

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - قدرت

مدیریت انرژی در خودروی برقی خورشیدی با چند سیستم ذخیره

ساز انرژی (باتری + ابرخازن)

نگارنده: سعید خوبی آرانی

استاد راهنما

دکتر ابوالفضل حلوایی نیاسر

استاد مشاور

دکتر امین حاجی زاده

بهمن ۱۳۹۴



دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی برق
و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاریخ: ۹۴/۱۱/۲۸
شماره: ۵۲۳۶۵۱
پرست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه
صور جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی: سعید خوبی آرنی	شماره دانشجویی: ۹۰۱۳۵۱۴۲۰۱
رشته و گرایش: مهندسی برق-قدرت	دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر
عنوان پایان نامه:	
مدیریت انرژی در خودروی برقی خورشیدی با چند سیستم ذخیره ساز انرژی (باتری+ابرخازن)	
تعداد واحد پایان نامه: ۶ واحد	تاریخ دفاع: ۱۳۹۴ / ۱۱ / ۲۴

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۱۳۹۴ / ۱۱ / ۲۴ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و بانمره ۱۸۱- و درجه خیلی خوب به تصویب رسید.

اعضای هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	اسماء
۱- استاد راهنما	دکتر ابوالفضل حلویی نیاسر	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر امین حاجی زاده	استادیار	
۳- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر عباس کتابی	دانشیار	
۴- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر محسن رحیمی کلیشادی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر عباس کتابی	دانشیار	

دکتر محمدرضا منصورنیا
مدیر تحصیلات تکمیلی و استعدادهای درخشان



آدرس: کاشان - پلوار قطب روانی
کد پستی: ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن: ۵۵۱۱۱۳۱ و ۵۵۱۲۲۲۴
www.kashanu.ac.ir

تقدیم به

همسر عزیزم که واقعا با تمام مشکلات طاقت
فرسای زندگی در طی مراحل انجام این پایان
نامه همدم و همیار بنده بوده اند.

قدردانی

استاد گراتقدر جناب آقای دکتر ابوالفضل
حلوائی نیاسر که در طی این مدت زحمات
زیادی را برای پیشرفت پروژه متحمل گشته
اند همچنین با سپاس از جناب آقای دکتر امین
حاجی زاده به عنوان استاد مشاور بنده و اساتید
گراتقدر جناب آقای دکتر عباس کتابی و آقای
دکتر محسن رحیمی کلیشادی به عنوان
داوران این حقیر.

سعید خوبی آرانی

۱۳۹۴

تعمدنامه

اینجانب سعید خوبی آرانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق- قدرت دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه مدیریت انرژی در خودروی برقی خورشیدی با منابع ذخیره ساز انرژی (باتری+ ابرخازن) تحت راهنمایی آقای دکتر ابوالفضل حلویی نیاسر متعهد می شوم.

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

سعید خوبی آرانی

۱۳۹۴

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

در این پایان نامه به منظور ارائه روشی بهینه برای کنترل و مدیریت بهینه منابع توان خودروهای برقی و برقی خورشیدی دارای دو منبع تامین توان شامل باتری و ابرخازن در¹ Advisor مدل سازی گردیده است. در مطالعات گوناگون کنترل کننده های متفاوتی برای این منظور پیشنهاد گردیده است. در این بین کنترل کننده های فازی برتری های خود را نسبت به سایر روش ها کنترلی نشان داده اند.

همچنان که میزان توان مصرفی با کنترل کننده فازی بهینه نسبت به کنترل کننده فازی استاندارد در خودروی برقی در سیکل رانندگی اول کاهش یافته و با اعمال کنترل کننده بهینه (on/off) نیز برای این خودرو و در همین سیکل رانندگی میزان توان مصرفی کم تر از کنترل کننده فازی پایه بوده ولی از توان مصرفی کنترل کننده فازی بهینه بیشتر است در نتیجه کنترل کننده فازی بهینه از کنترل کننده بهینه (on/off) برتر می باشد زیرا میزان توان مصرفی با این کنترل کننده کم تر می باشد میزان توان مصرفی با کنترل کننده فازی بهینه در خودروی برقی خورشیدی در سیکل رانندگی اول نسبت به خودروی برقی با همین کنترل کننده و در همین سیکل، کم تر است و میزان این اختلاف بسیار کم است علت این کم تر بودن به دلیل نصب سلول خورشیدی روی سقف خودروی خورشیدی است که بخشی از توان مورد نیاز خودرو را تامین کرده و بقیه توان بصورت بهینه از مشارکت باتری و ابر خازن تامین می گردد و همچنین اختلاف بسیار کم هر دو توان مصرفی در خودروی برقی و برقی خورشیدی به خاطر کوچک بودن سلول خورشیدی قابل نصب روی خودرو بوده که بخش کوچکی از توان مورد نیاز خودرو را تامین می کند.

کلمات کلیدی: خودروی برقی، خودروی برقی خورشیدی، کنترل کننده دو وضعیتی، کنترل کننده فازی، الگوریتم ژنتیک.

¹ .Advanced Vehicle Sitmulstor

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1) A. HALVAEI NIASAR, A. HAJIZADEH, S. KHOobi ARANI. " ENERGY MANAGEMENT OF DUAL-SOURCE PROPELLED ELECTRIC VEHICLE USING FUZZY CONTROLLER OPTIMIZED VIA GENETIC ALGORITHM", IN: PROCEEDING OF 7TH POWER ELECTRONICS, DRIVE SYSTEMS & TECHNOLOGIES CONFERENCE (PEDSTC 2016) 16-18 FEBRUARY 2016, IRAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, TEHRAN, IRAN, PP. 354-359.

فهرست مطالب

۱	۱ مقدمه
۲	۱-۱ کلیات
۴	۲-۱ مروری بر تحقیقات انجام شده
۶	۳-۱ اهداف پایان نامه
۶	۴-۱ راهنمای پایان نامه
۷	۲ خودروهای برقی و منابع ذخیره ساز انرژی
۸	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ انواع خودروهای برقی
۱۰	۱-۲-۲ خودروهای الکتریکی (EV)
۱۱	۲-۲-۲ خودروهای الکتریکی هیبریدی (HEV)
۱۳	۱-۲-۲-۲ انواع خودروهای الکتریکی هیبریدی
۱۳	۱-۱-۲-۲-۲ سیستم هیبرید سری
۱۴	۲-۱-۲-۲-۲ سیستم هیبرید موازی
۱۶	۳-۱-۲-۲-۲ سیستم هیبریدی سری - موازی
۱۸	۳-۲-۲ خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV)
۱۹	۳-۲ ویژگیهای ساختاری خودروهای برقی
۲۰	۴-۲ مقایسه بازده استفاده از انرژی در خودروهای معمولی و الکتریکی هیبریدی
۲۲	۵-۲ باتری
۲۲	۱-۵-۲ ولتاژ پیل و باتری
۲۳	۲-۵-۲ ظرفیت شارژ

۲۳	۳-۵-۲ انرژی ذخیره شده
۲۳	۴-۵-۲ انرژی ویژه
۲۳	۵-۵-۲ توان ویژه
۲۵	۶-۲ انواع باتری
۲۸	۷-۲ پیل های سوختی
۲۹	۱-۷-۲ خودروهای پیل سوختی ساده
۲۹	۲-۷-۲ خودروهای پیل سوختی ترکیبی (هیبریدی)
۳۰	۳-۷-۲ اساس کار پیل سوختی
۳۲	۴-۷-۲ مزایای کاربری پیل سوختی
۳۳	۵-۷-۲ انواع پیل های سوختی مورد استفاده در صنعت خودرو
۳۴	۶-۷-۲ عوامل مؤثر در انتخاب فناوری مناسب خودروهای پیل سوختی
۳۴	۸-۲ ابر خازنها
۳۵	۹-۲ سلول های خورشیدی
۳۷	۱-۹-۲ فناوری های ساخت سلول های خورشیدی
۳۸	۲-۹-۲ انواع سلول های خورشیدی
۴۳	۳ مدل سازی خودروی برقی
۴۴	۱-۳ تشریح مسئله کنترل خودروی برقی با دو منبع باتری و ابر خازن
۴۴	۱-۱-۳ مقدمه
۴۵	۲-۱-۳ نیروهای وارده به خودرو و توان مورد نیاز خودرو در هر لحظه

۴۷ ۳-۱-۳ محدودیت های منابع انرژی در خودروی برقی

۴۸ ۴-۱-۳ تشریح بهینه سازی و مدیریت انرژی دریافتی از دو منبع

در خودروی برقی مورد نظر

۴۸ ۵-۱-۳ بلوک دیاگرام خودروهای برقی و برقی خورشیدی در نرم

افزار Advisor

۴۹ ۶-۱-۳ طراحی کنترل کننده فازی برای مدیریت استفاده از منابع

منابع انرژی

۴ مدیریت بهینه انرژی در خودروی برقی خورشیدی

۵۶ ۱-۴ مقدمه

۵۶ ۲-۴ کنترل و مدیریت انرژی دو وضعیتی (on/off) برای یک خودرو برقی

۶۱ ۳-۴ کنترل کننده فازی از پیش طراحی شده

۷۰ ۴-۴ طراحی بهینه کنترل کننده فازی خودرو الکتریکی

۸۲ ۵-۴ طراحی بهینه کنترل کننده فازی برای خودرو خورشیدی-الکتریکی

۹۲ ۶-۴ کنترل کننده و مدیریت انرژی دو وضعیتی (on/off) برای یک

خودروی برقی تجهیز شده با سلولهای خورشیدی

۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۸ ۱-۵ نتیجه گیری

۱۰۱ ۲-۵ پیشنهادات

آ الگوریتم ژنتیک اعداد صحیح و مختلط

- ۱-آ تابع ارزیابی ۱۰۳
- ۲-آ عملگرهای ژنتیک ۱۰۴
- ۱-۲-آ عملگر تولید مثل ۱۰۴
- ۲-۲-آ انتخاب ۱۰۴
- ۳-۲-آ عملگر ضربدري (Crossover) ۱۰۵
- ۴-۲-آ تغییر ناگهانی ۱۰۶
- ۳-آ مؤلفه های ژنتیک ۱۰۷
- ۱-۳-آ جمعیت ۱۰۷
- ۲-۳-آ نرخ عملگر ضربدري (C) ۱۰۷
- ۳-۳-آ نرخ جهش ناگهانی (M) ۱۰۷
- ۴-آ الگوریتم ژنتیک ترکیبی با اعداد صحیح ۱۰۸
- ۱-۴-آ عملگر ضربدري لاپلاس ۱۰۹
- ۲-۴-آ عملگر جهش ناگهانی با توزیع نمایی ۱۰۹
- ۳-۴-آ عملگر گرد کردن ۱۱۰

ب نرم افزار Advisor ۱۱۱

- ۱- معرفی نرم افزار ۱۱۲
- ۲- شبیه سازی با استفاده از Advisor ۱۱۳

مراجع و ماخذ ۱۲۱

فهرست جداول

- جدول (۱-۳): قوانین اگر-آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل
کننده فازی نمونه
۵۰
- جدول (۲-۳): قوانین اگر-آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل
کننده فازی نمونه
۵۱
- جدول (۳-۳): قوانین اگر-آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل
کننده فازی نمونه
۵۱
- جدول (۴-۳): مقادیر متغیرهای زبانی
۵۱
- جدول (۱-۴): قوانین (on /off) برای کنترل کننده دو وضعیتی بهینه
۵۹
- جدول (۲-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل
کننده فازی پایه
۶۴
- جدول (۳-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل
کننده فازی پایه
۶۴
- جدول (۴-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل
کننده فازی پایه
۶۴
- جدول (۵-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل
کننده فازی پایه
۷۳
- جدول (۶-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل
کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول
۷۳
- جدول (۷-۴): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل
۷۴

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي اول

جدول (۸-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن LE در کنترل ۷۹

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي دوم

جدول (۹-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن ME در کنترل ۷۹

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي دوم

جدول (۱۰-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن GE در کنترل ۸۰

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي دوم

جدول (۱۱-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن LE در کنترل ۸۸

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي اول

جدول (۱۲-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن ME در کنترل ۸۸

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي اول

جدول (۱۳-۴): قوانين اگر- آنگاه فازي با در نظر گرفتن وضعيت شارژ خازن GE در کنترل ۸۹

کننده فازي بهينه در سيكل رانندگي اول

جدول (۱۴-۴): قوانين (on/off) براي کنترل کننده دو وضعيتي بهينه در شرايط وجود سلول ۹۲

هاي خورشيدی

جدول (۱-۵): مقايسه دو کنترل کننده فازي و (on/off) در خودروى برقي در سيكل رانندگي ۹۹

اول

جدول (۲-۵): مقايسه دو کنترل کننده فازي و (on/off) در خودروى برقي خورشيدی در ۹۹

سيكل رانندگي اول

جدول (۳-۵): مقايسه دو کنترل فازي پايه و بهينه در خودروى برقي در سيكل رانندگي دوم ۱۰۰

فهرست اشکال

- ۱۴ شکل (۱-۲): خودروی هیبریدی با سیستم سری [۹]
- ۱۴ شکل (۲-۲): موتور هیبرید سری [۹]
- ۱۵ شکل (۳-۲): خودروی هیبریدی با سیستم موازی [۹]
- ۱۵ شکل (۴-۲): موتور هیبرید موازی [۹]
- ۱۶ شکل (۵-۲): خودروی هیبریدی با سیستم سری-موازی [۹]
- ۱۷ شکل (۶-۲): موتور هیبریدی سیستم سری-موازی [۹]
- ۲۰ شکل (۷-۲): سیرتغییر SOC یک خودروی برقی برای یک روز نوعی
- ۲۱ شکل (۸-۲): درصد تلفات خودروهای معمولی [۹]
- ۲۱ شکل (۹-۲): درصد تلفات خودروهای هیبریدی
- ۳۱ شکل (۱۰-۲): شماتیک پیل سوختی
- ۴۴ شکل (۱-۳): ساختمان یک خودروی الکتریکی با دو منبع تغذیه
- ۴۸ شکل (۲-۳): بلوک دیاگرام خودرو الکتریکی مورد نظر در نرم افزار Advisor
- ۴۹ شکل (۳-۳): بلوک دیاگرام خودرو الکتریکی مورد نظر به همراه سلول های خورشیدی در نرم افزار Advisor
- ۵۰ شکل (۴-۳): بلوک دیاگرام ساده شده ای از کنترل کننده فازی
- ۵۲ شکل (۵-۳): توابع عضویت ورودی ها و خروجی کنترل کننده
- ۵۲ شکل (۶-۳): پارامترهای تابع عضویت توان مورد نیاز
- ۵۶ شکل (۱-۴): پارامترهای خودروی الکتریکی مورد نظر در نرم افزار Advisor
- ۵۷ شکل (۲-۴): سیکل رانندگی اول (CYC-UDDS) در نرم افزار Advisor

- ۵۷ شکل (۳-۴): توان مورد نیاز موتور در سیکل رانندگی اول (CYC-UDDS)
- ۶۰ شکل (۴-۴): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه
- ۶۰ شکل (۵-۴): نسبت مشارکت خازن ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه
- ۶۰ شکل (۶-۴): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه
- ۶۱ شکل (۷-۴): وضعیت شارژ خازن ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه
- ۶۲ شکل (۸-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی پایه
- ۶۲ شکل (۹-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابرخازن در کنترل کننده فازی پایه
- ۶۳ شکل (۱۰-۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی پایه
- ۶۳ شکل (۱۱-۴): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی پایه
- ۶۵ شکل (۱۲-۴): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه
- ۶۶ شکل (۱۳-۴): نسبت مشارکت خازن ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه
- ۶۶ شکل (۱۴-۴): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه
- ۶۷ شکل (۱۵-۴): وضعیت شارژ خازن ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه
- ۶۷ شکل (۱۶-۴): سیکل رانندگی دوم (CYC_MDC 1015) در نرم افزار Advisor

- شکل (۴-۱۷): توان مورد نیاز موتور در سیکل رانندگی دوم (CYC-MDC1015) ۶۸
- شکل (۴-۱۸): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه ۶۸
- شکل (۴-۱۹): نسبت مشارکت ابر خازن برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه ۶۹
- شکل (۴-۲۰): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه ۶۹
- شکل (۴-۲۱): وضعیت شارژ ابرخازن‌ها در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه ۷۰
- شکل (۴-۲۲): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول ۷۱
- شکل (۴-۲۳): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول ۷۲
- شکل (۴-۲۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول ۷۲
- شکل (۴-۲۵): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول ۷۳
- شکل (۴-۲۶): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه ۷۵
- شکل (۴-۲۷): نسبت مشارکت خازن‌ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه ۷۵
- شکل (۴-۲۸): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه ۷۶
- شکل (۴-۲۹): وضعیت شارژ خازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه ۷۶

- شکل (۳۰-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در
سیکل رانندگی دوم
- شکل (۳۱-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابرخازن در کنترل کننده فازی بهینه در
سیکل رانندگی دوم
- شکل (۳۲-۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در
سیکل رانندگی دوم
- شکل (۳۳-۴): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در
سیکل رانندگی دوم
- شکل (۳۴-۴): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به
کمک کنترل کننده فازی بهینه
- شکل (۳۵-۴): نسبت مشارکت خازن ها برای در سیکل رانندگی دوم به کمک تامین توان
مورد نیاز کنترل کننده فازی بهینه
- شکل (۳۶-۴): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه
- شکل (۳۷-۴): وضعیت شارژ خازن ها در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه
- شکل (۳۸-۴): میزان توان تابشی با نمونه گیری در هر پنج دقیقه
- شکل (۳۹-۴): هیستوگرام (دیاگرام فراوانی) میزان توان تابشی
- شکل (۴۰-۴): هیستوگرام (دیاگرام فراوانی) میزان توان قابل استحصال از سلول های خورشیدی
- شکل (۴۱-۴): میزان احتمال هر حالت از حالات مختلف توان قابل استحصال از سلول های
خورشیدی
- شکل (۴۲-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در

سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی خورشیدی

شکل (۴-۴۳): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی بهینه در

۸۷

سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی خورشیدی

شکل (۴-۴۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در

۸۷

سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی خورشیدی

شکل (۴-۴۵): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در

۸۸

سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی خورشیدی

شکل (۴-۴۶): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به

۹۰

کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب

شکل (۴-۴۷): نسبت مشارکت خازن ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به

۹۰

کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب

شکل (۴-۴۸): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه

۹۱

در حالات مختلف تابش آفتاب

شکل (۴-۴۹): وضعیت شارژ خازن ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه

۹۱

در حالات مختلف تابش آفتاب

شکل (۴-۵۰): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به

۹۳

کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول های خورشیدی

شکل (۴-۵۱): نسبت مشارکت خازن ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به

۹۴

کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول های خورشیدی

شکل (۴-۵۲): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی

۹۴

بهینه در شرایط وجود سلول های خورشیدی

شکل (۴-۵۳): وضعیت شارژ ابر خازن ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو

۹۵

وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول‌های خورشیدی

- ۱۰۳ شکل (آ-۱): شمای کلی از الگوریتم ژنتیک
- ۱۰۵ شکل (آ-۲): چرخ گردان
- ۱۰۸ شکل (آ-۳): سیکل پایه الگوریتم ژنتیک
- ۱۱۴ شکل (ب-۱): پنجره ورودی در نرم افزار Advisor
- ۱۱۵ شکل (ب-۲): پنجره دوم در نرم افزار Advisor مربوط به سیکل های رانندگی مختلف
- ۱۱۶ شکل (ب-۳): سیکل رانندگی (UDDS)
- ۱۱۶ شکل (ب-۴): سیکل رانندگی (HWEFT)
- ۱۱۷ شکل (ب-۵): ترکیب دو سیکل کاری (UDDS) و (HWFET) و سیکل کاری ثابت
- ۱۱۸ شکل (ب-۶): شرایط تست شتاب گیری
- ۱۱۹ شکل (ب-۷): پنجره مربوط به تست روی سطح شیب دار

فهرست نمادها

K_e	انرژی جنبشی خودرو
M	جرم خودرو
V	سرعت خودرو
SI	سیستم بین المللی
N	الکترون
P	حفره
Ga	گالیم
As	آرسنیک
π_s	احتمال حالت مورد نظر از تابش آفتاب
$K_{bat,s}(t)$	ضریب مشارکت باتری در تمام حالات تابش آفتاب
$K_{sc,s}(t)$	ضریب مشارکت ابرخازن در تمام حالات تابش آفتاب
$P_{req}(t)$	توان مورد نیاز خودرو در تمام حالات تابش آفتاب
$P_{load}(t)$	توان بار
$P_{pv,s}$	توان سلول خورشیدی در تمام حالات تابش آفتاب
s	شماره حالتی از تابش آفتاب
C	نرخ عملگر ضربداری
M	نرخ جهش ناگهانی
L	طول رشته

N	تعداد رشته
β_i	عدد تصادفی با توزیع لاپلاسی
u_i	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت
r_i	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت
a	پارامتر موقعیتی
b	پارامتر ابعادی
b_{int}	متغیر عدد صحیح
b_{real}	متغیر عدد حقیقی
S	متغیر تصادفی با توزیع نمایی
W	متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت
P	اندیس جهش
r	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت
t	زمان
P_{bat}	توان باتری
P_{sc}	توان ابرخازن
P_c	توان مبدل
P_i	توان اینورتر
P_m	توان موتور
P_t	توان سیستم انتقال
P_v	توان سلول خورشیدی

η	بازده ذخیره ساز انرژی
η_1	بازده مبدل
η_2	بازده اینورتر
η_3	بازده موتور
η_4	بازده سیستم انتقال
F_l	نیروی غلبه بر بار مسیر
F_d	نیروی مقاومت هوا
F_r	نیروی اصطکاک چرخ ها
F_c	نیروی مورد نیاز برای بالا رفتن
F_a	نیروی مورد نیاز برای شتاب گرفتن
P	چگالی هوا
C_d	ضریب کشش آیرودینامیکی
A	مساحت جلویی خودرو
G	شتاب گرانش زمین
C_r	ضریب مقاومت چرخشی
A	زاویه شیب
$K_{bat}(t)$	ضریب مشارکت باتری
$K_{sc}(t)$	ضریب مشارکت ابرخازن
$SOC_{bat\ min}$	مینیمم حد شارژ باتری
$SOC_{bat\ max}$	ماکزیمم حد شارژ باتری
$SOC_{sc\ max}$	ماکزیمم حد شارژ ابرخازن
$SOC_{sc\ min}$	مینیمم حد شارژ ابر خازن

Z_1	پارامتر تابع عضویت توان مورد نیاز خودرو
Z_2	پارامتر تابع عضویت توان مورد نیاز خودرو
Z_3	پارامتر تابع عضویت توان مورد نیاز خودرو
Z_4	پارامتر تابع عضویت حد شارژ باتری
Z_5	پارامتر تابع عضویت حد شارژ ابرخازن
Z_6	پارامتر تابع عضویت ضریب مشارکت باتری
Z_7	پارامتر تابع عضویت ضریب مشارکت باتری

فهرست علائم و اختصارات

PNGV	Partnership for a new Generation Vehicle
EV	Electric Vehicle
HEV	Haybrid Electric Vehicle
PHEV	Haybrid Electric Vehicle
SOC	State Of Charge
AC	Alternative Current
DC	Direct Current
DMFC	Direct Metanol Fuel Cell
EV	Electron Volt
CYC-UDDS	EPA Urban Dynamometer Driving Schedule
NB	Big Negative
NM	Medium Negative
NS	Small Negative
ZE	Zero
ADVISOR	Advanced Vehicle Sitnulstor
PS	Small Positive
PM	Medium Positive
PB	Positive Big
LE	Little
ME	Medium
MB	Medium Big
ML	Medium Little
GE	Great
1015 CYC-JMDC	Japanese ModeDriving Cycle
Preq	Power Request
PSO	Particle Swarm Optimization
ICA	Imperialist Competitive Algoritm
MIGA	Mixed Integer Genetic Algoritm
ESS	Energy Storage System
K_{sc}	Super Capacitor
K_{bat}	Battery

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

امروزه با گسترش روز افزون استفاده از ماشین‌ها در صنایع مختلف، نیاز به منابعی که بتوانند انرژی لازم برای راندن این ماشین‌ها را بصورت ایمن فراهم کنند بشدت احساس می‌شود. در گذشته سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منابع تامین انرژی بوده‌اند، اما به دلیل نگرانی‌هایی مانند نوسانات قیمتی و موضوعات امنیتی که در رابطه با کشورهای تامین کننده این منابع وجود دارد و همچنین مسائل- زیست محیطی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای که استفاده از این منابع بر جای می‌گذارد امروزه صنایع مختلف به دنبال جایگزین کردن تکنولوژی‌های تامین انرژی خود افتاده‌اند [۱-۳]. به عنوان مثال صنعت برق استفاده از تکنولوژی‌های مبتنی بر منابع تجدید پذیر را در اولویت خود در تامین انرژی قرار داده است. به دنبال این رویکرد صنعت حمل و نقل نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع مصرف کننده سوخت به دنبال جایگزین کردن خودروهای احتراق داخلی خود افتاده‌اند. خودروهای برقی قابل شارژ به دلیل آلودگی پایین و بازدهی بالا به عنوان یکی از بهترین کاندیداها برای جایگزینی خودروهای مبتنی بر سوخت های فسیلی پا به عرصه وجود گذاشته‌اند و پیشرفت‌های شگفت‌انگیز اخیر در صنعت باتری، تاسیسات شارژ و شارژر این خودروها باعث شده است که مشکل شارژ این خودروها که بزرگ‌ترین مانع بر سر راه گسترش این خودروها بود نیز حل شود [۴-۵]. سازمان‌های انرژی در کشورهای مختلف پیش‌بینی نفوذ بالایی از این تکنولوژی را در بخش حمل و نقل نموده‌اند. سازمان انرژی در آمریکا پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۱۵ تقریباً یک میلیون خودروی برقی قابل شارژ در جاده‌های آمریکا وجود خواهد داشت و جالب‌تر از آن اینکه تنها در سال ۲۰۱۵، ۴۲۵۰۰۰ دستگاه از این خودروها فروخته خواهد شد که معادل ۲/۵ درصد کل خودروهای فروخته شده جدید خواهد بود. [۶]

هرچند در این بین مشکلاتی نیز وجود دارد. طراحی و بهینه‌سازی شرایط خودرو از مهم‌ترین مسائلی است که پیش از هر کار باید به آن رسیدگی شود. مدل‌سازی و شبیه‌سازی خودروهای برقی قبل از ساخت منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های ساخت و بهبود عملکرد خودرو می‌گردد. ابزارهای زیادی برای شبیه‌سازی خودروهای برقی پیشنهاد گردیده و مورد استفاده قرار گرفته است. در این بین Advisor مدل‌سازی دقیق تری از خودروهای برقی نسبت به سایر ابزارها ارائه

می‌نماید. این شبیه‌ساز تحت نرم‌افزار متلب کار می‌کند و می‌تواند مدل‌های دقیقی از خودروهای برقی را در اختیار کاربر قرار دهد.

موضوع این پایان‌نامه طراحی بهینه کنترل کننده‌های فازی (on/off) به منظور کنترل و مدیریت بهینه منابع خودروهای برقی و برقی خورشیدی به منظور رسیدن به بهترین عملکرد می‌باشد. به منظور ارائه روشی بهینه برای کنترل و مدیریت بهینه منابع توان در این پایان‌نامه یک خودروی برقی و برقی خورشیدی دارای دو منبع تامین توان شامل باتری و ابرخازن در Advisor مدل سازی می‌گردد. به منظور بررسی و مطالعه این خودروها، باید آن را در سیکل‌های مختلف رانندگی مورد آزمایش قرار داد.

به منظور بهره‌وری و بهبود عملکرد خودروهای برقی باید سیستم کنترلی مناسبی طراحی شود. در این بین انتخاب مناسب منابع برای تامین توان و همچنین شارژ منابع از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مطالعات گوناگون کنترل کننده‌های متفاوتی پیشنهاد گردیده است. در این بین کنترل کننده‌های فازی برتری‌های خود را نسبت به سایر روش‌ها نشان داده‌اند. در این پایان‌نامه نیز استفاده از کنترل کننده فازی به منظور بهبود مدیریت استفاده از منابع شامل باتری و ابرخازن، پیشنهاد می‌گردد. در سیستم‌های فازی مهمترین عوامل نحوه تعریف توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و همچنین قوانین فازی می‌باشد. در نتیجه در این پایان‌نامه به منظور بهبود عملکرد کنترل کننده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و همچنین قوانین فازی تبیین می‌گردد.

به منظور بررسی عملکرد روش‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه کنترل کننده‌های پیشنهادی بر روی خودروی برقی و برقی خورشیدی در سیکل‌های استاندارد مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا نحوه عملکرد آن مشخص گردد.

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

بسیاری از کارهای اخیر آنهایی هستند که پیل سوختی و منبع هیبریدی ابرخازن [۷-۸] پیل سوختی و منبع هیبریدی باتری [۷-۹] و پیل سوختی و منابع هیبریدی ابرخازن و باتری [۱۰] را برای استفاده در خودروها با هم ترکیب می‌کند. از مقایسه مطالعات انجام گرفته در [۷ و ۱۱] نتایج نشان می‌دهد که با ترکیبی مناسب از منابع هیبریدی ابرخازن و باتری در خودروهای هیبریدی-الکتریکی پیل سوختی، این مجموعه می‌تواند یک سیستم کششی مناسب و عملی را رهبری کند.

موتور احتراق داخلی، از لحاظ قیمت و تکنولوژی بهترین و مهم‌ترین سوخت است، اما در طی سال‌های اخیر با شدت گرفتن بحران‌های نفتی، استفاده از منابع انرژی تجدید شونی مورد توجه قرار گرفته است، از این جمله می‌توان به خودروهای الکتریکی اشاره کرد که به سه دسته خودروهای الکتریکی (EV)، خودروهای الکتریکی هیبریدی (HEV) و خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV) تقسیم می‌شوند. در خودروهای الکتریکی به جای موتور درون‌سوز از یک موتور الکتریکی و به جای مخزن سوخت از یک باتری الکتریکی استفاده می‌شود، باتری‌ها هم از طریق اتصال به شبکه و هم از انرژی ترمز خودرو و حتی انرژی الکتریکی غیر شبکه ای مثل پیل‌های سوختی شارژ می‌شوند. از جمله مزایای خودروهای الکتریکی راه اندازی سریع، ذخیره انرژی سینتیکی خودرو در حالت توقف، آلاینده‌گی تقریباً صفر، راندمان بالا نسبت به خودروهای بنزینی، عدم مصرف انرژی در حالت سکون، حداقل نیاز به تعمیرات و نگهداری و پایین بودن قیمت موتور الکتریکی آن‌ها را می‌توان نام برد.

برای عیوب آن‌ها می‌توان به وابسته بودن آن‌ها به باتری، محدوده رانش و شتاب حرکت پایین، وزن بالای باتری‌ها، بالا بودن هزینه‌ی اولیه‌ی خودروها اشاره کرد. خودروهای هیبریدی (HEV) نوعی خودروی الکتریکی است که فاقد نقایص خودروهای الکتریکی معمول است و آن از دو یا چند منبع قدرت برای به حرکت در آوردن خودرو استفاده می‌کند، این اصطلاح بیشتر برای خودروهای هیبریدی الکتریکی به کار برده می‌شود که از یک موتور احتراق داخلی و یک یا چند موتور الکتریکی بهره می‌برند [۱۳-۱۴]. در فناوری خودروهای هیبریدی الکتریکی (HEV) معمولاً یکی از اجزاء به عنوان منبع ذخیره و دیگری برای

تبدیل انرژی استفاده می‌شود، ایراد فعلی این فناوری هزینه‌ی بالای تمام شده‌ی خودروهای تولید شده است. به طور کلی این فناوری در چهار ساختار سری، موازی، سری موازی و مجتمع عرضه می‌شوند [۱۳ و ۱۵]. نوع دیگر خودروها، خودروهای هیبریدی پلاگ این (PHEV) هستند که برای از بین بردن معایب خودروهای هیبریدی الکتریکی طراحی شده‌اند. آن‌ها خودروهای هیبریدی به همراه باتری-های شارژ شونده‌اند که می‌توانند با اتصال یک دو شاخه به منبع برق خارجی شارژ شوند و نسبت به خودروهای (HEV) دارای باتری‌های بیشتری هستند. برای کنترل منابع ذخیره سازی انرژی کارهای گوناگونی در گذشته انجام شده است. در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. مراجع [۱۶-۱۷] یک استراتژی کنترلی برای کاهش میزان انرژی مصرفی در خودروهای برقی که از پیل سوختی و ابرخازن برای ذخیره انرژی استفاده می‌کنند، ارائه نموده‌اند. یک روش کنترلی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در [۱۸] ارائه شده است. خودرو برقی مورد مطالعه در این مرجع از باتری و پیل سوختی برای تامین انرژی استفاده می‌کند. روش ارائه شده در این مرجع به صورت عملی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. یک استراتژی بهینه سازی انرژی مصرفی نیز در مرجع [۱۹] برای یک خودرو برقی با پیل سوختی و ابرخازن ارائه شده است. در این مرجع وظیفه خازن‌ها تامین انرژی در لحظاتی است که آهنگ مصرف انرژی بالا است. یک استراتژی کنترلی تطبیقی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در خودروهای برقی با آرایش موازی در [۲۰] ارائه شده است. این استراتژی به مرور زمان با سیکل‌های رانندگی پیموده شده هماهنگ می‌شود. به هدف کاهش انرژی مصرفی از یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی شامل پیل سوختی و ابرخازن، یک استراتژی کنترلی در [۲۱] ارائه شده است. سیستمی که در این مرجع مورد مطالعه قرار گرفته است، تنها از یک مبدل استفاده می‌کند. این پایان نامه یک استراتژی بهینه برای مدیریت مصرف انرژی در یک خودرو برقی با منابع تولید انرژی شامل باتری، ابرخازن و پیل سوختی، که بر پایه تصمیم‌گیری فازی قرار دارد، ارائه می‌کند. مرجع [۲۲] یک کنترل

کننده فازی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک خودروی برقی شامل پیل سوختی و ابرخازن معرفی کرده است.

۱-۳- اهداف پایان‌نامه

اهداف این پایان‌نامه بطور کلی شامل موارد زیر می‌باشد

۱. مدل‌سازی خودروی ذکر شده در نرم افزار Advisor

۲. استفاده از کنترل کننده فازی و کنترل کننده دو وضعیت (on/off) به منظور مدیریت و

کنترل بهینه منابع در خودروهای برقی و برقی خورشیدی شامل باتری و ابرخازن

۳. طراحی و پیاده سازی کنترل کننده فازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای که قوانین و

توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم فازی توسط الگوریتم ژنتیک تعیین گردند.

۴. مقایسه نتایج بدست آمده از دو کنترل کننده فازی و کنترل کننده (on/off) اشاره شده در

بالا و بررسی دلایل تفاوت‌های موجود.

۱-۴- راهنمای پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم گردیده است. در فصل دوم این پایان‌نامه مروری اجمالی بر

خودروهای برقی، مزایا و معایب آن‌ها، دلایل ظهور و گسترش استفاده از آن‌ها و همچنین انواع این

خودروها ارائه گردیده است. از شکل‌ها و نمودارها برای بیان بهتر مطالب بهره برده شده است

در فصل سوم به انواع ذخیره‌سازهای انرژی در خودروی برقی شامل باتری و ابرخازن و پیل‌های

سوختی و سلول‌های خورشیدی و توضیحاتی در مورد هر کدام از آن‌ها اشاره شده است.

نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در محیط متلب و با استفاده از شبیه‌ساز Advisor در فصل

چهارم این پایان‌نامه ارائه گردیده است. در این فصل، مدیریت انرژی به روش کنترل فازی پایه و فازی

بهینه و مدیریت دو وضعیت (on/off) بهینه بر روی خودروی برقی و برقی خورشیدی و مقایسه این

دو روش مدیریتی با یکدیگر در سیکل‌های رانندگی ارائه شده، انجام شده است.

فصل پنجم و پایانی این مطالعه به نتیجه‌گیری و پیشنهادات اختصاص دارد. ابتدا نتایج بدست

آمده از شبیه‌سازی به اختصار بررسی گردیده‌اند و سپس پیشنهاداتی برای ادامه این مطالعه آورده

شده است.

فصل دوم

**خودروهای برقی
و منابع ذخیره ساز
انرژی**

۲-۱- مقدمه

از تولید خودروهای دارای موتور درون‌سوز در حدود ۱۰۰ سال می‌گذرد. با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای خودروهای سواری در دهه گذشته افزایش یافته که موجب افزایش تقاضا برای سوخت‌های فسیلی شده است. با توجه به بحران‌های مختلف انرژی (همانند بحران ناشی از گران شدن قیمت نفت در دهه ۷۰ میلادی)، نگرانی‌ها در این رابطه بیشتر شد. مشکل دیگری که در ارتباط با این افزایش تقاضای خودرو مطرح است، آلودگی است. اثر گازهای گلخانه‌ای که موجب گرمایش زمین شده است، مسئله‌ای جدی برای دوران معاصر است. مراکز و نهادهای دولتی استانداردهای سخت‌تری را برای مصرف سوخت و آلودگی‌های ناشی از آن به تصویب رسانده‌اند. رسیدن به این استانداردها، با توجه به اینکه فناوری درون‌سوز پس از گذر ۱۰۰ سال به رشد کاملی رسیده است، از طریق فناوری‌های الکتریکی خودروها ممکن است که با کمک آن می‌توان مصرف سوخت را بهبود داد و از آلودگی‌های ناشی از خودرو کاست. خودروی الکتریکی چندگانه برای برطرف کردن اشکالات خودروهای درون‌سوز و خودروهای الکتریکی با نیروی محرکه باتری طراحی شده است.

امروزه با توجه به آلودگی‌های ناشی از خودروها و محدودیت‌های سوخت فسیلی، کارخانه‌های خودروسازی بزرگی مانند: تویوتا، هوندا، میتسوبیشی، فورد، فیات، جنرال موتورز، دایملرکرایسلر، نیسان، پژو و ... گام مهمی در مقابله با این امر برداشته‌اند که از جمله آنها می‌توان به تولید خودروهای هیبریدی^۲ 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 بنام 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 می‌شود. Piper در سه سال و نیم 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 پائین

² - Hybrid Vehicle

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^۳ PNGV در آمریکا آغاز گردید، این خودروها به طور جدی پیگیری نشدند [۲۳-۲۴].

خودروی درون‌سوز، تا قبل از شروع قرن بیستم از تکنولوژی پائین‌تری نسبت به خودروهای الکتریکی برخوردار بودند. با این حال عمده معایب خودروهای الکتریکی، اگر چه در طول قرن بیستم بهبود زیادی پیدا کرده‌اند ولی همچنان با برجا هستند. معایب این خودروها به قرار زیر هستند:

۱- وزن زیاد منبع انرژی: خودروهای الکتریکی انرژی مورد نیاز خود را عمدتاً توسط باتری تامین می‌کنند که باعث می‌شود یک منبع انرژی بزرگ و سنگین نیاز داشته باشند. سنگینی منبع انرژی موجب افزایش وزن خودرو می‌شود که خود موجب افزایش انرژی ذخیره شده در جرم خودرو می‌شود و این اگر چه در بعضی موارد خوب است ولی بازیابی انرژی را با مشکل روبرو می‌کند.

۲- ذخیره انرژی برای مسافت کوتاه: اگر چه تکنولوژی باتری‌ها هنوز در حال تکمیل شدن است ولی با باتری‌های کنونی و برای یک خودرو معمولی شخصی با هر بار شارژ کامل باتری می‌توان 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 باتری‌ها زمان مصرف می‌شود. هر چند خودروهای الکتریکی‌ای که به بازار عرضه شده‌اند در مدت زمان کم‌تری شارژ می‌شوند یا مسافت طولانی‌تری را طی می‌کنند. اما این دو خصوصیت در مقابل همدیگر قرار دارند، یعنی با کاهش زمان شارژ مسافت کم‌تری را می‌توان با خودرو طی کرد.

³ .Partnership for a New Generation Vehicle

۴- محدودیت زمانی عمر باتری‌ها: عمر باتری‌ها در این خودروها محدود است و نیاز به مراقبت و نگهداری نیز دارند. باتری‌های مورد استفاده در خودروهای الکتریکی یا هایبرید به تعداد دفعات مشخصی می‌توانند شارژ شوند.

از طرف دیگر مزایای خودروی الکتریکی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- بهره بالا تقریباً در همه گستره سرعت: بر خلاف خودروی درون‌سوز که بهره آن به سرعت خودرو وابستگی شدید دارد ولی در خودروی الکتریکی این وابستگی به شکل خودروی درون‌سوز وجود ندارد و بهره یک موتور الکتریکی به راحتی به ۹۰ درصد می‌رسد و با تغییر سرعت هم خیلی تغییر نمی‌کند.

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 نمی‌شویم ولی کفایت بدانیم که این حالت موتور محرک از حد کار موتوری وارد حالت ژنراتوری شده و قسمتی از انرژی را به منبع باز می‌گرداند و در عین حال یک نیروی ترمزی ایجاد می‌کند. 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 باتری‌ها نمی‌توانیم 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 زیان‌آور: یک خودروی الکتریکی به علت نداشتن انتشارات زیان‌آور می‌تواند نقش زیادی در کاهش آلودگی هوا در شهرها داشته باشد.

۲-۲- انواع خودروهای برقی

بطور کلی خودروهای برقی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۲-۲-۱- خودروهای الکتریکی (EV)

این خودروها دارای موتور برقی و باتری‌هایی برای تامین انرژی الکتریکی هستند. از انرژی باتری‌ها هم برای تامین نیروی محرکه موتور و هم برای تامین انرژی لازم برای سایر تجهیزات استفاده

می‌شود. این باتری‌ها هم از طریق شبکه و هم از طریق انرژی تولیدی توسط خود خودرو در سیکل-های ترمزی شارژ می‌شوند. همچنین در انواع دیگری از این خودروها، باتری خودرو از منابع الکتریکی دیگری نظیر پیل‌های سوختی نیز شارژ می‌شوند. مزایای این دسته از خودروهای برقی عبارت‌اند از:

- کاملاً عاری از گازهای گلخانه‌ای هستند.

- سر و صدای بسیار کمی ایجاد می‌کنند.

- بهره بسیار بالاتری نسبت به خودروهای احتراق داخلی دارند.

- قیمت موتورهای الکتریکی آن‌ها کم است.

عیب اصلی این خودروها وابستگی کامل به باتری است. قیمت این باتری‌ها زیاد است و همچنین تکنولوژی آن‌ها هنوز به اندازه کافی پیشرفت نکرده است که ظرفیت و چگالی انرژی قابل استحصال از آن‌ها قابل مقایسه با سوخت‌های فسیلی باشد.

۲-۲-۲- خودروهای الکتریکی هیبریدی (HEV)

این موتورها هم دارای موتور احتراق داخلی و هم دارای موتور الکتریکی هستند. باتری با ظرفیت کافی بین یک تا سه کیلووات-ساعت با قابلیت شارژ از طریق موتور احتراق داخلی و سیکل-های ترمزی در طول رانندگی در این خودروها قرار داده شده است. در سرعت‌های پایین و در طول سیکل‌های شتاب پایین با خاموش شدن موتور احتراقی، انرژی حرکتی خودرو از طریق باتری‌ها تامین می‌گردد.

در دهه گذشته حدود یک و نیم میلیون دستگاه خودرو برقی هیبریدی به فروش رفته است. در کشورهای توسعه یافته نظیر ایالات متحده آمریکا، حدود سه درصد از خودروهای موجود هیبریدی هستند.

عیوب این خودروها شامل عدم امکان شارژ باتری از طریق شبکه و وابستگی به موتور احتراق داخلی، آلاینده‌گی و عدم قابلیت کارکرد خودرو بدون نیاز به موتور احتراق داخلی است.

برای غلبه بر مشکلات خودروهای برقی خالص، خودروی هیبریدی از ترکیب دو منبع توان ساخته شده‌اند. یک خودروی هیبریدی در حالت ایده آل تقریباً تمام مزایای خودروی الکتریکی و درون‌سوز را به صورت توأم خواهد داشت، ضمن این‌که این ترکیب باعث می‌شود خودروی هیبریدی، عیوب هیچ‌کدام را در حالت ایده آل نداشته باشد. لذا استفاده از خودروی هیبریدی یک راه حل اجتناب‌ناپذیر در سال‌های آینده است.

خودروهای هیبریدی به خودروهایی گفته می‌شود که دارای دو موتور محرکه جداگانه هستند. در خودروهای هیبرید برقی، یکی از این موتورها برقی و معمولاً نوع دیگر درون‌سوز است که سوخت آن می‌تواند بنزین، گازوئیل، الکل و ... باشد. اصولاً خودروهای هیبریدی به دو گروه کلی موازی و سری تقسیم می‌شوند. در نوع سری، دو موتور به طور مستقیم به یکدیگر متصل بوده ولی در نوع موازی هر یک از دو موتور می‌توانند به طور جداگانه برای حرکت دادن خودرو استفاده شوند.

یکی از معایب موتورهای بنزینی یا گازوئیلی امروزی این است که در دوره‌های پائین که بازده و بهره آن‌ها بیشتر است، توان کمی تولید می‌کنند. اما بر خلاف موتورهای درون‌سوز، موتورهای برقی در دوره‌های کم، گشتاور زیادی را با بهره بالا تولید می‌کنند. بنابراین با در کنار یکدیگر قرار دادن این دو موتور، می‌توان ضمن دستیابی به توان کافی برای حرکت و شتاب‌گیری، مصرف سوخت را نیز کاهش داد. یکی از ویژگی‌های مهم و جالب خودروهای هیبرید برقی در این است که باتری‌های آن، در مواقعی که موتور درون‌سوز بیش از میزان مورد نیاز برای به حرکت درآوردن خودرو، نیرو تولید می‌کند یا با به کارگیری مستقیم قدرت موتور، هنگام ترمزگیری و یا حرکت در سراسیمه (بسته به نوع سری یا موازی بودن موتورها)، شارژ شده و برق مورد نیاز خود را تامین می‌کنند. این یکی از مهمترین ویژگی‌های خودروهای هیبریدی می‌باشد که در زمان‌هایی که باتری خودرو به شبکه متصل است می‌توان از انرژی باتری به عنوان ژنراتور برای شبکه استفاده کرد. آنچه که در تمام خودروهای هیبرید برقی جلوه می‌کند، مدیریت و موازنه الکتریکی و هوشمند ارتباط دو موتور با یکدیگر است.

خودروهای هیبریدی، نوع تعمیم یافته خودروهای برقی خالص می‌باشند که معایب خودروهای برقی خالص تا حدود زیادی در آن‌ها برطرف گردیده است و می‌توان گفت معایب خودروهای احتراق داخلی نیز تا حدودی در آن‌ها برطرف شده است. از مزایای مهم این خودروها نسبت به خودروهای

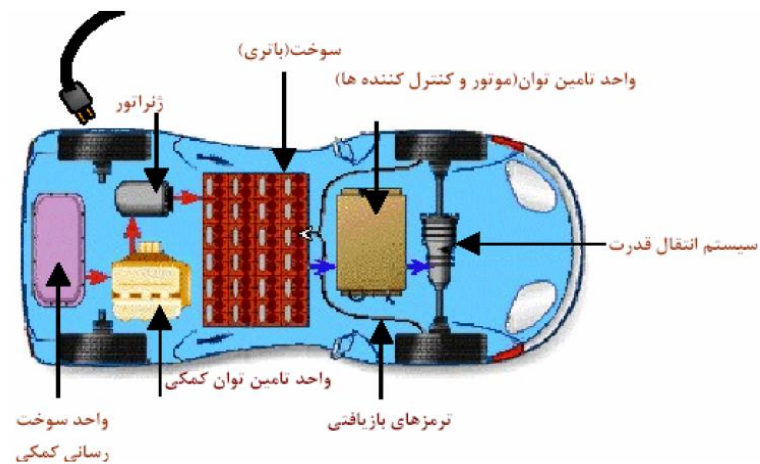
احتراق داخلی، کارکرد در دور و بار ثابت بوده و به اصطلاح در نقطه بهینه خودکار می‌کنند که این امر باعث بالا رفتن بازده موتور و کاهش آلودگی و پائین آمدن مصرف سوخت می‌گردد و دیگر این که به هنگام ترمز گیری و یا شتاب منفی، انرژی به صورت الکتریکی در باتری‌ها ذخیره می‌شود که همین امر باعث کارکرد کمتر موتور احتراقی خواهد شد و در نتیجه منجر به کاهش آلودگی و پائین آمدن مصرف سوخت می‌گردد. به عنوان مثال تویوتا پریوس (Toyota Prius) با موتور ۴ سیلندر ۱۵۰۰ سی‌سی مصرف سوختی معادل ۲/۴ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر دارد مزیت دیگر این خودروها نسبت به خودروی برقی خالص، قابلیت پیمودن مسیرهای طولانی در هر بار شارژ کردن باتری می‌باشد. خودروهای هیبریدی از ساختارهای مختلفی برخوردارند. اما الزاماً یک خودروی هیبریدی از یک سیستم ذخیره انرژی، یک واحد تولید قدرت و یک سیستم انتقال قدرت تشکیل شده است.

۲-۲-۱- انواع خودروهای الکتریکی هیبریدی

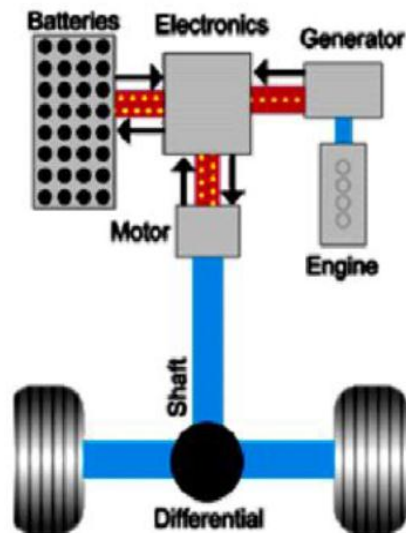
با توجه به ساختار کنترلی و طریقه اتصال اجزا به یکدیگر، خودروهای هیبریدی به سه نوع سری، موازی و سری- موازی تقسیم می‌شوند. هر یک از انواع در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲-۲-۱-۱- سیستم هیبرید سری

در این دسته از خودروها، موتور احتراق داخلی یک ژنراتور را می‌چرخاند و این ژنراتور، هم باتری را شارژ می‌کند و هم یک موتور الکتریکی را به حرکت در می‌آورد و بدین صورت انتقال قدرت صورت می‌گیرد. در این ساختار، موتور احتراقی مستقیماً به سیستم انتقال قدرت وصل نمی‌شود. این سیستم به خاطر این سری نامیده می‌شود که قدرت، به صورت سری به چرخ‌ها منتقل می‌گردد و از آن برای رانش موتورهای با قدرت کم و با رنج کارکرد بهینه استفاده می‌شود. اجزای این سیستم در زیر نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): خودروی هیبریدی با سیستم سری [۲۵]

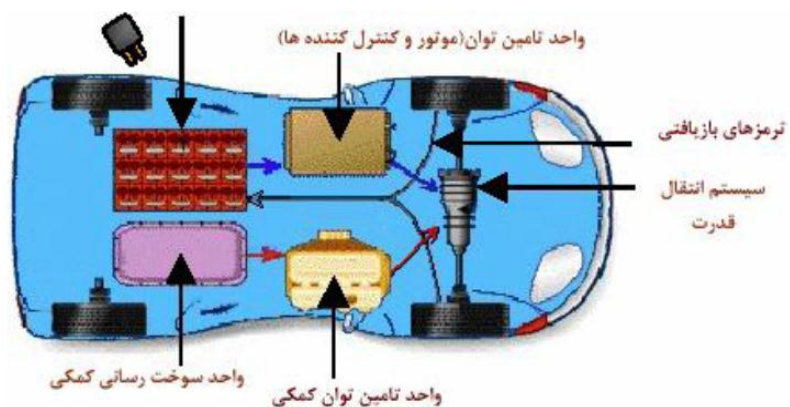


شکل (۲-۲): موتور هیبریدی سری [۲۵]

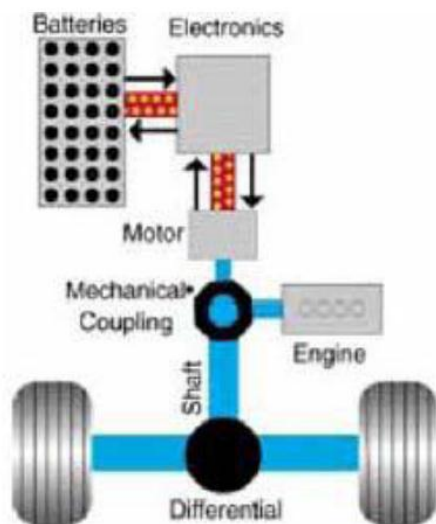
۲-۲-۱-۲-۲- سیستم هیبرید موازی

در این نوع سیستم، موتور احتراقی و موتور الکتریکی به صورت موازی چرخ‌ها را به حرکت در می‌آورند. در این سیستم موتور الکتریکی توسط باتری و موتور احتراقی توسط منبع سوخت فسیلی مستقیماً تغذیه می‌گردند. در این حالت ژنراتور حذف شده و باتری با تغییر حالت موتور الکتریکی به ژنراتور، شارژ می‌گردد. از آنجایی که این سیستم فقط یک موتور دارد، موتور الکتریکی نمی‌تواند

همزمان هم باتری را شارژ کند و هم باعث رانش چرخ‌ها گردد. این سیستم در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



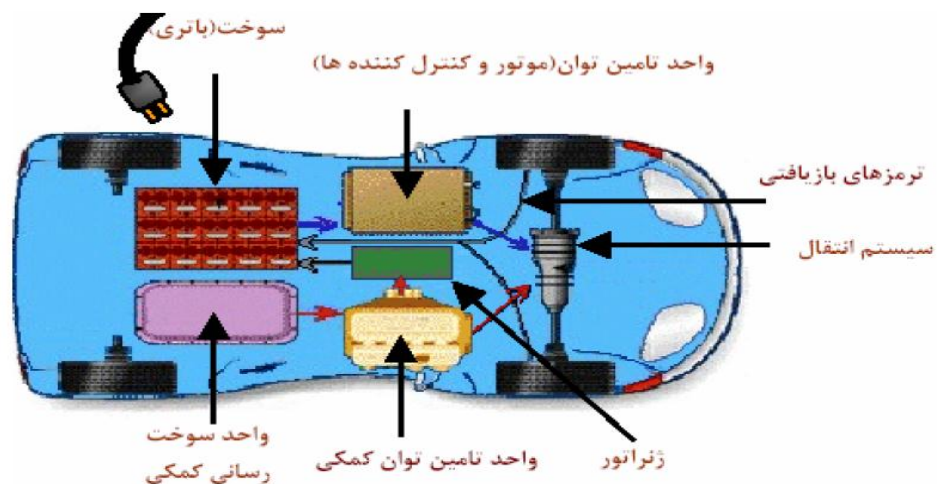
شکل (۲-۳): خودروی هیبریدی با سیستم موازی [۲۵]



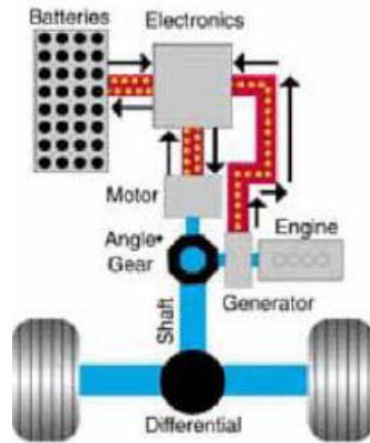
شکل (۲-۴): موتور هیبریدی موازی [۲۵]

۲-۲-۱-۳ سیستم هیبریدی سری - موازی

این طرح بگونه‌ای است که می‌توان از آن در شرایط مختلف به صورت هیبرید سری یا موازی استفاده نمود. در این سیستم با بهره‌گیری از فن آوری پیشرفته، امکان استفاده از سیستم احتراقی و سیستم الکتریکی بطور جداگانه و هم‌زمان وجود دارد. به این ترتیب در مواقع رانندگی در شهر این خودروها کاملاً الکتریکی و بدون آلودگی و در سرعت‌های بالا و در محدوده برون شهری می‌تواند بطور مستقل، احتراقی و یا ترکیبی از دو سیستم باشد. در مواقعی چون شتاب‌گیری سریع، هر دو سیستم با هم عمل می‌کنند. چنین ایده‌ای فقط به کمک فن آوری مدرن در یک خودرو سواری قابل اجراست. معمولاً چنین سیستم‌هایی از نوع ترکیبی هستند و با بهره‌گیری از یک استراتژی کنترلی مناسب عملاً همراه با فراهم آوردن عملکرد مناسب، سطح شارژ باتری‌ها نیز در حد خوبی نگهداری می‌شود. بدین ترتیب این خودرو می‌تواند چه در شهر و چه در جاده به یک خودروی متداول امروزی تبدیل گردد. در این سیستم دو موتور الکتریکی وجود دارد که بسته به شرایط می‌تواند ترکیبی از آن‌ها به کار آیند و قابلیت تبدیل به ژنراتور را نیز دارند. این سیستم در خودرو Estima, Prius شرکت تویوتا استفاده شده است. اجزای این سیستم در شکل نشان داده شده است.



شکل (۲-۵): خودروی هیبریدی با سیستم سری - موازی [۲۵]



شکل (۲-۶): موتور هیبریدی سیستم سری - موازی [۲۵]

خصوصیات زیر را می‌توان برای خودروهای هیبریدی سری- موازی که بعنوان آرایش برتر شناخته شدند برشمرد:

۱- کاهش اتلاف انرژی: در این خودروها سیستم بطور اتوماتیک در حالت (درجا) خاموش می‌شود و بدین ترتیب از به هدر رفتن انرژی در مکان‌های دارای چراغ قرمز جلوگیری می‌شود. سیستم به محض فشردن کلاچ توسط راننده برای اقدام به حرکت به طور اتوماتیک و بی‌صدا روشن می‌شود.

۲- ذخیره سازی و برگرداندن انرژی: انرژی که در هنگام شتاب منفی و ترمز گیری هدر می‌رود را به انرژی الکتریکی تبدیل نموده و از اتلاف آن جلوگیری می‌کند. مقدار این انرژی برابر است با:

$$K_e = \frac{1}{2} M V^2$$

این انرژی طی ترمز گیری معمولی به هدر می‌رود و بخش زیادی از آن می‌تواند در ترمزهای خودروهای هیبریدی بازیافت شود.

۳- کمک به کارکرد موتور احتراقی: موتور الکتریکی در زمان شتاب گیری و در جاده‌های شیب دار، به کارکرد موتور احتراقی کمک می‌کند.

۴- کارکرد با بازدهی بالا: این سیستم با یک استراتژی کنترلی مناسب، بازدهی کلی خودرو را در تمام شرایط کاری در حالت بیشینه نگه می‌دارد. بدین صورت که موتور الکتریکی مانند یک جبران‌ساز در شرایطی که قدرت موتور احتراق داخلی کافی نیست وارد عمل می‌گردد و در مواقعی که قدرت موتور احتراق داخلی بیشتر از نیاز خودرو است، انرژی مازاد در باتری‌ها ذخیره می‌گردد.

۲-۲-۳- خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV)

این خودروها برای از بین بردن معایب خودروهای برقی هیبریدی طراحی شده‌اند. این خودروها قابلیت شارژ از طریق شبکه را دارا می‌باشند. ظرفیت باتری در این خودروها بالاتر (حدود ۵ برابر) است. در اینگونه خودروها نیز سیستم موتور احتراق داخلی نیز به طور کامل وجود دارد. تفاوت این دسته از خودروهای الکتریکی با نوع هیبریدی آن‌ها این است که باتری خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه، قابلیت تخلیه سریع و شارژ سریع را دارا است. در این شرایط همچنین قیمت باتری خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از خودروهای الکتریکی بالاتر است. با این وجود دلیل نیاز به تعداد کم‌تر از این نوع باتری‌ها، قیمت کل باتری‌های خودروهای الکتریکی هیبریدی از قیمت کل باتری‌های خودروهای الکتریکی کم‌تر خواهد بود. موارد زیر در مورد این خودروها قابل بیان است:

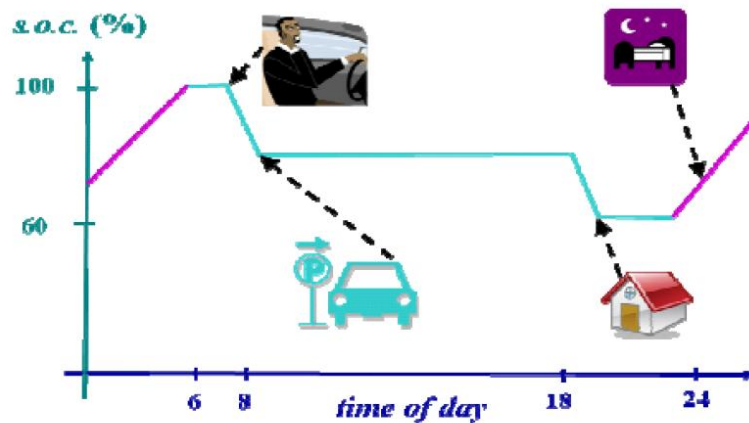
- در تولید انبوه قیمت باتری این خودروها به ۷۵۰ دلار بر کیلو وات-ساعت می‌رسد. برای یک اتومبیل با برد متوسط ۴۰ کیلومتر با باتری ۸ کیلو وات-ساعتی، قیمت کل باتری‌ها حدود ۶۰۰۰ دلار خواهد بود.
- چنانچه عمر مفید خودرو ۲۰۰ هزار کیلومتر باشد، هزینه سوخت صرفه‌جویی شده حدود ۴۰۰۰ دلار خواهد بود، که کم‌تر از هزینه باتری است.
- کاهش قیمت باتری به ۵۰۰ دلار بر کیلو وات-ساعت باعث ایجاد رقابت بین خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه و خودروهای مبتنی بر سوخت‌های فسیلی می‌شود.

۲-۳- ویژگی‌های ساختاری خودروهای برقی

گستره نوعی تجاری خودروهای برقی، یعنی همان قابلیت ذخیره آنها از ۱kwh تا ۳۰ kwh است. باتری‌ها دارای پاسخ بسیار سریعی هستند. یعنی می‌توان در حدود یک هزارم ثانیه به ماکزیمم خروجی‌شان دست پیدا کرد. این سرعت راه‌اندازی در هیچ یک از نیروگاه‌های سریع راه‌انداز وجود ندارد و این مورد گزینه خوبی برای تنظیم فرکانس و ذخیره چرخان به شمار می‌آید. این باتری‌ها می‌توانند در حدود ۵ ساعت یا کم‌تر دوباره شارژ شوند. رنج توان خروجی این باتری‌ها از ۰/۲ تا ۶ کیلو وات است.

یک پارامتر مهم در باتری‌ها^۴ حالت شارژ نام دارد. حالت شارژ بعنوان نسبت انرژی ذخیره شده در یک باتری به کل ظرفیت باتری تعریف شده است که بین ۰ و ۱ متغیر است. صفر برای موقعی است که باتری کاملاً دشارژ شده و ۱ زمانی که باتری کاملاً شارژ شده است. بنابراین وقتی که انرژی در باتری ذخیره می‌شود حالت شارژ در حال افزایش است و زمانی که انرژی باتری در حال تخلیه است، حالت شارژ نیز رو به کاهش می‌رود. خودروهای برقی در خلال روز، روندی را پشت سر می‌گذارند که در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. یعنی از وقتی مالک خودرو در صبح به سر کار می‌رود و خودرو را در پارکینگ، پارک می‌کند و زمانی که بعد از ظهر از سرکار بر می‌گردد و خودرو را برای شارژ مجدد در شب به شبکه وصل می‌کند، یک روز کامل سپری می‌شود.

⁴ - State Of Charge



شکل (۲-۷): سیر تغییر حالت شارژ یک خودرو برقی برای یک روز نوعی.

باتوجه به شکل توان مینیمم حد تغییرات برای حالت شارژ را ۶۰ درصد فرض کرد. روی هم رفته می‌توان تغییرات عملکرد باتری را برای جذب یا تخلیه انرژی نزدیک این حد تغییرات فرض کرد. یعنی می‌توان گفت که در طول روز، خودروها با حالت شارژ حداقل ۶۰ درصد به شبکه متصل هستند. زمانی که باتری انرژی مصرف می‌کند نقش مصرف کننده را دارد و زمانی که انرژی به شبکه تحویل می‌دهد نقش تولید کننده را دارد.

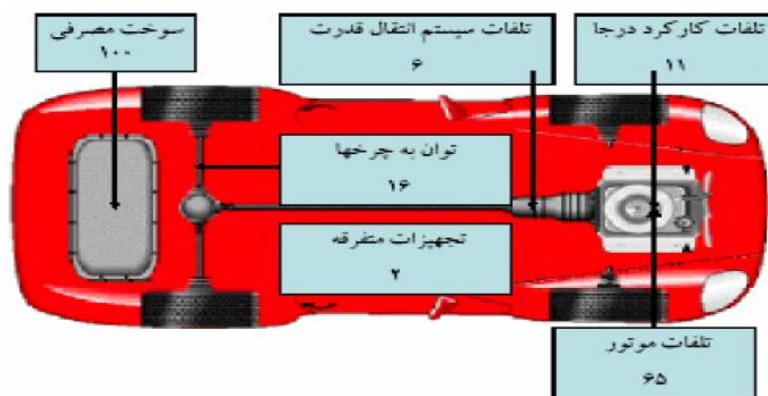
۲-۴- مقایسه بازده استفاده از انرژی در خودروهای معمولی و هیبریدی

در شکل‌های زیر بازدهی دو خودروی هیبریدی و معمولی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در خودروهای هیبریدی علاوه بر این که سوخت مصرفی تا ۵۰ درصد کاهش یافته، میزان تلفات نیز در سایر بخش‌ها کاهش یافته و حتی در هنگام ترمزگیری مقدار ۴+ درصد انرژی به سیستم تزریق می‌گردد. (مقدار تلفات انرژی به درصد نشان داده شده است.)

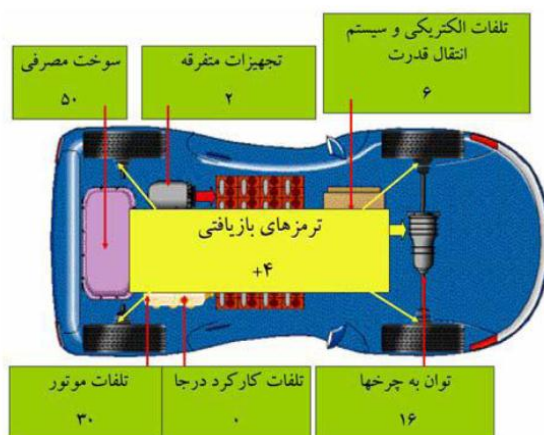
در شکل (۲-۸) که مربوط به خودروی معمولی است، اگر انرژی حاصله از سوخت مصرفی را ۱۰۰ درصد فرض کنیم، ۶۵ درصد آن در موتور مصرف شده و بقیه آن در بخش‌های مختلف خودرو هدر می‌رود که مجموع توان مصرفی در موتور و تلفات توان برابر انرژی سوخت مصرفی است.

در شکل (۲-۹) که مربوط به خودروی هیبریدی است، سوخت مصرفی با شرایط یکسان و کارکرد و قدرت مساوی، نسبت به خودروی معمولی ۵۰ درصد کاهش یافته است. در این‌جا نیز اگر

سوخت مصرفی را ۵۰ درصد فرض کنیم، ۳۰ درصد آن در موتور مصرف می‌شود و بقیه آن به صورت تلفات در بخش‌های دیگر هدر می‌رود. پس همان‌طور که معلوم است خودروهای هیبریدی (صرف نظر از تلفات بخش برقی آن‌ها)، نسبت به خودروهای معمولی ۵۰ درصد سوخت کم‌تری را مصرف می‌کنند. البته بخش برقی خودروهای هیبریدی به علت بازدهی بالا تلفات بسیار کم‌تری در مقایسه با بخش درون‌سوز دارد.



شکل (۲-۸): درصد تلفات خودروهای معمولی [۲۵]



شکل (۲-۹): درصد تلفات خودروهای هیبریدی

انرژی در یک خودروی برقی باید قبل از حرکت ذخیره شود و در زمانی که به آن نیاز است به صورت الکتریکی تبدیل گردد. با این وجود، برای ذخیره سازی این انرژی می توان آن را به صورت های دیگر انرژی تبدیل نمود که البته هر نوع سیستم برای کارایی مناسب نیاز به وجود یک مبدل خوب دارد. گسترش فناوری برای ذخیره سازی انرژی الکتریکی جهت آماده بودن توان ضروری در صورت نیاز، در خودروهای برقی جایگاه ویژه ای دارد.

بنا بر تعریف یک سیستم فیزیکی با قابلیت اخذ انرژی برای جذب و تغذیه الکتریسیته در زمان های بعد را یک منبع ذخیره ساز انرژی الکتریکی، می نامند. در این قسمت با توجه به اهمیت منابع ذخیره ساز در خودروهای الکتریکی به بررسی انواع تکنولوژی های ذخیره سازی در این خودروها پرداخته شده است.

۲-۵- باتری

در تمامی خودروهای برقی باتری یک عنصر کلیدی است. یک باتری شامل چند پیل الکتریکی متصل به هم است که خود شامل الکترودهای مثبت و منفی و الکترولیت هستند و انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. باتری اسید سرب که در خودروهای الکتریکی اولیه مورد استفاده قرار می گرفت جرم نسبتا بالا و توان تولید انرژی الکتریکی نسبتا کمی بود. امروزه با پیشرفت های تکنولوژیکی در این زمینه باتری های بسیار سبک تر با توان تولید انرژی بسیار بالا تولید شده اند. در مورد باتری پارامترهایی برای شناخت کارایی آن وجود دارد که در این جا معرفی می شوند.

۲-۵-۱- ولتاژ پیل و باتری

وقتی که یک پیل الکتریکی توان نامی را تحویل می دهد، ولتاژ آن تقریبا برابر ولتاژ نامی اعلام شده است. پیل ها برای تامین ولتاژ نامی باتری با هم سری می شوند. ولتاژ نامی باتری ها ۶ یا ۱۲ ولت است که از اتصال سری آن ها مقادیر مختلفی بوجود می آید. ولتاژ باتری با توجه به توان خروجی آن تغییر می کند. دلیل این امر وجود مقاومت داخلی خود باتری است.

۲-۵-۲- ظرفیت شارژ

به طور نادقیق ظرفیت یک باتری برحسب آمپر- ساعت بیان می‌شود. در اصل واحد آن در سیستم SI کولن است. یک کولن معادل ظرفیت جاری ساختن یک آمپر در یک ثانیه است. معمولاً یک باتری توان تحویل ظرفیت نامی خود را ندارد. همچنین آهنگ دشارژ باتری بر روی ظرفیت قابل تحویل آن تاثیرگذار است. هرچه آهنگ تحویل توان بیشتر باشد باتری کم‌تر از ظرفیت نامی خود می‌تواند ارائه دهد. دلیل این امر واکنش‌های شیمیایی غیر عادی در اجزای باتری است. برای یک باتری یک جریان شارژ و یک جریان دشارژ مشخص بیان می‌شود. این عدد به صورت ضربی از ظرفیت باتری بیان می‌شود.

۲-۵-۳- انرژی ذخیره شده

انرژی ذخیره شده در یک باتری بستگی به ولتاژ آن و شارژ ذخیره شده دارد. برای باتری‌ها این پارامتر با وات- ساعت بیان می‌گردد. باید توجه داشت که بنابر توضیحات بخش قبل، با افزایش جریان هم ولتاژ و هم ظرفیت کاهش می‌یابد و باتری به سرعت خالی می‌شود.

۲-۵-۴- انرژی ویژه

انرژی ویژه مقدار انرژی ذخیره شده بر هر کیلوگرم از جرم باتری می‌باشد. واحد آن وات-ساعت بر کیلوگرم است. همچنین چگالی انرژی بر حسب وات-ساعت بر متر مکعب تعریف می‌شود که به کمک این پارامتر و با توجه به انرژی مورد نیاز می‌توان حجم باتری را بدست آورد.

۲-۵-۵- توان ویژه

مقدار توان فراهم شده بر هر کیلوگرم از جرم باتری می‌باشد. از آنجایی که توان خارج شده بیشتر به بار متصل شده وابسته است تا به خود باتری، مقدار توان ویژه قابل تغییر است.

همانطور که گفته شد، باتری‌ها یک از اجزای ضروری خودروهای هیبریدی هستند. گرچه تعداد کمی از تولیدات خودروهای هیبریدی با باتری‌های پیشرفته در بازار عرضه شده‌اند اما هیچ کدام از باتری‌های رایج یک ترکیب قابل قبول اقتصادی از توان، بهره انرژی و طول عمر را برای حجم بالای تولید خودرو ارائه نداده‌اند. ویژگی‌های مطلوب باتری‌های با توان بالا برای کاربردهای خودروهای هیبریدی شامل این موارد است: پیک و توان مخصوص تکانه بالا، انرژی مخصوص بالای توان تکانه، پذیرش شارژ بالا برای بیشینه کردن بهره‌وری ترمز واکنشی و طول عمر طولانی. روش‌ها و طراحی‌های در حال توسعه برای هماهنگی مجموعه به صورت الکتریکی و حرارتی، روش‌های دقیق در حال پیشرفت برای تعیین وضع شارژ باتری، باتری‌های بادوام در حال پیشرفت و قابلیت بازاریابی، چالش‌های تکنیکی دیگر هستند.

در مورد باتری‌ها در بحث انواع خودروهای برقی توجه به این نکته لازم است که باتری خودروهای الکتریکی ظرفیت بالایی دارد، در حالی که در خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه، چگالی انرژی دارای اهمیت بیشتری است.

سایر پارامترهای حائز اهمیت باتری‌ها شامل دوام باتری، حساسیت نسبت به دما، زمان شارژ و قیمت هستند. با توجه به اهمیت بسیار بالای نقش باتری در خودروهای الکتریکی و خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه، همکاری‌های دو جانبه‌ای میان خودروسازان و باتری‌سازان در کشورهای مختلف انجام می‌شود. از جمله خودروساز بزرگ آلمانی BMW به تازگی، باتری‌های ساخت شرکت سامسونگ کره را برای استفاده در اتومبیل‌های الکتریکی خود مورد توجه قرار داده است.

قیمت بالای خودرو بزرگ‌ترین مانع گسترش فناوری‌های مرتبط با این زمینه است. برای داشتن دید نسبی از قیمت باتری خودروهای برقی موارد زیر می‌تواند مفید باشد:

- باتری خودروهای الکتریکی: ۵۰۰ تا ۶۰۰ دلار بر کیلو وات-ساعت که تا سال ۲۰۲۰ در

برنامه‌های جهانی این صنعت لازم است تا ۴۰۰ دلار بر کیلو وات-ساعت کاهش یابد.

- باتری خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه: ۷۵۰ دلار بر کیلو وات-ساعت که تا سال ۲۰۲۰ در برنامه‌های جهانی این صنعت باید تا ۴۵۰ دلار بر کیلو وات-ساعت کاهش یابد.

۲-۶- انواع باتری

- اسید - سرب

باتری‌های اسید - سرب معمول‌ترین باطری راه انداز مورد استفاده هستند. این نوع از باطری قابل شارژ است. در برخی خودروهای برقی چندین پیل اسید - سرب بصورت سری متصل می‌گردند، تا ولتاژ بالایی فراهم کنند. تفاوت‌های بسیاری در طرح اصلی این باطری‌ها وجود دارد، اما روش عملکرد و ساختن یکسانی دارند. پیل اسید - سرب الکترودهایی ساخته شده از سرب و اکسید سرب دارد، با الکترولیتی که یک اسید قوی است. باتری اسید - سرب یکی از قدیمی‌ترین طرح‌های باتری است.

- نیکل - هیدرید فلز

باطری‌های نیکل - هیدرید فلز^۵ بسیار معمول بوده و سازگار با محیط زیست هستند. این باطری‌ها معمولاً در خودروهای هیبریدی تویوتا بکار می‌روند. پیل‌ها، الکترودهای ساخته شده از هیدرید فلز و هیدروکسید نیکل دارند. الکترولیت، هیدروکسید پتاسیم است.

⁵. Nickel -Metal Hydride (NIMH)

- سدیم - سولفور

در باتری‌های سدیم - سولفور⁶ الکترودها متشکل از سدیم ذوب شده (الکتروود منفی) و سولفور مایع (الکتروود مثبت) است. صفحات بوسیله الکتروولیت سرامیکی جامد ساخته شده از آلومینیوم از هم جدا می‌شوند. باتری برای شارژ و دشارژ باید در دمای درجه فارنهایت نگهداری شود. این طرح از باتری بسیار کارآمد بوده و در حال حاضر به منظور امکان استفاده در خودروی برقی در دست تحقیق است.

- سدیم - نیکل - کلراید

در باتری سدیم - نیکل - کلراید⁷ الکترودها بوسیله الکتروولیت سرامیکی از هم جدا می‌شوند. همچنین این باتری‌ها با عنوان "ZEBRA" نیز شناخته می‌شوند. این باتری‌ها تقریباً پنج برابر باتری‌های اسید - سرب دانسیته انرژی دارند. البته آن‌ها باید تحت دمای بالایی کار کنند و نیاز به سیستم مدیریت دمایی دارند، که قیمت تولید آن‌ها را بسیار افزایش می‌دهد. این باتری‌ها طراحی شده‌اند تا در وسایل نقلیه الکتریکی بکار روند.

- لیتیوم - یون

الکترودها در پیل لیتیوم - یون⁸ از کربن و اکسید فلز ساخته می‌شوند. الکترودها در نمک لیتیوم فرو برده می‌شوند. زیاد گرم کردن این پیل‌ها ممکن است، در پیل‌ها ممکن است، در پیل‌ها لیتیوم خالص تولید کند از فلز بسیار واکنش پذیر بوده و می‌تواند به هنگام گرم شدن منفجر گردد. برای جلوگیری از زیر گرم شدن پیل‌های لیتیوم - یون، وسایل الکترونیکی حفاظتی و فیوزهایی دارند، تا از معکوس شدن پلاریته و بیش از حد شارژ شدنشان جلوگیری گردد. این باتری‌ها نسبت‌های توان به وزن بسیار خوبی دارند. آن‌ها اغلب در کامپیوترهای لپ‌تاپ، دوربین‌های ویدئویی و تلفن‌های

⁶ . Sodium -Sulfur (Nas)

⁷ . Sodium -Nickel- Chloride

⁸ .Lithium - Ion(Li - ion)

همراه یافت می‌شوند. همچنین تحقیقات هنوز بر روی استفاده از این باتری‌ها در خودروهای برقی انجام می‌شود.

- روی - هوا

پیل روی - هوا^۹ معمولاً در سمک بکار می‌رود؛ اما برای امکان استفاده در خودروهای برقی مورد آزمایش قرار گرفته و اصلاح شده است. مشخصه جالب این باتری آن است که اکسیژن هوای بیرون به عنوان کاتد بکار می‌رود. آند، کاست قابل تعویض ساخته شده از ذرات روی، در یک محلول الکتrolیت از هیدروکسید پتاسیوم است. داخل پیل، واکنش شیمیایی انرژی الکتریکی تولید می‌کند و پیل‌ها بصورت الکتریکی قابل شارژ نیستند و با تعویض کاست آند شارژ می‌شوند. این نوع باتری، سبک وزن بوده و دانسیته انرژی بالایی دارد.

- نیکل - روی

پیل‌های نیکل - روی^{۱۰} به منظور استفاده در خودروهای برقی مورد پژوهش قرار گرفته و آزمایش شده‌اند. این باتری‌ها انرژی مخصوص، قابلیت توان بالا، قابلیت سیکل عمیق مناسب، امکان عملکرد در محدوده دمایی گسترده دارند و از مواد بسیار ارزان ساخته شده‌اند و نیز با محیط زیست سازگارند. پیل‌ها از الکتروکد نیکل - اکسید نیکل به عنوان کاتد و الکتروکد روی - اکسید روی به عنوان آند بهره می‌برند. الکتrolیت معمولاً هیدروکسید پتاسیم است.

^۹ . Zinc - Air

^{۱۰} . Nickel - Zinc

۲-۷- پیل‌های سوختی

در ۱۸۳۹، ویلیام گرو فیزیکدان و روزنامه نگار انگلیسی، اصول کار پیل سوختی را کشف کرد. وی از ۴ پیل بزرگ که هر یک دارای ظرفی حاوی هیدروژن و اکسیژن بود، با هدف تولید الکتریسیته استفاده کرد. الکتریسیته حاصل، آب را در ظرفی کوچک‌تر به اکسیژن و هیدروژن تبدیل می‌کرد. سابقه تولید پیل سوختی به ۱۸۸۹ باز می‌گردد. در این سال، اولین پیل سوختی توسط لودویک من و چارلز لنجر ساخته شد. در اوایل قرن بیستم، تلاش‌هایی در زمینه توسعه پیل سوختی صورت گرفت. در ۱۹۵۵ پیل سوختی قلبی ۵ کیلوواتی ساخته شد.

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سازمان فضایی امریکا (ناسا) از پیل‌های سوختی در سفینه‌های «جیمینی» و «آپولو» به منظور تولید الکتریسیته و تهیه آب مورد نیاز فضانوردان، استفاده کرد. طی دهه ۷۰، فناوری پیل سوختی در وسایل خانگی و خودرو به کار گرفته شد. اولین خودروی مجهز به پیل سوختی در ۱۹۷۰ توسط شرکت جنرال موتور امریکا ساخته شد. از ۱۹۹۰، با سرمایه‌گذاری‌های بیشتر، فناوری پیل سوختی توسعه چشمگیری پیدا کرده است. از دهه ۸۰ به بعد، شرکت بالارد در کانادا، تحت حمایت دولت با انجام پروژه ساخت نوعی زیردریایی که در آن از پیل سوختی استفاده می‌شد، به عنوان پیشروی این صنعت به دنیا معرفی شد. هواپیمای پیل سوختی ناسا در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکه دوگانه باتری خورشیدی و پیل سوختی، مورد بهره‌برداری قرار گرفت. این هواپیما توان پرواز طولانی (۶ماه) و بی‌وقفه را دارد و با حرکت مستمر خود در یک منطقه از آسمان، کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مخابراتی، جاسوسی و امدادسانی (در حوادث طبیعی) پیدا کرده است.

در واقع پیل سوختی دستگاهی است الکتروشیمیایی که انرژی حاصل از واکنش شیمیایی را به انرژی الکتریکی مفید تبدیل می‌کند. تبدیل انرژی در پیل سوختی، تبدیل مستقیم انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی است. عملکرد پیل سوختی مانند باتری نیست که انرژی را ذخیره کند بلکه در آن حالتی از انرژی به حالتی دیگر تبدیل می‌شود، اما در این تبدیل، مواد داخل پیل مصرف نمی‌شود. همچنین، چگالی انرژی باتری کم‌تر از پیل سوختی است و فرایند شارژ باتری بسیار پیچیده‌تر از پر کردن مخزن پیل سوختی است. در باتری‌ها، توان تبدیلات الکتروشیمیایی بعد از چندین بار شارژ

شدن کاهش می‌یابد، اما در پیل‌های سوختی چنین محدودیتی وجود ندارد. مثلاً، توده پیل‌های سوختی کار کرده در یک خودرو، قابل انتقال به. خودروی جدید است

۲-۷-۱- خودروهای پیل سوختی ساده

در خودروهای پیل سوختی، پیل و توده سوختی آن منبع تولید توان بوده و از هیچ گونه باتری کمکی استفاده نمی‌شود. پیل سوختی، مشابه باتری خودروهای برقی، جریان الکتریسیته مورد نیاز موتور و نیروی محرکه را تولید می‌کند. سیستم نیرو محرکه، شامل یک معکوس کننده برای تبدیل جریان پیل سوختی از DC به AC با فرکانس ولتاژ متغیر، یک موتور AC و یک سیستم انتقال نیرو از موتور به چرخ‌های خودرو است.

۲-۷-۲- خودروهای پیل سوختی ترکیبی (هیبریدی)

یک خودروی پیل سوختی، ترکیبی دارای یک باتری با یک خازن ظرفیت بالا به صورت موازی با سیستم پیل سوختی است. پیل سوختی ترکیبی، به طور همزمان از بیشترین بازده انرژی پیل سوختی و نیز توان بالای موجود در باتری، استفاده می‌کند.

هنگامی که مصرف انرژی بالاست (مانند حالت شتاب) توان مورد نیاز خود توسط باتری و مجموعه پیل سوختی تأمین می‌شود. هنگامی که میزان مصرف انرژی پایین باشد (مانند حرکت در خیابان) پیل سوختی توان مورد نیاز را تأمین می‌کند. باتری‌ها طی زمانی که مصرف انرژی پایین است، شارژ خواهند شد. بنابراین، برای تأمین توان و انرژی مورد نیاز، پیل سوختی برای حرکت معمولی و باتری برای حداکثر توان، طراحی می‌شوند. انتخاب مجموعه باتری به عواملی همچون هزینه و عملکرد پیل سوختی، فناوری ساخت باتری و چرخه حرکتی بستگی دارد. استفاده از باتری، امکان راه اندازی سریع را به خودروی دارای پیل سوختی داده و آنرا در برابر واکنش معکوس در پیل سوختی طی عملکرد و سوخت توده، محافظت و باتری حداکثر توان مورد نیاز را تأمین می‌کند. انرژی

تولیدی می‌تواند بازیابی شود. زمان پاسخ سیستم خودرو به تغییرات بار، در حالت وجود باتری سریع‌تر است. پیل سوختی ترکیبی، دارای عملکرد خوب، زمان کارکرد طولانی و زمان سوخت‌گیری سریع بوده و مسافت قابل توجیهی را طی می‌کند.

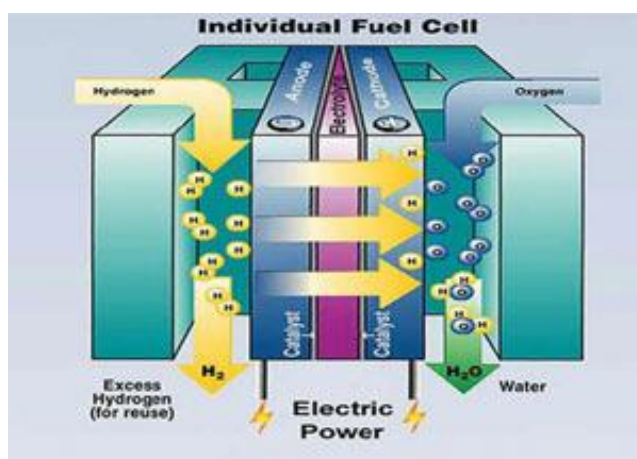
سایر مزایای وجود باتری عبارتند از:

- عدم نیاز خودرو به پیش گرم کردن پیل سوختی برای راه اندازی خودرو.
- توانایی عملکرد خودرو در حالت کاملاً برقی طی زمانی که سیستم پیل قادر به عملکرد در سطح ولتاژ اسمی خود نیست.
- زمان پاسخ بسیار سریع‌تر برای تغییرات بار
- از جمله معایب وجود باتری، می‌توان به هزینه، وزن و زمان بالای شارژ مجدد آن اشاره کرد. هزینه مجموعه باتری معمولاً متناسب با مقدار انرژی قابل ذخیره آن و هزینه پیل سوختی متناسب با میزان توان خواسته شده است. لذا باتری با ظرفیت توان بالا و ذخیره انرژی متوسط، ممکن است کمی گران باشد.

۲-۷-۳- اساس کار پیل سوختی

هیدروژن (سوخت) به آند و اکسیژن (اکسیدان) به کاتد تزریق می‌شود. هر اتم هیدروژن، یک پروتون و یک الکترون دارد که با از دست دادن الکترون در آند به پرتون (H^+) تبدیل می‌شود و به این ترتیب، قابلیت عبور از الکترولیت را پیدا می‌کند. الکترون‌ها نمی‌توانند از الکترولیت عبور کنند و از طریق اتصال خارجی به کاتد می‌رسند. در کاتد، الکترون‌های اکسیژن جذب شده روی کاتد و پروتون‌ها تشکیل آب می‌دهند که از سیستم خارج می‌شود. سیستم پیل سوختی، با قرار دادن موتور الکتریکی در مسیر جریان الکتریکی کامل می‌شود. اساس کار انواع پیل‌های سوختی مشابه یکدیگر است. در پیل‌های سوختی با عملکرد در دمای پایین، بین دو واکنش دهنده حایلی قرار گرفته که از سه فاز تشکیل شده و عبارتند از: الکترولیت و دو پوشش کاتالیزور روی الکترودها. طبیعت و نوع حایل، نقش اساسی در عملکرد الکتروشیمیایی پیل سوختی دارد بویژه پیل‌های سوختی که الکترولیت آن‌ها مایع است. در این‌گونه پیل‌ها، گازهای واکنش دهنده از لایه نازک الکترولیت (که مرطوب کننده

خلل و فرج الکتروود است) نفوذ می کنند و واکنش الکتروشیمیایی، روی سطح الکتروود مربوطه انجام می شود. الکتروولیت علاوه بر اینکه رسانای یون ها بین الکتروودهاست، مانعی فیزیکی برای جلوگیری از انحراف جریان سوخت و اکسیدان از مسیر اصلی به شمار می آید.



شکل (۲-۱۰): شماتیک پیل سوختی

پیل های سوختی بر حسب نوع الکتروولیت به ۵ دسته زیر تقسیم می شوند:

- پیل های سوختی پلیمری یا دارای غشا مبادله کننده پروتون (دمای عملکرد ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد).

- پیل های سوختی قلیایی (دمای عملکرد ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد)

- پیل های سوختی اسید فسفریک (دمای عملکرد ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد)

- پیل های سوختی کربنات مذاب (دمای عملکرد ۵۵۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی گراد)

- پیل های سوختی اکسید جامد (دمای عملکرد ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد)

۲-۷-۴- مزایای کاربری پیل سوختی

- بازدهی بالا: پیل‌های سوختی از قوانین حاکم بر ماشین‌های گرمایی تبعیت نمی‌کنند، از این-رو بازدهی آن‌ها به ۳ برابر ماشین‌های گرمایی می‌رسد. بر اساس نوع طراحی، بازدهی الکتریکی پیل‌های سوختی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد (کم‌ترین ارزش گرمایی) است. هنگامی که از گرمای خروجی آن‌ها نیز استفاده شود، بازدهی تقریباً ۸۵ درصد می‌شود.

- تنظیم سیستم بر حسب نیاز: پیل‌های سوختی بسیار قابل انعطاف هستند، یعنی می‌توان در هر لحظه یک یا چند توده پیل را به کار گرفت و یا از کار انداخت. توان خروجی آن‌ها بسیار متغیر است (گستره توان خروجی از ۱۰۰ مگاوات برای سوخت زغال سنگ تا بیش از ۵۰۰ مگاوات برای سوخت گاز طبیعی در تغییر است). ارزش تمام شده توده پیل به ازای هر کیلووات برای نیروگاه بزرگ و یا کوچک یکسان است. زیرا بازدهی الکتریکی، به طور منفرد محاسبه می‌شود و تعداد پیل‌ها بر بازدهی کلی، کم اثر است.

- سازگاری با قوانین زیست محیطی: پیل‌های سوختی دارای بازدهی بالا هستند و در هر توان خروجی، دی اکسید کربن تولید شده کم است. مقدار اکسیدهای نیتروژن و گوگرد به ترتیب حدود و کیلوگرم بر مگاوات ساعت است. این پیل‌ها بی سر و صدا هستند و صدای ایجاد شده توسط آن‌ها ۶۰ دسی بل در هر ۹ مترمربع بوده و از این رو قابل نصب در هر محلی هستند پیل‌های سوختی را می‌توان به گونه ای طراحی کرد که از لحاظ مقدار آب مورد نیاز، خودکفا باشند. به دلیل سازگاری پیل‌های سوختی با قوانین زیست محیطی کسب پروانه ساخت آن‌ها در زمانی بسیار کوتاه صورت می‌گیرد.

- انعطاف پذیری نسبت به سوخت: هیدروژن، سوخت اصلی پیل‌های سوختی است که از تفکیک آب، گاز طبیعی، زغال سنگ، متانول و دیگر پیل‌های سوختی هیدروکربنی به دست می‌آید. در زمان عدم دسترسی به این منابع، می‌توان با توجه به منابع موجود در محل، هیدروژن مورد نیاز را تأمین کرد.

- افزایش تولید و کاهش توزیع: با توجه به نیاز روزافزون به انرژی در مناطق دوردست، در صورت استفاده از پیل‌های سوختی، مشکلات توزیع با کاهش خطوط جدید انتقال انرژی برطرف

می‌شود. هم اکنون ۸ تا ۱۰ درصد از انرژی تولیدی بین نیروگاه و مصرف کننده‌ها از طریق خطوط انتقال کاهش می‌یابد. همچنین خطر ناشی از میدان‌های الکترومغناطیسی موجود در اطراف خطوط انتقال نیرو در ولتاژ بالا، از بین می‌رود. از آن‌جا که امکان استفاده از چندین واحد پیل سوختی در مناطق مختلف وجود دارد، با از کار افتادن یک یا چند پیل، شبکه برخلاف خطوط انتقال فعلی، آسیبی جدی نمی‌بیند.

- قابلیت ترکیب با سیستم‌های دیگر و تولید انرژی با استفاده از گرمای خروجی پیل‌های سوختی که به این ترتیب، گرمای خروجی از پیل، بازیافت می‌شود.
- عدم نیاز به تعمیر: از آن‌جا که پیل‌های سوختی فاقد قطعات متحرک هستند نیازی به تعمیر های پی در پی نداشته و تنها به تعویض فیلتر هوا و مواد نیاز دارند. حداقل زمان تعویض قطعات، ۵ سال است، اما انتظار می‌رود که این زمان به ۲۰ سال یا بیشتر هم برسد.

۲-۷-۵- انواع پیل‌های سوختی مورد استفاده در صنعت خودرو

- پیل سوختی الکترولیت پلیمر جامد

این پیل از یک غشای تبادل یون به عنوان الکترولیت استفاده می‌کند. این نوع پیل‌ها ابتدا در دهه ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. امروزه، استفاده از این فناوری که در ارتباط با برنامه فضایی ایالات متحده (جیمینی) بود، در حیطه حمل و نقل مورد تأکید قرار گرفته است.

- پیل سوختی متانول مستقیم

راه حلی خوب در وسایل نقلیه الکتریکی، استفاده از این نوع پیل (DMFC) است. حدود ۳۰ سال است که تحقیقات در زمینه آن، آغاز شده و کاربرد آن در وسایل نقلیه، رویای محققان پیل سوختی به شمار می‌آید. گرچه متانول ساده ترین نوع ماده آلی است، اما فعالیت الکتروشیمیایی آن حدود ۳ درجه کمتر از هیدروژن و از این رو، چگالی جریان تولید آن پایین است. فعالیت کاتالیزور در این نوع پیل سوختی، به دلیل مسمومیت بالا، به شدت افت می‌کند. به رغم این مشکلات که می-

بایستی رفع شوند، استفاده از پیل سوختی متانول مستقیم به علت حمل و نقل راحت متانول و نداشتن مشکلات ذخیره سازی و امنیتی هیدروژن بسیار مورد توجه محققان است.

۲-۷-۶- عوامل مؤثر در انتخاب فناوری مناسب خودروهای پیل سوختی

برای انتخاب فناوری مناسب برای خودروهای پیل سوختی، عوامل مؤثر زیادی نظیر زیر ساخت سوخت، هزینه سوخت، هزینه واحد انرژی در خودرو، نوع سوخت مصرفی، ایمنی خودرو، برد خودرو (فاصله بین دو سوخت گیری)، شکل خودرو (از لحاظ توپولوژی و فضای داخلی) محل نصب مخزن و نوع توده پیل سوختی وجود دارد. بررسی وضعیت کنونی خودروهای پیل سوختی نیاز به زمان داشته و باید دید که چگونه خودروهای پیل سوختی خواهند توانست جایگاهی ویژه در بازار فروش به دست آورند.

۲-۸- ابرخازن‌ها

ابرخازن‌ها انرژی مخصوص بالاتری نسبت به سایر انواع خازن‌ها دارند و نوع قویتری از خازن‌های الکترولیتی هستند که انرژی را به عنوان شارژ الکتریسته ساکن ذخیره می‌کنند. ابرخازن‌ها سیستم‌های الکتروشیمیایی هستند که انرژی را در لایه ای از مایع قطبیده شده در سطح مشترک مابین یک الکترولیت رسانای یونی و یک الکتروود رسانا ذخیره می‌کنند. ظرفیت ذخیره انرژی با افزایش مساحت سطح مشترک افزایش می‌یابد. ابرخازن‌ها به عنوان اولین ابزار برای کمک به توان موتور در شتاب گیری و سر بالایی رفتن هستند که به همان خوبی بازیافت انرژی ترمزگسترش پیدا کرده اند ابرخازن‌ها به صورت بالقوه به عنوان دومین شیوه ذخیره انرژی در خودروهای هیبریدی، برای تامین توان بار گذاری باتری‌های شیمیایی سودمندند. الکتریسیته اضافی برای ثابت نگه داشتن ولتاژ در مواقعی که چگالی انرژی پایین است مورد نیاز است.

۲-۹- سلول‌های خورشیدی

حتی در یک روز کاملاً آفتابی تنها ۱۰ درصد انرژی خورشید که به سمت زمین تابش شده است به زمین می‌رسد. این انرژی را می‌توان به روش‌های مختلف جذب و از آن استفاده نمود.

یک سلول خورشیدی یک قطعه الکترونیکی حالت جامد است که انرژی نور خورشید را مستقیماً توسط اثر فوتولتاییک به الکتروسیته تبدیل می‌کند. باتری‌های خورشیدی معمولاً از مواد نیمه‌رسانا، مخصوصاً سیلیسیم، تشکیل شده‌است. هر اتم سیلیسیم با چهار اتم دیگر پیوند تشکیل می‌دهد و بدین صورت، شکل کریستالی آن پدید می‌آید. در باتری‌های خورشیدی به سیلیسیم مقداری جزئی ناخالصی اضافه می‌کنند. اگر اتم ناخالصی ۵ ظرفیتی باشد (اتم سیلیسیم ۴ ظرفیتی است)، آنگاه در ارتباط با چهار اتم سیلیسیم یک لایه‌ی آن بدون پیوند باقی می‌ماند (یک تک الکترون). به همین دلیل چون بار نسبی منفی پیدا می‌کند به آن سیلیسیم نوع منفی می‌گویند.

در صورتی که اتم ناخالصی دارای ظرفیت ۳ باشد، آنگاه یک حفره‌ی اضافی ایجاد می‌شود. حفره را به گونه‌ای می‌توان گفت که جای خالی الکترون است، با بار مثبت (به اندازه‌ی الکترون) و جرمی برابر با جرم الکترون؛ که این امر هم باعث مثبت شدن نسبی ماده می‌شود و به آن سیلیسیم نوع مثبت می‌گویند. هر باتری خورشیدی از ۶ لایه تشکیل شده که هر لایه را ماده‌ای خاص تشکیل می‌دهد.

با اتصال یک نیمه هادی نوع p به یک نیمه هادی نوع n، الکترون‌ها از ناحیه n به ناحیه p و حفره‌ها از ناحیه p به ناحیه n منتقل می‌شوند. با انتقال هر الکترون به ناحیه p، یک یون مثبت در ناحیه n و با انتقال هر حفره به ناحیه n، یک یون منفی در ناحیه p باقی می‌ماند. یون‌های مثبت و منفی میدان الکتریکی داخلی ایجاد می‌کنند که جهت آن از ناحیه n به ناحیه p است. این میدان با انتقال بیشتر باربرها (الکترون‌ها و حفره‌ها)، قوی‌تر و قویتر شده تا جایی که انتقال خالص باربرها به صفر می‌رسد. در این شرایط ترازهای فرمی دو ناحیه با یکدیگر هم سطح شده‌اند و یک میدان الکتریکی داخلی نیز شکل گرفته‌است.

اگر در چنین شرایطی، نور خورشید به پیوند بتابد، فوتون‌هایی که انرژی آن‌ها از انرژی شکاف نیمه هادی بیشتر است، زوج الکترون-حفره تولید کرده و زوج‌هایی که در ناحیه تهی یا حوالی آن تولید شده‌اند، شانس زیادی دارند که قبل از بازترکیب، توسط میدان داخلی پیوند از هم جدا شوند.

میدان الکتریکی، الکترون‌ها را به ناحیه n و حفره‌ها را به ناحیه p سوق می‌دهد. به این ترتیب تراکم بار منفی در ناحیه n و تراکم بار مثبت در ناحیه p زیاد می‌شود. این تراکم بار، به شکل ولتاژی در دو سر پیوند قابل اندازه‌گیری است. اگر دو سر پیوند با یک سیم، به یکدیگر اتصال کوتاه شود، الکترون‌های اضافی ناحیه n ، از طریق سیم به ناحیه p رفته و جریان اتصال کوتاهی را شکل می‌دهند. اگر به جای سیم از یک مصرف‌کننده استفاده شود، عبور جریان از مصرف‌کننده، به آن انرژی می‌دهد. به این ترتیب انرژی فوتون‌های نور خورشید به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

هر چه میدان الکتریکی درون پیوند قوی‌تر باشد، ولتاژ مدار باز بزرگتری بدست می‌آید. برای دست یافتن به یک میدان الکتریکی بزرگ، باید اختلاف ترازهای فرمی دو ماده p و n از یکدیگر زیاد باشد. برای این منظور باید انرژی شکاف نیمه هادی بزرگ انتخاب شود؛ بنابراین ولتاژ مدار باز یک سلول خورشیدی با انرژی شکاف آن افزایش می‌یابد. اما افزایش انرژی شکاف سبب می‌شود، فوتون‌های کمتری توانایی تولید زوج الکترون-حفره داشته باشند و بنابراین جریان اتصال کوتاه کمتری نیز تولید شود؛ بنابراین افزایش انرژی شکاف، روی ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه سلول دو اثر متفاوت دارد.

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از ویفر سیلیکون، کاربرد بسیاری دارند. سلول‌های تکی برای فراهم کردن توان لازم دستگاه‌های کوچک‌تر مانند ماشین حساب الکترونیکی به کار می‌روند. آرایه‌های فوتوولتاییک الکتریسیته‌ی باز یافت‌شدنی‌ای را تولید می‌کنند که عمدتاً در موارد عدم وجود سیستم انتقال و توزیع الکتریکی کاربرد دارد. برای مثال می‌توان به محل‌های دور از دسترس، ماهواره‌های مدارگرد، کاوشگرهای فضایی و ساختمان‌های مخابراتی دور از دسترس اشاره کرد. علاوه بر این استفاده از این نوع انرژی امروزه در محل‌هایی که شبکه‌ی توزیع هم موجود است، مرسوم شده است.

امروزه انسان با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف کرده، نیازی روزافزون به انرژی پیدا کرده و این امر او را بر آن داشت تا با روش‌های گوناگون انرژی مورد نیاز خود را کسب کند. یکی از این روش‌ها که طی ۲۰ سال اخیر، انسان از آن استفاده می‌کند، استفاده از باتری‌های خورشیدی است. خورشید در هر ثانیه حدود ۱۰۰۰ ژول انرژی به هر متر مربع از سطح زمین منتقل می‌کند که با جمع‌آوری کردن آن می‌توان انرژی مورد نیاز برای کارهای مختلفی را تأمین کرد.

۲-۹-۱- فناوری‌های ساخت سلول‌های خورشیدی

در حال حاضر دو فناوری در ساخت سلول‌های خورشیدی غالب است: فناوری نسل اول و نسل دوم.

فناوری نسل اول بر پایه ویفرهای سیلیکونی با ضخامت ۳۰۰-۴۰۰ میکرومتر است که ساختاری بلوری یا چند بلوری دارند که یا از بریدن شمش بدست می‌آیند یا از روش EFG و با کمک خاصیت موپینگ رشد داده می‌شوند.

فناوری نسل دوم یا تکنولوژی لایه نازک، براساس لایه نشانی نیمه هادی روی بستریهای شیشه‌ای، فلزی یا پلیمری، در ضخامت‌های ۵-۳ است.

هزینه مواد اولیه در تکنولوژی نسل دوم، پایین‌تر است و از آن گذشته، اندازه سلول تا ۱۰۰ برابر بزرگتر از اندازه سلول ساخته شده با تکنولوژی نسل اول است که مزیتی برای تولید انبوه آن محسوب می‌شود. در عوض بازدهی سلول‌های نسل اول، که اغلب سلول‌های بازار را تشکیل می‌دهند، به دلیل کیفیت بالاتر مواد، از بازدهی سلول‌های نسل دوم بیشتر است. انتظار می‌رود اختلاف بازدهی میان سلول‌های دو نسل با گذشت زمان کمتر شده و تکنولوژی نسل دوم جایگزین نسل اول شود.

در سال ۱۹۶۱، Shockley و Queisser با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰ کلوین نشان دادند که بیشترین بازدهی یک سلول خورشیدی صرف نظر از نوع تکنولوژی بکار رفته در آن، ۳۰٪ است که در انرژی شکاف ۱/۴ الکترون - ولت یعنی

انرژی شکاف گالیوم آرسناید بدست می‌آید. بنابراین بازدهی سلول‌های خورشید نسل اول و دوم حتی در بهترین حالت نمی‌تواند از حوالی ۳۰٪ بیشتر شود. این در حالی است که حد کارنو برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی ۹۵٪ است. و این مقدار تقریباً سه برابر بیشتر از بازدهی نهایی سلول‌های نسل اول و دوم است.

بنابراین دستیابی به سلول‌هایی با بازدهی‌هایی دو تا سه برابر بازدهی‌های کنونی، امکان‌پذیر است. سلول‌های خورشیدی که دارای چنین بازدهی‌هایی باشند، نسل سوم سلول‌های خورشیدی نامیده می‌شوند. سلول‌های متوالی، سلول‌های خورشیدی چاه کوانتومی، سلول‌های خورشیدی نقطه کوانتومی، سلول‌های حامل داغ، نسل سوم سلول‌های خورشیدی را تشکیل می‌دهند.

۲-۹-۲- انواع سلول‌های خورشیدی

انواع سلول خورشید ساخته شده

(۱) سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی

رایج‌ترین ماده توده برای سلول خورشید، سیلیکون کریستالی (c-Si) است. ماده توده سیلیکون با توجه به نوع کریستال و اندازه کریستال به چندین بخش تقسیم می‌شود:

• سیلیکون تک بلوری (c-Si)

• سیلیکون چند بلوری (mc-Si)

سلول‌های تک بلوری (Mono Crystalline Silicon): (به ضخامت تقریبی ۱/۲ تا ۱/۳ میلی متر).

از یک قطعه تک بلوری بزرگ در دمای حدود ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده است و این مرحله بسیار پرهزینه است. سیلیسیم باید خالص بوده و یک ساختار بلوری کامل داشته باشد. این فرایند تولید با سطح بازده بالا را ضمانت می‌کند.

ویژگی‌ها:

- بیشترین مقدار سیلیکون با خلوص بالا،
- بیشترین بازده،
- گران‌ترین،
- نیاز به فضای کم‌تر

سلول‌های چند بلوری (Poly Crystalline Silicon) :

لایه‌های چند بلوری به وسیله فرآیند ریخته‌گری تهیه می‌شوند. سیلیسیم مذاب را در یک قالب می‌ریزند و اجازه می‌دهند متبلور شوند. لایه‌های چند بلوری که به وسیله ریخته‌گری درست شده‌اند عمدتاً ارزان‌تر هستند و بازده پایین‌تر دارند. (به خاطر نقص در ساختار بلور حاصل از فرآیند ریخته‌گری)

ویژگی‌ها :

- سیلیکون کم‌تر نسبت به مونوکریستال
- بازده کم‌تر نسبت به مونوکریستال
- ارزان‌تر از مونوکریستال
- روش ساخت ساده‌تر
- نیاز به فضای بیشتر نسبت به مونوکریستال

۲) سیلیسیم بی‌شکل (Amorphous Silicon):

سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون لایه نازک غیر کریستالی (آمورف)

اگر یک لایه سیلیسیم روی شیشه یا یک ماده دیگر قرار گیرد معروف به سلول لایه بی‌شکل یا نازک است. ضخامت این لایه کم‌تر از یک میکرومتر است (ضخامت یک موی انسان : ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر). بنابراین تولید این سلول‌ها و هزینه آن پایین‌تر است.

به هر حال، بازده سلول‌های بی‌شکل خیلی پایین‌تر از دو سلول دیگر است. به این علت که،

اساساً آن‌ها در وسائل با توان کم به کار رفته‌اند (مانند ماشین حساب).

ویژگی‌ها:

• کم‌ترین میزان سیلیکون

• ارزان‌ترین

• نیاز به بیشترین فضا

• کم‌ترین بازده

لایه‌های نازک دیگر:

تعدادی از مواد امید بخش دیگر از قبیل کادمیم تلورید و مس ایندیم دی سلنید نیز به عنوان مواد پایه در تهیه سلول‌های خورشیدی به کار می‌رود. جاذبه این تکنولوژی‌ها این است که آن‌ها به وسیله روش‌های صنعتی ارزان می‌توانند ساخته شوند، مطمئناً در مقایسه با سیلیسیم بلوری، آن‌ها را به جای سیلیسیم بی‌ریخت پیشنهاد می‌کنند.

۳) سلول‌های خورشیدی لایه نازک GaAs

اولین لازمه موادی که باید در یک قطعه مبدل انرژی فتوولتائیک خورشیدی به کار برود، تطبیق گاف انرژی با طیف خورشیدی و نیز داشتن قابلیت تحرک بالا و طول عمر حامل‌های زیاد می‌باشد. این شرایط توسط بسیاری از ترکیبات $III-V$ ، $II-VI$ و $III-V$ Si برآورده می‌شوند. مواد گروه $III-V$ علی‌رغم هزینه‌های بالای استحصال و ساخت این نیمه هادی‌ها، با موفقیت زیاد در کاربردهای فضایی که در آن‌ها هزینه، فاکتور مهمی نیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۶۱، Shockley و Queisser با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰ کلوین نشان دادند که بیشترین بازدهی یک سلول خورشیدی صرف نظر از نوع تکنولوژی بکار رفته در آن ۳۰٪ است که برای سلولی با گاف انرژی ماده برابر $1/39$ الکترون - ولت بدست می‌آید. با توجه به این‌که انرژی شکاف گالیم آرسناید برابر $1/424$ الکترون - ولت است می‌تواند ماده مناسبی برای طراحی سلول‌های خورشیدی باشد. سلول‌های خورشیدی ساخته شده بر پایه لایه نازک GaAs به عنوان نسل دوم سلول‌های خورشیدی نامگذاری می‌شوند.

۴) سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از مواد آلی در مقایسه با همتایان سیلیکونی خود بازده بسیار کمتری دارند. اما به دلیل هزینه ساخت پایین و همچنین قابلیت‌هایی مانند انعطاف پذیری برای مصارف غیر صنعتی مناسب هستند. شارژر موبایل قابل حمل، کار گذاشتن باتری‌ها در سطوح دارای انحنا مانند بدنه ماشین‌ها و حتی استفاده از آن‌ها در لباس‌ها از مصارفی است که برای سلول‌های خورشیدی آلی (ارگانیک) پیش بینی می‌شود. خصوصیت دیگر آن‌ها انعطاف پذیری در طول موجی است که در آن بیشترین جذب را دارند. در نتیجه اگر برای مثال ماده‌ای با جذب در ناحیه زیر قرمز استفاده شود از سلول خورشیدی آلی می‌توان در شیشه‌های اتومبیل، شیشه‌های خانه‌ها و هر مکان دیگری که باید شفاف باشد، استفاده کرد.

انواعی از سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی شامل سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع هستند:

• سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ (DSSC)

ساختار پایه یک DSSC وارد کردن بهینه یک نیمه هادی نوع n شفاف (با شکاف انرژی پهن) در یک شبکه‌ای از ستون‌ها در ابعاد نانو در تماس با نانو ذره‌ها یا برآمدگی‌های مرجانی شکل است. سطح شبکه بزرگ طراحی می‌شود و هر قسمت آن با یک تک لایه‌ای از یک رنگ یا پوششی از نقاط کوانتومی، که به عنوان رنگ عمل می‌کنند، پوشانده می‌شود. سپس یک الکترولیت برای نفوذ ساختار شبکه پوشش داده شده حاصل، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا یک کانال یا مجرای بین رنگ و آند ایجاد کند. رنگ نور را جذب می‌کند و تولید اکسیتون می‌کند، که در سطح مشترک رنگ - نیمه هادی تفکیک می‌شود و منجر به ایجاد الکترون‌ها توسط فوتون برای نیمه هادی و مولکول‌های رنگ اکسید شده به وسیله الکترولیت (که باید کاهش یابند و دوباره تولید شوند) می‌شود.

• سلول‌های خورشیدی پلیمری

سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای ویژگی‌های خاصی هستند. چون مواد اکتیو استفاده شده

برای ساخت قطعات قابل حل شدن در حلال‌های آلی بسیاری هستند، بنابراین سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای پتانسیل لازم برای انعطاف پذیری و قابلیت ساخت در یک فرایند چاپ پیوسته همانند چاپ روزنامه را دارند.

اخیراً بازده تبدیل توان حدود ۶ درصد گزارش شده است ولی این مقدار با مقادیر لازم برای کاربردهای معمول فاصله دارد.

• سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع

در نمونه ای از سلول‌های خورشیدی از این نوع از کریستال‌های مایع ستونی برای ساخت سلول استفاده می‌شود. گروهی از کریستال‌های مایع می‌توانند به حالت ستونی وجود داشته باشند. حالت ستونی حالتی است که مولکول‌های تشکیل دهند کریستال‌های مایع که می‌توان آن‌ها را به دیسکی تشبیه کرد روی هم قرار گرفته و ستون‌هایی را تشکیل می‌دهند. در ابتدا این گروه از کریستال‌های مایع کریستال‌های مایع دیسکی نامیده می‌شدند. زیرا هر ستون از روی هم چیده شدن صفحات دیسک مانند مولکول روی هم درست می‌شود. تحقیقات اخیر نشان داده است که بعضی از کریستال‌های مایع ستونی از واحدهای غیر دیسکی ساخته می‌شوند در نتیجه بهتر است به این گروه از مواد کریستال‌های مایع ستونی گفته شود.

۵) سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی (نانوبلورها)

یک فاکتور محدودکننده برای بازده تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی با یک شکاف انرژی این است که انرژی فوتون جذب شده بالای شکاف انرژی نیمه هادی در اثر اندرکنش الکترون - فوتون به صورت گرما تلف می‌شود تا حامل‌ها به لبه شکاف باند انرژی رسیده و به اصطلاح به آرامش برسند. در سال‌های اخیر روش‌هایی برای کاهش این تلفات با استفاده از ساختارهای کوانتومی از جمله چاه‌های کوانتومی و نقاط کوانتومی ارائه شده است.

۶) سلول‌های خورشیدی ویفر سیلیکونی

سلول خورشیدی ساخته شده از ویفر سیلیکون کاربرد بسیاری دارند. سلول‌های تکی برای فراهم کردن توان لازم دستگاه‌های کوچک تر مانند ماشین حساب الکترونیکی به کار می‌روند.

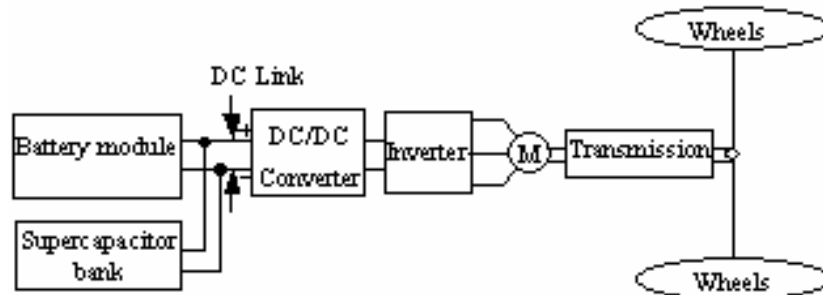
فصل سوم

**مدل سازی خودروی
برقی**

۳-۱- تشریح مسئله کنترل خودرو برقی با دو منبع باتری و ابرخازن

۳-۱-۱- مقدمه

پیکربندی خودروی برقی با دو منبع باتری و ابرخازن به عنوان ذخیره سازهای انرژی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. سیستم انتقال قدرت شامل ماژول باتری، بانک ابرخازن، یک مبدل DC/DC، اینورتر، موتور الکتریکی، و سیستم انتقال است. ماژول باتری با بانک ابرخازن موازی شده‌اند تا لینک DC را ایجاد نمایند. مبدل DC/DC ولتاژ DC لینک را تنظیم می‌کند. اینورتر ولتاژ DC کنترل شده را تبدیل به یک ولتاژ AC برای راه‌اندازی موتور می‌کند. سیستم انتقال شامل یک جعبه دنده است گشتاور موتور از طریق کاهش دنده چند برابر می‌کند.



شکل (۳-۱): ساختمان یک خودرو الکتریکی با دو منبع تغذیه

در خودروی برقی با دو منبع باتری و ابرخازن، هنگامی که وسیله نقلیه توان بالایی برای حرکت لازم دارد، باتری و ابرخازن قدرت مورد نیاز را از طریق مبدل DC/DC، اینورتر، موتور الکتریکی، و جعبه دنده به محور خودرو منتقل می‌کند. بنابر این:

$$\eta(P_{bat} + P_{SC}) = \eta_1.P_c + \eta_2.P_i + \eta_3.P_m + \eta_4.P_t + P_v \quad (۳-۱)$$

در این معادله P_{bat} ، P_{SC} ، P_c ، P_i ، P_m ، P_t و P_v به ترتیب توان ماژول باتری، توان بانک ابرخازن، توان مبدل DC/DC، توان اینورتر، توان موتور الکتریکی، توان سیستم انتقال و تقاضای توان خودرو هستند. همچنین η ، η_1 ، η_2 ، η_3 ، η_4 به ترتیب بازده سیستم از ذخیره‌ساز انرژی، مبدل، اینورتر، موتور الکتریکی و سیستم انتقال تا چرخ‌ها هستند.

از سوی دیگر، هنگامی که خودرو خواستار قدرت کم است، اگر SOC ابرخازن بالاتر از نقطه کمینه بی‌خطر است، ابرخازن به تنهایی قدرت را به محور خودرو از طریق مبدل، اینورتر، موتور

الکتریکی، و سیستم انتقال تحویل می‌دهد. در غیر این صورت، ماژول های باتری به تنهایی قدرت را برای راندن خودرو فراهم می‌کنند. در هنگام ترمز خودرو، موتور الکتریکی انرژی جنبشی خودرو را به الکتریسیته تبدیل می‌کند و باتری و ابرخازن از طریق اینورتر و مبدل DC/DC با استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده شارژ می‌شوند.

می‌توان گفت که هدف از مدیریت انرژی رسیدن به مصرف انرژی به حداقل مورد نیاز برای عملکرد وسایل نقلیه را از طریق استفاده مناسب از توان باتری و ابرخازن است. در اینجا، میزان مصرف انرژی به عنوان شاخص عملکرد برای ارزیابی اقتصادی خودروی برقی استفاده شده است. به منظور ایجاد مدل ریاضی مدیریت استفاده انرژی از دو منبع، توان‌ها و محدودیت‌ها در سیستم ذخیره‌سازی انرژی باید تحلیل شود. در ادامه به مدل‌سازی دقیق میزان توان مورد نیاز و محدودیت‌های مسئله پرداخته شده است.

۳-۱-۲- نیروهای وارده به خودرو و توان مورد نیاز خودرو در هر لحظه

همانطور که در بخش قبل گفته شد، در طول مسیر، سیستم ذخیره سازی انرژی (ESS) انرژی خروجی را از طریق باس قدرت به موتور الکتریکی منتقل می‌کند، و موتور انرژی را به چرخ برای غلبه بر بار مسیر انتقال می‌دهد. برای غلبه بر بار مسیر نیروی F_1 مورد نیاز است. با توجه به تئوری دینامیک خودرو [۳۲]، این بار F_1 جاده متشکل از چهار مولفه اصلی است: نیروی مقاومت هوا، نیروی اصطکاک چرخ‌ها، نیروی مورد نیاز برای بالا رفتن در هنگام نیاز و نیروی مورد نیاز برای شتاب گرفتن.

$$F_1 = F_d + F_r + F_c + F_a \quad (۲-۳)$$

نیروی آیرودینامیکی مقاومت هوا، ناشی از برهم‌کنش بدنه خودرو و هوای اطراف در اثر حرکت خودرو است. این نیرو سه مولفه دارد که هر یک از آن‌ها بر اثر یک پدیده آیرودینامیکی بوجود می‌آیند: نیروی کشش اصطکاک پوسته‌ای ناشی از جریان‌ها در اطراف بدنه خودرو، نیروی کشش القایی بر اثر جریان هوا در پشت خودرو و در نهایت نیروی فشار طبیعی که متناسب با سطح جلویی خودرو و

سرعت خودرو است. کشش اصطکاک پوسته و کشش القایی معمولاً کم هستند و نسبت به کشش فشار طبیعی، و به طور کلی نادیده گرفته می‌شوند. بنابراین، نیروی آیرودینامیکی می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$F_d = .05\rho C_d AV^2 \quad (3-3)$$

در این رابطه C_d ضریب کشش آیرودینامیکی، ρ چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، A مساحت جلویی خودرو بر حسب متر مربع و V سرعت خودرو بر حسب کیلومتر بر ساعت است. نیروی مقاومت چرخشی که به علت تغییر شکل سطح چرخ و جاده است. تغییر شکل در چرخ به شدت در ایجاد این نیرو غالب است. این در حالی است که تغییر شکل در سطح جاده به طور کلی ناچیز است. این نیروی مقاومت چرخشی به طور معمول به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_r = M .g.C_r \quad (4-3)$$

در این رابطه M جرم خودرو است که بر حسب کیلوگرم بیان می‌شود. g شتاب گرانشی زمین و C_r ضریب مقاومت چرخشی هستند.

نیروی صعود به سادگی مقاومت در مقابل بالا رفتن و یا نیروی رو به پایین در مقابل وسیله نقلیه برای صعود به بالا در شیب‌ها است. این نیرو برابر است با:

$$F_C = M .g.Sin(\alpha) \quad (5-3)$$

در این رابطه α زاویه شیب است. نیروی لازم برای ایجاد شتاب مورد نیاز خودرو نیز به راحتی مطابق رابطه (6-3) بدست می‌آید. بدین ترتیب نیروی مقاوم کل در برابر حرکت وسیله نقلیه را می‌توان از رابطه (7-3) بدست آورد:

$$F_a = M .\frac{dv}{dt} \quad (6-3)$$

$$F_1 = \left(.05\rho C_d AV^2 + M .g.C_r + M .g.Sin(\alpha) + M .\frac{dv}{dt} \right) \quad (7-3)$$

با ضرب این نیرو در سرعت خودرو در هر لحظه از زمان رانندگی توان مورد نیاز برای حرکت خودرو مطابق رابطه زیر بدست می‌آید. در این رابطه نیروها بر حسب نیوتن، سرعت بر حسب کیلومتر بر ثانیه و توان مورد نیاز بر حسب کیلو وات است.

$$P_{load} = \frac{\left(0.05\rho C_d . AV^2 + M . g . C_r + M . g . \sin(\alpha) + M . \frac{dv}{dt}\right)V}{3600} \quad (8-3)$$

با در نظر گرفتن بازده خورو برقی در دست مطالعه می توان توان مورد نیاز از منابع انرژی خورو که در اینجا باتری ها و ابرخازن ها هستند را بدست آورد. رابطه زیر این توان را در هر لحظه نشان می دهد.

$$P_{load} = P_{req} . \eta \quad (9-3)$$

۳-۱-۳- محدودیت های منابع انرژی خورو برقی

از یک طرف، برای اینکه اطمینان حاصل شود که وسیله نقلیه می تواند به طور موثر اجرا شود، ESS باید انرژی کافی برای برآوردن توان مورد نیاز خورو ($P_{req}(t)$) در هر زمان را داشته باشد. از طرف دیگر، با فرض اینکه فاکتور توان باتری و ابر خازن در هر لحظه $K_{bat}(t)$ و $K_{sc}(t)$ هستند، میزان توان مورد نیاز از هر منبع را می توان به کمک روابط زیر بیان کرد:

$$P_{bat} = K_{bat}(t) . P_{req}(t) \quad (10-3)$$

$$P_{sc} = K_{sc}(t) . P_{req}(t)$$

قید دیگر این است که مجموع ضرایب انتساب توان باتری و ابرخازن $K_{bat}(t)$ و $K_{sc}(t)$ در هر لحظه باید برابر با یک باشد. بنابر این با تغییر این دو ضریب انتساب در هر لحظه می توان توان مورد نیاز از باتری و ابرخازن را تغییر داد.

از سوی دیگر، تا جایی که به باتری و ابرخازن مربوط می شود، اگر SOC آنها به بیش از حد بالای انتخاب شده برسد، توانایی آنها در جذب انرژی ترمزی کاهش می یابد، و در نتیجه انرژی مازاد به هدر می رود. در مقابل، اگر SOC بیش از حد کم باشد، ESS ممکن است قدرت کافی برای پاسخگویی به نیاز خورو در هنگام شتاب گرفتن را نداشته باشد. به منظور گسترش چرخه عمر باتری و ابرخازن، میزان وضعیت شارژ باتری و ابرخازن باید تا آنجا که ممکن است در محدوده از قبل تعریف شده باشد. قیود مربوط به وضعیت شارژ منابع انرژی خوروهای برقی به شرح زیر هستند:

$$SOC_{bat\ min} \leq SOC_{bat}(t) \leq SOC_{bat\ max} \quad (11-3)$$

$$SOC_{sc\ min} \leq SOC_{sc}(t) \leq SOC_{sc\ max}$$

در این پایان نامه کمینه شارژ خازن ها و باتری ۰/۲ و بیشینه شارژ این منابع ۰/۸ در نظر گرفته شده است تا محدودیت های ذکر شده لحاظ گردند.

۳-۱-۴- تشریح بهینه سازی و مدیریت انرژی دریافتی از دو منبع انرژی در خودرو برقی

مورد نظر

با توجه به بحث بالا در خصوص محدودیت ها و هدف مدیریت انرژی منابع ذکر شده، مدل ریاضی مدیریت انرژی دو منبع می تواند به صورت زیر فرمول بندی شود:

$$Min\ Energy_{req} | K_{bat}(t), K_{sc}(t)$$

St.

$$P_{req} = P_{load} \cdot \eta \quad (12-3)$$

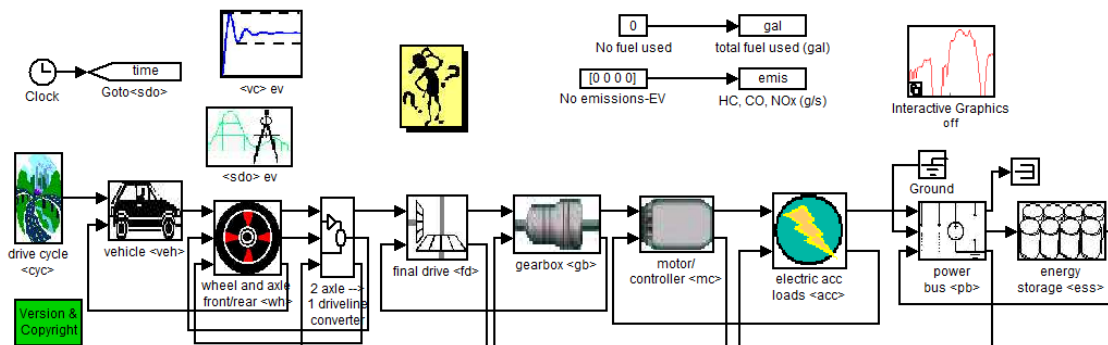
$$K_{bat}(t) + K_{sc}(t) = 1$$

$$SOC_{bat\ min} \leq SOC_{bat}(t) \leq SOC_{bat\ max}$$

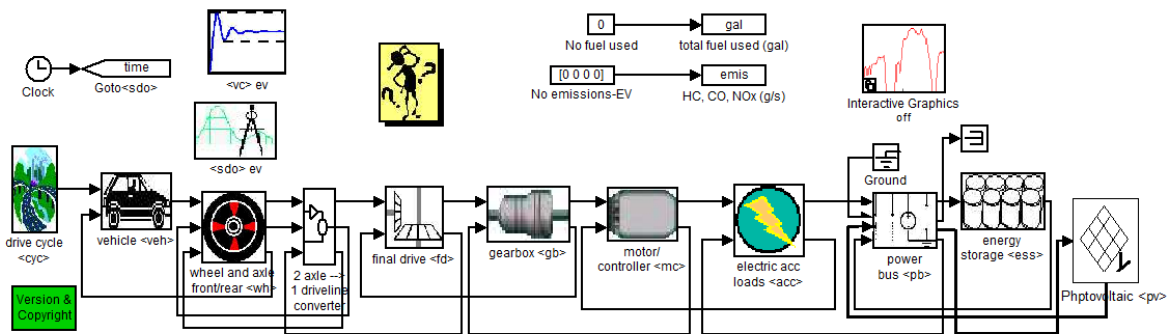
$$SOC_{sc\ min} \leq SOC_{sc}(t) \leq SOC_{sc\ max}$$

۳-۱-۵- بلوک دیاگرام خودروهای برقی و برقی خورشیدی در نرم افزار Advisor

بلوک دیاگرام خودروهای برقی و برقی - خورشیدی مورد مطالعه در این پایان نامه به ترتیب در شکل های (۲-۳) و (۳-۳) ارائه شده اند.



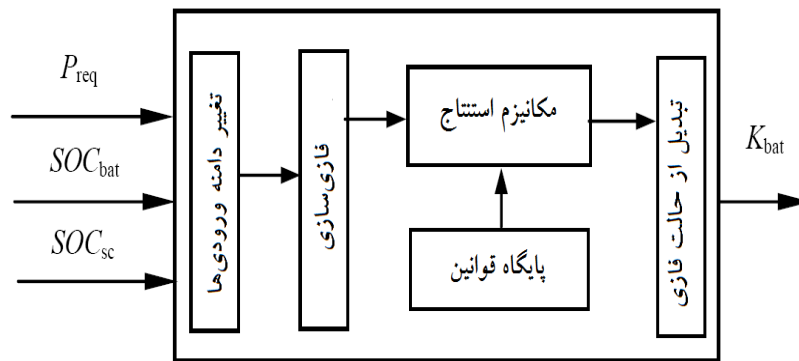
شکل (۲-۳): بلوک دیاگرام خودرو الکتریکی مورد نظر در نرم افزار Advisor



شکل (۳-۳): بلوک دیاگرام خودرو الکتریکی مورد نظر به همراه سلول‌های خورشیدی در نرم‌افزار Advisor

۳-۱-۶- طراحی کنترل کننده فازی برای مدیریت استفاده از منابع انرژی

با توجه به تجزیه و تحلیل در بخش قبل، می‌توان دید که برای مدیریت انرژی لازم است که تصمیم‌گیری مناسبی در هر لحظه از زمان برای یافتن مقادیر مناسب ضرایب انتساب توان باتری و ابرخازن $K_{sc}(t)$ و $K_{bat}(t)$ صورت پذیرد. با توجه به اینکه مسئله مدیریت انرژی دو منبع، عملاً یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی است، روش‌های بهینه‌سازی سنتی در اینجا نامناسب هستند. کنترل فازی یک جایگزین عملی برای انواع کاربردهای چالش برانگیز کنترل است و یک روش مناسب برای ساخت کنترل غیر خطی با استفاده از اطلاعات اکتشافی فراهم می‌کند [۳۳]. با این حال، کنترل فازی دارای برخی اشکالات ذاتی است و بنابر این نیاز به بهبود دارد. بنابراین، الگوریتم ژنتیک ترکیبی اعداد صحیح معرفی شده برای بهینه‌سازی کنترل کننده فازی در این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است. در فصل قبل این الگوریتم بهینه‌سازی معرفی گردید. در این بخش از این فصل تشریح مسئله مورد نظر به همراه قوانین اگر آنگاه و توابع عضویت فازی ارائه می‌گردند.



شکل (۳-۴): بلوک دیاگرام ساده شده‌ای از کنترل فازی

در شکل (۳-۴) بلوک دیاگرام ساده شده‌ای از کنترل فازی برای مدیریت انرژی منابع نشان داده شده است. ورودی‌های این کنترل توان خروجی مورد نیاز، وضعیت شارژ باتری و وضعیت شارژ خازن‌ها هستند. خروجی این کنترل کننده ضریب انتساب توان باتری است. هنگامی که ضریب انتساب توان باتری پیدا شود، ضریب انتساب توان ابر خازن نیز به راحتی تعیین می‌شود. توابع عضویت فازی و قوانین اگر آنگاه زبانی برای سه ورودی و خروجی در شکل (۳-۳) و جداول (۳-۱) تا (۳-۳) نشان داده شده است. مقادیر متغیرهای زبانی در جدول (۳-۴) آورده شده است. برای مثال یک قانون از قوانین اگر آنگاه فازی ارائه شده در این جداول به این صورت است که:

اگر مقدار توان مورد نیاز منفی و بزرگ و وضعیت شارژ باتری پایین و وضعیت شارژ ابرخازن نیز پایین باشند، آنگاه ضریب انتساب توان باتری متوسط است.

جدول (۳-۱): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل کننده فازی نمونه

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	ME	ML	LE
	NM	ME	ML	LE
	NS	ML	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	MB	GE	GE
	PM	MB	GE	GE
	PB	MB	GE	GE

جدول (۲-۳): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل کننده فازی نمونه

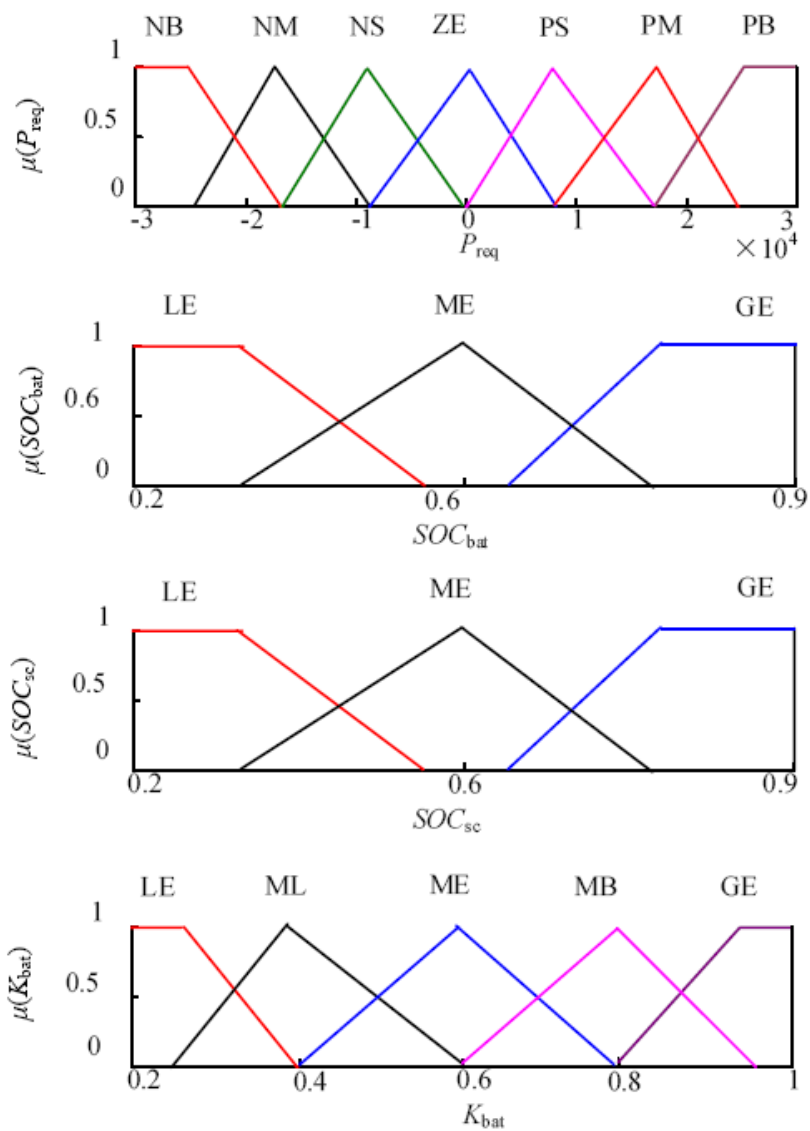
		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	ME	ML	LE
	NM	MB	ML	LE
	NS	MB	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	ML	ME	MB
	PM	LE	ME	GE
	PB	ML	MB	GE

جدول (۳-۳): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل کننده فازی نمونه

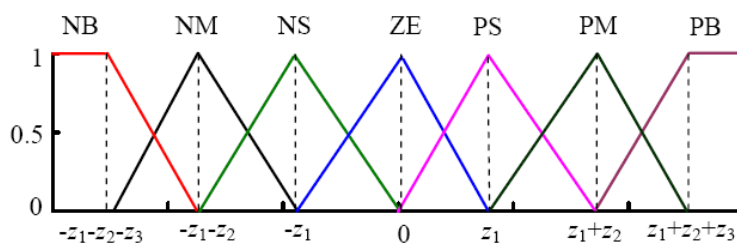
		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	GE	MB	ME
	NM	GE	ML	LE
	NS	GE	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	LE	LE	LE
	PM	LE	ML	ME
	PB	LE	ME	MB

جدول (۴-۳): مقادیر متغیرهای زبانی

NB	NM	NS	ZE	PS	PM
negative big	negative medium	negative small	Zero	positive small	positive medium
PB	LE	ML	ME	MB	GE
positive big	Little	medium little	medium	medium big	Great



شکل (۳-۵): توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی کنترل کننده



شکل (۳-۶): پارامترهای تابع عضویت توان مورد نیاز

همانطور که در شکل دیده می‌شود، تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز حول مقدار توان نیاز صفر متقارن است. همانطور که مشاهده می‌شود این تابع عضویت با تعیین سه پارامتر به صورت منحصر بفرد مشخص می‌شود. این پارامترها در شکل (۳-۶) با z_1 ، z_2 و z_3 نشان داده شده‌اند. به

صورت مشابه برای مشخص شدن تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری و ابرخازن به ترتیب پارامترهای Z_4 و Z_5 مورد نیاز است. همچنین پارامترهای مشخص کننده تابع عضویت مربوط به خروجی کنترل کننده Z_6 و Z_7 هستند. این پارامتر در واقع γ متغیر بهینه‌سازی را معرفی می‌کند. این متغیرها پیوسته هستند. همچنین متغیرهای دیگر شامل خروجی قوانین اگرآنگاه هستند. در مجموع سه وضعیت شارژ باتری، سه وضعیت شارژ ابرخازن و γ وضعیت توان مورد نیاز وجود دارد. بنابر این ۶۳ قانون اگر آنگاه وجود دارد. این ۶۳ قانون، ۶۳ متغیر تصمیم‌گیری را معرفی می‌کنند. این متغیرها اعداد صحیح هستند. نظر به اینکه برای خروجی (ضریب انتساب توان باتری) ۵ حالت وجود دارد، این متغیرها بین ۱ تا ۵ هستند.

فصل چهارم

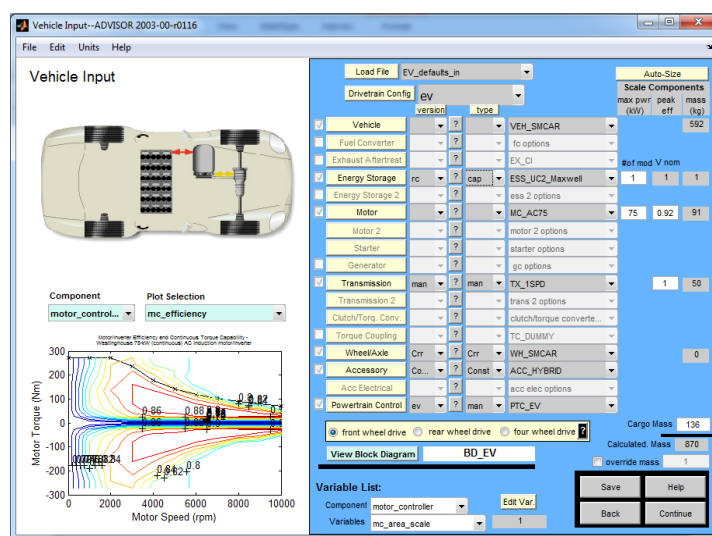
مدیریت بهینه

انرژی در خودروی

برقی خورشیدی

۴-۱- مقدمه

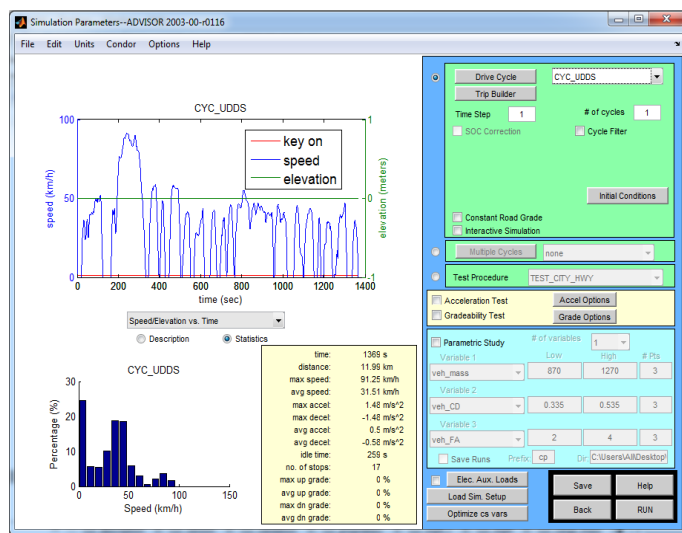
در این فصل به ارائه یک کنترل کننده فازی برای کنترل نحوه شارژ و دشارژ ابر خازن و باتری یک خودروی برقی هیبریدی پرداخته خواهد شد. این خودرو برای تامین نیروی پیشرانه خود از مجموعه‌ای از ابر خازن‌ها و باتری استفاده می‌کند. در یک بخش جداگانه همچنین سلول‌های خورشیدی نیز به خودرو اضافه شده‌اند تا تاثیر آن‌ها نیز دیده شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها به کمک نرم‌افزار Advisor در این فصل ارائه می‌گردد. شکل (۴-۱) تنظیمات این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. مشخصات فنی این خودرو در جدول (۴-۱) آورده شده است.



شکل (۴-۱): پارامترهای خودرو الکتریکی مورد نظر در نرم‌افزار Advisor

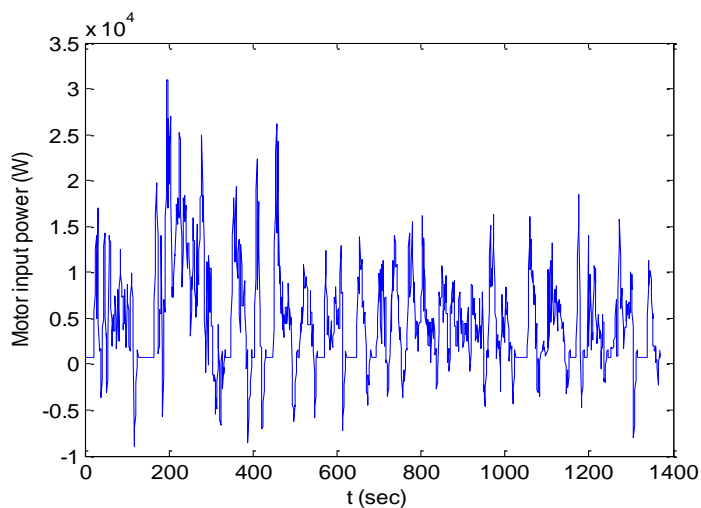
۴-۲- کنترل و مدیریت انرژی دو وضعیت (on/off) برای یک خودرو برقی

در مطالعات این فصل، دو سیکل رانندگی مختلف برای بررسی توان مورد نیاز خودرو مورد نظر بررسی خواهند شد. سیکل اول EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (CYC_UDDS) است. شکل (۴-۲) مشخصات کلی این سیکل را نشان می‌دهد. در این شکل سرعت خودرو در طول ۱۳۶۹ ثانیه این سیکل رانندگی دیده می‌شود. برای تغییر سیکل رانندگی همانطور که در قسمت سمت راست شکل (۴-۲) نشان می‌دهد، نرم‌افزار Advisor چندین سیکل رانندگی استاندارد را ارائه می‌دهد. می‌توان در این بخش سیکل رانندگی مورد نظر را انتخاب کرد.



شکل (۴-۲): سیکل رانندگی اول (CYC_UDDS) در نرم‌افزار Advisor

با شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار Advisor توان مورد نیاز برای به انجام این سیکل رانندگی را می‌توان یافت. توان مورد نیاز موتور خودرو در هر ثانیه از این سیکل رانندگی در شکل (۴-۳) رسم شده است.



شکل (۴-۳): توان مورد نیاز موتور در سیکل رانندگی اول (CYC_UDDS).

در این زیربخش برای مطالعه کنترل کننده ساده دو وضعیتی مورد نظر سیکل رانندگی اول مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این کنترل کننده ساده از وضعیت شارژ باتری، وضعیت شارژ ابرخازن و میزان توان مورد نیاز برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. دو وضعیت برای توان مورد نیاز (شتاب-گیرنده و یا ترمزی)، دو وضعیت برای وضعیت شارژ باتری (بین ۲۰ درصد و ۵۰ درصد و یا بین ۵۰ درصد و ۸۰ درصد) و دو وضعیت برای وضعیت شارژ ابرخازن (بین ۲۰ درصد و ۵۰ درصد و یا بین ۵۰ درصد و ۸۰ درصد) در نظر گرفته شده است. تعداد کل حالات ۸ حالت خواهد شد. در واقع از نظر تشریح مسئله بهینه‌سازی این کنترل کننده تنها یک تفاوت با کنترل کننده فازی ارائه شده در این پایان‌نامه دارد. در کنترل کننده فازی ارائه شده وضعیت شارژ باتری، وضعیت شارژ ابرخازن و میزان توان مورد نیاز به صورت اعداد فازی مدل می‌شوند. در کنترل کننده گسته این مقادیر اعداد حقیقی را به خود اختصاص می‌دهند. بنابر این متغیرهای تصمیم‌گیری که درصد مشارکت باتری و ابرخازن برای تامین توان مورد نیاز هستند باید برای هر یک از این ۸ حالت بدست آیند. این امر باید بگونه‌ای صورت پذیرد که کل انرژی مصرف شده از دو منبع کمینه شود و قیود وضعیت شارژ رعایت شوند. تشریح خلاصه مسئله بهینه‌سازی این بخش در اینجا آورده شده است. در این فرمول بندی η^d و η^c به ترتیب بازدهی شارژ و دشارژ هستند. همچنین state معرف وضعیت‌های هشت‌گانه اشاره شده است.

$$\text{Max Energy}_{bat.SOC_{final,bat} + \text{Energy}_{cap.SOC_{final,cap}}$$

$$K_{bat,i}$$

$$1 \leq i \leq 8$$

$$s.t$$

$$SOC_{bat \min} \leq SOC_{bat}(t) \leq SOC_{bat \max}$$

$$SOC_{cap \min} \leq SOC_{cap}(t) \leq SOC_{cap \max}$$

$$\forall t \quad 1 \leq t \leq T$$

$$SOC_{bat}(1) = SOC_{bat,initial}, SOC_{cap}(1) = SOC_{cap,initial}$$

$$SOC_{bat,final} = SOC_{bat}(T), SOC_{cap,final} = SOC_{cap}(T)$$

$$SOC_{bat}(t+1) = \begin{cases} SOC_{bat}(t) - \eta_{bat}^d k_{bat,i} \cdot P_{rec}(t+1) & \text{if the state} = i \text{ and } P_{rec}(t+1) > 0 \\ SOC_{bat}(t) + \eta_{bat}^c k_{bat,i} \cdot P_{rec}(t+1) & \text{if the state} = i \text{ and } P_{rec}(t+1) \leq 0 \end{cases}$$

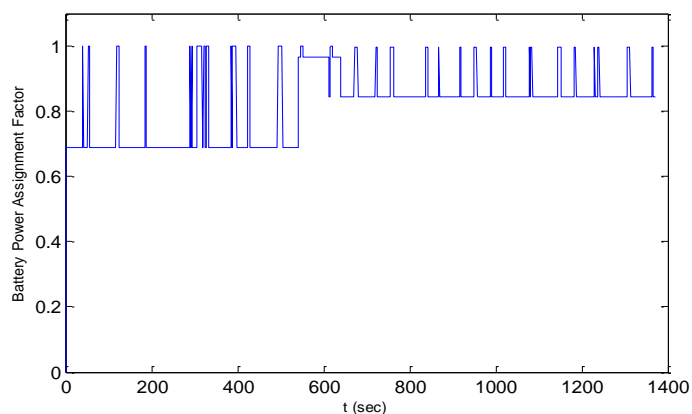
$$SOC_{cap}(t+1) = \begin{cases} SOC_{cap}(t) - \eta_{cap}^d (1 - K_{bat,i}) \cdot P_{rec}(t+1) & \text{if the state} = i \text{ and } P_{rec}(t+1) > 0 \\ SOC_{cap}(t) + \eta_{cap}^c (1 - K_{bat,i}) \cdot P_{rec}(t+1) & \text{if the state} = i \text{ and } P_{rec}(t+1) \leq 0 \end{cases}$$

نتایج بهینه‌سازی برای سیکل رانندگی اول در جدول (۴-۱) آورده شده است

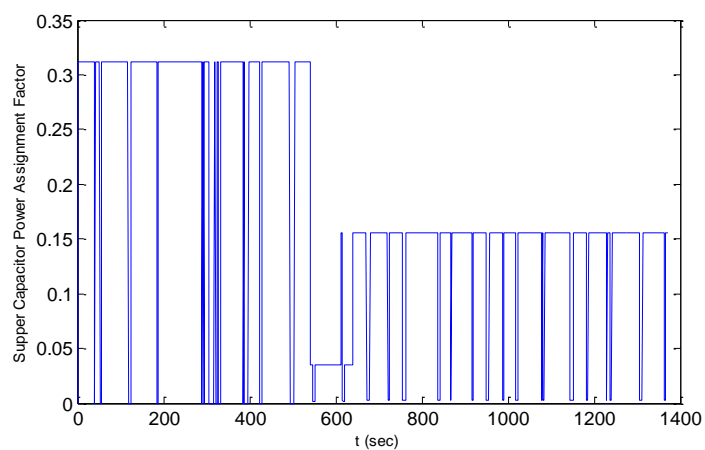
جدول (۴-۱): قوانین (on/off) برای کنترل کننده دو وضعیتی بهینه.

شماره حالت	توان مورد نیاز	درصد شارژ باتری	درصد شارژ ابرخازن	میزان مشارکت باتری (درصد)	میزان مشارکت ابرخازن (درصد)
۱	شتاب دهنده	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۸۴.۴	۱۵.۶
۲	شتاب دهنده	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۹۴.۴	۵.۶
۳	شتاب دهنده	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۶.۵	۳.۵
۴	شتاب دهنده	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۶۸.۸	۳۱.۲
۵	ترمزی	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۷.۷	۲.۳
۶	ترمزی	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۵.۵	۹۴.۵
۷	ترمزی	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۹.۸	۰.۲
۸	ترمزی	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۱۰۰	۰

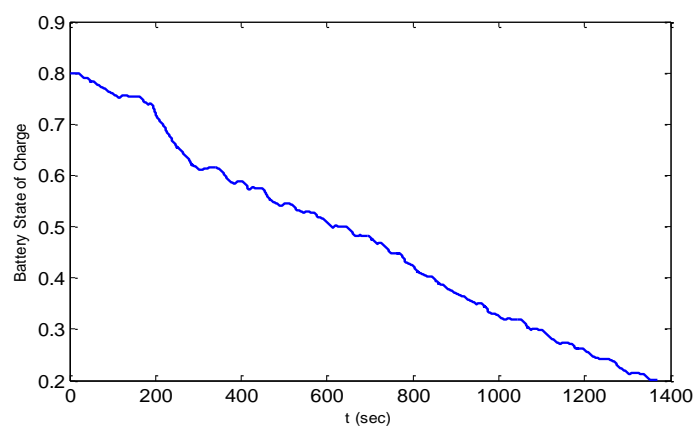
با این کنترل کننده و شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان با توجه به توان مورد نیاز موتور در هر لحظه، وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۴) و (۴-۵) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۶) و (۴-۷) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر اولیه برای شارژ خازن‌ها و باتری‌ها ۰/۸ بیشینه شارژ این منابع در نظر گرفته شده است. همانطور که این شکل‌ها نشان می‌دهند قید مربوط به کمینه شارژ خازن‌ها و باتری با این کنترل کننده ارضا می‌گردد. همچنین کل انرژی مصرف شده (مجموع انرژی تحویلی خازن‌ها و باتری‌ها) با استفاده از این کنترل کننده ۶/۶۴ مگاژول است.



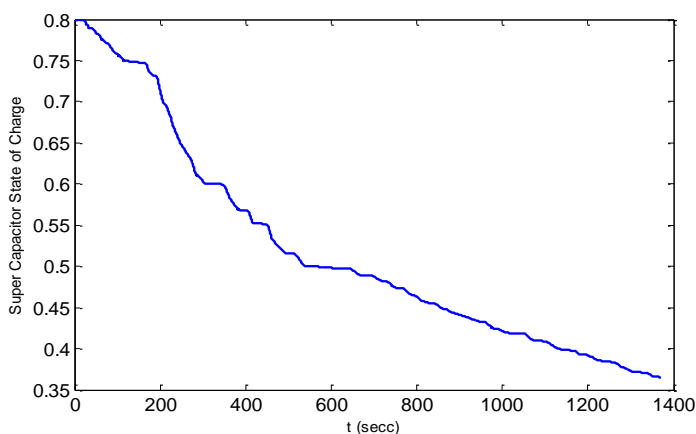
شکل (۴-۴): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه.



شکل (۴-۵): نسبت مشارکت خازن‌ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه.



شکل (۴-۶): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه.

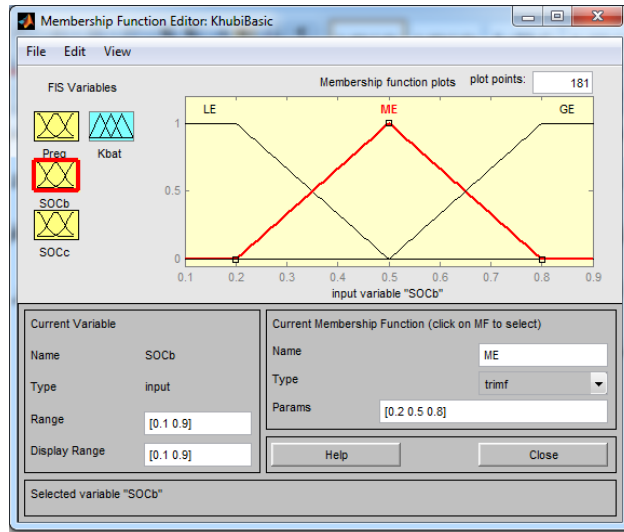


شکل (۴-۷): وضعیت شارژ ابرخازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیت‌ی بهینه.

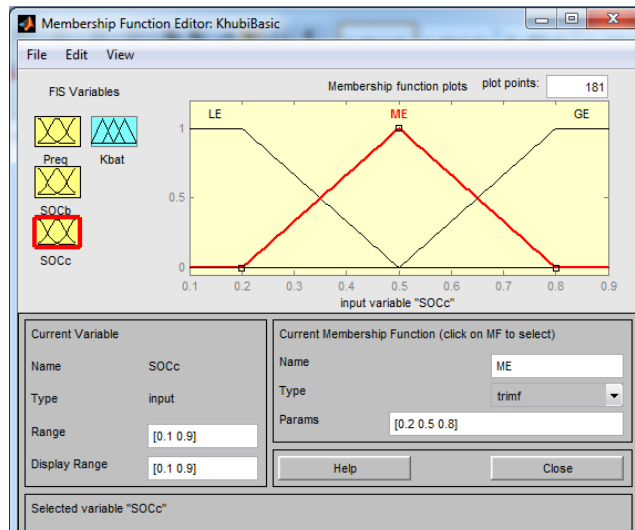
۳-۴- کنترل کننده فازی از پیش طراحی شده

با ارائه توابع عضویت در حالت پایه و ارائه یک کنترل کننده از پیش طراحی شده برای کنترل فازی مطرح شده در فصول قبل درصد مشارکت باتری و ابر خازن در تامین توان مورد نیاز خودرو در سیکل‌های رانندگی مختلف بدست خواهد آمد.

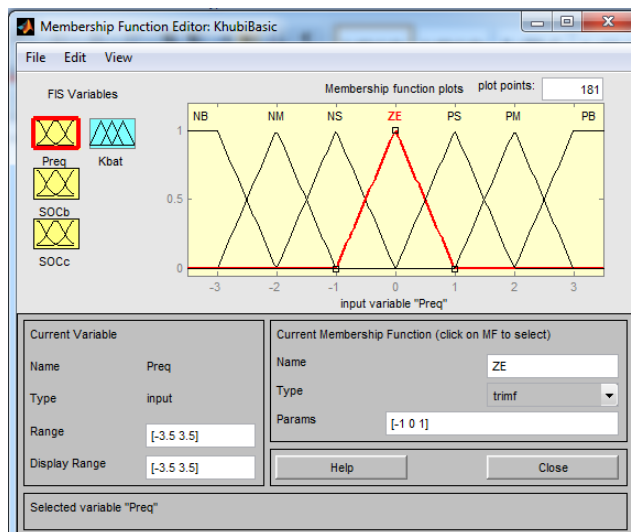
ورودی‌های این کنترل کننده شامل وضعیت شارژ باتری، وضعیت شارژ ابرخازن و میزان توان ورودی است. خروجی این کنترل کننده میزان درصد مشارکت باتری در تامین توان مورد نیاز در هر لحظه است. شکل‌های (۴-۸) تا (۴-۱۱) توابع عضویت مورد استفاده برای سه متغیر ورودی و تنها متغیر خروجی را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است برای شبیه‌سازی کنترل کننده فازی از GUI طراحی شده در نرم‌افزار متلب به نام fuzzy استفاده شده است. با نوشتن عبارت fuzzy در پنجره Command Window در نرم‌افزار متلب این ابزار امکان ویرایش کنترل کننده مورد نظر را به کاربر می‌دهد.



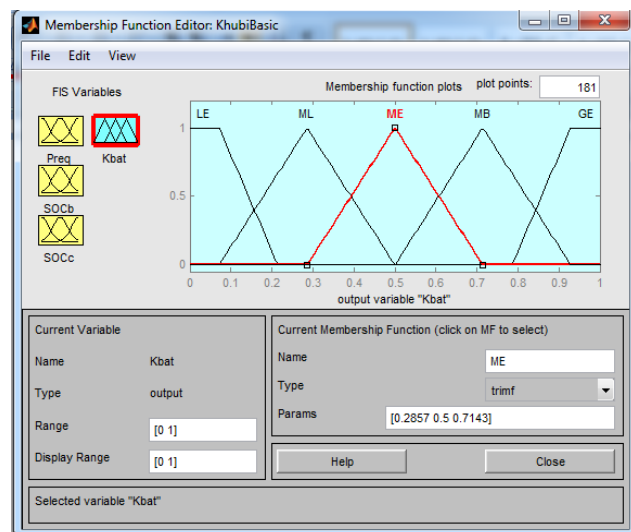
شکل (۴-۸): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی پایه.



شکل (۴-۹): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی پایه.



شکل (۴-۱۰): تابع عضویت مربوط به مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی پایه.



شکل (۴-۱۱): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی پایه.

جداول (۴-۲) تا (۴-۴) قوانین ساده (شفاهی) اگر آنگاه فازی را نشان می‌دهد. این قوانین از استخراج خبرگی و با پرسش از متخصصین امر بدست آمده و در مرجع [۲۶] گزارش گردیده‌اند. در هریک از این جداول با معلوم بودن حدود سه متغیر ورودی، محدوده متغیر خروجی بیان شده است.

جدول (۴-۲): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل کننده فازی پایه

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	ME	ML	LE
	NM	ME	ML	LE
	NS	ML	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	MB	GE	GE
	PM	MB	GE	GE
	PB	MB	GE	GE

جدول (۴-۳): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل کننده فازی پایه

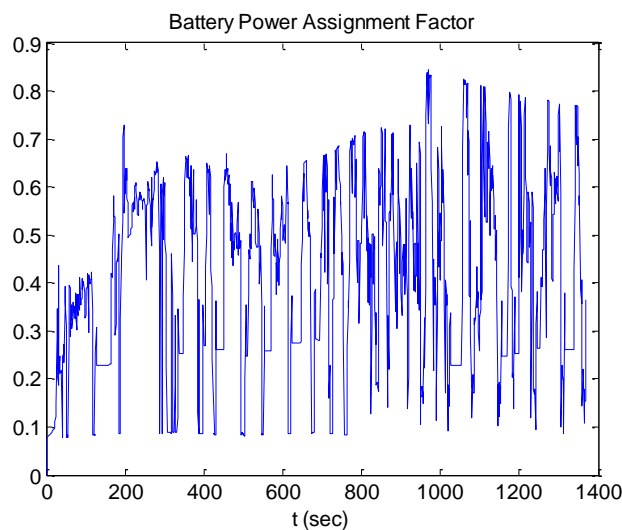
		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	ME	ML	LE
	NM	MB	ML	LE
	NS	MB	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	ML	ME	MB
	PM	LE	ME	GE
	PB	ML	MB	GE

جدول (۴-۴): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل کننده فازی پایه

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	GE	MB	ME
	NM	GE	ML	LE
	NS	GE	LE	LE
	ZE	LE	LE	LE
	PS	LE	LE	LE
	PM	LE	ML	ME
	PB	LE	ME	MB

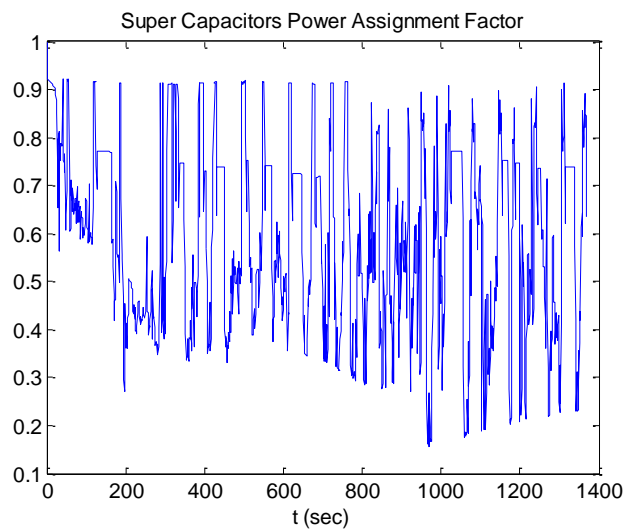
با در نظر گرفتن توابع عضویت معرفی شده در شکل‌های (۴-۸) تا (۴-۱۱) برای ورودی‌ها و خروجی مورد نظر و قوانین اگر آنگاه معرفی شده در جداول (۴-۲) تا (۴-۴) کنترل کننده فازی پایه مورد نظر در این بخش مشخص می‌گردد. با این کنترل کننده و شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان با توجه به توان مورد نیاز موتور در هر لحظه، وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد

نیاز موتور را نشان می‌دهد. نمودارهای (۴-۹) و (۴-۸) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر اولیه برای شارژ خازن‌ها و باتری‌ها ۰/۸ بیشینه شارژ این منابع در نظر گرفته شده است. همانطور که این نمودارها نشان می‌دهند قید مربوط به کمینه شارژ خازن‌ها با این کنترل کننده ارضا نمی‌گردد. همچنین کل انرژی مصرف شده (مجموع انرژی تحویلی خازن‌ها و باتری‌ها) با استفاده از این کنترل کننده ۶/۷۱ مگا ژول است.

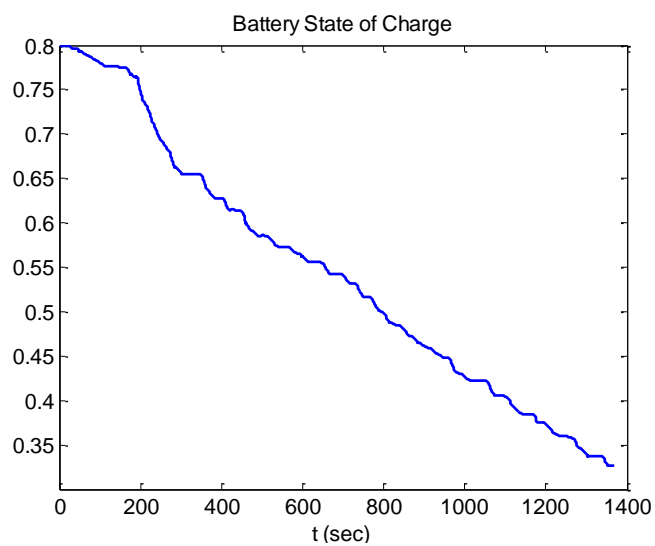


شکل(۴-۱۲): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده

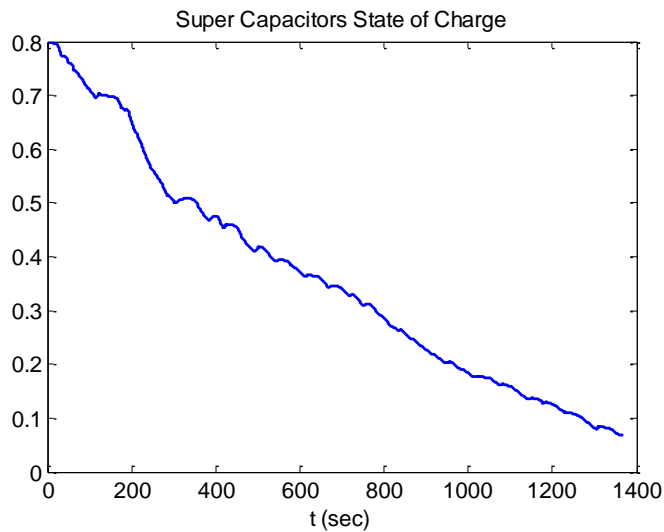
فازی پایه.



شکل (۴-۱۳): نسبت مشارکت ابر خازن‌ها برای تامین توان در سیکل رانندگی اول با کنترل کننده فازی پایه.

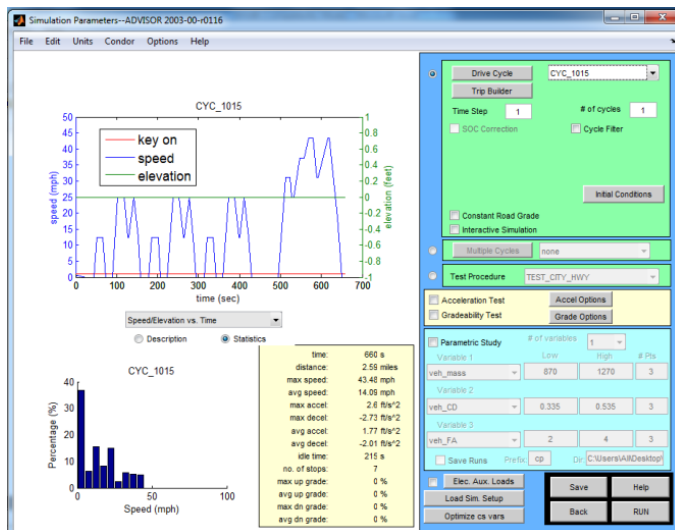


شکل (۴-۱۴): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه



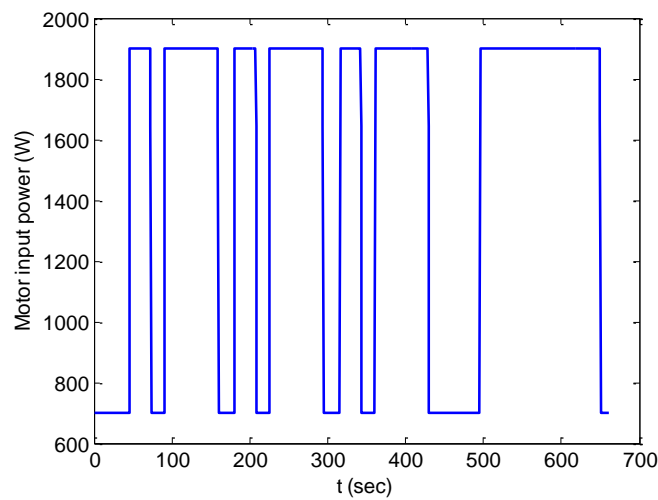
شکل (۴-۱۵): وضعیت شارژ خازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی پایه.

برای سیکل رانندگی دوم از بین سیکل‌های رانندگی موجود در نرم‌افزار Advisor سیکل Japanese 10-15 mode driving cycle انتخاب شده است. شکل (۴-۱۶) این سیکل رانندگی را نشان می‌دهد.

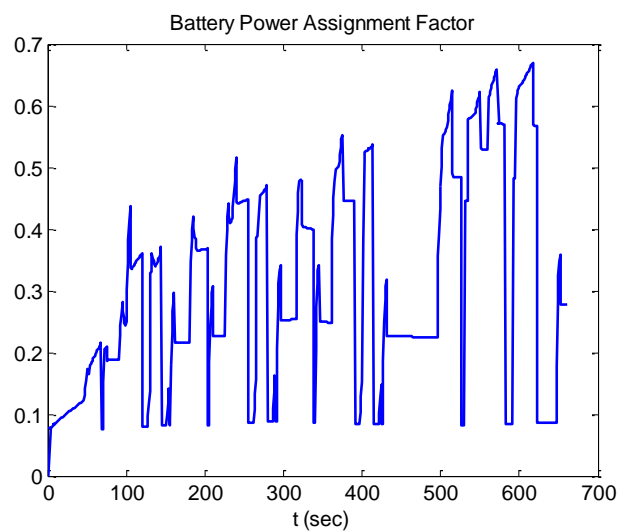


شکل (۴-۱۶): سیکل رانندگی دوم (CYC_MDC 1015) در نرم‌افزار Advisor

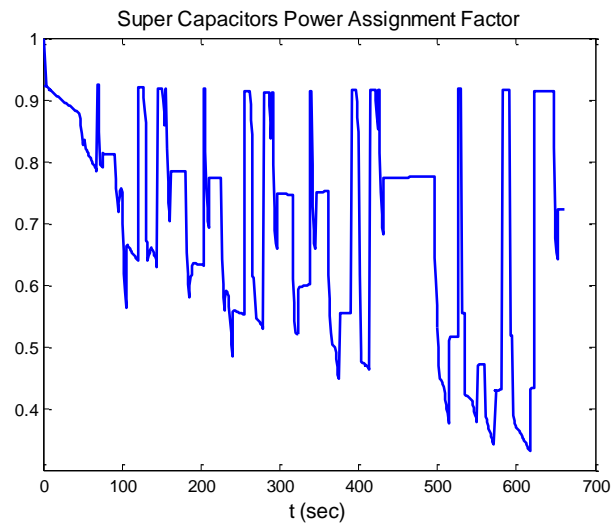
شکل (۴-۱۷) توان مورد نیاز موتور را در طول ۶۶۰ ثانیه این سیکل رانندگی را نشان می‌دهد. با توجه به این سیکل رانندگی و با توجه به توابع عضویت معرفی شده و قوانین اگر آنگاه ارائه شده برای کنترل کننده فازی پایه معرفی شده برای این خودرو الکتریکی، شکل‌های (۴-۱۸) و (۴-۱۹) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۲۰) و (۴-۲۱) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را نشان می‌دهد. با استراتژی کنترلی معرفی شده انرژی مصرف شده در طول این سیکل رانندگی ۲/۳۹۵ مگا ژول است.



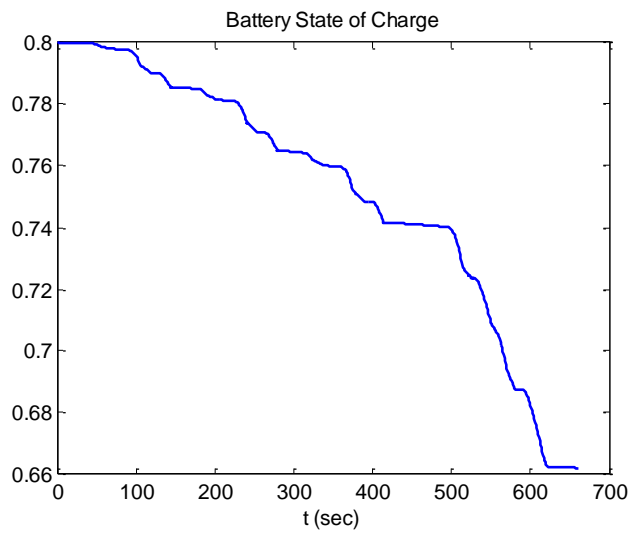
شکل (۴-۱۷): توان مورد نیاز موتور در سیکل رانندگی دوم (CYC_MDC 1015).



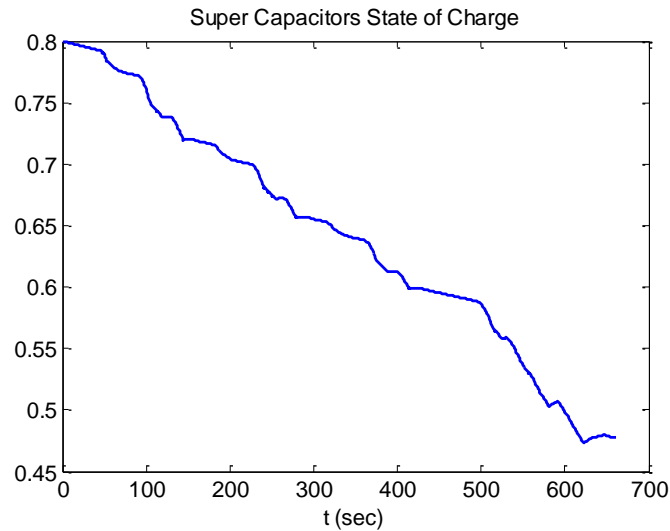
شکل (۴-۱۸): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه.



شکل (۴-۱۹): نسبت مشارکت ابر خازن برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه.



شکل (۴-۲۰): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه.



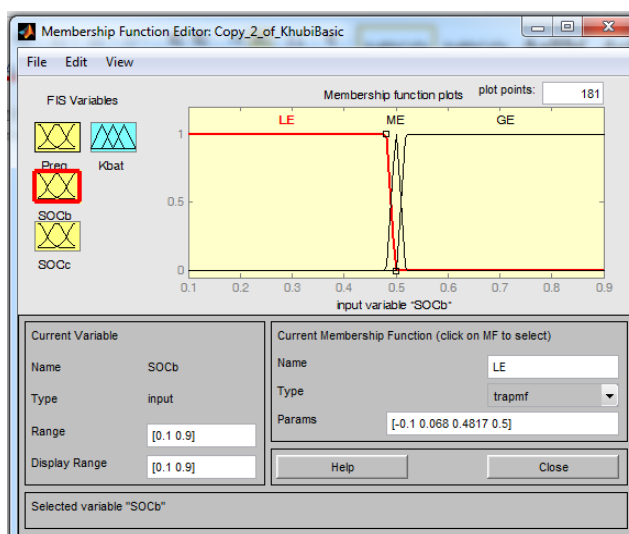
شکل (۴-۲۱): وضعیت شارژ ابر خازن‌ها در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی پایه.

۴-۴- طراحی بهینه کنترل کننده فازی خودرو الکتریکی

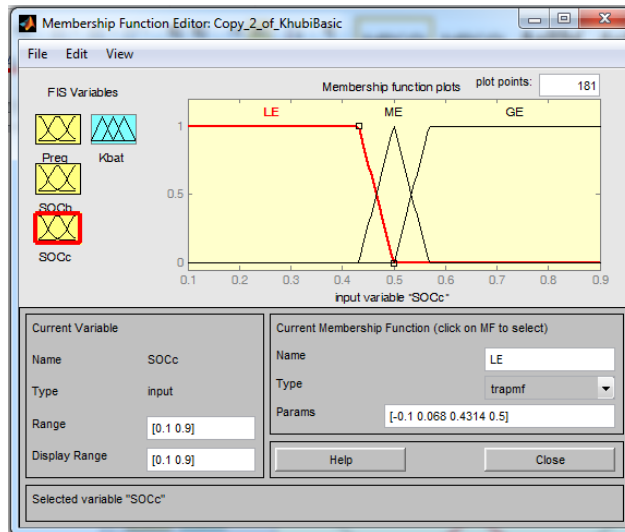
در این قسمت سعی خواهد شد، با طراحی مناسب، کنترل کننده فازی پایه ارائه شده در قسمت قبل بهبود یابد. همانطور که در فصول قبل بیان گردید، با تغییر در توابع عضویت و قوانین اگر آنگاه فازی معرفی شده برای کنترل نسبت استفاده از باتری و ابرخازن‌ها در تامین توان مورد نیاز خودرو، می‌توان کنترل کننده فازی معرفی شده را تغییر داد. بنابراین در این قسمت سعی خواهد شد که با استفاده از بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک معرفی شده در فصل ... کنترل کننده بهینه‌ای برای بدست آوردن بهنگام نسبت استفاده از هر یک از منابع انرژی موجود در این خودرو طراحی نمود. همانطور که گفته شد الگوریتم ژنتیکی که در این پایان‌نامه استفاده شده است، توانایی حل مسائل بهینه‌سازی که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری هم می‌توانند عدد صحیح و هم می‌توانند عدد حقیقی باشند را دارا است. در این پایان‌نامه از بین متغیرهای تصمیم‌گیری برای بدست آوردن طرح کنترل فازی بهینه، خروجی‌های قوانین اگر آنگاه متغیر صحیح و پارامترهای توابع عضویت فازی متغیر پیوسته هستند. با استفاده از الگوریتم معرفی شده در فصول قبل، در این فصل پارامترهای بهینه و قوانین اگر آنگاه مناسب برای رسیدن به یک طرح کنترلی ایده‌آل بدست آمده‌اند.

در این بخش نیز طراحی بهینه کنترل کننده مورد نظر به کمک تست خودرو در نرم‌افزار Advisor با دو سیکل رانندگی مختلف بدست آمده است. سیکل رانندگی اول (CYC_UDDS) در

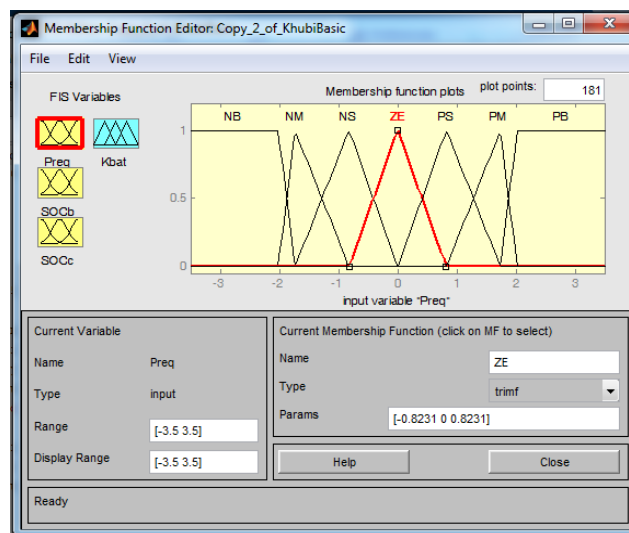
شکل (۲-۴) نشان داده شده است. توان مورد نیاز موتور در این سیکل در شکل (۳-۴) ارائه گردیده است. با انجام بهینه‌سازی توابع عضویت فازی مناسب مطابق شکل‌های (۲۲-۴) تا (۲۵-۴) برای ورودی‌ها و خروجی کنترل فازی بدست می‌آید. همچنین قوانین اگر آنگاه مناسب در این سیکل برای رسیدن به کنترل کننده فازی بهینه در جداول (۴-۵) تا (۴-۷) ارائه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود توابع عضویت و قوانین اگر آنگاه در کنترل کننده بهینه با کنترل کننده فازی پایه ارائه شده در فصل قبل متفاوت هستند. با بدست آوردن طرح بهینه برای کنترل کننده فازی خودرو برقی مورد نظر، اینک زمان آن رسیده است که این طرح کنترلی مورد آزمون قرار بگیرد و میزان انرژی مصرفی خودرو و وضعیت شارژ و میزان استفاده از هر یک از منابع انرژی موجود در این خودرو به کمک این کنترل کننده بدست آید تا کارایی کنترل کننده مورد نظر بررسی گردد.



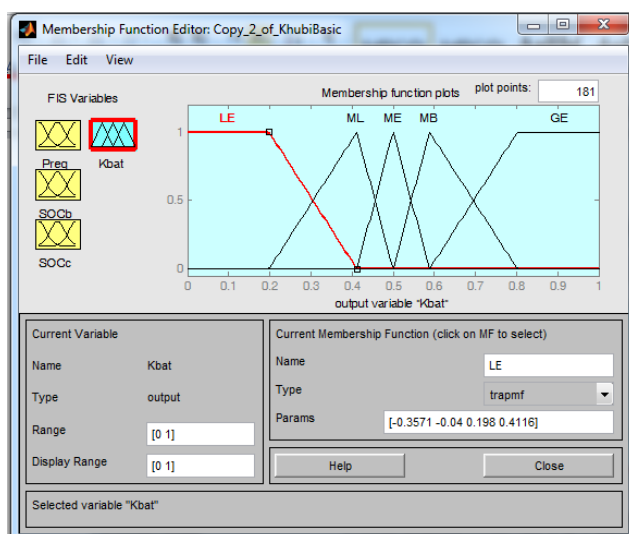
شکل (۲۲-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول.



شکل (۴-۲۳): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول.



شکل (۴-۲۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول.



شکل (۴-۲۵): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول.

جدول (۴-۵): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل

رانندگی اول

		SOC_b		
		LE	ME	GE
P_{req}	NB	MB	MB	ML
	NM	ME	ML	MB
	NS	LE	MB	LE
	ZE	MB	GE	ML
	PS	MB	GE	MB
	PM	MB	MB	GE
	PB	MB	LE	GE

جدول (۴-۶): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل کننده فازی بهینه سیکل در

رانندگی اول

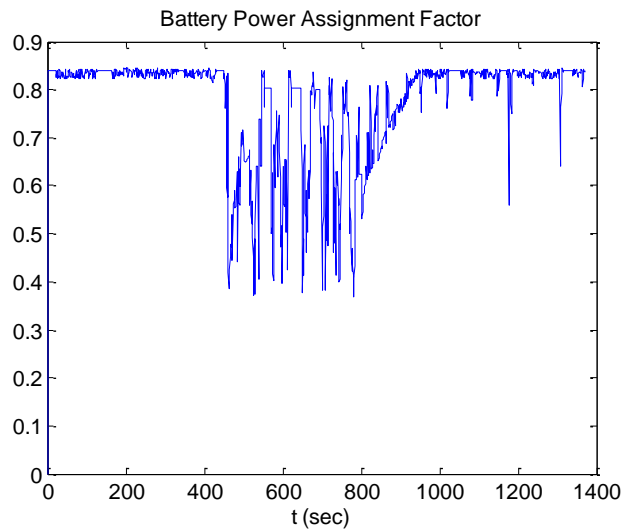
		SOC_b		
		LE	ME	GE
P_{req}	NB	MB	MB	LE
	NM	GE	ML	MB
	NS	GE	MB	GE
	ZE	GE	MB	MB
	PS	MB	ML	ME
	PM	ML	ML	GE
	PB	ML	ML	ML

جدول (۴-۷): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل

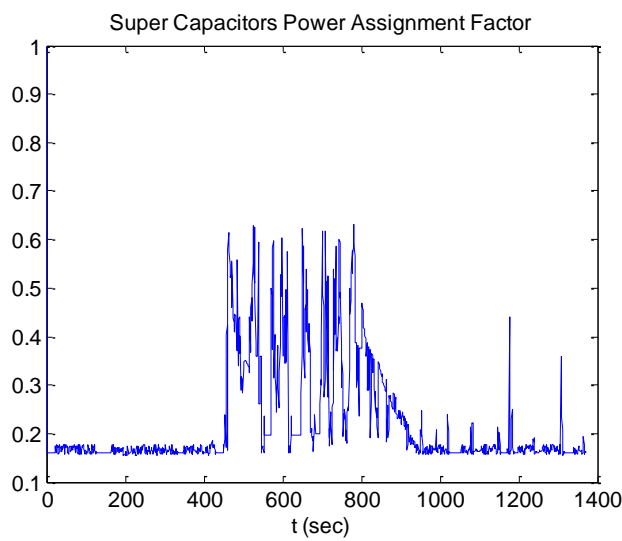
رانندگی اول

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	MB	LE	MB
	NM	MB	MB	MB
	NS	MB	MB	MB
	ZE	LE	MB	GE
	PS	MB	ML	MB
	PM	ML	ML	MB
	PB	MB	ML	MB

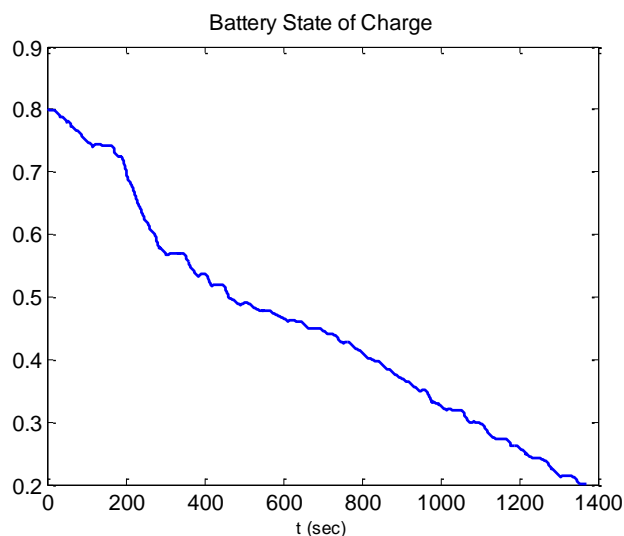
با در نظر گرفتن توابع عضویت بهینه شکل‌های (۴-۲۲) تا (۴-۲۵) برای ورودی‌ها و خروجی مورد نظر و قوانین اگر آنگاه معرفی شده در جداول (۴-۵) تا (۴-۷) با شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۲۶) و (۴-۲۷) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۲۸) و (۴-۲۹) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را در طول سیکل رانندگی اول را نشان می‌دهد. همانطور که در بخش قبل دیده شد قید مربوط به کمینه شارژ خازن‌ها با کنترل کننده پایه ارضا نمی‌گردید. با انجام بهینه‌سازی اکنون شارژ باقی مانده نهایی برای خازن‌ها و باتری‌ها قید کمینه شارژ قابل قبول را ارضا می‌نماید. همچنین کل انرژی مصرف شده با استفاده از کنترل کننده بهینه ۶/۵۵ مگا ژول است. همانطور که دیده شد این رقم برای کنترل کننده پایه ۶/۷۱ مگا ژول بوده است.



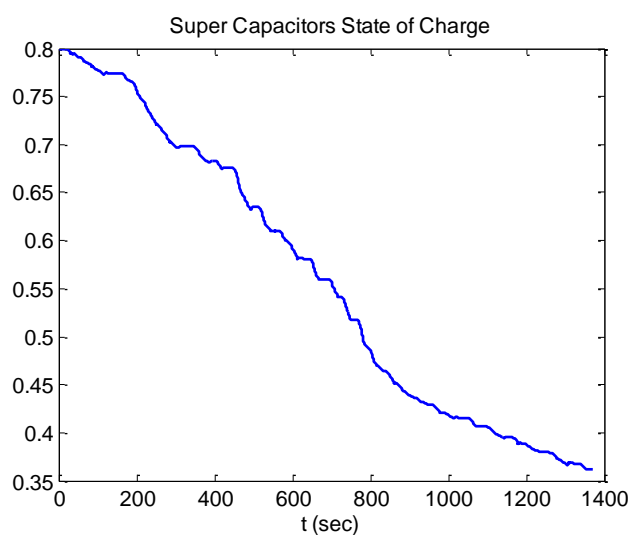
شکل (۴-۲۶): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه.



شکل (۴-۲۷): نسبت مشارکت ابرخازن‌ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه.



شکل (۴-۲۸): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه.

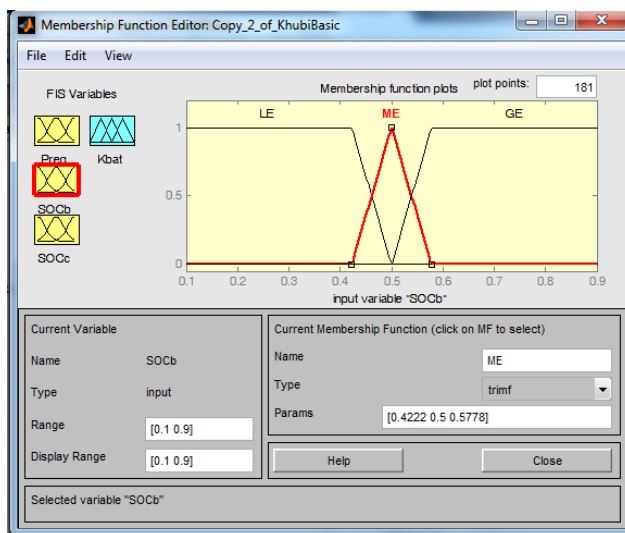


شکل (۴-۲۹): وضعیت شارژ ابر خازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه.

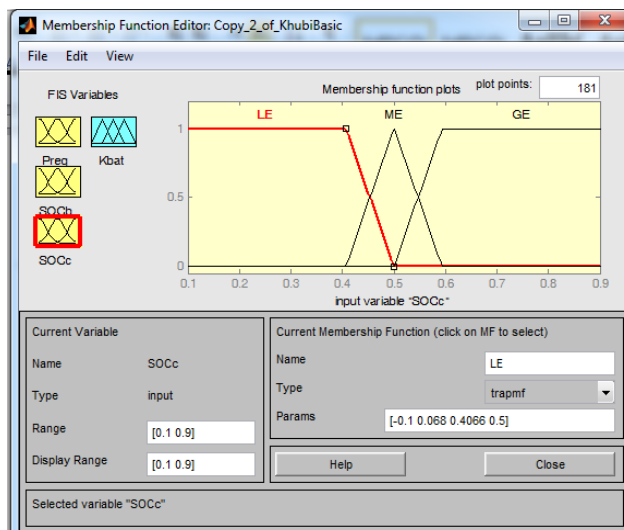
برای سیکل رانندگی دوم از بین سیکل‌های رانندگی موجود در نرم‌افزار Advisor سیکل Japanese 10-15 mode driving cycle انتخاب شده است. شکل (۴-۱۶) این سیکل رانندگی را نشان می‌دهد.

توان مورد نیاز موتور در این سیکل در شکل (۴-۱۷) ارائه گردیده است. با انجام بهینه‌سازی به کمک روش پیشنهادی توابع عضویت فازی مناسب مطابق شکل‌های (۴-۳۰) تا (۴-۳۳) برای ورودی‌ها و خروجی بدست می‌آید. قوانین اگر آنگاه مناسب نیز در سیکل دوم برای رسیدن به کنترل

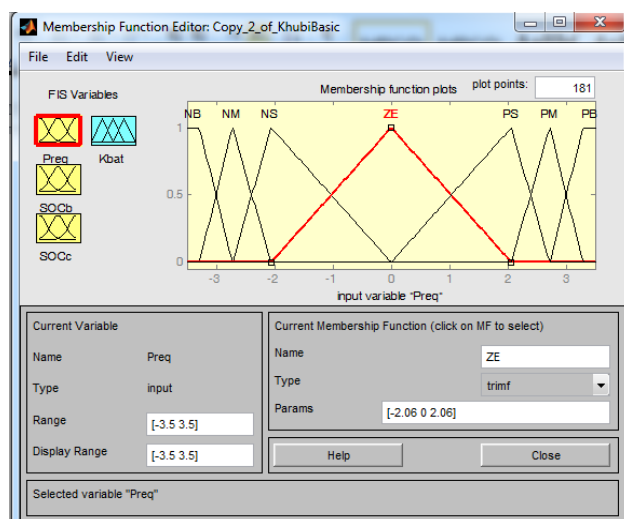
کننده فازی بهینه در جداول (۴-۸) تا (۴-۱۰) ارائه شده‌اند. مشاهده می‌گردد توابع عضویت و قوانین اگر آنگاه در کنترل کننده بهینه با کنترل کننده فازی پایه ارائه شده در فصل قبل متفاوت هستند. با مشخص شدن طرح بهینه برای کنترل کننده فازی خودرو برقی مورد نظر، زمان آن است که این طرح مورد آزمون قرار بگیرد و میزان انرژی مصرفی خودرو و وضعیت شارژ و میزان استفاده از هر یک از منابع انرژی موجود در این خودرو به کمک این کنترل کننده بدست آید.



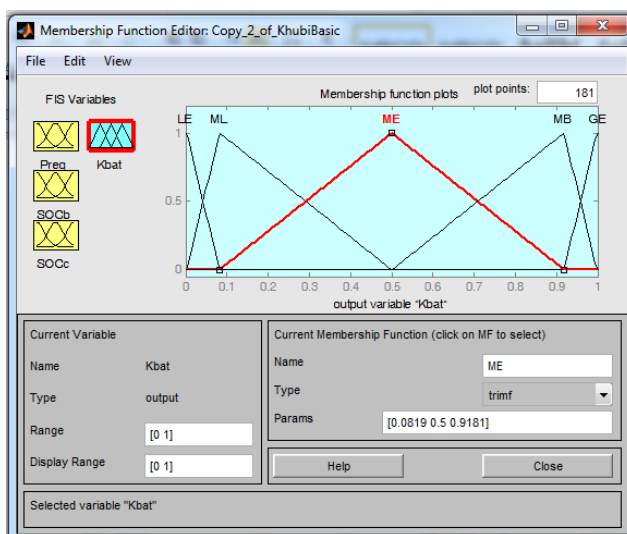
شکل (۴-۳۰): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی دوم.



شکل (۴-۳۱): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی دوم.



شکل (۴-۳۲): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی دوم.



شکل (۴-۳۳): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی دوم.

جدول (۴-۸): قوانین اگر- آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل کننده فازی بهینه در

سیکل رانندگی دوم

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	ME	GE	GE
	NM	ME	ML	MB
	NS	GE	ML	GE
	ZE	GE	ML	MB
	PS	MB	ML	MB
	PM	MB	MB	LE
	PB	GE	ML	MB

جدول (۴-۹): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل کننده فازی بهینه در

سیکل رانندگی دوم

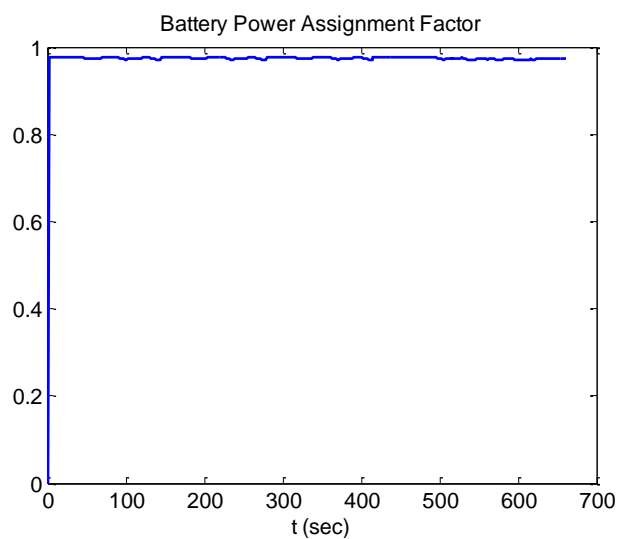
		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	GE	MB	LE
	NM	LE	GE	MB
	NS	MB	MB	LE
	ZE	MB	GE	GE
	PS	ML	GE	GE
	PM	GE	MB	GE
	PB	LE	LE	MB

جدول (۴-۱۰): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل کننده فازی بهینه در

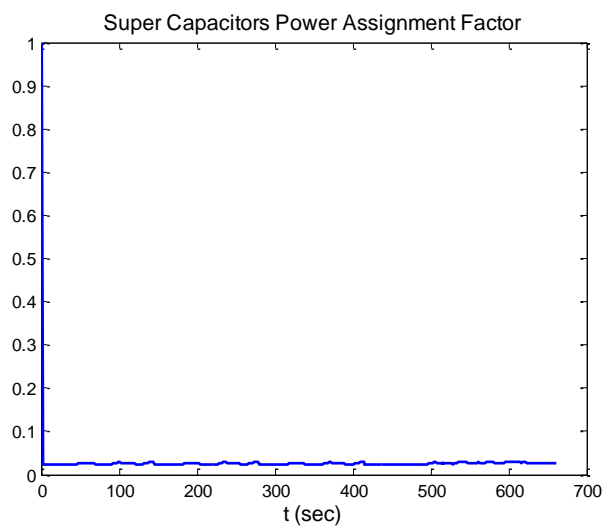
سیکل رانندگی دوم

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	MB	MB	MB
	NM	MB	MB	MB
	NS	ML	GE	MB
	ZE	GE	MB	MB
	PS	GE	MB	MB
	PM	ML	MB	MB
	PB	GE	ML	ML

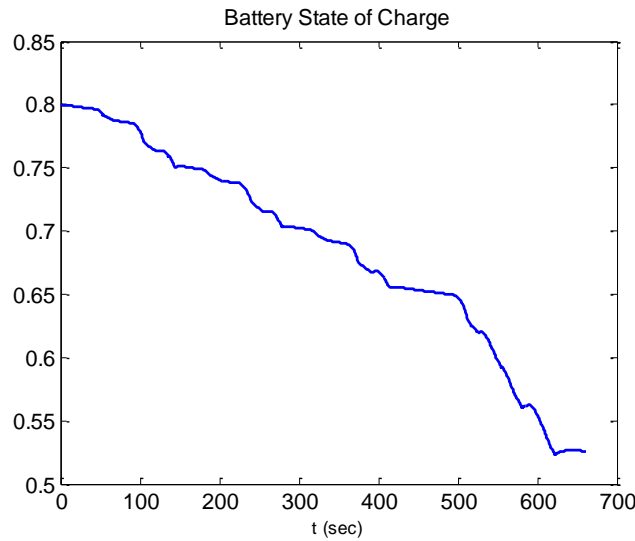
با در نظر گرفتن توابع عضویت بهینه شکل‌های (۴-۳۰) تا (۴-۳۳) برای ورودی‌ها و خروجی مورد نظر و قوانین اگر آنگاه معرفی شده در جداول (۴-۸) تا (۴-۱۰) با شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۳۴) و (۴-۳۵) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۲۲) و (۴-۲۱) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را در طول سیکل رانندگی دوم را نشان می‌دهد. همانطور که در بخش قبل دیده شد قید مربوط به کمینه شارژ خازن‌ها با کنترل کننده پایه ارضا نمی‌گردید. با انجام بهینه‌سازی اکنون شارژ باقی مانده نهایی برای خازن‌ها و باتری‌ها قید کمینه شارژ قابل قبول را ارضا می‌نماید. همچنین کل انرژی مصرف شده با استفاده از کنترل کننده بهینه ۲/۳۰ مگا ژول است. همانطور که دیده شد این رقم برای کنترل کننده پایه ۲/۳۹۵ مگا ژول بوده است.



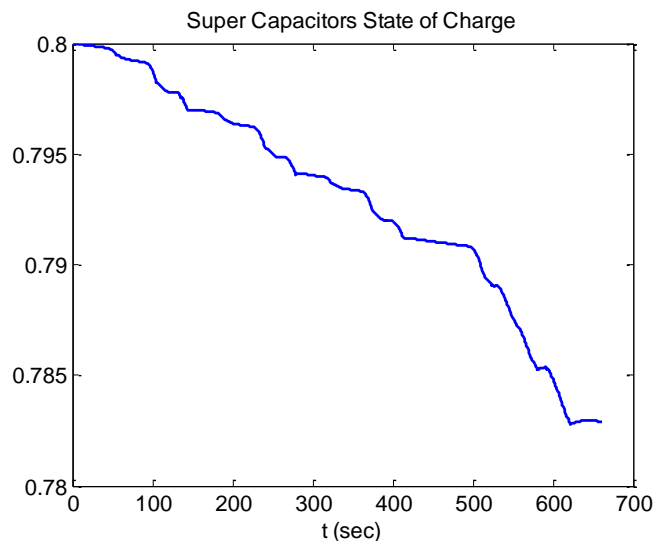
شکل (۴-۳۴): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه.



شکل (۴-۳۵): نسبت مشارکت ابر خازن ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه.



شکل (۴-۳۶): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه.

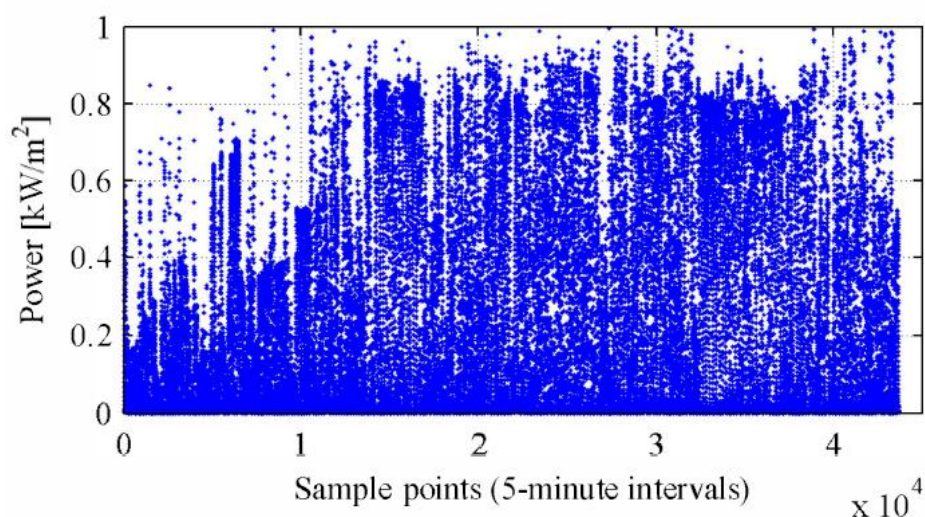


شکل (۴-۳۷): وضعیت شارژ ابر خازن‌ها در سیکل رانندگی دوم به کمک کنترل کننده فازی بهینه.

۴-۵- طراحی بهینه کنترل کننده فازی برای خودرو خورشیدی-الکتریکی

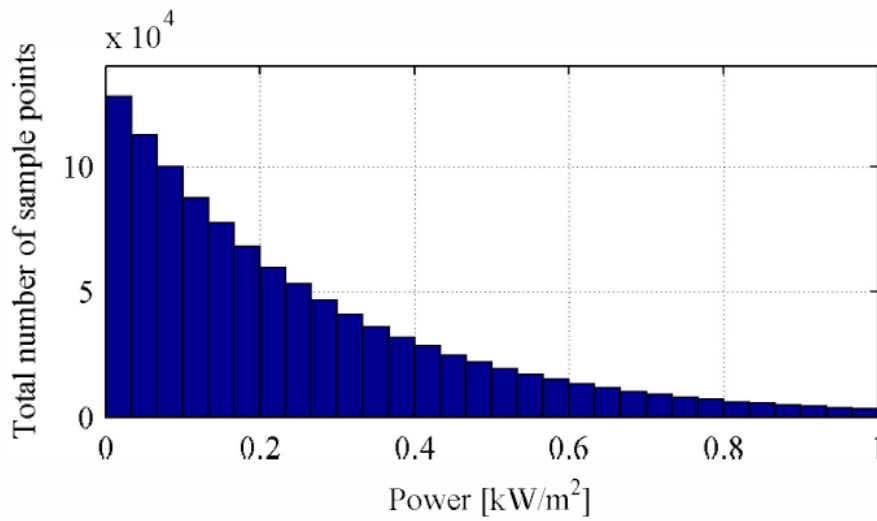
در این قسمت سعی خواهد شد، طرح مناسب کنترل کننده فازی برای کنترل میزان استفاده از منابع انرژی خودرو با تجهیز شدن خودرو به واحدهای خورشیدی برای جبران بخشی از توان مصرفی بدست آید. همانطور که در فصول قبل بیان گردید، با تغییر در توابع عضویت و قوانین اگر آن گاه فازی معرفی شده برای کنترل نسبت استفاده از باتری و ابرخازن‌ها در تامین توان مورد نیاز خودرو، می توان کنترل کننده فازی معرفی شده را تغییر داد. اما در این شرایط با توجه به حضور سلول‌های خورشیدی

و با توجه به میزان تابش نامشخص آفتاب در طول روز، قوانین و توابع عضویت بایستی به نحو مقتضی تغییر یابند که جوابگوی طبیعت احتمالاتی تابش آفتاب باشند. بنابراین در این قسمت سعی خواهد شد که با استفاده از بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک معرفی شده طراحی مناسب کنترل کننده بدست آوردن بهنگام نسبت استفاده از هر یک از منابع انرژی موجود در این خودرو طراحی نمود. مرجع با مطالعه میزان تابش آفتاب در یه بازه زمانی بلند مدت (بازه زمانی ۵ ماهه) نمونه‌های مختلفی را برای میزان توان تابشی آفتاب (بر حسب کیلو وات بر متر مربع) در هر ۵ دقیقه ثبت کرده است. این اطلاعات در شکل زیر عینا از این مرجع ارائه گشته است.



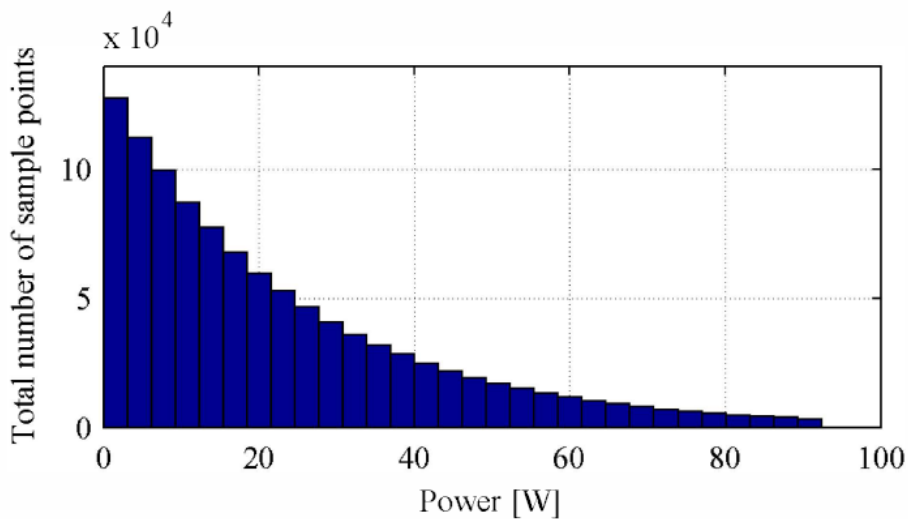
شکل (۴-۳۸): میزان توان تابشی با نمونه‌گیری در هر ۵ دقیقه.

با رسم نمودار هیستوگرام این اطلاعات، می‌توان دید مناسبی از احتمال قرار داشتن میزان تابش در طول روز را بدست آورد. [۳۴-۳۵] این نمودار در شکل زیر رسم شده است.



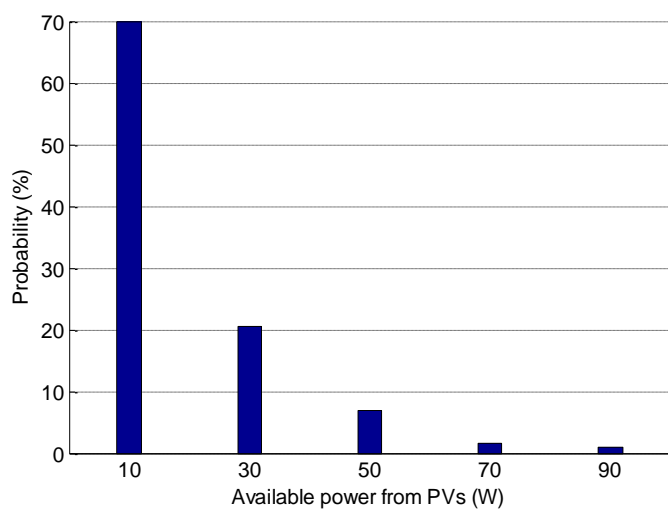
شکل (۴-۳۹): هیستوگرام (دیاگرام فراوانی) میزان توان تابشی.

با توجه به بازدهی محدود سلول‌های خورشیدی و مساحت ۱ متر مربعی برای سقف خودرو تجهیز شده با این سلول‌ها، می‌توان از این نمودار برای رسیدن به میزان توان قابل دسترسی از این منابع استفاده کرد. شکل زیر نمودار هیستوگرام میزان توان ارائه شده توسط سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴۰): هیستوگرام (دیاگرام فراوانی) میزان توان قابل استحصال از سلول‌های خورشیدی.

برای استفاده از اطلاعات نمودارهای ارائه شده، میزان توان قابل دستیابی در ۵ پله دو وضعیت (۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ وات) تقریب زده شده است. شکل زیر میزان تقریبی توان قابل دستیابی از سلول‌های خورشیدی را به همراه احتمال نظیر هریک نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴۱): میزان احتمال هر حالت از حالات مختلف توان قابل استحصال از سلول‌های خورشیدی. در پیوست آتشریح مسئله طراحی بهینه کنترل کننده شرح داده خواهد شد. تابع هدف در اینجا لازم است برای برخورد با طبیعت احتمالاتی مسئله تغییر داده شود. با توجه به هدف مدیریت انرژی منابع ذکر شده، مدل ریاضی مدیریت انرژی سه منبع می‌تواند به صورت زیر فرمول بندی شود:

$$\text{Min} \sum_{s=1}^5 \pi_s \cdot \text{Energy}_{req,s} / K_{bat,s(t), K_{sc,s(t)}}$$

$s.t$

$$P_{req,s}(t) = [P_{load}(t) - P_{pv,s}] \cdot \eta$$

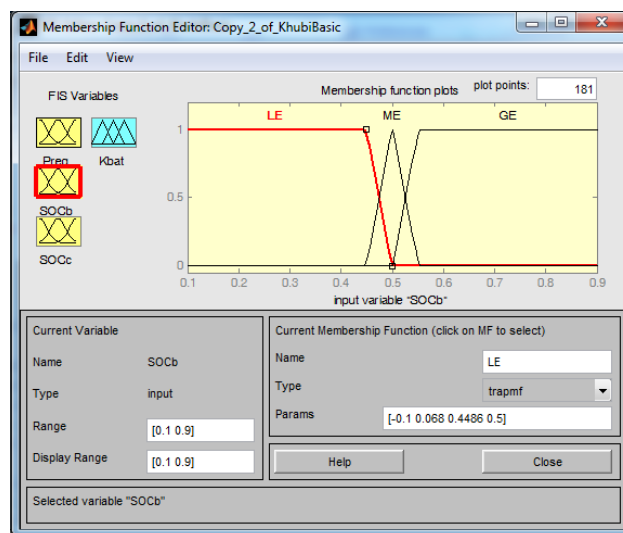
$$K_{bat,s}(t) + K_{sc,s}(t) = 1$$

$$SOC_{bat, min} \leq SOC_{bat,s}(t) \leq SOC_{bat, max}$$

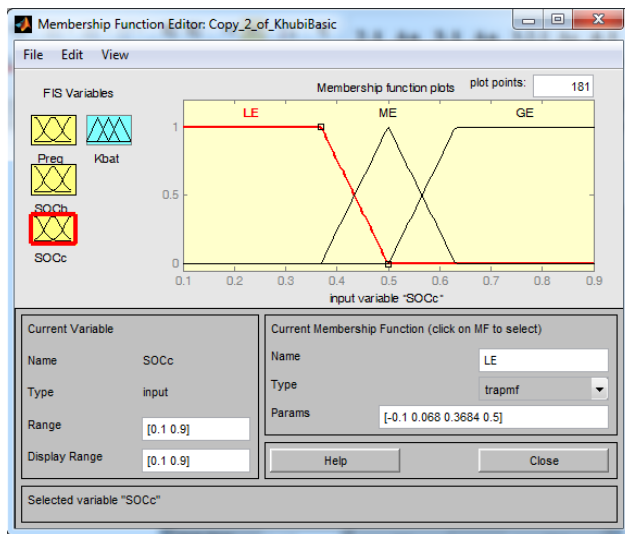
$$SOC_{sc, min} \leq SOC_{sc,s}(t) \leq SOC_{sc, max}$$

در این رابطه s شماره حالتی از تابش آفتاب است که بیان کننده یکی از ۵ حالت معرفی شده است. همچنین π_s احتمال حالت مورد نظر است. در واقع هدف از بهینه‌سازی در این جا بدست آوردن توابع عضویت و قوانین اگر-آن‌گاهی است که تابع هدف احتمالاتی معرفی شده را کمینه نماید.

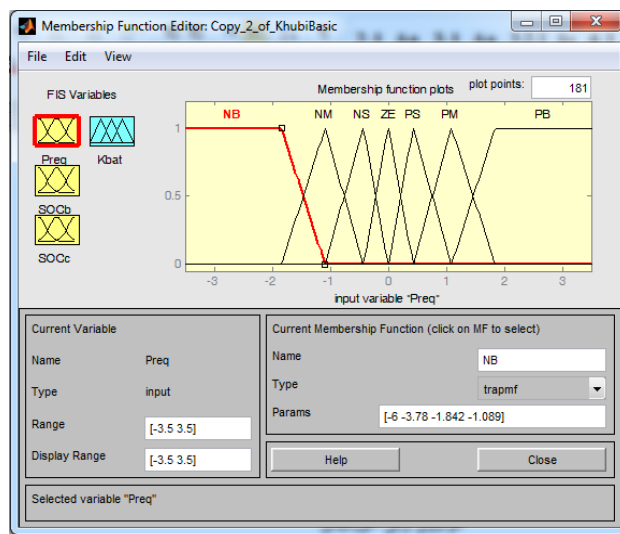
در این بخش طراحی بهینه کنترل کننده مورد نظر به کمک تست خودرو در نرم‌افزار Advisor با در سیکل رانندگی اول بدست آمده و با حالتی که در آن خودرو به سلول‌های خورشیدی تجهیز نشده است، مقایسه شده است. سیکل رانندگی اول (CYC_UDDS) در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. توان مورد نیاز موتور در این سیکل در شکل (۴-۳) ارائه گردیده است. با انجام بهینه‌سازی برای خودرو الکتریکی تجهیز شده با سلول‌های خورشیدی، توابع عضویت فازی مناسب مطابق شکل‌های (۴-۴) تا (۴-۴۵) برای ورودی‌ها و خروجی کنترل فازی بدست می‌آید. همچنین قوانین اگر آنگاه مناسب در این سیکل برای رسیدن به کنترل کننده فازی بهینه در جداول (۴-۱۱) تا (۴-۱۳) ارائه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود توابع عضویت و قوانین اگر آنگاه در کنترل کننده بهینه با کنترل کننده ارائه شده برای خودرو بدون سلول‌های خورشیدی تنها اندکی متفاوت هستند. با بدست آوردن طرح بهینه برای کنترل کننده فازی خودرو برقی تجهیز شده با سلول‌های خورشیدی مورد نظر، اینک زمان آن رسیده است که این طرح کنترلی مورد آزمون قرار بگیرد و میزان انرژی مصرفی خودرو و وضعیت شارژ و میزان استفاده از هر یک از منابع انرژی موجود در این خودرو به کمک این کنترل کننده بدست آید تا کارایی کنترل کننده مورد نظر بررسی گردد.



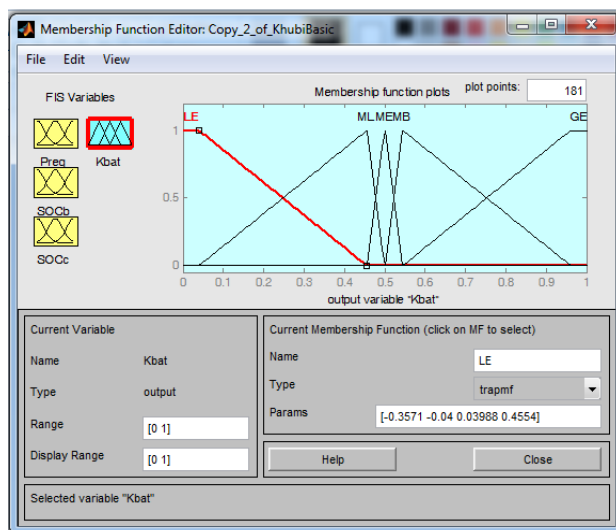
شکل (۴-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی-خورشیدی.



شکل (۴-۴): تابع عضویت مربوط به وضعیت شارژ ابر خازن در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی-خورشیدی.



شکل (۴-۴): تابع عضویت مربوط به توان مورد نیاز موتور در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی-خورشیدی.



شکل (۴-۴): تابع عضویت مربوط به نسبت مشارکت باتری در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول برای خودروی برقی-خورشیدی.

جدول (۴-۱۱): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن LE در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	MB	MB	ML
	NM	ME	ML	MB
	NS	LE	MB	LE
	ZE	MB	GE	ML
	PS	MB	GE	MB
	PM	MB	MB	GE
	PB	MB	LE	GE

جدول (۴-۱۲): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن ME در کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی اول

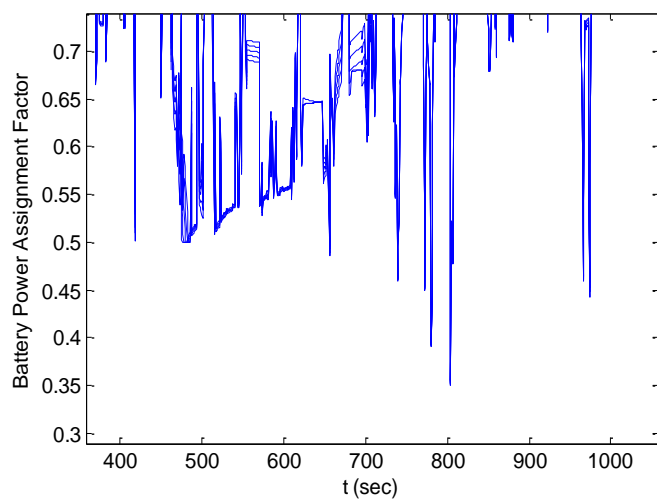
		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	MB	MB	LE
	NM	GE	ML	MB
	NS	GE	MB	GE
	ZE	GE	MB	MB
	PS	MB	ML	ME
	PM	ML	ML	GE
	PB	ML	ML	ML

جدول (۴-۱۳): قوانین اگر آنگاه فازی با در نظر گرفتن وضعیت شارژ خازن GE در کنترل کننده فازی بهینه در

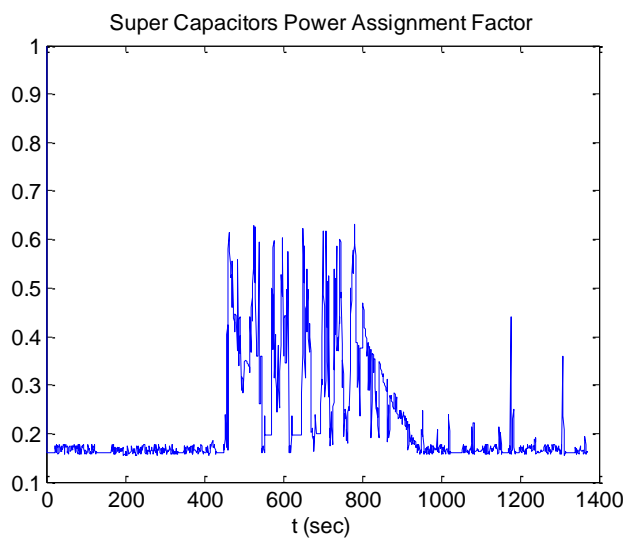
سیکل رانندگی اول

		SOC _b		
		LE	ME	GE
P _{req}	NB	MB	LE	MB
	NM	MB	MB	MB
	NS	MB	MB	MB
	ZE	LE	MB	GE
	PS	MB	ML	MB
	PM	ML	ML	MB
	PB	MB	ML	MB

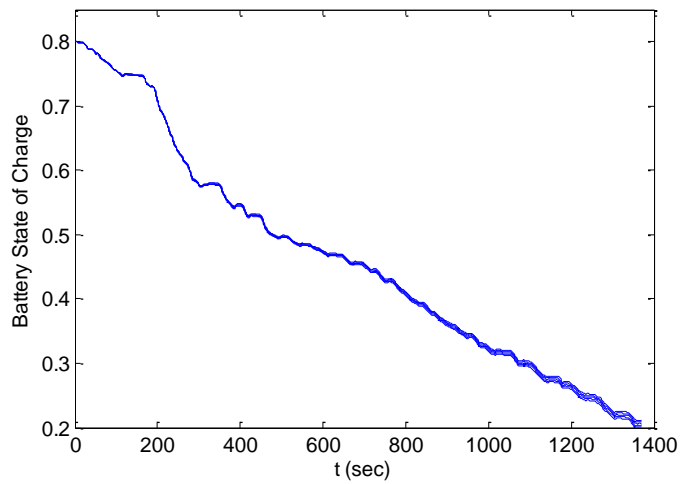
با در نظر گرفتن توابع عضویت بهینه شکل‌های (۴-۴۲) تا (۴-۴۵) برای ورودی‌ها و خروجی مورد نظر و قوانین اگر آنگاه معرفی شده در جداول (۴-۱۱) تا (۴-۱۳) با شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۴۶) و (۴-۴۷) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را در حالات مختلف تابش آفتاب نشان می‌دهند. شکل‌های (۴-۴۸) و (۴-۴۹) وضعیت شارژ ابر خازن‌ها و باتری‌ها را در طول سیکل رانندگی اول را در تمامی حالات تابش را نشان می‌دهد. در این نمودارها بدلیل نزدیکی وضعیت‌های شارژ در حالات مختلف تابش آفتاب نمودار مورد نظر بشکل یک نوار دیده می‌شود. با انجام بهینه‌سازی اکنون شارژ باقی مانده نهایی برای خازن‌ها و باتری‌ها قید کمینه شارژ قابل قبول را در همه حالات تابش آفتاب ارضا می‌نماید. همچنین کل انرژی احتمالاتی مصرف شده با استفاده از کنترل کننده بهینه ۶/۵۲ مگا ژول است که کاهش اندکی را نسبت به وضعیت بدون سلول خورشیدی (۶/۵۵ مگا ژول) را نشان می‌دهد. دلیل این امر کوچک بودن سلول خورشیدی قابل نصب بر روی سقف خودرو است.



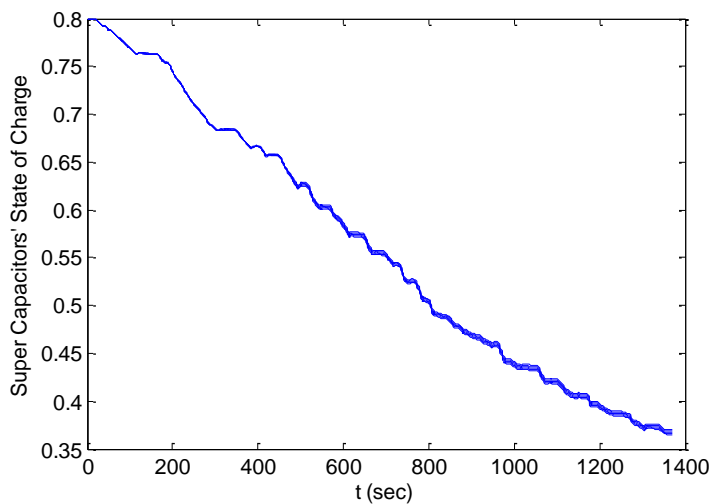
شکل (۴-۴۶): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب.



شکل (۴-۴۷): نسبت مشارکت ابر خازن‌ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب.



شکل (۴-۴۸): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب.



شکل (۴-۴۹): وضعیت شارژ ابر خازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده فازی بهینه در حالات مختلف تابش آفتاب.

۴-۶- کنترل و مدیریت انرژی دو وضعیتی (on/off) برای یک خودرو برقی تجهیز شده با

سلول‌های خورشیدی

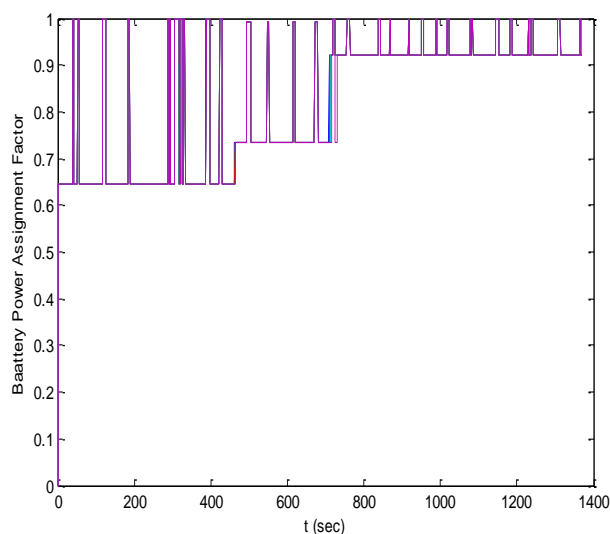
در این زیربخش برای مطالعه کنترل کننده ساده دو وضعیتی در شرایطی که خودروی مورد نظر با سلول‌های خورشیدی تجهیز شده است، سیکل رانندگی اول مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همانطور که گفته شد، این کنترل کننده ساده از وضعیت شارژ باتری، وضعیت شارژ ابرخازن و میزان توان مورد نیاز برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. دو وضعیت برای توان مورد نیاز (شتاب‌گیرنده و یا ترمزی)، دو وضعیت برای وضعیت شارژ باتری (بین ۲۰ درصد و ۵۰ درصد و یا بین ۵۰ درصد و ۸۰ درصد) و دو وضعیت برای وضعیت شارژ ابرخازن (بین ۲۰ درصد و ۵۰ درصد و یا بین ۵۰ درصد و ۸۰ درصد)

در نظر گرفته شده است. تعداد کل حالات ۸ حالت خواهد شد. بنابر این متغیرهای تصمیم‌گیری که درصد مشارکت باتری و ابرخازن برای تامین توان مورد نیاز هستند باید برای هر یک از این ۸ حالت بدست آیند. این امر باید بگونه‌ای صورت پذیرد که کل انرژی مصرف شده از دو منبع کمینه شود و قیود وضعیت شارژ رعایت شوند. نتایج بهینه‌سازی برای سیکل رانندگی اول در جدول زیر آورده شده است.

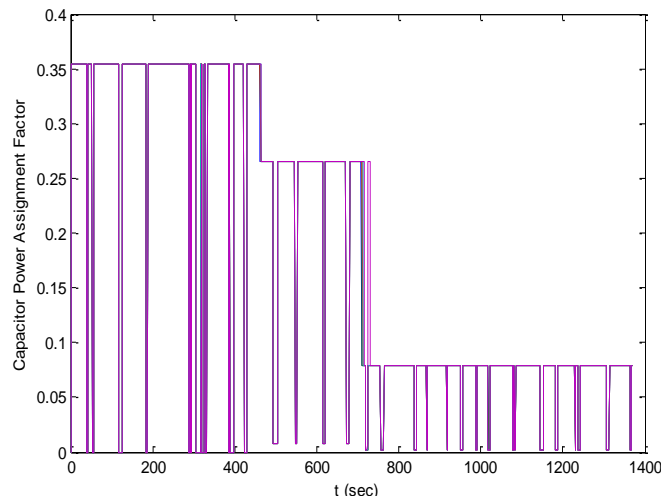
جدول (۴-۱۴): قوانین (on/off) برای کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول‌های خورشیدی

شماره حالت	توان مورد نیاز	درصد شارژ باتری	درصد شارژ ابرخازن	میزان مشارکت باتری (درصد)	میزان مشارکت ابرخازن (درصد)
۱	شتاب دهنده	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۲.۱۳	۷.۸۷
۲	شتاب دهنده	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۹۶.۴۱	۳.۵۹
۳	شتاب دهنده	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۷۳.۵۲	۲۶.۴۸
۴	شتاب دهنده	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۶۴.۶۰	۳۵.۴۰
۵	ترمزی	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۹.۸۶	۰.۱۴
۶	ترمزی	بین ۲۰ تا ۵۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۳۸.۵۰	۶۱.۵۰
۷	ترمزی	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۲۰ تا ۵۰	۹۹.۲۰	۰.۸۰
۸	ترمزی	بین ۵۰ تا ۸۰	بین ۵۰ تا ۸۰	۱۰۰	۰

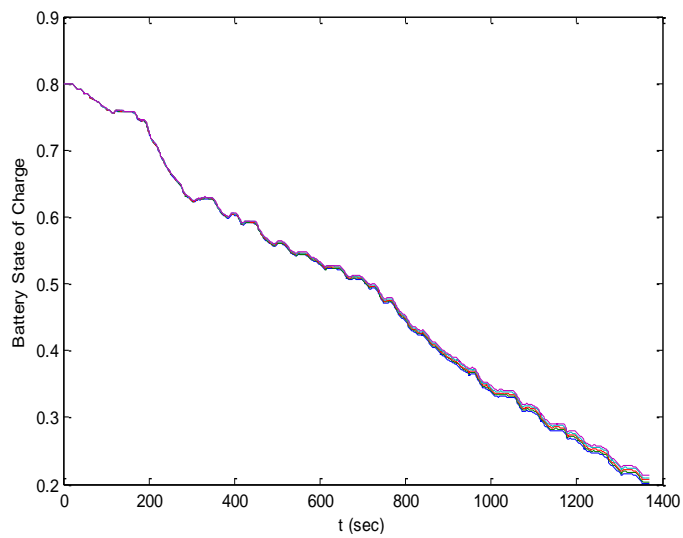
با این کنترل کننده و شبیه‌سازی ثانیه به ثانیه سیکل رانندگی اول می‌توان با توجه به توان مورد نیاز موتور در هر لحظه، وضعیت شارژ ابرخازن‌ها و باتری‌ها را بدست آورد. شکل‌های (۴-۵۰) و (۴-۵۱) به ترتیب سهم باتری‌ها و خازن‌ها در تامین توان مورد نیاز موتور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۵۲) و (۴-۵۳) وضعیت شارژ ابرخازن‌ها و باتری‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر اولیه برای شارژ خازن‌ها و باتری‌ها ۰/۸ بیشینه شارژ این منابع در نظر گرفته شده است. همانطور که این شکل‌ها نشان می‌دهند قید مربوط به کمینه شارژ خازن‌ها و باتری با این کنترل کننده ارضا می‌گردد. همچنین کل انرژی مصرف شده (مجموع انرژی تحویلی خازن‌ها و باتری‌ها) با استفاده از این کنترل کننده ۶/۵۱ مگا ژول است.



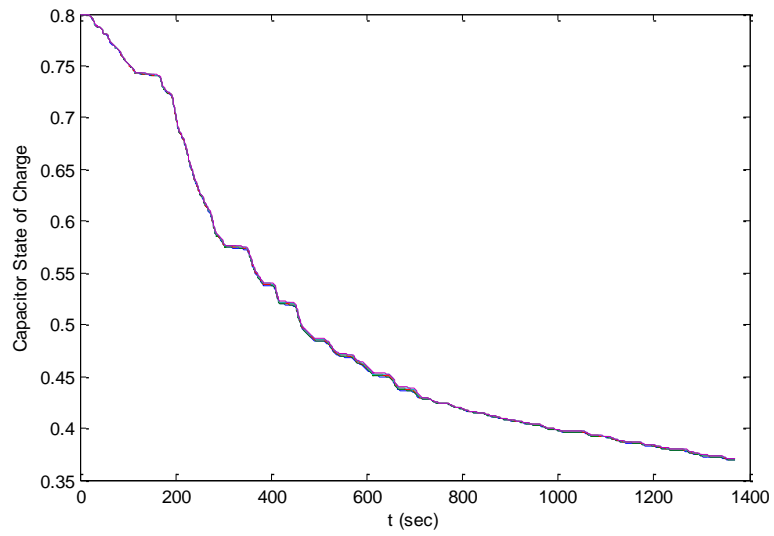
شکل (۴-۵۰): نسبت مشارکت باتری برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول‌های خورشیدی.



شکل (۴-۵۱): نسبت مشارکت خازن‌ها برای تامین توان مورد نیاز در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول‌های خورشیدی.



شکل (۴-۵۲): وضعیت شارژ باتری در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در شرایط وجود سلول‌های خورشیدی.



شکل (۴-۵۳): وضعیت شارژ ابرخازن‌ها در سیکل رانندگی اول به کمک کنترل کننده دو وضعیتی بهینه در

شرایط وجود سلول‌های خورشیدی

فصل پنجم

نتیجه گیری

و

پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این قسمت به بررسی نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی خودروهای برقی و برقی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار Advisor می‌پردازیم. به منظور مطالعه کنترل کننده فازی و (on/off) برای کنترل و مدیریت بهینه منابع توان در این پایان‌نامه یک خودروی برقی و برقی خورشیدی دارای دو منبع تامین توان شامل باتری و ابرخازن در Advisor مدل‌سازی گردیده است. به منظور بررسی و مطالعه این خودروها، باید آن را در سیکل‌های مختلف رانندگی مورد آزمایش قرار داد. در این مطالعه دو سیکل متفاوت رانندگی مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان به وسیله آن کنترل کننده فازی و (on/off) پیشنهادی را مورد بررسی قرار داد.

همان‌گونه که در فصل پیش نشان داده شد برای بهره‌وری و استفاده مناسب از خودروهای برقی باید سیستم کنترلی مناسبی طراحی شود. در این بین انتخاب مناسب منابع برای تامین توان و همچنین شارژ منبع از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در مطالعات گوناگون روش‌های متفاوتی برای طراحی کنترل کننده پیشنهاد گردیده است. در این بین کنترل کننده‌های فازی برتری‌های خود را نسبت به سایر روش‌ها نشان داده‌اند. در این پایان‌نامه نیز از کنترل کننده فازی و (on/off) به منظور بهبود مدیریت استفاده از منابع شامل باتری و ابرخازن، استفاده شده است. همان‌گونه که از جواب‌های بدست آمده نشان داده شد، این کنترل کننده به خوبی می‌تواند وظیفه مدیریت منابع را در خودروهای برقی ایفا نماید. در سیستم‌های فازی مهمترین عوامل نحوه تعریف توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و همچنین قوانین فازی می‌باشد. در نتیجه در این پایان‌نامه به منظور بهبود عملکرد کنترل کننده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و همچنین قوانین فازی تبیین گردید. نتایج بدست آمده برای کنترل کننده فازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سیستم فازی از پیش طراحی شده نشان داد که با تعیین دقیق و درست پارامترهای سیستم فازی می‌توان عملکرد کنترل کننده را بهبود بخشید.

جدول (۱-۵): مقایسه دو کنترل کننده فازی و (on/off) در خودروی برقی در سیکل رانندگی اول

نوع ذخیره ساز انرژی با بیشترین درصد مشارکت	میزان توان مصرفی	نوع کنترل کننده
ابرخازن	۶/۷۱ مگاژول	فازی پایه (استاندارد)
باتری	۶/۵۵ مگاژول	فازی بهینه
باتری	۶/۶۴ مگاژول	دو وضعیتی بهینه (on/off)

همان طور که مطابق جدول (۱-۵) مشاهده می گردد میزان توان مصرفی با کنترل کننده فازی بهینه نسبت به کنترل کننده فازی استاندارد در خودروی برقی در سیکل رانندگی اول کاهش یافته و با اعمال کنترل کننده بهینه (on/off) نیز برای این خودرو و در همین سیکل رانندگی میزان توان مصرفی کم تر از کنترل کننده فازی پایه بوده ولی از توان مصرفی کنترل کننده فازی بهینه بیشتر است در نتیجه کنترل کننده فازی بهینه از کنترل کننده بهینه (on/off) برتر می باشد زیرا میزان توان مصرفی با این کنترل کننده کم تر می باشد.

جدول (۲-۵): مقایسه دو کنترل کننده فازی و (on/off) در خودروی برقی خورشیدی در سیکل رانندگی اول

نوع ذخیره ساز انرژی با بیشترین درصد مشارکت	میزان توان مصرفی	نوع کنترل کننده
باتری	۶/۴۱ مگاژول	فازی بهینه
باتری	۶/۵۱ مگاژول	دو وضعیتی بهینه (on/off)

همان طور که از جداول (۱-۵) و (۲-۵) مشاهده می گردد میزان توان مصرفی با کنترل کننده فازی بهینه در خودروی برقی خورشیدی در سیکل رانندگی اول نسبت به خودروی برقی با همین

کنترل کننده و در همین سیکل، کم تر است و میزان این اختلاف بسیار کم است علت این کم تر بودن به دلیل نصب سلول خورشیدی روی سقف خودروی خورشیدی است که بخشی از توان مورد نیاز خورو را تامین کرده و بقیه توان بصورت بهینه از مشارکت باتری و ابر خازن تامین می گردد. و همچنین اختلاف بسیار کم هر دو توان مصرفی در خودروی برقی و برقی خورشیدی به خاطر کوچک بودن سلول خورشیدی قابل نصب روی خودرو بوده که بخش کوچکی از توان مورد نیاز خودرو را تامین می کند. علاوه بر این، میزان توان مصرفی در خودروی برقی خورشیدی با کنترل فازی بهینه در سیکل رانندگی اول نسبت به توان مصرفی در همین خودرو با کنترل (on/off) بهینه و در همین سیکل، کم- تراست و در نتیجه، کنترل کننده فازی بهینه نسبت به کنترل کننده (on/off) بهینه در خودروی برقی خورشیدی نیز به مانند خودروی برقی، برتری دارد.

جدول (۳-۵): مقایسه دو کنترل فازی پایه و بهینه در خودروی برقی در سیکل رانندگی دوم

نوع ذخیره ساز انرژی با بیشترین درصد مشارکت	میزان توان مصرفی	نوع کنترل کننده
ابرخازن	۲/۳۹۵ مگاژول	فازی پایه (استاندارد)
باتری	۲/۳۰ مگاژول	فازی بهینه

همان طور که از جدول (۳-۵) مشاهده می گردد میزان توان مصرفی با کنترل کننده فازی پایه (استاندارد) در خودروی برقی در سیکل رانندگی دوم نسبت به توان مصرفی با کنترل کننده فازی بهینه در این خودرو و با همین سیکل رانندگی، بیشتر است و همچنین جدول (۵-۱) به این نتیجه می رسیم که میزان توان مصرفی در خودروی برقی با کنترل کننده فازی پایه در سیکل رانندگی دوم از توان مصرفی در این خودرو با همین کنترل کننده در سیکل رانندگی اول، کم تر است و همچنین میزان توان مصرفی در خودروی برقی با کنترل کننده فازی بهینه در سیکل رانندگی دوم نسبت به توان مصرفی در این خودرو با همین کنترل کننده در سیکل رانندگی اول نیز کم تر است.

۲-۵- پیشنهادات

- ۱- طراحی و اجرای کنترل کننده فازی برای سایر خودروهای برقی و هیبریدی و برقی خورشیدی و بررسی نحوه عملکرد و کارایی کنترل کننده فازی در آن خودروها.
- ۲- طراحی کنترل کننده عصبی فازی به گونه‌ای که با آموزش بهینه شبکه‌های عصبی قوانین سیستم فازی تعیین گردند.
- ۳- استفاده از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی مانند الگوریتم تجمع ذرات^{۱۱} و الگوریتم رقابت استعماری^{۱۲} و مقایسه نتایج بدست آمده با الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در این پایان‌نامه.
- ۴- استفاده از سایر سیکل‌های رانندگی استاندارد به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده پیشنهادی در این پایان‌نامه و همچنین ترکیب سیکل‌های استاندارد به منظور نزدیک شدن شرایط شبیه‌سازی به شرایط واقعی.

¹¹ Particle Swarm Optimization (PSO)

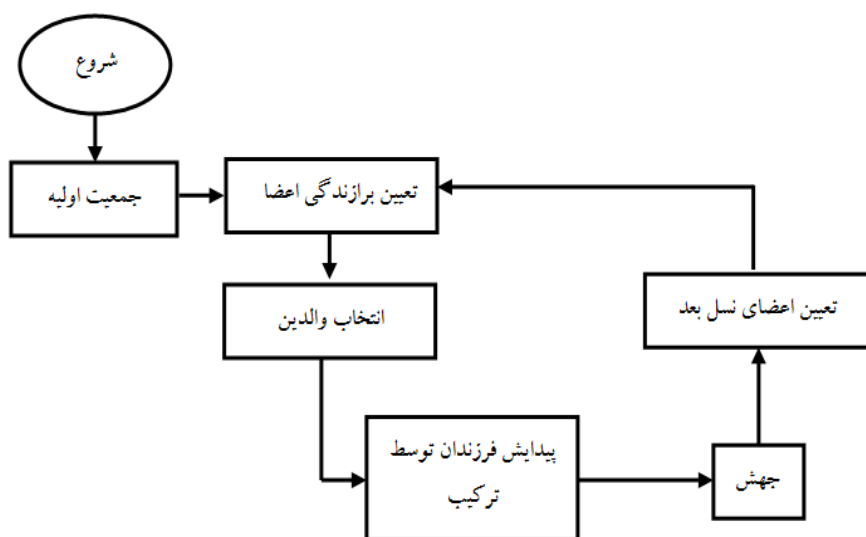
¹² Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

پیوست آ: الگوریتم ژنتیک اعداد صحیح و مختلط

در الگوریتم‌های ژنتیک که بر پایه‌ی تحقیقات تولید مثل طبیعی حیوانات هوشمند استوارند نتایج حاصل از تحقیق در رویه تولید مثل موجودات طبیعی برای شرکت دادن و مطابقت آن با طراح-های سیستم‌های هوشمند بکار گرفته شده است. الگوریتم ژنتیک به طور محاسباتی ساده است و یک تحقیق و جستجوی کارآمد در فضایی ممکن و متفاوت حل مسئله انجام می‌دهد. رویه معقول به این صورت است که به طور متقابل یک مجموعه از گروه‌های نمونه (جمعیت) با توجه به دامنه‌ی مسئله، انتخاب و نگهداری می‌شوند. مثلاً در مسائل بهینه‌سازی برخی از این جمعیت‌ها با استفاده از قضیه‌ی ارزیابی اتفافی به نام عملگرهای ژنتیک، دستکاری و ارزیابی می‌شود. در طول هر تکرار با توجه به تولیدات جمعیت اول در جمعیت و نسل جدید به دنبال دامنه مناسب حل مسئله بوده و عمل ارزیابی بر مبنای مقایسه مقادیر مناسب و برتر جمعیت جدید که از حل گروه‌های قبلی حاصل شده است انجام می‌شود. با استفاده از اپراتور ژنتیک تولید مثل انجام می‌شود تا نتیجه درخور عاید شود.

از ارزیابی سیستم طبیعی تولید موجودات زنده نتیجه می‌شود که آغاز حیات بر اساس آرایش ساختار کروموزم‌های آن‌هاست. ارتباط بین کروموزم‌ها و عملکرد ساختار ترکیبی آن‌ها یک انتخاب طبیعی است. متغیرهای طراحی الگوریتم ژنتیک یا به عبارتی خصوصیات که به طور منحصر به فرد بیان شده‌اند در یک رشته منظم و گردآوری می‌شوند. متغیرهای هر طرح یا همان مجموعه ژن‌ها به صورت یک رشته متغیر با مفهوم کروموزم در سیستم حیات طبیعی مطابقت دارند. یعنی ژن‌ها کوچک‌ترین عناصر تشکیل دهنده کروموزم‌ها هستند و هر کروموزم نماینده یک فرد در جمعیت است. حال در دنیای اعداد و محاسبات هر عدد یک عضو از جمعیت است و کوچک‌ترین اعضای که می‌توانند یک عدد را تشکیل دهند، دسته‌های ۰ و ۱ (بیت‌ها) هستند. رشته‌های ۰ و ۱ طوری پیدا می‌شوند که بیانگر پهنای تغییرات اطلاعات در دامنه حل مسئله و ابزار ارزیابی توسط تابع بهینه‌سازی هستند.

در ادامه روند کلی الگوریتم ژنتیک را بر اساس شکل زیر مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل (آ-۱): شمائی کلی از الگوریتم ژنتیک

آ-۱-تابع ارزیابی

تابع ارزیابی، رویه‌ای برای تعیین بهترین‌ها در هر رشته یا جمعیت است که در عملکرد منظم کردن رشته‌ها کاربرد فراوان دارد. زمانی که الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی مقادیر برتر در هر رشته (Fitness) پیش می‌رود اطلاعات فقط برای الگوریتم ژنتیک قابل دسترسی هستند و عملکرد الگوریتم بر اساس حساسیت روی مقادیر مناسب‌تر و برتر استوار است. زمانی الگوریتم بهینه‌سازی به ثمر می‌رسد که مقدار تابع هدف برای بهینه‌سازی همان مقدار مطلوب باشد. هر قیدی در ارتباط با مسئله بهینه‌سازی می‌تواند در تابع هدف گنجانده شود.

تعیین روش کدگذاری و تعریف تابع هدف، اولین گام در راه پیاده‌سازی یک الگوریتم ژنتیکی است و هر مسئله‌ای کدگذاری مربوط به خود را دارد. تابع شایستگی یا برازندگی می‌تواند بصورت یک تابع صعودی یا نزولی از اهداف بهینه‌سازی در نظر گرفته شود. در تعریف تابع برازندگی، با توجه به نوع مسئله بهینه‌سازی می‌توان از روش‌های مناسب مختلفی استفاده نمود [۲۷].

آ-۲- عملگرهای ژنتیک

قضایای تحول اتفاقی که به وسیله ی الگوریتم ژنتیک به کار گرفته می‌شوند، عملگرهای ژنتیک می‌گویند. این عملگرها در حین انجام تولید نسلی جدید از نسل‌های گذشته در هر رشته به کار می‌آید.

آ-۲-۱- عملگر تولید مثل

تولید مثل یک برنامه تولید احتمالی است که در رشته‌ها برای زاد و ولد مبنی بر مقدار مناسب و برترشان انتخاب شده است. این روش تضمین می‌کند که دفعات مورد انتظار انتخاب هر رشته به طور نسبی وابسته به مقادیر برتر رشته نسبت به سایر جمعیت می‌باشد. رشته‌های با مقادیر برتر و یا اندازه بزرگ‌تر دارای سهم احتمال بیشتری در تکثیر هستند و به طور ساده در تولید بعدی سهمیم هستند. در الگوریتم ژنتیک تولید مثل معمولاً سه عملگر زیر را انجام می‌دهد:

۱- انتخاب

۲- عملگر ضربداری (Crossover)

۳- عملگر تغییر ناگهانی (Mutation)

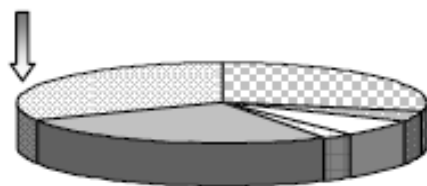
آ-۲-۲- انتخاب

در الگوریتم ژنتیک با مجموعه‌ای از رشته‌ها به جای یک رشته کار می‌شود. این مجموعه یا جمعیت از رشته‌ها از طریق انجام ارزیابی جهت تولید رشته‌های منحصربه‌فرد و جدید ساخته می‌شود. برای شروع، جمعیت ابتدایی با انتخاب رشته‌ها به طور ابتکاری یا تصادفی در پهنای تغییرات دامنه مسئله تولید می‌شود. به عبارتی رشته‌هایی برای تولید مثل انتخاب می‌شوند که نقش مؤثرتری در بهبود جمعیت تولید شده و نهایی را دارا باشند.

پس از تشکیل جمعیت نسل اول و محاسبه‌ی شایستگی برای هر کروموزوم، انتخاب والدین برای بوجود آوردن نسل جدید صورت می‌گیرد. در قسمت انتخاب، والدین بر اساس شایستگی‌شان

انتخاب می‌شوند. به هر فرد در قسمت انتخاب یک احتمال تکثیر که وابسته به میزان شایستگی آن والد است، اختصاص می‌یابد و هر فرد بر اساس این احتمال جهت تکثیر انتخاب می‌شود [۲۸].

پس از این مرحله همانطور که در فلوجارت الگوریتم ژنتیک مشخص است، باید از بین جمعیت‌های موجود، بهترین‌ها را به عنوان والدین جدید انتخاب نمود. یکی از روش‌های مناسب برای انتخاب، استفاده از چرخ گردان^{۱۳} است. در این روش سطح چرخ به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که تعداد آن‌ها برابر تعداد اعضای جمعیت و سطح هر بخش متناسب با برازندگی هر عضو است. سپس چرخ به گردش درآمده و در نقطه‌ای متوقف می‌شود. این نقطه فرد انتخاب شده را مشخص می‌کند. با اجرای این روش، احتمال توقف چرخ در مقابل کروموزوم‌هایی با شایستگی بیشتر، بیشتر خواهد بود. شکل (آ-۲) نمونه‌ای از چرخ گردان را نمایش می‌دهد.



شکل (آ-۲): چرخ گردان

آ-۲-۳- عملگر ضربداری (Crossover)

بعد از انتخاب والدین جدید، عملگر ترکیب با ترکیب اطلاعات و جابجایی ژن‌های والدین افراد جدیدی (فرزند) بوجود می‌آورد. معمولاً در الگوریتم‌های ژنتیکی، عملگر ترکیب به عملگر جابجایی تبدیل می‌شود که با یک احتمال بر روی یک جفت از کروموزوم والدین اثر می‌کند و یک جفت کروموزوم فرزند را نتیجه می‌دهد [۲۸].

¹³ Roulette wheel

عملگر ضربداری برنامه انتخاب وضعیت اتفاقی در یک رشته است و تعدادی از بیت‌های چپ یا راست این رشته را از یک محل مشخص با رشته دیگر معاوضه می‌کند. به عنوان مثال اگر X_1 و X_2 دو رشته باشند:

$$X_1=0100:00$$

$$X_2=1001:10$$

و اگر محل عملگر ضربداری به صورت نشان داده شده باشد و عملکرد تعویض از سمت راست این محل انجام شود آنگاه نتیجه تولید به صورت زیر خواهد شد:

$$Y_1=0100:10$$

$$Y_2=1001:00$$

آ-۲-۴- تغییر ناگهانی

تغییر ناگهانی برنامه ای از اصلاح اتفاقی مقادیر در وضعیت هر رشته با احتمال حداقل است. این عملگر به عنوان نخستین عملگر نمی‌باشد ولی احتمال تحقیق و جستجو در تمام فضای غیر صفر مسئله را تضمین می‌کند و از طریق عملگر تولید مثل و ضربداری به طور کامل از ضایعات مواد ژنتیک جلوگیری می‌کند. به وسیله‌ی عملگر جهش، افراد به طور تصادفی اصلاح و دگرگون می‌شوند. عملگر جهش راهکار الگوریتم ژنتیک جهت فرار از نقاط مینیمم محلی است. به طور معمول بعد از ترکیب، فرزندان تحت جهش قرار می‌گیرند و ژن‌های موجود در کروموزوم‌های فرزندان به اندازه‌ی یک مقدار تصادفی که گام جهش نامیده می‌شود تغییر می‌کند.

بعد از تأثیر عملگرهای ترکیب و جهش، جمعیتی از والدین و فرزندان تشکیل می‌شود. از این اعضا، فرزندان مستقیماً به نسل بعد راه می‌یابند و از میان والدین نیز سایر اعضای جمعیت نسل بعد برگزیده می‌شوند. انتخاب از میان والدین می‌تواند به روشی مشابه با انتخاب والدین برای تولید مثل انجام شود و یا اعضای نسل بعد بصورت تصادفی انتخاب شوند. روش اخیر این مزیت را دارد که الگوریتم را از ایستایی در نقطه‌ی بهینه‌ی محلی نجات می‌دهد. قوانین دیگری نیز برای تشکیل جمعیت نسل بعد می‌تواند در نظر گرفته شود. برای مثال، ممکن است تعداد مشخصی از بهترین‌های هر نسل به طور مستقیم به نسل بعد راه یابند. این قانون را نخبه‌گزینی می‌گویند.

آ-۳- مؤلفه های ژنتیک

مؤلفه های ژنتیک موجودیت هایی هستند که به تنظیم عملکرد الگوریتم ژنتیک و انجام بهتر و حساب شده آن کمک کنند و عبارت اند از: تعداد جمعیت، نرخ عملگر ضربداری و نرخ عملگر جهش ناگهانی.

آ-۳-۱- جمعیت

اندازه ی جمعیت در کارآیی الگوریتم موثر است. اگر یک جمعیت کوچک داشته باشیم در یک عملکرد ضعیف نمی توان تمام نتایج فضای ممکن یک مسئله را پوشش داد و بررسی کرد انتخاب یک جمعیت بزرگ سبب پوشش فضای بیشتری شده و از حل و همگرایی زود هنگام در نقاط محدود و محلی جلوگیری می کند. ضمن آنکه جمعیت بزرگ نیاز به ارزیابی بیشتری در هر تولید دارد و به طبع سرعت نرخ همگرایی را آهسته تر می کند.

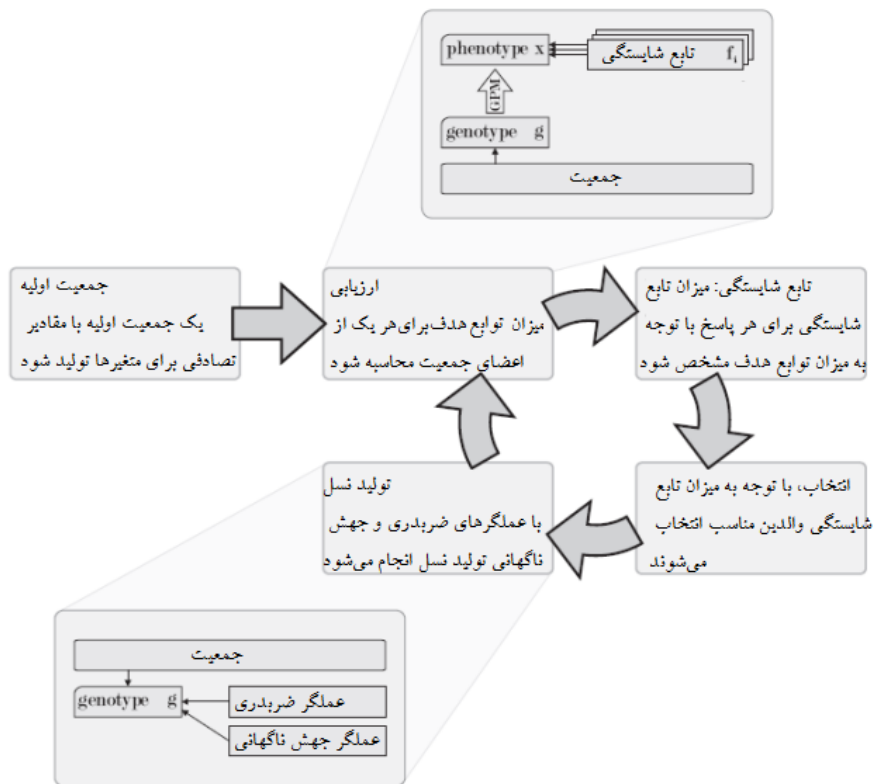
آ-۳-۲- نرخ عملگر ضربداری (C)

نرخ عملگر ضربداری جزء تعیین کننده ای در عملکرد ضربداری است. در هر تولید جمعیت جدید، تعداد $C*N$ رشته در عملکرد ضربداری دستخوش تغییر می شود. نرخ بالاتر عملگر ضربداری به این معناست که رشته های جدیدی با سرعت بیشتر وارد جمعیت می شوند اگر نرخ عملگر ضربداری خیلی زیاد باشد، حذف رشته ها سریعتر از گزینش آنها برای بهبودی انجام می پذیرد و برعکس کم بودن این مقدار سبب یک حالت سکون می شود که مسبب کاهش نرخ شناسایی است.

آ-۳-۳- نرخ جهش ناگهانی (M)

نرخ جهش ناگهانی عبارت است از احتمال تغییر اتفاقی است که وضعیت هر بیت از هر رشته در یک جمعیت جدید پس از انجام هر مرحله انتخاب ممکن است به خود بگیرد. اساساً این مرحله دوم

عملگر جستجو است که تنوع در جمعیت را افزایش می‌دهد. تقریباً جهش‌های ناگهانی به مقدار $M*N*L$ در هر تولید وجود دارد که L طول رشته است. مقدار کم M برای جلوگیری از اینکه هر وضعیت بیت در مقدار مشخصی باقی بماند کمک می‌کند در حالی که افزایش آن سبب جستجوی اتفاقی به طور مؤثرتری خواهد شد. شکل زیر سیکل پایه‌ی الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.



شکل (آ-۳): سیکل پایه‌ی الگوریتم ژنتیک

آ-۴ - الگوریتم ژنتیک ترکیبی با اعداد صحیح^{۱۴}

الگوریتم ژنتیک پایه که برای حل مسائل بهینه‌سازی با متغیرهای پیوسته طراحی شده است در بخش قبل شرح داده شد. در این بخش تغییراتی که لازم است در این الگوریتم ایجاد گردد ارائه می‌گردد. این تغییرات در جهت هستند که الگوریتم بتواند مسائل بهینه‌سازی که در آن‌ها متغیرهای تصمیم‌گیری هم می‌توانند پیوسته و هم می‌توانند اعداد صحیح باشند را نیز حل نماید. در ادامه

¹⁴ Mixed Integer Genetic Algorithm (MIGA)

عملگرهای ضربداری لاپلاس و جهش ناگهانی با توزیع نمایی معرفی خواهند شد. همچنین برای اینکه متغیرهای صحیح در هر عضو جمعیت در خروجی این عملگرها اعداد صحیح باشند یک عملگر جدید به نام گرد کردن استفاده شده است.

آ-۴-۱- عملگر ضربداری لاپلاس

عملگر ضربداری لاپلاس در ابتدا در مرجع [۲۹] معرفی گردید. بنابر مطالب مطرح شده در این مرجع، دو فرزند y_1 و y_2 از والدین x_1 و x_2 با استفاده از (آ-۱) ایجاد می‌شود. در این رابطه β_i یک عدد تصادفی با توزیع لاپلاسی است که رابطه آن در (آ-۲) آورده شده است. در این رابطه u_i و r_i هر دو اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت و بین صفر و یک هستند. a و $b > 0$ به ترتیب پارامترهای موقعیتی و ابعادی هستند. برای متغیرهای عدد صحیح $b=b_{int}$ و برای سایر متغیرها $b=b_{real}$.

(آ-۱)

$$y_i^1 = x_i^1 + \beta_i \cdot |x_i^1 - x_i^2|$$

$$y_i^2 = x_i^2 + \beta_i \cdot |x_i^1 - x_i^2| \quad (\text{آ-۲})$$

$$\beta_i = \begin{cases} a-b \cdot \log(u_i), & r_i \leq .05 \\ a+b \cdot \log(u_i), & r_i > .05 \end{cases}$$

آ-۴-۲- عملگر جهش ناگهانی با توزیع نمایی^{۱۵}

توزیع نمایی برای عملگر جهش ناگهانی نخستین بار در [۳۰] مورد استفاده قرار گرفت. بنابر مطالب عنوان شده در این مرجع، پاسخ در نزدیکی پاسخ با استفاده از رابطه (آ-۳) بدست می‌آید. در این رابطه δ یک متغیر تصادفی با توزیع نمایی است که از رابطه (آ-۴) بدست می‌آید. در این رابطه

¹⁵ exponentially distributed mutation

W یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک است. همچنین P اندیس جهش است. میزان این اندیس برای متغیرهای صحیح و پیوسته متفاوت است. برای متغیرهای صحیح و برای متغیرهای پیوسته. در رابطه (آ-۳)، r یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت است. همچنین t با استفاده از رابطه (آ-۵) بدست می‌آید. حد پایین و بالا برای متغیرهای موجود در پاسخ X به ترتیب X_l و X_u هستند.

$$X = \begin{cases} \bar{x} - s(\bar{x} - x_l), t < r \\ \bar{x} + s(x_u - \bar{x}), t \geq r \end{cases} \quad (\text{آ-۳})$$

$$W^P = S \quad (\text{آ-۴})$$

$$t = \frac{(\bar{x} - x_l)}{(x_u - \bar{x})} \quad (\text{آ-۵})$$

برای عملگر انتخاب از عملگر انتخاب معرفی شده در مرجع [۳۱] در این پایان‌نامه استفاده شده است. این عملگر برای انتخاب پاسخ‌ها برای قرار دادن در موقعیت تولید مثل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب تنها عملگر باقی مانده عملگر گرد کردن است که برای اینکه متغیرهای صحیح بعد از گذراندن عملگرهای ضربدری و جهش نیز اعداد صحیح باقی بمانند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگر در ادامه معرفی می‌گردد.

آ-۴-۳- عملگر گرد کردن

برای اطمینان از اینکه متغیرهای صحیح در هر عضو جمعیت بعد از گذراندن مراحل جهش و عملگر ضربدری کماکان اعدادی صحیح هستند از عملگر گرد کردن در الگوریتم ژنتیک ترکیبی با اعداد صحیح استفاده می‌گردد. اگر متغیر صحیح بعد از گذراندن عملگرهای جهش نمایی و ضربدری لاپلاس مقدار صحیحی نداشته باشد، این متغیر با احتمالات برابر به میزان ۵۰ درصد با $[X_i]$ و یا $[X_i] + 1$ جایگزین می‌گردد. در اینجا منظور از $[X_i]$ جزء صحیح است.

پیوست ب: نرم افزار Advisor

امروزه استفاده از کامپیوتر و نرم افزارهای کاربردی در طراحی، انجام محاسبات، شبیه سازی و بهینه سازی، مستند سازی پروژه ها و نیز تولید مصنوعات صنعتی اجتناب ناپذیر است.

یکی از اساسی ترین مراحل در تولید یک قطعه و یا یک وسیله و یا یک خودرو، شبیه سازی آن می باشد. در این فصل ابتدا نرم افزار Advisor معرفی می گردد و سپس به مدل سازی و شبیه سازی خودرو هیبرید موازی مستقل پرداخته می شود. با استفاده از نرم افزار Advisor می توان عملکرد دینامیکی خودرو را بررسی کرد و با توجه به آن می توان مشخصات عملکرد خودرو را به دست آورد. با استفاده از این نرم افزار میزان مصرف سوخت، میزان انرژی در دسترس باتری، میزان آلایندگی خودرو، توان ورودی و خروجی برای هر یک از اجزای خودرو و بهره هر کدام را می توان به دست آورد. پیاده سازی روش های مدیریت انرژی گوناگون بر روی خودرو و مقایسه آنها با یکدیگر و به دست آوردن بهترین روش کنترل خودرو از ویژگی هایی است که نرم افزار در اختیار کاربر قرار می دهد تا قبل از ساخت خودرو بهترین و مؤثرترین روش کنترل خودرو را به دست آورد. با توجه به نکات ذکر شده فوق می توان اهمیت شبیه سازی یک خودرو را قبل از ساخت یک خودرو درک کرد. در نرم افزار Advisor این امکان در اختیار کاربر قرار داده شده است تا بتواند تمام اجزا را بسته به خودروی انتخابی خود، انتخاب کند که این اجزا در مدل های مربوط به اجزا آورده شده اند. همچنین تغییر پارامترهای خودرو مانند شرایط اولیه، دماهای کاری ادوات مختلف و ... از جمله امکاناتی است که نرم افزار میسر می کند. اعمال تست های گوناگون بر روی خودرو مانند شتاب گیری، رانندگی بر روی شیب و ... و انتخاب سیکل های رانندگی متفاوت از ویژگی های منحصر به فرد نرم افزار Advisor به حساب می آید که در قسمت های بعدی این فصل بیشتر راجع به آنها بحث خواهد.

ب-۱- معرفی نرم افزار

نرم افزار Advisor^{۱۶} یک نرم افزار شبیه سازی خودرو در قالب یک سری از مدل‌ها و فایل‌های اجرایی و داده‌های عددی تحت محیط نرم افزار MATLAB – SIMULINK می‌باشد. این نرم افزار توسط شرکت NREL در سال ۱۹۹۴ جهت استفاده در پروژه‌های آن مؤسسه ایجاد گردید و از سال ۱۹۹۸ با انجام گروهی از بهینه سازی‌ها و مستند سازی‌ها به کاربردهای عمومی‌تری رسید. از آن تاریخ مؤسسات تحقیقاتی و شرکت‌های بزرگ خودروساز همچون Chrysler و CM در بررسی‌ها و تخمین عملکرد خودروهای تحت طراحی خود از آن بهره گرفته اند.

نرم افزار Advisor شبیه ساز عملکرد دینامیکی خودروهای مختلف با کلاس‌ها و سایزها و سیستم‌های قوای محرکه مختلف می‌باشد. این نرم افزار قادر به شبیه سازی خودرو با قوای محرکه مرسوم، شامل موتور احتراقی و انتقال دهنده‌های نیرو، خودروهای برقی و خودروهای هیبرید شامل موتور الکتریکی، باتری، سیستم‌های الکتریکی و کنترلی و موتور احتراقی و سیستم‌های مکانیکی می‌باشد. تخمین عملکرد دینامیکی این خودروها با اندازه بندی‌ها و سیستم‌های قوای محرکه مورد نظر محققان، شامل تست‌های مربوط به شتاب‌گیری خودرو، شیب پیمایی، سرعت ماکزیمم و ... پس از مدل‌سازی و تعیین مشخصه‌های خودروی مورد نظر از جمله قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌باشد.

سیستم شبیه‌سازی خودرو در این نرم افزار از نوع رو به عقب^{۱۷} و متکی به سیکل حرکتی می‌باشد و به همین واسطه نرم افزار قابلیت بررسی خودرو را در سیکل‌های حرکتی گوناگون ایجاد می‌کند و به محققان فرصت می‌دهد تا به مطالعه مصرف اقتصادی سوخت خودرو و میزان تولید آلاینده‌ها در سیکل‌های مختلف و عوامل مؤثر بر این دو مهم بپردازند. مشاهده تأثیر پارامترهای مختلف در عملکرد دینامیکی، مصرف اقتصادی سوخت و آلاینده‌گی خودرو، مقایسه این نتایج در خودروهای مختلف یا یک خودرو در پیکر بندی‌های مختلف از دیدگاه قوای محرکه، بررسی مکانیزم‌های افزایش بهره وری انرژی در خودروهای برقی و هیبرید کردن خودرو و بکارگیری سوخت‌های جایگزین، در این نرم افزار امکان پذیر است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی در Advisor شبه گذر است. به این معنی که روابط، محاسبات و

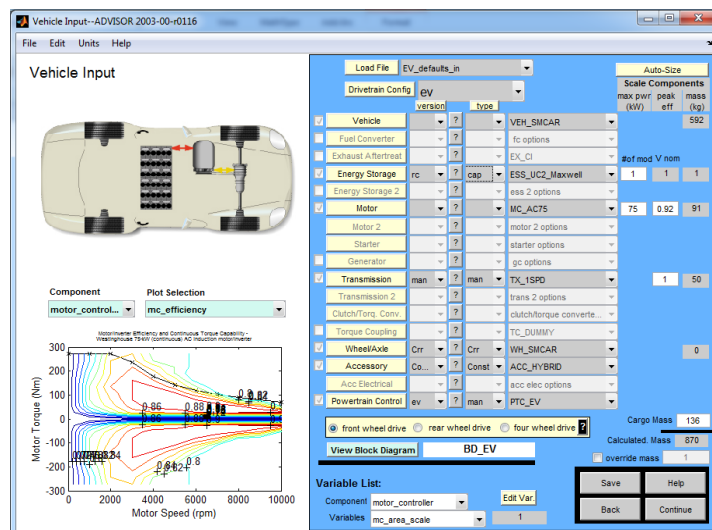
¹⁶ . Advanced Vehicle Simulation

¹⁷ . Backward facing Vehicle simulation

تحلیل‌ها براساس شرایط پایا در بازه‌های زمانی کوچک صورت می‌گیرند و با اعمال تصحیحات، مقادیر لحظه‌ای به عنوان نتایج یک عملکرد گذرا ارائه می‌شوند. در مدل‌سازی المان‌های بسیار پیچیده، قوای محرکه خودرو نظیر موتور احتراقی و موتور الکتریکی یا باتری، Advisor خود را از درگیری با معادلات و روابط پیچیده حاکم معاف کرده و در اغلب این موارد مدل‌سازی را متکی به جداول (MAP) کرده است. محل ایجاد این MAP ها که غالباً تعیین کننده‌ترین مشخصه های ورودی به مدل خودرو می- باشند خارج از Advisor است که در دقیق‌ترین حالت، و در عین حال پرهزینه‌ترین حالت، ناشی از نتایج تست آزمایشگاهی بر روی المان مورد نظر است.

ب-۲- شبیه سازی با استفاده از Advisor

نرم افزار Advisor نرم افزاری است که امکانات متفاوتی را در اختیار کاربر قرار داده است که استفاده از آن‌ها ساده می‌باشد. در ابتدا در این نرم افزار مدل‌های مختلف اجزای گوناگون خودرو و یا خودروهای گوناگون در یک قسمت ذخیره شده است. برای مثال مدل‌های مربوط به موتورهای الکتریکی با توان‌های مختلف و استاندارد و موتور احتراقی با توان‌های مختلف و کلاچ، جعبه دنده یا گیربکس، چرخ‌ها و سیستم‌های انتقال و کنترل کننده‌های مختلف در این نرم افزار در قسمت models از قبل تعیین شده و ذخیره شده‌اند. علاوه بر این می‌توان مدل‌های مربوط به خودروهای برقی و خودروهای احتراقی موجود با کنترل کننده را نیز مشاهده نمود. در ابتدای ورود به نرم افزار Advisor پنجره‌ای به شکل زیر باز خواهد شد.



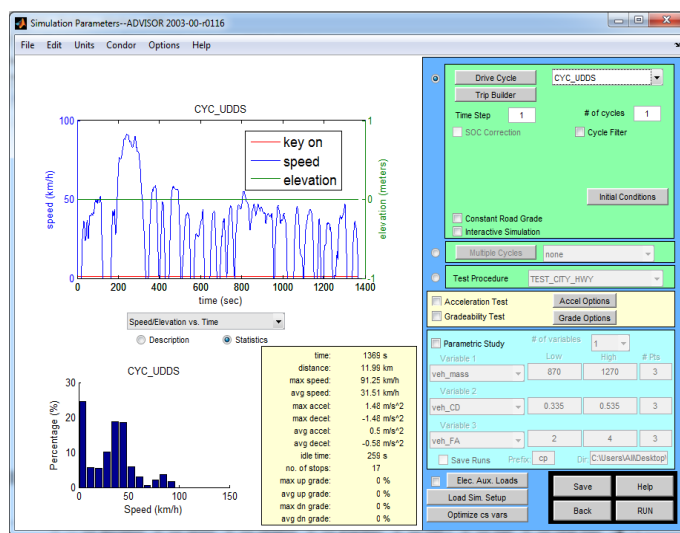
شکل (ب-۱): پنجره ورودی در نرم افزار Advisor

علاوه بر اطلاعات فوق این نرم افزار از چند مدل به صورت پیش فرض استفاده کرده است. برای مثال خودرو هیبرید سری، موازی و یا پیل سوختی و تویوتا پریوس و هندای اینسایت مدل سازی شده اند.

در این قسمت در بالای پنجره دو منوی کشویی است که یکی مربوط به نوع سیستم خودرو یعنی موازی و یا سری و ... بودن آن و دیگری مربوط به بلوک دیاگرام کنترلی آن ها و انواع خاص خوردوهای موازی، سری و ... می باشد. قسمت سمت چپ و بالای این پنجره نحوه اتصال ادوات مختلف یک خودرو را به نمایش می گذارد. در وسط صفحه منوهای کشویی مشاهده می شود که هر یک از آن ها مربوط به یک وسیله خاص بوده و نوع آن ها را نیز می توان از نوار جلویی انتخاب کرد. در سمت راست صفحه و در جلو هر یک از ادوات مورد استفاده در خودرو می توان بهره و حداکثر توان و وزن هر یک از اجزا را مشاهده کرد که مشخصات مربوط به هر کدام از این ادوات قابل تغییر می باشد. در پایین صفحه می توان متغیرهای مورد نیاز را انتخاب کرده و مقدار آن ها را بسته به نوع خودرو و حالت کنترل تغییر داد. مشخصات بالا مربوط به حالت پیش فرض خودرو موازی می باشند.

در نرم افزار Advisor باید سیکل جاده یا سیکل رانندگی مورد نظر را انتخاب کرد تا بر مبنای آن بتوان رفتار خودرو را شبیه سازی نمود. در پنجره دوم پس از RUN کردن پنجره اول سیکل های ذخیره شده در این نرم افزار نمایش داده می شود. در این قسمت برخی از سیکل های آزمایشگاهی

در نرم افزار قراردادده شده‌اند و همچنین سیکل‌های رانندگی واقعی نیز وجود دارند که در عمل توسط خودروها ثبت شده‌اند.

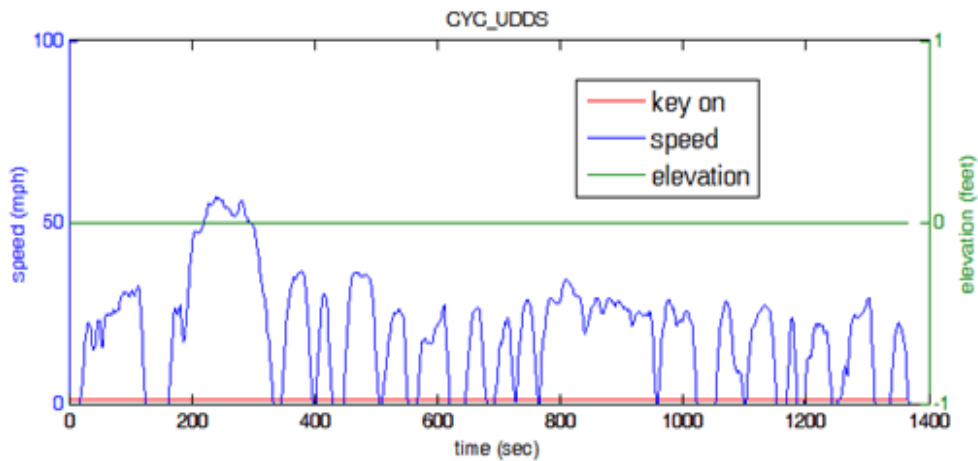


شکل (ب-۲): پنجره دوم در نرم افزار Advisor مربوط به سیکل‌های رانندگی مختلف

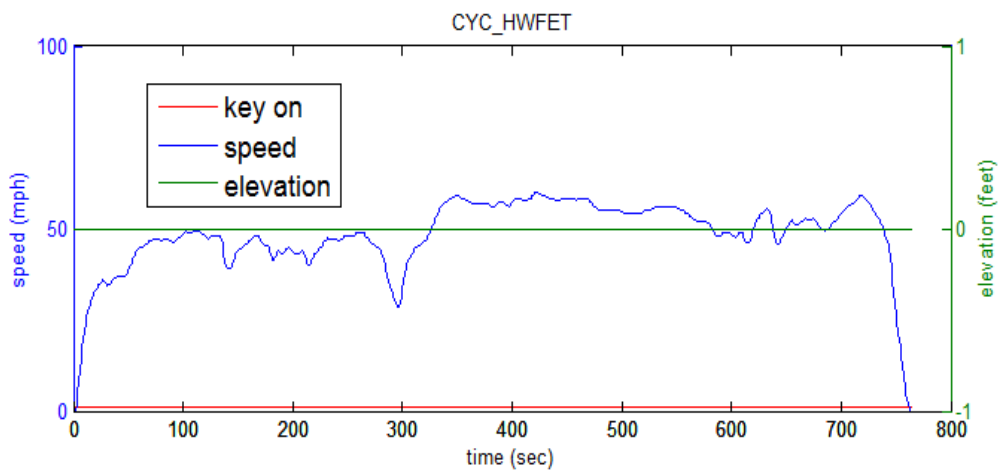
معمولاً برای شبیه‌سازی از دو سیکل کاری متفاوت در داخل شهر به نام سیکل شهری و خارج از شهر به نام سیکل جاده‌ای بهره گرفته می‌شود. اولین سیکل، سیکل رانندگی^{۱۸} UDDS است که سیکل رانندگی مربوط به اتوبوس‌های شهری آمریکا است و دوم سیکل رانندگی^{۱۹} HWFET می‌باشد که به عنوان سیکل جاده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل‌های (ب-۳) و (ب-۴) می‌توان هر دوی این سیکل‌ها را مشاهده کرد که در واقع نمودار سرعت بر حسب زمان می‌باشند.

¹⁸ . Urban Dynamometer Driving Schedule

¹⁹ . High way Fuel Economy Test

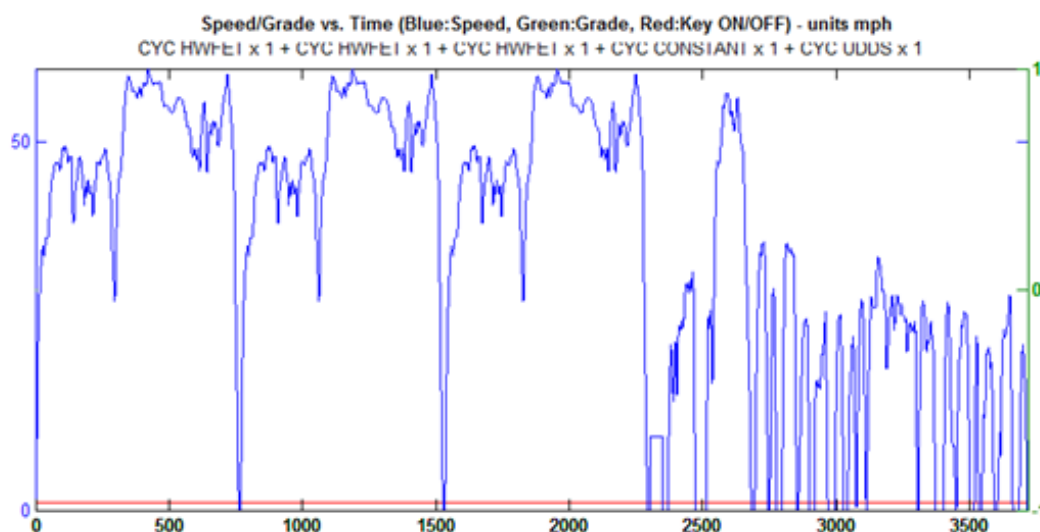


شکل (ب-۳): سیکل رانندگی (UDDS)



شکل (ب-۴): سیکل رانندگی (HWFET)

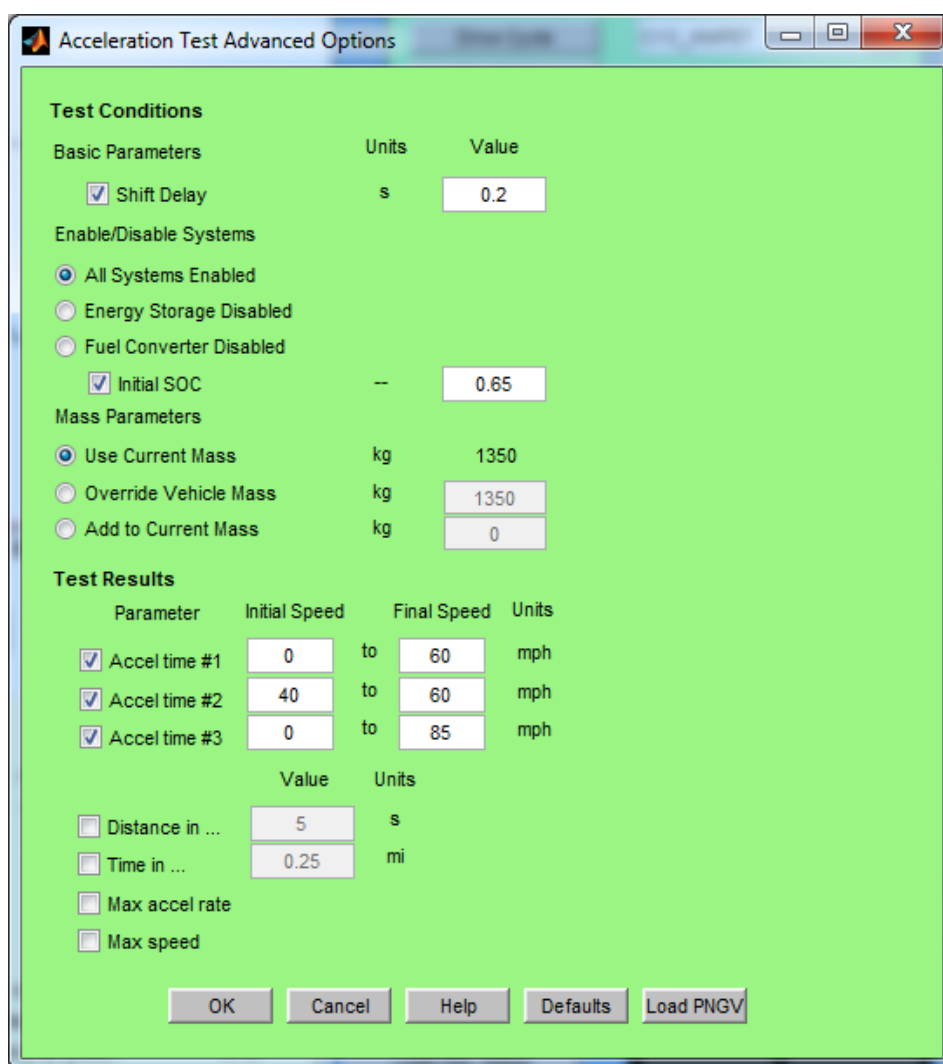
در پنجره دوم نرم افزار، در قسمت بالا و سمت راست صفحه سیکل‌های رانندگی مختلف قرار داده شده است که برخی از آن‌ها آزمایشگاهی و برخی دیگر سیکل‌های واقعی می‌باشند. در قسمت پایین آن گزینه با نام Trip Builder وجود دارد که می‌توان توسط آن سیکل‌های مختلف را با یکدیگر ادغام کرده و یک سیکل دلخواه با نام دلخواه تولید کرد. در شکل (ب-۵) می‌توان سیکل رانندگی به وجود آمده توسط Trip Builder را که از سه سیکل کاری HWFET و سیکل کاری ثابت و یک سیکل UDDS تشکیل می‌شود را مشاهده کرد.



شکل (ب-۵): ترکیب دو سیکل کاری UDDS و HWFET و سیکل کاری ثابت

در قسمت پایین تر از آن دکمه initial condition وجود دارد که در آن شرایط اولیه‌های مختلف مانند دمای کاری محیط، دمای کاری اولیه موتور احتراقی، میزان شارژ اولیه خودرو و ... وجود دارد. در بالا و سمت چپ صفحه بالا می‌توان سیکل کاری انتخاب شده و در پایین آن می‌توان ویژگی‌های مربوط به آن را بررسی کرد. با RUN کردن این پنجره اگر خطایی در سیستم وجود نداشته باشد می‌توان نتایج را پس از چند ثانیه مشاهده کرد.

می‌توان با انتخاب گزینه Test procedure یک سیکل رانندگی را انتخاب کرد که این سیکل رانندگی به صورت پیش فرض شامل تست‌های شتاب گیری و رانندگی روی شیب می‌باشد و متغیرهای آن از قبل تعیین شده‌اند و به صورت پیش فرض قرار داده شده‌اند و یا می‌توان با انتخاب دو کلید رادیویی Acceleration و Gradeability test به شیوه دستی، داده‌های مربوط به آن‌ها را که شامل میزان شیب جاده و فعال یا غیر فعال بودن برخی از ادوات خودرو در حالت تست و یا شتاب ۰ تا سرعت مورد نظر است را بررسی کرد. در شکل (ب-۶) می‌توان پنجره مربوط به شرایط تست شتاب‌گیری را ملاحظه کرد.



شکل (ب-۶): شرایط تست شتاب‌گیری

در این پنجره در قسمت اول مقدار تأخیر مجاز را خواهیم داشت که با انتخاب آن می‌توان مقدار آن را تنظیم کرد. در قسمت بعدی می‌توان هر کدام از سیستم‌ها (الکتریکی و مکانیکی) را انتخاب کرد که خودرو در حالت تست شتاب‌گیری از کدام یک از سیستم‌ها استفاده کند، سیستم الکتریکی یا مکانیکی یا هر دو سیستم. مقدار شارژ در دسترس باتری را در حالت فعال بدن سیستم الکتریکی باید تعیین کرد.

قسمت بعدی مربوط به پارامترهای وزن خودرو می‌باشد که بیانگر آن است که خودرو در چه شرایطی در حالت تست قرار داده شود. وزن خودی خودرو یا وزن در حالت رانندگی خودرو با اضافه کردن وزن مشخصی به خودرو باید در این قسمت تعیین شود. در قسمت بعدی با تعیین بازه‌های

سرعت، زمان پیمایش مسیر برای یک خودرو بین دو سرعت تعیین شده به دست آورده می‌شود که می‌توان سه بازه سرعت برای آن تعیین کرد که در حالت پیش‌فرض، این بازه‌ها از ۰ تا ۶۰ و از ۶۰ تا ۱۰۰ و از ۱۰۰ تا ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت هستند.

یکی دیگر از تست‌هایی که اغلب بر روی خودرو انجام می‌شود تست رانندگی بر روی شیب می‌باشد در این تست نیز باید مانند قسمت قبل پنجره مربوط به آن را باز کرد و سپس اطلاعات مربوط به آن را کامل کرد. در شکل (ب-۷) می‌توان پنجره مربوط به Gradeability test را مشاهده کرد.



شکل (ب-۷): پنجره مربوط به تست روی سطح شیب دار

در این تست در قسمت ابتدایی باید شرایط مربوط به تست را تعیین کرد. میزان شیب جاده، سرعت حرکت خودرو بر حسب مایل بر ساعت و زمان بالا رفتن و شماره دنده مورد نظر تعیین می-شود. در قسمت بعدی می توان سیستم های الکتریکی و مکانیکی را فعال یا غیرفعال کرد. میزان شارژ اولیه و حداقل شارژ باتری، در صورت فعال بودن سیستم الکتریکی باید تعیین شود. وزن کل سیستم و وزن اضافی قرار داده شده بر روی سیستم در شرایط تست را می توان مشابه تست شتاب گیری مشخص نمود. در قسمت شرایط حل²⁰ تفرانس سرعت، تفرانس شیب، حداکثر تکرار و حد بالا و پایین شیب را باید مشخص کرد.

در نرم افزار Advisor به منظور مدل سازی یک خودرو خاص، می توان از دو روش بهره گرفت: اولین روش آن است که در پنجره اول از قسمت Drivetrain config گزینه custom را انتخاب کرده و با تعریف و ذخیره سازی مدل خودرو در قسمت Block Diagram خودرو را به وجود آورد و شبیه سازی را ادامه داد. در این قسمت به نرم افزارهای جانبی مانند saber و یا cosimulation نیاز است.

راه حل ساده تر آن است که نزدیک ترین مدل به خودرو مورد نظر را پیدا کرده و با تغییر دادن بلوک دیاگرام آن و تعریف بلوک دیاگرام جدید خودرو مورد نظر را تعریف کرد و سپس با تغییرات جزئی در روش های کنترلی، خودرو انتخابی مورد نظر آن را شبیه سازی کرد.

²⁰ .Solution test

مراجع و مأخذ:

- [1]. J. Eastin, R. Grundmann, A. Prakash, “The two limits debates: Limits to Growth and climate change”, *Futures*, vol. 43, No.1, pp.16-26, 2011
- [2]. Y. Cancino-Solo’rzano, et al, “Electricity sector in Mexico: current status. Contribution of renewable energy sources”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14 ,No.1 , pp. 454-461, 2010.
- [3]. AM. Omer, “Energy, environment and sustainable development” , *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12 ,No.9, pp. 2265–2300, 2008.
- [4]. X. Oua, X. Zhanga, and S. Changa, “Scenario analysis on alternative fuel/vehicle for china’s future road transport: Life-cycle energy demand and GHG emissions”, *Energy Policy*, Vol. 38, No.8, pp. 3943-3956, 2010.
- [5]. R. Sioshansi and P. Denholm, “Emissions impacts and benefits of plugin hybrid electric vehicles and vehicle-to-grid services”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, No.4, pp.1199–1204, 2009.
- [6]. W. Su, MY. Chow, “Performance Evaluation of an EDA-Based Large- Scale Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Algorithm”, *IEEE Transactions on smart grid*, vol. 3 ,No.1, pp.308-315, 2012.
- [7]. Wenzhong Gao. Performance Comparison of a Fuel cell-Battery Hybrid Powertrain and a Fuel cell Ultracapacitor Hybrid Powertrain. *IEEE Tranc. On Vehicular Technology*, Vol. 54, No. 3, May 2005.
- [8]. Phatiphat Thunthong, Viboon Chunkag, Panarit Sethakul, Bernard Davat and Mevilika Hinaje. Comparative Study of Fuel cell Vehicle Hybridization with Battery or Supercapacitor Storage Device. *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 8, Oct 2009.
- [9]. E. Schaltz, A. Khaligh and P. O. Rasmussen. “ Investigation of Battery/Ultracapacitor Energy Storage Rating for a Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle”, *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008. VPPC '08. *IEEE* ,Vol.,No.,pp.1-6, Sep 2008.
- [10]. Phatiphat Thounthong, Stephane Rael, Bernard Davat. “Energy management of fuel cell/battery/supercapacitor hybrid power source for vehicle applications”, *Jornal of Power Sources*, Vol. 193, No.1, pp. 376-385, 2009.
- [11]. Jennifer Bauman and Mehrdad Kazeroni. “A Comprative Study of Fuel Cell-Battery, Fuel Cell-Ultracapacitor, and Fuel Cell-Battery-Ultracapacitor Vehicle”, *IEEE Tranc. On Vehicular Technology*, Vol. 57, No. 2, March 2008.

- [12]. Bruno G. Pollet, Iain Staffell and Jin Lie Shang, “Current Status of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicle”, *Electrochimica Acta*, Vol.84, No., pp.235-249, 2012.
- [13]. Matthew A. Merkle, “Variable Bus Voltage Modeling for series Hybrid Electric Vehicle Simulation”, Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.
- [14]. C. M. Jefferson and R. H. Barnard. *Hybrid Vehicle Propulsion*. Southampton, UK: WIT Pr, 2002.
- [15]. Y.G. Mehrdad Ehsani, Ali Emadi., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory and Design, Second Editioned.*, CRC Press, 2010.
- [16]. T. Azib, G. Remy, O. Bethoux, and C. Marchand, “Control Strategy with Saturation Management of a Fuel Cell/Ultracapacitors Hybrid Vehicule”, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, pp. 1– 6, 2010.
- [17]. P. Thounthong, S. Rael, and B. Davat, “Control strategy of fuel cell/ultracapacitors hybrid power sources for electric vehicle”, *Elsevier, Journal of Power Sources*, Vol.158, No.1, pp. 806 – 814, 2006.
- [18]. Z. Jiang, L. Gao, M.J. Blackwelder, and R.A. Dougal, “Design and experimental tests of control strategies for active hybrid fuelcell/batterypower sources”, *Journal of Power Sources*, Vol.130, No.1-2, pp. 163- 171, 2004.
- [19]. T. Azib, O. Bethoux, G. Remy, C. Marchand, “Structure and Control Strategy for a Parallel Hybrid Fuel Cell/Ultracapacitors Power Source”, *The 5th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC'09)*, pp.1858-1863, Sept 2009.
- [20]. A. Chasse, A. Sciarretta, and J. Chauvin, “Online optimal control of a parallel hybrid with vehicles adaptation”, *Proceedings of the 6th IFAC Symposium "Advances in Automotive Control"*, pp.99-104, 2010.
- [21]. T. Azib, O. Bethoux, G. Remy, C. Marchand, and E. Berthelot “An Innovative Control Strategy of a Single Converter for Hybrid FuelCell/Supercapacitors Power Source”, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol.57, No.12, pp.4024 – 4031, Dec 2010.
- [22]. DaweiGao, ZHenhua Jin, Qingchun Lu. “Energy management strategy based on fuzzy logic for a fuel cell hybrid bus”, *Journal of Power Sources*, Vol.185, No.1, pp.311-317, 2008.
- [23]. A. Y. Saber, and G. K. Venayagamoorthy, “Resource Scheduling Under Uncertainty in a Smart Grid with Renewables and Plug-in Vehicles”, *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, VOL. 6, NO. 1, MARCH 2012.
- [24]. A. Abdollahi, M. Parsa Moghaddam, M. Rashidinejad, and M. K. Sheikh-El-Eslami, “Investigation of Economic and Environmental-Driven Demand Response Measures Incorporating UC”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, No. 1, pp.12-25, March 2012.

{۲۵}. مجید منتظر بافروش، "خودروهای برقی"، جزوات کمک آموزشی گروه صنعت سایپا یدک، قابل دسترس در وبسایت سایپا یدک، ۱۳۸۶/۶/۲۵.

[26]. Zhang Chenghui; Shi Qingsheng; Cui Naxin; Li Wuhua, "Particle Swarm Optimization for energy management fuzzy controller design in dual-source electric vehicle", Power Electronics Specialists Conference, IEEE , vol., no., pp.1405-1410, 17-21 June 2007.

[27]. D.E.Goldberg., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Longman, 1989.

[28]. U. Reilly, T. Yu, R. Riolo, B. Worzel., Genetic Programming Theory and Practice II, Springer Science Business Media, USA, 2005.

[29]. Xinshun Ma, "A New Hybrid Evolution Genetic Algorithm with Laplace Crossover and Power Mutation", Computational Intelligence and Security. CIS '09. International Conference on , vol.2, no., pp.88-91, 11-14 Dec 2009.

[30]. Alam, M.S.; Ul Kabir, M.W.; Islam, M.M., "Self-adaptation of mutation step size in Artificial Bee Colony algorithm for continuous function optimization", Computer and Information Technology (ICCIT), 2010 13th International Conference on , vol., no., pp.69-74, 23-25 Dec 2010.

[31]. Takao Yokota, Mitsuo Gen, Yin-Xiu Li, Genetic algorithm for non-linear mixed integer programming problems and its applications, Computers & Industrial Engineering, Volume 30, Issue 4, pp.905-917, September 1996

[32]. T. D. Chan and K. T. Chau, Modern Electric Vehicle Technology, SBN 019-850416-0, Oxford University Press, 2001.

[33]. M. P. Kevin and Y. Stephen, Fuzzy control, Addison Wesley Longman, Menlo Park, CA, 1998.

[34]. Junseok song, Vaid yanathan Krish amurthy, Alexis Kwasinski, and Raul Molina; "Analysis of the Energy storage operation of Electrical Vehicles With a Photovoltaic Roof using a Markow chain Model", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.820-825, oct 2012.

[35]. Daimler 2011 Annual report [online]. Available: <https://www.daimler.com/investors/reports/annual-reports/2011/>.

Abstract

In this dissertation in order to presentation optimal method for control and management of power sources of electric vehicles and solar electric that have power supplied two sources consist of battery and supercapacitor are modeled in Advisor. In kind studies have offer different controllers. in this between fuzzy controllers shown that are better compared with another control methods.

Amount consumered power with optimized fuzzy controller compared standard fuzzy controller in electric vehicle in one driving cycle is decreased and applying optimized (on/off) controller for this vehicle in driving cycle amount consumered power is lower standard fuzzy controller but it is higher optimized fuzzy controller.inresult optimized fuzzy controller is better than optimized (on/off) controller.

Amount consumered power with optimized fuzzy controller in solar electric vehicle in one driving cycle compared that in electric vehicle is lower.and amount of this difference is very small.

The reason lowing of that is installing solar cell on roof of solar vehicle that supply the part of vehicle needed power and another part of power is supplied from shairing battery and super capacitor and very small difference of consumered power both in solar electric and electric vehicle because of smalling installied solar cell on solar vehicle than supply small part of vehicle needed power.

Key word: electric vehicle, solar electric vehicle, on/off controller, fuzzy controller, genetic algorithm.



Shahrood University of Technology

Faculty of electrical & robotic engineering

Msc.thesis in power electrical engineering

**Energy management in solar electric vehicle with multiple
energy storage source (battery+super capacitor)**

By: **Saeed Khoobi Arani**

Supervisor

Dr. Abolfazl Halvaei Niasar

Advisor

Dr. Amin Hajizadeh

12 February 2016