

برنامه پاسخگویی بار شبکه هوشمند مبتنی بر شارژ ماشین های برقی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی

حسن استوار^۱ و مژده حیدریان اصل^{۲*}

چکیده

از آنجا که شارژ خودروهای برقی به عنوان یکی از راهکارهای بنیادی به منظور مدیریت فنی و اقتصادی در شبکه توزیع برق می باشد، لذا در پژوهش جاری، مدلی جهت بهره برداری از یک ریزشبکه هوشمند شامل تولیدکننده هایی مانند سلول های فتوولتائیک، توربین بادی، سیستم ذخیره کننده انرژی و مصرف کننده های خودرو برقی ارائه شده است. ریز شبکه پیشنهادی منجر به کاهش تلفات، کاهش پیک بار شبکه و همچنین کاهش هزینه های شارژ می گردد. این ریزشبکه در دو حالت طراحی شده است، در مرحله اول به صورت کامل از شبکه سراسری ایزوله است. در این مدل سازی برای عدم قطعیت های تولید بادی، تولید خورشیدی و امکان اعمال کنترل فیزیکی تجهیزات، از میانگین داده های تابشی و وزشی منطقه مورد نظر استفاده شده است. در مرحله دوم برنامه بهینه سازی پاسخگویی تقاضا مبتنی بر الگوریتم تئوری بازی برای ریزشبکه هوشمند متصل به شبکه سراسری در قالب دو پیشنهاد بارزدایی و تولید ریزشبکه برای کاهش توان بار در مسئله طراحی شده است. در راستای صحت سنجی روش پیشنهادی، دو مدل سازی مختلف ریزشبکه هوشمند در نرم افزارهای MATLAB و GAMS صورت گرفته است. با توجه مقدار هزینه ای انرژی بدست آمده در حالت ریزشبکه مستقل، مقدار انرژی انتظاری تأمین نشده به میزان ۱۸ درصد کاهش را نشان داد. در حالت ریزشبکه متصل به شبکه سراسری ضمن بهبود عملکرد انرژی تأمین نشده شبکه، کاهش آلودگی واحدهای تولید بعد از بهینه سازی حاصل گردید. در حالت کلی نتایج هر دو بررسی حاکی از برتری روش های پیشنهادی در مقابل دیگر روش های مرسوم است.

دریافت مقاله: ۲۴/۱۰/۱۴۰۳

پذیرش مقاله: ۲۵/۰۱/۱۴۰۴

کلمات کلیدی: ریزشبکه هوشمند، سلول خورشیدی، الگوریتم تئوری بازی، تولید ریزشبکه

۱-مقدمه

سیستم های انرژی الکتریکی به دلیل ویژگی های منحصر به فرد انرژی الکتریکی از ابتدا همواره مورد توجه محققان بوده است. این انرژی به سرعت جایگزین بسیاری از انواع انرژی های دیگر در زمینه های مختلف خانگی، تجاری، صنعتی و کشاورزی شد [۱۷]، به طوری که امروزه میزان دسترسی به انرژی الکتریکی در جوامع مختلف به عنوان یکی از شاخص های پیشرفت و رفاه اجتماعی شناخته می شود. با توجه به راندمان بالای این نوع انرژی و سهولت تبدیل آن به انواع دیگر، تقاضا برای مصرف آن همواره در طول زمان رو به افزایش بوده است [۱۸].

توزیع اقتصادی بارهای نیروگاهی با هدف تأمین انرژی برای مصرف کنندگان و با حداقل هزینه تولید صورت می پذیرد [۱]. از یک طرف، سوزاندن سوخت های فسیلی برای تأمین انرژی مورد نیاز، گازهای آلاینده ای را آزاد می کند که به محیط زیست آسیب می رساند، که با توجه به اهمیت حفاظت از محیط زیست و تصویب اصلاحیه های قانون پاک، نیروگاه ها مجبور به کاهش تولید گازهای آلاینده در سطح معینی شدند.

از طرف دیگر، برای یافتن توزیع اقتصادی بار نیاز است از روش مناسب استفاده شود. بنابراین استفاده از روش های ریاضی مانند روش نیوتن، برنامه ریزی مرتبه دوم و روش

۲. استادیار، گروه مهندسی برق، واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی، دشتستان، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: heydarianasl23@yahoo.com
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی، دشتستان، ایران

نقطه‌یابی برای سیستم‌های قدرت خطی و غیرخطی پیشنهاد گردید [2]. اما همانطور که گفته شد، یکی از مشکلات تولیدکنندگان انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در حین تولید انرژی است. لذا علاوه بر هزینه، در بحث توزیع بار، محدودیت توزیع اقتصادی محدود انتشار را نیز باید در نظر گرفت [3-13]. در این مقاله هر دو هدف در نظر گرفته شده است.

یکی از اهداف اساسی پژوهش جاری، ارائه یک برنامه مشخص و دقیق برای مدیریت تقاضای یک شبکه هوشمند با حضور منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. در این راستا، روشی برای بهینه‌سازی برنامه مدیریت سمت تقاضا مبتنی بر به حداقل رساندن هزینه راه‌اندازی شبکه هوشمند توسط اپراتور سیستم با تابع هدف مشخص پیشنهاد شده است. اپراتور سیستم، مصرف و ارائه خدمات بارها را با در نظر گرفتن قیمت‌ها و همچنین محدودیت‌های حاکم بر سمت تقاضا در طول فرآیند بهینه‌سازی برنامه مصرف و ارائه خدمات تعیین می‌کند.

در راستای این تحقیق، یک طرف تقاضا جدید پیشنهاد شده است که هر مصرف‌کننده مجهز به باتری و سلول خورشیدی و ماشین برقی (PHEV) می‌باشند. برای کاهش هزینه مصرف‌کنندگان از مدیریت سمت تقاضا DSM استفاده شده است که با توجه به متفاوت بودن هزینه انرژی در ساعات مختلف روز، مشترکین از طریق سلول خورشیدی در طول روز انرژی را در باتری ذخیره کرده و همچنین در طول ساعات کم مصرف ماشین برقی خود را شارژ می‌کنند و به دلیل اینکه از ماشین برقی یک ساعت بیشتر استفاده نمی‌شود مصرف‌کنندگان می‌توانند به صورت همزمان از انرژی ذخیره شده در باتری و PHEV خود استفاده کنند. نکته مهم که باید به آن توجه نمود این است که استفاده بدون برنامه از ماشین هیبریدی می‌تواند نتیجه عکس دهد و به افزایش پیک بار کمک کند تا کاهش آن، بنابراین به دنبال روش کنترلی هستیم تا بتوان با استفاده از آن، زمان مناسب شارژ و دشارژ ماشین را تعیین کرده تا کاربران بتوانند در ساعات غیر پیک ماشین خود را شارژ کرده و در ساعات پیک از انرژی ذخیره شده در ماشین و باتری سلول خورشیدی خود استفاده نمایند. در این روش پیشنهادی، از تئوری بازی‌ها و بازی رقابتی بهره گرفته شد که بر اساس این بازی هر کاربر به دنبال استفاده از بهترین روش یا بهترین زمان برای شارژ و دشارژ ماشین خود می‌باشد و اگر نتواند روش

مناسبی را انتخاب کند بر اساس قوانین بازی جریمه خواهد شد. همان طور که از نتایج شبیه‌سازی دیده خواهد شد این روش می‌تواند منجر به کاهش هزینه، کاهش استفاده از سوخت فسیلی و همچنین کاهش پیک بار شود.

۲- چالش‌های برنامه مدیریت سمت تقاضا با

حضور خودروهای برقی در شبکه هوشمند

با نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر، نیاز به قابلیت اطمینان مناسب برای شبکه بیش از هر زمان دیگری احساس شده است، اما با زیرساخت‌های فعلی، دستیابی به این هدف با مشکلات فراوانی همراه است. بنابراین برای رفع این نیاز و دستیابی به اهدافی مانند بهبود مسائل زیست محیطی، انطباق بیشتر با برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا و حمایت از خودروهای الکتریکی، حرکت از شبکه فعلی به شبکه هوشمند اجتناب ناپذیر است. این نیازها و تغییرات مرتبط با آن، صنعت برق را با چالش‌های بزرگتری مواجه خواهد کرد. از یک طرف انتقال از شبکه فعلی به شبکه هوشمند باید به تدریج انجام شود تا چراغ‌ها روشن بماند و از طرف دیگر مباحث مربوط به شبکه هوشمند به قدری گسترده است که قادر به ایجاد تغییرات اساسی خواهند بود. در فلسفه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت با توجه به موارد فوق، منابع انرژی تجدیدپذیر راه خوبی برای انتقال از شبکه فعلی به شبکه هوشمند هستند. با این حال، عدم قطعیت‌های ناشی از ماهیت متناوب منابع تجدیدپذیر مانند انرژی باد و خورشید از یک سو و افزایش بار شبکه به دلیل شارژ خودروهای الکتریکی از سوی دیگر، کاربران را با چالش‌های فنی و اقتصادی مواجه خواهد کرد. بنابراین بهره‌برداری از چنین شبکه‌ای نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح است. ارائه یک راه خوب برای برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌سازی در یک شبکه توزیع هوشمند و ایجاد تعادل در تولید و مصرف در لحظه می‌تواند بخش بزرگی از این چالش‌ها را برطرف نماید.

خودروهای برقی در چند دهه گذشته به عنوان یک وسیله جدید و جالب در سیستم قدرت محبوبیت پیدا کرده اند. کاهش هزینه سوخت خودروها، افزایش راندمان حمل و نقل، کاهش آلاینده های زیست محیطی که پیش از این به عنوان یک معضل جهانی توسط سوخت های فسیلی مصرفی در خودروها مطرح می شد، از مهمترین مزایای استفاده از این خودروها است. در کنار این موضوع، استفاده از خودروهای برقی در سیستم قدرت در صورتی که بر اساس الگو و بر اساس مدیریت مصرف تعریف نشود، می تواند سیستم قدرت را دچار مشکل کند.

با افزایش تعداد خودروهای الکتریکی در شبکه هوشمند، بار شبکه نیز به طور همزمان افزایش می یابد. اگر خودروهای الکتریکی به شکل بارهای غیر قابل انعطاف رفتار کنند، حداکثر بار و تلفات شبکه را افزایش می دهند. اما اگر تعداد قابل توجهی از این خودروها به صورت هماهنگ تحت مدیریت و کنترل به شبکه هوشمند متصل شوند، می توانند مانند یک نیروگاه مجازی کوچک با سرعت راه اندازی بسیار بالا و بدون هزینه راه اندازی به نفع شبکه و با کاهش هزینه های شبکه هوشمند و بهبود قابلیت اطمینان رفتار کنند. تجمیع کننده خودروهای برقی که به عنوان یکی از اعضای جدید بازار برق محسوب می شود، وظیفه تامین انرژی لازم و همچنین کنترل برنامه شارژ خودروی برقی را بر عهده دارد. از سوی دیگر مدیریت سمت تقاضا به عنوان مشارکت مصرف کنندگان خرد در بازار برق می تواند با تغییر انعطاف پذیر مصرف در پاسخ به سیگنال های دریافتی از شبکه و کاهش مصرف در زمان اوج مصرف، در تثبیت قیمت های بازار موثر باشد. در نتیجه، از صرف هزینه اضافی برای ایجاد ظرفیت تولید برای یک دوره اوج زمانی کوتاه در هر سال جلوگیری می کند.

۲-۱- برنامه مدیریت سمت تقاضای پیشنهادی

روش پیشنهادی در این تحقیق به بررسی یک برنامه مدیریت سمت تقاضا به منظور مدیریت بهینه شبکه هوشمند می پردازد. از این رو مدلی با پیشنهاداتی برای قطع بار خودروهای برقی، جابجایی بار خودروهای برقی، تولید انرژی های تجدیدپذیر و صرفه جویی در منابع به اپراتور سامانه ارائه شده است. اپراتور سامانه پس از دریافت این اطلاعات و با در نظر گرفتن اطلاعات سایر سازندگان سنتی در شبکه، برنامه تولید و مصرف را با هدف بهینه سازی عملکرد شبکه به شرکت کنندگان ارائه می دهد.

ظهور فناوری های مرتبط با شبکه های هوشمند در محوطه مشترکین، شبکه های خرد (شامل واحدهای تجدیدپذیر، واحدهای تولید برق و حرارت ترکیبی، سیستم های ذخیره انرژی) و بارهای یکپارچه در مناطق شهری می تواند مشارکت مشترکین را در مدیریت سمت تقاضا تسهیل کند. با ارائه برنامه ها مشترکین می توانند از تولید و ذخیره سازی در نقطه مصرف به جای قطع و یا جابجایی محموله استفاده کنند. هر جمع کننده پیشنهادات بارها، پیشنهادات قیمت و ویژگی های فنی را در رابطه با هر یک از پیشنهادات خود به اپراتور سیستم دریافت می کند. چهار طرح مدیریت سمت تقاضا با توضیح بیشتر در زیر مورد بحث قرار گرفته است:

۱) قطع بار خودروهای برقی: در این حالت، مشترکین دارای خودروهای برقی شرکت کننده در برنامه مدیریت سمت تقاضا، بهره وری انرژی را به عنوان جایگزینی برای کاهش مصرف خود انتخاب می کنند که به ساعات دیگر منتقل نمی شود. این پیشنهاد شامل یک زوج قیمت-کمیت است و نشان می دهد که کلکسیونر چقدر مایل است بار خود را کاهش دهد. همچنین شامل هزینه اولیه کاهش بار برای پوشش هزینه ثابت برش بار می شود. علاوه بر این، محدودیت هایی مانند حداقل یا حداکثر دوره وقفه بار و حداکثر تعداد وقفه بار نیز ممکن است در نظر گرفته شود.

۲) شیفت بار خودرو برقی: در این حالت مصرف کنندگان دارای خودرو برقی، بار مصرفی خود را به ساعات دیگری برای مصرف انتقال می دهند. یک پیشنهاد شیفت بار شامل مواردی از قبیل زوج قیمت-مقدار، هزینه اولیه کاهش بار، مینیمم یا ماکسیمم دوره کاهش بار و محدودیت هایی درباره دوره زمانی که بار به آن شیفت پیدا می کند، می باشد.

۳) تولید منابع انرژی تجدیدپذیر: در این حالت، تولید در محل هر کلکتور برای کاهش بار مصرفی تغذیه شده توسط شبکه اصلی اعمال می‌شود. این پیشنهاد شامل قیمت-کمیت زوج، هزینه راه‌اندازی، نرخ کاهش یا افزایش توان خروجی، حداقل زمان روشن یا خاموش شدن، و همچنین ضرایب مرتبط با آلودگی است.

۴) ذخیره انرژی: تفاوت بین سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر این است که سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی باید قبل از استفاده برای کاهش بار شبکه شارژ شوند. در این مورد، پیشنهاد شامل زوج قیمت-ارزش، ظرفیت انرژی، توان اسمی، توانایی کاهش و افزایش خروجی، راندمان شارژ و دشارژ و زمان نگهداری انرژی است.

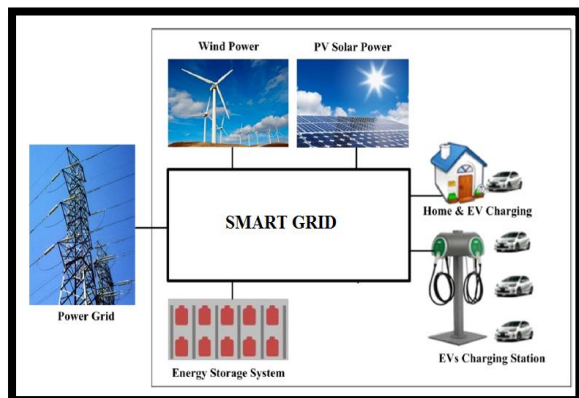
هر یک از موارد فوق باید به‌طور مناسب مدل‌سازی شوند. اپراتور سیستم پس از دریافت موارد فوق و همچنین جمع‌آوری پیشنهادات برای تامین سایر واحدهای مشترک، فرآیند بهینه‌سازی خود را آغاز می‌نماید. توجه به این نکته ضروری است که از آنجایی که نیاز است عملکرد هماهنگ خودروهای برقی شرکت‌کننده در برنامه مدیریت سمت تقاضا با اپراتور سیستم در نظر گرفته شود، بنابراین اپراتور سیستم تمامی محدودیت‌های مربوط به سمت تقاضا را در فرآیند بهینه‌سازی خود وارد می‌کند. عملکرد هدف اپراتور سیستم شامل به حداقل رساندن هزینه عملیات سیستم است. این تابع هدف شامل هزینه تولید از واحدهای ریزشبکه و هزینه‌های راه‌اندازی و خاموشی آنها و هزینه برنامه‌ریزی مدیریت سمت تقاضا می‌باشد. علاوه بر محدودیت‌های مربوط به مدیریت سمت تقاضا، محدودیت‌های مربوط به واحدهای حرارتی و همچنین محدودیت‌های مربوط به شبکه وجود خواهد داشت. اپراتور سامانه پس از رفع مشکل از بهینه‌سازی برنامه تولید و مصرف تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان خبر می‌دهد.

پس از پیاده‌سازی مدل‌های توضیح داده شده در نرم‌افزار مناسب، نتایجی در مورد کاهش بار مصرفی، هزینه بهره‌برداری از سیستم و تأثیر برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا بر آلودگی در قالب سناریوهای مختلف ارائه می‌شود.

این بخش بر تأثیر مدیریت سمت تقاضا بر شبکه هوشمند با حضور خودروهای الکتریکی تمرکز دارد. شبکه هوشمند پیشنهادی شامل بارهای خانگی، بارهای ماشین الکتریکی، منابع تجدیدپذیر خورشیدی و بادی، باتری‌ها و واحدهای جمع‌کننده است. در مرحله اول، شبکه هوشمند در یک جزیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در مرحله دوم، بهینه‌سازی تابع هدف برای یک شبکه ۶ باس IEEE با پیاده‌سازی مدیریت سمت تقاضا و اتصال شبکه نمونه به شبکه اصلی آزمایش شده است. مطالعات موردی شامل ریزشبکه مورد مطالعه و شبکه ۶ باس مدل‌سازی شده در نرم افزار MATLAB/Simulink و GAMS برای ارزیابی عملکرد الگوریتم صورت گرفته است.

۲-۳- ریزشبکه مورد مطالعه

برای انجام شبیه‌سازی، طراحی شبکه هوشمند مورد نظر مطابق شکل (۱) در محیط MATLAB/Simulink انجام شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، شبکه هوشمند مورد مطالعه به شبکه بالادستی، بارهای خانگی و وسایل نقلیه الکتریکی، منابع انرژی تجدیدپذیر و همچنین سیستم ذخیره انرژی متصل است. در ادامه، هر بخش به‌صورت مجزا تشریح می‌گردد.



شکل ۱- شبکه هوشمند مورد مطالعه

۲-۳-۱- مدل ژنراتور بادی

مشخصات خروجی نیروگاه بادی با واحدهای معمولی کاملاً متفاوت است زیرا واحدهای معمولی همیشه قادر به تولید

۲-۲- شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی

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

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

۲-۳-۲- مدل سلول خورشیدی

از آنجایی که توان خروجی آرایه‌های خورشیدی به شدت به دما و تابش وابسته است، کنترل نقطه کار آنها برای جذب حداکثر توان از اهمیت بالایی برخوردار است. در معادله ۵ حداکثر توان خروجی را خواهیم داشت:

$$P_{pv} = G_{t0} A_{pv0} N_{pv0} \eta_{pv} \quad (5)$$

که G_t , A_{pv} و N_{pv} به ترتیب شدت تابش t -Time، مساحت سلول و تعداد سلول‌های خورشیدی هستند. N_{pv} تابعی از شدت تابش خورشید و دمای محیط با توجه به رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$\eta_{pv} = \eta_{pv,ref} [1 - \alpha (T_t + G_{t0} - (NOCT - 20/800), T_{ref})] \quad (6)$$

در اینجا دمای استاندارد t_{ref} ، ضریب دمای α ، دمای محیط $NOCT$ (دمای سلول در حالت عادی) که برای عملکرد پنل تحت تابش 500 W/m^2 و در دمای 20°C درجه سانتیگراد تعریف می‌شود و معمولاً بین 40°C و 46°C درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

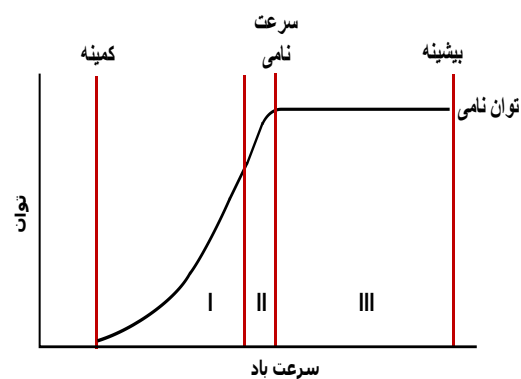
۲-۳-۳- مدل سیستم ذخیره‌ساز انرژی

معادلات ۷ تا ۱۰ با محدودیت‌های فنی باتری مطابقت دارد. حداکثر و حداقل انرژی شارژ و تخلیه باتری به صورت خطی (۷) توسط متغیرهای باینری $S_{B1}(t)$ ، $S_{B2}(t)$ داده می‌شود:

$$\begin{aligned} Ch(t) &\leq E_{ch, rated} \times S_{B1}(t) \\ Disch(t) &\leq E_{disch, rated} \times S_{B2}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

که $E_{ch, rated}$ حداکثر توان شارژ (Kw)، $E_{disch, rated}$ حداکثر توان دشارژ (Kw)، متغیر شارژ $Ch(t)$

توان نامی هستند مگر در مواقعی که از کار بیفتند. طراحی توربین بادی و سرعت باد در شرایط عملیاتی معمولی بر خروجی نیروگاه بادی تأثیر می‌گذارد، اما مشخصات سرعت باد تأثیر بسیار بیشتری دارد. رابطه بین سرعت باد و خروجی نیروگاه بادی معمولاً توسط سازندگان توربین بادی و در قالب یک تابع غیرخطی به نام منحنی توان باد ارائه می‌شود. این منحنی در شکل (۲) نشان داده شده است. مهمترین پارامترهای عملیاتی حداقل سرعت باد، سرعت اسمی باد و حداکثر سرعت باد است. مولد باد با حداقل سرعت شروع به تولید برق می‌کند. این ژنراتور زمانی توان اسمی خود را تولید می‌کند که سرعت باد بین سرعت اسمی و حداکثر سرعت باشد. هنگامی که سرعت باد از حداکثر مقدار تعیین شده بیشتر شود، تولید برق به دلایل امنیتی متوقف می‌شود.



شکل ۲- منحنی توان خروجی توربین باد برحسب سرعت باد [۱۳]

منحنی توان مورد استفاده برای بدست آوردن توان خروجی ساعتی یک توربین بادی با توجه به سرعت باد با روابط ۱ تا ۴ بیان می‌شوند:

$$p(ws_t) = \begin{cases} 0 & \text{if } ws_t \leq V_{ci} \\ (A + B * ws_t + C * ws_t^2) * p_r & \text{if } V_{ci} \leq ws_t < V_r \\ p_r & \text{if } V_r \leq ws_t < V_{co} \\ 0 & \text{if } V_{co} \leq ws_t \end{cases} \quad (1)$$

V_{ci} محدودیت سرعت پایین، V_r سرعت نامی، V_{co} محدودیت سرعت بالا، p_r قدرت نامی توربین است. A ، B و C نیز ضرایبی هستند که با محدودیت سرعت محاسبه می‌شوند:

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

می‌آید. در معادلات ۱۱، P_{pvres} و $P_{windres}$ حاصل مقدار انرژی هستند که سیستم نمی‌تواند ارائه دهد:

$$EENS = \left[\sum_{h=1}^{48} (P_{pvres}(h)) + \sum_{h=1}^{48} (P_{windres}(h)) \right] / 48 \quad (11)$$

۲-۳-۵- بهینه‌سازی شارژ سریع خودروهای برقی

روش مورد استفاده در این پژوهش برای شارژ سریع خودروهای برقی روش جریان ثابت چند مرحله ای است. در این روش مشکل مهم تعیین تعداد سطوح شارژ و میزان جریان در هر مرحله است. لذا در این راستا، موضوع بهینه‌سازی با تابع هدف به‌منظور به حداقل رساندن زمان شارژ و با حداکثر ولتاژ باتری و فرآیند کاهش سطوح جریان به صورت رابطه ۱۲ تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad t_{\text{charge}} \\ & \text{Subject to} \quad V_{\text{bat}} < V_{\text{max}} \\ & \quad \text{and} \quad I_{\text{ch}}^{k+1} < I_{\text{ch}}^k \quad k=1,2,\dots \end{aligned} \quad (12)$$

در جایی که زمان شارژ باتری، I_{ch}^k میزان جریان شارژ در استپ Kam و V_{bat} ولتاژ لحظه ای دو سر باتری در حین شارژ و V_{max} حداکثر ولتاژ مجاز باتری است. همانطور که قبلاً بیان شد، در تحقیق جاری از الگوریتم تئوری بازی برای حل مسئله بهینه‌سازی فوق (تعیین سطوح جریان و مدت زمان هر سطح) استفاده می‌شود. شکل (۳) فلوچارت فرآیند شارژ باتری را با استفاده از الگوریتم تئوری بازی نشان می‌دهد.

به‌صورت $0 \leq Ch(t) \leq E_{Ch, \text{rated}}$ و متغیر دشارژ $Disch(t) \leq E_{disch, Ch, \text{rated}}$ در محدوده صدمی می‌کنند. با توجه به این‌که در هر لحظه باتری فقط در حال شارژ یا دشارژ است، حداکثر یکی از متغیرهای باینری مقداری برابر با یک دارند که صورت ریاضی آن در رابطه ۸ آمده است:

$$S_{B1}(t) + S_{B2}(t) \leq 1 \quad (8)$$

همچنین در هر لحظه میزان شارژ باتری $SOC(t)$ دارای محدودیت‌های حداقل و حداکثر است که به‌صورت رابطه ۹ بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} SOC_{\min} & \leq SOC(t) \leq SOC_{\max} \\ SOC_{\min} & = (V_{\text{bat}} \times M_{Ah} \times (1 - \text{dod})) \\ SOC_{\max} & = (V_{\text{bat}} \times M_{Ah}) \end{aligned} \quad (9)$$

که $SOC_{\min}$ حداقل میزان شارژ باتری، $SOC_{\max}$ حداکثر میزان شارژ باتری، V_{bat} ولتاژ نامی باتری، M_{Ah} ظرفیت کل باتری، dod عمق دشارژ باتری است که در این پژوهش میزان آن برابر با $\text{dod} = 0.5$ در نظر گرفته شده است. همچنین وضعیت شارژ در هر لحظه توسط رابطه خطی ۱۰ نمایش داده شده است:

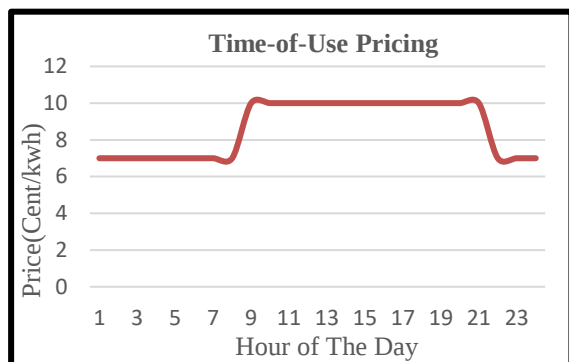
$$SOC(t) = SOC(t-1) + \eta_{\text{ch}}^b * E^{\text{Ch}}(t) - \frac{E^{\text{Disch}}(t)}{\eta_{\text{disc}}^b} \quad (10)$$

که η_{ch}^b ضریب شارژ باتری، η_{disc}^b ضریب دشارژ باتری است.

۲-۳-۴- مدل‌سازی شاخص قابلیت اطمینان EENS

در یک سیستم ریزشبکه مفاهیم متعددی وجود دارد که بر قابلیت اطمینان سیستم تولید تأثیر می‌گذارد. این مفاهیم شامل تقاضای بار، مشخصات واحدهای تولیدی، سیستم مجاور و استفاده از وسایل ذخیره‌سازی موجود و همچنین اقدامات اضطراری برای رفع کمبود ظرفیت است. به منظور بررسی شاخص قابلیت اطمینان و بهبود آن با اعمال قیود تعادلی، میانگین انرژی مورد انتظار تامین نشده با افتراق انرژی واقعی تولید شده از حداکثر مقدار تولید شده به دست

به طوری که اگر قرار باشد این قیمت به عنوان قیمت برق برای مشترکین اعمال شود، تجهیزات قابل کنترل نیست و تغییرات قیمت برق برای مشترکین آنی نخواهد بود. واضح است که اکثر مشتریان زمان و تجهیزات کافی برای پاسخگویی به تغییرات لحظه‌ای ندارند. نمونه‌ای از تعرفه قیمت گذاری لحظه‌ای در شکل (۵) نشان داده شده است.

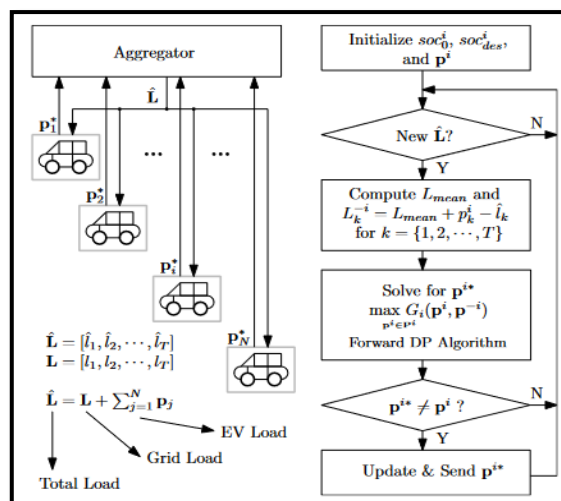


شکل ۵- نمونه‌ای از تعرفه قیمت گذاری لحظه‌ای

۳- شبیه سازی و تحلیل نتایج

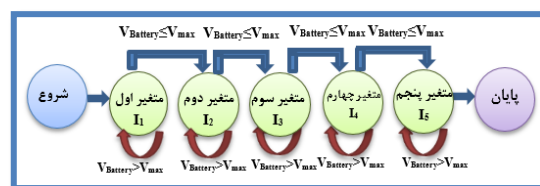
۳-۱- شبیه سازی و تحلیل نتایج برای ریز شبکه هوشمند در حالت جزیره‌ای

این بخش به تجزیه و تحلیل نتایج کاربرد مدیریت سمت تقاضا و بدون مدیریت سمت تقاضا در شبکه هوشمند، در حالتی مجزا از شبکه بالادستی با در نظر گرفتن قیمت انرژی‌های مختلف در کم بار، متوسط می‌پردازد. فواصل بار و بار بالا در طول دو روز. عملکرد هدف انتقال بار خودروهای الکتریکی به سمت روز است که برای به حداقل رساندن هزینه مصرف انرژی استفاده می‌شود. به طور کلی، کل توان تولیدی در سایت، حاصل از توان توربین بادی و پانل‌ها به صورت شکل (۶) می‌باشد، واضح است که در سناریوی اول که حالت مدیریت نشده طرف تقاضا است، نرخ تولید در ۱۲ ساعت به ۶۸۴۲ وات بر متر مربع رسید، اما در مورد مدیریت سمت تقاضا به ۷۷۴۹،۹۵ وات بر متر مربع رسید. در ساعت ۳۶، یعنی ساعت ۱۲ روز دوم، در حالت بدون مدیریت، سمت تقاضا ۷۵۹۲ و در حالت پاسخگو ۶۸۴۲ وات بر متر مربع جهش کرد. همچنین از ساعت ۱ تا ۶ بامداد انرژی تولید شده



شکل ۳- روند شارژ باتری با استفاده از الگوریتم تئوری بازی [۱۴]

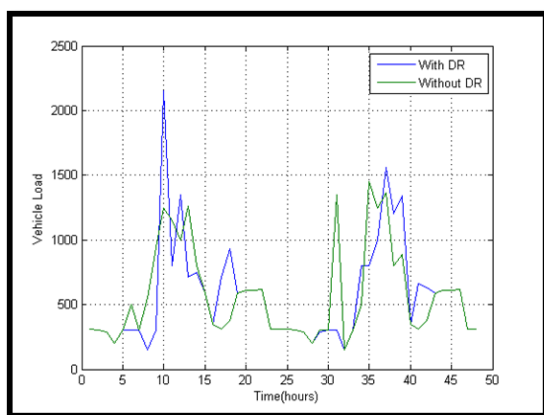
تعیین جریان مرحله اول به عنوان بزرگترین سطح جریان شارژ، بستگی به ظرفیت باتری و ملاحظات عملی دارد. هرچه سطح فعلی بالاتر باشد باتری سریعتر شارژ می‌شود، اما افزایش بیش از حد نیاز به افزایش سطح تحمل تجهیزات و منبع تغذیه ایستگاه دارد که منجر به افزایش هزینه می‌شود، بنابراین باید با یک روش مناسب صورت پذیرد. نمودار جریان فرآیند تعیین سطح جریان در شکل (۴) نشان داده شده است:



شکل ۴- چارت پیشنهادی تعیین سطوح جریان شارژ

۲-۳-۶- شاخص مدیریت سمت تقاضا

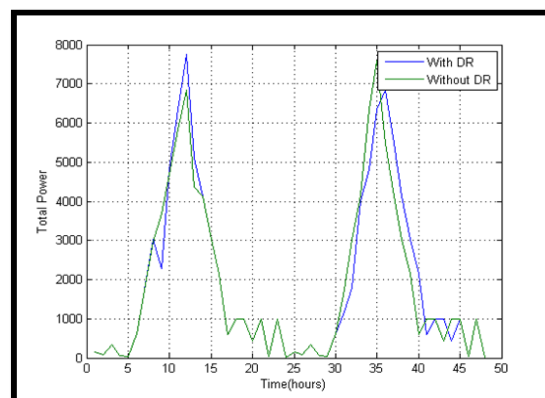
یکی از مهمترین برنامه‌های مدیریت تقاضا، قیمت زمان مصرف است. این برنامه عموماً مشتریان را تشویق می‌کند تا الگوهای مصرف خود را در ساعات اوج بار، کم بار بهبود بخشند و از طریق تغییر قیمت مشتری بتواند از قیمت واقعی انرژی مطلع شود، کاهش مصرف به همراه داشت. قیمت انرژی در طول روز به صورت دوره ای تغییر می‌کند،



شکل ۷- نمودار توان خودروهای برقی در دو حالت

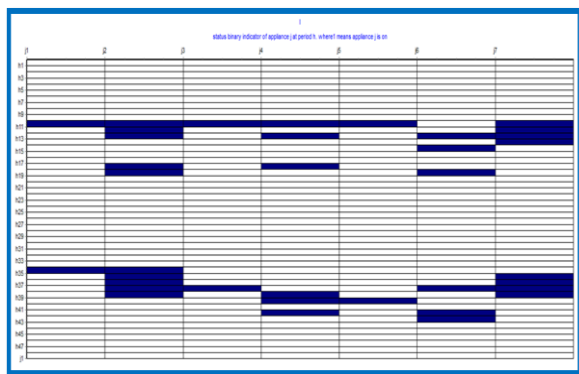
شکل (۸) مقایسه‌ای بین تغییرات انرژی ذخیره شده در سیستم ذخیره‌سازی است. در این شکل، در سناریوی اول (بدون مدیریت سمت تقاضا)، توان ذخیره در روز که تعرفه ثابتی را تجربه می‌کند، نسبت به سناریوی دوم، یعنی از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر، انرژی ذخیره‌سازی انرژی کمتری دارد. مقدار در سناریوی اول کمتر از سناریوی دوم است. دوباره در روز دوم از ساعت ۷ صبح (۳۱ بعد از ظهر) تا ۱۷ بعد از ظهر در روز دوم (۴۱ بعد از ظهر) باتری‌ها قادر به ذخیره انرژی کمتری بوده‌اند. در ساعت ۷ صبح، این سطح انرژی به کمترین مقدار ممکن یعنی ۱۵۶۶۷ رسید و به حداکثر عمق دبی نزدیک شد. با مقایسه این دو سناریو مشاهده می‌شود که در ساعات شب به دلیل ذخیره انرژی خوبی که در سناریوی دوم برای باتری‌ها رخ داده است، کفایت و امنیت سیستم بالا بوده و می‌تواند تجهیزات بیشتری را ارائه دهد. پس از تجزیه و تحلیل نهایی، اولویت روشن کردن تجهیزات است که پیشنهاد می‌شود در ساعات روز روشن یا خاموش باشد.

توسط پنل تقریباً صفر است و میزان پوسیدگی در این نقاط به دلیل تولید توربین بادی است.

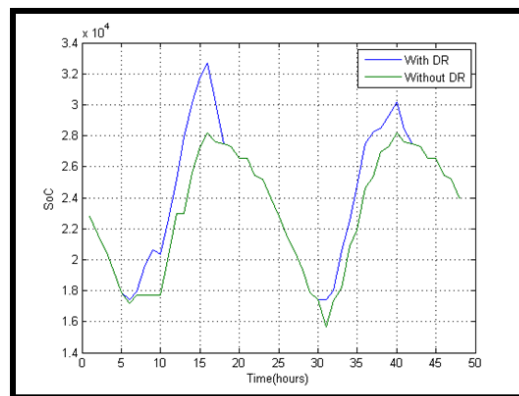


شکل ۶- مجموع توان تولید در محل برای سیستم مورد مطالعه

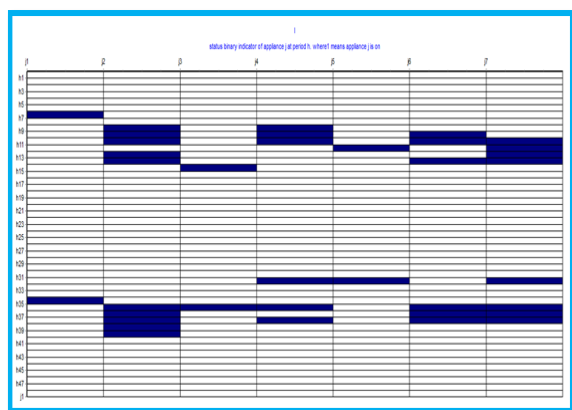
در شکل (۷)، قابلیت جابجایی بار خودروهای برقی به سمت روز (محدوده تولید نیرو) به خوبی قابل مشاهده است، به طوری که اکثر خودروهای قابل کنترل در روز روشن می‌شوند، به شب منتقل نمی‌شوند. در روز دوم، مصرف برق در حالت مدیریت سمت تقاضا، برخلاف بدون مدیریت سمت تقاضا، به خوبی به روز شده و از انتقال نیرو با مقادیر بالا در شب جلوگیری شده است. حالت مدیریت سمت تقاضا اوج را به خوبی به ۱۰ ساعت اول و ۱۳ ساعت دوم (۳۷ ساعت) منتقل کرده است. در ۱۰ ساعت اول روز با پیک برابر با ۲۱۵۰ وات، میزان تولید ۴۸۰۳ وات است که تجهیزات کاملاً تامین شده است. اما اگر در ساعت ۲۲ همه تجهیزات قابل کنترل وارد مدار شوند، پیک مصرف برق ۳۵۰۰ رخ خواهد داد که این دو سناریو با تولید مستقیم نمی‌توانند آن را تامین کنند و مجبور به استفاده از باتری می‌شوند که این امر هزینه سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد.



شکل ۹- زمان‌های شارژ خودروهای برقی بدون مدیریت سمت تقاضا

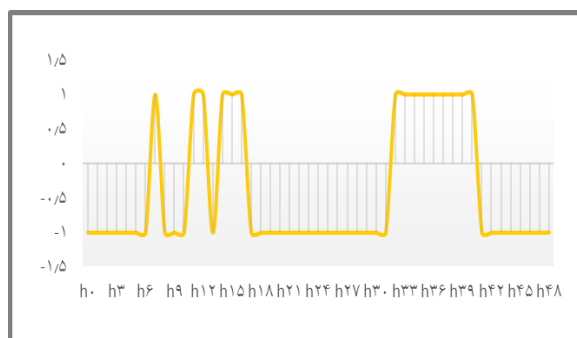


شکل ۸- نمودار مقایسه‌ای SOC باتری در دو حالت



شکل ۱۰- زمان‌های شارژ خودروهای برقی با حالت مدیریت سمت تقاضا

شکل (۱۱) نیز زمان شارژ و دشارژ باتری را در حالت بدون مدیریت سمت تقاضا نشان می‌دهد. این شکل وضعیت مشارکت باتری در ذخیره‌سازی انرژی را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، تمام ساعات شارژ برای فواصل روز با تعرفه‌های پایین است.

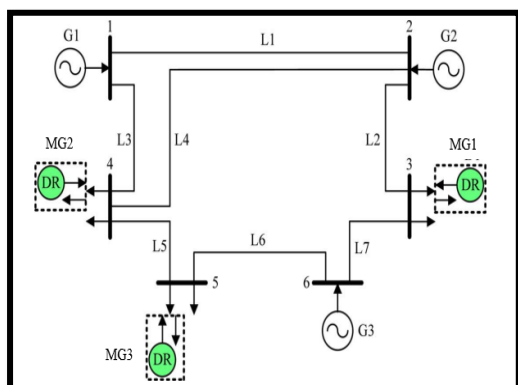


شکل ۱۱- زمان‌های شارژ و دشارژ شدن باتری‌ها در حالت بدون مدیریت سمت تقاضا

در شکل‌های (۹) و (۱۰)، فاصله‌های تجهیزات نشان داده شده است. تجهیزات شامل بارهای خانگی و شارژ وسایل نقلیه الکتریکی است. آنها اغلب در مواقعی که تولید زیاد است، جابجایی پیدا کرده‌اند، و در صورت قیمت‌گذاری، تجهیزات مایلند در طول روز یا ساعاتی از شب که توربین به خوبی تولید می‌شود در محل قرار گیرند تا عملکرد هدف را به حداقل برسانند. تعرفه‌ها بر کیلووات ساعت در سه بازه زمانی کم بار، میان بار و بار بالا اعمال شده است. پس از تجزیه و تحلیل نتایج برای بار شیفت، در این مطالعه، مقدار eens در حالت مدیریت نشده سمت تقاضا ۱۲۲/۰۵۵ وات ساعت است. و مقدار تابع هدف ۸۶۸۳۴۰ واحد است. در حالت مدیریت سمت تقاضا، مقدار eens ۱۰۰/۸۰۴ وات ساعت و مقدار تابع هدف ۶۸۹۳۵۰ واحد است. بنابراین مقدار انرژی که در حالت مدیریت سمت تقاضا صرف می‌کنیم ۱۷۸۹۹۰ واحد کمتر از حالت مدیریت سمت تقاضا است. همچنین مقدار انرژی مورد انتظاری که در حالت دو ارائه نشده است تقریباً ۲۲ واحد کمتر از سناریوی اول است.

۳-۲- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج برای ریزشبکه در حالت متصل

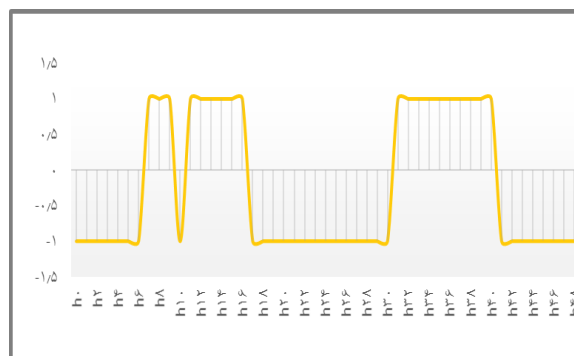
در این قسمت به منظور شبیه سازی مدیریت هماهنگ سمت تقاضا، یک شبکه شش باسه با سه ریزشبکه بر روی باس ۳، ۴ و ۵ در نظر گرفته شده است که نمودار این شبکه در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳- دیاگرام تک خطی شبکه شش باس

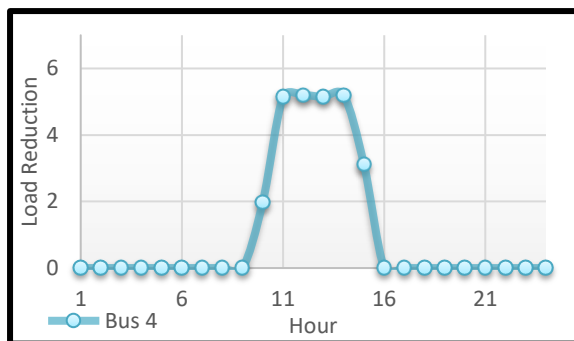
همانطور که در شکل (۱۳) نشان داده شده است، سه عدد باس مستعد در شبکه مورد نظر برای مشارکت در مدیریت سمت تقاضا وجود دارد. هر کدام از این Bas ها دارای یک شبکه میکرو هستند که جمع کننده آن از هر یک از بارها پیشنهادات متنوعی دریافت کرده و به اپراتور سیستم اعلام می‌کند. پس از دریافت بسته پیشنهادی از کلکسیونرهای ریزشبکه، اپراتور سیستم مشکل خود را که اساساً به حداقل رساندن هزینه‌های شبکه است بهینه می‌کند و نتیجه را به جمع کننده‌ها اعلام می‌نماید. پیشنهادات گردآورندگان شامل چهار مورد است: (۱) پیشنهاد قطع بار خودروهای برقی، (۲) پیشنهاد جابجایی بار خودروهای برقی، (۳) پیشنهاد شارژ و تخلیه سیستم ذخیره انرژی و (۴) تولید از ریزشبکه، هر یک از این خدمات اعلام شده توسط بار در قالب بسته‌های قیمتی نیز ارائه می‌شود. در این تحقیق، دو پیشنهاد برای قطع تقاضا و ایجاد یک شبکه خرد شبیه سازی شده است. همانطور که گفته شد خودروهای برقی شرکت کننده در مدیریت تقاضا پیشنهادات خود را به صورت کمیت و قیمت ارائه می‌کنند. در شبیه‌سازی‌ها فرض بر این است که هر بار برای هر یک از چهار پیشنهاد فوق، عرضه خود را در قالب پنج مرحله کمیت و قیمت عرضه می‌کند.

شکل (۱۲) زمان شارژ و دشارژ باتری را در حالت مدیریت سمت تقاضا نشان می‌دهد. باتری‌ها در بازه‌های زمانی با تعرفه بالا و در شب در حالت دشارژ کار می‌کنند تا انرژی ذخیره شده را به تجهیزات بازگردانند.

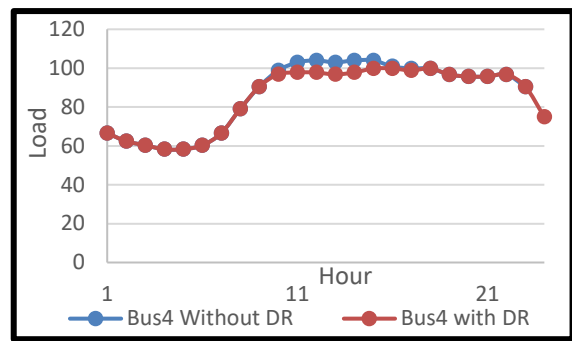


شکل ۱۲- زمان‌های شارژ و دشارژ شدن باتری‌ها در حالت مدیریت سمت تقاضا

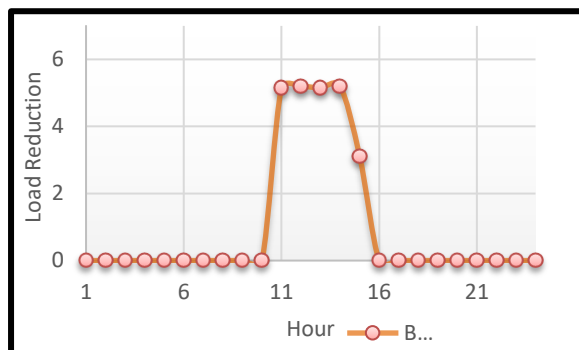
در این بخش کلیه بارها به دو دسته کلی با قابلیت وقفه و بدون وقفه یا شیف‌ت تقسیم شدند تا اهمیت روشن یا خاموش بودن دستگاه مشخص شود. سپس برای سیستم ساخته شده در سایت مورد نظر، شبیه سازی در دو مورد، حالت‌های بدون مدیریت سمت تقاضا و با مدیریت سمت تقاضا از نوع زمان مقایسه شد. این دو سناریو به تجهیزات اجازه نمی‌داد تا شدیدترین پیک را با ارزش ۳۵۰۰ وات تولید کند. در سناریوی اول (بدون مدیریت سمت تقاضا) خودروهای برقی ظرفیت انتقال به محدوده تولید روزانه را پیدا نکردند، اما در سناریوی دوم (با مدیریت سمت تقاضا) اوج بارها به ۱۰ ساعت اول و ۱۳ ساعت دوم (۳۷ ساعت) منتقل شد. همچنین در این مطالعه میزان انرژی ارائه نشده در سناریوی اول ۱۲۲/۰۵۵ وات ساعت بود. و تابع هدف ۸۶۸۳۴۰ واحد بوده و در سناریوی دوم میزان انرژی تامین نشده ۱۰۰/۸۰۴ وات ساعت و تابع هدف ۶۸۹۳۵۰ واحد بوده است. سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول کاهش ۱۷۸۹۹۰ واحد در هزینه‌های انرژی و میزان انرژی مورد انتظار تامین نشده تقریباً ۱۸ درصد را نشان می‌دهد. در مقایسه این دو سناریو به این نکته اشاره شد که در ساعات شب به دلیل ذخیره انرژی خوبی که در سناریوی دوم برای باتری‌ها رخ داده است، کفایت و امنیت سیستم بالا بوده و تجهیزات بیشتری می‌توانند از خدمات سیستم بهره‌مند گردند.



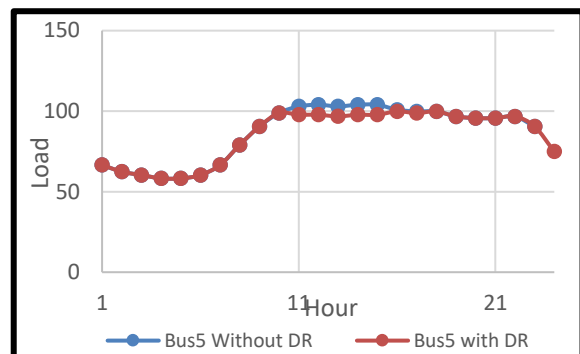
شکل ۲۱- میزان مشارکت ریزشکه در باس ۴



شکل ۱۸- تأثیر اجرای مدیریت سمت تقاضا بر بار خودروهای باس ۴

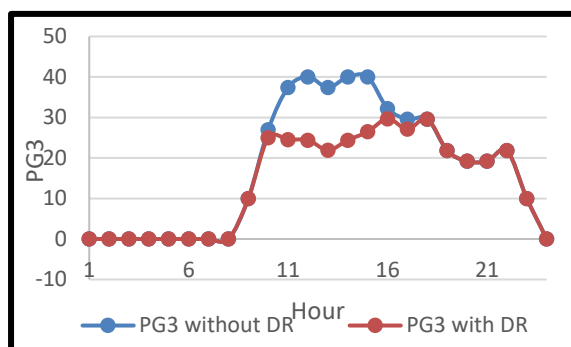


شکل ۲۲- میزان مشارکت ریزشکه در باس ۵



شکل ۱۹- تأثیر اجرای مدیریت سمت تقاضا بر بار خودروهای باس ۵

شکل (۲۳) نیز میزان تولید سومین واحد حرارتی را در دو حالت با اجرای مدیریت سمت تقاضا و بدون اجرای مدیریت سمت تقاضا نشان می دهد. مشاهده می شود که در حالت دوم میزان تولید واحد سوم کاهش می یابد.



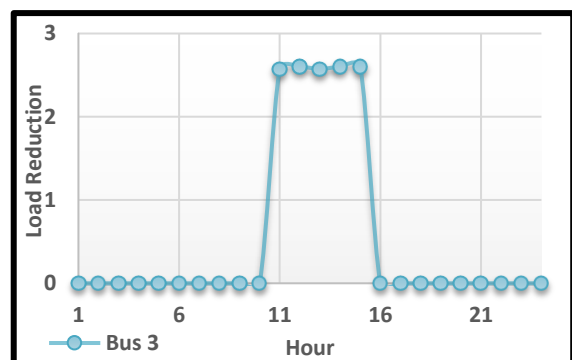
شکل ۲۳- میزان تولید واحد سوم در حالت های اول و دوم

۳-۳- مقایسه نتایج با مراجع مشابه

در این بخش به مقایسه نتایج تحقیق با مرجع [۱۵-۱۶] پرداخته شده است، شبیه سازی روش پیشنهادی برنامه ریزی مدیریت سمت تقاضا بر روی یک میکرو شبکه هیبریدی با کل مصرف روزانه معین انجام می گردد و برای مقایسه با

لازم به ذکر است پیشنهاد بار جهت مشارکت در مدیریت سمت تقاضا از ساعت ۱۰ تا ۱۶ در نظر گرفته شده است. هزینه عملیاتی در این حالت ۸۳۱۰۹ واحد است که نسبت به حالت قبلی که ۹۳۹۱۸ بود پیشرفت چشمگیری داشته است. میزان آلودگی نیز ۵۱۲۰۱ واحد بوده که نسبت به حالت قبل بهبود یافته است.

شکل های (۲۰) تا (۲۲)، میزان قطع بار پیشنهادی پذیرفته شده را در هر یک از باس های شبکه در ساعات مختلف نشان می دهند.



شکل ۲۰- میزان مشارکت ریزشکه در باس ۳

می دهد که تاثیر مدیریت سمت تقاضا بر کاهش هزینه در سناریوی ۲ بیشتر از سناریوی ۱ بوده است.

۴- نتیجه گیری

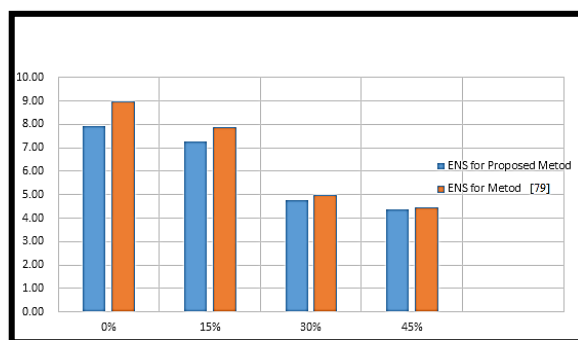
در این تحقیق، ابتدا به پیاده سازی مدل ارائه شده پرداخته شد و سپس موقعیت‌های مختلف مربوط به مشارکت یا عدم مشارکت خودروهای الکتریکی در برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشاهده شد که با مشارکت خودروها در مدیریت جانبی و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید ژنراتور در شبکه کاهش یافت و در نتیجه از آلودگی کل سیستم کاسته می‌شود. همچنین اگر به دفعات در برنامه های مدیریت سمت تقاضا شرکت کنند، هزینه راه اندازی سیستم کاهش می یابد.

از طرف دیگر، با بررسی مطالعات انجام شده، مزایا، معایب و چالش های اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا در حضور خودروهای برقی مبتنی بر تولید منابع انرژی تجدیدپذیر نشان داده شد. بنابراین به طور کلی برای انجام مدل سازی دقیق باید مواردی مانند کاهش آلودگی، شبیه سازی عدم قطعیت، مدل سازی بار کنترل شده خودرو، هزینه های راه اندازی و تولید منابع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته شود. لذا به منظور دستیابی به تمام اهداف فوق به طور همزمان، باید یک برنامه ریزی هماهنگ برای اجرای مدیریت سمت تقاضا صورت پذیرفت.

[۱۵-۱۶]، مدیریت سمت تقاضا در مقادیر ۰٪، ۱۵٪، ۳۰٪ و ۴۵٪ در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقایسه صورت گرفته، می توان نتیجه گرفت که استفاده از مدیریت سمت تقاضا باعث کاهش زیادی در عرضه انرژی و هزینه های خاموشی در ریزش شبکه نمی شود. این نیز به صورت نمودار در شکل (۲۴) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۲۴)، مشاهده می شود که عملکرد تابع هدف پیشنهادی بدون اعمال مدیریت سمت تقاضا تأثیر بسیار بیشتری بر کاهش مقدار ENS نسبت به مرجع داشته است [۱۵-۱۶]. با این حال، با افزایش DR، نتایج به یکدیگر نزدیک تر می شوند که نشان دهنده تأثیر مستقیم اجرای مدیریت سمت تقاضا بر فرضیه عدم قطعیت شبکه است.



شکل ۲۴- تأثیر مدیریت سمت تقاضا انرژی تأمین نشده برای روش پیشنهادی و روش مرجع [۱۵-۱۶]

مقادیر تابع هدف مسئله طراحی میکرو شبکه بهینه برای درصد های مختلف مدیریت سمت تقاضا ارائه و نتایج نشان

- [1] V. Z. Gjorgievski, N. Markovska, A., bazi, N. Duić, " The potential of power-to-heat demand response to improve the flexibility of the energy system: An empirical review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 138, 110489.
- [2] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, 2011, pp. 381-388.
- [3] S. Maharjan, Q. Zhu, Y. Zhang, S. Gjessing, T. Başar, "Demand Response Management in the Smart Grid in a Large Population Regime", in *IEEE Trans. on Smart Grid*, v. 7, 2015, pp. 189-199.
- [4] M., Noori, O., Tatari, "Development of an agent-based model for regional market penetration projections of electric vehicles in the United States", 2016, *Energy*, 96, pp. 215-230.
- [5] J., Wang, G.R., Bharati, S., Paudyal, O., Ceylan, B. P., Bhattarai, K. S., Myers, "Coordinated electric vehicle charging with reactive power support to distribution grids". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018, 15(1), pp. 54-63.
- [6] K., Szinai, Julia et al. "Reduced grid operating costs and renewable energy curtailment with electric vehicle charge management" *Energy Policy* 136 (2020): 111051.
- [7] M., Ghahramani, M., Nazari-Heris, K., Zare, B., Mohammadi-ivatloo, "Optimal Energy and Reserve Management of the Electric Vehicles Aggregator in Electrical Energy Networks Considering Distributed Energy Sources and Demand Side Management" *Electric Vehicles in Energy Systems*. Springer, Cham, 2020, pp. 211-231.
- [8] H., Ren, A., Zhang, F., Wang, X., Yan, Y., Li, N., Duić, J.P., Catalão, "Optimal scheduling of an EV aggregator for demand response considering triple level benefits of three-parties." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 125 (2021): 106447.
- [9] M.L., Tuballa, M.L., Abundo, "A review of the development of smart grid technologies". *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 59, pp., 710–725.
- [10] L., Michael, O., Aslam, B., Foster, D., Kathan, J., Kwok, L., Medearis, R., Palmer, P., Sporborg, M., Tita, "Assessment of demand response and advanced metering". *Fed. Energy Regul. Comm. Tech Rep* 2013.
- [11] US Department of Energy, "Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them", Report to the United States Congress, Feb. 2006.
- [12] P., Teimourzadeh Baboli, M. P., Moghaddam, "Allocation of network- driven load-management measures using multiattribute decision making", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, July 2010, pp. 1839-1845.
- [13] S., Korotunov, G., Tabunshchyk, V., Okhmak. "Genetic algorithms as an optimization approach for managing electric vehicles charging in the smart grid." *CMIS*. 2020, pp. 184-198.
- [14] Elia.be. 2021. *Elia: Belgian's Electricity System Operator*. [online] Available at: <<https://www.elia.be>.
- [15] P., Giorsetto, K. F., Utsurogi. "Development of a new procedure for reliability modeling of wind turbine generators." *IEEE transactions on power apparatus and systems*, (1), 1983, pp., 134-143.
- [16] T., Mazhar, R. N., Asif, M. A., Malik, M. A., Nadeem, I., Haq, M., Iqbal, S., Ashraf, "Electric vehicle charging system in the smart grid using different machine learning methods. *Sustainability*", 2023, 15(3), 2603.

[17] زارعی ابراهیم، محمدیان محسن، قره‌ویسی علی‌اکبر. "مشارکت پاسخ بار در برنامه‌ریزی تولید نیروگاه‌ها". مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران. دوره سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۷۳-۸۲.

[18] آذری نژادیان فاطمه، میرحسینی مقدم سید مازیار، مرزبند موسی، پرهیزی نرگس، "مدیریت بهینه انرژی با استفاده از روش کلونی زنبور مصنوعی چند زمانه برای یک میکروگرید متصل به شبکه با چندین واحد تولید توزیع‌شده"، هوش محاسباتی در مهندسی برق، سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۳.

Program of Smart network load response Based on the charging of electric vehicles Using game theory algorithm

Hasan Ostvar¹, Mozhde Heydarianasl^{2,*}

1. Department of Electrical Engineering, Dashtestan Branch, Islamic Azad University, Dashtestan, Iran

2. Department of Electrical Engineering, Dashtestan Branch, Islamic Azad University, Dashtestan, Iran

*Corresponding Author: Mozhde Heydarianasl

ABSTRACT

Since the charging of electric vehicles is one of the basic solutions for technical and economic management in the electricity distribution network, therefore, in the current research, a model for operating a smart microgrid including producers such as photovoltaic cells, wind turbine, energy storage system and Electric vehicle consumers are presented. The proposed micro-grid leads to reduction of losses, reduction of network peak load and also reduction of charging costs. This microgrid is designed in two modes, in the first stage it is completely isolated from the national network. In this modeling, for the uncertainties of wind production, solar production and the possibility of applying physical control of the equipment, the average radiation and wind data of the target area have been used. In the second stage, the demand response optimization program based on the game theory algorithm for the smart microgrid connected to the national network has been designed in the form of two proposals for load shedding and microgrid generation to reduce the load capacity in the problem. In order to validate the proposed method, two different modeling of smart microgrids have been done in MATLAB and GAMS software. According to the amount of energy cost obtained in the independent microgrid mode, the expected amount of unsupplied energy showed a decrease of 18%. In the case of a microgrid connected to the national grid, while improving the performance of the unsupplied energy of the grid, reducing the pollution of production units was achieved after optimization. In general, the results of both surveys indicate the superiority of the proposed methods over other conventional methods.

Keywords: Smart microgrid, solar cell, algorithmic game theory, microgrid production
