

یکپارچه سازی وسایل نقلیه برقی در شبکه هوشمند: مروری بر تکنولوژی های وسیله نقلیه

## به شبکه و تکنیک های بهینه سازی

### چکیده

بحران انرژی و معضلات زیست محیطی موجب پذیرش وسایل نقلیه برقی به عنوان یک گزینه حمل و نقل جایگزین در وسایل نقلیه احتراق داخلی متداول شده است. اخیراً، ارائه مفهوم شبکه هوشمند در شبکه هوشمند موجب ارائه نقش وسایل نقلیه برقی به شکل تکنولوژی وسیله نقلیه به شبکه شده است. تکنولوژی وسیله نقلیه به شبکه موجب تبادل انرژی دو سویه بین وسایل نقلیه برقی و شبکه انرژی می شود که موجب ارائه خدمات متعدد در شبکه انرژی مانند تنظیم شبکه انرژی، ذخیره چرخان، اصلاح بیشینه بار، تعدیل بار و جبران توان راکتیو می شود. با توجه به این که پیاده سازی تکنولوژی وسیله نقلیه به شبکه به عنوان یک مسئله تعهد واحد پیچیده با اهداف و محدودیت های متناقض شناخته می شود، تکنیک های بهینه سازی به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرند. این مقاله به بررسی این چارچوب، مزیت ها و چالش های تکنولوژی وسیله نقلیه به شبکه می پردازد. این مقاله همچنین تکنیک های اصلی بهینه سازی را جهت دستیابی به اهداف مختلف وسیله نقلیه به شبکه با حل محدودیت های مختلف ارائه می کند.

### عناوین

- 1- مقدمه
- 2- مفهوم وسیله نقلیه به شبکه و چارچوب
- 3- جریان انرژی وسیله نقلیه به شبکه

3-1 V2G یک جهت

3-2 V2G دو جهت

4- مزیت ها و چالش های V2G

4-1 سرویس ها و مزیت های V2G

1-1-4 سرویس های فرعی

2-1-4 پشتیبانی توان فعال

3-1-4 جبران انرژی راکتیو

4-1-4 پشتیبانی و حمایت از منابع انرژی تجدید شذنی

2-4 چالش های V2G

1-2-4 استهلاک باتری

2-2-4 هزینه سرمایه گذاری بالا

3-2-4 موانع اجتماعی

5- بهینه سازی الگوریتم V2G

5-1 روش های بهینه سازی

1-1-5 الگوریتم ژنتیک (GA)

2-1-5 بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)

2-5 اهداف بهینه سازی

1-2-5 هزینه عملیات

2-2-5 انتشار دی اکسید کربن

3-2-5 مزیت

4-2-5 حمایت از تولید انرژی تجدید پذیر

5-2-5 منحنی بار هدف و تلفات انرژی

5-3 محدودیت ها و موانع بهینه سازی

5-3-1 سیستم انرژی

5-3-2 وسیله نقلیه برقی

6- نتیجه گیری

مراجع

1- مقدمه

بخش حمل و نقل دارای بیشترین سهم از رشد مصرف کل انرژی در جهان می باشد. سهم عمده رشد مصرف انرژی در بخش حمل و نقل ناشی از رشد جمعیت و رشد بالای اقتصادی است. افزایش سریع تقاضای انرژی منجر به انتشار بیش از حد دی اکسید کربن و بحران انرژی خواهد شد. در بسیاری از کشور ها، طرح های تعدیلی جهت دستیابی به هدف کاهش مصرف انرژی و یکی از مهم ترین رویکردها در برقی کردن حمل و نقل ارائه شده اند.

وسیله نقلیه برقی به عنوان یک گزینه حمل و نقل جایگزین محسوب می شود که گاز های با خروجی صفر را منتشر کرده و حداقل صدا را ایجاد می کند. EV از موتور برقی و انرژی باتری برای نیروی محرکه استفاده می کند که دارای بهره وری بیشتر و هزینه عملیاتی کمتر در مقایسه با وسیله نقلیه موتوری احتراق داخلی معمول است. توسعه پیوسته باتری لیتیوم یونی و تکنولوژی شارژ دهی سریع به عنوان عوامل تسهیل کننده اصلی برای EV در آینده نزدیک به شمار می آید. با این حال، صنعت EV در حال حاضر مواجه با محدودیت های بسیار زیادی مانند قیمت اولیه بالا، تاسیسات شارژ کنندگی محدود، محدوده رانندگی کم و زمان شارژ دهی مجدد باتری به مدت زیاد است. علاوه بر این، اتصال EV در شبکه انرژی جهت دریافت شارژ دارای پیامدهای منفی بر روی عملیات شبکه انرژی است.

اخیرا، استفاده از مفهوم شبکه هوشمند موجب مدرنیزه شدن سیستم انرژی با خصوصیات ارتباطی اضافی شده است. مفهوم وسیله نقلیه به شبکه به عنوان یکی از تکنولوژی های شبکه هوشمند محسوب می شود که در برگیرنده EV جهت بهبود عملیات سیستم انرژی است. مفهوم V2G موجب تبادل انرژی بین EV و شبکه انرژی می شود که می

تواند خدمات متعددی را به شبکه انرژی ارائه کند. با این حال، مالکان EV می توانند از درآمد های زیادی جهت مشارکت در سرویس های V2G بهره مند شوند.

می توان تکنولوژی V2G را به دو روش یک جهته و دو جهته تقسیم بندی نمود. در مورد V2G یک جهته، این روش از ارتباط بین اپراتور شبکه انرژی و EV جهت تنظیم نرخ شارژ دهی هر EV استفاده می کند. این عملیات می تواند موجب جلوگیری از اضافه بار شبکه، ناپایداری سیستم و افت ولتاژ شود. با توجه به شبکه انرژی، باتری EV به عنوان یک بار باتری محسوب می شود اما می توان آن را به عنوان ذخیره انرژی نیز در نظر گرفت. بنابراین، V2G دو جهته از این ایده جهت تبادل انرژی بین باتری EV و شبکه انرژی برای شارژ دهی EV و پشتیبانی از شبکه استفاده می کند. V2G دو جهته موجب انعطاف پذیری بیشتر در شبکه انرژی جهت کنترل انرژی باتری EV به منظور بهبود قابلیت اطمینان و پایداری سیستم انرژی می گردد.

تکنولوژی V2G به عنوان یک مسئله تعهد واحد پیچیده همراه با اهداف و محدودیت های متناقض مختلف محسوب می شود. بنابراین، درک تکنولوژی V2G با استفاده از تکنیک های بهینه سازی حاصل می شود. تکنیک های مختلف بهینه سازی در مراجع مورد اشاره قرار گرفته اند، اما تکنیک های اصلی بهینه سازی جهت اجرای V2G شامل الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات است. با حل برخی از محدودیت های خاص، این تکنیک های بهینه سازی می توانند به اهداف و خدمات مختلف مانند اصلاح بیشینه بار، تعدیل بار، تنظیم ولتاژ و حداکثر شدن بهره مندی از فرآیند دست یابد.

این مقاله مروری بر مفهوم، چارچوب، مزیت ها، چالش ها و استراتژی های بهینه سازی V2G دارد. بخش های مهم این مقاله عبارتند از: (1) جهت بررسی مفهوم و چارچوب کلی V2G به ویژه در مورد V2G یک جهته و دو جهته (2) جهت بحث در مورد مزیت ها، خدمات و موانع موجد در اجرای تکنولوژی V2G (3) جهت تحلیل تکنیک های مختلف V2G با اهداف اجرایی و محدودیت ها و در نهایت (4) جهت ارائه نگرش های جدید در مورد V2G. در بخش 2، چارچوب و مفهوم V2G مورد بحث قرار خواهند گرفت. مقایسه V2G یک جهته و V2G دو جهته در بخش 3 مورد

اشاره قرار خواهند گرفت. بخش 4 مزیت ها و چالش های پیش روی تکنولوژی V2G را ارائه می کند. استراتژی های بهینه سازی برای V2G در بخش 5 مورد بررسی قرار می گیرند. بخش 6 نتایج این تحقیق را ارائه می کند.

## 2- مفهوم و چارچوب وسیله نقلیه به شبکه

تکنولوژی EV موجب جلب توجه دولت و عموم با توجه به افزایش نگرانی ها در مورد محیط زیست و افزایش هزینه سوخت های فسیلی شده است. یکپارچه سازی بخش حمل و نقل و شبکه انرژی موجب بروز چالش های مختلف در سیستم انرژی خواهد شد. به طور مثال، نفوذ قابل توجه EV ها موجب افزایش بار شبکه انرژی در طی فرآیند شارژ دهی EV می شود. با این حال، نفوذ EV ها موجب ایجاد امکان اجرای V2G شده است.

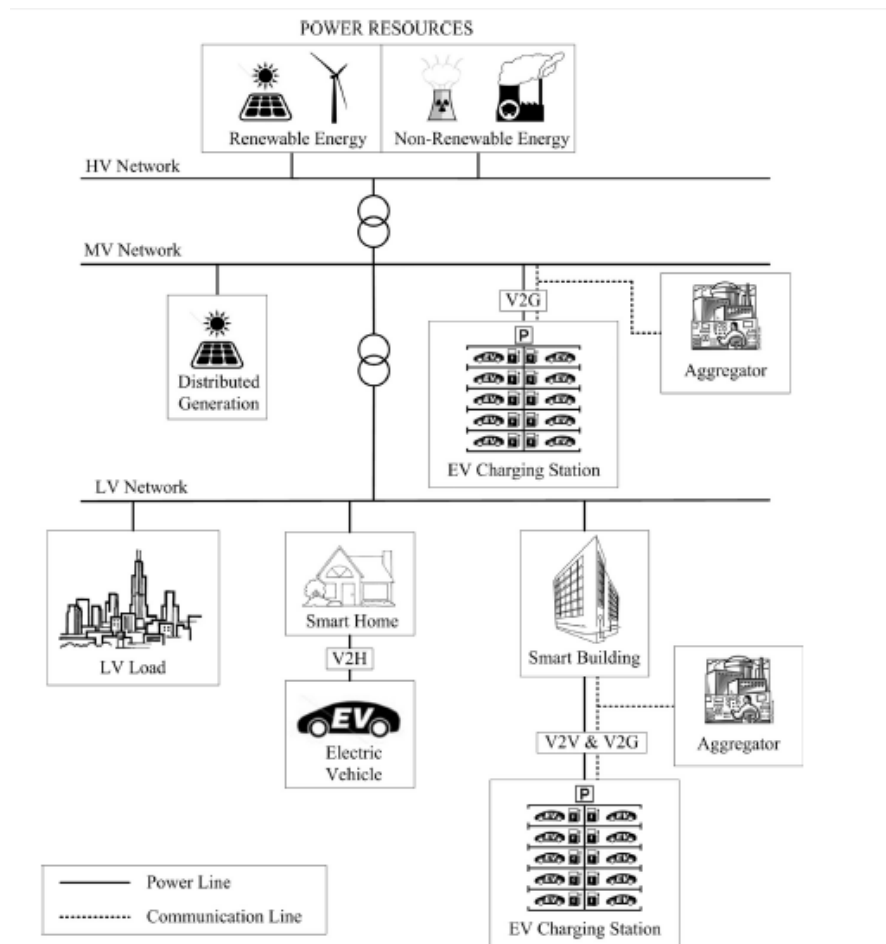
V2G در مورد کنترل و مدیریت بارهای EV توسط جمع آوری کننده های انرژی به وسیله ارتباط بین وسایل نقلیه و شبکه انرژی است. سه مفهوم رایج در مورد تکنولوژی های EV متصل به شبکه وجود دارند که شامل تکنولوژی های وسیله نقلیه به خانه (V2H)، وسیله نقلیه به وسیله نقلیه (V2V) و وسیله نقلیه به شبکه (V2G) است. V2G در مورد تبادل انرژی میان باتری EV و شبکه انرژی خانگی است. در این مورد، باتری EV می تواند به عنوان منبع ذخیره انرژی عمل کند که موجب ارائه انرژی پشتیبان در موارد استفاده از سیستم های برقی خانگی و در منابع انرژی تجدید پذیر خانگی می شود. V2V به عنوان یک سیستم EV محلی محسوب می شود که می تواند انرژی باتری EV را در میان آنها شارژ و یا تخلیه کند. V2G از انرژی حاصل از سیستم EV محلی استفاده کرده و آنها را به شبکه انرژی از طریق کنترل و مدیریت جمع آوری کننده محلی منتقل می کند.

به طور معمول، V2H، V2V و V2G شامل المان هایی همچون منابع انرژی، بارهای انرژی، جمع آوری کننده شبکه انرژی، سیستم انتقال انرژی، سیستم ارتباطی، وسایل نقلیه برقی و شارژر های وسیله نقلیه به شبکه می باشند. چارچوب یک سیستم V2G در شکل 1 نشان داده شده است.

## 3- جریان انرژی از وسیله نقلیه به شبکه

V2G در مورد اثر متقابل بین وسیله نقلیه برقی و شبکه انرژی با کمک سیستم ارتباطی است. اپراتور شبکه انرژی از امکان ارتباطی جهت کنترل و مدیریت جریان انرژی بین باتری EV و شبکه انرژی به منظور دستیابی به مزیت های

مطلوب بهره می گیرد. در بیشتر موارد، اهداف مدیریت V2G شامل حداکثر کردن مزیت ها، کاهش انتشار و بهبود کیفیت انرژی شبکه است.



شکل 1- چارچوب V2G و V2V، V2H

### 3-1 V2G یک جهته

V2G یک جهته تکنولوژی است که نرخ کنترل باتری EV را در یک جهت جریان انرژی واحد بین EV و شبکه کنترل می کند. استفاده از V2G یک جهته با افزودن کنترل گر ساده جهت مدیریت نرخ شارژ دهی مقرون به صرفه خواهد بود.

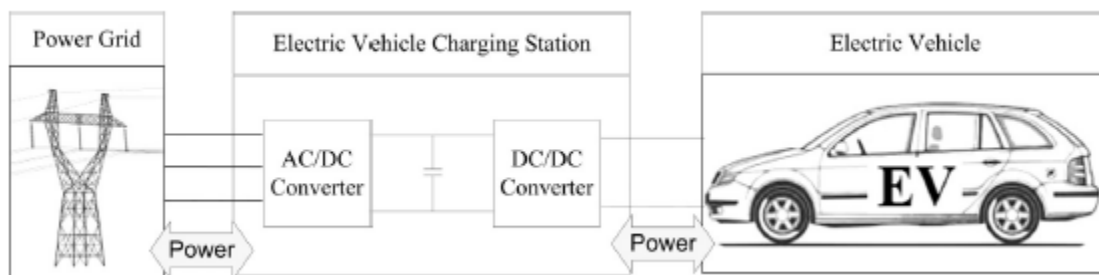
V2G یک جهته موجب ارائه خدمات فرعی در شبکه انرژی مانند تنظیم شبکه انرژی و ذخیره چرخشی می شود. این موضوع می تواند موجب بهبود انعطاف پذیری عملیات شبکه انرژی شود. اجرای V2G یک جهته نیازمند وجود یک

سیاست تبادل انرژی جذاب بین مالکان EV و سیستم انرژی است. به منظور تشویق و حمایت در مشارکت مالکان EV، باید این سیاست تبادل انرژی موجب تضمین درآمد های مالکان EV در صورتی که آنها EV ها را در طی ساعات غیر از اوج شارژ کنند و شارژ دهی EV را در طی دوره های اوج بار محدود کنند، شود. همچنین، سیستم انرژی می تواند از اضافه بارگذاری در طی ساعات اوج بار دوری کند. علاوه براین، V2G یک جهت می تواند به حداکثر شدن فایده و حداقل شدن انتشار با استفاده از تکنیک بهینه سازی دست یابد.

با این حال، سرویس های V2G یک جهت با توجه به توانایی جهت ارائه سرویس های فرعی در شبکه انرژی محدود می باشند. شرایطی همچون اصلاح بیشینه بار، پشتیبانی از توان راکتیو، تنظیم ولتاژ و تنظیم فرکانس به عنوان خدمات اصلی محسوب می شوند که تنها به وسیله V2G دو جهت به دست می آیند.

### 2-3 V2G دو جهت

V2G دو جهت در ارتباط با جریان انرژی دو جهت بین EV و شبکه انرژی جهت دستیابی به مزیت های متعدد است. یک شارژر باتری EV دو جهت معمولی شامل مبدل AC/DC و مبدل DC/DC مطابق شکل 2 است. مبدل AC/DC جهت جبران انرژی AC از شبکه انرژی به شبکه DC در طی فرآیند شارژدهی EV و تبدیل DC به انرژی AC پیش از تزریق به شبکه انرژی در حالت تخلیه استفاده می شود. به عبارت دیگر، مبدل DC/DC مسئول کنترل جریان انرژی دو جهت با استفاده از تکنیک کنترل جریان است. مبدل DC/DC به عنوان یک مبدل باک یا تقویت کننده در طی فرآیند شارژ دهی یا تخلیه عمل می کند.



شکل 2- دیاگرام جریان انرژی برای V2G

V2G دو جهته موجب ایجاد انعطاف پذیری و امکانات بیشتر جهت بهبود عملیات سیستم انرژی می شود. مزیت های اصلی شامل پشتیبانی از توان فعال (اکتیو)، پشتیبانی از سیستم راکتیو، تنظیم عامل انرژی و پشتیبانی از یکپارچه سازی منابع انرژی تجدید پذیر است. پشتیبانی از توان فعال با استفاده از V2G دو جهته می تواند به اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار دست یابد. این خدمات با شارژ دهی EV در طی ساعات خارج از اوج و تزریق انرژی EV اضافی به شبکه انرژی در طی ساعات اوج حاصل می شوند. به جز پشتیبانی از انرژی فعال، V2G دو جهته از قابلیت لازم جهت تامین انرژی راکتیو برای تنظیم ولتاژ شبکه برخوردار است. این سرویس را میت وان با اندازه مناسب خازن اتصال DC شارژر و سویچ کنترل مناسب اجرا کرد. همچنین تنظیم عامل انرژی به عنوان یکی از خدمات مهم ارائه شده توسط تکنولوژی V2G دو جهته محسوب می شود که می تواند موجب کاهش تلفات انرژی در شبکه انرژی شود. علاوه بر این، V2G دو جهته نیز موجب کمک به یکپارچه سازی منابع انرژی تجدید پذیر در شبکه انرژی می شود. تولید انرژی از منابع انرژی تجدید پذیر مانند توربین بادی و سیستم فتوولتیک خورشیدی چندان قابل پیش بینی و مناسب نمی باشند، زیرا این منابع انرژی تجدید پذیر به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی خواهند بود. V2G دو جهته از جابجایی EV به عنوان تامین کننده و ذخیره کننده انرژی جهت حل مسئله تناوب منابع انرژی تجدید پذیر استفاده می کند.

در حال حاضر، اجرای V2G دو جهته با چالش های زیادی مواجه است. یکی از موانع، مسئله استهلاک باتری ناشی از سیکل های شارژ دهی و تخلیه متعدد مورد نیاز با اجرای V2G دو جهته است. پیچیدگی شارژر باتری دو جهته نیازمند سخت افزار اضافی بوده و منجر به ارائه سرمایه های اضافی می شود. علاوه بر این، مسئله مانع اجتماعی به عنوان یک چالش مهم دیگر برای اجرای V2G دو جهته محسوب می شود. به دلایل امنیتی، مالکان EV به طور معمول در پی بهره گیری حداکثری از شارژ ماشین برای حرکت و سفر غیر قابل انتظار می باشند. این موضوع موجب ممانعت از آنها جهت مشارکت فعال در سیریس های V2G دو جهته می شود.

اجرای موفق آمیز V2G نیازمند پیشرفت های تکنولوژیکی بیشتر است. در حال حاضر، V2G یک جهته در بسیاری از کشور ها جهت کاهش مسئله محدودیت اجتماعی به منظور نفوذ EV در بازار مورد استفاده قرار می گیرد. V2G دو جهته دارای قابلیت و ظرفیت لازم در آینده هنگام آماده سازی در بازار و تکنولوژی می باشد. جدول 1 نشان دهنده



مقایسه بین V2G یک جهته و V2G دو جهته به شکل های مختلف مانند زیر ساخت نرم افزاری، سطوح انرژی، هزینه ها، خدمات موجود، مزیت ها و موانع است.

#### 4- مزیت ها و چالش های V2G

#### 1-4 خدمات و مزیت های V2G

تکنولوژی V2G می تواند خدمات زیادی را جهت دستیابی به مزیت های مختلف ارائه کند. اجرای V2G می تواند موجب تنظیم فرکانس، فیلترینگ هارمونیک و حتی بازیابی شکست در سیستم انرژی در طی دوره خاموشی شود. مزیت های V2G تنها شامل مزیت برای تاسیسات انرژی نیست، بلکه شامل مالکان EV است. تکنولوژی V2G می تواند موجب ارائه پشتیبانی انرژی بی وقفه برای ذخیره انرژی ذخیره و خانگی برای منابع انرژی تجدید پذیر خانگی شود.

جدول 1- مقایسه V2G یک جهته و V2G دو جهته

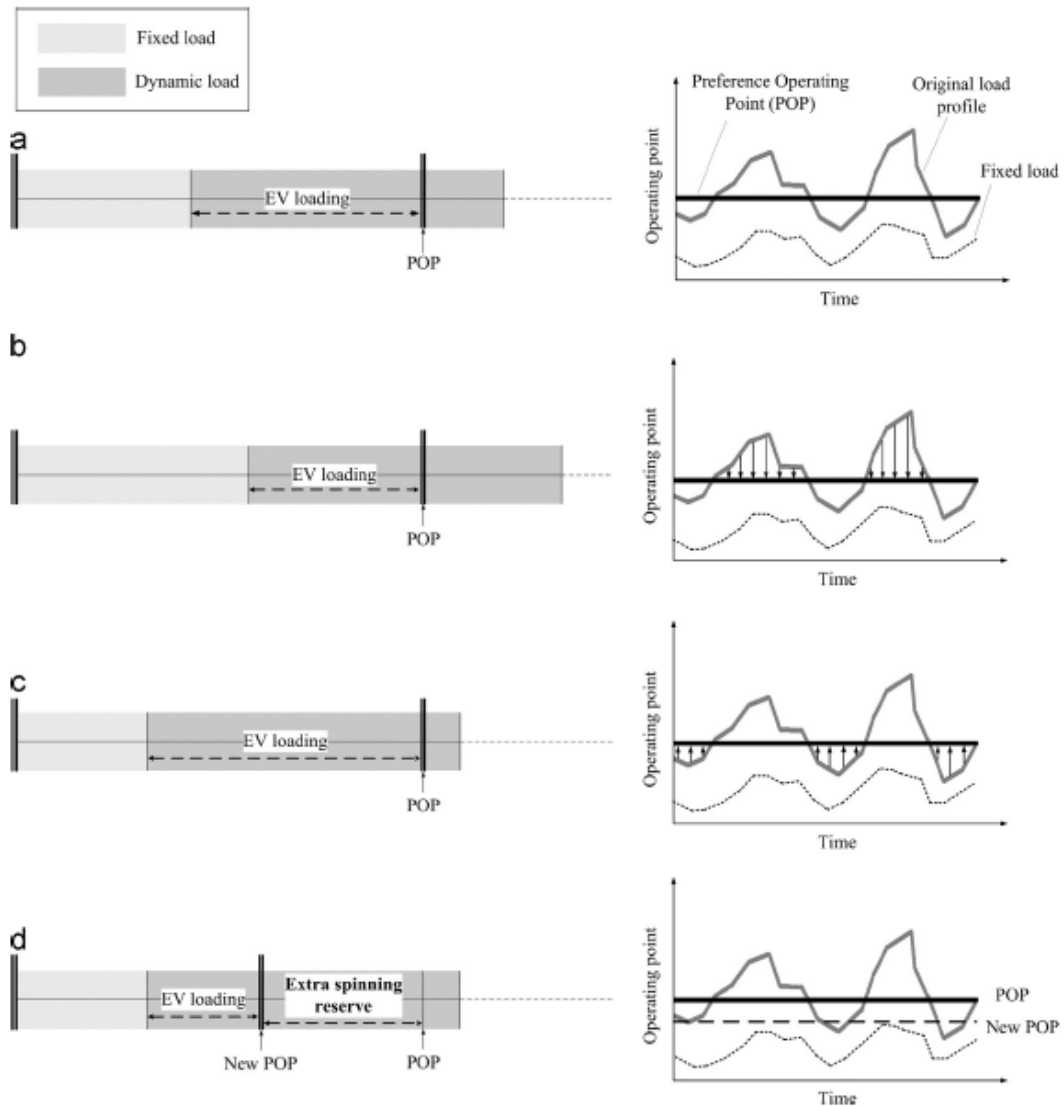
V2G power flow	Unidirectional	Bidirectional
Hardware infrastructures	Communication system	Communication system Bidirectional battery charger
Power level	Level 1, 2 and 3	Expected level 1 and 2
Cost	Low	High
Services	Power grid regulation Spinning reserve	Active power support Reactive power support Power factor correction Improve power system stability Harmonic filter Frequency regulation Energy backup
Benefits	Prevent power grid overloading Maximize profit Minimize emission	Reduce power grid losses Prevent power grid overloading Improve load profile Maintain voltage level Renewable energy intermittent Failure recovery Maximize profit Minimize emission
Drawbacks	Limited service available	Battery degradation Complex hardware infrastructure High investment cost Social barriers

مزیت های اصلی V2G نیز به صورت دقیق مورد بحث قرار خواهند گرفت که شامل سرویس های جانبی، پشتیبانی از انرژی فعال، جبران توان راکتیو و حمایت از منابع انرژی تجدید پذیر می باشند.

## 1-1-4 خدمات جانبی

V2G یک جهت‌موجب ایجاد خدمات جانبی شار بار در شبکه انرژی با کنترل نرخ‌های شارژ دهی EV ها بر اساس درخواست اپراتور های شبکه انرژی می‌گردد. جمع‌کننده طیف وسیعی از EV ها را به منظور دستیابی به خدمات جانبی کنترل و مدیریت می‌کند. می‌توان خدمات جانبی را به دو دسته تقسیم کرد که شامل تنظیم شبکه انرژی و ذخیره چرخشی است. تنظیم شبکه انرژی موجب ارائه تنظیم فرکانس جهت مطابقت تولید و تقاضای بار می‌گردد. اپراتور های شبکه معمولاً کنترل واقعی مستقیم بر این تنظیم جهت واکنش به تقاضای شبکه با افزایش یا کاهش تولید دارند. با این حال، می‌توان به توازن انرژی با استفاده از تکنولوژی V2G یک جهت‌موجب تنظیم تقاضای بار EV تحت دو حالت عملیاتی که حالت تنظیم رو به بالا و تنظیم رو به پایین می‌باشند، دست یافت.

شکل 3 نشان‌دهنده مفهوم خدمات جانبی با استفاده از V2G یک سویه مطابق با [44] است. دو حالت بار در [44] در نظر گرفته شده‌اند که شامل بارهای ثابت و بارهای دینامیکی است. EV های متصل به شبکه به عنوان بارهای دینامیکی در تکنولوژی V2G یک جهت‌موجب در نظر گرفته می‌شوند که طی آن نرخ‌های شارژ دهی EV ها جهت برآورده کردن نقطه اجرایی مورد نظر به بالا و پایین تنظیم می‌شوند.



شکل 3- خدمات جانبی ارائه شده توسط V2G یک جهت (a) حالت اصلی (b) حالت تنظیم رو به پایین (c) حالت

تنظیم رو به بالا (d) حالت ذخیره چرخشی

شکل 3(a) نشان دهنده حالت اصلی جهت بیان مفهوم خدمات جانبی است. با افزایش بارهای ثابت، مود تنظیم رو به پایین با کاهش نرخ شارژ دهی EV ها جهت ماندن در POP مشابه مطابق شکل 3(b) اجرا می شود. از سوی دیگر، شکل 3(c) نشان می دهد که نرخ های شارژ دهی EV ها جهت انجام حالت تنظیم رو به بالا با توجه به کاهش بار ثابت افزایش می یابند.

از سوی دیگر، ذخیره چرخشی به عنوان یک فرآیند تولید اضافی محسوب می شود که موجب ایجاد پاسخ سریع به مدت 10 دقیقه جهت جبران خروجی تولید می گردد. به منظور دستیابی به خدمات ذخیره چرخشی با استفاده از V2G یک جهت، ذخیره چرخشی اضافی با کاهش نرخ شارژ دهی EV ها در یک POP جدید کمتر مطابق شکل 3(d) حاصل می شود. سرویس های جانبی ایجاد شده توسط هر EV بر اساس مقدار زمان خدمات موجود جبران می شود، هر چند که هیچ انرژی در شبکه انرژی تامین نمی گردد. این سیاست برای جمع کننده های EV و مالکان به عنوان درآمد جذاب خواهد بود. به طور مثال در [49]، یک فرآیند بهینه سازی فازی جهت بررسی مزیت های خدمات جانبی برای V2G یک جهت پیشنهاد شده و با دیگر تکنیک های بهینه سازی مقایسه شده است. با هدف ارائه خدمات جانبی، کلیه زمان بندی V2G تک جهت بهینه نشان دهنده مزیت های زیادی برای جمع کننده های مشارکتی به ویژه برای بهینه سازی فازی پیشنهادی که شش درصد بیشتر از دیگر تکنیک های بهینه سازی است، می باشد.

## 2-1-4 پشتیبانی از انرژی فعال (اکتیو)

سرویس دیگر V2G از انرژی EV های اضافی جهت ارائه پشتیبانی از انرژی فعال در شبکه انرژی استفاده می کند. پشتیبانی از توان فعال نیازمند EV جهت تخلیه انرژی باتری ها بوده و از این رو تنها با استفاده از V2G دو جهت و نه یک جهت قابل اجرا است. هدف از این سرویس، تعدیل پروفیل بار شبکه با اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار است. شکل 4 نشان دهنده مقایسه پروفلی بار مسکونی پیش و پس از اجرای اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار است. بیشینه انرژی به طور معمول برای یک مدت زمانی کوتاه در طی روز مورد نیاز است. بنابراین، تامین تقاضای بیشینه بار از منابع توزیع و به طور مثال EV های متصل به شبکه مقرون به صرفه تر خواهد بود. می توان از EV ها جهت تامین انرژی شبکه انرژی در طی دوره بیشینه بار جهت اصلاح بیشینه بار استفاده کرد. این موضوع موجب کاهش تنش اعمالی بر روی مولفه های سیستم انرژی در طی دوره بیشینه بار شده و مالکان EV از نرخ انرژی مناسب بهره مند می شوند. در طی ساعات خارج از اوج مصرف، مالکان EV می توانند باتری های EV خود را با قیمت انرژی کمتر شارژ کنند. پشتیبانی از انرژی فعال به عنوان یک خدمت مهم V2G محسوب می شود که با توجه به مزیت های مفید اشاره شده، قابل حصول است. یکی از مزیت ها، کاهش تلفات است. با حفظ ظرفیت عملیاتی سیستم انرژی در مقدار کمتر، تلفات

کل انرژی نیز کاهش خواهد یافت. به طور معمول، سیستم انرژی جهت برآورده کردن بیشترین مقدار تقاضای بار ساخته می شود. از این رو، تجهیزات انرژی در طی ساعت خارج از اوج کمتر از حد معمول مورد استفاده قرار می گیرد. اجرا تکنیک اصلاح بیشینه بار با استفاده از تکنولوژی V2G می تواند ظرفیت تجهیزات انرژی را به حداکثر رسانده و از هزینه اصلاح تجهیزات اضافی جلوگیری کند. علاوه بر این، تغییر زمان شارژ دهی EV ها نسبت به ساعات خارج از اوج به عنوان یک روش مناسب جهت جلوگیری از اضافه بارگذاری سیستم انرژی و فرسودگی تجهیزات محسوب می شود.

پیاده سازی V2G جهت دستیابی به اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار با توجه به دسترسی به ظرفیت باتری EV متصل به سیستم انرژی تعیین می شود. در طی مدیریت منابع ذخیره انرژی EV، بایستی بسیاری از عوامل از جمله امکان اتصال EV به شبکه انرژی، انرژی موجود در باتری EV و عمیق تخلیه باتری EV را در نظر گرفت. تحقیق جهت طراحی یک استراتژی کنترل V2G که موجب تعدیل پروفیل بار در نظر گرفتن محدودیت های مرتبط می شود، در حال انجام است. این تکنیک که تحت عنوان تکنیک بهینه سازی شناخته می شود، قادر به بهینه سازی مزیت ها برای تاسیسات انرژی و مالکان EV است. در [55]، یک سیستم مدیریت پاسخ تقاضای غیر متمرکز با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفه جهت استفاده از EV های متصل به شبکه برای پشتیبانی از انرژی فعال در یک شبکه کوچک محلی طراحی شده است. این الگوریتم می تواند به صورت هوشمند مقدار مناسبی از انرژی را از EV ها برای پشتیبانی از شبکه انرژی در طی وضعیت فوری در شبکه استخراج کند.

### **3-1-4 جبران انرژی راکتیو**

جبران انرژی راکتیو به عنوان یک تکنیک جهت تنظیم ولتاژ در شبکه انرژی محسوب می شود. همچنین پشتیبانی از انرژی راکتیو موجب اتصال عامل انرژی می شود که موجب کاهش جریان از نیروگاه و تلفات انرژی در خط انرژی می شود. علاوه بر این، این خدمت می تواند بارگذاری تجهیزات انرژی را کاهش دهد که این موضوع موجب افزایش بهره وری عملیاتی سیستم انرژی می گردد.

روش معمول برای جبران انرژی راکتیو با استفاده از توان راکتیو از ژنراتور توزیع یا سیستم جبران کننده راکتیو ولت-آمپر استاتیکی حاصل می شود. در بیشتر موارد، یک توان راکتیو ظرفیتی برای جبران شبکه انرژی مورد نیاز است. بنابراین، EV متصل به شبکه قادر به ایجاد سرویس جبران انرژی راکتیو ناشی از توان راکتیو ظرفیتی ذخیره شده در خازن DC شارژر باتری دو جهته EV است. با توجه به این که جبران توان راکتیو به وسیله خازن DC شارژر باتری دو جهته EV حاصل می شود، این سرویس موجب استهلاک و کاهش عمر باتری نمی شود. جبران انرژی راکتیو با کنترل سویچینگ مبدل AC/DC با استراتژی های کنترلی مختلف انجام می شود.

طراحی و توسعه یک ایستگاه شارژدهی سریع EV با کنترل شارژ دهی سریع EV و همچنین کنترل جبران انرژی راکتیو جدید در [64] پیشنهاد شده است. کنترل جبران انرژی راکتیو موجب تنظیم ولتاژ شبکه انرژی در طی فرآیند شارژ دهی سریع EV می گردد. بنابراین می توان افت ولتاژ شبکه ناشی از عملیات شارژ دهی EV را به وسیله کنترل جبران توان راکتیو پیشنهادی ایستگاه شارژ دهی EV اصلاح کرد. با این حال، یک کنترل انرژی فعال و راکتیو در شارژر V2G در [65] طراحی شده است که می تواند تامین انرژی راکتیو مناسب را در شبکه انرژی بر اساس سیگنال دستور انرژی راکتیو توسط نیروگاه ارائه کند. کنترل جبران انرژی راکتیو به صورت آزمایشگاهی با استفاده از یک شارژر 12.5 KVA مورد ارزیابی قرار می گیرد.

#### 4-1-4 پشتیبانی و حمایت از منابع انرژی تجدید پذیر

نیروگاه های تولید انرژی و بخش حمل و نقل به عنوان دو منبع اصلی انتشار کربن دی اکسید محسوب می شوند. این موضوع به حدی رسیده است که موجب تهدید سلامت عمومی و محیط زیست می شود. استفاده از تولید انرژی تجدید پذیر می تواند موجب کمک به حفاظت از محیط زیست گردد. با این حال، تولید انرژی منابع انرژی تجدید پذیر به شدت وابسته به عوامل زیست محیطی است. تولید انرژی غیر قابل پیش بینی و نامناسب به عنوان مانع منابع انرژی تجدید پذیر محسوب می شود.

یکپارچه سازی EV در سیستم انرژی می تواند به عنوان یک راه حل برای مسئله فوق مطرح شود. مسئله تناوب منابع انرژی تجدید پذیر با استفاده از طیفی از EV ها به عنوان منابع ذخیره یا نگهداری انرژی قابل حل است. ناوگان EV به

عنوان یک منابع پشتیبانی انرژی جهت تامین انرژی مورد نیاز هنگام نا کافی بودن تولید انرژی تجدید پذیر محسوب می شود. با این حال، آنها به عنوان منابع ذخیره انرژی جهت جذب انرژی اضافی تولید شده توسط مناسب انرژی تجدید پذیر عمل می کنند که در غیر این صورت قطعی رخ خواهد داد. تحقیقات نشان داده اند که می توان ظرفیت انرژی تجدید پذیر بیشتری را در سیستم انرژی با ظرفیت باتری EV متصل به شبکه بیشتری لحاظ کرد. بنابراین، EV قادر به بهبود شرایط اقتصادی صنعت تولید انرژی تجدید پذیر است. با مدیریت انرژی مناسب بین منبع انرژی تجدید پذیر و EV، شبکه انرژی آینده پاک تر و پایدار تر خواهد بود.

یک الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در [73] پیشنهاد شده است که قادر به استفاده بهینه از ظرفیت V2G و حداقل کردن تغییرات انرژی ناشی از نوسانات تولید انرژی باد است. هدف اصلی از الگوریتم بهینه سازی V2G پیشنهادی، شناخت قابلیت EV ها جهت حداکثر کردن مزیت و توان تاسیسات انرژی و مالکان EV است. مولفین در [74] اهمیت اندازه گیری بهینه و موقعیت را برای انرژی تجدید پذیر پارکینگ های EV در نظر گرفته اند. بنابراین، یک الگوریتم چند هدفه جهت یافتن اندازه و تخصیص بهینه سیستم های انرژی تجدید پذیر برای ایستگاه V2G ارائه می شود. این الگوریتم می تواند بهترین موقعیت و اندازه را برای سیستم V2G با هزینه انرژی کلی کم تعیین کند.

## 2-4 چالش های V2G

اجرای V2G موجب ایجاد مزیت ها و انعطاف پذیری های زیاد در شبکه انرژی می گردد. با این حال، V2G یک تکنولوژی جدید است که به مرحله بلوغ نرسیده است. باید به بسیاری از چالش های اقتصادی، فنی و اجتماعی جهت پذیرش تکنولوژی V2G غلبه کرد.

### 1-2-4 استهلاك باتری

سلول های باتری به صورت تدریجی تحت سیکل های شارژ دهی و تخلیه باتری دچار استهلاك خواهند شد. واکنش شیمیایی برگشت ناپذیر در باتری موجب افزایش مقاومت داخلی و کاهش ظرفیت استفاده از باتری می شود. نرخ فرسودگی باتری بستگی به عوامل زیادی دارد که شامل نرخ شارژ دهی و تخلیه، ولتاژ، DOD و دما است. مشارکت EV ها در تکنولوژی V2G نیازمند سیکل های بیشتر شارژ دهی و تخلیه است که منجر به استهلاك سریع تر باتری

می گردد. عوامل اقتصادی و فنی در [75] به منظور بررسی امکان اجرای V2G مورد مطالعه قرار گرفته اند. این تحقیق نشان می دهد که چرخه های سریع شارژدهی و تخلیه باتری موجب استهلاک بیشتر باتری در مقایسه با چرخه های کمتر شده و در نتیجه باید از اجرای V2G پرهیز کرد.

مقاومت سری معادل (ESR) به عنوان پارامتری است که به منظور پیش بینی چرخه عمر باتری مورد استفاده قرار می گیرد. DOD عمیق تر باتری و چرخه های پی در پی شارژ و تخلیه باتری موجب افزایش ESR باتری خواهد شد. تحقیقات [76] و [77] نشان می دهد که ESR باتری در دمای کم باتری و وضعیت نهایی شارژ باتری افزایش می یابد. بنابراین، باید چرخه باتری را در حدود محدوده های متوسط SOC جهت حداقل کردن نرخ افزایش ESR حفظ کرد. عامل مهم دیگر در کاهش استهلاک باتری، DOD باتری است. تحقیق [78] نشان می دهد که به منظور حفظ چرخه عمر باتری در یک محدوده قابل قبول، بایستی DOD باتری را کمتر از 60 درصد حفظ کرد. بنابراین بهترین دامنه استفاده از باتری در محدوده 30 درصد SOC تا 90 درصد SOC قرار می گیرد. باید سلامت باتری را برای اجرای تکنولوژی V2G در نظر گرفت. استراتژی کنترل V2G و روش پوشش باتری جهت پیشگیری از سوء استفاده از باتری EV ارائه شده اند. تعادل بین عامل مالی و عامل فنی باتری جهت بهینه کردن مزیت ها برای مالکان EV و نیروگاه انرژی ضروری است.

## 2-2-4 هزینه سرمایه گذاری بالا

چالش دیگر در اجرای V2G، هزینه سرمایه گذاری بالا جهت به روز رسانی سیستم است. پیشرفت در زیرساخت های سخت افزاری و نرم افزاری برای اجرای V2G مورد نیاز می باشد. هر EV که در سیستم V2G مشارکت می کند، نیازمند یک شارژر باتری دو جهته است. یک شارژر باتری دو جهته سخت افزاری است که شامل کنترل گر پیچیده و کابل گذاری کششی با ایمنی بالا است. علاوه بر این، V2G دارای ظرفیت لازم جهت افزایش تلفات انرژی است که به عنوان یک عامل نامطلوب در سیستم انرژی محسوب می شود به طوری که دارای رابطه مستقیم با معایب مالی است. اجرای V2G نیازمند سیکل های شارژ و تخلیه متعدد بوده و این فرایندها شامل تبدیل انرژی است که به تلفات تبدیل



بیشتری منجر می شود. تبدیلات متعدد انرژی برای فرآیند های شارژ دهی و تخلیه EV نشان دهنده تلفات انرژی جدی در سیستم انرژی است.

### 3-2-4 موانع اجتماعی

مشارکت تعداد زیادی از EV ها به عنوان الزامات ضروری جهت اجرای V2G محسوب می شود. با این حال، موانع اجتماعی موجب جلوگیری از پذیرش عمومی تکنولوژی V2G شده است که به عنوان چالشی بزرگ برای پذیرش V2G محسوب می شود. در بیشتر موارد، مالکان EV تعداد تضمین شده انرژی ذخیره شده در باتری EV را برای استفاده های فوری و سفر های پیش بینی نشده تضمین ارائه می کنند. با توجه به این که مشارکت در تکنولوژی V2G نیازمند مشارکت آنها در انرژی باتری EV ها با شبکه انرژی می گردد، این موضوع موجب ایجاد آشفتگی در میان مالکان EV می گردد. نبود امکانات شارژ دهی موجب وخیم تر شدن وضعیت می گردد.

به منظور کاهش موانع اجتماعی جهت اجرای V2G، یک شبکه شارژ دهی EV با طراحی مناسب مورد نیاز است. علاوه بر این، کنترل مدیریت V2G نیازمند در نظر گرفتن سطح EV SOC است. باید اتصال V2G را هنگامی که EV SOC کمتر از درصد اولیه باشد، قطع کرد. این موضوع به منظور تضمین این که باتری EV دارای انرژی کافی برای رانندگی روزانه است، صورت می گیرد.

### 5- بهینه سازی الگوریتم V2G

سیستم انرژی شامل چندین هدف متضاد می باشند که باید مورد بررسی قرار گیرند، اما آنها همراه با عدم اطمینان های متعدد و شرایط غیر قابل پیش بینی می باشند.

#### جدول 2- خلاصه ای از بهینه سازی استراتژی کنترل V2G

V2G type	Service	Optimization objective	Constraints		Optimization method	References
			Power system	Electric vehicle		
Unidirectional	(a) Voltage regulation	(a) Minimize power losses	(a) Voltage limit	(a) Battery energy exchange rate limit	(a) Genetic algorithm	[18,19]
	(b) Power grid regulation	(b) Maximize profit	(b) Generation limit	(b) Battery SOC limit	(b) Genetic optimization	
	(c) Spinning reserve	(c) Minimize operation cost	(c) Line thermal limit	(c) Battery capacity	(c) Linear programming	
	(d) Load shifting	(d) Minimize emission		(d) EV availability		
	(e) Frequency regulation			(e) Energy price		
Bidirectional	(a) Demand response	(a) Minimize operation cost	(a) Power balance	(a) Battery energy exchange rate limit	(a) Particle swarm optimization	[17, 18, 28, 31, 51, 63, 82-88, 90, 91]
	(b) Load leveling	(b) Maximize renewable energy generation	(b) Voltage limit	(b) Battery SOC limit	(b) Genetic algorithm	
	(c) Load peak shaving	(c) Minimize error of load curve from target load curve	(c) Generation limit	(c) Battery capacity	(c) Linear programming	
	(d) Voltage regulation		(d) Line thermal limit	(d) EV availability	(d) Quadratic programming	
	(e) Improve system reliability		(e) Forecast load	(e) Energy price	(e) Ant colony optimization	
	(f) Spinning reserve	(f) Minimize power losses	(f) Upstream supplier limit	(f) System efficiency		
	(g) Power grid regulation	(g) Minimize emission	(g) System loading limit			
		(h) Maximize profit				

علاوه براین، عملیات سیستم انرژی نیز با محدودیت های متعدد در فرآیند دستیابی به اهداف متعدد محدود شده اند. در مورد سیستم V2G، رفتار های پویا و تصادفی جابجایی EV موجب افزایش پیچیدگی سیستم انرژی می شود. به منظور مدیریت جریان انرژی بین هر EV و شبکه انرژی، تکنیک بهینه سازی جهت اجرای سیستم V2G اعمال می شود. بهینه سازی الگوریتم V2G به عنوان یک تکنیک مناسب محسوب می شود که قادر به استفاده از جابجایی EV جهت دستیابی به خدمات V2G و اهداف دیگر است. جدول 2 نشان دهنده خلاصه ای از بهینه سازی برای استراتژی کنترل V2G سات.

### 1-5 روش های بهینه سازی

یکپارچه سازی EV ها و شبکه انرژی موجب ایجاد یک سیستم V2G پیچیده می شود که شامل تعداد زیادی از متغیر های غیر خطی است. متغیر های غیر قابل پیش بینی مرتبط با محدودیت های سیستم انرژی و محدودیت های جابجایی EV است. تعهد واحد (UC) موجب تعیین زمان بندی تولید برای منابع ایجاد شبکه انرژی موجود می شود. تکنیک های بهینه سازی مختلف در حل مسئله های UC مورد استفاده قرار می گیرند که شامل تکنولوژی V2G است.

به طور معمول، برنامه ریزی خطی و برنامه ریزی درجه دوم جهت بهینه سازی UC مورد استفاده قرار می گیرند. این روش ها قادر به تعیین بهترین راه حل برای یک مسئله ریاضی UC می باشند، اما آنها محدود به اهداف ساده و خطی می باشند. در مورد مسئله UC پیچیده تر، برنامه ریزی غیر خطی و برنامه ریزی غیر خطی شمارنده ترکیبی به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرند. با این حال، این تکنیک ها دارای مشکلاتی در حل متغیر های نامشخص داشته و نیازمند ارائه تعداد زیادی از منابع محاسباتی هنگام حل مسائل واقعی است.

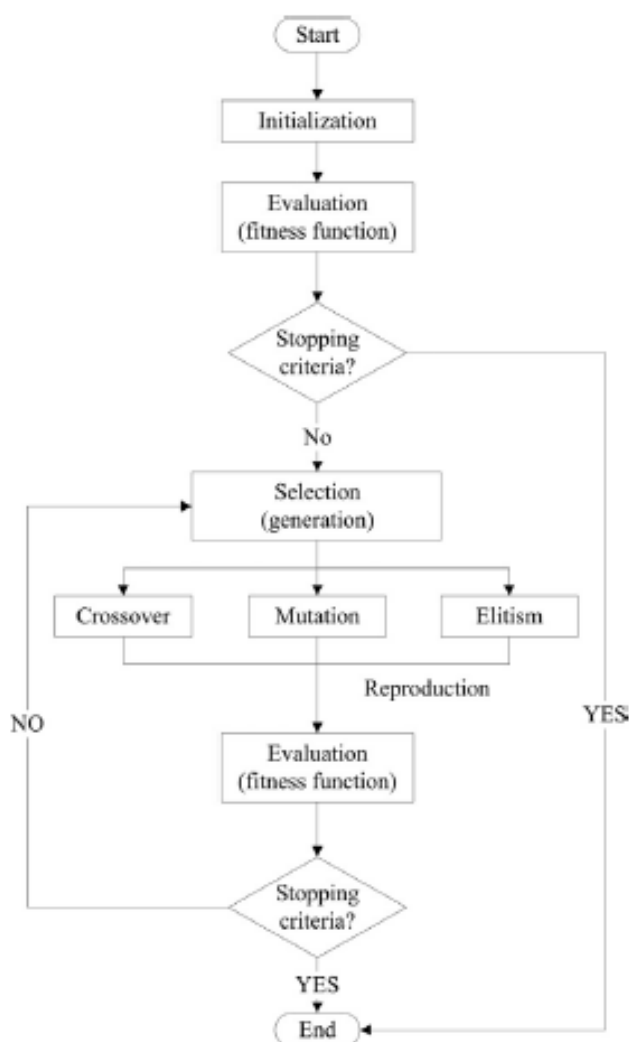
به جز تکنیک های بهینه سازی اشاره شده، روش فهرست اولویت دارای سرعت محاسباتی سریع و با خصوصیت اکتشافی بالا است. روش آزاد سازی لاگرانژی متمرکز بر تعیین یک تکنیک همگام سازی مناسب جهت ایجاد راه حل های ممکن با کاهش شکاف و خلا دوگانگی است. مانع این روش، دشواری در دستیابی به راه حل های ممکن است. علاوه براین، هوش مصنوعی موجب ایجاد یک روش جایگزین در حل مسائل V2G پیچیده می شود.

مشهور ترین و مناسب ترین روش های بهینه سازی برای مسائل V2G شامل الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات است. GA یک روش تکراری است که قادر به جستجوی راه حل بهینه کلی تحت یک محدوده زمانی اجرایی است. با این حال، PSO یک الگوریتم محاسباتی حافظه ای است که برای حالت بهینه کلی در یک جمعیت راه حل های تصادفی با به روز رسانی منابع تولید شده جستجو می شود. PSO دارای این مزیت است که نیازمند زمان محاسباتی کمتر و حافظه است. در بخش های زیر تکنیک های بهینه سازی GA و PSO به طور دقیق مورد بحث قرار می گیرند.

### 1-1-5 الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه سازی است که از فرآیند تکاملی ارگانیزم زنده الهام می گیرد. به طور کلی، GA نیازمند ارائه یک راه حل بالقوه به عنوان کروموزوم ژنتیک است. این کروموزوم به صورت مجموعه ای از اعداد واقعی به صورت نوار های دو دویی است. یک تابع برازش مناسب، شاخص کروموزوم ژنتیک محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. پس از ارزیابی، اصل GA به صورت مجدد جهت بازتولید نسل جدیدی از کروموزوم تکرار خواهد کرد. تکرار تا زمانی که معیار های توقف برآورده شوند، تکرار می شود. شکل 5 نشان دهنده فلوچارتی از یک بهینه سازی GA است. می توان GA را به چند مرحله به صورت زیر دسته بندی کرد:

1- اولویت بندی: کروموزوم تصادفی جهت پوشش دامنه کلی فضای جستجو ایجاد می شود. راه حل موجود مطابق با ماهیت مسئله تکرار می شود.



شکل 5- فلوچارت کلی بهینه سازی GA

2- انتخاب: با توجه به کروموزوم کد گذاری شده، یک شاخص انتخاب جهت ایجاد یک نسل جدید اجرا می شود. یک

معیار مشخص جهت ارزیابی هر راه حل به منظور انتخاب نسل جدید مورد استفاده قرار می گیرد.

3- باز تولید: نسل بعدی کروموزوم از طریق اپراتور های ژنتیک ایجاد می شود که شامل جهش، انتخاب نخبه و متقاطع

است. این جمعیت جدید متفاوت از نسل قبل است. با این حال، هر دو مورد دارای شاخص های مشابه والد های خود

می باشند.

4- ارزیابی: در این مرحله، کروموزوم های بچه کد گذاری شده و با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

شاخص ارزیابی شده، حداقل برازش را در جمعیت جایگزین خواهد کرد.

5- خاتمه: در طی فرآیند ارزیابی، در صورتی که معیار های توقف کننده برآورده شوند، کروموزوم نهایی به عنوان راه حل در نظر گرفته می شود. بنابراین، فرآیند GA خاتمه خواهد یافت. در غیر این صورت، فرآیند مراحل 2-4 را جهت ایجاد جمعیت بعدی کروموزوم تکرار خواهد کرد.

### 5-1-2 بهینه سازی ازدحام ذرات

PSO یک الگوریتم محاسباتی حافظه ای است که به جستجوی فرآیند بهینه سازی کلی در طیفی از راه حل های تصادفی با به روز رسانی نسل ها می پردازد. در PSO، راه حل احتمالی تصادفی با نام ذرات از طریق فضای مسئله چند بعدی با یک سرعت مشخص حرکت می کنند. هر ذره واحد در کل جمعیت ذرات قادر به تعامل با یکدیگر است. این موضوع موجب می شود تا آنها سرعت حرکت خود را در طی الگو های حرکت خود و ذرات دیگر تنظیم می کنند. حرکت تصادفی ازدحام ذرات موجب ممانعت از قرار گیری جواب در محیط محلی می شود. در طی تکرار PSO، هر ذره مسیر موقعیت خود را در فضای مسئله حفظ می کند. جواب برآزش شخصی ذره در  $pbest$  حفظ می شود در حالی که  $gbest$  به عنوان بهترین مقدار کلی در میان کلیه  $pbest$  ها خواهد بود. معادله برای تعیین بهترین موقعیت ذرات به صورت زیر ارائه شده است:

$$y_{a,j}(t+1) = \begin{cases} y_{a,j}(t), & \text{if } f(x_{a,j}(t+1)) > f(y_{a,j}(t)) \\ x_{a,j}(t+1), & \text{else} \end{cases}, j \in [1, N] \quad (1)$$

که  $a$  نشان دهنده تعداد ذرات در دسته ها،  $j$  نشان دهنده بعد فضای جستجو،  $x_{a,j}(t)$  نشان دهنده مولفه بعد  $j$  ام از موقعیت ذره  $a$  در زمان  $t$  و  $y_{a,j}(t)$  نشان دهنده مولفه بعد  $j$  ام از بهترین موقعیت ذره  $a$  در زمان  $t$  است. با توجه به این که  $gbest$  به عنوان بهترین مقدار در میان کلیه  $pbest$  ها محسوب می شود، بنابراین:

$$r_j(t) = \min\{y_1(t), \dots, y_S(t)\}, a \in [1, S] \quad (2)$$

که  $r_j(t)$  نشان دهنده مولفه بعد  $j$  ام بهترین موقعیت کلی جمعیت در زمان  $t$  است.

سرعت  $v$  و موقعیت  $x$  هر ذره با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

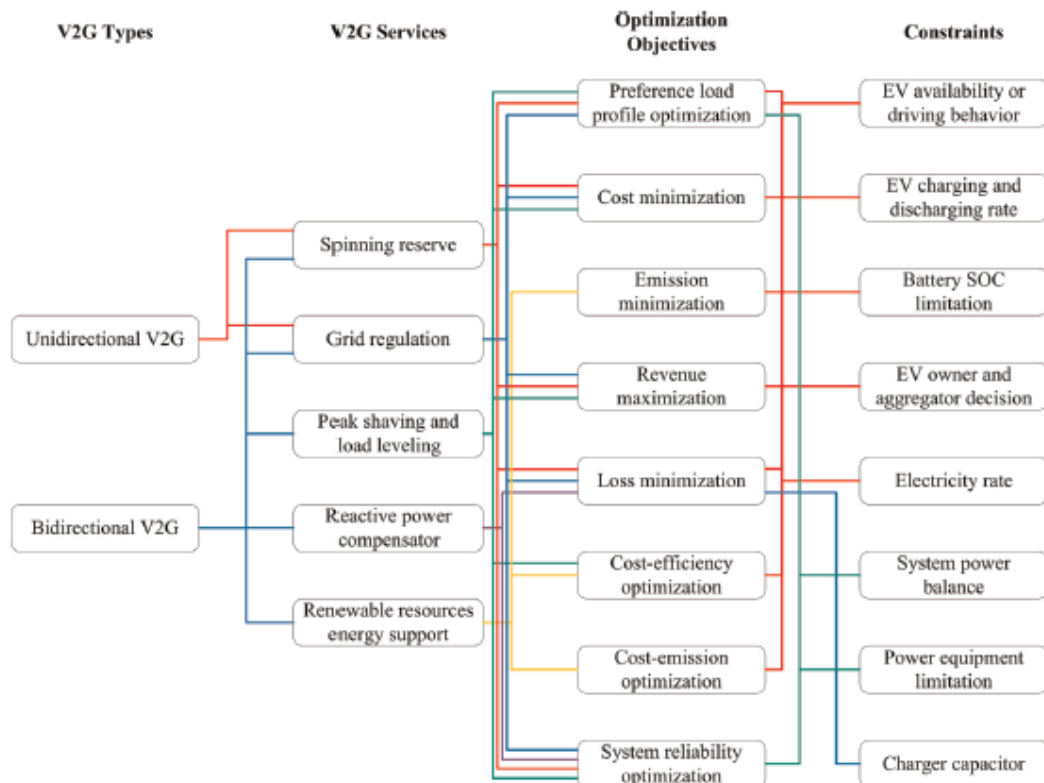
$$v_{a_j}(t+1) = w(t)v_{a_j}(t) + c_1 r_{1,j}(t)(y_{a_j}(t) - x_{a_j}(t)) + c_2 r_{2,j}(t)(Y_j(t) - x_{a_j}(t)) \quad (3)$$

$$x_{a_j}(t+1) = x_{a_j}(t) + v_{a_j}(t+1) \quad (4)$$

که  $w$  نشان دهنده وزن اینرسی،  $c_1$  و  $c_2$  نشان دهنده ثابت شتاب و  $r_1$  و  $r_2$  نشان دهنده متغیرهای تصادفی در یک توزیع یکنواخت است.

## 2-5 اهداف بهینه سازی

تکنولوژی  $V2G$  موجب می شود تا سیستم انرژی و جمع آوری کننده ها به سرویس های  $V2G$  مانند تنظیم ولتاژ، ذخیره چرخان، تغییر بار، اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار دست یابد. می توان اهداف محدود را جهت به دست آوردن سرویس های  $V2G$  مطلوب بهینه سازی کرد. به طور مثال، حداقل کردن هزینه عملیات، حداقل کردن تلفات انرژی و حداکثر کردن منافع به عنوان برخی از اهداف بهینه سازی برای اجرای  $V2G$  مطرح می باشند. شکل 6 نشان دهنده خلاصه و رابطه بین انواع  $V2G$ ، سرویس ها، اهداف بهینه سازی و محدودیت ها است.



شکل 6- دیاگرام رابطه ای برای انواع  $V2G$ ، خدمات  $V2G$ ، اهداف بهینه سازی و محدودیت ها

## 1-2-5 هزینه عملیات

با توجه به سیستم انرژی یا جمع آوری کننده سیستم، حداقل کردن هزینه عملیات سیستم انرژی به عنوان یک هدف مهم در یک مسئله UC محسوب می شود. هزینه عملیات شبکه انرژی شامل هزینه سوخت، هزینه راه اندازی و هزینه V2G است. هزینه سوخت FC، به صورت یک تابع مرتبه دوم از انرژی ایجاد شده به صورت زیر بیان می شود:

$$FC_i(P_i(t)) = a_i + b_i P_i(t) + c_i P_i^2(t) \quad (5)$$

که  $P_i$  نشان دهنده توان خروجی سیستم،  $a_i$ ،  $b_i$  و  $c_i$  نشان دهنده ضریب سوخت مثبت می باشند. با این حال، هزینه راه اندازی در مورد هزینه مورد نیاز جهت شروع مجدد فعالیت یک نیروگاه تولیدی است. در مورد یک نیروگاه تولید توربین گازی، فرآیند راه اندازی تحت تاثیر دمای دیگ بخار قرار دارد. به طور مثال، یک دیگ بخار سرد که پس از دوره زمانی توقف طولانی سرد می شود، سوخت بیشتری را جهت گرم کردن دیگ بخار جهت راه اندازی نیروگاه تولید مصرف خواهد کرد. با این حال، برای یک واحد که تنها در یک دوره کوتاه متوقف می شود، این واحد به سوخت کمتری جهت راه اندازی مجدد نیاز دارد

$$SC_i(t) = \begin{cases} h\_cost: MD_i \leq X_i^{off}(t) \leq H_i^{off} \\ c\_cost: X_i^{off}(t) > H_i^{off} \end{cases} \quad (6)$$

$$H_i^{off} = MD_i + c\_s\_hour_i \quad (7)$$

که SC نشان دهنده هزینه کل راه اندازی، h-cost نشان دهنده هزینه راه اندازی دمای زیاد، c-cost نشان دهنده هزینه راه اندازی دمای کم،  $MD_i$  نشان دهنده زمان حداقل توقف نیروگاه،  $X_i^{off}$  نشان دهنده مدت زمان توقف نیروگاه،  $H_i^{off}$  نشان دهنده ساعت انتقال راه اندازی گرم به سرد و  $c\_s\_hour_i$  نشان دهنده ساعت شروع سرد است. در نهایت، هزینه V2G هزینه پرداخت شده به مالک EV برای سرویس های V2G آنها است.

بنابراین، هدف بهینه سازی برای اجرای V2G، حداقل کردن هزینه عملیات سیستم انرژی است.

$$\min TC = Fuelcost + Start - upcost + V2Gcost \quad (8)$$

## 2-2-5 انتشار دی اکسید کربن

به منظور کاهش انتشار در اتمسفر، اتحادیه اروپا یک مکانیزم انتقال انتشار را تحت عنوان EST معرفی و اجرا کرده است. بر اساس ETS هر صنعت می تواند مقدار مشخصی از دی اکسید کربن را منتشر کند. می توان سهم انتشار را در میان صنایع مختلف مشخص کرد. به طور مثال، در صورتی که انتشار نیروگاه تولید فراتر از حد باشد، این بخش باید مقدار بیشتری را از بازار تهیه کرده و یا جهت جریمه باید هزینه ای را پرداخت کند. بنابراین، حداقل شدن انتظار نی ز به عنوان یک موضوع مهم در پیاده سازی V2G محسوب می شود. این موضوع موجب محافظت از محیط زیست و کاهش استفاده از تاسیسات انرژی می گردد. انتشار به وسیله یک تابع درجه دوم به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$EC_i(P_i(t)) = \alpha_i + \beta_i P_i(t) + \gamma_i P_i^2(t) \quad (9)$$

که  $P_i$  نشان دهنده توان خروجی سیستم،  $\alpha_i$ ،  $\beta_i$  و  $\gamma_i$  نشان دهنده ضریب انتشار می باشند.

### 3-2-5 فایده

در عملیات V2G، می توان از روش های بهینه سازی جهت حداکثر کردن مزیت های جمع آوری کننده سیستم انرژی و مالکان EV استفاده کرد. سرویس های تنظیم V2G موجب ارائه چندین مزیت برای عملیات سیستم انرژی می شوند. بنابراین، اجرای V2G موجب افزایش فایده برای جمع آوری کننده سیستم انرژی می گردد. به عبارت دیگر، بایستی به مالکان EV بر اساس انرژی باتری EV تامین شده آنها و مقدار زمان و خدمات موجود توجه کرد. تحقیق [82] متمرکز بر فایده برای مالک EV در عملیات V2G است. تابع هدف به صورت زیر بیان می شود:

$$\max_{EV \text{ owner income}} = \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{V=1}^N (P_{discharging(V,t)} \times C_{discharging(V,t)} - (P_{charging(V,t)} \times C_{charging(V,t)}) \right] \times \Delta t \quad (10)$$

که  $t$  نشان دهنده زمان،  $T$  نشان دهنده تعداد کل بازه های زمانی،  $V$  نشان دهنده تعداد وسایل نقلیه،  $N$  نشان دهنده تعداد کل وسایل نقلیه،  $P_{discharging(V,t)}$  نشان دهنده تخریب انرژی وسیله نقلیه در زمان  $t$ ،  $C_{discharging(V,t)}$  نشان دهنده قیمت تخلیه وسیله نقلیه  $V$  در زمان  $t$ ،  $P_{charging(V,t)}$  نشان دهنده شارژ انرژی وسیله نقلیه  $V$  در دوره زمانی  $t$ ،  $C_{charging(V,t)}$



نشان دهنده شارژ توان وسیله نقلیه  $V$  در زمان  $t$ ،  $Charging(V,t)$  نشان دهنده قیمت شارژ دهی وسیله نقلیه  $V$  در دوره زمانی  $t$  و  $\Delta t$  نشان دهنده تغییرات زمان است.

#### 4-2-5 پشتیبانی و حمایت از تولید انرژی تجدید پذیر

ناوگان EV می تواند به عنوان باتری های پشتیبانی جهت تامین انرژی مورد نیاز هنگام نا کافی بودن تولید انرژی تجدید پذیر عمل کند. با این حال، آنها به عنوان منابع ذخیره انرژی جهت جذب انرژی اضافی تولید شده توسط منابع انرژی تجدید پذیر عمل می کنند. با حداکثر شدن استفاده از انرژی تجدید پذیر در شبکه انرژی، این عمل می تواند یک شبکه انرژی پاک را ایجاد کرده و هزینه تولید انرژی را کاهش دهد. مولفین در [28] به کارگیری منابع انرژی تجدید پذیر در شبکه انرژی را با تابع هدف بهینه سازی که تولید ژنراتور را به حداقل می رساند، تا حد امکان توصیه کرده اند. تابع هدف بهینه سازی به صورت زیر است:

$$\min F = \sum_{t=1}^T x P_{conv}^2(t) + y P_{conv}(t) + z \quad (11)$$

که  $x$ ،  $y$  و  $z$  نشان دهنده ضریب هزینه و  $P_{conv}(t)$  نشان دهنده توان ایجاد شده توسط ژنراتور است.

#### 5-2-5 منحنی بار هدف و تلفات انرژی

V2G قادر به استفاده از انرژی باتری EV اضافی جهت ایجاد پشتیبانی از توان فعال در شبکه انرژی است. اهداف اصلی، تعدیل پروفیل بار محلی با اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار و همچنین کاهش تلفات انرژی است. در تحقیقات [31] و [87]، مولفین اصلاح بیشینه بار و تعدیل بار را با حداقل کردن خطای بین منحنی بار واقعی و منحنی بار هدف به دست آورده اند. تابع هدف به صورت زیر است:

$$\min E = \sum_{t=1}^T (P_{Load,t} - P_{target,t}) \quad (12)$$

که  $T$  نشان دهنده تعداد کل بازه های زمانی،  $P_{Load,t}$  نشان دهنده تقاضای بار در زمان  $t$  و  $P_{target,t}$  نشان دهنده بارگذاری هدف در زمان  $t$  است.

از سوی دیگر، مولفین در [88] یک استراتژی کنترل V2G را پیشنهاد کرده اند که قادر به ارائه تعدیل بار و همچنین حداقل کردن تلفات است. تابع هدف به صورت زیر است:

$$\min L = \sum_{t=1}^T \left[ I_{Load}(t) - \sum_{V=1}^N I_{EV,V}(t) \right]^2 \quad (13)$$

که T نشان دهنده تعداد کل بازه های زمانی، N نشان دهنده تعداد کل EV، I<sub>Load</sub> نشان دهنده جریان بار مورد تقاضا و I<sub>EV,V</sub> نشان دهنده جریان تقاضای EV شماره V است.

### 3-5 محدودیت های بهینه سازی

عملیات سیستم انرژی تحت محدودیت های زیادی قرار دارند. بهینه سازی مسئله UC که شامل عملیات V2G است، نیازمند مطابقت دو محدودیت اصلی است. می توان محدودیت های اشاره شده را به سیستم انرژی و وسیله نقلیه برقی تقسیم کرد.

#### 1-3-5 سیستم انرژی

##### 1-1-3-5 توازن انرژی

تامین انرژی از شبکه انرژی که شامل EV های متصل شده به شبکه است، باید تقاضای بار و تلفات سیستم را برآورده کند

$$P_{grid} + P_{V2G} = D_{Load} + Losses \quad (14)$$

که P<sub>grid</sub> نشان دهنده انرژی ایجاد شده از ژنراتور شبکه، P<sub>V2G</sub> نشان دهنده انرژی تامین شده از EV و D<sub>Load</sub> نشان دهنده تقاضای بار است.

##### 2-1-3-5 حد تولید انرژی دارای محدودیت های حداقل و حداکثر از پیش تعیین شده است. باید تقاضا و

تلفات سیستم در این محدوده قرار گیرند

$$P_{Generation,min} \leq D_{Load} + Losses \leq P_{Generation,max} \quad (15)$$

که  $P_{Generation,min}$  نشان دهنده حداقل تولید شبکه،  $P_{Generation,max}$  نشان دهنده حداکثر تولید شبکه و  $D_{Load}$  نشان دهنده تقاضای بار است.

**5-3-1-3 حد ولتاژ برای سیستم توزیع، ولتاژ باس شبکه انرژی باید در محدوده مجاز در نظر گرفته شود**

$$V_{Bus,min} \leq V_{Bus} \leq V_{Bus,max} \quad (16)$$

که  $V_{bus}$  نشان دهنده ولتاژ باس،  $V_{bus,min}$  نشان دهنده حداقل ولتاژ باس مجاز و  $V_{bus,max}$  نشان دهنده حداکثر ولتاژ باس مجاز است.

**5-3-1-4 حد حرارت خطی.** کابل انرژی دارای یک ظرفیت انتقال انرژی حداکثر قابل تحمل است. اضافه بارگذاری کابل منجر به بروز مشکل اضافه حرارت کابل می گردد

$$P_{cable} \leq P_{cable,max,heat} \quad (17)$$

که  $P_{cable}$  نشان دهنده ظرفیت تحمل کابل،  $P_{cable,max-heat}$  نشان دهنده حداکثر ظرفیت تحمل کابل پیش از اعمال اضافه حرارت است.

**5-3-2 وسیله نقلیه برقی**

**5-3-2-1 حد نرخ تبادل انرژی باتری**

جهت ایمنی و سلامت باتری، نباید نرخ تبادل فراتر از مقادیر حداکثر تعریف شده باشد

$$P_{Battery,min} \leq P_{Battery} \leq P_{Battery,max} \quad (18)$$

که  $P_{Battery}$  نشان دهنده نرخ توان تبادل باتری،  $P_{Battery,min}$  نشان دهنده حداقل نرخ توان تبادل باتری مجاز و  $P_{Battery,max}$  نشان دهنده حداکثر نرخ انرژی تبادل باتری مجاز است.

**5-3-2-2 حد SOC باتری.** به منظور حداقل کردن استهلاک باتری، باید SOC باتری EV را در محدوده از پیش تعریف شده حفظ کرد. علاوه براین، نباید باتری EV به طور کامل تخلیه شود، در حالی که مقادیر مشخص انرژی برای استفاده از EV ذخیره می شوند.

$$SOC_{EV,min} \leq SOC_{EV} \leq SOC_{EV,max}$$

(19)

که  $SOC_{EV}$  نشان دهنده SOC متعلق به EV،  $SOC_{EV,min}$  نشان دهنده حداقل SOC مجاز برای EV و  $SOC_{EV,max}$  نشان دهنده حداکثر SOC مجاز برای EV می باشند.

3-2-5 دسترسی EV. باید EV را به شبکه انرژی به منظور ایجاد سرویس V2G متصل کرد، هر چند که EV هایی که در حال تردد بوده و یا به شبکه انرژی متصل نشده اند، از عملیات V2G مستثنی می شوند.

## 6- نتیجه گیری

این مقاله به بررسی چارچوب، انواع، خدمات و چالش های عملیات V2G می پردازد. V2G به عنوان یک تکنولوژی جدید محسوب می شود که امکان تبادل انرژی را بین وسیله نقلیه و شبکه انرژی فراهم می کند. می توان این تکنولوژی را به دو دسته مختلف که شامل V2G یک جهته و V2G دو جهته بر اساس جریان انرژی بین شبکه انرژی و EV است، دسته بندی کرد. هر دو V2G قادر به ارائه خدمات متعدد به شبکه انرژی مانند خدمات فرعی، اصلاح بیشینه بار، تعدیل بار و به عنوان راه حل برای مسئله تناوب انرژی تجدید پذیر عمل می کنند. این مقاله همچنین تکنیک های بهینه سازی، اهداف و محدودیت ها را برای پیاده سازی V2G ارائه می کند. تکنیک بهینه سازی برای مدیریت انرژی V2G ضروری است، زیرا موجب حل محدودیت های سیستم انرژی پیچیده و موجب دستیابی به اهداف مختلف می گردد.

الزام اولیه جهت شناخت تکنولوژی V2G، دسترسی تکنولوژی های مرتبط است. علی رغم پیشرفت های قابل توجه در دهه های اخیر، باتری EV اجرایی و شارژر V2G همچنان در مرحله آزمایشگاهی می باشند. علاوه بر این، شبکه ایستگاه شارژدهی EV کامل با زیر ساخت ارتباطی دو جهته برای استفاده V2G در آینده ضروری است. برقی کردن صنعت حمل و نقل و تکنولوژی V2G به عنوان رویکرد های بلند مدت مطرح می شوند. با این حال، تکنولوژی V2G به عنوان یک فرآیند ضروری محسوب می شود که می تواند موجب ارائه مزیت های زیست محیطی و خدمات مختلف در شبکه انرژی گردد. اجرای تکنولوژی V2G نیازمند مشارکت فعال و همکاری دولت، نیروگاه های انرژی، جمع کننده

های V2G و مالکان EV است. سیستم مدیریت V2G مناسب با سیاست انگیزشی به عنوان یک عامل واسط مهم جهت اجرای موفقیت آمیز تکنولوژی V2G مطرح است.

مراجع

## References

- [1] U.S. Energy Information Administration (EIA). International Energy Outlook, Report No.: DOE/EIA-0484(2013). Washington, DC: Office of Energy Analysis, U.S. Department of Energy; 2013 20585.
- [2] Organization of the Petroleum Exporting Countries. World Oil Outlook, Report No.: ISBN 978-3-9502722-6-0. Helderstorferstrasse 17, A-1010 Vienna, Austria: OPEC; 2013.
- [3] Lin CH, Hsieh CY, Chen KH. A Li-ion battery charger with smooth control circuit and built-in resistance compensator for achieving stable and fast charging. *IEEE Trans Circuits Syst I* 2010;57(2):506–17.
- [4] Affanni A, Bellini A, Franceschini G, Guglielmi P, Tassoni C. Battery choice and management for new-generation electric vehicles. *IEEE Trans Ind Electron* 2005;52(5):1343–9.
- [5] Richardson DB. Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;19:247–54.
- [6] De Ridder F, D'Hulst R, Knapen L, Janssens D. Applying an activity based model to explore the potential of electrical vehicles in the smart grid. *Proc Comput Sci* 2013;19:847–53.
- [7] Shi L, Xu H, Li D, Zhang Z, Han Y. The photovoltaic charging station for electric vehicle to grid application in smart grids. In: *Proceedings of the IEEE ICIAFS 2012: 6th international conference on information and automation for sustainability*; 2012 Sep 27–29. p. 279–84.
- [8] Yilmaz M, Krein PT. Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces. *IEEE Trans Power Electron* 2013;28(12):5673–89.
- [9] Yilmaz M, Krein PT. Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology. In: *Proceedings of the IEEE ECCE 2012: energy conversion congress and exposition*; 2012 Sep 15–20. p. 3082–89.
- [10] Sortomme E. Combined bidding of regulation and spinning reserves for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE PES ISGT 2012: innovative smart grid technologies*. 16–20: 2012. p. 1–7.
- [11] Fasugba MA, Krein PT. Cost benefits and vehicle-to-grid regulation services of unidirectional charging of electric vehicles. In: *Proceedings of the IEEE ECCE 2011: energy conversion congress and exposition*; 2011 Sep 17–22. p. 827–34.
- [12] Gallardo-Lozano J, Milanés-Montero MI, Guerrero-Martínez MA, Romero-Cadaval E. Electric vehicle battery charger for smart grids. *Electr Power Syst Res* 2012;90:18–29.
- [13] Verma AK, Singh B, Shahani DT. Grid to vehicle and vehicle to grid energy transfer using single-phase bidirectional AC–DC converter and bidirectional DC–DC converter. In: *Proceedings of the international conference on energy, automation and signal, ICEAS*; 2011 Dec 28–30. p. 1–5.
- [14] Pinto JG, Monteiro V, Goncalves H, Exposto B, Pedrosa D, Couto C, et al. Bidirectional battery charger with grid-to-vehicle, vehicle-to-grid and vehicle-to-home technologies. In: *Proceedings of the IEEE IECON: 39th annual conference of the industrial electronics society*; 2013 Nov 10–13. p. 5934–39.
- [15] Liu C, Chau KT, Wu D, Gao S. Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies. *Proc IEEE* 2013;101(11):2409–27.
- [16] Pode R. Battery charging stations for home lighting in Mekong region countries. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;44:543–60.

- [17] Wu D, Chau KT, Gao S. Multilayer framework for vehicle-to-grid operation. In: proceedings of the IEEE VPPC: vehicle power and propulsion conference; 2010 Sep 1–3. p. 1–6.
- [18] Sortomme E, El-Sharkawi MA. Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE Trans Smart Grid* 2011;2(1):131–8.
- [19] Ahn C, Li CT, Peng H. Optimal decentralized charging control algorithm for electrified vehicles connected to smart grid. *J Power Sources* 2011;196(23):10369–79.
- [20] Hota AR, Juvvanapudi M, Bajpai P. Power quality of actual grids with plug-in electric vehicles in presence of renewables and micro-grids. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;46:289–200.
- [21] Guille C, Gross G. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy Policy* 2009;37(11):4379–90.
- [22] Akhtar GMA, Al-Awami, AT, Khalid, MW. Coordinating emission-aware energy trading with V2G services. *IEEE EUROCON*; 2013. p. 1293–98.
- [23] Sousa T, Morais H, Soares J, Vale Z. Day-ahead resource scheduling in smart grids considering vehicle-to-grid and network constraints. *Appl Energy* 2012;96:183–93.
- [24] O'Connell N, Wu Q, Østergaard J, Nielsen AH, Cha ST, Ding Y. Day-ahead tariffs for the alleviation of distribution grid congestion from electric vehicle. *Electr Power Syst Res* 2012;92:106–14.
- [25] Quinn C, Zimmerle D, Bradley TH. The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services. *J Power Sources* 2010;195(5):1500–9.
- [26] Tomić J, Kempton W. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *J Power Sources* 2007;168(2):459–68.
- [27] Kempton W, Tomić J. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *J Power Sources* 2005;144(1):280–94.
- [28] Ghofrani M, Arabali A, Etezadi-Amoli M. Electric drive vehicle to grid synergies with large scale wind resources. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2012 Jul 22–26. p. 1–6.
- [29] Ferreira RJ, Miranda LM, Araujo RE, Lopes JP. A new bi-directional charger for vehicle-to-grid integration. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2011: 2nd international conference and exhibition on innovative smart grid technologies Europe; 2011 Dec 5–7. p. 1–5.
- [30] Gould C, Colombage K, Wang J, Stone D, Foster M. A comparative study of on-board bidirectional chargers for electric vehicles to support vehicle-to-grid power transfer. In: Proceedings of the IEEE PEDS 2013: 10th international conference on power electronics and drive systems; 2013 Apr 22–25. p. 639–44.
- [31] Wang Z, Wang S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems. *EEE Trans Power Deliv* 2013;28(3):1822–9.
- [32] Ghosh DP, Thomas RJ, Wicker SB. A privacy-aware design for the vehicle-to-grid framework. In: Proceedings of the 46th hawaii international conference on system sciences, HICSS 2013; 2013 Jan 7–10. p. 2283–91.
- [33] Monteiro V, Pinto JG, Exposto B, Goncalves H, Ferreira JC, Couto C, et al. Assessment of a battery charger for electric vehicles with reactive power control. In: Proceedings of the IEEE IECON 2012: 38th annual conference on industrial electronics society; 2012 Oct 25–28. p. 5142–47.
- [34] Pillai JR, Bak-Jensen B. Integration of vehicle-to-grid in the Western Danish power system. *IEEE Trans Sustain Energy* 2011;2(1):12–9.



- [35] Dogger JD, Roossien B, Nieuwenhout FDJ. Characterization of Li-ion batteries for intelligent management of distributed grid-connected storage. *IEEE Trans Energy Convers* 2011;26(1):256–63.
- [36] Mullan J, Harries D, Bräunl T, Whitely S. The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept. *Energy Policy* 2012;48:394–406.
- [37] Han S, Han S, Sezaki K. Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation. *IEEE Trans Smart Grid* 2010;1(1):65–72.
- [38] Yong JY, Ramachandaramurthy VK, Tan KM, Mithulananthan N. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49:365–85.
- [39] Lefeng S, Qian Z, Yongjian P. The reserve trading model considering V2G reverse. *Energy* 2013;15(59):50–5.
- [40] Srivastava AK, Annabathina B, Kamalasadana S. The challenges and policy options for integrating plug-in hybrid electric vehicle into the electric grid. *Electr J* 2010;23(3):83–91.
- [41] Tu Y, Li C, Cheng L, Le L. Research on vehicle-to-grid technology. In: Proceedings of the CDCIEM 2011: international conference on computer distributed control and intelligent environmental monitoring; 2011 Feb 19–20. p. 1013–1016.
- [42] Mou Y, Hao X, Lin Z, Minyue F. Decentralized optimal demand-side management for PHEV charging in a smart grid. *IEEE Trans Smart Grid* 2014;6(2):726–736.
- [43] Kempton W, Tomić J. Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue. *J Power Sources* 2005;144(1):268–79.
- [44] Lopez MA, de la Torre S, Martín S, Aguado JA. Demand-side management in smart grid operation considering electric vehicles load shifting and vehicle-to-grid support. *Int J Electr Power Energy Syst* 2015;64:689–98.
- [45] Sortomme E, El-Sharkawi MA. Optimal combined bidding of vehicle-to-grid ancillary services. *IEEE Trans Smart Grid* 2012;3(1):70–9.
- [46] Han S, Aki H, Han S. A practical battery wear model for electric vehicle charging applications. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2013 Jul 21–25. p. 1–5.
- [47] Bandyopadhyay A, Wang L, Devabhaktuni VK, Green RC. Aggregator analysis for efficient day-time charging of plug-in hybrid electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2011 Jul 24–29. p. 1–8.
- [48] Richardson DB. Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates. *J Power Sources* 2013;243:219–24.
- [49] Ansari M, Al-Awami AT, Sortomme E, Abidoeric MA. Coordinated bidding of ancillary services for vehicle-to-grid using fuzzy optimization. *IEEE Trans Smart Grid* 2015;6(1):261–70.
- [50] Turker H, Hably A, Bacha S. Housing peak shaving algorithm (HPSA) with plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs): vehicle-to-home (V2H) and vehicle-to-grid (V2G) concepts. In: Proceedings of the fourth international conference on power engineering, energy and electrical drives, POWERENG 2013; 2013 May 13–17. p. 753–59.
- [51] Soares J, Sousa T, Morais H, Vale Z, Canizes B, Silva A. Application-specific modified particle swarm optimization for energy resource scheduling considering vehicle-to-grid. *Appl Soft Comput* 2013;13(11):4264–80.
- [52] Mets K, Verschueren T, De Turck F, Devellder C. Exploiting V2G to optimize residential energy consumption with electrical vehicle (dis)charging. In: Proceedings of the IEEE SGMS 2011: first international workshop on smart grid modeling and simulation; 2011 Oct 17. p. 7–12.
- [53] Sheikhi A, Bahrami S, Ranjbar AM, Oraee H. Strategic charging method for plugged in hybrid electric vehicles in smart grids; a game theoretic approach. *Int J Electr Power Energy Syst* 2013;53:499–506.
- [54] Baker E, Chon H, Keisler J. Battery technology for electric and hybrid vehicles: expert views about prospects for advancement. *Technol Forecast Soc Chang* 2010;77(7):1139–46.
- [55] Ramachandran B, Srivastava SK, Cartes DA. Intelligent power management in micro grids with EV penetration. *Expert Syst Appl* 2013;40(16):6631–6640.
- [56] Silvestre C, Sousa DM, Roque A. Reactive power compensation using on board stored energy in electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE IECON 2012: 38th annual conference on industrial electronics society; 2012 Oct 25–28. p. 5227–32.
- [57] Zhao D, Zhu L, Wang W, Chen N, Zhang H, Ni F. Calculation of harmonic suppression and reactive power compensation device's capacity configuration in electric vehicle charging stations. In: Proceedings of the CIGED 2012: international conference on electricity distribution China; 2012 Sep 10–14. p. 1–4.
- [58] Bolognani S, Zampieri S. A distributed control strategy for reactive power compensation in smart microgrids. *IEEE Trans Autom Control* 2013;58(11):2818–33.
- [59] Vovos PN, Kiprakis AE, Wallace AR, Harrison GP. Centralized and distributed voltage control: impact on distributed generation penetration. *IEEE Trans Power Syst* 2007;22(1):476–83.
- [60] Jiang B, Fei Y. Decentralized scheduling of PEV on-street parking and charging for smart grid reactive power compensation. *IEEE PES ISGT 2013: innovative smart grid technologies*; 2013 Feb 24–27. p. 1–6.
- [61] Lee SY, Wu CJ, Chang WN. A compact control algorithm for reactive power compensation and load balancing with static Var compensator. *Electr Power Syst Res* 2001;58(2):63–70.
- [62] Kisacikoglu MC, Ozpineci B, Tolbert LM. Examination of a PHEV bidirectional charger system for V2G reactive power compensation. In: Proceedings of the IEEE APEC 2010: twenty-fifth annual applied power electronics conference and exposition; 2010 Feb 21–25. p. 458–65.
- [63] Kisacikoglu MC, Ozpineci B, Tolbert LM. Reactive power operation analysis of a single-phase EV/PHEV bidirectional battery charger. In: Proceedings of the IEEE ICPE & ECCE 2011: 8th international conference on power electronics and ECCE Asia; 2011 May 30–Jun 3. p. 585–92.
- [64] Yong JY, Ramachandaramurthy VK, Tan KM. Bi-directional electric vehicle fast charging station with novel reactive power compensation for voltage regulation. *Int J Electr Power Energy Syst* 2015;64:300–10.
- [65] Kesler M, Kisacikoglu MC, Tolbert LM. Vehicle-to-grid reactive power operation using plug-in electric vehicle bidirectional offboard charger. *IEEE Trans Ind Electron* 2014;61(12):6778–84.
- [66] Romo P, Micheloud O. Issues and solution approaches in PHEV integration to smart grid. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;30:217–29.
- [67] Jin C, Sheng X, Ghosh P. Energy efficient algorithms for electric vehicle charging with intermittent renewable energy sources. In: Proceedings of the IEEE PES 2013: power and energy society general meeting; 2013 Jul 21–25. p. 1–5.
- [68] Fazelpour F, Vafaeipour M, Rahbari O, Rosen MA. Intelligent optimization to integrate a plug-in hybrid electric vehicle smart parking lot with renewable energy resources and enhance grid characteristics. *Energy Convers Manag* 2014;77:250–61.
- [69] Rao S, Berthold F, Pandurangavittal K, Blunier B, Bouquain D, Williamson S, et al. Plug-in hybrid electric vehicle energy system using home-to-vehicle and vehicle-to-home: optimization of power converter operation. In: Proceedings of the IEEE ITC 2013: transportation electrification conference and expo; 2013 Jun 16–19. p. 1–6.
- [70] Goebel C, Callaway DS. Using ICT-controlled plug-in electric vehicles to supply grid regulation in California at different renewable integration levels. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4(2):729–40.
- [71] Peas Lopes JA, Almeida PMR, Soares FJ. Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids. In: Proceedings of the international conference on clean electrical power; 2009 Jun 9–11. p. 290–95.
- [72] Raslavicius L, Azzopardi B, Kersys A, Starevicius M, Bazaras Z, Makaras R. Electric vehicles challenges and opportunities. *Lithuanian review* 2015;42:786–800 Feb.
- [73] Ghofrani M, Arabali A, Etezadi-Amoli M, Fadali MS. Smart scheduling and cost-benefit analysis of grid-enabled electric vehicles for wind power integration. *IEEE Trans Smart Grid* 2014;5(5):2306–13.
- [74] El-Zonkoly A. Intelligent energy management of optimally located renewable energy systems incorporating PHEV. *Energy Convers Manag* 2014;84:427–35.
- [75] Peterson SB, Apt J, Whitacre JF. Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization. *J Power Sources* 2010;195(8):2385–92.
- [76] Krein PT. Battery management for maximum performance in plug-in electric and hybrid vehicles. In: Proceedings of the IEEE VPPC 2007: vehicle power and propulsion conference; 2007 Sep 9–12. p. 2–5.
- [77] Han S, Han S, Sezaki K. Economic assessment on V2G frequency regulation regarding the battery degradation. *IEEE PES ISGT 2012: innovative smart grid technologies*; 2012 Jan 16–20. p. 1–6.
- [78] Millner A. Modeling Lithium Ion battery degradation in electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE CITRES 2010 conference on innovative technologies for an efficient and reliable electricity supply; 2010 Sep 27–29. p. 349–56.
- [79] Dehaghani ES, Williamson SS. On the inefficiency of vehicle-to-grid (V2G) power flow: potential barriers and possible research directions. In: Proceedings of the IEEE ITC 2012: transportation electrification conference and expo; 2012 Jun 18–20. p. 1–5.
- [80] Yuan X, Liu X, Zuo J. The development of new energy vehicles for a sustainable future: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;42:298–305.
- [81] Bashash S, Fathy HK. Optimizing demand response of plug-in hybrid electric vehicles using quadratic programming. In: Proceedings of the ACC 2013 American control conference; 2013 Jun 17–19. p. 716–21.
- [82] Soares J, Vale Z, Canizes B, Morais H. Multi-objective parallel particle swarm optimization for day-ahead vehicle-to-grid scheduling. In: Proceedings of the IEEE CIASG 2013 symposium on computational intelligence applications in smart grid; 2013 Apr 16–19. p. 138–45.
- [83] Saber AY, Venayagamoorthy GK. Optimization of vehicle-to-grid scheduling in constrained parking lots. In: Proceedings of the IEEE power & energy society general meeting; 2009 Jul 26–30. p. 1–8.
- [84] Saber AY, Venayagamoorthy GK. Unit commitment with vehicle-to-grid using particle swarm optimization. *IEEE Power Tech* 2009:1–8.
- [85] Sortomme E, El-Sharkawi MA. Optimal scheduling of vehicle-to-grid energy and ancillary services. *IEEE Trans Smart Grid* 2012;3(1):351–9.
- [86] Saber AY, Venayagamoorthy GK. Intelligent unit commitment with vehicle-to-grid-a cost-emission optimization. *J Power Sources* 2010;195(3):898–911.
- [87] Han HY, He JH, Wang XJ, Tian WQ. Optimal control strategy of vehicle-to-grid for modifying the load curve based on discrete particle swarm algorithm. In: Proceedings of the DRPT 2011: 4th international conference on electric utility deregulation and restructuring and power technologies; 2011 Jul 6–9. p. 1523–27.
- [88] Celli G, Ghiani E, Pilo F, Pisano G, Soma GG. Particle swarm optimization for minimizing the burden of electric vehicles in active distribution networks. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2012 Jul 22–26. p. 1–7.
- [89] Kiranyaz S, Ince T, Gabbouj M. Multidimensional particle swarm optimization for machine learning and pattern recognition. ; 2012.

- [90] Ghanbarzadeh T, Goleijani S, Moghaddam MP. Reliability constrained unit commitment with electric vehicle to grid using hybrid particle swarm optimization and ant colony optimization. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2011 Jul 24–29. p. 1–7.
- [91] Ma Y, Houghton T, Cruden A, Infield D. Modeling the benefits of vehicle-to-grid technology to a Power System. *IEEE Trans Power Syst* 2012;27(2):1012–20.
- [92] Rostami MA, Kavousi-Fard A, Niknam T. Expected cost minimization of smart grids with plug-in hybrid electric vehicles using optimal distribution feeder reconfiguration. *IEEE Trans Ind Inform* 2015;11(2):388–97.
- [93] Igualada L, Corchero C, Cruz-Zambrano M, Heredia FJ. Optimal energy management for a residential microgrid including a vehicle-to-grid system. *IEEE Trans Smart Grid* 2014;5(4):2163–72.
- [94] Bai X, Qiao W. Robust optimization for bidirectional dispatch coordination of large-scale V2G. *IEEE Trans Smart Grid* 2015;6(4):1944–54.
- [95] Akhavan-Rezai E, Shaaban MF, El-Saadany EF, Karray F. Online intelligent demand management of plug-in electric vehicles in future smart parking lots. *IEEE Syst J* 2015;99:1–12.