

برنامه ریزی مدیریت انرژی جهت کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شبکه توزیع با حضور خودروهای برقی و منابع انرژی تجدیدپذیر

یاسر علیپور^۱، محمد طلوع عسکری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

چکیده: به علت رشد روزافزون محدودیت‌های زیست محیطی و اقتصادی در دنیا امروز، استفاده از تولیدات پراکنده که غالباً از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند، در کنار خودروهای برقی به شدت در حال افزایش می‌باشند. در مقیاس بزرگ هر یک از این دو تکنولوژی می‌تواند اثرات زیان‌باری روی شبکه الکتریکی داشته باشد. اما با برنامه ریزی و مدیریت سمت مصرف مناسب، این تکنولوژی‌ها همراه با منابع ذخیره سازی انرژی می‌توانند این اثرات را کاهش دهند. در این راستا تاثیر تجمع یکپارچه خودروهای PEV به شبکه جهت کاهش اثرات زیان‌باری روی شبکه ناشی از آن خصوصاً در زمان پیک بار بعنوان چالش اساسی در استفاده از این ماشینها مطرح گردیده است. نوآوری این مقاله ارائه مدلی جهت مدیریت سیستم شارژ هماهنگ و ناهمانگ خودروهای برقی متصل به شبکه همراه با ۲ واحد نیروگاه بادی ۱ واحد نیروگاه خورشیدی به عنوان منابع تولید پراکنده و تقسیم بندی خودروهای برقی به ۴ کلاس مختلف با در نظر گرفتن درصد سهم هر خودرو در شبکه و در نظر گرفتن تعداد تصادفی خودروها در هر کلاس با استفاده ازتابع توزیع نرمال می‌باشد. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. در این مدل هزینه تلفات سالیانه انرژی و هزینه بهره‌برداری واحدهای تولید پراکنده به صورت یکپارچه به عنوان تابع هدف مطرح می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روی شبکه IEEE ۳۳ باسه اجرا گردیده است، نتایج خروجی نشان دهنده قدرت کارایی و بهبود عملکرد مدل می‌باشد.

کلمات کلیدی: خودروهای برقی، منابع تجدیدپذیر، شبکه توزیع، مدیریت سیستم شارژ

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد طلوع عسکری

نشانی نویسنده‌ی مسئول: سمنان - بلوار آزادی - نبش خیابان شانزدهم - مرکز رشد دکتر حسابی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

۱- مقدمه

و نیز راه برد فاکتور انقباض برای تعیین اندازه و جایابی بهینه DG ها به کار گرفته شده است [۴]. کنسال و همکاران از راه کار برای یافتن اندازه و مکان بهینه DG در شبکه های توزیع شعاعی برای جبران توان اکتیو بوسیله کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده کرده اند. اندازه بهینه DG در هر باس با استفاده از فرمول دقیق تلفات محاسبه شده و جایابی بهینه DG با استفاده از معیار حساسیت تلفات پیدا شده است [۵]. در [۶] ادامه روش های مختلف پیاده سازی بهبود عملکرد خودروهای برقی و پارکینگ آورده شده است.

در [۷] عملکرد بهینه هوشمند خودروها و تاثیر خودروها در شبکه هوشمند با حضور منابع تجدید پذیر برای کمینه کردن تلفات و هزینه مدنظر قرار گرفته است. در [۸] نویسنده با ارائه روشی بنام الگوریتم برآورد توزیع، مدیریت بار موجود در پارکینگ ها را، با در نظر گرفتن محدودیت هایی مثل قیمت انرژی، ظرفیت باقی مانده و زمان شارژ باقی مانده، انجام می دهد و با مقایسه این روش با روش های دیگر، سرعت بالای همگرایی این روش را به اثبات می رسانند. در [۹] یک الگوریتم مدیریت بار هوشمند به صورت زمان واقعی پیشنهاد می شود که این روش می تواند امنیت و قابلیت اطمینان سیستم را، با کاهش تغییرات ولتاژ، اضافه ولتاژ و تلفات توان، نسبت به شارژ ناهمانه هنگ خودروهای الکتریکی قابل اتصال به برق را بالا ببرد. طبیعت غیرقابل پیش بینی و تصادفی ورود خودروها به شبکه، در بارهای خانگی، نیازمند یک استراتژی هماهنگی زمان حقیقی سریع و تطبیق پذیر می باشد. لذا این الگوریتم برای شارژ هماهنگ خودروها بسیار موثر خواهد بود.

در [۱۰] میزان تاثیرات بار تعداد زیادی از این خودروها در برنامه ریزی و بهره برداری سیستم توزیع در سناریوهای شارژ مختلف بررسی شده است. همچنین تاثیر در مشخصه بار نشان داده شده است. پیش بینی می شود که بهره برداری (TOU^۳) عملکرد روش قیمت گذاری در زمان استفاده قابلیت اطمینان ریزشبکه را بهبود بخشیده، سودهای اقتصادی بیشتری برای مالکین خودرو ایجاد کند و هزینه های برق، V2G^۴ خانه ها یا ساختمان های مسکونی را به کمک مدیریت سمت مصرف و مدیریت خاموشی، کمتر کند. در [۱۱] اهمیت پلاگین در وسایل نقلیه را مورد بررسی قرار می دهد و به محاسبه وضعیت شارژ خودروهای برقی از روی زمان شارژ دوباره و مسافت طی شده و انرژی باقیمانده، پرداخته و ظرفیت باتری های خودروهای برقی را بر حسب نوع مصرف و پاسخ به تقاضا، تقسیم بندی کرده است. همچنین به عنوان یک راه حل پاسخ به تقاضای سیستم قدرت را پیشنهاد نموده است و به تقسیم بندی خودروهای برقی بر اساس ظرفیت باتری و مدیریت زمان

تولیدات پراکنده به عنوان یک قسمت از سیاست گذاری انرژی کشورها به بسیاری از نگرانی هایی که در زمینه انرژی الکتریکی با آن مواجه هستیم از قبیل: تأمین انرژی کافی در مواجهه با افزایش تقاضای برق در آینده می باشد. از سوی دیگر مسائلی نظیر تغییرات اتمام سوخت های فسیلی در آینده و نیز افزایش دما به خاطر استفاده از این نوع سوخت ها جهت تولید انرژی را نیز به عنوان مسائلی مهم مورد توجه قرار داده و به حل آنها کمک می کند. با توجه به مشکلات ذکر شده ارائه راه حلی بدین و کارا به منظور حفظ و افزایش سطح قابلیت اطمینان و تأمین برق در چارچوبی امن و اقتصادی برای مشترکین مورد نیاز است [۱].

DG ها یا همان تولیدات پراکنده در ترکیب با فناوری هایی که تحت عنوان شبکه های هوشمند شناخته می شوند، که یکی از این فناوری ها استفاده از خودروهای برقی است، و نیز تکنولوژی هایی که سبب راه- اندازی شبکه های توزیع می گردند، می توانند انعطاف پذیری مورد نظر را با عملکرد شبکه قدرت داشته باشند. از سوی دیگر سیستم های توزیع ولتاژ پایین که موضوع اصلی بحث این تحقیق را شامل می گردد، بر خلاف دو سطح دیگر سیستم قدرت یعنی تولید و انتقال خاصیت اهمی بیشتری داشته و از اینرو تلفات در این سیستم بسیار بالاست.

لقا و همکاران نشان داده اند که جایابی DG و سطح تزریق آن مسئله ای مهم چه برای شبکه اولیه و چه برای صاحبان DG محسوب می شود. در این مقاله پخش بار اقتصادی در یک مقیاس بزرگ برای برنامه ریزی و بهره برداری از سیستم قدرت مورد سنتی مقایسه و بحث شده است [۲].

شوکلا و همکاران از روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به منظور ارزیابی و بهینه سازی DG از لحاظ اندازه در سیستم های توزیع شعاعی و نیز کمینه کردن تلفات استفاده کرده اند. همچنین روش حساسیت تلفات برای تصمیم گیری مناسب، جهت جایابی DG ها معرفی شده است. تمرکز اصلی این مقاله بر یافتن و ارزیابی مزیت های فنی (کاهش تلفات و تنظیم ولتاژ) از دیدگاه مشترکین و مزیت های اقتصادی کلی از دیدگاه شبکه اولیه است [۳].

میستری و روی با فرض اینکه رشد بار سالیانه از قبل مشخص شده اندازه و مکان DG ها را تا ۵ سال تخمین زده اند. بعلاوه، از تنظیم ولتاژ به عنوان قید بهره جسته اند. از الگوریتم ازدحام ذرات PSO^۵

^۱ Distributed Generation

^۲ Particle swarm optimization

^۳ نشریه علمی - پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال هفتم شماره ۱۴ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

^۴ Time of use

^۵ Vehicle to grid

در مرجع [۱۶] یک ساختار و چارچوب برای ریز شبکه با در نظر گرفتن منابع تجدید پذیر را پیشنهاد داده است. ریز شبکه پیشنهادی با پارکینگ‌های خودرو جهت کنترل و تجمع PEV‌ها طراحی شده است. این مقاله یک مساله برای بهینه‌سازی مدیریت انرژی در حضور PEV‌ها را مطرح می‌کند. هدف اصلی این مساله حداقل سازی هزینه تولید صاحبان ریز شبکه‌ها که دارای منابع تولید محلی و همچنین تجارت انرژی از طریق بازارهای برق را دارند می‌باشد. همچنین این طرح امکان دادن تشویق به صاحبان PEV را برای شرکت در برنامه ریزی پاسخگویی بار فراهم آورده است. در این مرجع عدم قطعیت‌های موجود نیز بر اساس ساختارهای سناریو سازی مدل شده‌اند. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پارکینگ برای تجمع خودروهای برقی حدود ۴۰ درصد هزینه ریز شبکه‌ها دارای منابع تجدیدپذیر را کاهش دهد. بعلاوه بکار بردن برنامه ریزی DR زمان شارژ PEV‌ها می‌تواند سود بیشتری را برای صاحبان آن به همراه داشته باشد.

در مرجع [۱۷] استفاده از اتصال خودروهای برقی به شبکه عنوان یک رژیم جهت افزایش درآمد شبکه‌های هوشمند پیشنهاد شده است. در این مرجع استراتژیهایی برای PHEV از طریق اتصال دوطرفه خودروهای برقی به شبکه‌های برق مطرح می‌شود. در ابتدای ریزکرد ناخودآگاه از دیدگاه صاحبان PHEV را پیشنهاد داده است. سپس جهت حداقل سازی هزینه‌های روزانه این صاحبان خودروهای برقی مساله مدیریت انرژی دینامیکی را فرموله نموده است. با اینحال، به خاطر پیچیدگی در حل مسائل دینامیکی یک روش مستقل با چهار آستانه جهت شارژ و دشارژ با ترتیبها در این مرجع پیشنهاد شده است. این روش حل توسط تئوری مالکیت تصادفی ثابت شده است. بعلاوه از دیدگاه اپراتور سیستم قدرت نیز مساله حذف بار جهت بهبود پروفایل بار مورد بررسی قرار گرفته است. برای رسیدن به این هدف یک برنامه شارژ برای PHEV بر اساس سناریوهای مختلف مطرح شده است و مدل‌های واقعی با تری برای خودروهای برقی و نرخ قیمت گذاری TOU نیز در نظر گرفته شده است.

در مرجع [۱۸] پتانسیل نفوذ ناوگان خودروهای برقی در سیستم تولید برق پرتفعال مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مقاله تاثیر خودروهای برقی بر روی مصرف کنندگان خانگی با استفاده از داده‌های واقعی تحلیل و بررسی شده است. مزیت بررسی خودروهای خانگی این است که این خودروها می‌توانند با کمترین هزینه بر اساس یک برنامه ریزی صحیح به شبکه برق متصل شوند.

شارژ خودروها را پرداخته است.

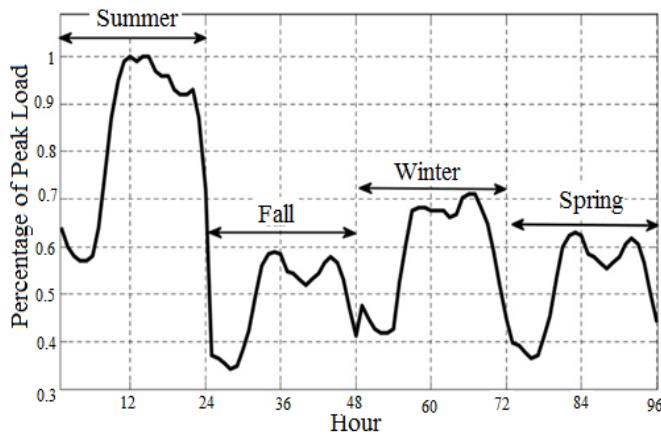
۱- مروری بر تحقیقات اخیر

در مرجع [۱۳] کاربرد قیمت گذاری بر اساس زمان واقعی در مساله شارژ کردن خودروهای برقی متصل به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله جهت حداکثر کردن رفاه کلی سیستم شارژ می‌باشد. بعلاوه از روش لانگرانز و روش پیش‌بینی گرادیان جهت حل مساله بهینه سازی استفاده شده است. پس از حل بهینه مدل پیشنهادی پارامتر آمادگی به شارژ جهت اولویتهای شارژ کاربران و پاسخ به قیمت گذاری زمان واقعی تعیین شده است. در این مقاله همچنین چندین سناریو بر اساس مفروضات واقعی از یک اندازه واقعی بر اساس تغییرات قیمت ارائه شده است. نتایج حاصل از این بهینه سازی، باعث جابجایی بار و کاهش پیک بار و پرشدن فرورفتگی‌های پروفایل بار شده است. با این حال هنوز هم دقت این مدل بستگی به پارامترهای بیشتری دارد و تحت تاثیر پارامترهای دیگر شبکه از جمله پاسخگویی بار است و نیاز به بررسی و تحقیقات بیشتر دارد.

مقاله [۱۴] مدعی شده است که مدلی جامع برای استراتژی مدیریت خودروهای برقی متصل به شبکه (PHEV) با استفاده از اندازه گیری هوشمند در ایران که تحت عنوان طرح فهم مطرح است پیشنهاد شده است. در این روش که تاثیر پاسخگویی بار در نظر گرفته نشده است روشی جهت مدیریت شارژ (PHEV) در کنار راه حلی برای پرداخت به مشتریان پیشنهاد شده است. بر این اساس پیش‌بینی شده است که خودرو‌ها در ساعت غیرپیک شارژ و در ساعت پیک به شبکه تزریق شود تا کمبود برق جریان گردد.

در مقاله [۱۵] تاثیر شارژ خودروهای برقی بروی پروفایل بار با در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار ارائه شده است. در استراتژی DR پیشنهادی در این مقاله تمام مصرف کنندگان می‌توانند بارهای خود را کنترل نمایند. برنامه پاسخگویی بار در این مقاله از نوع زمان استفاده و زمان واقعی جهت ارزیابی نفوذ PHEV بروی بهره‌برداری شبکه‌های توزیع انتخاب شده است. ضریب نفوذ‌های ۳٪، ۱۱٪، ۳۵٪ و ۴۵٪ خودروهای برقی برای بارهای خانگی در نظر گرفته شده است. بعلاوه عدم قطعیت مربوط به عملکرد شارژ خودروهای برقی با استفاده از روش مونت کارلو شبیه سازی شده است. نتایج این مقاله بیانگر زمانبندی مناسب برای PHEV با در نظر گرفتن DR جهت کاهش تلفات شبکه توزیع و کاهش نسبت مقدار متوسط به پیک می‌باشد.

گرفته است.
پروفیل بار بایستی سیستم IEEE-RTS را دنبال نماید. مطابق شکل این سیستم پیک ساعتی را بر اساس پیک روزانه بیان می کند.



شکل (۱): منحنی ساعتی سالانه بار با در نظر گرفتن یک روز معمولی برای هر فصل [۵]

اطلاعات سه ساله محل مورد بررسی قرار می گیرد و هرسال به چهار فصل تقسیم شده و این داده ها برای استخراج یک روز معمولی برای هر فصل مورد استفاده قرار می گیرد. یک روز هر فصل به نمایندگی از آن فصل انتخاب می شود. و این روز خود به ۲۴ ساعت تقسیم می گردد لذا ۹۶ قسمت زمانی مختلف مطابق شکل در اختیار خواهیم داشت.

۲-۲- مدلسازی توان خورشیدی

از هر فصل فقط یک روز به نمایندگی از آن فصل انتخاب می شود. این روز خود به ۲۴ ساعت تقسیم می گردد که در این صورت ۹۶ قسمت زمانی مختلف خواهیم داشت. خروجی تجهیزات فتوولتاویک متناسب با شدت تابش خورشیدی در نظر گرفته شده است. به منظور توصیف پدیده تصادفی شدت تابش خورشیدی، تابع چگالی بتا مورد استفاده قرار می گیرد. تابع چگالی احتمال بتا به صورت زیر برای شدت تابش خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرد [12].

$$f_b(s) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} s^{(\alpha-1)}(1-s)^{(\beta-1)}, & 0 \leq s \leq 1 \\ 0, & \text{ow} \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه فوق S شدت تابش خورشیدی بر حسب kW/m^2 است، تابع f چگالی احتمال s و α و β پارامترهای تابع بتا می باشند. برای توان خروجی سلول های خورشیدی در محیط نرم

در مرجع [۱۹] رفتار شارژ و دشارژ خودرو های برقی بطور روزانه در کنار مدت زمان و دوره زمانی مورد نیاز جهت شارژ مجدد باتریها در نظر گرفته شده است. عوامل اصلی که می توانند رفتار شارژ مجدد خودروهای برقی را تحت تاثیر قرار دهند را میتوان به سه گروه یا محدوده تقسیم نمود، که این سه گروه شامل محدوده حمل و نقل (نرخ نفوذ EV ، ساختار شارژ)، محدوده تکنولوژی خودروها (عملکرد باتری، هزینه باتریها) و در نهایت محدوده سیستم قررت می باشند. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق مشخص شد که دو عامل می توانند نقش بسزایی در شارژ مجدد باتریها و برنامه ریزی شارژ باتری داشته باشد، که این دو عامل عبارت بودند از ساختار شارژ و عملکرد باتریها.

با توجه به پیشینه تحقیق، در این مقاله مدلی برای مدیریت سمت مصرف با در نظر گرفتن ۲ واحد نیروگاه بادی و ۱ واحد نیروگاه خورشیدی به عنوان منابع تولید پراکنده و تقسیم بندی خودروهای برقی به ۴ کلاس مختلف با در نظر گرفتن درصد سهم هر خودرو در شبکه و در نظر گرفتن تعداد تصادفی خودروها در هر کلاس با استفاده ازتابع توزیع نرمال، ارائه شده است. برای رسیدن به این هدف ابتدا رفتار مشترکین صاحبان خودرو های برقی را با استفاده از توابع توزیع نرمال مدل شده است. سپس تابع هدفی با استفاده از روش مدیریت هوشمند بار در زمان واقعی و تصمیم گیری درباره زمان شارژ خودروهای برقی و استفاده از روش شارژ بهینه برای پیشینه کردن سود شرکت های توزیع و کاهش هزینه تلفات و کاهش هزینه بهره برداری سیستم ارائه می گردد. در نهایت تابع هدف پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک حل گردید. مدل ارایه شده بروی مدل مستخرج از IEEE-RTS اجرا گردید. عدم قطعیت های شدت تابش خورشیدی با استفاده از تابع توزیع بتا و سرعت باد را با استفاده از تابع توزیع احتمال ریلی شبیه سازی شده اند.

۲- مدلسازی اجزا

۲-۱- مدل بار

به منظور مدلسازی اجزا مختلف در سیستم، دوره زمانی انتخابی پرساله به ۴ فصل تقسیم شده است. یک روز معمولی برای هر فصل به منظور توصیف رفتار احتمالی منابع تولید پراکنده در این دوره ساخته شده است. مدل بار با استفاده از سیستم IEEE-RTS که در آن داده های شدت تابش خورشیدی و سرعت باد به صورت ساعتی به وسیله تابع توزیع احتمال بتا و ریلی مدل شده است تولید می گردد. پروفیل بار از داده های سیستم IEEE-RTS پیروی می کند که به سه قسمت پرباری، کم باری و میان باری تقسیم می شود که در این مقاله قسمت پرباری مورد تحقیق قرار

$$v_m = \int_0^{\infty} vf(v) dv = \quad (4)$$

$$\int_0^{\infty} \left(\frac{2v^2}{c^2} \right) \exp(-(v/c)^2) dv = \sqrt{\pi}/2$$

$$c = 1.128V_m \quad (5)$$

۴-۲ مدلسازی خودروهای برقی

کلیه پارامترها براساس روش‌های احتمالاتی محاسبه شده اند. فرض می‌کنیم مدیریت شارژ خودروها از ساعت ۱۸ شروع می‌شود و باید تا ۷ صبح کلیه خودروها شارژ شوند. تعداد کل خودروها در هر باس، برابر با ۵۰ در نظر گرفته شده است. تعداد خودروهای الکتریکی در هر باس از طریق فرمول زیر بدست می‌آید:

$$N_{PHEV} = Pen_{PHEV} \times N \quad (6)$$

در این رابطه، تعداد خودروهای الکتریکی متصل به شبکه، Pen_{PHEV} ضریب نفوذ خودروهای الکتریکی و N تعداد کل خودروها در شبکه می‌باشد. توزیع خودروها در هر کلاس و ظرفیت مینیمم و ماکزیمم باطری آنها مطابق جدول (۱) است:

جدول (۱): انواع خودروهای الکتریکی و سهم آن‌ها در بازار

ظرفیت ماکریمم باطری (kwh)	ظرفیت مینیمم باطری (kwh)	سهم در بازار (%)	نوع خودرو
۱۲	۸	۲۰	میکرو خودرو
۱۴	۱۰	۳۰	خودروی اقتصادی
۱۸	۱۴	۳۰	خودروی با اندازه متوسط
۲۳	۱۹	۲۰	خودروی شاسی بلند

برای تعیین تعداد تصادفی خودروها در هر کلاس، ازتابع توزیع نرمال استفاده شده است چون این توزیع تصادفی به طور طبیعی اتفاق می‌افتد و می‌تواند به صورت واقعی بیانگر رفتار احتمالاتی خریداران خودرو باشد. با توجه به جدول بالا توزیع تصادفی را با مقدار میانگین و انحراف معیار زیر را در نظر می‌گیریم:

$$Average = N \times Pen_{PHEV} \times Pen_c \quad (7)$$

$$\sigma^i = \sqrt{\alpha_p \times Average} \quad (8)$$

که ضریب آلفا برابر ۰.۰۱ در نظر گرفته می‌شود. ظرفیت باطری خودرو برقی از ویژگی‌های مهم خودروهای الکتریکی و تعیین کننده میزان مسافت پیموده شده توسط

افزاری، فرض شده است عملکرد MPPT واحد تضمین شده و توان خروجی رابطه‌ای مستقیم با شدت تابش خورشیدی خواهد داشت.

۳-۲ مدلسازی توان بادی

بر اساس اطلاعاتی که برای توربین بادی داریم از فرمول شماره (۲) که در زیر برای توان خروجی ارایه شده است استفاده می‌کنیم [12].

$$P_{Gewind} = \begin{cases} 0 & 0 \leq WS \leq V_{ci} \text{ or } WS \geq V_{co} \\ P_r(A + B \times WS + C \times WS^2) & V_{ci} \leq WS \leq V_r \\ P_r & V_r \leq WS \leq V_{co} \end{cases}$$

$$A = \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \left\{ V_{ci}(V_{ci} + V_r) - 4V_{ci}V_r \left[\frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right]^3 \right\}$$

$$B = \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \left\{ 4(V_{ci} + V_r) \left[\frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right]^3 - (3V_{ci} + V_r) \right\} C = \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \left\{ 2 - 4 \left[\frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right]^3 \right\}$$

(۲)

در این رابطه P_{rated} میزان توان نامی، V_i نشان دهنده سرعت باد، V_{ci} حداقل سرعت باد برای شروع به کار توربین بادی، V_{co} سرعت حداکثری باد برای خروج توربین از مدار، V_r سرعت نامی باد که توربین برای آن طراحی شده است می‌باشد.

بيان عمومي و معمول که برای رفتار سرعت باد مورد استفاده قرار می‌گيرد، تابع چگالی احتمال ريلی^۵ است که در معادله ۳ نشان داده شده است [11].

$$f(v) = \left(\frac{2v}{c^2} \right) \exp(-v/c)^2 \quad (3)$$

به طوری که در آن V سرعت باد بوده و C شاخص مقیاس است. با داشتن متوسط سرعت باد برای یک منطقه می‌توان روابط زیر را نوشت و با استفاده از آن C را محاسبه نمود:

⁵ Maximum power point tracking

⁶ Rayleigh pdf

ضرایب وزنی مختلفی که به هر کدام اختصاص می‌دهیم، جمع می‌نمائیم. یعنی مسئله بهینه سازی چند هدفه ما تبدیل به یک مسئله بهینه سازی اسکالر می‌شود که می‌توان آن را با الگوریتم‌های بهینه سازی بدون قید استاندارد حل کرد:

$$\min \sum_{i=1}^k w_i f_i(\bar{x}) \quad (12)$$

که $W_i \geq 0$ ضرایب وزنی هستند که اهمیت نسبی توابع را نشان می‌دهند. معمولاً باید فرض شود که:

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad (13)$$

از آنجاییکه نتایج حل یک مدل بهینه سازی با استفاده از (12) با تغییر ضرایب وزنی، تغییر می‌کند و چون در مورد نحوه انتخاب این ضرایب اطلاعات کمی وجود دارد، لازم است یک مسئله را با مقادیر مختلفی از w_i حل نمائیم.

در اینجا دوتابع هدف را دنبال خواهیم کرد که یکی هزینه‌ای است که تلفات در سیستم توزیع ایجاد می‌نماید و دیگری هزینه‌بهره‌برداری برای واحدهای تولید پراکنده مختلف است. تابع هزینه بهره‌برداری به صورت مضربی از تولید نیروگاه‌ها در نظر گرفته شده که مجموع هزینه‌ی اولیه راه اندازی واحد‌ها و هزینه بهره‌برداری از واحد‌ها است که برای یک سال بهینه می‌شوند.

$$ObjF_1 = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^{n=j} |B_{ij}|^2 \cdot R_{ij} \cdot C_k \quad (14)$$

$$ObjF_2 = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^N op \ cost_{DG,k} \quad (15)$$

لذا تابع هدف ترکیبی زیر را خواهیم داشت:

$$ObjFunction = ObjFunction_1 + ObjFunction_2 \quad (16)$$

که در رابطه ۱۴ میزان مقاومت هر شاخه بین باسهای α و β جهت تعیین تلفات هر شاخه و $|B_{ij}|$ در حقیقت جریان شاخه بین باسهای α و β است. $op \ cost_{DG}$ هزینه بهره‌برداری آمین DG سیستم بوده و C_k قیمت برق در ساعت k می‌باشد. قیود در نظر گرفته شده برای مسئله نیز به صورت زیر تعریف شده است: اندازه و زاویه ولتاژ باس اسلک:

خودروها می‌باشد. خودروهای مختلف دارای ظرفیت باطری متفاوتی می‌باشند که در جدول بالا ظرفیت باطری مینیمم و ماکزیمم نمایش داده شده است. جهت توزیع ظرفیت باطری‌ها از توزیع نرمال استفاده می‌کنیم. میانگین و انحراف معیار ظرفیت باطری‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$Average = \frac{C_{min} + C_{max}}{2} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{C_{max} - C_{min}}{4} \quad (10)$$

مسافت روزانه طی شده یکی دیگر از عوامل اصلی تعیین میزان انرژی است که باطری خودرو از شبکه می‌گیرد. توزیع مسافت پیموده شده در طول روز دارای میانگین ۵۴ کیلومتر و انحراف معیار ۸ کیلومتر می‌باشد. میزان انرژی مصرفی به ازای هر کیلومتر در جدول (۲) نشان داده شده است:

جدول (۲): انرژی مصرفی خودروهای الکتریکی

شماره کلاس	انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت بر کیلومتر
۴	۰.۲۴
۳	۰.۲۲
۲	۰.۲
۱	۰.۱۹

۳- فرموله کردن مسئله

در اغلب مسائل بهینه سازی مهندسی، اهدافی وجود دارد که باید بطور همزمان بهینه گردند. در بیشتر حالات این اهداف با یکدیگر در تضاد بوده و به وسیله روش‌های بهینه سازی تک هدفه مرسوم قابل حل نمی‌باشند. لذا در حل اینگونه مسائل از روش‌های بهینه سازی چند هدفه استفاده می‌شود. فرم کلی یک مسئله بهینه سازی چند هدفه به صورت رابطه (11) است:

$$x \in \Omega \min [f_1(x), \dots, f_m(x)]^T \quad (11)$$

$$j = 1, \dots, n \quad c_j(x) = 0$$

$$k = 1, \dots, p \quad h_k(x) \leq 0$$

که x بردار تصمیم، f_i تابع هدف i ام، Ω فضای جواب، c_j و h_k به ترتیب قیود مساوی و قیود نامساوی هستند. در بهینه سازی چند هدفه، مصالحه ای بین چند تابع هدف ایجاد می‌شود. لذا برخلاف بهینه سازی تک هدفه بجای یک جواب با مجموعه ای از جوابها سر و کار داریم. در اینجا انتخاب جواب بهینه سازی برای سیستم مورد نظر، از بین این مجموعه جوابها و با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود. روش‌های بسیاری برای تولید این مجموعه جوابها وجود دارد. در این قسمت از روش مجموعه وزنی استفاده شده است. در این روش تمامی توابع هدف را با

بررسی می‌شود. در شارژ ناهمانگ و یا کنترل نشده، خودروی الکتریکی زمانی که وارد خانه می‌شود به شارژ زده شده و با نرخ حداقل شارژ می‌شود. در این مسأله نرخ شارژ در اینگونه شارژ برابر ۴ کیلووات در نظر گرفته شده است.

$$V_1 = 1, \delta_1 = 0.0 \quad (17)$$

محدودیت ولتاژ در باس‌ها:

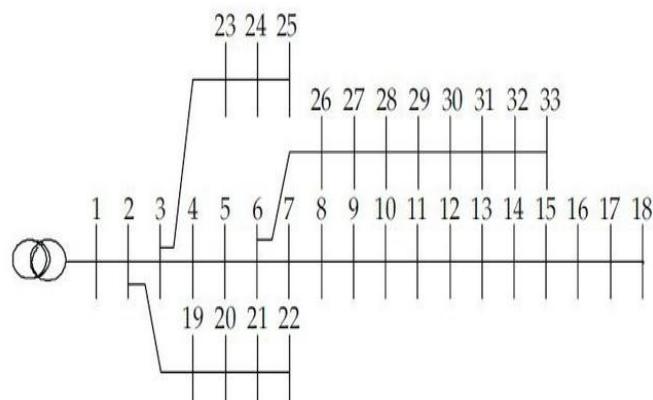
$$V_{\min} \leq V_{BUS} \leq V_{\max} \quad (18)$$

محدودیت ظرفیت خطوط:

$$0 \leq B_{ij} \leq B_{ij}^{\max} \quad (19)$$

۴- نتایج شبیه سازی

مسئله فرموله شده در قسمت قبل و همچنین مدل‌های ارائه شده برای خودروهای برقی و تولیدات پراکنده را به شبکه مورد مطالعه IEEE استاندارد با استفاده از نرم افزار MATLAB پیاده سازی نمودیم. شماتیک این شبکه در شکل ۲ نشان داده شده است. فرض کردہ‌ایم که از دو نیروگاه بادی در باس‌های ۸ و ۱۳ به ظرفیت‌های ۲۸۹ و ۴۱۲ کیلووات و همچنین از یک نیروگاه خورشیدی به ظرفیت ۵۱۵ کیلووات در باس ۱۵ استفاده شده است. ابتدا با در نظر گرفتن مسئله بهره‌برداری قصد داریم تا نشان دهیم چگونه با استفاده از شارژ هماهنگ، هزینه‌های بهره‌برداری کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. این مورد در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است.



شکل (۲): شبکه مورد مطالعه [11]

جدول (۳): نتایج بدست آمده در سناریوی ۱

هزینه تلفات (M\$)	تلفات (MWh)	ضریب نفوذ PEV (%)
۵.۱۷۹۶	۶۲۴.۱۹۷۷	٪۱۰
۵.۴۸۷۲	۶۵۹.۹۶۴۷	٪۲۰
۵.۷۹۲۸	۶۹۵.۱۴۳۸	٪۳۰

جدول ۳ نشان دهنده این است که با افزایش ضریب نفوذ خودروهای برقی، تلفات و هزینه تلفات هم افزایش پیدا می‌کند. سناریوی ۲: استفاده از شارژ معمولی خودروهای الکتریکی و جایابی بهینه تولیدات پراکنده جهت حداقل کردن هزینه.

در شارژ ناهمانگ و یا کنترل نشده، خودروی الکتریکی زمانی که وارد خانه می‌شود به شارژ زده شده و با نرخ حداقل شارژ می‌شود. در این مسأله نرخ شارژ در اینگونه شارژ برابر ۴ کیلووات در نظر گرفته شده است. این گونه شارژ باعث افزایش تلفات در شبکه توزیع می‌شود. این مسأله برای ضریب نفوذ‌های ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درصد خودروهای الکتریکی حل شده است. نتایج بدست آمده در جدول ۴ آمده است.

جدول (۴): نتایج بدست آمده در سناریوی ۲

متغیرهای تصمیم			ضریب نفوذ PEV (%)		
هزینه کل (M\$)	(M\$)		٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰
۶۰۰.۴۶۱۴	۵۹۰.۶۹۵۴	۵۷۰.۶۹۲۵			
۴.۹۲۳۶	۴.۸۴۹۴	۴.۶۸۸۱			
۵.۶۰۶۶	۵.۳۴۱۵	۵.۱۱۸۷			
۷	۸	۳۰	شماره باس نیروگاه بادی ۱		
۲۸۹	۳۲	۲۰۲	ظرفیت نیروگاه بادی ۱ (KW)		
۱۵	۱۳	۱۸	شماره باس نیروگاه بادی ۲		

با استفاده از شارژ هماهنگ نسبت به شارژ معمولی علاوه بر کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، اوج مصرف هم کاهش پیدا می‌کند به همین منظور از سناریو سازی برای مقایسه نتایج استفاده می‌شود. سناریوی ۱: هیچ گونه نیروگاهی به شبکه اضافه نشود و خودروها به صورت ناهمانگ شارژ شوند. در این مرحله با توجه به حضور تصادفی خودروهای الکتریکی در شبکه هوشمند و شارژ ناهمانگ آنها توسط شبکه میزان نفوذ آنها و میزان تلفات و هزینه تلفات

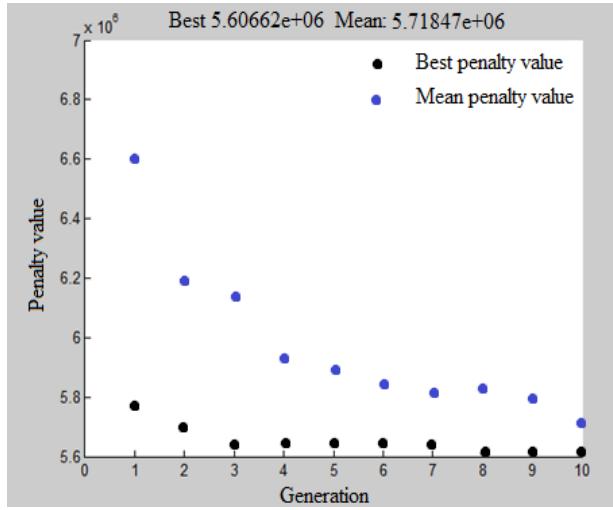
ضریب نفوذ PEV						متغیر های تصمیم	٤١٢	٤١٤	١٦٨	(KW) ظرفیت نیروگاه بادی ۲
%۳۰	%۲۰	%۱۰	نامهانگ	هماهنگ	نامهانگ					
٢٠٤.٣٦٥٠	١٩٩.١١٣٣	١٩٤.٧٧٩٧	١٩١.٦١٦١	١٨٤.٩٤٨٧	١٨٣.٥٨٧٥	نوع شارژ	١٥	١٦	٣٣	شماره باس نیروگاه خورشیدی
١.٦٨٨٤	١.٦٦٦٣	١.٦٥٤	١.٥٩٣٥	١.٥٢١٢	١.٥١٥٨	تلقات (MWh)	٣٨٩	٢٩٤	٢٦٢	ظرفیت نیروگاه خورشیدی (KW)
٢.٣١٤١	٢.٢٩٢٠	٢.٠٥٩٣	٢.٠٤٧١	١.٩١٩٤	١.٩١٤٠	هزینه تلفات (M\$)				
						هزینه کل (M\$)				

جدول ۵ نتایج بدست آمده در سناریوی ۳ برای فصل تابستان را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود هنگام استفاده از شارژ هماهنگ برای خودروهای برقی هزینه تلفات و نیز هزینه کل بهره برداری سیستم در درصد نفوذ های مختلف کاهش چشمگیری پیدا کرده است. این مورد به هنگام افزایش ضریب نفوذ خودروها بیشتر خود را نشان می دهد.

جدول(۶): نتایج بدست آمده در سناریوی ۳ در بهار

ضریب نفوذ PEV						متغیر های تصمیم	
%۳۰	%۲۰	%۱۰	نامهانگ	هماهنگ	نامهانگ		
ناهانگ	هماهنگ	ناهانگ	هماهنگ	ناهانگ	هماهنگ	نوع شارژ	
گ	گ	گ	گ	گ	گ	تلقات (MWh)	
١٤١.٢٢	١٣٧.٨	١٣٣.٣٩	١٣١.٤٣	١٢٥.٤٨١	١٢٤.٦	هزینه تلفات (M\$)	
	۲	۹	۳	٨		هزینه کل (M\$)	
١.١٩	١.١٨	١.١٢	١.١١٨٦	١.٠٥٥١	١.٠٥		
١.٨١	١.٨	١.٥٧	١.٥٧٢٤	١.٤٥٣٣	١.٤٥		

جدول ۶ نتایج بدست آمده در سناریوی ۳ برای فصل بهار است که همانند فصل تابستان هزینه تلفات و هزینه کل بهره برداری سیستم در درصد نفوذ های مختلف کاهش داشته است. برای تحقق عملکرد مناسب شارژ هماهنگ خودروها در کاهش اوج مصرف نگاهی به شکل های زیر می اندازیم. شکل (۴) توان باسیار ۸ بدون خودرو و در صورت استفاده از شارژ هماهنگ و نامهانگ در یک روز بهاری نمونه را نشان می دهد. پیش بینی می شود که با استفاده از شارژ هماهنگ نمودار توان نسبت به حالت شارژ نامهانگ کاهش پیدا کند. همانطور که دیده می شود هنگام استفاده از ساختار هماهنگ که با رنگ سبز نشان داده شده است، شاهد کاهش چشمگیر اوج مصرف نسبت به همین نقطه در نمودار قرمز رنگ که شارژ معمولی را نشان می دهد، هستیم.



شکل(۳): روند بهینه شدن مسئله در سناریوی ۲ و ضریب نفوذ درصد

در شکل (۳) روند بهینه شدن مسئله بعد از ۱۰ نسل را نشان می دهد که با روش بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی شده است.

الگوریتم ژنتیک با استفاده از کدگذاری اعداد باینری، تعداد بیت هایی که برای کدگذاری متغیرها استفاده می شود، بسته به دقت مورد نظر برای جوابها ، محدوده تغییرات پارامتر ها و رابطه بین متغیرها بستگی دارد. در بهینه سازی چند هدفه، مصالحه ای بین چند تابع هدف ایجاد می شود. لذا بر خلاف بهینه سازی تک هدفه بجای یک جواب با مجموعه ای از جوابها سر و کار داریم. در اینجا انتخاب جواب بهینه سازی برای سیستم مورد نظر، از بین این مجموعه جوابها و با توجه به نظر تصمیم گیرنده انجام می شود

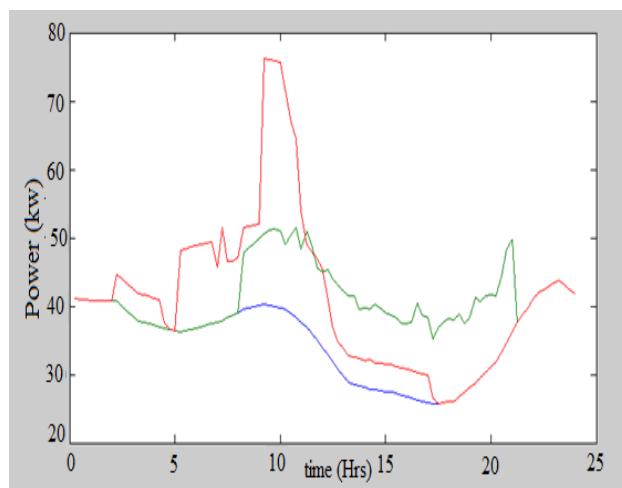
سناریوی ۳: بررسی هزینه بهره برداری سیستم با مدیریت شارژ خودروهای الکتریکی در حضور تولیدات پراکنده.

جدول(۵): نتایج بدست آمده در سناریوی ۳ در تابستان

که برای آن نیزتابع توزیع مناسبی استفاده شدنتایج شبیه‌سازی نشان می‌داد در سناریوهایی که شارژ خودروها در یک چارچوب تصادفی باشد. نسبت به ساختار بهینه آن، هزینه‌ها بسیار تغییر می‌کند. بحث دیگر در نظر گرفته شده بحث کاهش اوج مصرف بود که این مورد از طریق شارژ هماهنگ خودروهایی برقی انجام می‌گرفت. در مجموع می‌توان گفت در این مقاله با معرفی ساختار بهینه مدیریت توان، توانستیم علاوه بر اینکه هزینه‌های بهره‌برداری و نیز تلفات را کاهش دهیم، اوج مصرف که در نتیجه شارژ ناهمانگ خودروها ترکیب با پروفیل بار خانگی رخ می‌داد، کاهش عده‌های پیدا می‌کند.

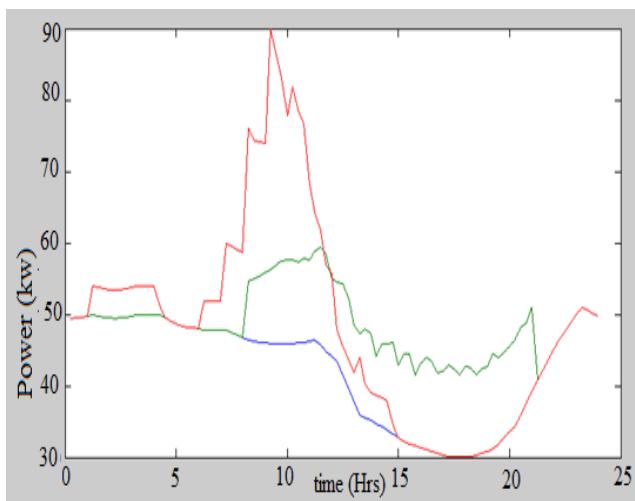
مراجع

- [1] (2010). US Energy Information Administration (EIA) <http://www.eia.doe.gov/>.
- [2] J. A. M. Garcia and A. J. G. Mena “Optimal distribution generation location and size using a modified teaching-learning based optimization algorithm”, Electrical Power and System , Elsevier , Vol, 50, No.1 pp, 65-75, 2013.
- [3] M. H. Moradi and M. Abedini, “A combination of GA and PSO for optimal location and sizing of DG”, Electrical Power and Energy system-Elsevier , Vol 34, No. 1, pp. 66-74, 2012.
- [4] D. K. Khatod V. Pant, J. D. Sharma “Evolutionary Programming Based optimal placement of renewable distributed Generation” IEEE Transactions on Power systems. Vol.28. No. 4. Pp. 683-695, 2013.
- [5] M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamental, theory and design.2004.
- [6] Clement, Kristien, Edwin Haesen, and Johan Driesen. "Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids." *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES. IEEE*, 2009.
- [7] Saber, Ahmed Yousuf, and Ganesh Kumar Venayagamoorthy. "Plug-in vehicles and renewable energysources for cost and emission reductions." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 58.4 (2011): 1229-1238.
- [8] Su, Wencong, and Mo-Yuen Chow. "Performance evaluation of an EDA-based large-scale plug-in hybrid electric vehicle charging algorithm." *Smart Grid, IEEE Transactions on* 3.1 (2012): 308-315.
- [9] Deilami, Sara, et al. "Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile." *Smart Grid, IEEE Transactions on* 2.3 (2011): 456-467.



شکل (۴): توان بسیار ۸ بدون خودرو و در صورت استفاده از شارژ هماهنگ و ناهمانگ در یک روز بهار

این مورد را برای یک روز تابستان نیز در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): توان بسیار ۵ بدون خودرو و در صورت استفاده از شارژ هماهنگ و ناهمانگ در یک روز تابستان

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بحث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری در کنار تلفات و نیز کاهش اوج مصرف در یک سیستم توزیع شعاعی استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا فرض بر این بود که شبکه توزیع یک شبکه توزیع فعال بوده که به ادواتی نظیر تولیدات پراکنده و نیز خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه مجهز است. در بحث استفاده از تولیدات پراکنده اولاً عدم قطعیت‌های خروجی این منابع در نظر گرفته شد و نیز برای بهره‌برداری از آنها متناسب با خروجی آنها هزینه مشخصی در نظر گرفته شد. مسئله دیگری که ماهیت تصادفی آن در نظر گرفته شد بحث حضور خودروهای برقی در ایستگاه‌های شارژ و نیز مسافت طی شده هر کدام از خودروها بود

- [10] Quinn, Casey, Daniel Zimmerle, and Thomas H. Bradley. "The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services." *Journal of Power Sources* 195.5 (2010): 1500-1509.
- [11] J. Aghaei, A. E. Nezhad, A. Rabiee, and E. Rahimi, "Contribution of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in power system uncertainty management," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 450-458, 2016.
- [12] Askari, M. T., Ab Kadir, M. Z. A., Hizam, H., & Jasni, J. (2014). A new comprehensive model to simulate the restructured power market for seasonal price signals by considering on the wind resources. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(2), 023104.
- [۱۳] Lu, Z., Qi, J., Zhang, J., He, L. and Zhao, H., 2017. Modelling dynamic demand response for plug-in hybrid electric vehicles based on real-time charging pricing. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(1), pp.228-235.
- [۱۴] Honarmand, Masoud, Nader Salek Gilani, and Hadi Modaghegh. "Comprehensive Management Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicles using National Smart Metering Program in Iran (Called FAHAM)." SMARTGREENS. 2016.
- [۱۵] Aghaei, Jamshid, et al. "Investigation of smart distribution network response to operation performance of plug-in hybrid electric vehicles." *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 2017 IEEE PES. IEEE, 2017.
- [۱۶] Aliasgari, Parinaz, et al. "Optimal scheduling of plug-in electric vehicles and renewable micro-grid in energy and reserve markets considering demand response program." *Journal of Cleaner Production* 186 (2018): 293-303.
- [۱۷] Wang, Xin, and Qilian Liang. "Energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles via bidirectional vehicle-to-grid." *IEEE Systems Journal* 11.3 (2017): 1789-1798.
- [۱۸] Delgado, Joaquim, et al. "Impacts of plug-in electric vehicles in the portuguese electrical grid." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 62 (2018): 372-385.
- [۱۹] Azadfar, Elham, Victor Sreeram, and David Harries. "The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015): 1065-1076.