kWh	۰/۱۲۸۳

با توجه به اینکه سطح تولید داخل ریزشبکه در این سناریو افزایش یافته است و با مدیریت صحیح شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی، ریزشبکه در این حالت به‌صورت کاملاً مستقل عمل نموده و هیچ نیازی به تزریق توان توسط شبکه اصلی ندارد.

برای حالت دوم در این سناریو، خودروها از یک پارکینگ به دیگر منتقل شده و توان الکتریکی را بدون نیاز به خطوط شبکه و بدون هیچ هزینه مازادی انتقال می‌دهند. برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ در این حالت در نمودار شکل ۱۲ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱۲: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

با توجه به برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ صورت‌گرفته و اعمال انتقال‌توان الکتریکی توسط خودروها، میزان تلفات الکتریکی در حالت دوم کاهش پیدا می‌کند که این ویژگی به همراه سایر شاخص‌های سیستم در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶: شبیه سازی با در نظر گرفتن مسافرت خودروها

ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰ kWh	۰ kWh	۰ hour	۰	۲۷۱۹ kWh	۰/۱۲۸۱

در حالت دوم با توجه به انتخاب بهینه، میزان تلفات و درنتیجه آن ارزش فازی بهبود پیدا کرده است.

همان‌طور که در حالت قبل از همین سناریو اشاره شد به علت افزایش تولید داخلی ریزشبکه و مدیریت صحیح شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی، ریزشبکه از تزریق توان شبکه اصلی بی‌نیاز می‌باشد.

درصورتی‌که قیمت انرژی در ساعات مختلف متفاوت فرض شود و مجدداً شبیه‌سازی برای حالت دوم تکرار گردد نتایج شاخص‌ها به‌صورت جدول ۷ خواهد بود.

جدول ۷: شبیه‌سازی با در نظر گرفتن مسافرت خودروها و برای قیمت متغیر برق

Price	ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses
Fix	۰ kWh	۰ kWh	۰ hour	۰	۲۷۱۹ kWh
Variable	۰ kWh	۰ kWh	۰ hour	۰	۳۰۰۷ kWh

همان‌طور که از جدول برمی‌آید کیفیت شاخص ترکیبی کل، ناشی از شاخص انرژی فروخته‌نشده، انرژی انتقالی به ریزشبکه و تلفات، در حالت واردشدن پارامتر تغییر قیمت برق، افت پیدا می‌کند. زیرا در این حالت پارکینگ‌ها بدنبال سود ناشی از خرید و فروش انرژی نیز خواهند رفت.

۹- نتیجه‌گیری

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط نوع جدیدی از سیستم‌های قدرت بنام ریزشبکه را تشکیل می‌دهد. به‌کارگیری خودروهای الکتریکی در کنار این ریزشبکه‌ها ضمن بهبود قابلیت اطمینان ریزشبکه، تأثیر مطلوبی بر کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری شبکه دارد. در این مقاله با برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و با توجه به مسافرت‌های خودروها به بهینه‌سازی اهداف مسئله پرداخته شده است. کاهش تلفات، کاهش انرژی خریداری‌شده از شبکه اصلی، کاهش کلیدزنی، کاهش انرژی فروخته‌نشده و کاهش مدت‌زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی از اهداف این مسئله بوده که با استفاده از الگوریتم EPSO و در سناریوهای مختلف به بهینه‌سازی آن پرداخته شده است. برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در حضور مدل خط تغذیه ریزشبکه، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش کلیدزنی، در کنار ارائه و استفاده از دیدگاهی جدید در انتقال توان بین پارکینگ‌ها، از نوآوری‌های مطرح در این مقاله هستند.

۱- مراجع

[1] I. Bae, and J. Kim, "Reliability evaluation of customers in a microgrid," *IEEE Transactions on Power System*, vol. 23, pp. 1416-1422, 2008.

[2] M. E. Khodayar, M. Barati, and M. Shahidehpour, "Integration of high reliability distribution system in microgrid operation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1997-2006, 2012.

[3] S. Wang, Z. Li, L. Wu, M. Shahidehpour, and Z. Li, "New metrics for assessing the reliability and economics of microgrids in distribution system," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 2852-2861, 2013.

[4] S. A. Arefifar, Y. A. R. I. Mohamed, and T. H. M. El-Fouly, "Supply-adequacy-based optimal construction of microgrids in smart distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1491-1502, 2012.

[5] S. A. Arefifar, Y. A. R. I. Mohamed, and T. H. M. El-Fouly, "Optimum microgrid design for enhancing reliability and supply-security," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, pp. 1567-1575, 2013.

[6] S. A. Arefifar, Y. A. R. I. Mohamed, and T. H. M. El-Fouly, "DG mix, reactive sources and energy storage units for optimizing microgrid reliability and supply security," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 1835-1844, 2014.

[7] K. Morrow, D. Karner, and J. Francfort, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review*, The Idaho National Laboratory, Tech. Rep., 2008.

[8] Z. Fan, "A distributed demand response algorithm and its application to PHEV charging in smart grids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1280-1290, 2012.

[9] W. Kempton, and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy," *J. Power Sources*, vol. 144, no. 1, pp. 280-294, 2005.

[10] J. R. Pillai, and B. Bak-Jensen, "Impacts of electric vehicle loads on power distribution systems,"

Archive of SID

www.SID.ir

Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010.

[11] Z. Darbai, and M. Ferdowsi, "Aggregated impact of plug-in hybrid electric vehicles on electricity demand profile," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 4, pp. 501-508, 2011.

[12] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Grid integration of electric vehicles and demand response with customer choice," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 543-550, 2012.

[13] X. Yu, "Impacts assessment of PHEV charge profiles on generation expansion using national energy modeling system," *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, pp. 1-5, 2008.

[14] W. Kempton, *A Test of Vehicle-to-grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System*, Results from an Industry / University Research Partnership, 2008.

[15] M. M. Hosseini Bioki, M. Zareian Jahromi, and M. Rashidinejad, "A combinatorial artificial intelligence real-time solution to the unit commitment problem incorporating V2G," *Electr. Eng.*, pp. 1-15, 2012.

[16] M. H. Amini, and A. Islam, "Allocation of electric vehicles' parking lots in distribution network," *Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington DC, 2014.

[17] P. Giorsetto, and K. F. Utsurogi, "Development of a new procedure for reliability modeling of wind turbine generators," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vo1. PAS-102, pp. 134-143, 1983.

[18] R. M. Moharil, and P. S. Kulkarni, "A case study of solar photovoltaic power system at Sagardeep Island, India," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 3, pp. 673-681, 2009.

[۱۹] رحمت‌الله هوشمند، حسین محکمی و امین خدابخشیان، «روشی جدید در جایابی بهینه خازن‌ها و ژنراتورهای توزیع‌شده در شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت‌داده‌شده با PSO،» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۳۹، شماره ۲، صفحه ۶۱-۷۲، ۱۳۸۸.

[۲۰] عباس کارگر، فهیمه صیادی شهرکی و جعفر سلطانی، «خازن‌گذاری بهینه در شبکه توزیع دارای اغتشاش هارمونیکی برای تنظیم ولتاژ و کاهش تلفات با استفاده از PSO،» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۱، شماره ۱، صفحه ۳۳-۴۳، ۱۳۹۰.

[21] *North Dakota Agricultural Weather Network*, [Online], Available online at: http://www.ndawn.ndsu.nodak.edu/, Accessed: July 4, 2015.

[22] *Vestas Company Site*, [Online], Available online at: http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbins, Accessed: July 4, 2015.

[23] R. Parasher, *Load Flow Analysis of Radial Distribution Network using Linear Data Structure*, Master of Technology, Rajasthan Technical University, Kota, 2013.

[24] *Chevy Volt Website* [Online], Available online at: http://www.chevyvolt.net/chevrolet-volt-specs.htm/.

[25] Y .He, B .Venkatesh, and L. Guan, "Optimal scheduling for charging and discharging of electric vehicles," *IEEE Transaction on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1095-1104, 2012.

[26] S. Nojavan, M. Jalali, and K. Zare, "Optimal allocation of capacitors in radial/mesh distribution system using mixed integer nonlinear programming approach," *Electric Power Systems Research*, vol. 107, pp. 119-124, 2014.

زیرنویس‌ها

[1] High Reliability Distribution System
[2] Plug-in Hybrid Electric Vehicles
[3] Energy Not Supplied
[4] State Of Charge
[5] Karush-Kuhan-Tucker
[6] Evaluated Particle Swarm Optimization
[7] Depth Of Discharge

Archive of SID

www.SID.ir