

# مدیریت باتری خودروهای برقی و بهبود الگوی مصرف بار با مدل سازی توابع فازی

محمد عابدینی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

## چکیده

در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری به حل مسئله برنامه ریزی بهینه شبکه توزیع در حضور پارکینگ های هوشمند در سطح شبکه پرداخته میشود. تابع هدف مسئله برنامه ریزی بهینه شبکه توزیع در حضور پارکینگ های هوشمند، کمینه نمودن هزینه برنامه ریزی شبکه شامل هزینه توان تحویلی خودروهای برقی، بهبود تقاضای بار شبکه که شامل کاهش بار پیک شبکه و در نهایت بهبود پروفایل ولتاژ سیستم میباشد. به منظور حل مسئله چند هدفه از روش فازی برای آن استفاده شده است و توابع فازی برای هر تابع هدف استخراج می‌شود و به کمک عملگر Max-Min حل خواهد شد. شبکه نمونه توزیع ۵۴ باسه استاندارد IEEE به عنوان شبکه مورد مطالعه در نظر گرفته شده و طرحهای توسعه شبکه در دو حالت با و بدون حضور خودروهای برقی با یکدیگر مقایسه میشوند. نتایج نشان می‌دهد که هزینه کلی بهره‌برداری و پروفایل ولتاژ سیستم برای حالت شارژ و دشارژ هوشمند به ترتیب تقریباً ۹ و ۳۱ درصد کاهش را در مقایسه با حالت پایه بهره برداری شبکه خواهد داشت.

عبارات و کلمات کلیدی: برنامه ریزی شبکه توزیع، فازی، گرگ خاکستری، الگوی مصرف.

Email(s): m.abedini@abru.ac.ir

۱۴۰۱ انجمن سیستم‌های فازی ایران

Mathematics Subject Classification: 03B52, 90B50

## ۱ مقدمه

افزایش استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده باعث شکل‌گیری سیستم‌های قدرت محلی شامل تولید، توزیع و مصرف شده است که این سیستم‌ها دارای واحدهای تولید پراکنده، تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی و بارها هستند و به‌طورکلی به صورت یک واحد مستقل قابل‌کنترل دارای مرز الکتریکی مشخص نسبت به شبکه اصلی مدیریت می‌شوند [۱، ۲]. چنین ساختاری به ریزشبکه معروف است و اجرای درست آن نه تنها دارای مزایای زیست‌محیطی است بلکه قابلیت اطمینان محلی را افزایش داده و ریسک‌های سیستم را با استفاده از یک زیرساخت فشرده ارزان قیمت کاهش می‌دهد [۳]. نفوذ خودروهای برقی به شبکه چالش‌هایی نیز از قبیل نقض محدودیت حرارتی خطوط انتقال ناشی از اضافه‌بار و افت ولتاژ در برخی باس‌های حساس شبکه و عدم قطعیت در میزان تقاضا را موجب می‌شود که می‌بایست برطرف شوند [۴]. شرکت خودروها  $V2G$ <sup>۱</sup> برای مالکین خودروها درآمدزایی هم دارد و از دیدگاه اپراتور سیستم توزیع می‌تواند برای حداقل کردن چالش‌های شبکه استفاده شود لذا برای افزایش قابلیت‌های خودروهای برقی از ایستگاه شارژ (EV)<sup>۲</sup> استفاده می‌شود [۵]. در این ایستگاه‌ها خودروها علاوه بر شارژ باتری خود قادر به فروش مازاد انرژی ذخیره شده به شبکه و کسب درآمد هستند. از طرفی رشد منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه یکی دیگر از موضوعات روز است که می‌تواند در کاهش هزینه‌های شبکه و کمک به بهبود پارامترهای فنی شبکه مانند پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان اثر بسزایی داشته باشند. لذا با ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر و خودروهای برقی می‌توان پارامترهای فنی و اقتصادی و همچنین مسئله آلاینده‌ها را در شبکه بهبود داد [۶]. ایستگاه‌های شارژ مازاد توان تولیدی منابع تجدیدپذیر را ذخیره و در مواقع نیاز به شبکه پس می‌دهند و از این طریق باعث توزیع‌پذیری این منابع و کاهش استرس‌های وارده به شبکه توزیع می‌شوند. مطالعات متعددی در گذشته بر روی موضوع خودروهای برقی و منابع تجدیدپذیر انجام شده است به عنوان مثال در [۷] مدلی برای دستیابی به میزان حداکثر شارژ متوسط خودروها از طریق مدیریت انرژی مطرح شده است، خودروهای که دارای قابلیت  $V2G$  هستند به منظور بهبود راندمان و قابلیت

<sup>۱</sup> Vehicle-to-grid<sup>۲</sup> Electric Vehicle

اطمینان شبکه می‌توانند استفاده شوند. در [۸] از منابع تولید خورشیدی، خودروهای الکتریکی و خازن‌های موازی در شبکه استفاده شده است. بنابراین قیود مسئله بهینه‌سازی شامل روابط مربوط پخش توان، قیود منابع تولید خورشیدی، قیود خودروهای الکتریکی و خازن‌های موازی هستند. در این مرجع از کمینه‌سازی انحراف ولتاژ به عنوان تابع هدف استفاده شده است. مراجع [۹ و ۱۰] از منابع تولید بادی استفاده کرده‌اند. در این مراجع تأثیرات استفاده هم‌زمان منابع بادی و خودروهای الکتریکی در شبکه ارزیابی شده است. بر اساس نتایج آن‌ها، دریافت انرژی خودروهای الکتریکی از منابع بادی، تقاضای انرژی از شبکه را کاهش می‌دهد، تلفات کاهش می‌یابد و ولتاژ تنظیم می‌شود. استفاده از منابع تولیدات پراکنده و خودروهای الکتریکی، کاربرد خودروهای الکتریکی به عنوان رزرو را موجب می‌شود [۱۱] استفاده این ادوات در شبکه، افزایش قابلیت اطمینان شبکه را نیز موجب خواهد شد. در [۱۲ و ۱۴] از خودروهای برقی برای بهبود فرکانس شبکه و در [۲۰] مسئله جایابی و تعیین ظرفیت با هدف کاهش هزینه‌های اقتصادی و کاهش میزان آلاینده در شبکه استفاده شده است. در مقالات [۱۸] و [۱۹] نیز چندین نوع طرح جهت اتصال خودروهای برقی به شبکه پیشنهاد می‌گردد اما خودروهای برقی را به صورت هم‌زمان هم به‌عنوان بار و هم تولیدکننده می‌بینند که موجب افزایش خطا در نتیجه‌گیری می‌شود. در این مقاله، مسئله بهینه‌سازی چند هدف فازی شامل اصلاح مشخصه بار شبکه توزیع با استفاده از قابلیت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و نیز کاهش هزینه‌های تولید توان در شبکه بررسی شده است. به علاوه جهت افزایش دقت جواب‌های استخراج شده از الگوریتم GWO<sup>۳</sup> به منظور تعیین ماکزیمم و مینیمم هر تابع هدف جهت استخراج توابع عضویت فازی استفاده خواهد شد. ادامه مقاله به صورت زیر معرفی شده است: فرمول‌بندی مسئله در بخش دوم ارائه شده است. در بخش سوم حل مسئله اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه بیان می‌گردد. در بخش چهارم توابع هدف به صورت توابع عضویت فازی استخراج شده و ارتباط آن با الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری توضیح داده می‌شود. در نهایت نتایج شبیه‌سازی در بخش پنجم فراهم می‌گردد.

<sup>3</sup>Gery wolf optimization

## ۲ فرمول بندی مسئله

در طول دوره‌ی پیک مصرف، انرژی که در EV ها ذخیره شده به شبکه بازگردانده می‌شود. در عوض EV ها می‌توانند انرژی برق اضافی را در زمانهایی که مصرف کم است ذخیره کنند. وقتی تعداد زیادی از EV ها به شبکه قدرت متصل شوند، تغییرات زیادی در بسیاری از جوانب حاصل می‌شود. بنابراین الزامات جدیدی برای ساختار شبکه توزیع به وجود می‌آید. در این مقاله هدف بهبود عملکرد شبکه توزیع در حضور ماشین‌های برقی می‌باشد. تابع هدف مسئله برنامه ریزی بهینه شبکه توزیع در حضور خودروهای برقی کمینه نمودن هزینه برنامه ریزی شبکه شامل هزینه بهره‌برداری شبکه، هزینه توان تحویلی خودروهای برقی، بهبود تقاضای بار شبکه شامل کاهش بار پیک شبکه و در نهایت بهبود پروفایل ولتاژ سیستم می‌باشد. در این مسئله بهینه‌سازی، متغیرهای بهینه‌سازی شامل مکان قرارگیری ایستگاههای شارژ در شبکه و اندازه بهینه آن‌ها می‌باشد، بنابراین تابع هدف به صورت زیر معرفی می‌گردد [۱۳، ۱۰، ۹]:

$$\text{Min}F_t = (F_1, F_2, F_3) \quad (1)$$

$$F_1 = \sum_{t=1}^{t=24} P_{net_t} \cdot \varphi_{net} + \sum_{t=1}^{t=24} \sum_{j=1}^{N_{EV}} P_{EV_{t,j}} \cdot \varphi_{EV} \quad (2)$$

$$F_2 = \sum_{t=1}^{t=24} (\omega_1 \cdot c_{pt} \cdot n_h) + (\omega_2 \cdot c_{opt} \cdot n_l) \quad (3)$$

$$F_3 = \sum_{t=1}^{t=24} \sum_{i=1}^{NB} |1 - V_{i,t}| \quad (4)$$

که در معادله (۱)،  $F_1$  هزینه برنامه ریزی شبکه،  $F_2$  تابع هدف مدیریت تقاضای بار شبکه و  $F_3$  تلفات سیستم مورد مطالعه می‌باشد. همچنین در معادله (۲)  $P_{net_t}$  توان

اکتیو تأمین شده از پست در ساعت  $t$ ، هزینه توان اکتیو تأمین شده از پست،  $P_{EVt,j}$  توان اکتیو تأمین شده از ماشین برقی در ساعت  $t$ ، هزینه توان تأمین شده از ماشین برقی می باشد.  $N_{EV}$  نمایش تعداد خودروهای الکتریکی مورد مطالعه خواهد بود. در معادله (۳)  $\omega_1$  و  $\omega_2$  به ترتیب ضرایب وزنی،  $c_{opt}$  و  $c_{pt}$  بیشینه بار و کمینه بار در ساعت  $t$  می باشند. به علاوه  $n_l$  و  $n_h$  به ترتیب زمان درصد بار پیک تجاوز شده و زمان درصد بار مینیمم می باشند. در معادله (۴) ولتاژ باس  $i$  در زمان  $t$  می باشد و  $NB$  نمایش تعداد باس های سیستم مورد مطالعه خواهد بود.

## ۱.۲ قیود مسئله بهینه سازی

در کنار رعایت قیدهای مربوط به ایستگاههای شارژ باید الزامات مربوط به محدودیت ظرفیت و افت ولتاژ ایستگاههای شارژ رعایت شوند تا از عملکرد صحیح شبکه قدرت اطمینان حاصل شود [۹، ۱۳].

$$P_{net} + \sum_{i=1}^{N_{EV_i}} P_{EV_i} = P_{Demand} + P_{Losses} \quad (۵)$$

$$P_{EV_i} < P_{EV_i}^{max} \quad (۶)$$

$$|P_L| \leq |P_{Lmax}| \quad (۷)$$

$$|V_{imin}| \leq |V_i| \leq |V_{imax}| \quad (۸)$$

تقاضای کل شبکه و تلفات سیستم به ترتیب با  $P_{Demand}$  و  $P_{Losses}$  در معادله (۵) نمایش داده شده اند. در معادله (۶)  $P_{EV_i}^{max}$  ماکزیمم توان اکتیو ماشین برقی است.  $P_L$  قید توان عبوری از خطوط می باشد که نباید از مقدار بیشینه خط انتقال،  $P_{Lmax}$  به علت مسائل حرارتی تجاوز نماید که در معادله (۷) بیان شده است. سرانجام، مقادیر بیشینه

$V_{imax}$  و کمینه رنج  $V_{imin}$  ولتاژ مجاز باس‌های شبکه نیز باید در حد تعیین شده آن باقی بماند که توسط معادله (۷) مدل شده است.

خودروهای الکتریکی معمولاً برای جابجایی درون شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو در این مقاله فرض می‌شود مشترکین شبکه توزیع از خودروهای خود برای رفت و برگشت به محل کار و خانه استفاده می‌نمایند. بنابراین مجموعه خودروهای مورد مطالعه به جز زمان‌های سفر در پارکینگ‌های اداری و مسکونی مستقر خواهند بود. همچنین متغیرهای احتمالی مربوط به شبیه‌سازی رفتار خودروهای الکتریکی شامل ظرفیت باتری خودرو، زمان خروج از خانه، مسافت طی شده توسط خودرو، مدت زمان سفر رفت به محل کار، مدت زمان سفر برگشت به خانه و مدت زمان پارک خودرو در پارکینگ اداری می‌باشد. متغیرهای تصادفی بیان شده از تابع توزیع نرمال محدود شده، جهت محدود کردن تولید متغیر تصادفی در بازهی دلخواه به دست می‌آیند.

## ۲.۲ بررسی خودرو برقی در حالت مدیریت تراکم

در این حالت خودروهای برقی را به صورت دسته‌ای مدل‌سازی می‌کنیم. هر دسته خودرو برقی تعدادی خودرو می‌باشند که در یک ساعت مشخص از خانه‌های متصل به یک باس شبکه توزیع خارج شده و در ساعت دیگر به این باس برمی‌گردند. در ابتدا نیاز است که شارژ و دشارژ دسته، به مقادیر بیشینه آن‌ها محدود گردد، بر این اساس داریم [۱۲]:

$$0 \leq P_{v,t}^{ch} \leq P_v^{ch,max} \times n_{v,t} \quad (9)$$

قید بالا بیان می‌کند که نرخ شارژ دسته یک متغیر  $(P_{v,t}^{ch})$  مثبت است در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد نرخ شارژ خودروهای برقی محدود به بیشینه آن  $P_v^{ch,max}$  در هر ساعت باید باشد [۱۲]. همچنین  $n_{v,t}$  بیان‌کننده تعداد ماشین‌های دسته  $v$  در ساعت  $t$  می‌باشد. به صورت مشابه داریم:

$$0 \leq P_{v,t}^{dch} \leq P_v^{dch,max} \times n_{v,t} \quad (10)$$

به صورت مشابه این قید بیان می کند که نرخ دشارژ دسته یک متغیر مثبت است در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد به بیشینه آن،  $P_v^{dch,max}$ ، در هر ساعت محدود می شود.

علاوه بر محدود نمودن نرخ های شارژ و دشارژ، انرژی ذخیره شده در باتری خودروهای برقی نیز باید محدود شود. بر این اساس داریم [۱۳]:

$$|E_{vmin}| \leq |E_{v,t}| \leq |E_{vmax}| \quad (11)$$

که  $E_{v,t}$  انرژی ذخیره شده در باتری،  $E_{vmax}$  و  $E_{vmin}$  به ترتیب بیشینه و کمینه انرژی ذخیره در باتری خودروهای برقی خواهد بود. نرخ کاهش دسته خودرو  $v$  را با در نظر گرفتن بازده شارژ / دشارژ می توان به صورت زیر بیان نمود [۱۳]:

$$E_v^{net} = P_{v,t}^{dch} - \eta_v \times P_{v,t}^{ch} \quad (12)$$

همچنین نرخ تولید توان  $P_{v,t}$  توسط یک دسته به صورت فرمول (۱۳) می باشد [۱۴]:

$$P_{v,t} = P_{v,t}^{dch} - P_{v,t}^{ch} \quad (13)$$

### ۳.۲ مدل سازی خودروهای برقی و قیود

با توجه به حضور خودروهای برقی در شبکه، بهره بردار شبکه توزیع باید مسئله برنامه ریزی بهینه برای واحدهای تولید برق را در حضور شارژ و دشارژ خودروهای برقی حل نماید. قابل ذکر است که در برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودروهای برقی در ایستگاه های شارژ، زمان ورود و خروج خودروهای برقی و مقدار شارژ موردنیاز آن ها از کمیت های نامعلوم و تصادفی هستند. این کمیت ها پارامترهای حیاتی برای مدیریت انرژی ایستگاه های شارژ است. اگرچه این کمیت ها تصادفی هستند، اما می توان با استفاده از توزیع های احتمالی این کمیت های تصادفی را تخمین نمود. در رابطه ی (۱۴) و (۱۵)  $W_k^{RH}$  مدت زمان انتظار خودروها در ایستگاه شارژ  $k$  در ساعت اوج تردد است که نباید از مدت

زمان مجاز  $W^{allowed}$  بیشتر شود. در غیر این صورت خودرو ایستگاه را ترک می کند.

$$W_k^{RH} < W^{allowed} \quad (14)$$

$$W_k^{RH} = \frac{(z_k \varphi_k^{RH})^{z_k}}{\lambda_k^{RH} (z_k) (1 - \varphi_k^{RH})^2} \pi_{k,\circ}^{RH} \quad (15)$$

$$\pi_{k,\circ}^{RH}(t) = \left[ \sum_{n=0}^{z_k-1} \frac{(z_k \times \rho_{k,t})^n}{n!} + \frac{(z_k \times \varphi_{k,t})}{(z_k! \times (1 - \varphi_{k,t}))} \right]^{-1} \quad (16)$$

$$\lambda_k^{RH} = \max \left\{ \frac{f_t^{trip}}{\sum_{t \in T} f_t^{trip}} \times \frac{f_{k,t}}{\sum_{k \in NEV} f_{k,t}} \right\} \quad (17)$$

که  $\pi_{k,\circ}^{RH}$ ، احتمال حدی نبود هیچ مشتری در ایستگاه شارژ سریع است که با جایگذاری در رابطه (۱۶) محاسبه می شود، همچنین  $\lambda_k^{RH}$  آهنگ ورود خودرو به ایستگاه در زمان اوج تردد است که از رابطه (۱۷) محاسبه می شود.  $f_t^{trip}$  نرخ سفر در زمان  $t$  و  $f_{k,t}$  جریان ترافیکی گرفته شده بوسیله کاندیدای  $k$  در زمان  $t$  می باشند.  $Zk$  ظرفیت ایستگاه شارژ  $k$ ام خواهد بود.  $\rho_{k,t}$  و  $\varphi_k^{RH}$  به ترتیب نشان دهنده، ضریب بهره وری هر دستگاه شارژ در زمان  $t$  و زمان اوج تردد است و مطابق با رابطه (۱۸) و (۱۹) تعریف می شوند:

$$\varphi_{k,t} = \frac{\lambda_{k,t}}{z_k \mu_q} \quad (18)$$

$$\varphi_k^{RH} = \frac{\lambda_k^{RH}}{z_k \mu_q} \quad (19)$$

$\mu_q$  متوسط زمان سرویس دهی هر دستگاه شارژ سریع (FCS) <sup>۴</sup> برحسب دقیقه است.

<sup>4</sup>Fast charging stations



### ۳ حل مسئله اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه

#### ۱.۳ روش حل مسئله

الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (*GWO*)، یکی از انواع الگوریتم‌های فراابتکاری جدید است که در سال ۲۰۱۴ با هدف بهینه‌سازی و با رویکرد نوین مدل‌سازی فرآیند سلسله مراتب رهبری و سازوکار شکار گرگ‌های خاکستری در طبیعت، ابداع گردیده است. [۲۱، ۱۶]. از این الگوریتم در حل مسائل بسیاری در حوزه بهینه‌سازی استفاده شده است. با بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه، مشخص شد که دامنه مطالعات در خصوص به کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری نوین در بهینه‌سازی طراحی شبکه هوشمند، محدود و بیش‌تر مطالعات معطوف به کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، الگوریتم حرکت پرندگان، الگوریتم تفاضلی و الگوریتم استعماری بوده است. با توجه به قابلیت‌های بالای الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل پیچیده مهندسی، در پژوهش حاضر از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، به عنوان روشی جدید و قدرتمند در حل مسئله در بهینه‌سازی طراحی شبکه هوشمند استفاده شده است. نتایج به دست آمده از مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که الگوریتم گرگ خاکستری از قدرت همگرایی و کارایی بالاتری در مقایسه با الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر برخوردار است. در روش بهینه‌سازی گرگ خاکستری چهار رهبر سلسله مراتبی وجود دارند که به ترتیب آلفا، بتا، دلتا و امگا می‌باشند. این رهبرها موقعیت شکار را تخمین می‌زنند و موقعیت خودشان را در گرداگرد شکار به روز رسانی می‌کنند. آخرین موقعیت مکانی گرگ‌ها شبیه یک دایره است که اطراف قربانی یا شکار را احاطه کرده‌اند. در روش مذکور موقعیت گرگ‌ها تحت عنوان متغیر مکانی مختلف و نیز فاصله از شکار و فاصله از سایر گرگ‌ها عنوان می‌شود که این عوامل نیز خود سبب تعیین میزان شایستگی در تابع هدف می‌گردند در روش بهینه‌سازی *GWO* همانند هر روش بهینه‌سازی هوشمند، هر گرگ موقعیت خود را به روز رسانی کرده و به موقعیت بهتر حرکت می‌کند. هدف روش بهینه‌سازی رسیدن به شکار با کوتاه‌ترین راه ممکن می‌باشد. در روش فوق‌الذکر بهترین جواب در هر تکرار ذخیره می‌شود و با جواب‌های قبلی مقایسه می‌شود و اگر جواب جدید بهتر بود آن را به عنوان جواب بهینه در نظر می‌گیرند. هر گرگ برای شکار چهار فرآیند را دنبال می‌کند که در ادامه بیان می‌شود.

### ۲.۳ جستجو برای شکار

گرگ‌ها با روش‌های مختلف و با مسیرهای متفاوت برای گرفتن شکار می‌روند. از این رو از یک بردار با مقادیر تصادفی برای جستجوی شکار در راه‌های مختلف اعمال می‌شود. برای داشتن یک فضای جستجو از بردار AM که دارای ضرایب وزنی تصادفی می‌باشند نیز استفاده می‌شود.

### ۳.۳ احاطه کردن شکار

در روش GWO جواب‌های بهینه شامل آلفا، بتا و دلتا می‌باشند که این جواب‌ها خود نیز موقعیت بهترین گرگ‌های ما می‌باشند که با توجه به روابط زیر موقعیت خود را به روز رسانی می‌کنند. رفتار احاطه کردن شکار با DM نمایش داده می‌شود و به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$DM = |CM \bullet Xp(t) - X(t)| \quad (20)$$

$$X(t+1) = Xp(t) - AM \bullet DM \quad (21)$$

در رابطه‌ی فوق  $t$  دوره‌ی تکرار جاری،  $AM$  و  $CM$  ضرایب برداری،  $Xp(t)$  موقعیت شکار و  $X(t)$  بردار موقعیت گرگ خاکستری می‌باشد.

$$AM = 2 \times \bar{a} \times r_1 - \bar{a} \quad (22)$$

$$CM = 2 \times r_2 \quad (23)$$

در روابط فوق  $r_1$ ،  $r_2$  بردارهای تصادفی بین ۰ تا ۱ می‌باشد و  $a$  یک ثابت خطی کاهشی است که از ۲ به ۰ تنزل پیدا می‌کند.

## ۴.۳ شکار کردن

چگونگی رفتار شکار کردن در گرگ‌های خاکستری با معادلات ۲۳ تا ۲۵ ارائه می‌شوند.

$$D\vec{M}a = |C\vec{M}a \times Xp(\vec{t})a + \vec{X}| \quad (24)$$

$$D\vec{M}\beta = |C\vec{M}\beta \times Xp(\vec{t})\beta + \vec{X}| \quad (25)$$

$$D\vec{M}\delta = |C\vec{M}\delta \times Xp(\vec{t})\delta + \vec{X}| \quad (26)$$

در روابط فوق  $D\vec{M}a$ ،  $D\vec{M}\beta$  و  $D\vec{M}\delta$  موقعیت گرگ‌های آلفا و بتا و دلتا می‌باشند. وقتی که گرگ‌ها شکار را گیر می‌اندازند، شکار کردن و حرکت کردن را متوقف می‌کنند. توقف فرآیند شکار کردن به مقدار  $a.AM$  بستگی دارد که یک مقدار تصادفی بین  $[2a, 2a-]$  است. این فرایند به دست آوردن شکار به عنوان جستجو شناخته می‌شوند. در روش GWO اندازه جمعیت برابر تعداد گرگ‌ها می‌باشند. هر گرگ دارای تابع شایستگی است که بیانگر فاصله شکار با هر گرگ می‌باشد. بهترین گرگ‌ها به صورت آلفا و بتا و دلتا هستند که بهترین آن‌ها آلفا خواهد بود.

## ۴ برنامه ریزی تابع چندهدفه فازی

یک راه‌حل بهینه را بعضی اوقات راه‌حل غیر حقیر<sup>۵</sup> هم می‌گویند زیرا نسبت به بقیه راه‌حل‌های ممکن پایین رتبه و نامرغوب نیست [۲۸]. چون قرار است توابع را به صورت

<sup>5</sup>Noninferior

فازی مدل کنیم بنابراین جهت نشان دادن شکل خطی تابع فازی هدف داریم.

$$\mu(C_i x) = \begin{cases} 0 & C_i x > Z_i^{\circ} \\ \frac{C_i x - Z_i^{\wedge}}{Z_i^{\circ} - Z_i^{\wedge}} & Z_i^{\wedge} < C_i x \leq Z_i^{\circ} \\ 1 & C_i x \leq Z_i^{\wedge} \end{cases} \quad (27)$$

کمترین مقدار تابع هدف  $Z_i^{\circ} = \min C_i x$  بیشترین مقدار تابع هدف  $Z_i^{\wedge} = \min C_i x$

با معرفی  $\mu_D$  بعنوان تصمیم گیر فازی بصورت  $\mu_D(X) = \mu_D(\mu_1(C_1 x), \dots, \mu_k(C_k x))$  تابعی از  $\mu_i$  هاست) مسئله تصمیم گیر منطق فازی توسط رابطه زیر معرفی می‌گردد.

$$\text{Max } \mu_D(x) \quad (28)$$

رابطه ارائه شده یک رابطه کلی برای حل مسائل چندهدفه می‌باشد. در نهایت با در نظر گرفتن عملگر تصمیم‌گیری فازی مینیمم  $\text{Min}(\mu_1(C_1 x), \dots, \mu_k(C_k x))$  مسئله بهینه سازی چندهدفه بصورت زیر است:

$$\begin{cases} \text{Max } \text{Min } \mu_i(C_i x) \\ i = 1, \dots, k \\ Ax \leq b \end{cases} \quad (29)$$

که  $A$  و  $b$  ضرایب داده شده می‌باشند. منظور تولید یک کاندید برای مسئله که همچنین یک بهینه پارتو<sup>۶</sup> نیز باشد در برنامه‌ریزی چندهدفه فازی درباره مقدار تابع هدف برای هر هدف فازی مورد سؤال قرار می‌گیرد که این مقدار مشخص سطح مرجع نامیده می‌شود و

<sup>۶</sup>PARETO

اگر سطح مرجع در دسترس باشد تصمیم گیر به صورت Minimax است:

$$\begin{cases} \text{Min Max } (\bar{\mu}_i - \mu_i(Z_i(x))) \\ i = l, \dots, k \\ Ax \leq b \end{cases} \quad (30)$$

باید توجه داشت که به منظور تولید راه‌حل‌های نهفته با حل کردن مسئله MiniMax اگر یک‌بار راه‌حل بهینه تضمین نشود لازم است که آزمون بهینگی را شکل دهم [۲۹]. به منظور الزام در شکل دادن آزمون بهینگی در مسئله MiniMax منطقی است که از مسئله MiniMax تکمیلی زیر به جای آنچه اشاره شد استفاده کنیم.

$$\begin{cases} \text{Min Max } (\bar{\mu}_i - \mu_i(C_i(x)) + W \sum_{i=1}^k (\mu_i - \mu_i(C_i(x)))) \\ i = l, \dots, k \\ Ax \leq b \end{cases} \quad (31)$$

$W$  یک عدد مثبت به اندازه کافی کوچک است که قضیه خطی بودن مسئله حفظ می‌شود. یکی از روش‌های حل مسئله بالا استفاده از الگوریتم GWO است برای این مسئله طبیعی است که تابع برازندگی را به صورت زیر معرفی کنیم:

$$\begin{cases} F(s) = (1 + kw) - \text{Max}(\bar{\mu}_i - \mu_i(C_i(x)) + W \sum_{i=1}^k (\mu_i - \mu_i(C_i(x)))) \\ i = l, \dots, k \\ s \in x \end{cases} \quad (32)$$

#### ۱.۴ مراحل روش پیشنهادی

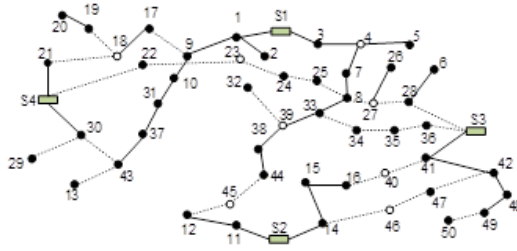
در ادامه مراحل روش پیشنهادی جهت حل مدیریت باتری خودروهای برقی و بهبود الگوی مصرف بار ارائه شده است:

- مرحله ۱:  $t = 0$ ، بردار جواب اولیه با مقادیر تصادفی برای متغیرها تعیین شود.
- مرحله ۲: تعیین مقادیر مینیمم و ماکزیمم هر تابع هدف.
- مرحله ۳: تعیین توابع عضویت فازی برای هر تابع هدف به کمک معادله (۲۷).
- مرحله ۴: با استفاده از توابع عضویت فازی به دست آمده مسئله Minimax به کمک معادله (۳۱) حل می‌شود
- مرحله ۵:  $t = t + 1$ ، به کمک روش گرگ خاکستری (معادلات ۲۰ تا ۲۶) متغیرهای مسئله به روز می‌شوند.
- مرحله ۶: در صورت رسیدن به شرط توقف (تعداد تکرار مشخص) نمایش نتایج در غیر این صورت برو به مرحله (۲).

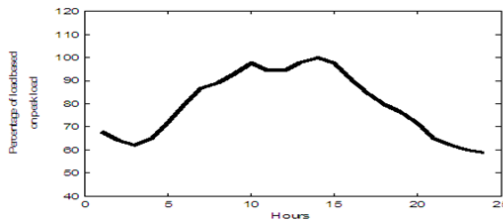
## ۵ شبیه سازی و تحلیل نتایج

شکل (۱) ساختار سیستم مورد مطالعه که یک شبکه ۵۴ باسه IEEE است نمایش می‌دهد [۲۳] خطوط پیوسته نمایانگر فیدرهای شبکه‌ی شعاعی می‌باشند و خطچینها بیان کننده مکانهای کاندید شده جهت گسترش سیستم خواهند بود. مربعهای  $S_1$  و  $S_2$  نمایانگر پستهای موجود می‌باشند و مربعهای  $S_3$  و  $S_4$  نمایانگر پستهای برنامه‌ریزی شده هستند. بعلاوه گرهای ۲۳، ۱۸، ۴۰، ۲۷، ۴۶، ۴۵، ۳۹، ۴ نمایانگر ۸ ایستگاه شارژ کاندید خدمات‌رسانی می‌باشند. ۸ کاندید ایستگاه شارژ به ۴ ناحیه در شبیه‌سازی تقسیم شده‌اند. ناحیهی برنامه‌ریزی ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد. تعداد EV ها ۴۰۰۰ تا در نظر گرفته شده است.

بار مصرفی شبکه نیز در شکل (۲) نمایش داده شده است. ظرفیت ۸ ایستگاه شارژ کاندید و ضریب وزنی هر سایت کاندید در جدول (۱) نشان داده شده است که با روش الگوریتم گرگ خاکستری حاصل شده است. پس از اجرای بهینه‌سازی در حالتی که EV ها به شبکه متصل نباشند مقدار تراکم بار برابر با ۵۴.۴۳ مگاوات به دست می‌آید و در حالتی که EV ها به شبکه متصل باشند مقدار تراکم بار برابر ۳۷،۴۸ مگاوات میشود. همان‌طور که انتظار می‌رفت حضور ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی با قابلیت V2G



شکل ۱: دیاگرام اولیه شبکه مورد مطالعه [۲۳]

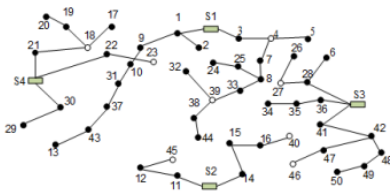


شکل ۲: میزان بار مصرفی شبکه برحسب (p.u)

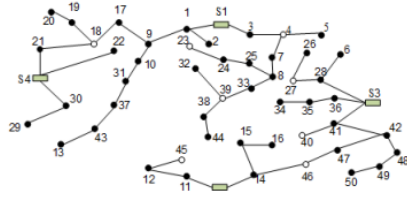
در شبکه بهترین اثر را روی شاخص تراکم بار خواهد داشت. شکل (۳) بهترین طرح برنامه‌ریزی شده برای هر دو حالت را نشان می‌دهد. گره‌های ۴، ۴۰، ۴۵ و ۲۳ ایستگاه‌های شارژ جدیدی هستند که براساس برنامه‌ریزی جهت کاهش هزینه‌های تولید توان معرفی شده‌اند. با توجه به مقادیر به دست آمده برای تراکم بار و همچنین با توجه به شکل (۳) میتوان دریافت که مقدار تراکم بار در حالت بدون در نظر گرفتن تاثیر EV ها کمتر از حالتی است که تاثیر EV ها را در شبکه توزیع لحاظ کنیم. با توجه به شکل (۴) میتوان دریافت که خودروهای برقی در ساعات خاصی از شبانه‌روز به شبکه متصل نیستند، به همین جهت مورد مذکور را باید جهت برنامه‌ریزی شبکه توزیع مدنظر قرارداد. با توجه به شکل (۴) به این نتیجه میرسیم که بهترین حالت جهت برنامه‌ریزی شارژ خودروها ساعات ۲۲ الی ۶ صبح می‌باشد و در ساعات ۱۰ الی ۱۵ خودروها باید به شبکه انرژی تزریق نمایند. همچنین در ۱۶ الی ۱۸ به دلیل کاهش مصرف، زمان مناسبی جهت شارژ باتری خودروها میباشد و چون پیک بار شبکه را در ۱۸ الی ۲۲ داریم میتوان جهت متعادل کردن بار شبکه دوباره از دشارژ باتری خودروهای متصل به شبکه بهره گرفت. با نزدیک شدن به ساعات پایانی نیمه‌شب به تدریج از میزان بار مصرفی شبکه کم شده و زمان مناسبی جهت شارژ خودروهای برقی خواهد بود.

جدول ۱: ظرفیت و ایستگاه های کاندید

ناحیه	ظرفیت (کیلووات)	ایستگاههای کاندید
۱	۶۵۲	۴ و ۳۹
۲	۳۸۹	۴۵ و ۴۰
۳	۳۰۵	۲۷ و ۴۶
۴	۴۱۵	۲۳ و ۱۸



(ب) با در نظر گرفتن تاثیر V2G



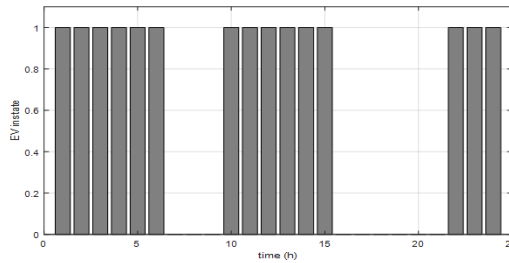
(آ) بدون در نظر گرفتن تاثیر V2G

شکل ۳: طرح واره های بهینه سازی برنامه ریزی شبکه قدرت

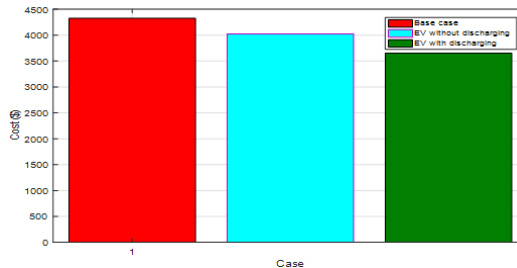
## ۱.۵ تحلیل اقتصادی

هزینه کلی بهره برداری شبکه برای حالت های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. هزینه برای حالت عادی که خودروهای برقی به صورت غیرهوشمندانه (حالت پایه) و به محض اتصال به شبکه شارژ می شوند برابر با ۴۳۲۳ دلار، برای شارژ هوشمند (بدون قابلیت دشارژ) ۴۰۱۲ دلار و برای حالت شارژ و دشارژ هوشمند ۳۶۴۵ دلار می باشد. برای بررسی دقیق تر دلیل کاهش هزینه در حالتها با شارژ و دشارژ هوشمند هزینه ساعتی در حالات مختلف در شکل (۶) نمایش داده شده است. دلیل اصلی این تفاوت را میتوان در هزینه ساعت ۳، ۴، ۵، ۱۷ و ۱۸ که گران ترین ساعات شبکه می باشند بررسی نمود. شکل (۷) بیان میکند که هرچه مقدار توان اکتیو پست بیشتر باشد یعنی میزان توان بیشتری از پست کشیده شده و به خودی خود برای شبکه توزیع بسیار مضر است زیرا که تلفات شبکه نیز افزایش خواهد یافت و همان گونه که از شکل مشخص است در حالت هوشمند شارژ/دشارژ شبکه بیشترین پایداری را دارد و بهترین منحنی توزیع نرمال را به خود اختصاص میدهد. شکل (۸) توان راکتیو را نمایش می دهد. توان راکتیو تناسب مستقیمی با توان اکتیو در شبکه های قدرت ندارد زیرا هنگامی که توان اکتیو از حد معینی





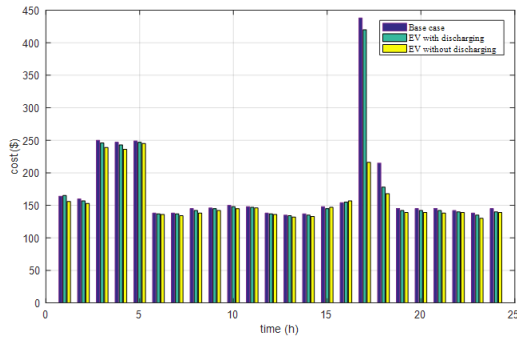
شکل ۴: وضعیت اتصال خودروها به شبکه



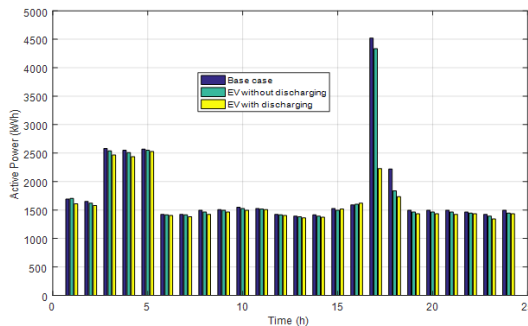
شکل ۵: هزینه کلی در حالت‌های مختلف عملکرد ایستگاه شارژ

بیشتر میشود میزان تداخل در فیدرها به‌طور قابل توجهی به خاطر اثر تجمیعی افزایش می‌یابد که موجب بروز عدم ناپایداری در شبکه و افزایش تلفات میشود. در شکل (۹) توان ظاهری تمامی خطوط برای ساعت ۱۷ که بیشینه مصرف در آن رخ می‌دهد ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده میشود در حالت عدم هوشمندی، شبکه انرژی بسیاری را هدر می‌دهد، اما در حالتی که شارژ / دشارژ هوشمند اتفاق می‌افتد حتی در زمانهایی میزان مصرف توان از پست نزدیک به صفر میشود که این اتفاق به دلیل تخلیه هوشمند باتریها به شبکه اتفاق می‌افتد. ولی در حالتی که تنها شارژ هوشمند را داریم با این‌که مصرف شبکه پایین می‌آید اما به دلیل عدم تزریق بار به شبکه هیچ‌گاه میزان استفاده از توان ظاهری پست صفر نمیشود. همچنین نتایج تابع هدف بهبود پروفایل ولتاژ برای دو حالت بدون در نظر گرفتن برنامه‌ریزی  $V2G$  و با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی بهینه  $V2G$  به ترتیب ۰۳۵۱ و ۰۲۴۲ پریونیت می‌باشد. که بیان‌کننده اهمیت برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ ماشین‌های الکتریکی در سیستم توزیع دارد.

یافته‌های کلی این مقاله همراه با نتایج بدست آمده از سایر مطالعات، در جدول (۲) و (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری یک



شکل ۶: هزینه ساعتی حالت‌های مختلف عملکرد ایستگاه شارژ



شکل ۷: توان اکتیو ساعتی پست در عملکرد ایستگاه شارژ

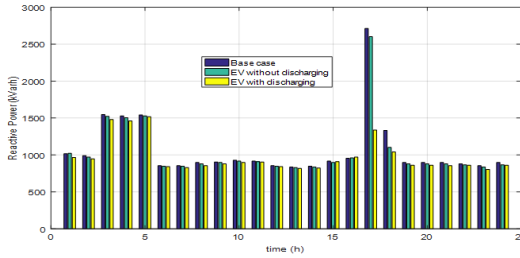
روش قوی از نظر برنامه ریزی بهینه شبکه توزیع در حضور خودروهای برقی می‌باشد. به ازای ده بار اجرا شدن برنامه ی بهینه‌سازی پیشنهادی در این تحقیق نتایج با چهار الگوریتم فراابتکاری ژنتیک [۲۴]<sup>۷</sup> (GA) ، الگوریتم ازدحام ذرات [۲۵]<sup>۸</sup> (PSO) ، الگوریتم استعماری [۲۶]<sup>۹</sup> (ICA) ، و الگوریتم تکاملی تفاضلی [۲۷]<sup>۱۰</sup> (DE) مقایسه شده و متوسط زمان اجرای هر کدام از الگوریتم‌ها به دست آمده است و در جدول (۲) لیست شده است. مشاهده می شود که زمان اجرای الگوریتم گرگ خاکستری کمتر از چهار الگوریتم مذکور دیگر است. در جدول (۳) نیز مقایسه‌ای برحسب درصد کاهش هزینه بهره برداری شبکه برای پنج الگوریتم نمایش داده شده است که الگوریتم گرگ خاکستری کاهش هزینه

<sup>7</sup>Genetic algorithm (GA)

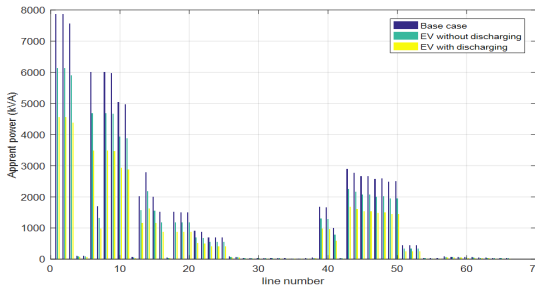
<sup>8</sup>particle swarm optimization (PSO)

<sup>9</sup>Imperialist competitive algorithm (ICA)

<sup>10</sup>Differential (DE)



شکل ۸: توان راکتیو ساعتی پست در عملکرد ایستگاه شارژ



شکل ۹: توان ظاهری کلیه خطوط در ساعت ۱۷

بیشتری را ایجاد کرده است. با توجه به تأثیر سرعت حل برنامه های بهینه سازی مدیریت

جدول ۲: مقایسه سرعت همگرایی الگوریتم‌ها برحسب میلی ثانیه

روش بهینه سازی	سرعت همگرایی
GA	۴۹۰
PSO	۵۰۸
DE	۴۸۵
ICA	۴۹۵
GWO	۴۷۲

مصرف در پیاده سازی هرچه بهتر برنامه های پاسخ به تقاضا، کارایی الگوریتم گرگ خاکستری برای کاربردهای آنلاین شبکه نسبت به چهار الگوریتم دیگر اثبات می شود. بنابراین، روش پیشنهادی در این مقاله، توانسته است با کاهش قابل قبول در کاهش هزینه و بهبود برنامه ریزی شارژ خودروها، زمان اجرای برنامه ی بهینه‌سازی را کاهش دهد و از این رو می‌تواند در بهینه سازی برنامه های طراحی شبکه هوشمند مؤثر باشد.

جدول ۳: مقایسه کاهش هزینه برحسب درصد

روش بهینه سازی	درصد کاهش هزینه
GA	۲۰.۸
PSO	۳۰.۹
DE	۴۰.۸
ICA	۵۰.۹
GWO	۶۰.۹

## ۶ نتیجه گیری

یک مدل بهینه سازی شده جهت برنامه ریزی شبکه توزیع پیشنهاد شد که توابع هدف شامل بهبود قابلیت اطمینان شبکه و کاهش هزینه دارندگان خودروهای برقی بود. نتایج بدست آمده بر اساس مدل ۵۴ باسه IEEE میباشند که نشان می دهد مدل پیشنهادی شامل نتایج قابل قبولی جهت برنامه ریزی شبکه توزیع است. در این مدل بهینه ترین مکان قرارگیری ایستگاه های شارژ در شبکه و اندازه آن ها معین گردید. جهت مقایسه شبکه توزیع در حالت با و بدون وجود خودروهای برقی و ایستگاه های شارژشان، معلوم می شود که در آینده  $V2G$  می تواند به مقدار قابل قبولی هزینه های شبکه توزیع را کاهش دهد. مشخص گردید که در روش شارژ / دشارژ هوشمند خودروهای برقی کاملاً کنترل میشوند که این روش در نتایج منجر به هزینه های کمتر بهره برداری خواهد شد و در نهایت ولتاژ شبکه نیز در محدوده مجاز ۵ درصد باقی می ماند. دلیل اصلی این مزایا شارژ خودروها در ساعات شب می باشد که در این ساعات بار عادی شبکه کم و قیمت برق کم می باشد. بنابراین میتوان به راحتی با کنترل شارژ خودروهای برقی تراکم در شبکه توزیع را کنترل کرد و برنامه ریزی بار پیک را به منظور مدیریت تقاضا در شبکه های هوشمند به نحو مطلوب انجام داد.

## مراجع

- [1] A. Zakariazadeh, S. Jadid, P. Siano, Multi-objective scheduling of electric vehicles in smart distribution system, Energy Conversion and Management, Vol 79, pp43-53, 2014.

- [2] Y. Zhou, A. Ravey and M.C. Péra, A survey on driving prediction techniques for predictive energy management of plug-in hybrid electric vehicles, 2019.
- [3] U. Cetinkaya, R. Bayindir and S. Ayik, "Ancillary Services Using Battery Energy Systems and Demand Response", 2021 9th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), pp. 212-215, 29 June-1 July 2021.
- [4] F. Ayadi, I. Colak, I. Garip and H. I. Bulbul, "Targets of Countries in Renewable Energy", 2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), pp. 394-398, 27-30 Sept.2020.
- [5] TU Diam, X Wang, K Cowan, T Shott. Technology roadmap for smart electric vehicle-to-grid (V2G) of residential chargers. Journal of Innovation and Entrepreneurship 2016; 5(15):1-13.
- [6] H Tayarani, H Jahangir, R Nadafianshahamabadi, M Aliakbar Golkar, A Ahmadian, A Elkamel. Optimal Charging of Plug-In Electric Vehicle: Considering Travel Behavior Uncertainties and Battery Degradation. Applied Sciences. 2019; 9(16):3420.
- [7] F Gianluca, G Tarquini, L Pasquali, L AnniballiDinesto. Impact of V2G/G2V Technologies on Distributed Generation Systems. IEEE 2014;1677-82.
- [8] M. Akil, E. Dokur and R. Bayindir, "Impact of Electric Vehicle Charging Profiles in Data-Driven Framework on Distribution Network", 2021 9th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), pp. 220-225, 29 June-1 July 2021.
- [9] M. S. Estrice, G. Sharma, K. T. Akindeji and I. E. Davidson, "Frequency Regulation Studies of Interconnected PV Thermal Power System", 2020 International SAUPEC/RobMech/PRASA Conference, pp. 1-5, 29-31.

- [10] K Thirugnanam, H Saini, P Kumar. Mathematical Modeling of Li-Ion Battery for Charge/Discharge Rate and Capacity Fading Characteristics using Genetic Algorithm Approach. IEEE ,2019.
- [11] J Saarenpää, M Kolehmainen, H Niska. Geodemographic analysis and estimation of early plug-in hybrid electric vehicle adoption. *Appl Energy*;107:456–64, 2013.
- [12] N. Z. Xu, K. W. Chan, C. Y. Chung and M. Niu, "Enhancing adequacy of isolated systems with electric vehicle-based emergency strategy", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 21, no. 8, pp. 3469-3475, Aug. 2020.
- [13] K Qian, Z Hou, J Liang, R Liu, D Sun. Interior Sound Quality Prediction of Pure Electric Vehicles Based on Transfer Path Synthesis. *Applied Sciences*. 2021.
- [14] Shojaabadi, S., Abapour, S., Abapour, M. and Nahavandi, A, Optimal planning of plug-in hybrid electric vehicle charging station in distribution network considering demand response programs and uncertainties. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 10: 3330-3340.2016.
- [15] S. Wang, Z. Y. Dong, F. Luo, K. Meng, and Y. Zhang, "Stochastic collaborative planning of electric vehicle charging stations and power distribution system," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, pp. 321-331, 2018.
- [16] M. O. A. Kader, K. T. Akindeji and G. Sharma, "A Novel Solution for Solving the Frequency Regulation Problem of Renewable Interlinked Power System Using Fusion of AI", *Energies*, vol. 15, no. 9, pp. 3376, 2022.
- [17] S. Vadi, F. B. Gurbuz, S. Sagioglu and R. Bayindir, "2021 9th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)", Optimization of PI Based Buck-Boost Converter by Particle Swarm Optimization Algorithm, pp. 295-301, 2021.

- [18] H.-C. Liu, M. Yang, M. Zhou, and G. Tian, "An integrated multi-criteria decision making approach to location planning of electric vehicle charging stations," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, pp. 362-373, 2019.
- [19] S. N. Jahromi, A. Askarzadeh, and A. Abdollahi, "Modelling probabilistic transmission expansion planning in the presence of plug-in electric vehicles uncertainty by multi-state Markov model," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 11, pp. 1716-1725, 2018.
- [20] M. A. El-Dabah, S. Kamel, M. Khamies, H. Shahinzadeh and G. B. Gharehpetian, "Artificial Gorilla Troops Optimizer for Optimum Tuning of TID Based Power System Stabilizer", 2022 9th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS), pp. 1-5, 2-4, 2022.
- [21] Y. Li, Z. Yang, D. Zhao, H. Lei, B. Cui and S. Li, "Incorporating energy storage and user experience in isolated microgrid dispatch using a multiobjective model", *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 6, pp. 973-981, 2019.
- [22] R.-C. Leou, C.-L. Su and C.-N. Lu, "Stochastic analyses of electric vehicle charging impacts on distribution network", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 3, pp. 1055-1063, 2013.
- [23] V. Miranda, J. V. Ranito, and L. M. Proenca, "Genetic algorithms in optimal multistage distribution network planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 1927-1933, 1994.
- [24] Katoch, S., Chauhan, S.S. Kumar, V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimed Tools Appl* 80, 8091-8126 2021.
- [25] Poli, R., Kennedy, J. Blackwell, T. Particle swarm optimization. *Swarm Intell* 1, 33-57, 2007.

- [26] Kaveh, A., Bakhshpoori, T. Imperialist Competitive Algorithm. In: Metaheuristics: Outlines, MATLAB Codes and Examples. Springer, Cham, 2019.
- [27] Castillo, O., Ochoa, P., Soria, J. Differential Evolution Algorithm. In: Differential Evolution Algorithm with Type-2 Fuzzy Logic for Dynamic Parameter Adaptation with Application to Intelligent Control. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, 2021.
- [28] M.Dorigo, G.D. Caro and L.M.Gambardella, "PARETO for Discrete Optimization", Artificial Life, Vlo.5, No.3, PP. 137-172, 1999.
- [29] R.E.Bellman, L.A. Zadeh, "Decision-making in a fuzzy environment," Manage Sci, vol.17, No.4, pp.141– 64, 1970.