



تأثیر موتور احتراقی و برقی بر عملکرد خودروی دورگه موازی و روش انتخاب موتور

حمید غضنفر^۱، علی مهرکیش^{۲*}، سمیه نوروزی غضبی^۳، مسعود طهانی^۴

^۱شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران، gazanfar.hamid@yahoo.com

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، ali.mehrkish@yahoo.com

^۳دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، somaye_noroozi@yahoo.com

^۴دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، mtahani@um.ac.ir

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۵۳۱۷۶۲۹۴

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۹ فروردین ۱۳۹۳

پذیرش: ۱۷ خرداد ۱۳۹۳

کلیدواژه‌ها:

خودروی دورگه برقی

چیدمان موازی

شبیه‌سازی

موتور احتراقی

موتور برقی

چکیده

کاهش منابع نفتی، افزایش هزینه‌های تولید و فروش بنزین، افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن زمین موجب شده است تا روش‌هایی برای بهبود کارکرد موتورهای بنزینی پیشنهاد شود. در این میان به خودروهای دورگه با مصرف بسیار پایین و عملکرد نزدیک به خودروهای معمولی توجه فراوانی شده است. آنچه در این مقاله بررسی می‌شود، روند انتخاب موتور احتراقی برای خودروی دورگه با چیدمان انتقال قدرت موازی است. در این تحقیق در ابتدا پیش فرض‌های طراحی و مأموریت خودروی هدف، برای دورگه کردن بررسی می‌شود. در ادامه با بررسی بازار داخلی، محدودیت‌های طراحی و ساخت مشخص می‌شود. در این قسمت عملکرد خودروی دورگه با موتور برقی انتخاب شده و هر یک از موتورهای احتراقی توسط نرم‌افزار ADVISOR بررسی می‌شود. پس از مشخص شدن عملکرد خودرو با هر یک از موتورهای موجود، متغیرهایی که در طراحی خودرو بیشتر مورد توجه است انتخاب گردید و با تشکیل جدول وزنی و به کمک نرم‌افزار Expert Choice، موتور احتراقی برای خودروی مورد نظر گزینش می‌شود. همچنین نقشه عملکرد موتور گزینش شده، به منظور برنامه‌ریزی برای انطباق آن با سایر اجزا نیز تهیه گردید. در ادامه نیز موتور برقی متناسب با مأموریت معرفی می‌گردد. در انتها با محاسبه حساسیت متغیرهای مهم در طراحی، نسبت به ایجاد تغییرات در اندازه‌بندی روش استفاده از حساسیت‌ها در انتخاب‌های مهندسی و طراحی بیان می‌شود.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

موتور احتراق داخلی یکی از پرکاربردترین ساخته‌های بشر به شمار می‌رود که سهم بزرگی در پیشرفت صنعت وسایل نقلیه داشته است. امروزه به کمک این اختراع صنعت خودروسازی و صنایع وابسته به آن بیشترین مقدار اشتغال را به خود اختصاص داده‌اند. از این رو بحث برای سهم این وسیله در خودروهای آینده، خالی از فایده نیست. در این میان موتورهای برقی با بازدهی در حدود ۹۵٪ بسیار به صرفه‌تر از موتورهای احتراقی بنزینی با بازده ۳۳٪ به نظر می‌رسند [۱، ۲]. اما مشکل این منابع توان، در منابع انرژی آنهاست. به عنوان مثال در خودروی سدان تأمین انرژی یک موتور برقی با توان قابل قبول بسیار پرهزینه است و علاوه بر این باعث سنگینی خودرو و کاهش مشخصه‌های عملکردی خودرو نیز خواهد شد. ولی با وجود این معایب، کنار گذاشتن موتورهای برقی برای تأمین توان، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی خودرو امکان پذیر نخواهد بود. از این رو در دهه اول قرن ۲۱ زمینه برای به کارگیری موتورهای برقی در خودروهای تجاری فراهم گردید. خودروی دورگه برقی^۱ خودرویی با منابع دوگانه توان (سوخت‌های فسیلی و انرژی برقی) راه حلی برای به کارگیری موتورهای برقی در خودرو بوده است.

خودروهای دورگه - برقی و برقی با افزایش بازده و بهینه‌سازی مصرف سوخت، آلودگی ناشی مصرف این نوع سوخت‌ها را به مراتب کاهش داده‌اند. خودروهای دورگه برقی در سال ۱۹۹۷ به صورت تولید محدود وارد بازار تجاری شدند. اما خودروهای قابل تغذیه برقی تا سال ۲۰۰۴ جایی در بازار تجاری نیافته بودند. از این سال با رشد فناوری مربوط به منابع‌های تغذیه مورد استفاده، خیابان‌ها شاهد خودروهای قابل تغذیه برقی از شرکت‌های مختلف گردید [۳]. در این میان مطالعات اقتصادی صورت گرفته بر روی این موضوع و پیش بینی بازار تجاری آنها موجب تمرکز مطالعاتی واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های خودروساز در این زمینه گشت.

با توجه به اهمیت انتخاب صحیح موتور احتراقی در بازده، عملکرد و مقدار آلایندگی خودروی دورگه، وی^۲ [۴] و گارسیا^۳ [۵] در دو پژوهش متفاوت مقدار آلایندگی این نوع خودروها را با مقایسه روش‌های متفاوت انتخاب سوخت و موتور احتراقی بررسی کردند.

احسانی نیز [۶] به مطالعه تأثیر موتور احتراقی در سامانه‌های انتقال قدرت متفاوت در خودروهای دورگه پرداخته است. او در این پژوهش متغیرهای متفاوت تأثیرگذار در عملکرد موتور احتراقی خودروی دورگه را بررسی کرد و در نهایت با اعمال بررسی‌های صورت گرفته بر روی خودروی نمونه نتایج را صحت‌گذاری نمود.

در ادامه تانتانگ^۴ و همکاران [۷] با در نظر گرفتن نوع منبع‌های تغذیه، چرخ طیار، موتور احتراقی و مولد برق خودروی نوع مشخصات عملکردی و توصیفی آن را با استفاده از نرم‌افزار VSP شبیه‌سازی نمودند. در این شبیه‌سازی راهکارهای پایشی متفاوت خودرو بررسی شد و تأثیر آن بر سایر متغیرهای عملکردی استخراج گشت.

با توجه به اهمیت چرخه رانندگی در نظر گرفته شده در تحلیل عملکرد خودرو و انتخاب اجزای مناسب برای آن، مئولو^۵ [۸] به بررسی عملکرد یک خودروی نمونه در چرخه‌های رانندگی متفاوت پرداخت. او در این بررسی تأثیر نوع چرخه رانندگی بر انتخاب نوع سامانه انتقال قدرت و به تبع آن اجزای سامانه انتقال قدرت را نشان داد.

با مطالعه سیر پژوهشی صورت گرفته بر روی خودروهای دورگه مشخص شد که روند دورگه کردن خودروهای احتراقی در مناطق مختلف و با توجه به سطح فناوری، توانمندی واحدهای مهندسی و همچنین نوع چرخه رانندگی غالب در آن کشورها با یکدیگر متفاوت است. از این رو برای طراحی یک راهکار در نحوه دورگه کردن خودروهای احتراقی، داشتن شناخت دقیق از متغیرهای فوق امری ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد. سطح فناوری و قابلیت‌های واحدهای توسعه و فناوری با توجه به ابزار و افراد موجود قابل دستیابی است. همچنین برای یافتن چرخه رانندگی متناسب با خیابان‌ها نیز نیازمند مطالعه آماری در این زمینه می‌باشد.

با در نظر گرفتن موارد مطرح شده در این موضوع، به نظر می‌رسد ارائه یک الگوی منسجم در دورگه کردن یک خودروی داخلی حلقه گمشده صنعت خودروهای با انرژی پاک در کشور می‌باشد. در همین راستا، مهرکیش و همکاران [۹] اقدام به ارائه هدفمند انتخاب سامانه انتقال قدرت خودروی دورگه برقی با در نظر گرفتن متغیرهای عملکردی آن نمودند. در این پژوهش در ادامه تحقیق، آنها با معرفی یک چرخه رانندگی متناسب با شهرهای بزرگ ایران و در نظر گرفتن متغیرهای طراحی خودروی دورگه رویه منظمی برای انتخاب سایر اجزا به وسیله شبیه‌سازی‌های انجام شده معرفی شده است. برای این منظور، در بخش اول به معرفی خودروی دورگه و انواع سامانه انتقال قدرت مورد استفاده در آن پرداخته شده است. پس از آن مشخصات طراحی خودروی هدف تعیین شده و موتورهای احتراقی متناسب با آن معرفی شده‌اند و در ادامه عملکرد خودرو در چرخه رانندگی با در نظر گرفتن نمودارهای عملکردی موتور احتراقی بررسی شد.

⁴ Thouthong

⁵ Mierlo

¹ Hybrid Electric Vehicle

² Wee

³ Garcia

در این راه برای تولید خودروی دورگه، تعدادی از زیر سامانه‌های خودرو با توجه به تغییرات ایجاد شده تعویض می‌شوند. آنچه در ایجاد این تغییرات مهم به نظر می‌رسد انتخاب اصولی و روش مند برای هر یک از اجزا است. از جمله مهمترین این قطعات که نقش اساسی در عملکرد خودرو دارد، موتور احتراقی است. با توجه به اضافه شدن منبع توان برقی و کاهش مصرف سوخت که هدف اصلی از دورگه کردن خودرو است، نیاز است این موتور با موتوری با توان کمتر جایگزین شود.

۳) مشخصات خودروی هدف

قبل از انتخاب موتور باید مشخصات خودروی هدف برای گام‌های بعدی روشن شود. در جدول ۱ مشخصات خودروی هدف برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار نشان داده شده است.

پس از معرفی مأموریت در طراحی خودرو باید موتورهای موجود در بازار داخلی که متناسب با مشخصات طرح است، شناسایی شوند. باید توجه نمود که با توجه به نوع چیدمان انتقال قدرت، توان دریافتی توسط چرخ‌ها برابر با مجموع توان موتور احتراقی و برقی است. در جدول ۲ مشخصات موتورهای احتراقی موجود در بازار داخلی ایران متناسب با عملکرد خودروی هدف به تفکیک شرکت تولید کننده آمده است.

مهمترین مشخصه‌ای که برای انتخاب اولیه موتور مورد نظر است مقدار مصرف سوخت خودرو است.

در این مرحله برای پیش بینی عملکرد خودرو با هریک از موتورهای موجود در جدول ۲، خودروی دورگه با این موتور و چیدمان موازی توسط نرم‌افزار ADVISOR برای یک چرخه شهری شبیه‌سازی شده و نتایج عملکردی خودرو از جمله برد دورگه‌ای، بیشینه شتاب، بیشینه سرعت، زمان رسیدن سرعت خودرو از ۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و مصرف سوخت به دست آمده است.

جدول ۱: مشخصات خودروی هدف [۱۶و۱۳]

مقدار مشخصه	مشخصه
۱۱۰-۹۰ hp	توان نامی
۴۰ hp	توان موتور برقی
۱۶۰-۱۳۰ Nm	گشتاور
۵ دنده دستی	جعبه دنده
۲۰۰ km/h	حداکثر سرعت
۵-۷ Liter/۱۰۰ km	مصرف سوخت
۲,۰۵	نسبت دنده جعبه دنده
۵,۵۴	
۳,۵۵	
۰,۸۶۵	
۱,۴۲۳	
۱ به ۱	نسبت دنده اتصال

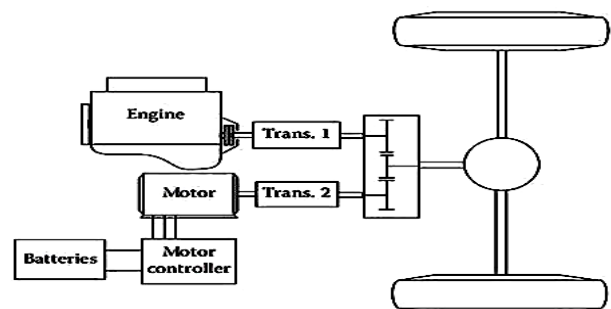
۲) خودروهای دورگه - برقی

تولید خودروهای دورگه با دو رویکرد کاملاً متفاوت امکان پذیر است. اولین و رایج‌ترین آن ساخت یک خودروی دورگه برقی از ابتدا است. بدین صورت که تمام زیر سامانه‌های خودرو برای تولید خودروی دورگه برقی طراحی می‌شوند. راه دوم نیز دورگه کردن خودروی موجود با موتور احتراقی مشخص است.

دورگه کردن خودرو در کشور ما با تغییر موتورهای درون سوز سازگار با گاز طبیعی آغاز شد. اما تولید این خودروها ملزم به سرمایه‌گذاری‌های کلان برای احداث جایگاه‌های سوخت بود. از این رو خودروهای دورگه برقی با توجه به مصرف پایین‌تر در چرخه شهری بسیار مناسب‌تر از خودروهای دورگه گاز سوز به نظر می‌رسند. با توجه به امکانات و ساختار کارخانه‌های خودروسازی در کشور، تولید خودروی دورگه با تغییر بر روی خودروی موجود گزینه مناسب جهت دورگه کردن به شکل تجاری است. از طرفی چیدمان موازی^۱ با عملکرد و بازده بیشتر نسبت به چیدمان سری و نیز سادگی قسمت‌های پایشی نسبت به چیدمان سری موازی، بهترین گزینه برای تولید خودروی دورگه تجاری با این رویکرد خواهد بود [۱۰].

۱-۲) چیدمان دورگه موازی

در این نوع چیدمان هر دو موتور برقی و احتراقی امکان انتقال قدرت را به طور مستقیم به چرخ‌ها دارند. در این حالت گشتاور (سرعت) موتور برقی و موتور احتراقی توسط محور گشتاور (سرعت) به یکدیگر متصل می‌شوند. چیدمان انتقال قدرت موازی به دو صورت پیش موازی^۲ و پس موازی^۳ استفاده می‌شود. تفاوت این دو نوع چیدمان در محل قرارگیری جعبه دنده است [۱۱]. در این مقاله با توجه به پژوهش‌های انجام شده مهرکیش و همکاران [۹] بر روی خودروی چری ویانا به عنوان نمونه خودرو سدان، چیدمان انتقال قدرت نوع پیش موازی در شکل (۱)، بررسی شد.



شکل ۱: چیدمان خودروی دورگه موازی [۱۲]

1 Parallel hybrid drive train

2 Pre transmission

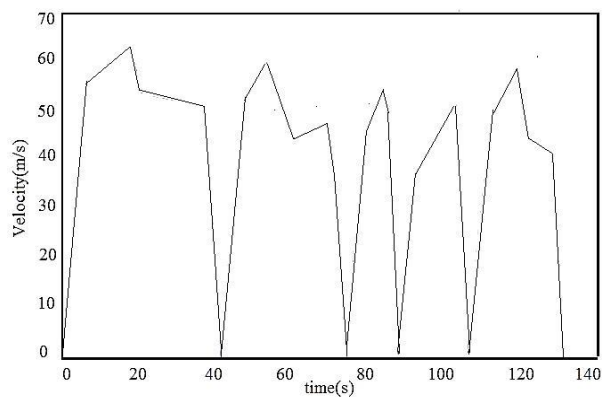
3 Post transmission

۴) شبیه‌سازی عملکرد خودرو

برای شبیه‌سازی خودروی مورد نظر در این نرم‌افزار به اطلاعات اولیه خودرو از قبیل نوع چیدمان سامانه انتقال قدرت دورگهی، نوع موتور برقی، قدرت و گشتاور موتور احتراقی، انرژی باتری‌ها، نوع گیربکس و چرخه رانندگی^۱ نیاز است. تمامی این متغیرها در جدول ۱ نشان داده شده است. چرخه‌های موجود در نرم‌افزار، چرخه‌های استاندارد برای آمریکا، اروپا و ژاپن هستند. در نتیجه برای داشتن نتایجی مطابق با واقعیت برای خودروی مورد استفاده در کشور باید چرخه‌ای مناسب با شرایط رانندگی در ایران ارائه شود. در نتیجه چرخه پیشنهادی توسط مسابقات خودروهای دورگه برقی دانشگاه شریف [۱۳] به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و با ایجاد اصلاحاتی در آن برای کم کردن شتاب‌ها مطابق با عملکرد خودرو، چرخه شهری زیر به دست آمده است. چرخه نشان داده شده در شکل ۴ برای رانندگی در شهر به مدت ۲ دقیقه طراحی شده است. همچنین با توجه به چرخه مورد استفاده در این تحقیق، مشخص است که الگوی حرکتی در شهر تهران به الگوی حرکتی ایست و حرکت نزدیک است. در نتیجه راهکار پیشنهادی سطح انرژی منابع ذخیره انرژی به عنوان راهکار مناسب مورد انتخاب قرار می‌گیرد.

۵) شاخص‌های انتخاب

پس از تعریف مسأله و مشخص شدن ورودی‌ها و خروجی‌های نرم‌افزار، هر یک از موتورهای انتخاب شده با نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌گردد. با توجه به اینکه موتورهای موجود در نرم‌افزار، موتورهایی از پیش تعریف شده و با مشخصات معین می‌باشند، نیاز است فایل‌های ۲ موتور با توجه به مشخصه‌های کارکردی موتورهای موجود اصلاح و بازنویسی شوند. همچنین روند مشابهی برای گیربکس و نسبت دنده-ها، مشخصات موتور برقی، توان و انرژی باتری‌ها، راهکار پایشی واحد دورگه و نیز نسبت دنده در کولپینگ تکرار می‌گردد.

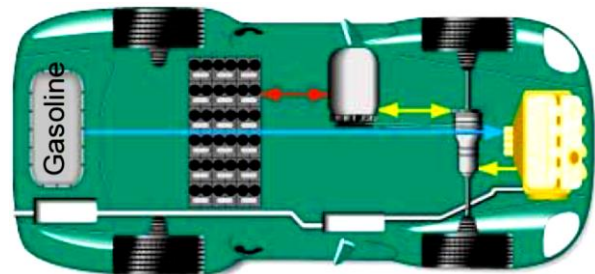


شکل ۴: چرخه شهری ورودی نرم‌افزار

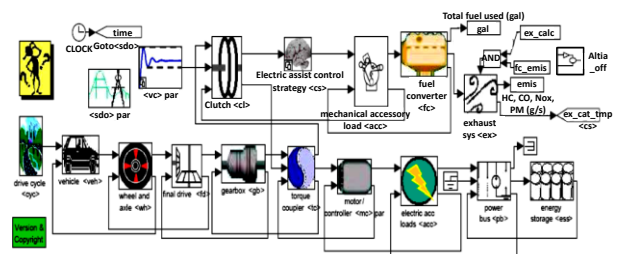
در شکل‌های ۲ و ۳ نمایی از خودروی شبیه‌سازی شده و زیر سامانه‌های آن توسط نرم‌افزار ADVISOR برای این نوع نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، موتور برقی و موتور احتراقی به طور همزمان به چرخ‌ها متصل اند و توان مورد نیاز برای خودرو را تأمین می‌کنند.

جدول ۲: مشخصات موتورهای احتراقی متناسب با طرح [۱۶-۱۹]

Car	Code	Volume (cc)	Power (hp)	Cylinder	Valve	Torque (N.m)	Liter/100 km
CHERY							
MVM	SQR372	۸۰۰	۵۲	۴	۱۲	۷۲	۶
MVM	SQR7111S11	۱۱۰۰	۶۶	۴	۱۶	۹۰	۷,۲
KIA							
RIO	A5D	۱۵۰۰	۹۷	۴	۱۶	۱۳۲	۷,۸
Pride 141	M13NI	۱۳۰۰	۶۲,۵	۴	۸	۱۰۳	۷,۸
PEGEUTE							
206 1300cc	TU3JP/L4	۱۳۰۰	۷۵	۴	۸	۱۱۱	۹,۴
TOYOTA							
YARIS	1KR-FE	۱۰۰۰	۶۸	۳	۱۲	۹۳	۶,۵



شکل ۲: خودروی شبیه‌سازی شده در ADVISOR



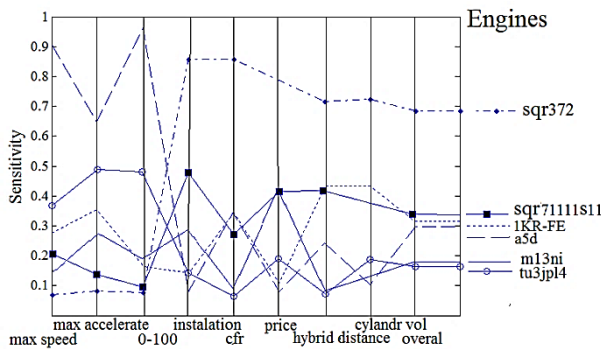
شکل ۳: زیر سامانه‌های خودروی شبیه‌سازی شده در ADVISOR

¹ Driving Cycle

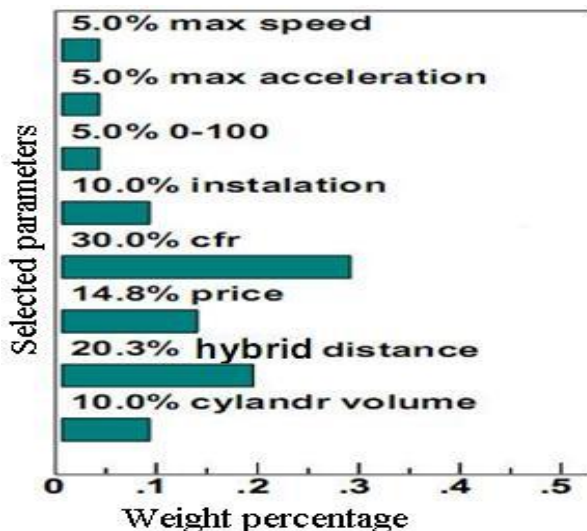
² MATLAB m-file

نکته مهم در وزن دهی توسط این نرم افزار شاخص ناسازگاری با محاسبات است که نباید بیشتر از ۰,۰۵ باشد و این شاخص در تمام وزن گذاری ها رعایت شده است. نتایج حاصل از وزن دهی و حساسیت انتخاب به تغییر متغیرها در شکل های ۶ و ۷ آمده است. بررسی دقیق تر حساسیت ها در قسمت بعدی نشان داده شده است. با توجه به آنکه برای تعیین ارزش متغیر قابلیت نصب، توجه به خودروی نهایی جهت دورگه کردن نیاز است، در این مقاله خودروی چری ویانا به عنوان خودروی هدف مد نظر قرار گرفته است.

لازم به ذکر است در وزن دهی متغیرها، وزن دهی به هر شاخص با توجه به هدف مجموعه تولید کننده از خودرو نهایی می تواند تأثیر پذیر باشد. در این مقاله مصرف سوخت و برد خودرو در حالت دورگه و قابلیت نصب بر عملکرد، شتاب و سرعت ترجیح داده شده اند. واضح است با تغییر ارزش این متغیرها برای طراح نتیجه نهایی نیز، متأثر از وزن دهی اولیه گزینه ها خواهد بود.



شکل ۶: حساسیت به تغییرات متغیرهای در نظر گرفته شده



شکل ۷: نمودار جدول وزنی

در این مرحله با انتخاب گزینه های موجود در نرم افزار که بیشترین شباهت را با طرح دارند و ایجاد تغییرات در برنامه آنها، خودرویی با مشخصات موجود در جدول ۱ شبیه سازی می شود. لازم به ذکر است برد دورگه ای، برای ۲ لیتر بنزین و ۲ kwh انرژی منبع های تغذیه محاسبه شده است.

پس از اصلاح موارد از پیش تعریف شده در نرم افزار، موتورها شبیه سازی می شوند [۱۴]. در شکل ۵ نتایج نرم افزار برای موتور SQR372 نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی بقیه موارد در جدول ۳ نشان داده است.

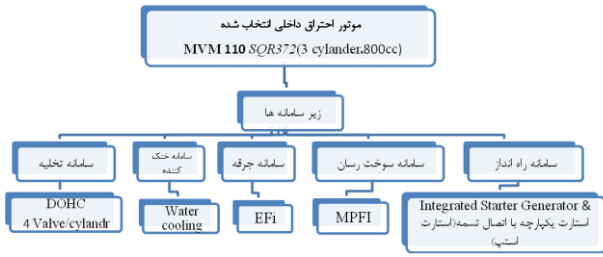
پس از استخراج نتایج شبیه سازی هر یک از موتورها، متغیرهای ارزش گذاری برای انتخاب نهایی را مشخص می شوند و وزن دهی به این متغیرها توسط معیارهای مشخص شده در نرم افزار انتخاب بهینه وارد می شود. وزن دهی در این نرم افزار بدین گونه است که، هر یک از متغیرها را در یک سطر ماتریس با یکدیگر مقایسه کرده و در سطرها بعدی مقایسه با متغیر قبلی صورت نمی گیرد.

Fuel Consumption (L/100 km)	5.6
Gasoline Equivalent	5.6
Distance (km)	7.2
Acceleration Test	
0-96.6 km/h (s): 9.6	Max. Accel. (m/s ²): 3.01
64.4-96.6 km/h n/a	Distance in 5s (m): n/a
0-136.8 km/h (s): n/a	Time in 0.4km (s): n/a
	Max. Speed (kmph): 172.3

شکل ۵: نتایج شبیه سازی مربوط به موتور SQR372

جدول ۳: نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار ADVISOR

مشخصات عملکردی	1KR-FE	TU3JP/L4	M13NI	A5D	SQR711S11	SQR372
مصرف سوخت Liter/100 km	۵,۹	۷,۳	۶,۹	۶,۷	۶,۴	۵,۶
زمان ۰-۱۰۰ s	۸,۹	۸,۵	۸,۸	۸,۲	۹,۱	۹,۶
بیشینه شتاب	۳,۱۵	۳,۲۷	۳,۱۳	۳,۳۲	۳,۰۷	۳,۰۳
بیشینه سرعت km/h	۱۷۸,۲	۱۸۲,۳	۱۶۸,۸	۱۹۴,۲	۱۷۳,۲	۱۶۵,۳
برد دورگه ای Km	۶۶,۹	۴۵,۱	۵۵,۴	۵۹,۶	۶۶,۶	۶۷,۷



شکل ۹: معرفی زیر سامانه‌های موتور احتراق داخلی انتخاب شده

جدول ۴: ابعاد اصلی فیزیکی مربوط به موتور [۱۶]

مشخصه (واحد)	مقدار مشخصه
شماره موتور	SQR372
حجم موتور	۸۱۲ cc
بیشینه توان (kW/rpm)	۳۷,۵/۶۰۰۰
بیشینه گشتاور (Nm/rpm)	۶۹/۳۵۰۰~۴۰۰۰
قطر سمبه	۷۲ mm
پیمایش سمبه	۶۶,۵ mm
دسته سمبه	۱۲۰ mm
مشخصه موتور	۳ cylinder, in-line
نسبت تراکم موتور	۹,۵:۱
تعداد دریچه هر استوانه	۴
سامانه میل بادامک محرک دریچه	DOHC
قطر دریچه هوا	۲۲ mm
قطر دریچه دود	۲۵ mm
قطر مسیرهای چندراهه هوا	۶۸ mm
قطر مسیرهای چندراهه دود	۱۸۵ mm
قطر داخلی دهانه چندراهه هوا	۳۰,۶ mm
طول لوله چندراهه هوا	۳۳۲ mm
طول لوله چندراهه دود	۱۳۲ mm
ارتفاع فضای مرده استوانه	۳ mm
دمای دود چندراهه دود	۳۱۰ K
دمای دود راهگاه دود	۵۵۰ K
دمای هوای ورودی به صافی هوا	۳۰۰ K
دمای هوای داخل چندراهه	۳۲۰ K
دمای داخل بالای استوانه	۵۶۰ K
دمای سمبه	۶۰۰ K
دمای میانگین استوانه	۴۵۰ K
ترتیب جرقه	۱-۳-۲
نوع احتراق	EngCylCombSIWiebe

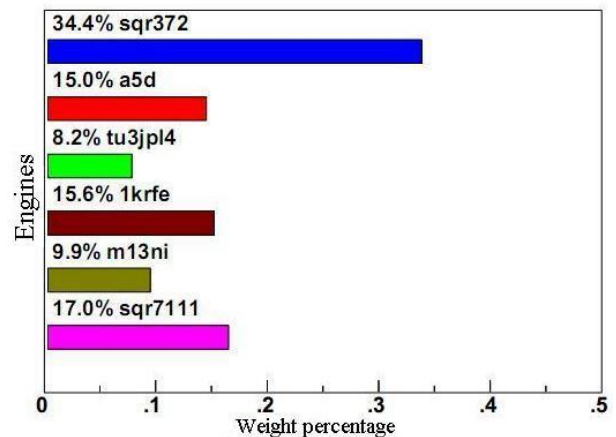
پس از تشکیل جدول وزنی و ارزش گذاری متغیرها در این مرحله اقدام به انتخاب نهایی موتور توسط نرم افزار انتخاب بهینه و به روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ انجام شده است. نتیجه نهایی استخراج شده توسط نرم افزار در شکل ۸ ارائه شده است. همان گونه که مشخص است، موتور خودروی MVM110 با شماره فنی SQR372 انتخاب بهینه با توجه به متغیرهای انتخاب شده و جدول وزنی تعریف شده است. در شکل ۹ زیرسامانه‌های موتور احتراق داخلی انتخاب شده معرفی شده‌اند.

۶) تهیه نقشه عملکرد برای موتور MVM

پس از انتخاب موتور احتراقی خودروی دورگه، به منظور برنامه ریزی برای انطباق آن با سایر اجزای مورد استفاده در خودروی دورگه، نقشه عملکرد آن مورد نیاز است. نقشه عملکرد موتور، مولفه‌های فیزیکی موتور را نسبت به تغییرات سرعت موتور نشان می‌دهد. اهمیت این نقشه در محاسبات مربوط به طراحی راهکار پایش خودرو دورگه است.

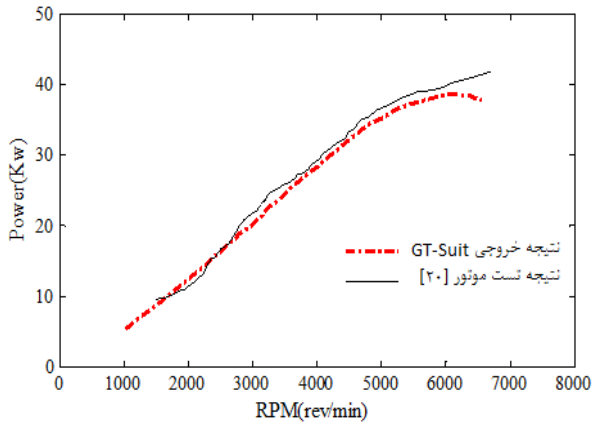
برای تهیه نقشه عملکرد روش‌های متفاوتی از جمله آزمون تجربی موتور در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی شرکت‌های مختلف (شرکت ایتراک، مجتمع تحقیقاتی عصرانقلاب، مگا موتور و...) است، ولی به دلیل هزینه گزاف این آزمون در آزمایشگاه‌های ذکر شده تصمیم بر آن شد تا از نرم افزار GT_SUIT که نرم افزاری برای نوع سازی تک بعدی موتور احتراق داخلی است استفاده شود.

این نرم افزار دارای زیر شاخه ای به نام GT_POWER است که عملکرد موتور را با دادن متغیرهای ورودی به آن، در اختیار کاربر قرار می‌دهد، که از جمله آنها نقشه عملکرد موتور است. متغیرهای اصلی مورد استفاده در این نرم افزار که به کمک آزمون‌های تجربی یا از طریق شرکت تولیدکننده و یا محاسبات عددی بدست آمده اند، شامل موارد ذکر شده در جدول ۴ است:

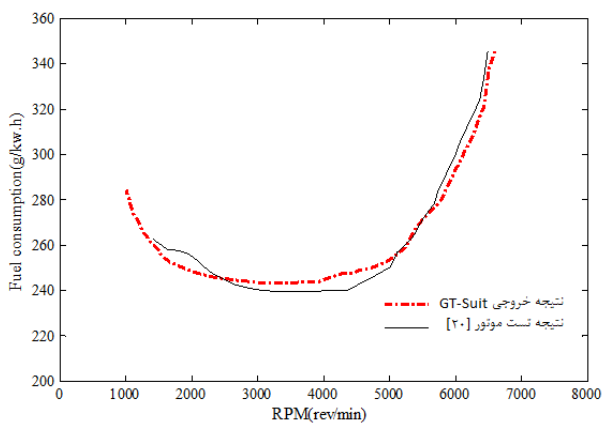


شکل ۸: نتیجه نهایی انتخاب موتور

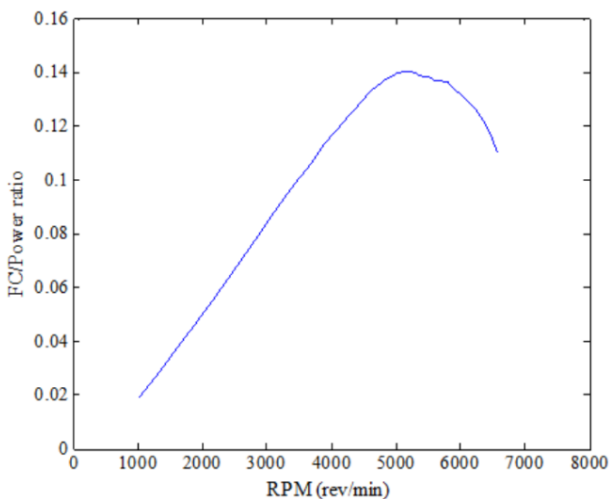
¹AHP (analytical hierarchy process)



شکل ۱۱: نقشه عملکرد موتور، توان موتور بر حسب دور موتور



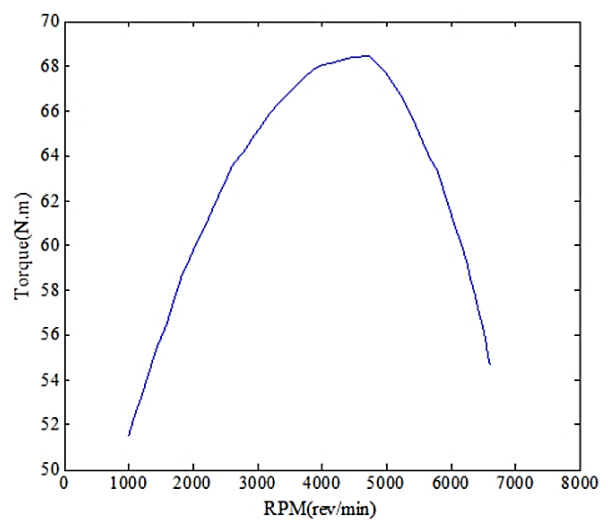
شکل ۱۲: نقشه عملکرد موتور، مصرف سوخت موتور بر حسب دور موتور



شکل ۱۳: نقشه عملکرد موتور، نسبت مصرف سوخت موتور به توان موتور بر حسب دور موتور

از آن جایی که در ابتدا اطلاعات کمی برای موتور برای تهیه نقشه عملکرد در دسترس بود، بسیاری از متغیرها به صورت داده برداری مستقیم از بدنه و قسمت‌های مختلف موتور استخراج شده‌اند. در این قسمت برای طراحی راهکار پایشی خودروی دورگه که مهمترین بخش طراحی در مقدار مصرف سوخت در این خودروها می باشد نیاز به استخراج عملکرد موتور از لحاظ گشتاور خروجی، توان و مصرف سوخت موتور احتراقی در دور موتورهای متفاوت است. با استفاده از داده‌های استخراج شده از موتور احتراقی و استفاده از آنها در نرم‌افزار مورد نظر، اطلاعات مورد نیاز برای این بخش با صرف وقت و هزینه بسیار کمتر از آزمایش بر روی نمونه اصلی و با دقت قابل قبولی استخراج شده است. همچنین از آنجایی که تحلیل ساختاری و ترمودینامیکی از منبع دود و لوله دود موجود نیست، سامانه خروجی موتور که شامل چندراهه خروجی و منبع و لوله دود است به سامانه چندراهه خروجی تقلیل داده شده است. این تقلیل، در نوار عملکرد موتور اثر ناچیزی در حدود ۱ الی ۲٪ می‌گذارد.

در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ نقشه‌های عملکرد موتور احتراقی که از نرم‌افزار گرفته شده‌اند، نشان داده شده است. نقشه عملکرد توان موتور و مصرف سوخت بر حسب دور موتور استخراج شده از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی موجود از آزمون موتور مورد نظر مقایسه شده است. با استناد به دقت مورد قبول داده‌های نرم‌افزاری در نواحی مورد بحث این مقاله در موارد مقایسه شده، صحت سایر نمودارهای آمده در این بخش نیز قابل تأیید خواهد بود.



شکل ۱۴: نقشه عملکرد موتور، گشتاور موتور بر حسب دور موتور

۷) الگوی انتخاب موتور برقی

در این بخش الگوی گزینش موتور برقی در دو بخش اندازه‌بندی و انتخاب نوع موتور برقی صورت می‌گیرد.

۷-۱) اندازه‌بندی موتور برقی

از موتور برقی برای تأمین بار دینامیکی خودرو استفاده می‌شود. بنابراین اندازه موتور برقی به شتابگیری و شیب‌پیمایی بستگی دارد. در عمل اولین ملاحظات در طراحی خودروهای مسافری به شتاب مربوط می‌شود.

با فرض تأمین بار حالت ماندگار توسط موتور احتراقی و بار دینامیکی توسط موتور برقی، بیشینه قدرت موتور برقی برای شتابگیری از معادله (۱) [۲۱] بدست می‌آید:

$$P_{m-max} = \frac{30m\delta}{9549 \pi t_f} \left(\frac{V_b^2 + V_f^2}{2} \right) \quad (1)$$

که m جرم، δ ضریب جرم اجزاء دوار (این ضریب را برای خودرویی با وزن ناخالص ۱۵۰۰ kg حدوداً ۱,۰۵ در نظر می‌شود)، V_b سرعت خودرو متناظر با سرعت موتور برقی در ابتدای ثابت شدن توان (که در این مسئله این مقدار ۲۰ km/h است)، V_f سرعت خودرو در انتهای شتابگیری و t_f زمان شتابگیری است.

برای شتابگیری ۰-۹۶ km/h، در ۱۲ ثانیه قدرت مورد نیاز موتور برقی برابر ۳۶ kW (۴۷ hp) بدست می‌آید.

۷-۲) انتخاب موتور برقی

از میان انواع گزینه‌های موتورهای DC و AC موجود به روش انتخاب سلسله مراتبی، نهایتاً موتور القایی با مشخصات جدول ۵، نزدیک به مشخصات مورد نیاز گزینش گردید.

۸) به کار گیری حساسیت ها در انتخاب اجزا خودروی دور‌گه - برقی

در هر طراحی با توجه به طرح و هدف آن، عوامل حساس طراحی متغیر هستند که باید تشخیص داده شوند. این عوامل متغیرهایی اند که تغییرات آنها حساسیت زیادی برای طراح دارد. در این پژوهش متغیرهای مؤثر در طراحی با اعمال نظر یک شرکت خودروساز، عملکرد، هزینه، وزن و مصرف سوخت بیان می‌شود. در واقع این متغیرها، مشخصه‌هایی هستند که هر یک در انتخاب میان چند جزء به عنوان یک معیار سهم دارند و یک انتخاب نهایی بر مبنای تغییراتی که در مجموع آنها ایجاد می‌شود، انجام می‌گیرد. در این میان سه عامل مصرف سوخت، وزن و عملکرد متغیرهایی هستند که بررسی تأثیر تغییر هر یک از آنها بر نتایج طراحی مستلزم طی نمودن دوباره مسیر نوسازی است که با استفاده از حساسیت‌ها مشکل بیان شده رفع می‌شود.

در ابتدا به هر یک از موارد فوق با توجه به اهمیتی که هر مشخصه برای طراح دارد از ۱ تا عدد مشخصی امتیاز داده می‌شود. بهتر است عدد مینا ۱ باشد تا بتوان اهمیت سایر متغیرها را، به صورت بی بعد شده نسبت به یک متغیر، تعیین نمود. در جدول ۶ این متغیرها برای خودروی هدف نشان داده شده است.

امتیاز دهی فوق صرفاً مطابق نظر طراح است و بدین معناست که در صورت تغییر یک جزء از سامانه انتقال قدرت با جزء جدید، در تغییرات متغیرهای فوق که برای طراح بیشتر حائز اهمیت هستند، مقدار سهمی که تغییرات عملکردی در انتخاب دارند سه برابر مقدار سهم تغییرات وزنی می‌باشند.

در مرحله بعد مشخص می‌شود جزئی که قرار است با یک جزء در سامانه جایگزین شود چه تغییراتی با جزء قبل دارد و این تغییرات چگونه متغیرهای فوق را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عنوان مثال در این تحقیق مسأله جایگزینی موتور برقی با موتور جدیدی از شرکت سازنده X مطرح می‌شود. به صورت نمونه می‌توان تصور نمود موتور جدید نسبت به موتور قبل ۱۰ کیلو وات توان بیشتری دارد، قیمت آن نیز ۳۰٪ بیشتر است و وزن خود موتور نیز نسبت به وزن موتور قبلی ۱۲ کیلوگرم بیشتر باشد.

از آنجایی که متغیرهای فوق (مصرف سوخت، عملکرد، هزینه و وزن) مستقل از یکدیگر نیستند، تغییر هر یک، سایر متغیرها را دستخوش تغییر می‌کند. پس برای لحاظ نمودن این تغییرات وابسته، حساسیت متغیرهای وابسته نسبت به یکدیگر محاسبه می‌شود که در اینجا نیاز است حساسیت مصرف سوخت، عملکرد و وزن را نسبت به مقدار درصد تغییر توان موتور و بار دیگر حساسیت ۴ متغیر فوق نسبت به مقدار درصد افزایش وزن در خودرو، محاسبه شود. از آنجا که هزینه، متغیر مجزایی است تغییرات آن در مرحله بعد محاسبه می‌شود [۱۵].

جدول ۵: مشخصات موتور برقی

نوع	وزن	گشتاور (Nm)	ولتاژ	نرخ توان	نام
induction	۵۰	۲۸۰-۱۴۰	۳۳۶	۳۹	Ac39

جدول ۶: وزن‌دهی متغیرهای حساس

بهبود عملکرد ۲۷,۵٪					
کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
مصرف سوخت	وزن	هزینه	عملکرد	وزن	مصرف سوخت
کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
۱,۲	۱,۲	۱,۹	۱,۹	۱,۲	۱

در خصوص هزینه، با توجه به اینکه فرض شده است، تمامی متغیرها به جز موارد عنوان شده در فوق با متغیرهای جزء قبل برابر باشند، می‌توان محاسبه کرد درصد تغییرات هزینه کل برابر است با نسبت افزایش هزینه جزء به هزینه کل خودرو بهینه که در اینجا با در نظر گرفتن هزینه نهایی خودرو (۱۸ میلیون تومان) درصد افزایش هزینه جزء برابر ۳۰ درصد خواهد بود.

در پایان امتیاز ایجاد تغییر، با در نظر گرفتن وزن دهی‌هایی که در ابتدا صورت گرفته به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(2) \quad (-1,2 * 0,6) + (-2,4 * 1) + (1,9 * 5,1) + (1,9 * 1,5) + (-1,2 * 0,3) + (-1 * 1,7) = -9,44\%$$

عدد فوق بدین معناست که تغییر موتور کشنده که مسأله پیش روی طراح بوده است باعث ۸٪ ایجاد تغییرات نامطلوب در متغیرهایی است که طراحی نسبت به آنها حساس است. مشابه آنچه در این بخش مطرح گردید می‌توان حساسیت‌های مناسب در تغییرات موتور احتراقی را نیز بررسی نمود.

۷ نتیجه گیری و جمع بندی

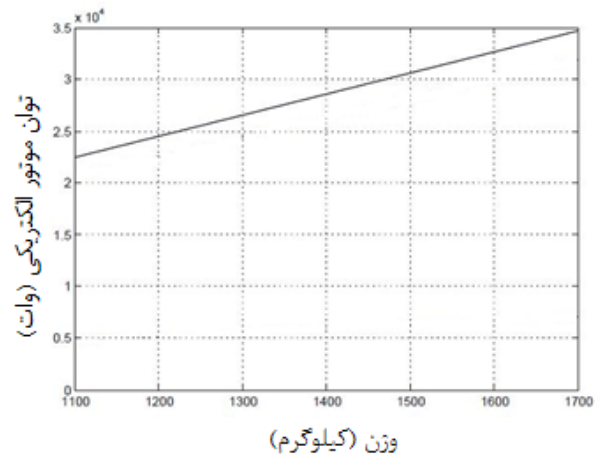
آنچه در این مقاله بدان پرداخته شد، ارائه روشی منسجم جهت انتخاب مناسب‌ترین موتور احتراقی در دورگه کردن خودروی چری ویانا است که این روش قابلیت تعمیم به سایر خودروهای سدان را نیز داراست.

با توجه به نتایج به دست آمده به وضوح روشن است که انتخاب موتور احتراقی و برقی تأثیر مستقیمی بر عملکرد خودروی دورگه دارد. انتخاب موتوری با مشخصات مطلوب به این منظور می‌تواند تمامی خواسته‌ها از عملکرد خودرو را پوشش دهد، ولی موجب افزایش قیمت خودرو و عدم استقبال برای خرید آن می‌شود. به همین دلیل انتخاب اصولی و روشمند موتور احتراقی با توجه به تمامی متغیرهای تأثیرگذار می‌تواند موجب انتخابی بهینه به این منظور شود. البته لازم به ذکر است که وزن دهی متغیرها نقش اساسی در انتخاب موتور برای خودرو دارد. از طرفی وزن دهی متغیرها نیز به اهداف تولید کننده و توانایی مجموعه طراح وابسته است. در نتیجه با شناخت صحیح از امکانات و توانایی‌های موجود در وزن دهی صحیح می‌توان بهترین انتخاب را برای موتور احتراقی اعمال کرد. پس از انتخاب موتور احتراقی خودروی دورگه، به منظور برنامه‌ریزی برای انطباق آن با سایر اجزای مورد استفاده در خودروی دورگه، نقشه عملکرد آن تهیه گردید. همچنین موتور برقی متناسب با مأموریت نیز گزینش گردید. در انتها نیز با محاسبه حساسیت‌های متغیرهای مهم در طراحی نسبت به ایجاد تغییرات در اندازه‌بندی، روش استفاده از حساسیت‌ها در انتخاب‌های مهندسی و طراحی بیان شد.

برای محاسبه حساسیت‌ها مسأله بهینه‌سازی چند بار در محدوده تغییرات مورد نظر، اجرا شد و سپس با نسبت گیری از مقدار تغییرات متغیرها، حساسیت‌ها مشخص می‌شوند [۱۵]. در شکل ۱۴ نمودار حساسیت وزن نسبت به تغییر توان موتور برقی به عنوان نمونه نشان داده شده است که به طریق مشابه می‌توان سایر نمودارهای وابسته را نیز رسم کرد.

این حساسیت‌ها که برای خودروی مورد نظر در جدول ۷ آمده است مشخص می‌کند استفاده از موتور جدید که ۱۰ کیلو وات معادل ۲۸٪ افزایش توان و ۱۳ کیلوگرم افزایش در وزن جزء معادل ۲۶٪ درصد افزایش وزنی جزء را به همراه دارد چه مقدار متغیرهای حساس را تغییر می‌دهد.

پس از محاسبه حساسیت اجزا وابسته و لحاظ نمودن مجموع تغییرات، نتیجه گرفته می‌شود که استفاده از موتور جدید ۰,۶٪ کاهش در مصرف سوخت، ۵,۱٪ افزایش بیشینه شتاب گیری، ۱,۵٪ افزایش در زمان ۰-۱۰۰، ۰,۳٪ کاهش شیب پیمایی و ۰,۳٪ کاهش وزن را به همراه دارد.



شکل ۱۴: حساسیت وزن نسبت به موتور کشنده

جدول ۷: مقدار تغییر مقدار متغیر به ازای یک درصد تغییر اندازه جزء

	عملکرد			مصرف سوخت
	کاهش وزن	تغییر زمان	تغییر شتاب	
۲۶٪ افزایش وزن جزء	کاهش ۱٪	کاهش ۲٪	کاهش ۱٪	کاهش ۱٪
۲۸٪ افزایش توان موتور	کاهش ۰,۷٪	کاهش ۳,۵٪	کاهش ۶,۱٪	کاهش ۱,۶٪

تقدیر و تشکر

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند، از شرکت ملی نفت ایران، شرکت نفت و گاز پارس کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

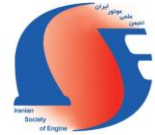
References

- [1] W. Cai, Handbook of automotive power electronics and motor drives, CRC Press, 2005
- [2] J. Heywood, Internal combustion engine, McGraw-Hill, 1998
- [3] M.A. Hannan, F.A. Azidin, A. Mohamed, Hybrid electric vehicles and their challenges: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 29, pp. 135-150, 2014
- [4] J.H. Wee, Contribution of fuel cell systems to CO2 emission reduction in their application fields, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, No. 2, pp.735-744, 2010
- [5] C.A. Garcia, F. Manzini, J. Islas, Air emissions scenarios from ethanol as a gasoline oxygenate in Mexico City Metropolitan area, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 30, pp. 32-40, 2010
- [6] M. Ehsani, Conventional fuel/hybrid electric vehicles, In Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance, edited by Richard Folkson, Woodhead Publishing, pp. 632-654, 2014
- [7] P. Thouthong, S. Rael, B. Davat. Control strategy of fuel cell/super capacitors hybrid power sources for electric vehicle, Journal of Power Sources, Vol. 158, No. 1, pp. 806-814, 2006
- [8] J.V. Mierlo, P.V. den-Bossche, G. Maggeto, Models of energy sources for EV and HEV: fuel cells, batteries, ultra capacitors, flywheels and engine-generators, Journal of Power Sources, Vol. 128, pp. 76-89, 2004
- [9] A. Mehrkish, M. Tahani, H. Ghazanfar, S. Norouzi Ghazbi, S. Zare, A study on systematic procedure for choosing the best powertrain configuration in hybrid sedan cars, Applied Mechanics and Materials, Vol. 390, pp. 360-364, 2013
- [10] A. Emadi, Handbook of automotive power electronics and motor drive, Taylor & Francis, 2005
- [11] Z. Rahman, K.L. Butler, M. Ehsani, A comparison study between two parallel hybrid control concepts, SAE International, 2000
- [12] M. Gao, Y. Emadi, Modern electric, hybrid electric, fuel cell vehicle, CRC Press, 2010
- [13] www.imdc.ir
- [14] K. Wipke, M. Cuddy, S. Burch, ADVISOR 2.1, A user-friendly advanced powertrain simulation using a combined backward/forward approach, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Special Issue on Hybrid and Electric Vehicle, 2000
- [15] S. Nourozi Ghazbi, M. Tahani, A. Mehrkish, H. ghazanfar, Introducing effective sensitivities and using them to choose hybrid electric vehicle, 19th Annual Conference on Mechanical Engineering, Iran, 2011
- [16] Cherry-MVM automobile technical specifications manual
- [17] Rio pride 141 automobile technical specifications manual
- [18] Pegeute 206 1300cc automobile technical specifications manual
- [19] TOYOTA Yaris automobile technical specifications manual
- [20] Engine power test report, National motor vehicle of quality supervision and inspection center, Chongqing, 2007
- [21] M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi, Modern electric, hybrid electric, fuel cell vehicle, CRC Press, 2010



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Study on effect of electric/combustion engine on performance of a parallel hybrid vehicle and proposing engine selection algorithm

H. Ghazanfar¹, A. Mehrkish^{2*}, S. Norouzi Ghazbi³, M. Tahani⁴

¹National Iranian Oil Company, Tehran, Iran, ghazanfar.hamid@yahoo.com

²Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, ali.mehrkish@yahoo.com

³Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, somaye_noroozi@yahoo.com

⁴Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, mtahani@um.ac.ir

*Corresponding Author, Phone Number: +98-915-317-6294

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 08 April 2014

Accepted: 07 June 2014

Keywords:

Hybrid electric vehicle

Parallel layout

Simulation

Combustion engine

Electric engine

ABSTRACT

Decline in petroleum reserves, increasing production costs and the sale of the gasoline, increasing greenhouse gases and global warming has led to methods for improving the performance of gasoline engines is proposed. The hybrid cars with low consumption and performance close to conventional vehicles are highly regarded. The selection process for a combustion engine of hybrid cars with the parallel powertrain is studied in this paper. In this study, the default target and the mission for the hybrid vehicle design to be examined. Furthermore, with the review of the domestic market, limits of the design and the construction would be determined. In this section, the performance of hybrid car engines with selected electric motors and each of combustion engines was simulated by the ADVISOR software, which could simulate the conventional cars or hybrid and hybrid-electric vehicles. After identifying the performance of the vehicle with any of engines, most important parameters for vehicle designing were selected, and by the Expert Choice software, the combustion engine for desired vehicle would be selected. The engine performance map, in order to plan for its compatibility with other components, were also prepared. Then, in the accordance with the mission, the proper electric motor was introduced. Finally, using the sensitivity in the engineering choosing process was expressed by calculating the sensitivity of important parameters in the design.