

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

رشته مهندسی برق-قدرت گرایش ماشینهای الکتریکی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدیریت انرژی در یک ساختمان هوشمند با حضور منبع تولید توان خورشیدی و

خودرو برقی متصل به شبکه

نگارنده : میثم کریمی

استاد راهنما:

دکتر امین حاجی زاده

استاد مشاور:

دکتر علی دستفان

تیر ۱۳۹۵

تعهد نامه

اینجانب میثم کریمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق- قدرت دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدیریت انرژی در یک ساختمان هوشمند با حضور منبع تولید توان خورشیدی و خودرو برقی متصل به شبکه تحت راهنمایی دکتر امین حاجی زاده متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University Of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

بر اساس افزایش بارهای DC و تولیدات پراکنده با توان خروجی DC نظیر سیستم‌های فتوولتائیک و پیل‌های سوختی، سیستم توزیع DC سیستم‌ها آینده را تشکیل می‌دهند. با توجه به مزایای زیاد سیستم‌های توزیع DC، از قبیل اتصال مناسب تولیدات پراکنده و خودروهای الکتریکی، کاهش تلفات تبدیل توان و نبود مسئله توان راکتیو، این سیستم‌ها برای ساختمان‌های صنعتی و تجاری مجهز به تولیدات پراکنده و خودرو الکتریکی بسیار مناسب‌تر می‌باشند. ایجاد یک سیستم مدیریت انرژی از نظر اقتصادی می‌تواند باعث کاهش هزینه انرژی ساختمان و تامین سود برای شرکت در مدیریت انرژی شود. در این کار، یک روش جدید مدیریت انرژی برای ساختمان‌هایی با سیستم توزیع dc ارائه شده است. روش ارائه شده بر اساس مشارکت خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی و استفاده از ذخیره‌ساز می‌باشد. برای اثبات کارایی الگوریتم ارائه شده، از شبیه‌سازی در نرم افزار MATLAB/Simulink استفاده شده است. تحلیل اقتصادی و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش ارائه شده برای مدیریت انرژی، هزینه انرژی را کاهش می‌دهد و باعث تشویق صاحبان خودروهای الکتریکی برای شرکت در مدیریت انرژی می‌شود و قابل استفاده برای ساختمان‌هایی با سیستم توزیع DC می‌باشد.

کلمات کلیدی: ساختمان هوشمند، فتوولتائیک، ریزشبکه DC، خودرو برقی

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه..... ۲

۲-۱- انگیزه تحقیق..... ۶

۳-۱- ساختار پایان نامه..... ۹

فصل دوم: شبکه هوشمند و ریز شبکه DC

۱-۲- مقدمه..... ۱۲

۲-۲- اهمیت و ضرورت پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند..... ۱۲

۳-۲- مقایسه شبکه سنتی و شبکه هوشمند انرژی..... ۱۶

۴-۲- معرفی اجزای شبکه هوشمند..... ۲۰

۲-۴-۱- تولیدات پراکنده..... ۲۰

۲-۴-۲- منابع ذخیره‌ساز انرژی..... ۲۱

۲-۴-۳- خودروهای الکتریکی..... ۲۳

۲-۴-۴- تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند..... ۲۵

۲۶	..... ۵-۲ پاسخگویی بار
۲۹	..... ۶-۲ ریزشبه‌های DC
۲۹	..... ۱-۶-۲ ساختار ریزشبه DC
۳۱	..... ۲-۶-۲ استراتژی‌های کنترل ریزشبه DC
۳۶	..... ۷-۲ سیستم مدیریت هوشمند ساختمان
۳۷	..... ۱-۷-۲ اجزای سیستم مدیریت هوشمند ساختمان
۳۸	..... ۲-۷-۲ مزایای کلی استفاده از BMS
۳۹	..... ۸-۲ پیشینه تحقیق

فصل سوم: مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند

۴۴	..... ۱-۳ مقدمه
۴۵	..... ۲-۳ یکپارچه‌سازی ساختمان‌ها با ریز شبکه‌ها
۴۸	..... ۳-۳ مدیریت انرژی ساختمان‌ها
۴۸	..... ۱-۳-۳ مدیریت انرژی مبتنی بر پیش‌بینی
۵۱	..... ۲-۳-۳ مدیریت انرژی مبتنی بر اطلاعات زمان حقیقی
۵۷	..... ۳-۳-۳ مقایسه الگوریتم‌های ارائه شده برای مدیریت انرژی
۵۹	..... ۴-۳ روش ارائه شده برای مدیریت انرژی ساختمان
۶۱	..... ۱-۴-۳ خودروهای الکتریکی

۳-۵- محاسبه هزینه انرژی..... ۶۸

فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- مقدمه..... ۷۲

۴-۲- سیستم مورد آزمایش..... ۷۳

۴-۳- نتایج شبیه‌سازی برای یک خودرو الکتریکی..... ۷۶

۴-۳-۱- سناریو اول..... ۷۸

۴-۳-۲- سناریو دوم..... ۸۳

۴-۳-۳- سناریو سوم..... ۸۴

۴-۳-۴- مقایسه سه سناریو..... ۸۶

۴-۴- نتایج شبیه‌سازی برای سه خودرو الکتریکی..... ۸۷

۴-۵- بررسی تاثیر عدم قطعیت بار و تصادفی بودن زمان حضور خودروها در پارکینگ..... ۹۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۲

۵-۲- پیشنهادات..... ۱۰۴

مراجع..... ۱۰۵

فهرست جداول

- جدول ۱-۲. مقایسه بین شبکه‌های برق موجود و شبکه هوشمند ۱۹
- جدول ۲-۲. مقایسه پاسخگویی بار در شبکه هوشمند و غیرهوشمند ۲۸
- جدول ۱-۳. الگوی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی ۶۳
- جدول ۱-۴. اطلاعات EV ۷۶
- جدول ۲-۴. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم برای یک EV ۸۷
- جدول ۳-۴. اطلاعات خودروهای الکتریکی ۸۸
- جدول ۴-۴. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم برای سه خودرو ۹۳
- جدول ۵-۴. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت ۹۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. ریزش شبکه DC با ساختار دو سیمه ۳۰
- شکل ۲-۲. ریزش شبکه DC با ساختار سه سیمه ۳۰
- شکل ۳-۲. ریزش شبکه DC با ساختار حلقوی ۳۱
- شکل ۴-۲. ساختار استراتژی کنترلی سلسله مراتبی سه سطحی [۲۲] ۳۳
- شکل ۱-۳. الگوریتم EMS ارائه شده در [۵۶] ۵۱
- شکل ۲-۳. کنترل کننده PV ۵۵
- شکل ۳-۳. الگوریتم مدیریت انرژی ارائه شده در [۵۸] ۵۶
- شکل ۴-۳. تبادل توان بین اجزای سیستم ۶۰
- شکل ۵-۳. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی برای ساعات کم‌باری ($T=0$) ۶۵
- شکل ۶-۳. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی در ساعات بار متوسط ($T=1$) ۶۶
- شکل ۷-۳. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی در ساعات پرباری ($T=2$) ۶۷
- شکل ۱-۴. سیستم مورد آزمایش ۷۳
- شکل ۲-۴. شدت تابش خورشید در هر ساعت (w/m^2) ۷۴
- شکل ۳-۴. دمای محیط اطراف PV در هر ساعت (w/m^2) ۷۴
- شکل ۴-۴. بار ساعتی ریزش شبکه ۷۵
- شکل ۵-۴. توان خروجی PV در هر ساعت ۷۷
- شکل ۶-۴. ولتاژ ریزش شبکه ۷۷

شکل ۴-۷. توان مبادله‌ای ریزشبکه و شبکه اصلی برای حالت ۱ ۷۸

شکل ۴-۸. SOC خودرو الکتریکی برای حالت ۱ (EV) از ساعت ۷ تا ۱۰ خارج از پاکینگ

۷۹ (است)

شکل ۴-۹. توان مبادله‌ای ریزشبکه و شبکه اصلی برای حالت ۲ ۸۰

شکل ۴-۱۰. SOC باتری EV برای حالت ۲ ۸۱

شکل ۴-۱۱. توان مبادله‌ای ریزشبکه و شبکه اصلی در حالت ۳ ۸۱

شکل ۴-۱۲. SOC خودرو الکتریکی و ذخیره ساز در حالت ۳ ۸۲

شکل ۴-۱۳. توان مبادله‌ای ریزشبکه و شبکه اصلی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ ۸۳

شکل ۴-۱۴. SOC خودرو الکتریکی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ و SOC ذخیره ساز برای حالت

۳ در سناریو دوم ۸۴

شکل ۴-۱۵. SOC خودرو الکتریکی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ و SOC ذخیره ساز برای حالت

۳ در سناریو سوم ۸۵

شکل ۴-۱۶. توان مبادله شده بین ریزشبکه و شبکه اصلی برای سه خودرو الکتریکی در

سناریو اول ۸۹

شکل ۴-۱۷. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۱ ۸۹

شکل ۴-۱۸. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۲ ۹۰

شکل ۴-۱۹. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۳ ۹۱

شکل ۴-۲۰. توان مبادله‌ای ریزشبکه و شبکه اصلی برای سناریو ۱، ۲ و ۳ ۹۲

شکل ۴-۲۱. بار ساعتی ریزشبکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت ۹۴

شکل ۴-۲۲. شکل ۴-۱۹. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۱..... ۹۶

شکل ۴-۲۳. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۲..... ۹۷

شکل ۴-۲۴. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۳..... ۹۸

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه روند رو به رشد تقاضای الکتریکی مصرف‌کنندگان، نیاز به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، گرمایش کره زمین، رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و صرفه‌جویی‌های اقتصادی و همچنین نیاز به افزایش قابلیت اطمینان و پایداری شبکه سبب ایجاد انگیزه برای استفاده از منابع تولید پراکنده به‌منظور ایجاد شبکه هوشمند و سازگار با محیط‌زیست شده است.

منابع تولید پراکنده به دو دسته کلی کنترل شونده و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند. ریزتوربین‌ها^۱، پیل‌های سوختی^۲ و دیزل ژنراتورها^۳ از جمله منابع تولید پراکنده قابل کنترل و سلول‌های

¹ Micro Turbine(MT)

² Fuel cell(FC)

³ Diesel Generator

خورشیدی^۱ و توربین‌های بادی^۲ از منابع تولید پراکنده غیرقابل کنترل هستند [۱]. استفاده از منابع انرژی پراکنده به دلیل مزایای فوق‌الذکر رو به افزایش است، اما استفاده از این منابع مشکلاتی نیز به همراه دارد. مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داده است که این منابع در مقایسه با نیروگاه‌های متمرکز ولتاژ بی‌ثباتی دارند. در نتیجه، اتصال این منابع به شبکه باعث ایجاد اغتشاش در ولتاژ و کاهش کیفیت توان می‌شود. همچنین در صورت وقوع خطاهای بزرگ در شبکه توزیع، این منابع باید از سیستم جدا شوند که این امر سبب محدودیت عملکرد این منابع می‌شود.

ادغام منابع انرژی پراکنده در شبکه‌های هوشمند آینده، کلید حل مسئله افزایش تقاضای برق می‌باشد. کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر در مقیاس مسکونی همراه با ذخیره‌ساز انرژی در شبکه‌های هوشمند آینده، عملی خواهد شد. این امر از طریق مشارکت یکپارچه‌سازهای^۳ محلی در شبکه‌های توزیع کوچک که زیر یکپارچه‌سازها^۴ نامیده می‌شوند، امکان‌پذیر خواهد بود [۲].

در سال‌های اخیر، خودروهای الکتریکی پلاگ‌این^۵ (PEV) که خودروهای الکتریکی هیبرید

¹ Solar cell

² Wind Turbine(WT)

³ Aggregator

⁴ Sub-aggregator

⁵ Plug in Electric vehicle

پلاگ این^۱ (PHEV) و خودروهای الکتریکی^۲ (EV) را شامل می‌شود، به دلیل مزایایی که نسبت به دیگر انواع تکنولوژی‌های حمل‌ونقل دارند، توجه زیادی به خود جلب کرده‌اند. این مزایا شامل سازگاری با محیط‌زیست، سروصدای کم، بازده انرژی بالا، کاهش هزینه‌های عملیاتی، پتانسیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت محلی و فراهم کردن خدمات جانبی از طریق تبادل انرژی خودرو با شبکه^۳ (V2G) می‌باشد [۳-۸].

توازن میان تولید و مصرف توان، معیاری برای عملکرد درست شبکه قدرت است. عدم تطابق میان این دو منجر به هزینه‌های عملیاتی بالا برای شرکت‌های برق‌رسانی یا حتی فلج شدن کل شبکه قدرت می‌شود. در تلاش برای رسیدن به پایداری و قابلیت اطمینان شبکه، بعضی از تغذیه‌کنندگان برق، باتری‌های ذخیره توان پشتیبان را نصب کرده‌اند. با این حال، معمولاً این روش به تنهایی کافی نیست. بنابراین برنامه‌های پاسخگویی بار به عنوان یک استراتژی برای صاف کردن منحنی تقاضا در نظر گرفته می‌شود.

استفاده از ریزشبکه DC در سال‌های اخیر بسیار گسترش یافته است زیرا می‌تواند قابلیت اطمینان و پایداری سیستم برق را بهبود بخشد. به طور کلی ریزشبکه دارای مزایای فراوانی از قبیل

¹ Plug in Hybrid Electric vehicle

² Electric Vehicle

⁴ Vehicle to Grid

افزایش بازدهی انرژی از طریق کاهش انتقال توان و هزینه‌های عملیاتی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی به دلیل استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان شبکه برای مصرف‌کنندگان با استفاده از تکنیک‌های کنترلی پیشرفته می‌باشد. ریزشبکه DC می‌تواند مزایای بیشتری از قبیل کاهش اتصال مبدل‌های منابع تولید پراکنده، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و همچنین جلوگیری از گسترش اختلالات سیستم برق را دارا باشد.

در این تحقیق، یک مجتمع بصورت یک ریزشبکه DC در نظر گرفته شده است که دارای زیرساخت‌های ارتباطی شبکه هوشمند می‌باشند. تقاضای مصرف‌کننده از طریق مدل‌سازی بار به دست آمده است. ریزشبکه دارای ذخیره‌ساز انرژی و منبع تولید پراکنده از نوع فتوولتائیک می‌باشد که برای تأمین بخشی از بار مصرف‌کنندگان و شارژ خودروها نصب شده است. مصرف‌کنندگان ریزشبکه دارای خودروهای الکتریکی می‌باشند که به عنوان ذخیره‌ساز با ریزشبکه مشارکت دارند. در شبکه‌های هوشمند آینده، خودروهای الکتریکی با دیگر قسمت‌های تولید یا مصرف نظیر منابع انرژی پراکنده، خانه‌های هوشمند و شبکه خارجی ادغام می‌شوند. بنابراین، باید یک چشم‌انداز جامع نسبت به برنامه‌ریزی همزمان حالت‌های تبادل انرژی ترکیبی ایجاد شود.

هدف این پژوهش مدیریت انرژی در یک مجتمع بصورت یک ریزشبکه DC می‌باشد. در سیستم مدیریت انرژی، خودروهای برقی و ذخیره‌ساز انرژی نیز در نظر گرفته شده است. برای خودروی برقی مدلی که در نظر گرفته شده است قابلیت شارژ و دشارژ از طریق شبکه را دارد. همچنین منبع تولید توان خورشیدی نیز به عنوان یک منبع تولید پراکنده در این مجتمع در نظر گرفته شده است. در پایان با در نظر گرفتن مدل تمامی عناصر ذکر شده سیستم مدیریت انرژی با هدف کاهش نوسانات توان سمت مصرف‌کننده و صرفه‌جویی در هزینه پرداختی بابت انرژی از طرف مصرف‌کننده، طراحی می‌گردد.

روش‌های زیادی برای کنترل ریزش‌بکه DC ارائه شده است که از آن جمله می‌توان کنترل سلسله مراتبی، کنترل توزیع شده و استراتژی‌های کنترلی هوشمند را نام برد. در این پژوهش از نرم‌افزار Matlab برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک مجتمع به صورت یک ریزش‌بکه DC استفاده شده است. با ارائه یک الگوریتم مدیریت انرژی، عملکرد پایدار و مطمئن برای ریزش‌بکه DC محقق می‌شود. با توجه به اینکه ریزش‌بکه دارای منبع فتوولتائیک می‌باشد لازم است تا از یک الگوریتم MPPT^۱ برای استفاده از حداکثر توان سیستم فتوولتائیک استفاده شود که برای این کار از الگوریتم P&O^۲ استفاده شده است. زیرا با وجود اینکه پیاده‌سازی الگوریتم P&O بسیار ساده می‌باشد عملکرد بسیار خوبی دارد [۹].

۱-۲- انگیزه تحقیق

ریزش‌بکه‌ها سیستم‌هایی هستند که حداقل دارای یک منبع تولید توان پراکنده می‌باشند [۱۰] و همین موضوع سبب می‌شود تا بتوانند بصورت جدا از شبکه اصلی بصورت یک سیستم جزیره‌ای مستقل کار کنند. مفهوم ریزش‌بکه با افزایش استفاده از منابع تولید توان پراکنده مانند فتوولتائیک، توربین بادی، سلول‌های سوختی و CHP، مهم‌تر و جدی‌تر شد [۱۱]. با طراحی مناسب، این منابع

^۱ Maximum Power Point Tracking

^۲ Perturb and Observe

می‌توانند بصورت مجزا از شبکه اصلی کار کنند و بارهای محلی را بصورت پیوسته یا در یک دوره مشخص تغذیه کنند. ریزشبه‌ها می‌توانند بصورت اختیاری از شبکه جدا شده و به حالت جزیره‌ای بروند بدون اینکه یکپارچگی سیستم اصلی تحت تاثیر قرار بگیرد. این کار می‌تواند برای افزایش قابلیت اطمینان ریزشبه‌ها در حالتی که اختلالی در شبکه اصلی رخ داده است انجام شود [۱۲].

با پیشرفت‌هایی که در قابلیت اطمینان و کنترل‌پذیری منابع تولید پراکنده بوجود آمده است نیاز به مدیریت و هماهنگی منابع پراکنده با انواع متنوع، منجر به پیدایش مفهوم ریزشبه‌گردید. ریزشبه‌ها مزایای فراوانی از قبیل؛ افزایش راندمان انرژی، کاهش آلودگی و بهبود قابلیت اطمینان دارد با این وجود چالش‌هایی از قبیل؛ کنترل تعداد زیادی از منابع تولید توان پراکنده، جزیره‌ای شدن، تبدیل انرژی، چگونگی مدیریت انرژی و هزینه‌های مدیریت انرژی، پیاده‌سازی ریزشبه‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است [۱۳].

در مقایسه با ریزشبه‌های AC، ریزشبه‌های DC می‌تواند مزایای بیشتری از قبیل؛ ساده‌تر کردن اتصال منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی، و ایزوله بودن ریزشبه‌ها از اختلالات شبکه اصلی را ارائه دهد که می‌تواند منجر به بهبود عملکرد سیستم شود [۱۴]. با این وجود، چالش‌هایی مانند سنکرون‌سازی با سیستم اصلی و حفاظت در برابر تشخیص خطا و جزیره‌ای شدن را نیز در پی دارد.

در ابتدا ریزشبه‌ها بصورت AC معرفی و پیاده‌سازی شدند که علت آن AC بودن شبکه اصلی برق بود. قسمت‌هایی از یک شبکه برق AC، مانند مجتمع‌های مسکونی، می‌توانند با نصب منابع تولید توان پراکنده کافی و یک کلید در نقطه اتصال به شبکه، به یک ریزشبه‌های AC تبدیل شوند. یک ریزشبه‌های DC، بیشتر برای نواحی تازه توسعه یافته در مناطق روستایی، امکانات اقتصادی یا

ساختمان‌های مسکونی مناسب‌تر است [۱۵]. با این وجود مفهوم ریزشبکه DC را می‌توان برای سیستم‌های AC سه فاز که حداقل سه سیم دارند اعمال کرد زیرا تعداد سیم‌های مورد نیاز برای برای یک سیستم DC سه عدد می‌باشد که به ترتیب دارای ولتاژ مثبت، منفی و صفر (زمین) می‌باشند [۱۴].

یکی از فاکتورهای اصلی در تصمیم‌گیری برای استفاده از ریزشبکه AC یا DC، تعداد مبدل‌های مورد نیاز برای سیستم می‌باشد که به نوع منابع پراکنده و بارها وابسته است. برای ریزشبکه‌هایی که مبتنی بر تولیدات فتوولتائیک یا باد می‌باشند تعداد مبدل‌ها برای ریزشبکه DC کمتر از تعداد مبدل‌های ریزشبکه AC خواهد بود. تغذیه موتورهای سرعت متغیر با درایو، لامپ‌های LED، بارهای DC و منابع تغذیه غیرقابل قطع در سیستم AC نیازمند چندین مبدل هستند که باعث افزایش هزینه و همچنین تلفات سیستم می‌شود [۱۶].

در مقایسه با یک سیستم AC که نیاز به کنترل فرکانس، فاز و توان راکتیو دارد سیستم DC تنها نیاز به متعادل نگاه داشتن توان اکتیو دارد که تنظیم مناسب ولتاژ را در پی خواهد داشت [۱۵]. با توجه به حضور مبدل AC/DC در نقطه اتصال ریزشبکه DC به شبکه اصلی، یک ریزشبکه DC جریان اتصال کوتاه نامی شبکه اصلی را افزایش نمی‌دهد. علاوه بر این می‌توان از مبدل نقطه اتصال برای حذف افزایش ولتاژ، هارمونیک‌ها و نوسان ولتاژ استفاده کرد. تمامی این ویژگی‌ها باعث افزایش کیفیت شبکه می‌شود [۱۴].

با توجه به مطالب گفته شده مشخص است که برای یک مجتمع مسکونی که از منابع پراکنده از نوع فتوولتائیک استفاده می‌کند ریزشبکه DC به مراتب بهتر از ریز شبکه AC می‌باشد. ولی

همان طور که در بالا اشاره شد پیاده‌سازی و استفاده از ریزشبکه DC نیز با چالش‌هایی روبه است. یکی از این چالش‌ها چگونگی مدیریت انرژی می‌باشد که در شبکه‌های DC اهمیت فراوانی دارد. با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش چگونگی مدیریت انرژی در یک ریزشبکه DC، که یک مجتمع مسکونی می‌باشد بررسی خواهد شد.

۱-۳- ساختار پایان نامه

همان طور که اشاره شد، هدف این پژوهش ارائه یک الگوریتم جدید برای مدیریت انرژی یک ساختمان می‌باشد که دارای تولید توان با استفاده از PV و همچنین پارکینگ شارژ خودرو الکتریکی می‌باشد. در راستای این کار، در فصل دوم این پژوهش، مفاهیم مهم ریزشبکه و ریزشبکه DC توضیح داده خواهد شد. سپس مقالات و کارهای انجام شده در زمینه مدیریت انرژی در ریزشبکه‌ها، بررسی و مرور می‌شود.

در فصل سوم، روش‌های مدیریت انرژی در ساختمان‌های دارای PV و EV توضیح داده خواهد شد و یک الگوریتم جدید برای مدیریت انرژی در زیرشبکه‌های DC ارائه می‌شود. چگونگی ارزیابی اقتصادی سیستم نیز توضیح داده خواهد شد.

در فصل چهارم، سیستم مورد مطالعه و اجزای آن توضیح داده می‌شود و نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن با در نظر گرفتن الگوریتم ارائه شده بررسی می‌شود. در نهایت فصل پنجم شامل، نتیجه‌گیری از نتایج شبیه‌سازی و ارائه پیشنهاد برای کارهای آینده خواهد بود.

فصل ۲

شبکه هوشمند و ریزشبکه

DC

۲-۱- مقدمه

با توجه به طرح کلی در نظر گرفته شده برای این تحقیق، لازمه اجرای این طرح وجود شبکه هوشمند است. لذا در این فصل در ابتدا به اهمیت و ضرورت پیاده‌سازی و معرفی شبکه هوشمند و اجزای آن پرداخته خواهد شد و در ادامه نیز توضیحاتی در خصوص ریزشبکه DC ارائه و راه‌های کنترل آن بیان می‌شود. در پایان این فصل، کارهای انجام شده در زمینه مدیریت انرژی ریزشبکه‌ها بررسی خواهد شد.

۲-۲- اهمیت و ضرورت پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند

استفاده از تولیدات پراکنده به‌عنوان راهکاری برای کاهش تلفات خط در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چنانچه، تکنولوژی مورد استفاده این تولیدات پراکنده از نوع انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی و... باشند، استفاده از تولیدات پراکنده تأثیر به‌سزایی در کاهش تولید گازهای آلاینده هوا نیز خواهد داشت.

به‌کارگیری گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید توان، نیازمند ایجاد تغییراتی در سیستم

قدرت می‌باشد؛ چرا که این منابع به دلیل طبیعت تصادفی دارای عدم قطعیت در تولید توان الکتریکی بوده و به‌کارگیری آن‌ها میزان عدم قطعیت زیادی را برای سیستم قدرت به‌همراه خواهد داشت. این در حالی است که هم‌اکنون عمده‌ی عدم قطعیت‌های سیستم قدرت ناشی از برون‌رفت^۱ ناگهانی واحدهای تولیدی و یا تغییر میزان مصرف انرژی از مقدار پیش‌بینی شده آن می‌باشد. بنابراین، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر چالش‌هایی را در بهره‌برداری امن از سیستم قدرت ایجاد خواهد کرد. برای غلبه بر این عدم قطعیت‌ها، شبکه قدرت نیازمند منابع انرژی جبران‌ساز قابل اطمینانی خواهد بود تا در صورت به هم خوردن تعادل تولید و مصرف در زمان بهره‌برداری به کمک بخش تولید آمده و کمبود توان را جبران نمایند. از جمله این منابع، ذخیره تأمین شده توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی (که هم‌اکنون نیز به‌عنوان تأمین‌کنندگان ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرند)، ذخیره‌سازهای انرژی و بارهای پاسخگو که قابلیت تنظیم توان مصرفی و کاهش آن را به‌صورت زمان واقعی دارا هستند، می‌باشند.

استفاده از ذخیره‌های تأمین شده توسط نیروگاه‌های فسیلی نیز به‌نوبه خود، به دلیل آماده نگه‌داشتن ژنراتورها برای تولید، سبب انتشار گازهای آلاینده هوا می‌شود. بنابراین، در صورت افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق، تأمین بخش مهمی از ذخیره توسط بارهای پاسخگو و منابع ذخیره‌کننده انرژی مانند باتری‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد.

از دیگر راهکارهای کاهش الودگی ناشی از تولید برق، برنامه‌های مدیریت مصرف می‌باشد که

^۱Outage

می‌توان آن را به دو دسته افزایش بهره‌وری و پاسخگویی بارها تقسیم نمود. پاسخگویی بار از جمله عواملی است که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همان‌طور که اشاره شد، از برنامه‌های پاسخگویی بار می‌توان به‌منظور برطرف کردن عدم تعادل ناشی از عدم قطعیت‌های منابع در سیستم قدرت کمک گرفت. از طرفی دیگر، در سیستم قدرت فعلی میزان تولید به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان در تمامی ساعات تأمین شود. این موضوع به این معنی است که بخشی از ظرفیت نصب شده نیروگاهی برای تأمین بار اوج سیستم که تنها در ۵٪ از یک سال رخ می‌دهد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. کمبود توان مورد نیاز در این ساعات ممکن است سبب قطع برق بخشی از مصرف‌کنندگان شود. این در حالی است که با ایجاد انگیزه لازم برای مصرف‌کنندگان برای مشارکت در ایجاد تعادل توان به‌ویژه در دوره اوج مصرف می‌توان مشکلات ذکر شده را تا حداقل ممکن کاهش داد. به‌عنوان مثالی از برنامه‌های پاسخگویی بار، چنانچه تعرفه‌ای که مصرف‌کنندگان برای مصرف برق پرداخت می‌کنند، متناسب با قیمت واقعی برق در آن زمان باشد (قیمت برق در زمان‌های اوج مصرف بالاتر و در زمان‌های غیر آن پایین باشد)، مصرف‌کنندگان با کاهش مصرف در ساعات پرباری و یا انتقال آن به ساعاتی که تعرفه برق پایین‌تر است، میزان انرژی مورد نیاز خود در این دوره‌ها را کاهش داده و در نتیجه به ایجاد تعادل توان در ساعات پرباری و همچنین به کاهش قیمت برق در بازار کمک کرده و صورت‌حساب برق خود را نیز کاهش می‌دهند.

ایده شبکه هوشمند با نصب تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته^۱ (AMI) به‌منظور بهبود مدیریت سمت تقاضا، افزایش بهره‌وری انرژی و ایجاد یک شبکه الکتریکی خودترمیم آغاز شد، تا قابلیت اطمینان منابع و پاسخگویی به حوادث طبیعی یا خراب‌کاری‌های عمده را بهبود بخشد.

ارتباط هوشمندانه بین تأمین‌کننده انرژی، مصرف‌کنندگان، ذخیره‌کننده‌های انرژی و سایر عناصر شبکه هوشمند سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش قیمت انرژی برای مشتریان و افزایش تمایل به استفاده از منابع تولید تجدیدپذیر و محلی خواهد شد. همچنین کاهش تولید نیروگاه‌های فسیلی به دلیل مشارکت واحدهای تجدیدپذیر تولید پراکنده و کاهش تلفات انتقال و توزیع، کاهش انتشار گازهای آلاینده هوا را به دنبال خواهد داشت.

در محیط بهره‌برداری سنتی، گردش توان از منابع تولید متمرکز (نیروگاه‌ها) به سمت تقاضا، تقریباً یک‌طرفه بوده و گردش اطلاعات از مراکز بهره‌برداری ولتاژ پایین‌تر به سمت مراکز با ولتاژ بالاتر می‌باشد. در مقابل، در شبکه هوشمند، گردش توان و اطلاعات هر دو به‌صورت دوطرفه می‌باشد. شبکه هوشمند با ایجاد ارتباطی دوطرفه بین شرکت برق و مصرف‌کنندگان، حق انتخاب بیشتری برای مشتریان ایجاد می‌کند، به‌گونه‌ای که مشتریان می‌توانند در مصرف انرژی موردنیاز خود به‌صورت کارتری عمل کنند [۱۷].

مفهوم شبکه هوشمند، با هدف رفع مشکلات شبکه‌های برق فعلی و مدیریت بهتر و کارآمدتر

^۱ Automated Metering Infrastructure

سیستم قدرت مطرح شده است. شبکه‌های هوشمند امکان پایش کامل و کنترل لحظه به لحظه تجهیزات را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند. انتظار می‌رود که ایجاد این شبکه‌ها کنترل و بهره‌برداری سیستم قدرت را بهبود بخشد و امکان استفاده گسترده از تولیدات پراکنده را فراهم کند. در شرایط بروز خطا در سطح سیستم قدرت، شبکه هوشمند باید قادر به ترمیم خود و بازگشت سریع به شرایط مطلوب باشد. همچنین شبکه هوشمند، گردانندگان خود را در جهت یافتن راه‌های جدید جهت انجام مبادلات اقتصادی انرژی در سیستم قدرت، یاری خواهد کرد.

۲-۳- مقایسه شبکه سنتی و شبکه هوشمند انرژی

شبکه‌های برق فعلی از جهات مختلف نیازمند بهبود می‌باشند. برخی از مشکلات این شبکه‌ها که با هوشمندسازی برطرف می‌شوند در زیر آورده شده است.

- یکی از مشکلات شبکه‌های برق فعلی، تعداد ساعات نسبتاً بالای قطعی برق در طول یک سال می‌باشد. هرچند قطع شدن برق برای مصرف‌کنندگان خانگی تنها به معنی خاموش شدن سیستم‌های روشنایی و از دست دادن بخشی از آسایش و رفاه می‌باشد، اما برخی مصرف‌کنندگان صنعتی مانند صنایع آلومینیوم‌سازی در اثر قطع شدن برق متحمل میلیاردها ریال ضرر می‌شوند. لذا باید شرایط مناسب برای استفاده گسترده‌تر از تولیدات پراکنده، منابع ذخیره‌کننده انرژی و گسترش ارتباطات در سیستم قدرت ایجاد شود تا میزان ساعات قطعی برق را به حداقل برساند. علاوه بر این، از گسترش قطعی‌ها در شبکه و وقوع خاموشی سراسری جلوگیری خواهد شد.

- سیستم‌های قدرت فعلی توانایی مدیریت اوج بار را ندارند. دوره اوج بار، دوره کوتاهی در طول یک روز، فصل و یا سال است که مصرف برق در آن نسبت به سایر زمان‌ها بیشترین مقدار می‌باشد. از آنجا که در سیستم‌های قدرت فعلی، شرکت‌های برق انتخاب‌های محدودی برای تأمین انرژی مورد نیاز مشتریان دارند، تنها راه ممکن در اختیار داشتن میزان کافی از ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های متمرکز می‌باشد. این موضوع به معنی احداث نیروگاه‌هایی است که ظرفیت تولیدی آن‌ها تنها در دوره کوتاهی از سال مورد استفاده قرار خواهد گرفت.
- در سیستم‌های برق فعلی امکان انتقال اطلاعات به صورت کارا وجود ندارد. به عنوان مثال در حال حاضر شرکت‌های برق تنها زمانی از قطع شدن برق مشتریان خود اطلاع پیدا می‌کنند که مشتریان برای اطلاع‌رسانی این موضوع با آن‌ها تماس بگیرند. از طرف دیگر، مصرف‌کنندگان اطلاعات کمی از قیمت برق مصرفی خود و میزان انرژی که در هر دوره زمانی مصرف می‌کنند، در اختیار دارند؛ که این موضوع محدودیتی برای افزایش کارایی سیستم، صرفه‌جویی و پاسخگویی بارها به حساب می‌آید.
- شبکه انتقال در حال حاضر قابلیت انتقال توان، تنها در یک جهت را دارا می‌باشد. بدین معنی که رله‌ها و سیستم‌های حفاظتی تنها امکان عبور توان از سمت تولیدکننده به مصرف‌کننده را فراهم می‌آورند. این مسئله یکی از موانع به‌کارگیری تولیدات پراکنده در سطح گسترده می‌باشد. در حال حاضر، واحدهای تولید پراکنده تنها امکان فروش برق تولیدی خود را به بارهای محلی دارند. این موضوع باعث عدم حمایت از سرمایه‌گذاران واحدهای تولیدی و بی‌تمایلی به سرمایه‌گذاری در تولیدات پراکنده می‌شود.
- در حال حاضر، استفاده از تولیدات پراکنده با فناوری تجدیدپذیر، همانند استفاده از این فناوری‌ها برای تولید توان در سطح نیروگاهی (سطح گسترده) چالش‌هایی برای سیستم قدرت به وجود می‌آورد. چراکه این انرژی‌ها به صورت طبیعی دارای عدم قطعیت می‌باشند

(تغییر مقدار وزش باد و یا تغییر شدت نور خورشید از مقدار پیش‌بینی شده برای آن‌ها) در سیستم قدرت فعلی، امکان پوشش مناسب این عدم قطعیت‌ها در سطح گسترده وجود ندارد.

- به‌کارگیری خودروهای الکتریکی ترکیبی قابل شارژ (PHEV) در سطح گسترده سبب کاهش انتشار آلاینده‌ها و تقویت سیستم قدرت خواهد شد، این گام مهم در چند دهه آینده برداشته خواهد شد، اما به دلیل ماهیت شارژی بودن این نوع خودروها، مدیریت این بارها در سیستم موجود گران و از لحاظ فنی سخت می‌باشد.

شبکه هوشمند قابلیت‌هایی را به شبکه موجود اضافه می‌کند که در اینجا به برخی از آن‌ها

اشاره می‌شود:

- شبکه هوشمند اطلاعات مفید و کارآمدی را از وضعیت شبکه و مصرف‌کنندگان برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند. به‌عنوان نمونه، در حال حاضر شرکت‌های برق به‌منظور بررسی وضعیت یک نقطه از شبکه و یا برای خواندن کنتور مصرف‌کنندگان افرادی را به محل موردنظر می‌فرستند؛ اما با هوشمندسازی سیستم قدرت، شرکت‌های برق می‌توانند به‌طور مستمر اطلاعات شبکه، مشتریان و موقعیت‌های بهره‌برداري ممکن را دریافت کنند.
- در شبکه‌های هوشمند به دلیل به‌هنگام بودن اطلاعات و در اختیار داشتن تجهیزات و نرم‌افزارهای لازم، تصمیمات در اکثر موارد به‌صورت خودکار گرفته می‌شود و نیاز کمتری به اخذ تصمیم در سطح بالاتر توسط بهره‌بردار و برنامه‌ریز سیستم قدرت وجود دارد. از طرف دیگر به دلیل ایجاد مسیرهای ارتباطی، مصرف‌کنندگان به‌راحتی از تصمیمات اخذ شده مطلع می‌شوند و می‌توانند اقدامات لازم را انجام دهند.

- شبکه هوشمند به گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شود که امکان به‌کارگیری تجهیزات جدید و کارا را فراهم می‌کند، از آن جمله می‌توان به، به‌کارگیری تولیدات پراکنده در سطح گسترده، PHEV و ایجاد سیستم‌های تصمیم‌گیری و عملکرد هوشمند اشاره کرد. به عبارت دیگر شبکه‌های هوشمند مشکلات و کمبودهای شبکه‌های موجود را با به‌کارگیری تجهیزات هوشمندتر و اجرای مدیریت بهتر و دقیق‌تر، برطرف می‌کنند. یک مقایسه کلی بین شبکه‌های برق موجود و شبکه هوشمند در جدول ۱-۲ ارائه شده است [۱۷]

جدول ۱-۲: مقایسه بین شبکه‌های برق موجود و شبکه هوشمند

ویژگی‌های شبکه هوشمند	ویژگی‌های شبکه برق فعلی
دیجیتال	الکترومکانیکی
ارتباط دوطرفه	ارتباط یک‌طرفه
تولید متمرکز و پراکنده	تولید متمرکز
شبکه‌ای	سلسله مراتبی
حسگرهای فراوان	حسگرهای اندک
پایش خودکار	پایش ناقص
خودترمیم	بازیابی دستی
قابل جزیره شدن	خطا و خاموشی گسترده
بررسی و آزمایش از راه دور	بررسی و آزمایش دستی
کنترل گسترده	کنترل محدود
ایجاد انتخاب‌های بیشتر برای مشتریان	ایجاد انتخاب‌های محدود برای مشتریان

۲-۴- معرفی اجزای شبکه هوشمند

شبکه هوشمند متشکل از عناصری است که این عناصر در کنار هم قابلیت‌های زیادی به سیستم قدرت فعلی اضافه می‌کنند. در ادامه اجزای مختلف شبکه هوشمند شرح داده شده است.

۲-۴-۱- تولیدات پراکنده

در سیستم‌های قدرت از ابتدا تاکنون، انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان در حجم‌های انبوه و در نیروگاه‌های متمرکز تولید شده و سپس از طریق خطوط انتقال و توزیع، انرژی به محل مصرف‌کننده منتقل می‌شود. این مجموعه‌های عظیم نیروگاهی به‌طور معمول نزدیک به محل انرژی اولیه (مانند زغال‌سنگ، آب و...) نصب می‌گردند. بنابراین، در این سیستم‌ها، انرژی الکتریکی برای انتقال از محل تولید به مصرف باید مسیری طولانی را طی کند که این خود سبب اتلاف بخشی از انرژی الکتریکی تولیدی در خطوط انتقال انرژی می‌شود. این اتلاف انرژی موجب هدر رفتن بخشی از انرژی‌های فسیلی تجدیدناپذیر و انتشار بیشتر گازهای آلاینده هوا (در اثر احتراق میزان بیشتری سوخت فسیلی) می‌شود. از طرف دیگر، با گذشت زمان و افزایش تقاضای انرژی الکتریکی، نیاز به نصب نیروگاه‌های عظیم و نصب خطوط انتقال انرژی افزایش می‌یابد که هر دو نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. مشکلاتی از این دست، دولت‌ها و محققین را به فکر پیدا کردن راه‌حلی برای این مشکلات انداخت. استفاده از منابع تولید پراکنده انرژی الکتریکی به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های ذکر شده

مطرح شد. تاکنون تعاریف مختلفی برای تولیدات پراکنده از لحاظ ظرفیت و سطح ولتاژ این منابع انرژی الکتریکی، ارائه شده است.

بنابر تعریف آژانس بین‌المللی انرژی^۱ (IEA)، تولیدات پراکنده به واحدهای تولیدی که انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان را در محل مصرف تأمین نموده و یا به‌عنوان پشتیبان به شبکه توزیع متصل می‌باشند، اطلاق می‌شود. به‌طور معمول ظرفیت این واحدهای تولیدی حداکثر برابر ۵۰ مگاوات در نظر گرفته می‌شود. یکی دیگر از مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده بالاتر رفتن قابلیت اطمینان انرژی الکتریکی و نیز امنیت سیستم قدرت می‌باشد.

۲-۴-۲- منابع ذخیره‌ساز انرژی

به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید انرژی الکتریکی، تغییرات ناگهانی بار و وقوع خطا در خطوط انتقال انرژی، سبب افت ولتاژ سیستم و ایجاد چالش در قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. یکی از راهکارها برای جبران طبیعت متغیر انرژی‌های تجدیدپذیر در مدت کوتاه نیاز به قطع بارها و یا روشن کردن واحد نیروگاهی دیگر، استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی می‌باشد. به‌طور کلی، ذخیره‌سازهای انرژی را می‌توان در سطوح ولتاژ مختلفی اعم از واحدهای نیروگاهی تا سطوح ولتاژ توزیع به‌کار گرفت. استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی سبب بهبود پایداری الکتریکی، کیفیت توان و بهبود تأمین توان بار اوج می‌شود. به‌طور کلی، استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی مزایای فنی و اقتصادی به همراه دارد.

^۱ International Energy Agency

در حال حاضر تکنولوژی که قادر به ذخیره انرژی الکتریکی AC باشد در دسترس نمی باشد. بنابراین به منظور ذخیره انرژی باید انرژی الکتریکی به صورت DC و یا از طریق تبدیل به انواع دیگر انرژی، آن را ذخیره نمود. ذخیره‌سازهای انرژی در واقع انرژی الکتریکی را به نوع دیگری از انرژی که قابل ذخیره‌سازی باشد تبدیل کرده و ذخیره می‌نمایند سپس در مواقع نیاز انرژی ذخیره شده را دوباره به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی از نظر تکنولوژی متفاوت می‌باشند. منابع ذخیره‌سازی که تاکنون ساخته شده‌اند و مورد استفاده قرار می‌گیرند، در مقیاس بزرگ نیروگاه‌های تلمبه‌ای ذخیره‌ای و در مقیاس کوچک باتری‌ها می‌باشند اگر چه تکنولوژی‌های دیگر این ذخیره‌سازها در حال ساخت و پیشرفت می‌باشند. ذخیره‌سازهای انرژی در مقیاس کوچک در شبکه هوشمند انرژی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در ادامه برخی از تکنولوژی ذخیره‌سازها بیان شده است.

۱. ذخیره‌ساز تلمبه‌ای – ذخیره‌ای

۲. ذخیره‌ساز انرژی هوای فشرده^۱

۳. پیل‌های سوختی احیا شونده

۴. باتری‌ها

۵. ذخیره‌سازهای انرژی مغناطیسی ابر رسانا^۱

^۱ Compressed Air Energy Storage (CAES)

۶. چرخ طیار

۷. خازن‌های بزرگ

۸. ذخیره‌سازهای حرارتی

۲-۴-۳- خودروهای الکتریکی

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و به‌کارگیری خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه (به‌منظور شارژ باتری این خودروها و یا تزریق انرژی اضافه ذخیره شده در باتری این خودروها به شبکه) به‌عنوان راهکاری برای کاهش انتشار آلاینده‌ها مطرح شده است. این خودروها شامل PHEV و EV می‌باشند که دارای قابلیت اتصال به شبکه هستند. تکنولوژی خودرو به شبکه (V2G) امکان عبور توان به‌صورت دوجته بین باتری این خودروها و شبکه برق فراهم می‌نماید. استفاده از این خودروها به دلیل قابلیت ذخیره‌سازی انرژی، شرایط استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم قدرت را مساعدتر می‌نماید. از طرف دیگر، چنانچه انرژی الکتریکی مورد نیاز این خودروها در ساعات غیر اوج توسط انرژی تولید شده توسط منابع تجدیدپذیر و یا واحدهای فسیلی با میزان انتشار آلاینده‌های کم تأمین شود، استفاده از این خودروها سبب کاهش انتشار گازهای آلاینده هوا خواهد شد (به دلیل جایگزینی خودروهای با سوخت فسیلی با خودروهای الکتریکی و تأمین انرژی مورد نیاز این خودروها با کمترین میزان آلاینده ممکن). مسائل محیط زیستی و پیشرفت‌های صورت گرفته در تکنولوژی باتری‌ها تمایل به استفاده از خودروهای الکتریکی را افزایش داده است.

¹ Superconducting Magnetic Energy storage (SMES)

خودروهای الکتریکی ترکیبی، شروع خوبی برای تغییر سوخت وسایل نقلیه الکتریکی محسوب می‌شوند اما مسافتی که این خودروها با یک دوره شارژ می‌توانند بپیمایند، محدود می‌باشد. به دلیلی مشکل ذکر شده PHEV که قابلیت اتصال به شبکه در هر نقطه‌ای که خروجی انرژی الکتریکی تعبیه شده را دارا می‌باشند، مطرح شدند. PHEV دارای باتری و موتور احتراق داخلی می‌باشد. در حالت عادی بیشتر انرژی مورد نیاز PHEV از طریق انرژی الکتریکی تأمین می‌شود و در صورتی که شارژ باتری آن‌ها کافی نباشد، از موتور احتراق داخلی به منظور تأمین انرژی مورد نیاز استفاده می‌شود. PHEV در زمانی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، از شبکه برق به منظور شارژ مجدد، انرژی دریافت می‌کند. این وسایل نقلیه میزان مصرف انرژی الکتریکی بالایی دارند و از آنجا که در هر زمان که بخواهند می‌توانند به منظور شارژ به شبکه توزیع متصل شوند، استفاده گسترده از آن‌ها چالش‌هایی را برای شبکه برق به همراه خواهد داشت. چرا که شبکه‌های توزیع به طور معمول در بیشینه ظرفیت خود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در نتیجه با اضافه شدن بار در اثر به کارگیری غیرحساب شده خودروهای الکتریکی، پایداری سیستم به مخاطره خواهد افتاد. به عبارت دیگر این وسیله‌های نقلیه الکتریکی نیز مانند ذخیره‌سازها باید در زمان غیر اوج شارژ شوند و در دیگر زمان‌ها مورد استفاده قرار گیرند. این وسایل نقلیه می‌توانند در زمان‌هایی که انرژی الکتریکی ذخیره شده باتری بیشتر از مقدار مورد نیاز است، این مقدار انرژی اضافه را به شبکه تزریق و بفروشند. به عبارت دیگر با استفاده از تکنولوژی خودرو به شبکه (V2G) خودروها در زمان‌هایی که در جایی پارک شده و مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، می‌توانند به شبکه متصل شده و از آن انرژی الکتریکی دریافت و یا به آن تزریق نمایند. علاوه بر این، این وسایل نقلیه الکتریکی نیز مانند ذخیره‌سازهای انرژی، پشتیبانی برای استفاده گسترده‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شوند. بنابر آنچه گفته شد، به منظور استفاده بهینه از این خودروها و کنترل مناسب سیستم قدرت با اتصال این وسایل نقلیه به شبکه، به کارگیری یک

سیستم اندازه‌گیری هوشمند و پیشرفته ضروری به‌نظر می‌رسد. چرا که می‌بایست میزان انرژی الکتریکی که این وسایل نقلیه به شبکه تزریق و یا از آن دریافت می‌کنند، به‌طور دقیق مشخص شود. با ایجاد شبکه‌های هوشمند انرژی، به دلیل ویژگی‌های این شبکه‌ها شرایط استفاده از این وسایل نقلیه الکتریکی نیز بیشتر فراهم خواهد شد [۱۸].

۲-۴-۴- تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند

تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند یکی از مهم‌ترین ارکان شبکه‌های هوشمند است. شرکت‌ها و دولت‌ها در سراسر جهان میلیاردها دلار جهت نصب سیستم‌های اندازه‌گیری که توانایی تعیین میزان مصرف انرژی در هر گره سیستم و اطلاع آن به‌صورت به‌هنگام به شرکت‌های برق را دارا باشد، سرمایه‌گذاری می‌کنند. دلایل گوناگونی برای نیازمندی به دقت و همزمانی ارسال اطلاعات در دستگاه‌های اندازه‌گیری وجود دارد که برخی از این دلایل در ادامه توضیح داده شده‌اند.

با رشد تولید پراکنده، شرکت‌های برق می‌توانند برق را از مشترکینی که دارای مولدهای تولید پراکنده می‌باشند بخرند و یا به آن‌ها بفروشند، بنابراین، شرکت‌های برق نیازمند مطلع شدن از میزان انرژی که هر مصرف‌کننده از شبکه دریافت و یا به آن تزریق می‌کند، هستند. علاوه بر این، به‌منظور اجرای مناسب برنامه‌های پاسخگویی بار، مصرف‌کنندگان باید بتوانند از قیمت‌های واقعی برق در هر ساعت اطلاع پیدا کرده و با شرکت‌های برق در ارتباط باشند. شرکت‌های برق نیز باید بتوانند از مصرف انرژی مشتریان در ساعات مختلف روز اطلاع حاصل نمایند.

بنابر آنچه گفته شد، پیاده‌سازی و اجرای اهداف شبکه هوشمند، تنها با استفاده از سیستم اندازه‌گیری هوشمند امکان‌پذیر خواهد بود. درواقع شبکه‌های هوشمند را می‌توان ایده تکامل یافته سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند دانست.

۲-۵- پاسخگویی بار

به‌طور کلی، پاسخگویی بار به کاهش مصرف برق توسط مصرف‌کنندگان در پاسخ به تغییر قیمت برق و یا عوامل تشویقی ارائه شده از سوی شرکت برق اطلاق می‌شود که یکی از ویژگی‌های مهم و سودمند شبکه هوشمند می‌باشد. در سیستم‌های سنتی تعداد کمی از مصرف‌کنندگان از قیمت واقعی برق مطلع می‌باشند، بدین معنی که اکثر مصرف‌کنندگان در ازای مصرف هر کیلووات ساعت در هر ساعتی از شبانه روز به میزان ثابتی پول می‌پردازند. این مقدار ثابت به‌صورت مقدار متوسط قیمت برق می‌باشد. پر واضح است که در این سیستم‌ها، هیچ‌گونه عامل تشویقی برای مصرف‌کنندگان برای کاهش مصرف در ساعات پرباری و تطبیق مصرف خود با سمت تولید، شرایط شبکه و همچنین قیمت برق در بازار وجود نخواهد داشت.

به‌طور کلی هدف از پاسخگویی بار، کاهش مصرف برق در ساعات بحرانی است. ساعات بحرانی ساعاتی هستند که قیمت بازار عمده‌فروشی بسیار بالا و یا سطح ذخیره سیستم (به دلیل وقوع پیشامدهای اتفاقی مانند برون‌رفت خطوط انتقال و ژنراتور و یا شرایط آب و هوایی بد) پایین می‌باشد. دو عاملی که می‌توانند سبب پذیرش پاسخگویی از سمت مصرف‌کنندگان شود، تغییر در قیمت برق ارائه‌شده به مصرف‌کنندگان در هر ساعت متناسب با تغییر قیمت برق در بازار عمده‌فروشی و یا اجرای برنامه‌ای تشویقی به‌منظور راضی کردن مشتریان برای کاهش مصرف در ساعات بحرانی می‌باشد. تشویق می‌تواند پرداخت مبلغی به مصرف‌کننده برای کاهش بار، تعیین جریمه برای عدم کاهش بار و یا هر دو باشد. بنابراین، پاسخگویی بار در واقع تغییر در رفتار مصرفی بارها در پاسخ به یک محرک می‌باشد.

در شبکه‌های هوشمند انرژی، پاسخگویی بار می‌تواند به‌عنوان ذخیره‌ای به‌منظور پوشش عدم قطعیت‌های منابع انرژی تجدیدپذیر نیز به‌کار گرفته شود. بدین معنی که با تغییر غیرمنتظره انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده از مقدار پیش‌بینی شده آن، بهره‌بردار شبکه هوشمند می‌تواند به‌جای کمک گرفتن از شبکه برق برای تأمین انرژی، مصرف انرژی را کاهش دهد. بنابراین، استفاده از منابع پاسخگویی بار، گزینه‌های بیشتری را برای برطرف کردن نامتعادلی توان فراهم می‌کند.

وجود شبکه هوشمند پاسخگویی بار را تسهیل کرده و انگیزه لازم را در تمام مصرف‌کنندگان به وجود می‌آورد. در شبکه‌های غیرهوشمند معمولاً شرکت‌های برق کنترل مصرف مشترکان را بر عهده دارند و تنها مصرف‌کنندگان بزرگ قادر به شرکت در برنامه‌های پاسخگویی بار می‌باشند. درحالی‌که، در شبکه‌های هوشمند نه تنها مصرف‌کنندگان بزرگ می‌توانند در پاسخگویی شرکت کنند، بلکه این امکان برای مصرف‌کنندگان کوچک نیز فراهم است تا بتوانند کنترل مصرف خود را در دست گیرند. به‌عبارت دیگر، برخلاف شبکه‌های امروزی که معمولاً شرکت‌ها مصرف برق مشترکان را کنترل می‌کنند، در شبکه‌های هوشمند امکان کنترل مصرف برق توسط تمام مصرف‌کنندگان فراهم است. علاوه بر این، در شبکه‌های هوشمند امکان اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای قیمت وجود داشته و مصرف‌کنندگان می‌توانند با آگاهی از سیگنال‌های قیمت، مصرف برق خود را به‌گونه‌ای تنظیم کنند که هزینه‌های برق مصرفی خود را کاهش دهند. در جدول ۲-۲ پاسخگویی بار در شبکه هوشمند و غیرهوشمند مقایسه شده است [۱۹].

جدول ۲-۲: مقایسه پاسخگویی بار در شبکه هوشمند و غیرهوشمند

عنوان	پاسخگویی بار در شبکه هوشمند	پاسخگویی بار در شبکه قدرت فعلی
مشارکت کنندگان	تمام مصرف کنندگان	محدود به قطع یا کاهش بار مصرف- کنندگان بزرگ (تعداد محدودی از مصرف کنندگان نهایی)
نحوه کنترل	توسط مصرف کنندگان	توسط شرکتها
بارهای قابل قطع	تمام بارهای قابل دسترس	آبگرمکن، سیستم‌های تهویه و گرمایش
خدمات پاسخگویی بار	ظرفیت، انرژی، بازارهای خدمات جانبی، مدیریت تراکم	محدود به قابلیت اطمینان
گزینه‌های انتخابی مصرف کنندگان	نامحدود	محدود
برنامه‌های قابل اجرا	علاوه بر اجرای برنامه‌های پاسخگویی بر مبنای پرداخت‌های تشویقی، AMI امکان اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای قیمت را نیز برای تمام مصرف کنندگان فراهم می- کند.	پاسخگویی بار بر مبنای پرداخت‌های تشویقی
یکپارچگی پاسخگویی بار، بهره‌وری انرژی، منابع تجدیدپذیر	بله	خیر

۲-۶- ریزشبکه‌های DC

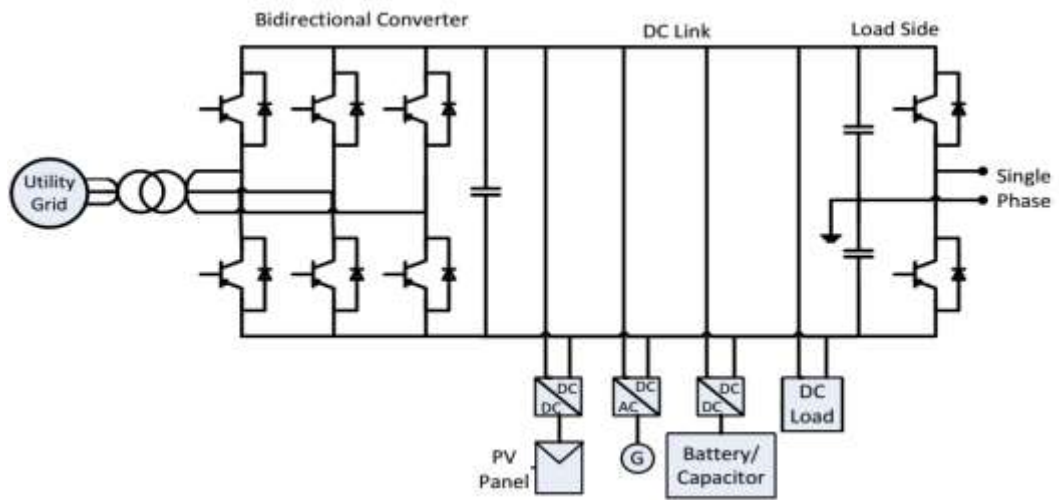
سیستم مورد مطالعه در این پژوهش یک ساختمان هوشمند است که سیستم توزیع آن DC می‌باشد. با توجه به مزایایی که در قسمت‌های قبل برای ریزشبکه‌های DC بیان شد، این ساختار برای ساختمان‌ها، که بیش‌تر بارهای آن‌ها را بارهای DC تشکیل می‌دهد مناسب‌تر می‌باشند. در ادامه، ساختار ریزشبکه‌های DC توضیح داده شده است.

۲-۶-۱- ساختار ریزشبکه DC

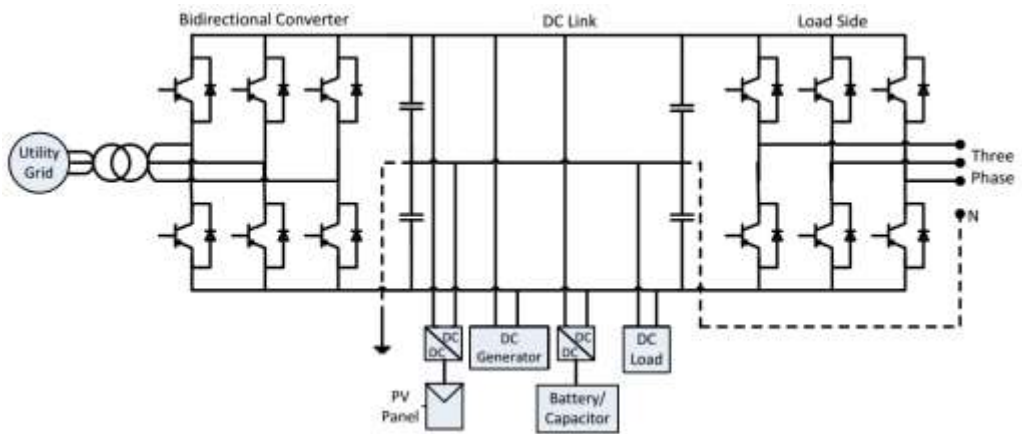
در مقالات متفاوت سه ساختار زیر برای ریزشبکه DC ارائه شده است.

- ساختار دو سیمه
- ساختار سه سیمه
- ساختار حلقوی

ساختار دو سیمه رایج‌ترین ساختار برای ریزشبکه DC می‌باشد. در این پیکربندی کابل‌های DC باید به نحوی طراحی شوند که بتوانند جریان‌های DC بزرگ را تحمل کنند. این ساختار دارای مزایایی از قبیل تلفات کم برای خطوط و صرفه‌جویی در مصرف سیم و کابل می‌باشد [۲۰]. ساختار ریزشبکه دو سیمه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. ساختار دیگری که برای ریزشبکه DC ارائه شده است ساختار سه سیمه است. این ساختار سیستم دو قطبی نیز نامیده می‌شود. در این ساختار ولتاژ سیم‌ها V_{dc} ، 0 و $-V_{dc}$ می‌باشد. در این ساختار به یک متعادل کننده ولتاژ لازم است تا ولتاژ مثبت و منفی DC را در سمت DC مبدل دوطرفه AC/DC متعادل نگه دارد. در شکل ۲-۲ ساختار ریزشبکه DC سه سیمه نشان داده شده است [۲۰].



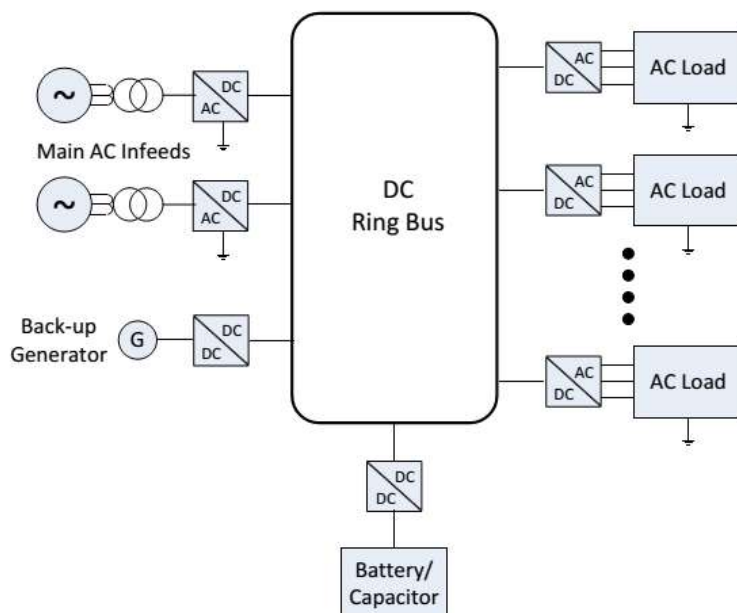
شکل ۲-۱. ریز شبکه DC با ساختار دو سیمه



شکل ۲-۲. ریز شبکه DC با ساختار سه سیمه

ساختار حلقوی نیز در برخی ریزشبکه‌های DC بکار می‌رود که پیکربندی آن در شکل ۲-۳

نشان داده شده است [۲۱].



شکل ۲-۳. ریزشبکه DC با ساختار حلقوی

۲-۶-۲- استراتژی‌های کنترل ریزشبکه DC

یک ریزشبکه DC شامل منابع تولید توان، بارها و مبدل اتصال به شبکه اصلی می‌باشد. با توجه به وجود مقاومت سیم‌های خطوط که عنصر سیستم را به هم متصل می‌کنند در ترمینال‌های مختلف بارها و مبدل‌ها، سطوح مختلفی از ولتاژ ظاهر می‌شود. برای اینکه ولتاژ در تمام ترمینال‌ها در رنج قابل قبول در محدوده ولتاژ نامی باقی بماند باید بین توان تولیدی و مصرفی تعادل ایجاد شود [۲۲]. بنابراین به یک استراتژی مدیریت انرژی نیاز است تا تنظیم ولتاژ و عملکرد پایدار ریزشبکه را تضمین کند.

روش رایج برای کنترل تقسیم توان بین مبدل‌های موازی، استفاده از یک کنترل کننده

مرکزی می‌باشد. اما این روش نیازمند برقراری ارتباطات بین تمامی عناصر سیستم و کنترل‌کننده مرکزی می‌باشد که باعث افزایش هزینه می‌شود و علاوه بر آن اگر سیستم ارتباطات دچار خطا یا تاخیر شود عملکرد کل سیستم تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

روش‌هایی که مقالات برای کنترل ریزشبکه‌های DC ارائه کرده‌اند را می‌توان در سه دسته زیر طبقه بندی کرد:

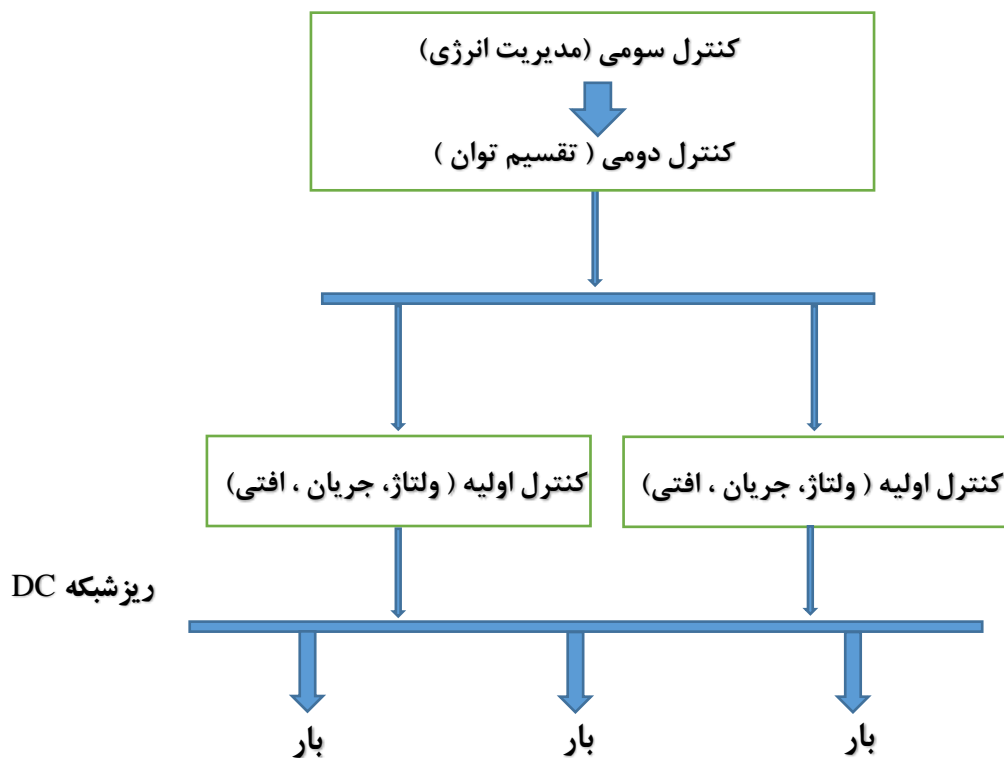
- کنترل سلسله مراتبی
- کنترل توزیع شده
- کنترل هوشمند

۲-۶-۲-۱- کنترل سلسله مراتبی

کنترل سلسله مراتبی، اهداف کنترل سیستم را به چند سطح تقسیم می‌کند. این برنامه کنترلی با وجود اینکه به ارتباطات بین سطوح مختلف کنترلی نیاز دارد ولی قابلیت انعطاف‌پذیری و توسعه‌پذیری سیستم را کاهش نمی‌دهد. این برنامه همچنین برای انواع مدهای کاری سیستم از قبیل؛ اتصال به شبکه، جزیره‌ای، حالت حذف بار و حالت قطع تولید، موثر و کارا می‌باشد [۲۲].

در استراتژی کنترل سلسله مراتبی سه سطحی، سطح کنترل اولیه بوسیله منبع توان و

مبدل‌ها انجام می‌شود که ولتاژ DC سیستم را بر اساس روش کنترل افتی^۱ کنترل می‌کند. سطح کنترل ثانویه بوسیله یک کنترل‌کننده مرکزی انجام می‌شود که محدودیت‌های الکتریکی سیستم را کنترل و پایش می‌کند. سطح کنترل ثالثیه نیز بوسیله سیستم مدیریت انرژی انجام می‌شود که شار توان در ریزشبکه و تبادل توان با شبکه اصلی را کنترل می‌کند. فلوچارت ساختار کنترل سلسله مراتبی ریزشبکه DC در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲. ساختار استراتژی کنترلی سلسله مراتبی سه سطحی [۲۲]

¹ Droop control method

در استراتژی کنترل سلسله مراتبی که در [۲۳] برای یک ریز شبکه DC ارائه شده است کنترل سطح اول، امپدانس خروجی مجازی مبدل‌ها را کنترل می‌کند کنترل سطح دوم، تنظیم ولتاژ ریزشبکه را کنترل می‌کند و کنترل سطح سوم، شار جریان بین ریزشبکه و شبکه اصلی را کنترل می‌کند. در کنترل سلسله مراتبی، بر اساس مقادیری که بوسیله کنترل سطح سوم تعیین می‌شود کنترل سطح دوم با مشخص کردن پارامترهای کنترل افقی، توان خروجی منابع تولید توان و سیستم‌های ذخیره‌ساز را کنترل می‌کند سپس کنترل سطح اول برنامه کنترل افقی بر اساس پارامترهای تعیین شده توسط کنترل سطح دوم را دنبال می‌کند.

۲-۲-۶-۲- کنترل توزیع شده

در این روش کنترلی، عملکرد هر قسمت از سیستم بوسیله مبدل آن و بر اساس سیگنال‌های محلی کنترل می‌شود. بنابراین در این استراتژی کنترلی، نیازی به سیستم ارتباطات نیست و به همین دلیل این روش، کنترل توزیع شده مستقل^۱ نامیده می‌شود. با این وجود، در برخی استراتژی‌های کنترلی توزیع شده هوشمند مانند سیستم‌های چند عاملی، برای کاهش پیچیدگی کنترل کننده از ارتباطات بین کنترل کننده‌های توزیع شده استفاده می‌شود.

¹ Autonomous distributed control

این روش کنترلی معمولاً به دو صورت کنترل توزیع شده مستقل و کنترل چند عاملی انجام می‌شود. در روش کنترل توزیع شده مستقل، استراتژی کنترلی باید بتواند عملکرد مطلوب سیستم در تمامی حالت‌های ممکن را بدون برقراری ارتباط بین کنترل کننده‌های توزیع شده محقق کند. این ویژگی، سطح پیچیدگی سیستم را کاهش و قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌بخشد. همچنین قابلیت توسعه‌پذیری سیستم را نیز افزایش می‌دهد زیرا در این روش کنترلی، برای اضافه شدن یک جزء جدید به سیستم، نیازی به تغییر پارامترهای کنترل کننده‌های موجود نیست.

در استراتژی کنترل توزیع شده برای کنترل عملکرد مبدل‌های موازی، معمولاً از روش کنترل افتی استفاده می‌شود. در ریزشبکه DC برای کنترل تقسیم توان می‌توان از مشخصات افتی مبدل‌ها استفاده کرد. مقاومت خروجی مبدل‌ها را می‌توان با استفاده از ثابت‌های افتی مبدل‌ها تغییر داد که به‌عنوان مقاومت خروجی مجازی عمل می‌کند.

روش کنترل چند عامل، یک استراتژی کنترل توزیع شده است که نیازمند ارتباطات می‌باشد. در این روش، سیستم کنترلی شامل چندین عامل می‌باشد که هر یک از عامل‌ها قابلیت محدودی دارد ولی می‌تواند برای اعمال استراتژی کلی سیستم، با سایر عامل‌ها ارتباط برقرار کند. استفاده از این روش با استفاده از وسایل ارتباطی سریع که به تازگی عرضه شده است آسان‌تر می‌شود [۲۲]. در [۲۴] یک سیستم چند عاملی برای برنامه‌ریزی تولید و مدیریت سمت تقاضای یک ریزشبکه ترکیبی ارائه شده است.

۲-۶-۳- کنترل هوشمند

روش‌های کنترل سنتی و رایج برای سیستم‌هایی که دارای قطعیت کامل هستند مناسب می‌باشد. ولی تکنیک‌های کنترل هوشمند از قبیل منطق فازی، برای سیستم‌های پیچیده و بدون

قطعیت کارایی بهتری دارند [۲۲]. مقالاتی که کنترل‌کننده‌های مبتنی بر منطق فازی را برای ریزشبکه DC پیشنهاد کرده‌اند امکان شبیه‌سازی بهتر عملکردهای انسانی در طراحی کنترل‌کننده را به عنوان یکی از مزایای اصلی این روش کنترلی معرفی کرده‌اند.

در [۲۵]، محققین از روش ترکیبی فازی و تنظیم ضرایب برای کنترل سیستم ذخیره‌ساز انرژی خازنی دو لایه استفاده کرده‌اند در این روش، کنترل منطق فازی برای متعادل نگه داشتن انرژی ذخیره شده در سیستم ذخیره‌ساز استفاده شده است در حالی که کنترل ولتاژ DC، از طریق برنامه‌ریزی ضرایب کنترل‌کننده سیستم ذخیره‌ساز انجام شده است. در مطالعه دیگر، کنترل منطق فازی، برای کنترل ولتاژ DC یک نیروگاه ترکیبی جزیره‌ای استفاده شده است [۲۶]. روش کنترل منطق فازی که در این مقاله ارائه شده است نیازمند یک کنترل‌کننده مرکزی می‌باشد تا ولتاژ و جریان ورودی همه تولیدات پراکنده و سیستم ذخیره‌ساز را دریافت کند.

۲-۷- سیستم مدیریت هوشمند ساختمان

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان، به مجموعه سخت افزارها و نرم افزارهایی اطلاق می‌شود که به منظور مانیتورینگ و کنترل یکپارچه قسمت‌های مهم و حیاتی در ساختمان نصب می‌شوند.

وظیفه این مجموعه، پایش مداوم بخش‌های مختلف ساختمان و اعمال فرمان به آنها به نحوی است که عملکرد اجزای مختلف ساختمان متعادل با یکدیگر، در شرایط بهینه و با هدف کاهش مصارف ناخواسته و تخصیص منابع انرژی فقط به فضاهای در حین بهره‌برداری باشد. در این روش تابلوهای برق روشنایی عمومی، دیزل ژنراتور، سیستم اعلام و اطفای حریق، سیستم حفاظتی، آسانسورها، سیستم کنترل تردد و نیز اجزای موتورخانه مرکزی شامل چیلرها، بویلرها، پمپ‌های سیرکولاسیون، برج‌های خنک‌کن، هواسازها و آگزوزفن‌ها به نوعی به طور یکپارچه و به طور منسجم

توسط یک یا چند رایانه هماهنگ و کنترل می‌شوند.

۲-۷-۱- اجزای سیستم مدیریت هوشمند ساختمان

به طور کلی همانند دیگر سیستم های کنترلی، BMS نیز از سه بخش تشکیل می‌شود که در زیر توضیح داده شده است.

۱. حسگرها : حسگرها سنجش پارامترهای محیطی و ارسال این اطلاعات به سیستم را عهده‌دار هستند. این اطلاعات می‌تواند دمای محیط بیرون و درون، دمای سیال گرم کننده یا خنک کننده، میزان روشنایی محیط، میزان رطوبت، مقدار گازها در هوا، حضور یا عدم حضور افراد در محل و دیگر اطلاعاتی که برای راهبری بهینه سیستم حیاتی است، باشد.

۲. کنترل‌کننده‌ها : کنترل‌کننده‌ها اجزایی از سیستم هستند که اطلاعات دریافتی از حسگرها را دریافت و بر اساس نرم افزار درونی خود یا نرم افزار شبکه پردازش و بر حسب نیاز، فرامینی را به عملگرها ارسال می‌کنند.

۳. عملگرها : عملگرها نیز اجزایی از سیستم هستند که فرامین ارسالی از کنترل‌کننده‌ها را دریافت و بر اساس آن واکنش نشان می‌دهند. این عملگرها می‌توانند شیرهای برقی سیالات، دریچه‌های قابل تنظیم عبور هوا و رله‌های قطع و وصل جریان الکتریکی باشند.

با توجه با این‌که هدف این پژوهش ارائه یک کنترل‌کننده هوشمند برای مدیریت انرژی ساختمان است بنابراین، تنها به کنترل‌کننده‌ها می‌پردازیم و سایر قسمت‌های BMS، در این پژوهش بررسی نمی‌شود.

۲-۷-۲- مزایای کلی استفاده از BMS

استفاده از BMS مزایای فراوانی دارد که در این جا به چند مورد اشاره می شود.

حذف مصارف ناخواسته: از آنجا که سیستم فقط هنگام بهره برداری از فضا، اجازه استفاده از منابع انرژی از قبیل سرمایش و گرمایش و روشنایی را می دهد، مصارف ناخواسته انرژی از بین رفته و استفاده از انرژی بهینه می شود.

کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری: مدیریت بهینه استفاده از تاسیسات، موجب کاهش میزان ساعات کارکرد هر تجهیز شده و در نهایت به مقدار قابل ملاحظه ای هزینه های تعویض قطعات مصرفی و نیز خرابی های ناشی از کارکرد طولانی را کاهش می دهد.

پایش دائمی کلیه اجزای ساختمان: کلیه اجزای مهم ساختمان از قبیل مجموعه های سرمایش، گرمایش، تهویه و آبرسانی به طور متمرکز از طریق یک کامپیوتر در محل ساختمان یا از راه دور و در تمام ساعات قابل پایش بوده و نیاز به سرکشی محلی هر تجهیز در محل نصب را مرتفع می کند.

حذف خطاهای اپراتوری: از آنجا که پس از تنظیمات اولیه سیستم، کلیه کنترل ها توسط رایانه صورت می پذیرد، نگرانی اشتباهات و کوتاهی پرسنل بهره بردار و در نتیجه بروز خسارات از بین می رود.

اعلام وضعیت اجزا برای جلوگیری از خرابی و وقفه در کار اجزای ساختمان: با توجه به نمایش وضعیت کارکردی هر یک از المان های تاسیسات روی رایانه اصلی، کنترل سلامت اجزا به

راحتی امکان پذیر است.

مزایای استفاده از BMS برای مدیران تاسیسات:

۱. پایش و کنترل سیستم از محل یا از راه دور
۲. هزینه کم اپراتوری
۳. راندمان بالای تجهیزات تاسیساتی
۴. کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری
۵. اعلام سریع خرابی‌ها و نیازمندی‌های بازبینی
۶. لزوم مهندسی اصولی و ساختار یافته در هنگام اجرای تاسیسات

مزایای استفاده از BMS برای ساکنان افزایش ایمنی در ساختمان، راندمان بالای تاسیسات و وجود محیطی مطبوع و راحت می‌باشد. اما یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از BMS، امکان بهره‌مندی ساختمان‌ها از منابع تولیدات پراکنده مثل PV یا توربین بادی می‌باشد. با توجه به این‌که توان تولیدی PV و توربین بادی به شدت به وضعیت آب و هوا و ساعات روز بستگی دارد بهره‌برداری مطمئن از این تولیدات کار آسانی نیست و نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و کنترل هوشمند می‌باشند. اما با توجه به این‌که BMS مجهز به ابزار اندازه‌گیری دقیق و کنترل‌کننده‌های پیشرفته می‌باشد می‌تواند با بهره‌مندی از تولیدات پراکنده و منابع تجدیدپذیر، مزایای فراوانی را برای استفاده‌کنندگان از آن به ارمغان بیاورد.

۲-۸- پیشینه تحقیق

مطالعات متعدد تأثیر خودروهای الکتریکی پلاگ این را بر شبکه‌های توزیع بررسی کرده‌اند. در

مرجع [۲۷]، نویسندگان روشی جدید برای در نظر گرفتن حدود ولتاژ و توان برای برنامه‌ریزی بهینه خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع ارائه کرده و نتایج را با برنامه‌ریزی بدون در نظر گرفتن حدود در مدل مقایسه کرده‌اند. شارژ و دشارژ کنترل نشده، حداقل هزینه شارژ و استراتژی‌های حداقل تلفات توان برای نمایش سود کاربردهای مدیریت شده خودروهای الکتریکی مقایسه شده است. نویسندگان در مرجع [۲۸]، یک خانه هوشمند را بررسی کرده و برای بهبود واریانس بار خانگی با استفاده از دو خودروی الکتریکی هیبرید پلاگاین تلاش کرده‌اند. مقایسه میان استراتژی‌های برنامه‌ریزی بهینه کلی و محلی برای خودروهای الکتریکی در مرجع [۲۹] انجام شده است. در مرجع [۳۰]، استراتژی‌های شارژ و دشارژ کنترل شده و کنترل نشده از نقطه نظرهای متفاوت بررسی شده است.

در مرجع [۳۱]، در مدار قرارگیری واحدهای تولید توان شامل منابع بادی و خورشیدی در حضور خودروهای الکتریکی پلاگاین مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از سناریوهای تعریف شده برای در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع متناوب مورد نظر، آلودگی‌ها و هزینه مورد انتظار برنامه در مدار قرارگیری برای مجموعه‌ای از سناریوها حداقل شده است.

مراجع [۳۲-۳۴] ادغام (یکپارچه‌سازی) کاربرد خودروهای الکتریکی و اجرای پاسخگویی بار را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌های پاسخگویی بار خانگی که لوازم خانگی هوشمند و خودروهای الکتریکی را شامل می‌شود، هزینه عملیاتی سیستم را کاهش می‌دهد، درحالی‌که آسایش مشتریان را حفظ می‌کند.

مطالعه انجام شده در [۳۵] بیان می‌کند که خودروی الکتریکی تنها به معنی بار الکتریکی نیست بلکه منبع توانی برای تحمل پیک انرژی و ظرفیت ذخیره برای شبکه‌های برق است. مرجع

[۳۶]، برنامه‌ریزی منابع را در شبکه توزیع هوشمند با توجه به مبادله توان خودرو و شبکه (V2G) مطالعه می‌کند. روشی عملی برای ادغام V2G و انرژی‌های تجدیدپذیر در یک شبکه توزیع کوچک و بحث روی مدل ادغام موردنیاز، در مرجع [۳۷] ارائه شده است.

حالت خودرو به ساختمان^۱ (V2B) یکی از حالات ممکن است که برای نمایش ظرفیت خودروهای الکتریکی برای پشتیبانی شبکه در ساعات پیک در مدت زمان قطع برق در مرجع [۳۸] بررسی شده است. در مرجع [۳۹]، حالت تبادل انرژی برای خودروهای الکتریکی پلاگ این تحت عنوان خودرو به خودرو^۲ (V2V) معرفی شده و سپس مدل برنامه‌ریزی بهینه برای یک پارکینگ هوشمند ۵۰ خودرویی با استفاده از حالات خودرو به شبکه (V2G)، شبکه به خودرو^۳ (G2V) و خودرو به خودرو (V2V) ارائه شده است.

گروهی از کارها به یکپارچه‌سازهای خودروهای الکتریکی به‌منظور نمایش نقش آن‌ها به‌صورت کامل برای کسب مزایای حالت خودرو به شبکه (V2G) [۴۰-۴۴] و یا به معرفی مدل‌های جدید برای مشارکت یکپارچه‌سازها اختصاص یافته است [۴۰،۴۲،۴۶،۴۶]. در مرجع [۳۹]، نویسندگان مدلی برای یک‌پارچه‌سازی یک پارکینگ خصوصی با استفاده از مدل کنترل مستقیم بار^۴ (DLC) برای

¹ Vehicle to Building

² Vehicle to Vehicle

³ Grid to Vehicle

⁴ Direct Load Control

محدود کردن عمق دشارژ^۱ (DoD) برای باتری خودروها ارائه کرده‌اند. آنها سه حالت تبادل انرژی را برنامه‌ریزی کرده‌اند؛ خودرو به شبکه (V2G)، شبکه به خودرو (G2V) و خودرو به خودرو (V2V). مزایای مدل ارائه شده بر مدل‌های قبلی بدون در نظر گرفتن حالت خودرو به خودرو (V2V) و کنترل مستقیم بار (DLC) نشان داده شده است. مرجع [۴۰]، بر ساختار فناوری اطلاعات برای مدیریت سیگنال‌های کنترل و زیرساخت‌های ارتباطی تمرکز می‌کند.

امروزه بخصوص در مناطق شهری، استفاده فراوانی از سیستم‌های BIPV^۲ می‌شود که معمولاً بصورت منابع تولید توان فتوولتائیک کوچک، بصورت مرتبط یا یکپارچه با ساختمان‌ها می‌باشند [۴۷]. در [۴۹ و ۴۸] مزایای سیستم BIPV از نظر اقتصادی و اکولوژیک بررسی و نشان داده شده است. در برخی مقالات نظیر [۸،۵۰] روش‌هایی برای افزایش تولیدات سیستم PV ارائه شده است.

روش‌های فراوانی برای مدیریت انرژی ریزشبکه ارائه شده است که شامل تکنیک‌های متفاوتی مانند؛ عملکرد چند عامل [۵۱]، قوانین قطعی [۵۳،۵۲] و منطق فازی [۵۵،۵۴] می‌باشد.

^۱ Depth of Discharge

^۲ Building-Integrated Photovoltaic

فصل ۳

مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند

۳-۱- مقدمه

در این فصل، یک الگوریتم جدید برای مدیریت انرژی ساختمان‌هایی که از انرژی خورشید استفاده می‌کنند و به شبکه نیز متصل هستند ارائه خواهد شد. ساختمان مورد مطالعه، دارای پارکینگ خودرو الکتریکی نیز می‌باشد و می‌تواند از ذخیره‌سازهای خودورهای الکتریکی برای مدیریت انرژی استفاده کند. علاوه بر این، فرض شده است که ساختمان دارای یک ذخیره‌ساز انرژی از نوع باتری باشد. برای ساختمان، بارها بصورت DC در نظر گرفته شده است. زیرا با این کار، نیازی به تبدیل توان DC به توان AC برای توان تولیدی از انرژی خورشید و همچنین برای شارژ و دشارژ باتری نخواهد بود و باعث کاهش تلفات انرژی و همچنین کاهش هزینه سرمایه‌گذاری می‌شود زیرا تعداد مبدل‌های انرژی کم می‌شود.

در این فصل، ابتدا روش‌های جدید ارائه شده برای مدیریت انرژی در ساختمان‌هایی با سیستم توزیع DC بررسی می‌شود. سپس روش ارائه شده برای مدیریت انرژی در یک ساختمان با شبکه توزیع DC و مجهز به پنل خورشیدی، باتری و خودروهای الکتریکی توضیح داده می‌شود.

۲-۳- یکپارچه‌سازی ساختمان‌ها با ریز شبکه‌ها

امروزه ریزشبکه‌ها نسبت به سیستم‌های قدرت بزرگ، بیش‌تر ترجیح داده می‌شوند و استفاده از ریزشبکه‌ها بیش‌تر با هدف ادغام و بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر به عنوان تولیدات پراکنده در شبکه‌های قدرت انجام می‌شود. امروزه به خصوص در مناطق شهری، ادغام سیستم PV و ساختمان^{۲۷} (BIPV) به عنوان منابع کوچک توان خورشیدی، به صورت گسترده استفاده می‌شود و این سیستم در حال توسعه و بهبود است. در مقالات متعددی، مزایا و معایب BIPV از لحاظ اقتصادی و محیط زیست بررسی شده است. برخی از تحقیقات نیز در جهت افزایش تولیدات توان خورشیدی انجام شده است.

با توجه به این‌که هنوز سیاست‌هایی برای تشویق تولید توان خورشیدی وجود دارد در بسیاری از کاربردها، توان تولیدی PV به شبکه تزریق می‌شود. ولی از طرفی، مقدار تولیدات توان خورشیدی تصادفی بوده و به سختی قابل پیش‌بینی می‌باشد، و از لحاظ فنی (تنظیم ولتاژ و فرکانس و تشخیص حالت جزیره‌ای) در شبکه مشارکت نداشته و به صورت یک منبع توان پسیو عمل می‌کند که به برخی تنظیمات اضافی از طرف شبکه نیاز دارد. یکی از راه‌های افزایش بهره‌روی تولیدات PV، پیش‌بینی تابش خورشید برای کمک به مدیریت بهتر انرژی خورشیدی است.

برای دستیابی به سطح نفوذ بالای نیروگاه‌های کوچک خورشیدی در مناطق شهری، با در نظر گرفتن ادغام آنها با شبکه و پیروی از مدل ریز شبکه‌ها، به یک ساختمان یکپارچه شده با

²⁷ Building Integrated PV

ریزشبکه^{۲۸} (BIMG) با ارتباطات هوشمند نیاز است. شبکه قدرت هوشمند یک ناحیه شهری را می‌توان مجموعه‌ای از BIMG ها که با بخشی از شبکه قدرت قدیمی ترکیب شده است نشان داد. به دلیل حفظ تعادل توان و مدیریت بار تحت محدودیت‌های ارتباطی شبکه قدرت با شبکه هوشمند، کنترل‌کننده ریزشبکه از عناصر مهم سیستم می‌باشد. این کنترل‌کننده در حالت عملکرد جزیره‌ای، تبادل انرژی بین BIMG ها را آسان‌تر می‌کند.

برای BIMG، هدف طراحی یک سیستم پیشرفته مدیریت انرژی محلی می‌باشد به طوری که بتواند تولید توان توسط منابع تجدیدپذیر و بار را مدیریت کند. BIMG به صورت سیستماتیک، امکان داشتن یک پیکربندی غیرمتمرکز و مشارکتی برای متعادل کردن توان محلی و ملایم کردن پیک تقاضای شبکه را فراهم می‌کند. به علاوه، مصرف‌کنندگان فعال بر اساس پاسخ‌گویی بار، کاملاً در بهبود تولید و مصرف توان شبکه مشارکت خواهند داشت.

با توجه به مزایای سیستم DC نسبت به سیستم AC برای BIMG، بهتر است که سیستم برق BIMG به صورت شبکه DC طراحی شود. در این پژوهش، یک بار DC به عنوان مجموع بار الکتریکی ساختمان در نظر گرفته شده است. در زیر برخی از مزایای DC در نظر گرفتن سیستم برق BIMG ذکر شده است.

۱. درصد بسیار زیادی از بار ساختمان‌ها (بیش از ۹۰٪)، نظیر منبع تغذیه کامپیوترها، منابع تغذیه سویچینگ، بالاست الکترونیکی لامپ‌های فلورسنت، درایوهای کنترل

²⁸ Building-Integrated Microgrid

فرکانس برای موتورهای دارای سرعت متغیر که سیستم گرمایش را تجهیز کرده‌اند، سیستم تهویه و روشنایی‌های بر پایه LEDها، توسط سیستم برق DC به طور مستقیم قابل تغذیه می‌باشند.

۲. با اجتناب از تلفات تبدیل توان، بازدهی توان خورشیدی افزایش می‌یابد (در صورت استفاده از سیستم تغذیه DC یک یا دو مبدل انرژی حذف خواهد شد و همچنین توان راکتیو و هارمونیک نخواهیم داشت). در سیستم‌های قدرت AC قدیمی، پنل‌های خورشیدی توان DC تولید می‌کنند که این توان برای تغذیه سیستم‌های الکتریکی ساختمان‌ها به توان AC تبدیل می‌شود سپس این توان برای مصرف در بسیاری از کاربردهای خانگی، دوباره به توان DC تبدیل می‌شود.

۳. توان DC امکان عملکرد انواع مختلف منابع DC را بدون نیاز به همسان‌سازی فازها فراهم می‌کند. در شبکه DC، تنها ثابت بودن ولتاژ مطرح خواهد بود. در حالی که سیستم قدرت AC نیازمند این است که هر کدام از اجزاء، دارای شکل موج یکسان برای عملکرد صحیح باشند. این همسان‌سازی نیازمند کنترل بر روی اینورتر است تا لینک توان AC به طور صحیح عمل کند. در شبکه DC، تنها به یک اینورتر برای اتصال به شبکه نیاز است.

۴. شبکه DC سازگاری بالاتری با ذخیره‌سازهای انرژی دارد، این ویژگی می‌تواند راندمان ماشین‌های هیبریدی و الکتریکی که استفاده از آنها روز به روز در حال افزایش می‌باشد را بهبود دهد.

۵. به این نکته باید توجه داشت که بیش‌تر ژنراتورهای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، ذاتاً دارای توان خروجی DC هستند، برای مناطق شهری، شبکه DC می‌تواند با ژنراتورهای دارای راندمان بالاتر نظیر توربین بادی و پیل سوختی ترکیب شود.

بر طبق مطالعات گوناگون برای بارهای ساختمان، توزیع توان DC راندمان بالاتری را به همراه خواهد داشت.

۳-۳- مدیریت انرژی ساختمان‌ها

روش‌های زیادی برای مدیریت انرژی ساختمان^{۲۹} (EMS) ارائه شده است. روش‌های ارائه شده در این زمینه را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم کرد:

۱. روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی

۲. روش‌های مبتنی بر اطلاعات زمان-حقیقی

در این قسمت، جدیدترین روش‌های ارائه شده برای مدیریت انرژی ساختمان‌ها توضیح داده می‌شود تا بتوان نقاط ضعف و قوت آن‌ها را بررسی کرد.

۳-۳-۱- مدیریت انرژی مبتنی بر پیش‌بینی

الگوریتم‌های ارائه شده به این روش، مبتنی بر پیش‌بینی قیمت برق، میزان بار مصرفی ساختمان و مقدار توان تولیدی PV می‌باشند. از مهم‌ترین ضعف‌های این روش، می‌توان به حجم بالای محاسبات و عدم کارایی الگوریتم در صورت محقق نشدن پیش‌بینی‌ها اشاره کرد.

در مرجع [۵۶] نمونه‌ای از این الگوریتم‌های ارائه شده است که مبتنی بر پیش‌بینی بار مصرفی و توان تولیدی PV می‌باشد. هدف این الگوریتم، برنامه‌ریزی بهینه برای زمان و مقدار شارژ خودروهای الکتریکی با هدف کاهش هزینه برق در عین رعایت قیدهایی مانند نرخ و سطح شارژ،

²⁹ Energy Management System

ظرفیت باتری و رفاه مصرف‌کنندگان می‌باشد.

تابع هدف الگوریتم ارائه شده در [۵۶] بصورت رابطه (۱-۳) تعریف شده است.

$$\text{Minimize } C = \sum_{t=1}^T \{E_{grid}(t) \cdot P(t)\} \quad (1-3)$$

در رابطه بالا، C هزینه برق در طول دوره برنامه‌ریزی شده می‌باشد. $E_{grid}(t)$ مقدار انرژی خریداری شده از شبکه اصلی در دوره t می‌باشد و T طول دوره برنامه‌ریزی است. قیدهایی که برای حل این مسئله در نظر گرفته شده است بصورت زیر می‌باشد.

۱. تعادل توان در ساختمان یا خانه هوشمند: در هر لحظه، مجموع مقدار توان تولیدی

و خریداری شده از شبکه اصلی باید با مقدار توان مصرفی ساختمان برابر باشد.

۲. محدودیت ظرفیت باتری برای هر EV : برای هر EV ، مقدار SOC_{min} و SOC_{max} در

نظر گرفته شده باید رعایت شود.

۳. نرخ شارژ برای EV : مقدار توان مبادله با EV در زمان شارژ یا دشارژ، نباید بیش‌تر

از حداکثر نرخ شارژ باتری و شارژ EV باشد.

۴. تنظیماتی که توسط مصرف‌کنندگان انجام شده است. مقادیری که مصرف‌کنندگان

رعایت آن را الزامی می‌کنند مانند SOC_{target} . SOC_{target} که توسط مصرف‌کننده

تنظیم می‌شود اپراتور EMS را ملزم می‌کند که سطح شارژ خودرو الکتریکی

مصرف‌کننده را در زمان مشخص برابر SOC_{target} قرار دهد.

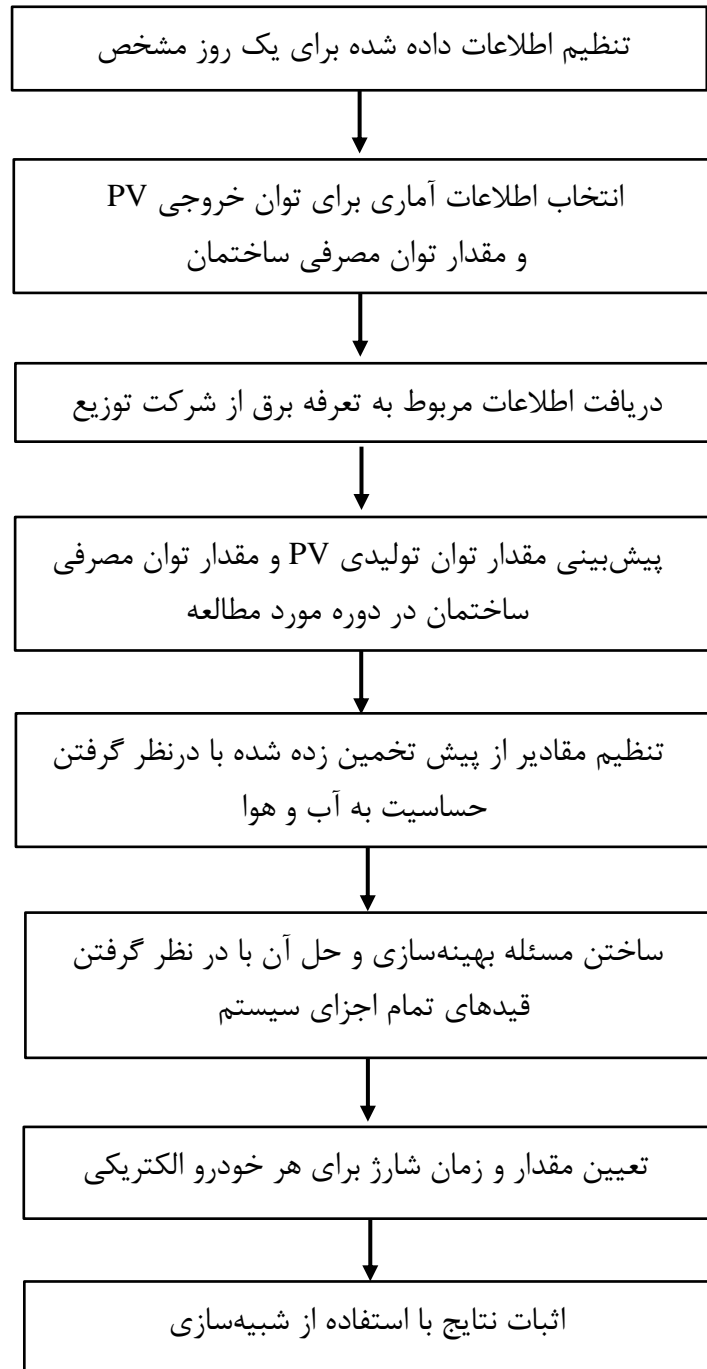
فلوچارت الگوریتم ارائه شده در این مقاله، در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. این الگوریتم از

۵ قسمت تشکیل شده است.

۱. واحد اطلاعات ورودی: برای دریافت اطلاعات مصرف‌کننده‌گان می‌باشد و اطلاعاتی نظیر

- مقدار شارژ اولیه خودروها، SOC_{target} و زمان ترک پارکینگ را از مصرف‌کننده‌گان دریافت می‌کند.
۲. واحد جمع‌آوری اطلاعات: این واحد برای انتخاب تعرفه برق، اطلاعات آماری مصرف‌توان و تولیدتوان PV می‌باشد به نحوی که نیازهای مصرف‌کنندگان تامین شود.
۳. واحد پیش‌بینی: این واحد برای پیش‌بینی مقدارتوان مصرفی در هر ساعت و مقدارتوان تولیدی PV در طول تمام دوره برنامه‌ریزی، طراحی شده است.
۴. واحد بهینه‌سازی: این واحد مسئول فرمول‌بندی و حل مسئله بهینه‌سازی می‌باشد. بهینه‌سازی با استفاده از MILP³⁰ حل شده است.
۵. واحد گزارش‌دهی: در این واحد، تمام اطلاعات خروجی بصورت یک فایل چاپ می‌شود.

³⁰ Mixed Integer Linear Programming



شکل ۳-۱. الگوریتم EMS ارائه شده در [۵۶]

۳-۳-۲- مدیریت انرژی مبتنی بر اطلاعات زمان حقیقی

در گروه دوم از الگوریتم‌های مدیریت انرژی، مدیریت انرژی بر اساس اطلاعات زمان حقیقی

انجام می‌شود و نیاز به انجام پیش‌بینی نیست. این روش‌ها نسبت به روش‌های قبلی دارای مزایای زیادی می‌باشند که از جمله آن‌ها می‌توان به ساده‌تر بودن ساختار الگوریتم و عدم نیاز به محاسبات سنگین اشاره کرد. در ادامه دو مقاله بررسی شده است که الگوریتم ارائه شده آنها برای مدیریت انرژی بر اساس اطلاعات زمان حقیقی پیاده‌سازی شده است و در این زمینه جدیدترین روش‌های موجود را ارائه کرده‌اند.

در مرجع [۵۷]، یک الگوریتم جدید برای مدیریت انرژی یک ساختمان مجهز به PV و پارکینگ EV ارائه شده است. در این کار، برای تامین بخشی از توان مورد نیاز ساختمان، علاوه بر PV از یک دیزل ژنراتور و دشارژر EV نیز استفاده شده است. هدف این الگوریتم، کاهش هزینه تامین برق برای ساختمان می‌باشد. در این کار، خودروهای الکتریکی می‌توانند به صورت داوطلبانه در کاهش هزینه شرکت کنند ولی برای این کار مبلغی به عنوان پاداش به آن‌ها پرداخت می‌شود. مهم‌ترین ضعف این کار، استفاده از دیزل ژنراتور می‌باشد در حالی که دیزل ژنراتور الودگی محیط زیستی و صوتی تولید می‌کند و استفاده از آن در ساختمان‌های مسکونی به هیچ وجه مناسب نخواهد بود. بنابراین، این روش برای مدیریت انرژی ساختمان‌ها مناسب نیست.

در مرجع [۵۸]، یک روش مدیریت انرژی برای ساختمان‌هایی که دارای تولیدات PV بوده و بار آن‌ها، بار DC ساختمان و شارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد ارائه شده است. در این مقاله برای مدیریت انرژی، ساعات پیک شبکه نیز در نظر گرفته شده است و سعی بر این است که در این ساعات، از شبکه توانی دریافت نشود. همچنین از روش پاسخ‌گویی بار، با استفاده از مکانیسم قیمت‌گذاری

متغیر انرژی استفاده شده است. در مرجع [۵۸]، قیمت‌گذاری بر اساس زمان مورد استفاده^{۳۱} (TOU) انجام شده است و به معنی قیمت‌گذاری بر اساس زمان پیک و زمان غیر پیک می‌باشد که به دلیل عدم وابستگی به عملکرد زمان واقعی، استفاده از آن ساده می‌باشد. اگرچه برای سال‌های آتی، انتظار می‌رود که قیمت‌گذاری زمان واقعی (real-time) برای بیشتر مصرف‌کننده‌های نهایی اجباری باشد که اجرای این طرح شامل ارتباطات شبکه هوشمند بر پایه ارتباط مناسب می‌باشد.

در [۵۸]، با توجه به مخابره پیام توسط شبکه هوشمند، سه قید زیر برای مدیریت محلی انرژی در نظر گرفته شده است.

۱. TOU در ساعات پیک بار

۲. TOU در ساعات غیر پیک بار

۳. محدودیت تزریق توان به شبکه ($P_{G-I-lim}$)

فرض شده است که حداکثر توان قراردادی برای خرید انرژی از شبکه باشد. P_{PV-P} نیز بیشینه توان تولیدی PV تحت شرایط استاندارد آزمایش شده می‌باشد (برای شدت تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) که این دو مقدار نیز جزء قیدهای مدیریت انرژی می‌باشند و رعایت آن‌ها الزامی است. میزان تغییرات توان دریافتی از شبکه (P_{G-S}) در حالت عملکرد نرمال، به صورت $0 < P_{G-S} < P_{L-max}$ خواهد بود. همچنین فرض شده که انرژی ذخیره‌سازها، قابلیت استفاده برای تزریق به شبکه را ندارد. بنابراین، میزان تغییرات توان تزریقی به شبکه بصورت $0 < P_{G-I} < P_{I-lim}$ و P_{G-I} $P_{PV-P} < lim$ تعریف می‌شود. قید $P_{G-I-lim} < P_{PV-P}$ بیان‌گر این است که، حداکثر توان تحویلی به شبکه همواره کم‌تر از بیشینه توان تولیدی PV می‌باشد.

³¹ Time of use

بار می‌تواند بر اساس تعرفه قیمت که بر اساس TOU می‌باشد از ماکزیمم توان قابل مبادله با شبکه یعنی P_{L_max} استفاده کند. T_{peak} در هر لحظه نشان دهنده‌ی این است که شبکه در ساعات پیک قرار دارد یا نه. مقدار T_{peak} برای ساعات پیک شبکه برابر با ۱ و برای ساعات غیرپیک برابر با صفر تنظیم می‌شود. توان مصرفی بار (P_L) بر اساس میزان تقاضای ساختمان در زمان واقعی تغییر خواهد کرد. اگر در ساعات پیک بار شبکه، توان تولیدی PV (P_{PV}) و توان ذخیره شده در باتری (P_S) برای تغذیه بار ناکافی باشد میزان بار بر اساس ضریب ریزش بار کاهش یافته و اصطلاحاً مقداری از بار حذف می‌شود. در حالتی که قطع بار انجام می‌شود مقدار بار کاهش یافته بر اساس رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود.

$$P_{L_lim} = (1 - K_L) \times P_{L_max} \quad (۲-۳)$$

که در آن K_L ضریب ریزش بار است که از قبل مشخص می‌باشد. در این حالت مقدار بار کاهش یافته با استفاده از رابطه (۳-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$P_{L_lim} = K_L \times P_{L_max} \quad (۳-۳)$$

مصرف‌کنندگان از طریق سیستم هوشمند SCADA، ضریب ریزش بار را انتخاب می‌کنند. ضریب ریزش باری که توسط کابر نهایی انتخاب می‌شود باید در محدوده مجاز باشد که این محدوده از قبل مشخص است. این الگوریتم نیز با در نظر گرفتن قیدها ارائه شده است. یکی از این قیدها، تعادل توان می‌باشد. قانون فیزیکی مربوط به تعادل توان به صورت رابطه (۴-۳) بیان شده است.

$$P_L(t) + P_{G_I}(t) + P_{S_C}(t) = P_{G_S}(t) + P_{S_D} + P_{PV}(t) \quad (۴-۳)$$

در معادله بالا P_{S_C} توان شارژ ذخیره‌ساز و P_{S_D} توان دشارژ ذخیره‌ساز می‌باشد. با استفاده از کنترل کننده PI و بر اساس مقدار انحراف ولتاژ باس DC از مقدار مرجع آن، توان مرجع مورد نیاز (P^*) برای ایجاد تعادل محاسبه می‌شود. این فرآیند به صورت رابطه (۵-۳) انجام می‌شود.

$$P^* = K_p (v(t)^* - v(t)) + K_I \int (v^*(t) - v(t)) dt + P_{PV}(t) - P_L(t) \quad (۵-۳)$$

در معادله (۳-۵)، v^* مقدار مرجع برای ولتاژ باس DC، K_P ضریب تناسبی و K_I ضریب انتگرالی کنترل‌کننده PI می‌باشد. با توجه به مطالب گفته شده، توان مبادله‌ای شبکه و ریزشبه و توان ذخیره‌ساز به ترتیب با استفاده از روابط (۳-۶) و (۳-۷) محاسبه می‌شود.

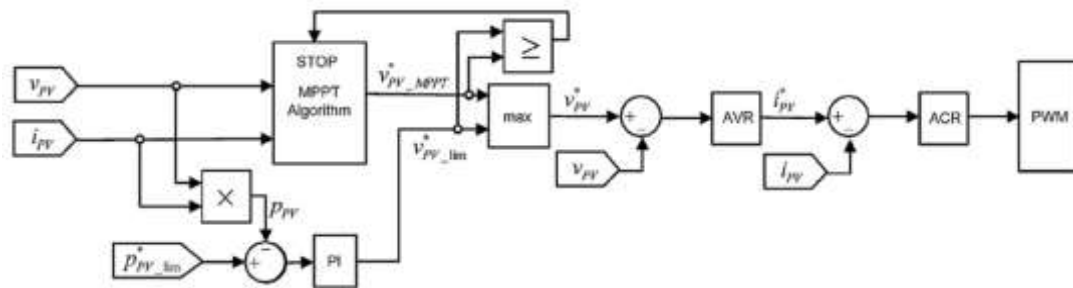
$$P_G(t) = P_{G_I}(t) - P_{G_S}(t) \quad (۳-۶)$$

$$P_S(t) = P_{S_C}(t) - P_{S_D}(t) \quad (۳-۷)$$

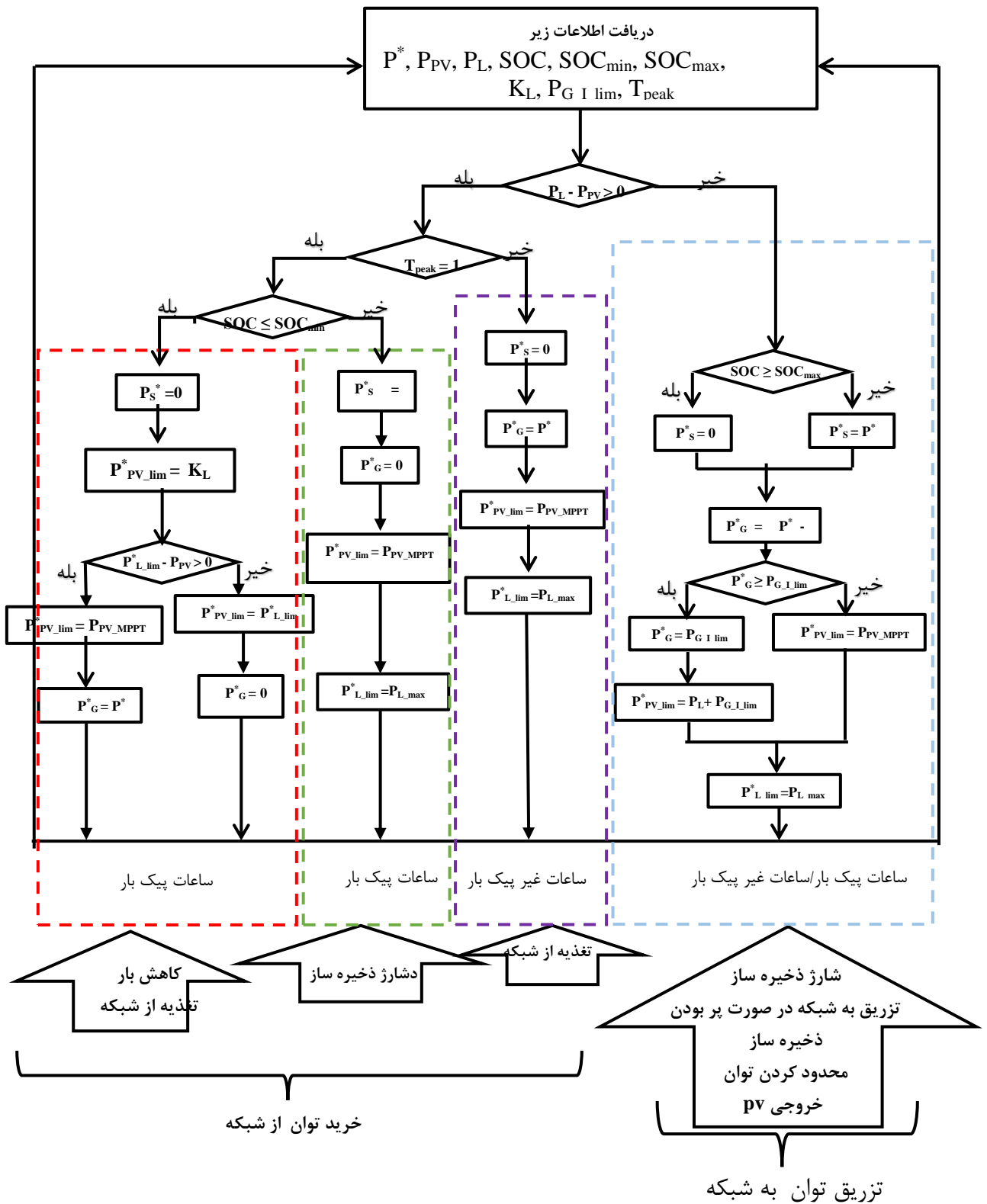
برای محاسبه P^* ، رابطه (۳-۸) نیز برقرار خواهد بود.

$$P^*(t) = P_G^*(t) - P_S^*(t) \quad (۳-۸)$$

بعد از محاسبه $P^*(t)$ ، توان مرجع ذخیره‌ساز ($P_S^*(t)$) و توان مرجع شبکه ($P_G^*(t)$) بر اساس روش کنترلی و با توجه به محدودیت‌های متناظر محاسبه می‌شوند. در ساعات غیر پیک، شبکه به عنوان تنها منبع مکمل سیستم PV خواهد بود. در مقابل، اگر توان تولیدی PV بیشتر از مقدار تقاضا باشد، برای هرگونه قیمت‌گذاری TOU، توان اضافی در ابتدا برای شارژ ذخیره‌ساز مورد استفاده قرار خواهد گرفت و پس از آن به شبکه تزریق خواهد شد. زمانی که ذخیره‌ساز دارای شارژ ماکزیمم باشد و محدودیت‌های تزریق توان به شبکه، اجازه جذب تمامی توان تولیدی PV را ندهد، میزان توان تولیدی PV به $P_{PV_lim}^* = P_L + P_{G-I_lim}$ محدود خواهد شد این کار با استفاده از کنترل‌کننده نشان داده شده در شکل ۳-۲ انجام می‌شود. فلوچارت روش ارائه شده در [۵۸]، در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲. کنترل‌کننده PV



شکل ۳-۳. الگوریتم مدیریت انرژی ارائه شده در [۵۸]

همانطور که از شکل ۳-۳ مشخص است، در زمانی‌های که لازم است تا توان خروجی PV محدود شود کنترل کننده MPPT متوقف می‌شود و به جای آن یک کنترل کننده PI فعال می‌شود تا توان خروجی PV در یک مقدار مشخص محدود و ثابت شود ساختار این کنترل کننده در شکل ۳-۲ نشان داده شد.

۳-۳-۳- مقایسه الگوریتم‌های ارائه شده برای مدیریت انرژی

با توجه به مزایایی که برای ریزشبه DC بیان شد عاقلانه‌تر این است که در ساختمان‌ها، سیستم DC نصب شود. با این وجود، چگونگی پیکربندی سیستم به شدت با راندمان انرژی در ساختمان‌ها مرتبط است. اگر سیستم DC در ساختمان‌ها به خوبی طراحی شود می‌تواند هزینه کلی تامین انرژی را کاهش دهد. علاوه بر طراحی مناسب سیستم، طراحی یک EMS با کارایی لازم بسیار مهم است. برای افزایش سود و کاهش هزینه‌ها، EMS باید تمام شاخص‌های مصرف انرژی را بررسی کند و رفتار بهینه را انجام دهد. اگر اطلاعات مربوط به بار ساختمان‌ها، برنامه شارژ خودروها و داده‌های آماری مربوط به شرایط آب و هوا برای مدت زمان طولانی جمع‌آوری شود می‌توان EMS را برای بازه زمانی بلند برنامه‌ریزی کرد. با این وجود، چون روش‌های برنامه‌ریزی بلند مدت، بیش‌تر مبتنی بر الگوریتم‌های پیش‌بینی می‌باشند گاهی می‌تواند باعث عملکرد اشتباه یا حجم محاسبات بالا شود. ضعف اصلی روش‌های مدیریت بلند مدت را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد.

۱. استفاده از آن‌ها در ساختمان‌هایی که اطلاعات جمع‌آوری شده ندارند ممکن نیست.
۲. پیاده‌سازی بیش‌تر روش‌های مدیریت انرژی مبتنی بر پیش‌بینی یا سایر روش‌های پیچیده دشوار است. فهم و اصلاح این روش‌ها برای اپراتورهای انرژی سخت خواهد بود.
۳. به دلیل حجم بالای محاسباتی، سرعت آن‌ها پایین است.
۴. در صورت محقق نشدن پیش‌بینی‌های انجام شده، سیستم مدیریت انرژی کارایی لازم را نخواهد داشت.

بنابراین، EMS مبتنی بر اطلاعات زمان حقیقی برای ساختمان‌ها مناسب‌تر است. زیرا فهم و

مدیریت آن آسان‌تر است. با توجه به مطالب گفته شده، الگوریتم ارائه شده در مرجع [۵۶] با توجه به این که از پیش‌بینی بار و توان PV استفاده می‌کند برای ساختمان‌ها مناسب نمی‌باشد. همانطور که در بالا اشاره شد، با وجود این که الگوریتم ارائه شده در [۵۷] هم برای تامین بار ساختمان‌ها برنامه‌ریزی شده است و هم برای شارژ خودروهای الکتریکی، اما در این الگوریتم از دیزل ژنراتور استفاده شده است که استفاده از آن به دلیل تولید آلودگی محیطی و صوتی مناسب نمی‌باشد.

یکی دیگر از الگوریتم‌هایی که بر اساس اطلاعات زمان حقیقی توضیح داده شد الگوریتم ارائه شده در مرجع [۵۸] بود. این الگوریتم با وجود این که کارایی خوبی دارد ولی چند ضعف عمده دارد که در زیر اشاره شده است.

۱. در این الگوریتم برنامه بهینه برای شارژ خودروها ارائه نشده است و خودروها مانند بار در نظر گرفته شده‌اند.

۲. در برخی ساعات برای کمک به شبکه اصلی، مقداری از بار ساختمان قطع می‌شود. برای این کار لازم است تا مصرف‌کنندگان اعلام رضایت کنند و ممکن است با این کار موافق نباشند.

۳. در برخی ساعات برای جلوگیری از ذخیره بیش از حد ذخیره‌ساز استفاده شده، توان تولیدی PV محدود شده است و از حداکثر توان تولیدی PV استفاده نمی‌شود.

۴. آنالیز اقتصادی برای الگوریتم ارائه شده انجام نشده است و صرفاً به تعادل توان در ساختمان و رعایت قیود بسنده شده است.

بنابراین، الگوریتم‌هایی که تاکنون ارائه شده است، کارایی لازم را ارائه نمی‌دهد. و لازم است تا یک الگوریتم جامع‌تر برای EMS یک ساختمان با سیستم DC طراحی شود.

۳-۴- روش ارائه شده برای مدیریت انرژی ساختمان

روش ارائه شده برای کنترل توان و مدیریت انرژی، باید بتواند به صورت لحظه‌ای، تعادل توان تولیدی و مصرفی را در سیستم برقرار کند. این کار باید با در نظر گرفتن قیدها انجام شود و هیچ یک از قیدها نباید نقض شود. علاوه بر این، الگوریتم مدیریت انرژی باید بتواند هزینه تامین انرژی برای مصرف‌کنندگان و ساکنین ساختمان را کاهش دهد.

در این پژوهش، یک EMS ارائه می‌شود که مبتنی بر اطلاعات هزینه و قیمت زمان واقعی است و کمک می‌کند که اپراتور انرژی ساختمان‌هایی با سیستم DC، یک عملکرد منطقی و اتوماتیک ارائه کند. این الگوریتم برای ساختمان‌هایی ارائه می‌شود که دارای سیستم توزیع DC می‌باشند و علاوه بر پارکینگ EV دارای یک ذخیره‌ساز هستند که این ذخیره‌ساز متعلق به EMS بوده و هزینه‌ای خرید، تعمیرات و سایر هزینه‌های آن بر عهده EMS خواهد بود. برای ذخیره‌ساز از تکنولوژی باتری استفاده شده است.

در روش ارائه شده، ابتدا اطلاعات لازم جمع‌آوری می‌شود. این اطلاعات شامل: مقدار بار، مقدار توان تولیدی PV، شرایط شبکه توزیع، SOC باتری و SOC خودروهای الکتریکی می‌باشد. برای شبکه توزیع اصلی بر اساس سطح بار آن، سه حالت بار زیاد، بار متوسط و بار کم در نظر گرفته شده است که قیمت انرژی در هر سطح بار متفاوت می‌باشد.

در این روش، در صورتی که مجموع مقدار بار و مقدار توان مورد نیاز برای شارژ EV، بیش‌تر از مقدار توان تولیدی PV باشد توان یا از طریق انرژی ذخیره‌شده در باتری تامین می‌شود و یا از شبکه توزیع خریداری می‌شود. ممکن است توان ذخیره شده در باتری، به تنهایی برای جبران کسری توان کافی نباشد در این صورت، انرژی مورد نیاز به طور هم‌زمان از طریق باتری و خرید از شبکه توزیع تامین می‌شود.

در زمان‌هایی که SOC باتری در محدوده $SOC_{min} < SOC < SOC_{max}$ باشد قادر است شارژ یا دشارژ شود، مقادیر SOC_{min} و SOC_{max} به ترتیب، حداقل و حداکثر محدوده مجاز سطح شارژ ذخیره‌ساز را مشخص می‌کنند. شارژ باتری در ساعات پرباری و بار متوسط، تنها بوسیله PV و در ساعاتی که توان تولید PV بیش‌تر از بار ساختمان باشد انجام می‌شود. به علاوه در ساعات کم‌باری در شبکه توزیع اصلی که تعرفه برق کم می‌باشد، باتری بوسیله شبکه قابل شارژ می‌باشد.

توان خروجی PV به میزان تابش خورشید و دمای سلول‌های خورشیدی بستگی دارد. به‌منظور حداکثر کردن توان تولیدی سیستم خورشیدی، از MPPT با الگوریتم P&O استفاده شده است. دلیل استفاده از روش P&O این است که در عین داشتن عملکرد قابل قبول، ساختار ساده‌ای دارد که باعث می‌شود تا پیاده‌سازی و استفاده از آن آسان باشد.

برای کاهش میزان پیک شبکه و اجتناب از تزریق ناخواسته توان به شبکه، انتقال توان بین تمام اجزای سیستم ممکن نمی‌باشد و دارای محدودیت است در شکل ۳-۴، اجزای سیستم و چگونگی تبادل توان بین آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۴. تبادل توان بین اجزای سیستم

همانطور که از شکل ۳-۴ مشخص است، خودروهای الکتریکی هم به صورت بار DC مدل شده‌اند و هم به‌صورت ذخیره‌ساز در نظر گرفته شده‌اند. خودروهای الکتریکی در زمان شارژ توان

مصرف می‌کنند و به صورت بار رفتار می‌کنند ولی در زمان دشارژ می‌توانند بصورت یک ذخیره‌ساز عمل کرده و توان مشخصی را تحویل دهند.

سیستم توزیع DC (ساختمان) همیشه به شبکه توزیع اصلی متصل است. اگر قیمت برق شبکه توزیع بالا باشد (در زمان‌های پرباری) EMS باید توان خریداری شده از شبکه توزیع را کاهش دهد و حتی در صورت امکان به شبکه توان بفروشد. بنابراین، در این حالت از مشارکت خودرو الکتریکی استفاده می‌شود. مشارکت خودرو الکتریکی به این صورت خواهد بود که، در زمان‌های خاصی EMS می‌تواند شارژ EV را متوقف کند یا شروع به دشارژ EV نماید. در حالتی که شارژ EV متوقف می‌شود در حالت standby قرار می‌گیرد و در حالت دوم، EV در حالت دشارژ قرار خواهد گرفت. چگونگی مشارکت خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی، در ادامه توضیح داده شده است.

۳-۴-۱ - خودروهای الکتریکی

به منظور استفاده از خودروهای برقی به‌عنوان ذخیره‌سازهای انرژی، اپراتور EMS باید برای صاحبان خودروهای الکتریکی سود فراهم کند تا آن‌ها تشویق به شرکت در مدیریت انرژی شوند. مدل ارائه شده برای شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی بر اساس قواعد زیر می‌باشد.

۱. شرکت در مدیریت انرژی اجباری نیست. صاحب EV می‌تواند هر زمانی که بخواهد

قرارداد شرکت در مدیریت انرژی را امضا کند و تنظیمات مطلوب خود برای SOC_{min} و

$SOC_{discharging}$ را اعمال نماید ولی بعد از امضای قرارداد، در صورتی که بخواهد پیش از

اتمام قرارداد از آن انصراف دهد جریمه می‌شود.

۲. اگر EV در پارکینگ بوده و به شارژ وصل باشد اپراتور EMS باید SOC باتری EV را

بیش‌تر از SOC_{min} که در قرارداد ذکر شده است نگه دارد.

۳. اگر SOC باتری EV به مقدار SOC_{max} که در قرارداد ذکر شده است برسد، اپراتور EMS

می‌تواند شارژ EV را متوقف کند.

۴. برای انجام اقدامات مدیریت انرژی از قبیل کاهش پیک بار، اپراتور EMS می‌تواند به صورت موقت شارژ خودروهایی که SOC آن‌ها بزرگ‌تر از SOC_{min} می‌باشد را قطع کند. به این حالت، حالت standby گفته می‌شود.

۵. در حالت‌هایی که مقدار بار زیاد است دشارژ خودروهایی که SOC آن‌ها بزرگ‌تر از $SOC_{discharging}$ می‌باشد ممکن خواهد بود. به این حالت، حالت دشارژ گفته می‌شود.

بر اساس قواعد بیان شده برای مشارکت EV در مدیریت انرژی، هزینه شارژ هر EV بر اساس رابطه (۹-۳) محاسبه می‌شود. اگر بیش از یک EV در مدیریت انرژی شرکت داشته باشد، هزینه انرژی تمام خودروهای الکتریکی از رابطه (۱۰-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$EC_{i,EV} = C_{EV_C} \cdot \sum_{j=1}^k P_{i,j,EV_C} - C_{EV_D} \cdot \sum_{j=1}^l P_{i,j,EV_D} \quad (9-3)$$

$$EC_{total_EV} = C_{EV_C} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P_{i,j,EV_C} - C_{EV_D} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l P_{i,j,EV_D} \quad (10-3)$$

در روابط بالا، $EC_{i,EV}$ هزینه انرژی برای شارژ i امین EV بوده و EC_{total_EV} جمع هزینه شارژ تمام خودروهای الکتریکی می‌باشد. C_{EV_C} و C_{EV_D} به ترتیب هزینه شارژ و دشارژ برای یک کیلو وات توان می‌باشند. P_{i,j,EV_C} و P_{i,j,EV_D} نیز توان شارژ و دشارژ شده i امین EV می‌باشند. اگر EV در پارکینگ بوده و به سیستم متصل باشد از فرآیند شارژ و دشارژ که توسط EMS ارائه می‌شود پیروی می‌کند. صاحب EV باید برای کل توان شارژ شده در باتری EV خود هزینه پرداخت کند (

$$C_{EV_C} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P_{i,j,EV_C})$$

$$. C_{EV_D} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l P_{i,j,EV_D})$$

اپراتور EMS باید مقدار C_{EV_D} را تعیین کند. این کار با در نظر گرفتن عوامل زیادی از قبیل: مقدار صرفه‌جویی در هزینه با کاهش پیک بار، طول عمر باتری EV و تلفات شارژ (راندمان باتری EV) انجام می‌شود. اگر مقدار C_{EV_D} به صورت مناسب تعیین شود، صاحبان EV می‌توانند مدیریت انرژی را پشتیبانی کرده و خود نیز از سود آن بهره‌مند شوند.

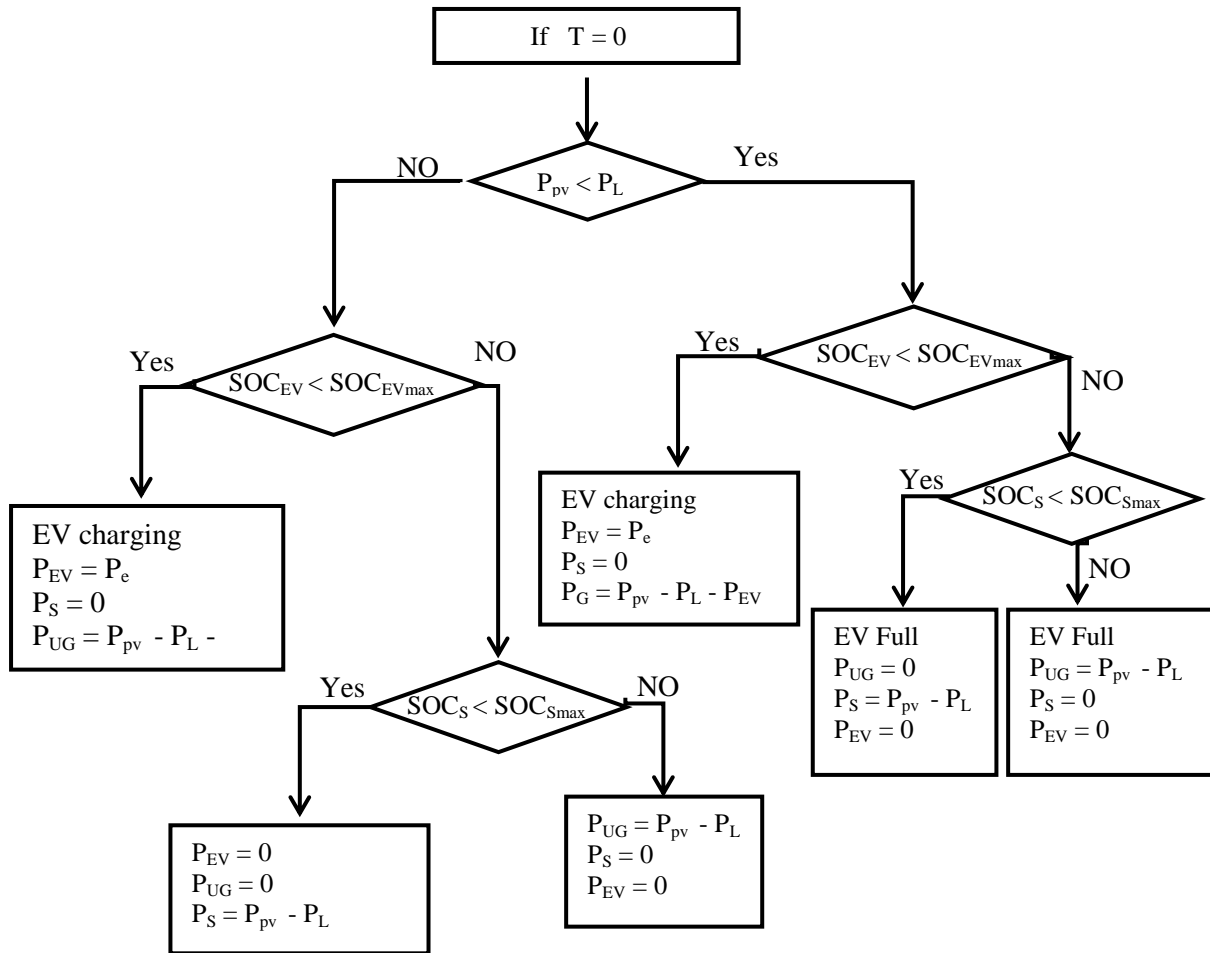
عملکرد خودروهای الکتریکی تحت تاثیر قیمت برق می‌باشد و قیمت برق می‌تواند میزان مشارکت صاحبان EV در مدیریت انرژی را تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به این‌که قیمت برق در شرایط پیک و غیر پیک متفاوت خواهد بود، رفتار صاحبان EV نیز در این ساعات یکسان نمی‌باشد. در جدول ۳-۱ الگوی شارژ و دشارژ خودروهای برقی بر اساس میزان بار بیان شده است.

جدول ۳-۱. الگوی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی

وضعیت بار سیستم	$P_{pv}-P_L$	EV SOC	EV Operation
در ساعات پرباری $T=2$	$P_{pv}-P_L < 0$	$SOC < SOC_{min}$ $SOC_{min} \leq SOC < SOC_{discharging}$ $SOC \geq SOC_{discharging}$	شارژ EV Stand-by دشارژ EV
	$P_{pv}-P_L > 0$	$SOC < SOC_{max}$	شارژ EV
در ساعات بار متوسط $T=1$	$P_{pv}-P_L < 0$	$SOC < SOC_{min}$ $SOC \geq SOC_{min}$	شارژ EV Stand-by
	$P_{pv}-P_L > 0$	$SOC < SOC_{max}$	شارژ EV
در ساعات کم‌باری $T=0$	$P_{pv}-P_L < 0$	$SOC < SOC_{max}$	شارژ EV
	$P_{pv}-P_L > 0$	$SOC < SOC_{max}$	شارژ EV

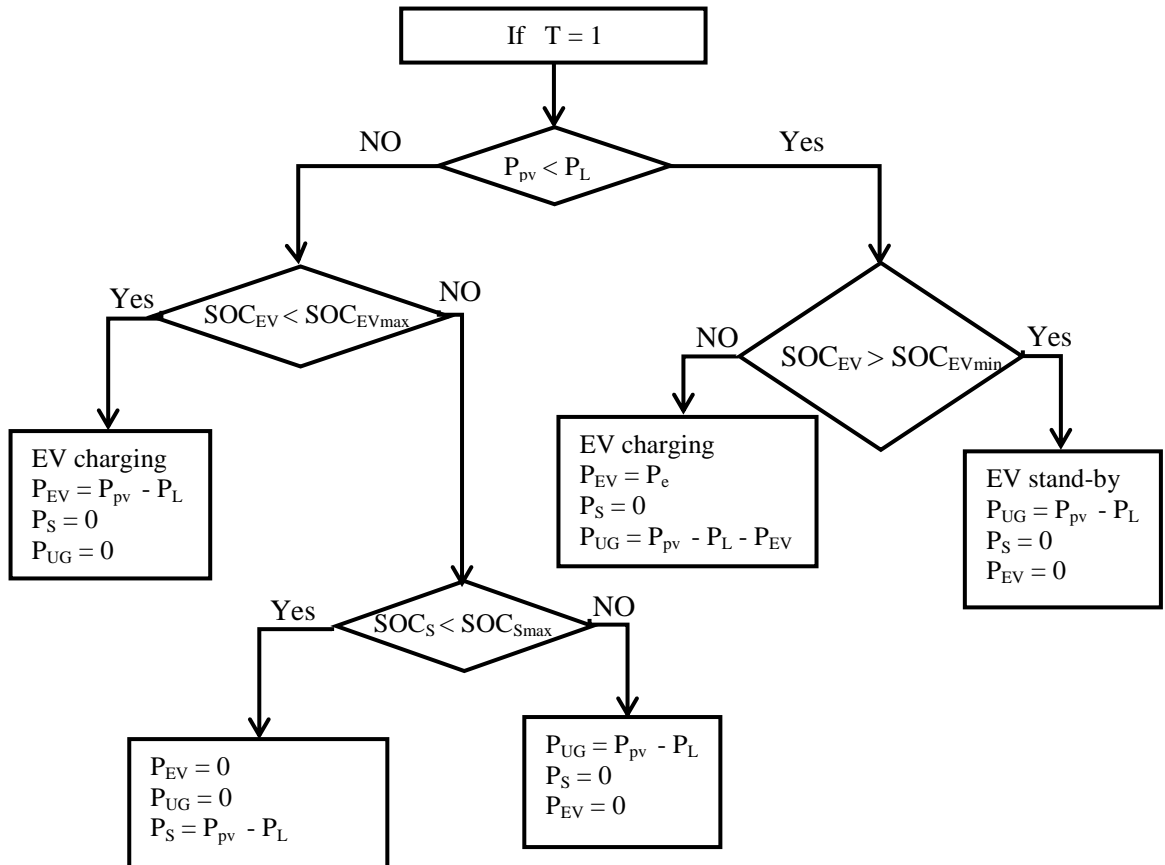
همانطور که از جدول ۳-۱ قابل مشاهده است، سیستم از نظر مقدار بار به سه حالت پرباری، بار عادی یا بار متوسط و کم باری تقسیم شده است که به ترتیب با $T=2$ ، $T=1$ و $T=0$ نشان داده می‌شوند. الگوی شارژ یا دشارژ EV در هر یک از این سه حالت متفاوت می‌باشد. در زمان‌های پرباری و کمبود توان (زمانی که توان تولیدی PV کم‌تر از توان مصرفی ریزشبه باشد)، EV فقط در حالتی شارژ می‌شود که مقدار SOC آن کوچک‌تر از SOC_{min} باشد. اگر در حالت پرباری برای هر یک از خودروهای الکتریکی، مقدار SOC آن‌ها بین مقدار SOC_{min} و $SOC_{discharging}$ باشد EV در حالت standby می‌رود و عمل شارژ یا دشارژ روی آن انجام نمی‌شود. به‌علاوه، عمل دشارژ EV فقط در زمان‌های پرباری و در حالتی که مقدار SOC آن بزرگ‌تر از $SOC_{discharging}$ باشد مجاز است. مابقی حالت در جدول نشان داده شده است.

در ادامه در شکل‌های ۳-۵، ۳-۶ و ۳-۷ به ترتیب الگوریتم ارائه شده برای سه حالت کم باری ($T=0$)، بار متوسط ($T=1$) و پرباری ($T=2$) نشان داده شده است. SOC_{Smin} و SOC_{Smax} به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار مجاز برای سطح ذخیره باتری ریزشبه می‌باشند. P_{UG} توان مبادله‌شده بین ریزشبه و شبکه اصلی می‌باشد که اگر مقدار آن مثبت باشد نشان دهنده‌ی انتقال توان از شبکه اصلی به ریزشبه می‌باشد. P_{EV} و P_S نیز به ترتیب توان خودرو الکتریکی و توان ذخیره‌ساز می‌باشند که مقادیر مثبت برای آن‌ها، نشان دهنده‌ی حالت شارژ می‌باشد.



شکل ۳-۵. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی برای ساعات کم‌باری (T=0)

در شکل ۳-۵، فلوچارت الگوریتم ارائه شده برای ساعات کم‌باری نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۳-۵ مشخص است ابتدا مقدار توان خروجی PV و مقدار توان مصرفی بارهای ساختمان مقایسه می‌شود تا کمبود توان یا اضافه توان در ساختمان مشخص شود. در مرحله بعد، مقدار SOC خودرو الکتریکی بررسی می‌شود تا مشخص شود که چه اقدامی باید بر روی آن انجام شود. مقدار P_e نرخ شارژ EV می‌باشد.

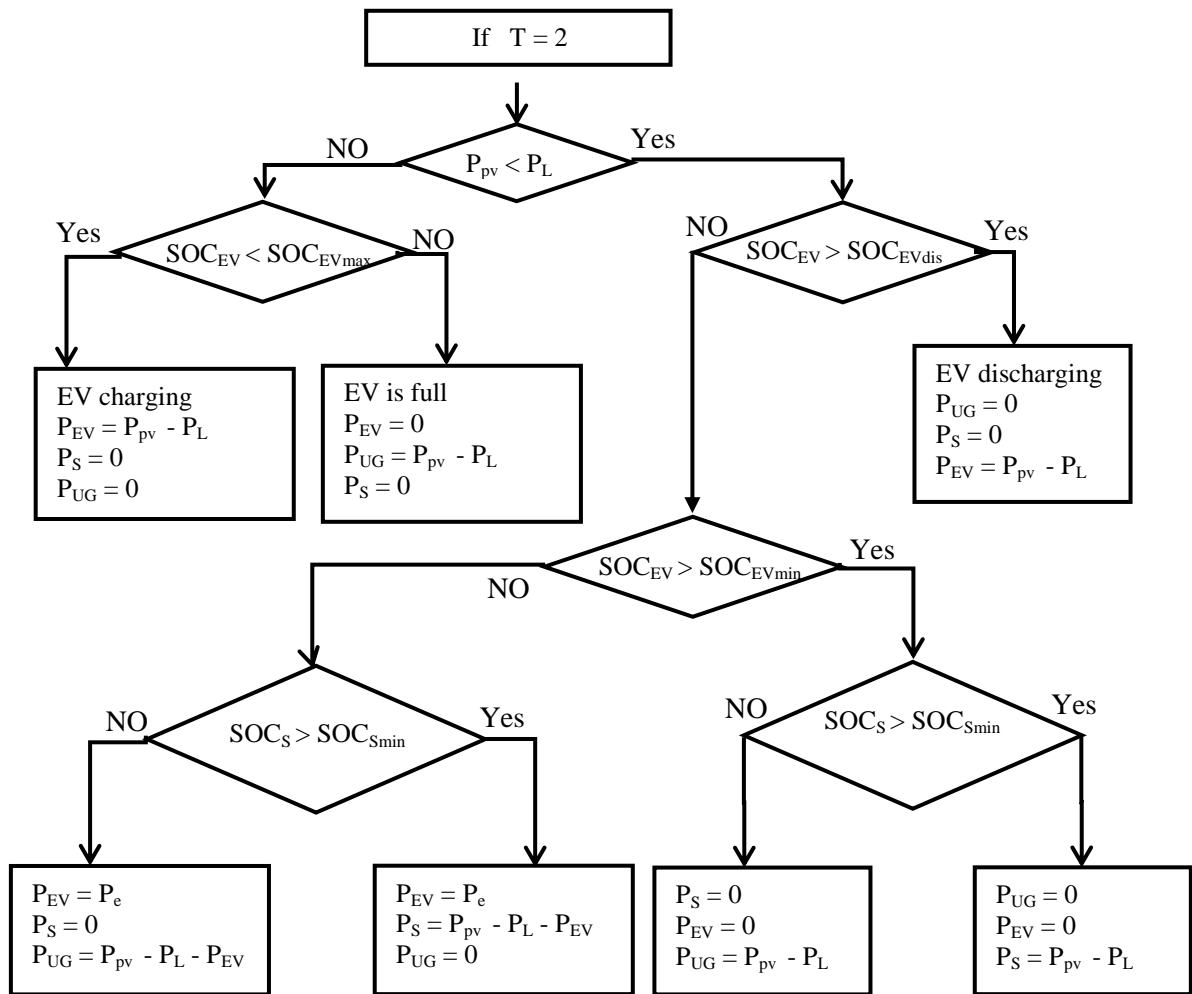


شکل ۳-۶. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی در ساعات بار متوسط (T=1)

در شکل ۳-۶، فلوچارت الگوریتم ارائه شده برای ساعات بار متوسط نشان داده شده است. در این شکل نیز مشخص است که مطابق با جدول ۳-۱، اگر مقدار SOC خودرو الکتریکی در حالتی که ریزش‌بکه با کمبود توان روبه‌رو است بیشتر از SOC_{EVmin} باشد به حالت standby می‌رود. در غیراین‌صورت، EV به حالت شارژ می‌رود و تا زمانی که SOC آن برابر SOC_{EVmin} شود این فرآیند ادامه می‌یابد.

در حالتی که ریزش‌بکه با مازاد توان روبه‌رو باشد (توان تولیدی PV بیش‌از توان مصرفی

ساختمان باشد) EV به حالت شارژ می‌رود مگر این‌که مقدار SOC آن برابر SOC_{EVmax} باشد در این‌صورت، SOC باتری بررسی می‌شود و اگر SOC باتری کم‌تر از SOC_{Smax} باشد توان اضافی در باتری ذخیره می‌شود و در غیر این‌صورت، مانند حالت قبل توان مازاد ریزش‌بکه DC به شبکه توزیع فروخته می‌شود.



شکل ۳-۷. الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی در ساعات پرباری (T=۲)

الگوریتم مدیریت انرژی برای ساعات پرباری در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۳-۱ نشان داده شد، در این حالت اگر ریزش‌بکه با کمبود توان روبه‌رو باشد هر یک از خودروهای الکتریکی که دارای SOC بزرگ‌تر SOC_{EVdis} باشد به حالت دشارژ می‌رود و زمانی که

SOC آن به SOC_{dis} برسد به حالت standby می‌رود. بقیه حالت‌ها در الگوریتم نشان داده شده است.

نکته‌ای که وجود دارد این است که ممکن است مقدار توان قابل مبادله بین ریزشبکه و شبکه اصلی محدود باشد. در این حالت، بعد از انجام مراحل بالا و در نهایت بررسی می‌شود که اگر مقدار PUG در حد مجاز نباشد ابتدا ذخیره‌ساز به حالت قطع شارژ و یا دشارژ می‌رود در مرحله دوم، مقدار نرخ شارژ خودروهای الکتریکی کاهش می‌یابد و اگر باز هم مشکل حل نشود قطع بار صورت می‌گیرد.

۳-۵- محاسبه هزینه انرژی

برای ارزیابی اقتصادی الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی، لازم است تا یک رابطه برای محاسبه هزینه انرژی استخراج شود. هزینه تامین انرژی را می‌توان از دید مصرف‌کننده‌ها که ساکنان ساختمان هستند، از دید مدیر ساختمان که می‌تواند همان تجمیع‌کننده بار یا اپراتور مدیریت انرژی باشد و یا از دید شبکه توزیع محاسبه کرد. در این پژوهش فرض شده است که مدیر ساختمان، کنترل EMS را برعهده داشته و وظیفه دارد تا هزینه تامین انرژی برای کل ساختمان را کمینه کند. همچنین فرض شده است که برای انرژی تامین شده از PV هزینه‌ای پرداخت نمی‌شود.

همانطور که توضیح داده شد، انرژی از طریق تولیدات PV و خرید از شبکه توزیع تامین می‌شود. با توجه به این که برای انرژی تامین شده از PV هزینه‌ای پرداخت نمی‌شود تنها هزینه، هزینه خرید برق از شبکه توزیع است. اما همانطور که قبلاً توضیح داده شد، برای تشویق صاحبان EV برای مشارکت در مدیریت انرژی، لازم است تا زمانی که EV دشارژ می‌شود به عنوان تشویق، به صاحب آن پول پرداخت شود. بنابراین هزینه انرژی با استفاده از رابطه (۳-۱۱) قابل محاسبه می‌باشد.

$$EC_{total} = EC_{UG} + EC_{total_EV} \quad (۳-۱۱)$$

در رابطه (۱۱-۳)، EC_{total} کل هزینه تامین انرژی برای ساختمان می‌باشد. EC_{UG} و EC_{total_EV} نیز به ترتیب هزینه خرید برق از شبکه توزیع و هزینه شارژ/دشارژ تمام خودروهای برقی می‌باشند. هزینه خرید انرژی از شبکه توزیع با استفاده از رابطه (۱۲-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$EC_{UG} = C_{UG} \cdot (P_{total_load} - \sum_{i=1}^n P_{i,EV_D} - P_{PV}) \quad (12-3)$$

در رابطه (۱۲-۳)، P_{total_load} کل بار ریزش‌بکه DC یا همان ساختمان است که از رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود.

$$P_{total_load} = \sum P_{DC_load} + \sum_{i=1}^n P_{i,EV_C} \quad (10-3)$$

C_{UG} قیمت خرید برق از شبکه بر حسب دلار بر کیلو وات ساعت می‌باشد. مقدار P_{DC_load} تقاضای بار DC بر حسب کیلو وات ساعت است. P_{i,EV_D} و P_{i,EV_C} نیز به ترتیب مقدار توان شارژ شده و مقدار توان دشارژ شده i امین EV می‌باشند که بر حسب کیلو وات ساعت هستند. در فصل بعد، کارایی الگوریتم ارائه شده با شبیه‌سازی بر روی یک سیستم نمونه اثبات می‌شود.

فصل ۴

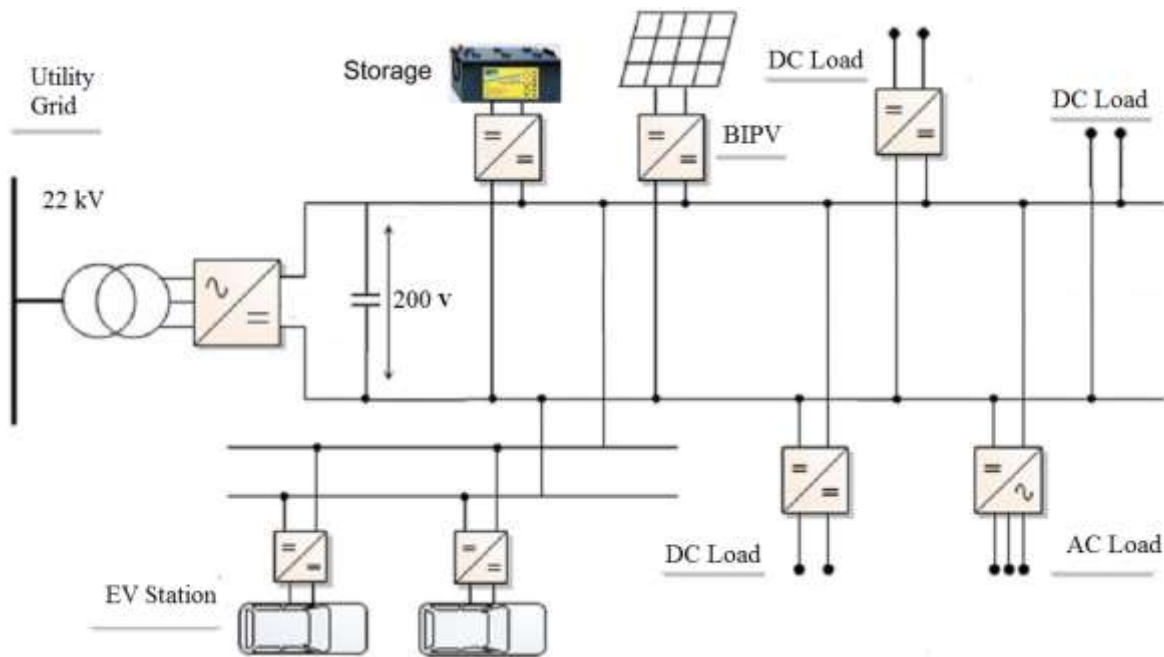
نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- مقدمه

در فصل قبل یک الگوریتم مدیریت انرژی برای ساختمان‌هایی که دارای تولیدات PV و پارکینگ خودروهای الکتریکی می‌باشد ارائه شد. در این فصل، الگوریتم ارائه شده در فصل قبل بر روی یک سیستم نمونه اعمال می‌شود تا عملکرد و کارایی آن ارزیابی شود. برای این کار، ابتدا سیستم مورد آزمایش معرفی می‌شود و اجزای آن توضیح داده می‌شود. سپس، مقادیر استفاده شده برای شدت تابش و دمای محیط برای PV نشان داده می‌شود. در ادامه بار ساعتی ریزش‌بکه نشان داده می‌شود. در نهایت، نتایج بدست آمده برای شبیه‌سازی سیستم مورد آزمایش ارائه خواهد شد. شبیه‌سازی سیستم در نرم افزار Matlab انجام شده است که یک نرم‌افزار قدرتمند در زمینه شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت می‌باشد.

۲-۴- سیستم مورد آزمایش

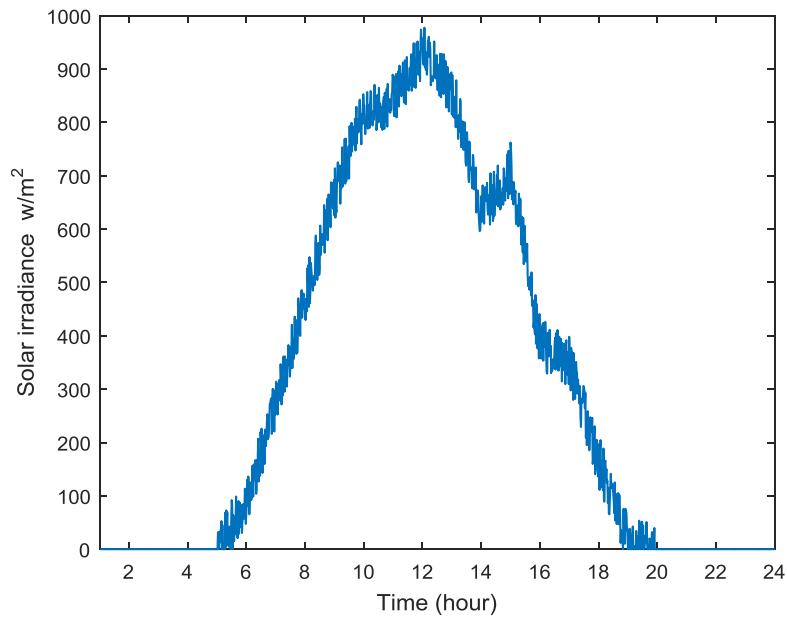
ساختار سیستم مورد مطالعه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است، سیستم مورد مطالعه، یک سیستم توزیع DC است که دارای یک PV، یک ذخیره‌ساز از نوع باتری، پارکینگ شارژ EV و بارهای AC و DC می‌باشد. این سیستم با استفاده از یک ترانسفورماتور کاهنده و یک مبدل AC/DC به شبکه توزیع اصلی با ولتاژ ۲۲ KV متصل می‌شود. ولتاژ ریزش‌بکه DC برابر ۲۰۰ ولت می‌باشد. سیستم دارای بارهای AC و DC می‌باشد که بارهای AC با استفاده از مبدل‌های DC/AC به ریزش‌بکه DC متصل می‌شوند. بارهای DC نیز بر اساس رنج ولتاژ، می‌توانند بصورت مستقیم یا با استفاده از مبدل‌های DC/DC به ریزش‌بکه متصل شوند.



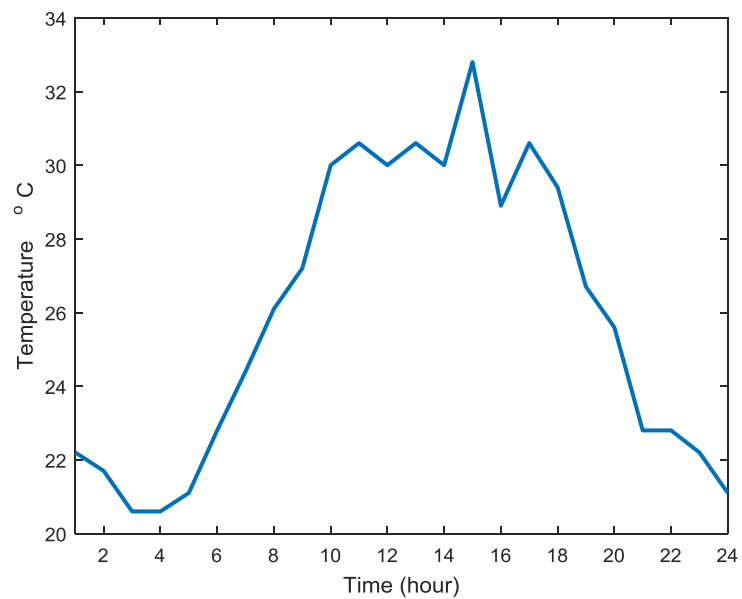
شکل ۴-۱. سیستم مورد آزمایش

در سیستم مورد مطالعه، PV با استفاده از یک مبدل DC/DC افزایش‌دهنده به ریزش‌بکه متصل می‌شود. برای استفاده از حداکثر توان PV، از MPPT با الگوریتم P&O استفاده شده است. زیرا این الگوریتم با وجود ساختار ساده، عملکرد بسیار خوبی دارد. ظرفیت نامی PV استفاده شده برابر ۵ KW

می‌باشد. در شکل ۲-۴ و ۳-۴ شدت تابش خورشید و دمای محیط برای یک ۲۴ ساعت نشان داده شده است. توان خروجی PV در هر لحظه، با استفاده از این مقادیر بدست می‌آید.

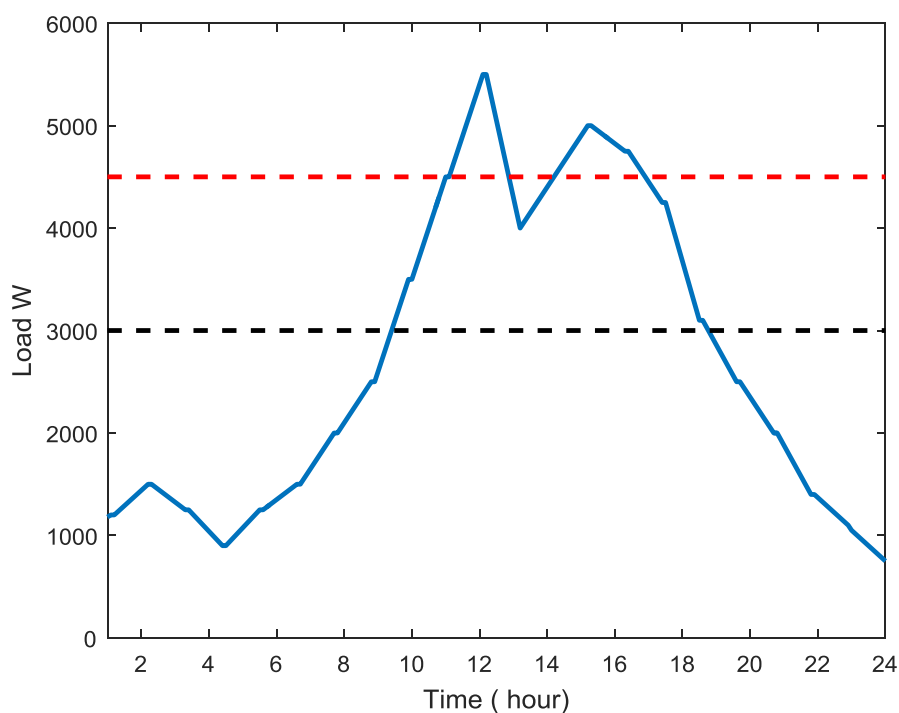


شکل ۲-۴. شدت تابش خورشید در هر ساعت (w/m^2)



شکل ۳-۴. دمای محیط اطراف PV در هر ساعت (w/m^2)

در شکل ۴-۴، بار ریزشبه DC برای ساعات مختلف یک شبانه‌روز نشان داده شده است. در طول شبانه‌روز، حداکثر بار ریزشبه ۵.۵ کیلووات و حداقل بار ریزشبه ۰.۷۵ کیلووات می‌باشد. پیک بار در حدود ساعت ۱۲ ظهر اتفاق می‌افتد.



شکل ۴-۴. بار ساعتی ریزشبه

ساعاتی که بار مصرفی ریزشبه کم‌تر از ۳ کیلووات باشد ساعات کم بار در نظر گرفته شده است. اگر بار ریزشبه بین ۳ تا ۴.۵ کیلووات باشد به عنوان بار متوسط و برای ساعاتی که بار ریزشبه بیش از ۴.۵ کیلووات باشد ساعات پر بار در نظر گرفته می‌شود. این حدود در شکل ۴-۴ با خطوط افقی نشان داده شده است.

هزینه خرید انرژی از شبکه توزیع اصلی برای سه حالت بار زیاد، بار متوسط و بار کم متفاوت می‌باشد. برای ساعاتی که بار کم است هزینه انرژی ۰.۰۴۵ دلار بر کیلووات ساعت، برای ساعات بار متوسط ۰.۰۸۵ دلار بر کیلووات ساعت و برای ساعات پر بار ۰.۱۴ دلار بر کیلووات ساعت می‌باشد.

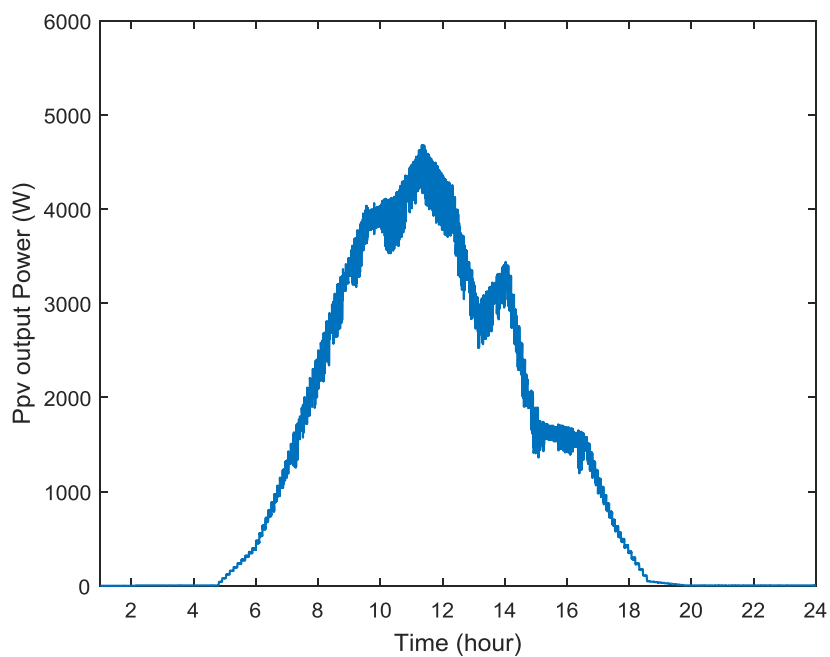
اطلاعات EV در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. مقدار C_{EV_D} که برای هر کیلووات ساعت دشارژ توان از EV به صاحب آن پرداخت می‌شود کمی بیش‌تر از هزینه خرید توان از شبکه اصلی در ساعات بار متوسط می‌باشد.

جدول ۴-۱. اطلاعات EV

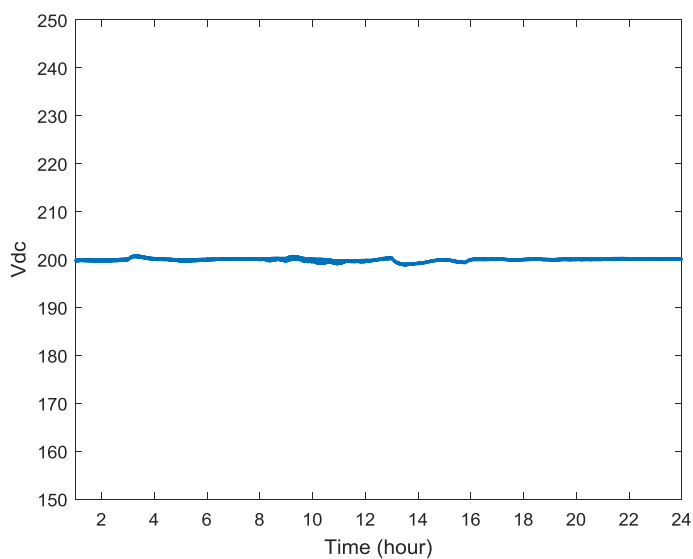
مقدار	مشخصه
۵ KWh	ظرفیت
۵ A	حداکثر جریان شارژ و دشارژ
۰.۰۹۵ \$/KWh	C_{EV_D}

۴-۳- نتایج شبیه‌سازی برای یک خودرو الکتریکی

در مرحله اول شبیه‌سازی برای یک خودرو الکتریکی انجام شده است. در ابتدا فرض می‌شود که ذخیره‌ساز به سیستم وصل نباشد و EV نیز در مدیریت انرژی مشارکت ندارد همچنین، حداکثر توان قابل انتقال بین ریزشبکه و شبکه برابر ۴ KW می‌باشد. در شکل ۴-۵، توان خروجی PV در طول شبانه‌روز نشان داده شده است.



شکل ۴-۵. توان خروجی PV در هر ساعت



شکل ۴-۶. ولتاژ ریزش‌بکه

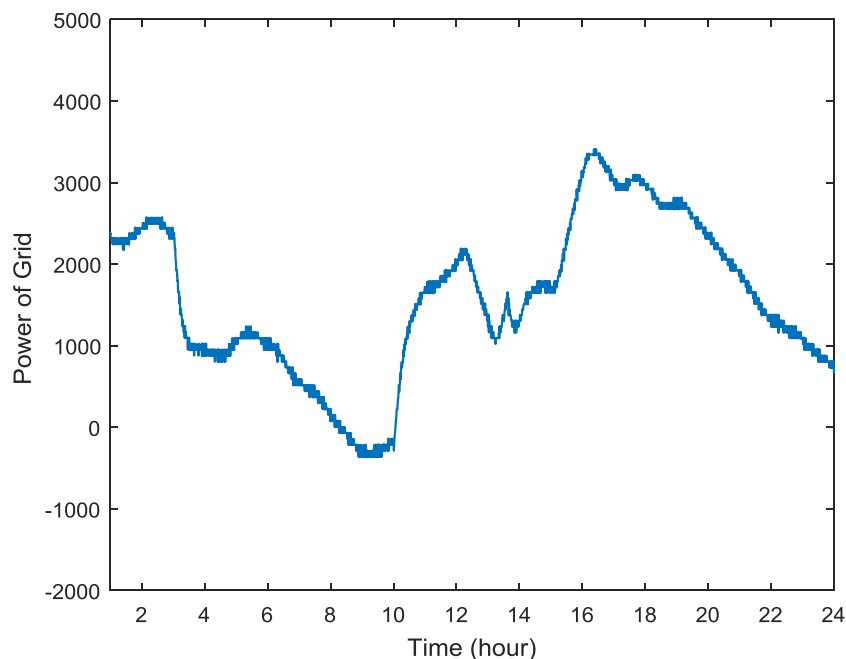
شکل ۴-۶، ولتاژ ریزش‌بکه DC در این حالت را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که ولتاژ نامی

ریزش‌بکه ۲۰۰ ولت می‌باشد، مشخص است که ولتاژ ریزش‌بکه همواره در حدود مقدار نامی بوده و

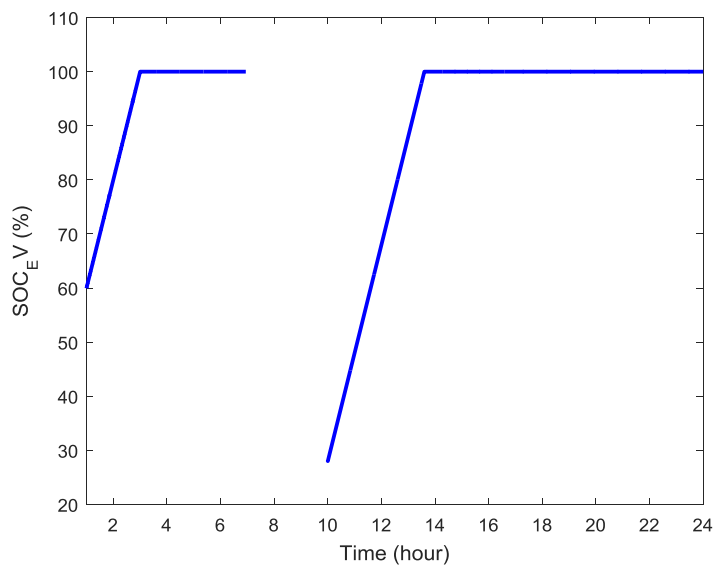
مطلوب می‌باشد.

سناریو اول - ۱-۳-۴

حالت ۱: ابتدا فرض شده است که تنها یک خودرو الکتریکی در پارکینگ ساختمان موجود باشد. SOC اولیه این خودرو ۴۰ درصد فرض شده است. این خودرو الکتریکی ساعت ۷ صبح از پارکینگ خارج می‌شود و در ساعت ۱۰ صبح به پارکینگ باز می‌گردد. در زمان بازگشت EV به پارکینگ، مقدار SOC آن حدود ۳۰ درصد می‌باشد. برای این حالت، توان مبادله‌ای ریزشکه DC با شبکه در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. در شکل ۴-۸، SOC خودرو الکتریکی نشان داده شده است.



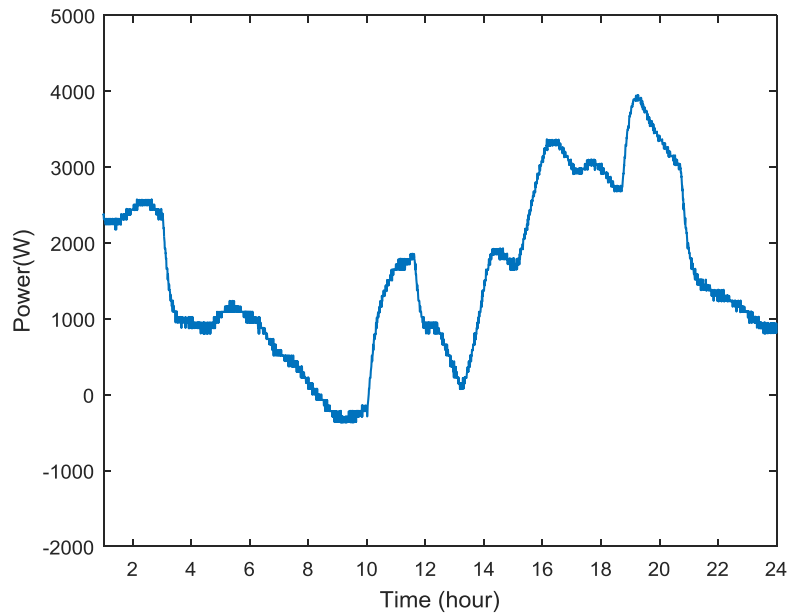
شکل ۴-۷. توان مبادله‌ای ریزشکه و شبکه اصلی برای حالت ۱



شکل ۴-۸. SOC خودرو الکتریکی برای حالت ۱ (EV از ساعت ۷ تا ۱۰ خارج از پارکینگ است)

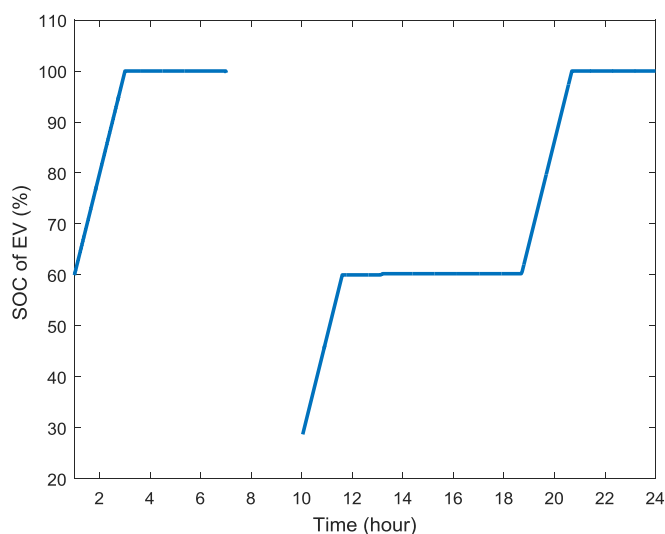
همانطور که از شکل ۴-۸ مشخص است، پیش از خارج شدن EV از پارکینگ شارژ، SOC آن برابر ۱۰۰ درصد می‌باشد از ساعت ۷ الی ۱۰ صبح که EV خارج از پارکینگ می‌باشد SOC آن مشخص نیست. در لحظه بازگشت مجدد EV به پارکینگ، با وجود این‌که بار ریزش‌بکه در حالت پرباری و بار متوسط می‌باشد ولی با توجه به اینکه EV در مدیریت انرژی شرکت نکرده است، در حالت شارژ قرار می‌گیرد و SOC آن به ۱۰۰ درصد می‌رسد.

حالت دوم: در حالت دوم فرض شده است که باز هم ساختمان فقط یک EV دارد ولی در این حالت، EV در مدیریت انرژی شرکت می‌کند و SOC_{min} و SOC_{dis} آن به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد تنظیم شده است. در این حالت، باز هم SOC اولیه EV برابر ۴۰ درصد می‌باشد و باز هم از ساعت ۷ الی ۱۰ صبح، EV خارج از پارکینگ می‌باشد. برای این حالت، توان مبادله‌ای با شبکه و SOC خودرو الکتریکی به ترتیب در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ نشان داده شده است.



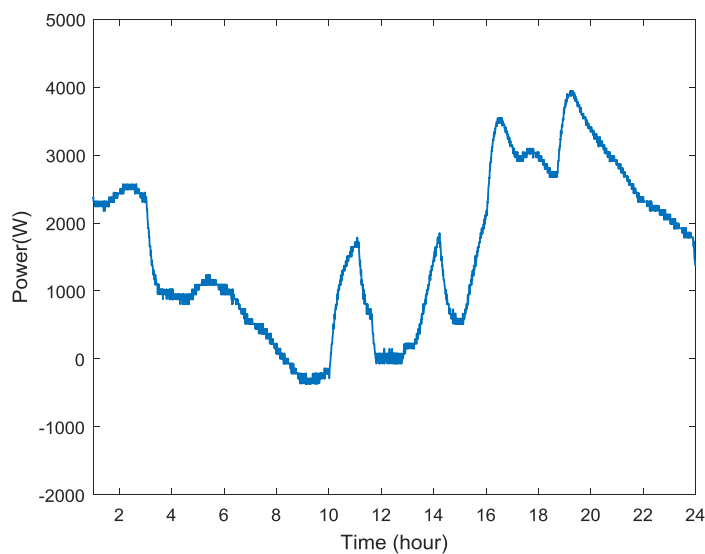
شکل ۴-۹. توان مبادله‌ای ریزشبه و شبکه اصلی برای حالت ۲

در شکل ۴-۱۰ مشخص است که EV تا ۶۰ درصد شارژ می‌شود و بعد از آن به حالت standby می‌رود زیرا ریزشبه در حالت پرباری قرار دارد. بعد از پایان ساعات پرباری و بار متوسط، در ساعات کم باری EV دوباره شروع به شارژ می‌کند و این رویه تا جایی که SOC آن برابر ۱۰۰ درصد شود ادامه می‌یابد.

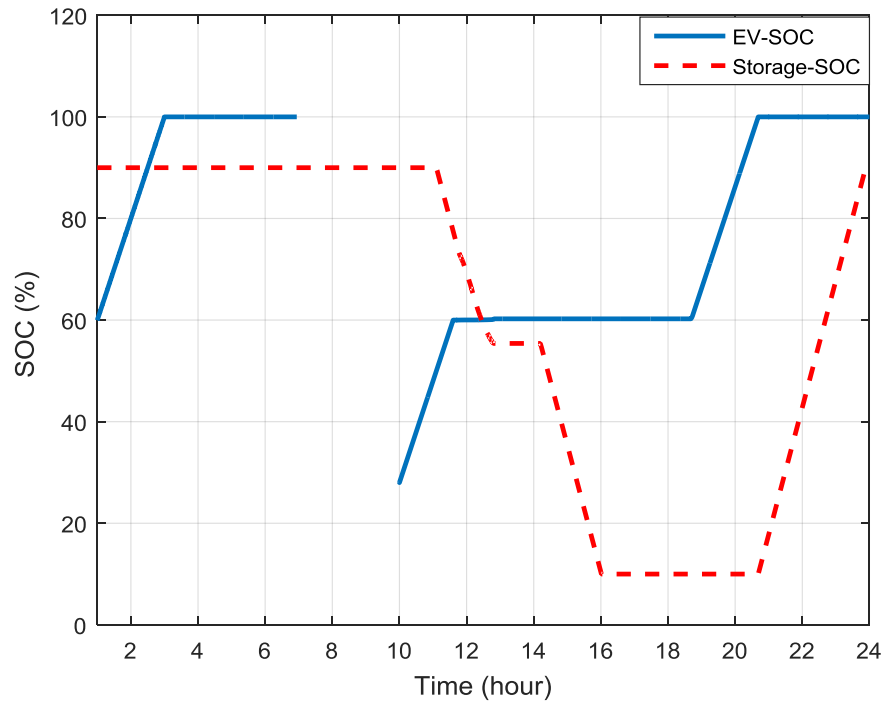


شکل ۴-۱۰. SOC باتری EV برای حالت ۲

حالت سوم: در این حالت فرض می‌شود که یک باتری با ظرفیت ۴ KW به ریزشبه متصل می‌باشد. SOC اولیه این ذخیره ساز ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است و SOC_{min} و SOC_{max} آن به ترتیب ۱۰ و ۹۰ درصد می‌باشد. برای این حالت، توان مبادله‌ای ریزشبه و شبکه اصلی در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱. توان مبادله‌ای ریزشبه و شبکه اصلی در حالت ۳

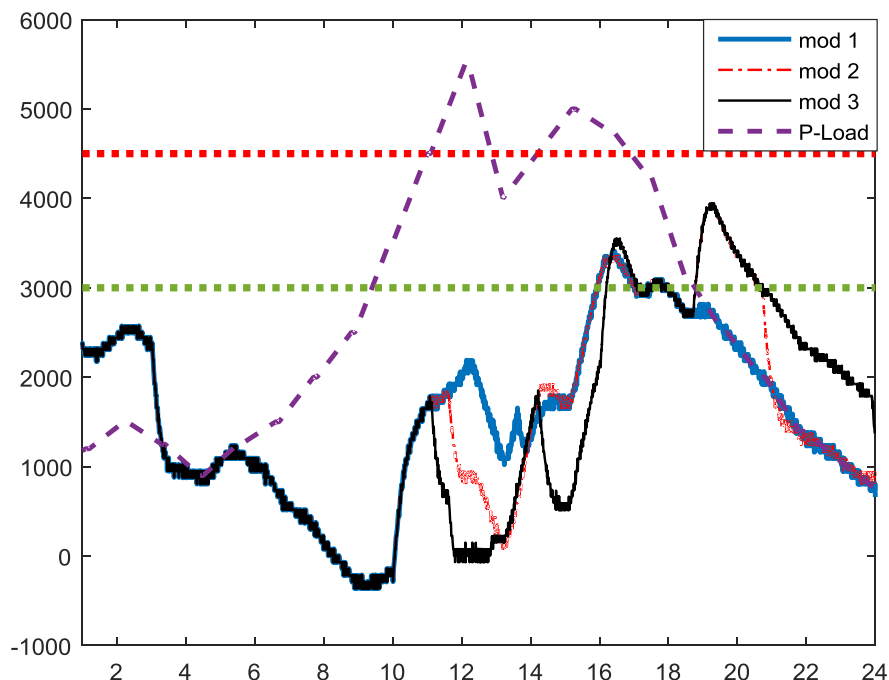


شکل ۴-۱۲. SOC خودرو الکتریکی و ذخیره ساز در حالت ۳

در شکل ۴-۱۲ نیز SOC باتری و EV نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-۱۲ مشخص است که در حالت ۳ علاوه بر مشارکت EV در مدیریت انرژی، باتری نیز در ساعات پیک شروع به دشارژ شدن می‌کند و در ساعات کم‌باری مجددا شارژ می‌شود و SOC آن در پایان کار برابر SOC اولیه آن می‌باشد.

در شکل ۴-۱۳، توان مبادله‌ای ریزشبه‌ک و شبکه اصلی برای سه حالت بیان شده در بالا بر اساس مقدار بار ریزشبه‌ک نشان داده شده است خطوط افقی نیز نشان دهنده‌ی سطح بار می‌باشند که ساعات کم‌باری، بار متوسط و پرباری را مشخص می‌کنند. بر اساس شکل ۴-۱۳ مشخص است که برای حالت ۲ و ۳، در ساعات پرباری و بار متوسط که قیمت برق گران‌تر می‌باشد، مقدار توان کم‌تری از شبکه خریداری شده است تا باعث کاهش هزینه تامین برق برای مصرف‌کنندگان ساختمان شود. همچنین مشخص است که، در حالت سوم که از ذخیره‌ساز نیز استفاده شده است، مقدار کاهش توان

در ساعات پرباری و بار متوسط بیش‌تر از حالت ۲ می‌باشد.



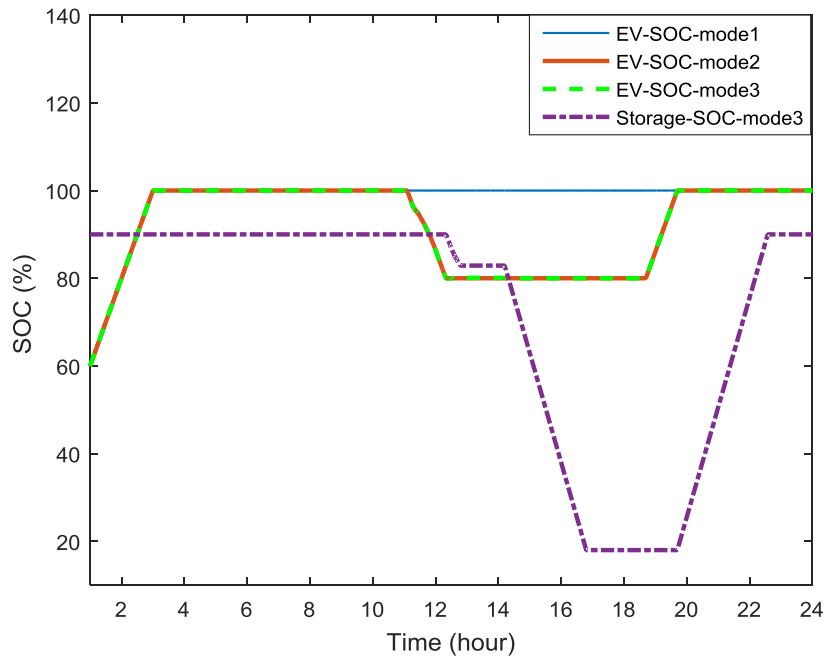
شکل ۴-۱۳. توان مبادله‌ای ریزشکه و شبکه اصلی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳

۴-۳-۲- سناریو دوم

برای بررسی بیش‌تر تاثیر مشارکت EV در مدیریت انرژی، در سناریو دوم فرض می‌شود که خودرو الکتریکی در تمام طول شبانه روز در پارکینگ بوده و از آن خارج نشود. در این سناریو نیز مانند سناریو اول، سه حالت در نظر گرفته شده است که دقیقاً مانند حالت‌های در نظر گرفته شده برای سناریو اول است با این تفاوت که EV در سه حالت، از پارکینگ خارج نمی‌شود. برای این سناریو، SOC خودرو الکتریکی در سه حالت و SOC ذخیره‌ساز در حالت ۳ در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است.

بر اساس شکل ۴-۱۴ مشخص است که EV در حالت ۲ و ۳ که در مدیریت انرژی شرکت

کرده است در ساعات پرباری دشارژ می‌شود چون SOC آن بزرگ‌تر از SOC_{dis} بوده است. ولی بعد از رسیدن سطح شارژ آن به SOC_{dis} ، EV به حالت standby می‌رود. بعد از تمام شدن ساعات پرباری و کم‌باری، EV دوباره شروع به شارژ شدن می‌کند.



شکل ۴-۱۴. SOC خودرو الکتریکی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ و SOC ذخیره ساز برای حالت ۳ در سناریو دوم

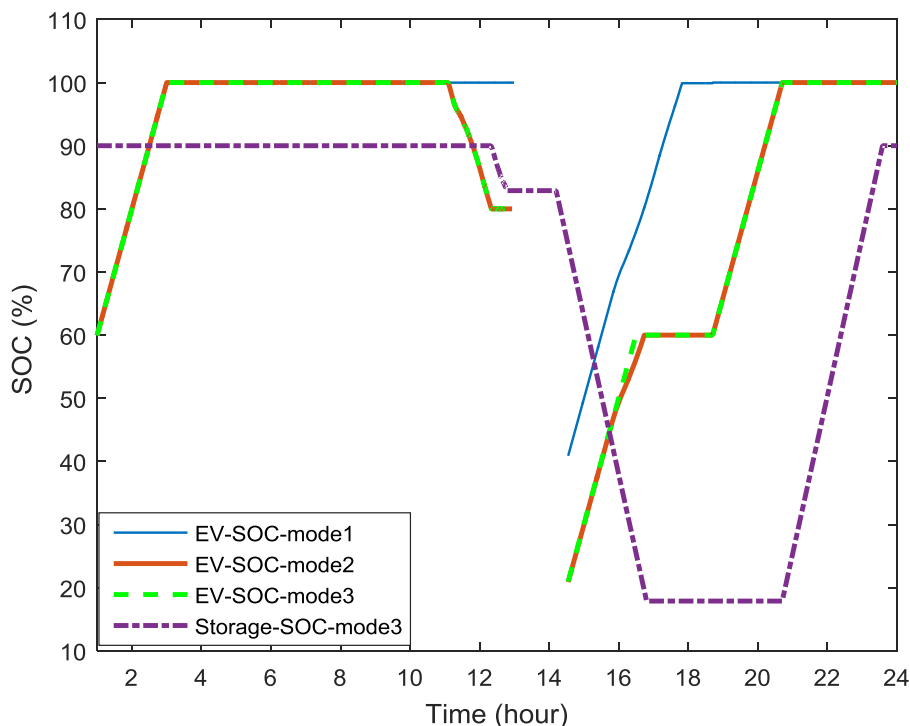
شکل ۴-۱۴ نشان می‌دهد که مانند سناریو اول، ذخیره‌ساز در ساعات کم‌باری شارژ می‌شود و در ساعات پرباری و بار متوسط دشارژ می‌شود تا مقدار توانی که لازم است از شبکه اصلی خریداری شود را کاهش دهد. SOC خودرو الکتریکی برای حالت ۲ و ۳ دقیقاً مطابق بر هم شده است.

سناریو سوم - ۳-۳-۴

برای سناریو سوم فرض شده است که EV ساعت ۱۳ از پارکینگ خارج می‌شود و بعد از مصرف ۶۰ درصد از انرژی باتری خود، در ساعت ۱۴:۳۰ به پارکینگ باز می‌گردد. مابقی شرایط مانند

سناریو اول و دوم در نظر گرفته شده است و سه حالت در نظر گرفته می‌شود که مانند سناریوهای قبل در حالت اول فقط EV حضور دارد که در مدیریت انرژی نیز شرکت نمی‌کند در حالت دوم باز هم فقط EV موجود است ولی در مدیریت انرژی شرکت می‌کند در حالت سوم علاوه بر EV، باتری نیز حضور دارد و شرایط آن مانند سناریوهای دیگر است.

برای این سناریو، SOC خودرو الکتریکی در سه حالت و SOC ذخیره‌ساز در حالت ۳ در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. از شکل ۴-۱۵ مشخص است که در حالت ۲ و ۳، EV در ساعات پرباری دشارژ می‌شود. همچنین، مشخص است که در حالت ۲، بعد از اتصال مجدد EV به سیستم، برای برخی ساعات نرخ شارژ آن کمتر می‌شود که به دلیل محدود بودن توان قابل تبادل با شبکه می‌باشد که در فصل سوم توضیح داده شد.



شکل ۴-۱۵. SOC خودرو الکتریکی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ و SOC ذخیره‌ساز برای حالت ۳ در سناریو سوم

۴-۳-۴ - مقایسه سه سناریو

در جدول ۲-۴، هزینه تامین انرژی برای سه سناریویی که در بالا توضیح داده شد نشان داده شده است. بر اساس جدول مشخص است که در سناریو اول، هزینه تامین انرژی در حالت ۲ و ۳ نسبت به حالت ۱، به ترتیب ۰.۱۴ و ۰.۴۵ دلار کاهش یافته است که تقریباً معادل ۵ و ۱۵ درصد هزینه کل می‌باشد. بنابراین، مشارکت EV باعث کاهش ۵ درصدی هزینه شده است و استفاده از ذخیره‌ساز، کاهش هزینه را ۱۰ درصد افزایش داده است که این مقدار در بلند مدت بسیار مطلوب است.

در سناریو دوم، هزینه تامین انرژی در حالت ۲ و ۳ نسبت به حالت ۱، به ترتیب ۰.۰۱۵ و ۰.۲۸ دلار کاهش یافته است که تقریباً معادل ۰.۵ و ۱۰.۸ درصد هزینه کل می‌باشد. بنابراین در این سناریو، مشارکت EV در مدیریت انرژی باعث کاهش ۰.۵ درصدی هزینه می‌شود که قابل توجه نیست ولی استفاده از ذخیره‌ساز، ۱۰.۳ درصد هزینه را کاهش می‌دهد که قابل توجه می‌باشد.

در نهایت در سناریو سوم، هزینه تامین انرژی در حالت ۲ و ۳ نسبت به حالت ۱، به ترتیب ۱.۵ و ۱۳.۷ درصد کاهش یافته است. که مانند سناریو دوم، کاهش هزینه ناشی از استفاده از ذخیره‌ساز مطلوب‌تر می‌باشد.

جدول ۴-۲. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم برای یک EV

حالت/سناریو	مقدار توان خریداری شده از شبکه	هزینه توان خریداری شده از شبکه (دلار)	توان دشارژ شده از EV	هزینه پرداختی به EV (دلار)	جمع هزینه (دلار)
حالت ۱	۳۸.۴ KWh	۲.۹۷ دلار	۰	۰	۲.۹۷
حالت ۲ سناریو اول	۳۸.۴ KWh	۲.۸۳ دلار	۰	۰	۲.۸۳
حالت ۳	۳۸.۵۵ KWh	۲.۵۲	۰	۰	۲.۵۲
حالت ۱	۳۴.۸ KWh	۲.۵۷۵	۰	۰	۲.۵۷۵
حالت ۲ سناریو دوم	۳۴.۸۵ KWh	۲.۴۶۵	۱ KWh	۰.۰۹۵	۲.۵۶
حالت ۳	۳۵ KWh	۲.۲	۱ KWh	۰.۰۹۵	۲.۲۹۵
حالت ۱	۳۷.۸ KWh	۲.۹۴	۰	۰	۲.۹۴
حالت ۲ سناریو سوم	۳۷.۸۵ KWh	۲.۸	۱ KWh	۰.۰۹۵	۲.۸۹۵
حالت ۳	۳۸ KWh	۲.۵۲	۱ KWh	۰.۰۹۵	۲.۵۳۸

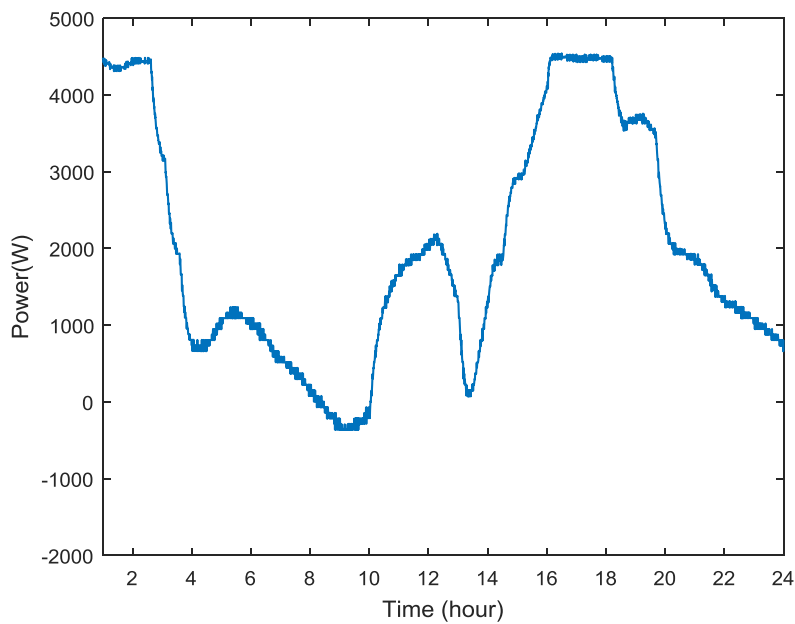
۴-۴- نتایج شبیه‌سازی برای سه خودرو الکتریکی

در ادامه، فرض شده است که ساختمان دارای سه خودرو الکتریکی می‌باشد که ظرفیت همه آنها ۵ KWh می‌باشد. سایر مشخصات این سه EV در جدول ۴-۳ نشان داده شده است. در این حالت، حداکثر توانی که ریزش شبکه می‌تواند با شبکه اصلی مبادله کند ۴.۵ KW می‌باشد.

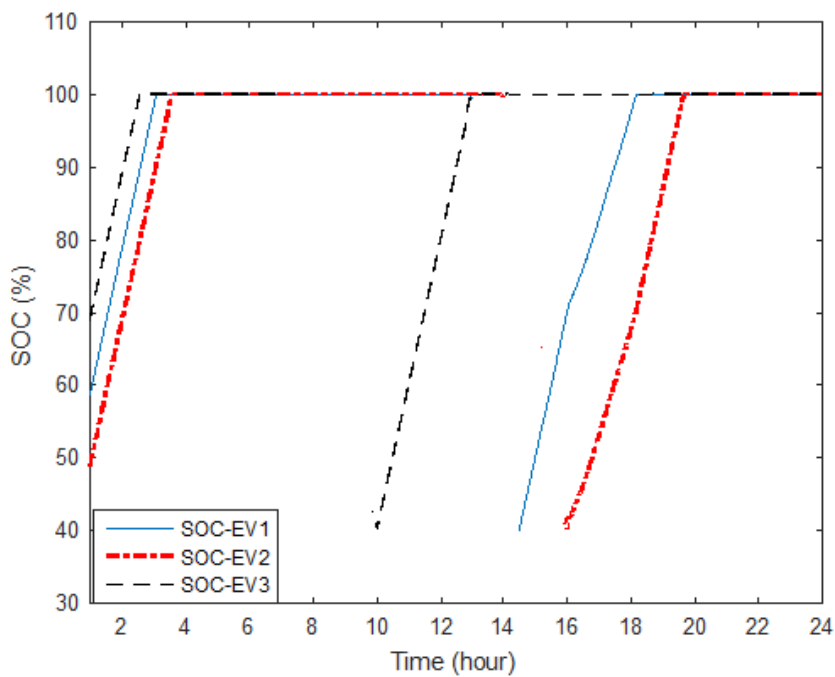
جدول ۴-۳. اطلاعات خودروهای الکتریکی

شماره EV	SOC _{min}	SOC _{dis}	SOC _{max}	C _{EV_D}	سطح شارژ اولیه(%)	زمان ترک پارکینگ	زمان بازگشت به پارکینگ
۱	۶۰	۸۰	۱۰۰	۰.۰۸	۴۰	۱۳	۱۴.۳۰'
۲	۵۰	۷۰	۱۰۰	۰.۰۸	۳۰	۱۴	۱۶
۳	۶۰	۸۰	۱۰۰	۰.۰۸	۵۰	۷	۱۰

سناریو ۱: در سناریو اول فرض شده است که هیچ یک از خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی شرکت نکرده باشند و از ذخیره‌ساز انرژی نیز استفاده نشده است. برای این حالت، توان مبادله شده بین ریزشکه و شبکه اصلی در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. در شکل ۴-۱۶ نیز، SOC تمام خودروهای الکتریکی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶. توان مبادله شده بین ریزشبکه و شبکه اصلی برای سه خودرو الکتریکی در سناریو اول

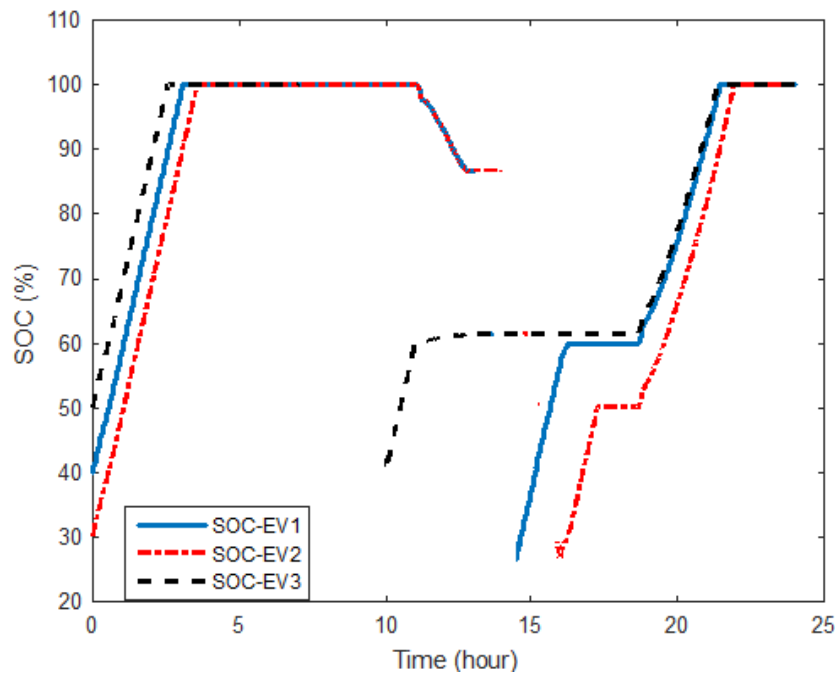


شکل ۴-۱۷. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۱

از شکل ۴-۱۶ مشخص است که در ساعات پیک بار، ریزشبکه برای چندین ساعت مجبور است که حدکثر توان مجاز را از شبکه خریداری کند این کار باعث افزایش هزینه تامین انرژی برای

ریزشبکه می‌شود و علاوه بر آن، ممکن است باعث ایجاد مشکل برای شبکه اصلی شود. از شکل ۴-۱۷ نیز مشخص است که خودرو الکتریکی ۱ و ۲ در ساعات پرباری به پارکینگ باز می‌گردند و باید در همان ساعات شارژ شوند.

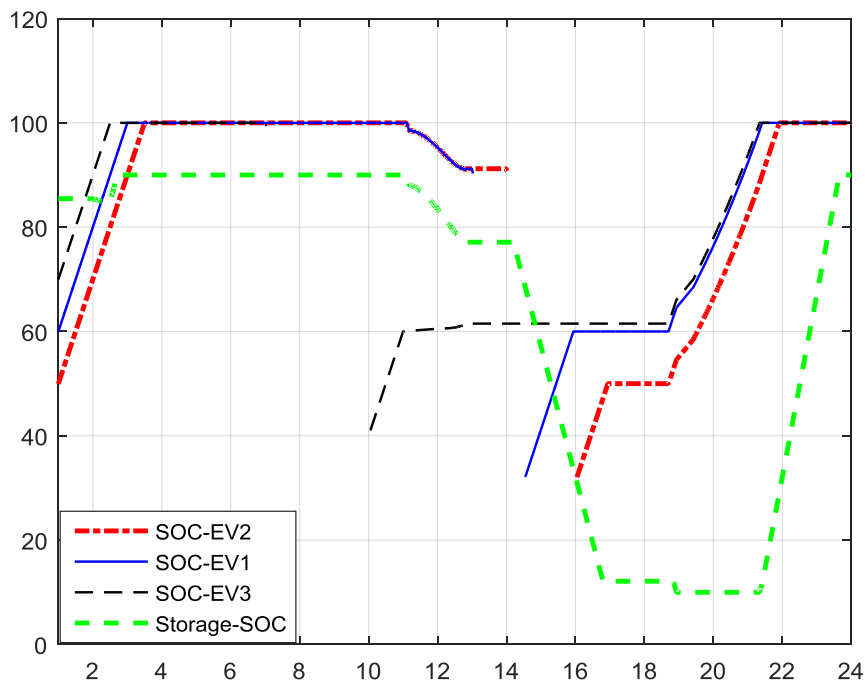
سناریو ۲: در این سناریو، هر سه خودرو الکتریکی بر اساس اطلاعات جدول ۴-۴ در مدیریت انرژی مشارکت می‌کنند در این سناریو، مانند سناریو قبل ذخیره‌ساز در نظر گرفته نشده است. شکل ۴-۱۸، SOC خودروهای الکتریکی در این سناریو را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۸. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۲

بر اساس شکل ۴-۱۸ مشخص است که با شروع ساعات پرباری، دو خودرو ۱ و ۲ در حدود ساعت ۱۰ شروع به دشارژ می‌کنند تا در این ساعات توان کم‌تری از شبکه خریداری شود. علاوه بر این بعد از بازگشت خودروها به پارکینگ، فرآیند شارژ آن‌ها بعد از رسیدن به SOC_{min} قطع می‌شود و بعد از پایان ساعات پرباری و بار متوسط، فرآیند شارژ دوباره شروع می‌شود.

سناریو ۳: در این سناریو تمام فرض‌های سناریو ۲ پابرجاست علاوه بر آن، یک باتری در نظر گرفته شده است که ظرفیت آن ۴ KWh است و مانند قبل، SOC_{min} و SOC_{max} آن به ترتیب ۱۰ و ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است. برای این سناریو، شکل ۴-۱۹ مقادیر SOC سه خودرو و SOC ذخیره‌ساز را نشان می‌دهد.

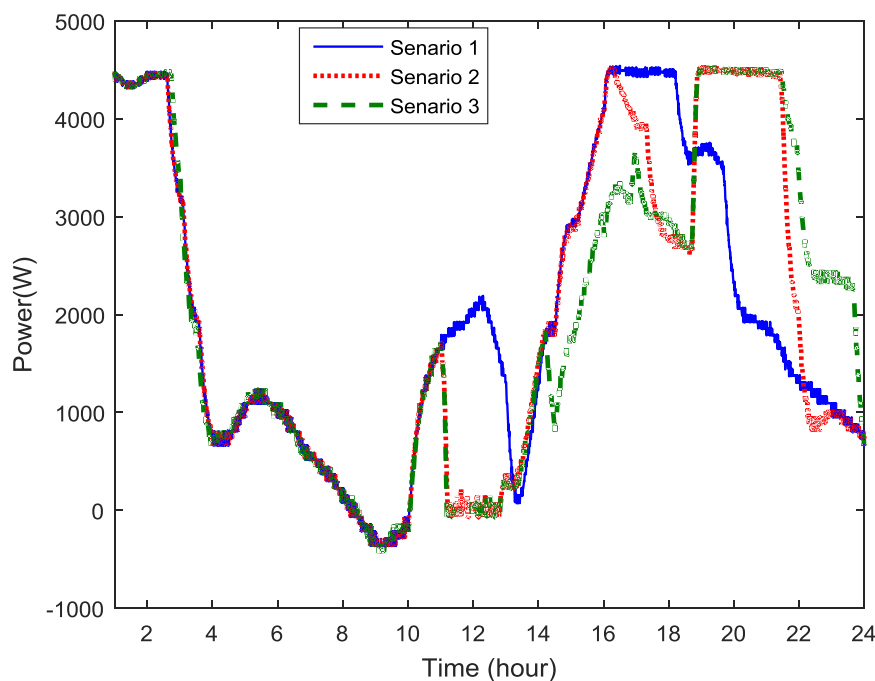


شکل ۴-۱۹. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۳

در شکل ۴-۱۹ مشخص است که در ساعات پرباری، باتری دشارژ می‌شود. با این کار، ریزش‌بکه بیش از حالت قبل می‌تواند مقدار توان خریداری شده از شبکه اصلی در ساعات پرباری را کاهش دهد که در نهایت منجر به کاهش هزینه تامین انرژی خواهد شد.

مقایسه سه سناریو: در این قسمت نتایج بدست آمده برای سه سناریو بیان شده مقایسه می‌شود. در شکل ۴-۲۰، توان مبادله‌ای ریزش‌بکه و شبکه اصلی در سه سناریو نشان داده شده است.

در این شکل مشخص است که در سناریو ۱، در ساعات پیک بار توان بیش‌تری نسبت به سناریو ۲ و ۳ از شبکه خریداری می‌شود. همچنین، مشخص است که در سناریو ۳، توان خریداری شده در ساعات پیک کاهش بیش‌تری داشته است.



شکل ۴-۲۰. توان مبادله‌ای ریزشکه و شبکه اصلی برای سناریو ۱، ۲ و ۳.

در جدول ۴-۴ نتایج حاصل برای سه سناریو بالا نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در این سه سناریو مقدار توانی که از شبکه خریداری می‌شود تقریباً برابر است اختلاف جزئی به دلیل تلفات ناشی از دشارژ خودرو الکتریکی و باتری می‌باشد.

در سناریو اول که باتری حضور نداشت و خودروهای الکتریکی نیز در مدیریت انرژی شرکت نداشتند هزینه خرید انرژی از شبکه برابر ۳.۸۰۵ دلار شده است. در سناریو دوم، هر سه خودرو در

مدیریت انرژی شرکت کردند. در این حالت هزینه خرید انرژی از ریزشبهه برابر ۳.۵۲ دلار شده است که نسبت به سناریو اول ۰.۲۸۵ دلار کاهش یافته است که معادل ۷.۵ درصد هزینه کل می‌باشد. در سناریو سوم، هزینه کل ۳.۲۱ دلار شده است که نسبت به سناریو اول، ۰.۵۹۵ دلار کاهش یافته است که معادل ۱۵.۶ درصد است. بنابراین اضافه شدن باتری باعث کاهش ۸.۱ درصدی هزینه می‌شود.

جدول ۴-۴. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم برای سه خودرو

سناریو	مقدار توان خریداری شده از شبکه	هزینه توان خریداری شده از شبکه (دلار)	توان دشارژ شده از EV (KW)	هزینه پرداختی به EV (دلار)	جمع هزینه (دلار)
سناریو ۱	۴۹.۸ KWh	۳.۸۰۵	۰	۰	۳.۸۰۵
سناریو ۲	۴۹.۸۵ KWh	۳.۴	۱.۴	۰.۱۱۲	۳.۵۱۲
سناریو ۳	۵۰ KWh	۳.۱۳	۱.۰۱	۰.۰۸	۳.۲۱

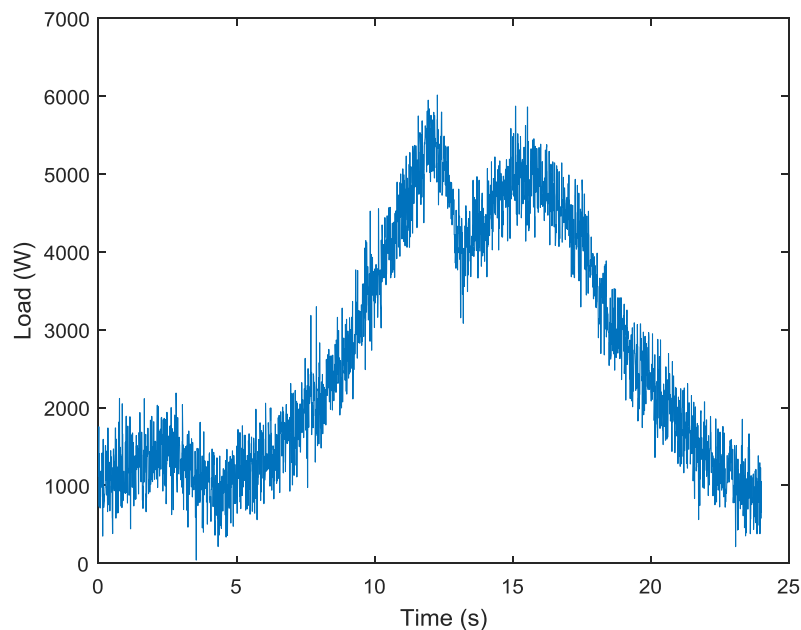
۴-۵- بررسی تاثیر عدم قطعیت بار و تصادفی بودن زمان حضور خودروها در

پارکینگ

در سناریوهای قبل، یک منحنی برای بار ریزشبهه در نظر گرفته شد. در شبکه‌های برق، بار مصرفی همواره متغیر بوده و پیش‌بینی دقیق آن امکان‌پذیر نیست. بنابراین لازم است تا تاثیر عدم قطعیت بار بر روی عملکرد الگوریتم ارائه شده بررسی شود. برای این کار، بار ریزشبهه به صورت

تصادفی در نظر گرفته شده است. برای مدلسازی عدم قطعیت بار ریزش‌بکه، بار ریزش‌بکه یک مقدار تصادفی با میانگین بار نشان داده شده در شکل ۴-۴ و با انحراف معیار ۱۰۰۰ وات فرض شده است که معادل ۲۰ درصد پیک بار می‌باشد. در شکل ۴-۲۱ منحنی بار ساعتی که به صورت تصادفی تولید شده است نشان داده شده است.

علاوه بر بار ریزش‌بکه، زمان ورود و خروج خودروهای الکتریکی به پارکینگ نیز قابل تعیین نمی‌باشد. هر یک از خودروهای الکتریکی بر حسب نیاز صاحبان آن، در هر ساعتی ممکن است پارکینگ را ترک کنند و مشخص نیست که چه زمانی به پارکینگ باز می‌گردد. تاثیر این موضوع نیز باید در عملکرد الگوریتم ارائه شده بررسی شود.



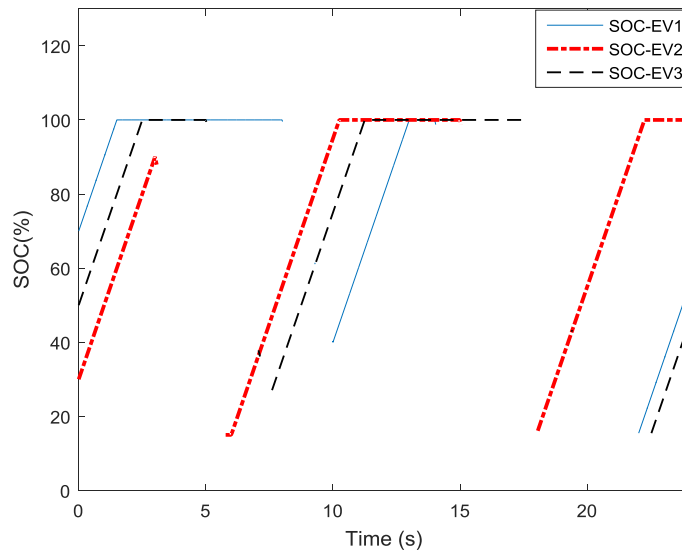
شکل ۴-۲۱. بار ساعتی ریزش‌بکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت

برای بررسی تاثیر خروج تصادفی خودروها از پارکینگ و مشخص نبودن زمان بازگشت به پارکینگ، در این سناریو فرض شده است که حضور یا عدم حضور خودروهای الکتریکی بر اساس یک

تابع تصادفی مشخص شود. برای این کار از تابع تولید تصادفی اعداد در نرم‌افزار Matlab استفاده شده است به صورتی که اگر عدد تصادفی تولید شده بزرگ‌تر از صفر باشد نشان دهنده‌ی حضور خودروهای الکتریکی در پارکینگ می‌باشد و اگر عدد تصادفی تولید شده کوچکتر از صفر باشد، نشان دهنده‌ی این است که خودرو الکتریکی خارج از پارکینگ می‌باشد.

برای این حالت، مانند حالت‌های قبل فرض شده است که پارکینگ دارای سه خودرو الکتریکی می‌باشد که ظرفیت آنها ۵ کیلو وات ساعت می‌باشد. شارژ اولیه خودروها به ترتیب ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. در لحظه شروع شبیه‌سازی، حالت اولیه خودروهای الکتریکی (حضور یا عدم حضور در پارکینگ) به صورت تصادفی مشخص می‌شود. مانند حالت قبل، هزینه پرداختی به خودروهای الکتریکی برای دشارژ آنها ۰.۰۸ دلار بر کیلو وات ساعت در نظر گرفته شده است.

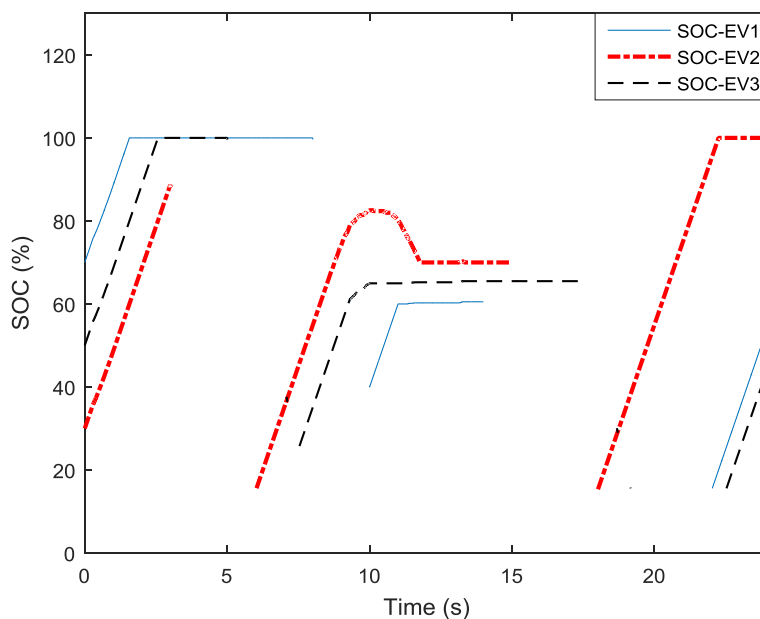
مانند حالت‌های قبل سه سناریو برای این قسمت در نظر گرفته شده است. برای سناریو اول فرض شده است که هیچ یک از خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی مشارکت نداشته باشند. همچنین، ذخیره‌ساز انرژی نیز در نظر گرفته نشده است. شکل ۴-۲۲ مقدار SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو اول را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۲. شکل ۴-۱۹. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۱

بر اساس شکل ۴-۲۲ مشخص است که هر سه خودرو دو بار در روز پارکینگ را ترک می‌کنند ولی زمان ترک پارکینگ و بازگشت خودروهای به پارکینگ با هم متفاوت است.

در سناریو دوم فرض می‌شود که هر سه خودرو الکتریکی در مدیریت انرژی شرکت می‌کنند ولی ذخیره‌ساز در نظر گرفته نمی‌شود. برای این سناریو، SOC خودروهای الکتریکی در شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است. برای اینکه امکان مقایسه سناریوهای مختلف ممکن باشد، در سناریو دوم و سوم، مقدار بار ساعتی ریزش‌بکه و ساعات ورود و خروج خودروهای به پارکینگ بر اساس مقادیر بدست آمده برای سناریو اول قرار داده شده است.

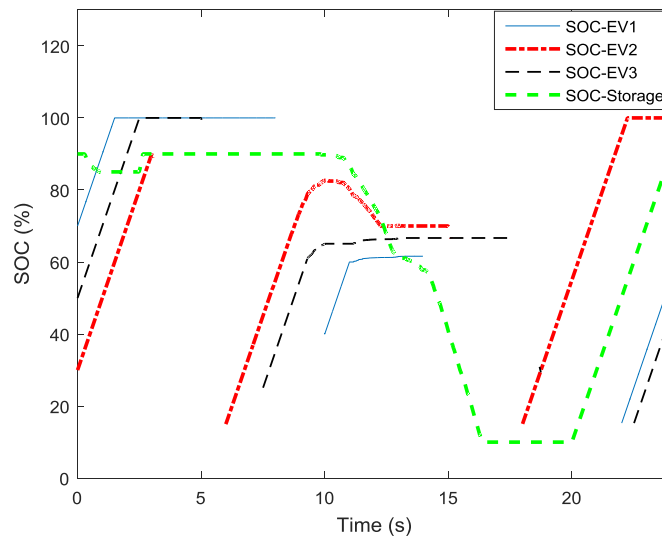


شکل ۴-۲۳. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۲

بر اساس شکل ۴-۲۳ مشخص است که در این سناریو، در ساعات پیک بار خودرو الکتریکی شماره دو شروع به دشارژ می‌کند. همچنین، شارژ دو خودرو دیگر نیز در ساعات پیک بار متوقف می‌شود تا مقدار توان دریافتی از شبکه کاهش یابد.

در نهایت در سناریو سوم علاوه بر خودروهای الکتریکی، یک ذخیره‌ساز نیز در نظر گرفته شده است. ظرفیت ذخیره‌ساز مانند حالت‌های قبلی برابر ۴ کیلو وات ساعت می‌باشد و SOC اولیه آن ۰.۹ در نظر گرفته شده است. در شکل ۴-۲۴ مقادیر SOC خودروهای الکتریکی و ذخیره‌ساز نشان داده شده است. بر اساس این شکل مشخص است که در ساعات پیک بار، خودروهای الکتریکی دشارژ شده و یا شارژ آنها متوقف می‌شود تا توان خریداری شده از شبکه در این ساعات کاهش داده شود. علاوه بر این، ذخیره‌ساز نیز با شارژ شدن در ساعات کم‌باری و دشارژ در ساعات پیک بار، در مدیریت انرژی شرکت کرده و باعث کاهش نیاز به توان شبکه در ساعات پیک بار می‌شود. از شکل ۴-۲۴ مشخص است که SOC ذخیره‌ساز در زمان شروع و پایان شبیه‌سازی برابر است. همچنین، SOC خودروهای

الکتریکی در پایان شبیه‌سازی در هر سه سناریو برابر است.



شکل ۴-۲۴. SOC خودروهای الکتریکی برای سناریو ۳

در جدول ۴-۵ نتایج حاصل برای سه سناریو بالا آورده شده است. در سناریو اول که باتری حضور نداشت و خودروهای الکتریکی نیز در مدیریت انرژی شرکت نداشتند هزینه خرید انرژی از شبکه برابر ۳.۹۹ دلار شده است.

در سناریو دوم، هر سه خودرو در مدیریت انرژی شرکت کردند. در این حالت هزینه انرژی برابر ۳.۴۷۱ دلار شده است که نسبت به سناریو اول ۰.۵۱۹ دلار کاهش یافته است که معادل ۱۳ درصد هزینه کل می‌باشد. در سناریو سوم، هزینه کل ۳.۲۰۴ دلار شده است که نسبت به سناریو اول، ۰.۷۸۶ دلار کاهش یافته است که معادل ۱۹.۶ درصد است. بنابراین اضافه شدن باتری باعث کاهش ۶.۶ درصدی هزینه می‌شود.

جدول ۴-۵. هزینه تامین انرژی در سناریو اول و دوم و سوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت

سناریو	مقدار توان خریداری شده از شبکه	هزینه توان خریداری شده از شبکه (دلار)	توان دشارژ شده از EV (KW)	هزینه پرداختی به EV (دلار)	جمع هزینه (دلار)
سناریو ۱	۵۲.۶ KWh	۹۹.۳	۰	۰	۹۹.۳
سناریو ۲	۵۲.۲ KWh	۳.۴۱۵	۰.۷	۰.۰۵۶	۳.۴۷۱
سناریو ۳	۵۲.۵ KWh	۳.۱۴	۰.۸	۰.۰۶۴	۳.۲۰۴

فصل ۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدیریت انرژی در ساختمان‌های دارای تولیدات PV و خودروهای الکتریکی بررسی شد. در فصل اول، مقدمه‌ای درباره ریزش شبکه‌ها و بخصوص ریزش شبکه‌های DC بیان شد و لزوم تحقیق و ساختار پایان نام بیان شد. در فصل دوم مفاهیم مهم درباره ریزش شبکه‌ها و ساختار آن‌ها بیان شد و در نهایت مقالاتی که در آن‌ها مدیریت انرژی در ساختمان‌ها و خانه‌های هوشمند بررسی شده بود مرور شد. بررسی روش‌های ارائه شده برای مدیریت انرژی ریزش شبکه‌ها DC در ساختمان‌ها نشان داد که هنوز یک روش جامع برای مدیریت انرژی و شارژ هوشمند خودروهای الکتریکی در ساختمان‌های هوشمند امروزه ارائه نشده است.

در فصل سوم، مزایای استفاده از ریزش شبکه DC برای ساختمان‌های هوشمند بیان شد، با توجه به مزایای بیان شده برای ریزش شبکه DC، در این پژوهش سیستم مورد مطالعه یک ریزش شبکه DC در نظر گرفته شد. مزایا و معایب روش‌های ارائه شده برای مدیریت ریزش شبکه‌های DC بیان شد با توجه به مطالب بیان شده در فصل سوم، بیش‌تر روش‌های ارائه شده یا از روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی استفاده می‌کنند که به دلیل دشواری و پیچیدگی بالا، برای ساختمان‌ها مناسب نیست و یا از تولید کننده‌هایی نظیر سوخت دیزل ژنراتور استفاده کرده بودند که به دلیل تولید آلودگی، برای امکان

مسکونی خالی از ضرر نیست. بنابراین، الگوریتم‌هایی که تاکنون برای مدیریت انرژی یک ساختمان هوشمند دارای PV و EV ارائه شده است دارای کارایی لازم و مطلوب نیستند.

با توجه به مطالب گفته شده، در این پژوهش یک روش جدید برای مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند با شبکه توزیع DC، مجهز به PV و پارکینگ EV ارائه شد که علاوه بر مدیریت انرژی و حفظ پایداری سیستم، می‌توانست زمان و مقدار شارژ خودروهای الکتریکی را نیز بهینه‌سازی کند. در الگوریتم ارائه شده، هر یک از خودروهای الکتریکی بصورت داوطلبانه می‌توانند در مدیریت انرژی شرکت کنند ولی برای تشویق صاحبان EV برای مشارکت، هر خودرویی که در مدیریت انرژی شرکت می‌کند، بر اساس میزان مشارکت در مدیریت انرژی، پاداش دریافت می‌کند.

علاوه بر مشارکت خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی، یک ذخیره‌ساز که متعلق به EMS است نیز در نظر گرفته شده که می‌توانست بیش از پیش باعث کاهش هزینه تامین انرژی برای ریزشبکه DC یا همان ساختمان هوشمند شود.

برای اثبات کارایی روش ارائه شده، الگوریتم ارائه شده برای مدیریت انرژی بر روی یک سیستم نمونه آزمایش شد. آزمایش با شبیه‌سازی سیستم در نرم‌افزار Matlab انجام شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم ارائه شده حتی با وجود عدم حضور ذخیره‌ساز و عدم مشارکت خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی، می‌تواند تعادل توان در ریزشبکه را حفظ کند. ولی حضور ذخیره‌ساز و مشارکت خودروهای الکتریکی در مدیریت انرژی، باعث کاهش هزینه تامین انرژی می‌شود که این کاهش هزینه گاهی بیش از ۱۵ درصد هزینه کلی را شامل می‌شد.

برای بررسی بیشتر کارایی الگوریتم ارائه شده، عدم قطعیت در بار ریزشبکه و همچنین زمان ورود خودروهای الکتریکی به پارکینگ و خروج از پارکینگ در نظر گرفته شد. در این حالت نیز مانند حالت‌های قبل سه سناریو در نظر گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در این حالت نیز مشارکت

خودروهای الکتریکی و ذخیره‌ساز در مدیریت انرژی باعث کاهش هزینه تامین انرژی می‌شود. که این کاهش به مقدار ۱۳ و ۶.۶ درصد بدست آمد.

با توجه به سناریوها و حالت‌هایی که برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد و نتایج بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ذخیره‌ساز معمولا مفیدتر از مشارکت خودروهای الکتریکی بود ولی باید توجه داشت که استفاده از ذخیره‌ساز هزینه در پی خواهد داشت ولی با توجه به میزان کاهش هزینه ناشی از استفاده از آن، هزینه‌ای که بابت خرید، تعمیر و نگهداری ذخیره‌ساز پرداخت می‌شود خیلی زود با کاهش هزینه انرژی ساختمان جبران می‌شود.

۵-۲- پیشنهادات

نتایج شبیه‌سازی سیستم مورد آزمایش نشان داد که استفاده از ذخیره‌ساز انرژی می‌تواند هزینه تامین انرژی برای ساختمان را کاهش داده و بار سیستم در ساعات پیک را به ساعات غیر پیک انتقال دهد. میزان تاثیر ذخیره‌ساز بر روی کاهش هزینه به ظرفیت آن بستگی دارد که این موضوع در این پژوهش بررسی نشد. بنابراین، مطالعه و بررسی میزان تاثیر ذخیره‌سازها در کاهش هزینه تامین انرژی و تاثیر ظرفیت ذخیره‌ساز بر آن، می‌تواند موضوع مطالعه تحقیقات آینده باشد.

مراجع

- [1] Shao, S., Pipattanasomporn, M., Rahman, S., (2011). Demand response as a load shaping tool in an intelligent grid with electric vehicles. *IEEE Trans Smart Grid*; 2(4):624e31.
- [2] Amirioun, M. H., & Kazemi, A. (2014). A new model based on optimal scheduling of combined energy exchange modes for aggregation of electric vehicles in a residential complex. *Energy*, 69, 186-198.
- [3] Wencong, S., Mo-Yuen, C., (2012). Performance evaluation of an EDA-based large-scale plug-in hybrid electric vehicle charging algorithm. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(1): 308e15.
- [4] Sortomme, E., El-Sharkawi, MA., (2011). Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE Trans Smart Grid*;2(1): 131e8.
- [5] Tushar, W., Saad, W., Poor, HV., Smith, DB., (2012). Economics of electric vehicle charging: a game theoretic approach. *IEEE Trans Smart Grid*;3(4): 1767e78.
- [6] Gong, Q., Midlam-Mohler, S., Marano, V., Rizzoni, G., (2012). Study of PEV charging on residential distribution transformer life. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(1): 404e12.
- [7] Smith, WJ., (2010). Can EV (electric vehicles) address Ireland's CO2 emissions from transport? *Energy*; 35(12):4514e21.
- [8] Steen D, Tuan LA, Carlson O, Bertling L. (2012). Assessment of electric vehicle charging scenarios based on demographical data. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(3):1457e68.
- [9] I. Houssamo, F. Locment, M. Sechilariu, Experimental analysis of impact of MPPT methods on energy efficiency for photovoltaic power systems, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 46 (2013) 98–107.
- [10] B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papatlianassiou, and N. Hatziargyriou, "Making Microgrids Work," *Power Energy Mag. IEEE*, vol. 6, no. 3, pp. 40–53, 2008.
- [11] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids: An Overview of

- On going Research, Development, and Demonstration Projects,”IEEE Power Energy Mag., pp. 78–94, 2007.
- [12] R.H.Lasseter and P.Paigi, “Microgrid: a Conceptual Solution,” in IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, 2004, pp. 4285–4290.
- [13] K. A. Nigim and W.-J.Lee, “Microgrid Integration opportunities and challenges,” in IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1–6.
- [14] Q.Zhong, L.Lin, Y.Zhang, and Z.Wu, “Study on the controls strategies and dynamic performance of DC distribution network,” in IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, pp. 1–5.
- [15] D.Chen and L.Xu, “Autonomous DC voltage control of a DC microgrid with multiple slack terminals,” IEEE Trans. Power System, vol. 27, no. 4, pp. 1897–1905, 2012.
- [16] S.Anand, B.G.Fernandes, and J.Guerrero, “Distributed control to ensure proportional load sharing and improve voltage regulation in low-voltage DC microgrids,” IEEE Trans. Power Electron, vol. 28, no. 4, pp. 1900–1913, Apr. 2013.
- [17] Rahimi, F., & Ipakchi, A. (2010). Demand response as a market resource under the smart grid paradigm. Smart Grid, IEEE Transactions on, 1(1), 82-88.
- [18] Saber, A. Y., & Venayagamoorthy, G. K. (2011). Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 58(4), 1229-1238.
- [19] Sedano, R., Levy, R., Goldman, C.(2010). Demand response with and without smart grid. Available online: <http://www.narucmeetings.org>.
- [20] J.Li, X.Zhang, and W.Li, “An efficient wind-photovoltaic hybrid generation system for DC microgrid,” in IET 8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, 2009, pp. 1–6.
- [21] B.K.Johnson and R.H.Lasseter, “An industrial power distribution system featuring ups properties,” in Power Electronics Specialists Conference, 1993, pp. 759 – 765.
- [22] Z.H.Jian, Z.Y.He, J.Jia, and Y.Xie, “A review of control strategies for DC microgrid,” in Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing, 2013, pp. 666–671.

- [23] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. De Vicuña, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop controlled AC and DC microgrids, a general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, 2011.52
- [24] T. Logenthiran, D. Srinivasan, A.Khambadkone, and H.N.Aung, "Multiagent system for real-time operation of a microgrid in real-time digital simulator," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 2, pp. 925–933, 2012.
- [25] H.Kakigano, A.Nishino, and T.Ise, "Distribution voltage control for DC microgrid with fuzzy control and gain scheduling Control," in *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, 2011, pp. 725 – 730.
- [26] P. Thounthong, S. Sikkabut, A. Luksanasakul, P. Koseeyaporn, P. Sethakul, S.Pierfederici, and B.Davat, "Fuzzy logic based DC bus voltage control of a Stand alone photovoltaic/fuelcell/supercapacitor Power Plant," in *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2012, pp. 725 – 730.
- [27] Sundstrom, O., Binding, C., (2012). Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(1): 26e37.
- [28] Linni, J., Honghong, X., Guoqing, X., Xinyu, Z., Dongfang, Z., Shao, ZY., (2013). Regulated charging of plug-in hybrid electric vehicles for minimizing load variance in household smart microgrid. *IEEE Trans Ind Electron*; 60(8):3218e26.
- [29] Yifeng, H., Venkatesh, B., Ling, G., (2012). Optimal scheduling for charging and discharging of electric vehicles. *IEEE Trans Smart Grid*, 3(3): 1095e105.
- [30] Wu, D., Aliprantis, DC. ,Ying , L., (2011). On the choice between uncontrolled and controlled charging by owners of PHEVs. *IEEE Trans Power Deliv*; 26(4):268e4.
- [31] Saber, AY. ,Venayagamoorthy , GK., (2012). Resource scheduling under uncertainty in a smart grid with renewables and plug-in vehicles. *Syst J IEEE*; 6(1):103e9.
- [32] Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S., (2012). An algorithm for intelligent home energy management and demand response Analysis. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(4):2166e73.
- [33] Fan, Z., (2012). A distributed demand response algorithm and its application to PHEV charging in smart grids. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(3):1280e90.

- [34] Nunna, H., Doolla, S., (2012), Demand response in smart distribution system with multiple microgrids. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(4):1641e9.
- [35] Kempton, W., Tomi_c, J., (2005). Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue. *J Power Sources*; 144(1):268e79.
- [36] Sousa, T., Morais, H., Soares, J., Vale, Z., (2012). Day-ahead resource scheduling in smart grids considering vehicle-to-grid and network constraints. *Appl Energy*; 96:183e93.
- [37] Battistelli, C., Baringo, L., Conejo, A., (2012). Optimal energy management of small electric energy systems including V2G facilities and renewable energy sources. *Electr Power Syst Res*; 92:50-9.
- [38] Pang, C., Dutta, P., Kezunovic, M., (2012). BEVs/PHEVs as dispersed energy storage for V2B uses in the smart grid. *IEEE Trans Smart Grid*; 3(1):473e82.
- [39] Sanchez-Martin, P., Sanchez, G., Morales-Espana, G., (2012). Direct load control decision model for aggregated EV charging points. *IEEE Trans Power Syst*; 27\۱۵۷۷:(۳)-84.
- [40] Guille, C., Gross, G., (2009). A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy Policy*; 37(11):4379-90.
- [41] Brooks, A., Lu, E., Reicher, D., Spirakis, C., Weihl, B., (2010). Demand dispatch. *IEEE Power Energy Mag*; 8(3):20-9.
- [42] Han, S., Han, S., & Sezaki, K. (2010). Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation. *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 1(1), pp. 65-72.
- [43] Honarmand, M., Zakariazadeh, A., Jadid, S., (2013). Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition. *Energy*; 65:572-9.
- [44] Lefeng, S., Qian, Z., Yongjian, P., (2013). The reserve trading model considering V2G Reverse. *Energy*; 59(0):50-5.
- [45] Sandels, C., Franke, U., Ingvar, N., Nordstrom, L., Hamren, R., (2010). Vehicle to grid Monte Carlo simulations for optimal aggregator strategies. In: *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, pp. 1-8.
- [46] Shafie-khah, M., Parsa Moghaddam, M., Sheikh-El-Eslami, MK., Rahmani-

- Andebili, M., (2012). Modeling of interactions between market regulations and behavior of plug-in electric vehicle aggregators in a virtual power market environment. *Energy*; 40(1):139-50.
- [47] F. Cucchiella, I. D'Adamo, M. Gastaldi, S.C.L. Koh, Renewable energy options for buildings: performance evaluations of integrated photovoltaic systems, *Energy and Buildings* 55 (2012) pp. 208–217.
- [48] T. Hwang, S.Kang, J.T.Kim, Optimization of the building integrated photovoltaic system in office buildings—focus on the orientation, inclined angle and installed area, *Energy and Buildings* 46 (2012) 92–104.
- [49] T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, M. Mahmoud, Optimal sizing of building integrated hybrid PV/diesel generator system for zero load rejection for Malaysia, *Energy and Buildings* 43 (12) (2011) 3430–3435.
- [50] S. Subiyanto, A. Mohamed, M.A. Hannan, Intelligent maximum power point tracking for PV system using Hopfield neural network optimized fuzzy logic controller, *Energy and Buildings* 51 (2012) 29–38.
- [51] J. Lagorse, D. Paire, A. Miraoui, A multi-agent system for energy management of distributed power sources, *Renewable Energy* 35 (1) (2010) 174–182.
- [52] H. Kanchev, L. Di, F. Colas, V. Lazarov, B. Francois, Energy management and operational planning of a microgrid with a PV-based active generator for smart grid applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 58 (2011) 4583–4592.
- [53] M. Sechilariu, B.C. Wang, F. Locment, Building integrated photovoltaic system with energy storage and smart grid communication for buildings, *IEEE Transactions on Industrial Electronics, Special Issue Distributed Generation and Micro-grids* 60 (2013) 1607–1618.
- [54] H. Zhang, A. Davigny, F. Colas, Y. Poste, B. Robyns, Fuzzy logic based energy management strategy for commercial buildings integrating photovoltaic and storage systems, *Energy and Buildings* 54 (2012) ,pp. 196–206.
- [55] Y.K. Chen, Y.C. Wu, C.C. Song, Y.S. Chen, Design and implementation of energy management system with fuzzy control for dc microgrid systems, *IEEE Transactions on Power Electronics* 28 (2013) ,pp. 1563–1570.
- [56] Wi YM, Lee JU, Joo SK. Electric vehicle charging method for smart homes/buildings with a photovoltaic system. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 2013 ,59(2), 323-8.
- [57] Byeon, G., Yoon, T., Oh, S. and Jang, G., 2013. Energy management strategy of the DC distribution system in buildings using the EV service model. *IEEE*

transactions on power electronics, 28(4), pp.1544-1554.

- [58] Sechilariu M, Wang B, Locment F. Building-integrated microgrid: Advanced local energy management for forthcoming smart power grid communication. Energy and Buildings. 2013 Apr 30, 59, pp. 236-43.

Abstract:

The dc distribution system is considered as a prospective system according to the increase of dc loads and dc output type distribution energy resources (DERs) such as photovoltaic (PV) systems and fuel cells. Since the dc distribution system has many advantages such as feasible connection of DERs and electric vehicles (EVs), reduction of conversion losses between dc output sources and loads, no reactive power issues, it is very suitable for industrial and commercial buildings interfaced with DERs and EVs. The establishment of an appropriate energy management strategy (EMS) based on the economic point of view can reduce energy costs of buildings and provide benefits to participants in energy management. In this work, a new EMS for a dc distribution system in buildings is being proposed. The proposed method is based on the participation of electric vehicles in energy management and use of Energy storage system. To verify the performances of the proposed algorithm, computer simulation and economic analysis are being performed where the results show that the proposed EMS reduces energy costs, motivates EV owners, and can be applied to the dc distribution buildings.

Keywords: Intelligent building, PV, DC microgrid, electric vehicle



Shahrood University Of Technology

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

MSc Thesis in Electrical Machines Engineering

**Energy Management of Intelligent Building including Photovoltaic
Power Sources and Plug-in Electric Vehicles**

By: Meysam Karimi

Supervisor:

Dr. AminHajizadeh

Advisor:

Dr. Ali Dastfan

June 2016

