

برنامه‌ریزی محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی و شارژ و دشارژ آن به منظور بهبود قابلیت اطمینان در شبکه‌های هوشمند

مهدی تورانی^۱، دانشجوی دکتری؛ محمدرضا آقاابراهیمی^۲، استاد؛ 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: به‌کارگیری خودروهای الکتریکی در ترکیب با ریزشبکه‌ها، مزایای بسیاری را برای سیستم قدرت به وجود می‌آورد. استفاده از مزیت انتقال توان توسط خودروها در مسافرت‌های روزانه، سبب کاهش وابستگی به سیستم الکتریکی شده و در نتیجه می‌تواند با کاهش وابستگی الکتریکی ریزشبکه‌ها به شبکه اصلی، باعث بهبود قابلیت اطمینان سیستم گردد. در این مقاله سعی بر آن است که با بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و تعیین محدوده پارکینگ‌ها در هر ساعت از زمان بهره‌برداری، به بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته شود. این بهبود شامل کاهش انرژی تأمین‌نشده، افزایش استقلال ریزشبکه‌ها و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری می‌باشد. در کنار بهبود اهداف شبکه، جلب رضایت مالکین خودرو، از طریق کاهش مسافت پیموده‌شده تا محل پارک خودروها، در فرایند بهینه‌سازی مورد توجه قرار می‌گیرد. تعیین محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف شبانه‌روز در بازه بهره‌برداری، برنامه‌ریزی همزمان شارژ و دشارژ با در نظر گرفتن این تعیین محدوده، به‌کارگیری مسئله در بهبود استقلال ریزشبکه، کاهش انرژی تأمین‌نشده و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری، توجه به کاهش مسافت پیموده‌شده خودرو تا محل پارک در این مسئله و نیز استفاده از پتانسیل انتقال توان خودروهای الکتریکی در مسافرت‌های روزانه، نوآوری‌های مطرح در این پژوهش هستند.

واژه‌های کلیدی: استقلال ریزشبکه، خودروهای الکتریکی، جابه‌جایی خودرو در پارکینگ‌ها، ذخیره بهره‌برداری، مسافرت روزانه خودرو، قابلیت اطمینان.

Scheduling Parking Lot Area and Charging and Discharging of Electric Vehicles in order to Improve the Reliability of Smart Grids

M. Tourani¹, PhD. Student; M. R. Aghaebrahimi², Professor; H. R. Najafi³, Associate Professor

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: The use of electric vehicles in combination with microgrids creates many advantages for the power system. Using the ability of transferring electrical power by vehicles' daily travels, reduces the dependence on the electrical system. As a result, it can improve the reliability of the system by reducing the dependence of microgrid to the main grid. This paper intends to optimize the scheduling of parking lot area and the charging and discharging of Electric Vehicles during the hours of the operation time for improving the reliability indices. This improvement including the reduction of the Energy Not Supplied, increasing the independence of the microgrid and improving the spinning reserve. This is achieved along with the satisfaction of the electrical vehicle owners by reducing the mileage to the parking lot. Determining the zone of each parking lot at different hours of the day in the operation time, scheduling parking lot area and the charging and discharging of Electric Vehicles simultaneously, using these issues to improve microgrid's independence, decreasing the Energy Not Supplied, improving the spinning reserve, reducing the distance traveled by vehicles to the parking lot and using the power transmission potential of electric vehicles' daily travels, are the innovations of this study.

Keywords: Autonomy of microgrid, electric vehicles, reliability, movement of vehicles in Parking Lots, vehicle daily travel, spinning reserve.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۶

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱

نام نویسنده مسئول: محمدرضا آقاابراهیمی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط، نوع جدیدی از سیستم قدرت را بنام ریزشبکه تشکیل می‌دهد. این سیستم قادر است به صورت جدا از شبکه مصرف مشترکین خود را تأمین و بدین ترتیب مانع از انتقال خاموشی‌های شبکه اصلی به مشترکین ریزشبکه شود. از سوی دیگر، در صورت عدم توانایی در تأمین بار مشترکین در ساعاتی خاص، ریزشبکه قادر خواهد بود با اتصال به شبکه اصلی، کمبود توان خود را جبران نماید. استفاده مؤثرتر از واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر، امکان تأمین تقاضای رشد بار و بهبود عملکرد سیستم، از دیگر ویژگی‌های ریزشبکه به شمار می‌آیند.

افزایش به کارگیری واحدهای تولید توان با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ریزشبکه‌ها سبب توجه به قابلیت‌اطمینان در این سیستم‌ها شده است. از آنجایی که این قبیل منابع تولید پراکنده دارای عدم قطعیت بالایی هستند، بایستی تدابیر لازم جهت تأمین پایدار توان برای مصرف‌کنندگان اندیشیده شود. در این زمینه تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. در مرجع [۱] به ارائه یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت‌اطمینان مشترکین ریزشبکه پرداخته شده است. در [۲]، کاربرد سیستم‌های توزیع با قابلیت‌اطمینان بالا (HRDS) 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 قابلیت‌اطمینان برای ریزشبکه در حالت مستقل، شاخص حضور تولیدات پراکنده، شاخص‌های اقتصادی ریزشبکه و ... هستند. در مرجع [۴] به دسته‌بندی شبکه توزیع به منظور تشکیل ریزشبکه‌ها با خصوصیت خودکفایی بهینه پرداخته شده است. در مرجع [۵]، نویسندگان به دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌هایی با قابلیت‌اطمینان و امنیت تولید بالا پرداخته‌اند. بدین منظور از شاخص‌های SAIDI، SAIFI و MAIFI برای ارزیابی قابلیت‌اطمینان استفاده شده است. در مرجع [۶]، دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌ها با لحاظ کردن خاصیت احتمالاتی بار و تولید پراکنده صورت پذیرفته است. ریزشبکه‌های حاصل، از بهینه‌سازی مسئله با هدف بهبود قابلیت‌اطمینان و امنیت تولید، به دست می‌آیند.

با توجه به گرایش روزافزون سیستم‌های قدرت به سمت ریزشبکه‌ها و به دلیل چالش‌های پیش روی آن‌ها، می‌توان از مزایای خودروهای الکتریکی در پیشبرد اهداف ریزشبکه بهره‌برداری کرد. از جمله این مزایا، کمک خودروهای الکتریکی در زمینه بهبود قابلیت‌اطمینان نظیر بهبود استقلال ریزشبکه، بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری و کاهش انرژی تأمین‌نشده در کنار جلب رضایت صاحبان خودرو است. خودروهای الکتریکی وسایل نقلیه‌ای هستند که می‌توانند ضمن فعالیت در فرایند حمل‌ونقل، به دلیل دارا بودن ذخیره‌سازهای انرژی، مزیت‌های بسیاری را برای شبکه قدرت فراهم آورند. در زمینه خودروهای

الکتریکی در مرجع [۷] مطالعاتی بر روی تحقیق هزینه-فایده و تأثیر خودروهای هیبریدی برقی متصل‌شونده به شبکه^۲ (PHEV) 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، به ویژه 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 نیز در مرجع [۱۴] مورد بحث قرار گرفته است.

در پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه ریزشبکه، کم‌تر به استفاده از قابلیت‌های خودروهای الکتریکی در بهبود وضعیت سیستم پرداخته شده است. پتانسیل حضور خودروهای الکتریکی می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود شرایط شبکه داشته باشد. آنچه باید در مسئله حضور خودروها به آن توجه شود جلب رضایت صاحبان خودروها برای مشارکت در طرح‌ها است که تاکنون در این زمینه توجه کم‌تری صورت گرفته است. این خودروها در طول شبانه‌روز با جابه‌جایی توان در بین پارکینگ‌ها بدون نیاز به شبکه برق‌رسانی می‌توانند نقش مهمی در بهبود وضعیت سیستم داشته باشند. مدل‌سازی این رفتار نیز کم‌تر مورد توجه بوده است. به منظور افزایش بازدهی پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی در ساعات بهره‌برداری می‌توان با برنامه‌ریزی صورت‌گرفته، محدوده هر پارکینگ را در هر ساعت تعیین و به وسیله آن ظرفیت بهره‌برداری پارکینگ را در نقاط مختلف شبکه کنترل نمود. بدین ترتیب می‌توان با توجه به پروفیل مصرف، تزریق توان را به نقاط مهم‌تر هدایت نمود که این مسئله تاکنون انجام نشده است.

در این مقاله سعی بر آن است که با بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و تعیین محدوده پارکینگ‌ها در هر ساعت از زمان بهره‌برداری، به بهبود وضعیت قابلیت‌اطمینان پرداخته شود. این بهبود شامل کاهش انرژی تأمین‌نشده، افزایش استقلال ریزشبکه‌ها و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری است و در کنار جلب رضایت صاحبان خودرو، از طریق کاهش مسافت پیموده‌شده تا محل پارک خودروها، صورت می‌گیرد.

از آنجایی که صاحبان خودرو در طول شبانه‌روز علاوه بر حضور در خانه، زمان فراوانی را در سایر مکان‌ها سپری می‌کنند و با توجه به استفاده از خودروها برای مسافرت‌های روزانه، می‌توان از پتانسیل انتقال توان الکتریکی از مسیری به غیر از خطوط برق‌رسانی، به منظور بهبود اهداف ریزشبکه استفاده کرد. بدین ترتیب، خودروها ضمن جابه‌جایی افراد می‌توانند توان تولیدی را بدون نیاز به خطوط انتقال از یک پارکینگ به پارکینگ دیگر 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 آن‌دسته از مسافرت‌ها در این نگاه لحاظ می‌شوند که از نظر مدت‌زمان حضور در پارکینگ

در آن واقع شده‌اند مراجعه می‌کنند. محدوده پارکینگ‌ها، بر اساس نیاز مسئله، قابلیت تغییر داشته و بدین ترتیب، امکان استفاده از خودروهای الکتریکی با توجه به اهداف مشخص در پارکینگ بهینه فراهم می‌آید. لازم به ذکر است در فرایند تعیین پارکینگ‌ها، همان‌طور که در قسمت اهداف مسئله نیز آمده است، کاهش مسیر طی شده توسط خودرو تا پارکینگ نیز لحاظ شده است.

به‌منظور بهبود اهداف سیستم قدرت، همزمان با تعیین محدوده هر پارکینگ، میزان شارژ و دشارژ خودروها در هر پارکینگ در طی هر ساعت از زمان بهره‌برداری به‌دست می‌آید.

نکته دیگری که در مسئله حضور خودرو در این مقاله بدان توجه شده است، استفاده از اطلاعات مسافرت‌های روزانه خودروها در بهبود عملکرد سیستم است. در طول شبانه‌روز خودروها ممکن است در نقاط مختلفی از شهر قرار داشته باشند. از آنجایی که این مسافرت‌ها به‌منظور حمل و نقل متداول صورت می‌گیرد، پس هیچ هزینه مازادی برای شبکه وجود ندارد. حال در صورتی که بتوان از این حمل‌ونقل برای اهداف سیستم استفاده کرد، بازدهی شبکه افزایش خواهد یافت. یکی از ظرفیت‌هایی که می‌توان از جابه‌جایی خودروها به‌دست آورد، امکان انتقال توان به ریزشبه‌ها بدون نیاز به خطوط تغذیه الکتریکی است. بدین‌صورت، با کاهش وابستگی و یا حتی بدون اتصال ریزشبه‌ها به شبکه اصلی نیاز مشترکین ریزشبه‌ها مرتفع شده و امکان استقلال بیش‌تر ریزشبه‌ها فراهم می‌آید. در این حالت عملاً انتقال توان توسط وسایل نقلیه صورت گرفته و در نتیجه باعث کاهش وابستگی الکتریکی ریزشبه‌ها و در نتیجه کاهش انتقال خاموشی از شبکه اصلی می‌گردد. لازم به یادآوری است که هزینه انتقال خودرو از یک مکان به مکان دیگر به‌علت حمل‌ونقل، شخصی بوده و منجر به هزینه اضافی برای شبکه نمی‌شود. هرچند که بخشی از هزینه می‌تواند به‌عنوان مشوق 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، آن دسته از مسافرت‌هایی در مدل‌سازی شارژ و دشارژ حضور دارند که مدت زمان‌های توقف آن‌ها در مقصد دارای یک زمان حداقلی لازم باشند. سایر مسافرت‌های دارای زمان کم توقف به‌صورت عدم حضور در پارکینگ مدل می‌شوند.

۳- مدل‌سازی اجزای سیستم

۳-۱- مدل حضور خودروهای الکتریکی

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. مکان خودروها در هر ساعت از زمان بهره‌برداری، با توجه به اطلاعات مسافرتی خودروها و محدوده تعیین شده پارکینگ‌ها به‌دست می‌آید. اطلاعات مسافرتی خودروها قبل از اجرای طرح، از صاحبان آن‌ها دریافت می‌شود. محدوده هر پارکینگ

چشمگیر باشند. سایر مسافرت‌های روزانه به‌صورت عدم امکان دسترسی و بهره‌برداری از خودرو مدل خواهند شد.

در این مقاله نوآوری‌هایی در زمینه تعیین محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف شبانه‌روز در بازه بهره‌برداری، برنامه‌ریزی همزمان شارژ و دشارژ با در نظر گرفتن این محدوده‌سازی، به‌کارگیری مسئله در بهبود استقلال ریزشبه‌ها، کاهش انرژی تأمین‌نشده و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری، توجه به کاهش مسافت پیموده‌شده خودرو تا محل پارک در این مسئله و نیز استفاده از پتانسیل انتقال توان خودروهای الکتریکی در مسافرت‌های روزانه، صورت گرفته است.

۲- تعریف مسئله و مدل پیشنهادی

بهبود قابلیت‌اطمینان یکی از الزامات مهم در سیستم قدرت است. با گسترش روزافزون ریزشبه‌ها، مبحث قابلیت‌اطمینان را می‌توان از دیدگاه‌های دیگری نیز بررسی نمود. هرچقدر ریزشبه‌ها توانایی بیش‌تری در حفظ استقلال خود داشته باشد، مشترکین آن دارای قابلیت‌اطمینان بالاتری خواهند بود؛ زیرا از انتقال خاموشی ناشی از خطای شبکه بالادست به ریزشبه‌ها جلوگیری خواهد شد. این استقلال را می‌توان در کاهش توان تزریقی از شبکه اصلی به ریزشبه‌ها جستجو کرد. از دیگر شاخص‌های قابلیت‌اطمینان در سیستم قدرت بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری است. این نوع ذخیره از نوع ذخیره چرخان بوده و در ساعات مختلف بهره‌برداری به‌منظور کاهش خاموشی ناشی از خروج تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این موضوع، استفاده از پتانسیل خودروهای الکتریکی در تأمین ذخیره بهره‌برداری بسیار سودمند است. این خودروها قادرند در هنگام ضرورت به‌سرعت و تا حداکثر ممکن دشارژ شده و باعث کاهش دامنه خاموشی در هنگام ایجاد خطا شوند. کاهش انرژی تأمین‌نشده نیز از دیگر مباحث مطرح در زمینه قابلیت‌اطمینان است که در این پژوهش به بررسی آن پرداخته می‌شود.

یکی از روش‌هایی که می‌تواند به بهبود قابلیت‌اطمینان ریزشبه‌ها توسط خودروهای الکتریکی کمک کند، تعیین محدوده مناسب با هر ساعت برای پارکینگ‌ها با توجه به میزان مصرف بار در قسمت‌های مختلف سیستم برای ساعات مختلف شبانه‌روز است. بدین‌صورت که خودروهایی که برای سفر روزانه از پارکینگ اولیه خارج شده‌اند و هنوز به پارکینگ بعدی مراجعه نکرده‌اند، با توجه به برنامه بهینه‌سازی به پارکینگ مطلوب راهنمایی می‌شوند. انتخاب این پارکینگ‌ها به‌نحوی است که در کنار بهبود اهداف سیستم قدرت، به کاهش مسافت پیموده شده خودروها تا پارکینگ، برای جلب رضایت صاحبان خودرو، کمک می‌کند. نحوه اجرایی شدن محدوده پارکینگ‌ها بدین‌صورت است که محدوده تعیین شده برای پارکینگ‌ها، در سطح شهر توسط مانیتورهای اطلاع‌رسانی می‌شود و صاحبان خودروهای الکتریکی با توجه به این اطلاعات، در صورتی که خودروی آن‌ها خارج پارکینگ باشد و قصد پارک آن را داشته باشند، به پارکینگ تعیین شده برای محدوده‌ای که

۳-۲- مدل مصرف مشترکین

مدل ارائه شده در این مقاله برای بار مشترکین، تابع توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص است.

$$P_{demand} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_D} \text{EXP} \left(\frac{-(x - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2} \right) \quad (7)$$

و σ_D و μ_D انحراف معیار و میانگین تابع توزیع احتمال هستند.

۳-۳- مدل حضور واحدهای تولیدی بادی و فتوولتائیک

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 کرد:

$$P_{Wind} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ aV^2 + bV + c & V_{cut\ in} \leq V < V_{rated} \\ P_{rated} & V_{rated} \leq V < V_{cut\ out} \\ 0 & V_{cut\ out} \leq V \end{cases} \quad (8)$$

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 پایین و سرعت نامی قابل محاسبه بوده که روابط آن در مرجع [۱۷] آمده است.

برای به دست آوردن مدل توان تولیدی فتوولتائیک، شدت تابش و مدل پنل‌های خورشیدی مورد نیاز هستند. در این مقاله شدت تابش خورشید، G_h از 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 (۹) محاسبه می‌شود.

$$P_{ph} = \begin{cases} -0.0622 \times G_h^2 + 36.5073 G_h + 351.2987 & 0 < G_h < 190 \\ (0.0022 \times G_h + 4.8821) \times 10^3 & 190 \leq G_h < 1000 \end{cases} \quad (9)$$

در رابطه بالا، P_{ph} توان پنل فتوولتائیک را بر حسب وات و G_h شدت تابش را بر حسب وات بر مترمربع نشان می‌دهد.

۴- اهداف و قیود مسئله

در این بخش به بیان اهداف و قیود مسئله پرداخته می‌شود.

۴-۱- اهداف مسئله

الف: بهبود قابلیت اطمینان

برای ارزیابی قابلیت اطمینان ابتدا بایستی شاخص‌های مورد نظر تعیین شوند. در ادامه، با توجه به اهداف مسئله به تعریف این شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

نیز توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای همان ساعت مشخص می‌شود. خودروهای خارج از پارکینگ که برای مسافرت روزانه از پارکینگ اولیه خارج می‌شوند، در هنگام اتمام سفر، با توجه به محدوده تعیین شده به سمت پارکینگ مطلوب هدایت می‌شوند. این محدوده توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای هر پارکینگ در زمان مراجعه خودروها به دست می‌آید. تعیین محدوده در هر زمان تنها برای خودروهای خارج از پارکینگ که قصد ورود به پارکینگ را دارند، کاربرد دارد. 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 در هر روز در یک بازه زمانی مناسب مانند هم در نظر گرفته شود، می‌توان ساعت خروج و مدت زمان عدم حضور در پارکینگ تا رسیدن به مقصد بعدی را با توجه به مرجع [۱۵] مطابق روابط (۱) و (۲) بیان کرد.

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

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

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

از آنجایی که در فرایند جابه‌جایی خودروها، ممکن است مسافت‌های مختلفی طی شود، سطح شارژ باتری 3 (SOC) در هنگام رسیدن به پارکینگ بعدی متفاوت خواهد بود. برای مدل‌سازی مسافت پیموده شده 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.

مقدار ظرفیت خود را در هنگام وقوع خطا داشته باشد. بدین ترتیب، در عمل با پیش‌بینی حداکثر تولید واحدهای تجدیدپذیر در هر ساعت و نیز ظرفیت پست تغذیه اولیه و امکان به‌کارگیری تمام این ظرفیت‌ها در هنگام وقوع خطا، ساماندهی و تنظیم نهایی میزان ظرفیت ذخیره بهره‌برداری و چگونگی تخصیص این مقدار در بین واحدها، بر عهده پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی خواهد بود.

ب: جلب رضایت صاحبان خودروها

یکی از اهدافی که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود، جلب رضایت صاحبان خودرو برای مشارکت بیشتر در طرح‌های ارائه شده است. برای این منظور سعی بر آن است تا مسافت پیموده شده توسط خودروها تا پارکینگ حداقل شود. به همین دلیل، از شاخص پیشنهادی مسافت استفاده می‌گردد. این شاخص از محاسبه توان دوم فاصله هر خودرو از محل مراجعه تا مکان پارکینگ مربوط به آن خودرو به دست می‌آید. منظور از محل مراجعه، مکانی است که صاحب خودرو در آنجا قصد انجام کاری داشته ولی به علت مشارکت در طرح، خودرو را به پارکینگ محدوده محل مراجعه منتقل نموده است.

$$Distance = \sum_j^{n_{park}} \sum_i^{n_{veh}} (x_{vehicle_{ij}})^2 \quad (13)$$

که در آن $x_{vehicle_{ij}}$ فاصله خودرو i تا پارکینگ j ، n_{park} تعداد پارکینگ‌ها، n_{veh} تعداد خودروها و $Distance$ شاخص مسافت است. با کاهش این شاخص، مسافت طی شده خودروها تا پارکینگ کم شده و در نتیجه تمایل بیشتر برای مشارکت در طرح وجود خواهد داشت.

۴-۲- قیود مسئله

خودروهای الکتریکی به‌منظور شارژ و دشارژ از محدودیت‌هایی برخوردار می‌باشند که باید به آن‌ها توجه شود.

$$P_{charge} \leq P_{charge}^{max} \quad (14)$$

$$P_{discharge} \leq P_{discharge}^{max} \quad (15)$$

$$E_{Storage} \leq Capacity\ of\ Battery \quad (16)$$

$$E_{storage} \geq DOD \quad (17)$$

در روابط بالا، P_{charge} و $P_{discharge}$ توان شارژ باتری و توان دشارژ آن، $E_{Storage}$ انرژی ذخیره شده در باتری و DOD عمق تخلیه باتری می‌باشند.

۵- فرمول‌بندی ریاضی مسئله

به‌منظور حل مسئله شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و تعیین محدوده هر پارکینگ با توجه به اهداف بیان شده به فرمول‌بندی مسئله از طریق معرفی تابع ریاضی پرداخته می‌شود. این تابع شامل هر یک از اهداف بوده و میزان آن‌ها را به صورت عددی تعیین می‌کند. از آنجایی که در این مسئله اهداف مختلف با واحدهای متفاوت وجود دارند، از

الف ۱- کاهش انرژی تأمین‌نشده (ENS)

این شاخص بیانگر توانمندی سیستم در برآوردن نیاز مصرف‌کنندگان است. هرچقدر شاخص انرژی تأمین‌نشده در یک سیستم کم‌تر باشد، قابلیت‌اطمینان آن بالاتر خواهد بود.

$$ENS = \left(\sum_i^N ENS_i \right) \quad (10)$$

در روابط بالا ENS شاخص انرژی تأمین‌نشده سیستم و N مدت‌زمان بهره‌برداری هستند.

الف ۲- کاهش شاخص وابستگی ریزشکبه‌ها

این شاخص از طریق میزان توان تزریقی به ریزشکبه‌ها از شبکه اصلی به دست می‌آید. هرچقدر این شاخص کاهش یابد، استقلال ریزشکبه بهتر می‌شود.

$$E_{transmitted} = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N E_{transmitted_{ij}} \quad (11)$$

$E_{transmitted_{ij}}$ انرژی دریافتی ریزشکبه j در زمان i از شبکه اصلی، M تعداد ریزشکبه‌ها و N مدت‌زمان بهره‌برداری است.

الف ۳- بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری

هرچقدر میزان ظرفیت ذخیره بهره‌برداری افزایش یافته و نیز توزیع این ظرفیت در سیستم قدرت به شکل مطلوب‌تری صورت گیرد، مقدار خاموشی در هنگام خروج اجزای شبکه کاهش می‌یابد. برای ارزیابی میزان خاموشی در اثر خروج تجهیزات شبکه و به تبع آن، تعیین مقدار ظرفیت ذخیره بهره‌برداری و نحوه تخصیص آن بین واحدهای تولیدی، از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود. در این مسئله، چون در ساعات مختلف بهره‌برداری وضعیت شبکه متفاوت است، بایستی در هر ساعت شاخص میانگین قطع بار را محاسبه و برای شاخص نهایی از مقادیر به دست آمده میانگین‌گیری کرد. بدین ترتیب، با استفاده از بهبود رابطه (۱۲)، در بازه بهره‌برداری، در صورت وقوع خطا بار خاموش شده کم‌ترین مقدار ممکن خواهد بود.

$$SAFIOT = \frac{1}{T} \sum_{S=1}^T \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i N_{is}}{N_s} \quad (12)$$

در این رابطه، $SAFIOT^f$ شاخص خاموشی بار در زمان بهره‌برداری، N_{is} تعداد مشترکین خاموش شده در اثر خروج تجهیزات نام در وضعیت نام شبکه، N_s مصرف کل مشترکین در وضعیت نام، λ_i نرخ خرابی خطاهای مانا، T مدت‌زمان بهره‌برداری و m تعداد تجهیزات هستند.

این رابطه میانگین قطع بار در هنگام خروج تجهیزات را در بازه بهره‌برداری نشان می‌دهد. هرچقدر این شاخص کم‌تر باشد، توانمندی سیستم در تأمین توان در هنگام خرابی بیشتر است. واحدهای تولیدی که قابلیت سامان‌دهی برای تعیین وضعیت ذخیره بهره‌برداری را در این پژوهش دارند، پارکینگ خودروهای الکتریکی هستند. از آنجایی که سایر واحدهای تولیدی در این پژوهش از نوع تجدیدپذیر هستند، می‌توان از حداکثر ظرفیت آن‌ها برای ذخیره بهره‌برداری با هزینه کم استفاده کرد. فرض می‌شود که پست تغذیه اولیه نیز قابلیت تزریق تا حداکثر

نواحی موفقیت‌آمیز قبلی سوق داده می‌شوند و از موفقیت افراد همسایه هم تأثیر می‌پذیرند [۲۰].

برای مقایسه هر یک از پاسخ‌ها با یکدیگر و برآزش آن‌ها، از تابع ارزش‌یابی استفاده می‌شود. همان‌طور که بیان شد، چون جنس اهداف متفاوت است از روش فازی برای بهبود عملکرد الگوریتم‌ها بهره‌گیری شده است. در روش فازی با استفاده از توابع عضویت، اهداف مختلف دارای ارزش هم‌واحد شده و در نتیجه می‌توان ارزش اهداف را با یکدیگر ترکیب نمود.

در این پژوهش، نحوه عملکرد تابع عضویت بدین صورت است که به بهترین پاسخ هر هدف مقدار صفر و به بدترین پاسخ مقدار یک نسبت داده می‌شود. در سایر پاسخ‌ها، بسته به مطلوبیت هدف در آن پاسخ و به نسبت بهترین و بدترین جواب در آن هدف خاص، عددی مابین صفر و یک نسبت داده خواهد شد.

با ترکیب اعداد به‌دست‌آمده از توابع عضویت هر هدف برای هر پاسخ ممکن، یک مقدار مشخص به‌دست می‌آید که این مقدار برای پاسخ بهینه باید در کم‌ترین حد خود باشد.

۷- شبیه‌سازی و نتایج

به‌منظور اعتباربخشی به مسئله ارائه‌شده در این پژوهش، از شبکه تست ۶۹ باسه IEEE [۲۱]، به‌عنوان یک شبکه هوشمند نمونه، استفاده شده که از نظر ساختاری به دو ریزشبه‌ک و شبکه اصلی تقسیم می‌شود. این ساختار در شکل ۱ آمده است.

شبکه اصلی از طریق یک پست تغذیه اولیه به شبکه بالادست متصل است. ظرفیت این پست حداکثر ۵۰۰ کیلووات است و در موارد اضطراری قادر به تزریق حداکثری توان می‌باشد. بر روی این سیستم قدرت چندین واحد تولیدی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی قرار داده شده است که اطلاعات آن‌ها همراه با محل نصب در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱: واحدهای تولیدی شبکه تست

	واحدهای فتوولتائیک		واحدهای بادی	
	تعداد پنل‌ها	باس نصب	تعداد توربین‌ها	باس نصب
شبکه اصلی	۱۵۰۰	۴۰	۳	۳
ریزشبه‌ک ۱	۱۵۰۰	۲۱	۳	۳
ریزشبه‌ک ۲	۷۵۰	۶۵	۳	۳

هر واحد فتوولتائیک ۱/۵ کیلوواتی بوده و ظرفیت نامی هر توربین بادی ۲ مگاوات است. داده‌های سرعت باد و تابش خورشید مربوط به بخش مکه‌هنری در ایالت داکوتای شمالی بوده و از مرجع [۲۲] برداشت شده است. توربین نصب‌شده واحد بادی نیز از نوع V-100 بوده که اطلاعات آن از مرجع [۲۳] به‌دست آمده است.

الگوریتم‌های فازی جهت ترکیب آن‌ها بهره‌گیری می‌شود. برای این کار، با استفاده از بهترین و بدترین مقدار عددی هر کدام از اهداف، تابع عضویت هر هدف تشکیل و میزان عددی هر هدف در هر پاسخ ممکن، به‌وسیله این توابع عضویت سنجیده می‌شود. از آنجایی که عدد تعیین‌شده توسط تابع عضویت بدون واحد است می‌توان خروجی تمام توابع عضویت‌ها را با یکدیگر ترکیب و از آن به‌عنوان مقدار عددی پاسخ استفاده نمود.

$$G_1 = ENS \quad (18)$$

$$G_2 = E_{transmitted} \quad (19)$$

$$G_3 = SAIFIOT \quad (20)$$

$$G_4 = Distance \quad (21)$$

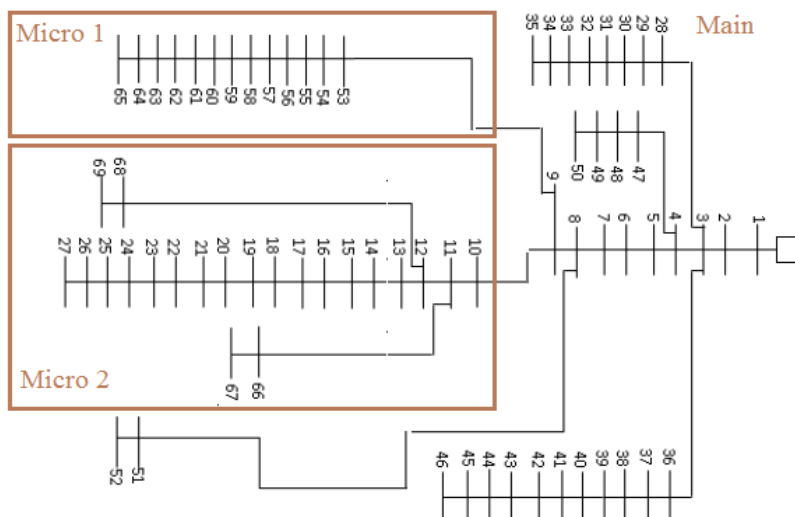
$$Min \ Value = \sum_i^n \alpha_i \mu_i (G_i) \quad (22)$$

در روابط بالا، Value مقدار فازی ناشی از ترکیب اهداف، G_i هدف μ_i ، ENS شاخص انرژی تأمین‌نشده، $E_{transmitted}$ شاخص انرژی تزریقی به ریزشبه‌ک‌ها، $SAIFIOT$ شاخص بازدهی ذخیره بهره‌برداری، $Distance$ شاخص مسافت، μ_i تابع عضویت فازی هدف μ_i و ضرایب تأثیر اهداف هستند.

متغیرهای تصمیم در این تابع ریاضی شامل میزان شارژ و دشارژ و محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره‌برداری می‌باشد که با توجه به این متغیرها، مقدار عددی هر یک از اهداف به‌دست آمده و در نهایت به‌وسیله توابع فازی ترکیب خواهند شد. میزان شارژ و دشارژ هر خودرو تابع محدودیت‌های مربوط به باتری شامل ظرفیت باتری و حداکثر میزان شارژ و دشارژ می‌باشد.

۶- روش بهینه‌سازی

برای جستجو در بین پاسخ‌های ممکن از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. با توجه به فضای مسئله و لزوم تعیین میزان شارژ و دشارژ و محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف، روش‌های هوشمند کارایی بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک دارند. از میان روش‌های هوشمند، الگوریتم ازدحام ذرات دارای دقت و سرعت قابل‌قبولی در رسیدن به پاسخ می‌باشد. از همین‌رو در این پژوهش به‌منظور تعیین محدوده هر پارکینگ در هر ساعت از بازه بهره‌برداری و تعیین میزان شارژ و دشارژ هر پارکینگ از روش ازدحام ذرات (PSO) بهره‌گیری شده است. محدوده به‌دست‌آمده در هر ساعت برای پارکینگ‌ها تنها برای آن دسته از خودروهایی است که برای مسافرت روزانه از پارکینگ خارج و هنوز به پارکینگ بعدی مراجعه نکرده‌اند. الگوریتم PSO رفتار گروهی از ذرات را، که مقادیر اولیه آن‌ها 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 به‌سمت



شکل ۱: ساختار شبکه هوشمند نمونه

گرفته شده است. حداکثر توان شارژ برای خودروها مطابق مرجع [۲۶] ۵ کیلووات فرض می‌شود. نرخ شارژ و دشارژ در این مقاله یکسان در نظر گرفته شده است. مکان پارکینگ خودروهای الکتریکی باس‌های ۲۷، ۴۶ و ۶۵ می‌باشد.

در ادامه و به منظور بررسی مسئله تعیین محدوده و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی برای ساعات مختلف از سه سناریو استفاده شده است. در سناریوی اول وضعیت شبکه بدون استفاده از خودروهای الکتریکی شبیه‌سازی می‌شود. سناریوی دوم به برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها بدون در نظر گرفتن تعیین محدوده پارکینگ برای ساعات مختلف پرداخته است؛ و در سناریوی سوم تأثیر تعیین محدوده برای پارکینگ‌ها همزمان با برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ شبکه نشان داده شده است.

الف: سناریوی اول: وضعیت اولیه سیستم بدون حضور

خودروهای الکتریکی

در این سناریو به بررسی وضعیت سیستم بدون حضور خودروهای الکتریکی پرداخته می‌شود. شاخص‌های مورد ارزیابی، شاخص انرژی تأمین‌نشده، شاخص میانگین قطع بار در هنگام وقوع خطا در بازه بهره‌برداری و شاخص میزان توان تزریقی به ریزشکده‌ها هستند. جدول شماره ۳ وضعیت این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳: وضعیت شبکه بدون حضور خودروهای الکتریکی

ENS	E _{Transmitted}	SAFIOT
۲۵۸۷۹ kWh	۳۳۰۳/۴ kWh	۰/۱۱۶۳

مقادیر به‌دست‌آمده در این حالت به‌عنوان بدترین حالت برای مسئله بهینه‌سازی در توابع فازی قرار داده می‌شود.

ب: سناریوی دوم: برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با ثابت در نظر گرفتن محدوده هر پارکینگ در تمام ساعات بهره‌برداری

به‌منظور بررسی وضعیت ذخیره بهره‌برداری، با توجه به ادوات کلیدزنی به‌کاررفته در ابتدای ریزشکده‌ها و خطوط کابلی سیستم، از اطلاعات مقاله [۲۴] استفاده می‌شود. نرخ خرابی کلیدهای ابتدای ریزشکده مانند کلید مدارشکن در مقاله [۲۴] فرض شده است. جدول شماره ۲ نرخ خرابی تجهیزات موردنیاز را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات خرابی تجهیزات سیستم

کابل	کلید ورودی ریزشکده	نرخ خرابی خطاهای مانا
۰/۰۳۵	۰/۰۰۳۶	

مدت‌زمان برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ و تعیین محدوده بهره‌برداری هر پارکینگ برای ساعات مختلف، ۲۴ ساعت (از ساعت ۷ صبح ۵ آوریل 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 طول مدت بهره‌برداری، در سه نوبت به‌طور احتمالاتی و بر اساس مدل ارائه‌شده برای هر خودرو در مکان‌های مختلفی قرار می‌گیرند و سپس با توجه به محدوده مشخص‌شده برای هر پارکینگ و نیز با توجه به زمان و مکان مراجعه خودرو به سمت پارکینگ موردنظر هدایت می‌شوند.

میزان بار مصرفی مشترکین در بازه بهره‌برداری با توجه به مدل ارائه‌شده، احتمالاتی بوده و بر اساس تابع توزیع نرمال به‌دست می‌آید. میانه این تابع توزیع نرمال برای هر باس، مقدار مصرف آن باس در مرجع [۲۱] انتخاب شده است.

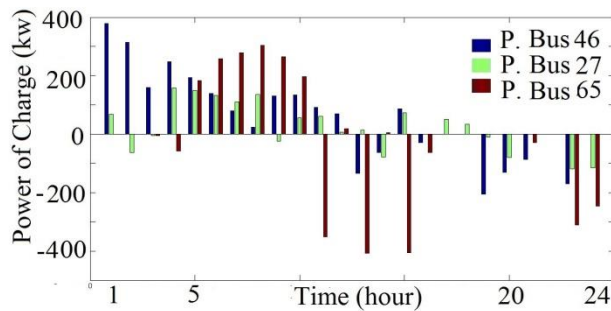
خودروهای الکتریکی مورداستفاده در این پژوهش از نوع شورولت بوده که اطلاعات فنی آن در مرجع [۲۵] آمده است. تعداد خودروها ۳۰۰ دستگاه و ظرفیت باتری آن‌ها بر طبق مرجع [۲۵] ۱۶ کیلووات‌ساعت است.

به‌منظور جلوگیری از کاهش عمر مفید باتری‌ها یک سطح حداقلی برای دشارژ باتری خودرو تحت عنوان عمق تخلیه (DOD) در نظر

جدول ۶: وضعیت سناریوی سوم

ENS	E _{Transmitted}	SAIFIOT	Distance index	Fuzzy value
۴۵۸۰ kWh	۲۰۵۵/۹ kWh	۰/۰۶۴۹	۱۷۰۸۵۵	۱/۱۴۷۷

همان‌طور که از جدول ۶ برمی‌آید، ارزش فازی پاسخ نهایی نسبت به سناریوی قبل کاهش پیدا نموده است که نشان‌دهنده افزایش بهره‌وری شارژ و دشارژ با انتخاب بهینه محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف است. نمودار شکل ۳ و جدول ۷ برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ را در کنار محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف شبانه‌روز نشان می‌دهند.



شکل ۳: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

جدول ۷: محدوده پارکینگ‌ها در هر ساعت در سناریوی سوم

	Parking Buses	Separator Buses
۷ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۰-۵۳
۸ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۳۸-۵۹
۹ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۷-۳۶
۱۰ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱-۴۲
۱۱ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۱-۴۳
۱۲ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۸-۵۸
۱ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۰-۳۷
۲ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۶-۴۳
۳ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۰-۵۷
۴ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۶-۵۷
۵ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۰-۴۲
۶ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۱-۳۸
۷ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۴-۴۶
۸ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۵-۲۵
۹ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۷-۳۷
۱۰ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۰-۶۲
۱۱ PM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱-۳۸
۰۰ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۲-۶۲
۱ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۱-۴۰
۲ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۲۲-۳۸
۳ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۵-۲۴
۴ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۶-۳۷
۵ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۶-۱۴
۶ AM	۴۶-۲۷-۶۵	۱-۱۶-۶۵

جدول ۴: وضعیت شبکه در سناریو دوم

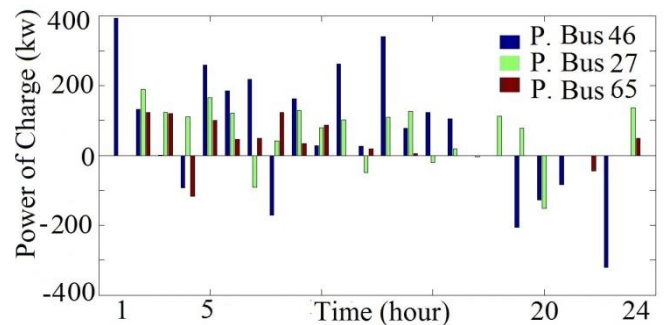
ENS	E _{Transmitted}	SAIFIOT	Distance index	Fuzzy value
۵۱۳۸/۱ kWh	۲۸۴۳/۹ kWh	۰/۰۸۰۲	۱۱۶۱۰۷	۱/۵۲۳۷

همان‌طور که اشاره شد، پاسخ نهایی دارای ارزش فازی می‌باشد. برای به‌دست آوردن این ارزش، مقادیر عددی هر هدف با یک مقدار کمینه و یک مقدار بیشینه سنجیده می‌شوند. نتایج سناریوی اول برای بیش‌ترین مقدار اهداف ENS، E_{Transmitted} و SAIFIOT قرار داده شده است. برای مقدار کمینه هر هدف، بهترین حالت هر هدف قرار داده می‌شود که برای همگی اهداف بهترین پاسخ مقدار صفر است. در سناریوی دوم، محدوده هر پارکینگ در تمامی ساعات بهره‌برداری ثابت بوده که با اجرای برنامه شبیه‌سازی مطابق جدول ۵ به‌دست آمده است.

جدول ۵: محدوده پارکینگ‌ها در سناریوی دوم

Parking Buses	Separator Buses
All Time	۴۶-۲۷-۶۵
	۱-۱۰-۵۳

نمودار شکل ۲ میزان شارژ و دشارژ را برای هر یک از این پارکینگ‌ها در طول بازه بهره‌برداری نشان می‌دهد.



شکل ۲: زمان و مقدار شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ‌های الکتریکی

پ: سناریوی سوم: برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ و انتخاب

همزمان محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره‌برداری

در این سناریو پتانسیل بهره‌وری شارژ و دشارژ در بهبود اهداف شبکه توسط انتخاب محدوده هر پارکینگ برای ساعات مختلف افزایش می‌یابد. برای اثبات این موضوع به شبیه‌سازی مسئله به‌وسیله الگوریتم ازدحام ذرات پرداخته شده که نتایج آن در جدول ۶ آمده است.

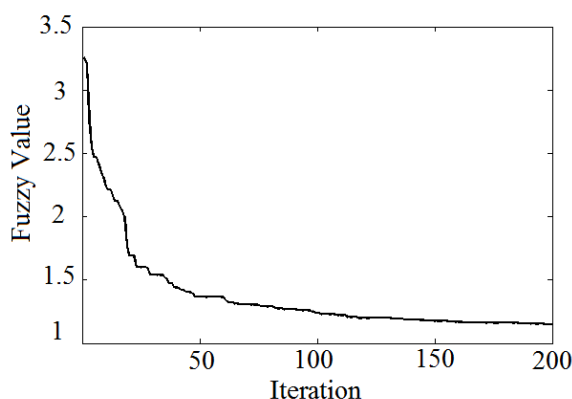
مراجع

- [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, Zh. Li, L. Wu, M. Shahidehpour and Zu. 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, Sept. 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," in *Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Sept. 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, Oct. 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, Mar. 2012.
- [13] X. Yu, "Impacts Assessment of PHEV Charge Profiles on Generation Expansion Using National Energy Modeling System", in *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, Nov. 2012.
- [16] M. H. Amini and A. Islam, "Allocation of Electric Vehicles' Parking Lots in Distribution Network",

نمودار شکل ۴ روند همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات را نشان می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین یا ولتاژ متوسط نوع جدیدی از سیستم‌های قدرت بنام ریزشبکه را به وجود می‌آورد. به کارگیری خودروهای الکتریکی و استفاده از پتانسیل جابه‌جایی توان در آن‌ها در مسافرت‌های روزانه، در کنار ریزشبکه‌ها می‌تواند تأثیر مطلوبی بر قابلیت‌اطمینان شبکه داشته باشد.



شکل ۴: نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات

در این مقاله با استفاده از انتخاب بهینه محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی در ساعات بهره‌برداری و نیز برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ آن‌ها به بهبود اهداف تعیین شده پرداخته شده است. این اهداف شامل کاهش انرژی تأمین‌نشده، کاهش توان انتقالی به ریزشبکه‌ها و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری در کنار کاهش مسافت پیموده‌شده توسط خودروها تا پارکینگ هستند.

تعیین محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف شبانه‌روز در بازه بهره‌برداری، برنامه‌ریزی همزمان شارژ و دشارژ با در نظر گرفتن این محدوده‌سازی، به کارگیری مسئله در بهبود استقلال ریزشبکه، کاهش انرژی تأمین‌نشده و بهبود وضعیت ذخیره بهره‌برداری، توجه به کاهش مسافت پیموده‌شده خودرو تا محل پارک در این مسئله و نیز استفاده از پتانسیل انتقال توان خودروهای الکتریکی در مسافرت‌های روزانه، نوآوری‌های مطرح در این پژوهش هستند.

در این مقاله با ورود خودروهای الکتریکی شاخص‌های شبکه بهبود یافته است. همچنین، با تعیین ساعتی محدوده هر پارکینگ، نسبت به زمانی که برای هر پارکینگ در تمام ساعات تنها یک محدوده وجود دارد، وضعیت فازی هدف نهایی شبکه شامل ذخیره بهره‌برداری، استقلال ریزشبکه، تأمین نیاز مشترکین و جلب رضایت صاحبان خودرو بهبود پیدا نموده است.

برای تنظیم ولتاژ و کاهش تلفات با استفاده از PSO»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۱، شماره ۱، صفحه ۳۳-۴۳.

- [21] R. Parasher, *Load Flow Analysis of Radial Distribution Network using Linear Data Structure*, Master of Technology, Rajasthan Technical University, Kota, October, 2013.
- [22] North Dakota Agricultural Weather Network, [Online]. Available: <http://www.ndawn.ndsu.nodak.edu/>, [Accessed: July 4, 2015].
- [23] Vestas Company Site, [Online]. Available: http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines, [Accessed: July 4, 2015].
- [24] Y. M. Attwa and E. F. El-Saadany, "Reliability Based Analysis for Optimum Allocation of DG", *IEEE Canada Electrical Power Conference*, 2007.
- [25] Chevy Volt Website [Online]. Available: <http://www.chevyvolt.net/chevrolet-volt-specs.htm>
- [26] 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, September 2012.

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، 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*، جلد ۲۹، شماره ۲، صفحه ۶۱-۷۲.

[۲۰] عباس کارگر، فهیمه صیادی شهرکی، جعفر سلطانی، «خازن‌گذاری بهینه در شبکه توزیع دارای اغتشاش هارمونیک

زیرنویس‌ها

¹ High Reliability Distribution System

² Plug-in Hybrid Electric Vehicles

³ State of Charge

⁴ System Average Interruption Frequency Index in Operation Time

⁵ Depth of Discharge