بسم الله الرحمن الرحیم

**دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)**

**دانشکده مهندسی برق**

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق- گرایش تجدید ساختار

# مدیریت V2G در عملیات بهره برداری سیستمهای قدرت و بازار برق

تحقیق و تدوین:

**مهدی پرتو**

اساتید راهنما:

**دکتر آقامحمدی - دکتر قاضی زاده**

**بهمن ۱۳۸۹**

**دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)**

**دانشکده مهندسی برق**

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق- گرایش تجدید ساختار آقای مهدی پرتو

تحت عنوان

# مدیریت V2G در عملیات بهره برداری سیستمهای قدرت و بازار برق

در تاریخ ۱۶ / ۱۱ / ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر ..... .....

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر ..... .....

۳- استاد داور داخلی دکتر ..... .....

۴- استاد داور خارجی دکتر ..... .....

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر..... .....

## «تعهد اصالت اثر»

**اینجانب مهدی پرتو تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه ماحصل کار پژوهشی اینجانب بوده و پژوهش دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده، مطابق قوانین و مقررات ارجاع گردیده است.**

**این پایان نامه قبلاً برای هیچ مدرک هم‌سطح و یا بالاتر ارائه نشده و کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.**

**مهدی پرتو**

## چکیده

برای بررسی اینکه خودروهای هیبریدی صرف نظر از مزیت های دیگرشان (بازده بالا، آلایندگی کم، مسافت قابل پیمایش بالا در مقایسه با خودروهای برقی متداول، ایمنی مطلوب و ...) چه تأثیراتی می توانند برروی عملکرد سیستم قدرت داشته باشند، می‌توان برنامه **SCUC** را روی سیستم قدرت شامل **V2G** اجرا کرده و نتایج را با حالت بدون حضور **V2G** مقایسه کرد. از این طریق می توان تأثیر **V2G** را روی پارامترهای مختلف سیستم بررسی کرد. در این پروژه، ابتدا ویژگی‌های ساختاری خودروهای هیبریدی از جمله مزایا و معایب این خودروها، خصوصیات باتری این خودروها، نحوه اتصال این خودروها به سیستم قدرت و همچنین کاربرد هایی که این خودروها می توانند برای سیستم قدرت داشته باشند، بررسی شد، سپس به بحث پیرامون مدلسازی خودروهای هیبریدی به صورت مجموعه‌ای از خودروها به صورت نیروگاههای کوچک پرداخته شده است. در مرحله بعد تأثیر این خودروها روی پارامترهای مختلف سیستم که عبارتند از: رفاه اجتماعی، هزینه تولید، درآمد حاصل از فروش انرژی به بارهای شبکه، میزان بار تأمین نشده و ضریب بهره‌وری از خطوط شبکه در دو حالت با و بدون محدودیت خطوط بررسی شد. نتیجه بر آن شد که **V2G** رفاه اجتماعی رابالا برده و میزان بار تأمین نشده را نیز کاهش داده است و در کل شبکه را فعال تر کرده و حتی منحنی بار روزانه را نیز هموارتر کرده است.



کلید واژه- خودروهای هیبریدی، V2G، تولید پراکنده، SCUC، بار مدیریت پذیر

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فصل اول

**مقدمه**

مقدمه ..... ۲

۱-۱- محور تحقیق ..... ۲

۱-۲- ساختار پروژه ..... ۵

فصل دوم

**بررسی خودروهای هیبریدی و نحوه عملکرد آنها**

مقدمه ..... ۸

۲-۱- چرا از خودروی هیبریدی استفاده می کنیم؟ ..... ۸

۲-۱-۱- معایب خودرو با موتوردرون سوز ..... ۹

۲-۱-۲- مزایای یک خودرو با موتور درون سوز ..... ۱۰

۲-۱-۳- معایب خودرو با موتور الکتریکی ..... ۱۰

۲-۱-۴- مزایای خودروی الکتریکی ..... ۱۱

۲-۲- ویژگیهای ساختاری خودروی هیبریدی ..... ۱۱

۲-۳- انواع خودروهای هیبریدی ..... ۱۲

۲-۳-۱- سیستم هیبرید سری ..... ۱۳

۲-۳-۲- سیستم هیبرید موازی ..... ۱۴

۲-۳-۳- سیستم هیبریدی سری – موازی ..... ۱۵

۲-۳-۴- حالتهای عملکردی موتور هیبریدی سری – موازی ..... ۱۷

۲-۴- مقایسه بازده استفاده از انرژی در خودروهای معمولی و هیبریدی ..... ۱۷

۲-۵- باتری خودروهای هیبریدی ..... ۱۸

۲-۵-۱- خصوصیات BV و نحوه عملکرد آنها در شبکه قدرت ..... ۱۹

۲-۵-۱-۱- ویژگیهای کاربردی BV ..... ۲۰

۲-۵-۱-۲- ویژگیهای ساختاری BV ..... ۲۱

۲-۶- مبدل AC-DC دوجهته برای خودروهای هیبریدی متصل به شبکه قدرت ..... ۲۳

۲-۷- مجموعه ای از خودروهای متصل به شبکه ..... ۲۵

۲-۷-۱- وظایف جمع کننده های BV ..... ۲۵

۲-۷-۲- مجموعه های BV به عنوان بار ..... ۲۷

۲-۷-۳- مجموعه های BV به عنوان تولید کننده یا وسیله ذخیره کننده انرژی ..... ۲۸

**عنوان** **صفحه**


۲-۸- خودروهای هیبریدی و شبکه های هوشمند ..... ۲۸
۲-۸-۱- بهم پیوستن و یکی کردن انرژی های تجدید پذیر از طریق شبکه هوشمند ..... ۳۰
۲-۸-۲- ارزیابی انرژی های تجدیدپذیر در شبکه هوشمند ..... ۳۱
۲-۸-۳- اتصال PHEVs به شبکه هوشمند ..... ۳۲
۲-۸-۳-۱- امنیت اتصال خودروهای هیبریدی به شبکه قدرت ..... ۳۶
۲-۸-۳-۲- صورت حساب و نحوه انتقال هزینه ها ما بین خودروهای هیبریدی و شبکه قدرت ..... ۳۷
۲-۸-۴- کنتورهای هوشمند(AMR ) ..... ۳۸
۲-۸-۵- روشهای ارسال اطلاعات در سیستم AMR ..... ۳۹
۲-۸-۵-۱- انتقال اطلاعات به وسیله سیستمهای رادیوئی ..... ۳۹
۲-۸-۵-۲- ارسال اطلاعات از طریق مودم و خط تلفن ..... ۳۹
۲-۸-۵-۳- انتقال اطلاعات به وسیله کابلهای برق ..... ۴۰
۲-۸-۵-۴- معرفی تکنولوژی انتقال اطلاعات به وسیله کابلهای برق ..... ۴۰
۲-۸-۶- موارد مصرف و کاربرد کنتورهای هوشمند (AMR) ..... ۴۱


فصل سوم

## تأثیر خودروهای هیبریدی بر عملکرد شبکه قدرت


مقدمه ..... ۴۴
۳-۱- توان بار پایه ..... ۴۶
۳-۲- بار پیک ..... ۴۸
۳-۳- خدمات جانبی ..... ۴۹
۳-۳-۱- تنظیم توان ..... ۴۹
۳-۳-۲- رزرو چرخان ..... ۵۲
۳-۳-۳- توان راکتیو ..... ۵۲
۳-۴- تعریف مسئله SCUC ..... ۵۴
۳-۴-۱- مدلسازی مفهومی خودروهای هیبریدی ..... ۵۵
۳-۴-۲- نحوه فرمول بندی مسئله ..... ۵۶


فصل چهارم

## مطالعات شبیه سازی و ارائه نتایج


مقدمه ..... ۶۳
۴-۱- آزمایش روی شبکه ۹ شینه در حالت بار ثابت ..... ۶۳
۴-۱-۱- بدون حضور V2G ..... ۶۷

**عنوان** **صفحه**


۴-۱-۲- با حضور V2G ..... ۶۷
۴-۲- آزمایش روی شبکه ۹ شینه در حالت بار متغیر ..... ۶۹
۴-۲-۱- بدون حضور V2G و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۷۰
۴-۲-۲- با حضور V2G و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۷۱
۴-۲-۳- بدون حضور V2G و با اعمال محدودیت فلوی خطوط ..... ۷۳
۴-۲-۴- با حضور V2G و با اعمال محدودیت فلوی خطوط ..... ۷۴
۴-۲-۵- مقایسه نتایج ..... ۷۵
۴-۳- نتایج شبیه سازی با بار متغیر روی شبکه ۳۹ شینه IEEE در حالت بهینه ..... ۷۶
۴-۳-۱- بدون حضور V2G و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۸۵
۴-۳-۲- با حضور V2G و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۸۸
۴-۳-۳- بدون حضور V2G و با اعمال محدودیت فلوی خطوط ..... ۹۴
۴-۳-۴- با حضور V2G و با اعمال محدودیت فلوی خطوط ..... ۹۶
۴-۳-۵- مقایسه نتایج ..... ۱۰۲
۴-۴- بررسی تأثیر میزان مدیریت پذیر بودن V2G در نتایج شبیه سازی ..... ۱۰۴
۴-۴-۱- با حضور V2G با دسترس پذیری واقعی و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۱۱۰
۴-۴-۲- با حضور V2G در حالت عدم قطعیت و بدون کاهش محدودیت فلوی خطوط ..... ۱۱۴
۴-۴-۳- مقایسه نتایج ..... ۱۲۰

فصل پنجم

**نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات**

۵-۱- نتیجه گیری ..... ۱۲۴
۵-۲- ارائه پیشنهادات ..... ۱۲۵

مراجع ..... ۱۲۶

فصل اول

# مقدمه

**مقدمه**

امروزه پایین بودن بازده تولید انرژی الکتریکی تبدیل به یکی از مشکلات اصلی صنعت برق در دنیا شده است. یکی از علتهای اصلی پایین بودن این بازده مربوط به واحدهای تأمین کننده بار پیک است، زیرا در این گونه مواقع به واحدهایی نیاز است که بتوانند به سرعت روشن یا خاموش شوند (مانند واحدهای توربین گازی) و چون این واحدها در تمام طول روز نمی توانند فروش توان داشته باشند، توان تولیدی این واحدها بسیار گرانتر و بازده این واحدها بسیار پایین‌تر از واحدهای بار پایه است و مهم‌ترین علت استفاده از این واحدها مدیریت پذیر نبودن مصرف کننده‌ها است که همین عامل باعث به وجود آمدن دره‌ها و قله‌هایی در منحنی بار روزانه است. به همین دلیل در هر سیستم قدرتی سعی می‌شود که برای بالا بردن بازده کل سیستم میزان استفاده از واحدهای تأمین کننده بار پیک کاهش و به تبع آن میزان استفاده از واحدهای بار پایه افزایش پیدا کند که با استفاده از مدیریت سمت تقاضا[1]، تا حدی می توان این مشکل را برطرف نمود و منحنی بار روزانه را هموارتر کرد.

## ۱-۱- محور تحقیق

برای بالا بردن بازده کل سیستم و صرفه جویی در هزینه سوخت راهکارهای متفاوتی ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به تغییر تعرفه‌های [2] برق در ساعت‌های مختلف اشاره کرد. با سیستمهای دو تعرفه‌ای و بالاتر می توان قیمت برق در ساعات پیک را افزایش داده و مصرف کننده‌گان را به سمتی تشویق کرد که مصارف زیادشان را از ساعات پیک به ساعات غیر پیک جابه‌جا کنند. با این روش می توان منحنی بار روزانه را هموارتر کرده و به تبع آن بازده سیستم را بالا برد. یکی دیگر از راهکارهای مدیریت سمت تقاضا استفاده از بارهای مدیریت پذیر[3] است. به این صورت که ISO[4] این بارها را در اجرای بازار به صورتی دخالت می-دهد که بتواند دره های موجود در منحنی بار را پر کرده و به تبع آن پیک قله های موجود در آن را کاهش دهد تا از این طریق بتواند سود کل سیستم را کاهش دهد [1,2]. از این طریق می توان در ساعات پیک بار، تراکم[5] را مدیریت کرده و تا حدودی کاهش داد[3] و همچنین می‌توان تاثیرات مدیریت سمت تقاضا را فرای بحث اقتصادی روی مباحثی مانند بهره‌برداری بررسی کرد[4]. یکی از راهکارهای دیگری که می‌توان برشمرد، استفاده از نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای[6] است. این نیروگاهها جهت صرفه جویی در هزینه سوخت

[1] Demand Side Management
[2] Tariff
[3] Manageable Loads
[4] Independent System Operator
[5] Congestion
[6] Pump Storage

بدین‌گونه طراحی می‌شوند که با انرژی حاصل از آب در حوضچه بالایی، بارهای قله[1] (با قیمت بالا) را تأمین نموده و سپس در دوره‌های کم باری[2] (با قیمت پایین‌تر) آب به حوضچه بالایی پمپ شود. واحدهای تلمبه ذخیره‌ای تا آنجا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند که هزینه اضافی مربوط به پمپ کردن آب از صرفه جویی در هزینه‌های سیستم حرارتی به علت عدم بهره‌برداری در بار قله بیشتر شود [5]. در نهایت راهکاری که در این پروژه مطرح شده است، استفاده از خودروهای هیبریدی متصل به شبکه یا PHEV[3] است. در حقیقت می‌توان مجموعه‌هایی از این خودروها را به عنوان نیروگاهها یا بارهای مدیریت‌پذیر کوچکی فرض کرد که می توانند بسته به نیاز شبکه با سیستم تبادل انرژی داشته باشند. همان طور که در ادامه گفته خواهد شد استفاده از این خودروها نه تنها باعث صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و بالا رفتن بازده خودروها می‌شود، بلکه تأثیرات مطلوبی در سیستم قدرت دارد که در این پروژه تأثیر این خودروها روی منحنی بار روزانه و هموارتر شدن آن بررسی می شود. در [6-8] به طور مشابه در زمینه داخل نمودن این خودروها در برنامه UC[4] کار شده است. اما در این موارد قیود شبکه لحاظ نشده و فقط حالت بهینه اتصال این خودروها به شبکه برق را بررسی کرده است.

به طور کلی، خودروها در ۹۰٪ اوقات متوقف بوده و در پارکینگ‌ها پارک هستند [9]. برای همین اگر فرض شود که تعداد زیادی از این خودروها به‌صورت هیبریدی کار می‌کنند، می توان استفاده‌های متنوعی را از باتری این خودروها در این زمانها داشت. با توجه به این موضوع، هدف از انجام این پروژه، بهینه‌سازی دریافت و تزریق انرژی توسط خودروهای هیبریدی (با قابلیت اتصال به شبکه قدرت) در عملیات بهره‌برداری از سیستمهای قدرت و بازار برق است. در حقیقت این پروژه حول محور ارتباط این خودروها با سیستم قدرت (V2G[5]) می گردد (مفهوم V2G اولین دفعه در سال ۱۹۹۷ توسط پروفسور Willlet Kempton در دانشگاه Delaware مطرح شد که به معنی ارتباط خودروهای هیبریدی با شبکه قدرت است) [10] . این بهینه سازی با استفاده از مسئله برنامه‌ریزی مبتنی بر قیمت مشارکت واحدها یا همان SCUC[6] و با توجه به تعداد و محل اتصال این خودروها، انجام می شود. برنامه‌ریزی بهره‌برداری (فرآیند بهینه‌سازی) در دو وضعیت با و بدون حضور این خودروها انجام و تأثیر حضور این خودروها در شبکه قدرت بررسی می‌شود. در این مسئله تأثیر عملکرد تعداد زیادی از خودروها بر رفتار شبکه برق، در مقیاس گسترده منطقه‌ای بررسی می‌شود. تأثیرات این خودروها، به‌صورت منبع تولید ویا بار قطع‌پذیر (در مدیریت تراکم و ذخیرهٔ تولید)، در ارضاء قیود امنیتی سیستم قدرت در مقیاس شبکه های انتقال و نیروگاهها و همچنین تأثیر آن‌ها در مناسبات اقتصادی و برنامه‌ریزیِ بهره‌برداری مورد توجه قرار می‌گیرد.

[1] Peak Load
[2] Off Peak Load
[3] Plug-in Hybrid Electric Vehicle
[4] Unit Commitment
[5] Vehicle to Grid
[6] Security Constrained Unit Commitment

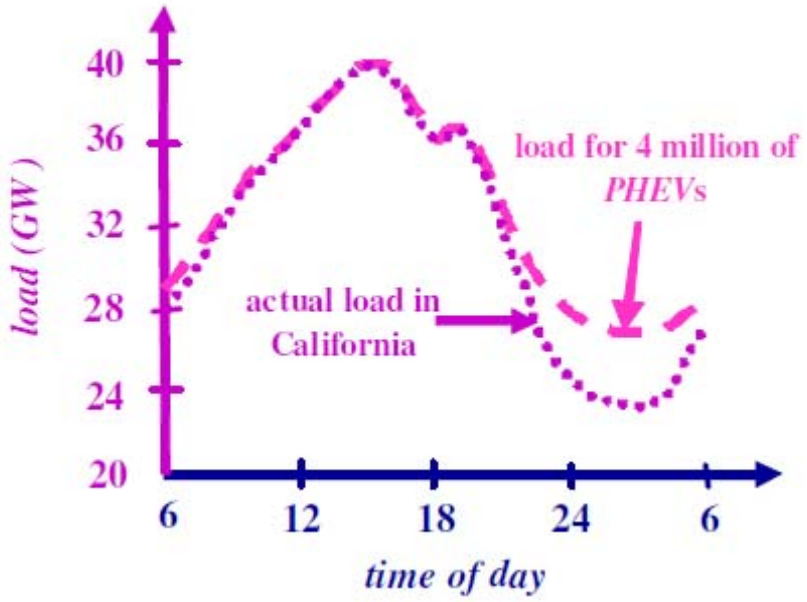
بررسی تأثیر V2G، به این صورت است که میزان هزینه یا سود بهینه شده کل سیستم در دو حالت حضور و یا عدم حضور این خودروها با استفاده از مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها با حفظ قیود امنیتی (SCUC) و با استفاده از نرم‌افزار های موجود محاسبه شده و با هم مقایسه می شوند. از این طریق می-توان تاثیر حضور V2G بر شاخص های امنیت سیستم و هزینه ها را بررسی و محاسبه نمود.

حضور تعداد کم (ضریب نفوذ پائین) واحدهای V2G به‌منزله کم اهمیت بودن آنها و غیر حساس بودن مدیریت شبکه به حضور آنها میباشد. اما با افزایش ضریب نفوذ این خودروها (کاربرد مقیاس وسیع V2G) از یکسو تأثیر آنها در شبکه قابل ملاحظه می‌شود و از سوی دیگر از عدم قطعیت در رفتار مجموعهٔ آنها در مقیاس شبکهٔ انتقال کاسته می‌شود. در هرحال، علاوه بر بررسی تأثیر آنها بر تعاملات اقتصادی و برنامه‌ریزی بهره‌برداری شبکه، باید به عدم قطعیت در این خصوص (منبع تولید ویا بار قطع-پذیر) توجه نمود. با اتخاذ تدابیر کنترلی (اعم از کنترل‌های متعارف) ویا اطلاع رسانی خاص همراه با سطحی از هوشمندی خودروها (همچون انتشار زمان واقعی[1] سیگنال قیمت، وضعیت تراکم شبکه و نظائر آن ویا در فرم پیشرفته‌ترِ آن با کنترل متمرکز خودروها) نه‌تنها می‌توان برای کمتر شدن این عدم قطعیت اقدام کرد، بلکه می‌توان خدمات جانبی مؤثری برای شبکه در نظر گرفت.

البته توانایی سیستم موجود برای تأمین بار اضافی ناشی از خودروهای هیبریدی می‌تواند برای صنعت برق یک نوع مشکل به وجود بیاورد. مطالعات نشان داده است که در سال 2020، با ۲۵٪ نفوذ این خودروها در ۱۳ ایالت آمریکا، در صورتیکه هر خودرو حدود ساعت ۵ بعد از ظهر (درست زمانی که منحنی بار هنوز نزدیک پیک روزانه است) به شبکه برای شارژ شدن متصل شود، ۱۶۰ واحد تولیدی جدید برای تأمین این بار نیاز است [11]. اگرچه با تکنولوژی شبکه‌های هوشمند[2] [12]، می‌توان ساعت شارژ را تغییر داده و به ساعات غیر پیک منتقل نمود. در این صورت دیگر نیازی به واحدهای تولیدی جدید نیست. این وضعیت ممکن است در بعضی مناطق بهتر هم باشد. به عنوان مثال، نتایج تحقیقی نشان داده است که اتصال ۴ میلیون از این خودروها برای شارژ به شبکه برق کالیفرنیا می تواند بدون نصب واحد تولیدی جدید و با سیستم قدرت موجود ممکن شود [13]. در حقیقت، تغییرات کوچک در منحنی بار روزانه با وجود تمام خودروهای هیبریدی متصل به شبکه، می‌تواند با ظرفیت موجود به خوبی اداره شود [14].

در شکل (۱-۱) منحنی بار روزانه کالیفرنیا، با و بدون حضور V2G نشان داده شده است. در حقیقت V2G می تواند برای غلبه بر مشکلات ناشی از بار کم در شب، به سیستم قدرت کمک کند و در نتیجه بتوان بهره‌برداری بهتری از واحدهای بار پایه داشت.

[1] Real time
[2] Smart Grids




شکل (۱-۱): بار روزانه کالیفرنیا، با و بدون حضور V2G برای یک روز تابستان [14]

باید توجه داشت که حضور تصادفی V2G ها در سیستمهای قدرت، باعث پیچیدگی رفتار و عملکرد آنها در سیستم قدرت میشود. بنابراین برای مدلسازی مشارکت آنها در تعامل با شبکه قدرت چه در حالت عملکرد تولیدی و یا بار، میتوان عدم قطعیت ناشی از رفتار تصادفی آنها را با استفاده از تکنیکهای مناسبی مانند تأثیر نویز مدلسازی نمود.

موضوع پروژه در سطح شبکه انتقال مورد توجه می‌باشد. بنابراین هرچند این خودروها به عنوان تولید یا بار مطرح می‌باشند، از آنجائیکه موقعیت مکانی خودروها در سطح شبکهٔ توزیع مورد توجه این پروژه نیست، بالطبع مباحثی همچون وضعیت شبکهٔ توزیع (G4V[1])، کیفیت توان و نظائر آن در این پروژه مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

## ۱-۲- ساختار پروژه

بخش‌های مختلف پروژه بدین شرح است که ابتدا در فصل دوم خودروهای هیبریدی از لحاظ ساختاری بررسی می شوند، یعنی به مواردی همچون: مزایا و معایب این خودروها، خصوصیات باتری این خودروها، نحوه اتصال این خودروها به سیستم قدرت و همچنین کاربرد هایی که این خودروها می توانند برای سیستم قدرت داشته باشند.

در فصل سوم به تعریف مسئله بهینه سازی SCUC و قیود مختلف خودروها و شبکه پرداخته می شود. در این بخش با توجه به هزینه‌ها و قیود امنیتی شبکه، میزان تبادل انرژی مورد نیاز خودروها در شینهای

[1] Grid for Vehicle

مختلف (به منزله تجمیع پارکینگ‌های واقع در شبکه پایین دستی هر شین) شبکه بهینه می‌شود. سپس به مدلسازی رفتار تجمعی خودروها به عنوان بار و یا تولید با استفاده از روش قطعی[1] در حضور نویز پرداخته می شود.

در فصل چهارم، انجام محاسبات بهینه سازی SCUC توسط نرم افزار GAMS[2] در دستور کار قرار می‌گیرد. به منظور مدلسازی و بهینه‌سازی بسیاری از مسائل مرتبط با سیستم‌های قدرت الکتریکی می‌توان از این نرم افزار استفاده نمود. نرم افزار GAMS که به عنوان یک زبان سطح بالا امکان مدلسازی ریاضی شبکه‌های بزرگ الکتریکی را با حجم وسیعی از اطلاعات ورودی و امکان ارتباط با نرم افزارهای دیگری همچون Excel به منظور تسهیل در فرآیند معرفی و تبادل اطلاعات ورودی و خروجی در قالب صفحات گسترده و همچنین نرم افزارهای PSAT و MATLAB به منظور تحلیل فنی سیستم‌های قدرت را به راحتی فراهم می‌سازد.

از قابلیت‌های منحصر به‌فرد GAMS می‌توان به مجموعه حل کننده‌های[3] آن که هر یک به‌طور جداگانه و با توجه به نوع مدلسازی تابع هدف مسأله که می‌تواند به یکی از روشهای برنامه‌ریزی خطی[4]، غیرخطی[5]، دینامیکی[6]، غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح[7]، برنامه‌ریزی درجه دوم[8] و یا ترکیبی از آنها صورت بگیرد، اشاره نمود. نرم افزار GAMS با بکارگیری حل کننده‌های خود در کنار مدلسازی دقیقی از مسأله، برخلاف روش‌های جستجوی هوشمند و الگوریتم‌های ابتکاری که در بیشتر موارد نقطه بهینه مطلق مسأله را بدست نمی‌آورند، دارای این ویژگی می‌باشد که امکان تعیین نقطه بهینه مطلق تابع هدف مسأله را به سادگی فراهم می‌سازد [15].

در ادامه این فصل به بررسی نقش و تأثیر عملکرد V2G بر شاخص‌های امنیت سیستم و عملکرد بهینه شبکه پرداخته می‌شود و همچنین تأثیر مدیریت پذیر بودن V2G بر عملکرد شبکه از نظر امنیتی و اقتصادی بررسی می شود.

در نهایت در فصل پنجم و آخر به نتیجه‌گیری از پروژه و ارائه پیشنهادات پرداخته می‌شود.

[1] Deterministic
[2] General Algebraic Modeling System
[3] Solver
[4] Linear Programming (LP)
[5] Non Linear Programming (NLP)
[6] Dynamic Programming (DP)
[7] Mixed Integer Non Linear Programming (MINLP)
[8] Quadratic Programming (QP)

فصل دوم

# بررسی خودروهای هیبریدی و نحوه عملکرد آنها

**مقدمه**

امروزه با توجه به آلودگی های ناشی از خودروها و محدودیت های سوخت فسیلی، کارخانه های خودروسازی بزرگی مانند: تویوتا، هوندا، میتسوبیشی، فورد، فیات، جنرال موتورز، دایملر کرایسلر، نیسان، پژو و ... گام مهمی در مقابله با این امر برداشته اند که از جمله آنها می توان به تولید خودروهای هیبریدی[1] اشاره کرد. بازده بالا، آلایندگی کم، مسافت قابل پیمایش بالا (در مقایسه با خودروهای برقی متداول)، ایمنی مطلوب و ... از جمله ویژگیهای حائز اهمیت برای خودروهای هیبریدی است.

اولین خودروی هیبریدی توسط یک مهندس آمریکایی به نام H.Piper در ۲۳ نوامبر ۱۹۰۵ ساخته شد، این خودرو قادر بود در طی ۱۰ ثانیه تا ۲۵ مایل بر ساعت سرعت بگیرد. موتور این خودرو ترکیبی از موتور بنزینی و موتور الکتریکی بود که امروزه به عنوان موتور هیبریدی شناخته می شود. Piper در سه سال ونیم بعد، اختراع خود را ثبت نمود، اما پیشرفت سریع موتورهای احتراق داخلی با قدرت و گشتاور بالا در آن دوره، همچنین قابلیت استارت بدون هندل آنها و از همه مهمتر پایین بودن قیمت سوختهای فسیلی و مطرح نبودن آلودگی محیط زیست، سبب عدم توجه به این نوع خودروها شد. در پی بحرانهای نفتی سالهای ۱۹۷۰ دوباره این خودروها مورد توجه قرار گرفتند ولی تا سال ۱۹۹۰ که کار اصولی با مشارکت PNGV [2] در آمریکا آغاز گردید، این خودروها به طور جدی پیگیری نشدند.[16]

## ۲-۱- چرا از خودروی هیبریدی استفاده می کنیم؟ [17]

خودروهای هیبریدی دارای موتور محرکه دوگانه هستند، به این صورت که دو موتور مکانیکی(که از نوع درون سوز است) و الکتریکی به صورت هم محور کار می کنند. در نتیجه در ابتدا لازم است مزایا و معایب خودروهای با موتور درون سوز و خودروهای الکتریکی بیان شود تا دلایل حرکت به سمت تولید انبوه خودروهای هیبریدی مشخص تر شود. یعنی بتوان خودرویی تولید کرد که در عین اینکه دارای مزایای این دو نوع خودرو است، اکثر معایب این دو نوع خودرو را نیز دارا نباشد.

اگرچه خودروهای با موتور درون سوز در یکصد سال گذشته روند روبه رشدی را در طراحی داشته اند، هم در مصرف بهینه سوخت و هم در مسئله آلودگی هوا و آلودگی صوتی، ولی در حال حاضر در استفاده از این خودروها مشکلاتی به وجود آمده است که در کوتاه مدت ومیان مدت دورنمایی برای حل آنها وجود ندارد. در عین حال این خودروها دارای مزایای غیر قابل انکاری هستند که در ادامه خواهد آمد.

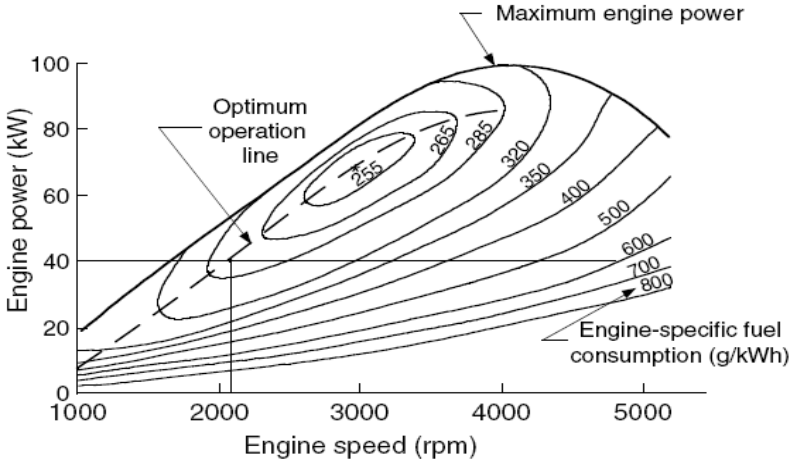
[1] Hybrid Vehicle
[2] Partnership for a New Generation Vehicle

### ۲-۱-۱- معایب خودرو با موتوردرون سوز

مهمترین عیوبی که برای یک خودرو با موتور درون سوز مطرح است به شرح زیر است:

۱- **ناتوانی در بازیابی انرژی:** همان گونه که می دانیم در یک خودرو با موتور درون سوز تمام انرژی-ای که به صورت جنبشی در جرم خودرو ذخیره می شود در هنگام ترمز گرفتن و توقف باید در انتها به صورت حرارت تلف شود. به خصوص در هنگام رانندگی در شهرها این عامل باعث تلف شدن مقدار زیادی از سوخت خودرو می شود و با شدت گرفتن ترافیک راندمان کلی خودرو را به نحو قابل توجهی کاهش می دهد.

۲- **تغییر راندمان با سرعت های مختلف:** قضیه دیگری که در مورد خودروهای با موتور درون سوز صادق است، این است که در این خودروها راندمان در مصرف سوخت در یک سرعت خاص (در یک خودروی معمولی حوالی نقطه کار معمول حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) بهینه است (البته راندمان ماکزیمم به بار نیز وابسته هست) و به ازای سرعت های کمتر و بیشتر از آن راندمان خودرو به شدت کاهش می یابد. مثلا اگر خودرو در سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت دارای مصرف ۶ لیتر در هر صد کیلومتر باشد، مصرف در سرعت ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت بیشتر از ۶ لیتر در هر صد کیلومتر خواهد بود. نمودار زیر نشان می دهد که مصرف سوخت هم وابسته به سرعت و هم بار موجود روی خودرو است. برای مثال در نمودار زیر دیده می شود که در توان خروجی ۴۰ کیلو وات به ازای سرعت های گوناگون میزان مصرف سوخت متفاوت است. کمترین میزان مصرف سوخت در توان خروجی ۴۰ کیلو وات در سرعت ۲۰۸۰ دور بر دقیقه اتفاق می افتد.




شکل (۲-۱) مصرف سوخت موتوردرون سوز در شرایط کاری متفاوت [18]

### ۲-۱-۲- مزایای یک خودرو با موتور درون سوز

۱- **ذخیره سریع انرژی:** خودروهای درون سوز چه با سوخت مایع و یا گاز، این امکان را دارند که در مدت چند دقیقه سوخت گیری کنند.
۲- **وزن کم منبع انرژی:** در یک خودروی درون سوز، وزن منبع انرژی که همان باک خودرو است و نیز سوخت موجود در آن درصد بسیار کمی از وزن وسیله نقلیه را تشکیل می دهد که مزیت مهمی به شمار می رود.
۳- **ذخیره انرژی برای مسافت طولانی:** این خودروها این قابلیت را دارند که با یک بار سوخت گیری ظرف چند دقیقه، مسافت طولانی را (حدود ۶۰۰ کیلومتر) طی کنند که نقطه اطمینان بالایی محسوب می شود.

### ۲-۱-۳- معایب خودرو با موتور الکتریکی

خودروی الکتریکی که به لحاظ قدمت به اندازه عمر خودروسازی قدمت دارد به علت یک سری محدودیت ها از آغاز قرن بیستم جای خود را به خودروی درون سوز داد که تا قبل از شروع قرن بیستم از تکنولوژی پایین تری نسبت به خودروهای الکتریکی برخوردار بودند. با این حال عمده معایب خودروهای الکتریکی، اگرچه در طول قرن بیستم بهبود زیادی پیدا کرده اند ولی همچنان پابرجا هستند. معایب این خودروها به قرار زیر هستند:

۱- **وزن زیاد منبع انرژی:** خودروهای الکتریکی انرژی موردنیاز خود را عمدتاً توسط باتری تأمین می کنند که باعث می شود یک منبع انرژی بزرگ و سنگین نیاز داشته باشند. سنگینی منبع انرژی موجب افزایش وزن خودرو می شود که خود موجب افزایش انرژی ذخیره شده در جرم خودرو می شود و این اگرچه در بعضی موارد خوب است ولی بازیابی انرژی را با مشکل روبرو می کند.
۲- **ذخیره انرژی برای مسافت کوتاه:** اگرچه تکنولوژی باتری ها هنوز در حال تکمیل شدن است ولی با باتری های کنونی و برای یک خودروی معمولی شخصی با هر بار شارژ کامل باتری می توان مسافتی حدود ۲۰۰ کیلومتر را پیمود.
۳- **زمان زیاد برای ذخیره انرژی:** در یک خودروی الکتریکی مدت زمان زیادی (۶-۸ ساعت برای ۲۰۰ کیلومتر) برای شارژ باتری ها زمان مصرف می شود. هرچند خودروهای الکتریکی ای که به بازار عرضه شده اند در مدت زمان کمتری شارژ می شوند یا مسافت طولانی تری را طی می کنند. اما این دو خصوصیت در مقابل همدیگر قرار دارند؛ یعنی با کاهش زمان شارژ مسافت کمتری را می توان با خودرو طی کرد.

۴- **محدودیت زمانی عمر باتری ها:** عمر باتری ها در این خودروها محدود است ونیاز به مراقبت و نگهداری نیز دارند. باتری های مورد استفاده در خودروهای الکتریکی یا هایبرید به تعداد دفعات مشخصی می‌توانند شارژ شوند.

**۲-۱-٤- مزایای خودروی الکتریکی**

۱- **راندمان بالا تقریباً در همه گستره سرعت:** برخلاف خودروی درون سوز که راندمان آن به سرعت خودرو وابستگی شدید دارد ولی در خودروی الکتریکی این وابستگی به شکل خودروی درون سوز وجود ندارد و راندمان یک موتور الکتریکی به راحتی به ۹۰ درصد می‌رسد و با تغییر سرعت هم خیلی تغییر نمی کند.

۲- **قابلیت بازیابی انرژی:** خودروهای الکتریکی این توانایی را دارند که مقداری از انرژی جنبشی ذخیره شده در جرم خودرو را دوباره بازیابی کنند. در این قسمت وارد مکانیزم کار سیستم بازیابی انرژی نمی شویم ولی کافیست بدانیم در این حالت موتور محرک از حد کار موتوری وارد حالت ژنراتوری شده و قسمتی از انرژی را به منبع باز می گرداند و در عین حال یک نیروی ترمزی ایجاد می کند. لازم به ذکر است که ترمز ژنراتوری قادر به توقف کامل خودرو نیست و برای ایستادن کامل باز هم به ترم مکانیکی نیازمندیم ضمن اینکه به دلیل محدودیت جریان باتری ها نمی توانیم بیش از جریان مشخصی را به باتری تزریق کنیم و در هر حال مقداری از انرژی جنبشی باز هم باید به صورت اصطکاکی تلف شود.

۳- **نداشتن انتشارات زیان آور:** یک خودروی الکتریکی به علت نداشتن انتشارات زیان آور می تواند نقش زیادی در کاهش آلودگی هوا در شهرها داشته باشد.

## ۲-۲- ویژگیهای ساختاری خودروی هیبریدی[16]

با توجه به این مزایا و معایب تصمیم گرفته شد که این دو نوع خودرو با هم ترکیب شده و خودروی هیبریدی ساخته شود. یک خودروی هیبریدی در حالت ایده آل تقریباً تمام مزایای خودروی الکتریکی و درون سوز را به صورت توأم خواهد داشت، ضمن اینکه این ترکیب باعث می شود خودروی هیبریدی، عیوب هیچ کدام را در حالت ایده آل نداشته باشد. لذا استفاده از خودروی هیبریدی یک راه حل اجتناب ناپذیر در سالهای آینده است.[17]

خودروهای هیبریدی به خودروهایی گفته می شود که دارای دو موتور محرکه جداگانه هستند. در خودروهای هیبرید برقی، یکی از این موتورها برقی و معمولاً نوع دیگر درون سوز است که سوخت آن می-تواند بنزین، گازوییل، الکل و ... باشد. اصولاً خودروهای هیبریدی به دو گروه کلی موازی و سری تقسیم