دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته: مهندسی برق قدرت

عنوان:

مدلسازی و کنترل پیل‌سوختی با غشاء تبادل پروتون با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

استاد راهنما

دکتر محمد سروی

استاد مشاور

دکتر مصطفی صدیقی‌زاده

نگارش

بیتا عرب‌سلمان‌آبادی

بهمن ۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم.....

تشکر و قدردانی:

با تشکر از جناب آقای دکتر محمدسروی که در تمام مدت انجام این پروژه، روشن‌بخش مسیر صحیح بودند. صمیمانه از عنایت ایشان سپاسگزارم.

از جناب آقای دکترمصطفی صدیقی زاده که درطی انجام پروژه مشاوراینجانب بودند کمال تشکر را دارم.

چکیده:

در این پروژه مدلسازی و کنترل سیستم پیل‌سوختی متشکل از پیل‌سوختی با غشاء تبادل پروتون[۱] (PEMFC)، ذخیره ساز انرژی و مبدل‌های الکترونیک قدرت در خودروهای پیل‌سوختی ترکیبی (FCHV)[۲] مورد بررسی قرار گرفته است. مدل دینامیکی نیمه تجربی[۳] و مدل مداری پیل‌سوختی در این پروژه ارئه شده‌اند که به دلیل دقت بالایی که دارند، برای طراحی کنترل‌کننده‌های پیل‌سوختی مناسب می‌باشند. در مدل‌های پیل‌سوختی ارائه شده در اکثر مقالات از مدل دینامیکی نیمه تجربی، که در این پروژه نیز تحت عنوان مدل پیشنهادی اول نامگذاری شده است، استفاده شده، مدل مداری ارائه شده در این پروژه یا همان مدل پیشنهادی دوم به دلیل استفاده از روابط دقیق ولتاژ ترمودینامیکی و افت ولتاژها داری قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به مدل اول است و در مقالات پیل سوختی که در مورد خودرو می باشند استفاده نشده است. پیل‌های‌سوختی دارای شدت توان پایین و دینامیک کند هستند که برای جبران این مشکلات در حالت‌های گذرا و اضافه بار از ذخیره‌سازهای انرژی استفاده می‌شود تا سیستمی با شدت توان و شدت انرژی بالا ایجاد و مشکل شدت توان پیل سوختی توسط ذخیره‌سازها مرتفع گردد. موضوع مهمی که در کنترل سیستم پیل سوختی باید مورد توجه قرار بگیرد این است که بدلیل اینکه در خودرو ما با تغییرات سریع و مداوم بار روبرو هستیم، رفع تقاضای بار در حالت‌های گذرا بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به نکته مهم دیگری نیز باید توجه شود که برای داشتن بازده‌ای بالا و حفظ طول عمر پیل‌سوختی و باتری، باید هر کدام از آن‌ها در رنج محدودی از توان و SOC مورد بهره‌برداری قرار بگیرند و دستخوش تغییرات در رنج وسیعی نگردند. موضوع دیگری که در این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است مدیریت انرژی در سیستم پیل‌سوختی می‌باشد. بین میزان توانی که پیل‌سوختی و باتری برای رفع تقاضای بار باید بدهند، باتوجه به حالت ظرفیت شارژ (SOC)[۴] باتری و محدودیت‌های ولتاژ،جریان و توان باتری و

[۱] Proton Exchange Membrane Fuel Cell

[۲] Fuel Cell Hybrid Vehicle

[۳] Semi-empirical model

[۴] State Of Charge

محدودیت توان پیل‌سوختی باید مدیریت انرژی انجام گردد. و نکته مهم دیگر این است که در موتور در حالت ترمز انرژی مصرف نشده بر می‌گردد و این انرژی بایستی توسط باتری بازیابی گردد. برای این منظور از یک مبدل الکترونیک قدرت دو جهته استفاده کردیم که در حالت رفت افزاینده و در حالت برگشت کاهنده می‌باشد. برای کنترل مبدل الکترونیک قدرت در یک حالت از یک کنترل‌کننده ساده PI و در حالت دیگر از یک کنترل کننده فازی به همراه تعدادی سوئیچ برای تصمیم‌گیری بین حالت شارژ و دشارژ استفاده شده است و نتایج در دو حالت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. برای مدیریت انرژی از یک کنترل‌کننده ترموستاتی و یک کنترل‌کننده فازی مبنی بر توان مورد نیاز بار و حالت ظرفیت شارژ باتری، استفاده شده و نتایج شبیه‌سازی‌ها با هم مقایسه شده اند. مدل بار خودرو در مسیرهای مختلف از ترم‌افزار Advisor برداشت شده است و تمام شبیه‌سازی‌ها با نرم‌افزار MATLAB/Simulink انجام شده‌اند.

کلمات‌کلیدی: پیل‌سوختی، ذخیره‌ساز انرژی، خودروهای ترکیبی، مبدل الکترونیک قدرت، مدیریت انرژی

فهرست

۱-۱ تعریف مسئله..... ۲
۱-۲ اهداف دنبال شونده در پروژه..... ۳
۱-۳ مقدمه در ارتباط با مدلسازی پیل‌سوختی..... ۴
۱-۳-۱ خلاصه ای از مدل های ریاضی پیل سوختی استفاده شده در مقالات..... ۴
۱-۴ ساختار پروژه..... ۷
۲-۱ پیل سوختی..... ۹
۲-۱-۱ تاریخچه پیل‌سوختی..... ۹
۲-۱-۲ تشریح عملکرد پیل‌سوختی..... ۱۰
۲-۱-۳ مزایای پیل‌های‌سوختی..... ۱۴
۲-۱-۴ معایب پیل‌های‌سوختی..... ۱۴
۲-۱-۵ انواع پیل‌های سوختی..... ۱۵
۲-۱-۵-۱ پیل‌سوختی با غشاء تبادل پروتون..... ۱۵
۲-۱-۵-۲ پیل‌سوختی متانول مستقیم..... ۱۶
۲-۱-۵-۳ پیل‌سوختی قلیایی..... ۱۷
۲-۱-۵-۴ پیل‌سوختی اسید فسفریک..... ۱۸
۲-۱-۵-۵ پیل‌سوختی کربنات مذاب..... ۱۹
۲-۱-۵-۶ پیل‌سوختی اکسید جامد..... ۲۰
۲-۱-۶ اجزاء سیستم تولید توان پیل‌سوختی..... ۲۱
۲-۱- ۷ دینامیک پیل سوختی..... ۲۲
۲-۱-۸ اجزاء .PEMFC..... ۲۳
۲-۱-۸-۱ غشاء..... ۲۴
۲-۱-۸-۲ مجموعه الکترود-غشاء (MEA)..... ۲۵
۲-۱-۸-۳ صفحات دوقطبی..... ۲۵
۲-۱-۸-۴ صفحات گرمکن یا خنک‌ساز..... ۲۶
۲-۱-۹ تعادل اجزاء سیستم..... ۲۷
۲-۱-۱۰ مدیریت آب..... ۲۷
۲-۱-۱۲ پردازش و ذخیره سوخت..... ۲۸
۲-۱-۱۳ مبدل‌های الکترونیک قدرت انرژی..... ۲۹
۲-۲-۱ باتری..... ۲۹
۲-۲-۲ باتری های الکتروشیمیایی..... ۳۰
۲-۲-۳ واکنش‌های الکتروشیمیایی..... ۳۲
۲-۲-۴ ولتاژ ترمودینامیک..... ۳۳
۲-۲-۵ انرژی ویژه..... ۳۴

۲-۲-۶ توان ویژه..... ۳۶
۲-۲-۷ بازدهی انرژی..... ۳۷
۲-۲-۸ تکنولوژهای باتری..... ۳۸
۲-۲-۹ باتری سرب اسید..... ۳۸
۲-۲-۱۰ باتری های نیکل..... ۳۹
۲-۲-۱۰-۱ باتری نیکل-آهن..... ۳۹
۲-۲-۱۰-۲ باتری نیکل-کادمیوم..... ۴۰
۲-۲-۱۰-۳ باتری نیکل-هیدروکسید فلز..... ۴۰
۲-۲-۱۱ باتری لیتیومی..... ۴۲
۲-۲-۱۱-۱ باتری LI-P..... ۴۲
۲-۲-۱۱-۲ باتری LI-I..... ۴۲
۲-۳ ابرخازن ها..... ۴۳
۲-۳-۱ خصیصه‌های ابر خازن..... ۴۴
۲-۳-۲ اصول اساسی ابرخازن..... ۴۴
۲-۳-۳ عملکرد ابر خازن..... ۴۵
۲-۳-۵ مشخصه باتری شبیه سازی شده..... ۴۹
۳-۱ مقدمه..... ۵۳
۳-۲ مدل‌های دینامیکی غیرخطی پیل‌سوختی..PEM..... ۵۳
۳-۲-۱ مشخصه های ولتاژ-جریان دینامیکی و حالت دائمی..... ۵۳
۳-۲-۲ بررسی مدل های پیشنهاد شده در نشریات..... ۵۵
۳-۲-۳ مدل غیر خطی پیل‌سوختی PEM برای کاربردهای کنترل..... ۵۵
۳-۳ فضای حالت مدل دینامیکی .PEMFCs..... ۵۹
۳-۴ مدل مداری پیل های سوختی با غشاء تبادل پروتون..... ۶۴
۳-۴-۱ مدار معادل..... ۶۴
۳-۵ مدل دینامیکی خطی پیل‌های سوختی .PEM..... ۶۶
۳-۵-۱ - مدل چو..... ۶۷
۳-۵-۱-۱ مدل سیگنال کوچک پیل‌سوختی..... ۶۸
۳-۵-۱-۲ معادلات حالت..... ۶۸
۳-۵-۱-۱-۱ در مدل اصلی DoE..... ۶۸
۳-۵-۱-۱-۲ مدل فضای حالت خطی..... ۷۰
۳-۶ مدل‌های ارائه شده در مراجع..... ۷۱
۳-۷ مدل‌های ارانه شده در این پایان‌نامه..... ۷۵
۳-۷-۱ مدل پیشنهادی اول..... ۷۵
۳-۷-۲ مدل پیشنهادی دوم..... ۷۷

۳-۷-۳ مدل دینامیکی..... ۸۰
۳-۸ کنترل سیستم پیل سوختی..... ۸۱
۳-۸-۱ کنترل کننده‌های خطی استفاده شده در پیل‌های سوختی..... ۸۱
۳-۸-۲ استراتژی کنترلی چند ورودی چند خروجی..... ۸۲
۳-۸-۳ کنترل کننده غیرخطی..... ۸۳
۳-۹ استراتژی کنترلی پیشنهاد شده در این پایان نامه..... ۸۴
۳-۹-۱ کنترل کننده فازی..... ۸۷
۳-۱۰ مبدل های .DC/DC..... ۹۲
۳-۱۰-۱ ساختار کلی مبدل افزاینده ۹۲
۳-۱۰-۲ ساختار کلی مبدل دو جهته DC/DC ۹۳
۴-۱ مقدمه در ارتباط با خودروهای پیل‌سوختی ترکیبی..... ۹۵
۴-۱-۱ بررسی مقالات انجام شده در زمینه خودروهای ترکیبی پیل‌سوختی..... ۹۵
۴-۲ علت روآوردن به خودروهای پیل سوختی و الکتریکی..... ۱۰۰
۴-۳ آلودگی هوا..... ۱۰۱
۴-۳-۱ اکسیدهای نیتروژن..... ۱۰۱
۴-۳-۲ مونوکسید کربن..... ۱۰۲
۴-۳-۳ HCهای سوخته نشده..... ۱۰۲
۴-۳-۳ آلاینده‌های دیگر..... ۱۰۳
۴-۴ گرم شدن کره زمین..... ۱۰۳
۴-۵ ظهور استراتژیهای مربوط به خودروهای نسل بعد..... ۱۰۴
۴-۶ اصول رانش و ترمز خودرو..... ۱۰۵
۴-۶-۱ یک توصیف کلی از حرکت خودرو..... ۱۰۶
۴-۶-۲ مقاومت خودرو..... ۱۰۶
۴-۶-۳ مقاومت چرخش تایرها..... ۱۰۷
۴-۶-۴ مقاومت هوا..... ۱۱۰
۴-۶-۵ مقاومت شیب..... ۱۱۱
۴-۶-۶ رابطه دینامیکی..... ۱۱۳
۴-۶-۷ چسبندگی تایر-زمین و نیروی رانشی ماکزیمم..... ۱۱۴
۴-۶-۸ نیروی محرکه رانشی منبع تغذیه و سرعت خودرو..... ۱۱۷
۴-۶-۹ منبع توان خودرو و مشخصه های سیستم انتقال دهنده..... ۱۱۹
۴-۶-۱۰ مشخصه‌های منبع توان..... ۱۱۹
۴-۶-۱۱ مشخصه‌های انتقال دهنده..... ۱۲۲
۴-۶-۱۲ سیستم انتقال دستی..... ۱۲۳
۴-۶-۱۳ سیستم انتقال هیدرودینامیکی..... ۱۲۴

۴-۶-۱۴ سیستم انتقال متغیر بطور پیوسته..... ۱۲۸
۴-۶-۱۵ عملکرد خودرو..... ۱۲۹
۴-۶-۱۶ ماکزیمم سرعت خودرو..... ۱۲۹
۴-۶-۱۷ شیب پیمایی ۱۳۱
۴-۶-۱۸ محاسبه اقتصاد سوخت خودرو..... ۱۳۴
۴-۵ ترمز..... ۱۳۶
۴-۵-۱ نیروی ترمز..... ۱۳۷
۵-۱ توصیف سیستم ترکیبی شبیه سازی شده..... ۱۴۰
۵-۲ سیستم مدیریت انرژی..... ۱۶۱
۶-۱ نتیجه گیری..... ۱۷۱
۶-۲ پیشنهادات..... ۱۷۲
مراجع..... ۱۷۳

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱) ساختار سیستم پیل سوختی/ذخیره ساز انرژی و استراتژی کنترل پیشنهادی..... ۴
شکل (۲-۱) ورودی و خروجی های پیل سوختی..... ۱۰
شکل (۲-۲) برش عرضی از پیل‌سوختی شامل تمام مراحل انجام واکن..... ۱۱
شکل (۲-۳) بلوک دیاگرام اتصال سیستم توان پیل‌سوختی..... ۲۲
شکل (۲-۴) قسمت های اصلی یک پیل سوختی با غشا تبادل پروتون..... ۲۳
شکل (۲-۵) ساختار یک فلورواتیلن سولفات شده..... ۲۴
شکل (۲-۶) مجموعه الکترود-غشاء..... ۲۵
شکل (۲-۷) اشکال مختلف کانال‌ها..... ۲۶
شکل (۲-۸) یک نمونه از سلول باتری الکتروشیمیایی..... ۳۰
شکل (۲-۹) ولتاژ قطع یک باتری نمونه..... ۳۱
شکل (۲-۱۰) مشخصه دشارژ یک باتری اسیدی..... ۳۱
شکل (۲-۱۱) فرایندهای الکتروشیمیایی باتری اسیدی..... ۳۳
شکل(۲-۱۲) گسترش وزن اجزاء یک باتری خودروی الکتریکی اسیدی با انرژی ویژه 45Wh/kg در نرخ C5/5..... ۳۶
شکل (۲-۱۳) بازدهی شارژ و دشارژ یک باتری نمونه (سرب اسیدی)..... ۳۷
شکل (۲-۱۴) اصول اساسی یک خازن..... ۴۵
شکل (۲-۱۵) مدار معادل ابرخازن..... ۴۵
شکل (۲-۱۶) دیاگرام مدل ابرخازن..... ۴۶
شکل (۲-۱۷) مشخصه دشارژ ابر خازن مدل ماکسول..... ۴۶
شکل (۲-۱۸) بازده دشارژ ابر خازن مدل ماکسول..... ۴۷
شکل (۲-۱۹) تغییرات حالت ظرفیت شارژ باتری بر حسب ولتاژ سلول..... ۴۷
شکل (۲-۲۰)مفهوم استفاده از منابع دخیره کننده انرژی بطور ترکیبی..... ۴۸
شکل (۲-۲۱) مدل ترکیب ذخیره کننده های انرژی بصورت کنترل شده با مبدل الکترونیک قدرت..... ۴۹
شکل (۲-۲۲) مدل باتری شبیه سازی شده در این پروژه ۵۰
شکل(۲-۲۳) مشخصه مقاومت در حالت های شارژ و دشارژ و ولتاژ مدار باز باتری
لیتیومی..... ۵۰
شکل (۳-۱) مشخصه V-I یک پیل‌سوختی با غشاء تبادل پروتون نمونه..... ۵۶
شکل (۳-۲) منحنی قطبش یک پیل سوختی با غشاء تبادل پروتون نمونه..... ۵۷
شکل (۳-۳) شماتیک عملکرد پیل‌سوختی..... ۵۷
شکل (۳-۴) شدت جریان یک سلول نمونه..... ۵۸
شکل (۳-۵) مسیر جریان گازها در پیل های سوختی.PEM ۶۰
شکل (۳-۶) مدار معادل پیل‌سوختی ..PEM..... ۶۵
شکل (۳-۷) دیاگرام شماتیک از یک پیل‌سوختی PEM و افت ولتاژهای آن..... ۶۵

شکل (۳-۸) مشخصه های P-I پیل‌سوختیPEM در محیط‌های مختلف..... ۶۶
شکل (۳-۹) مشخصه V-I پیل‌سوختی..... ۶۶
شکل (۳-۱۰) جریان‌های گاز ورودی و خروجی..PEMFC..... ۶۸
شکل (۳-۱۱) حلقه کنترل توان با استفاده از نرخ جریان مولی ورودی هیدروژن به عنوان متغیر کنترلی..... ۸۲
شکل (۳-۱۲) حلقه کنترلی پشت سر هم برای کنترل میانگین دما با استفاده از نرخ جریان مولی وارد شونده به عنوان متغیر کنترلی..... ۸۲
شکل (۳-۱۳) نرخ کنترلی با کنترل کننده پشت سرهم برای کنترل دما..... ۸۳
شکل (۳-۱۴) ساختار سیستم پیل سوختی / ذخیره ساز انرژی و استراتژی کنترلی پیشنهادی..... ۸۵
شکل (۳-۱۵) ورودی و خروجی های واحد مدیریت توان ۸۹
شکل (۳-۱۶) توابع تعلق..... ۹۰
شکل (۳-۱۷) توابع تعلق..... ۹۰
شکل(۳-۱۸) مدل مبدل کاهنده..... ۹۲
شکل(۳-۱۹) مدل مبدل کاهنده در حالت اول..... ۹۲
شکل(۳-۲۰) مدل مبدل کاهنده در حالت دوم..... ۹۲
شکل (۳-۲۱) ساختار مبدل دو جهته..... ۹۴
شکل (۴-۱) سیستم پیشنهادی برای تقسیم بار و مدیریت توان در مرجع..... ۹۸
شکل (۴-۲) مقایسه مصرف سوخت به صورت متراکم و تعمیم یافته برای استراتژیهای پیشرفته..... ۱۰۴
شکل (۴-۳) نیروهای وارد به یک خودرو در حال حرکت بر روی شیب..... ۱۰۶
شکل (۴-۴) نحوه توزیع فشار روی سطح..... ۱۰۷
شکل (۴-۵) نیروی وارد به تایر در برابر تغییر شکل تایر در حالت با سرنشین و بدون سرنشین..... ۱۰۸
شکل (۴-۶) تغییر شکل تایر و مقاومت چرخش تایر..... ۱۰۸
شکل (۴-۷) مقاومت شکل بدنه ماشین..... ۱۱۰
شکل (۴-۸) خودرو در حال بالا رفتن از شیب..... ۱۱۲
شکل (۴-۹) تغییرات ضریب نیرو محرکه رانشی با لغزش طولی یک تایر..... ۱۱۶
شکل (۴-۱۰) رفتار تایر تحت اعمال گشتاور در طی رانندگی..... ۱۱۶
شکل (۴-۱۱) مثال تصویری از یک منبع تغذیه اتومبیل..... ۱۱۷
شکل (۴-۱۲) مشخصه‌های عملکرد ایده‌آل برای یک منیع توان خودرو..... ۱۱۹
شکل (۴-۱۳) مشخضه عملکرد یک موتور گازوئیلی نمونه..... ۱۲۰
شکل (۴-۱۴) نیرو محرکه رانشی یک موتور احتراق داخلی نمونه و سیستم انتقال چند دنده‌ای برحسب سرعت..... ۱۲۱
شکل (۴-۱۵) مشخصه‌های عملکرد موتور الکتریکی نمونه..... ۱۲۱
شکل (۴-۱۶) نیروی محرکه رانشی یک خودرو الکتریکی تک دنده برحسب سرعت..... ۱۲۲
شکل (۴-۱۷) مشخصه نیرو محرکه رانشی یک خودرو با موتور گازوئیلی..... ۱۲۳
شکل (۴-۱۸) نیروی محرکه رانشی یک موتور گازوئیلی با سیستم انتقال چهار دنده و خودرو الکتریکی با سیستم انتقال تک دنده..... ۱۲۵

شکل (۴-۱۹) یک طرح کلی برای مبدل گشتاور..... ۱۲۶
شکل (۴-۲۰) مشخصه عملکرد یک مبدل گشتاور..... ۱۲۷
شکل (۴-۲۱) شاخص ظرفیت یک موتور نمونه..... ۱۲۹
شکل (۴-۲۲) مشخصه‌های نیرو محرکه رانشی-سرعت یک خودرو مسافربری با سیستم انتقال اتوماتیک..... ۱۳۰
شکل (۴-۲۳) نیرو محرکه رانشی یک موتور گازوئیلی یا سیستم انتقال دستی چند سرعته و مقاومت‌هایش.. ..... ۱۳۰
شکل (۴-۲۴) نیرو محرکه رانشی یک موتور الکتریکی یا سیستم انتقال تک سرعته و مقاومت‌هایش.... ..... ۱۳۲
شکل (۴-۲۵) نرخ شتاب یک موتور گازوئیلی با سیستم انتقال چهار دنده..... ۱۳۳
شکل (۴-۶) نرخ شتاب یک خودرو با یک سیستم انتقال تک دنده..... ۱۳۳
شکل (۴-۲۷) زمان شتاب و مسافت بر حسب سرعت برای یک خودرو مسافربری با موتور گازوئیلی با سیستم انتقال چهار دنده..... ۱۳۳
شکل (۴-۲۸) زمان شتاب و مسافت بر حسب سرعت خودرو برای یم خودرو مسافربری با موتور الکتریکی با سیستم انتقال تک دنده..... ۱۳۳
شکل (۴-۲۹) مشخصه‌های مصرف سوخت یک خودرو نمونه در سرعت ثابت..... ۱۳۴
شکل (۴-۳۰) نقطه کار موتور در یک سرعت ثابت با بالاترین دنده و بالاترین دنده دوم..... ۱۳۵
شکل (۴-۳۱) سیکل رانندگی در بزرگراه و داخل شهر..... ۱۳۵
شکل (۴-۳۲) اقتصاد سوخت و نقاط عملکرد خودرو در سیکل راننده‌گی درون شهری رویهم افتاده با نقشه مشخصه مصرف سوخت موتور ۱۳۶
شکل (۴-۳۳) اقتصاد سوخت و نقاط عملکرد موتور در سیکل رانندگی بزرگراه رویهم افتاده با نقشه مشخصه مصرف سوخت موتور..... ۱۳۶
شکل (۴-۳۴) (الف) گشتاور و نیروی ترمز (ب) رابطه بین گشتاور و نیروی ترمز..... ۱۳۷
شکل (۴-۳۵) تغییرات ضریب نیرو محرکه رانشی با لغزش یک تایر..... ۱۳۸
شکل (۵-۱) مدل پیشنهادی شبیه سازی شده در محیط متلب..... ۱۴۰
شکل (۵-۲) مدل دینامیکی پیل سوختی شبیه سازی شده در این پروژه..... ۱۴۱
شکل (۵-۳) مدل دینامیکی مداری پیل سوختی شبیه سازی شده در این پروژه..... ۱۴۲
شکل (۵-۴) منحنی مشخصه تغییرات ولتاژ پیل سوختی برحسب جریان تحت تغییرات دما..... ۱۴۳
شکل (۵-۵) منحنی تغییرات شدت توان پیل سوختی برحسب جریان تحت تغییرات دما..... ۱۴۳
شکل (۵-۶) منحنی مشخصه تغییرات ولتاژ پیل سوختی برحسب جریان تحت تغییرات فشار در طرف کاتد..... ۱۴۴
شکل (۵-۷) منحنی تغییرات شدت توان پیل سوختی برحسب جریان تحت تغییرات فشار در طرف کاتد..... ۱۴۴

شکل (۵-۸) حالت اول: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده PI و بار مقاومتی.....۱۴۶
شکل (۵-۹) مبدل DC/DC کاهنده همراه با کنترل کننده .....PI.....۱۴۶
شکل (۵-۱۰) مدل بار مقاومتی.....۱۴۶
شکل (۵-۱۱) منحنی تغییرات جریان بار مقاومتی.....۱۴۷
شکل (۵-۱۲) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۴۷
شکل (۵-۱۳) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده .....PI.....۱۴۷
شکل (۵-۱۴) حالت دوم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده PI و بار خودرو در یک سیکل درون شهری.....۱۴۹
شکل (۵-۱۵) منحنی تغییرات جریان بار یک خودرو در یک سیکل درون شهری.....۱۴۹
شکل (۵-۱۶) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۰
شکل (۵-۱۷) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده ....PI.....۱۵۰
شکل (۵-۱۸) حالت سوم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده PI و بار مقاومتی.....۱۵۱
شکل (۵-۱۹) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۱
شکل (۵-۲۰) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده ..PI.....۱۵۲
شکل (۵-۲۱) حالت چهارم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده PI و بار خودرو در یک سیکل درون شهری.....۱۵۲
شکل (۵-۲۲) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۳
شکل (۵-۲۳) مدل فازی استفاده شده برای تنظیم دیوتی سایکل و ولتاژ خروجی مبدل الکترونیک قدرت.....۱۵۳
شکل (۵-۲۴) حالت پنجم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده فازی و بار مقومتی.....۱۵۴
شکل (۵-۲۵) مدل فازی استفاده شده برای تنظیم دیوتی سایکل و ولتاژ خروجی مبدل الکترونیک قدرت.....۱۵۴
شکل (۵-۲۶) قانون های فازی نوشته شده در جعبه ابزار فازی متلب.....۱۵۵
شکل (۵-۲۷) مشخصه ورودی خروجی کنترل کننده فازی.....۱۵۵
شکل (۵-۲۸) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۵
شکل (۵-۲۹) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده فازی.....۱۵۶
شکل (۵-۳۰) حالت ششم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده فازی و بار خودرو.....۱۵۶
شکل (۵-۳۱) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۷
شکل (۵-۳۲) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده فازی ۱۵۷
شکل (۵-۳۳) حالت هفتم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده فازی و بار مقومتی.....۱۵۸
شکل (۵-۳۴) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۵۸

شکل (۵-۳۵) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده فازی.....۱۵۹
شکل (۵-۳۶) حالت هشتم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده فازی و بار خودرو.....۱۵۹
شکل (۵-۳۷) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی از پیل سوختی.....۱۶۰
شکل (۵-۳۸) ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده فازی.....۱۶۰
شکل (۵-۳۹) مقایسه منحنی های توان در حالت های ۸،۶،۴،۲ در سیکل راننده گی درون شهر.....۱۶۱
شکل (۵-۴۰) حالت نهم: سیستم پیل سوختی شامل پیل سوختی، مبدل DC/DC همراه با کنترل کننده فازی باتری همرا با مبدل دوجهته کنترل شده با کنترل کننده PIو بار خودرو.....۱۶۳
شکل (۵-۴۱) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی پیل سوختی و توان خروجی باتر.....۱۶۴
شکل (۵-۴۲) منحنی تغییرات SOC.....۱۶۴
شکل (۵-۴۳) منحنی ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده PI.....۱۶۵
شکل (۵-۴۴) مدل پیل سوختی/باتری متصل شده به بار از طریق ادوات الکترونیک قدرت به همراه کنترل کننده فازی.....۱۶۶
شکل (۵-۴۵) منحنی بازده پیل سوختی.....۱۶۶
شکل (۵-۴۶) منحنی مصرف سوخت پیل سوختی.....۱۶۷
شکل (۵-۴۷) سطح ورودی و خروجی‌ها در جعبه ابزار فازی.....۱۶۷
شکل (۵-۴۸) مقایسه تغییرات توان مورد نیاز توسط بار و توان خروجی پیل سوختی و توان خروجی باتری.....۱۶۷
شکل (۵-۴۹) منحنی تغییرات SOC.....۱۶۸
شکل (۵-۵۰) ولتاژ خروجی مبدلDC /DC الکترونیک فدرت تحت کنترل کننده فازی.....۱۶۹

فهرست جداول

جدول (۱-۱) خلاصه‌ای از مدل‌های استفاده شده در مقالات..... ۷
جدول (۲-۱) مشخصات انواع پیل‌های‌سوختی..... ۲۱
جدول (۲-۲)مقدار تئوری انرژی ویژه تعدادی باتری که در خودروهای الکتریکی و ترکیبی استفاده می‌شوند..... ۳۵
جدول (۲-۳) مشخصات ماژول باتری های مد نظر قرار گرفته..... ۵۰
جدول (۳-۱) ضرائب حالت دائمی برای پیل‌سوختی PEM مدل بالارد..... ۵۵
جدول (۳-۲) ضرائب حالت گذرا برای پیل‌سوختی PEM مدل بالارد..... ۵۶
جدول (۳-۳) پارامترهای مربوط به پیل‌سوختی PEMمدل بالارد..... ۵۶
جدول(۳-۴) ماتریس قوانین فازی برای کنترل توابع وظیفه مبدل افزاینده..... ۹۰
جدول(۳-۵) ماتریس قوانین فازی برای کنترل مسیر توان ۹۱
جدول (۴-۱) ضریب مقاومتی چرخشی تایر در حالت‌های مختلف..... ۱۰۹
جدول (۴-۲) ضریب مقاومت هوا برای ماشین های با شکل بدنه متفاوت..... ۱۱۱
جدول (۴-۳) مشخصات یک خودرو فرضی کوچک..... ۱۱۷
جدول (۴-۴) میانگین ضریب نیرو محرکه رانشی روی جاده‌های مختلف..... ۱۳۸
جدول (۵-۱) مشخصات پارامترهای بکار رفته در مدلسازی پیل سوختی..... ۱۴۱
جدول (۵-۲) مشخصات پارامترهای بکار رفته در مدلسازی پیل سوختی..... ۱۴۲
جدول (۵-۳) مشخصات ماژول باتری های مد نظر قرار گرفته..... ۱۴۸
جدول (۵-۴) مشخصه سیکل راننده گی ..udds..... ۱۶۹

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱ تعریف مسئله

جذابیت در حال رشد فن‌آوری‌های تجدید پذیر اولاً به دلیل فنآپذیری سوخت‌های فسیلی با توجه به استخراج وسیع منابع جهان و پیش‌بینی رو به اتمام بودن این منابع و آینده نه چندان امیدوارکننده آن‌ها، ثانیاً با توجه به لزوم گسترش و تنوع بخشی به منابع انرژی و نیاز به ایجاد شرایطی پایدار و امن برای تامین انرژی به واسطه کنترل سیاسی و سلطه کشورهایی که منابع وسیعی دارند و عدم امنیت تامین انرژی برای کشورهای دیگر و ثالثاً با توجه به مشکلات زیست محیطی نشأت گرفته از مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان آلاینده‌های منتشر شونده توسط این سیستم‌ها و داشتن بازدهی نه چندان چشمگیر و روند رو به افزایش قیمت آن‌ها، قابل درک می باشد و اهمیت سیاستگذاری‌ها و محورهای استراتژیک مبنی بر استفاده از منابعی با بازدهی بالا و دوستدار محیط و در دسترس عموم بارز می‌باشد. هم اکنون شاهد آن هستیم که توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر[۱] و یک منبع توان جدید با بازدهی بالا، انتشار آلودگی پایین، و سوخت دردسترس معطوف شده است.

فن‌آوری‌های زیادی برای تولید توان الکتریکی ارائه شده است که تعدادی از این فن‌آوری‌ها در زیر آورده شده‌اند:

- فتوولتائیک
- بادی
- ژئوترمال (زمین گرمایی)
- انرژی موجی و جذر و مدی
- پیل‌های سوختی
- انرژی خورشیدی-گرمایی
- بازیافت توده‌های زیست محیطی

[۱] Renewable Energies