بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

بهینه‌سازی حضور خودروهای الکتریکی در سیستم قدرت به‌منظور تحقق اهداف شبکه‌های هوشمند

نگارنده:

محمد مهدی قاسمی‌پور

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا آقاابراهیمی

شهریور ۱۳۹۲

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم

تقدیم به پدر و مادرم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه‌ی آن‌ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه‌ی هستی‌ام بوده‌اند. دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

پروردگارا:

نه می‌توانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست‌های پینه بسته‌شان که ثمره‌ی تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ" ازپدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر **محمدرضا آقاابراهیمی** که در کمال سعه‌ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از دوست عزیزم جناب مهندس **ابوالفضل صدقی** که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر **حمید فلقی** و سرکار خانم دکتر **مریم رمضانی** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. در پایان بر خود لازم می‌دانم از خوهران و برادر گران‌قدرم جناب مهندس **علیرضا قاسمی‌پور** که در تمامی لحظات دلگرمی و پشتوانه‌ی حقیر بوده‌اند کمال تشکر را داشته باشم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

استفاده از خودروهای الکتریکی در آینده افزایش خواهد یافت. با وجود شبکه‌های هوشمند می‌توان شارژ و دشارژ باتری خودروها را به‌صورت آنلاین کنترل کرد و از پارکینگ این خودروها به عنوان بار و یا منابع تولید کننده و ذخیره کننده استفاده کرد. این پایان‌نامه با معرفی استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از خودروها در بستر شبکه‌های هوشمند، به مدل‌سازی احتمالاتی خودروها پرداخته است. بهینه‌سازی به دو منظورِ برنامه‌ریزی بهینه‌ی شارژ و دشارژ باتری خودروها و مکان بهینه‌ی پارکینگ‌ها در شبکه‌ی توزیع صورت می‌پذیرد. برنامه‌ریزی بهینه‌ی شارژ و دشارژ باتری‌ها، با معرفی تابع برازندگی جدید و روش ترکیبی جدید شامل الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و شبیه‌سازی مونت‌کارلوی ترتیبی صورت پذیرفته است. این برنامه‌ریزی با دشارژ باتری‌ها در پیک بار و شارژ باتری‌ها در کم‌باری سبب پیک‌سایی، پرکردن دره و اصلاح مشخصه‌ی بار می‌شود. در نهایت مدل بهینه‌ی بار و تولید پارکینگ مجدداً توسط مونت کارلوی ترتیبی حاصل می‌گردد. این مدل برای مطالعات در سطوح مختلف سیستم قدرت از جمله مکان‌یابی پارکینگ خودروها، ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم تولید و مشارکت واحدهای نیروگاهی کارآمد می‌باشد. با استفاده از مدل بهینه‌ی پارکینگ‌ها مکان بهینه‌ی پارکینگ این خودروها با استفاده از مدل تقریبی بار سالیانه به‌منظور کاهش تلفات و بهبود ولتاژ مجدداً توسط الگوریتم بهینه‌سازی فاخته تعیین گردیده است. در ادامه، بررسی شاخص‌های ریسک سیستم تولید توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلوی ترتیبی صورت پذیرفته است. این ارزیابی بیان‌گر بهبود شاخص‌ها در صورت شارژ و دشارژ هوشمند خودروها در بستر شبکه‌ی هوشمند علی‌رغم افزایش بار سیستم می‌باشد. علاوه بر این مشارکت واحدهای نیروگاهی در استراتژی شارژ و دشارژ هوشمند باتری خودروها بررسی گردیده است. در این مطالعه از الگوریتم کلاسیک لیست حق‌تقدم و برای توزیع اقتصادی بار از الگوریتم رقابت استعماری استفاده گردیده است. این ارزیابی نیز حاکی از کارآمد بودن مدل پیشنهادی به‌سبب کاهش هزینه‌ی بهره‌برداری واحدها می‌باشد.

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، پارکینگ خودروهای الکتریکی، شارژ و دشارژ باتری خودروها، شبکه‌های هوشمند، مونت‌کارلوی ترتیبی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... و

فهرست شکل‌ها ..... ح

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیش‌گفتار ۱

۱-۲- نوآوری تحقیق ۳

۱-۳- ساختار گزارش ۴

فصل ۲- خودروهای الکتریکی در شبکه‌ی هوشمند ۵

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- شبکه‌ی هوشمند ۵

۲-۲-۱- مقدمه‌ای بر شبکه‌ی هوشمند ۵

۲-۲-۲- شبکه‌های برق فعلی ۷

۲-۲-۳- شبکه‌های هوشمند ۹

۲-۲-۴- دلایل تمایل به هوشمندسازی سیستم قدرت ۱۰

۲-۲-۵- پیش‌نیازهای اجرای شبکه‌ی هوشمند ۱۲

۲-۲-۶- فرصت‌های ناشی از شبکه‌های هوشمند ۱۴

۲-۲-۷- چالش‌های پیش‌روی شبکه‌ی هوشمند ۱۵

۲-۲-۸- تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند و مزایای این شبکه‌ها ۱۶

۲-۳- خودروهای الکتریکی ۱۹

۲-۳-۱- حضور خودروهای الکتریکی در شبکه‌ی هوشمند ۱۹

۲-۳-۲- مشخصات خودروهای الکتریکی و باتری این خودروها ۲۰

۲-۳-۳- مفهوم G2V و V2G ۲۶

۲-۳-۴- مزایا و معایب خودروهای الکتریکی ۲۷

۲-۴- نتیجه‌گیری ۲۷

فصل ۳- مدل‌سازی خودروهای الکتریکی ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۸
۳-۲- وظایف مجتمع‌کننده‌ی خودروهای الکتریکی ۲۸
۳-۳- ساختار سلسله مراتبی مجتمع‌کننده‌ها ۲۹
۳-۳-۱- مجتمع‌کننده‌ی منطقه‌ای (RA) ۲۹
۳-۳-۲- مجتمع‌کننده‌ی ناحیه‌ای (LA) ۲۹
۳-۳-۳- عامل خودروهای الکتریکی ۳۰
۳-۴- استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی ۳۰
۳-۴-۱- شارژ کنترل نشده (UCM) ۳۱
۳-۴-۲- شارژ کنترل شده (CCM) ۳۱
۳-۴-۳- شارژ و دشارژ هوشمند (SCDM) ۳۱
۳-۵- مجتمع‌کننده‌ی خودروهای الکتریکی به صورت بار و منبع تولید انرژی ۳۱
۳-۶- مدل‌سازی بار و تولید مجتمع‌کننده‌ی خودروهای الکتریکی ۳۴
۳-۷- روش شبیه‌سازی مونت کارلو ۴۰
۳-۷-۱- مونت‌کارلوی غیرترتیبی ۴۰
۳-۷-۲- مونت‌کارلوی ترتیبی ۴۱
۳-۸- نتیجه‌گیری ۴۱

فصل ۴- تأثیر خودروهای الکتریکی بر سیستم قدرت ۴۲
۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- بهبود شرایط شبکه‌ی توزیع ۴۳
۴-۲-۱- مروری بر مطالعات پیشین ۴۳
۴-۲-۲- اصلاح مشخصه‌ی بار شبکه‌ی توزیع ۴۴
۴-۲-۳- مکان‌یابی پارکینگ خودروهای الکتریکی ۴۶
۴-۲-۴- الگوریتم بهینه‌سازی فاخته ۴۸
۴-۲-۵- گام‌های اصلاح مشخصه‌ی بار توسط روش ترکیبی ۵۱
۴-۲-۶- مراحل مکان‌یابی پارکینگ خودروها ۵۳
۴-۲-۷- سیستم مورد مطالعه ۵۳
۴-۲-۸- شبیه‌سازی و نتایج ۵۵
۴-۳- بهبود قابلیت اطمینان سیستم تولید در حضور خودروهای الکتریکی ۶۷

۴-۳-۱- مروری بر مطالعات پیشین ۶۸
۴-۳-۲- مدل قابلیت اطمینان خودروهای الکتریکی ۶۸
۴-۳-۳- مدل پیشنهادی سری زمانی بار و تولید خودروها ۶۹
۴-۳-۴- مراحل ارزیابی قابلیت اطمینان در حضور EVها توسط مونت‌کارلو ۷۱
۴-۳-۵- شبیه‌سازی و نتایج عددی ۷۳
۴-۴- تأثیر حضور خودروهای الکتریکی بر مشارکت واحدهای نیروگاهی ۷۶
۴-۴-۱- مروری بر مطالعات پیشین ۷۶
۴-۴-۲- مسئله مشارکت واحدهای نیروگاهی در حضور پارکینگ خودروهای الکتریکی ۷۸
۴-۴-۳- تابع برازندگی و قیود مسئله‌ی UC - EVP ۷۸
۴-۴-۴- الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری ۸۰
۴-۴-۵- شبیه‌سازی و نتایج عددی ۸۱
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۷
۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۷
۵-۲- پیشنهادات ۸۹
ضمیمه أ -مقالات ۹۰
ضمیمه ب -مشخصات شبکه‌ی استاندارد ۶۹ باسه‌ی IEEE ۹۲
ضمیمه ج - مشخصات بار RTS و RBTS ۹۵
ضمیمه د - مشخصات قابلیت اطمینان سیستم RBTS ۹۸
ضمیمه ه - مشخصات ۱۰ واحد نیروگاهی استاندارد IEEE ۹۹
ضمیمه و - ضرایب توابع هدف اصلاح بار و مکان‌یابی پارکینگ ۱۰۱
فهرست مراجع ۱۰۲
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۸
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۱۱

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
خودروهای الکتریکی	EVs
خودروهای احتراق داخلی	ICE
خودروهای هیبریدی قابل اتصال به شبکه	PHEV
خودروهای کاملاً الکتریکی	BEV
خودروهای الکتریکی هیبریدی	HEV
خودروهای پیل سوختی	FCV
شارژ خودروی الکتریکی از شبکه	G2V
تزریق توان خودروی الکتریکی به شبکه	V2G
پارکینگ خودروهای الکتریکی	EVP
تولید پراکنده	DG
شبیه‌سازی مونت‌کارلو	MCS
تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته	AMI
سیستم کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده	SCADA
انتقال موج حامل اطلاعات بر روی سیستم فشارقوی	PLC
امواج رادیویی	RF
خدمات رادیویی بسته‌های اطلاعاتی	GPRS
سیستم اندازه‌گیری خواندن خودکار	AMR
پاسخگویی بار	DR
بهره‌بردار شبکه‌ی توزیع	DSO
سیستم بین‌المللی ارتباطات همراه	GSM
منابع انرژی توزیع شده	DER
وزارت انرژی آمریکا	DOE
وضعیت شارژ باتری	SOC
عمق دشارژ	DOD
بهره‌بردار مستقل سیستم	ISO

مجتمع‌کننده منطقه‌ای	RA
مجتمع‌کننده محلی	LA
شارژ کنترل نشده	UCM
شارژ کنترل شده	CCM
شارژ و دشارژ هوشمند	SCDM
مونت‌کارلوی ترتیبی	SMC
ضریب پراکندگی	CV
انحراف معیار	σ
میانگین	μ
الگوریتم بهینه‌سازی فاخته	COA
درصد پیک‌سایی	$X_p\%$
درصد پرکردن دره‌ی منحنی بار	$X_{op}\%$
مینیمم وضعیت شارژ باتری خودروها	SOC_{min}
نرخ شارژ	Ch_{rate}
نرخ دشارژ	Dch_{rate}
شعاع تخم‌گذاری	ELR
انجمن مهندسان برق و الکترونیک	IEEE
شبکه تست قابلیت اطمینان	RTS
سطح سلسله مراتبی۱	HL-I
امید از دست دادن بار	LOLE
انرژی از دست رفته‌ی مورد انتظار	LOEE
شبکه‌ی تست روی بلینتون	RBTS
مشارکت واحدهای نیروگاهی	UC
توزیع اقتصادی بار	ED
الگوریتم رقابت استعماری	ICA

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: میانگین انتشار CO_2 در سال ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ ..... ۱
جدول ۱-۲: برخی شرکت‌های تولید کننده خودروهای الکتریکی ۱
جدول ۲-۱: مقایسه شبکه‌ی هوشمند با شبکه‌ی برق فعلی ۱۰
جدول ۲-۲: تکنولوژی‌های اصلی شبکه‌ی هوشمند ۱۸
جدول ۲-۳: تقسیم‌بندی خودروها در اروپا ۲۱
جدول ۲-۴: تقسیم‌بندی خودروهای الکتریکی ۲۲
جدول ۲-۵: بررسی مشخصات باتری خودروهای الکتریکی در کلاس‌های مختلف ۲۳
جدول ۳-۱: محدوده‌ی متغیرهای تصادفی ۳۶
جدول ۳-۲: میانگین و انحراف معیار متغیرهای تصادفی ۳۶
جدول ۴-۱: مشخصات بارهای نماینده بار سالیانه ۵۴
جدول ۴-۲: باس‌های کاندیدا پارکینگ‌های مسکونی و اداری ۵۵
جدول ۴-۳: میزان پریونیت تابع برازندگی اصلاح بار روز کاری زمستان در PSO، GA و COA ۵۶
جدول ۴-۴: پارامترهای بهینه شده برای SCDM و CCM در روزهای کاری و آخر هفته تمام فصول ... ۵۷
جدول ۴-۵: ساعات شارژ و دشارژ باتری خودروها برای فصل‌های مختلف سال ۵۸
جدول ۴-۶: تأثیر استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری بر مکان‌یابی پارکینگ‌ها ۶۳
جدول ۴-۷: پارامترهای بهینه شده برای اصلاح بار سیستم استاندارد ۱۰ واحده‌ی IEEE ۸۲
جدول ۴-۸: برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها بدون حضور پارکینگ خودروهای الکتریکی ۸۵
جدول ۴-۹: برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها درحضور پارکینگ خودروهای الکتریکی ۸۶
جدول ب-۱:مشخصات شبکه‌ی ۶۹ باسه‌ی IEEE ۹۲
جدول ج-۱: درصد پیک بار هفتگی به پیک بار سالانه ۹۵
جدول ج-۲: درصد پیک بار روزانه نسبت به پیک بار هفتگی ۹۶
جدول ج-۳: درصد پیک بار ساعتی به پیک بار روزانه ۹۷
جدول د-۱: مشخصات توان نامی و قابلیت اطمینان واحدهای تولیدی سیستم RBTS ۹۸
جدول ه-۱: مشخصات بار ساعتی سیستم ۱۰ واحدنیروگاهی IEEE ۹۹
جدول ه-۲: ظرفیت و ضرایب هزینه‌ی واحدهای حرارتی ۹۹

جدول ه-۳: پارامترهای وابسته‌ی واحدها ۱۰۰
جدول و-۱: ضرایب توابع برازندگی اصلاح مشخصه‌ی بار و مکان‌یابی پارکینگ ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مقایسه تلفات شبکه‌ی برق در ایران و کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۰ ..... ۶
شکل ۲-۲: ساختار سیستم قدرت فعلی ۸
شکل ۲-۳: نمایی از شبکه‌ی متداول فعلی ۹
شکل ۲-۴: نمونه‌ای از شبکه‌ی هوشمند ۱۰
شکل ۲-۵: عوامل موثر در شکل‌گیری شبکه‌ی هوشمند ۱۱
شکل ۲-۶: مسیر انتقال توان و اطلاعات در بهره‌برداری سنتی ۱۲
شکل ۲-۷: مسیر انتقال توان و اطلاعات در بهره‌برداری هوشمند ۱۲
شکل ۲-۸: چالش‌های شبکه‌ی هوشمند ۱۵
شکل ۲-۹: مزایای سیستم‌های AMR و AMI و به‌سبب آن‌ها شبکه‌ی هوشمند ۱۷
شکل ۲-۱۰: خودروهای الکتریکی در شبکه‌ی هوشمند ۱۹
شکل ۲-۱۱: میزان نفوذ خودروهای مرسوم و الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ ..... ۲۰
شکل ۲-۱۲: میانگین مسافت سفر روزانه در یک روز کاری در اروپا ۲۲
شکل ۲-۱۳: توزیع سفر خودروها به‌همراه اهداف سفرها و زمان شروع سفر ۲۳
شکل ۲-۱۴: وضعیت SOC باتری خودروهای الکتریکی در یک روز کاری ۲۵
شکل ۲-۱۵: کاهش عمر باتری‌ها به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل شارژ و دشارژ ۲۵
شکل ۲-۱۶: مفهوم پایه‌ای G2V و V2G ۲۶
شکل ۲-۱۷: مفهوم کامل G2V وV2G ۲۶
شکل ۳-۱: قرارگیری سلسله مراتبی مجتمع کننده‌ها در سیستم قدرت ۳۰
شکل ۳-۲: تأثیر مجتمع‌کننده بر بار ساعات کم‌باری سیستم قدرت ۳۲
شکل ۳-۳: تأثیر خودروهای الکتریکی بر پیک‌سایی و پرکردن دره در منحنی بار ۳۳
شکل ۳-۴: تأثیر خودروهای الکتریکی در تأخیر روشن شدن واحدهای پیک ۳۳
شکل ۳-۵: تابع توزیع احتمالاتی نمونه برای زمان رسیدن خودروی الکتریکی به پارکینگ اداری ۳۷
شکل ۳-۶: تابع توزیع احتمالاتی نمونه برای زمان رسیدن خودروی الکتریکی به پارکینگ مسکونی ۳۷
شکل ۳-۷: تابع توزیع احتمالاتی نمونه برای وضعیت شارژ اولیه‌ی باتری خودروهای الکتریکی ۳۸
شکل ۴-۱: نحوه‌ی تعیین شعاع تخم‌گذاری فاخته‌ها ۴۹

شکل ۴-۲: نمایش نحوه‌ی مهاجرت پرندگان ۵۰
شکل ۴-۳: شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی فاخته ۵۱
شکل ۴-۵: مراحل برنامه‌ریزی و مدل‌سازی احتمالاتی خودروهای الکتریکی ۵۲
شکل ۴-۶: شبکه ۶۹ باسه‌ی IEEE ۵۴
شکل ۴-۷: بار نماینده‌ی روزهای کاری و آخر هفته‌ی بار سالیانه ۵۵
شکل ۴-۸: نمودار همگرایی سه الگوریتم برای مقدار کمینه‌ی تابع برازندگی ۵۷
شکل ۴-۹: تعداد خودروهای حاضر در پارکینگ اداری و مسکونی ۵۹
شکل ۴-۱۰: مدل بار و تولید مورد انتظار پارکینگ‌های اداری و مسکونی در روز کاری زمستان ۵۹
شکل ۴-۱۱: تغییرات SOC خودروها برای SCDM، در یک روز شبیه‌سازی ۶۰
شکل ۴-۱۲: بار اصلاح شده‌ی RTS برای روزهای کاری ۶۰
شکل ۴-۱۳: بار اصلاح شده‌ی RTS برای روزهای آخرهفته ۶۱
شکل ۴-۱۴: بار اصلاح شده‌ی روز کاری زمستان ۶۱
شکل ۴-۱۵: ضریب پراکندگی تولید و بار پارکینگ مسکونی ۶۲
شکل ۴-۱۶: مدل بار و تولید مورد انتظار پارکینگ‌های اداری و مسکونی در روز کاری بهار و پاییز ۶۳
شکل ۴-۱۷: تلفات ساعتی روزهای کاری ۶۳
شکل ۴-۱۸: تلفات ساعتی روزهای آخرهفته ۶۴
شکل ۴-۱۹: تلفات ساعتی روز کاری تابستان ۶۴
شکل ۴-۲۰: تلفات پیک روزهای کاری و آخر هفته‌ی فصول مختلف ۶۵
شکل ۴-۲۱: پروفیل ولتاژ شبکه‌ی ۶۹ باسه در پیک بار روز کاری زمستان ۶۶
شکل ۴-۲۲: افت ولتاژ باس ۶۵ روزهای کاری و آخر هفته‌ی فصول مختلف ۶۶
شکل ۴-۲۳: سطوح سلسله مراتبی ۶۷
شکل ۴-۲۴: تغییرات μ_t برای یک هفته‌ی تابستان، بر اساس سناریوی SCDM ۷۰
شکل ۴-۲۵: تغییرات σ_t برای یک هفته‌ی تابستان، بر اساس سناریوی SCDM ۷۰
شکل ۴-۲۶: سابقه‌ی عمل‌کرد یک واحد تولید متداول ۷۲
شکل ۴-۲۷: سابقه‌ی عمل‌کرد اختصاصی واحدها و حالت ظرفیت کل سیستم ۷۲
شکل ۴-۲۸: برهم‌نهی بار و ظرفیت در دسترس سیستم ۷۲
شکل ۴-۲۹: بار روزهای کاری و آخر هفته‌ی زمستان در یک سال شبیه‌سازی ۷۳
شکل ۴-۳۰: اثر افزایش نفوذ خودروها بر بار سیستم، برای سناریوی SCDM ۷۴

شکل ۴-۳۱: اثر حضور خودروهای الکتریکی بر LOLE برای سناریوهای مختلف بهره‌برداری ۷۵
شکل ۴-۳۱: اثر حضور خودروهای الکتریکی بر LOEE برای سناریوهای مختلف بهره‌برداری ۷۵
شکل ۴-۴: فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری ۸۱
شکل ۴-۳۳: بار اصلی و اصلاح شده‌ی سیستم استاندارد ۱۰ واحده‌ی IEEE ۸۲
شکل ۴-۳۴: تعداد خودروی متصل به شبکه ۸۳
شکل ۴-۳۵: مدل بار و تولید پارکینگ‌ها ۸۳

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیش‌گفتار

با افزایش هزینه‌ی سوخت‌های فسیلی و نگرانی‌های زیست محیطی و همچنین مسائل سیاسی، استفاده از وسایل حمل و نقلی که در زمان استفاده دی‌اکسید کربن کمتری منتشر می‌کنند حائز اهمیت گردیده است. سهم قابل توجهی (۲۳/۱٪) از آلودگی دی‌اکسید کربن در اتحادیه‌ی کشورهای اروپایی ناشی از حمل و نقل می‌باشد [۱]. هدف اتحادیه اروپا رسیدن به سطح انتشار دی‌اکسید کربن تعیین شده در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ می‌باشد. مقدار متوسط این مقدار برای هر خودرو در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ به‌همراه مقدار واقعی برای سال ۲۰۱۰ انگلستان در جدول ۱-۱ آورده شده است.

با توجه به قوانین اتحادیه‌ی اروپا، کشورهایی که انتشار دی‌اکسید کربن بیش از سطح تعیین شده داشته باشند شامل جریمه می‌گردند. ازین رو به عنوان مثال در انگلیس اگر سطح آلودگی دی‌اکسید کربن بیش از ۱۳۰ گرم بر کیلومتر شود صاحبان خودروها باید مالیات ۱۰۵ یورویی پرداخت کنند [۲]. این قوانین سبب گردیده که شرکت‌های خودروسازی به سمت تولید خودروهای الکتریکی[1] (EVs) سوق پیدا کنند. به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود در آینده این خودروها بازار بهتری نسبت به خودروهای احتراق داخلی[2] (ICE) داشته باشند. برخی شرکت‌ها که به سمت تولید خودروهای الکتریکی رفته‌اند درجدول ۱-۲ مشاهده می‌شوند.

جدول ۱-۱: میانگین انتشار CO_2 در سال ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ [۳] و [۴]

سال	*اتحادیه اروپا gCO_2/km*	*انگلستان gCO_2/km*
۲۰۱۰	۱۴۴/۲	۱۴۰/۳
۲۰۱۵	۱۳۰	----
۲۰۲۰	۹۵	----

جدول ۱-۲: برخی شرکت‌های تولید کننده خودروهای الکتریکی

شرکت سازنده	*مرجع*
Bayerische Motoren Werken (BMW)	[۵]
Daimler/Mercedes Benz	[۶]
Ford	[۷]
Mazda	[۸]
Mitsubishi	[۹]
Nissan	[۱۰]
Toyota	[۱۱]

[1] Electric Vehicles

[2] Internal Combustion Engine

استفاده از خودروهای الکتریکی در سراسر جهان مورد توجه واقع شده است، آلمان برنامه‌ریزی کرده تا سال ۲۰۲۰ میلادی یک میلیون خودروی الکتریکی داشته باشد و ژاپن نیز برای حضور ۵۰ درصدی خودروهای الکتریکی در بازار سال ۲۰۲۰ برنامه‌ریزی‌هایی انجام داده است [۱۲]. بر اساس برنامه‌ریزی موسسه تحقیقات قدرت آمریکا[1] (EPRI)، تا سال ۲۰۱۵ میلادی میزان نفوذ خودروهای الکتریکی در امریکا به ۲/۵ درصد و تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۶۲ درصد کل خودروهای موجود می‌رسد [۱۳]. علاوه بر آن کشورهایی نظیر چین و هندوستان به پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در این زمینه دست یافته‌اند. بر اساس گزارش گروه تولید پراکنده‌ی برق و حرارت سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، مصرف بنزین روزانه در ایران برابر ۶۰ میلیون لیتر و میزان تولید روزانه‌ی دی‌اکسید کربن، برابر ۱۳۸ هزار تن است [۱۴]. در حالیکه بر اساس نقشه‌ی راه آژانش بین‌المللی انرژی[2] (IEA) میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا تا سال ۲۰۵۰ باید به نصف مقدار آن در سال ۲۰۵۰ برسد [۱۵]. بر این اساس باید میزان تولید دی‌اکسید کربن در ایران، تا سال ۲۰۵۰ به کم‌تر از ۱۰۰ هزار تن برسد [۱۴]. مرجع [۱۶] به بررسی آلودگی ناشی از انتشار دی‌اکسید کربن در سال ۲۰۳۰ در انگلستان پرداخته و نشان می‌دهد که خودروهای الکتریکی قادر به انتشار دی‌اکسید کربن کمتر از ۵۰ g/km می‌باشند. این مقدار تقریباً کمتر از یک سوم آلودگی خودروهای استفاده کننده از فرآورده‌های نفتی است.

به صورت کلی دو تکنولوژی برای جایگزینی خودروهای الکتریکی به جای خودروهای احتراق داخلی وجود دارد؛ خودروهای هیبریدی قابل اتصال به شبکه[3](PHEV) و خودروهای کاملاً الکتریکی[4](BEV) [۱۶]. خودروهای الکتریکی هیبریدی[5](HEV) و خودروهای پیل سوختی[6](FCV) جزء خودروهای الکتریکی می‌باشند؛ ولی چون تکنولوژی آن‌ها به‌گونه‌ای است که به عنوان بار برای سیستم قدرت محسوب نمی‌شوند، در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. PHEVها علاوه بر موتور الکتریکی شامل موتور احتراق داخلی هستند و BEVها فقط شامل موتور الکتریکی می‌باشند. هر دو نوع این خودروها برای شارژ باتری نیاز به متصل شدن به شبکه دارند. از دیدگاه سیستم قدرت، خودروهای الکتریکی برای بهره‌برداران شبکه، شامل یکی از حالات زیر می‌باشند:

- بار ساده‌ای که جریان ثابتی از شبکه‌ی الکتریکی دریافت می‌کند.
- بار پیچیده‌ای که ممکن است به یک شرکت اجازه دهد تا نحوه‌ی شارژ آن‌ها را تعدیل کند یا به تأخیر بیاندازد.
- وسایل ذخیره کننده‌ی انرژی، که ممکن است به یک شرکت اجازه دهد تا نحوه‌ی شارژ آن‌ها را تعدیل کند یا به تأخیر بیاندازد. این مفهوم با G2V[7] شناخته می‌شود. علاوه بر آن، این

[1] Electric Power Research Institute
[2] International Energy Agency
[3] Plug-in Hybrid Electrical Vehicles
[4] Battery Electrical Vehicles
[5] Hybrid Electrical Vehicles
[6] Fuel Cell Vehicles
[7] Grid To Vehicle

ذخیره‌کننده‌ها می‌توانند بواسطه‌ی یک شرکت، در مواقعی با دشارژ باتری‌های خود توان به شبکه‌ی الکتریکی تزریق کنند. این مفهوم با V2G[1] شناخته می‌شود.

با توجه به این‌که خودروهای الکتریکی به‌عنوان بارهایی برای سیستم قدرت محسوب می‌شوند که در یک مکان ثابت نبوده و به نقاط مختلف شبکه‌ی قدرت در زمان‌های مختلف متصل می‌شوند چالش آن‌ها برای سیستم قدرت غیر قابل انکار می‌باشد. از طرف دیگر خاصیت ذخیره‌سازی و تزریق توان آن‌ها به شبکه می‌تواند این چالش را به فرصت مناسبی برای سیستم قدرت تبدیل کند. برخلاف مزایایی از جمله کاهش هزینه‌ی سوخت و کاهش آلودگی خودروهای الکتریکی در مقایسه با خودروهای مرسوم، با وجود این خودروها می‌توان شاهد بروز مشکلاتی برای سیستم قدرت بود. به عنوان مثال بین زمان بازگشت خودروها به خانه پس از سفر روزانه و پیک روزانه معمولا انطباقی وجود دارد. اگر همکاری و مصالحه بین صاحبان خودروهای الکتریکی و بهره‌برداران سیستم قدرت جهت شارژ این خودروها وجود نداشته باشد سیستم قدرت شاهد مشکلاتی از جمله افزایش بار پیک می‌گردد.

خودروهای الکتریکی منابع توزیع شده و ذخیره‌کننده انرژی هستند که رفتار احتمالاتی دارند و با کنترل آن‌ها می‌توان بهره‌وری سیستم قدرت را افزایش داد [۱۷]. در نگاه اول می‌توان برای افزایش بهره‌وری سیستم قدرت، زمان شارژ این خودروها را از زمان پیک به زمان غیر پیک انتقال داد. علاوه بر این کار می‌توان در زمان پیک که سیستم قدرت نیازمند به مدار آوردن نیروگاه‌های پرهزینه می‌باشد از ظرفیت دشارژ خودروها در صورت امکان استفاده کرد و مانع از بروز هزینه‌ی گزاف سرمایه‌گذاری و آلودگی شد. اما برای عملیاتی شدن این همکاری بین سیستم قدرت و صاحبان خودرو، نیاز به وجود زیرساختی پیشرفته و هوشمند در سیستم قدرت می‌باشد. به منظور ایجاد و بهبود این همکاری می‌توان از شبکه‌های هوشمند و ارتباط آنلاین این شبکه‌ها که امروزه بسیار مورد توجه قرار دارند استفاده کرد.

۱-۲- نوآوری تحقیق

مطالعات متعددی پیرامون تأثیر خودروهای الکتریکی بر سیستم قدرت و مخصوصاً سیستم توزیع انجام گردیده است. برخی مطالعات فقط تأثیر شارژ این خودروها را در نظر گرفته‌اند. در حالی که می‌توان از قابلیت دشارژ این خودروها برای بهبود شرایط سیستم قدرت بهره جست. برخی دیگر از مطالعات فقط به جنبه‌ی دشارژ این خودروها پرداخته‌اند [۱۸]. در واقع پارکینگ خودروهای الکتریکی[2] (EVP) را به عنوان منابع تولید پراکنده[3](DG) در نظر گرفته‌اند که قادر به تولید توان برای سیستم قدرت می‌باشد، این درحالی است که پارکینگ خودروهای الکتریکی در برخی از ساعات روز نیاز به شارژ جهت تأمین سفر روزانه‌ی این خودروها دارند و علاوه بر تولید توان در برخی ساعات روز به‌عنوان بار برای شبکه محسوب می‌شوند. علاوه بر مطالعات فوق در برخی مطالعات به احتمالاتی و تصادفی بودن رفتار صاحبان خودرو توجه نکرده و احتمالاتی بودن حضور خودروها را لحاظ نکرده‌اند. ازین رو در این پایان‌نامه مدلی کامل و

[1] Vehicle To Grid
[2] Electric Vehicles Parking
[3] Distributed Generation

احتمالاتی از حضور خودروها در محدوده‌ی پارکینگ‌های مسکونی و اداری معرفی شده است. در مدل معرفی شده با مدل کردن شارژ و دشارژ باتری خودروها، مدل بار و تولید پارکینگ‌ها به‌دست آمده است. با توجه به احتمالاتی بودن مدل خودروهای الکتریکی و به‌منظور حضور بهینه‌ی این خودروها در سیستم قدرت نرخ و زمان شارژ و دشارژ باتری خودروهای الکتریکی با یک روش ترکیبی جدید شامل الگوریتم بهینه‌سازی فاخته[1] (COA) و شبیه‌سازی مونت کارلو[2](MCS) بهینه شده است. در نهایت مجدداً مدل بار و تولید پارکینگ‌ها توسط شبیه‌سازی مونت کارلو حاصل گردیده است. با به‌دست آمدن این مدل، تأثیر حضور این خودروها بر سیستم قدرت از جنبه‌های اصلاح مشخصه‌ی بار شبکه‌ی توزیع، بهبود تلفات و ولتاژ شبکه‌ی توزیع با مکان‌یابی بهینه‌ی پارکینگ این خودروها، کاهش هزینه‌ی بهره‌برداری ناشی از مشارکت واحدهای نیروگاهی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱-۳-ساختار گزارش

تحقیق پیش‌رو شامل فصول زیر می‌باشد.

فصل دوم توضیحاتی پیرامون شبکه‌های هوشمند و خودروهای الکتریکی بیان می‌کند.

فصل سوم با معرفی مجتمع‌کننده‌ی خودروهای الکتریکی[3] و وظایف آن، استراتژی‌های بهره‌برداری مختلف از خودروهای الکتریکی را بیان و به مدل‌سازی احتمالاتی خودروهای الکتریکی می‌پردازد. در ادامه شبیه‌سازی مونت‌کارلو شرح داده می‌شود.

فصل چهارم با مروری بر مطالعات پیشین به بررسی تأثیر خودروهای الکتریکی بر سطوح مختلف سیستم قدرت می‌پردازد. در این فصل با ارائه‌ی یک روش ترکیبی جدید شامل الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و شبیه‌سازی مونت‌کارلوی ترتیبی مدل بهینه‌ی بار و تولید پارکینگ خودروهای الکتریکی حاصل و مشخصه‌ی بار شبکه‌ی توزیع اصلاح می‌گردد. در ادامه با استفاده از مدل بار و تولید بهینه شده به مطالعاتی از قبیل مکان‌یابی پارکینگ خودروهای الکتریکی با به‌کارگیری تقریب مناسبی از بار سالانه، ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم تولید با روشی جدید و بررسی مسئله‌ی مشارکت واحدهای نیروگاهی در حضور خودروهای الکتریکی پرداخته می‌شود. در این فصل، برای بررسی هر مطالعه مروری بر مطالعات پیشین صورت پذیرفته و با بیان مدل و روابط، در انتها شبیه‌سازی و نتایج به‌همراه نمودارهای هر مطالعه بیان گردیده است.

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای ادامه‌ی مباحث ارائه شده، بیان می‌کند.

[1] Cuckoo Optimization Algorithm
[2] Monte Carlo Simulation
[3] Electric Vehicle Aggregator