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 محدودیت های زیست محیطی و اقتصادی در دنیای امروز، استفاده از تولیدات پراکنده که غالبا از انرژی های تجدیدپذیر استفاده می کنند، در کنار خودروهای برقی به شدت در حال افزایش می باشند. در مقیاس بزرگ هر یک از این دو تکنولوژی می تواند اثرات زیان باری روی شبکه الکتریکی داشته باشد، اما با برنامه ریزی و مدیریت سمت مصرف مناسب، این تکنولوژی ها همراه با منابع ذخیره سازی انرژی می توانند این اثرات را کاهش دهند. در این راستا تاثیر تجمع یکپارچه خودروهای PEV به شبکه جهت فرآیند شارژ یا دشارژ و ناپایداری 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 ناهماهنگ 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 از تابع توزیع نرمال می باشد. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. در این مدل هزینه تلفات سالیانه انرژی و هزینه بهره برداری واحدهای تولید پراکنده به صورت یکپارچه به عنوان تابع هدف مطرح می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روی شبکه ۳۳ باسه IEEE اجرا گردیده است، نتایج خروجی نشان دهنده قدرت کارایی و بهبود عملکرد مدل می باشد.

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

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۷/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۷/۷/۱۴

نام نویسنده‌ی مسئول : محمد طلوع عسکری

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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

۱- مقدمه

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 بدیع و کارا به منظور حفظ و افزایش سطوح قابلیت اطمینان و تأمین برق در چارچوبی امن و اقتصادی برای مشترکین مورد نیاز است [۱].

DG[1] ها یا همان تولیدات پراکنده در ترکیب با فناوری هایی که تحت عنوان شبکه های هوشمند شناخته می شوند، که یکی از این فناوری‌ها 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 استفاده قرار گرفته است و نتایج با برنامه ریزی سیستم توزیع 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[2] 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 PSO برای یافتن اندازه و مکان بهینه DG در شبکه های توزیع شعاعی برای جبران توان اکتیو بوسیله کاهش تلفات توان و بهبود پرفیل 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 رساند. 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 ناهماهنگ 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[3]) 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[4] 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

[1] Distributed Generation

[2] Particle swarm optimization

[3] Time of use

[4] Vehicle to grid

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

شارژ خودروها را پرداخته است.

۱-۱ 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 می باشد. بعلاوه از روش لانگرانژ و روش پیش بینی 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 فرورفتگی های 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 خودورهای برقی متصل به شبکه (PHEV) با استفاده از اندازه گیری هوشمند در ایران که تحت عنوان طرح فهام 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 پیش بینی شده است که خودرو ها در ساعت غیرپیک شارژ و در ساعت پیک به شبکه تزریق شود تا کمبود برق جبران 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 می توانند بارهای خود را کنترل نمایند. برنامه پاسخگویی بار در این مقاله از نوع زمان استفاده و زمان واقعی جهت ارزیابی نفوذ PHEV بروی بهره برداری شبکه های 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 می باشد.

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 پارکینگ های خودرو جهت کنترل و تجمع PEV ها طراحی شده است. این مقاله یک مساله برای بهینه سازی مدیریت انرژی در حضور PEV ها را مطرح می کند. هدف اصلی این مساله حداقل سازی هزینه تولید صاحبان ریز شبکه ها که دارای منابع تولید محلی و همچنین تجارت انرژی از طریق بازار های برق را دارند می باشد. همچنین این طرح امکان دادن تشویق به صاحبان PEV را برای شرکت در برنامه ریزی پاسخگویی بار فراهم آورده است. در این مرجع عدم قطعیت های موجود نیز بر اساس ساختارهای سناریو سازی مدل شده اند. بر اساس نتایج این تحقیق می توان نتیجه گرفت که استفاده از پارکینگ برای تجمع خودروهای برقی حدود ۴۰ درصد هزینه ریز شبکه ها دارای منابع تجدیدپذیر را کاهش دهد. بعلاوه بکار بردن برنامه ریزی DR در زمان شارژ PEV ها می تواند سود بیشتری را برای صاحبان آن به همراه داشته باشد.

در مرجع [۱۷] استفاده از اتصال خودروهای برقی به شبکه بعنوان یک رژیم جهت افزایش درآمد شبکه های هوشمند پیشنهاد شده است. در این مرجع استراتژیهایی برای PHEV از طریق اتصال دوطرفه خودروهای برقی به شبکه های برق مطرح می شود. در ابتدا یک رویکرد ناخودآگاه از دیدگاه صاحبان PHEV را پیشنهاد داده است. سپس جهت حداقل سازی هزینه های 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 باتریها 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 باتری 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 پرتغال مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مقاله تاثیر خودروهای برقی بروی مصرف کنندگان خانگی با استفاده از داده های واقعی تحلیل و بررسی شده است. مزیت بررسی خودروهای خانگی این است که این خودروها می توانند با کمترین هزینه بر اساس یک برنامه ریزی صحیح به شبکه برق متصل شوند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

درمرجع [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 قدرت می باشند. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق مشخص شد که دو عامل می تواند 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.

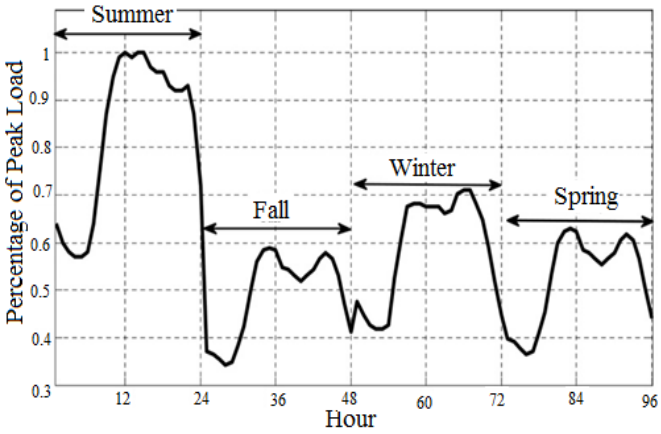
با توجه به پیشینه تحقیق، در این مقاله مدلی برای مدیریت سمت مصرف با در نظر گرفتن ۲ واحد نیروگاه بادی و ۱ واحد نیروگاه خورشیدی به عنوان منابع تولید پراکنده و تقسیم بندی خودروهای برقی به ۴ کلاس مختلف با در نظر گرفتن درصد سهم هر خودرو در شبکه و در نظر گرفتن تعداد تصادفی خودروها در هر کلاس با استفاده از تابع 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 بیشینه 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 قطعیت‌های شدت تابش خورشید با استفاده از تابع توزیع بتا و سرعت باد را با استفاده از تابع توزیع احتمال ریلی شبیه‌سازی شده‌اند.

۲- مدلسازی اجزا

۲-۱- مدل بار

به منظور مدلسازی اجزا مختلف در سیستم ، دوره زمانی انتخابی یکساله 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 درآن داده‌های شدت تابش خورشیدی و سرعت باد به‌صورت ساعتی به‌وسیله توابع توزیع احتمال بتا و ریلی مدل شده است تولید می‌گردد. پروفیل بار از دادههای سیستم IEEE-RTS پیروی میکند که به سه قسمت پرباری، کم باری و میان باری تقسیم می شود که در این مقاله قسمت پر باری مورد تحقیق قرار 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 می‌گیرد 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 هرفصل 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 هرفصل 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 فوتوولتائیک 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].

$$f_b(s)=\begin{cases}\dfrac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}s^{(\alpha-1)}(1-s)^{(\beta-1)} & ,0\le s\le 1\\ 0,ow\end{cases} \quad (۱)$$

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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

افزاری، فرض شده است عملکرد MPPT[5] واحد تضمین شده و توان خروجی رابطه‌ای مستقیم با شدت تابش خورشیدی خواهد داشت.

۲-۳- 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 می کنیم[12].

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

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

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

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

(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 می باشند.

بیان عمومی و معمول که برای رفتار سرعت باد مورد استفاده قرار می‌گیرد، تابع چگالی احتمال ریلی[6] است که در معادله ۳ نشان داده شده است[11] .

$$f(v)=\left(\frac{2v}{c^2}\right)\exp(-(v/c)^2) \qquad (۳)$$

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:

$$v_m=\int_0^\infty vf(v)dv=\int_0^\infty\left(\frac{2v^2}{c^2}\right)\exp(-(v/c)^2)\,dv=\sqrt{\pi}/2 \qquad (۴)$$

$$c=1.128V_m \qquad (۵)$$

۲-۴- 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:

$$N_{PHEV}=Pen_{PHEV}\times N \qquad (۶)$$

در این رابطه، N_{PHEV}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

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

برای تعیین تعداد تصادفی خودروها در هر کلاس، از تابع 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:

$$Average=N\times Pen_{PHEV}\times Pen_c \qquad (۷)$$

$$\sigma^i=\sqrt{\alpha_p\times Average} \qquad (۸)$$

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

[5] Maximum power point tracking

[6] Rayleigh pdf

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

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:

$$Average = \frac{C_{min} + C_{max}}{2} \quad (۹)$$

$$\sigma = \frac{C_{max} - C_{min}}{4} \quad (۱۰)$$

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	۱	۲	۳	۴
انرژی مصرفی برحسب کیلووات ساعت بر کیلومتر	۰.۱۹	۰.۲	۰.۲۲	۰.۲۴

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 نمی باشند. لذا در حل اینگونه مسائل از روشهای بهینه سازی چند هدفه استفاده می شود. فرم کلی یک مسأله بهینه سازی چند هدفه به صورت رابطه (۱۱) است:

$$x \in \Omega \ \min[f_1(x),..., f_m(x)]^T \quad (۱۱)$$

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

$$k = 1,..., p \ h_k(x) \le 0$$

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 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. روشهای بسیاری برای تولید این مجموعه جوابها وجود دارد. در این قسمت از روش مجموع وزنی استفاده شده است. در این روش تمامی توابع هدف را با ضرایب وزنی مختلفی که به هر کدام اختصاص می دهیم، جمع می نمائیم. یعنی مسأله بهینه سازی چند هدفه ما تبدیل به یک مسأله بهینه سازی اسکالر می شود که می توان آن را با الگوریتم های بهینه سازی بدون قید استاندارد حل کرد:

$$\min \sum_{i=1}^{k} w_i f_i(\bar{x}) \quad (۱۲)$$

که $W_i \ge 0$ ضرایب وزنی هستند که اهمیت نسبی توابع را نشان می دهند. معمولاً باید فرض شود که:

$$\sum_{i=1}^{k} w_i = 1 \quad (۱۳)$$

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

در اینجا دوتابع هدف را دنبال خواهیم کرد که یکی هزینه ای است که تلفات در سیستم توزیع ایجاد می‌نماید و دیگری هزینه بهره-برداری برای واحدهای تولید پراکنده مختلف است. تابع هزینه بهره برداری به صورت مضربی از تولید نیروگاه ها در نظر گرفته شده که مجموع هزینه ی اولیه راه اندازی واحد ها و هزینه بهره برداری از واحد ها است که برای یک سال بهینه می شوند.

$$ObjF_1 = \sum_{k=1}^{T} \sum_{i=1}^{n=j} \left|B_{ij}\right|^2 . R_{ij} . C_k \quad (۱۴)$$

$$ObjF_2 = \sum_{k=1}^{T} \sum_{i=1}^{N} op\ cost_{DG_i k} \quad (۱۵)$$

لذا تابع هدف ترکیبی زیر را خواهیم داشت:

$$ObjeFunction = ObjFunction_1 + ObjFunction_2 \quad (۱۶)$$

که در رابطه ۱۴، R_{ij} میزان مقاومت هر شاخه بین باسهای i وj جهت تعیین تلفات هر شاخه و B_{ij} در حقیقت جریان شاخه بین باسهای i و j است. $op\ cost_{DG}$ هزینه بهره‌برداری iامین DG در سیستم بوده و C_k قیمت برق در ساعت kام می‌باشد.

قیود در نظر گرفته شده برای مسئله نیز به صورت زیر تعریف شده است:

اندازه و زاویه ولتاژ باس اسلک:

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

$$V_1 = 1, \delta_1 = 0.0 \quad (۱۷)$$

محدودیت ولتاژ در باس ها:

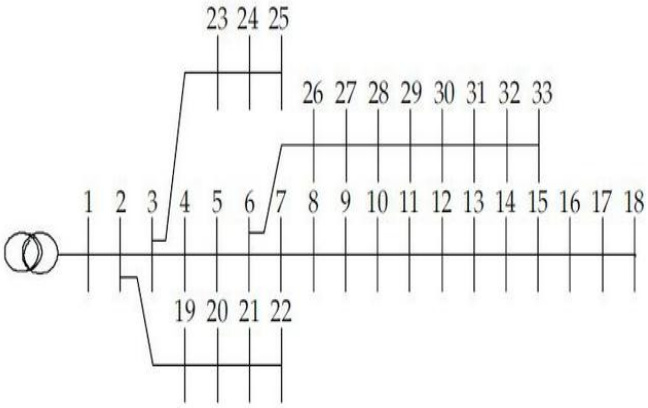
$$V_{\min} \le V_{BUS} \le V_{\max} \quad (۱۸)$$

محدودیت ظرفیت خطوط:

$$0 \le B_{ij} \le B_{ij}^{\max} \quad (۱۹)$$

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 ۳۳ باسه IEEE استاندارد با استفاده از نرم افزار MATLAB پیاده سازی نمودیم. شماتیک این شبکه در شکل ۲ نشان داده شده است. فرض کرده‌ایم که از دو نیروگاه بادی در باس‌های ۸ و ۱۳ به ظرفیت های 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 و۶ نشان داده شده است.



شکل (۲): شبکه مورد مطالعه [11]

با استفاده از شارژ هماهنگ نسبت به شارژ معمولی علاوه بر کاهش هزینه های بهره برداری ، اوج مصرف هم کاهش پیدا می کند به همین منظور از سناریو سازی برای مقایسه نتایج استفاده می شود .

سناریوی۱: هیچ گونه نیروگاهی به شبکه اضافه نشود و خودروها به صورت ناهماهنگ شارژ شوند. در این مرحله با توجه به حضور تصادفی خودروهای الکتریکی در شبکه هوشمند و شارژ ناهماهنگ آنها توسط شبکه میزان نفوذ آنها و میزان تلفات و هزینه تلفات بررسی میشود. در شارژ ناهماهنگ و یا کنترل نشده ،خودروی الکتریکی زمانی که وارد خانه می‌شود به شارژ زده شده و با نرخ حداکثر شارژ می‌شود. در این مسأله نرخ شارژ در اینگونه شارژ برابر ۴ کیلووات در نظر گرفته شده است.

جدول (۳): نتایج بدست آمده در سناریوی ۱

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

جدول۳ نشان دهنده این است که با افزایش ضریب نفوذ خودرو های برقی، تلفات و هزینه تلفات هم افزایش پیدا می کند.

سناریوی۲: استفاده از شارژ معمولی خودروهای الکتریکی و جایابی بهینه تولیدات پراکنده جهت حداقل کردن هزینه.

در شارژ ناهماهنگ و یا کنترل نشده ،خودروی الکتریکی زمانی که وارد خانه می‌شود به شارژ زده شده و با نرخ حداکثر 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 نفوذ های ۱۰و ۲۰ و ۳۰ درصد خودروهای الکتریکی حل شده است. نتایج بدست آمده در جدول۴ امده است.

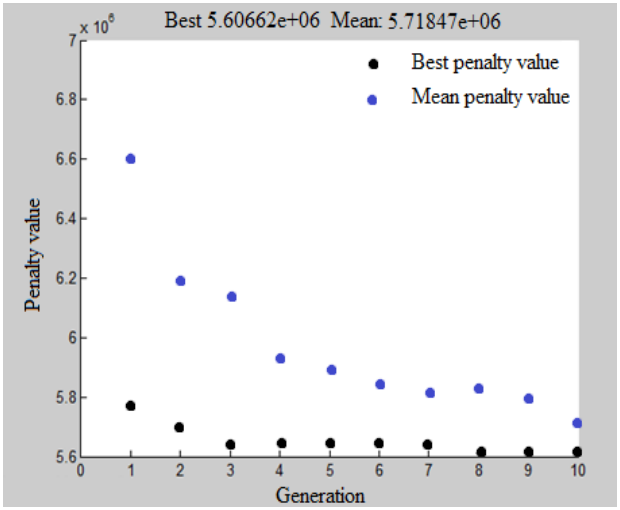
جدول(۴): نتایج بدست آمده در سناریوی ۲

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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

ظرفیت نیروگاه بادی ۲ (KW)	۱۶۸	۴۱۴	۴۱۲
شماره باس نیروگاه خورشیدی	۳۳	۱۶	۱۵
ظرفیت نیروگاه خورشیدی (KW)	۲۶۲	۲۹۴	۳۸۹



شکل(۳): روند بهینه شدن مسأله در سناریوی ۲ و ضریب نفوذ ۳۰ درصد

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

الگوریتم ژنتیک با استفاده از کدگذاری اعداد باینری ،تعداد بیت هایی که برای کدگذاری متغییرها استفاده می شود، بسته به دقت مورد نظر برای جوابها ، محدوده تغییرات پارامتر ها و رابطه بین متغییرها 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.

سناریوی۳: بررسی هزینه بهره برداری سیستم با مدیریت شارژ خودروهای الکتریکی در حضور تولیدات پراکنده.

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

متغیر های تصمیم	ضریب نفوذ PEV					
	٪۱۰		٪۲۰		٪۳۰	
نوع شارژ	هماهنگ	ناهماهنگ	هماهنگ	ناهماهنگ	هماهنگ	ناهماهنگ
تلفات (MWh)	۱۸۳.۵۸۷۵	۱۸۴.۹۴۸۷	۱۹۱.۶۱۶۱	۱۹۴.۷۷۹۷	۱۹۹.۱۱۳۳	۲۰۴.۳۶۵۰
هزینه تلفات (M$)	۱.۵۱۵۸	۱.۵۲۱۲	۱.۵۹۳۵	۱.۶۰۵۴	۱.۶۶۶۳	۱.۶۸۸۴
هزینه کل ($M)	۱.۹۱۴۰	۱.۹۱۹۴	۲.۰۴۷۱	۲.۰۵۹۳	۲.۲۹۲۰	۲.۳۱۴۱

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

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

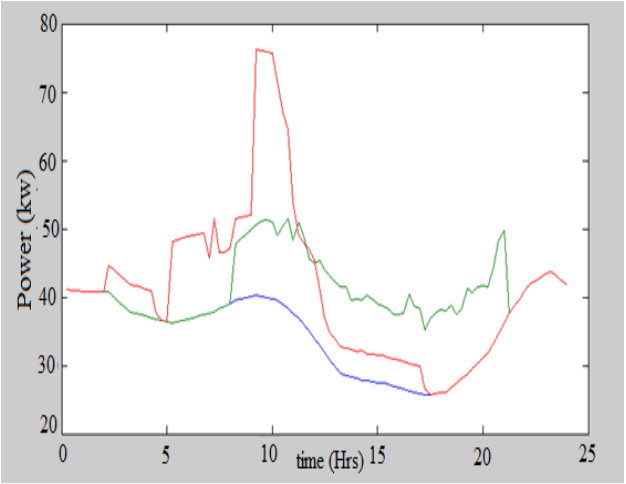
متغیر های تصمیم	ضریب نفوذ PEV					
	٪۱۰		٪۲۰		٪۳۰	
نوع شارژ	هماهنگ	ناهماهنگ	هماهنگ	ناهماهنگ	هماهنگ	ناهماهنگ
تلفات (MWh)	۱۲۴.۶۸	۱۲۵.۴۸۱۳	۱۳۱.۴۳۹	۱۳۳.۳۹	۱۳۷.۸۲	۱۴۱.۲۲
هزینه تلفات (M$)	۱.۰۵	۱.۰۵۵۱	۱.۱۱۸۶	۱.۱۲	۱.۱۸	۱.۱۹
هزینه کل ($M)	۱.۴۵	۱.۴۵۳۳	۱.۵۷۲۴	۱.۵۷	۱.۸	۱.۸۱

جدول۶ نتایج بدست آمده در سناریوی۳ برای فصل بهار است که همانند فصل تابستان هزینه تلفات و هزینه کل بهره برداری سیستم در درصد نفوذهای 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 باسبار ۸ بدون خودرو و در صورت استفاده از شارژ هماهنگ و ناهماهنگ در یک روز بهاری نمونه را نشان می‌دهد. . پیش‌بینی می‌شود که با استفاده از شارژ هماهنگ نمودار توان نسبت به حالت شارژ ناهماهنگ کاهش پیدا کند . همانطور که دیده می‌شود 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 می‌دهد، هستیم.

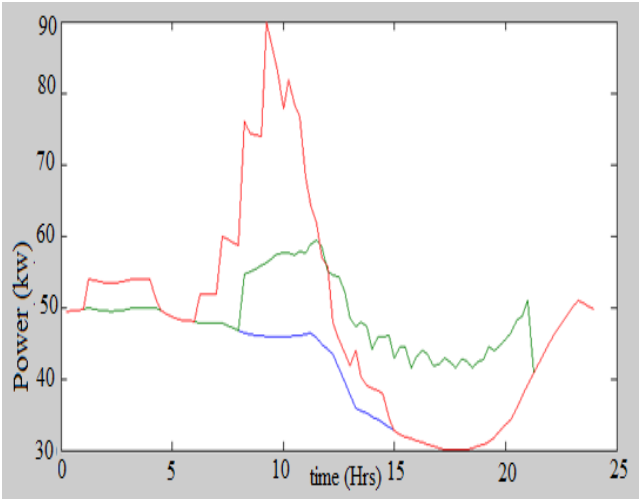
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]



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

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



شکل (۵): توان باسبار ۵ بدون خودرو و در صورت استفاده از شارژ هماهنگ و ناهماهنگ 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 اولا 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 که برای آن نیز تابع 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 مبحث 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 بهنیه مدیریت توان، توانستیم علاوه بر اینکه هزینه‌های بهره‌برداری و نیز تلفات را کاهش دهیم ، اوج مصرف که در نتیجه شارژ ناهماهنگ خودروها ترکیب با پروفیل بار خانگی رخ می‌داد، کاهش عمده 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.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]

[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." *Journalof 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] Aliasghari, 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.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1397.7.2.3.9]