

# انتخاب محدوده پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با هدف بیش‌ترین سودرسانی در کمترین تلفات شبکه با حضور بارهای مهم

مهدی تورانی<sup>۱</sup>، استادیار

۱- دانشکده فنی و مهندسی فردوس - دانشگاه بیرجند - ایران

[tourani.mahdi@birjand.ac.ir](mailto:tourani.mahdi@birjand.ac.ir)

**چکیده:** خودروهای الکتریکی از فن‌آوری‌های مهمی هستند که در بستر شبکه هوشمند، امکان استفاده از آنها به‌صورت مطلوب فراهم آمده است. این خودروها می‌توانند منشأ بسیاری خدمات برای شبکه باشند. برای ایجاد مطلوبیت در صاحبان خودروها جهت مشارکت در طرح‌های پیشنهادی شرکت برق، بایستی شرایط و جذابیت کافی به وجود آورده شود. از جمله این شرایط سودرسانی اقتصادی است. از طرفی دیگر به خاطر انتقال خودروها به پارکینگ مخصوص، مسافت پیموده شده خودروها تا این پارکینگ‌ها باید تا حد امکان کاهش یابد. در سمت شرکت برق نیز، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ باید به نحوی باشد که اهداف شبکه تأمین شود. این برنامه‌ریزی تابع خودروهای موجود در هر پارکینگ است. از همین رو، در این مقاله با استفاده از محدوده بندی بهینه مراجعه خودروها به هر پارکینگ و نیز برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها، به افزایش سودرسانی به صاحبان خودرو و شرکت، با کمترین تلفات ممکن و کاهش مسافت پیموده شده خودروها تا پارکینگ پرداخته می‌شود. در ادامه با توجه به حساسیت ویژه و اهمیت بارهای مهم مانند مرکز اقتصادی، درمانی و یا امنیتی، تأثیر مکان این نوع بارها بر محدوده بندی پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها بررسی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بارهای مهم، سودرسانی اقتصادی، خودروهای الکتریکی، کاهش خاموشی بارهای مهم، کاهش مسافت پیموده شده تا پارکینگ، محدوده پارکینگ

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۷/۹/۵

نام نویسنده مسئول : مهدی تورانی

نشانی نویسنده مسئول : ایران - خراسان جنوبی - فردوس - بلوار ولیعصر - انتهای خیابان شهامت - دانشکده فنی و مهندسی وابسته به دانشگاه بیرجند

## ۱- مقدمه

شبکه‌های هوشمند<sup>۱</sup>، مدل امروزی شده شبکه‌های سنتی هستند که در آن مدیریت و تکنولوژی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. خودروهای الکتریکی<sup>۲</sup> یکی از فن‌آوری‌هایی می‌باشند که بستر به‌کارگیری آن‌ها در این شبکه‌ها فراهم شده و بهره‌برداری از آن‌ها تسهیل یافته است. کاهش ذخایر جهانی نفت و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، تزریق بی‌رویه خودروهای دیزلی به شبکه حمل‌ونقل را کاهش و تمایل به حضور خودروهای الکتریکی را افزایش داده است. خودروهای الکتریکی با مصرف الکتریسیته به‌عنوان نیروی پیشران و در نتیجه آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سهم بسزایی در ایجاد هوای پاک در جوامع دارند. از سویی دیگر، ذخیره مازاد انرژی الکتریکی در باتری این خودروها می‌تواند به نحو دیگری مؤثر واقع شود. این باتری‌ها همانند واحدهای تولیدپراکنده قادرند با ذخیره‌سازی انرژی و تحویل آن به سیستم قدرت، بازدهی شبکه را افزایش دهند.

شرایط حضور خودروهای الکتریکی در شبکه قدرت از دو دیدگاه قابل‌بررسی می‌باشد. در دیدگاه اول مکان و میزان حضور خودروها در شبکه موردبررسی قرار می‌گیرد. برای استفاده حداکثری از خودروهای الکتریکی معمولاً آن‌ها به‌طور متمرکز در پارکینگ‌های مخصوص قرار می‌گیرند. در صورتی که مکان و ظرفیت بهینه پارکینگ‌ها به‌درستی تعیین شوند، تلفات خطوط، ولتاژ شبکه، قابلیت‌اطمینان سیستم و ... بهبود پیدا می‌کنند. عدم دقت در این انتخاب می‌تواند اثر معکوس داشته و باعث ایجاد اشکال در شبکه گردد. در مرجع [۱]، جایابی پارکینگ به‌منظور کاهش تلفات اکتیو و راکتیو صورت پذیرفته و سپس برنامه پیشنهادی بر روی شبکه ۳۰ باسه تست گردیده است. در مرجع [۲] این بار نویسندگان تأثیر واحدهای تولیدپراکنده را بر جایابی پارکینگ بررسی کرده و به کاهش تلفات پرداخته‌اند. نویسندگان مرجع [۳] مکان‌یابی پارکینگ را با هدف بهبود حاشیه امنیت ولتاژ، کاهش هزینه و پایداری ولتاژ انجام داده و نتایج این تحقیق را بر روی شبکه ۱۴ و ۳۰ باسه نشان داده‌اند. در مرجع [۴] جایابی پارکینگ بر اساس قابلیت‌اطمینان سیستم توزیع، کاهش تلفات و کاهش هزینه سرمایه‌گذاری صورت گرفته است.

آنچه در دیدگاه دوم بدان پرداخته می‌شود مسئله شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد که این برنامه‌ریزی می‌تواند با اهداف مختلف انجام شود. از مهم‌ترین این اهداف استفاده از خودروها در جهت سودرسانی به صاحبان آن‌ها و البته شبکه برق است. این خودروها توانایی آن را دارند که مانند یک بنگاه اقتصادی در خریدوفروش انرژی مشارکت داشته و از مزایای بازار برق بهره‌مند گردند. شارژ خودروها در زمان پایین بودن قیمت انرژی و دشارژ آن‌ها در زمان‌های مطلوب قیمتی، سود بالایی را برای صاحبان خودروها

فراهم می‌آورد. از طرفی دیگر، شارژ و دشارژ می‌تواند با اهداف شبکه برق نیز تنظیم شود، به‌نحوی که در زمان کم مصرف و یا سایر زمان‌های مطلوب، خودرو انرژی را در باتری ذخیره کرده و سپس در زمان‌های پیک و یا شرایط خاموشی و خطا، دشارژ صورت پذیرد. در مرجع [۵] برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ با هدف کاهش تلفات و افزایش ضریب بار شبکه صورت گرفته است. در مرجع [۶] برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ به‌وسیله الگوریتم ژنتیک و با توجه به محدودیت حرارتی خطوط، محدودیت ولتاژ و الگوهای دسترسی پارکینگ بررسی شده است. نویسندگان مرجع [۷] برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ را بر اساس بار پیش‌بینی‌شده در محیط حساس به قیمت در شبکه‌های هوشمند مطالعه نموده‌اند. در مرجع [۸] به برنامه‌ریزی شارژ بهینه خودروهای الکتریکی در حضور سیستم فتوولتاییک و شبکه قدرت پرداخته شده است. مرجع [۹] نیز به ارائه یک مکانیزم شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در چندین خانه با پارکینگ مشترک و در فضای خانه‌های هوشمند می‌پردازد.

در این مقاله از دیدگاه برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ به حضور خودروها پرداخته می‌شود. آنچه به‌عنوان هدف این برنامه‌ریزی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، حداکثر سودرسانی پارکینگ با کمترین تلفات ممکن و کاهش مسافت پیموده شده خودروها تا پارکینگ است. از آنجایی که این میحث در حوزه بهره‌برداری انجام می‌شود، می‌توان پارامتر دیگری نیز به مسئله اضافه نمود و آن تعیین محدوده برای هر پارکینگ در ساعات مختلف، هم‌زمان با برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها است [۱۰]. بدین ترتیب که پارکینگ خودروهای الکتریکی در ساعات مختلف، طی یک برنامه‌ریزی بهینه اقدام به پذیرش و یا عدم پذیرش از تعداد خاصی خودروهای مرجوعی به آن‌ها، خواهند نمود. سپس برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها با توجه به ظرفیت به‌دست‌آمده صورت می‌پذیرد. در این مقاله تعیین محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی هم‌زمان با برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها با هدف، بیش‌ترین سودرسانی پارکینگ با کمترین تلفات ممکن و نیز جلب رضایت صاحبان خودروها با کاهش مسافت پیموده شده تا پارکینگ مورد بررسی قرار می‌گیرد که تاکنون بدان پرداخته نشده است.

از طرفی دیگر، حضور خودروهای الکتریکی می‌تواند یکی از چالش‌های شبکه در کاهش خاموشی بارهای مهم مانند مراکز درمانی، امنیتی و اقتصادی را بهبود بخشد. این نوع بارها همواره با حساسیت خاصی تغذیه می‌شوند. بر خلاف سایر مشترکین، خسارت ناشی از قطع بار در بارهای مهم بسیار بالا بوده و نسبتاً غیرقابل‌جبران است. به همین خاطر کاهش خاموشی در بارهای حساس نیاز به توجه زیادی دارد. در ادامه این مقاله با استفاده از ظرفیت خودروها به کاهش خاموشی بارهای مهم پرداخته می‌شود.

محدوده‌بندی پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها با هدف افزایش سودرسانی به صاحبان خودروها با کمترین تلفات ممکن سیستم، کاهش خاموشی بارهای مهم و نیز توجه به کاهش مسافت پیموده شده خودروها تا پارکینگ در کنار این اهداف، نوآوری‌های مطرح در این مقاله می‌باشند.

در ادامه مقاله و در بخش دوم به بیان مسئله، در بخش سوم و چهارم، نحوه مدل‌سازی احتمالاتی خودروهای الکتریکی و مصرف مشترکین، در بخش پنجم به بیان اهداف و در بخش ششم به چگونگی بهینه‌سازی مسئله پرداخته می‌شود. سپس در بخش هفتم شبیه‌سازی و نتایج ارائه شده و در نهایت در بخش پایانی نتیجه‌گیری حاصل می‌گردد.

## ۲- بیان مسئله

پس از مکان‌یابی و ساخت پارکینگ، آنچه در مرحله بهره‌برداری مهم است، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد. منظور از برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تعیین مقدار توان ذخیره‌شده در باتری خودروها و یا میزان توان تزریقی به شبکه توسط خودروها در ساعات بهره‌برداری است. در این نوع مسائل، معمولاً به دلیل کنترل متمرکز خودروها از پارکینگ استفاده می‌شود، به همین دلیل برای برنامه‌ریزی باید میزان شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها به دست آید.

در این مقاله میزان شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها تابع تعداد خودروهای الکتریکی در هر پارکینگ بوده که این تعداد در ساعات مختلف متفاوت است. بسته به اینکه هر خودرو در چه منطقه‌ای قرار دارد، پارکینگ انتقال خودرو مشخص می‌شود. مناطق مربوط به هر پارکینگ از متغیرهای مسئله بوده که به همراه میزان شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها از مسئله بهینه‌سازی به دست می‌آید. برای این کار ابتدا مقصد هر خودرو در هر بازه، ساعت خروج از مقصد و مدت‌زمان عدم حضور در پارکینگ با استفاده از مدل‌های احتمالاتی بدست می‌آید. سپس با استفاده از مسئله بهینه‌سازی و با توجه به اهداف تعیین‌شده، برای هر پارکینگ یک محدوده در هر ساعت پیشنهاد می‌شود. خودروها با توجه به محدوده هر پارکینگ و نیز مقصد خود در زمان‌های مختلف، به پارکینگ صحیح مراجعه می‌نمایند. به‌طور هم‌زمان با تعیین محدوده، نرخ شارژ و دشارژ هر پارکینگ توسط مسئله بهینه‌تعیین و با توجه به تعداد خودروها در هر پارکینگ، میزان توان تزریقی به شبکه و یا تحویلی به پارکینگ بدست می‌آید [۱۰].

نحوه شارژ و دشارژ خودروها نیز بدین صورت است که در هر ساعت شارژ، انرژی در باتری خودرو الکتریکی ذخیره و یا در صورت دشارژ، مقدار دشارژ از سطح انرژی باتری کم می‌شود. در هنگام خروج خودرو از پارکینگ، سطح شارژ باتری<sup>۲</sup> (SOC) همانند سایر ساعات مشخص بوده و میزان افت شارژ باتری در مدت‌زمان عدم حضور نیز مدل‌سازی می‌شود. در نتیجه خودرو هنگام ورود به پارکینگ بعدی دارای SOC مشخص با توجه به ساعات قبل و مسافت پیموده شده در

خارج پارکینگ است.

بسته به وضعیت توان تزریقی و یا تحویلی، اهداف مسئله ارزیابی شده و محاسبه می‌گردند. همان‌طور که مشخص گردید متغیرهای مسئله محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی و میزان شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها می‌باشند که در هر پاسخ کاندید و بسته به ارزیابی صورت گرفته، یک ارزش برای حالت کاندید بدست می‌آید. با جستجو در فضای حالات کاندید، پاسخ نهایی حاصل می‌گردد.

آنچه مسلم است فضای مسئله از نوع مدیریت انرژی بوده و در نتیجه وضعیت مصرف و ذخیره‌سازی در خودروها در زمان‌های مختلف به هم وابسته می‌باشد.

## ۳- مدل احتمالاتی رفتار خودروهای الکتریکی

رفتار خودروهای الکتریکی را می‌توان با استفاده از قضیه حد مرکزی تحلیل نمود.

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 [۱۰].

با توجه به قضیه حد مرکزی و با این فرض که صاحبان خودرو رفتاری مشابه دارند، زمان خروج از پارکینگ با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید.

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

که در آن  $T_{\text{exit}}$  زمان خروج از پارکینگ،  $\mu_{\text{exit}}$  میانگین و  $\sigma_{\text{exit}}$  انحراف معیار می‌باشد.

بر همین اساس، مدت‌زمان عدم حضور در پارکینگ را می‌توان به‌صورت رابطه ۲ مدل نمود.

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

که در آن  $T_{\Delta}$  مدت‌زمان عدم حضور در پارکینگ،  $\mu_{\Delta}$  میانگین و  $\sigma_{\Delta}$  انحراف معیار می‌باشد.

این عدم حضور می‌تواند به علت‌های مختلف از جمله ترافیک، خریدهای کوتاه‌مدت و ... باشد، به عبارت بهتر، در این مسئله فرض شده است که خودروها برای مدت‌زمان کافی در پارکینگ قرار می‌گیرند و برای حالاتی که زمان توقف و انجام کار کوتاه است، با عدم حضور در پارکینگ مدل می‌شوند.

از آنجایی میزان شارژ و دشارژ به سطح شارژ خودروها در هنگام مراجعه به پارکینگ مربوط است و همچنین این سطح شارژ، تابع مسافت پیموده شده خودرو می‌باشد باید در هنگام ورود خودرو به

بدین ترتیب برای هر یک از ساعات بهره‌برداری با استفاده میانه و انحراف معیار مشخص، بار مشترکین مختلف شبکه بدست می‌آید.

### ۵- اهداف مسئله

در این مسئله اهداف متفاوتی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که در این مقاله با توجه به اهمیت سودرسانی، تلفات شبکه، جلب رضایت صاحبان خودروها و نیز کاهش خاموشی بارهای مهم، به این اهداف پرداخته شده است.

#### ۵-۱- حداکثر سودرسانی به صاحبان خودروها

از آنجایی که در این طرح، مشارکت دوطرفه بین صاحبان خودرو و شرکت برق وجود دارد، باید از نظر اقتصادی منافع هر دو طرف برآورده شود. برای صاحبان خودرو درآمد اقتصادی از طریق خریدوفروش انرژی در بازه‌های مختلف قیمتی بدست می‌آید. هرچه میزان سود دریافتی از این بازار بیشتر باشد، استقبال بیشتری از طرح‌های پیشنهادی صورت خواهد گرفت.

$$C_{profit} = C_{sell} - C_{Buy} \quad (8)$$

که در آن  $C_{profit}$  درآمد خریدوفروش پارکینگ،  $C_{sell}$  هزینه فروش انرژی و  $C_{Buy}$  هزینه خریداری انرژی می‌باشد

#### ۵-۲- کاهش تلفات

شرکت برق علاوه بر سهام بودن در درآمد خریدوفروش انرژی، می‌تواند با بهینه‌سازی مناسب، تلفات به وجود آمده در شبکه به علت شارژ خودروها را نیز کاهش دهد. باید در نظر داشت که با ذخیره‌سازی توان در خودروها، بار شبکه افزایش پیدا کرده و در نتیجه آن، تلفات خطوط افزایش می‌یابد. حال باید این بهینه‌سازی به نحوی صورت گیرد که با شارژ خودروها تلفات خطوط تا حد ممکن کم باشد.

$$P_{loss} = \sum_{i,j=1}^n (R_{ij} \times |I_{ij}|^2) \quad i \neq j \quad (9)$$

که در این رابطه  $R_{ij}$  مقاومت بین خطوط می‌باشد.

#### ۵-۳- کاهش مسافت پیموده شده خودروها

در طرح‌های پیشنهادی که در آن‌ها خودروهای الکتریکی حضور دارند، به علت مشارکت عوامل انسانی مانند صاحبان خودروها، باید مباحث ویژه مربوط به آن‌ها مورد توجه قرار گیرد. از جمله این مباحث رفتار گزینشی صاحبان خودرو است که انتخاب می‌کند در طرح‌های پیشنهادی شرکت کند یا خیر. صاحبان خودروها تمایل دارند در طرح‌هایی شرکت کنند که نیاز به جابه‌جایی بالای خودرو از مقصدشان نداشته و فاصله پارکینگ تا مکان مقصد آن‌ها کم باشد. به همین خاطر باید مسافت پیموده شده توسط خودروها تا پارکینگ، در تابع هدف

پارکینگ، مسافت طی شده و سطح شارژ باقی‌مانده، محاسبه گردد. برای این کار با استفاده از مرجع [۱۱] مسافت پیموده شده خودرو به صورت احتمالاتی به صورت رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$x_{Dis} = e^{(\mu_d + \sigma_d N)} \quad (3)$$

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

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

که در آن  $x_{Dis}$  مسافت پیموده شده در خارج از پارکینگ،  $N$  عدد تصادفی نرمال شده و  $\mu_{dis}$  و  $\sigma_{dis}$  میان و انحراف معیار میزان حرکت خودروها با توجه به داده‌های گذشته است.

سطح انرژی باتری در هنگام ورود به پارکینگ با توجه به رابطه ۶ حاصل می‌شود.

$$SOC = SOC_{exit} - x_{Dis} \times E_{Dis} \quad (6)$$

در این رابطه  $SOC$  سطح شارژ خودرو در هنگام مراجعه به پارکینگ،  $SOC_{exit}$  سطح شارژ در هنگام خروج از پارکینگ قبلی،  $x_{Dis}$  مسافت پیموده شده و  $E_{Dis}$  میزان انرژی مورد استفاده در هر واحد مسافت است.

همان‌طور که در مدل ارائه شده مشخص است، تمامی رفتار خودروها به صورت احتمالاتی بدست می‌آید. بدین ترتیب که ابتدا برای هر یک از خودروها، به کمک تابع توزیع یکنواخت یک مکان اولیه حضور بدست می‌آید. این مکان‌ها، مکان هر باس در نظر گرفته شده است. سپس دو بار در بازه بهره‌برداری و به صورت احتمالاتی، زمان‌های خروج از پارکینگ و مدت زمان‌های عدم حضور در یک مکان مشخص، با استفاده از تابع توزیع نرمال با میان و انحراف معیارهای تعریف شده، بدست می‌آیند. در هر یک از این عدم حضورها، میزان افت باتری ناشی از مسافت طی شده به صورت احتمالاتی با استفاده از روابط ۳ تا ۵، محاسبه می‌شود. در نتیجه میزان شارژ باقی‌مانده خودروها در هنگام ورود به پارکینگ‌های بعدی بدست خواهد آمد. مکان مراجعه هر خودرو نیز پس از هر بار خروج با استفاده از تابع توزیع یکنواخت مشخص می‌گردد. بدین ترتیب وضعیت احتمالاتی هر خودرو در هر ساعت به‌طور کامل تعیین می‌شود.

#### ۴- مدل رفتار مشترکین شبکه برق

برای رفتار مشترکین مدل‌های مختلفی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در این مقاله مدل تابع توزیع نرمال انتخاب شده است.

$$P_D = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left( -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (7)$$

در رابطه بالا میزان مصرف و  $\mu$  و  $\sigma$  میان و انحراف از معیار هستند.

$$G_2 = P_{Losses} \quad (14)$$

$$G_3 = \text{Distance} \quad (15)$$

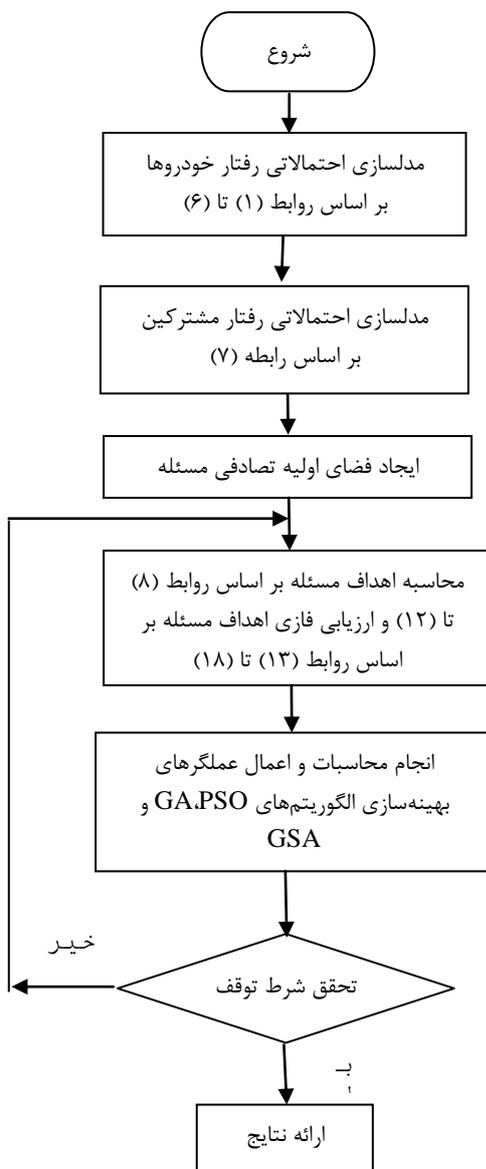
$$G_4 = SAIDI_{im Bus} \quad (16)$$

$$G_5 = SAIFI_{im Bus} \quad (17)$$

$$\text{Min Value} = \sum_i^n \alpha_i \mu_i^2 (G_i) \quad (18)$$

که در آن،  $G_i$  هدف  $i$ ام،  $\mu_i$  تابع عضویت فازی و  $\alpha_i$  ضرایب اهمیت هدف می‌باشند.

در ادامه شکل ۱، الگوریتم پیاده‌سازی مسئله را نمایش می‌دهد.



شکل (۱): الگوریتم اجرای برنامه

مسئله مدنظر قرار گیرد. این هدف با توجه به مرجع [۱۰] به صورت رابطه ۹ مدل‌سازی می‌شود.

$$\text{Distance} = \sum_j^{npark} \sum_i^{nveh} (x_{vehicle_{ij}})^2 \quad (10)$$

$\text{Distance}$  شاخص مسافت طی شده خودروها،  $x_{vehicle_{ij}}$  مسافت خودرو  $i$ ام تا پارکینگ  $j$ ام،  $npark$  تعداد پارکینگ‌ها و  $nveh$  تعداد خودروها است.

#### ۴-۵- کاهش خاموشی بارهای حساس

برای کاهش خاموشی در بارهای حساس با توجه به مرجع [۱۲]، آن دسته از خطاهایی مدل می‌گردد که باعث قطع تغذیه در این نوع بارها شوند.

$$SAIDI_{im Bus} = \frac{\sum_{j \in D} r_j N_j}{N_T} \quad (11)$$

$$SAIFI_{im Bus} = \frac{\sum_{j \in D} \lambda_j N_j}{N_T} \quad (12)$$

که در رابطه بالا  $SAIDI_{im Bus}$  شاخص متوسط زمانی خاموشی بارهای مهم،  $SAIFI_{im Bus}$  شاخص متوسط تکرار خاموشی بارهای مهم و  $D$  مجموعه خطاهایی که سبب قطع بارهای مهم می‌شوند، است.

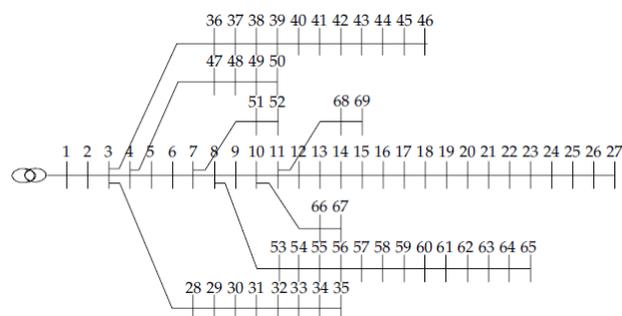
#### ۶- روش بهینه‌سازی

به‌منظور جستجو در میان پاسخ‌های کاندید، روش‌های مختلفی می‌تواند بکار گرفته شود که در این مقاله از روش‌های هوش محاسباتی برای حل مسئله استفاده شده است. از میان روش‌های هوش محاسباتی، از الگوریتم‌های ازدحام ذرات ( $PSO^4$ )، ژنتیک ( $GA^5$ ) و جستجوی گرانشی ( $GSA^6$ ) برای رسیدن به پاسخ نهایی بهره‌گیری و سپس دقت و سرعت این سه الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌شود. متغیرهای مسئله در این بهینه‌سازی‌ها، محدوده هر پارکینگ و نیز نرخ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد. پس از انتخاب متغیرهای مسئله، باید برای هر حالت کاندید یک ارزش تعریف گردد. این ارزش با توجه اهداف مسئله - تلفات، سودرسانی و مسافت پیموده شده تا پارکینگ- تعیین می‌شود. به علت تنوع در اهداف، از تئوری فازی برای ترکیب اهداف مسئله کمک گرفته شده است. در توابع عضویت فازی، ارزش هر هدف با یک مقدار مینیمم و ماکزیمم از همان جنس مقایسه و سپس یک مقدار بدون واحد به آن پاسخ، داده می‌شود. پس از ارزش‌گذاری هر هدف، مقادیر بدون واحد با یکدیگر ترکیب و در نهایت ارزش نهایی پاسخ کاندید به وجود می‌آید.

$$G_1 = C_{Profit} \quad (13)$$

## ۷- شبیه‌سازی و نتایج

به منظور بررسی مسئله پیشنهادی و اعتباربخشی به آن، به شبیه‌سازی و ارائه نتایج بر روی شبکه ۶۹ باسه IEEE با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۵ پرداخته می‌شود. شکل ۲ نمای این شبکه را نمایش می‌دهد [۱۳].



شکل (۲): شبکه تست نمونه [۱۳]

مدل بار مصرفی این شبکه با توجه به بخش ۴ احتمالاتی بوده و میانه آن با توجه به مرجع [۱۰] برابر حداکثر بار پیک شبکه قرار داده شده است. خودروهای مورد استفاده در این شبکه از نوع شورولت بوده و حداکثر توان شارژ و دشارژ آن ۵ کیلووات در نظر گرفته شده است. تعداد خودروهای الکتریکی در این مقاله ۳۰۰ و ظرفیت آن‌ها با توجه به مرجع [۱۴] ۱۶ کیلووات ساعت فرض می‌شود. برای جلوگیری از کاهش عمر باتری‌ها، یک سطح حداقلی برای شارژ و دشارژ در نظر گرفته شده است که باتری خودروهای الکتریکی، بیش از آن، امکان شارژ نخواهند داشت.

با توجه به اینکه در این مقاله تمرکز اصلی بر برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد، مکان پارکینگ‌ها به صورت مکان قراردادی در نظر گرفته شده است که اطلاع از این مکان نیز به صورت دانش قبل از اجرای طرح است. به عبارت دیگر، جایابی پارکینگ بایستی در طرح‌های قبل از این مسئله انجام گرفته و نتایج آن به صورت داده ورودی در برنامه لحاظ گردد. این جایابی مکان پارکینگ می‌تواند بر اساس شرایط ترافیکی، الکتریکی و یا غیره باشد. در این مقاله فرض می‌شود مکان پارکینگ‌ها در باس ۲۷، ۴۶ و ۶۵ قرار دارد. مدت برنامه‌ریزی ۲۴ ساعت در نظر گرفته می‌شود. در طول مدت‌زمان برنامه‌ریزی خودروها به صورت احتمالاتی در سه نوبت در مکان‌های مختلف قرار می‌گیرند. این سه نوبت، توقف‌های کوتاه‌مدت را شامل نمی‌شوند. توقف‌های با مدت زمان کم به صورت عدم حضور در پارکینگ مدل شده‌اند [۱۰]. سپس با توجه به محدوده پارکینگ بدست آمده از برنامه بهینه‌سازی، به پارکینگ مورد نظر هدایت می‌شوند. بار مهم در این مقاله یک مرکز درمانی در باس ۲۵ می‌باشد.

در ادامه شبیه‌سازی در دو سناریو اجرا می‌شود. در سناریو اول محدوده بندی پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ بدون توجه به

حضور بارهای مهم و در سناریو دوم با بررسی تأثیر بارهای حساس صورت می‌گیرد.

### الف: سناریو اول: محدوده بندی پارکینگ و

### برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با اهداف

### تعیین شده و بدون توجه به حضور بارهای مهم

با اجرای برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات، محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره‌برداری به صورت جدول ۱ بدست می‌آید. در این جدول، باس‌های مرزی، مشخص کننده مرز میان محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره‌برداری می‌باشند.

جدول (۱): محدوده بهینه برای هر پارکینگ در ساعات بهره‌برداری در

سناریو اول

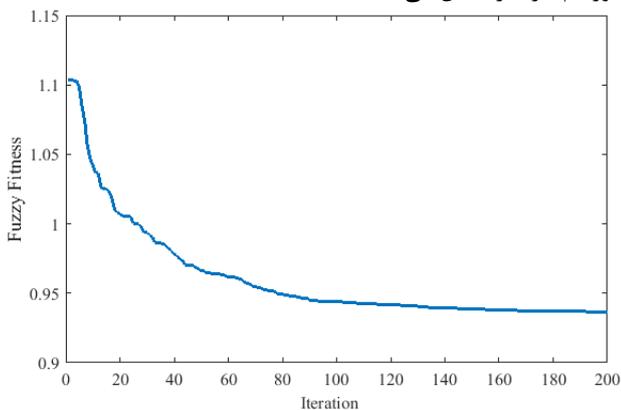
ساعت بهره‌برداری	شماره پارکینگ	باس‌های مرزی
ساعت اول	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۷-۱۰
ساعت دوم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۲۴-۴۵
ساعت سوم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۵-۶۱
ساعت چهارم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۶۰
ساعت پنجم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۵۵
ساعت ششم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۵۶
ساعت هفتم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۷-۵۳
ساعت هشتم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۹-۵۷
ساعت نهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۵-۶۴
ساعت دهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۶-۱۳
ساعت یازدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۶۱
ساعت دوازدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۴۰
ساعت سیزدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۶-۵۸
ساعت چهاردهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۷-۵۹
ساعت پانزدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۲۱-۵۳
ساعت شانزدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۵۶
ساعت هفدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۵۳
ساعت هجدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۵-۵۳
ساعت نوزدهم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۶-۵۹
ساعت بیستم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۷-۱۴
ساعت بیست و یکم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۷-۱۸
ساعت بیست و دوم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۲۵-۴۰
ساعت بیست و سوم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۶-۱۵
ساعت بیست و چهارم	۲۷-۴۶-۶۵	۱-۱۰-۵۳

در روش پیاده‌سازی بکارگرفته شده در این مقاله، هر باس مرزی، جداکننده مناطق مختلف است، به طوری که سه مرز مشخص شده در جدول نتایج، به عنوان نقاط جدایی مناطق در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دیگر، سه باس مرزی، کل مناطق (مربوط به شبکه تست) را به سه قسمت مختلف تقسیم می‌کنند. بدین ترتیب، خودروهای قرار گرفته شده در هر منطقه به یک پارکینگ منتقل می‌شوند. این پارکینگ به نحوی انتخاب می‌شود که نزدیک‌ترین مسافت را نسبت به همه خودروهای منطقه مورد نظر داشته باشد.

جدول (۳): وضعیت بهبود میانگین شاخص‌های خاموشی بارهای حساس در سناریو اول

SAIDI <sub>im</sub>	SAIFI <sub>im</sub>	وضعیت اولیه
۵/۴۹۳۳	۰/۳۱۴۳	
۵/۶۰۲۹	۰/۳۱۶۴	وضعیت سناریو اول
-۰/۲	-۰/۱۶۷	وضعیت (%)

بر طبق نتایج با ورود خودروهای الکتریکی به دلیل ماهیت شارژی آن، وضعیت میانگین شاخص SAIFI<sub>im</sub>، ۰/۶۷- درصد و میانگین شاخص SAIDI<sub>im</sub>، ۲- درصد نسبت به حالت اولیه رشد عکس داشته است که این نشان می‌دهد عدم توجه به حضور بارهای حساس می‌تواند نتایج بسیار بدی به همراه داشته باشد. شکل ۴ نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در ترکیب الگوریتم فازی را نشان می‌دهد.



شکل (۴)، نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در سناریو اول

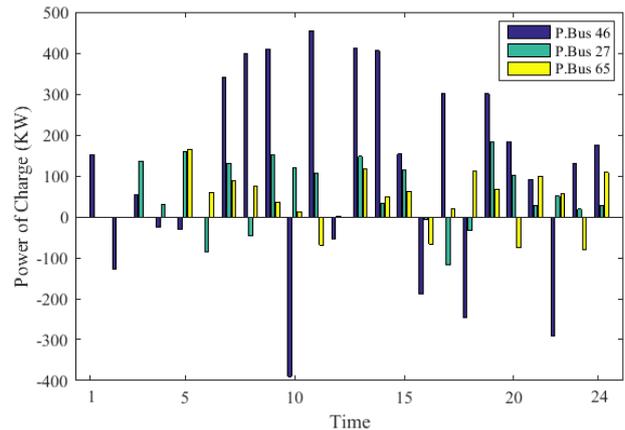
ب: سناریو دوم: محدوده بندی پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها با بررسی تأثیر حضور بارهای مهم در این سناریو با ورود بار حساس در باس ۲۵، مجدداً شبیه‌سازی‌ها اجرا می‌گردد. به منظور اطمینان از صحت نتایج، از سه الگوریتم ازدحام ذرات، ژنتیک و جستجوی گرانشی استفاده و نتایج از نظر سرعت و دقت با یکدیگر مقایسه می‌شوند. جدول ۴ نتایج اجرای سه الگوریتم ازدحام ذرات، ژنتیک و جستجوی گرانشی را در این سناریو نشان می‌دهد. شاخصی که برای سرعت در نظر گرفته شده است، تکرار همگرایی بوده که منظور از این شاخص تکراری است که در آن سه رقم پس از اعشار پاسخ نهایی الگوریتم، ثابت شده است. برای شاخص دقت نیز بهبود پاسخی انتخاب گردیده است.

الگوریتم	ارزش فازی پاسخ	تکرار همگرایی
PSO	۲/۷۴۸	۱۹۱
GA	۲/۸۴۵	۱۹۷
GSA	۲/۹۹۴	۱۲

با بررسی نتایج جدول ۴ مشخص می‌شود که در میان سه الگوریتم ازدحام ذرات، ژنتیک و جستجوی گرانشی، الگوریتم ازدحام

برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها در ساعات مختلف نیز که از اجرای این برنامه شبیه‌سازی بدست آمده، در شکل ۳ قابل‌مشاهده می‌باشد.

در این نمودار میزان شارژ و دشارژ هر پارکینگ مشخص شده است. رنگ بنفش میزان شارژ و دشارژ پارکینگ قرارگرفته در باس ۴۶، رنگ سبز مربوط به پارکینگ ۲۷ و رنگ زرد مشخص‌کننده وضعیت شارژ و دشارژ پارکینگ باس ۶۵ می‌باشد. مقادیر بالای نمودار مربوط به شارژ و مقادیر پایین نمودار نشان‌دهنده میزان دشارژ پارکینگ است.



شکل (۳): میزان بهینه شارژ و دشارژ پارکینگ خودروهای الکتریکی بر اساس محدوده و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ صورت گرفته، وضعیت شاخص اهداف در جدول ۲ بیان شده است.

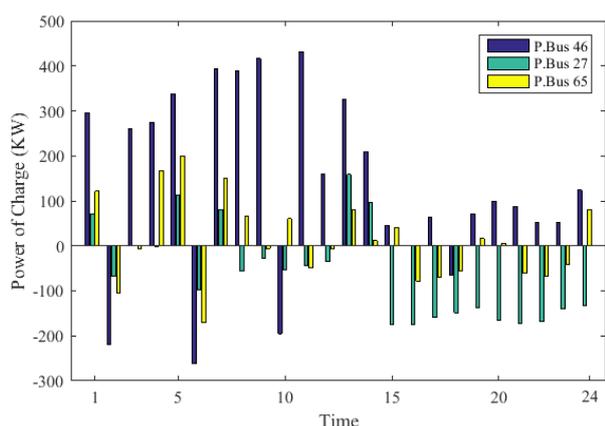
جدول (۲): وضعیت اهداف مسئله در سناریو اول با استفاده از

الگوریتم ازدحام ذرات

شاخص	متوسط تلفات	شاخص مسافت	شاخص سودرسانی	SAIFI <sub>im</sub>	SAIDI <sub>im</sub>
شاخص تلفات	۲۳۱kw	۱۲۸۶۳۴	۳۸۶۹	۰/۳۱۶۴	۵/۶۰۲۹

متوسط تلفات در جدول ۲ از متوسط گیری انرژی تلف‌شده در ۲۴ ساعت بهره‌برداری بدست آمده است. از آنجایی که در روش فازی ارزش هر هدف در مقایسه با یک مقدار مینیمم و ماکزیمم از جنس همان هدف بدست می‌آید، به همین دلیل در این مسئله، شاخص مسافت و شاخص سودرسانی در جدول ۲ بدون واحد و به صورت پارامتری، بر اساس واحد نرمال شده مسافت و قیمت نرمال شده انرژی، تعریف شده و بسته به ارزش هر واحد خریدوفروش انرژی و نیز هر واحد مسافت، قابل ارزش‌گذاری عددی خواهند بود. شاخص‌های SAIFI<sub>im</sub> و SAIDI<sub>im</sub> نیز میانگین خاموشی بارهای مهم را در بازه بهره‌برداری نشان می‌دهند.

به خاطر اینکه در این سناریو اهداف مربوط به بار حساس لحاظ نشده است، پیش‌بینی می‌شود با توجه به اضافه شدن بار شارژ خودروهای الکتریکی، وضعیت شاخص خاموشی در مناطق حضور بارهای مهم افزایش یابد که جدول ۳ نیز بر اساس نتایج شبیه‌سازی این فرضیه را اثبات می‌کند.



شکل (۵)، میزان بهینه شارژ و دشارژ پارکینگ خودروهای الکتریکی بر اساس محدوده و برنامه ریزی شارژ و دشارژ صورت گرفته، وضعیت شاخص اهداف در حضور بارهای مهم مطابق جدول ۶ می باشد.

جدول (۶): وضعیت اهداف مسئله در سناریو دوم

شاخص	متوسط تلفات	شاخص مسافت	شاخص سودرسانی	SAIFI <sub>im</sub>	SAIDI <sub>im</sub>
	۲۲۳kw	۱۳۹۳۴۲	۲۲۵۴	۰/۲۸۹۸	۵/۱۳۴۳

همان طور که بیان گردید متوسط تلفات از متوسط گیری انرژی تلف شده در ۲۴ ساعت بهره برداری بدست آمده و شاخص مسافت و شاخص سودرسانی به صورت پارامتری و نرمال شده می باشد. آن طور که از نتایج جدول ۵ برمی آید شاخص مسافت و شاخص سودرسانی نسبت به سناریو قبل بهبود کمتری پیدا نموده اند که این به دلیل سوق اهداف به سمت کاهش خاموشی بارهای حساس است. شاخص های خاموشی نیز به صورت میانگین در زمان بهره برداری، تعریف شده اند.

جدول ۷ وضعیت بهبود میانگین شاخص های خاموشی در باهای مهم را نشان می دهد. انتظار می رود با لحاظ کردن تأثیر بارهای حساس بر مسئله، شاخص های خاموشی عملکرد بهتری را نسبت به سناریو قبل از خود نشان دهند.

جدول (۷): وضعیت بهبود میانگین شاخص های خاموشی بارهای

حساس در سناریو دوم

وضعیت اولیه	SAIFI <sub>im</sub>	SAIDI <sub>im</sub>
وضعیت سناریو دوم	۰/۳۱۴۳	۵/۴۹۳۳
وضعیت (%)	٪۷/۸	٪۶/۵

با انجام شبیه سازی میانگین شاخص های خاموشی رشد ۷/۸ درصدی و ۶/۵ درصدی را نسبت به حالت اولیه خواهند داشت.

شکل ۶ نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در ترکیب الگوریتم فازی در این سناریو را نشان می دهد.

ذرات بهترین دقت را داشته است. در این میان، الگوریتم ژنتیک رتبه دوم و الگوریتم جستجوی گرانشی رتبه سوم را دارد.

از نظر سرعت نیز علیرغم اینکه الگوریتم جستجوی گرانشی دقت خوبی در میان این سه الگوریتم ندارد، اما سرعت همگرایی بالایی داشته، به طوری که در تکرار ۱۲ همگرا شده است. پس از آن، الگوریتم ازدحام ذرات و سپس الگوریتم ژنتیک بهترین سرعت ها را دارا می باشند.

در صورتی که سرعت و دقت ملاک ارزیابی عملکرد الگوریتم ها قرار گیرد، الگوریتم ازدحام ذرات از میان سه الگوریتم پیشنهادی در این سناریو، با رتبه اول در دقت و رتبه دوم در سرعت، بهترین عملکرد را خواهد داشت.

در نتیجه با انتخاب نتایج الگوریتم ازدحام ذرات برای حل مسئله بهینه سازی، محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره برداری در حضور باس های حساس به صورت جدول ۵ بدست می آید.

جدول (۵): محدوده بهینه برای هر پارکینگ در ساعات بهره برداری

در سناریو دوم

باس های مرزی	شماره پارکینگ	ساعت بهره برداری
۱-۷-۱۳	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت اول
۱-۲۴-۵۶	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت دوم
۱-۱۵-۵۷	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت سوم
۱-۲۳-۵۶	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت چهارم
۱-۱۸-۵۷	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت پنجم
۱-۱۷-۵۶	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت ششم
۱-۱۳-۵۵	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت هفتم
۱-۷-۵۶	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت هشتم
۱-۷-۱۰	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت نهم
۱-۱۰-۵۹	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت دهم
۱-۶-۶۱	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت یازدهم
۱-۶-۵۷	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت دوازدهم
۱-۷-۵۶	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت سیزدهم
۱-۶-۵۵	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت چهاردهم
۱-۶-۶۲	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت پانزدهم
۱-۷-۱۴	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت شانزدهم
۱-۳۹-۶۳	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت هفدهم
۱-۵-۵۴	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت هجدهم
۱-۳۷-۶۲	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت نوزدهم
۱-۶-۶۱	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت بیستم
۱-۶-۵۵	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت بیست و یکم
۱-۶-۵۹	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت بیست و دوم
۱-۱۵-۶۱	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت بیست و سوم
۱-۷-۵۴	۲۷-۴۶-۶۵	ساعت بیست و چهارم

در این بهینه سازی برنامه ریزی شارژ و دشارژ پارکینگ ها با توجه به محدوده بدست آمده و در ساعات مختلف در شکل ۵ قابل مشاهده می باشد.

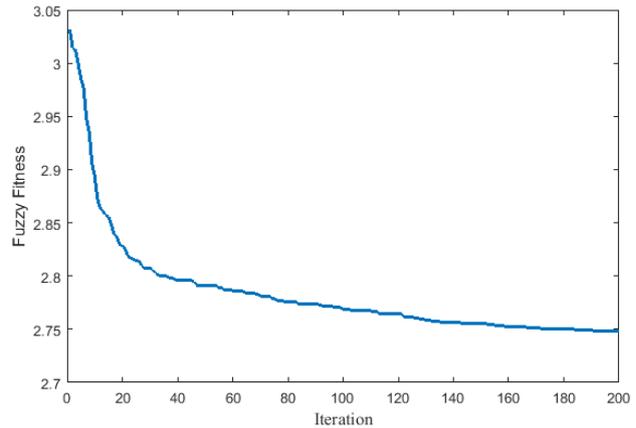
مبادرت به خریدوفروش انرژی و بهره‌مندی از مزایای بازار می‌کنند. به علت اینکه این خودروها برای شرکت در بازار به‌منظور کنترل بهتر باید در پارکینگ‌های مخصوص قرار گیرند، به‌ناچار مسافتی تا رسیدن به پارکینگ توسط خودرو طی می‌شود. برنامه پیشنهادی این مقاله به نحوی است که این فاصله را تا حد ممکن کاهش می‌دهد. از طرفی برای جلوگیری از افزایش تلفات به سبب شارژ خودروها، در این مقاله هدف کاهش تلفات نیز در برنامه بهینه‌سازی قرار داده شده است. برای رسیدن به این اهداف، باید برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ به‌صورت بهینه انجام گردد. این برنامه‌ریزی تابع تعداد خودروهای موجود در هر پارکینگ است. در این مقاله با بهینه‌سازی محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف بهره‌برداری و نیز نرخ شارژ و دشارژ پارکینگ‌ها به افزایش سودرسانی صاحبان خودرو و شرکت با کمترین تلفات و نیز جلب رضایت صاحبان خودروها با کاهش مسافت پیموده شده تا پارکینگ پرداخته شده است. در ادامه تأثیر حضور بارهای مهم بر محدوده بهینه پارکینگ و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی بررسی شده است. بر طبق نتایج بدست آمده، عدم توجه به حضور بارهای حساس می‌تواند مشکلات این نوع بارها را در حضور خودروهای الکتریکی تشدید نماید.

جستجوی فضای مسئله در این مقاله با استفاده از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و جستجوی گرانشی در ترکیب با الگوریتم فازی انجام گردیده است.

## مراجع

- [1] Moradijz, M., and Parsa Moghaddam, M., "Optimum Allocation of Parking Lots in Distribution Systems for Loss Reduction", IEEE PES General Meeting, 2012.
- [2] Moradijz, M., Ghazanfarimeymand, A., Parsa Moghaddam, M., and Haghifam, M. R., "Optimum Placement of Distributed Generation and Parking Lots for Loss Reduction in Distribution Networks", Electrical Power Distribution Networks (EPDC) Conference, Tehran, Iran, 2012.
- [3] Shariatpanah, H., Sabourikenari, M., Mohamadian, M., and Rashidinejad, M., "Optimal Placement and Determine Parking Capacity of Electric Vehicles to Improve VSM and Congestion", Smart Grid Conference, Tehran, Iran, 2012.
- [4] Moradijz, M., Parsa Moghaddam, M., Haghifam, M. R., and Alishahi, E., "A Multi-Objective Optimization Problem for Allocation Parking Lots in Distribution Network", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 46, pp. 115-122, 2013.
- [5] Clement-Nyns, K., Haesen, E., and Driesen, J., "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 25, No. 1, pp. 371-380, Feb 2010.
- [6] Alonso, M., Amaris, H., Germain, J. G., and Galan, J. M., "Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms", Journal of Energies, Vol. 7, pp. 2449-2475, 2014

[۷] محمدرضا آقاابراهیمی، حسین طاهریان، محمد مهدی قاسمی پور، " برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ بر اساس



شکل (۶)، نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در سناریو دوم

## ج - مقایسه دو سناریو

وجود خودروهای الکتریکی به طور ذاتی پتانسیل بسیار بالایی در حل چالش‌های پیش روی سیستم دارد. اما چنانچه بدون برنامه‌ریزی از این فن‌آوری استفاده شود، ممکن است باعث ایجاد مشکلات مضاعف گردد. با توجه به جداول ۳ و ۶، آنچه از بررسی نتایج دو سناریو بر می‌آید این است که با ورود خودروها الکتریکی در صورتی که حضور بارهای حساس نادیده گرفته شود، می‌تواند خاموشی را در مناطق وجود این نوع بارها افزایش دهد. در صورتی که با تأثیر دادن اهداف مرتبط با این نوع بارها در مدل‌سازی مسئله، نه تنها شاهد افزایش خاموشی نبوده بلکه در مناطق مذکور شاخص‌های خاموشی کاهش خواهد یافت. جدول ۸ نتایج مربوط به مقایسه دو سناریو را نشان می‌دهد.

جدول (۸)، مقایسه وضعیت شاخص‌ها در سناریوهای اول و دوم

میانگین شاخص	SAIDI <sub>im</sub>	SAIFI <sub>im</sub>
سناریو اول	۵/۶۰۲۹	۰/۳۱۶۴
سناریو دوم	۵/۱۳۴۳	۰/۲۸۹۸
میزان بهبود(درصد)	٪۸/۳۶	٪۸/۴۱

با توجه به جدول ۸، شاخص‌های خاموشی در سناریو دوم رشد ۸/۳۶ درصدی و ۸/۴۱ درصدی نسبت به سناریو اول داشته‌اند.

## ۸- نتیجه‌گیری

خودروهای الکتریکی نوعی از ذخیره‌سازهای انرژی هستند که با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری، خدمات بسیاری را برای شرکت برق فراهم می‌آورند. از آنجایی که هزینه خرید این دستگاه‌ها توسط صاحبان آن‌ها و برای حمل‌ونقل پرداخته شده، استفاده از خودروها در شبکه برق بهره‌وری اقتصادی بالایی را برای شرکت دارد. برای ایجاد انگیزه در صاحبان خودروها جهت مشارکت در طرح‌های شرکت برق باید مطلوبیت کافی به وجود آورده شود. این کار از طریق ایجاد بازار خریدوفروش انرژی حاصل می‌گردد.

در این مقاله صاحبان خودروها با شرکت در طرح‌های پیشنهادی

بار پیش بینی شده در محیط حساس به قیمت شبکه‌های هوشمند"،  
نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، جلد ۳، شماره ۶، صفحه  
۱۹-۱۱، پاییز و زمستان ۹۳.

[8] Zhang, Y., Cai, L., " Dynamic Charging Scheduling for EV Parking Lots With Photovoltaic Power System", IEEE Access, Vol. 6, pp. 56995- 57005, Oct. 2018.

[9] Mehrabi, A., Kim, K., " Low-Complexity Charging/Discharging Scheduling for Electric Vehicles at Home and Common Lots for Smart Households Prosumers", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 64, Issue: 3, pp. 348-355, Aug. 2018.

[۱۰] مهدی تورانی، محمدرضا آقابراهیمی، حمیدرضا نجفی، " برنامه‌ریزی محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی و شارژ و دشارژ آن به‌منظور بهبود قابلیت‌اطمینان در شبکه‌های هوشمند"، نشریه مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۲، تابستان ۹۶.

[11] Amini, M. H., and Islam, A., "Allocation of Electric Vehicles' Parking Lots in Distribution Network", Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, DC, 2014

[۱۲] مهدی تورانی، " بهینه‌سازی مکان و ظرفیت خودروهای الکتریکی در حضور بارهای مهم"، ششمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، دانشگاه شهید مدنی، تبریز، اسفند ۹۶.

[13] Taher, S. A., and Afsari, S. A., "Optimal Location and Sizing of UPQC in Distribution Networks Using Differential Evolution Algorithm", Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2012, pp. 1-20, 2012.

[14] Chevy Volt Website [Online]. Available: <http://www.chevyvolt.net/chevrolet-volt-specs.htm>

## زیرنویس‌ها

- <sup>1</sup> Smart Grid
- <sup>2</sup> Electric Vehicle
- <sup>3</sup> State Of Charge
- <sup>4</sup> Particle Swarm Optimization
- <sup>5</sup> Genetic Algorithm
- <sup>6</sup> Gravitational Search Algorithm