



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد برق-قدرت

ارزیابی حضور خودروهای برقی در قابلیت اطمینان سیستم های توزیع

هوشمند

نگارنده:

استاد راهنما:

تقدیم به...

تشکر و قدردانی

چکیده

واژه‌های کلیدی:

بهره برداری سیستم‌های قدرت، قابلیت اطمینان، خودرو الکتریکی، پارکینگ‌های گسترده

۸ مقدمه

۹ ۱-۱- اهمیت موضوع پژوهش

۱۲ ۲-۱- تعریف پایاننامه

۱۳ ۳-۱- ساختار پایاننامه

۱۴ مروری بر خودروهای الکتریکی

۱۵ ۱-۲ مقدمه

۱۶ ۲-۲ انواع مختلف خودروها

۱۶ ۱-۲-۲ خودروهای با موتور احتراق داخلی

۱۷ ۲-۲-۲ خودروهای هیبرید الکتریکی (HEV)

۲۰ ۳-۲-۲ خودروهای هیبرید الکتریکی قابل اتصال شبکه

۲۱ ۳-۲ اهمیت PHEV

۲۲ ۴-۲ مقایسه بین HEV و PHEV

۲۳ ۵-۲ حالت‌های عملکرد PHEV

۲۵ ۶-۲ EVها و PHEVهای موجود در بازار

۲۸ ۷-۲ مروری بر کارهای پیشین

۳۱ تشریح مسئله و ارائه روش حل

۳۲ ۱-۳ مقدمه

۳۲ ۲-۳ دلایل اهمیت بررسی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع

۳۳ ۳-۳ کیفیت توان و قابلیت اطمینان سیستم

۳۴ ۴-۳ قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی

نتایج شبیه‌سازی ۴۱

شبکه نمونه ۱-۴ ۴۲

سیستم تست ۲-۴ ۴۳

۳-۴ بررسی تاثیر خودروهای برقی در قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۶۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۰

نتیجه‌گیری ۱-۵ ۸۱

پیشنهادات ۲-۵ ۸۲

منابع و مراجع ۸۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت موضوع پژوهش

با نگرشی دقیق تر به مقوله مصرف انرژی، مشخص می شود که میزان مصرف کل انرژی به دو موضوع اصلی جمعیت و استاندارد زندگی که خود با توجه به میزان تولید ناخالص ملی ارزیابی می گردد، بستگی دارد. آمارهای موجود رشدی حدود ۴ الی ۸ درصد برای مصرف انرژی در جهان را نشان می دهند. یک چنین رشد سالانه متوسط، یعنی حدود ۶ درصد به این معنی است که مصرف انرژی در دنیا در عرض کمتر از ۲۰ سال آینده به دو برابر مقدار فعلی افزایش می یابد، قطعاً تحمیل چنین رشدی بر منابع سنتی موجود که عمدتاً فسیلی هستند، چندان معقول به نظر نمی رسد. بالا بردن بهره برداری مصرف انرژی و مدیریت مصرف، راه حل مناسبی در تدوین برنامه های دراز مدت می باشد.

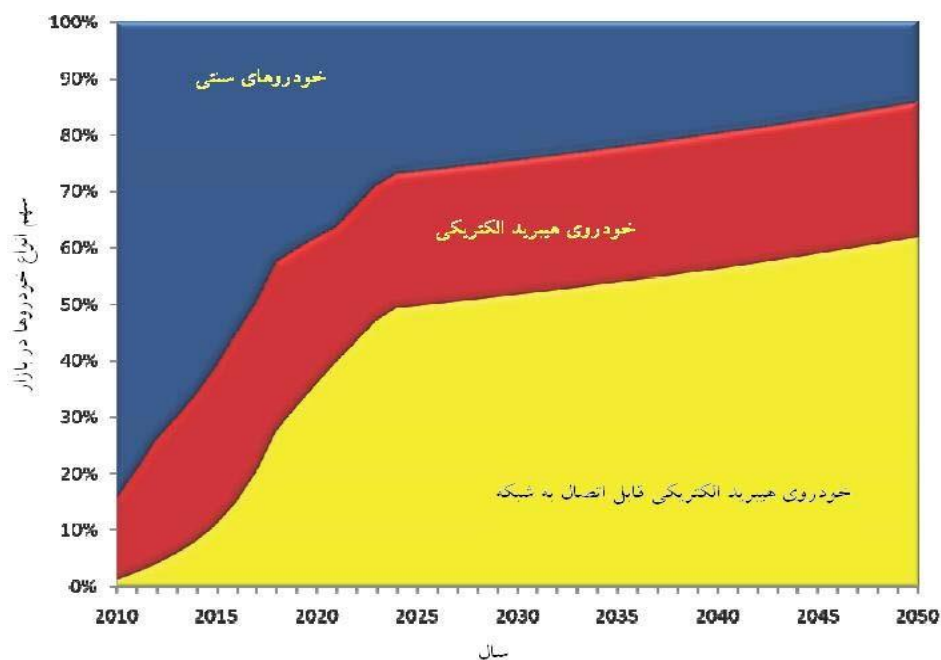
تقاضای روز افزون انرژی در بخش های مختلف جوامع را با چالش بزرگی روبرو ساخته است. افزایش روز افزون مصرف انرژی نیاز به تولید هر چه بیشتر آن را ضروری ساخته است. در همین زمان ابزارهای لازم برای تولید انرژی با مشکلات زیادی روبه رو می باشند. معاهده های بین المللی با هدف کاهش سطح آلودگی افزایش یافته اند و افزایش جهانی دمای هوا سبب حرکت به سوی محدود شدن انتشار دی اکسید کربن شده است. این مسائل باعث جایگزینی روش های قدیمی تولید انرژی با روش های جدید می شود؛ پاره ای از روش های جدید مانند تولید انرژی به کمک جوش هسته ای هنوز در دست بررسی هستند و تعدادی از آنها مانند انرژی بادی، خورشیدی و انرژی برق آبی متکی به شرایط آب و هوایی می باشند. این روش های جدید مزایای عمده ای نسبت به روش های قدیمی تولید انرژی دارند، ولی با این وجود چالش های زیادی در استفاده از آنها وجود دارد.

مسئله کمبود سوخت های فسیلی و همچنین افزایش میزان آلاینده های زیست محیطی، به حدی رسیده است که کشورهای مختلف را به سمت راهکارهایی جدی برای حل این موضوع سوق داده است. سهم

زیادی از مصرف سوخت‌های فسیلی . آلودگی محیط زیست مربوط به حمل و نقل است. حدود یک چهارم انرژی در آمریکا در بخش حمل و نقل مصرف می‌شود. بنابراین تمرکز بر گسترش وسایل نقلیه‌ای که آلودگی کمتری را به محیط زیست تحمیل می‌کنند، در دستور کار بیشتر کشورهای جهان قرار گرفته است. این موضوع در برخی کشورهای توسعه یافته که منابع سوخت فسیلی چندانی در اختیار ندارند، به مراتب جدی‌تر است. خودروهای هیبریدی الکتریکی به دلایل متعددی که مهم‌ترین آن‌ها در زیر فهرست شده اند، از اصلی‌ترین گزینه‌های حمل و نقل در سال‌های آتی به شمار می‌آیند.

- افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و کمبود آن در جهان
- تلاش برای کاهش میزان آلاینده‌های زیست محیطی
- کاهش آلودگی صوتی ناشی از موتور اتومبیل‌ها
- هزینه پایین‌تر برق مصرفی خودروی الکتریکی نسبت به سوخت مصرفی خودروهای معمولی به ازای مسافت واحد.

خودروهای هیبریدی در سال‌های اخیر ۳ درصد سهم بازار را در کشورهای توسعه یافته به خود اختصاص داده‌اند. تا کمتر از ده سال آینده، با عرضه تجاری خودروهای الکتریکی، رشد استفاده از آن‌ها شتاب بیشتری خواهد گرفت. بر اساس شکل ۱-۱ پیش بینی می‌شود سهم خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه برق تا سال ۲۰۵۰، به بیش از ۶۰ درصد وسایل نقلیه سبک جهان برسد. تا آن موقع، خودروهایی که فقط بنزین یا گازوئیل مصرف می‌کنند، تقریباً از گردونه تولید خارج خواهند شد.



شکل ۱-۱: روند رشد خودروهای الکتریکی تا سال ۲۰۵۰ [۱]

خودروهای الکتریکی هیبرید قابل اتصال به شبکه از باتری‌های قابل شارژ استفاده می‌کنند که قابلیت شارژ با اتصال به یک منبع قدرت خارجی را دارند. این خودروها قابلیت اتصال به شبکه قدرت دارند و از این جهت متصل^۱ خوانده می‌شوند.

با اینکه گسترش استفاده از این خودروها در سطح توزیع موجب کاهش اثرات مخرب آلاینده‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌شود، نباید از اثرات منفی آن‌ها غافل شد. مشکل اصلی استفاده از این خودروها افزایش بار شبکه ناشی از شارژ آن‌هاست که می‌تواند موجب اضافه بار تجهیزات توزیع و صدمه به آن‌ها شود. بنابراین باید با برنامه‌ریزی صحیح تا حد امکان از اثرات مخرب این خودروها کاست.

بی شک خودروهای الکتریکی در سال‌های اخیر در مرکز توجه قرار گرفته‌اند. چرا که میتوانند قابلیت ارتباط دوطرفه توان با شبکه الکتریکی داشته باشند. تعداد زیادی از خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه (PHEVS) در یک پارکینگ بزرگ میتوانند همانند یک واحد تولید پراکنده (DG) تحت

¹ Plug-in

کاردشالوده عظیم شبکه های هوشمند و تحت مدیریت یک نهاد گردآورنده به کار گرفته شوند تا به ارائه خدمات جانبی بپردازند (V2G). در ساعات کم باری، شبکه الکتریکی انرژی لازم جهت شارژ خودروهای الکتریکی را فراهم آورده و در ساعات پیک بار، خودروها میتوانند مقداری از انرژی ذخیره شده را به شبکه برگردانند. این خودروها با این عملکرد میتوانند به کاهش آلودگی، بهبود کیفیت توان، افزایش قابلیت اطمینان، کنترل فرکانس و... بپردازند. در این تحقیق به بررسی افزایش قابلیت اطمینان با وجود خودروهای الکتریکی در سیستم توزیع میپردازیم. بنابراین با روش های شبیه سازی جدید میتوان ترتیبی داد که مدل های قابلیت اطمینان اجزای اصلی سیستم قدرت، تولید تجدیدپذیر و زیرساختار ارتباطی در آن که جز لاینفک سیستم هوشمند میباشد را محاسبه و تخمین و با اندازه گیری یک سری شاخص ها مانند SAIDI و SAIFI و ECOST و EENS و LOLE و EIR و ... میتوان قابلیت اطمینان سیستم را اندازه گیری نمود و مقادیر به دست آمده را با سیستم بدون منابع تجدیدپذیر که در اینجا خودروهای برقی است مقایسه نمود.

۱-۲- تعریف پایان نامه

خودروی برقی (EV) در سال ۱۸۳۴ اختراع شد و در طول دهه آخر قرن ۱۹ شرکت هایی در آمریکا، بریتانیا و فرانسه این خودرو را تولید میکردند. افزایش مصرف سوخت فسیلی و کاهش ذخایر نفتی جهان قیمت این سوخت را در جهان افزایش داد. در نتیجه این افزایش مصرف آلودگی هوای ناشی از این سوخت ها هم بیشتر شد و همین عامل انسان را بر آن داشت تا به فکر استفاده از انرژی های جدید برود. خودروهای برقی هیبریدی و خالص از خودروهای جدیدی هستند که بعد از حدود یک قرن توجه بیشتر محققان را به خود جلب کرده است. اما سوالی که در اینجا مطرح است این است که کارکرد زیرساختارهای قدرت، اطلاعاتی و ارتباطی با حضور خودروهای برقی در چه حدی قابل اطمینان است؟ زیرساختار شارژ PHEV ها بخش

مهمی از شبکه هوشمند آینده خواهد بود که این زیرساختار شامل امکانات فیزیکی شارژ (کانکتورها و کنتورها) و همچنین صدور قبض، برنامه زمان بندی و دیگر ویژگی های هوشمند برای شارژ هوشمند در طی دوره های غیر پیک خواهد بود که این مفاهیم میتوانند عملکرد شبکه برق را در زمینه هایی مانند بازده، پایداری و قابلیت اطمینان و... را بهبود دهند.

این تحقیق ابتدا آن را جایابی کرده و با تعیین مکان و اندازه بهینه فضاهای پارک قابلیت اطمینان سیستم با ارائه مقدار ENS (انرژی عرضه نشده) پیشنهاد میشود. این شاخص، کل انرژی شبکه را که به دلیل بروز خطاها در طی این مطالعه عرضه نمی شود، منعکس میکند. که با الگوریتم ژنتیک PSO و روش شبیه سازی مونت کارلو و... قابل محاسبه است. بنابراین با به دست آوردن تابع هدف و با در نظر گرفتن این شاخص جای بهینه ایستگاه های شارژ در شبکه توزیع مشخص میشود.

۱-۳- ساختار پایان نامه

در فصل دوم به معرفی انواع خودروهای الکتریکی پرداخته شده است و حالت های عملکردی مختلف آنها مورد تحلیل قرار گرفته است. در ادامه این فصل به بررسی کارهای انجام شده در زمینه های مشابه پرداخته می شود.

در فصل سوم طرح مسئله با حضور PHEV ارائه و به معرفی و تشریح الگوریتم حل مسئله بصورت دقیق پرداخته می شود. در فصل چهارم نتیجه شبیه سازی آورده شده است، اثرات خودروهای الکتریکی PHEV در بهره برداری شبکه و تاثیر آن بر قابلیت اطمینان شبکه تشریح می شود. در فصل پنجم جمع بندی و نتیجه گیری مختصر از مطالب ارائه و در پایان پیشنهادات ذکر شده است.

فصل دوم مروری بر خودروهای الکتریکی

۱-۲ مقدمه

تسهیل و بهبود حمل و نقل یکی از رایج‌ترین تلاش‌های بشریت از آغاز خلقت بوده است. این تلاش‌ها، با اختراع چرخ وارد مرحله‌ی جدیدی از توسعه شد. چرخ حمل کالاها برای افراد را به مراتب راحت‌تر کرد. بنابراین، اختراع چرخ می‌تواند به عنوان اولین تحول در صنعت حمل و نقل در نظر گرفته شود. دومین تحول با اختراع اولین وسیله نقلیه خودرو اتفاق افتاد. فردیناند وربیست^۱ اولین خودرو با قدرت بخار را در سال ۱۶۷۲ طراحی کرد [2].

برای اولین بار، مخترع آلمانی به نام نیکولاس اتو^۲ امکان استفاده از موتور احتراق داخلی در ماشین را با اختراع موتور احتراق داخلی چهارزمانه در سال ۱۸۶۲ به وجود آورد. این نوع موتورها در خودروهای معمول امروزی استفاده می‌شود. بازدهی پایین این نوع موتورها و تولید بالای آلودگی مهمترین معایب این نوع خودروها است. اثرات منفی این نوع خودروها منجر به تلاش‌هایی برای ساخت خودروهایی با بازدهی بالاتر و آلودگی کمتر شد. اولین پیشرفت مهم در صنعت خودروسازی بعد از پیاده‌سازی ICE^۳ در خودرو، انتقال از خودروهای معمول به خودروهای هیبرید الکتریکی (HEV) است. این نوع خودروها برای اولین بار در سال ۱۹۹۷ در ژاپن با ساخت Toyota Prius معرفی شد [3]. سیستم داخلی این نوع خودروها در ادامه شرح داده می‌شود.

آخرین نسل خودرو که به تازگی در حال ورود به بازار هستند، PHEV است. این خودروها قابلیت شارژ از طریق اتصال به شبکه قدرت را دارند. توضیحات بیشتر در مورد این نوع خودروها در ادامه ارائه می‌شود. در شکل ۱-۲ پیشرفت‌های اخیر در صنعت خودروسازی نشان داده شده است.

¹ Ferdinand Verbist

² Nikolaus Otto

³ Internal Combustion Engine



شکل ۱-۲: روند پیشرفت در صنعت خودروسازی

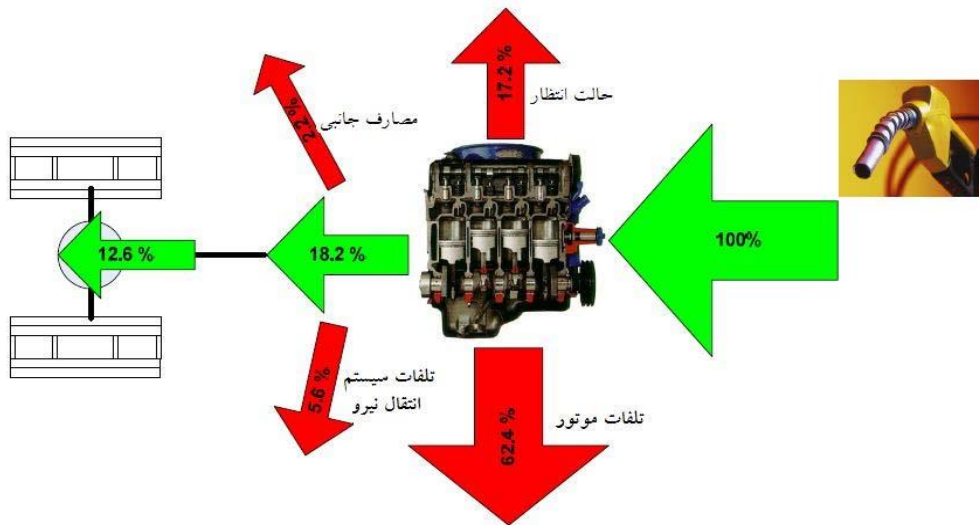
در این فصل خودروهای هیبرید مختلف و اساس عملکرد آن‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد و چند نمونه از خودروهای الکتریکی موجود در بازار معرفی می‌گردند.

۲-۲ انواع مختلف خودروها

در این بخش به شرح سه نوع خودرویی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- خودروهای با موتور احتراق داخلی

این خودروها معمول‌ترین خودرو هستند که بازدهی آن‌ها در حدود ۲۰ درصد است. به این معنی که ۸۰ درصد از انرژی در فرآیند تبدیل انرژی در موتور احتراق داخلی به گرما تبدیل شده و هدر می‌رود. شکل ۲-۲ تلفات اصلی را در یک نوع معمول ICE نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: تلفات انرژی در یک ICE [۴]

همان طور که در شکل ۲-۲ مشخص است، مجموع انرژی که به طور خالص توسط ICE استفاده می‌شود، در حدود ۱۳ درصد کل انرژی ورودی است. فناوری‌های متعددی برای بهبود بازدهی وجود دارد. همانند زمان‌بندی متغیر سوپاپ، تزریق مستقیم سوخت و بی اثر سازی [۵]، ولی با معرفی خودروهای هیبرید این تلفات به طور چشم‌گیری کاهش یافته است.

۲-۲-۲ - خودروهای هیبرید الکتریکی (HEV)

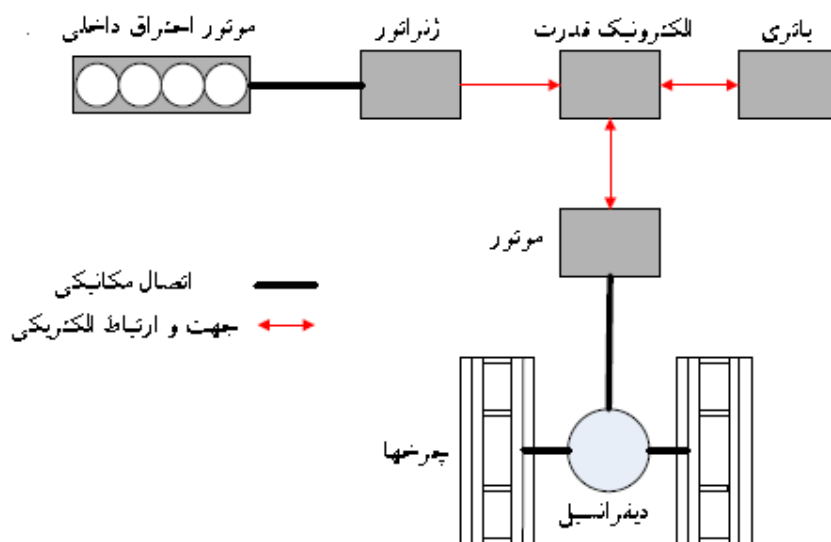
ICE می‌تواند در سرعت و گشتاور موثر خود کار کند. در زمان‌هایی که گشتاور و سرعتی بیشتر از آنچه که توسط ICE تولید می‌شود، نیاز است، مازاد انرژی مورد نیاز توسط موتور الکتریکی تامین می‌شود. در واقع موتور الکتریکی به کمک ICE می‌آید. این موتور به کمک باتری تغذیه می‌شود. در مقابل، در زمان‌هایی که گشتاور و انرژی کمتری از آنچه که ICE تولید می‌کند، نیاز است، انرژی اضافی در باتری ذخیره می‌شود. این نحوه کارکرد باعث عملکرد موثرتر ICE و متعاقباً کاهش تولید آلودگی می‌شود. ICE و موتور الکتریکی می‌توانند با آرایش‌های مختلف به هم متصل شوند. در ادامه این آرایش‌ها توضیح داده می‌شود.

۲-۲-۱- ساختارهای مختلف HEV

یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها در مورد HEV از نظر پیکربندی آن‌ها است. عمدتاً سه نوع ساختار در بازار کنونی خودروی هیبریدی وجود دارد: سری، موازی و یرس-موازی [6]، [7].

✓ سیستم هیبرید سری

یکی از انواع اصلی HEV، هیبرید سری است. در این پیکربندی، همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، وسیله نقلیه توسط موتور الکتریکی رانده می‌شود. این موتور توسط سیستم ذخیره ساز انرژی و یا ژنراتور و یا هر دوی آن‌ها تغذیه می‌شود.



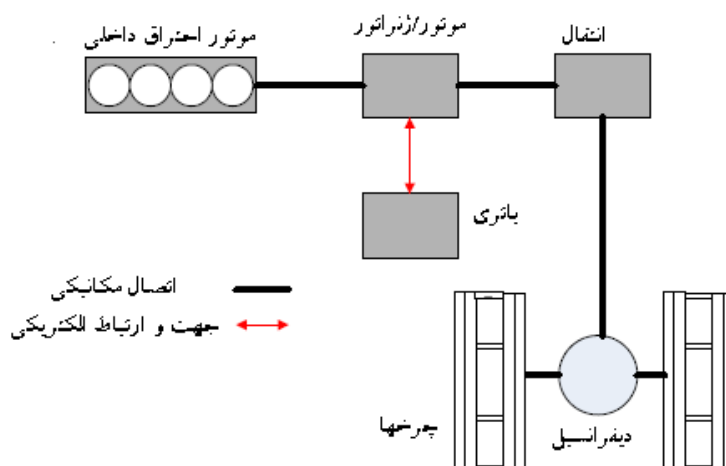
شکل ۲-۳: ساختار سیستم هیبرید سری

موتور احتراق داخلی کوچک به طور متناوب راه اندازی می‌شود تا انرژی الکتریکی را تولید کند. در حین ترمز احیا شونده، موتور الکتریکی عمل کرده و قدرت ترمز را جذب کرده و سیستم ذخیره ساز انرژی می‌کند. یکی از مزایای ساختار هیبرید سری این است که سیستم کنترل به دلیل عدم ارتباط مکانیکی بین موتور احتراق و چرخ‌ها، نسبتاً ساده است. موتور احتراق همیشه در یک سرعت و گشتاور ثابت (در نقطه اوج راندمان خود) کار می‌کند در حین رانندگی شهری (توقف-حرکت) هیبرید سری نسبتاً پربازده‌ترین است. مزیت دیگر این است که عملکرد هیبرید سی بسیار مشابه با خودروی الکتریکی

است.

✓ سیستم هیبرید موازی

همان طور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، در ساختار موازی هم موتور احتراق و هم موتور الکتریکی قدرت را به چرخ‌ها منتقل می‌کنند. این بدان معنا است که برای حرکت خودرو، قدرت ترکیبی در یک نقطه مکانیکی با یکدیگر جمع می‌شوند. در این سیستم، موتور الکتریکی به وسیله‌ی باتری تغذیه می‌شود تا چرخ‌ها را حرکت دهد و همچنین به عنوان ژنراتور استفاده می‌شود تا باتری شارژ شود. در نتیجه موتور الکتریکی نمی‌تواند برای تولید انرژی الکتریکی زمانی که خودرو در حال حرکت است، استفاده شود.



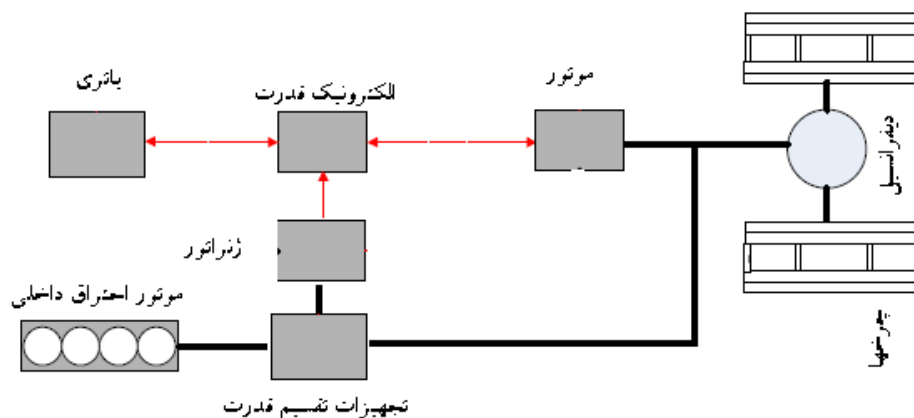
شکل ۲-۴: ساختار سیستم هیبرید موازی

خودروی هیبرید موازی معمولاً جعبه دنده‌ای مشابه وسایل نقلیه هم‌تای مرسوم خود دارد. کنترل سیستم هیبرید موازی پیچیده‌تر از یک سیستم هیبرید سری است، چرا که اتصال مکانیکی بین چرخ‌ها و موتور وجود دارد.

✓ سیستم هیبرید سری-موازی

مطابق شکل ۲-۵ در ساختار سری-موازی خودروها هر دو مشخصه هیبرید سری و موازی را دارند. این طرح بستگی به وجود دو موتور (ژنراتور) و نحوه‌ی ارتباط بین آن‌ها دارد. ارتباط بین موتور احتراق و

ماشین‌های الکتریکی عموماً توسط جعبه دنده‌ای به نام تجهیزات تقسیم قدرت^۱ انجام می‌گیرد. باتری توسط ترمز احیا کننده یا قدرت مازاد تولید شده توسط موتور احتراق شارژ می‌شود. زمانی که ماشین در سرعت‌های پایین حرکت کند، از موتور الکتریکی و در سرعت‌های بالا از موتور احتراقی استفاده می‌شود.



شکل ۲-۵: ساختار سیستم هیبرید سری-موازی

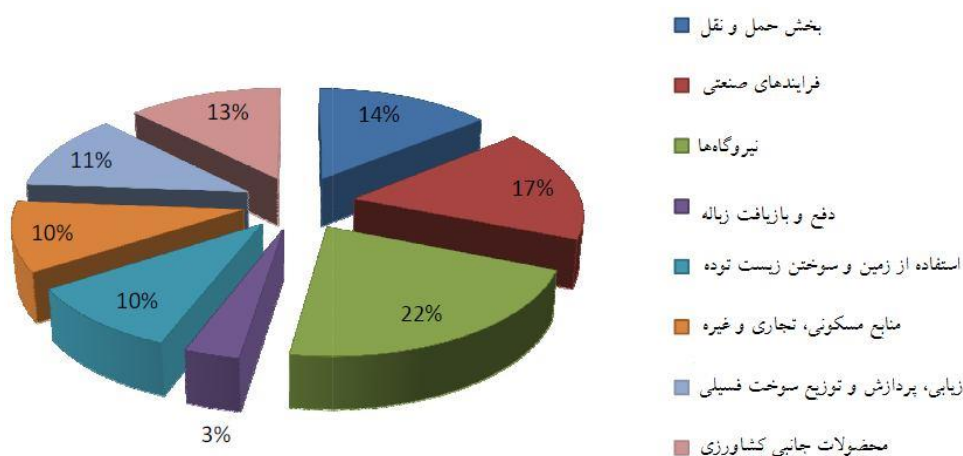
۲-۲-۳- خودروهای هیبرید الکتریکی قابل اتصال شبکه

نسل جدیدی از خودروها که در حال ورود به بازار هستند، PHEV است. PHEVها ساختاری شبیه HEVها دارند، با این تفاوت که از باتری با ظرفیت بالاتری برخوردار هستند و قابلیت شارژ از طریق اتصال به شبکه را دارند. قابلیت اتصال به شبکه PHEVها، این امکان را فراهم می‌کند که باتری توسط شبکه قدرت شارژ شده و دیگر نیازی به کارکرد موتور احتراق داخلی برای شارژ باتری نباشد. این امر باعث کاهش تولید آلودگی ناشی از خودروهای با موتور احتراق داخلی می‌شود. ظرفیت بالای باتری همیشه به عنوان یک چالش از لحاظ وزن، هزینه و طول عمر بوده است. صنعت باتری‌سازی در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی کرده است. قیمت و وزن باتری کاهش قابل توجهی داشته و در عین حال بازدهی و ظرفیت باتری‌ها بهبود فراوانی کرده است.

¹ Power-Splitting Devices

۲-۳ اهمیت PHEV

درصد بالایی از کل آلودگی تولید شده، توسط خودروهای سبک است که عموماً خودروهای شخصی هستند. کاهش تولید آلودگی یک چالش بزرگ هم برای کشورهای توسعه یافته و هم برای کشورهای در حال توسعه است. از طرف دیگر، چالش‌های مهم دیگر در دنیای امروز، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت آن‌ها و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی است. خودروهای سبک یکی از اصلی‌ترین منابع مصرف سوخت‌های فسیلی هستند. بنابراین، مصرف بالای سوخت و تولید آلودگی از مهمترین انگیزه برای تحول صنعت خودروسازی است. علاوه بر این، روش‌های تجدیدپذیر تولید برق نیز می‌تواند به عنوان انگیزه‌ای برای عرضه PHEV باشد. به طوری که انرژی لازم برای شارژ خودروها توسط نیروگاه‌های تجدیدپذیر و نه نیروگاه‌های با سوخت فسیلی تامین شود. در صد تولید گازهای گلخانه‌ای توسط بخش‌های مختلف در شکل ۲-۶ نمایش داده شده است. این گازها شامل کربن دی اکسید، متان و اکسید نیتروژن است [8].

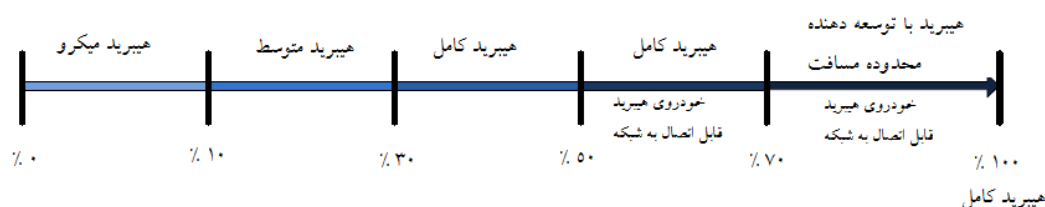


شکل ۲-۶: انتشار گازهای گلخانه‌ای

همان‌طور که در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود، ۱۴ درصد از آلودگی‌ها توسط بخش حمل و نقل تولید می‌شود که این میزان وابسته به بخش صنعت است. این بدین معنی است که با حذف آلودگی از بخش حمل و نقل، کل آلودگی تولید شده در بخش صنعت کاهش پیدا می‌کند. عرضه PHEV زمانی معنای بیشتری پیدا می‌کند که آلودگی بخش تولید برق پایین باشد و انرژی الکتریکی توسط منابع پاک شود.

۲-۴ مقایسه بین HEV و PHEV

شکل ۲-۷ درصد کل انرژی مصرفی خودرو که توسط باتری تغذیه می‌شود را برای انواع خودروهای هیبرید نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷: درصد انرژی خودرو که از طریق باتری تامین می‌شود و نوع خودرو

همانطور که در شکل ۲-۷ دیده می‌شود، خودروی هیبرید میکرو در کمتر از ۱۰ درصد زمان‌ها در حالت الکتریکی کار می‌کند. موتور الکتریکی این نوع خودرو، نیرویی به موتور احتراقی اضافه نمی‌کند. در عوض به صورت یک راه‌انداز عمل می‌کند و به ICE کمک می‌کند که به صورت آنی متوقف شود و یا شروع به حرکت کند و بدین صورت از کارکرد بی‌هوده ICE جلوگیری می‌کند.

خودروهای هیبرید میکرو به «هیبرید توقف/شروع»^۱ یا «هیبرید تهی» معروف هستند. آخرین نام به این دلیل است که هیبرید میکرو به اندازه‌ی هیبرید متوسط و کامل میزان مصرف سوخت را کاهش نمی‌دهد. زیرا موتور احتراق داخلی در این نوع خودروها ۹۰٪ از انرژی مورد نیاز خود را باید تامین کند. هیبرید متوسط نوعی از خودروهای هیبرید است که موتور الکتریکی نمی‌تواند چرخ‌ها را به حرکت در بیاورد و تنها به موتور احتراقی کمک می‌کند. در هیبرید متوسط ۷۰ درصدی انرژی مورد نیاز توسط ICE تامین می‌شود. تفاوت هیبرید میکرو و متوسط، موتور احتراق داخلی کوچکتر در هیبرید متوسط با عملکرد یکسان است.

¹ Stop/Start Hybrid

خودروهای هیبرید کامل معمولاً برای ماشین‌هایی بکار می‌رود که موتور الکتریکی آن‌ها مستقیماً به موتور احتراق داخلی کمک می‌کنند و همچنین موتور الکتریکی و باتری توان لازم برای حرکت چرخ‌ها به صورت مستقل را دارا می‌باشند. بنابراین، موتور احتراق داخلی در حدود ۵۰ درصد توان لازم برای حرکت خودرو را تامین می‌کند. در PHEV، بیش از ۵۰ درصد انرژی مورد نیاز خودرو توسط باتری تامین می‌شود. علاوه بر آن، باتری این خودروها قابلیت شارژ از طریق اتصال به شبکه قدرت را دارند. میزان مسافتی که این خودروها در حالت الکتریکی خالص می‌توانند طی کنند، «مسافت تمام الکتریک^۱ (AER)» نامیده می‌شود. این خودروها به صورت PHEV-x نشان داده می‌شود که X، مسافت تمام الکتریک را نشان می‌دهد. این میزان مسافت با افزایش ظرفیت باتری افزایش می‌یابد.

افزایش ظرفیت باتری باعث کاهش سایز موتور احتراق داخلی می‌شود. خودروهای تمام الکتریک، از باتری با ظرفیت بالایی برخوردارند و در آن‌ها دیگر از موتور احتراق داخلی استفاده نمی‌شود. به طور خلاصه، موتور احتراق داخلی کوچکتر تنها تفاوت خودرو هیبرید میکرو و متوسط است. از طرف دیگر، یک PHEV یک خودرو هیبرید کامل به همراه باتری با سایز بزرگتر و قابلیت شارژ از طریق شبکه است. پیاده‌سازی قابلیت شارژ از طریق شبکه، سبب تولید PHEV شده است. با وجود این که در این خودروها از موتور احتراق داخلی نیز استفاده می‌شود، ولی اعم انرژی خودرو توسط باتری تامین می‌شود. این میزان انرژی می‌تواند توسط منابع تولید انرژی پاک تولید شده و سبب کاهش آلودگی شود. حتی حرکت از سوی HEV به سمت PHEV با وجود تولید انرژی توسط نیروگاه‌ها با سوخت‌های فسیلی، باعث انتقال آلودگی از مناطق شهری به سمت نیروگاه‌ها می‌شود که این امر سبب تمرکز آلودگی شده و کنترل و مدیریت آلودگی را آسان می‌کند.

۲-۵ حالت‌های عملکرد PHEV

صرف نظر از آرایش PHEVها، این نوع خودروها می‌تواند در حالت‌های «شارژ خالی کننده^۲» و «شارژ نگهدارنده^۳» کار کند. PHEV به صورت ترکیبی از این دو حالت نیز می‌تواند کار کند. علاوه بر آن، این خودروها می‌توانند برای رانندگی در حالت تمام الکتریک در سرعت‌های پایین و یا سرعت‌های بالا،

¹ All Electric Range

² Charge-depleting

³ Charge-sustaining

طراحی شوند. این حالت‌ها، استراتژی دشارژ باتری خودرو را مدیریت می‌کنند و استفاده از این حالت‌ها، تاثیر مستقیم بر سایز و نوع باتری مورد نیاز دارد.

۲-۵-۱- حالت شارژ خالی کننده

این حالت؛ این امکان را فراهم می‌سازد که PHEV با شارژ کامل به تنهایی با توان الکتریکی (به استثناء شتاب‌های زیاد) کار کند تا زمانی که شارژ آن به یک سطح از پیش تعیین شده برسد. این دوره‌ی زمانی، مسافت تمام الکتریک خودرو است. پس از این که سطح شارژ باتری به سطح از پیش تعیین شده رسید، موتور احتراق داخلی شروع به کار می‌کند. این حالت تنها حالت عملکرد خودروهای تمام الکتریک است.

۲-۵-۲- حالت مخلوط ۱

حالت مخلوط نوعی از حالت شارژ خالی کننده است. این حالت معمولاً در خودروهایی استفاده می‌شود که توان الکتریکی لازم برای ماندن در سرعت بالا را نداشته و نیاز به کمک موتور احتراق داخلی دارند. این حالت عملکرد، میزان مسافتی را که خودرو با باتری شارژ کامل می‌تواند طی کند، افزایش می‌دهد. برای مثال خودروی Toyota Prius بدون استفاده از موتور احتراق تنها در سرعت‌های کمتر از ۴۲ مایل بر ساعت (۶۸ کیلومتر بر ساعت) کار کند.

۲-۵-۳- حالت شارژ نگه دارنده

حالت شارژ نگه‌دارنده، توسط خودروهای هیبرید الکتریکی (HEV) استفاده می‌شود. این حالت، دو منبع توان خودرو را به گونه‌ای ترکیب می‌کند که خودرو تا جای ممکن کارآمد عمل کند و در عین حال این اجازه را ندهد که سطح شارژ باتری (SOC^۲) از حد از پیش تعیین شده خارج شود. در طول یک سفر

¹ Blended mode

² State of Charge

توسط HEV، سطح شارژ باتری ممکن است نوسان کند ولی مجموع تغییرات آن برابر صفر است. زیرا در مواقعی به موتور احتراق داخلی کمک کرده و انرژی باتری به موتور تحویل داده می‌شود. در مواقعی باتری توسط موتور احتراق داخلی شارژ می‌شود. بنابراین باتری یک HEV می‌تواند یک جمع‌کننده انرژی در نظر گرفته شود تا یک دستگاه ذخیره‌ساز سوخت. زمانی که یک PHEV، مسافت تمام الکتریک خود را در حالت شارژ خالی کننده طی کند، به طور خودکار به حالت شارژ نگه‌دارنده تغییر حالت می‌دهد.

۲-۵-۴- حالت ترکیبی^۱

حالت ترکیبی حالتی است که در یک سفر، ترکیبی از تمام حالاتی که در بالا شرح داده شد، استفاده می‌شود. برای مثال یک PHEV-20 را در نظر بگیرید که سفر خود را با ۵ مایل (۸ کیلومتر) در حالت سرعت پایین شارژ خالی کننده شروع می‌کند. سپس وارد بزرگراه شده و ۲۰ مایل (۳۲ کیلومتر) را در حالت مخلوط طی می‌کند. بدین صورت که ۱۰ مایل (۱۶ کیلومتر) از مسافت تمام الکتریک خود را استفاده می‌کند. پس از آن، از بزرگراه خارج شده و ۵ مایل دیگر (۸ کیلومتر) را بدون استفاده از موتور احتراق داخلی طی می‌کند. بدین ترتیب مسافت تمام الکتریک خودرو (۲۰ مایل) کاملاً طی شده و سطح باتری به حد از پیش تعیین شده می‌رسد. در این زمان، خودرو به حالت شارژ نگه‌دارنده تغییر حالت داده و ۱۰ مایل دیگر را طی می‌کند تا به مقصد برسد. چنین سفری به عنوان یک حالت ترکیبی در نظر گرفته می‌شود [۹-۱۱].

۲-۶ EVها و PHEVهای موجود در بازار^۲

شرکت‌های خودروسازی، مخصوصاً آن‌هایی که در زمینه بازار HEV فعال بودند، در حال افزایش سرمایه‌گذاری خود در زمینه خودروهای تمام الکتریک و یا PHEV هستند. برای هر دو شرکت تویوتا و جنرال موتور اعلام کرده‌اند که در آینده‌ای نه چندان دور PHEV را به بازار عرضه می‌کنند. بقیه شرکت‌ها

^۱Mixed Mode

^۲ نتایج ارائه شده مربوط به سال ۲۰۱۲ می‌باشد.

مانند تینک^۱ در نروژ، روی خودروهای الکتریکی تمرکز کرده‌اند. در جدول ۱-۲ تعدادی از EV و PHEV های موجود با مشخصاتشان نشان داده شده است.

جدول ۱-۲: مشخصات EV ها و PHEV های مختلف

مدل خودرو	کارخانه سازنده	ظرفیت باتری (kWh)	AER (km)	مدت زمان شارژ کامل (ساعت)
Prius (PHEV)	تویوتا	۱۰	۴۸	۸
Volt (EV)	شورولت	۱۶	۶۴	-
Tesla Roadster (EV)	تسلا موتور	۵۳	۳۶۲	۳/۵
Think City (EV)	تینک	۲۸/۳	۱۷۰	۹/۵
ReCharge C30 (PHEV)	ولوو	۱۲	۱۰۰	۳
iMiev (EV)	میتسوبیشی	۱۶	۱۶۰	۷-۱۴

تویوتا شرکتی است که اولین HEV را در سال ۱۹۹۷ معرفی کرد. با داشتن تجربه بالا در زمینه HEV، انتظارات از این شرکت برای عرضه PHEV از بقیه شرکت‌ها بالاتر است. ولی تویوتا منتظر پیشرفت در صنعت باتری سازی است تا مدل PHEV خود را معرفی کند. جنرال موتور و شورلت همکاری نزدیکی با هم برای توسعه سری جدید از PHEV به نام ولت دارند. ولت با باتری لیتیوم-آیون^۲ ۱۶ کیلووات ساعت، دارای مسافت تمام الکتریک ۶۴ کیلومتر است.

تسلا موتور، خودروی تمام الکتریک با AER ۶۳۲ کیلومتر را تولید کرده است. این خودرو قابلیت شارژ در ۵/۳ ساعت توسط مدار سه فاز ۷۰ آمپر را دارد. در این خودرو از یک موتور القایی 375 V AC استفاده شده است. این موتور تمام توان مورد نیاز برای حرکت تا حداکثر سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت را تامین می‌کند.

شرکت نروژی تینک، خودروی شهری THINK را در سال ۲۰۰۸ تولید کرد. در این خودرو از باتری لیتیوم با ظرفیت ۳۰ کیلووات ساعت استفاده شده است. این خودرو می‌تواند مسافت ۱۸۰ کیلومتر را با

¹ Think

² Litium ion

یک بار شارژ کردن با حداکثر سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت طی کند. ریشارژ^۱ خودروی هیبرید قابل اتصال است که توسط شرکت ولوو تولید شده است. این خودرو نسبت به خودروهای هیبرید دیگر بازدهی بهتری دارد و آلودگی کمتری تولید می‌کند. در این خودرو از آرایش سری استفاده شده است که هیچ نوع اتصال مکانیکی بین موتور احتراق و چرخ‌ها وجود ندارد. علاوه بر آن، چهار موتور الکتریکی، هر کدام برای هر چرخ، توان لازم برای حرکت خودرو را به طور مستقل تامین می‌کنند. زمان بین سرعت صفر تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت خودرو برابر ۹ ثانیه و حداکثر سرعت آن ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت است.

iMeiv خودروی الکتریکی است که توسط شرکت ژاپنی میتسوبیشی تولید می‌شود. موتور سنکرون مغناطیسی دائم در این خودرو پیاده‌سازی شده است که باعث صدای بسیار کم خودرو و بازدهی بالا آن شده است. این خودرو می‌تواند در نیم ساعت توسط ایستگاه شارژ سریع (۵۰ کیلووات) و یا در ۱۴ ساعت با مدار ۱۰۰ ولت ۱۵ آمپر و یا در ۷ ساعت توسط مدار ۲۰۰ ولت آمپر شارژ شود. شکل ۲-۸ شکل PHEV و EVهای فوق‌الذکر را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸: شکل PHEV و EVهای شرکت‌های خودروسازی مختلف

به زودی PHEV سهم بالایی از خودروهای جهان را به خود اختصاص خواهد داد. با توجه به این که این خودروها از باتری با ظرفیت بالایی برخوردار هستند و شبکه قدرت باید توانایی تامین بار ناشی از شارژ این خودروها را داشته باشد، بررسی تاثیر شارژ PHEVها روی شبکه قدرت ضروری به نظر می‌رسد که در فصول آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

¹ ReCharge

۲-۷-۲ مروری بر کارهای پیشین

۲-۷-۱- تحلیل تاثیرات مثبت و مزایای حضور خودرو الکتریکی در عملکرد مناسب

سیستم [۱۲]

تاثیر الگوی رانندگی و ترافیک بلژیک بر روی شبکه‌ی توزیع مورد مطالعه قرار گرفته است. بخش اصلی این مطالعه بررسی پخش بار شبکه‌ی توزیع در حضور PHEV است. در این مقاله نیز ۳ الگوی مختلف جهت شارژ PHEV و الگوی رانندگی و مصرف انرژی آن‌ها در نظر گرفته شده است. این پروژه بر روی شبکه توزیع استاندارد ۳۴ باسه IEEE پیاده شده است. در این مطالعه بیان شده است که PHEV-ها به شدت بر روی اصلاح ولتاژ و تلفات شبکه توزیع تاثیر می‌گذارند. اما در این مقاله توانایی توان‌دهی PHEV-ها به شبکه و کمک به شبکه‌ی آن‌ها در نظر گرفته نشده است.

۲-۷-۲- مشکلات اتصال خوردوی الکتریکی به شبکه توزیع [۱۳]

شائو و همکاران بر روی تاثیرات شارژ PHEV-ها بر روی یک فیدر مشترک در شبکه‌ی توزیع Blacksburg 25kVA تحقیق انجام داده‌اند. این شبکه دارای تعدادی خانه و PHEV بود و دو نوع الگوریتم شارژ و مصرف برای PHEVها در نظر گرفته شد. در این مقاله بر روی برنامه‌ریزی پیشرفته و هوشمند شارژ و مصرف انرژی ذخیره شده در باتری PHEV-ها تاکید شده است ولی برای شارژ باتری‌ها زمانی در نظر نگرفته شده است. یکی از مشکلات اساسی دیگر این مطالعه محدود بودن تعداد PHEV و المان‌های آن می‌باشد.

۲-۷-۳- حل مسئله امنیت مقید مشارکت واحدها با هدف مینیمم‌سازی تابع هزینه و

آلودگی [۱۴]

در این مرجع یک پل میان محاسبات مشارکت امنیت واحدها و تکنولوژی خودروی قابل اتصال به شبکه (V2G)^۱ برقرار شده است، در این مرجع V2Gها به‌عنوان نیروگاه‌های کوچک قابل اتصال به شبکه در نظر گرفته می‌شود. بهینه‌سازی در اینجا به منظور کاهش هزینه بهره‌برداری شبکه و کاهش آلودگی است. این مسئله پیچیده بهینه‌سازی از طریق الگوریتم PSO حل شده است، این مسئله بهینه‌سازی از نوع MILP است که تمام متغیرهای باینری و عدد صحیح از طریق PSO بهینه‌شده‌اند. در این مرجع

¹ Vehicle to Grid

الگوریتم PSO، جستجوی محلی و جامع را بصورت متعادل انجام داده است بنابراین امکان بهینگی در نقطه محلی و عدم حصول نقطه بهینه جامع کم می شود. با توجه به مسئله حل شده واضح است که وارد شدن V2G به شبکه هزینه بهره برداری و آلودگی را کاهش می دهد و همچنین رزرو و قابلیت اطمینان شبکه را بالا می برد.

۲-۷-۴- وارد کردن خوردروهای الکتریکی بعنوان بارهای قابل انعطاف به محاسبات

مشارکت واحدها [۱۵]

در این مرجع یک مدل امنیت مقید مشارکت واحدها (UC) از طریق روش MILP با تمرکز بر روی تاثیر V2G و PHEV بر روی تولید بررسی شده است، مهمترین فایده این روش قابلیت حل مسئله با تعداد زیادی EV است. الگوریتم بر روی یک شبکه تست استاندارد است و سناریوهای مختلف بر روی آن پیاده سازی شده است. در این مقاله نشان داده شده است که شارژ کردن بهینه (بصورت کنترل مرکزی) نسبت به شارژ کردن رندم ارزان تر است و نفوذپذیری EV سیستم را افزایش می دهد. شبیه سازی بر پایه دو سناریو با دو ساختار مختلف ران شده است.

۱. زیربنای کامل^۱: قابلیت شارژ در هر مکانی وجود دارد.

۲. زیربنای معتدل^۲: قابلیت شارژ تنها در محل های خاصی وجود دارد.

به عنوان نتیجه کلی بیان شده است که هزینه تولید با زیربنای معتدل کمی گران تر است.

۲-۷-۵- محاسبات عملکرد پارکینگ های گسترده با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات [۱۶]

به دلیل افزایش تعداد PHEV ها در سیستم حمل و نقل جهانی و افزایش ظرفیت ذخیره های آن ها، در مورد استفاده از پارکینگ های گسترده شهری از دیدگاه ریاضی توضیح داده شده است. به منظور برنامه ریزی بر زمان انرژی موجود در PHEV ها از روش PSO استفاده شده است. PSO از اطلاعات قبلی ذخیره شده در سیستم جهت به دست آوردن جواب بهینه استفاده می کند. هر تغییری در سیستم به صورت اطلاعات جدید ذخیره می گردد و برنامه ی بهینه سازی برنامه ریزی دوباره اجرا می گردد تا نقطه کار آن تعیین شود. در این مدل قیودی همچون قیمت انرژی، ظرفیت باقی مانده ی باتری و زمان باقی

¹ Perfect Infrastructure

² moderate Infrastructure

مانده جهت شارژ باتری در نظر گرفته شده است. در این مقاله نشان داده شده است که این روش بهینه‌سازی و تعریف مسئله توسط روش PSO سریعتر از روش GA است و پیاده‌سازی آن راحت‌تر است. مشکل اساسی در اینجا، این است که به دلیل استفاده از روش PSO لزوماً دارای جواب قطعی نیست و ممکن است مسئله یا بدون جواب باشد و یا در یک نقطه‌ی اکسترمم نسبی قرار بگیرد.

۲-۷-۶- مروری بر تاثیرات خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه بر شبکه‌ی

توزیع [۱۷]

مطالعاتی در مورد تاثیر PHEV بر شبکه‌ی توزیع و مدل کردن آن صورت گرفته است. این تاثیرات با استفاده از ترکیب الگوی رانندگی، مشخصه‌ی شارژ، زمان شارژ کردن و میزان خودروهای الکتریکی انجام گرفته است. در این مقاله مدلی جهت احتمال حضور و دسترسی توان ذخیره شده در این خودروها جهت تزریق به شبکه ارائه شده است اما قابلیت اطمینان این موضوع تعیین نشده است.

۲-۷-۷- تاثیر رژیم شارژ و دشارژ PHEV بر روی یک شبکه توزیع در بلکسبورگ [۱۸]

در این پروژه، شبکه شامل پنج خانه و دو PHEV از نوع Chevy Volt است. در این پروژه دو نوع استراتژی در نظر گرفته شده است. اولاً تمامی PHEV ها در ساعت شش بعد از ظهر شارژ شوند. ثانیاً PHEV ها در زمان غیر پیک تنها شارژ شوند. استراتژی اول دچار مشکل می‌شود و منجر به افزایش ۶۸٫۵۲٪ در بار ترانس توزیع مربوطه در فصل تابستان و زمستان می‌گردد. اما استراتژی دوم منجر به افزایش ۵۸٫۵۲٪ بار ترانس می‌گردد و نتیجه‌ی بهتری به همراه دارد.

از دیدگاه دیگر اگر شارژ سریع (با افزایش ولتاژ شارژ) استفاده شود. تنها در استراتژی اول ترانس دچار اضافه بار می‌گردد.

و در سناریوی دیگری مصرف کنندگان جهت استفاده از مکانیزم شارژ سریع، بارهای غیر ضروری خود را قطع می‌کنند تا ترانس دچار اضافه بار نشود. این سناریو عملکرد بهتری را نشان می‌دهد.

فصل سوم

تشریح مسئله و ارائه روش حل

۱-۳ مقدمه

هدف مهندسان و برنامه‌ریزان سیستم‌های مهندسی (چه در مهندسی برق و چه در سایر رشته‌های مهندسی) از طراحی و ساخت انواع سیستم‌های ساده و پیچیده، افزایش سطح کارایی سیستم و در نتیجه رشد شاخص‌های اقتصادی و مهم‌تر از همه افزایش رضایتمندی مصرف‌کنندگان می‌باشد. از کار افتادگی و اختلال در سیستم، گاه صدمات جبران‌ناپذیری را به پیکره یک سیستم و یا یک مجموعه وارد می‌نماید. از این رو بحث اطمینان‌پذیری به عنوان یک مبحث مهم در بهره‌برداری از سیستم‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد.

در مورد اطمینان‌پذیری (قابلیت اطمینان) تعاریف متنوعی در کتاب‌ها و مقالات برقی و غیر برقی ارائه شده است که در قسمت‌های بعدی به تفصیل بیان می‌گردد.

به طور کلی اطمینان‌پذیری عبارت است از احتمال خطا نکردن یک عنصر و عملکرد درست آن در یک بازه زمانی معین. شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان اصولاً بر محور احتمال خطر استوار است. پر واضح است که عموم مهندسان باید از مفاهیم اساسی و بنیادی ارزیابی قابلیت اطمینان آگاه باشند، زیرا امروزه قانون در ایران و در اکثر کشورها، طراحان و سازندگان را مسئول خسارت‌های وارد بر مصرف‌کنندگان در اثر خرابی و عملکرد نامطلوب محصولات می‌داند.

۲-۳ دلایل اهمیت بررسی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع

امروزه تصور زندگی بدون انرژی الکتریکی بسیار مشکل می‌باشد و از طرفی پایداری بسیاری از مشاغل و فعالیت‌های اجتماعی به آن وابسته گشته است. وابستگی شدید کارهای مختلف به انرژی الکتریکی تا حدی است که با قطع برق خسارت بسیار زیادی به مردم تحمیل می‌گردد و آن‌ها را از مسیر عادی زندگی خارج می‌کند. همین اتکا به انرژی الکتریکی، سطح توقع مردم را در دریافت انرژی الکتریکی

بالا برده است. بطوریکه با بروز حوادث منجر به قطع انرژی الکتریکی و یا عدم کیفیت مناسب انرژی دریافتی، اعتراض شدید آنها را در پی دارد. این عوامل بعلاوه بسیاری از عوامل دیگر باعث گشته است که شرکت‌های توزیع نیروی برق درصدد افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع باشند. افزایش قابلیت اطمینان برق‌رسانی بدون شناخت عوامل بوجود آورنده حوادث ممکن نخواهد بود و البته شناخت حوادث بدون داشتن اطلاعات و آمار صحیح مقدور نیست. لذا بنظر می‌سد که اولین قدم در شناخت حوادث برق جمع آوری آمار و اطلاعات صحیح و تحلیل آماری آنها است.

۳-۳ کیفیت توان و قابلیت اطمینان سیستم

کیفیت توان الکتریکی از نظر افراد مختلف دارای تعابیر متفاوتی است. از نظر مشترکین، مشکل کیفیت برق به مواردی مربوط می‌شود که در تأمین برق آنها خدشه‌ای وارد شود. از دیدگاه مسئولین و کارشناسان شرکت‌های توزیع، تخطی از استانداردهای مختلف مانند افت ولتاژ و یا هارمونیک شبکه، کیفیت برق را خدشه دار می‌کند. برخی نیز کیفیت برق را همان کیفیت ولتاژ تعبیر می‌کنند. آنچه از اهمیت بالایی برخوردار است، تشخیص وجه تمایز میان کیفیت برق و قابلیت اطمینان آن است. قابلیت اطمینان زیر مجموعه‌ای از کیفیت برق است. هرچند بسیاری بر این عقیده‌اند که تشخیص مرز برای این دو دشوار است. اغلب خطاهای بیش از چند دقیقه را به پروسه بررسی قابلیت اطمینان ارجاع می‌دهند و به خطاهای زودگذر در بررسی کیفیت توان توجه می‌کنند. البته در برخی موارد نیز به دلیل اهمیت بروز خطاهای زودگذر، مهندسين برق در بررسی قابلیت اطمینان سیستم، خطاهای زودگذر را نیز در نظر می‌گیرند. دسترسی سیستم نیز به درصد زمانی اطلاق می‌گردد که سیستم، بدون وقفه مشترکین را تغذیه می‌کند.

۳-۴ قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی

اساسی ترین هدف سیستم‌های قدرت تداوم تأمین انرژی الکتریکی ارزان قیمت با کیفیت مطلوب است. البته به دلایلی مانند معایب و خرابی‌های احتمالی در تجهیزات به کار رفته در سیستم، و نیز بروز خطاهای پیش‌بینی شده و پی بینی نشده نمی‌توان انتظار داشت که همواره این انرژی در دسترس قرارگیرد. از این رو ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت به صورت مقوله‌ای بسیار مهم مطرح می‌گردد.

سیستم توزیع گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت از نظر مساحت تحت پوشش می‌باشد. از طرف دیگر این سیستم واسطه‌ای میان مصرف‌کننده و سیستم قدرت بوده که انرژی را از شبکه انتقال و فوق توزیع دریافت کرده و به مصرف‌کننده تحویل می‌دهد. همچنین از آنجایی که علی‌رغم سادگی ساختار شبکه‌های توزیع سهم عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در سیستم قدرت به این بخش اختصاص دارد، لذا ارزیابی و بررسی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

تعاریف متنوعی در مورد قابلیت اطمینان ارائه شده است. استانداردهایی همچون ISO8402 و BS4778 قابلیت اطمینان را اینگونه تعریف نموده‌اند:

«قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از توانایی آن سیستم در انجام وظیفه تحت شرایط محیطی و بهره‌برداری معین برای یک بازه زمانی خاص»

در مورد سیستم توزیع، قابلیت اطمینان به قطع برق مشترکین و ایجاد اختلال در عملکرد تجهیزات مربوط می‌شود. در این خصوص برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع شاخص‌هایی تعریف شده است که در قسمت‌های بعدی به تفصیل معرفی می‌گردند، اما قبل از آن چند واژه کلیدی مرسوم در قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع معرفی می‌گردد.

- رویداد (Contingency): واقعه غیر منتظره‌ای مانند اتصال کوتاه یا قطع مدارها را شامل می‌شود که غیرقابل پیش‌بینی بوده و ذاتاً تصادفی است.

- خطا (Fault): همان اتصال کوتاه است و به دو دسته گذرا و ماندگار تقسیم‌بندی می‌شود.
- زمانی حالت خروج در سیستم به وقوع می‌پیوندد که یکی از تجهیزات بی برق شود. خروج‌های ایجاد شده می‌تواند برنامه‌ریزی شده و از قبل تعیین شده باشند و یا بدون برنامه‌ریزی و به سبب رویدادی به وقوع بپیوندند.
- قطعی گذرا (Momentary Interruption): زمانی این حالت پدید می‌آید که مشترک برای زمانی کمتر از چند دقیقه (گذرا) بی برق شود. اغلب قطعی‌های گذرا به دلیل عملکرد ریکلوزرها و یا سوئیچ‌های خودکار پدید می‌آیند.
- قطعی ماندگار (Sustained Interruption): قطعی ماندگار زمانی ایجاد می‌شود که مشترک برای زمانی بیش از چند دقیقه با قطع برق روبرو شود. اغلب قطعی‌های ماندگار بر اثر وقوع خطا به وجود می‌آید.

۳-۴-۱ شاخص‌های اصلی محاسبه قابلیت اطمینان سیستم توزیع:

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع زیرمجموعه‌ای از محاسبات قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌باشد. البته همانطور که قبلاً بحث شد با توجه به آنکه هزینه خروج و قطع شبکه در سیستم توزیع در مقایسه با سیستم‌های تولید و انتقال بیشتر است، این بخش از محاسبات از دو بخش قبل از آن از درجه اهمیت بالاتری برخوردار است.

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع توسط شاخص‌های مربوطه که IEEE آن‌ها را معرفی نموده انجام می‌شود. قبل از معرفی این استاندارد شاخص‌ها ضروری است به سه پارامتر اساسی که در مطالعات

قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع اهمیت ویژه ای دارند، اشاره گردد. این سه پارامتر عبارت‌اند از:

پارامتر اساسی نرخ خطای متوسط (λ_s) زمان متوسط خروج سیستم از حالات عملکرد (T_s) و زمان متوسط سالیانه خروج از حالت عملکرد یا عدم دسترس بودن متوسط سالیانه (U_s) می‌باشد.

λ_s (f/year): نرخ خطای متوسط برحسب خطا بر سال.

r_s (hr): زمان متوسط خروج سیستم از حالت عملکرد برحسب ساعت.

U_s (hr/year): زمان متوسط سالیانه خروج از حالت عملکرد برحسب ساعت بر سال.

همانطور که در فصل بعد به تفصیل اشاره خواهد شد، سیستم توزیع شعاعی بصورت یک سیستم سری مدل می شود، لذا معادلات مربوط به سیستم سری در آن صدق خواهند کرد. برای معرفی شاخصها نیاز است. یک سیستم سری با n مولفه را در نظر بگیریم. در این سیستم پارامترهای مذکور را می توان از روابط زیر به دست آورد:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot r_i$$

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{U_s}{\lambda_s}$$

که در آن λ_i نرخ خرابی متوسط و r_i زمان تعمیر مربوط به مؤلفه i ام است.

آنچه مسلم است این است که این پارامترها به تنهایی نمی توانند تعیین کننده وضعیت و رفتار سیستم باشند. به عنوان مثال مقادیر یکسان پارامترها، گویای تعداد مصرف کننده و یا میزان بار متصل به نقطه بار نیست. به همین دلیل و نیز به جهت اهمیت ویژه خروج سیستم از حالت عملکرد که می تواند حجم بسیار بالایی از مشترکین را بی برق نماید، شاخصهای مختلفی مطرح می گردند. هر کدام از این شاخصها از زاویه ای خاص به سیستم می نگرد و با اجماع این شاخصها با دقت بیشتری می توان قابلیت اطمینان سیستم توزیع را مورد ارزیابی قرار داد.

۳-۴-۲ شاخصهای تکمیلی محاسبه قابلیت اطمینان سیستم توزیع

مطابق با آنچه که در قسمت قبل مطرح شد، شاخص‌های اصلی سیستم فقط مجموعه ای از اطلاعات سیستم را به ما می دهند و مقادیر قابل مقایسه ای از سیستم‌های مختلف را به ما نمی دهند. بنابراین جهت ارزیابی و مقایسه سیستم‌های مختلف از دید قابلیت اطمینان، شاخص‌هایی تحت عنوان شاخص-های تکمیلی مطرح شدند. این شاخص‌ها در سال ۱۹۹۸ توسط کمیته انتقال و توزیع انجمن مهندسیین الکترونیک و قدرت IEEE در قالب استاندارد IEEE-1366 (std 1366-1998) به صورت تکمیل شده ارائه گردید. با توجه به تعدد این شاخص‌ها به بررسی مهمترین و پرکاربردترین شاخص‌های ارائه شده می پردازیم.

۳-۴-۲-۱ شاخص‌های مربوط به مصرف کننده

- شاخص متوسط قطع برق سیستم (System Average Interruption Frequency Index:)

:(SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (1-3)$$

نرخ قطع برق نقطه بار λ_i :

تعداد کل مشترکین متصل به نقطه بار N_i :

این شاخص نشان می دهد که به طور متوسط هر مشترک در دوره زمانی مورد نظر چند بار قطع شده است و بر حسب قطعی بر مشتری بیان می شود.

- شاخص دوره زمانی متوسط قطع برق سیستم (System Average Interruption Duration)

:(Index: SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (2-3)$$

در این رابطه U_i زمان قطعی بار سالانه نقطه بار نام است.

این شاخص بر حسب ساعت بر مشتری مطرح می شود و بیانگر زمان متوسط قطع برق هر مشترک در دوره زمانی مورد مطالعه است.

- شاخص دوره زمانی متوسط قطع برق مشترکین (Customer Average Interruption Duration) (Index: CAIDI):

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i} \quad (3-3)$$

در این شاخص متوسط زمان خاموشی هر مشترک به ازای هر بار قطع برق مد نظر قرار گرفته و بر حسب ساعت بر قطعی بر مشتری بیان می گردد.

- شاخص متوسط دسترسی به انرژی برق (Average System Availability Index: ASAI):

$$ASAI = \frac{8760 \sum_{i=1}^n N_i - \sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{8760 \sum_{i=1}^n N_i} \quad (4-3)$$

این شاخص میزان دسترسی مشترکین به انرژی برق را به صورت درصد بیان می کند. در حقیقت اگر شاخص SAIDI را به صورت ساعات خاموشی سالیانه مورد بررسی قرار دهیم، شاخص ANSI را می توانیم به کمک شاخص SAIDI به صورت زیر بیان کنیم:

$$ASAI = 1 - \frac{SAIDI}{8760} \quad (5-3)$$

- شاخص متوسط عدم دسترسی به انرژی برق (Average System Unavailability Index: ASUI):

$$ASUI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{8760 \sum_{i=1}^n N_i} \quad (6-3)$$

این شاخص میزان عدم دسترسی مشترکین به انرژی برق را به صورت درصد بیان می‌کند. اگر شاخص SAIDI را به صورت ساعات خاموشی سالیانه مورد بررسی قرار دهیم، شاخص ASUI برحسب شاخص به صورت زیر بیان می‌شود:

$$ASUI = \frac{SAIDI}{8760} \quad (7-3)$$

۳-۴-۲ شاخص‌های مربوط به بار و انرژی

- شاخص کل انرژی تأمین نشده (Energy Not Supplied: ENS):

$$ENS = \sum_{i=1}^n L_{i,a} U_i \quad (8-3)$$

مقدار $L_{i,a}$ متوسط بار پست توزیع در نقطه بار نام است. شاخص ENS میزان انرژی تغذیه نشده مشترکین را بر حسب کیلو وات ساعت نشان می‌دهد. مقدار متوسط بار یک پست توزیع از رابطه زیر قابل محاسبه است. که در آن $L_{i,p}$ میزان بار پیک و f_i ضریب بار پست توزیع نام در بازه زمانی مورد نظر خواهد بود.

$$L_{i,a} = L_{i,p} f_i \quad (9-3)$$

- شاخص متوسط انرژی تغذیه نشده (Average Energy Not Supplied)

$$AENS = \frac{\sum_{i=1}^n L_{i,a} U_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (10-3)$$

همانطور که ملاحظه می‌گردد، این شاخص مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک را بیان می‌کند. نکته مثبت این شاخص قابل مقایسه بودن آن است. بدین معنی که ممکن است مثلاً در یک شبکه مقدار کل انرژی فروخته نشده به مشترکین از شبکه دوم مورد مطالعه بیشتر باشد، ولی چون تعداد مشترکین آن نیز بیشتر از شبکه دوم می‌باشد، مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک در شبکه اول کمتر است و این بدین معنی است که مشترکین شبکه اول مدت زمان کمتری را در خاموشی بسر می‌برند.

- شاخص ارزیابی هزینه انرژی تامین نشده (System Customers' Outage Cost: SCOC)

$$SCOC = ECOST .ENS \quad (11-3)$$

در رابطه فوق مقدار برابر هزینه هر کیلووات ساعت انرژی برق می‌باشد. شاخص یک شاخص هزینه ای است و بر مبنای دلار محاسبه می‌گردد. از دید شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی این شاخص می‌تواند مهمترین شاخص تلقی گردد، چراکه هزینه زیان ناشی از عدم فروش برق توسط این شاخص حاصل می‌شود. ضمن اینکه وقتی شاخص‌ها به صورت هزینه ای محاسبه می‌شوند، ملموس تر خواهند بود. البته با توجه به اینکه هزینه برق مصرفی بسته به مقدار مصرف مشترکین متفاوت می‌باشد، لذا نمی‌تواند مقدار ثابتی داشته باشد. بنابراین معمولاً در مطالعات علمی این شاخص محاسبه نمی‌شود. در این فصل به معرفی و بررسی مفاهیم کیفیت برق، قابلیت اطمینان و دسترسی به سیستم، به همراه بیان دلایل اهمیت آن‌ها پرداخته شد. سپس به بررسی شاخص‌های اصلی و تکمیلی قابلیت اطمینان شبکه توزیع و روش محاسبات آن‌ها پرداخته شد.

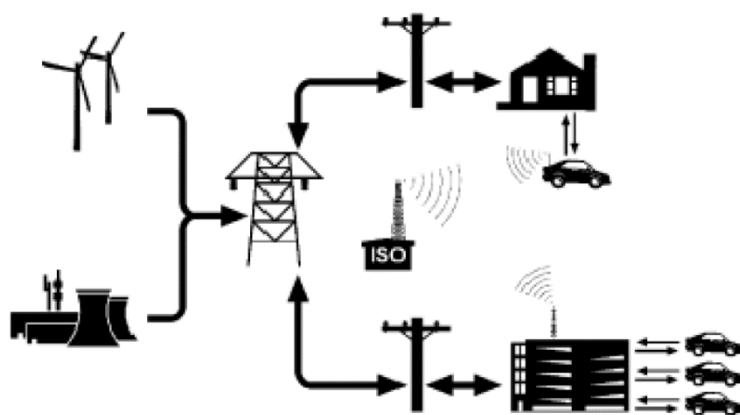
فصل چهارم

نتایج شبیه‌سازی

۱-۴ شبکه نمونه

سیستم‌های اتصال خودروهای برقی به شبکه (V2G) با قابلیت انتقال دو طرفه انرژی الکتریکی، خودرو را قادر می‌سازند که با اتصال به شبکه در منزل و یا اماکن تجاری شبکه را به کمک باتری خود تغذیه نمایند. بسیاری از جنبه‌های این مفهوم هنوز در حال بررسی است و مطالعات بسیاری در این زمینه در دست انجام هستند. برای تکمیل ساختار V2G بیشتر محققان معتقد هستند که وجود یک تجمیع کننده لازم و ضروری است. این تجمیع کننده مسئول ورود و خروج خودروها به پارکینگ و مصون نگه داشتن خروجی از ای ورود و خروج‌ها است. از دید بهره‌بردار سیستم، تجمیع کننده به عنوان یک بار قابل تنظیم و یا یک ژنراتور قابل کنترل عمل می‌کند. شکل ۱-۳ مفهوم یک سیستم V2G را نشان می‌دهد.

پیشبینی این امر که چه میزان توان از سوی یک خودروی برقی به شبکه قابل تزریق است امری دشوار است. توانی که از یک خودرو الکتریکی قابل استحصال است بستگی به وضعیت شارژباتری، فاصله‌ای خودرو طی کرده است و مقدار انرژی که باید در باتری باقی مانده است دارد. علاوه بر این، مشتریان ممکن است تقاضا کنند که یک مقدار حداقل شارژ در باتری باقی بماند. در مورد میزان انرژی که به طور متوسط توسط هر خودرو قابل تحویل است، با توجه به ناوگان بزرگی از خودروهای برقی موجود، یک پیش بینی را می‌توان با دقت قابل قبول به عمل آورد. همچنین در مقایسه با یک نیروگاه معمولی عرضه انرژی الکتریکی توسط خودرو الکتریکی بسیار بیشتر قابل اعتماد تر است. می‌توان گفت که فقدان یکی از خودروهای الکتریکی تفاوت عمده‌ای در ظرفیت کل ناوگان ایجاد نمی‌کند. بنابراین در این مطالعه ظرفیت برای یک چارچوب زمانی مشخص ثابت در نظر گرفته خواهد شد.



شکل ۴-۱. مفهوم V2G

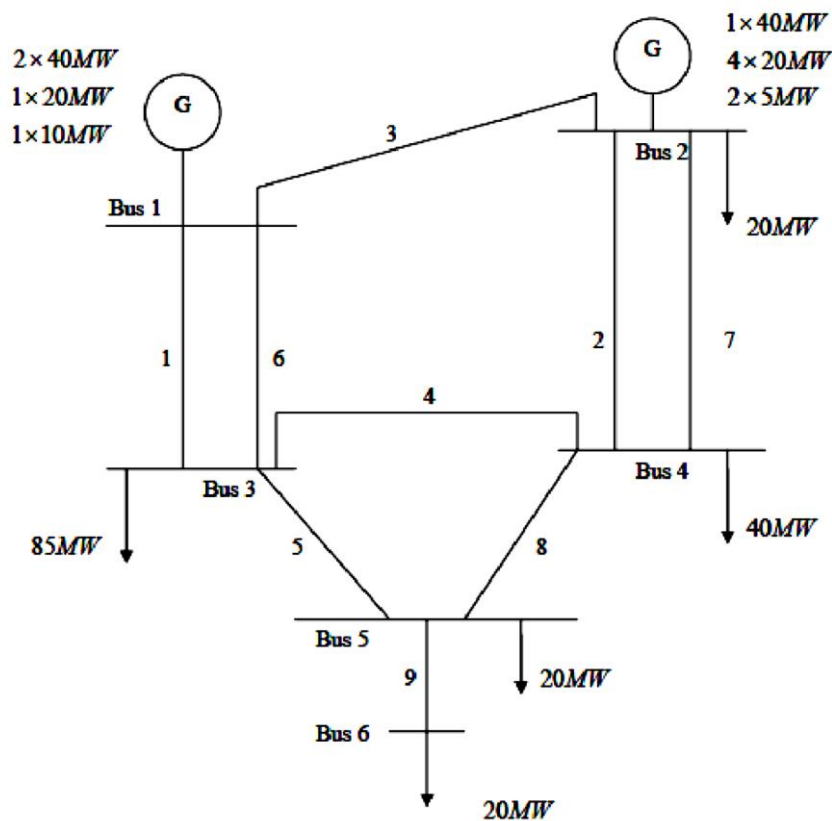
۲-۴ سیستم تست

از بین انتخاب‌های متفاوتی که برای سیستم تست در مطالعات پیشین وجود داشت، در این مطالعه، یکی از سیستم‌های توزیع در نظر گرفته شده در سیستم تست RBTS مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل این امر این است که اطلاعات مربوط به محاسبه اندیس‌های قابلیت اطمینان برای این سیستم در دسترس است.

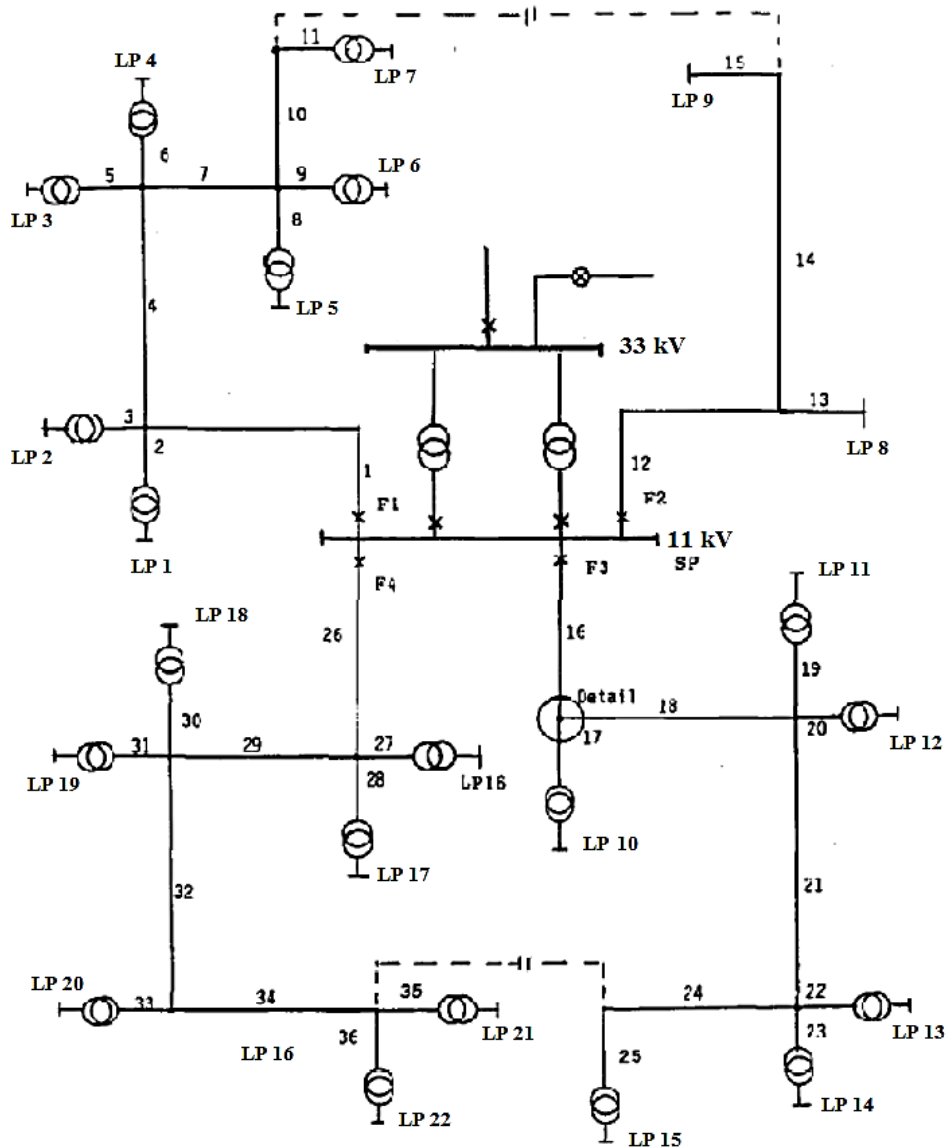
سیستم RBTS در دانشگاه ساسکاچوان برای مقاصد تحصیلی و تحقیقاتی پیشنهاد گردید [۱۹]. این سیستم شامل ۶ باس و ۱۱ واحد تولیدی است. ولتاژ انتقال ۲۳۰ کیلو ولت، کل ظرفیت نصب شده ۲۴۰ مگاوات و پیک بار سیستم نیز ۱۸۵ مگاوات است. این سیستم برای مطالعات قابلیت اطمینان بسیار مناسب است. این سیستم در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

در این سیستم همچنین دو سیستم توزیع قرار داده شده است که برای آن‌ها اطلاعات مربوط به محاسبه اندیس‌های قابلیت اطمینان در دسترس است. این دو سیستم در باس‌های ۲ و ۴ قرار داده شده‌اند. در این مطالعه برای بررسی تاثیر خودروهای برقی بر قابلیت اطمینان سیستم، سیستم توزیع متصل شده به باس شماره ۲ سیستم تست RBTS استفاده شده است [۲۰]. این سیستم توزیع در شکل ۳-۴ نشان داده شده

است. این سیستم از طریق یک ترانسفورماتور ۳۳ به ۱۱ کیلو ولت به باس ۲ متصل است. ظرفیت نامی این ترانسفورماتور ۱۶ مگاوات است. این سیستم هر دو دسته مشتریان ۱۱ و ۰,۴۱۵ کیلو ولت را در بر دارد. برای انجام مطالعات قابلیت اطمینان سیستم فرض شده است که سطح ولتاژ ۳۳ کیلو ولت کاملاً ایمن است. در کل ۲۲ نقطه بار در این سیستم وجود دارد که شامل گروه‌های مختلف مشتریان هستند. این مشتریان به ۴ گروه عمده تقسیم‌بندی شده‌اند: خانگی، مصرف کنندگان کوچک، سازمان‌های دولتی و تجاری.



شکل ۴-۲. سیستم تست RBTS



شکل ۳-۴. سیستم توزیع متصل به باس ۲ از سیستم RBTS

۱-۲-۴ بررسی قابلیت اطمینان سیستم پایه، بدون در نظر گرفتن خودروهای برقی

در این مطالعه قابلیت اطمینان سیستم معرفی شده، بدون در نظر گرفتن تاثیر خودروهای برقی بررسی شده است. جدول (۱-۴) اطلاعات بیشینه بار مصرفی هر یک از گروه‌های مصرف کننده را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۴) اطلاعات مربوط به طول خطوط را ارائه می‌کند. جدول (۳-۴) اطلاعات مربوط به نقاط بار را

ارائه می‌کند. این شبکه شامل ۴ فیدر است. اطلاعات فیدرها در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

نرخ خروج برای هر یک از خطوط برابر با ۰/۰۶۷ خروج در هر سال بر هر کیلومتر است. این نرخ برای ترانسفورماتورها برابر ۰/۰۱۵ خروج در سال خواهد بود. زمان تعمیر متوسط برای هر یک از تجهیزات جز ترانسفورماتورها ۵ ساعت و زمان تعمیر متوسط ترانسفورماتورها در صورت خرابی ۲۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. متوسط زمان کلیدزنی برابر ۱ ساعت است. در هر عملیات کلید زنی ابتدا مشترکین مربوط قطع، سپس یکی از کلیدهای نرمال بسته باز و یکی از کلیدهای نرمال باز بسته می‌شود. سپس مشترکین مربوط دوباره برق‌دار می‌شوند.

جدول (۱-۴) اطلاعات پیک بار مصرفی هر یک از گروه‌های مصرف کننده

نوع بار	پیک بار بر حسب مگاوات
خانگی	۷/۲۵
مصرف کننده‌های کوچک	۳/۵
موسسات و سازمان‌های دولتی	۵/۵۵
تجاری	۳/۷
کل	۲۰

جدول (۲-۴) اطلاعات خطوط

نوع خط	طول خط	شماره خط
۱	۰/۶۰	۳۴ و ۳۰، ۲۸، ۲۵، ۲۱، ۱۷، ۱۴، ۱۰، ۶، ۲
۲	۰/۷۵	۳۵ و ۳۲، ۲۹، ۲۷، ۲۴، ۲۲، ۱۹، ۱۶، ۱۲، ۹، ۷، ۴، ۱
۳	۰/۸۰	۳۶ و ۳۳، ۳۱، ۲۶، ۲۳، ۲۰، ۱۸، ۱۵، ۱۳، ۱۱، ۸، ۵، ۳

جدول (۳-۴) اطلاعات نقاط بار

تعداد نقاط	نقاط بار	نوع مصرف کننده	توان مصرفی بر حسب مگاوات	تعداد مصرف کننده
بار				

۵	۱۱ و ۱۰، ۳، ۲، ۱	خانگی	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۴	۱۹ و ۱۸، ۱۷، ۱۲	خانگی	۰/۷۲۹۱	۲۰۰
۱	۸	کوچک	۱/۶۲۷۹	۱
۱	۹	کوچک	۱/۸۷۲۱	۱
۶	۲۱ و ۲۰، ۱۴، ۱۳، ۵، ۴	موسسات و سازمان‌های دولتی	۰/۹۱۶۷	۱
۵	۲۲ و ۱۶، ۱۵، ۷، ۶	تجاری	۰/۷۵	۱۰
کل			۲۰	۱۹۰۸

جدول (۴-۴) اطلاعات فیدرها

شماره فیدر	نقاط بار	پیک بار	تعداد مشتریان
۱	۷-۱	۵/۹۳۴	۶۵۲
۲	۹-۸	۳/۵	۲
۳	۱۵-۱۰	۵/۰۵۷	۶۳۲
۴	۲۲-۱۶	۵/۵۰۹	۶۲۲
باس ۲		۲۰	۱۹۰۸

با توجه به اطلاعات سیستم و بدون در نظر گرفتن عملکرد فیوزها و قطع کننده‌ها اندیس‌های پایه قابلیت اطمینان در نقاط بار به شرح جدول (۴-۵) خواهد بود.

نظر به اینکه هم میزان متوسط مصرف هر یک از نقاط بار و هم تعداد مصرف کننده‌ها در هر یک از این نقاط مشخص هستند، اندیس‌های پایه بدست آمده در جدول (۴-۵) قابل تبدیل به اندیس‌های مربوط به مصرف کننده و اندیس‌های مربوط به بار هستند. این اندیس‌ها برای هر یک از فیدرها در جدول (۴-۶)

آورده شده است. همچنین میزان این اندیس‌ها برای کل سیستم توزیع متصل به باس ۲ در سیستم RBTS در این جدول ارائه شده است.

جدول (۴-۵) اندیس‌های قابلیت اطمینان در نقاط بار

نقاط بار	نرخ بی برقی (خرابی در سال)	زمان متوسط رفع خرابی (ساعت)	متوسط زمان قطعی سرویس (ساعت در سال)
۱	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۲	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۳	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۴	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۵	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۶	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۷	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۸	۰/۱۹۲	۵/۰۰۰	۰/۹۵۹
۹	۰/۱۹۲	۵/۰۰۰	۰/۹۵۹
۱۰	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۱	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۲	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۳	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۴	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۵	۰/۴۸۳	۱۱/۰۵۶	۵/۳۴۰
۱۶	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۱۷	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰

۱۸	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۱۹	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۲۰	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۲۱	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰
۲۲	۰/۵۳۵	۱۰/۴۶۷	۵/۶۰۰

جدول (۴-۶) اندیس‌های قابلیت اطمینان سیستم

اندیس	فیدر ۱	فیدر ۲	فیدر ۳	فیدر ۴
SAIFI	۰/۵۳۵	۰/۱۹۲	۰/۴۸۳	۰/۵۳۵
SAIDI	۵/۶۰۰	۰/۹۵۹	۵/۳۴۰	۵/۶۰۰
CAIDI	۱۰/۴۶۷	۴/۹۹۵	۱۱/۰۵۶	۱۰/۴۶۷
ASAI	۰/۹۹۹۳۶۱	۰/۹۹۹۸۹۱	۰/۹۹۹۳۹۰	۰/۹۹۹۳۶۱
ASUI	۰/۰۰۰۶۳۹	۰/۰۰۰۱۰۹	۰/۰۰۰۶۱۰	۰/۰۰۰۶۳۹
ENS	۲۰۴۱۲	۲۰۶۲	۱۶۵۸۶	۱۸۹۸۴
AENS	۳۱/۱۳	۱۰۳۱/۰۰	۲۶/۲۴۴	۳۰/۵۲۱

۴-۲-۲ سایر اطلاعات مورد نیاز برای وارد کردن خودروهای برقی در محاسبات قابلیت اطمینان با توجه به اینکه خودروهای برقی پس از طی کردن یک مسیر به محل پارکینگ‌ها می‌رسند، اطلاعات جغرافیایی و ناحیه‌بندی مناطق تحت پوشش سیستم لازم و ضروری به نظر می‌رسد. بنا بر تقسیم‌بندی مورد استفاده در این پژوهش، بارهای خانگی با حرف R نشان داده شده و نشان دهنده بار مجتمع‌های مسکونی هستند. بارهای تجاری با حرف C نمایش داده شده و معرف بار مجتمع‌های تجاری، اداری و موسسات هستند. شماره‌ای که بعد از حرف R یا C می‌آید معرف ناحیه آن بار است. برای مثال دسته

بارهای R1 معرف بارهای ناحیه ۱ مسکونی هستند و شامل نقاط بار LP1، LP2 و LP3 می‌شوند. این دسته‌بندی در جدول (۷-۴) نشان داده شده است.

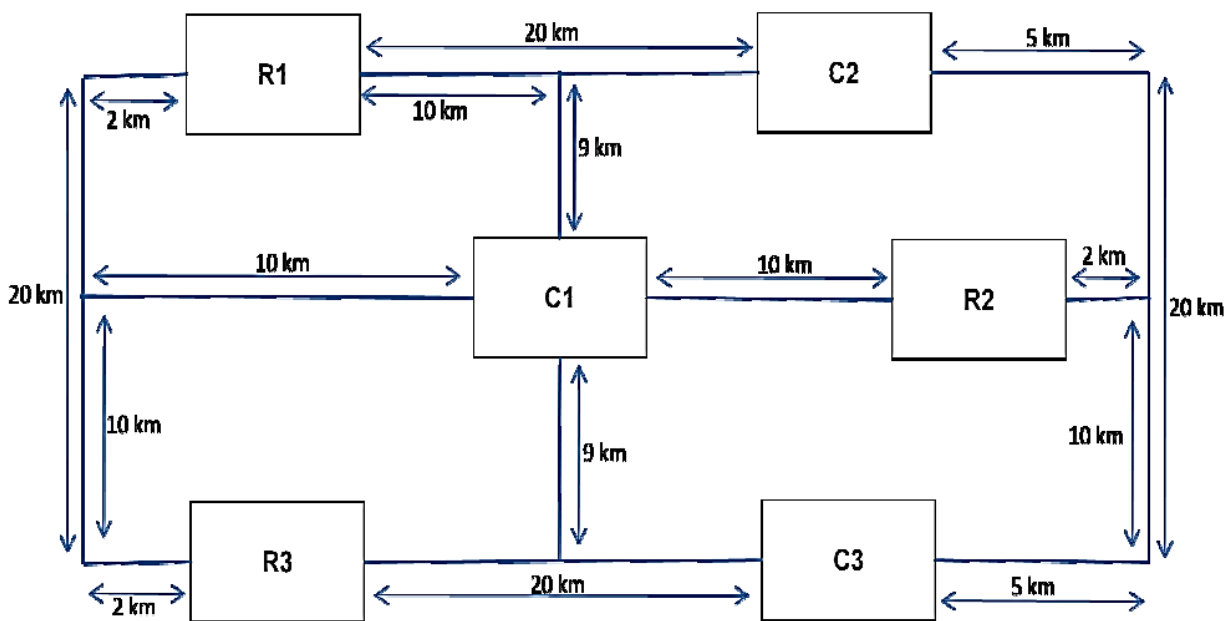
بر مبنای اطلاعات جدول (۷-۴) بارهای سیستم مورد بررسی در نواحی مختلف پخش شده‌اند. هر یک از این نواحی در شکل ۴-۴ نشان داده شده‌اند.

جدول (۷-۴) ناحیه بندی جغرافیایی سیستم توزیع متصل شده به باس ۲

نقاط بار	ناحیه	نوع	قدرت نامی ترانسفورماتور توزیع بر حسب کیلو ولت آمپر	بار پیک بر حسب مگاوات	تعداد مشتریان
۱	R1	مسکونی	۱۲۰۰	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۲		مسکونی	۱۲۰۰	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۳		مسکونی	۱۲۰۰	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۴	C1	دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱
۵		دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱
۶		تجاری	۱۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۰
۷		تجاری	۱۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۰
۸		کوچک	--	۱/۶۲۸	۱
۹		کوچک	--	۱/۸۷۲	۱
۱۰	R2	مسکونی	۱۲۰۰	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۱۱		مسکونی	۱۲۰۰	۰/۸۶۶۸	۲۱۰
۱۲		مسکونی	۱۰۰۰	۰/۷۲۹۰	۲۰۰
۱۳	C2	دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱

۱۴		دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱
۱۵		تجاری	۱۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۰
۱۶		تجاری	۱۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۰
۱۷	R3	مسکونی	۱۰۰۰	۰/۷۲۹۰	۲۰۰
۱۸		مسکونی	۱۰۰۰	۰/۷۲۹۰	۲۰۰
۱۹		مسکونی	۱۰۰۰	۰/۷۲۹۰	۲۰۰
۲۰	C3	دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱
۲۱		دولتی/سازمانی	۱۲۰۰	۰/۹۱۶۷	۱
۲۲		تجاری	۱۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۰

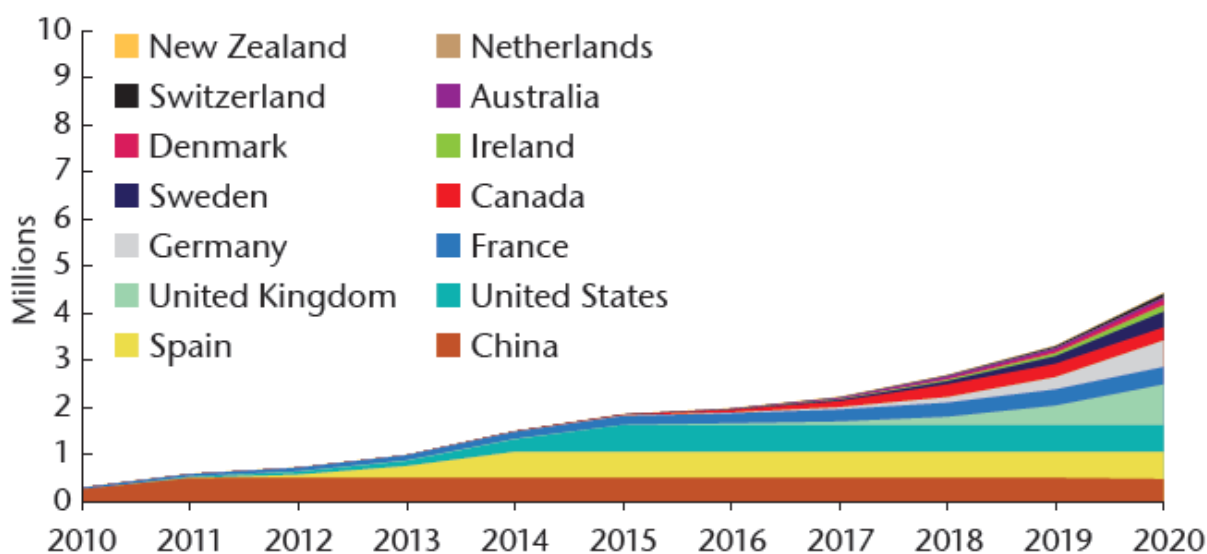
- فرض بر این است که در طول روزهای کاری هفته ساکنین نواحی مسکونی به نواحی تجاری رفته و برای رفتن از منزل به محل کار کوتاه‌ترین مسیر را طی می‌کنند.
- فرض می‌شود که در طول شب تمامی خودروهای برقی در مجتمع‌های مسکونه به شبکه متصل هستند و در طول روز همگی آن‌ها به مراکز تجاری می‌روند.



شکل ۴-۴. تقسیم‌بندی جغرافیایی نواحی انواع بارهای موجود در سیستم.

تعداد خودروهای برقی و فاصله‌ای که تا محل کار طی می‌کنند نیز لازم است مورد بررسی قرار گیرد. دغدغه‌های محیط زیستی در سراسر دنیا باعث شده‌اند که در نقاط مختلف دنیا حرکت‌های اساسی برای افزایش بکارگیری خودروهای برقی صورت پذیرد. در این میان برخی کشورها اهداف بلندپروازانه‌ای برای آینده بکارگیری خودروهای برقی مشخص نموده‌اند. شکل ۴-۵ تعداد خودروهای الکتریکی بکار گرفته شده در برخی کشورها را تا سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. همچنین آینده بکارگیری این خودروها در این کشورها در این شکل نشان داده شده است.

تعداد خودروهای برقی موجود در سیستم تست مورد بررسی بستگی به این دارد که چه میزان نفوذی از این خودروها در نظر گرفته شود. برای بررسی بیشتر تاثیر این پارامتر، سطوح نفوذ ۳۰ و ۱۰۰ درصد برای بررسی انتخاب شده‌اند.



شکل ۴-۵. آمار فروش خودروهای برقی در کشورهای مختلف دنیا [۲۱]

- ضریب نفوذ ۳۰ درصدی برای خودروهای برقی

ضریب نفوذ ۳۰ درصدی به این معنا است که ۳۰ درصد مشتریان از خودرو برقی استفاده می‌کنند. در نواحی مسکونی R1 و R2 تعداد ۶۳۰ مشتری وجود دارند. منطقه مسکونی R3 نیز شامل ۶۰۰ مشتری است. به این ترتیب با ضریب نفوذ ۳۰ درصد، در نواحی مسکونی R1 و R2 تعداد ۲۱۰ مشتری از خودرو برقی استفاده می‌کنند. در منطقه مسکونی R3 نیز شامل ۲۰۰ مشتری از خودرو الکتریکی استفاده می‌کنند. تعداد خودروهایی که بین نواحی مختلف جابجا می‌شوند و فاصله پیموده شده در هر یک از این جابجایی‌ها در جدول (۴-۸) آورده شده است.

جدول (۴-۸) فاصله و تعداد خودروهای در حال تردد بین نواحی مختلف با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

مسیر	فاصله بر حسب کیلومتر	تعداد خودروهای در حال رفت و آمد	تعداد خودروها
R1-C1	۱۹	۷۰	۲۱۰
R1-C2	۲۰	۷۰	
R1-C3	۳۸	۷۰	
R2-C1	۱۰	۷۰	۲۱۰

R2-C2	۱۷	۷۰	
R2-C3	۱۷	۷۰	
R3-C1	۱۹	۶۰	۲۰۰
R3-C2	۳۸	۶۰	
R3-C3	۲۰	۸۰	

- ضریب نفوذ ۱۰۰ درصدی برای خودروهای برقی

ضریب نفوذ ۱۰۰ درصدی به این معنا است که همه مشتریان از خودرو برقی استفاده می‌کنند. همانطور که گفته شد، در نواحی مسکونی R1 و R2 تعداد ۶۳۰ مشتری وجود دارند. منطقه مسکونی R3 نیز شامل ۶۰۰ مشتری است. به این ترتیب با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد، در نواحی مسکونی R1 و R2 تعداد ۶۳۰ مشتری از خودرو برقی استفاده می‌کنند. در منطقه مسکونی R3 نیز شامل ۶۰۰ مشتری از خودرو الکتریکی استفاده می‌کنند. تعداد خودروهایی که بین نواحی مختلف جابجا می‌شوند و فاصله پیموده شده در هر یک از این جابجایی‌ها در جدول (۹-۴) آورده شده است.

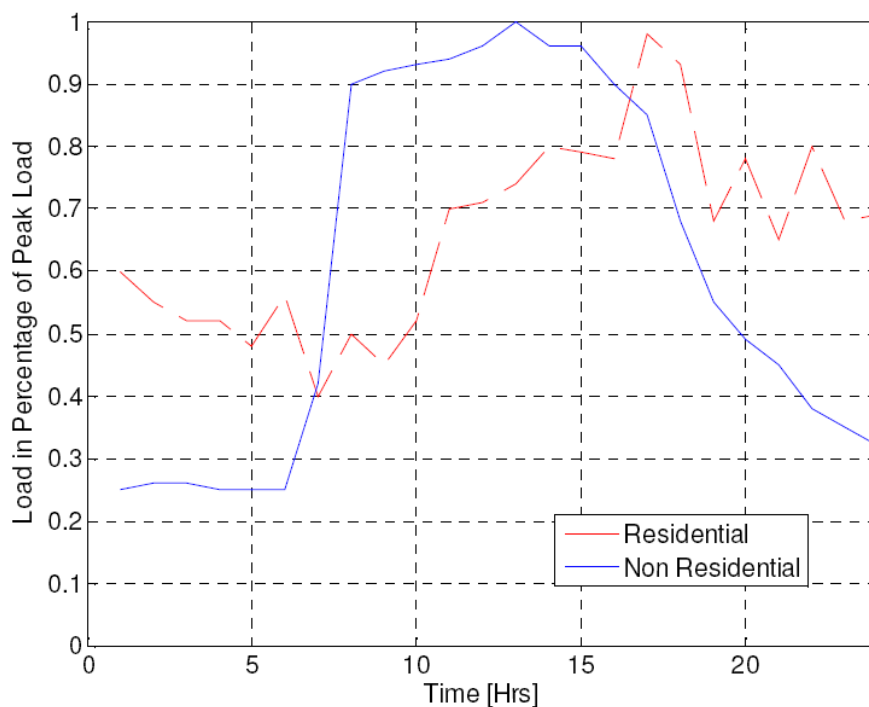
جدول (۹-۴) فاصله و تعداد خودروهای در حال تردد بین نواحی مختلف با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

مسیر	فاصله بر حسب کیلومتر	تعداد خودروهای در حال رفت و آمد	تعداد خودروها
R1-C1	۱۹	۲۱۰	۲۱۰
R1-C2	۲۰	۲۱۰	
R1-C3	۳۸	۲۱۰	
R2-C1	۱۰	۲۱۰	۲۱۰

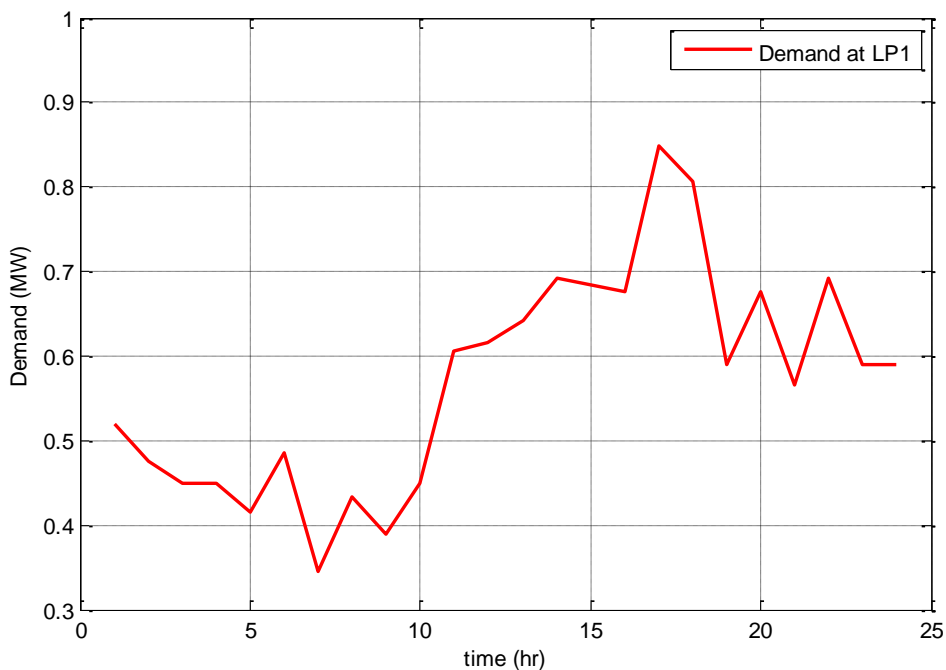
R2-C2	۱۷	۲۱۰	
R2-C3	۱۷	۲۱۰	
R3-C1	۱۹	۲۰۰	۲۰۰
R3-C2	۳۸	۲۰۰	
R3-C3	۲۰	۲۰۰	

- منحنی تغییرات بار روزانه

برای هر مشتری در هر یک از روزهای هفته میزان توان مورد نیاز در هر ساعتی بسته به شرایط آن مشتری متفاوت است. میزان توان مصرفی بستگی به مکان، وضعیت مشتری و شرایط اقتصادی و فاکتورهای دیگر دارد. با این حال در این پژوهش، دو نوع بار مختلف در نظر گرفته شده است: بارهای مسکونی و بارهای غیر مسکونی. بر این مبنا شکل منحنی تغییرات بار روزانه برای این دو نوع بار ارائه خواهد شد. شکل ۴-۶ نمودار تغییرات بار ساعتی مصرف کنندگانی مسکونی و غیر مسکونی را در یک روز کاری نشان می‌دهد. این منحنی‌های بار میزان بار ساعتی را برحسب بار پیک در طول شبانه‌روز نشان می‌دهند. برای مثال با توجه به شکل ۴-۶ و با توجه به میزان پیک بار مصرفی در ناحیه مسکونی R1 که در جدول (۴-۷) قید شده است، میزان بار در ساعات مختلف برای نقطه بار LP1 در ناحیه R1 بر حسب مگاوات در شکل ۴-۷ رسم شده است.

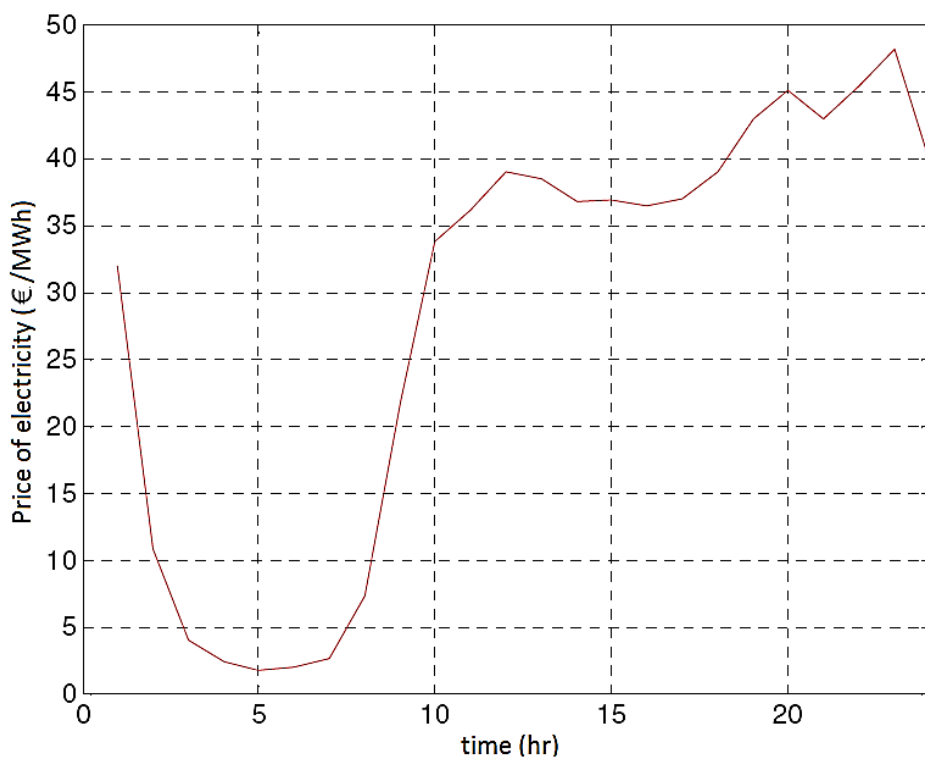


شکل ۴-۶. منحنی تغییرات بار روزانه بر حسب درصدی از بار پیک برای مصرف کنندگان مسکونی و غیر مسکونی

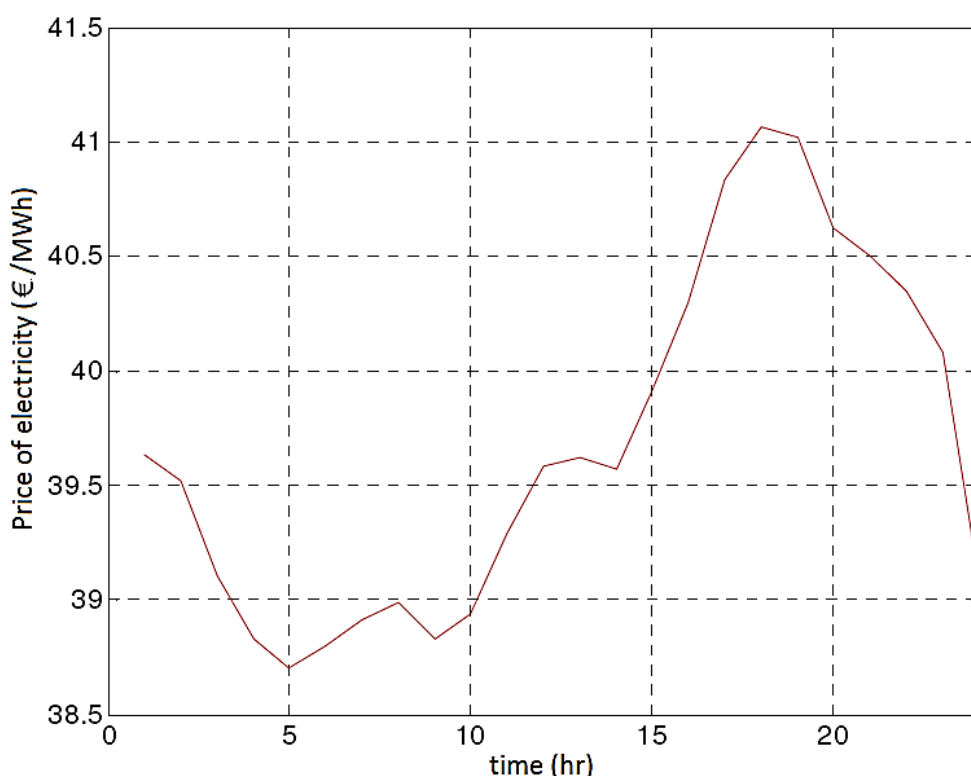


شکل ۴-۷. منحنی تغییرات بار روزانه بر حسب مگاوات برای نقاط بار موجود در ناحیه مسکونی R1
 قیمت انرژی الکتریکی نیز در طول شبانه روز تغییر می کند، این تغییرات بستگی به فاکتورهای مختلفی دارد. برای مثال در فصول مختلف قیمت انرژی الکتریکی تغییرات اساسی دارد. برای اینکه مباحث اقتصادی

نیز در این پژوهش در نظر گرفته شود، در مورد قیمت انرژی در مطالعات این بخش مقادیری در ساعات گوناگون فرض شده است. این اطلاعات از وبسایت بازار برق نروژ برداشته شده است [۲۲]. در این مورد دو مطالعه مختلف صورت پذیرفته است. یکی با تغییرات بسیار زیاد در قیمت انرژی الکتریکی در طول شبانه روز و دیگری با تغییرات کم قیمت. بر این مبنا اطلاعات قیمت دو روز مختلف از این مرجع انتخاب شده است. اطلاعات قیمت روز ۱۳م ژوئن سال ۲۰۱۴ به عنوان یک روز با تغییرات بالا در قیمت و اطلاعات قیمت روز ۴م ژانویه سال ۲۰۱۴ به عنوان یک روز با تغییرات کم قیمت به ترتیب در شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ ارائه شده‌اند.



شکل ۴-۸. اطلاعات قیمت روز ۱۳م ژوئن سال ۲۰۱۴



شکل ۴-۹. اطلاعات قیمت روز ۴م ژانویه سال ۲۰۱۴

- انواع خودروهای برقی موجود در منطقه

امروزه تکنولوژی‌های مختلفی در ساخت خودروهای برقی وجود دارد. انواع مختلفی از این خودروها در نقاط مختلف دنیا به چشم می‌خورد و انواع دیگری نیز در آینده به بازار خواهد آمد. با توجه به اینکه هدف اصلی این پروژه، بررسی تاثیر این خودروها بر قابلیت اطمینان شبکه است، در این قسمت فرض شده است که سه نوع مختلف خودرو در منطقه مورد بررسی وجود دارد. مشخصات اصلی این خودروها که بر قابلیت اطمینان سیستم اثرگذار هستند در جدول (۴-۱۰) ارائه شده است. این اطلاعات از یک پروژه در زمینه بررسی آینده اقبال خودروهای برقی که در اروپا در جریان است استخراج شده است. اطلاعات ارائه شده در جدول (۴-۱۰) و بسیاری اطلاعات دیگر در این زمینه در مرجع [۲۳] ارائه شده است.

جدول (۴-۱۰) انواع خودروهای برقی موجود در منطقه

نوع خودرو	ظرفیت باتری بر حسب kWh	انرژی مصرفی بر حسب kWh/km	درصد حضور در بازار

BEV	۳۵	۰/۲۰	۳۷
City-BEV	۱۶	۰/۱۲	۱۰
PHEV90	۱۸	۰/۲۰	۵۳

انرژی مصرفی توسط خودرو به موارد بسیاری بستگی دارد. به طور خلاصه می‌توان گفت که سیکل رانندگی صاحبان خودروها تعیین کننده میزان انرژی مصرفی است. توقف‌ها و شروع‌ها، عوارض جغرافیایی، شیب جاده و وزش باد بر مصرف خودروها تاثیرگذار هستند. اما در اینجا جهت ساده سازی، میزان متوسط مصرف هر یک از انواع خودروها ارائه شده است.

- شارژ خودروهای برقی

باتری خودروهای برقی می‌تواند از طریق اتصال به شبکه، القا و یا با تعویض باتری در ایستگاه‌های مخصوص شارژ شود. هزینه و امکانات مورد نیاز در هر یک از این موارد متفاوت است.

شیوه شارژ شدن باتری از طریق اتصال به شبکه، ارزان‌ترین راه تحقق سیستم شارژ باتری خودروها بوده و عملاً از امکانات موجود شبکه برای تحقق این ساختار استفاده می‌شود. در این مطالعه تنها شیوه شارژ باتری از طریق اتصال به شبکه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از سوی دیگر شارژ القایی باتری خودروهای برقی نیازی به اتصال مستقیم به شبکه ندارد. بنابراین این شیوه شارژ تنها در پارکینگ‌هایی قابل انجام است که امکانات مورد نیاز برای انجام شارژ القایی در آن‌ها وجود داشته باشد. از دید اقتصادی با توجه به بازدهی پایین این تکنولوژی و امکانات مورد نیاز برای تحقق آن، استفاده از این شیوه شارژ در حال حاضر توجیهی ندارد.

در طرح تعویض باتری خودروهای الکتریکی که سریع‌ترین شیوه شارژ باتری محسوب می‌شود، با توقف خودرو در ایستگاه‌هایی که برای انجام این عمل ساخته شده‌اند، باتری خودرو به سرعت با یک باتری مشابه که کاملاً شارژ شده است تعویض می‌گردد. با اینکه این روش موجب صرفه‌جویی در وقت مالکان خودروها

می‌شود و درصد نفوذ خودروهای برقی را بالا می‌برد، برای پیاده‌سازی آن لازم است استاندارد سازی در ساخت باتری خودروهای برقی توسط سازندگان مختلف صورت پذیرد.

زمان مورد نیاز برای شارژ باتری خودروهای برقی بستگی به سایز خودرو، تجهیزات شارژ مورد استفاده و نوع و سایز باتری دارد. سازندگان مختلف از تجهیزات مختلفی برای شارژ باتری خودروها استفاده می‌کنند. در این مطالعه برای سادگی دو شیوه شارژ سریع و شارژ کند مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اطلاعات مربوط به هر یک از این شیوه‌های شارژ در جدول (۴-۱۱) ارائه شده است. این اطلاعات نیز از پروژه معرفی شده از مرجع [۲۳] استخراج شده است.

جدول (۴-۱۱) اطلاعات شارژ باتری‌ها

نوع شارژ	بیشینه آهنگ شارژ باتری بر حسب kW	زمان تقریبی شارژ تا ظرفیت کامل بر حسب ساعت
کند	۳/۷	۶
سریع	۱۱/۰	۲

۳-۴ بررسی تاثیر خودروهای برقی در قابلیت اطمینان سیستم

توزیع

برای رسیدن به طرحی که محل مناسب پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی را مشخص نماید، اطلاعات متفاوتی لازم است. همچنین توجه به این نکته لازم است که پیچیدگی مدل باید به اندازه‌ای باشد که جنبه‌های اصلی مسئله نادیده گرفته شود. اصلی‌ترین پارامترهایی که لازم است در یک مدل ساده در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از:

- مشخصات شبکه مورد بررسی.
- هزینه‌های احداث پارکینگ در نقاط مختلف با توجه به ظرفیت پارکینگ.

- میزان ظرفیت باقی مانده از خطوط و ترانسفورماتور(های) تغذیه کننده پارکینگ (در صورتی که نیاز به احداث پست اختصاصی باشد، هزینه‌های احداث این پست‌ها نیز لازم است لحاظ گردد).

- میزان ظرفیت قابل تحویل به شبکه توسط پارکینگ با توجه به امکانات شبکه در محل اتصال پارکینگ.

- میزان تقریبی متوسط تعداد خودروهای برقی که در هر زمان به پارکینگ وارد می‌شوند.

- سطح نفوذ خودروهای برقی در منطقه مورد بررسی.

- مشخصات خودروهای برقی: معمولا مشخصاتی که بیانگر میزان متوسط مقادیر مورد نظر باشند کفایت می‌کند. این مشخصات شامل ظرفیت باتری خودروها، میزان مسافت طی شده تا پارکینگ با توجه به محل پارکینگ، میزان متوسط انرژی مصرف شده توسط خودرو در مسیر حرکت به سمت پارکینگ، میزان متوسط انرژی مورد نیاز برای بازگشت مالکان خودروها.

- هدف احداث این پارکینگ‌ها: شامل کاهش هزینه‌های خرید توان از شبکه، کاهش هزینه‌های ارتقای شبکه، کاهش هزینه‌های احداث پارکینگ‌ها، پیک‌سای، کاهش تلفات، کاهش هزینه تلفات در بار پیک، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و موارد دیگر. عمدتا ترکیبی از این اهداف در مکان یابی و اندازه یابی این پارکینگ‌ها موثر هستند.

در ادامه تاثیر وجود پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی بر روی قابلیت اطمینان سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به این ترتیب که فرض می‌شود که محل پارکینگ‌ها مشخص است. این فرض چندان غیر معقول نیست، زیرا در عمل مکان احداث پارکینگ‌ها با پارامترهایی نظیر زمین قابل دسترسی برای احداث آن‌ها و نزدیکی به مراکز تجاری و محل کار غالب شهروندان محدود می‌گردد. با اینکه گزینه‌های محل احداث این پارکینگ‌ها محدود هستند، از بین گزینه‌های موجود هنوز هم لازم است بهترین انتخاب‌ها صورت پذیرد. بعد از مشخص شدن نحوه بررسی تاثیر این پارکینگ‌ها بر روی قابلیت اطمینان شبکه و آنالیز نتایج این بخش، می‌توان با بررسی همه حالات ممکن (یکایک

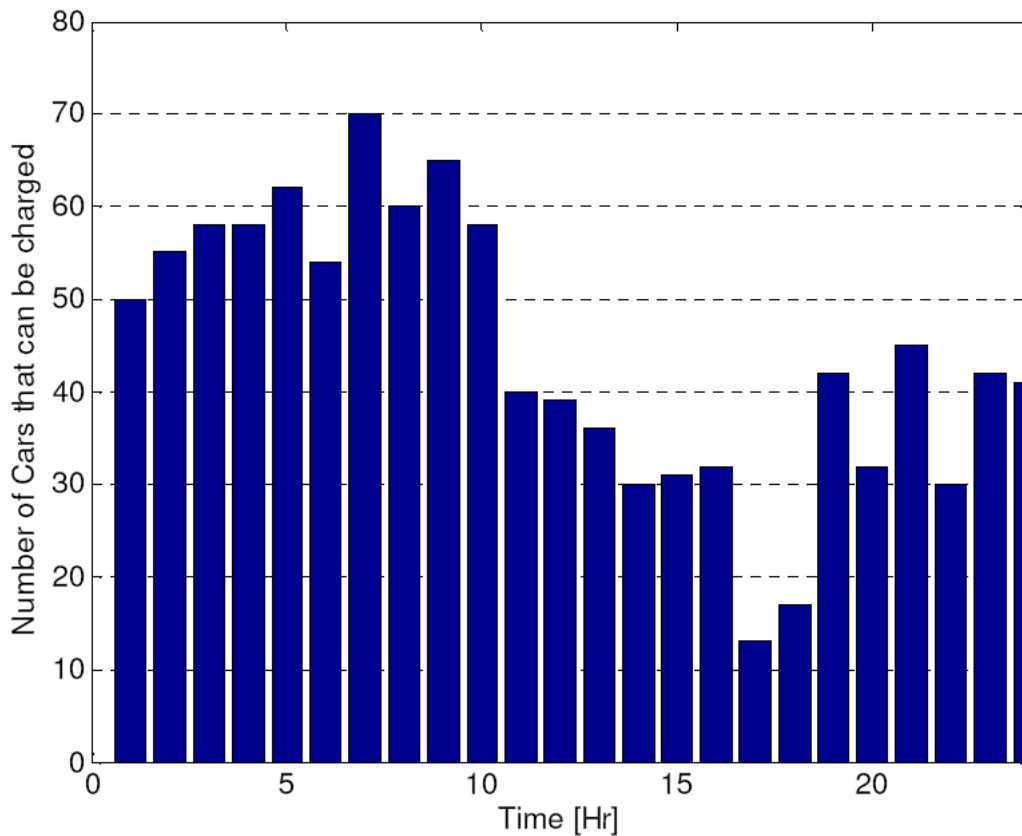
شماری)، محل مناسب برای احداث این پارکینگ‌ها را پیدا کرد. برای مثال در شبکه مورد بررسی که یک سیستم توزیع نسبتاً بزرگ به حساب می‌آید تنها سه ناحیه تجاری وجود دارد و در عمل تعداد انتخاب‌ها ۸ حالت محدود می‌گردد. در حالی که با در نظر گرفتن سایر محدودیت‌های عملی نظیر وجود زمین و یا ساختمان مناسب این انتخاب‌ها باز هم کاهش می‌یابد.

۴-۳-۱ در نظر گرفتن تاثیر خودروهای برقی بر قابلیت اطمینان شبکه توزیع متصل به باس ۲ سیستم

RBTS

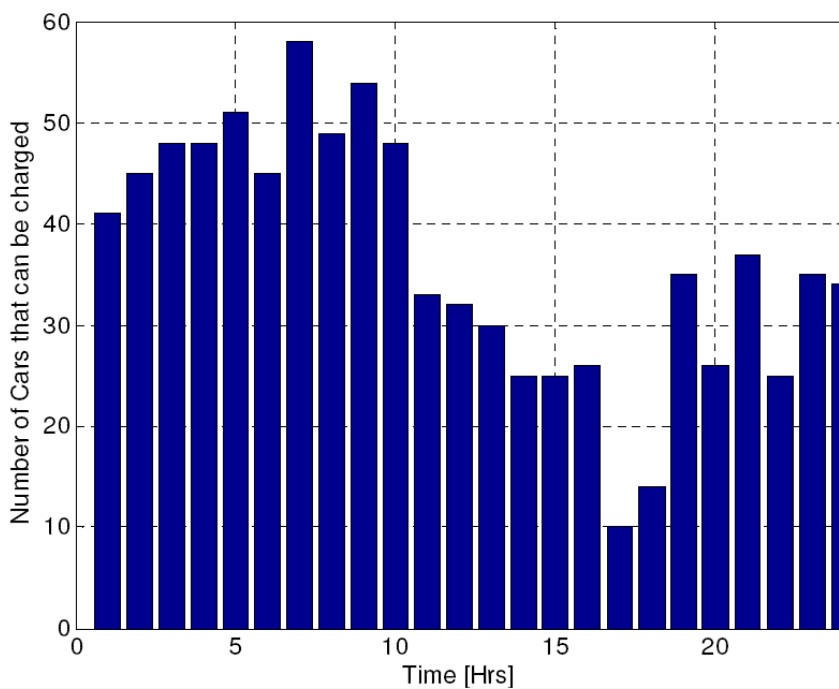
در هنگام شارژ، خودروهای برقی را میتوان به عنوان بارهای جدیدی در شبکه مورد بررسی قرار داد. میزان این بار در آینده سیستم در حال افزایش است. در انتخاب ترانسفورماتورهای نصب شده برای تغذیه بار بخش‌های مختلف این سیستم، این افزایش بار لحاظ نشده است. بنابراین باید شرایط بگونه‌ای باشد که این ترانسفورماتورها در هنگام شارژ گروهی از این خودروها دچار اضافه بار نشوند. یکی از راه حل‌های جلوگیری از اضافه بار ترانسفورماتورها، استفاده از سیستم مرکزی شارژ هماهنگ است. جدول (۴-۷) ظرفیت باقی‌مانده ترانسفورماتورهای این سیستم را بر مبنای ظرفیت آن‌ها و بار مصرفی نشان می‌دهد.

فرض بر این است که شارژ باتری خودروها در طول شب و به صورت هماهنگ شده صورت می‌پذیرد. این هماهنگی باید بر مبنای ظرفیت باقی‌مانده ترانسفورماتورها صورت پذیرد. دو شیوه شارژ باید در نظر گرفته شود: شارژ سریع و شارژ کند. شکل ۴-۱۰ تعداد متوسط خودروهایی که در نقاطی از سیستم که ظرفیت ترانسفورماتور آنها ۱۲۰۰ کیلو وات است با روش شارژ سریع قابل شارژ شدن هستند را نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۱ این تعداد خودروها را برای ظرفیت ترانسفورماتور ۱۰۰ کیلوواتی نشان می‌دهد. شکل‌های ۴-۱۲ و ۴-۱۳ نیز تعداد خودروهایی که با روش شارژ کند در ساعات مختلف روز از طریق ترانسفورماتورهایی با ظرفیت ۱۲۰۰ و ۱۰۰۰ کیلو وات قابل شارژ کردن هستند، نشان می‌دهد.



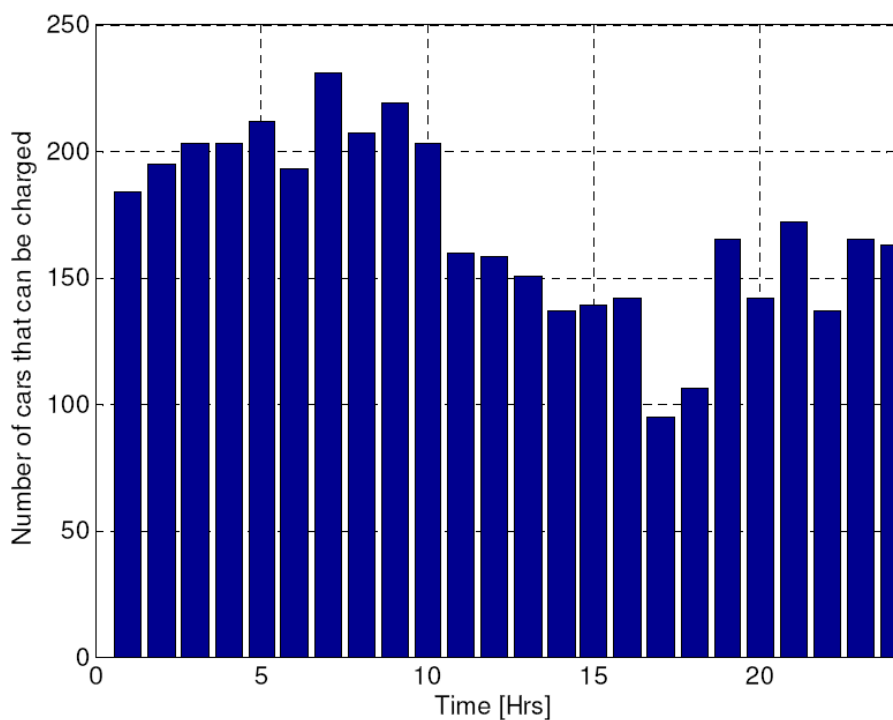
شکل ۴-۱۰. متوسط تعداد خودروهای قابل شارژ در ساعات مختلف در نواحی مسکونی تجهیز شده با ترانسفورماتور

۱۲۰۰ کیلوواتی، با شارژ سریع

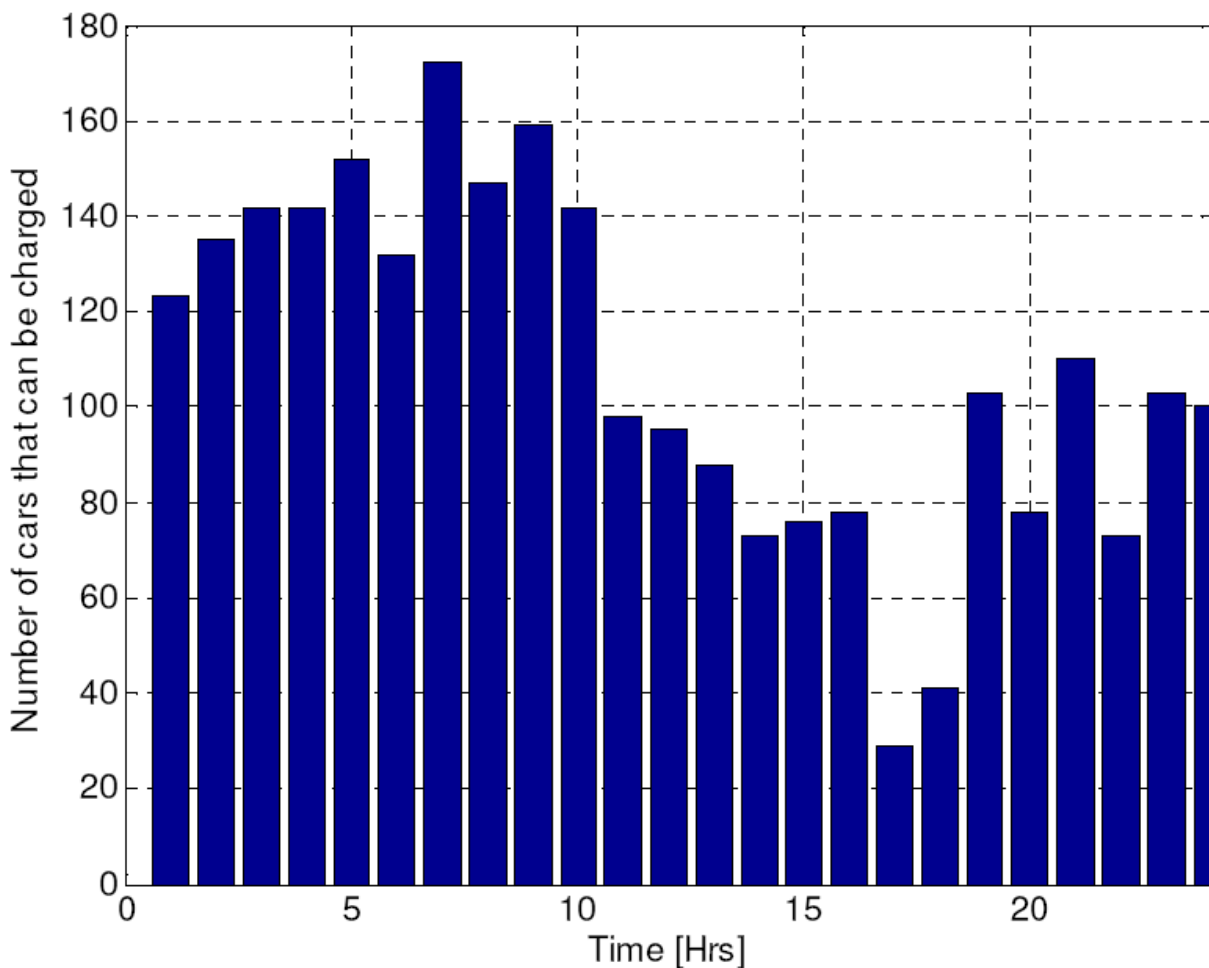


شکل ۴-۱۱. متوسط تعداد خودروهای قابل شارژ در ساعات مختلف در نواحی مسکونی تجهیز شده با ترانسفورماتور ۱۰۰۰

کیلوواتی، با شارژ سریع



شکل ۴-۱۲. متوسط تعداد خودروهای قابل شارژ در ساعات مختلف در نواحی مسکونی تجهیز شده با ترانسفورماتور ۱۲۰۰ کیلوواتی، با شارژ کند



شکل ۴-۱۳. متوسط تعداد خودروهای قابل شارژ در ساعات مختلف در نواحی مسکونی تجهیز شده با ترانسفورماتور ۱۰۰۰ کیلوواتی، با شارژ کند

قدم بعدی این است که تشخیص داده شود که در هر یک از مناطق چند خودرو برقی در هنگام شب در حال شارژ شدن هستند. همانطور که قبلاً گفته شد، در این پژوهش این کار با دو سطح مختلف نفوذ خودروهای برقی انجام خواهد شد.

- مطالعه اول با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

در این شرایط در ناحیه مسکونی R1 تعداد ۲۱۰ خودرو برقی موجود است که باید توسط سه ترانسفورماتور ۱۲۰۰ کیلو ولت آمپری در هنگام شب شارژ شوند. همچنین در ناحیه R2 تعداد خودروهای برقی ۲۱۰ عدد است. این خودروها از طریق دو ترانسفورماتور ۱۲۰۰ کیلو ولت آمپری و

یک ترانسفورماتور ۱۰۰۰ کیلو ولت آمپری شارژ می‌شوند. در ناحیه مسکونی R3 نیز ۲۰۰ خودرو برقی وجود دارند که از طریق سه ترانسفورماتور ۱۰۰۰ کیلو ولت آمپری شارژ می‌شوند. جداول (۴-۱۲) و (۴-۱۳) به ترتیب تعداد خودروهای در حال شارژ با روش شارژ سریع و شارژ آهسته را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که تعداد خودروها متناسب با بار هر یک از نقاط بار توزیع شده است.

جدول (۴-۱۲) تعداد خودروهای برقی که در ساعات مختلف با روش شارژ سریع در حال شارژ شدن هستند (ضریب نفوذ ۳۰ درصد)

زمان	ناحیه مسکونی R1			ناحیه مسکونی R2			ناحیه مسکونی R3		
	LP1	LP2	LP3	LP10	LP11	LP12	LP17	LP18	LP19
۰۲-۰۱	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴
۰۳-۰۲	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴
۰۴-۰۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۳۶	۲۶	۲۶	۲۶
۰۵-۰۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۳۶	۲۶	۲۶	۲۶
کل	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰

جدول (۴-۱۲) تعداد خودروهای برقی که در ساعات مختلف با روش شارژ آهسته در حال شارژ شدن هستند (ضریب نفوذ ۳۰ درصد)

زمان	ناحیه مسکونی R1			ناحیه مسکونی R2			ناحیه مسکونی R3		
	LP1	LP2	LP3	LP10	LP11	LP12	LP17	LP18	LP19
۰۱-۰۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰
۰۲-۰۱	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰
۰۳-۰۲	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰
۰۴-۰۳	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰
۰۵-۰۴	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰

۰۶-۰۵	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰
کل	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۸۰

- مطالعه دوم با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

در این مطالعه در هر یک از نواحی مسکونی R1، R2 و R3 به ترتیب تعداد ۶۳۰، ۶۳۰ و ۶۰۰ خودرو برقی وجود دارد. در اینجا سعی شده است که برنامه‌ریزی شارژ این خودروها به صورتی باشد که ترانسفورماتورهای مربوط به هر نقطه باری دچار اضافه بار نشوند. جداول (۴-۱۴) و (۴-۱۵) به ترتیب تعداد خودروهای در حال شارژ با روش شارژ سریع و شارژ آهسته را در ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد نشان می‌دهند. در مورد شارژ آهسته با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد خودروهای برقی، با توجه به ظرفیت باقی‌مانده ترانسفورماتورها، در ساعات ابتدایی شب امکان شارژ خودروهای بیشتری وجود دارد، اما با توجه به قیمت بالای انرژی الکتریکی در این ساعات، تعداد خودروهای در حال شارژ در این ساعات کم نگه داشته شده است.

جدول (۴-۱۴) تعداد خودروهای برقی که در ساعات مختلف با روش شارژ سریع در حال شارژ شدن هستند (ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد)

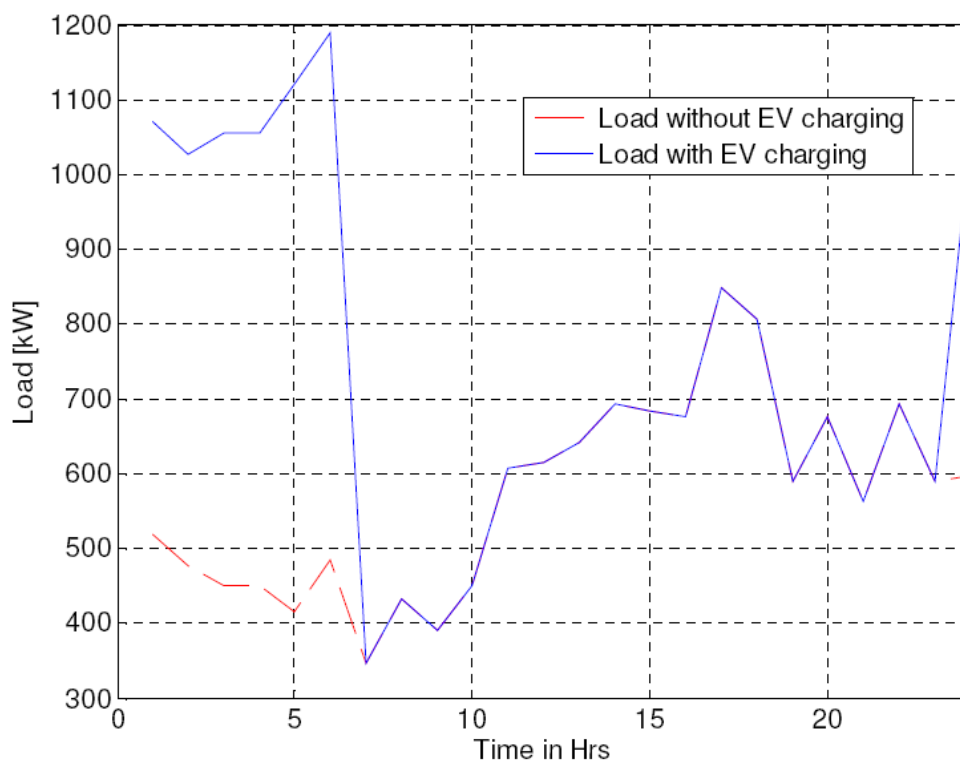
زمان	ناحیه مسکونی R1			ناحیه مسکونی R2			ناحیه مسکونی R3		
	LP1	LP2	LP3	LP10	LP11	LP12	LP17	LP18	LP19
۲۳-۲۲	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۰۰-۲۳	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۰۱-۰۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۰۲-۰۱	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۰۳-۰۲	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
۰۴-۰۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵

۰۵-۰۴	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
۰۶-۰۵	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
۰۷-۰۶	-	-	-	-	-	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰
۰۸-۰۷	-	-	-	-	-	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰
کل	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰

جدول (۴-۱۵) تعداد خودروهای برقی که در ساعات مختلف با روش شارژ آهسته در حال شارژ شدن هستند (ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد)

زمان	ناحیه مسکونی R1			ناحیه مسکونی R2			ناحیه مسکونی R3		
	LP1	LP2	LP3	LP10	LP11	LP12	LP17	LP18	LP19
۲۱-۲۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۲۲-۲۱	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۲۳-۲۲	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۰۰-۲۳	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۰۱-۰۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۰۲-۰۱	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
۰۳-۰۲	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۰۴-۰۳	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۰۵-۰۴	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۰۶-۰۵	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۰۷-۰۶	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۰۸-۰۷	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
کل	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰

با توجه به تعداد خودروهای برقی در حال شارژ، بار سیستم در طول ساعات کم‌باری تغییر می‌کند. برای مثال نمودار تغییرات بار روزانه در نقطه بار ۱ در طول شبانه‌روز برای شارژ سریع با ضریب نفوذ ۳۰ درصد در شکل ۴-۱۴ آورده شده است.



شکل ۴-۱۴. نمودار تغییرات بار روزانه در نقطه بار ۱ با شارژ سریع در ضریب نفوذ ۳۰ درصد.

برای ارزیابی ظرفیتی که یک ناوگان از خودروهای برقی در اختیار قرار می‌دهند، باید در مورد پاسخ سوال‌های زیر فرضیاتی صورت پذیرد.

- خودرو از زمانی که کاملاً شارژ شده است چه مسافتی را طی کرده است؟
- چه محدودیت‌هایی از سوی مالکان خودروها قرار داده شده است.
- مشخصات خودروهای برقی به چه صورتی است.

برای پاسخ به سوال اول باید مشخصات جغرافیایی منطقه سیستم تحت مطالعه و عادات رانندگی صاحبان خودروها را مطالعه کرد. پاسخ تمامی این سوالات در زیر بخش قبل آورده شده است. با توجه

به اطلاعات ارائه شده در ادامه مسئله محاسبه اندیس‌های قابلیت اطمینان شبکه در حضور خودروهای برقی یک بار بدون قابلیت V2G و بار دیگر با در نظر گرفتن قابلیت V2G بررسی خواهد شد. با توجه به اطلاعات ارائه شده، می‌توان گفت:

به طور متوسط میزان انرژی موجود در باتری هر خودرو قبل از شروع حرکت ۲۱/۷۶ کیلو وات ساعت است. فاصله متوسط در جابجایی بین ناحیه مسکونی R1 تا C1 نوزده کیلومتر است. متوسط انرژی مصرف شده در این جابجایی ۳/۲۳ کیلووات ساعت است. به این ترتیب متوسط انرژی باقی مانده بعد از جابجایی بین این دو ناحیه ۱۸/۵۳ کیلو وات ساعت است. به درخواست صاحبان خودروها انرژی متوسط ۸/۶۷ کیلو وات ساعت باید در باتری خودروها باقی بماند. به این ترتیب ظرفیت در دسترس ۹/۸۰ کیلو وات ساعت خواهد بود. برای جابجایی بین همه مناطق مسکونی و تجاری، جدول (۴-۱۶) میزان متوسط انرژی باقی در هر خودرو را نشان می‌دهد.

به این ترتیب از جمع انرژی قابل دستیابی از تمامی ناوگان خودروهای برقی موجود در هر یک از نواحی تجاری، کل ظرفیت قابل دستیابی در هر ناحیه تجاری بدست می‌آید. این مقدار برای هر یک از نواحی تجاری در جدول (۴-۱۷) آورده شده است.

جدول (۴-۱۶) متوسط انرژی باقی مانده در باتری خودروهای برقی در جابجایی از هر یک از نواحی مسکونی به هر یک از نواحی تجاری با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

ناحیه تجاری	ناحیه مسکونی R1		ناحیه مسکونی R2		ناحیه مسکونی R3	
	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست-یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست-یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست-یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت
C1	۷۰	۹/۸	۷۰	۱۱/۳۹	۷۰	۹/۸
C2	۷۰	۹/۶	۷۰	۱۰/۲۰	۷۰	۹/۶

C3	۷۰	۶/۶	۶۰	۱۰/۲۰	۸۰	۹/۶
----	----	-----	----	-------	----	-----

جدول (۱۷-۴) ظرفیت قابل دست‌یابی از کل ناوگان خودروها در هر یک از نواحی تجاری با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

ناحیه تجاری	ظرفیت قابل دست‌یابی از کل ناوگان خودروها بر حسب کیلو وات ساعت
C1	۲۱۶۹
C2	۱۸۴۸
C3	۱۸۴۲

همچنین برای جابجایی بین همه مناطق مسکونی و تجاری، جدول (۱۸-۴) میزان متوسط انرژی باقی در هر خودرو را برای ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد. کل ظرفیت قابل دست‌یابی برای هر یک از نواحی تجاری با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد در جدول (۱۹-۴) آورده شده است.

جدول (۱۸-۴) متوسط انرژی باقی مانده در باتری خودروهای برقی در جابجایی از هر یک از نواحی مسکونی به هر یک از نواحی تجاری با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

ناحیه تجاری	ناحیه مسکونی R1		ناحیه مسکونی R2		ناحیه مسکونی R3	
	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست‌یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست‌یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت	تعداد خودروها	ظرفیت قابل دست‌یابی متوسط از هر خودرو بر حسب کیلو وات ساعت
C1	۲۱۰	۹/۸	۲۱۰	۱۱/۳۹	۲۰۰	۹/۸
C2	۲۱۰	۹/۶	۲۱۰	۱۰/۲۰	۲۰۰	۹/۶
C3	۲۱۰	۶/۶	۲۱۰	۱۰/۲۰	۲۰۰	۹/۶

جدول (۴-۱۹) ظرفیت قابل دستیابی از کل ناوگان خودروها در هر یک از نواحی تجاری با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

ناحیه تجاری	ظرفیت قابل دستیابی از کل ناوگان خودروها بر حسب کیلو وات ساعت
C1	۶۴۱۰
C2	۵۴۷۸
C3	۵۴۴۸

در این شرایط تجمیع کننده مسئول استفاده بهینه از انرژی ذخیره شده و قابل استفاده است. به طور کلی، این انرژی باید زمانی بیشتر مورد استفاده قرار گیرد که قیمت انرژی از ساعات دیگر بالاتر است. در این مطالعه از یک سو زمان وجود خودروهای الکتریکی در نواحی تجاری و از یک سو قیمت انرژی باید مد نظر قرار گیرد. در این شرایط بازدهی استفاده از ظرفیت موجود در خودروهای برقی در طول روز و حوالی ظهر بیشینه است. جداول (۴-۲۰) و (۴-۲۱) نحوه مدیریت استفاده از انرژی قابل دست-یابی در خودروهای برقی را به ترتیب برای ضریب نفوذ ۳۰ و ۱۰۰ درصد نشان می‌دهند. همانطور که دیده می‌شود، در مورد ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد، ساعات بیشتری در طول شبانه‌روز از ظرفیت موجود در خودروهای برقی استفاده می‌شود.

جدول (۴-۲۰) انرژی مورد استفاده از ناوگان خودروهای برقی در هر ناحیه تجاری، در هر ساعت با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

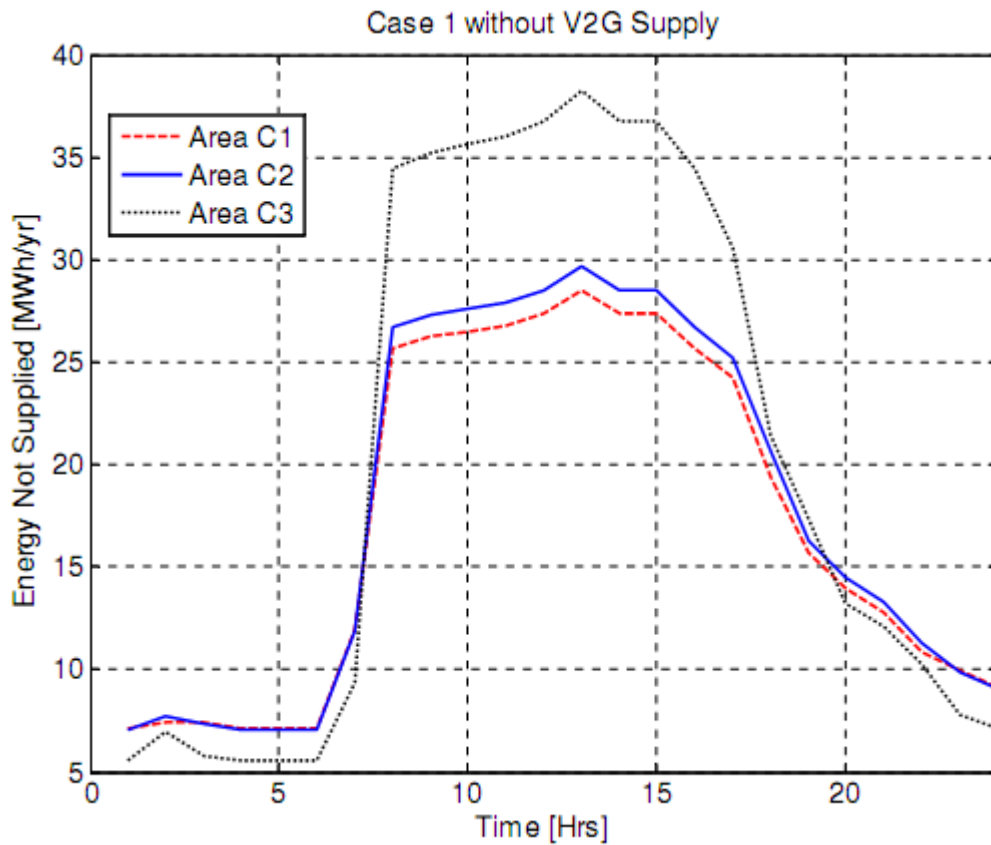
ناحیه تجاری	انرژی مورد استفاده از خودروها بر حسب کیلو وات ساعت -۱۰	انرژی مورد استفاده از خودروها بر حسب کیلو وات ساعت ۱۱-۱۲	انرژی مورد استفاده از خودروها بر حسب کیلو وات ساعت ۱۲-۱۳
C1	۷۶۳	۷۶۳	۷۶۳
C2	۵۴۶	۵۴۶	۵۴۶
C3	۵۳۱	۵۳۱	۵۳۱

جدول (۴-۲۰) انرژی مورد استفاده از ناوگان خودروهای برقی در هر ناحیه تجاری، در هر ساعت با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

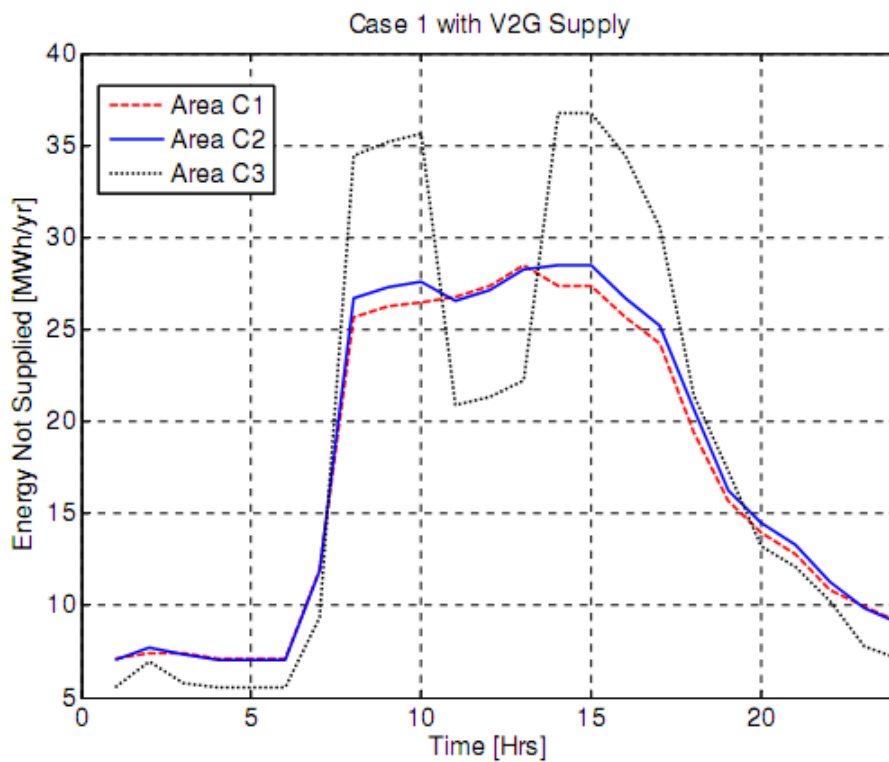
ناحیه تجاری	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۱-۱۰	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۲-۱۱	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۳-۱۲	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۴-۱۳	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۵-۱۴	انرژی مورد استفاده (کیلو وات ساعت) ۱۶-۱۵
C1	۱۰۶۸	۱۰۶۸	۱۰۶۸	۱۰۶۸	۱۰۶۸	۱۰۶۸
C2	۹۱۳	۹۱۳	۹۱۳	۹۱۳	۹۱۳	۹۱۳
C3	۹۰۸	۹۰۸	۹۰۸	۹۰۸	۹۰۸	۹۰۸

۴-۳-۱-۱ مطالعه اول با ضریب نفوذ ۳۰ درصد خودروهای برقی

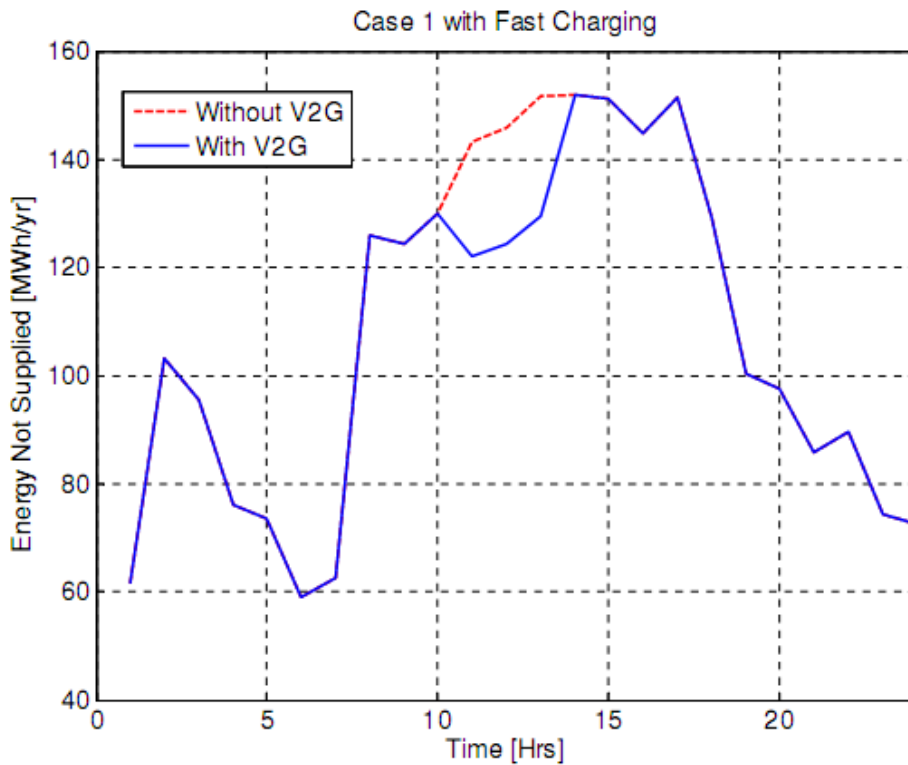
شکل‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶ به ترتیب انرژی تغذیه نشده در هر یک از نواحی تجاری را بدون و با قابلیت V2G نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، با استفاده از قابلیت V2G انرژی تغذیه نشده در هر یک از نواحی تجاری کاهش می‌یابد. شکل ۴-۱۷ کل انرژی تغذیه نشده را در طول هر یک از ساعات شبانه‌روز در یک سال را بدون و با قابلیت V2G برای شارژ سریع نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۸ نیز کل انرژی تغذیه نشده را در طول هر یک از ساعات شبانه‌روز در یک سال را بدون و با قابلیت V2G برای شارژ آهسته نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۵. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز بدون قابلیت V2G با ضریب نفوذ ۳۰ درصد



شکل ۴-۱۶. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G با ضریب نفوذ ۳۰ درصد



شکل ۴-۱۷. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G برای کل سیستم در طول سال با شارژ سریع

با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

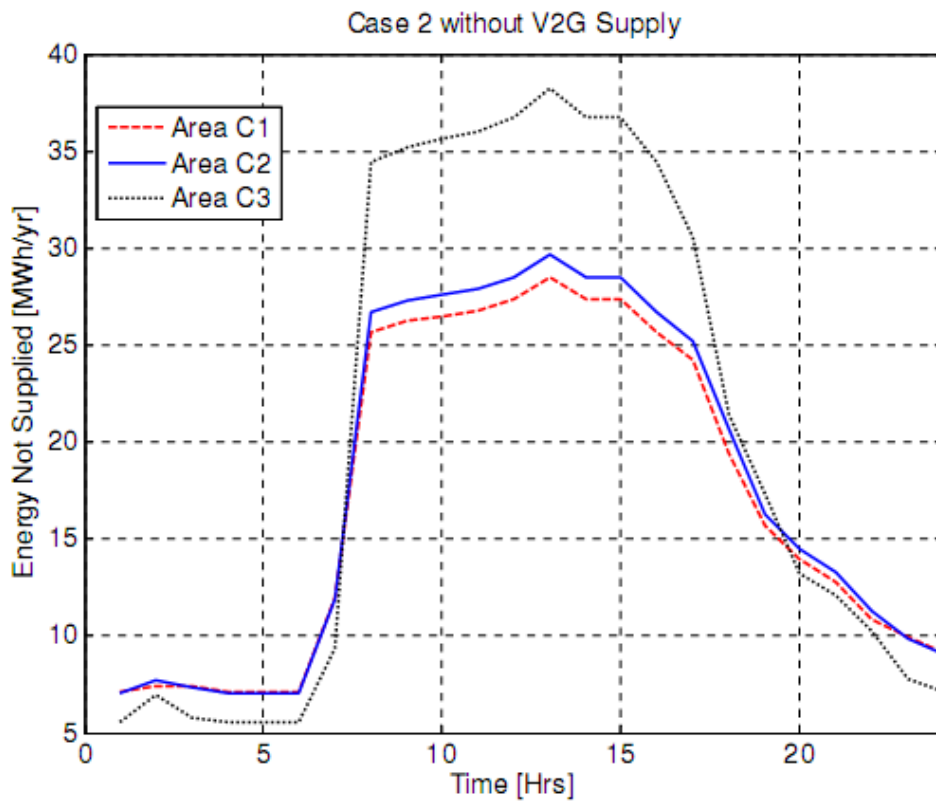


شکل ۴-۱۸. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G برای کل سیستم در طول سال با شارژ آهسته با ضریب نفوذ ۳۰ درصد

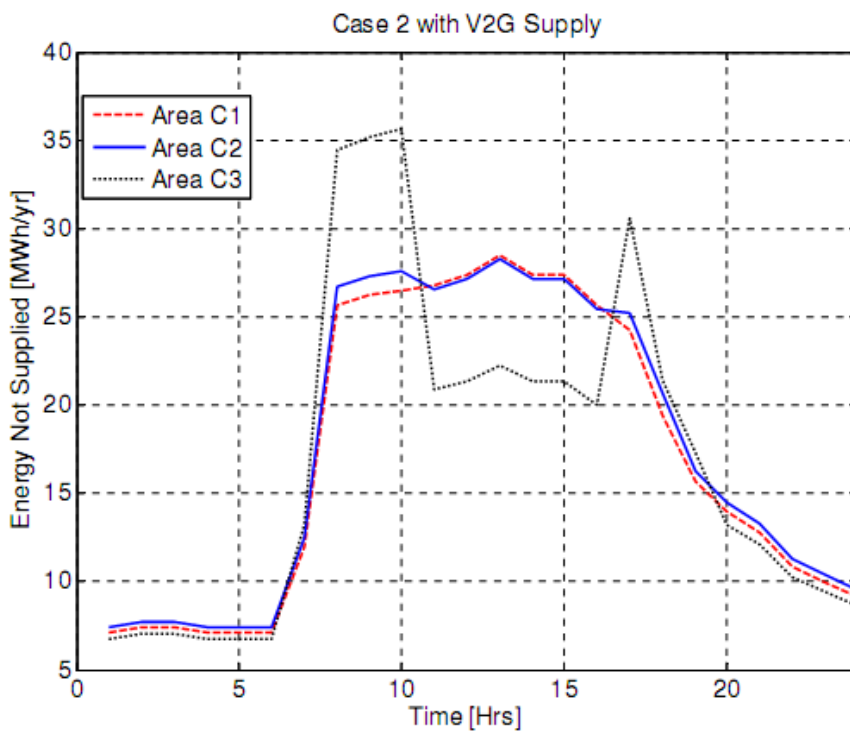
با توجه به شکل ۴-۱۸، در شارژ آهسته کل انرژی تغذیه نشده در طول سال بدون قابلیت V2G مقداری برابر ۲۶۱۶ مگاوات-ساعت دارد. این میزان با بهره‌گیری از این قابلیت به میزان ۷۲ مگاوات-ساعت افت کرده و به ۲۶۱۶ ۲۵۴۴ مگاوات-ساعت می‌رسد. در شارژ سریع نیز میزان کل انرژی تغذیه نشده در شرایط بدون و با استفاده از قابلیت V2G به ترتیب ۲۵۹۲ و ۲۵۳۰ مگاوات-ساعت است. میزان کاهش این اندیس در این شرایط نیز ۷۲ مگاوات-ساعت است.

۴-۳-۱-۲ مطالعه اول با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد خودروهای برقی

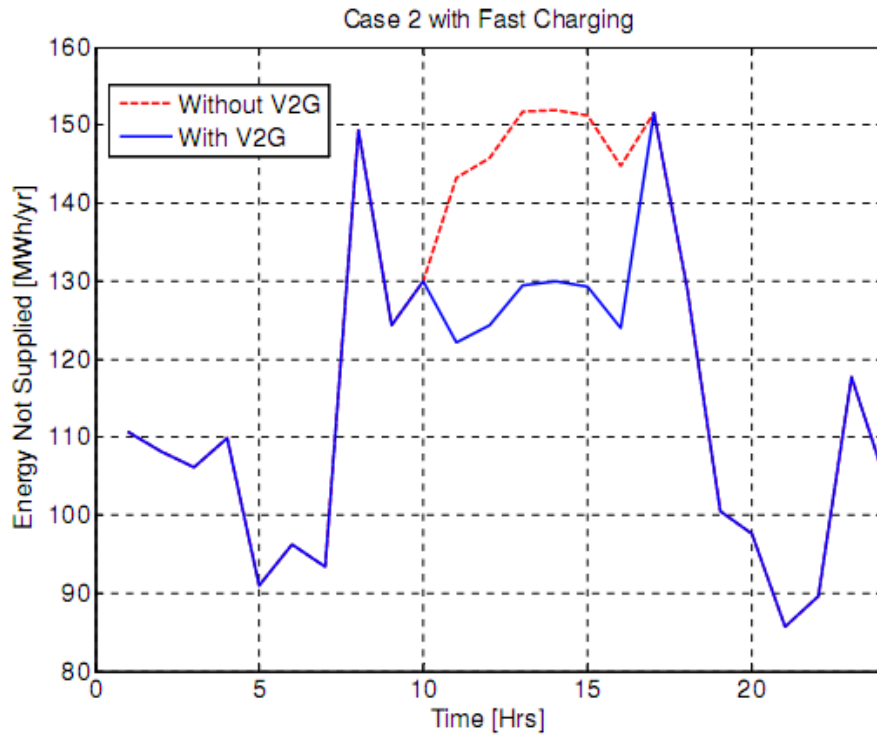
شکل‌های ۴-۱۹ و ۴-۲۰ به ترتیب انرژی تغذیه نشده در هر یک از نواحی تجاری را بدون و با قابلیت V2G در ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد خودروهای برقی نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، با استفاده از قابلیت V2G انرژی تغذیه نشده در هر یک از نواحی تجاری باز هم کاهش می‌یابد. شکل‌های ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نیز کل انرژی تغذیه نشده را به ترتیب برای شارژ سریع و شارژ آهسته در طول هر یک از ساعات شبانه‌روز در یک سال را بدون و با قابلیت V2G نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۹. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز بدون قابلیت V2G با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

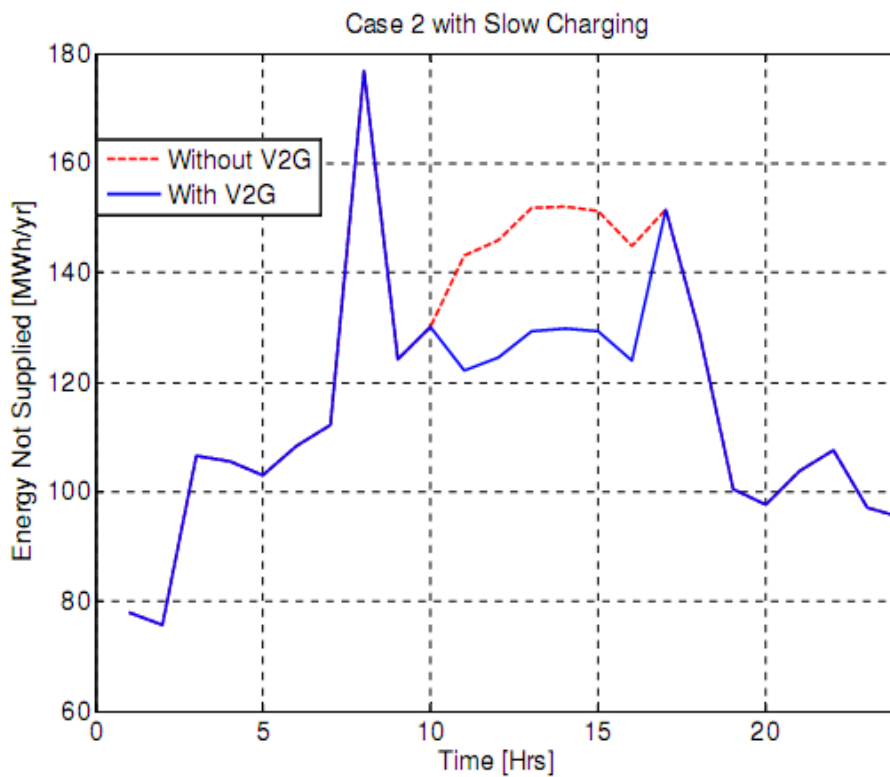


شکل ۴-۲۰. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد



شکل ۴-۲۱. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G برای کل سیستم در طول سال با شارژ سریع

با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد



شکل ۴-۲۲. انرژی تغذیه نشده در ساعات مختلف روز با قابلیت V2G برای کل سیستم در طول سال با شارژ آهسته

با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد

جدول (۴-۲۱) اندیس‌های قابلیت اطمینان سیستم

ضریب نفوذ	بدون خودرو برقی	۳۰ درصد		۱۰۰ درصد	
		بدون V2G	با V2G	بدون V2G	با V2G
اندیس					
SAIFI	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲
SAIDI	۴/۰۲۱	۴/۰۲۱	۳/۸۳۰	۴/۰۲۱	۳/۳۴۰
CAIDI	۸/۳۳۱	۸/۳۳۱	۷/۰۵۶	۸/۳۳۱	۶/۵۳۲
ASAI	۰/۹۹۹۵۶۱	۰/۹۹۹۵۶۱	۰/۹۹۹۶۵۰	۰/۹۹۹۵۶۱	۰/۹۹۹۷۳۱
ASUI	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۳۵۰	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۲۶۹
ENS	۲۴۹۵	۲۶۱۶	۲۵۴۴	۲۸۸۵	۲۷۴۵

با توجه به شکل ۴-۲۲، در شارژ آهسته کل انرژی تغذیه نشده در طول سال بدون قابلیت V2G مقداری برابر ۲۸۸۰ مگاوات-ساعت دارد. این میزان با بهره‌گیری از این قابلیت به میزان ۱۲۰ مگاوات-ساعت افت کرده و به ۲۷۶۰ مگاوات-ساعت می‌رسد. در شارژ سریع نیز میزان کل انرژی تغذیه نشده در شرایط بدون و با استفاده از قابلیت V2G به ترتیب ۲۸۸۵ و ۲۷۴۵ مگاوات-ساعت است. میزان کاهش این اندیس در این شرایط نیز ۱۴۰ مگاوات-ساعت است. جدول (۴-۲۱) سایر اندیس‌های قابلیت اطمینان سیستم مورد بررسی را در شرایط نفوذ مختلف بدست می‌دهد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه ساختار مناسبی برای تجزیه و تحلیل تاثیر قابلیت اتصال به شبکه خودروهای برقی از طریق پارکینگ‌های الکتریکی موجود در نواحی تجاری ارائه گردید. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها بررسی اطلاعات مورد نیاز در یک شبکه برای تحقق این امر است. قسمت عمده تلاش‌ها در این پایان‌نامه وقف ارائه چارچوب مناسب برای یافتن لیستی از اطلاعات ورودی مورد نیاز شده است به طوری که مدل نهایی بدست آمده به اندازه کافی دقیق و در عین حال منطقی باشد. در نهایت بعد از بدست آمدن ساختار مناسب مطالعات بسیاری صورت گرفته است. این مطالعات شامل ضریب نفوذهای مختلف برای خودروهای برقی و همچنین استراتژی‌های شارژ متفاوت است. این فصل به بررسی نتایج بدست آمده از روش‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادات اختصاص دارد.

مطالعات صورت گرفته برای ضریب نفوذ ۳۰ درصد که به نوعی وضعیت کنونی در کشور پیشرفته را مدل می‌کند، نشان می‌دهد بهبود قابلیت اطمینان سیستم از رهگذر استفاده از قابلیت V2G در این شرایط چندان رضایت بخش نخواهد بود. به این ترتیب اگر تنها بهبود قابلیت اطمینان مد نظر باشد، صرف هزینه برای پیاده‌سازی این ساختار توجیه نخواهد داشت. در مورد ضرایب نفوذ بالاتر با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی سیستم با ضریب نفوذ ۱۰۰ درصد، هرچند میزان کاهش در انرژی تغذیه نشده چشم‌گیرتر می‌شود، باز هم انتظارات را برآورده نمی‌کند. شایان ذکر است که تجزیه و تحلیل اقتصادی استفاده از این قابلیت به اینجا ختم نخواهد شد. در قسمت پیشنهادات، برخی موارد جهت تکمیل بحث ارزیابی اقتصادی ذکر خواهد شد.

همچنین ذکر این نکته ضروری است که با توجه به مطالعات صورت گرفته، تفاوت چندان در روش‌های شارژ سریع و آهسته از نقطه نظر قابلیت اطمینان وجود ندارد.

۲-۵ پیشنهادات

- ۱- بررسی اقتصادی دقیق‌تر استفاده از قابلیت V2G پیشنهاد می‌گردد. توضیح اینکه در این پایان‌نامه تنها جنبه بهبود قابلیت اطمینان سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته است. این در حالی است که این قابلیت تاثیر قابل توجهی بر روی سایر موارد از قبیل میزان تلفات و کاهش خرید از شبکه (در ساعاتی که قیمت انرژی بالاتر است) دارد. مطالعه کلی و ارزیابی فنی-اقتصادی جامع‌تری در این زمینه برای ادامه کار پیشنهاد می‌گردد.
- ۲- در نظر گرفتن عدم دسترسی بودن و خرابی در پارکینگ‌های خودروهای برقی در نواحی تجاری برای تکمیل مدل بررسی قابلیت اطمینان شبکه در شرایطی که از قابلیت V2G استفاده می‌گردد پیشنهاد می‌شود.
- ۳- در نظر گرفتن عدم قطعیت در ورود خودروهای برقی به پارکینگ‌های مورد نظر برای تکمیل مدل محاسبات قابلیت اطمینان پیشنهاد می‌شود.

منابع و مراجع

- [1] Environmental Assessment of Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Nationwide Greenhouse Gas Emissions, 1015325, Fin. Rep., EPRI nad NRDC, 2007, vol.1, pp. 1-56.
- [2] Automobile. Wikipedia.[Online] 01 17, 2009. [Cited 01 27, 2009.] http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile#cite_note-4.
- [3] Hybrid Synergy View September 2007. [Online] Toyota, 09 2007. [Cited: 02 06, 2009]<http://www.toyota.com/html/dycon/2007/september/birthday.html>.
- [4] Mohammad A.S. Masoum, Seyed M. Mousavi Badejani and Mohsen Kalantar,” Optimal Placement of Hybrid PV-Wind Systems Using Genetic Algorithm”IEEE Trans on Energy Conversion. 2010
- [5] Advanced technologies and energy efficiency. [Online]
- [6] M. Ehsani,et al., “Hybrid Electric Vehicle: Architecture and Motor Drives”, Proceeding of IEEE , vol.95, pp. 719-728, 2007.
- [7] E.W.C. L., “Review on the configuration of hybrid electric vehicles”, 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Application, 2009. PESA2009.pp 1-4.
- [8] Rosmarino, Tanyalynnette. A Self-Funding Enerprise Solution to Reduce Power Consumption and Carbon Emissions. [Online] http://www.nysfirm.org/documents/html/2007/execcommittee/may/enterprisepowerconsumptionreduction_files/800*600/index.html.
- [9] Mark Gillies (2010-10-02). “Lotus City Car Concept- Auto Shows” [online] <http://www.caranddriver.com/news/lotus-news-lotus-city-car-concept>
- [10] Hadley SW. “Impact of plug-in hybrid vehicles on the electric grid.” Technical Report ORNL/TM-2006/554. TN: Oak Ridge National Laboratory; 2006.
- [11] New York ISO. Alternate route: electrifying the transportation sector. Technical report. NY: New York ISO; 2009.

- [12] Denholm P, Short W.” An evaluation of utility system impacts and benefits of optimally dispatched plug-in hybrid electric vehicles.” Technical report. National Renewable Energy Laboratory; 2006.
- [13] Shao S, Pipattanasomporn M, Rahman S.“Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network.”, 2009 IEEE PES General Meeting 2009;1–
- [14] Intelligent unit commitment with vehicle to grid_A cost-emmission optimization
- [15] Integrating electric vehicle as flexible load in unit commitment modeling
- [16] Wencong Su, Mo-Yuen Chow,”Performance Evaluation of A PHEV Parking Station Using Particle Swarm Optimization”, conference on 2011 IEEE
- [17] Robert C. Green II, Lingfeng Wang, Mansoor Alam,”The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks:A review and outlook”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 August 2010
- [18] Shao S, Pipattanasomporn M, Rahman S. Challenges of PHEV penetration to the Residential distribution network. 2009 IEEE PES General Meeting 2009;1–8.
- [19] R. Billinton, S. Kumar, N. Chowdhury, K. Chu, K. Debnath, L. Goel, E.Khan, P. Kos, G. Nourbaksh,, J. Oteng- Adjei, “ A Reliability Test System For Educational Purposes – Basic Data”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, No. 3, August 1989.
- [20] R.N.Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L.Goel, K.S.So ” A Reliability Test System For Educational Purposes – Basic Distribution System Data and Results”.
- [21] W. Kempton, J Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and revenue”. Journal of Power Sources, vol.144, no.1, pp-268-279, Jun. 2005.
- [22] <http://www.nordpoolspot.com/reports/systemprice/>
- [23] G4V Project, “Parameter Manual”. Available at: http://g4v.eu/datas/Parameter_Manual_WP1_3_RWTH_101216.pdf