

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## یکپارچه سازی و بهره برداری بهینه از شبکه های توزیع در حضور خودروهای الکتریکی و جایابی بهینه خازن ها بر اساس الگوریتمهای هوشمند

بهروز جویبار\*<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین الملل قشم، قشم، ایران behrouzjoybar@yahoo.com

### چکیده

یکپارچه سازی وسایل نقلیه الکتریکی درون سیستم توزیع موجود، بدون ارتقای قابل ملاحظه زیرساخت، تنها از طریق شارژ هوشمند این بارها، ضمن در نظر گرفتن درست این عدم قطعیت ها ممکن خواهد بود. الاستیسیته وسایل نقلیه الکتریکی یک میزانی از انعطاف پذیری را فراهم می سازد که می تواند به منظور تضمین عملکرد موثر فیدر، ضمن فراهم نمودن شارژ موثر و نسبتا خوب مشترکین وسایل نقلیه الکتریکی، توسط شرکت های تولید برق و یا شرکت های توزیع محلی استفاده شود. این مقاله، یک رویکرد جدید دو مرحله ای را برای شارژ نسبتا خوب وسایل نقلیه الکتریکی در یک فیدر اولیه توزیع، با لحاظ کردن عدم قطعیت مربوط به وسایل نقلیه الکتریکی، و در نظر گرفتن چشم اندازهای شرکت های توزیع محلی و مشترکین وسایل نقلیه الکتریکی ارائه می نماید. در این مقاله ابتدا میانگین پیک تقاضای روزانه فیدر و برنامه های زمانی کنترل فیدر به صورت ساعتی، نظیر تپها و نقاط تنظیمی خازن های سویچ شده، ضمن مینیمم سازی پیک تقاضای روزانه با در نظر وجود وسایل نقلیه الکتریکی، به صورت ساعتی تعیین می شوند و بر اساس تکنیک بوت استرپ غیر پارامتری در کنار یک مدل بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای در نظر گرفتن تغییرات زمان های ورود و خروج، و وضعیت شارژ اولیه باتری وسایل نقلیه الکتریکی در هر گره، استفاده می شود. سپس حداکثر توان ممکن که می تواند در هر گره برای شارژ وسایل نقلیه الکتریکی داده شود، ضمن حفظ مقدار پیک تقاضا و برنامه های زمانی توزیع فیدر تعریف شده در هر دقیقه محاسبه می شود و به طور منصفانه ای میان وسایل نقلیه الکتریکی تقسیم می گردد. تکنیک پیشنهادی با استفاده از فیدر تست ۱۳ باسه IEEE با در نظر گرفتن میزان های قابل توجهی از نفوذ وسایل نقلیه الکتریکی ارزیابی می گردد.

### واژه های کلیدی

الگوریتمهای هوشمند، تکنیک بوت استرپ، وسایل نقلیه الکتریکی و جایابی بهینه خازن.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

یکی از بزرگ ترین چالش های شهرهای بزرگ، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از وسایل نقلیه ای است که از سوخت های فسیلی نظیر بنزین و گازوییل استفاده می کنند. در این میان، یکی از امیدوار کننده ترین مسیرهایی که رسیدن به انرژی ایمن و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، تسهیل نمودن بکارگیری جهانی حدود بیش از ۴۰ میلیون وسیله نقلیه الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ می باشد [۱]. اگر این نرخ بکارگیری وسایل نقلیه الکتریکی تا سال ۲۰۵۰ حفظ شود، وسایل نقلیه الکتریکی جایگزین حدود 62% وسایل نقلیه ای می شوند که با سوخت های فسیلی کار می کنند [۲]. مزایای و فواید وسایل نقلیه الکتریکی عبارتند از: داشتن سوخت های انعطاف پذیر، راحت، شارژ ایمن، عملکرد بالا، و حدود 40%-60% کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی است. ایستگاه های شارژ، الزامات حتمی و ضروری برای تامین تعداد فزاینده وسایل نقلیه الکتریکی سراسر جهان می باشند. واحدهای تجهیز تامین وسایل نقلیه الکتریکی را ایستگاه های شارژ می نامند. ایستگاه های شارژ، توان الکتریکی را از یک منبع الکتریکی از طریق تجهیزات الکتریکی برای شارش ایمن به وسایل نقلیه الکتریکی انتقال می دهند. منازل، محل های کار، و ایستگاه های عمومی می توانند مکان های مناسبی برای نصب ایستگاه های شارژ باشند. بر اساس میزان شارژ و قابلیت های ارتباطی، ایستگاه های شارژ به سه سطح مختلف دسته بندی می شوند: (۱) شارژ 2-5mi/h، (۲) شارژ 10-20 mi/h، (۳) و ایستگاه های شارژ dc سریع که ۶۰ تا ۸۰ مایل رانندگی را در ۲۰ دقیقه شارژ می کنند [۳]. نوع تجهیزات ایستگاه شارژ، کمیت، موقعیت، و دیگر نیازمندی های مربوطه در مراجع [۴،۵] بحث شده اند. فیدرها و تجهیزات توزیع برای خدمات رسانی به پیک بارها طراحی می شوند، و در نبود بارهای وسایل نقلیه الکتریکی پلاگین، معمولا توزیع روز بعدی فیدرها، با بهینه سازی کنترل های فیدر برای پروفایل های پیش بینی شده بار انجام می شود [6]. با این حال، به خاطر نگرانی های مربوط به تغییر آب و هوا، انتظار می رود که سهم بازار وسایل نقلیه الکتریکی افزایش پیدا کند، و نتیجتا، شرکت های تولید برق انتظار دارند که به خاطر شارژ کردن این بارها از طریق شبکه الکتریکی، تقاضای توان افزایش پیدا کند. ممکن است که شارژ کنترل نشده وسایل نقلیه الکتریکی منجر به پیک های جدیدی در فیدرهای توزیع شود، که نیازمند ارتقاها و وسیعی در زیرساخت و تجهیزات خواهد بود [7-8]. همچنین، بارهای وسایل نقلیه الکتریکی، منابع جدیدی از عدم قطعیت زمانی و مکانی را نمایش خواهند داد، که یک چالشی را برای کنترل متمرکز و عملکرد بهینه شبکه اعمال خواهد کرد. در عمل، این عدم قطعیت ها به صورت نتیجه ای از تغییر پذیری در عواملی نظیر تعداد وسایل نقلیه الکتریکی متصل شده به شبکه برای شارژ شدن، زمان های ورود و خروج وسایل نقلیه الکتریکی، و وضعیت شارژ اولیه باتری، SOC، حاصل می شوند [9]. در جایابی ایستگاه های شارژ اگر ملاحظات فنی در طول مرحله طراحی در نظر گرفته نشود، چالش های جدیدی برای سیستم های قدرت ایجاد خواهد شد. دانشگاه ها و صنایع پیشگام برنامه ریزی مناسب برای جایابی ایستگاه های شارژ در سیستم های قدرت هستند [10-11]. بطور کلی در منابع مختلف تاثیر یکپارچه نمودن ایستگاه های شارژ وسایل نقلیه الکتریکی در شبکه های توزیع که به بحث تلفات و پروفایل ولتاژ پرداخته اند، بررسی شده است. از طرف دیگر، استفاده از خازن گذاری در سیستم های قدرت برای کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ، نیز یکی از راهکارهای قدیمی در این زمینه می باشد. جایابی بهینه خازن ها در سیستم های قدرت برای جبرأت توان راکتیو و کاهش تلفات نیز چالشی است که در شبکه توزیع با آن مواجه می شویم. حال چنانچه در شبکه های توزیع ایستگاه های شارژ هم وارد شوند، چالش ها مضاعف می گردد. در این مقاله، کنترل های فیدر، که تپ ها و خازن ها هستند، ابتدا برای مینیمم سازی پیک تقاضای روزانه بهینه می شوند تا توزیع روز بعد فیدرها ضمن در نظر گرفتن کنترل شارژ PEVS ها و عدم قطعیت های مربوط به آنها انجام شود. از نظر شرکت تولید برق، مینیمم سازی پیک تقاضا به خاطر افزایش تقاضای ناشی از شارژ وسایل نقلیه الکتریکی و برنامه های مبتنی بر تشویق مشترکین، اهمیت دارد [5]. این برنامه های تشویقی به معنای کاهش پیک تقاضا در شبکه های قدرت هستند تا هزینه های زیاد سرمایه گذاری شبکه در تولید، انتقال و تجهیزات توزیع کاهش یابد. سپس، برنامه ریزی زمانی نسبتا خوب شارژ کردن PEVS ها در هر گره به طور تناوبی ( هر چند دقیقه ) ماکزیمم می شود تا تقاضای بار از پیک تقاضای روزانه فیدر که برای توزیع فیدر بدست آمده است، فراتر نرود و از محدودیت های اجرایی فیدر تجاوز ننماید.

## ۲. شارژ هوشمند PEVS

با بکارگیری استراتژی های شارژ هوشمند، شرکت های تولید برق قادر خواهند بود تا بهره وری را افزایش دهند و یک نفوذ بالاتری از PEVS ها را با سرمایه گذاری های کمتر در شبکه جا دهند، زیرا که شارژ کنترل نشده باعث ایجاد پیک های جدیدی در سیستم خواهد شد

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

که هزینه‌های اجرایی شرکت‌های تولید برق را افزایش می‌دهند. به منظور تشویق نمودن مشترک به تغییر رفتار خود، طرح‌های شارژ در صورتی موثر و کارآمد خواهند بود که این طرح‌ها با مشوق‌های قیمت گذاری توسط شرکت‌های تولید برق همراه باشند. از نظر مشترکین، این گونه طرح‌ها در مینیمم سازی هزینه‌های مربوط به شارژ PEVS‌های مشترکین جالب خواهند بود و در ضمن شرکت‌های تولید برق می‌خواهند که هزینه‌های اجرایی آنها نیز مینیمم گردد. در مرجع [12]، هزینه‌های تولید و شارژ PEVS‌ها با استفاده از یک مدل پخش بار بهینه، بهینه سازی شده اند؛ با این حال، این مرجع فرض می‌کند که در هر گره تنها یک PEV وجود دارد و هیچ گونه تغییری در زمان شروع شارژ و وضعیت شارژ اولیه باتری وجود ندارد. محدودیت دیگر این کار این است که وابسته به توپولوژی شبکه است و تنها در صورتی می‌تواند حل شود که توپولوژی یک شرط معینی را برآورده کند. طرح پیشنهادی از یک رویکرد متمرکز برای فراهم نمودن شارژ نسبتاً خوب PEVS‌ها ضمن در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط به PEVS‌ها ( زمان‌های ورود و خروج، وضعیت شارژ اولیه باتری‌ها، و تعداد PEVS‌های در حال شارژ ) استفاده می‌کند. همچنین، یک مدل دقیق و واقعی از فیدر سه فاز نامتعادل استفاده می‌شود.

### ۳. مدل پخش بار بهینه توزیع، DOPF.

یک چارچوب مهم استفاده شده برای مهندسی قدرت برای عملکرد بهینه و برنامه ریزی سیستم‌های خطی، پخش بار بهینه یا OPF<sup>1</sup> است که برای یافتن تنظیمات بهینه یک شبکه معین ضمن برآورده کردن محدودیت‌های اجرایی و ایمنی سیستم، یک تابع هدفی را مینیمم می‌کند. به طور کلی، یک مسئله OPF را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\min f(x) \quad (1)$$

$$s. t \quad g(x) = 0 \quad (2)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (3)$$

$$x \geq 0 \quad (4)$$

که  $x$  نشان دهنده یک برداری از متغیرهای تصمیم گیری است؛  $g(x)$  معادلات پخش بار سیستم و دیگر قیود تساوی سیستم را توصیف می‌کند؛ و  $h(x)$  یک برداری از متغیرهای کنترلی را با محدوده‌های بالایی و پایینی که محدوده‌های کاری سیستم را مشخص می‌کنند نشان می‌دهد (مانند تپ ترانسفورماتور، کاهش بار، ولتاژ گره، و محدوده‌های جریان فیدر). تابع هدف  $f(x)$  ممکن است که مشترک محور، شرکت برق محور، و یا ترکیبی از هر دو دیدگاه، نظیر مینیمم سازی تلفات‌های سیستم، مینیمم سازی هزینه نصب خازن‌های جدید، مینیمم سازی تعداد عملیات کنترلی و غیره باشد. مسئله OPF در یک سیستم توزیع به صورت مسئله DOPF قلمداد می‌شود [7]. در این مقاله، برای بهینه سازی کنترل‌های فیدر مانند تپ‌ها و خازن‌ها، برای مینیمم سازی پیک روزانه برای انجام توزیع فیدرها در روز بعد با در نظر گرفتن کنترل شارژ PEVS‌ها و عدم قطعیت آنها، از یک DOPF استفاده می‌شود. سپس، برنامه ریزی زمانی نسبتاً خوب شارژ PEVS‌ها به طور متناوب ( هر چند دقیقه) در هر گره به گونه ای انجام می‌شود که تقاضای پیک بهینه روزانه فیدر که برای یک توزیع فیدر بدست آمده است، فراتر نرود و از محدوده‌های کاری فیدرها تجاوز ننماید.

- **قیود تساوی:** قیود تساوی ممکن است که شامل معادلات توازن توان برای توان حقیقی و راکتیو باشد، که شارش توان از درون شبکه را مقرر می‌کنند [6]:

$$P_n^G - P_n^D = \sum_{p=1}^N |V_n| |V_p| |Y| \cos(\theta_{np} + \delta_p - \delta_n) \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$Q_n^G - Q_n^D = \sum_{p=1}^N |V_n| |V_p| |Y| \sin(\theta_{np} + \delta_p - \delta_n) \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (6)$$

<sup>1</sup> Optimal Power Flow

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

که  $P_n^G$  و  $Q_n^G$  به ترتیب تولید حقیقی و راکتیو را در گره  $n$  نشان می‌دهند؛  $P_n^D$  و  $Q_n^D$  به ترتیب تقاضای حقیقی و راکتیو را در گره  $n$  نشان می‌دهند؛  $|V|_n$  و  $|V|_p$  به ترتیب اندازه‌های ولتاژ را در گره  $n$  و  $p$  نشان می‌دهند؛  $|Y|_{np}$  اندازه ادمیتانس بین گره  $n$  و  $p$  را نشان می‌دهد؛  $\theta_{np}$  زاویه ادمیتانس بین گره  $n$  و  $p$  را نشان می‌دهد؛ و  $\delta n$  و  $\delta p$  به ترتیب زاویه ولتاژ را در گره  $n$  و گره  $p$  نشان می‌دهند.

در این مقاله، برای محاسبه جریان فیدرها و ولتاژ گره‌ها، قیود تساوی با توجه به روش استفاده شده توسط برنامه پخش بار نرم افزار Matlab، که از تزریق فازرو جریان،  $I_n^{inj}$ ، و فازور ولتاژ،  $V$ ، در هر گره به صورت زیر استفاده می‌کند، می‌باشند:

$$[I_n^{inj}(V_n^q)] = [Y]_{n \times n} [V_n^{q+1}] \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (7)$$

در رابطه بالا،  $q$  اندیس تکرار است که از صفر شروع می‌شود.

- **قیود نامساوی:** در این مقاله، قیود نامساوی شامل محدودیت‌های فیزیکی بیان کننده محدوده‌های فیزیکی سیستم، نظیر تپ‌های ترانسفورماتور LTC، خازن‌های سویچ شده، و ظرفیت نقطه شارژ می‌باشند که نمی‌توانند از محدوده مجاز تجاوز نمایند. این قیود به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$P_{pev_n} \leq M_{cp} n e p_n \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$t_{ap_i} \leq \bar{t}_{ap_i} \quad \forall i \quad (9)$$

$$c_{ap_j} \leq \bar{c}_{ap_j} \quad \forall j \quad (10)$$

محاسبات پخش بار انجام شده توسط نرم افزار OpenDSS نیز تپ‌های ترانسفورماتور و خازن‌های سویچ شده را در مدل خود با استفاده از ماتریس‌های ادمیتانس مناسب بکار می‌گیرند. قیود نامساوی نیز شامل محدودیت‌های ولتاژ گره و جریان فیدر می‌باشند که نشان دهنده محدوده‌های اجرایی سیستم هستند. این قیود عبارتند از:

$$V_n \leq |V|_n \leq \bar{V}_n \quad \forall n = 1, 2, \dots, LN \quad (11)$$

$$I_n \leq |I|_n \leq \bar{I}_n \quad \forall n = 1, 2, \dots, B \quad (12)$$

## ۴. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک برای جستجوی نامنظم فضاها جستجو، از یک استراتژی جستجوی سراسری تصادفی سازی هوشمند استفاده می‌کند. با الهام گرفتن از مدل تکامل، الگوریتم ژنتیک با یک جمعیتی از افراد کار می‌کند که جواب‌های پخش شده ای در فضای جستجو هستند [13]، و هدف یافتن مینیمم و یا ماکزیمم تابع هدف  $f$  که نیز به عنوان تابع برازندگی معروف می‌باشد، است. یک الگوریتم ژنتیک ساده، که در مرجع [14] تشریح شده است، با یک جمعیت اولیه ای با اندازه  $\omega$  که از افراد احتمالی تشکیل شده است، شروع می‌کند. یک فرد در این جمعیت از کروموزوم‌هایی ساخته می‌شود که متغیرهای تصمیم گیری رمزگذاری شده هستند. سه عملگر ابتدایی الگوریتم ژنتیک عبارتند از: انتخاب والد، تقاطع یا لقاح، و جهش. بنابراین، ابتدا یک جفت از افراد به طور تصادفی برای زاد و ولد انتخاب می‌شوند؛ سپس، با استفاده از این افراد انتخاب شده، با یک احتمال تقاطع،  $C_r$ ، تقاطع و یا لقاح اتفاق می‌افتد؛ و در نهایت، هر بیت در افراد انتخاب شده، با یک احتمال جهش،  $m_r$  جهش داده می‌شود (از صفر به یک و یا از یک به صفر تغییر داده می‌شود). در نتیجه این اعمال، دو بچه جدید تولید می‌شوند، که سپس برای برازندگی ارزیابی می‌شوند، بدین معنا که بررسی می‌شوند که آیا قیود مسئله را برآورده می‌کنند یا خیر.

## ۵. روش بوت استرپ

روش بوت استرپ غیر پارامتری، یک روش آماری رسمی شده توسط Efron [15]، به خاطر حجم محاسباتی کاهش یافته آن، به عنوان یک جایگزینی برای شبیه سازی مونت کارلو بکار گرفته می‌شود [16]. این یک تکنیک نمونه برداری مجدد است که برای تخمین آمار و

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

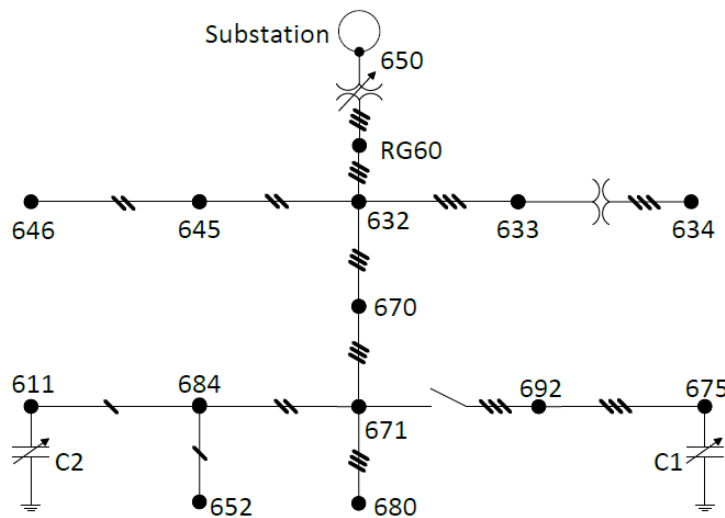
احتمال یک جمعیت با یک تابع توزیع مجهول  $F$  از طریق نمونه برداری تصادفی با جایگزینی نمونه اولیه با اندازه  $k$  استفاده می‌شود، و مخصوصاً در هنگامی که بدست آوردن نمونه اولیه با استفاده روش‌هایی که محاسبات وسیعی دارند مشکل می‌باشد، این روش موثر است. نمونه برداری با جایگزین به معنای این است که هر عنصر برای نمونه بوت استرپ به طور جداگانه با یک احتمال و تصادفی از مجموعه داده‌های اولیه انتخاب می‌شود، و در نتیجه این احتمال و امکان وجود دارد که ممکن است که یک عنصر چندین بار در یک نمونه بوت استرپ معینی اتفاق افتد. ایده اولیه این است که اگر نمونه اولیه یک تقریب خوبی از جمعیت باشد، این تکنیک یک تقریب خوبی از توزیع نمونه برداری آمار مورد نظر فراهم خواهد کرد. روش بوت استرپ بر اساس زیر است:

- تابع توزیع نمونه اولیه، یک نخمینی از تابع توزیع مجهول جمعیت است.
- نمونه برداری مجدد تصادفی با جایگزینی از نمونه اولیه صورت می‌گیرد.

بنابراین، چنانچه اندازه نمونه اولیه افزایش یابد، حاوی اطلاعات بیشتری در مورد جمعیت می‌باشد، و نتیجتاً به سمت توزیع جمعیت میل می‌کند. همچنین، اگر اندازه جمعیت اولیه،  $k$ ، به اندازه کافی بزرگ باشد، در این صورت چنانچه تعداد تکرارهای بوت استرپ،  $M$ ، به بی نهایت میل کند ( عدد بزرگ )، تخمین بوت استرپ از توزیع نمونه برداری، به سمت توزیع نمونه برداری آمار مورد نظر برای نمونه اولیه میل می‌کند.

## ۶. سیستم تست

سیستم تستی که برای ارزیابی روش پیشنهادی استفاده می‌شود، فیدر تست ۱۳ باسه IEEE است که در شکل ۱ نشان داده شده است،

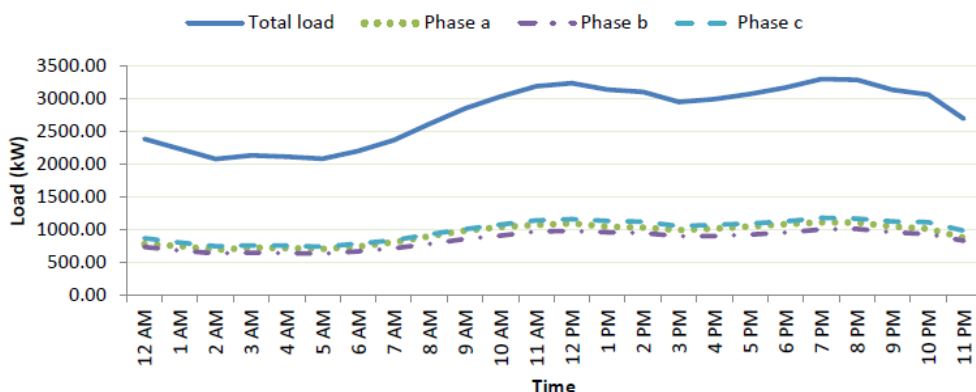


شکل ۱، فیدر تست ۱۳ باسه IEEE

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۲، پروفایل بار پایه متراکم شده ساعتی برای یک دوره ۲۴ ساعتی برای فیدر تست ۱۳ باسه IEEE

که دارای یک ترانسفورماتور LTC و خازنهای سویچ شونده در باسهای ۶۱۱ و ۶۷۵ می باشد. این خازن ها به صورت چندین بانک سویچینگ که می توانند در بلوکهای گسسته ای توزیع شوند، مدل می شوند. بانکهای خازن در هر فاز در باس ۶۷۵ دارای ۵ بلوک 100kVar می باشد و در باس ۶۱۱، دارای ۵ بلوک 50kVar در فاز C وجود دارد. پروفایل بار پایه متراکم شده ۲۴ ساعتی برای این فیدر، در شکل ۲ نشان داده شده است.

## ۷. روش بهینه سازی

با در نظر گرفتن دیدگاه و نظر مشترکین PEV، شرکت تولید برق با چالشهای مربوط به تخصیص دادن مقدار محدودی از توان و یا منابع از میان تمامی مشترکین PEV بدون فراتر رفتن از پیک تقاضای روزانه فیدر و با کنترلهای فیدر که در طول یک روز ثابت باقی می ماند، مواجه می شود. بارهای PEV متراکم شده در برخی از گره های یک فیدر توزیع اولیه شعاعی ممکن است که در مقایسه با بارهای دیگر موجود در همان فیدر به خاطر موقعیت آنها که ولتاژ گره های فیدر را تحت تاثیر قرار می دهد، مضر باشند. بنابراین، یک افزایشی در توان برای برخی از بارهای PEV، به قیمت کاهش توان تحویل داده شده به بارهای دیگر خواهد انجامید. براین اساس، این مقاله، شارژ نسبتاً خوب PEV ها تاکید می کند. برنامه زمانی نسبتاً خوب تناسبی یک توازنی را بین ماکزیمم سازی کل توان تحویلی به بارهای PEV متراکم شده و تامین سطح مینیممی از توان به تمامی بارهای PEV متصل شده برای شارژ، فراهم می نماید. در این مقاله هدف ماکزیمم سازی شارژ بارهای PEV متصل شده در یک وضعیت نسبتاً خوب با استفاده از طرح نسبتاً خوب تناسبی، برای هر فاصله زمانی  $t_2$ ، به صورت زیر است:

$$\max \left\{ \prod_{n=1}^N \left\{ \frac{P_n^{PEV}}{P_{cpn}} \right\} \right\} \forall n, v_n \neq 0 \quad (13)$$

نسبت  $P_n^{PEV}$  به  $P_{cpn}$  به مقدار ماکزیمم خود، که برابر یک است، در صورتی دست پیدا می کند که  $P_n^{PEV} = P_{cpn}$ ، بنابراین، با ماکزیمم سازی حاصلضرب این نسبت ها، این تابع هدف، توان تحویلی به PEV های در حال شارژ شدن را در هر گره ماکزیمم می سازد، و یک سطح مینیممی از سرویس را به تمامی گره هایی که در آنها PEV هایی برای شارژ شدن وجود دارند، فراهم می سازد.

قیود مدل بهینه سازی پیشنهادی به صورت زیر است:

- **محدودیت های سیستم:** محدودیت های فیزیکی و اجرایی سیستم، که توان تحویلی به PEV ها در نقطه شارژ و نیز محدودیت های ولتاژ گره و جریان فیدر می باشند، به صورت زیر در نظر گرفته می شوند:



# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

$$P_n^{psv} \leq \overline{Pcp}_n \quad \forall n = 1, 2, \dots, LN \quad (14)$$

$$V_n \leq |V|_n \leq \overline{V}_n \quad \forall n = 1, 2, \dots, LN \quad (15)$$

$$I_b \leq |I|_b \leq \overline{I|}_b \quad \forall b = 1, 2, \dots, B \quad (16)$$

که،

$$\overline{Pcp}_n = \sum_{i=1}^{n_{psv}, t} Mcp_i \quad \forall n = 1, 2, \dots, LN \quad (17)$$

- شارش‌های توان: شارش‌های توان و یا همان پخش بارها، با استفاده از نرم افزار OpenDSS [42] تعیین می‌شوند.
- محدودیت‌های پیک تقاضا: این محدودیت تضمین می‌کند که کل بار فیدر از نقطه تنظیمی پیک تقاضا که در مرحله اول محاسبه شد، تجاوز نکند، و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{n=1}^N (P_n^{bl} + P_n^{psv}) \leq E|P^{max}| \quad (18)$$

باید توجه کرد که کنترل‌های فیدر در مقادیر E[Con] تعیین شده در مرحله اول، ثابت هستند. این مسئله بهینه سازی نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک به گونه ای حل می‌شود که شارش‌های توان می‌توانند به سادگی با استفاده از یک حل کننده بیرونی؛ که در این مقاله همان نرم افزار OpenDSS است، محاسبه شوند.

## ۷-۱. روش ابتکاری

روش ابتکاری مبتنی بر حساسیت ( برای مثال مراجع [17,18] )، نرخ‌های شارژ PEVها در هر گره با استفاده از ماتریس ژاکوبین J و حاشیه ولتاژ و ولتاژ موجود محاسبه می‌کند. این ماتریس ژاکوبین از روی ماتریس Y ( ادمیتانس شبکه ) حالت پایه ( بدون بارهای PEV ) محاسبه می‌شود. بنابراین، در هر دقیقه T<sub>2</sub>، ماتریس ژاکوبین می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (19)$$

ماتریس ژاکوبین حالت پایه، متناظر با نقطه کاری مربوط به بارهای پایه در فیدر است ( بارهای PEV صفر می‌باشند ). تغییرات ایجاد شده در توان اکتیو P<sub>n</sub> که به تغییرات ایجاد شده در بار PEV در هر گره مربوط می‌شود را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_n^{psv} \\ \Delta |V|_n \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \Delta \delta_n \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (20)$$

ولتاژ حالت پایه گره‌ها، |V<sup>bc</sup>||<sub>n</sub>، برای بار پایه معلوم در هر گره محاسبه می‌شوند، که سپس برای محاسبه حاشیه ولتاژ موجود به آستانه کاری پایین تر به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta |V|_n = |V|_n - |V^{bc}|_n \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (21)$$

در این مقاله، به دلیل اینکه فرض می‌شود که PEVها بارهای توان اکتیو خالصی هستند، و محدوده‌های ولتاژ گره‌ها تنها به |V|<sub>n</sub> بستگی دارند، در این صورت، ΔQ<sub>n</sub>=0 و Δδ<sub>n</sub>=0 است. بنابراین،

$$\Delta P_n^{psv} = J_2 \Delta |V|_n \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (22)$$

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

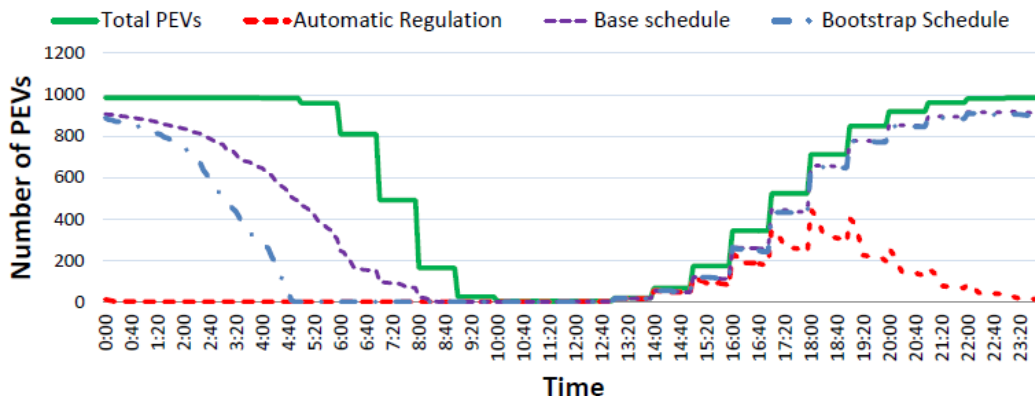
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

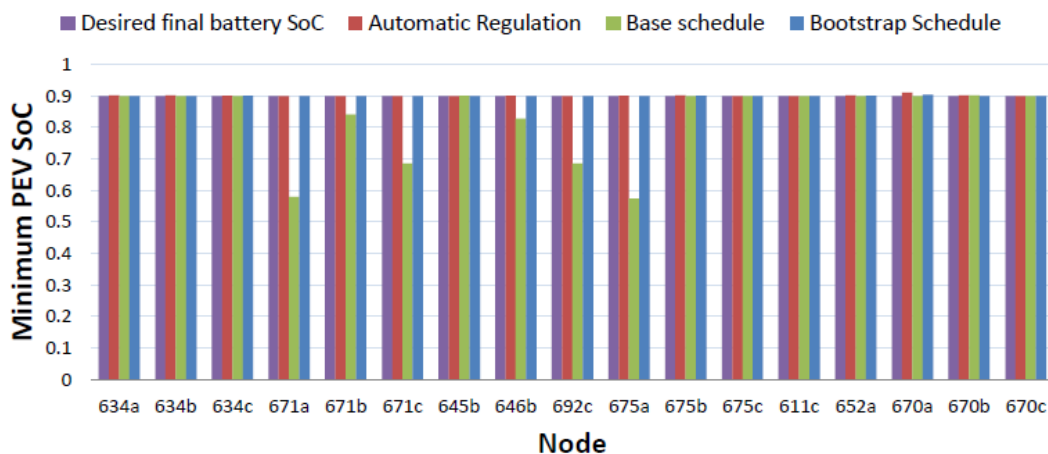
## ۸. نتایج

در این قسمت، تکنیک پیشنهادی با دیگر روش‌های کنترل فیدر مقایسه می‌شوند.

- تأثیر بر روی زمان شارژ PEV، بیک تقاضای فیدر، و وضعیت شارژ نهایی باتری: برنامه زمانی پایه، برنامه زمانی بوت استراپ، تنظیم اتوماتیک اعمال می‌شوند تا تحقق‌های تصادفی از وضعیت شارژ اولیه باتری، و زمان‌های ورود و خروج PEVها در هر گره، برای یک سطح نفوذ 60% از PEVها ایجاد شود. شکل ۳، نشان می‌دهد که برای یک سطح نفوذ بالایی از PEVها، برنامه زمانی پایه در مقایسه با برنامه زمانی بوت استراپ، برای شارژ PEVها مدت زمان بسیار طولانی‌تر را نیاز دارد. همچنین، برنامه زمانی بوت استراپ قادر به شارژ اکثریت و یا تمام PEVها به مقدار مطلوب وضعیت شارژ نهایی باتری است، در حالی که برنامه زمانی پایه قادر به چنین کاری نیست (شکل ۴)، که در آن خیلی از PEVها بدون شارژ کامل خارج می‌شوند. در حالت تنظیم اتوماتیک، این حالت قادر به شارژ تمامی PEVها به مقدار مطلوب وضعیت شارژ نهایی باتری در کوتاه‌ترین زمان است؛ با این حال، همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، این کار به قیمت فرارفتن از بیک تقاضا به اندازه فاحشی تمام می‌شود.



شکل ۳، مقایسه تعداد PEVهای در حال شارژ برای فیدر تست ۱۳ باسه IEEE در هر فاصله زمانی



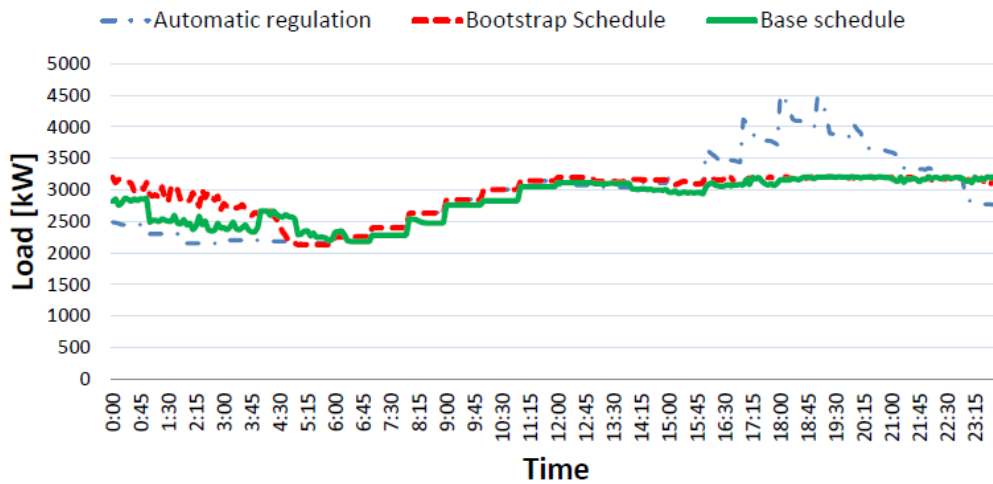
شکل ۴، حداقل وضعیت شارژ نهایی باتری در هر گره باری در انتهای دوره شارژ برای فیدر تست ۱۳ باسه IEEE برای نفوذ 60% PEVها



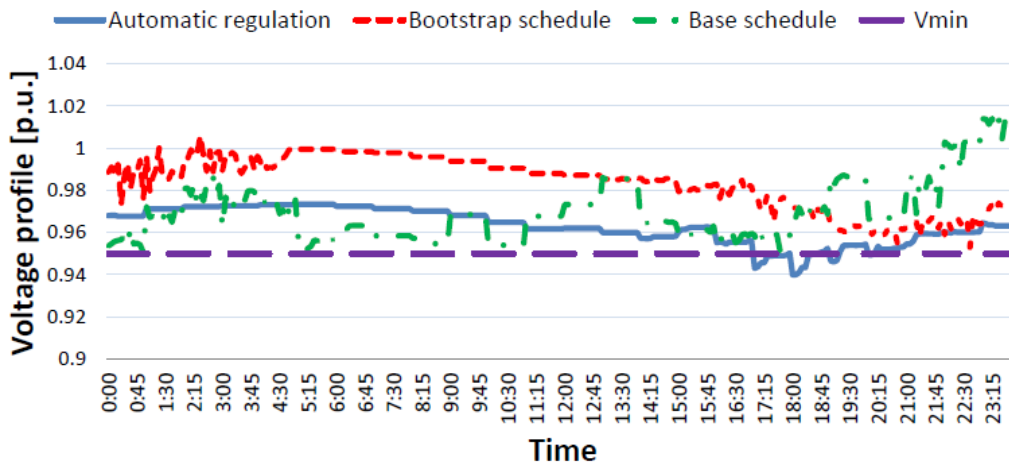
# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۵، مقایسه پروفایل‌های بار فیدر برای فیدر تست ۱۳ باسه IEEE در نفوذ 60% PEVها



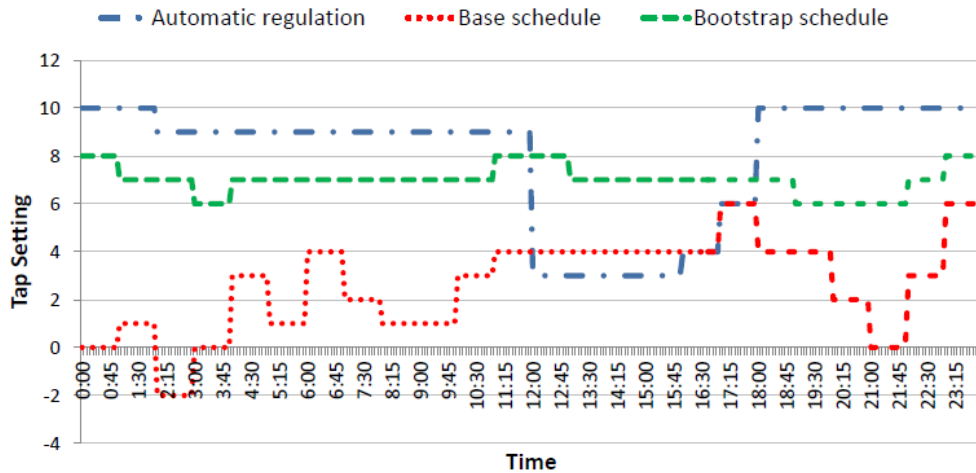
شکل ۶، مقایسه پروفایل‌های ولتاژ در باس 634 فاز b در فیدر تست ۱۳ باسه IEEE در نفوذ 60% PEVها

- تاثیر بار تخمینی PEV متراکم شده و روش کنترل فیدر بر روی ولتاژ گره‌ها: نتایج نشان می‌دهند که در هنگام استفاده از برنامه‌های زمانی پایه و بوت استرپ، حتی در حالت تعداد خیلی زیاد PEVها، هیچ لحظه‌ای از رخ دادن اضافه ولتاژها در هیچ گره باری در طول مدت ۲۴ ساعت وجود ندارد. اما، در هنگام استفاده از روش تنظیم اتوماتیک، همانطور که شکل ۶ نشان می‌دهد، در برخی از گره‌ها ولتاژ از حد مجاز فراتر رفته است. این به دلیل این است که فیدر تست ۱۳ باسه IEEE، علاوه بر تپ‌های LTC، دارای خازن‌های سویچ شونده در نقاط دور افتاده‌ای از فیدر است.
- تاثیر بر روی تعداد عملیات کنترلی: انتخاب برنامه‌های زمانی کنترل فیدر برای شارژ PEVها دارای یک اثری بر روی تعداد عملیات تپ و خازنی در فیدر تست ۱۳ باسه IEEE است. شکل‌های ۷ و ۸، برنامه‌های زمانی ۲۴ ساعته تپ و خازن را با استفاده از تنظیم اتوماتیک، برنامه زمانی پایه، و برنامه زمانی بوت استرپ نشان می‌دهند، که مشخص است که برنامه زمانی بوت استرپ در مقایسه با دو روش دیگر، دارای کمترین تعداد عملیات تپ و خازنی است.

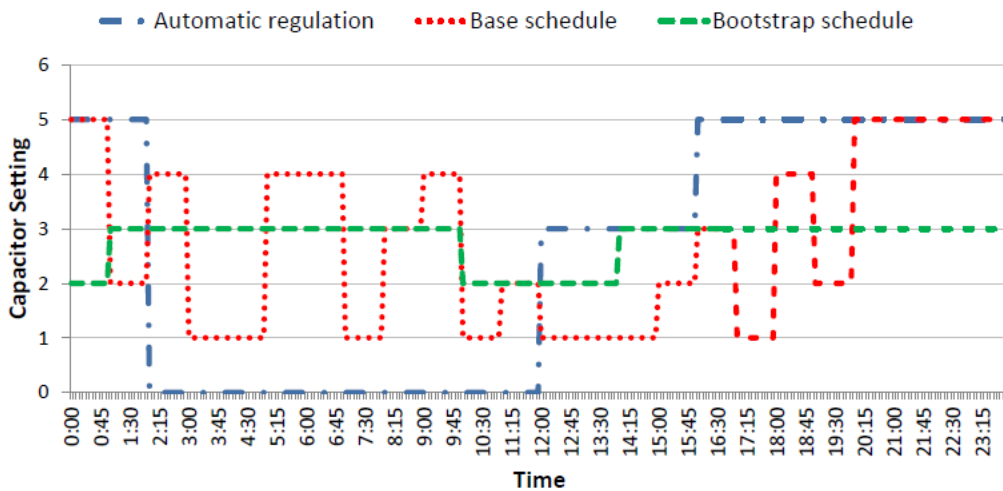
# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۷، مقایسه عملیات تپ برای ترانسفورماتور LTC فاز c فیدر تست ۱۳ با سه IEEE در نفوذ 60% PEVها



شکل ۸، مقایسه عملیات خازنی برای خازن C2 فاز c فیدر تست ۱۳ با سه IEEE در نفوذ 60% PEVها

## ۹. نتیجه گیری

عمده کارهای تحقیقاتی انجام شده در این مقاله به طور خلاصه عبارتند از:

- یک روش جدید پیشنهادی برای بدست آوردن برنامه‌های زمانی کنترل ساعتی فیدر در روز بعدی با استفاده از یک مدل دقیق و واقعی فیدر سه فاز نامتعادل با در نظر گرفتن عدم قطعیت PEV. برای نمایش کنترل‌های ولتاژ فیدر از متغیرهای گسسته واقعی استفاده شده است.
- برای اولین بار، یک تکنیک بوت استرپ غیر پارامتری در حوزه یکپارچه سازی PEV و توزیع فیدر اعمال شده است که ضمن در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های PEV، برنامه‌های زمانی کنترل فیدر و پیک تقاضای روزانه را تخمین می‌زند.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- برای اولین بار، یک روشی برای تخصیص حداکثر توان ممکن برای شارژ بارهای PEV با استفاده از روش نسبتا خوب تناسبی، بدون فرا رفتن از نقطه تنظیمی پیک تقاضا و یا محدودیت‌های اجرایی فیدر، ارائه شده است.
- این روش‌ها بر روی یک فیدر تست ۱۳ باسه IEEE آزمایش شدند و نتایج حاصل از این آزمایشات، کارآیی عالی روش پیشنهادی را نشان دادند.

## منابع

- [1] Global EV Outlook 2017—Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020, International Energy Agency, Clean Energy Ministerial, and Electric Vehicles Initiative, Apr. 2017, pp. 14–15.
- [2] MA Cusenza, S Bobba, F Ardenete, M Cellura, “Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles,” EPRI, Palo Alto, CA, USA, vol. 1, Final Rep., Jul. 2019.
- [3] D Wang, A Manthiram, CY Wang, G Liu, Z Zhang, “High Energy, Long Cycle Life Lithium-ion Batteries for PHEV Application,” in 23rd Elect. Vehicle Symp., Anaheim, CA, Dec. 2017.
- [4] MT Turan, Y Ates, O Erdinc, “Effect of Distributed Generation Based Campus Model Combined with Electric Vehicle Charging Stations on the Distribution Network,” in Proc. Asia Pacific Power Energy Eng. Conf. (APPEEC), Mar. 2019, pp. 1–4.
- [5] M Pagani, W Korosec, N Chokani, RS Abhari, “User behaviour and electric vehicle charging infrastructure: An agent-based model assessment,” J. Power Sour., vol. 240, pp. 515–524, Oct. 2019.
- [6] X Li, X Yu, H Jia, Y Mu, J Wu, M Wang, C Dong, “Structure constrained controller design for power plants and EV aggregator in frequency regulation considering time delays,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 1, pp. 65–72, Jun. 2019.
- [7] G Hemakumar Reddy, A Badepalli, “Impact of Electric Vehicles on Distribution System Performance in the Presence of Solar PV integration,” Inst. Transportation Stud., Univ. California, Davis, CA, Tech. Rep., 2019.
- [8] P Ramachandra, J Rodrigues, “Assessment of Battery Technologies for Future of Electro-Mobility in Emerging Markets,” Emerging Devices and Smart, San Jose, CA, Jul. 2019.
- [9] KN Narayanan, SRP Reddy, “Multi-Port Bidirectional High Gain Converter System for Hybrid Electric Vehicle Applications,” Ph.D. dissertation, Illinois Inst. Technology, Chicago, IL, Jul. 2018.
- [10] A Zahedmanesh, KM Muttaqi, “Direct control of plug-in electric vehicle charging load using an in-house developed intermediate control unit IEEE Transactions on, Detroit, MI, Oct. 2019.
- [11] S Kumar, A Usman, “A Review of Converter Topologies for Battery Charging Applications in Plug-in Hybrid Electric Vehicles,” in IEEE Energy Conversion Congr. Expo. (ECCE), San Jose, 2018. CA, Sep. 20–24, pp. 3923–3929.
- [12] N. Chen, C. W. Tan, and T. Quek, “Electric vehicle charging in smart grid: Optimality and valley-filling algorithms,” IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, vol. 8, no. 6, pp. 1073–1083, Dec 2014.
- [13] J. Miller, W. Potter, R. Gandham, and C. Lapena, “An evaluation of local improvement operators for genetic algorithms,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, no. 5, pp. 1340–1351, Sep 1993.
- [14] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.
- [15] B. Efron and R. Tibshirani, An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall/CRC, 1994.
- [16] Z. R. Yang, M. Zwolinski, and C. Chalk, “Bootstrap, an alternative to monte carlo simulation,” Electronics Letters, vol. 34, no. 12, pp. 1174–1175, Jun 1998.

یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران  
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

[17] O. Ardakanian, S. Keshav, and C. Rosenberg, "Real-time distributed control for smart electric vehicle chargers: From a static to a dynamic study," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2295-2305, Sept 2014.

[18] P. Richardson, D. Flynn, and A. Keane, "Local versus centralized charging strategies for electric vehicles in low voltage distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 2, pp. 1020-1028, June 2012.