

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 - aghaeabrahimi@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 به عنوان 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 در نظر گرفتن 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 از دیدگاهی 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. Student¹, M. R. Aghaeabrahimi, Associate Professor², H.R. Najafi, Associate Professor³

- 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: aghaeabrahimi@birjand.ac.ir
 3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: h.r.najafi@birjand.ac.ir

Abstract: Microgrid is a new concept, which improves the efficiency of the power system. Electric vehicles in microgrid can improve reliability, power losses 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, microgrid 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

۱- مقدمه

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

امکان استفاده بهتر از واحدهای تولیدی کوچک، به‌کارگیری موثرتر انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش تلفات از دیگر ویژگی‌های ریزشبه هستند. در این میان، استفاده از خودروهای الکتریکی در ریزشبه‌ها می‌تواند آثار مطلوبی را به دنبال 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 ریزشبه ایفا می‌کنند. از آنجایی که این خودروها در حوزه انسانی کاربرد اساسی دارند، ورود آن‌ها به ریزشبه همراه با عدم قطعیت خواهد بود.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه ریزشبه و خودروهای الکتریکی صورت گرفته است. در مرجع [۱] به ارائه یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان مشترکین ریزشبه پرداخته شده است. در [۲]، کاربرد سیستم‌های توزیع با قابلیت اطمینان بالا (HRDS)^۱ در بهره‌برداری اقتصادی ریزشبه بررسی شده است. در مرجع [۳]، نویسندگان به معرفی مجموعه‌ای از استانداردها برای تعریف بهتر ریزشبه پرداخته‌اند. این استانداردها شامل پارامترهای قابلیت اطمینان برای ریزشبه در حالت مستقل، شاخص حضور تولیدات پراکنده، شاخص‌های اقتصادی ریزشبه و ... هستند. در مرجع [۴] به دسته‌بندی شبکه توزیع به منظور تشکیل ریزشبه‌ها با خصوصیت خودکفایی بهینه پرداخته شده است. در مرجع [۵]، نویسندگان به دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبه‌هایی 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 ریزشبه‌ها با لحاظ کردن خاصیت احتمالاتی بار و تولید پراکنده صورت پذیرفته است. ریزشبه‌های حاصل، از بهینه‌سازی مسئله، با هدف بهبود قابلیت اطمینان و امنیت تولید، به دست می‌آیند. در زمینه خودروهای الکتریکی نیز در مرجع [۷] مطالعاتی بر روی آنالیز هزینه-فایده و تأثیر خودروهای هیبریدی برقی متصل شونده به شبکه (PHEV^۲) انجام شده است. در مرجع [۸] نویسنده یک روش شارژ برای

PHEV با تنظیم تقاضای مصرف بر اساس اطلاعات قیمت ارائه می‌کند. در مراجع [۹-۱۲] تأثیر خودروهای الکتریکی 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. از آنجایی که در این مقاله خودروهای الکتریکی در بستر ریزشبه به کار گرفته می‌شوند، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ به منظور بهبود اهداف ریزشبه خواهد بود. یکی از مهم‌ترین اهداف ریزشبه بهبود قابلیت اطمینان است که در صورتی که برنامه ریزی شارژ و دشارژ به درستی انجام گیرد قابلیت اطمینان ریزشبه بهبود خواهد یافت. در این مقاله برای بررسی قابلیت اطمینان ریزشبه از سه شاخص انرژی فروخته‌نشده ریزشبه، مدت‌زمان اتصال ریزشبه به شبکه اصلی و میزان انرژی دریافتی ریزشبه از شبکه اصلی استفاده می‌شود. از آنجایی که تزریق توان از شبکه اصلی به ریزشبه از طریق خط تغذیه و با کلید ورودی امکان‌پذیر است، مسئله کلیدزنی در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ وارد می‌شود. این مسئله از جمله مباحثی است که در زمینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در ریزشبه‌ها کم‌تر بدان پرداخته شده است. در صورتی که بتوان با تغییر پروفیل تولید و تقاضای ریزشبه، ساعات اتصال ریزشبه به شبکه اصلی را در کنار هم قرار داد، تعداد قطع و وصل کلید کاهش یافته و در نتیجه کلیدزنی کم‌تر خواهد شد. از دیگر اهداف برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در این مقاله کاهش کلیدزنی خط تغذیه ورودی ریزشبه است.

از آنجایی که صاحبان خودرو در طول شبانه‌روز علاوه بر 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، به منظور بهبود اهداف ریزشبه 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. از این رو 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 آن دسته از مسافرت‌ها در این نگاه لحاظ می‌شوند که از نظر مدت‌زمان حضور در پارکینگ چشمگیر باشند. سایر مسافرت‌های روزانه به صورت عدم امکان 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.

برنامه‌ریزی مسئله در حضور مدل خط تغذیه ورودی ریزشبه، بهبود قابلیت اطمینان 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 در نهایت 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. از آنجایی که در این مقاله از خودروهای الکتریکی برای بهبود عملکرد ریزشبه استفاده شده است، شارژ و دشارژ آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که مسائل مربوط به ریزشبه را بهبود دهد. از جمله این مسائل قابلیت اطمینان ریزشبه 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 ریزشبه است که می‌توان آن را به وسیله شاخص انرژی فروخته‌نشده (ENS²) نمایش داد. از آنجایی که امکان فعالیت مستقل از ویژگی‌های ریزشبه است و این مهم باعث جلوگیری از انتقال خاموشی از شبکه اصلی به ریزشبه می‌گردد، در این مقاله از شاخص خودکفایی زمانی ریزشبه نیز در بهبود قابلیت اطمینان استفاده شده است. این شاخص نشان‌دهنده مدت‌زمان اتصال ریزشبه به شبکه اصلی است. هرچقدر این مدت‌زمان کاهش یابد ریزشبه 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 تا حد امکان انرژی تولیدی در داخل ریزشبه تأمین شود. با برنامه‌ریزی صحیح شارژ و دشارژ می‌توان به بهبود این اهداف کمک نمود.

از سویی دیگر، اتصال ریزشبه به شبکه اصلی توسط کلید صورت می‌گیرد. همانند هر تجهیز دیگر، استفاده مکرر از این کلید باعث کاهش عمر تجهیز می‌گردد و در نتیجه باعث ایجاد هزینه برای شرکت برق می‌گردد. در صورتی که در طول زمان بهره‌برداری، ساعات اتصال ریزشبه به شبکه اصلی به صورت پیوسته و پشت‌سرهم قرار گیرند، کلیدزنی خط تغذیه، نسبت به حالتی که این ساعات در طول همان مدت در بازه‌های متفاوت اتفاق می‌افتد، 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 ریزشبه به شبکه اصلی تابع پروفیل تولید و مصرف ریزشبه 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 ریزشبه تا حد امکان برطرف و یا جابه‌جا خواهد شد. با این کار می‌توان ساعات اتصال

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 در نتیجه 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. به عبارت دیگر، آن دسته 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 عدم حضور در پارکینگ مدل می‌شوند.

بنابر مباحث مطرح‌شده، مسئله موردنظر در این مقاله، بهینه‌سازی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با توجه به اهداف مشخص با در نظر گرفتن 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: در صورتی که X_1, \dots, X_n متغیرهای تصادفی مستقل با تابع توزیع احتمالاتی متفاوت باشند، مجموع آن‌ها یعنی $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ برای n های بزرگ، دارای تابع توزیع احتمال نرمال خواهد بود.

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

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.

$$P_{ph} = \begin{cases} -0.0622 \times G_h^2 + 36.5073G_h + 351.2987 & 0 < G_h < 190 \\ (0.0022 \times G_h + 4.8821) \times 10^3 & 190 \leq G_h < 1000 \end{cases} \quad (8)$$

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

۵- مدل خط تغذیه ریزشبه

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

برای به دست آوردن این حداکثر بار، بایستی میزان بار دریافت‌شده توسط باس اتصال ریزشبه تا جایی افزایش داده شود تا قیود سیستمی شبکه اصلی نقض گردد. روش‌های متفاوتی برای تعیین بیش‌ترین توان قابل انتقال به ریزشبه 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 پخش بار کلاسیک و پخش بار تداومی کم‌تر است.

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

$$\max: P_{micro} \quad (9)$$

$$S.T. \begin{cases} P_G^{main} = P_D^{main} + P_{micro} + P_L^{main} \\ P_G^{min} \leq P_G^{main} \leq P_G^{max} \\ V_i^{min} \leq V \leq V_i^{max} \\ I_{ij}^{min} \leq I \leq I_{ij}^{max} \end{cases} \quad (10)$$

در رابطه بالا P_{micro} حداکثر توان تزریقی به ریزشبه، 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 به‌طور کلی 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 بازیخت فلزات می‌شود. این روش‌ها برای حل مسئله از پخش بار کلاسیک جهت ارزیابی استفاده می‌کنند و از آنجا که ماتریس ژاکوبین در

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

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

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

که در آن T_{exit} زمان خروج، ΔT مدت زمان عدم حضور و μ و σ میان و واریانس می‌باشند.

از آنجایی که در فرایند جابه‌جایی خودروها، ممکن است مسافت‌های مختلفی طی شود، سطح شارژ باتری (SOC^+) 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:

$$D = e^{(\mu_m + \sigma_m N)} \quad (3)$$

$$\mu_m = \ln\left(\frac{\mu_{md}^2}{\sqrt{\mu_{md}^2 + \sigma_{md}^2}}\right) \quad (4)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\ln\left(\frac{\mu_{md}^2 + \sigma_{md}^2}{\mu_{md}^2}\right)} \quad (5)$$

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.

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

$$SOC_{arrive} = SOC_{int} - D \times E_m \quad (6)$$

در رابطه بالا، SOC_{arrive} 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] به صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$P_{Wind} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ aV^2 + bV + c & V_{cut\ in} \leq V < V_{rated} \\ P_{rated} & V_{rated} \leq V < V_{cut\ out} \\ 0 & V_{cut\ out} \leq V \end{cases} \quad (7)$$

P_{Wind} توان خروجی توربین بادی، V سرعت باد، $V_{cut\ in}$ سرعت قطع پایین، V_{rated} سرعت نامی، $V_{cut\ out}$ 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 قابل محاسبه بوده که روابط آن در مرجع [۱۷] آمده است.

۶-۱ - بهبود قابلیت اطمینان

برای ارزیابی قابلیت اطمینان، از شاخص عدم تأمین انرژی، شاخص مدت‌زمان اتصال ریزش‌بکه به شبکه اصلی و شاخص میزان انرژی دریافتی از شبکه اصلی استفاده می‌شود. هرچه قدر ریزش‌بکه توانایی بالاتری در تأمین بار مصرفی خود داشته باشد، عملکرد بهتری در حوزه قابلیت اطمینان خواهد داشت. از سویی دیگر، 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 در نتیجه قابلیت اطمینان ریزش‌بکه بهبود یابد.

$$ENS = \frac{1}{N} \left(\sum_i^N ENS_i \right) \quad (15)$$

$$T_{connect} = \frac{1}{N} \left(\sum_i^N \alpha_{connect_i} \right) \quad (16)$$

$$\alpha_{connect} = \begin{cases} 0 & \text{if microgrid disconnected} \\ 1 & \text{if microgrid is connected} \end{cases} \quad (17)$$

$$E_{transmitted} = \frac{1}{N} \left(\sum_i^N E_{transmitted_i} \right) \quad (18)$$

در روابط بالا ENS شاخص انرژی عدم تأمین نشده 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.

$$N_{Switching} = \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (19)$$

$$\beta_i = \begin{cases} 0 & \text{if } Switch\ Condition(i) = Switch\ Condition(i-1) \\ 1 & \text{if } Switch\ Condition(i) \neq Switch\ Condition(i-1) \end{cases} \quad (20)$$

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 $Switch\ Condition(i-1)$ وضعیت کلید از نظر باز یا بسته‌بودن در زمان $i-1$ است. وضعیت اولیه کلید، قبل از اجرای برنامه در زمان $i=0$ ، باز در نظر گرفته شده است. بدین معنی که ریزش‌بکه در ابتدای اجرای برنامه به صورت مستقل از شبکه بوده است.

هرچه قدر 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. هرچه قدر 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

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.

$$\max : F(x) \quad (11)$$

$$S.T. \quad \begin{cases} G(x) = 0 \\ h_{min} \leq H(x) \leq h_{max} \end{cases} \quad (12)$$

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_{max} و h_{min} 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.

$$\begin{cases} H(x) - s_l - h_{min} = 0 \\ H(x) - s_u - h_{max} = 0 \\ s_u, s_l \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

در رابطه بالا، s_l و s_u به ترتیب 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.

$$\begin{aligned} L(x, \lambda, s_u, s_l, \pi_u, \pi_l, \mu) = & F(x) - \lambda^T G(x) \\ & - \pi_l^T (H(x) - s_l - h_{min}) \\ & - \pi_u^T (H(x) - s_u - h_{max}) \\ & - \mu \left(\sum_i \ln s_{li} + \sum_i \ln s_{ui} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

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

در ادامه، برای کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی تابع لاگرانژ از شرایط کاروش-کوهان-تاکر^۶ استفاده می‌شود.

۶ - اهداف مسئله

در این بخش اهداف مسئله بیان می‌شوند.

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 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.

از آنجایی که 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.

$$\min Fitness = \sum_i^n \alpha_i \mu_i(G_i) \quad (23)$$

$$G_i = \begin{cases} G_1 = ENS \\ G_2 = T_{connect} \\ G_3 = E_{transmitted} \\ G_4 = N_{Switching} \\ G_5 = P_{Loss} \\ G_6 = Parking Profit \end{cases} \quad (24)$$

در رابطه بالا $Fitness$ ، ارزش فازی ناشی از ترکیب اهداف، G_i هدف نام، μ_i تابع عضویت فازی هدف نام، 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. از این‌رو 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.

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

۶-۳- کاهش تلفات

$$P_{Loss} = \sum R_{ij} \times |I_{ij}|^2 \quad i \neq j \quad (21)$$

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.

در صورتی که 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. بدین ترتیب 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

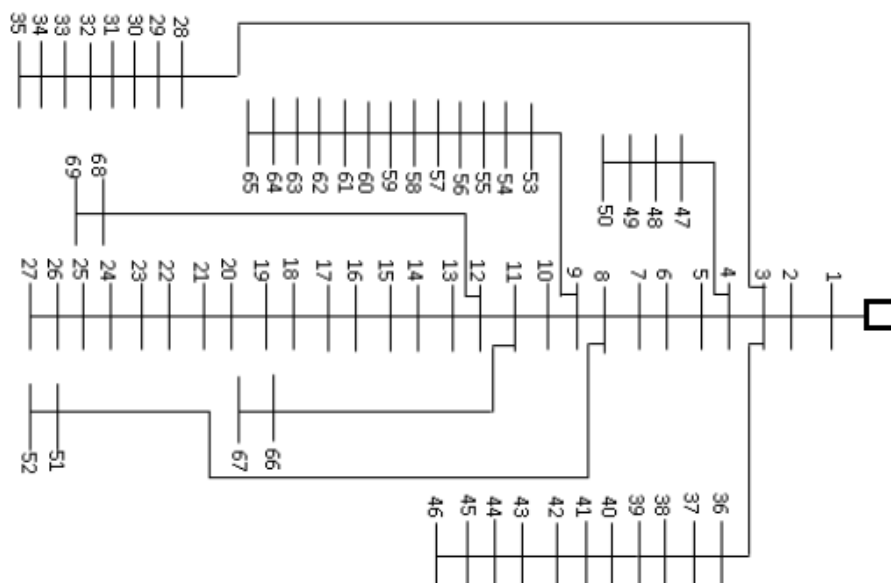
صاحبان خودرو می‌توانند با ذخیره به موقع انرژی در باتری‌ها و تبادل آن با شبکه در ساعات مطلوب، به افزایش سود دریافتی خود، حاصل از طرح، کمک نمایند. برای این منظور، با توجه به سیگنال قیمت انرژی، پارکینگ‌ها باید در ساعات ارزان برق اقدام به ذخیره‌سازی انرژی نموده و در ساعات گران برق، آن را به فروش رسانند.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

$$Parking Profit = \sum_{n=1}^{np} c(t) \times Energy_{sell} - \sum_{n=1}^{np} c(t) \times Energy_{purch} \quad (22)$$

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

۷- روش بهینه‌سازی

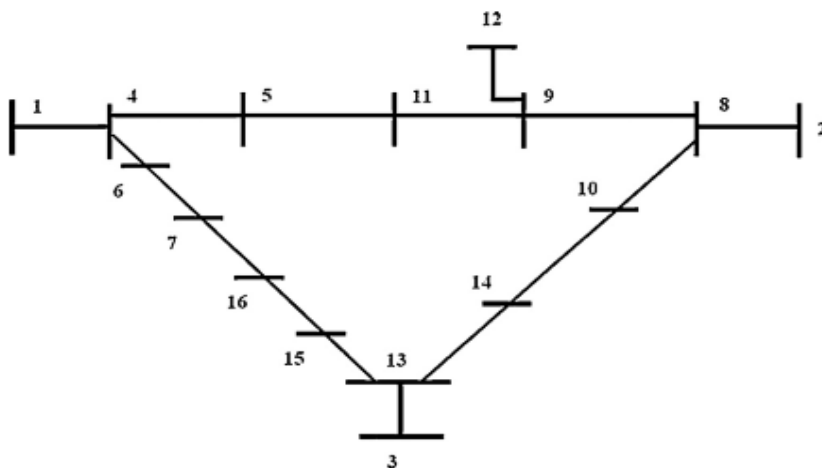
برای جستجو در بین پاسخ‌های ممکن از روش‌های مختلفی می‌توان بهره برد. در این مقاله از روش بهبودیافته ازدحام ذرات (EPSo) به منظور تعیین مقدار شارژ، میزان دشارژ پارکینگ‌های ریزش‌بکه استفاده شده است. الگوریتم PSO رفتار گروهی از ذرات را که مقادیر اولیه با یک جمعیت از جواب‌های پیشنهادی تصادفی مشخص می‌شود، مدل می‌کند [۱۹]. اصل این الگوریتم بر این اساس است که افراد جمعیت



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

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 پخش بار ریزشبکه استفاده می‌شود. تلفات محاسبه شده 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 کیلووات ساعت می‌باشد. به منظور جلوگیری از کاهش عمر مفید باتری‌ها یک سطح حداقلی برای دشارژ باتری خودرو (DOD^v) در نظر گرفته شده است. حداکثر توان شارژ برای خودروها مطابق مرجع [۲۵]، ۵ کیلووات فرض می‌شود. نرخ شارژ و دشارژ در این مقاله یکسان در نظر 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.

مدت زمان برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ ۲۴ ساعت، از ساعت ۷ صبح ۵ آپریل ۲۰۱۵ تا ساعت ۷ صبح روز بعد، بوده و بنا بر فرض، 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 طی شده و نیز زمان ورود به پارکینگ دوم به صورت احتمالاتی و با توجه به مدل ارائه شده، محاسبه می‌شود. فرض بر این است که سایر مسافرت‌های خودروها با مدت زمان کم - غیرقابل استفاده 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 نصب شده 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



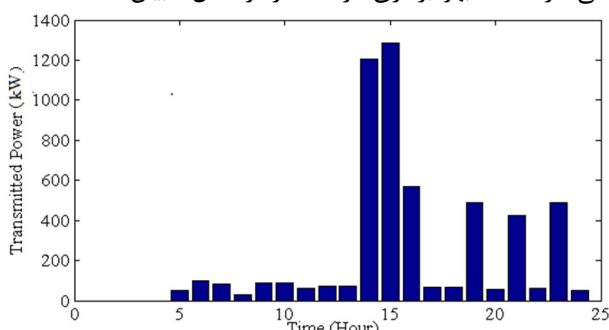
شکل ۲: شبکه تست شبکه اصلی CIVANLAR 16-Bus [۲۳]

در شکل شماره ۴، نمودار آبی‌رنگ میزان توان واحدهای تولیدی ریزشبهه و نمودار قرمز رنگ مقدار مصرف مشترکین را نشان می‌دهد. در صورتی که خودروی الکتریکی در ریزشبهه وجود نداشته باشد، وضعیت شاخص‌ها به صورت جدول ۱ خواهد بود. این جدول شاخص‌های انرژی فروخته نشده، توان انتقالی به ریزشبهه از شبکه اصلی، مدت زمان اتصال ریزشبهه به شبکه اصلی، تعداد کلیدزنی، تلفات و ارزش فازی مسئله را در این حالت بیان می‌کند.

جدول ۱: وضعیت ریزشبهه بدون در نظر گرفتن خودروها

ENS	Transmitted Energy	Connected Time	Switching	Losses	Fuzzy Fitness
۰	۵۴۰۶	۲۰	۱	۳۰۱۱	۰/۳۹۳۶
kWh	kWh	hour		kWh	

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



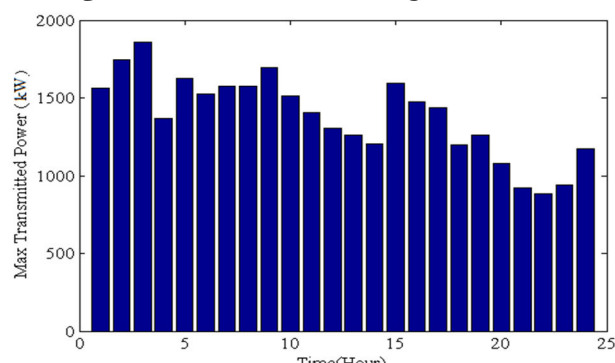
شکل ۵: نمودار زمان و میزان توان تزریقی به ریزشبهه توسط شبکه اصلی

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

از آنجایی که مدت زمان اتصال ریزشبهه به شبکه اصلی زیاد است، به تبع آن، تعداد کلیدزنی کاهش می‌یابد، زیرا فرصت کلیدزنی فراهم نشده است، در نتیجه کاهش تعداد کلیدزنی در این حالت مفهومی پیدا نمی‌کند. برای جلوگیری از ارزش‌یافتن کاهش کلیدزنی در چنین حالتی - کلیدزنی کم به دلیل مدت زمان اتصال بالا، ضریب تأثیر مدت زمان اتصال ریزشبهه به شبکه اصلی نسبت به ضریب تأثیر تعداد کلیدزنی بیش‌تر انتخاب شده است.

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 نصب شده و داده‌های هواشناسی مانند ریزشبهه است. اطلاعات مصرف باس‌های این شبکه از مرجع [۲۶] برداشت شده است.

برای به دست آوردن مدل خط تغذیه، باید حداکثر توان قابل انتقال از شبکه اصلی به ریزشبهه را به دست آورد. با اجرای شبیه‌سازی‌های مربوط به این مدل، نتایج به صورت نمودار شکل ۳ به دست می‌آید.



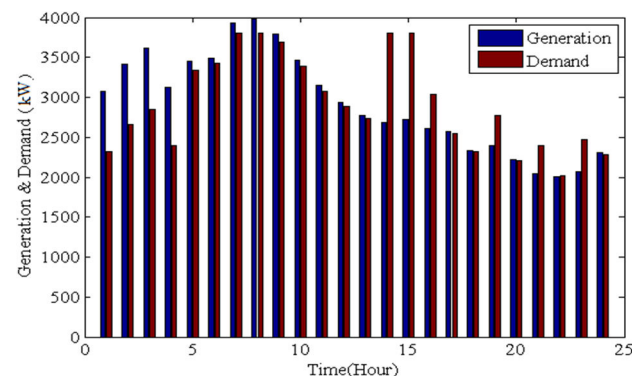
شکل ۳: حداکثر توان قابل انتقال به ریزشبهه از شبکه اصلی

در این نمودار حداکثر توان قابل انتقال به ریزشبهه در ساعات بهره‌برداری نشان داده شده است.

در ادامه و به منظور 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 ریزشبهه شبیه‌سازی می‌شود. سناریوی دوم به نشان دادن 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.

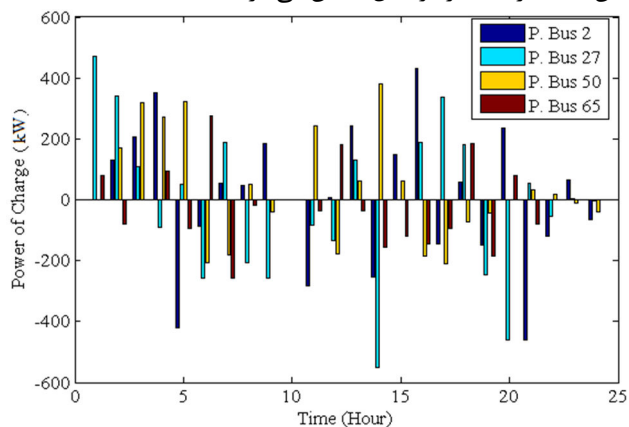
۸-۱ - سناریوی اول: بدون حضور خودرو الکتریکی در ریزشبهه

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



شکل ۴: نمودار مصرف مشترکین و تولیدات داخلی ریزشبهه

همان‌طور که از نمودار مشخص است مدت‌زمان اتصال ریزشکبه به شبکه اصلی ۷ ساعت بوده که به دلیل صفر بودن 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 نمودار شکل ۸ بیان می‌شود.

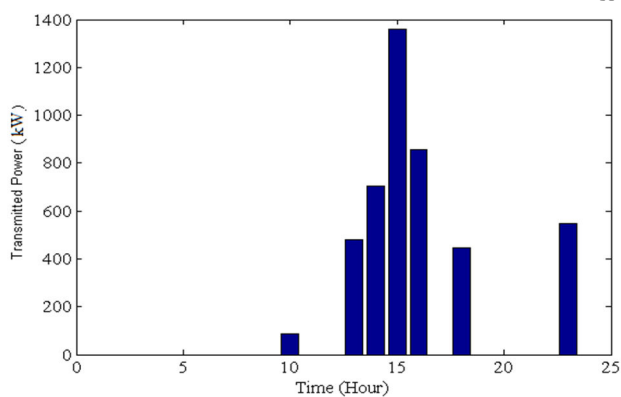


شکل ۸: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، وضعیت شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۳: شبیه‌سازی با هدف کاهش کلیدزنی

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

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



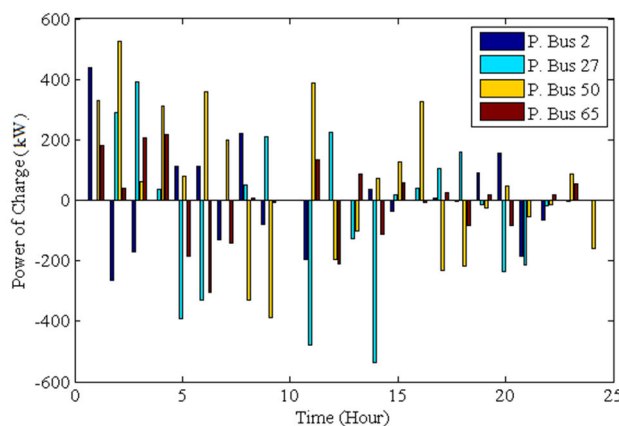
شکل ۹: نمودار زمان و میزان توان تزریقی به ریزشکبه توسط شبکه اصلی

در این حالت تعداد ساعات اتصال ریزشکبه 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 قابل مشاهده است، نمودار تزریق توان، حالت گسسته‌تری به خود می‌گیرد. این افزایش تعداد کلیدزنی باعث کاهش عمر تجهیزات کلید ورودی ریزشکبه می‌شود. کاهش تعداد کلیدزنی در ریزشکبه به‌عنوان یک عامل کمک‌کننده در جلوگیری از خاموشی است.

۸-۲- سناریوی دوم: با حضور خودرو و با مقایسه در نظر گرفتن هدف کاهش کلیدزنی

در این سناریو دو مقایسه صورت می‌گیرد. تفاوت حالت اول و دوم در تأثیر هدف کاهش کلیدزنی است. برای این منظور، 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.



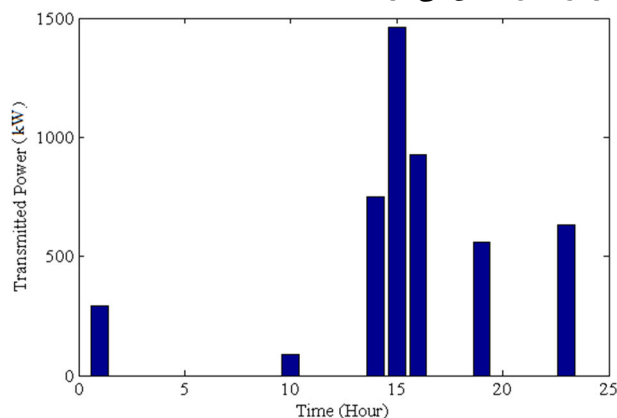
شکل ۶: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

در هر یک از زمان‌های داده شده 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 بیان‌کننده حالت دشارژ خودروها می‌باشد. در این حالت وضعیت شاخص‌ها به صورت جدول شماره ۲ خواهد بود.

جدول ۲: شبیه‌سازی بدون تأثیر هدف کاهش کلیدزنی

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

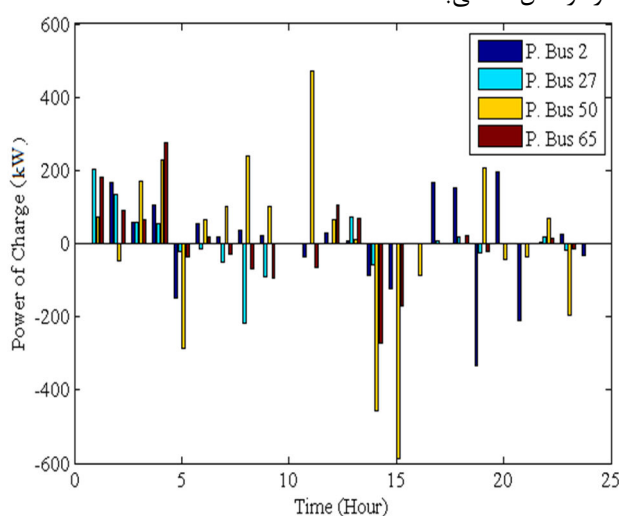
نحوه وابستگی ریزشکبه به شبکه اصلی برای این وضعیت توسط نمودار شکل ۷ بیان می‌شود.



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

در این سناریو دو مقایسه صورت می‌گیرد: در حالت اول خودروها تنها در یک پارکینگ حضور دارند، در صورتی که در حالت دوم خودروها بین دو پارکینگ جابه‌جا می‌شوند. برای مساوی نمودن شرایط، مقدار توان کسر شده 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 هر یک از پارکینگ‌ها به صورت نمودار شکل 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: شبیه‌سازی بدون جابه‌جایی خودرو در پارکینگ‌ها

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

با توجه به اینکه سطح تولید داخل ریزشبه در این سناریو افزایش یافته است و با مدیریت صحیح شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی، ریزشبه در این حالت به صورت 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 هزینه‌ی مازادی انتقال می‌دهند. برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ در این حالت در نمودار شکل ۱۲ آمده است.

به منظور بررسی تأثیر درصد حضور خودروها در مسئله، شبیه‌سازی در حالت دوم مجدداً اجرا می‌گردد. در این مرحله، در صورتی که 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.

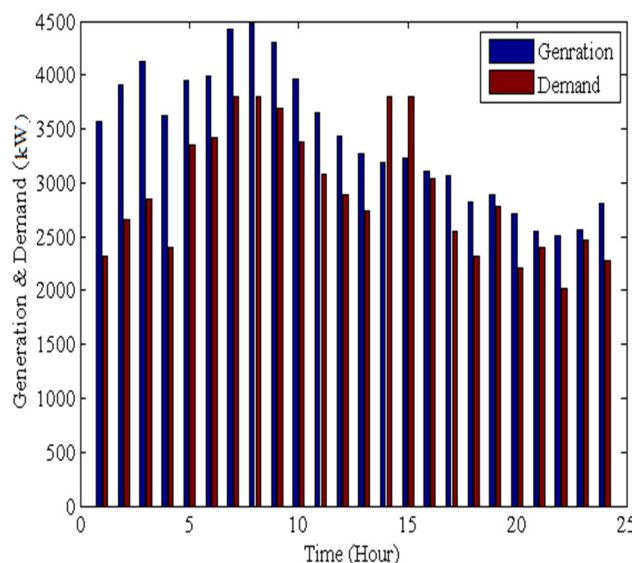
جدول ۴: مقایسه تأثیر درصد حضور خودروها در حالت کاهش کلیدزنی

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

همان‌طور که از جدول برمی‌آید و با توجه به ارزش فازی نمایش داده شده 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.

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

در این سناریو به منظور افزایش قدرت انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی، برای شارژ و دشارژ خودروها، تولید ریزشبه که افزایش داده می‌شود. در این حالت امکان انتخاب متنوع‌تر برای مقدار شارژ و دشارژ خودروها به وجود می‌آید. هرچقدر نیاز ریزشبه به توان تولیدی بیش‌تر باشد قابلیت انتخاب کاهش می‌یابد. در نتیجه بایستی با افزایش تولید، نیاز ریزشبه 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 ریزشبه را در این سناریو نشان می‌دهد.



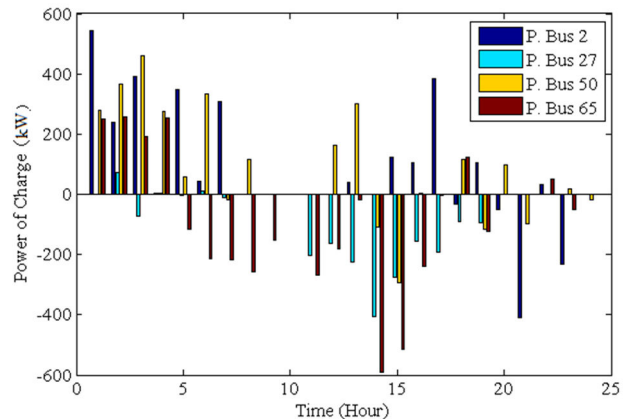
شکل ۱۰: نمودار مصرف مشترکین و تولیدات داخلی ریزشبه

۹- نتیجه‌گیری

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط نوع جدیدی از سیستم‌های قدرت بنام ریزشبه را تشکیل می‌دهد. به‌کارگیری خودروهای الکتریکی در کنار این ریزشبه‌ها ضمن بهبود قابلیت اطمینان ریزشبه، 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 ریزشبه 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 ریزشبه، 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. Shahidepour, "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. Shahidepour, 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,"



شکل ۱۲: 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: شبیه‌سازی با در نظر گرفتن مسافرت خودروها

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

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

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

در صورتی که قیمت انرژی در ساعات مختلف متفاوت فرض شود و مجدداً شبیه‌سازی برای حالت دوم تکرار گردد نتایج شاخص‌ها به صورت 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	.	.	.	.	۲۷۱۹
Variable	.	.	.	.	۳۰۰۷
	kWh	kWh	hour		kWh

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

- [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
- [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*, vol. 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، «روش جدید در جایابی بهینه خازن‌ها و ژنراتورهای توزیع شده در شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده 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 هارمونیک 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.html/>.
- [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.