مبانی طراحی و توسعه خودروی دورگ

به کوشش:

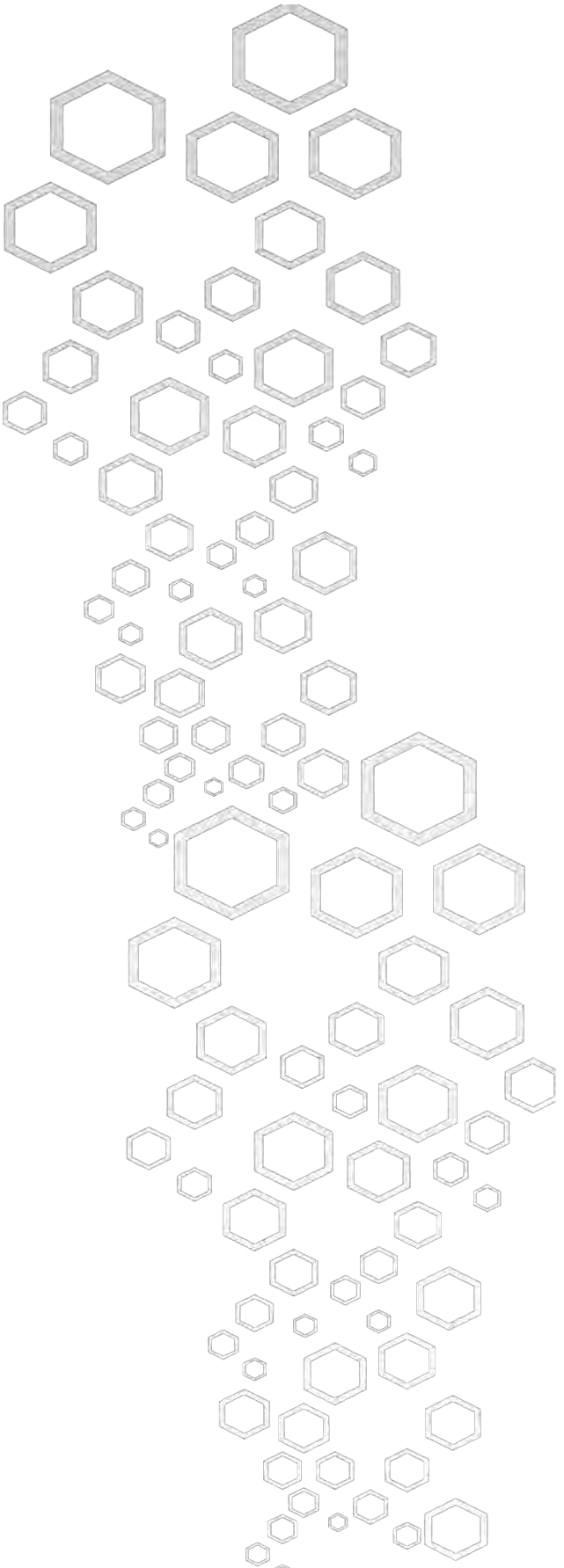
دکتر ایمان چیت ساز

مهندس احسان ذاکری هرندی

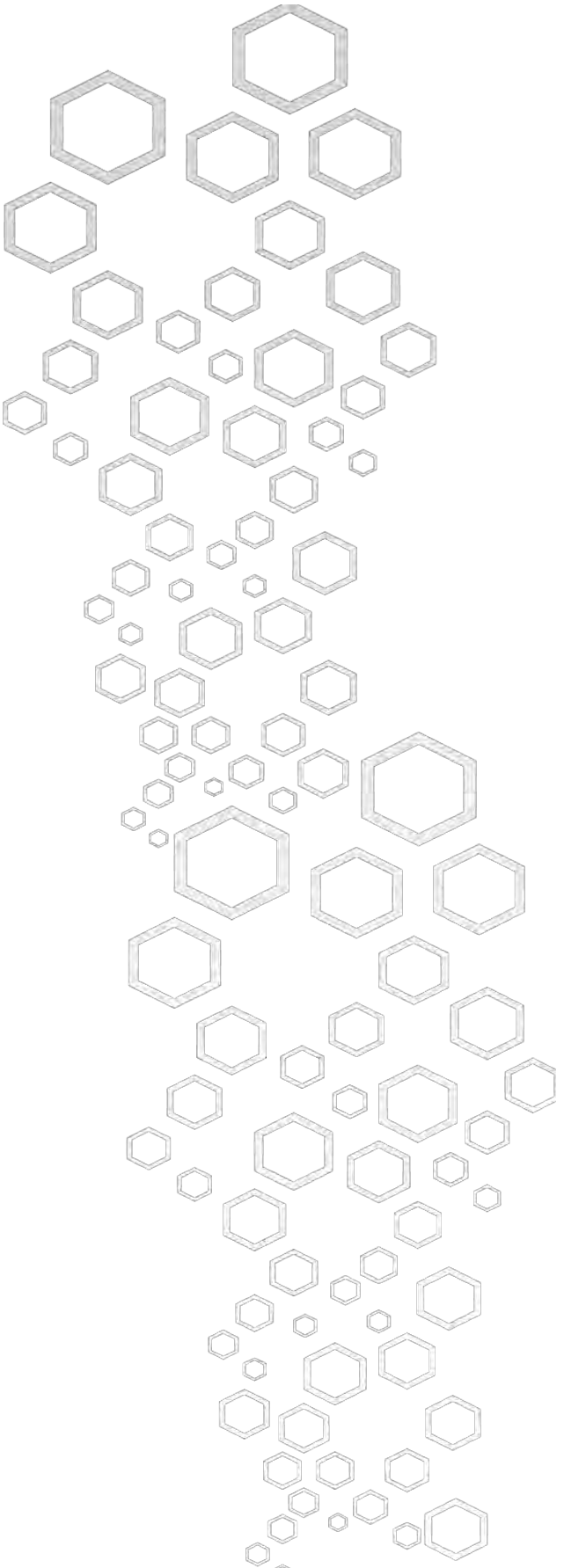
و جمعی از نویسندگان

IPCO

IPCO



بسم الله الرحمن الرحيم



مبانی طراحی و توسعه

خودروی دورگه

به کوشش:

دکتر ایمان چیت ساز، مهندس احسان ذاکری هرندی

و جمعی از نویسندگان

۱۴۰۱

عنوان و نام پدیدآور	:	مبانی طراحی و توسعه خودروی دورگه / به کوشش ایمان چیت‌ساز، احسان ذاکری‌هرندی و جمعی از نویسندگان؛ ویراستاران مهدی رجبعلی، سیامک علیزاده‌نیا؛ سر ویراستار سیدمصطفی میرسلیم.
مشخصات نشر	:	تهران: شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:	۲۸۶ ص.: مصور(رنگی)، نمودار(رنگی).
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۹۲۸۶۶-۰-۹
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	اتومبیل‌های برقی -- طراحی و ساخت Electric automobiles -- Design and construction اتومبیل‌های برقی دوگانه -- طراحی و ساخت Hybrid electric cars -- Design and construction اتومبیل‌های برقی دوگانه -- ایران Hybrid electric cars – Iran
شناسه افزوده	:	چیت‌ساز، ایمان، ۱۳۶۳-
شناسه افزوده	:	ذاکری هرندی، احسان
شناسه افزوده	:	میرسلیم، سیدمصطفی، ۱۳۲۶ - ، ویراستار
شناسه افزوده	:	شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
رده بندی کنگره	:	TL۲۲۰
رده بندی دیویی	:	۲۲۹۳/۶۲۹
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۱۴۵۴۲۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا
تاریخ درخواست	:	۱۰/۱۲/۱۴۰۱
تاریخ پاسخگویی	:	
کد پیگیری	:	۹۱۴۴۹۳۵

مبانی طراحی و توسعه
خودروی دورگه

به کوشش:
دکتر ایمان چیت ساز، مهندس احسان ذاکری هرندی
و جمعی از نویسندگان
ویراستاران: مهندس مهدی رجبعلی، مهندس سیامک علیزادەنیا
سر ویراستار: سید مصطفی میرسلیم

چاپ نخست ۱۴۰۱

صفحه آرایی: احسان نعیمی
مدیرهنری: علی عابدی

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

انتشار این کتاب به صورت الکترونیکی بر روی وبگاه رسمی شرکت می‌باشد.
حق چاپ محفوظ است.

کیلومتر ٦ بزرگراه شهید لشگری - شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
کدپستی: ۱۳۹۸۸۱۳۷۱۱ تلفن: ٤٤٥٢٠٨٨٢-٤ نمابر: ٤٤٥٢٠٨٨٠

گروه نویسندگان:

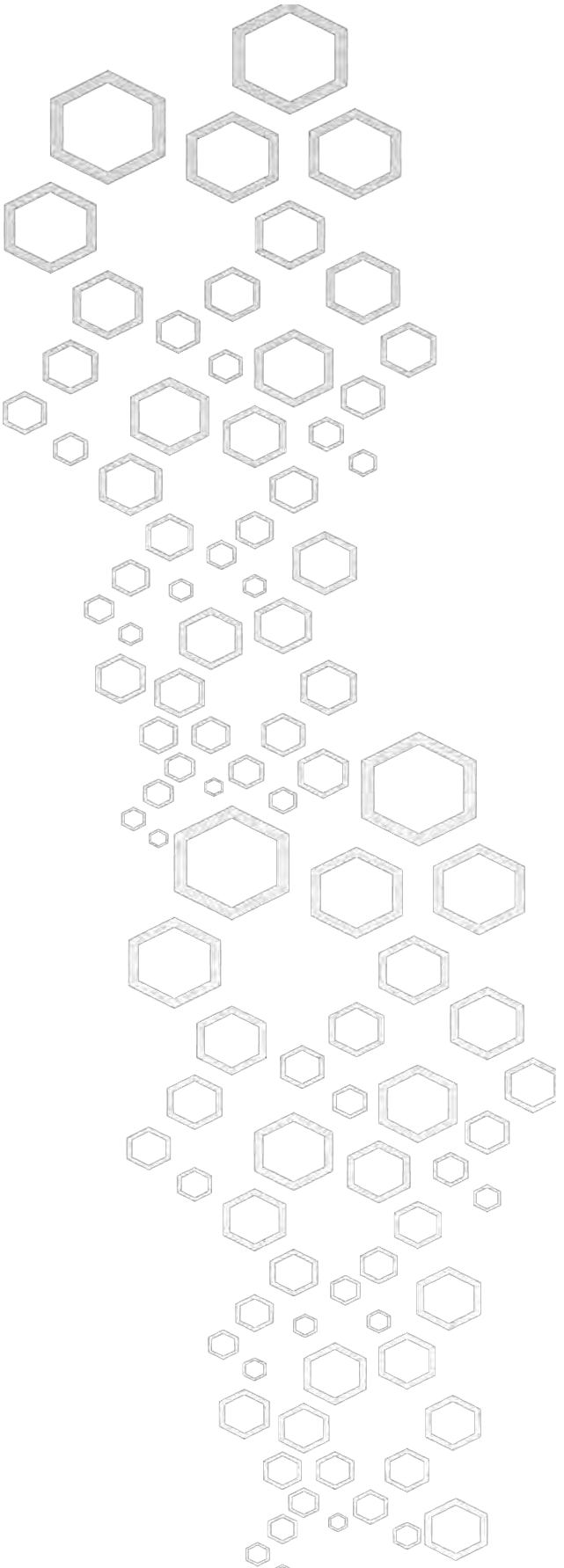
مقدمه:	ایمان چیت‌ساز (استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان)، احسان ذاکری‌هرندی (اداره کل واحد طراحی شرکت ایپکو)
محاسبات مهندسی:	یعقوب عباس‌زاده، هادی محمدی‌بیدهندی، حامدنوابی، نویدمدنی، وحیدفخاری (استادیار دانشکده مکانیک و انرژی دانشگاه شهید بهشتی)
طراحی:	احسان‌ذاکری‌هرندی، محمدکاوه‌پور، هومن‌درستکار، عباس محمدی، محمدرضا اسکندرپور
نگاشت:	حمید فغانی، رضا ناصح، عباس گروسی، میثم صالحی
الگوبرداری:	احسان ذاکری‌هرندی
جانمایی و انطباق مجموعه‌ها و قطعات:	یعقوب منتظر باویل‌علیایی، رضا آرادمهر، محمد عبداللهی
تأمین قطعات:	احسان شارخی، محمدجواد طباطبائی حسان
موتور احتراقی:	امیرحسین پریور، میثم صالحی
آزمون و صحه‌گذاری:	رضا آرادمهر، میثم صالحی

گروه ویراستاری:

سر ویراستار: مهندس سید مصطفی میرسلیم (استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

ویراستار فنی: مهندس مهدی رجبعلی (مدیرعامل شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو – ایپکو)

ویراستار علمی: مهندس سیامک علیزاده‌نیا (عضو هیئت مؤسس انجمن علمی خودروهای برقی ایران)



سخنی با خوانندگان

کتاب حاضر، حاصل تلاش جمعی از مهندسان باتجربه صنعت خودرو و استادان دانشگاه در زمینهٔ قوای محرکهٔ دورگه و برقی است که به رشتهٔ تحریر درآمده است. این نوشتار بر مبنای تجربیات گروه توسعه و طراحی خودروهای رانا و دنا دورگه و رانا برقی شکل گرفته است و تلاش شده است تجربیات و درس‌آموخته‌های این نفرات با زبانی ساده و قابل فهم برای خوانندگان بیان شود. در حین نگارش سعی شده است ویژگی خودآموزی کتاب تا حدود مناسبی حفظ شود تا جایی که فرد بدون نیاز به مقدمات مطالعاتی خاص بتواند از قسمت‌های مختلف کتاب بهره‌مند شود. به همین منظور انواع ساختارهای خودروی دورگه، از قدیم تا به امروز، مورد مطالعه و بررسی و در کتاب حاضر ارائه شده است. مطالب کتاب در ۹ فصل و با محتوای: مقدمه، الگوبرداری، محاسبات مهندسی، طراحی، موتور احتراق داخلی، نگاشت، جانمایی و انطباق، آزمون و تأمین قطعات ارائه شده است. به دلیل پاسداشت زبان و اشارات فارسی سعی شده تا از کلمات فارسی برای واژه‌های بیگانه استفاده شود. استفادهٔ نویسندگان از واژگان فارسی نه تنها در این کتاب، بلکه در گفت و شنود عادی نیز انجام می‌شد که بتوان اینگونه واژگان را در اشارات عامیانه و مهندسی پراستفاده نمود. به منظور آشنایی با معادل انگلیسی واژگان، سعی شده تا معادل انگلیسی آن در زیرنویس بیان شود. شایان ذکر است که واژه‌نامه فارسی نیز در انتهای کتاب برای معادل‌گزینی آمده است. در اینجا بر خود لازم می‌دانیم تا از تلاش‌های تمامی افرادی که به هر دلیل در نگارش این کتاب موثری بوده‌اند و نامشان به دلیل جداشدن از جمع نویسندگان و یا عدم دسترسی به ایشان در قسمتهای مختلف کتاب ذکر نشده است، تشکر و قدردانی نماییم. بی‌شک، تلاش‌های جناب آقای مهندس زالی و جناب آقای مهندس ایزانلو شروع طرح دورگه را در شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو امکان‌پذیر کرد. در ادامه تلاش‌ها و حمایت‌های جناب آقای مهندس رجبعلی از تحقیقات نوین منجر به شکل‌گیری گروهی جوان برای ادامه کارهای صورت گرفته شد. برخود لازم می‌دانیم از استاد گرامی جناب آقای مهندس میرسلیم که همیشه با روی باز پذیرای مجموعهٔ اعضای گروه بودند تشکر ویژه‌ای داشته باشیم. در نهایت اعضای خانواده و دوستانمان در شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو بیشترین دلگرمی را به ما دادند تا بتوانیم بر سختی‌های نگارش فائق آییم و کتاب حاضر را به شما تقدیم کنیم. مؤلفان تلاش کرده‌اند تا مفاهیم طراحی و توسعهٔ محصول خودروی دورگه در اختیار جوانان این مرز و بوم قرار گیرد و حس اعتماد به نفس در کنار آموزش، معجونی اثربخش برای خلق آثاری ماندگار در ایشان ایجاد کند.

الف

فهرست مطالب

فصل اول ۲۵

۱- مقدمه ۲۷

۱-۱ معرفی انواع خودروی دورگه و برقی ۳۱

۱-۱-۱ تمام دورگهٔ ردیفی ۳۴

۱-۱-۲ تمام دورگهٔ موازی ۳۵

۱-۱-۳ تمام دورگهٔ ردیفی موازی ۳۶

۱-۱-۴ انتخاب مسیر توسعه ۳۷

۱-۲ نیازمندی‌ها و محدودیت‌های محصول ۳۸

۱-۲-۱ تغییرات خودرو پایه ۴۰

۱-۲-۲ تأمین قطعات ۴۰

۱-۲-۳ همراستایی و انطباق محصول ۴۰

۱-۲-۴ رضایت مشتریان ۴۰

۱-۲-۵ محدودیتهای طرح ۴۰

۱-۳ مقایسه طرح‌های مفهومی محتمل برای خودروی دورگه ۴۱

۱-۴ ارزیابی نهایی انواع طرح‌های مفهومی ۴۸

۱-۴-۱ آرایهٔ انتخاب طرح ۴۸

فصل دوم ۵۳

۲- الگوبرداری ۵۵
۲-۱ الگوبرداری خودروهای دورگه ۵۵
۲-۲ آزمون ۶۱
۲-۳ تحلیل نتایج مصرف سوخت ۶۳
فصل سوم ۶۷
۳- محاسبات مهندسی ۶۹
۳-۱ تحلیل پویایی خودروی دورگه ۶۹
۳-۱-۱ تحلیل‌های سامانهٔ تعلیق ۷۰
۳-۱-۲ تحلیل‌های محور محرک چرخ ۷۲
۳-۱-۳ تحلیل‌های حرکتی خودرو ۷۵
۳-۲ توسعهٔ دستهموتورهای خودروی دورگه ۸۶
۳-۲-۱ پیکربندی مفهومی (اولیه) دسته‌موتورهای موتور برقی ۸۷
۳-۲-۲ استخراج اطلاعات اولیهٔ مورد نیاز ۸۷
۳-۲-۳ شبیه‌سازی در نرم‌افزار آدامز/ویو ۸۸
۳-۲-۴ تعیین موقعیت مناسب دستهموتورها ۸۹
۳-۲-۵ ارزیابی وضعیت دستهموتورهای موتور برقی با اجرای تحلیل‌های مختلف ۹۰
۳-۳ تحلیل اجزاء محدود آستری لاستیکی دستهموتورها ۹۸
۳-۴ تحلیل اجزاء محدود پایهٔ نگهدارندهٔ دستهموتورهای خودروی دورگه ۱۰۳
۳-۵ توسعهٔ سامانهٔ خنک‌کاری خودروی دورگه ۱۰۷
۳-۵-۱ مدار خنک‌کاری تجهیزات جانبی و موتور برقی ۱۰۷
۳-۵-۲ مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی ۱۰۹

فصل چهارم ۱۱۵
۴- طراحی ۱۱۷
۴-۱ جانمایی ۱۱۷
۴-۱-۱ جزییات جانمایی و طراحی قطعات ۱۱۸
۴-۱-۲ جانمایی واحد مدیریت هوشمند ۱۳۵
۴-۱-۳ تلمبهٔ فرمان برقی-روغنی ۱۳۶
۴-۱-۴ تلمبهٔ خلأ ۱۳۶
فصل پنجم ۱۳۹
۵- موتور احتراق داخلی ۱۴۱
۵-۱ مشخصات مولد برق ۱۴۱
۵-۲ مشخصات موتورهای احتراق داخلی ۱۴۲
۵-۳ بررسی تطابق مولد برق و موتور احتراقی ۱۴۵
۵-۴ تحلیل نتایج ۱۴۷
فصل ششم ۱۵۱
۶- نگاشت ۱۵۳
۶-۱ تجهیزات اصلی خودروی دورگه ۱۵۴
۶-۱-۱ انبارهٔ برقی ۱۵۴
۶-۱-۲ موتور برقی و مولد برق ۱۵۹
۶-۱-۳ مبدل جریان مستقیم به جریان متناوب ۱۶۸
۶-۱-۴ مبدل جریان مستقیم ۱۷۱
۶-۱-۵ ذخیره‌سازی برق شهری ۱۷۳

۶-۱-۶ سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی ۱۷۵
۶-۱-۷ جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی ۱۷۷
۶-۱-۸ بافه‌ها (کابل‌ها) ۱۸۰
۶-۱-۹ تنجار برقی ۱۸۲
۶-۱-۱۰ سامانهٔ پایش خودروی دورگه ۱۸۵
۶-۲ نمایشگر خودروی دورگه ۱۹۸
۶-۲-۱ مشخصات نمایشگر خودرو ۱۹۸
۶-۲-۲ ساختار نرم‌افزار نمایشگر ۲۰۰
۶-۲-۳ صفحهٔ نمایش مصرف سوخت ۲۰۱
۶-۲-۴ نمایش مسیر انرژی ۲۰۲
۶-۲-۵ صفحهٔ نمایش خطاها ۲۰۳
۶-۲-۶ صفحهٔ انتخاب حالت رانش خودرو ۲۰۳
۶-۳ سامانه‌های تنظیم دمای خودروی دورگه ۲۰۴
۶-۳-۱ سامانهٔ مدیریت دمای انبارهٔ ولتاژ قوی ۲۰۴
۶-۳-۲ سامانهٔ خنک‌کاری تجهیزات برقی ۲۰۶
۶-۳-۳ سامانهٔ تهویه اتاق خودرو ۲۰۶
۶-۴ راهبردهای مدیریتی خودروی دورگه ۲۰۸
۶-۴-۱ شبیه‌سازی گشتاور درخواستی راننده ۲۰۸
۶-۴-۲ شبیه‌سازی انرژی بازگشتی در حال حرکت ۲۰۹
۶-۴-۳ شبیه‌سازی حرکت خزشی خودرو ۲۱۰
۶-۴-۴ شبیهسازی انرژی بازگشتی در هنگام ترمزگیری ۲۱۲

۶-۴-۵ مدیریت تهویه اتاق خودرو ۲۱۲
۶-۴-۶ مدیریت ذخیره‌ساز برق شهری ۲۱۴
فصل هفتم ۲۱۷
۷- انطباق مجموعه‌ها و قطعات ۲۱۹
۷-۱ بازنمودن قطعات خودروی پایه ۲۱۹
۷-۲ آماده سازی محفظه خودرو ۲۲۳
۷-۳ هم‌بندی مجموعهها و قطعات ۲۲۴
۷-۴ نصب انبارهٔ برقی و سایر قطعات برقی ۲۲۹
۷-۵ تکمیل‌کاری خودرو ۲۳۱
فصل هشتم ۲۳۵
۸- آزمون‌های خودروی دورگه ۲۳۸
۸-۱ آزمون اندازه‌گیری صدا و ارتعاشات خودروی دورگه ۲۳۸
۸-۱-۱ آزمون ارزیابی صدا و ارتعاشات داخل محفظهٔ خودرو ۲۳۹
۸-۱-۲ آزمون ارزیابی ارتعاشی موتور برقی و احتراقی ۲۴۱
۸-۱-۳ آزمون ارزیابی عملکرد دسته‌موتورهای موتور برقی و احتراقی ۲۴۵
۸-۱-۴ آزمون ارزیابی اثر انباره دود بر صدای داخل و بیرون خودرو ۲۴۶
۸-۲ آزمون ضرایب دنده‌خلاص ۲۴۸
۸-۳ آزمون آلایندگی و مصرف سوخت ۲۵۰
۸-۳-۱ محاسبهٔ مصرف سوخت ۲۵۲
۸-۳-۲ محاسبهٔ مصرف برق ۲۵۲
۸-۴ آزمون‌های مصرف سوخت واقعی در سطح شهر تهران ۲۵۳

۸-۵ آزمون شتاب‌گیری ۲۵۴
۸-۶ آزمون‌های ادراک حسی قابلیت رانندگی خودروی دورگه ۲۵۴
۸-۷ آزمون استانداۀ تغییر مسیر ۲۵۵
۸-۸ آزمون عملکرد سامانه ترمز ۲۵۹
فصل نهم ۲۶۱
۹- تأمین قطعات ۲۶۳
۹-۱ ساخت چندراهۀ هوا و چندراهۀ دود ۲۶۴
۹-۲ ساخت محور محرک ۲۶۶
۹-۲-۱ داخلی‌سازی قطعات ۲۶۶
۹-۲-۲ شناسایی تأمین کنندگان داخلی ۲۶۷
۹-۲-۳ شناسایی تأمین‌کنندگان خارجی ۲۶۷
۹-۲-۴ تخمین هزینه و محاسبه قیمت تمام شده ۲۶۷
پیوست‌ها ۲۶۸
پیوست‌ها ۲۶۸
مراجع
..... ۲۲۱

فهرست جدول‌ها

جدول ۱–۱ مشخصات کلی انواع خودروی دورگه ۳۳

جدول ۱–۲ نیازمندی‌های خودروی دورگه ۳۸

جدول ۱–۳ شاخص‌های مهم انواع طرح‌های مفهومی ۴۸

جدول ۱–۴ مقایسهٔ انواع مختلف خودرو با سامانه‌های مختلف تولید توان ۵۰

جدول ۱–۵ تعیین قوای محرکه بر اساس هدف ۵۰

جدول ۲–۱ مشخصات خودروی دورگهٔ تویوتا پریوس ۲۰۱۰ استفاده شده در الگوبرداری ۵۷

جدول ۲–۲ مشخصات خودروی دورگهٔ هوندا سیویک ۲۰۱۰ استفاده شده در الگوبرداری ۵۸

جدول ۲–۳ مشخصات خودروی دورگهٔ سیتروئن سی۳ استفاده شده در الگوبرداری ۵۹

جدول ۲–۴ مشخصات خودرو بنزینی سمند استفاده شده در الگوبرداری ۶۰

جدول ۲–۵ اطلاعات مصرف سوخت خودروهای الگوبرداری در چرخهٔ اروپایی و مقایسهٔ آن با خودرو بنزینی سمند ۶۱

جدول ۲–۶ نتایج پیمایش در شهر تهران برای خودروهای الگوبرداری ۶۳

جدول ۲–۷ نتایج پیمایش در شهر تهران برای خودروهای الگوبرداری ۶۴

جدول ۳–۱ مشخصه‌های جرمی موتور برقی استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار آدامز/ویو ۸۸

جدول ۳–۲ موقعیت اولیه دسته‌موتورها نسبت به سامانهٔ مختصات خودرویی ۸۹

جدول ۳–۳ جابجایی‌های مرکز جرم و چرخش‌های موتور برقی حول محورهای عبوری از مرکز جرم ۹۶

جدول ۳–۴ جابجایی‌های موتور برقی در محل دسته‌موتورها در تحرک‌های بحرانی رانندگی برای حالت چهار دسته‌موتور (دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر) ۹۷

جدول ۳–۵ نیروهای اعمالی در محل دسته‌موتورها در تحرک‌های بحرانی رانندگی برای حالت چهار دسته-موتور (دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر)..... ۹۷
جدول ۳–۶ دامنهٔ نیروهای وارد بر محل دسته‌موتورها در شرایط استانداردِ رانندگی..... ۱۰۵
جدول ۳–۷ شرایط دمایی راهبرد تصمیم‌گیری خنک‌کاری انباره..... ۱۱۲
جدول ۴–۱ استانداردِ استفاده شده برای فواصل در محفظهٔ موتور[۶]..... ۱۲۱
جدول ۵–۱ مشخصات اصلی موتورهای احتراقی..... ۱۴۳
جدول ۵–۲ مقایسهٔ عملکرد موتورهای احتراقی..... ۱۴۴
جدول ۵–۳ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۲۲,۲۲,۰۵..... ۱۴۷
جدول ۵–۴ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۱۰,۱۸,۰۴..... ۱۴۸
جدول ۵–۵ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق آی‌پی‌ام..... ۱۴۹
جدول ۶–۱ مشخصات فنی انبارهٔ ولتاژ قوی..... ۱۵۷
جدول ۶–۲ شرایط دمایی عملکرد انبارهٔ ولتاژ قوی..... ۱۵۷
جدول ۶–۳ مشخصات پایهٔ موتور برقی و مولد برق..... ۱۶۶
جدول ۶–۴ مشخصات دمایی موتور برقی و مولد برق..... ۱۶۶
جدول ۶–۵ مشخصات ولتاژ عملکردی مبدل جریان مستقیم به متناوب..... ۱۷۰
جدول ۶–۶ شرایط دمایی مبدل جریان مستقیم به متناوب..... ۱۷۰
جدول ۶–۷ مشخصات بخش ولتاژ قوی مبدل جریان مستقیم..... ۱۷۲
جدول ۶–۸ مشخصات بخش ولتاژ ضعیف مبدل جریان مستقیم..... ۱۷۲
جدول ۶–۹ مشخصات فنی مبدل جریان مستقیم..... ۱۷۲
جدول ۶–۱۰ شرایط دمایی مبدل جریان مستقیم..... ۱۷۲
جدول ۶–۱۱ مشخصات فنی بخش متناوب ذخیره‌ساز برق شهری..... ۱۷۴

جدول ۶–۱۲ مشخصات فنی بخش جریان مستقیم ذخیره‌ساز برق شهری..... ۱۷۴
جدول ۶–۱۳ شرایط دمایی ذخیره‌سازی برق شهری ۱۷۴
جدول ۶–۱۴ مشخصات فنی سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی ۱۷۶
جدول ۶–۱۵ مشخصات فنی جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی..... ۱۸۰
جدول ۶–۱۶ مشخصات بافهٔ استفاده شده در خودروی دورگه..... ۱۸۲
جدول ۶–۱۷ مشخصات مکانیکی مجموعه تنجار..... ۱۸۴
جدول ۶–۱۸ مشخصات برقی مجموعه تنجار ۱۸۵
جدول ۶–۱۹ حالت‌های کاری خودروی دورگه ۲۱۳
جدول ۶–۲۰ اطلاعات موتور احتراقی در حالت‌های کاری خودروی دورگه..... ۲۱۴
جدول ۷–۱. استاندارد فواصل مطابق با استانده..... ۲۲۷
جدول ۸–۱ طول و پهنای بخش‌های مختلف در آزمون استاندهٔ ایزو–۳۸۸۸ (ابعاد به متر است) ۲۵۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۱–۱ روند کاهش تولید دیاکسیدکربن در مناطق مختلف جهان[۳] ۲۸
شکل ۱–۲ روند پیشبینی شده تولید خودروهای سواری توسط آژانس بین المللی انرژی[۴] ۲۹
شکل ۱–۳ رانای دورگه با قابلیت ذخیرهسازی برق شهری ۲۹
شکل ۱–۴ دنای دورگه با قابلیت ذخیرهسازی برق شهری ۳۰
شکل ۱–۵ رانای برقی با قابلیت پیمایش ۲۰۰ کیلومتر با یک بار ذخیرهسازی برق ۳۱
شکل ۱–۶ تقسیم‌بندی انواع خودروی دورگه ۳۲
شکل ۱–۷ پیکره بندی خودروی دورگهٔ ردیفی ۳۴
شکل ۱–۸ پیکره بندی کلی خودروی دورگهٔ موازی ۳۵
شکل ۱–۹ انواع پیکره‌بندی خودروی دورگهٔ موازی ۳۶
شکل ۱–۱۰ خودروی دورگهٔ ردیفی موازی ۳۷
شکل ۱–۱۱ اهداف مصرف سوخت خودروی دورگهٔ ردیفی در مقایسه با خودروی بنزینی ۳۹
شکل ۱–۱۲ مقایسهٔ شتاب‌گیری خودرو بنزینی و دورگهٔ ردیفی ۳۹
شکل ۱–۱۳ موازی نوع صفر/ خفیف دورگهٔ تسمه‌ای ۴۲

شکل ۱–۱۴ موازی نوع ۱/ خفیف دورگهٔ مستقیم ۴۳
شکل ۱–۱۵ موازی نوع ۳/ تمام دورگه ۴۴
شکل ۱–۱۶ موازی نوع ۴/ تمام دورگه ۴۵
شکل ۱–۱۷ تمام دورگهٔ ردیفی‌موازی ۴۶
شکل ۱–۱۸ تمام دورگهٔ ردیفی ۴۷
شکل ۱–۱۹ ارزیابی خودروی ردیفی در مقابل خودروی موازی ۴۹
شکل ۱–۲۰ مراحل استاندهٔ توسعهٔ محصول قوای محرکه بر مبنای الگوی وی ۵۱
شکل ۲–۱ تصاویر خودروهای الگوبرداری ۵۶
شکل ۲–۲ نحوهٔ تعریف آزمون در شرایط واقعی شهر تهران ۶۲
شکل ۳–۱ زوایای مهم در تحلیل سامانهٔ تعلیق خودرو ۷۱
شکل ۳–۲ مقدار جابجایی هم‌فاز چرخ‌های جلو ۷۱
شکل ۳–۳ مشخصه‌های سامانهٔ تعلیق در حرکت عمودی هم‌فاز دو چرخ جلو ۷۲
شکل ۳–۴ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه (شکل چپ) و دورگه (شکل راست) ۷۳
شکل ۳–۵ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان صفر) ۷۴
شکل ۳–۶ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان در بیشینهٔ مقدار سمت چپ) ۷۴
شکل ۳–۷ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان در بیشینهٔ مقدار سمت راست) ۷۵
شکل ۳–۸ تغییر جرم کلی و جرم مؤثر محور جلو و عقب خودرو در خودروی دورگه (شکل راست) نسبت به خودروی پایه (شکل چپ) ۷۶
شکل ۳–۹ تغییر زاویهٔ ورودی فرمان و تأثیر آن برسرعت در حرکت تغییر مسیر ۷۷

شکل ۳-۱۰ تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در حرکت تغییر مسیر..... ۷۸
شکل ۳-۱۱ تغییر زاویهٔ ورودی فرمان و سرعت در حرکت قلاب ماهی..... ۷۹
شکل ۳-۱۲ تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در حرکت قلاب ماهی..... ۷۹
شکل ۳-۱۳ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با فرمان رها..... ۸۰
شکل ۳-۱۴ تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت گردش با فرمان رها..... ۸۱
شکل ۳-۱۵. تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با موتور خاموش..... ۸۲
شکل ۳-۱۶. تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت گردش با موتور خاموش..... ۸۲
شکل ۳-۱۷ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با شعاع ثابت..... ۸۳
شکل ۳-۱۸ ..... ۸۴
شکل ۳-۱۹ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت شتاب‌گیری خط مستقیم..... ۸۵
شکل ۳-۲۰ تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت شتاب‌گیری در خط مستقیم..... ۸۶
شکل ۳-۲۱ نمایی از الگوی پویای خودروی دورگه در نرم‌افزار آدامز/ویو..... ۸۹
شکل ۳-۲۲ نمایی از موقعیت اولیه دستهموتورهای موتور برقی و محور گشتاور غلتشی..... ۹۰
شکل ۳-۲۳ منحنی سختی ایستایی دستهموتورهای بالایی در راستای محور x سامانهٔ مختصات خودرویی ۹۱
شکل ۳-۲۴ منحنی سختی ایستایی دستهموتورهای بالایی در راستای محور y سامانهٔ مختصات خودرویی ۹۲
شکل ۳-۲۵ منحنی سختی ایستایی دستهموتورهای بالایی در راستای محور z سامانهٔ مختصات خودرویی ۹۲
شکل ۳-۲۶ موقعیت دستهموتورها در حالت‌های مختلف..... ۹۳
شکل ۳-۲۷ موقعیت دستهموتورها در حالت پیشنهاد اول طراحی(جابجایی دستهموتور سوم به محل پیشنهادی واحد طراحی)..... ۹۴

شکل ۳–۲۸ موقعیت پیشنهادی واحد طراحی برای موقعیت دستهموتور چهارم ۹۵
شکل ۳–۲۹ تصویری از دستهموتورهای پیشنهادی چهارم ۹۵
شکل ۳–۳۰ الگوی اجزای محدود طرح اولیه دستهموتور ۹۹
شکل ۳–۳۱ مطابقت دادههای آزمون کشش ماده بسیار منعطف با الگوی اوگدن مرتبه دوم ۱۰۰
شکل ۳–۳۲ سختی مورد نیاز دستهموتور در راستاهای مختلف ۱۰۰
شکل ۳–۳۳ قیدهای مکانیکی اعمال شده به دستهموتور ۱۰۱
شکل ۳–۳۴ تغییر شکل دستهموتور در اثر بارگذاریهای مختلف ۱۰۱
شکل ۳–۳۵ منحنی نیرو–جابجایی حالتهای مختلف بارگذاری و سختی دستهموتور ۱۰۲
شکل ۳–۳۶ طرح نهایی دستهموتور پیشنهادی ۱۰۳
شکل ۳–۳۷ نگهدارندۀ دستهموتور خودروی دورگه و نحوۀ اتصال موتور برقی به بدنه با دستهموتور ۱۰۴
شکل ۳–۳۸ الگوی اجزای محدود نگهدارندۀ دستهموتور خودروی دورگه ۱۰۴
شکل ۳–۳۹ بارهای مکانیکی اعمال شده به محل محور دستهموتور (حالت راهاندازی با موتور روشن) ۱۰۵
شکل ۳–۴۰ توزیع تنش فون میسز در نگهدارندۀ دستهموتور در حالات مختلف ۱۰۶
شکل ۳–۴۱ مدار خنککاری تجهیزات جانبی ۱۰۷
شکل ۳–۴۲ مدار خنککننده اجزاء برقی در نرمافزار جیتیسوییت ۱۰۸
شکل ۳–۴۳ توزیع فشار سیال خنککاری ۱۰۸
شکل ۳–۴۴ نرخ جریان سیال خنککاری ۱۰۹
شکل ۳–۴۵ طرحواره مدار خنککاری انبارۀ برقی ۱۱۰
شکل ۳–۴۶ حالات عبور جریان در مدار خنککاری انبارۀ برقی ۱۱۰
شکل ۳–۴۷ مدار یک بعدی خنککنندۀ انبارۀ برقی در نرمافزار جیتیسوئیت ۱۱۱
شکل ۳–۴۸ راهبرد تصمیمگیری خنککاری انباره ۱۱۲

شکل ۴–۱ الگوی خودروی پایه ۱۱۸
شکل ۴–۲ محفظهٔ موتور و صندوق عقب خودروی پایه ۱۱۸
شکل ۴–۳ ابعاد محفظهٔ موتور ۱۱۹
شکل ۴–۴ رواداشت مجاز جانمایی موتور برقی ۱۱۹
شکل ۴–۵ موقعیت قرارگیری قطعهٔ واسط میانی مولد برق و موتور احتراقی ۱۲۰
شکل ۴–۶ موقعیت موتور برقی نسبت به موتور احتراقی در طرح نهایی ۱۲۱
شکل ۴–۷ دسته‌موتورهای موتور برقی در چپ و راست محفظهٔ موتور ۱۲۲
شکل ۴–۸ موقعیتدهندهٔ تنظیمی برای تنظیم موقعیت ۱۲۲
شکل ۴–۹ جوشکاری قطعهٔ مکعبی به رام ۱۲۳
شکل ۴–۱۰ موقعیت دسته‌موتورهای موتور برقی ۱۲۳
شکل ۴–۱۱ دسته‌موتور زیرین موتور برقی ۱۲۴
شکل ۴–۱۲ اتصال دسته‌موتورهای چپ و راست ۱۲۴
شکل ۴–۱۳ موقعیت قرارگیری دسته‌موتور زیرین موتور احتراقی ۱۲۴
شکل ۴–۱۴ چندراههٔ هوا برای ارسال به محاسبات مهندسی ۱۲۵
شکل ۴–۱۵ الگوی نهایی چندراههٔ هوا ۱۲۶
شکل ۴–۱۶ جانمایی اتصالات چندراههٔ هوا ۱۲۶
شکل ۴–۱۷ مجموعه چندراههٔ دود و پس پالایشگر موتور احتراقی ۱۲۷
شکل ۴–۱۸ مجموعه هم‌بندی شدهٔ چندراههٔ دود و پس پالایشگر بر روی موتور احتراقی ۱۲۷
شکل ۴–۱۹ سازوکار جدید تسمهٔ قطعات جانبی به همراه متعلقات جدید ۱۲۸
شکل ۴–۲۰ جانمایی انباره در صندوق عقب ۱۲۹
شکل ۴–۲۱ جانمایی دستگاه ذخیره‌ساز برق شهری ۱۳۰

شکل ۴–۲۲ مدار خنک‌کاری قطعات برقی ۱۳۱
شکل ۴–۲۳ جانمایی قطعات برقی ۱۳۲
شکل ۴–۲۴ جانمایی مبدل‌های قطعات برقی و انباره در محل هواخور خودرو ۱۳۲
شکل ۴–۲۵ جانمایی مخزن انبساط مدارهای قطعات برقی و انباره ۱۳۳
شکل ۴–۲۶ توپی و محل اتصال آن به محور انتقال قدرت ۱۳۴
شکل ۴–۲۷ لاله‌گی، موقعیت قرارگیری لاله‌گی نسبت به محور انتقال قدرت و سه‌شاخه ۱۳۴
شکل ۴–۲۸ محدوده جابه‌جایی مجاز سه‌شاخه درون لاله‌گی ۱۳۵
شکل ۴–۲۹ جانمایی سامانهٔ مدیریت هوشمند ۱۳۶
شکل ۴–۳۰ جانمایی تلمبهٔ برقی–روغنی فرمان ۱۳۷
شکل ۴–۳۱ محل تلمبهٔ خلأ ۱۳۷
شکل ۵–۱ مشخصهٔ عملکردی مولدهای برق ۱۴۲
شکل ۵–۲ نقشه مصرف سوخت ویژه موتور سه استوانه در شرایط سطح تهران و سطح دریا ۱۴۴
شکل ۵–۳ نقشه مصرف سوخت ویژه موتور چهار استوانه در شرایط سطح تهران و سطح دریا ۱۴۵
شکل ۵–۴ بررسی نقاط عملکردی موتور چهار استوانه در شرایط سطح دریا ۱۴۶
شکل ۵–۵ بررسی نقاط عملکردی موتور چهار استوانه در شرایط ارتفاع تهران ۱۴۶
شکل ۵–۶ بررسی نقاط عملکردی موتور سه استوانه در شرایط سطح دریا ۱۴۶
شکل ۵–۷ بررسی نقاط عملکردی موتور سه استوانه در شرایط ارتفاع تهران ۱۴۷
شکل ۶–۱ چگالی انرژی برحسب انرژی مخصوص انباره براساس جنس مواد تشکیل دهنده ۱۵۴
شکل ۶–۲ نحوهٔ شکل‌گیری جریان در انباره لیتیوم–یون ۱۵۵
شکل ۶–۳ ساختار انباره لیتیوم–یون خودروی دورگه ۱۵۶
شکل ۶–۴ نحوهٔ اعمال محدودیت در جریان در محدوده ناایمن دمایی ۱۵۹

شکل ۶–۵ نحوهٔ اعمال محدودیت در جریان و ولتاژ سلول‌های مختلف ۱۵۹
شکل ۶–۶ ساختار درونی قسمت دوار موتور جریان مستقیم..... ۱۶۰
شکل ۶–۷ ساختار درونی قسمت ثابت موتور جریان مستقیم ۱۶۰
شکل ۶–۸ اجزای تشکیل دهنده موتور جریان متناوب قفس سنجابی ۱۶۱
شکل ۶–۹ منحنی چگالی انرژی بیشینهٔ مواد مغناطیسی مرسوم..... ۱۶۳
شکل ۶–۱۰ راست: حلقه‌های تشکیل دهنده قسمت ثابت، چپ: قسمت ثابت موتور برقی..... ۱۶۴
شکل ۶–۱۱ وضعیت جانمایی آهنربا در قسمت دوار موتور برقی..... ۱۶۵
شکل ۶–۱۲ گشتاور و توان مکانیکی موتور برقی برحسب سرعت زاویه‌ای ۱۶۷
شکل ۶–۱۳ گشتاور و توان مکانیکی مولد برق برحسب سرعت زاویه‌ای..... ۱۶۷
شکل ۶–۱۴ اتصالات موتور برقی با مبدل جریان مستقیم به متناوب ۱۶۸
شکل ۶–۱۵ اتصالات مبدل جریان مستقیم به متناوب و موتور سه فاز..... ۱۶۹
شکل ۶–۱۶ وضعیت کلیدها در هشت حالت کاری مبدل جریان مستقیم به متناوب ۱۶۹
شکل ۶–۱۷ مبدل جریان مستقیم به متناوب خودروی دورگه..... ۱۷۰
شکل ۶–۱۸ اتصالات مبدل جریان مستقیم به متناوب..... ۱۷۱
شکل ۶–۱۹ اتصالات مبدل جریان مستقیم خودروی دورگه ۱۷۳
شکل ۶–۲۰ اتصالات ذخیره‌ساز برق شهری ۱۷۵
شکل ۶–۲۱ نحوهٔ اتصال سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی در خودرو برقی ۱۷۶
شکل ۶–۲۲ اتصالات سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی..... ۱۷۷
شکل ۶–۲۳ جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی خودروی دورگه ۱۷۸
شکل ۶–۲۴ اتصالات جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی..... ۱۷۹
شکل ۶–۲۵ فیوزهای ۲۰ آمپر استفاده شده در جعبه تقسیم خودروی دورگه به همراه مشخصات آنها .. ۱۷۹

شکل ۶–۲۶ فیوزهای ۳۰۰ آمپر استفاده شده در جعبه تقسیم خودروی دورگه به همراه مشخصات آنها ۱۸۰
شکل ۶–۲۷ اجزای تشکیل دهنده بافه ۱۸۲
شکل ۶–۲۸ نمایی از تنجار برقی خودروی دورگه ۱۸۳
شکل ۶–۲۹ طرحوارهٔ ارتباطات سامانه‌های مدیریت ۱۸۷
شکل ۶–۳۰ سیم‌کشی مدارهای ولتاژ قوی ۱۸۷
شکل ۶–۳۱ نمایش حالت‌های مختلف رانندگی برای خودروی دورگه ۱۸۹
شکل ۶–۳۲ رایانه سامانهٔ مدیریت موتور احتراق داخلی ۱۹۱
شکل ۶–۳۳ محیط کاری نرم‌افزار اسکت ۱۹۴
شکل ۶–۳۴ محیط نمایش متغیرها در نرم‌افزار اینکا ۱۹۵
شکل ۶–۳۵ نحوهٔ نمایش متغیرها در نرم‌افزار امدی‌ای ۱۹۶
شکل ۶–۳۶ سخت‌افزار کندو به همراه محیط نرم‌افزار آن ۱۹۶
شکل ۶–۳۷ تلمبهٔ برقی–روغنی خودروی دورگه ۱۹۸
شکل ۶–۳۸ نمایشگر خودروی دورگه ۱۹۹
شکل ۶–۳۹ محیط نرم‌افزار ۲۰۰
شکل ۶–۴۰ صفحهٔ اصلی نمایشگر ۲۰۱
شکل ۶–۴۱ نمای صفحهٔ راهنما ۲۰۱
شکل ۶–۴۲ نمایش مصرف سوخت متوسط در نمایشگر ۲۰۲
شکل ۶–۴۳ چگونگی نمایش انتقال انرژی بین اجزای مختلف خودروی دورگه در صفحهٔ نمایشگر ۲۰۳
شکل ۶–۴۴ نمای صفحهٔ نمایش خطاها ۲۰۳
شکل ۶–۴۵ نمای صفحهٔ انتخاب حالت رانندگی ۲۰۴
شکل ۶–۴۶ طرحواره سامانهٔ مدیریت دمای انباره ۲۰۵

شکل ۶–۴۷ نقشه سامانهٔ خنک‌کاری تجهیزات برقی ۲۰۶
شکل ۶–۴۸ گرم‌کن برقی خودروی دورگه ۲۰۷
شکل ۶–۴۹ نقشه سامانهٔ تهویه اتاق خودرو ۲۰۷
شکل ۶–۵۰ واکنش صافی اعمالی به اهرم گاز با ورودی پله ۲۰۸
شکل ۶–۵۱ نحوهٔ اعمال محدودیت گشتاور به موتور برقی ۲۰۹
شکل ۶–۵۲ تقسیم اهرم گاز به منظور شبیه‌سازی انرژی بازگشتی ۲۱۰
شکل ۶–۵۳ پایشگر حرکت خزشی ۲۱۱
شکل ۶–۵۴ منحنی استاندهٔ ذخیره‌سازی انباره ۲۱۵
شکل ۷–۱ جدا کردن سپر خودرو، دیاق و سینی پروانهٔ خودرو ۲۲۰
شکل ۷–۲ جدا کردن سامانه‌های الکترونیکی ۲۲۰
شکل ۷–۳ جدا کردن سامانهٔ تلمبهٔ روغنی فرمان و تهویهٔ مطبوع ۲۲۱
شکل ۷–۴ باز کردن ضربه گیر، دسته‌موتور و خارج کردن موتور از محفظهٔ موتور ۲۲۲
شکل ۷–۵ مجموعه رام و جعبهٔ فرمان خودرو ۲۲۳
شکل ۷–۶ نصب موقعیت دنده برروی بدنه ۲۲۴
شکل ۷–۷ نصب نگهدارنده‌های انبارهٔ برقی ۲۲۴
شکل ۷–۸ نصب موتور برقی برروی بدنه ۲۲۵
شکل ۷–۹ نصب محورهای محرک چپ و راست خودرو ۲۲۶
شکل ۷–۱۰ جانمایی مجموعه جعبهٔ فرمان روی رام خودرو ۲۲۶
شکل ۷–۱۱ سوار کردن موتور احتراقی به همراه دسته‌موتورهای راست و چپ ۲۲۸
شکل ۷–۱۲ چندراهه‌های جدید دود و هوا در موتور سه‌استوانه ۲۲۸
شکل ۷–۱۳ نصب صافی هوا و لوله‌های مسیر بخار روغن ۲۲۹

شکل ۷–۱۴ جانمایی انبارهٔ برقی در صندوق عقب ۲۳۰
شکل ۷–۱۵ جانمایی تجهیزات برقی در محفظهٔ موتور ۲۳۱
شکل ۷–۱۶ عایق‌کاری در خودرو ۲۳۱
شکل ۷–۱۷ برشکاری بدنهٔ خودرو برای تعبیه محل اتصال برق شهری به انبارهٔ برقی ۲۳۲
شکل ۷–۱۸ تغییرات پیشخوان و دسته دنده ۲۳۲
شکل ۸–۱ خودرو در اتاق آزمون خودرو بر روی لگام‌ترمز ۲۴۰
شکل ۸–۲ محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج داخل خودرو ۲۴۰
شکل ۸–۳ محل نصب حسگرهای صدا داخل خودرو ۲۴۱
شکل ۸–۴ ارتعاشات غربیلک فرمان در راستای طولی با جاروب سرعت موتور برقی– دور موتور احتراقی ۲۷۰۰ دور در دقیقه ۲۴۱
شکل ۸–۵ محل نصب شتاب‌سنج در مجاورت بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر ۲۴۳
شکل ۸–۶ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای طولی خودرو ۲۴۳
شکل ۸–۷ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای عرضی خودرو ۲۴۴
شکل ۸–۸ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای عمودی خودرو ۲۴۴
شکل ۸–۹ محل نصب حسگرها روی دسته‌موتور چپ موتور برقی (سمت راست) و دسته‌موتور راست موتور احتراقی (سمت چپ) ۲۴۵
شکل ۸–۱۰ ارتعاشات موتور (سمت چپ) و بدنه (سمت راست) در محل دسته‌موتور بالا راست موتور احتراقی ۲۴۶
شکل ۸–۱۱ محل نصب حسگر صدا مقابل لولهٔ خروج دود ۲۴۷
شکل ۸–۱۲ محتوای بسامدی صدای داخل خودرو در محل سرنشین جلو ۲۴۷
شکل ۸–۱۳ محتوای بسامدی صدای لولهٔ خروج دود ۲۴۸

شکل ۸–۱۴ سطح صدای داخل خودرو در محل سرنشین جلو، سرعت موتور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، گشتاور ۵۰ نیوتن متر ۲۴۸
شکل ۸–۱۵ مسیر آزمون انتخابی برای محاسبهٔ ضرایب دنده خلاص خودرو ۲۴۹
شکل ۸–۱۶ محاسبه ضرایب دنده خلاص ۲۴۹
شکل۸–۱۷ رویهٔ آزمون اول ۲۵۰
شکل ۸–۱۸ رویهٔ آزمون دوم ۲۵۱
شکل ۸–۱۹ مسیر آزمون چرخهٔ شهری خودروی دورگه ۲۵۳
شکل ۸–۲۰مسیر حرکت خودرو در آزمون استانداردِ ایزو–۳۸۸۸ ..... ۲۵۵
شکل ۸–۲۱ ابعاد استانده برای مخروطی‌های استفاده شده در آزمون استانداردِ ایزو–۳۸۸۸ ..... ۲۵۶
شکل ۸–۲۲ محل قرارگیری نشانه‌گذاری‌ها در آزمون استانداردِ ایزو–۳۸۸۸ ..... ۲۵۶
شکل ۸–۲۳ نتایج امتیازدهی راننده‌ها به آزمون تغییر مسیر ۲۵۷
شکل ۸–۲۴ نحوهٔ حرکت دم ماهی در خودروی واقعی ۲۵۸
شکل ۸–۲۵ جهت‌های چرخش استانداردِ خودرو ۲۵۹
شکل ۸–۲۶ امتیازدهی مشخصه‌های مختلف در آزمون ترمزگیری ۲۵۹
شکل ۹–۱ ماشینکاری قالب کفسانی چندراههٔ هوای موتور احتراقی ۲۶۴
شکل ۹–۲ قطعهٔ نهایی چندراههٔ هوا ۲۶۵
شکل ۹–۳ چندراههٔ دود و روش ساخت نمونه ۲۶۵
شکل ۹–۴ محور محرک و لاله‌گی ۲۶۶
شکل ۹–۵ نمایشگاه قطعات خودروی دورگه و برقی ۲۶۷

ل

فصل اول

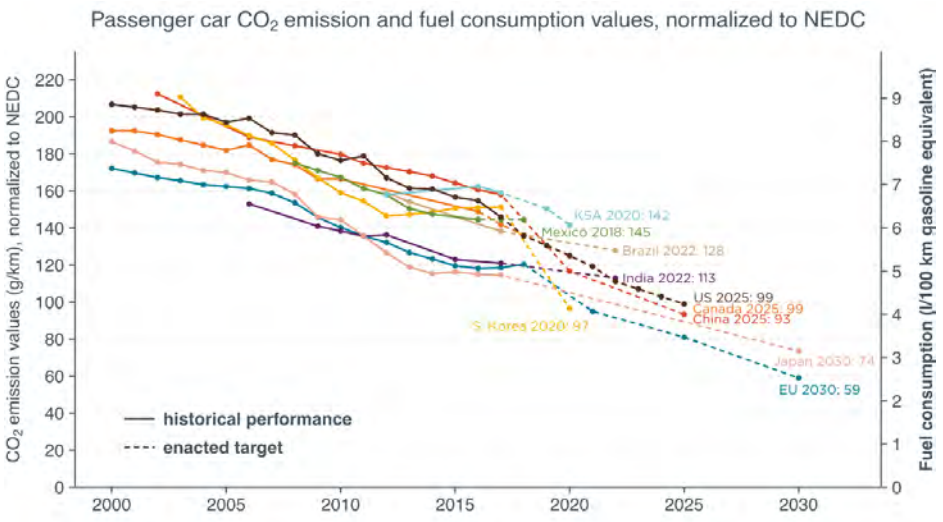
مقدمه

۱- مقدمه

افزایش روزافزون آلایندگی شهرهای بزرگ و بازدهٔ ضعیف خودروها در چرخهٔ رانندگی شهری که بعضاً به ۱۳٪ می‌رسد؛ خودروسازان را به سمت استفاده از خودروهایی با آلایندگی کم و بازدهٔ بهتر سوق داده است[۱]. محدودیت‌های تولید گازهای گلخانه‌ای از سوی خودروها عامل محدود کنندهٔ دیگری در استفاده از موتورهای درونسوز است. در شکل ۱-۱ محدودیت کشورهای مختلف برای تولید گاز دی‌اکسید کربن نشان داده شده است. در شکل مشخص است که محدودیت‌های اعمال شده، خودروسازان را مجبور به حرکت به سمت خودروهای برقی و دورگه[۱] خواهد نمود. خودروهای تمام برقی یکی از مهمترین راه‌حل‌های ارائه شده در این زمینه است اما افزایش وزن خودرو به دلیل استفاده از انباره‌های برقی[۲] بزرگ، قیمت تمام شده گران، نبود زیرساخت‌های مناسب برای پرکردن سریع انبارهٔ خودروها و بازدهٔ ضعیف نیروگاه‌های تولید برق در کشورهای در حال توسعه از بزرگترین موانع فرگیر شدن همگانی این خودروها در کشورهای در حال توسعه و حتی پیشرفته است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۳۰ و در خوشبینانه‌ترین حالت، خودروی برقی با پیمایش حداقل ۱۰۰ هزارکیلومتر، هزینهٔ اولیه بیشتر

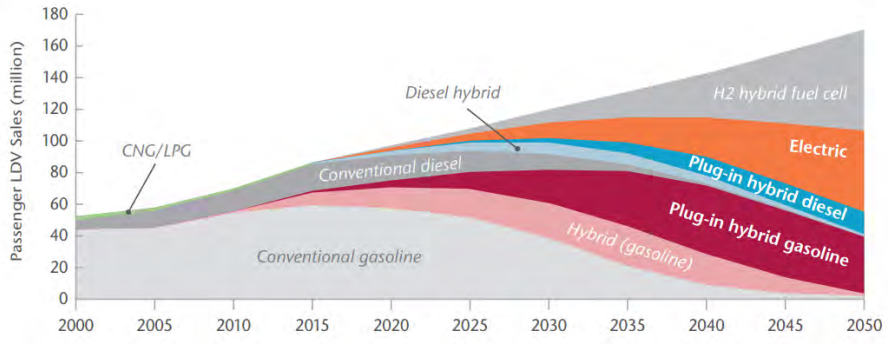
[۱] Hybrid
[۲] Battery

خود را نسبت به خودروی بنزینی جبران خواهد نمود[۲]. این مشکلات، استفاده از این خودروها را تنها به دلیل کاهش آلایندگی در شهرهای بزرگ و مناطق کاهش آلودگی هوا، توجیه‌پذیر خواهد نمود و توسعهٔ همه‌گیر خودروهای برقی را با چالش روبرو خواهد ساخت.



شکل ۱–۱ روند کاهش تولید دی‌اکسیدکربن در مناطق مختلف جهان[۳]

خودروهای دورگه مصالحه‌ای میان هزینه و آلایندگی برقرار کرده‌اند و راه حل سریعی برای حل مشکلات آلایندگی و مصرف روزافزون سوخت در تمامی نقاط جهان و به خصوص در کشورهای در حال توسعه است. در این خودروها بر حسب نوع، از اتلاف ترمزگیری و هم‌چنین توان موتور احتراقی برای تولید برق استفاده می‌شود. روند تولید خودروهای برقی‌سازی شده در تمام کشورها رو به رشد است و پیش‌بینی می‌شود این روند تسریع خواهد شد. آژانس بین‌المللی انرژی سهم خودروهای تمام برقی و دورگهٔ بنزینی را در آینده، قابل توجه پیش‌بینی می‌کند. این روند در شکل ۱–۲ نشان داده شده است.



شکل ۱–۲ روند پیش‌بینی شده تولید خودروهای سواری توسط آژانس بین‌المللی انرژی[۴]

شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو به عنوان پیشگام توسعهٔ قوای محرکه، در سال ۱۳۹۰ با همکاری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، توسعهٔ خودروی دورگه رانا را آغاز نمود. در این طرح با ارزیابی‌های فراوان در مورد زیرساخت‌های داخل کشور، هزینهٔ تمام شدهٔ محصول، امکان داخلی‌سازی و اقتصاد انرژی، خودروی دورگهٔ ردیفی با قابلیت ذخیره‌سازی انرژی به عنوان راه‌حلی برای کاهش آلایندگی و مصرف سوخت انتخاب گردید. این طرح در سال ۱۳۹۳ با رونمایی ریاست جمهوری از خودروها و با تولید سه نمونه خودروی رانا دورگه به اتمام رسید.

شکل ۱–۳ رانای دورگه با قابلیت ذخیره‌سازی برق شهری

در ادامه و با هدف نزدیک کردن محصول نهایی به بازار، در نظر گرفتن نیازمندی‌های مشتری و با بهبودهای فراوان نسبت به طرح رانا دورگه، خودروی دنا دورگه در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ رونمایی شد. در این طرح با بهبود جانمایی، فضای صندوق عقب به طور کامل در اختیار مصرف‌کننده قرار گرفت. در عین حال فرمان‌پذیری، قابلیت رانندگی و جانمایی اجزا و قطعات به طرز چشمگیری بهبود داشت. داخلی‌سازی و همکاری با مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی در داخل کشور در تولید خودروی دنا چشمگیر بود به طوری که انبارهٔ برقی خودروی دنا با همکاری یکی از مراکز دانشگاهی و کاملاً بومی طراحی و تولید گردید.

شکل ۱-۴ دنای دورگه با قابلیت ذخیره‌سازی برق شهری

شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو در راستای برقی‌سازی و نگاه به آینده، رانای کاملاً برقی را در سال ۱۳۹۸ رونمایی و معرفی نمود. در این محصول با جانمایی انباره در کفی خودرو، پیمایشی در حدود ۲۰۰ کیلومتر قابل دستیابی است. نمایی از این محصول در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

شکل ۱-۵ رانای برقی با قابلیت پیمایش ۲۰۰ کیلومتر با یک بار ذخیره‌سازی برق

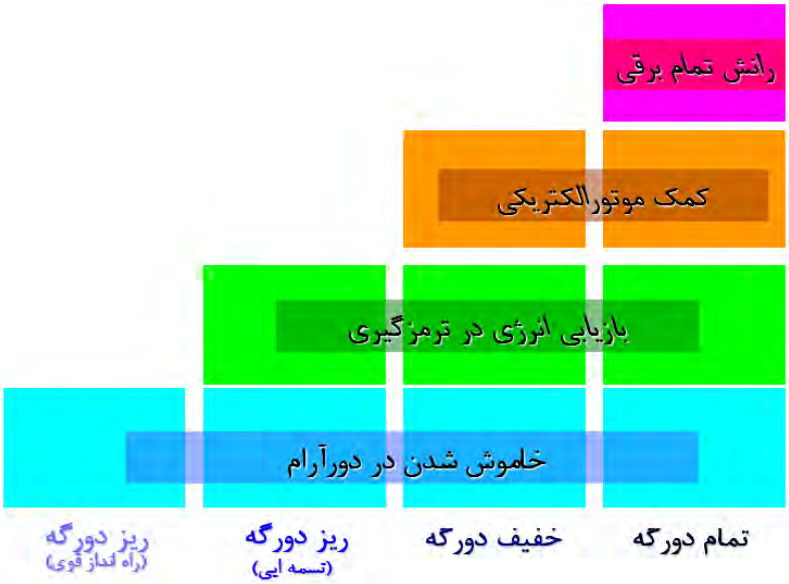
۱-۱ معرفی انواع خودروی دورگه و برقی

تقسیم‌بندی‌های متفاوتی برای خودروهای دورگه ارائه شده است که معتبرترین آن بر اساس سطح برقی‌سازی بدین شرح است:

- تمام دورگه[1]
- خفیف دورگه[2]
- ریزدورگه[3]

شکل ۱-۶ انواع خودروی دورگه و تفاوت اصلی آن‌ها با یکدیگر در سطح برقی‌سازی را نشان می‌دهد.

[1] Full hybrid
[2] Mild hybrid
[3] Micro Hybrid



شکل ۱-۶ تقسیم‌بندی انواع خودروی دورگه

مهمترین ویژگی‌های خودروی تمام دورگه بدین شرح است:

- خاموش شدن موتور احتراقی در زمان توقف خودرو
- امکان رانش خودرو فقط با موتور برقی
- بازیابی انرژی تلفاتی ترمزگیری خودرو

تفاوت اصلی خودوری خفیف دورگه با تمام دورگه عدم امکان رانش برقی است. چنانچه ولتاژ انبارهٔ خودروی خفیف دورگه کمتر از ۵۰ ولت باشد بهبود عملکرد خودرو نسبت به خودروی معمولی محدود است و بیشتر به یک خودروی ریزدورگه یا ایست-رو[1] نزدیک می‌شود. در خودروی ریزدورگه توانایی افزایش توان خروجی خودرو به کمک موتور برقی وجود ندارد و توان خروجی خودرو فقط با موتور احتراقی تأمین می‌شود. در خودروی ریز دورگه تنها بازیابی انرژی و یا خاموش شدن موتور احتراقی در هنگام توقف انجام می‌شود. افزایش سطح برقی‌سازی و تأثیر آن بر کاهش مصرف سوخت با جزئیات بیشتری در جدول ۱-۱جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

[1] Stop & Go

جدول ۱-۱ مشخصات کلی انواع خودروی دورگه

انواع دورگه/ برقی	راه انداز تقویت شده	ریزدورگه تسمه ای	خفیف دورگه ولتاژ ضعیف	خفیف دورگه ولتاژ قوی	تمام دورگه	خودرودورگه با قابلیت ذخیره سازی برق شهری	خودرو برقی
خاموش شدن در توقف و حرکت خودکار مجدد	×	×	×	×	×	×	×
بازیابی انرژی ترمزی	.	کم	محدود	محدود	بالا	کامل	کامل
انتقال همزمان نیروی دو موتور به چرخها	.	.	.	×	×	×	×
کل پیمایش خالص برقی	.	.	.	(خزش خودرو)	< 10 km	> 40 km	> 100 km
موتور احتراقی	بنزینی / دیزلی	بنزینی / دیزلی	بنزینی / دیزلی	بنزینی/ دیزلی کوچک شده	بنزینی/ دیزلی کوچک شده	موتور اصلی با موتور کمکی (Range)	.
موتور برقی	راه انداز تقویت شده	محرک تسمه ای	محرک تسمه ای/ محرک میل لنگ	موازی	موازی/ موازی-سری	محور محرک برقی	محور محرک برقی
قدرت برقی	1-15 kW	2-4 kW	4-10 kW	10-20 kW	20-50 kW	> 30 kW	> 30 kW
ولتاژ (ولت)	14	14	> 60	> 100	> 200	> 300	> 300
انباره الکتریکی اصلی	pb/AGM 25kg	pb/AGM 25kg	NiMH 25kg	NiMH, (Li-Ion) ~1kWh, 30kg	NiMH, (Li-Ion) ~2kWh, 60kg	Li-Ion .10kWh >100kg	Li-Ion .15kWh >150kg
کاهش مصرف سوخت در چرخه ترکیبی	3-7%	3-7%	6-10%	15-20%	20-30%	20-100%	100%
افزایش قیمت خودرو	150 - 450 €	200 - 500 €	500 - 900 €	900 - 2200 €	2500 - 5000 €	> 5000 €	> 6000 €
مثال	سمند با راه انداز اتوماتیک	سیتروئن C۳	جی ام ساترن ویو	هوندا سیویک	تویوتا پریوس	بی ام دبلیو ۳	تسلا ۳

خودروهای تمام دورگه از منظر نوع انتقال نیرو به چرخ‌های محرک به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

- دورگهٔ ردیفی[۱]
- دورگهٔ موازی[۲]
- دورگهٔ ردیفی موازی[۳]

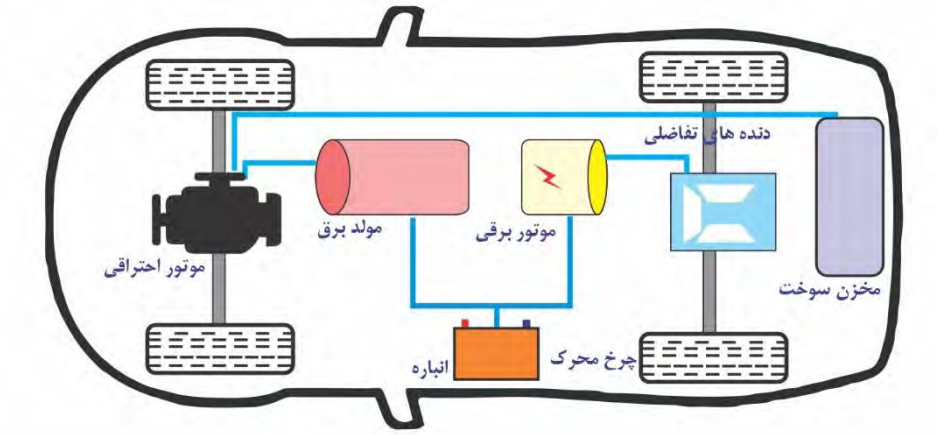
در ادامه هر کدام از انواع مختلف تمام دورگه به تفصیل بررسی می‌شود.

[1] Series Hybrid
[2] Parallel Hybrid
[3] Power Split Hybrid

۱-۱-۱ تمام دورگهٔ ردیفی

مطابق شکل ۱-۷ انتقال نیرو به چرخها فقط از طریق موتور برقی امکان‌پذیر است. موتور احتراقی تمام دورگهٔ ردیفی فقط برای تولید برق به کار می‌رود و مستقیما به چرخهای محرک متصل نمی‌باشد. موتور برقی به همراه یک جعبه‌دنده ساده وظیفهٔ تبدیل انرژی برقی به انرژی مکانیکی و انتقال نیرو را به چرخها به عهده دارد.

با توجه به عدم اتصال موتور احتراقی به چرخها، این موتور فقط در یک یا چند نقطهٔ محدود(دور و بار ثابت) که از کمترین مقدار مصرف سوخت ویژه(بزرگ بازده) برخوردار است کار می‌کند. شایان ذکر است که مصرف سوخت ویژه یک موتور احتراقی با فناوری به‌روز از ۲۴۰ گرم بر کیلووات ساعت (دورهای میانی و بار حداکثر) تا بیش از ۱۰۰۰ گرم بر کیلووات ساعت (دور کند و نزدیک به بی‌باری) تغییر می‌کند. خودروهای دورگهٔ ردیفی عموما با قابلیت ذخیره‌سازی برق شهری[1] طراحی و ساخته می‌شوند تا با استفاده از انباره‌های بزرگ استفاده از سوخت سنگواره‌ای را در خودرو کاهش دهند اما با توجه به کارکرد موتور در نقطهٔ بهینه، استفاده از موتور احتراقی بزرگ هم در این نوع قوای محرکه قابل توجیه است. موتور احتراقی خودروی دورگهٔ ردیفی به دلیل کارکرد در چند دور محدود در مقایسه با موتور خودروی معمولی نسبتاً ساده‌تر و ارزانتر است.

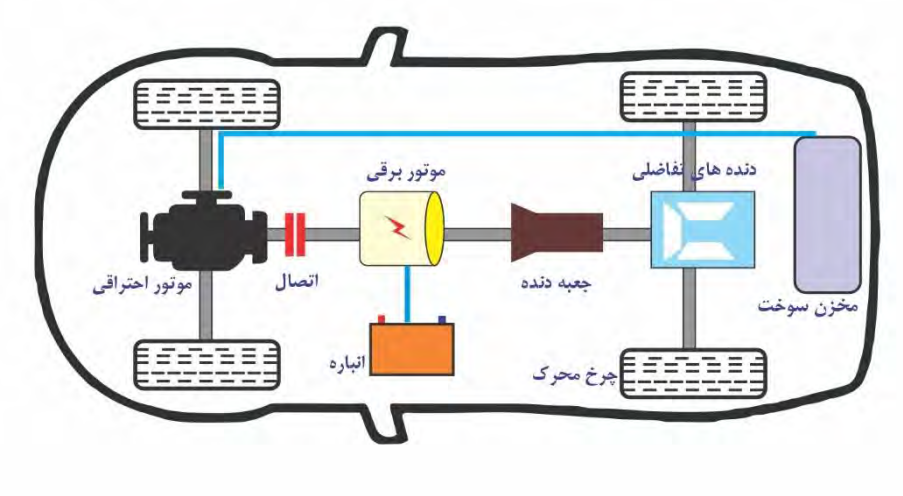


شکل ۱-۷ پیکره بندی خودروی دورگهٔ ردیفی

[1] Plugin

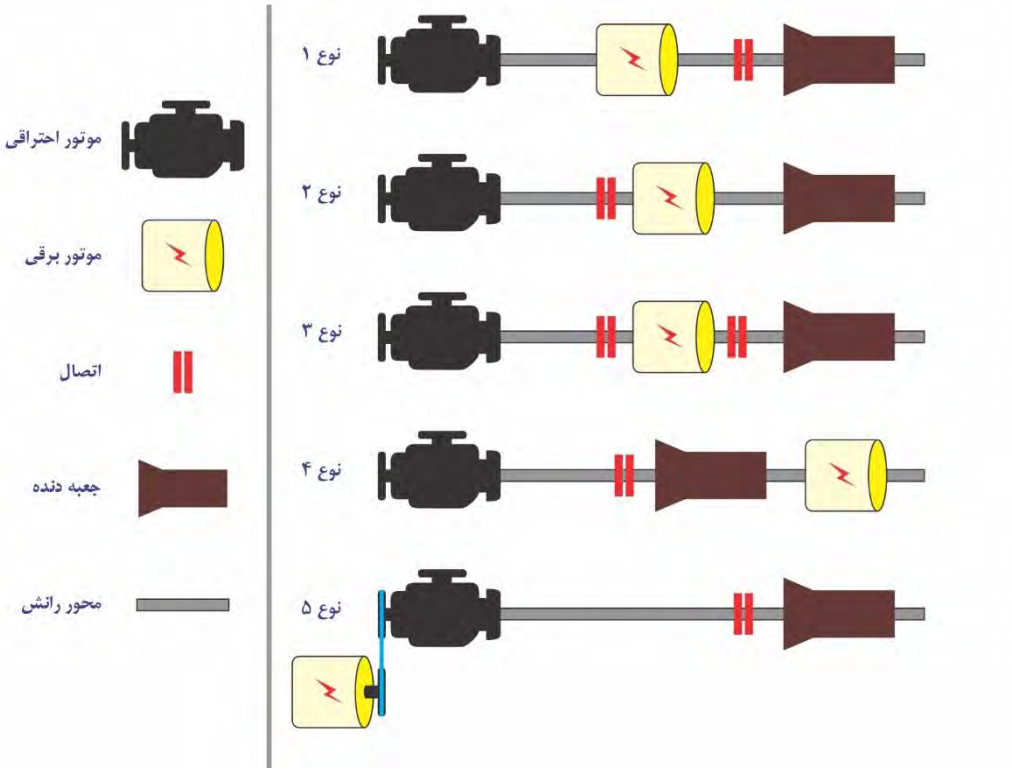
۱-۱-۲ تمام دورگهٔ موازی

در خودروی دورگهٔ موازی نیروی یکی از موتورهای برقی یا احتراقی از طریق یک جعبه‌دنده یا دو جعبه‌دنده مجزا به چرخ‌ها منتقل می‌شود. در این نوع خودرو امکان کارکرد به تنهایی هر کدام از موتورهای احتراقی یا برقی وجود دارد. در حالت ترکیبی که هر دو موتور با دور یکسان کار می کنند، موتور برقی بر حسب شرایط ممکن است در یکی از دو وضعیت مولد برق (ذخیره‌سازی برق در انباره) یا موتور محرک قرار گیرد. نمایی از این نوع خودروی دورگه در شکل ۱-۸ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در خودروی خفیف دورگهٔ موازی، موتور برقی به تنهایی نمی‌تواند خودرو را براند.



شکل ۱-۸ پیکره بندی کلی خودروی دورگهٔ موازی

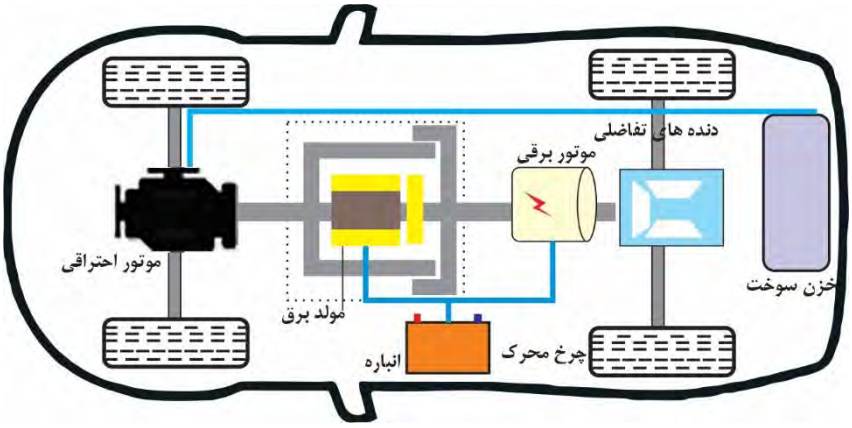
در خودروی خفیف دورگهٔ موازی، امکان تنظیم نقطهٔ کاری موتور در هر دور به نقطهٔ کارکرد بهینه امکان‌پذیر است. تنظیم کارکرد بهینه موتور در یک دور مشخص، با تنظیم بار موتور(یک درجه آزادی) امکان‌پذیر است. خودروهای تمام دورگهٔ موازی نیز بسته به نوع پیکره‌بندی آن‌ها ممکن است از یک یا دو درجه آزادی (بار و دور موتور احتراقی) برخوردار باشند. البته درجه آزادی موتور احتراقی در خودروی موازی به آن مفهوم نیست که لزوماً و در همه شرایط امکان سوق دادن نقطهٔ کاری موتور احتراقی به نقطهٔ پر بازده امکان‌پذیر باشد. به عبارت دیگر بر خلاف نوع ردیفی که دامنه کاری موتور احتراقی همچون یک موتور با کاربری ایستگاهی به پربازده‌ترین نقطه (دور و بار ثابت) محدود می‌شود، در نوع موازی دامنه کاری در محدوده‌ای از دورها و بارهای مختلف با بازده خوب قرار می‌گیرد. در شکل ۱-۹ انواع خودروی دورگهٔ موازی ارائه شده است.



شکل ۱-۹ انواع پیکره‌بندی خودروی دورگهٔ موازی

۱-۱-۳ تمام دورگهٔ ردیفی موازی

مطابق شکل ۱-۱۰ در خودروی دورگهٔ ردیفی‌موازی هر دو موتور برقی و احتراقی مستقیماً به جعبه‌دندهٔ ویژه‌ای متصل هستند که می‌توانند همزمان با دورهای متفاوت کار کنند. این نوع خودروی دورگه موفق‌ترین نوع خودروی دورگه در بازار است که بیش از ۵۰٪ بازار خودروهای دورگهٔ دنیا را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱-۱۰ خودروی دورگهٔ ردیفی موازی

۱-۱-٤ انتخاب مسیر توسعه

خودروهای برقی به دلیل آلودگی موضعی تقریباً ناچیز، مطلوبیت زیادی در شهرهای بزرگ دنیا و مناطق با شدآمد[1] زیاد پیدا کرده‌اند. مسیر توسعهٔ خودرو تمام برقی در ایران با چالش‌های متفاوتی نسبت به سایر نقاط دنیا روبروست که تعدادی از این مسایل در اینجا فهرست شده است:

- نبود زیر ساخت لازم برای خودرو برقی (ایستگاه‌های ذخیره برق شهری در خودرو)
- نبود سامانهٔ پایش مصرف برق خودرو در کشور
- عدم تعریف درست از استفاده خودروبرقی و فاصلهٔ زیاد شهرها
- پیمایش محدود با فناوری فعلی انبارهٔ برقی (چگالی انرژی ضعیف)
- عدم تطابق کفی‌های[2] فعلی خودروسازان داخلی برای خودرو برقی
- محدودیت منابع عناصر انبارهٔ برقی در ایران

پس از بررسی‌های فراوان، اعضای طرح تصمیم به توسعهٔ خودروی دورگه با قابلیت تبدیل ساده به خودروی برقی در خط تولید گرفت. در این ابتکار، قابلیت تولید هر دو نوع خودروی دورگه و برقی با کمترین حجم تغییرات، در یک خط تولید وجود خواهد داشت. در این طرح، خودرو برقی برای کاربردهای خاص و خودروی دورگه برای

[1] Traffic
[2] Platform

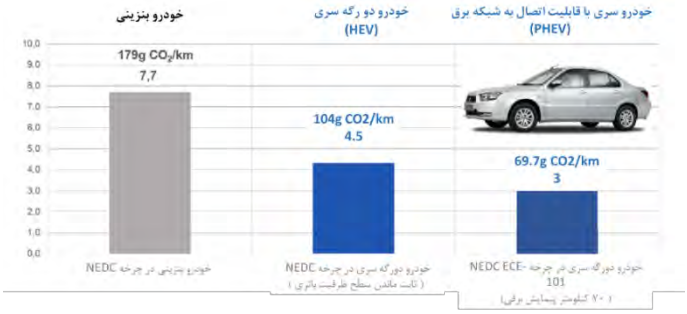
کاربری عمومی تعریف شد. خودروی تمام دورگهٔ ردیفی به دلیل بیشترین نزدیکی به خودروی برقی و نیز مزیت کاهش مصرف سوخت به عنوان گزینهٔ اصلی برای ادامهٔ کار انتخاب شد.

۱-۲ نیازمندی‌ها و محدودیت‌های محصول

نیازمندی‌های طرح در ابتدا تعریف می‌شود تا براساس آن مراحل طراحی از بالا به پایین انجام شود. در جدول ۱-۲جدول ۱-۲ نیازمندی‌های خودروی دورگه در مقایسه با خودروی پایه نشان داده شده است. یکی از مهمترین مزایای خودروی دورگه، کاهش مصرف سوخت است که هدف‌گذاری کاهش مصرف سوخت در ابتدای طرح در شکل
۱-۱۱ نشان داده شده است.

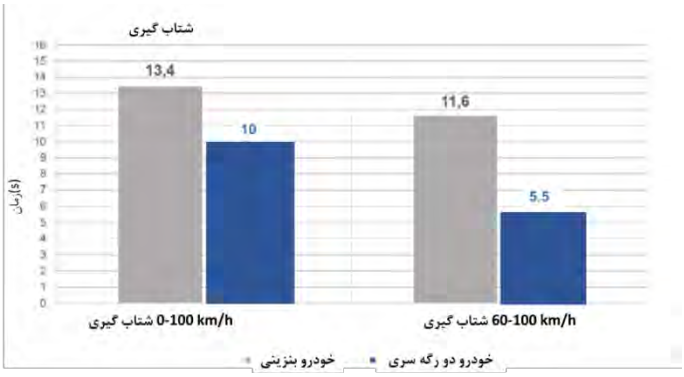
جدول ۱-۲ نیازمندی‌های خودروی دورگه

نتایج شبیه‌سازی			
موارد	واحد	خودروی پایه	خودروی دورگه برد افزا
وزن خودرو	kg	۱۲۵۸	۱۳۹۸
توان موتور	kW	۸۵	۸۷
مولد برق	kW		۲۵
ظرفیت انبارهٔ برقی	kWh		۱۴
عملکردی			
سامانهٔ محرک		محرک جلو	محرک جلو
0-100 kmph	s	۱۳,۴	۱۰
60-100 kmph	s	۱۱,۶	۵,۵
بیشینهٔ سرعت لحظه‌ای	kmph	۲۰۰	۱۴۰
بیشینهٔ سرعت ممتد	kmph	۱۸۹	۱۲۰
مصرف			
متوسط مصرف سوخت	l/100 km	۷,۷	۴,۵
متوسط آلایندگی CO_2	g/km	۱۷۹	۱۰۴
پیمایش تمام برقی	km		۷۰
مصرف سوخت بر اساس ECE101	l/100 km	۷,۷	۳
آلایندگی CO_2 بر اساس ECEC101	g/km	۱۷۹	۶۹,۷



شکل ۱-۱۱ اهداف مصرف سوخت خودروی دورگهٔ ردیفی در مقایسه با خودروی بنزینی

مشخصات شتاب‌گیری خودروی دورگهٔ ردیفی در مقایسه با خودروی پایه در شکل ۱-۱۲شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۲ مقایسهٔ شتاب‌گیری خودرو بنزینی و دورگهٔ ردیفی

ویژگی‌های دیگری نیز برای خودروی مذکور در مدنظر بود که می‌توان به خلاصه موارد اشاره کرد:

- عملکرد خودرو: عملکرد مناسب برای تردد در شهرهای بزرگ با شدآمد سنگین
- فراوانی خودرو در مرحلهٔ تجاری‌سازی: نمونه تجاری شده در بازار دنیا
- پودمانی[1] سامانه‌ها: برقراری از پودمانی حداکثر

[1] Modularity

۱-۲-۱ تغییرات خودرو پایه

به منظور هم‌بندی خودروی دورگه در خطوط هم‌بندی فعلی لازم است کمترین تغییرات را در خودروی پایه اعمال کنیم. ترجیح بر این است با حذف سامانه‌های پیچیده خودرو فعلی و جایگزینی آن‌ها با سامانه‌های ساده تعمیر و نگهداری خودرو با کمترین تغییرات باشد. تغییرات عمده در سامانه‌های خودرویی از قبیل کفی، سامانهٔ تعلیق و بدنه مورد قبول نیست.

۱-۲-۲ تأمین قطعات

شمارگان خودروی دورگه در مراحل اولیهٔ توسعهٔ انبوه با محدویت‌هایی همراه است. بنابراین طرح‌های مفهومی که استفاده از قطعات و سامانه‌های قبلاً توسعه داده شده را امکان‌پذیر می‌کند، از اولویت برخوردار هستند.

۱-۲-۳ همراستایی و انطباق محصول

همراستایی با روند فناوری دنیا و در عین حال تطابق محصول با شرایط رانندگی، جغرافیایی و فرهنگی کشور در مدنظر است. همچنین تطابق محصول با الزامات و استانده‌های آتی کشور مهم است.

۱-۲-٤ رضایت مشتریان

عدم پیچیدگی زیاد، تعمیر و نگهداری آسان و کم‌هزینه، قیمت قابل رقابت محصول، دوام زیاد و هزینهٔ جاری کمتر در مقایسه طرح‌های مفهومی باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-۲-۵ محدودیتهای طرح

- **هزینهٔ توسعهٔ محصول**

مجموع هزینهٔ توسعهٔ محصول با در نظر گرفتن کلیهٔ هزینه‌های جانبی طرح باید به گونه‌ای باشد که پس از سرشکن شدن بر قیمت تمام شدهٔ محصول، توجیه بازار محصول دورگه از دست نرود.

- **زمان دستیابی به محصول**

در صورت بازاریابی محصول و سفارش‌گذاری مشتریان، امکان تأمین و ساخت چند صد دستگاه خودرو حداکثر شش‌ماه پس از اتمام طرح و تأمین انبوه در صورت سرمایه گذاری خودروساز برای تولید انبوه قطعات حداکثر دو سال پس از اتمام طرح وجود داشته باشد.

- **سرمایه‌گذاری تولید**

انعطاف‌پذیری محصول در تأمین سامانه‌ها به جای سرمایه‌گذاری تولید در مراحل اولیه تولید انبوه از اهمیت بسزایی برخوردار است. سرمایه‌گذاری کمتر برای هم‌بندی محصول شاخص مهمی برای انتخاب طرح مفهومی است.

۳-۱ مقایسه طرح‌های مفهومی محتمل برای خودروی دورگه

در ابتدای شروع طرح، ابتکارهای متفاوتی برای خودروی دورگه مطرح شد. این ابتکارها را کارشناسان مطرح کردند که در ادامه چندین طرح پیشنهادی در شکل ۱-۱۳ تا شکل ۱-۱۸ به همراه مزایا و معایب هر طرح ارائه شده است.

- خفیف دورگهٔ تسمه‌ای [1]

این ابتکار کمترین تغییرات را بر روی موتور و سامانهٔ محرک فعلی اعمال می‌کند ولی در عین حال تغییرات کوچکی بر مصرف سوخت خودرو خواهد داشت.

[1] Belt start generator

مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور ملی

جعبه‌دنده: جعبه‌دندهٔ فعلی سمند و رانا

ظرفیت موتور برقی : ۱۵ کیلووات

ظرفیت انباره: ۱ کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۱۵۰۰ یورو

کاهش مصرف سوخت خودرو: ۱۰٪

بهبود قابلیت رانندگی: ندارد

رانش خالص برقی: ندارد

مزیت‌ها:

کمترین تغییرات بر روی سامانه‌های موجود

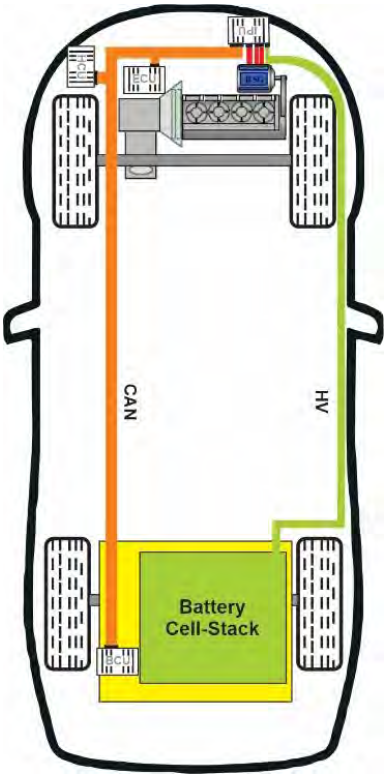
هزینه‌های محدود برای مجموعهٔ قطعات دورگه

قیمت کم محصول

معایب:

بهبود کم

عدم رانش خالص برقی



شکل ۱-۱۳ موازی نوع صفر/ خفیف دورگهٔ تسمه‌ای

- موازی نوع ۱ [1]

به دلیل عدم رانش برقی و در نتیجه عدم کاهش آلودگی محلی (اکسیدهای ازت، هیدروکربن‌ها و منواکسیدکربن) اهداف طرح را برآورده نمی‌کند. همچنین جانمایی موتور برقی با حفظ جعبه‌دنده و موتور جدید امکان‌پذیر نیست.

مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور ملی

جعبه‌دنده: جعبه‌دندهٔ فعلی سمند و رانا

ظرفیت موتور برقی : ۱۵ کیلووات

ظرفیت انباره: ۱ کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۲۰۰۰ یورو

کاهش مصرف سوخت خودرو: ۲۰٪

بهبود قابلیت رانندگی: ۱۵٪

رانش خالص برقی: ندارد

مزیت‌ها:

تغییرات محدود بر روی سامانه‌های موجود

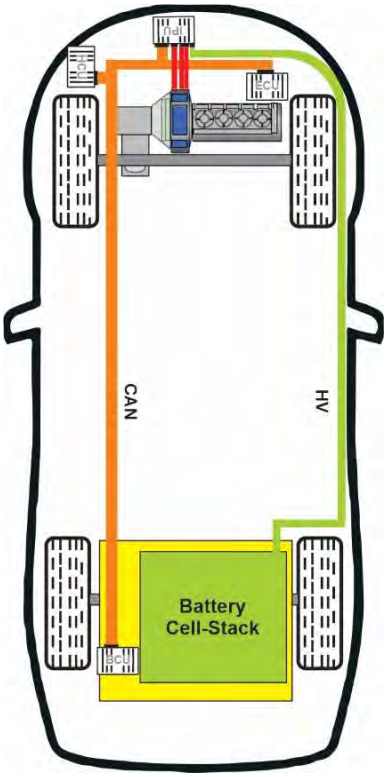
هزینه‌های محدود برای مجموعه قطعات دورگه

قیمت کم محصول/ بهبود قابل توجه

معایب:

محدودیت جانمایی

عدم رانش خالص برقی



شکل ۱-۱۴ موازی نوع ۱/ خفیف دورگهٔ مستقیم

[1] Type 1 parallel

- موازی نوع ۲ و ۳ با دو اتصال چنگکی

نیاز به جعبه‌دنده خودکار جدیدی است. جعبه‌دنده‌های خودکار عمدتا در انحصار شرکت‌های سازنده بوده و امکان تأمین وجود ندارد. در بررسی‌های گسترده صورت گرفته تنها جعبه‌دنده که قابلیت جانمایی در خودروهای پایه را دارد، جعبه‌دنده پیوسته[۱] شرکت پانچ[۲] است.

مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور ملی

جعبه‌دنده: جعبه‌دنده جدید خودکار (ترجیحاً خودکار پیوسته)

ظرفیت موتور برقی : ۱۵ کیلووات

ظرفیت انباره: ۱ کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۲۵۰۰ یورو

کاهش مصرف سوخت خودرو: ۲۰٪

بهبود قابلیت رانندگی: ۱۵٪

رانش خالص برقی در سرعت ثابت ۳۰ کیلومتر بر ساعت: ۱ کیلومتر

مزیت‌ها:

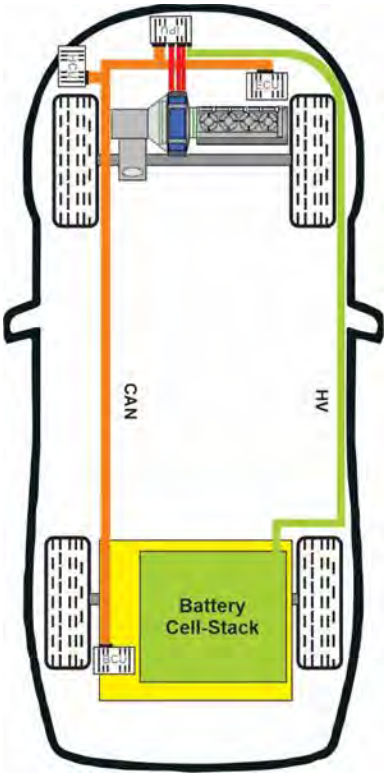
تغییرات محدود بر روی سامانه‌های موجود

هزینه‌های محدود برای مجموعه قطعات دورگه

قیمت کم محصول/ بهبود قابل توجه

معایب:

محدودیت جانمایی

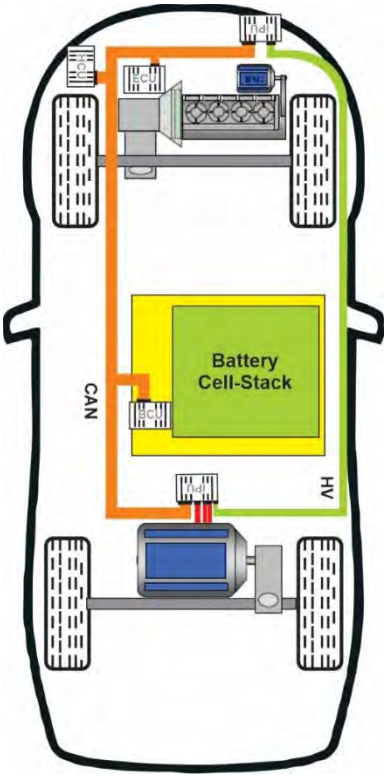


شکل ۱-۱۵ موازی نوع ۳/ تمام دورگه

[۱] CVT
[۲] Puntch

- موازی نوع ۴

این نوع خودروی دورگه از لحاظ جانمایی مطلوب‌تر است اما به‌دلیل نیازمندی به تغییرات عمده در سامانه‌های موجود خودرو به ویژه محورها و کفی، این طرح مفهومی با مانع بزرگی روبرو است.



مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور ملی

جعبه‌دنده: جعبه‌دنده فعلی سمند و رانا

ظرفیت موتور برقی محور عقب: ۳۰ کیلووات

ظرفیت موتور برقی تسمه ای: ۱۵ کیلووات

ظرفیت انباره: ۱ تا ۱۵کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۲۷۰۰ تا ۱۲۰۰۰ یورو (بسته به ظرفیت انباره)

کاهش مصرف سوخت خودرو: ۲۰٪

بهبود قابلیت رانندگی: ۲۰٪

رانش خالص برقی: در سرعت ثابت ۷۰ کیلومتر بر ساعت از ۱ تا ۸۰ کیلومتر

مزیت‌ها:

کاهش مصرف سوخت و بهبود قابلیت رانندگی زیاد

امکان جانمایی راحت‌تر

رانش خالص برقی

ارتقاء خودرو به تمام برقی ساده تر

معایب:

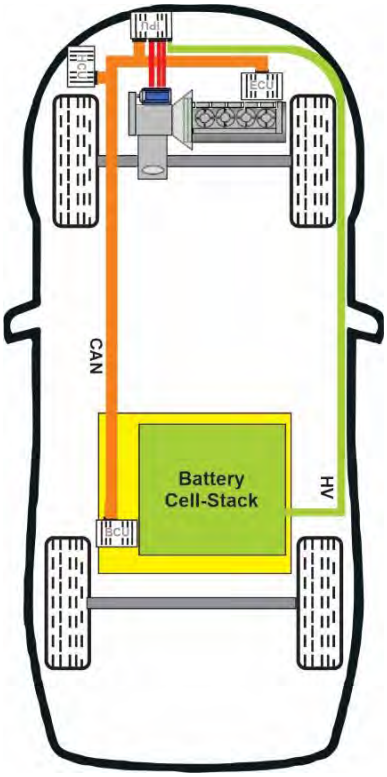
وزن زیاد و گران قیمت

تغییرات پیچیده و زیاد در خودرو (نیاز به توسعهٔ قطعات جدید خودرو)

شکل ۱-۱۶ موازی نوع ۴/ تمام دورگه

- تمام دورگهٔ ردیفی‌موازی

در این ابتکار از تمامی مزایای خودروی دورگهٔ ردیفی و موازی استفاده می‌شود و همزمان بهترین مصرف سوخت و قابلیت رانندگی را دارد. شایان ذکر است که هزینهٔ تمام شده این طرح، قابل توجه و در اختیار تعداد محدودی از شرکت‌هاست.



مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور ملی

جعبه‌دنده: جعبه‌دنده با نوآوری ویژه مورد نیاز است

ظرفیت موتور برقی: ۳۰ کیلووات

ظرفیت انباره: ۱ تا ۱۵ کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۳۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ (بسته به نوع جعبه‌دنده و ظرفیت انباره)

کاهش مصرف سوخت خودرو: ۳۰٪

بهبود قابلیت رانندگی: ۲۰٪

رانش خالص برقی: در سرعت ثابت ۷۰ کیلومتر بر ساعت از ۱ تا ۸۰ کیلومتر

مزیت‌ها:

تغییرات محدود بر روی سامانه‌های موجود

رانش خالص برقی

جانمایی راحت

معایب:

نیاز به توسعه یک جعبه‌دنده جدید

شکل ۱-۱۷ تمام دورگهٔ ردیفی‌موازی

- خودروی تمام دورگهٔ ردیفی[1]

در این طرح، مجموعه قطعات برقی جدید نسبت به سایر گونه‌های دورگه بیشتر است اما با توجه به انعطاف پذیری زیاد برای تبدیل به خودروی کاملاً برقی، خودروی مناسبی برای حرکت در شدآمد سنگین کلان شهرهای کشور است.

مشخصات کلی:

موتور احتراقی: موتور جدید ساده و ارزان قیمت ۳۰ تا ۴۰ کیلووات

جعبه‌دنده: جعبه‌دنده ساده با نسبت تبدیل ثابت ۱۰ به ۱

ظرفیت موتور برقی : ۱۰۰ کیلووات

ظرفیت مولد برق: معادل با ظرفیت موتور احتراقی

ظرفیت انباره: ۱۴کیلووات ساعت

افزایش تقریبی قیمت خودرو: ۱۲۰۰۰ یورو

کاهش مصرف سوخت خودرو: تا ۵۰٪ با انباره کاملاً پرشده

حداکثر سرعت: ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت

رانش خالص برقی: در سرعت ثابت ۷۰ کیلومتر بر ساعت ۸۰ کیلومتر

مزیت‌ها:

کاهش آلودگی، کاهش مصرف سوخت و بهبود قابلیت رانندگی زیاد

امکان جانمایی راحت‌تر

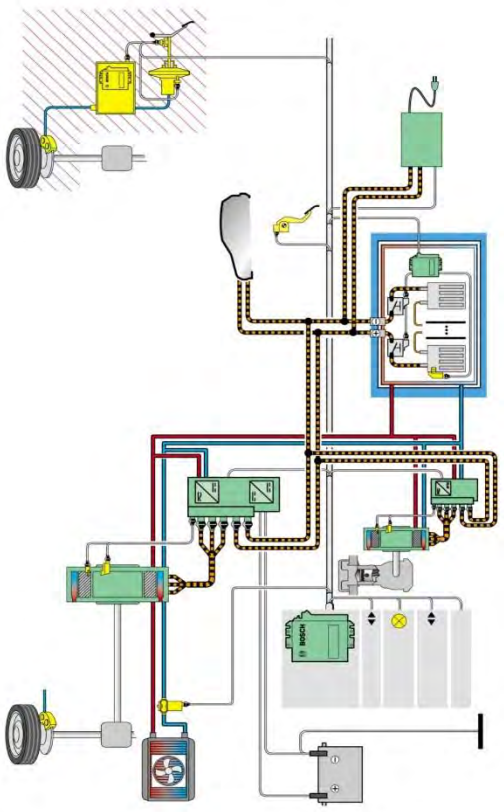
رانش خالص برقی

ارتقاء خودرو به خالص برقی ساده تر است

معایب:

گران قیمت

نیاز به برقی کردن سامانه‌های خودرو از قبیل تلمبهٔ فرمان، تنجار تهویهٔ مطبوع و تقویت کننده خلأیی ترمز



شکل ۱–۱۸ تمام دورگهٔ ردیفی

[1] Full series hybrid

۴-۱ ارزیابی نهایی انواع طرح‌های مفهومی

۱-۴-۱ آرایهٔ انتخاب طرح

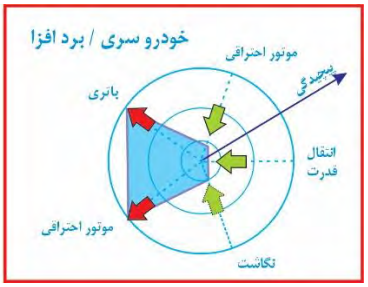
امتیازدهی به هر یک از طرح‌های مفهومی[1] بر اساس تجربیات قبلی، پیشنهاد شرکت‌های مشاور[۵] استخراج شده است. جدول ۱-۳ شاخصه‌های مهم امتیازدهی و امتیاز هر کدام از طرح‌های مفهومی را نشان می‌دهد.

خودروی دورگهٔ ردیفی در مقایسه با دورگهٔ موازی در نمودار تارعنکبوتی شکل ۱-۱۹ مقایسه شده است. در این شکل این دو ابتکار از منظر انباره، موتور برقی، انتقال قدرت، پیچیدگی و موتور احتراقی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این شکل نشان می‌دهد، به جز موتور برقی و انباره، خودروی دورگه ردیفی از مزیت بیشتری نسبت به خودروی دورگهٔ موازی برخوردار است.

جدول ۱-۳ شاخصهای مهم انواع طرح‌های مفهومی

مشخصات	نیازمندهای محصول																								محدودیتهای طرح		فیلتر نهایی
	فی					تغییرات خودرو پایه			تامین قطعات اصلی			عمر استانی و انطباق محصول				رضایت مشتریان				هزینه توسعه محصول		زمان دستیابی به محصول	سرمایه گذاری	
	مصرف سوخت	ایمنی	عملکرد	قابلیت بودجه‌ای	فراوانی در بازار	بدنه	قوای محرکه	سامانه های خودرو	میزان تجاری سازی	تعداد منابع در دسترس	تعداد خودروهای استفاده کننده	روند فناوری	زیرساختار های کشور	شرایط محیطی	استانداردهای آتی	قیمت	دوام	هزینه جاری	پیچیدگی تغییرات	هزینه این مرحله	هزینه های بعدی			
ضریب وزنی	۵	۵	۲	۲	۲	۵	۴	۳	۴	۲	۲	۵	۴	۵	۲	۵	۴	۲	۲	۴	۴	۴	۴	
انواع دورگه																								
دورگه موازی نوع ۱	۲	۱	۲	۵	۵	۷	۴	۷	۷	۵	۶	۳	۴	۲	۴	۷	۶	۵	۶	۶	۵	۶	۷	۴۲۵
دورگه موازی نوع ۲	۳	۲	۴	۲	۴	۶	۴	۳	۲	۴	۵	۵	۲	۳	۶	۵	۵	۴	۵	۴	۳	۵	۵	۳۶۷
دورگه موازی نوع ۳	۴	۳	۵	۴	۲	۶	۴	۳	۳	۴	۵	۵	۲	۴	۷	۴	۵	۶	۵	۱	۲	۴	۶	۳۶۶
دورگه موازی نوع ٤	۶	۳	۶	۲	۶	۱	۸	۳	۲	۳	۳	۵	۲	۴	۷	۳	۴	۴	۲	۱	۱	۴	۳	۳۲۱
دورگه موازی نوع ۵	۱	۱	۲	۵	۲	۹	۶	۸	۷	۵	۵	۲	۴	۲	۲	۸	۶	۴	۷	۷	۸	۷	۸	۴۶۰
دورگه سری	۶	۴	۴	۳	۲	۸	۶	۳	۶	۵	۶	۸	۲	۵	۸	۲	۷	۴	۵	۴	۶	۶	۶	۴۶۲
دورگه سری موازی	۵	۲	۶	۹	۲	۵	۲	۳	۹	۱	۴	۶	۳	۵	۷	۶	۵	۵	۳	۱	۱	۱	۱	۳۵۱

[1] Concept designs



شکل ۱-۱۹ ارزیابی خودروی ردیفی در مقابل خودروی موازی

خودروی ردیفی به لحاظ جعبه‌دنده ساده است و از یک جعبه‌دندهٔ تک دنده بهره می‌برد در صورتی‌که جعبه‌دنده در خودروهای موازی به دلیل خودکار بودن دارای پیچیدگی‌های زیادی است. در خودروهای ردیفی، سطح نگاشت ساده و وابسته به سطح ذخیره‌سازی انباره است در صورتی‌که در خودروهای موازی نیاز به نگاشت موتور احتراقی و موتور برقی در محدوده تجمیع گشتاوری می‌باشد. موتور احتراقی در خودروی ردیفی فقط در یک نقطهٔ کاری که بهینه‌ترین مصرف سوخت را داراست فعالیت می‌کند که منجر به کمترین مصرف سوخت می‌شود اما در یک خودروی موازی، موتور احتراقی در گستره‌ای از نقاط (سرعت و بار) فعالیت می‌کند که لزوماً نقاط کاری بهینه موتور احتراقی نیستند.

درجدول ۱-۴ انواع مختلف خودرو با سامانه‌های مختلف تولید توان با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مشاهده می‌شود خودروی دورگهٔ ردیفی در مقایسه با دیگر طرح‌ها امتیاز بیشتری در حوزه‌های پیمایش خودرو، قابلیت‌های خودران و اهداف آلایندگی دست پیدا کرده است. خودروی دورگهٔ ردیفی دارای موتور احتراقی است که در بهینه‌ترین نقطه کار می‌کند و در نتیجه مصرف سوخت خودرو کاهش پیدا کرده و پیمایش خودرو افزایش می‌یابد. بیشترین آلایندگی موتور احتراقی در راه‌اندازی سرد است. موتور احتراقی در خودروی ردیفی بسته به مقدار ذخیره انباره[1] روشن می‌شود و مدیریت هوشمند خودرو می‌تواند پس‌پالایشگر را به کمک گرمکن برقی قبل از راه‌اندازی موتور احتراقی گرم‌کند. در خودروی موازی عملاً روشن شدن موتور احتراقی وابسته به گشتاور درخواستی راننده است و روشن شدن موتور احتراقی به وسیلهٔ مدیریت هوشمند خودرو قابل پیش‌بینی نیست.

[1] SOC

جدول ۱-۴ مقایسه انواع مختلف خودرو با سامانه‌های مختلف تولید توان

	دیزل	بنزینی	دورگه موازی	دورگه ردیفی	برقی	پیل سوختی
پیمایش کل خودرو	☺	😐	😐	☺	☹	😐
تجهیزات سوخت رسانی / شارژ	😐	😐	😐	😐	☹	☹☹
اهداف آلایندگی(2025/ 2020)	☹☹	☹	😐	☺	☺☺	☺☺
آینده خودروها (خودران / برقی)	☹	☹	😐	☺	☺	☺
دسترسی به نقاط شهری بدون آلایندگی	☹	☹	😐	☺	☺	☺
هزینه قوای محرکه	😐	☺	☹	😐	☹	☹☹
یکتا بودن فناوری	😐	😐	😐	☺☺	😐	😐
ارزیابی	3☹	2☹	1☹	6☺	1☺	😐

و در نهایت از منظر درخواست مشتری انواع طرح‌های مفهومی با یکدیگر در جدول ۱-۵ مقایسه شده‌اند. بر اساس هدف خودرو، نوع برقی‌سازی خودرو مشخص شده است. این اهداف تعیین کنندهٔ نوع برقی‌سازی هستند.

جدول ۱-۵ تعیین قوای محرکه بر اساس هدف

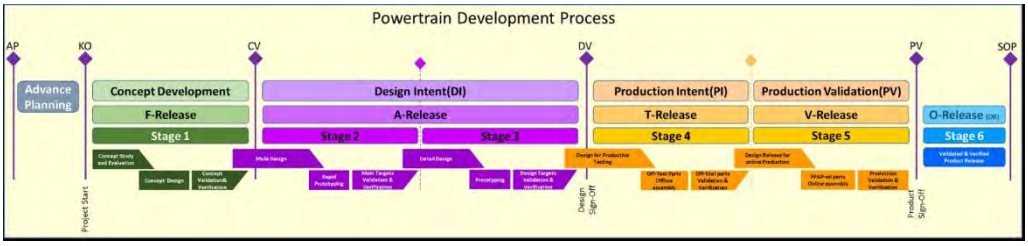
قوای محرکه	هدف
دورگهٔ موازی با خودرو برقی با انباره بزرگ	لذت رانندگی / رانندگی پرشتاب
دورگهٔ ردیفی با خودرو برقی	آلایندگی
دورگهٔ ردیفی با خودرو برقی	گازهای گلخانه ای
دورگهٔ ردیفی	هزینه

مقایسهٔ انواع مختلف خودروهای دورگه نشان داد که خودروی دورگهٔ ردیفی با در نظر گرفتن جمیع جوانب از مزیت بیشتری نسبت به سایر خودروهای دورگه و برقی برای بازار ایران برخوردار است.

در ادامه و بر مبنای استانداردهٔ توسعهٔ محصول شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو که از روش الگوی وی[1] استفاده می‌کند، خودروی دورگهٔ ردیفی طراحی شد و مورد آزمون‌های عملکردی قرار گرفت. الگوی

[1] V-Model

توسعهٔ محصول وی که نمایی از آن در شکل ۱-۲۰ نشان داده شده است، بر مبنای طراحی در یک یال وی و صحه‌گذاری در یال دیگر وی استوار است.



شکل ۱-۲۰ مراحل استانداردِ توسعهٔ محصول قوای محرکه بر مبنای الگوی وی

بر مبنای الگوی وی، ابتدا سامانه‌ها و قطعات خودروی دورگه شبیه‌سازی و طراحی می‌شود. در انتهای مرحلهٔ طراحی و به منظور ارزیابی طراحی و محاسبات، آزمون‌هایی در سطوح قطعه یا سامانه انجام می‌شود و پس از تأیید محاسبات و طراحی، مرحلهٔ بعدی طراحی انجام می‌شود. در ادامه، مراحل مختلف توسعهٔ خودروی دورگه به تفصیل آمده است. در ابتدا و به منظور شناخت فناوری‌های موجود در خودروهای دورگه، الگوبرداری از خودروهای دورگه انجام شد. در ادامه محاسبات مهندسی و طراحی سامانه‌ها و قطعات انجام پذیرفت. به منظور تطابق موتور احتراقی و اجزاء برقی، آزمون‌های مصرف سوخت و توان بر موتور احتراق داخلی انجام شد. با تکیه بر نتایج آزمون‌های احتراقی، نگاشت خودروی دورگه انجام شد. هم‌بندی خودروی دورگه و در ادامه آزمون‌های صحه‌گذاری و عملکردی، صحت شبیه‌سازی و طراحی را تأیید کرد. در فصول آینده به تفصیل در مورد هر کدام از مراحل توسعهٔ خودروی دورگه توضیحات مبسوط ارائه شده است.

فصل دوم

الگوبرداری

۲-الگوبرداری

۲-۱ الگوبرداری خودروهای دورگه

الگوبرداری به مفهوم دریافت ابتکارهای به کار رفته در محصولات مشابه و پیاده‌سازی آن‌ها برای محصول در حال توسعه است. در بسیاری از طرح‌های توسعه‌ای اولین گام قبل از طراحی مفهومی محصول، الگوبرداری است. داده‌های فراوانی در طی فرایند الگوبرداری ثبت و ارزیابی می‌شوند تا دانش کسب شده در طراحی مفهومی استفاده گردد. در فرایند الگوبرداری طرح دورگه، سه نوع از متداولترین طرحواره‌های خودروی دورگه در زمان خود برای تحقیق و بررسی انتخاب شد. این سه خودرو بر اساس شمارگان تولید و فروش، جزو محبوب‌ترین خودروها در بازار ژاپن و اروپا بودند. تصاویر خودروها در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. مشخصات این سه خودرو در کنار خودروی سمند به عنوان یک خودرو کاملاً احتراقی بدین شرح می‌باشد.

تویوتا پریوس

هوندا سیویک

سیتروئن سی ۳

سمند

شکل ۲-۱ تصاویر خودروهای الگوبرداری

۱. خودروی تویوتا پریوس:

این خودرو از نوع تمام دورگه است و برای سال‌های متمادی پرفروش‌ترین خودروی دورگه بوده است. مشخصات خودروی خریداری شده که در جدول ۲-۱ ارائه شده است، متعلق به نوع تولید شده در سال ۲۰۱۰ است.

جدول ۲-۱ مشخصات خودروی دورگه تویوتا پریوس ۲۰۱۰ استفاده شده در الگوبرداری

خودرو	
وزن	۱۳۳۰ کیلوگرم
حجم مخزن سوخت	۴۵ لیتر
مصرف سوخت (شهری / برون شهری)	۵,۲ / ۴,۹ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر
قدرت	۸۱ کیلووات
موتور احتراقی	
نوع	۴ استوانه اتکینسون
حجم موتور	۱۴۹۷ سی‌سی
نوع اهرم‌بندی دریچه	۱۶ دریچه با زمانبندی متغییر
نسبت تراکم	۱۳:۱
سامانهٔ سوخت‌رسانی	تزریق درگاهی
سامانهٔ جرقه‌زنی	سیم‌پیچ جرقه
قدرت	۵۷ کیلو وات
گشتاور	۱۱۱ نیوتن متر
جعبه‌دنده	
نوع	نسبت دنده متغیر با مدیریت الکترونیکی
موتور برقی	
نوع	سه فاز با هسته مغناطیس دائم
قدرت	۵۰ کیلو وات
گشتاور	
انبارهٔ برقی	
نوع	نیکل متال هیدرید
ولتاژ	۲۰۰ ولت
جریان	۶,۵ آمپر ساعت

۲. خودروی هوندا سیویک

این خودرو، یک خودروی خفیف دورگه است که در سال ۲۰۱۰ جزء نمونه‌های خوب خفیف دورگه در بازار ژاپن بوده است. مشخصات این خودرو در جدول ۲–۲جدول ۲–۲ نشان داده شده است.

جدول ۲–۲ مشخصات خودروی دورگه هوندا سیویک۲۰۱۰ استفاده شده در الگوبرداری

خودرو	
وزن	۱۳۰۴ کیلوگرم
حجم مخزن سوخت	۴۶٫۵ لیتر
مصرف سوخت (شهری / برون شهری)	۵٫۹ / ۵٫۲ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر
قدرت	۸۲ کیلووات
موتور احتراقی	
نوع	۴ استوانه
حجم موتور	۱۳۳۹ سی‌سی
نوع اهرم‌بندی دریچه	۸ دریچه با کنترل ارتفاع بلند شدن دریچه
نسبت تراکم	۱۰٫۸:۱
سامانهٔ سوخت‌رسانی	تزریق درگاهی
سامانهٔ جرقه‌زنی	سیم‌پیچ جرقه
قدرت	۶۶ کیلو وات
گشتاور	۱۲۰ نیوتن متر
جعبه‌دنده	
نوع	نسبت دنده متغیر
موتور برقی	
نوع	آهنربا دائم
قدرت	۱۵ کیلو وات
گشتاور	
انبارهٔ برقی	
نوع	نیکل متال هیدرید
ولتاژ	۱۵۰ ولت
جریان	۵٫۵ آمپر ساعت

۳. خودروی سیتروئن سی۳[۱]

این خودرو یک خودروی ریز دورگه بوده که جزو خانواده خودروهای پرفروش سیتروئن بود. مشخصات خودرو مذکور در جدول ۲-۳ ارائه شده است.

جدول ۲-۳ مشخصات خودروی دورگه سیتروئن سی۳ استفاده شده در الگوبرداری

خودرو	
وزن	۱۰۵۷ کیلوگرم
حجم مخزن سوخت	۴۵ لیتر
مصرف سوخت (شهری / برون شهری)	۶٫۹ / ۴٫۹ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر
قدرت	۶۵ کیلووات
موتور احتراقی	
نوع	۴ استوانه
حجم موتور	۱۳۶۰ سی‌سی
نوع اهرم‌بندی دریچه	۱۶ دریچه
نسبت تراکم	۱۰٫۷:۱
سامانهٔ سوخت‌رسانی	تزریق درگاهی
سامانهٔ جرقه‌زنی	سیم‌پیچ جرقه
قدرت	۶۵ کیلو وات
گشتاور	۱۳۳ نیوتن متر
جعبه‌دنده	
نوع	دستی با کلاچ خودکار برقی
موتور برقی	
نوع	سه فاز با هسته مغناطیس دائم
قدرت	۵ کیلو وات
گشتاور	
انبارهٔ برقی	
نوع	
ولتاژ	۱۲ ولت
جریان	۷۵ آمپر ساعت

[۱] C3

۴. خودروی سمند:

در الگوبرداری خودروهای دورگه، خودروی بنزینی سمند نیز به منظور مقایسه در ردهٔ وزنی خودروهای الگوبرداری انتخاب شد که بتوان مشخصه‌های مختلف از جمله مصرف سوخت را با یک خودروی بنزینی هم‌رده مقایسه نمود. خودروی سمند مجهز به موتور بنزینی ملی[۱] می‌باشد. مشخصات خودرو در جدول ۲-۴ نشان داده شده است.

جدول ۲-۴ مشخصات خودرو بنزینی سمند استفاده شده در الگوبرداری

خودرو	
وزن	۱۲۲۰ کیلوگرم
حجم مخزن سوخت	۷۰ لیتر
مصرف سوخت (شهری / برون شهری)	۱۰٫۳ / ۵٫۷ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر
قدرت	۸۵ کیلووات
موتور احتراقی	
نوع	۴ استوانه
حجم موتور	۱۶۵۰ سی‌سی
نوع اهرم‌بندی دریچه	۱۶ دریچه
نسبت تراکم	۱۱٫۲:۱
سامانهٔ سوخت‌رسانی	تزریق درگاهی
سامانهٔ جرقه‌زنی	سیم‌پیچ جرقه
قدرت	۸۵ کیلو وات
گشتاور	۱۵۶ نیوتن متر
جعبه‌دنده	
نوع	دستی
انبارهٔ برقی	
نوع	
ولتاژ	۱۲ ولت
جریان	۶۵ آمپر ساعت

[۱] EF7

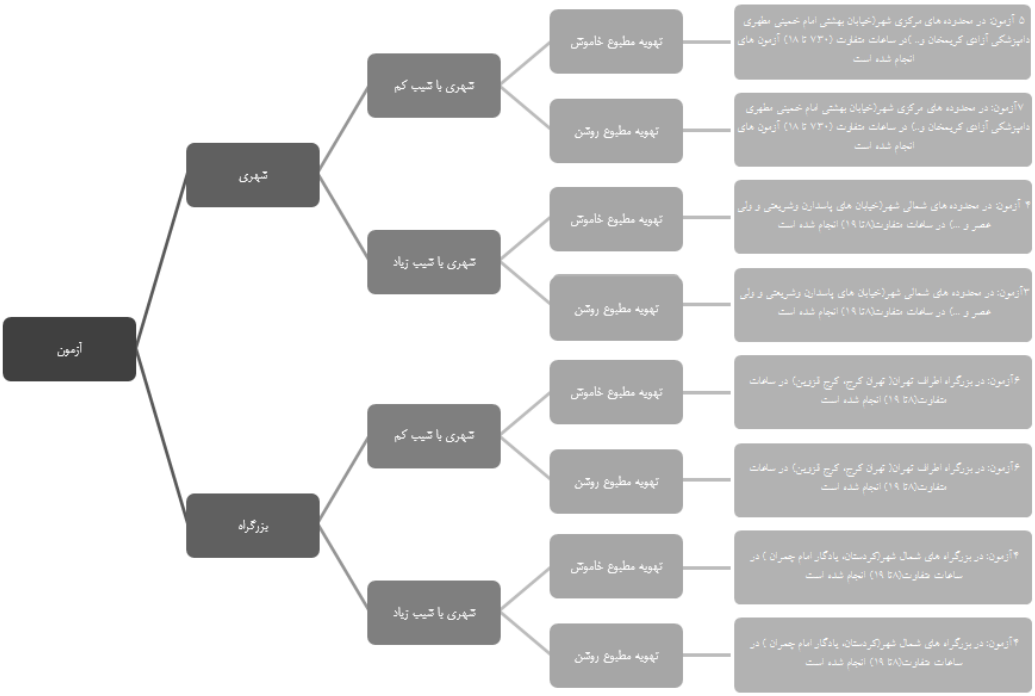
۲-۲ آزمون

اطلاعات مصرف سوخت خودروهای الگوبرداری در چرخهٔ استانداردهٔ اروپایی در جدول ۲-۵جدول ۲-۵ نشان داده شده است. سازندهٔ خودرو این اطلاعات را ارائه کرده است.

جدول ۲-۵ اطلاعات مصرف سوخت خودروهای الگوبرداری در چرخهٔ اروپایی و مقایسهٔ آن با خودرو بنزینی سمند

نوع خودرو	داخل شهر	مقایسه مصرف (درصد)	برون شهری	مقایسه مصرف (درصد)	ترکیبی	مقایسه مصرف (درصد)
سمند با موتور ملی	۱۰٫۳		۵٫۷		۷٫۵	
سیتروئن سی ۳	۶٫۹	-۳۳	۴٫۹	-۱۴	۵٫۷	-۲۴
هوندا سیویک	۵٫۹	-۴۲٫۷	۵٫۲	-۸٫۸	۵٫۵	-۲۶٫۷
تویوتا پریوس	۴٫۹	-۵۲٫۴	۵٫۲	-۸٫۸	۵٫۱	-۳۲

در جدول ۲-۵ نشان داده شده است که کاهش مصرف سوخت اعلامی شرکت‌های سازنده در چرخهٔ شهری قابل توجه است. در چرخهٔ برون شهری به دلیل قرارگیری موتور احتراقی خودرو بنزینی در شرایط نسبتاً بهینه، کاهش مصرف سوخت خودوری دورگه کمتر است. به منظور بررسی کاهش مصرف سوخت در شرایط چرخهٔ واقعی شهر تهران، یک چرخهٔ آزمون مطابق شکل ۲-۲ برای خودروها تعریف شد و قرار شد خودروها در این چرخهٔ واقعی مورد آزمون قرار گیرند.



شکل ۲-۲ نحوهٔ تعریف آزمون در شرایط واقعی شهر تهران

در این چرخه حالت‌هایی برای دو عملکرد روشن و خاموش تهویهٔ مطبوع درنظر گرفته شد:

- خیابان‌های شهری با شیب کم
- خیابان‌های شهری با شیب زیاد
- بزرگراه‌های با شیب کم
- بزرگراه‌های با شیب زیاد

آزمون‌ها در شرایط کاری عنوان شده برای هر چهار خودرو بررسی شد، این موارد در حین آزمون شایان ذکر است:

۱. در شرایط تهویهٔ مطبوع روشن، بخشی از انرژی ذخیره شده در انباره، صرف تهویهٔ خودرو می‌شود. لذا تغییرات مصرف سوخت خودروی پریوس و سیویک نسبت به سایر خودروها که از تنجار مکانیکی برخوردار می‌باشند، بیشتر است.

۲. توقف خودروها در مقایسه با چرخهٔ استانداردِ اروپایی بین ۲۰ تا ۷۰ درصد کمتر است.

۳. در دو آزمون، سرعت متوسط خودروها بیشتر از مقدار چرخهٔ استانده است و در بقیه آزمون‌ها سرعت متوسط کمتر از چرخه می‌باشد که حاکی از سنگین بودن شدآمد در مقایسه با چرخهٔ استانده است.

۴. با توجه به رفت و برگشتی بودن سفرها (یعنی هرکس از محل زندگی به محل کار یا برعکس در تردد است یا بیشتر تاکسی‌ها نیز در یک مسیر رفت وبرگشت در تردد هستند)، مصرف سوخت در مجموع رفت و برگشت محاسبه شده است ولی نتایج به تفکیک رفت یا برگشت نیز موجود است.

۲-۳ تحلیل نتایج مصرف سوخت

با توجه به موارد ذکر شده، نتایج مصرف سوخت داخل شهری برای چهار خودرو در جدول ۲-۶جدول ۲-۶ نشان داده شده است.

جدول ۲-۶ نتایج پیمایش در شهر تهران برای خودروهای الگوبرداری

		پیمایش در شرایط با شیب کم					پیمایش در شرایط با شیب زیاد					
	نتایج رسمی (Lit/100km)	تجزیه مطبوع خاموش (Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	تجزیه مطبوع روشن (Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با تجزیه مطبوع خاموش (درصد)	تجزیه مطبوع خاموش (Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با شیب کم (درصد)	تجزیه مطبوع روشن (Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با تجزیه مطبوع خاموش (درصد)	مقایسه با شیب کم (درصد)
سمند	۱۰,۳	۹,۸	-۴,۹	۱۴,۰	۳۵,۹	۴۲,۹	۱۵,۱	۴۶,۶	۵۴,۱	۱۸,۴	۷۸,۶	۲۱,۹	۳۱,۴
سیتروئن سی ۳	۶,۹	۷,۵	۸,۷	۱۰,۵	۵۲,۲	۴۰,۰	۹,۵	۳۷,۷	۴۶,۷	۱۲,۲	۷۶,۸	۲۸,۴	۱۶,۲
هوندا سیویک	۵,۹	۶,۵	۱۰,۲	۹,۴	۵۹,۳	۴۴,۶	۹,۵	۶۱,۰	۴۶,۲	۱۳,۲	۱۳۳,۷	۳۸,۹	۴۰,۴
تویوتا پریوس	۴,۹	۵,۲	۶,۱	۷,۴	۵۱,۰	۴۲,۳	۵,۳	۸,۲	۱,۹	۸,۳	۶۹,۴	۵۶,۶	۱۲,۲

نتایج حاصله در شرایط شهری با شیب کم حاکی از افزایش مصرف سوخت کلیه خودروها نسبت به نتایج رسمی سازنده است. جدول ۲-۶جدول ۲-۶ نشان می‌دهد؛ خودروی سیتروئن ۸,۷ درصد ، هوندا سیویک ۱۰,۲ درصد و تویوتا پریوس ۶,۱ درصد نسبت به مقدار مصرف سوخت اعلامی کارخانه سازنده افزایش مصرف سوخت داشته‌اند. خودرو سمند به طور متوسط ۴,۹ درصد مصرف سوخت کمتری نسبت به اعداد اعلام شده سازنده داشته است.

مقدار کاهش مصرف سوخت سیتروئن۲۳٫۵ درصد، هوندا سیویک ۳۳٫۷ درصد و تویوتا پریوس ۴۶٫۹ نسبت به خودرو سمند بوده است. در شرایط استفاده از تهویهٔ مطبوع خودرو مصرف سوخت همه خودروها ۴۰ تا ۴۴٫۶ درصد افزایش یافته است.

بیشترین کاهش مصرف سوخت خودروهای دورگه نسبت به خودروی سمند بنزینی، در پیمایش مسیر شیب‌دار حاصل شده است. خودروهای سیتروئن و هوندا سیویک ۳۷ درصد و تویوتا پریوس ۶۵ درصد سوخت کمتری نسبت به خودرو سمند در مسیر شیب‌دار مصرف کرده‌اند.

با افزایش شیب مسیر، مصرف سوخت خودرو افزایش می‌یابد. خودروی سمند در تغییر مسیر از کم‌شیب به پرشیب افزایش ۵۴ درصدی مصرف سوخت را به همراه دارد. در این تغییر الگوی مسیر خودروهای دورگه تویاتا پریوس، هوندا سیویک و سیتروئن به ترتیب ۲درصد، ۴۶درصد و ۲۷ درصد افزایش مصرف سوخت داشته‌اند. خودروی تویوتا پریوس به دلیل نگاشت خودرویی مناسب و پیمایش برقی در مسیرهای شیب‌دار تأثیر پذیری کمتری از الگوی مسیر داشته است. شایان ذکر است در تمامی مسیرهای شهری و برون‌شهری خودروی دورگهٔ تویوتا پریوس کمترین مصرف سوخت را در میان خودروهای مختلف داشته است. شایان ذکر است که خودروی سیتروئن سبک‌ترین خودرو در میان خودروهای الگوبرداری بود و بخش قابل توجهی از کاهش مصرف سوخت این خودرو ناشی از سبک بودن آن است. سامانهٔ ریزدورگه در چرخهٔ شهری واقعی تهران به دلیل توقف‌های متعدد در شدآمد خزشی کارایی مناسب خود را در کاهش مصرف سوخت از دست می‌دهد و قابلیت رقابت را با خودروهای تمام دورگه ندارد. نتایج مصرف سوخت بزرگراهی (برون شهری) برای چهار خودروی دورگه در جدول ۲-۷جدول ۲-۷ نشان داده شده است.

جدول ۲-۷ نتایج پیمایش در شهر تهران برای خودروهای الگوبرداری

		پیمایش در بزرگراه با شیب کم					پیمایش در بزرگراه با شیب زیاد						
	نتایج رسمی (Lit/100km)	تهویه مطبوع خاموش(Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	تهویه مطبوع روشن(Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با تهویه مطبوع خاموش (درصد)	تهویه مطبوع خاموش(Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با شیب کم (درصد)	تهویه مطبوع روشن(Lit/100km)	مقایسه با استاندارد (درصد)	مقایسه با تهویه مطبوع خاموش (درصد)	مقایسه با شیب کم (درصد)
سمند	۵٫۷	۶٫۴	۱۲٫۳	۷٫۴	۲۹٫۸	۱۵٫۶	۷٫۲	۲۶٫۳	۱۲٫۵	۷٫۵	۳۱٫۶	۴٫۲	۱٫۳
سیتروئن سی ۳	۴٫۹	۵٫۳	۸٫۲	۵٫۷	۱۶٫۳	۷٫۵	۶٫۱	۲۴٫۵	۱۵٫۱	۶٫۸	۲۸٫۸	۱۱٫۵	۱۹٫۳
هوندا سیویک	۵٫۲	۵٫۱	۱٫۹	۵٫۴	۳٫۸	۵٫۹	۵٫۹	۱۳٫۵	۱۵٫۷	۶٫۶	۲۶٫۹	۱۱٫۹	۲۲٫۲
تویوتا پریوس	۵٫۲	۴٫۵	-۱۳٫۵	۴٫۷	-۹٫۶	۴٫۴	۴٫۸	-۷٫۷	۶٫۷	۵٫۲	۰	۸٫۳	۱۰٫۶

در جدول ۲-۷ نشان داده شده است که تفاوت محسوسی میان آزمون‌ها با تهویهٔ مطبوع روشن و خاموش در آزمون بزرگراه با شیب کم مشاهده نمی‌شود. در آزمون بزرگراه با شیب کم نیز خودروی تویوتا پریوس بهترین نتایج مصرف سوخت را کسب کرده است. کاهش مصرف سوخت خودروی سیتروئن به دلیل وزن کم این خودرو در مقایسه با سمند است. سامانهٔ ریز دورگهٔ این خودرو تأثیری در کاهش مصرف ۱۰ تا ۲۲ درصدی این خودرو ندارد و حتی با خاموش کردن این سامانه کاهش مصرف سوخت در حدود همین مقدار باقی ماند. شایان ذکر است که مصرف خودروی تویوتا پریوس با وزن بیش از ۱۳۳۰ کیلوگرم همواره از یک خودروی ریز دورگه با وزن ۱۰۵۷ کیلوگرم کمتر است. بهبود مصرف خودروی تمام دورگه با توجه به نوع شدآمد و شیب خیابان‌های تهران، به مراتب کمتر از خودروی خفیف دورگه است.

فصل سوم

محاسبات مهندسی

۳- محاسبات مهندسی

۳-۱ تحلیل پویایی خودروی دورگه

حرکت‌های خودرو و تغییرات مشخصات پویایی خودرو در طول این حرکت‌ها از تحلیل‌های بسیار مهم برای بررسی عملکرد خودرو است. تغییر موقعیت مرکز جرم خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه تأثیری به سزا در رفتار پویایی خودرو دارد. تحلیل‌های مهم، در چهار حوزهٔ اصلی است:

- تحلیل سامانهٔ تعلیق
- تحلیل سامانهٔ فرمان
- تحلیل سامانهٔ محور محرک چرخ‌ها
- تحلیل پویایی خودرو در حرکت‌های مختلف

۳-۱-۱ تحلیل‌های سامانهٔ تعلیق

یکی از تحلیل‌های مهم در بخش دینامیک خودرو، تحلیل‌های سامانهٔ تعلیق خودرو است. نرم‌افزار آدامز-کار[۱] توانایی تحلیل‌های شبه ایستایی[۲] را بر روی سامانهٔ تعلیق خودرو داراست. در این تحلیل‌ها نیروی انتقالی از سامانهٔ تعلیق به بدنهٔ خودرو و سایر مشخصه‌های هندسی مجموعهٔ تعلیق، ارزیابی می‌شوند. یکی از این تحلیل‌های مهم محاسبهٔ حرکت عمودی چرخ‌ها[۳] است. حرکت عمودی چرخ‌ها به سه شیوهٔ مختلف قابل اجرا است.

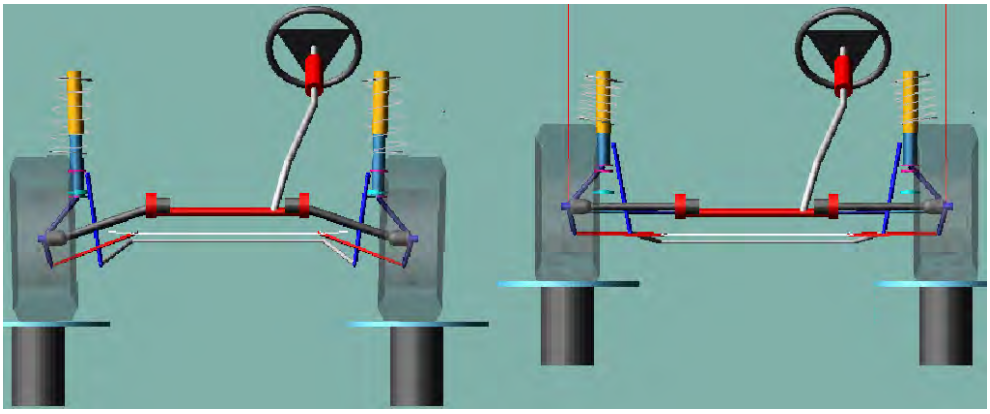
- حرکت عمودی هم‌فاز دو چرخ[۴]: در این تحلیل هر دو چرخ (جلو یا عقب) به صورت هم‌فاز و هم‌اندازه وادار به حرکت عمودی می‌شوند و تغییرات زوایای مهم طراحی به همراه نیروهای وارد بر بدنه مورد تحلیل و ارزیابی واقع می‌شوند.
- حرکت عمودی در خلاف جهت دو چرخ[۵]: در این تحلیل، دو چرخ (جلو یا عقب) به صورت غیر هم‌فاز و در خلاف جهت یکدیگر و هم اندازه در جهت عمودی حرکت داده می‌شوند. تغییرات زوایای مهم طراحی و نیروهای بخش‌های مختلف سامانهٔ تعلیق خروجی این تحلیل پویایی هستند.
- حرکت عمودی یک چرخ[۶]: در این تحلیل یکی از چرخ‌های سامانهٔ تعلیق جلو یا عقب در راستای عمودی حرکت داده می‌شود و مشخصه‌های سینماتیکی و پویایی سامانهٔ تعلیق ارزیابی می‌شود.

در تمامی تحلیل‌های ذکر شده دو مشخصه مهم مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت؛ این دو مشخصه زوایای کمبر[۷] و توو[۸] هستند. این دو زاویهٔ مهم در شکل ۳-۱ شکل ۳-۱نشان داده شده است. مقدار جابجایی دو چرخ جلو در تحلیل حرکت عمودی هم‌فاز در شکل ۳-۲شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

---

۱ Adams/car
۲ Quasi-static
۳ Wheel -Travel Analysis
۴ Parallel Whheel-Travel Analysis
۵ Opposite Wheel-Travel Analysis
۶ Single Wheel-Travel Analysis
۷ Camber
۸ Toe

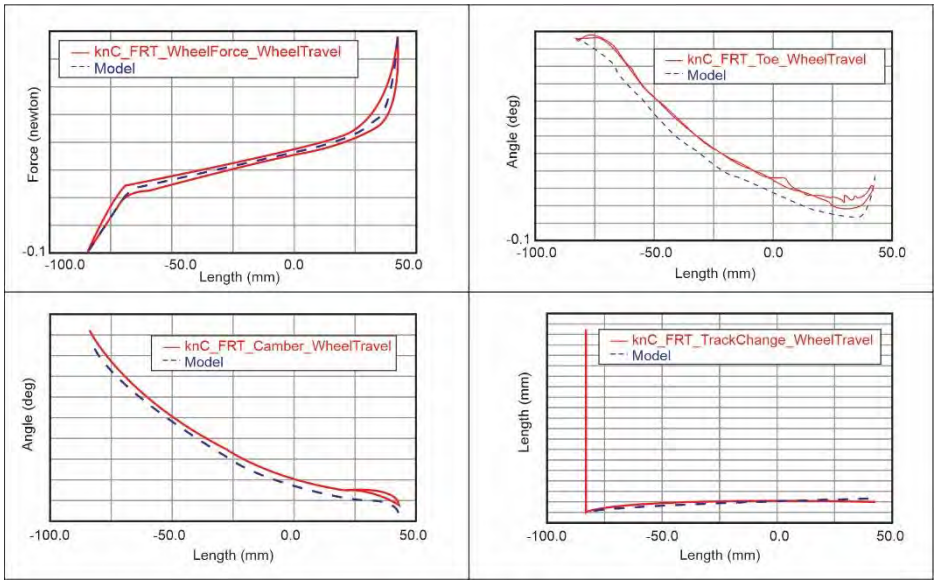
شکل ۳-۱ زوایای مهم در تحلیل سامانهٔ تعلیق خودرو



شکل ۳-۲ مقدار جابجایی هم‌فاز چرخ‌های جلو

به منظور صحه‌گذاری نرم‌افزار و شبیه‌سازی، تغییرات زوایای کمبر ، تغییرات زاویهٔ توو و تغییر مسیر[۱] سامانهٔ تعلیق برای خودروی پایه شبیه‌سازی و نتایج آن با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی با نمودارهای آبی‌رنگ (خطوط منقطع) و نتایج تجربی با رنگ قرمز (خطوط پیوسته) در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

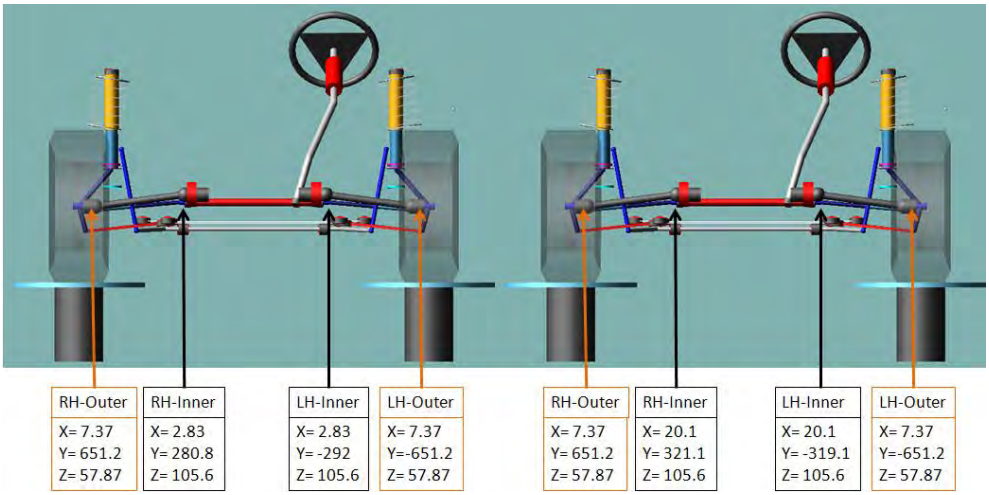
[۱] Track change



شکل ۳-۳ مشخصه‌های سامانهٔ تعلیق در حرکت عمودی هم‌فاز دو چرخ جلو

۳-۱-۲ تحلیل‌های محور محرک چرخ

یکی از تغییرات مهم ایجاد شده در ساختار سامانهٔ تعلیق خودروی دورگه، محور محرک چرخ‌های استفاده شده در این خودرو است. به دلیل شکل خاص جعبه‌دنده موتور برقی و نحوهٔ قرارگیری آن، محور محرک چرخ‌های چپ و راست جلو متقارن و دارای طول یکسان هستند. این در حالی است که در خودروی پایه محور محرک چرخ‌های چپ و راست دارای طول‌های غیریکسان هستند. مقدار تغییرات مهم در محل اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه در شکل ۳-۴شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



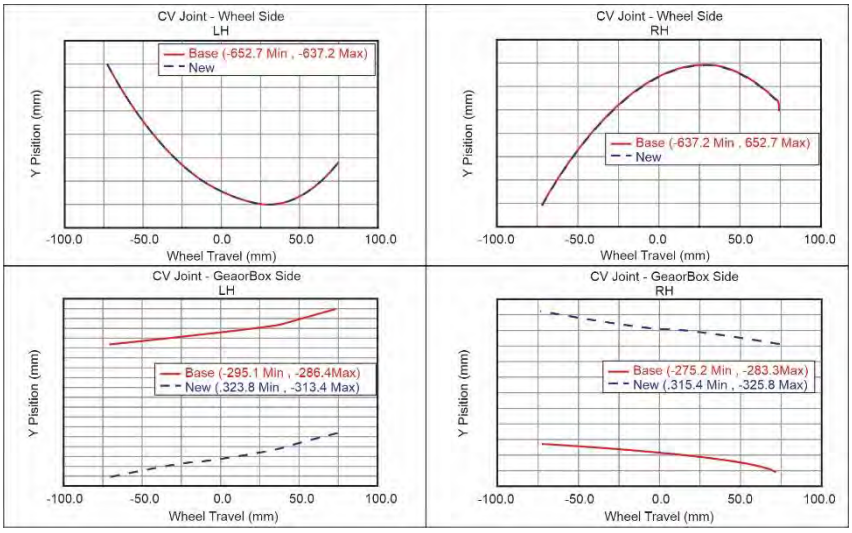
شکل ۳-۴ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه (شکل چپ) و دورگه (شکل راست)

به هنگام حرکت عمودی چرخ‌ها موقعیت انتهای محور محرک چرخ‌ها می‌تواند تغییر نماید. بر اساس ملاک‌های طراحی این مقدار جابجایی نباید از حد معینی فراتر رود. لذا یکی از نتایج مهم تحلیل‌های این بخش مقدار جابجایی انتهای محور محرک چرخ‌ها (محل اتصال به موتور برقی)، در هنگام حرکت عمودی چرخ‌های جلو است. در این بخش سه تحلیل مهم انجام گرفته است.

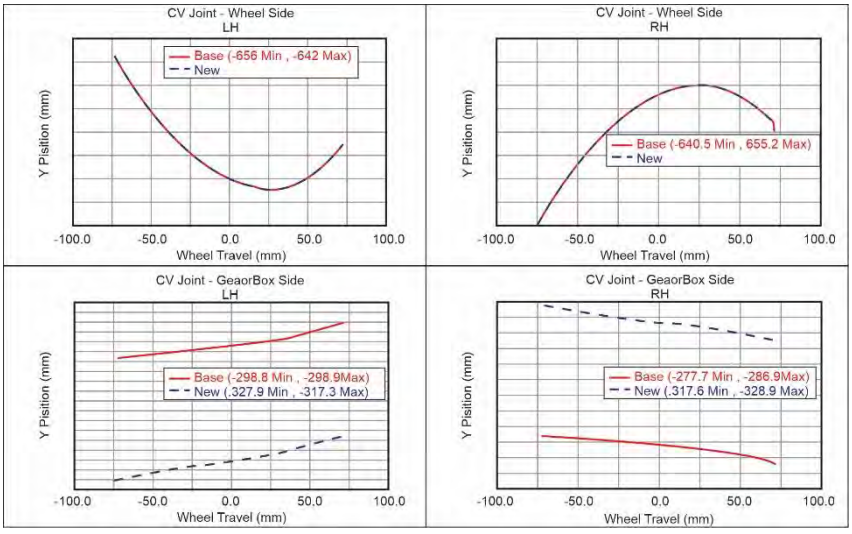
- زاویهٔ فرمان صفر و حرکت عمودی چرخ‌های جلو
- زاویهٔ فرمان قفل شده در راست[۱]
- زاویهٔ فرمان قفل شده در چپ[۲]

در شکل ۳-۵شکل ۳-۵ نتایج شبیه‌سازی زاویهٔ فرمان صفر نشان داده شده است. دو شکل بالا تغییر موقعیت محور محرک چرخ را در محل اتصال به چرخ نشان می‌دهند. به دلیل اینکه محل اتصال محور محرک چرخ‌ها به چرخ در دو خودروی پایه و دورگه تغییری نداشته‌اند، لذا نمودار مشابه یکدیگرند. دو شکل پایین تغییرات را در محل اتصال به جعبه‌دنده موتور برقی (در خودروی دورگه) و جعبه‌دنده (در خودروی پایه) را نشان می‌دهند. ابتدا و انتهای این نمودارهای به دلیل جابجایی موقعیت محور محرک چرخ‌ها متفاوت با یکدیگر است ولی مقدار تغییرات که مشخصهٔ مهم طراحی است (بیشینه منهای کمینه)، در هر دو خودرو یکسان است.

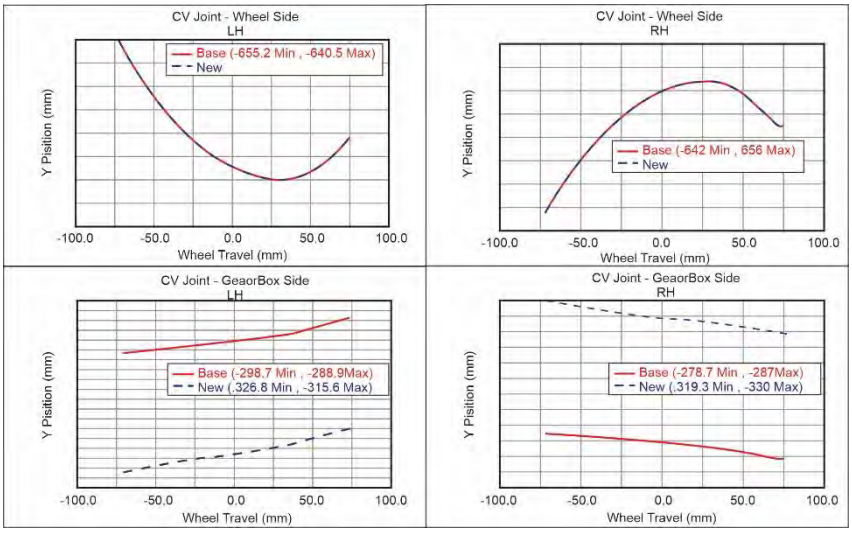
۱ Steering Lock to Right
۲ Steering Lock to Left



شکل ۳-۵ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان صفر)



شکل ۳-۶ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان در بیشینهٔ مقدار سمت چپ)

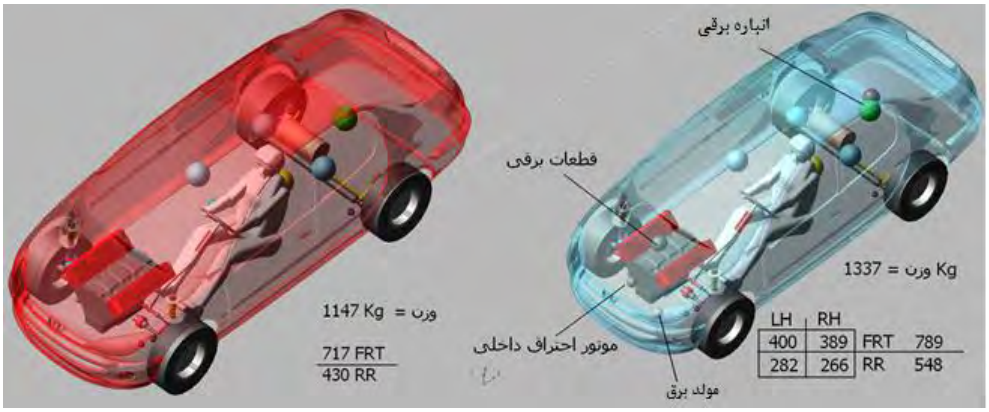


شکل ۳–۷ تغییر موقعیت اتصال محور محرک چرخ‌ها در خودروی پایه و دورگه (زاویهٔ فرمان در بیشینهٔ مقدار سمت راست)

شکل ۳–۶ و شکل ۳–۷شکل ۳–۷ شبیه‌سازی در دو حالت زاویهٔ فرمان بیشینه در سمت چپ و زاویهٔ فرمان بیشینه در سمت راست نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نتایج این دو بخش نیز مطابق با نتیجه شکل ۳–۵شکل ۳–۵ (زاویهٔ فرمان صفر) است. لذا می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار جابجایی انتهای محور محرک چرخ‌ها (انتهای متصل به جعبه‌دنده موتور برقی) در خودروی دورگه مشابه با خودروی پایه است.

۳–۱–۳ تحلیل‌های حرکتی خودرو

به دلیل تغییرات در توزیع جرم خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه، پویایی خودرو در حرکت‌های متفاوت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. حذف موتور احتراق داخلی سنگین در جلوی خودرو و استفاده از موتور احتراقی سبک‌تر به جای آن، قرارگیری موتور برقی و اجزای برقی در بخش جلویی خودرو، قرارگیری مولد برق در بخش جلویی خودرو و قرارگیری انبارهٔ برقی در پشت خودرو تغییرات مهم صورت گرفته در توزیع جرم خودروی دورگه هستند. جرم کلی و جرم مؤثر واقع بر روی محور جلو و محور عقب خودرو درشکل ۳–۸ برای یک نمونه از خودروی دورگه ارائه شده است. شکل ۳–۸ نشان می‌دهد که مرکز جرم خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه عقب‌تر رفته است.



شکل ۳-۸ تغییر جرم کلی و جرم مؤثر محور جلو و عقب خودرو در خودروی دورگه (شکل راست) نسبت به خودروی پایه (شکل چپ)

به منظور نزدیک‌تر شدن رفتار خودروی دورگه به رفتار خودروی پایه در حرکت‌های مختلف اصلاحاتی بر روی خودروی دورگه انجام شده است. این اصلاحات از این قرار است:

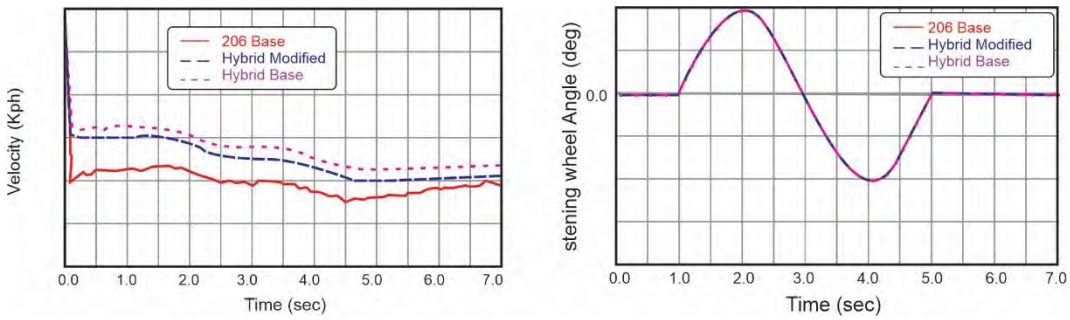
- افزایش ۲۱ میلی‌متری طول آزاد فنر سامانهٔ تعلیق جلو [۱]
- افزایش ۲ میلی‌متری قطر میلهٔ ضد چرخش[۲] سامانهٔ تعلیق جلو
- افزایش ۱ میلی‌متری قطر میلهٔ ضد چرخش سامانهٔ تعلیق عقب
- افزایش ۱۷/۱ درصدی پیش‌نیروی[۳] میلهٔ پیچش[۴] سامانهٔ تعلیق عقب

در ادامه نتایج تحلیل حرکت‌های مختلف خودرو در سه حالت ذکر شده (خودروی پایه، خودروی دورگه اصلاح نشده و خودروی دورگه اصلاح شده) ارائه شده است. در هر کدام از شکل‌ها، نمودار قرمزرنگ پیوسته، نتایج خودروی پایه، نمودار بنفش منقطع، خودروی دورگه بدون اصلاحات و نمودار آبی منقطع، خودروی دورگه با اصلاحات صورت گرفته است.

[۱] Front Coil Spring Free Length
[۲] Anti Roll
[۳] Preload
[۴] Torsion Bar

- **حرکت تغییر مسیر[1]**

در این حرکت، خودرو با سرعت ثابت (در اینجا ۸۰ کیلومتر بر ساعت) در حال حرکت است. یک ورودی سینوسی در یک طول دوره تناوب به فرمان خودرو وارد می‌شود. مقدار تغییرات بیشینه و کمینه زاویهٔ فرمان معادل در چرخ‌ها در اینجا برابر با $\pm 5^{o}$ در نظر گرفته شده است. این ورودی زاویهٔ چرخ‌ها در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. نرم‌افزار بر اساس یک حلقه بسته سعی در مدیریت سرعت خودرو و ثابت نگه داشتن آن دارد. تغییرات ناچیز مقدار سرعت خودرو در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. لذا با تقریب بسیار خوبی در طول حرکت سرعت خودرو ثابت مانده است.



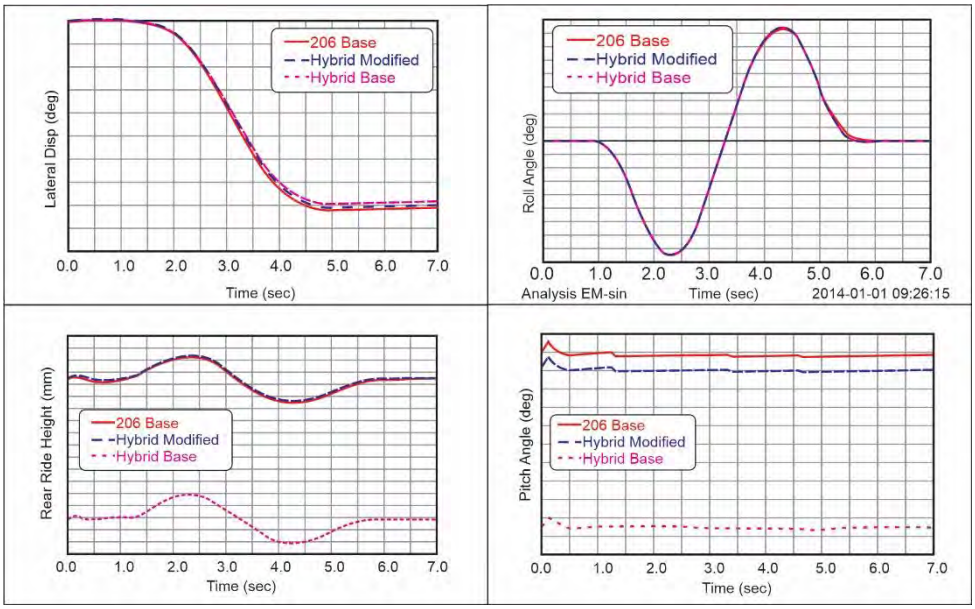
تغییر سرعت خودرو در حرکت تغییر مسیر — تغییر زاویهٔ ورودی فرمان در حرکت تغییر مسیر

شکل ۳-۹ تغییر زاویهٔ ورودی فرمان و تأثیر آن برسرعت در حرکت تغییر مسیر

نتایج شبیه‌سازی این حرکت در شکل ۳-۱۰ شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. مشخصه‌های پویایی مهم موجود در شکل ۳-۱۰ مقدار جابجایی عرضی خودرو، تغییرات زاویهٔ رول[2] خودرو، تغییرات زاویهٔ پیچ[3] خودرو و ارتفاع محور عقب خودرو[4] است. به دلیل داشتن شتاب متغیر در راستای عرضی شاهد تغییر در زاویهٔ رول خودرو هستیم. به دلیل ثابت بودن سرعت خودرو در راستای طولی، زاویهٔ پیچ ثابت باقی مانده است. به دلیل تغییرات آهسته و نرم در زاویهٔ فرمان و چرخ خودرو در این تحلیل، تغییرات زاویه یا[5] خودرو مورد بررسی قرار نگرفته است.

---

[1] Single Lane Change
[2] Roll
[3] Pitch
[4] Rear Ride Height
[5] Yaw

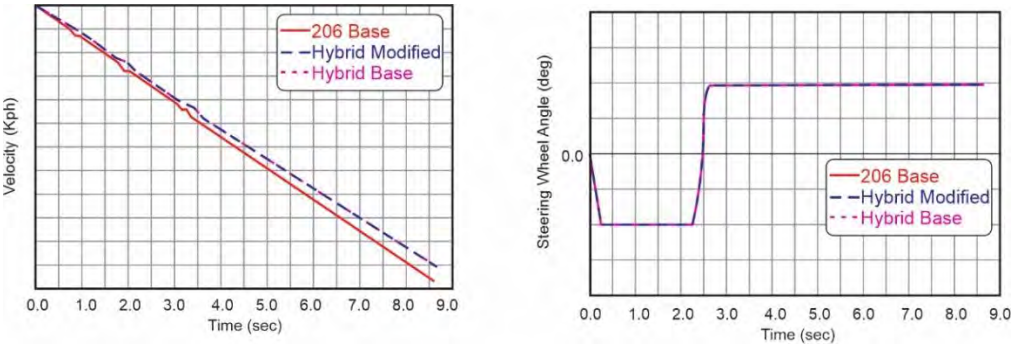


شکل ۳-۱۰ تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در حرکت تغییر مسیر

- **حرکت قلاب ماهی[1]**

در این حرکت، خودرو با سرعت ثابت (در اینجا ۶۰ کیلومتر بر ساعت) در حال حرکت است. یک ورودی پله به فرمان خودرو (معادل ۵ درجه چرخش چرخ‌ها) وارد می‌شود و بعد از حدود ۲/۵ ثانیه ورودی پله برعکس می‌شود و تا انتهای تحلیل ثابت باقی می‌ماند. نحوهٔ تغییرات این ورودی در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. مطابق آزمون قبل نرم‌افزار سعی در مدیریت سرعت ثابت خودرو دارد. تغییرات مقدار سرعت خودرو در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. این مقدار تغییرات در این حرکت نسبت به حرکت تغییر مسیر کمتر است. تغییرات شدیدتر ورودی پله نسبت به ورودی سینوسی سبب تغییرات کمتر در سرعت خودرو شده است.

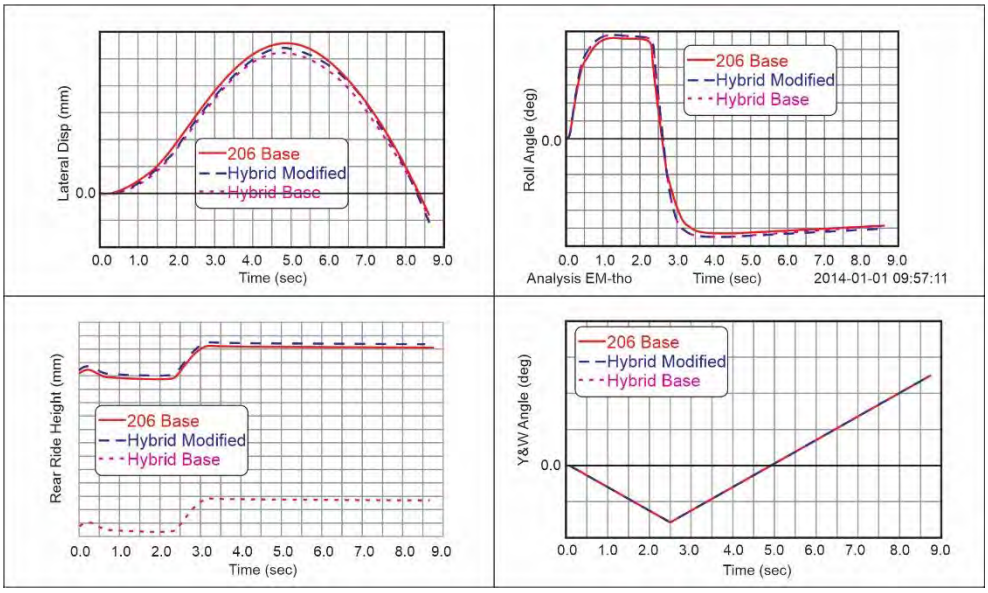
[1] Fish Hook



تغییرات سرعت خودرو در حرکت قلاب ماهی — تغییر زاویهٔ ورودی فرمان در حرکت قلاب ماهی

شکل ۳-۱۱ تغییر زاویهٔ ورودی فرمان و سرعت در حرکت قلاب ماهی

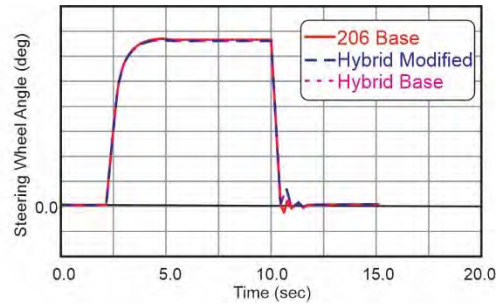
جابجایی جانبی خودرو، تغییرات زاویهٔ رول خودرو، تغییرات زاویه یا خودرو و تغییر ارتفاع محور عقب خودرو در حرکت قلاب ماهی بررسی و در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. نتایج تغییرات این چهار مشخصه مهم پویایی در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که به دلیل تغییرات ناگهانی فرمان خودرو، تغییرات زاویه یا نسبت به زاویهٔ پیچ از اهمیت بیشتری برخوردار است.



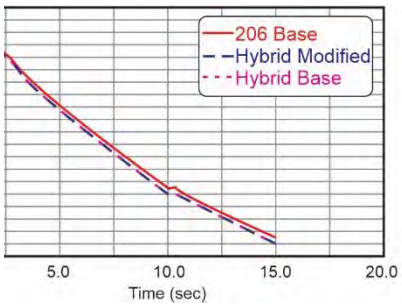
شکل ۳-۱۲ تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در حرکت قلاب ماهی

- **حرکت‌های گردشی [1]**
  - **حرکت گردشی با فرمان رها[2]**

در این حرکت، خودرو با سرعت ثابت ۳۰ کیلومتر در ساعت وارد دایره‌ای به قطر ۳۲/۵ متر می‌شود. بعد از پیمودن نیمی از محیط دایره (زاویهٔ ۱۸۰ درجه) زاویهٔ فرمان (و به تبع آن زاویهٔ چرخ‌ها) صفر می‌شود. توانایی پایداری خودرو در این حالت سنجیده می‌شود. هدف مهم این شبیه‌سازی، برآورد مقدار انحراف خودرو از مسیر اصلی در اثر رها نمودن فرمان بعد از مسیر دایره‌ای است. سرعت اولیهٔ ورود به مسیر دایره‌ای و شعاع مسیر دایره‌ای ورودی‌های اصلی این تحلیل پویایی هستند. تغییر زاویهٔ فرمان خودرو در این تحلیل در شکل ۳-۱۳ شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. برای حفظ پایداری خودرو در طول پیمایش دایرهٔ مورد نظر، نرم‌افزار سرعت خودرو را تنظیم خواهد نمود. تغییرات سرعت خودرو در طول این تحلیل در شکل ۳-۱۳ شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است.



تغییر زاویهٔ فرمان در حرکت گردش با فرمان رها

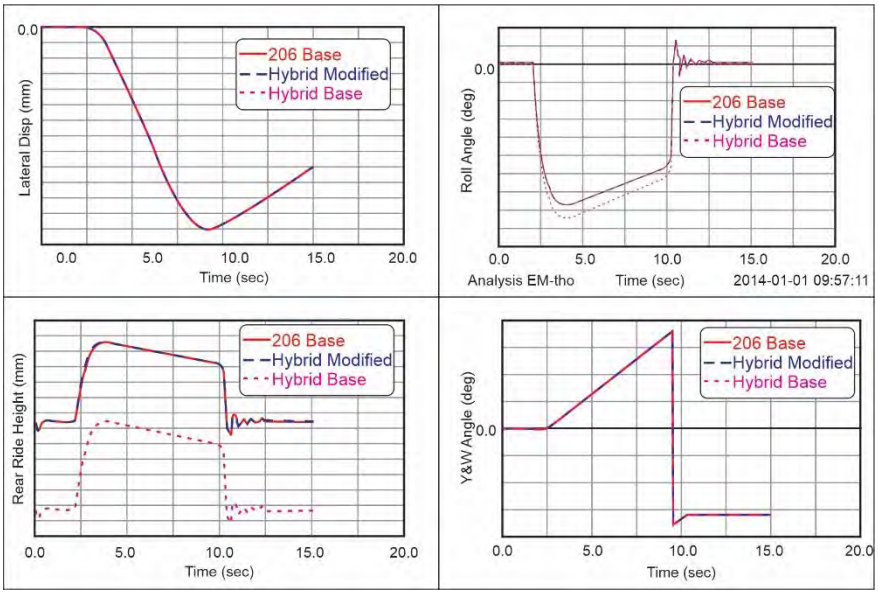


تغییر سرعت خودرو در جرکت گردش با فرمان رها

شکل ۳-۱۳ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با فرمان رها

تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در تحلیل فرمان رها در شکل ۳-۱۴ شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است. این شکل نشان داده است که خودرو بعد از رها شدن در زاویهٔ ۱۸۰ درجه پایداری خود را حفظ کرده است. زاویهٔ رول و ارتفاع محور عقب خودرو وضعیت قابل قبولی دارند. ارتفاع محور عقب خودرو به کمک اصلاحات انجام گرفته در ساختار سامانهٔ تعلیق جلو و عقب خودرو، رفتار مشابه با خودروی پایه را نشان داده است.

[1] Cornering
[2] Cornering Steering Release

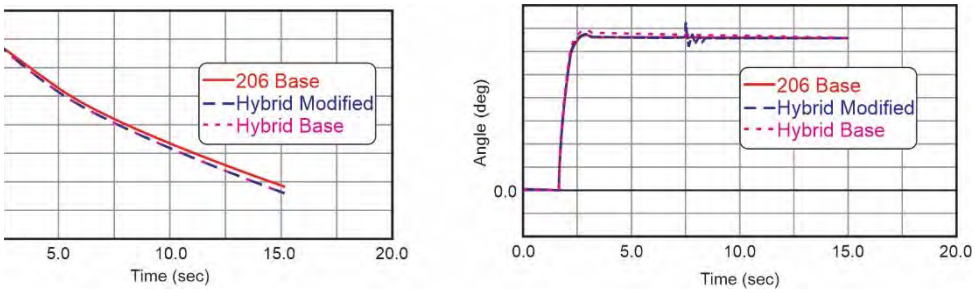


شکل ۳-۱۴ تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت گردش با فرمان رها

▪ حرکت گردش با موتور خاموش[۱]

در این حرکت خودرو با سرعت ثابت ۳۶ کیلومتر بر ساعت وارد دایره‌ای به قطر ۳۲/۵ متر می‌شود. خودرو چرخش کامل ۳۶۰ درجه‌ای در این مسیر دایره‌ای انجام می‌دهد. شرایط اولیه برای این تحلیل شتاب جانبی خودرو و شعاع مسیر دایره‌ای شکل پیمایش است. زاویهٔ فرمان با استفاده از شرایط اولیه تنظیم می‌شود و سعی در رسیدن به مقدار پایا و ثابت دارد. مشخصه‌های پویایی خودرو نباید دچار ناپایداری شوند. تغییرات زاویهٔ فرمان در این حرکت در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. بعد از ثابت شدن زاویهٔ فرمان، دستور دریچهٔ گاز خودرو به صورت فرمان پله حذف می‌شود و سرعت خودرو به تدریج کاهش خواهد یافت. تغییرات سرعت خودرو در طول این حرکت در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.

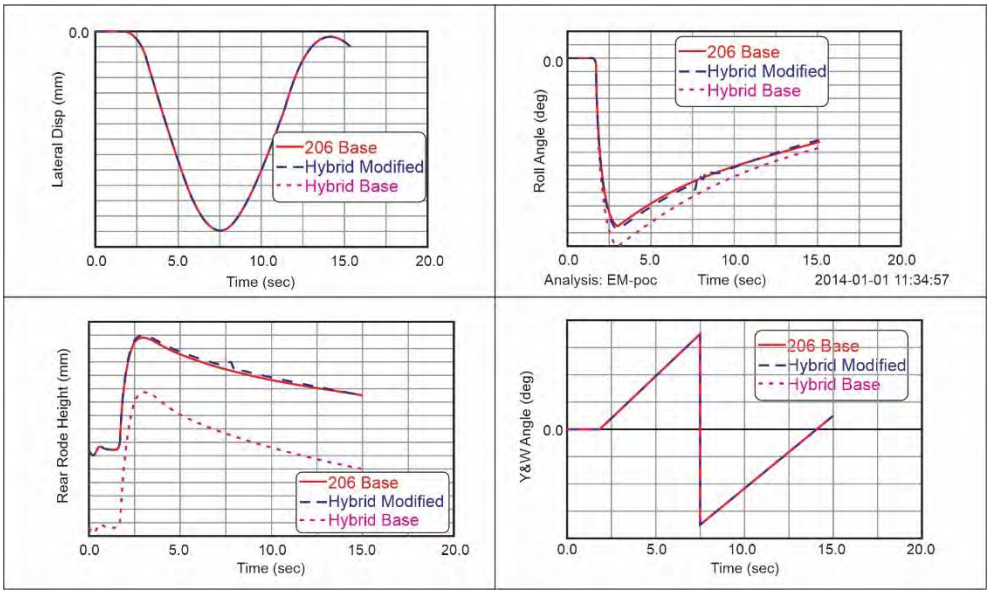
[۱] Cornering Power-off



تغییر زاویهٔ فرمان در حرکت گردش با موتور خاموش — تغییر سرعت خودرو در حرکت گردش با موتور خاموش

شکل ۳-۱۵. تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با موتور خاموش

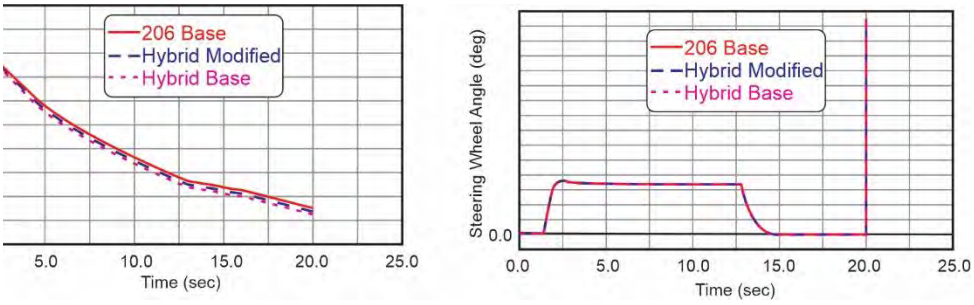
تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در طول این حرکت در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است. زاویهٔ رول خودرو و ارتفاع محور عقب آن در طول حرکت دایره‌ای توانسته‌اند پایداری خود را حفظ نمایند.



شکل ۳-۱۶. تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت گردش با موتور خاموش

▪ حرکت گردش با شعاع ثابت[1]

در این حرکت، شبیه‌سازی حرکت خودرو در یک مسیر دایره‌ای شکل با سرعت یا شتاب جانبی متغیر انجام می‌شود. ورودی این حرکت، شعاع مسیر دایره‌ای شکل پیمایش، سرعت اولیه (یا شتاب جانبی اولیه)، سرعت نهایی بعد از پیمایش یک دور کامل ۳۶۰ درجه (یا شتاب جانبی نهایی) و طول زمان پیمایش حرکت (یک دور کامل دایره‌ای) است. سرعت ابتدایی و انتهایی این حرکت در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است که روندی کاهشی داشته است. نرم‌افزار برای پیمایش مسیر مورد نظر (دایره‌ای به قطر ۳۲/۵ متر) زاویهٔ فرمان خودرو را مطابق با شکل ۳-۱۷ تغییر داده است.

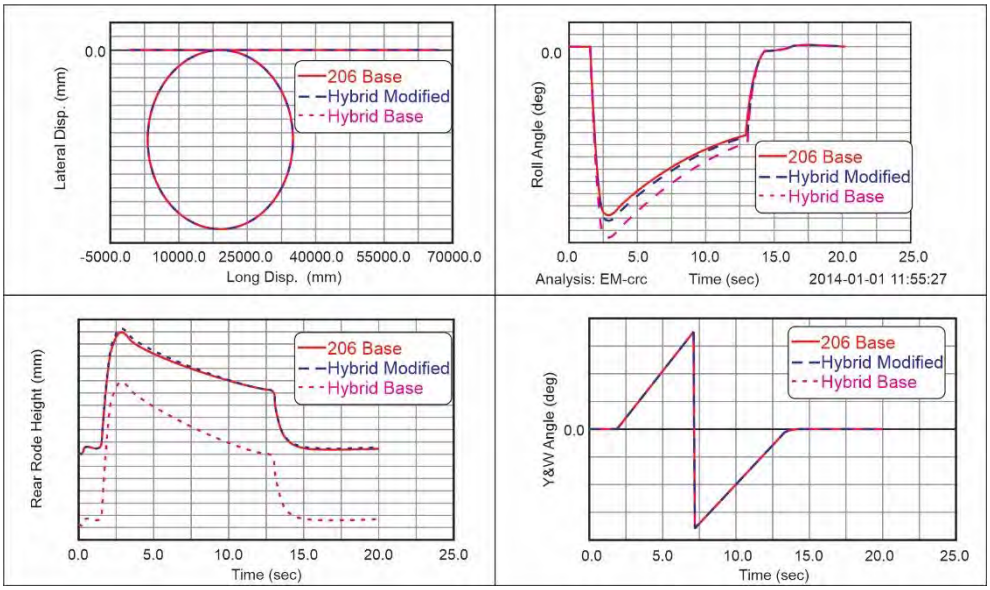


تغییر زاویهٔ فرمان در حرکت گردش با شعاع ثابت — تغییر سرعت خودرو در حرکت گردش با شعاع ثابت

شکل ۳-۱۷ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت گردش با شعاع ثابت

تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی در طول این حرکت در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. بعد از پیمایش یک دایرهٔ کامل فرمان به حالت زاویهٔ صفر بازگردانده شده است. بعد از رها نمودن فرمان، خودرو بدون انحراف از مسیر قبلی خود به حرکت خود ادامه داده است که نشان از پایداری خودرو دارد. زاویهٔ رول و ارتفاع محور عقب خودرو نیز توانسته‌اند مقدار مطلوب خود را حفظ نمایند.

[1] Constant Radius Cornering



شکل ۳–۱۸ تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت گردش با شعاع ثابت

• حرکت شتاب‌گیری در خط مستقیم

این حرکت، شبیه‌سازی شتاب‌گیری خودرو در مسیر مستقیم است. شتاب‌گیری خودرو را می‌توان به دو صورت در این حرکت اعمال نمود.

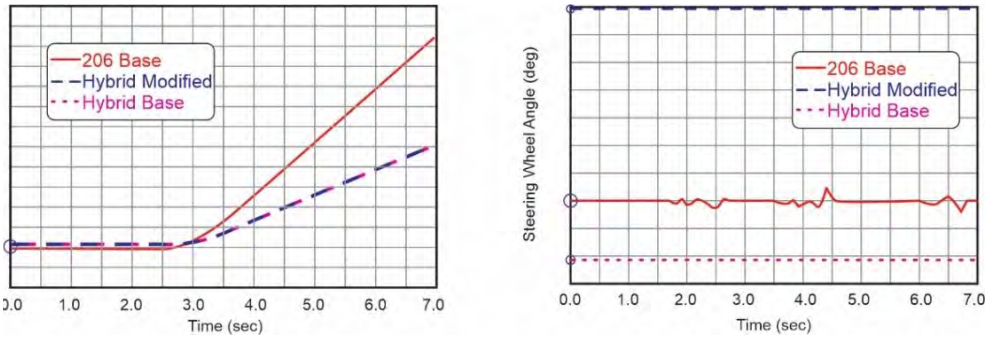
- حلقه باز: در این روش، سرعت اولیهٔ خودرو، موقعیت نهایی دریچهٔ گاز خودرو و مدت زمان این شتاب‌گیری به عنوان ورودی سامانه هستند. شتاب مورد نظر در بازهٔ زمانی تعیین شده به صورت پله به خودرو وارد می‌شود.
- حلقه بسته: در این روش، سرعت اولیه و شتاب خودرو به عنوان ورودی خودرو هستند. مدیریت حلقه بسته موجود در نرم‌افزار، موقعیت دریچهٔ گاز را به نحوی تنظیم خواهد نمود تا خودرو به شتاب مورد نظر دست یابد.

در این حرکت می‌توان سامانهٔ فرمان را در سه حالت تنظیم نمود:

- حالت آزاد: در این روش هیچ مدیریتی بر روی فرمان خودرو وجود ندارد و فرمان آزادانه می‌تواند حرکت نماید، لذا امکان انحراف از مسیر مستقیم درچنین حالتی قوی است. در صورت انحراف خودرو هیچ تنظیم‌کننده‌ای خودرو را به مسیر اولیهٔ خود بازنمی‌گرداند.

- حالت قفل: در این حالت فرمان خودرو در زاویهٔ صفر قفل می شود و امکان هر گونه انحرافی از م سیر مستقیم از خودرو گرفته می‌شود.
- حالت م سیر م ستقیم: در این حالت فرمان خودرو قفل ن شده ا ست و لذا امکان تغییر زاویهٔ فرمان وجود دارد؛ ولی یک تنظیم‌کننده وجود دارد که وظیفهٔ بازگرداندن خودرو و فرمان را در مسیر اولیهٔ خود دارد.

در شبیه‌سازی انجام شده از روش مدیریت حلقه باز در حالت فرمان مسیر مستقیم استفاده شده است. تغییرات زاویهٔ فرمان خودرو در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است. تنظیم‌کنندهٔ فرمان توانسته است که زاویهٔ فرمان را تقریباً ثابت نگه دارد. انحراف کوچک زاویهٔ چرخ‌ها، به دلیل تحلیل شبه‌ایستای انجام گرفته شده است. این انحراف کوچک در زاویهٔ فرمان و چرخ‌های خودرو باعث انحراف جانبی خودرو به مقدار اندک می‌شود. این مقدار جابجایی عرضی خودرو ناچیز (در حد ۱۰ سانتی‌متر) بوده که در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است.

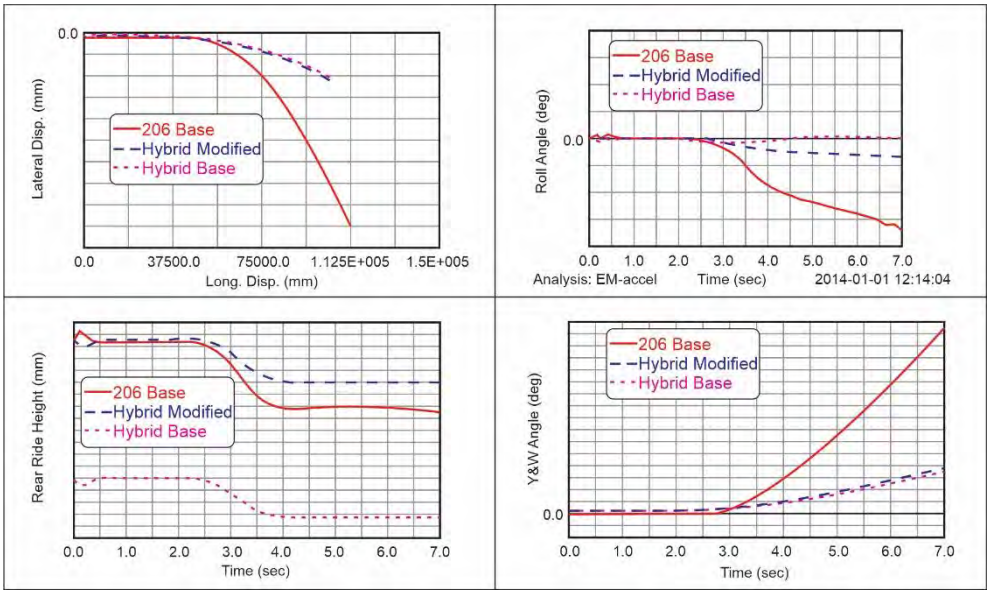


تغییر سرعت خودرو در حرکت شتاب‌گیری در خط مستقیم تغییر زاویهٔ فرمان در حرکت شتاب‌گیری در خط مستقیم

شکل ۳-۱۹ تغییر زاویهٔ فرمان و سرعت خودرو در حرکت شتاب‌گیری خط مستقیم

تغییرات مشخصه‌های مهم پویایی خودرو در شکل ۳-۲۰ شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. یکی از مشخصه‌های مهم مورد بررسی در این تحلیل عدم بلندشدگی[۱] خودرو است. شتاب‌گیری خودرو باعث پایین آمدن محور عقب خودرو می‌شود. این پایین آمدن باید به مقدار ایستا برسد و پایداری پویایی خودرو نباید از بین برود. پایین آمدن محور عقب خودرو در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. تغییرات زاویهٔ یا و رول خودرو نیز در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است که تغییرات آن در محدودهٔ قابل قبول است و پایداری خودرو را بهم نمی‌زند.

[۱] Anti-lift



شکل ۳-۲۰ تغییر مشخصه‌های پویایی مهم در حرکت شتاب‌گیری در خط مستقیم

۳-۲ توسعهٔ دسته‌موتورهای خودروی دورگه

به منظور کاهش ارتعاشات منتقل شده از موتور برقی به کفی خودرو و نیز کاهش حرکات اضافی این مجموعه لازم است موتور برقی بر روی دسته‌موتورهای مناسبی قرار گیرد. موقعیت دسته‌موتورها و سختی آن‌ها به لحاظ دستیابی به رفتار ارتعاشی مطلوب موتور برقی بر روی کفی دارای اهمیت است. موقعیت مناسب دسته‌موتورها بر اساس موقعیت محوری به نام محور گشتاور غلتشی[۱] تعیین می‌گردد. به منظور انتخاب سختی مناسب دسته‌موتورها لازم است تحلیل‌هایی انجام شود که جابجایی ایستایی لاستیک دسته‌موتورها، بسامدهای طبیعی موتور برقی بر روی دسته‌موتورها و جابجایی‌ها و چرخش‌های موتور برقی در تحرک‌های بحرانی رانندگی مورد ارزیابی قرار گیرد. تحلیل‌های مذکور در نرم‌افزار آدامز/ویو[۲] انجام شده‌اند. شایان ذکر است که به منظور تحلیل، اطلاعاتی از قبیل موقعیت مرکز جرم و آرایهٔ گشتاور لختی (ممان اینرسی) جرمی موتور برقی، سختی دسته‌موتورها و مشخصه‌های خودرو مورد نیاز است.

[۱] Torque Roll Axis (TRA)
[۲] Adams/View

زیرمجموعه آدامز/ویو یکی از زیرمجموعه‌های پرکاربرد و عمومی نرم‌افزار آدامز است که قابلیت شبیه‌سازی دینامیکی عمده سامانه‌های مکانیکی، شبیه‌سازی رفتار دینامیکی آن‌ها، بررسی حرکت‌شناسی و نیروشناسی اجزاء مختلف سامانه‌ها، استخراج بسامدهای طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی سامانه‌ها را دارد. در این طرح توسعه‌ای، از زیرمجموعه آدامز/ویو به منظور شبیه‌سازی دینامیکی خودرو به همراه موتور بر روی دسته‌موتورها و تحلیل ایستایی، حالتی (مودال) و بررسی تحرک‌های بحرانی رانندگی استفاده شده است.

۳-۲-۱ پیکربندی مفهومی (اولیه) دسته‌موتورهای موتور برقی

معمولاً به منظور قرارگیری موتور احتراقی بر روی کفی از ۳ یا ۴ دسته‌موتور استفاده می‌شود. همواره ۲ دسته‌موتور وظیفهٔ اصلی تحمل وزن موتور را علاوه بر کاهش ارتعاشات منتقل شده بر عهده دارند. دسته‌موتور سوم (در حالت استفاده از ۳ دسته‌موتور) و دسته‌موتورهای سوم و چهارم (در حالت استفاده از چهار دسته‌موتور) وظیفهٔ کاهش ارتعاشات پیچشی موتور را ایفا می‌نمایند. در این طرح توسعه‌ای، ۳ دسته‌موتور برای موتور برقی خودروی دورگه در نظر گرفته می‌شود.

در ابتدا موقعیت مناسب دسته‌موتورها را با توجه به موقعیت محور گشتاور غلتشی تعیین می‌شود و سپس با در نظر گرفتن ملاحظات جانمایی سعی می‌شود که دسته‌موتورها حتی الامکان در موقعیت‌های مناسب (و یا نزدیک به آن‌ها) قرار گیرند. در انتها با تحلیل‌هایی در نرم‌افزار آدامز/ویو، سختی دسته‌موتورهای موجود در موقعیت‌های مناسب (تعیین شده در مرحلهٔ قبل) برای نگهداری موتور برقی بر روی کفی بررسی می‌شود. به منظور تحلیل‌های مذکور نیاز به اطلاعات اولیه‌ای است که در بخش بعدی نحوهٔ استخراج آن‌ها ارائه می‌شود.

۳-۲-۲ استخراج اطلاعات اولیهٔ مورد نیاز

به منظور تعیین موقعیت مناسب دسته‌موتورها و انجام تحلیل‌های مورد نیاز در نرم‌افزار آدامز/ویو نیاز به استخراج مشخصه‌های جرمی موتور و خودرو است. موقعیت مرکز جرم و آرایهٔ گشتاور لختی جرمی موتور برقی با استفاده از الگوی سه بعدی در نرم‌افزار پرو/اینجینیرینگ[۱] تعیین شده‌اند که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

[۱] Pro/Engineering

جدول ۳-۱ مشخصه‌های جرمی موتور برقی استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار آدامز/ویو

	کمیت		مقدار	واحد	توضیحات
موتور برقی	جرم		۷۸	kg	نسبت به سامانهٔ مختصات واقع در مرکز جرم موتور برقی و به موازات سامانهٔ مختصات خودرویی
	گشتاور لختی جرمی	I_{xx}	۱/۵۶۸	kg m^2	
		I_{yy}	۰/۸۲۶	kg m^2	
		I_{zz}	۱/۷۵۹	kg m^2	
		I_{xy}	−۰/۲۲	kg m^2	
		I_{xz}	−۰/۰۱۹	kg m^2	
		I_{yz}	۰/۰۱۳	kg m^2	
	موقعیت مرکز جرم		(۰/۹۳۲ ،۰/۰۳۳ ،۰/۳۷۴)	m	نسبت به سامانهٔ مختصات خودرویی

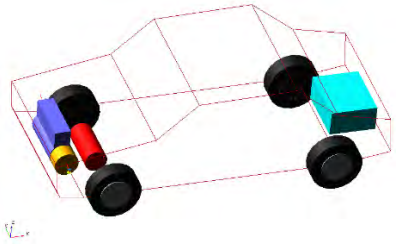
همچنین، مشخصه‌های خودرو شامل جرم و گشتاور لختی جرمی بدنهٔ خودرو، انبارهٔ برقی، مشخصه‌های سختی و میرایی سامانهٔ تعلیق و تایرها بر اساس مدارک و گزارش‌های فنی موجود در شرکت ایپکو استخراج شده‌اند.

۳-۲-۳ شبیه‌سازی در نرم‌افزار آدامز/ویو

بر اساس اطلاعات استخراج شده در بخش قبلی، الگوی دینامیکی خودروی دورگه شامل موتور احتراقی-مولد برق، موتور برقی و انبارهٔ برقی در نرم‌افزار آدامز/ویو ایجاد گردید. شکل ۳-۲۱ نمایی از الگوی مذکور را نمایش می‌دهد. در این مدل، بدنهٔ خودرو، انبارهٔ برقی، موتور برقی و مجموعه مولد برق (موتور احتراقی و مولد برق) با اجسام صلب و با مشخصات استخراجی در مرحلهٔ قبل شبیه‌سازی شده‌اند. از این الگو برای تحلیل‌های ایستایی، حالتی (مودال) و بررسی تحرک‌های بحرانی رانندگی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که محورهای سامانهٔ مختصات خودرویی (x، y و z) برای تحلیل‌های مربوطه به این صورت در نظر گرفته شده‌اند.

- محور x: راستای طولی خودرو
- محور y: راستای عرضی خودرو
- محور z: راستای قائم

مبدا سامانهٔ مختصات خودرویی نیز در جلوی خودرو در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۲۱ نمایی از الگوی پویای خودروی دورگه در نرم‌افزار آدامز/ویو

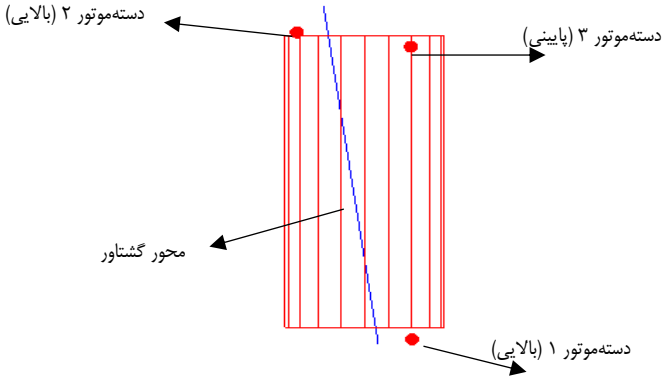
۳-۲-٤ تعیین موقعیت مناسب دسته‌موتورها

موقعیت مناسب دسته‌موتورها معمولاً بر اساس موقعیت محوری به نام محور گشتاور غلتشی تعیین می‌شود. با اعمال گشتاور حول محور انتقال نیروی موتور و در حالتی که موتور روی هیچ تکیه‌گاهی قرار نداشته باشد، دوران موتور حول محور گشتاور غلتشی خواهد بود. موقعیت این محور به موقعیت مرکز جرم و آرایهٔ گشتاور لختی جرمی موتور بستگی دارد. در صورتی که دسته‌موتورها بر روی این محور قرار گیرند، نیروی اعمالی به آن‌ها کمتر بوده و در ضمن رفتار ارتعاشی موتور بهتر خواهد بود. بنابراین همیشه سعی می‌شود تا حد ممکن دسته‌موتورها بر روی این محور قرار گیرند.

همانگونه که ذکر گردید، در این طرح توسعه‌ای از ۳ دسته‌موتور برای قرارگیری موتور برقی بر روی کفی استفاده می‌گردد که ۲ دسته‌موتور بالایی وظیفهٔ حفظ وزن موتور و دسته‌موتور پایینی وظیفهٔ کاهش ارتعاشات پیچشی را به عهده دارند. به منظور دستیابی به حالت بهینه پیکربندی دسته‌موتورها، لازم است دسته‌موتورهای بالایی بر روی محور گشتاور غلتشی قرار گیرند. با توجه به موقعیت مرکز جرم و آرایهٔ گشتاور لختی جرمی موتور برقی (ارائه شده در جدول ۳-۱) موقعیت محور گشتاور غلتشی به دست می‌آید. به دلیل محدودیت‌های جانمایی، امکان انطباق دقیق موقعیت دسته‌موتورهای بالایی بر محور گشتاور غلتشی وجود ندارد. لذا موقعیت دسته‌موتورهای بالایی تا حد امکان نزدیک به محور گشتاور غلتشی انتخاب می‌گردند. بر این اساس، موقعیت اولیه دسته‌موتورها نسبت به سامانهٔ مختصات خودرویی مطابق جدول ۳-۲جدول ۳-۲ انتخاب شد که در شکل ۳-۲۲ شکل ۳-۲۲ قابل مشاهده است.

جدول ۳-۲ موقعیت اولیه دسته‌موتورها نسبت به سامانهٔ مختصات خودرویی

دسته‌موتور ۱	(۱/۰۳ ،-۰/۲۷۹ ،۰/۴۴)	m
دسته‌موتور ۲	(۰/۸۴۹ ،۰/۲۷۹ ،۰/۳۷۵)	m
دسته‌موتور ۳	(۱/۰۲۸ ،۰/۲۵۳ ،۰/۲۷۱)	m



شکل ۳-۲۲ نمایی از موقعیت اولیه دسته‌موتورهای موتور برقی و محور گشتاور غلتشی

۳-۲-۵ ارزیابی وضعیت دسته‌موتورهای موتور برقی با اجرای تحلیل‌های مختلف

پس از تعیین موقعیت اولیهٔ دسته‌موتورها، لازم است منحنی‌های سختی دسته‌موتورها تعیین گردند. با توجه به الگوبرداری انجام شده، هر سه دسته‌موتور موتور برقی از نوع استوانه‌ای انتخاب گردیدند. منحنی‌های سختی دسته‌موتورها بر اساس تحلیل‌های ایستایی و شبیه‌سازی تحرک‌های بحرانی رانندگی در نرم‌افزار آدامز/ویو تعیین می‌گردند.

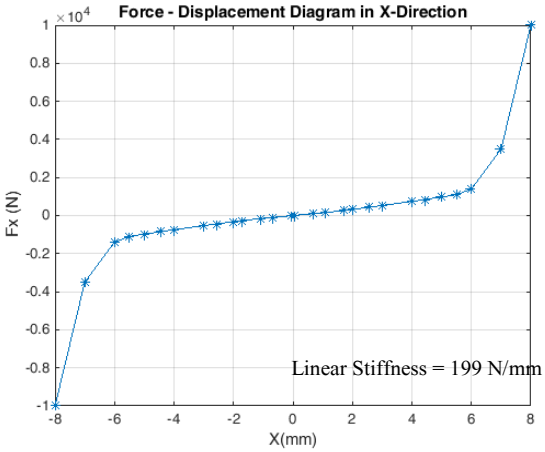
با اجرای تحلیل ایستایی در نرم‌افزار آدامز/ویو، جابجایی لاستیک دسته‌موتورها در اثر نیروی وزن موتور برقی به دست می‌آید. عمده وزن موتور برقی را دسته‌موتورهای بالایی حمل می‌کنند و لازم است جابجایی ایستایی لاستیک از محدوده مجاز عبور نکند. بر طبق معیار ارائه شده در استانده، به منظور حفظ عمر و دوام لاستیک دسته‌موتورها، جابجایی ایستایی لاستیک دسته‌موتورها نباید از حدود ۸ میلیمتر تجاوز نماید.

یکی دیگر از معیارهای طراحی دسته‌موتورها عدم برخورد موتور برقی با قطعات جانبی در تحرک‌های بحرانی رانندگی است. به این منظور تحرک‌های بحرانی رانندگی شامل ترمزگیری، تصادف از عقب، حرکت از روی دست انداز (برآمدگی و فرورفتگی)[1]، شروع به حرکت جلو[2]، شروع به حرکت عقب[3] گردش به چپ[4]، گردش به راست[5] و شروع به حرکت ناگهانی[6] در نرم‌افزار، شبیه‌سازی می‌شود و جابجایی‌های مرکز جرم و چرخش‌های موتور برقی در

[1] Road Bump (Positive and Negative)
[2] Drive Off
[3] Drive Off (Reverse)
[4] Left Corner
[5] Right Corner
[6] Idiot Start

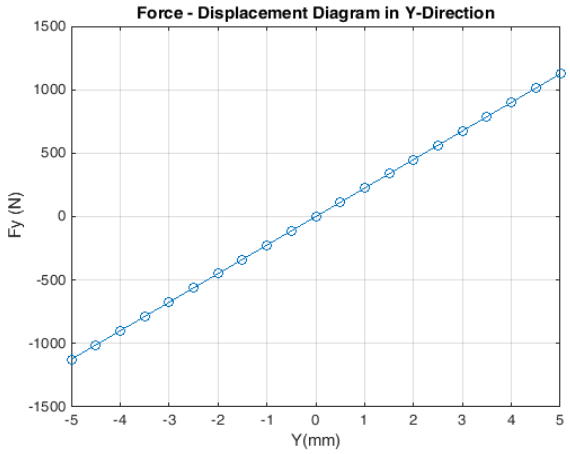
تحرک‌های مذکور تعیین می‌گردند. در نهایت، با اعمال جابجایی‌ها و چرخش‌های مذکور در یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی[1]، عدم برخورد موتور برقی با اجزاء مجاور بررسی می‌شود.

با در نظر گرفتن دو معیار مذکور و تحلیل‌های ایستایی و شبیه‌سازی متعدد تحرک‌های بحرانی رانندگی در نرم‌افزار، منحنی‌های سختی دسته‌موتورهای بالایی در سه راستای سامانهٔ مختصات خودرویی به گونه‌ای تعیین می‌گردند که هر دو معیار فوق ارضاء شوند. به دلیل غیرخطی بودن معادلات حاکم، فرایند پیدا کردن سختی بهینه دسته‌موتورها بر مبنای خطا و آزمون است. منحنی‌های سختی دسته‌موتورها در شکل ۳-۲۳ تا شکل ۳-۲۵ ارائه می‌گردند. همچنین، سختی پیچشی دسته‌موتورهای بالایی برابر با ۲۵ نیوتن متر بر درجه محاسبه گردیده است.

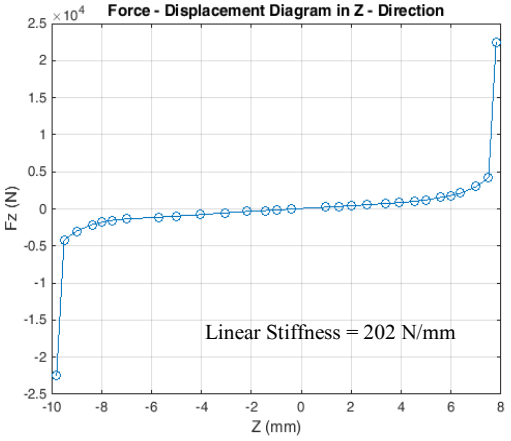


شکل ۳-۲۳ منحنی سختی ایستایی دسته‌موتورهای بالایی در راستای محور x سامانهٔ مختصات خودرویی

[1] CAD



شکل ۳-۲۴ منحنی سختی ایستایی دسته‌موتورهای بالایی در راستای محور y سامانهٔ مختصات خودرویی

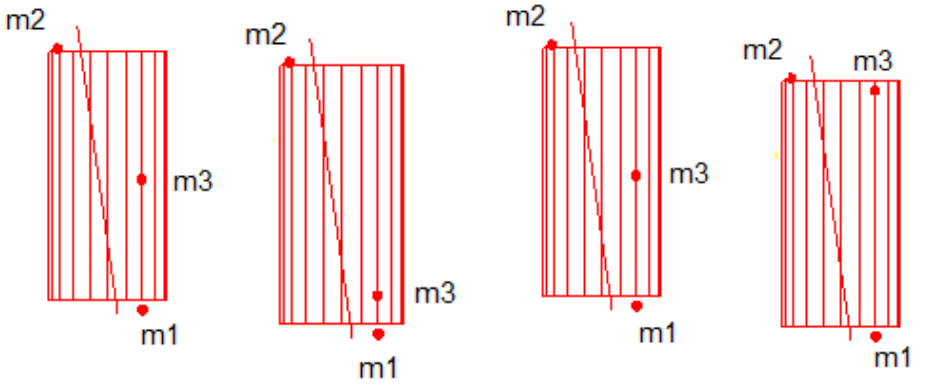


شکل ۳-۲۵ منحنی سختی ایستایی دسته‌موتورهای بالایی در راستای محور z سامانهٔ مختصات خودرویی

با توجه به بررسی در راهنمای محصول شرکت‌های مختلف سازندهٔ میراگرهای ارتعاشی، دسته‌موتور با منحنی‌های سختی مورد نظر یافت نشد. از این رو اقدام به طراحی شکل مناسب لاستیک برای دسته‌موتور به منظور دستیابی به منحنی‌های سختی مورد نظر و سپس اقدام برای نمونه‌سازی می‌گردد.

با توجه به نتایج بدست آمده برای جابجایی موتور در محل دسته‌موتورها و نیروهای اعمالی به دسته‌موتورها در شرایط بحرانی رانندگی، ملاحظه می‌شود که نیروهای اعمالی به دسته‌موتورهای دوم و سوم بسیار بزرگتر از نیروهای اعمالی به دسته‌موتور اول است. این امر، به لحاظ توزیع مناسب نیروهای دینامیکی قابل قبول نیست. در این موقعیت قرارگیری، عملاً دسته‌موتور اول مشارکت بسیار کمتری در تحمل نیروهای دینامیکی داشته و باعث

اعمال نیروهای دینامیکی زیاد بر دسته‌موتورهای دوم و سوم می‌گردد. در ادامه اثر تغییرات موقعیت دسته‌موتورها بر نیروهای اعمالی در یکی از حالت‌های بحرانی(شروع به حرکت ناگهانی) بررسی می‌گردند. دسته‌موتوهای اول، دوم و سوم نمایش داده شده در شکل ۳-۲۲شکل ۳-۲۲، به ترتیب با m_1، m_2 و m_3 نامگذاری و در شکل ۳-۲۶ شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.



حالت اول: موقعیت دسته‌موتورها مطابق جدول ۲-۳

حالت دوم: جابجایی دسته‌موتور سوم به وسط (نسبت به حالت اول)

حالت سوم: جابجایی دسته‌موتور سوم به نزدیکی دسته‌موتور اول (نسبت به حالت اول)

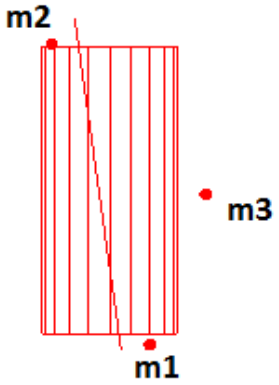
حالت چهارم: جابجایی دسته-موتور سوم به وسط و همچنین جابجایی دسته‌موتور دوم به بالا به گونه‌ای که هم سطح با دسته‌موتور اول قرار گیرد (z یکسان) (نسبت به حالت اول)

شکل ۳-۲۶ موقعیت دسته‌موتورها در حالت‌های مختلف

مشارکت هر سه دسته‌موتور در رفتار ارتعاشی موتور و به عبارتی توزیع تقریباً یکنواخت نیروها در هر سه دسته‌موتور به لحاظ رفتار ارتعاشی موتور اهمیت دارد. از طرفی، بهتر است پیکربندی دسته‌موتورها به گونه‌ای باشد که حتی الامکان نیروهای بزرگ در شروع به حرکت ناگهانی در راستای x دسته‌موتورها اعمال گردد. با توجه به موارد مذکور و حالت‌های بررسی شده، حالت چهارم به عنوان پیکربندی دسته‌موتورهای موتور برقی پیشنهاد می‌شود.

موقعیت‌های مناسب دسته‌موتورها ارائه شده به منظور بررسی امکان جانمایی دسته‌موتورها به واحد طراحی اعلام گردید. بر اساس اعلام واحد طراحی، با توجه به ملاحظات جانمایی امکان دستیابی به موقعیت مطلوب برای دسته‌موتور سوم (پایینی) وجود ندارد. لذا واحد طراحی موقعیتی نزدیک به موقعیت مطلوب را برای محل دسته‌موتور سوم ارائه نمود.

با جابجایی دسته‌موتور سوم به محل جدید پیشنهادی واحد طراحی، نیروهای اعمالی به دسته‌موتور سوم برای شروع به حرکت ناگهانی (به دست آمده از تحلیل دینامیکی) محاسبه شد.



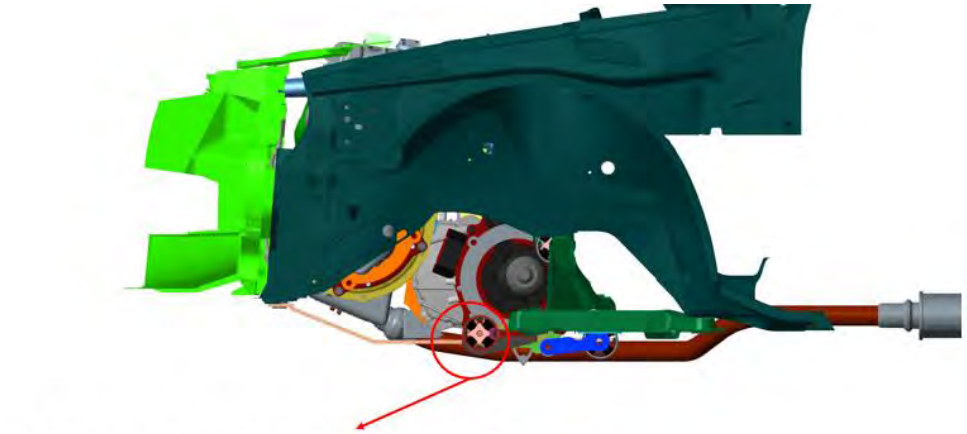
شکل ۳-۲۷ موقعیت دسته‌موتورها در حالت پیشنهاد اول طراحی(جابجایی دسته‌موتور سوم به محل پیشنهادی واحد طراحی)

در این حالت، هر سه دسته‌موتور در رفتار ارتعاشی موتور مشارکت دارند و نیروهای نسبتاً بزرگی در راستای z دسته‌موتورها وارد می‌شود. در تحرک شروع به حرکت ناگهانی، بهتر است نیروهای اعمالی عمدتا در راستای x اعمال گردند و بنابراین مکان پیشنهادی غیرقابل قبول است. به همین دلیل، دسته‌موتور سوم به اندازه ۹۰ درجه حول محور خود (محور y) چرخانده می‌شود و شبیه‌سازی‌ها مجدداً انجام می‌شود. در این حالت، هر سه دسته‌موتور در رفتار ارتعاشی موتور مشارکت دارند و نیروهای نسبتاً بزرگی در راستای x دسته‌موتورها وارد می‌شود.

در ادامه، دسته‌موتور سوم یکسان با دسته‌موتورهای اول و دوم در نظر گرفته می‌شود و در ضمن، دسته‌موتور سوم به محل پیشنهادی واحد طراحی منتقل می‌گردد. در این حالت نیز هر سه دسته‌موتور در رفتار ارتعاشی موتور مشارکت دارند و نیروهای نسبتاً بزرگی در راستای x دسته‌موتورها وارد می‌شود. مشارکت هر سه دسته‌موتور در رفتار ارتعاشی موتور و به عبارتی توزیع تقریباً یکنواخت نیروها در هر سه دسته‌موتور به لحاظ رفتار ارتعاشی موتور اهمیت دارد. همچنین، بهتر است پیکربندی دسته‌موتورها به گونه‌ای باشد که حتی‌الامکان نیروهای بزرگ در تحرک شروع به حرکت ناگهانی در راستای x دسته‌موتورها اعمال گردد.

با توجه به موارد مذکور و حالت‌های بررسی شده، حالت‌های ذکرشده در دو شبیه‌سازی آخر به عنوان پیکربندی دسته‌موتورهای موتور برقی پیشنهاد می‌شود. تصمیم‌گیری نهایی برای انتخاب بین این دو حالت باید بر اساس امکان‌سنجی جانمایی دسته‌موتور سوم در حالت آخر و تعیین جابجایی‌ها و چرخش‌های موتور در تحرک‌های مختلف و بررسی احتمال برخورد موتور با قطعات جانبی برای هر دو حالت انجام شود.

پس از بررسی‌های واحد طراحی، حالت آخر به عنوان حالت نهایی در نظر گرفته شد. تغییرات مستمر طرح در بسیاری از قسمت‌های خودرویی و لزوم کاهش بیشتر ارتعاشات موتور برقی، کاهش ۵ میلیمتر از عرض آستری سه دسته‌موتور اصلی و اضافه شدن دسته‌موتور چهارم را الزامی کرد. واحد طراحی موقعیت مناسب دسته‌موتور چهارم نسبت به سامانهٔ مختصات خودرویی را بر اساس ملاحظات جانمایی ارائه کرد که در شکل ۳–۲۸ شکل ۳–۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۳–۲۸ موقعیت پیشنهادی واحد طراحی برای موقعیت دسته‌موتور چهارم

امکان به‌کارگیری دو دسته‌موتور متفاوت از میان گزینه‌های موجود در موقعیت مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت. دسته‌موتور استوانه‌ای مشابه با سه دسته‌موتور دیگر که در شکل ۳–۲۹ الف نشان داده شده است و دسته‌موتور گشتاوری[۱] که در شکل ۳–۲۹ ب ارائه شده است.

الف) دسته‌موتور استوانه‌ای

ب) دسته‌موتور گشتاوری

شکل ۳–۲۹ تصویری از دسته‌موتورهای پیشنهادی چهارم

[۱] Torque Strut Mount

با شبیه‌سازی‌های مختلف در نرم‌افزار آدامز/ویو، جابجایی‌های مرکز جرم موتور برقی و چرخش‌ها حول محورهای عبوری از مرکز جرم در تحرک شروع به حرکت ناگهانی با به‌کارگیری دسته‌موتورهای مذکور به عنوان دسته‌موتور چهارم به دست آمده و در مقایسه با نتایج حالت سه دسته‌موتور در جدول ۳-۳ ارائه شده‌اند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳-۳، مشاهده می‌شود که با به‌کارگیری دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر (استوانه‌ای)، جابجایی‌های موتور در راستاهای y و z و همچنین چرخش موتور حول محور x در مقایسه با حالت سه دسته‌موتور کاهش می‌یابند و به عبارتی منجر به محدود شدن حرکات اضافی موتور خصوصا در تحرک شروع به حرکت ناگهانی خواهد شد. شایان ذکر است که با به‌کارگیری دسته‌موتور گشتاوری به عنوان دسته‌موتور چهارم نسبت به حالت سه دسته‌موتور، جابجایی‌ها و چرخش‌های موتور چندان محدود نمی‌شوند.

جدول ۳-۳ جابجایی‌های مرکز جرم و چرخش‌های موتور برقی حول محورهای عبوری از مرکز جرم

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θ_x (degree)	θ_y (degree)	θ_z (degree)
۳ دسته‌موتور (حالت نهم)	۲/۹	۰/۸	۲/۷	-۰/۸	۲/۷	-۰/۳
۴ دسته‌موتور (دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر)	۲/۶	۰/۲	۱/۱	-۰/۱	۲/۵	-۰/۲
۴ دسته‌موتور (دسته‌موتور چهارم: دسته‌موتور گشتاوری)	۲/۹	۰/۷	۲/۱	-۰/۶	۲/۷	-۰/۳

جدول ۳-۴ جابجایی‌های موتور برقی را در محل دسته‌موتورها در تحرک‌های بحرانی رانندگی به دست آمده از شبیه‌سازی‌های اجرا شده در نرم‌افزار آدامز/ویو برای حالت چهار دسته‌موتور استوانه‌ای نشان داده شده است. همچنین، جدول ۳-۵ نیروهای اعمالی در محل دسته‌موتورها در سه راستای x، y و z را در تحرک‌های بحرانی رانندگی نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ جابجایی‌های موتور برقی در محل دسته‌موتورها در تحرک‌های بحرانی رانندگی برای حالت چهار دسته‌موتور (دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر)

		ترمزگیری	تصادف از عقب	حرکت از روی فرورفتگی	حرکت از روی برآمدگی	شروع به حرکت جلو (دنده ۱)	شروع به حرکت عقب	گردش به چپ	گردش به راست	شروع به حرکت ناگهانی
دسته‌موتور ۱	X (mm)	−۰/۸	۱/۱	−۰/۷	۰/۱	۳/۸	−۳/۹	۳/۸	۳/۸	۴
	Y (mm)	۰	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۲/۵	−۲/۴	۰
	Z (mm)	۰	−۰/۱	−۲/۱	۳/۱	−۲/۶	−۰/۹	−۲/۸	−۲/۸	−۲/۸
دسته‌موتور ۲	X (mm)	−۱/۵	۲	−۰/۳	−۰/۳	۳/۴	−۲/۹	۳/۳	۳/۳	۳/۹
	Y (mm)	−۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰	۰/۵	−۰/۵	۳/۶	−۲/۶	۰/۶
	Z (mm)	−۰/۲	۰/۲	−۶/۳	۳/۷	۳/۴	−۶/۷	۳/۱	۳/۳	۳/۹
دسته‌موتور ۳	X (mm)	−۰/۸	۱	۰/۴	−۰/۳	−۳/۹	۳/۲	−۳/۸	−۳/۸	−۴/۵
	Y (mm)	۰/۳	−۰/۳	−۰/۲	۰/۳	−۰/۷	۰/۷	۱/۳	−۲/۶	−۰/۸
	Z (mm)	۰/۳	−۰/۵	−۳	۳/۲	−۶/۷	۴	−۶/۹	−۷/۱	−۷
دسته‌موتور ۴	X (mm)	−۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰	−۳/۶	۴	−۳/۶	−۳/۶	−۳/۹
	Y (mm)	−۰/۱	۰/۲	−۰/۳	۰	۰/۲	−۰/۱	۳/۳	−۳	۰/۲
	Z (mm)	−۰/۲	۰/۳	−۲/۸	۳/۲	۳/۸	−۶/۴	۳/۵	۳/۵	۴/۵

جدول ۳-۵ نیروهای اعمالی در محل دسته‌موتورها در تحرک‌های بحرانی رانندگی برای حالت چهار دسته‌موتور (دسته‌موتور چهارم مشابه با سه دسته‌موتور دیگر)

		ترمزگیری	تصادف از عقب	حرکت از روی فرورفتگی	حرکت از روی برآمدگی	شروع به حرکت جلو (دنده ۱)	شروع به حرکت عقب	گردش به چپ	گردش به راست	شروع به حرکت ناگهانی
دسته‌موتور ۱	Fx (N)	۲۰۸	−۲۶۴	۱۷۰	۴	−۴۰۴۸	۴۲۷۵	−۳۹۰۷	−۴۰۲۹	−۱۳۷۰۸
	Fy (N)	−۹	۸	−۸۶	−۴	−۵	۷	−۱۹۷	۱۸۳	−۲
	Fz (N)	۳۱۹	۳۷۱	۸۹۹	−۴۸۵	۱۱۴۹	۶۴۴	۱۱۰۵	۱۱۱۸	۲۰۲۰
دسته‌موتور ۲	Fx (N)	۳۹۰	−۴۹۷	۴۲	−۳۶	−۱۳۱۲	۷۳۸	−۱۱۵۵	−۱۰۴۵	−۲۷۵۸
	Fy (N)	۲۵	−۲۵	۲	۲۷	−۵۸	۶۴	−۵۵۸	۴۶۹	−۷۲
	Fz (N)	۴۷۶	۳۵۹	۲۱۶۰	−۲۰۴۷	−۱۸۵۱	۲۹۵۳	−۱۷۳۱	−۱۹۴۱	−۸۴۳۴
دسته‌موتور ۳	Fx (N)	۲۱۴	−۲۵۵	−۹۷	۴۷	۲۲۵۵	−۱۱۵۹	۲۲۹۷	۲۳۹۵	۵۸۸۵
	Fy (N)	−۳۰	۳۶	۳۹	−۲۴	۸۷	−۸۹	۲۶۳	−۹۱	۱۰۹
	Fz (N)	−۸۹	۱۲۴	۷۸۷	−۱۰۴۷	۴۴۱۳	−۴۹۵۹	۴۳۶۳	۴۳۱۳	۱۷۳۲۶
دسته‌موتور ۴	Fx (N)	۱۰۵	−۱۳۱	−۱۱۵	−۱۵	۲۶۴۶	−۳۳۹۵	۲۷۶۵	۲۶۷۹	۱۰۵۸۱
	Fy (N)	۱۳	−۱۹	۴۵	۱	−۲۳	۱۸	−۶۵۵	۵۸۶	−۳۵
	Fz (N)	۵۹	−۹۰	۷۴۳	−۱۰۱۰	−۲۹۴۷	۲۱۲۷	−۲۹۷۳	−۲۷۲۵	−۱۰۱۴۷

۳-۳ تحلیل اجزاء محدود آستری لاستیکی دسته‌موتورها

دسته‌موتورها در یک خودرو برای بهبود ارتعاشات موتور به‌کار گرفته می‌شوند. طراحی مناسب یک دسته‌موتور می‌تواند دامنهٔ ارتعاشات موتور را کاهش دهد و مقدار صدای منتقل شده به داخل اتاق خودرو را کم کند تا سبب آسایش بیشتر سرنشین شود. از طرفی دسته‌موتور باید بتواند وزن موتور را نیز تحمل نماید. باتوجه به اینکه دامنهٔ ارتعاشات ناشی از کارکرد قوای محرکه و حرکت خودرو نسبتاً زیاد است، در طراحی و ساخت این قطعات از مواد بسیارمنعطف[۱] برای تحمل وزن مجموعه و کاهش ارتعاشات آن استفاده می‌شود. این نوع مواد رفتار مکانیکی غیرخطی دارند. برای طراحی مناسب یک دسته‌موتور ابتدا رفتار دینامیکی مجموعه قوای محرکه به عنوان یک جسم صلب بررسی می‌شود که در آن نیروهای دینامیکی وارد بر محل دسته‌موتورها و دامنهٔ آن‌ها در شرایط مختلف رانندگی محاسبه می‌شود. محاسبات نیروهای دینامیکی با نرم‌افزار آدامز[۲] انجام می‌شود.

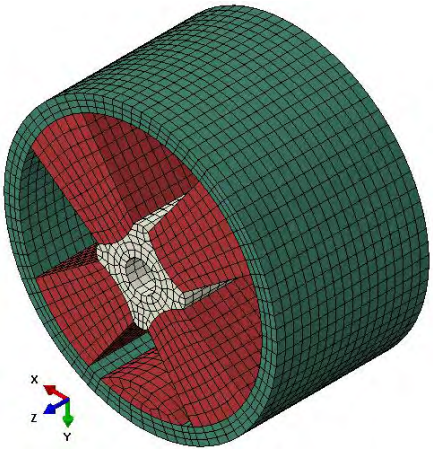
در مرحلهٔ بعد با استفاده از نرم‌افزار آباکوس[۳] تحلیل‌های سازه‌ای دسته‌موتور انجام می‌شود. در این مرحله برای بررسی رفتار غیرخطی دسته‌موتور، جابجایی محوری در سه‌راستا و گشتاور محوری در راستای محور اصلی دسته‌موتور اعمال می‌شود و منحنی رفتاری نیرو–جابجایی و گشتاور–زاویه استخراج می‌گردد. این منحنی نماینگر رفتار دینامیکی دسته‌موتور است و درصورت مغایرت با رفتار مورد نیاز که در مرحلهٔ قبل و با تحلیل دینامیکی مشخص شده است، هندسهٔ دسته‌موتور بازبینی و مراحل تحلیل سازه‌ای تکرار می‌شود. تکرار مراحل تا رسیدن به رفتار دینامیکی مشابه در مرحلهٔ تحلیل دینامیکی ادامه می‌یابد.

طرح اولیهٔ دسته‌موتور بر اساس وزن قوای محرکه برقی و با الگوبرداری از خودروهای مشابه در یکی از نرم‌افزارهای طراحی به‌صورت سه‌بعدی آماده می‌شود و با کمک نرم‌افزار هایپرمش[۴] مراحل آماده‌سازی الگوی اجزای محدود آن انجام می‌شود. در شکل ۳–۳۰ لگوی اجزای محدود اولیهٔ آن قابل مشاهده می‌باشد.

این دسته‌موتور مطابق شکل ۳–۳۰ شامل سه قسمت بدنه (از جنس فولاد)، هسته (از جنس آلومینیوم) و قسمت میانی (از جنس بسیار منعطف) است. شبکه‌بندی نقشهٔ سه‌بعدی با استفاده از اجزای سی۳دی۲۰آر[۵] (برای قسمت‌های فلزی) و سی۳دی۲۰آراچ[۶] (برای قسمت بسیار منعطف) انجام شده است. مرز مشترک قسمت‌های مختلف به‌صورت اجزای بهم پیوسته شبیه‌سازی شده است.

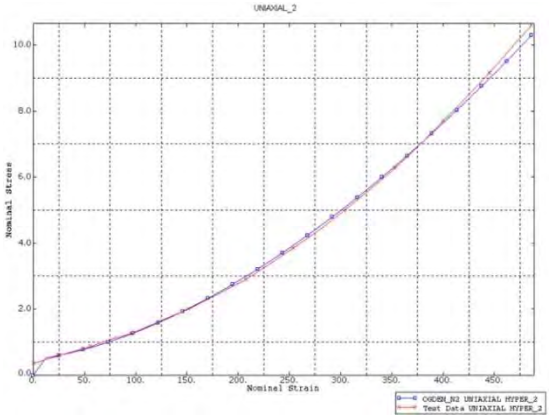
---

۱ Hyper elastic
۲ ADAMS
۳ ABAQUS
۴ HyperMesh
۵ C3D20R
۶ C3D20RH



شکل ۳-۳۰ الگوی اجزای محدود طرح اولیه دسته‌موتور

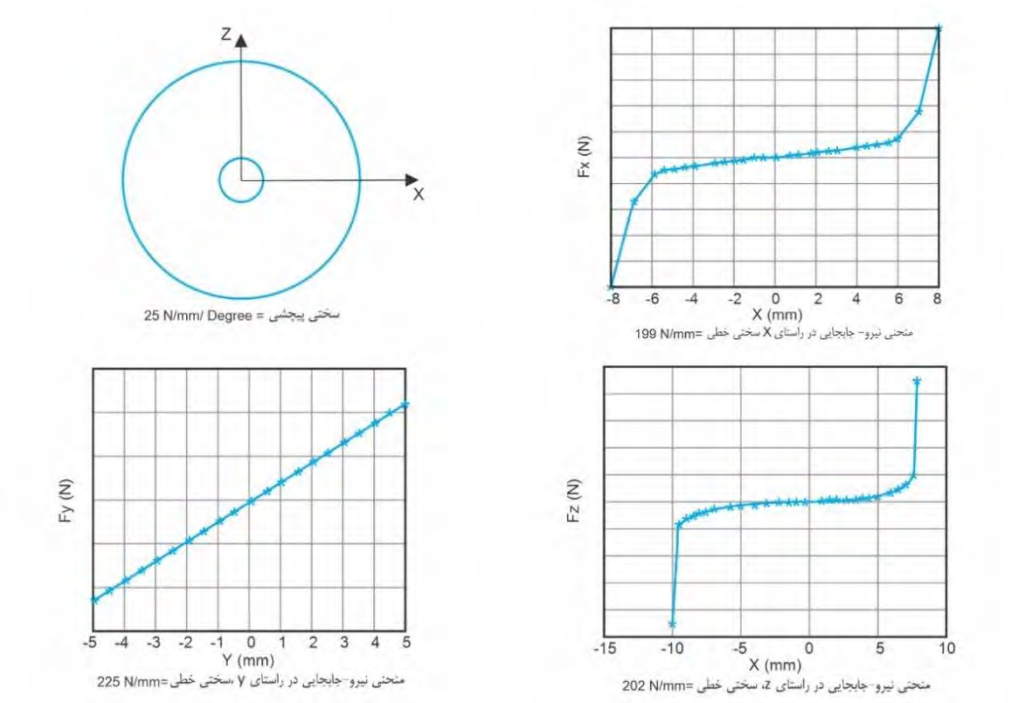
برای قسمت‌های فولادی و آلومینیومی مشخصات خطی مکانیکی به‌صورت مناسب تعریف و تخصیص داده می‌شود. درصورت مشخص نبودن معادلات حاکم بر مواد بسیار منعطف، نمونه آزمون کشش مکانیکی این ماده آماده می‌شود و با انجام آزمون کشش مقادیر نیرو-جابجایی به‌صورت جدول آماده می‌شود. داده‌های آزمون کشش به عنوان ورودی به نرم‌افزار آباکوس وارد می‌شود. بر اساس حدس کاربر مبنی بر پیروی ماده از الگویی مشخص، مقدار انطباق داده‌های آزمون با الگوی انتخاب شده، مشخص می‌گردد. پس از مشخص شدن بهترین الگو برای ماده، تحلیل اجزای محدود بر اساس ضرایب محاسبه شده با نرم‌افزار انجام می‌شود. در شکل ۳-۳۱ مشاهده می‌شود که داده‌های آزمون کشش مکانیکی برای ماده استفاده شده انطباق بسیار مناسبی با الگوی اوگدن[۱] مرتبه دوم دارد.



[۱] Ogden

شکل ۳-۳۱ مطابقت داده‌های آزمون کشش ماده بسیار منعطف با الگوی اوگدن مرتبه دوم

سختی مورد نیاز دسته‌موتور در تحلیل دینامیکی در هر سه راستا محاسبه شده است. در شکل ۳-۳۲ سختی‌های مورد نیاز قابل مشاهده می‌باشد.



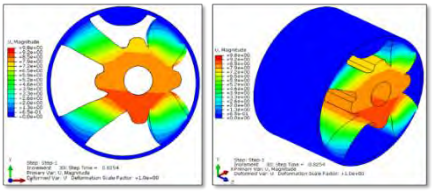
شکل ۳-۳۲ سختی مورد نیاز دسته‌موتور در راستاهای مختلف

برای محاسبه سختی دسته‌موتور طراحی شده در نرم‌افزار آباکوس، جابجایی مناسبی در امتداد هر راستا اعمال می‌شود و پس از تحلیل اجزای محدود نمودار نیرو-جابجایی به‌صورت یک منحنی استخراج می‌شود. با استفاده از مقادیر عددی بدست آمده می‌توان مقدار شیب منحنی (سختی دسته‌موتور) را محاسبه کرد.

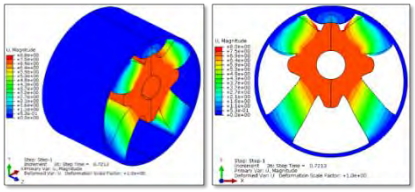
سطح بیرونی بدنهٔ دسته‌موتور در هر سه راستا مقید شده است و هستهٔ داخلی دسته‌موتور که با اجزای صلب به یک نقطهٔ میانی متصل شده است، قید حرکتی مناسب اعمال می‌شود. در شکل ۳-۳۳ نمایی از قیدهای مکانیکی اعمال شده به دسته‌موتور نشان داده شده است.

شکل ۳-۳۳ قیدهای مکانیکی اعمال شده به دسته‌موتور

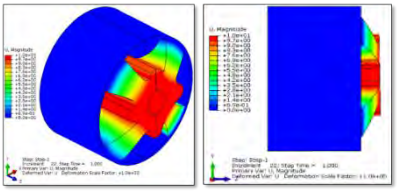
باتوجه به شرایط مرزی حل مسئله و خروجی مورد نیاز آن، لازم است برای هر سختی مورد نیاز یک بار مسئله با استفاده از گام ایستایی غیرخطی حل شود. در نرم‌افزار آباکوس این گام با عنوان ایستایی-عمومی[۱] شناخته می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود مجموعه برای چهار حالت بارگذاری ارائه شده است. در شکل ۳-۳۴ نحوهٔ تغییر شکل مجموعه بر اثر بارگذاری متناسب با آن نشان داده شده است.



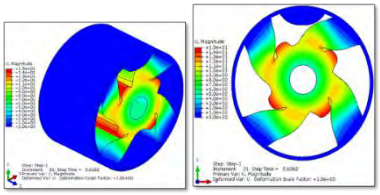
الف) تغییر شکل دسته‌موتور در اثر جابجایی در راستای افقی



ب) تغییر شکل دسته‌موتور در اثر جابجایی در راستای عمودی



ج) تغییر شکل دسته‌موتور در اثر جابجایی در راستای محوری

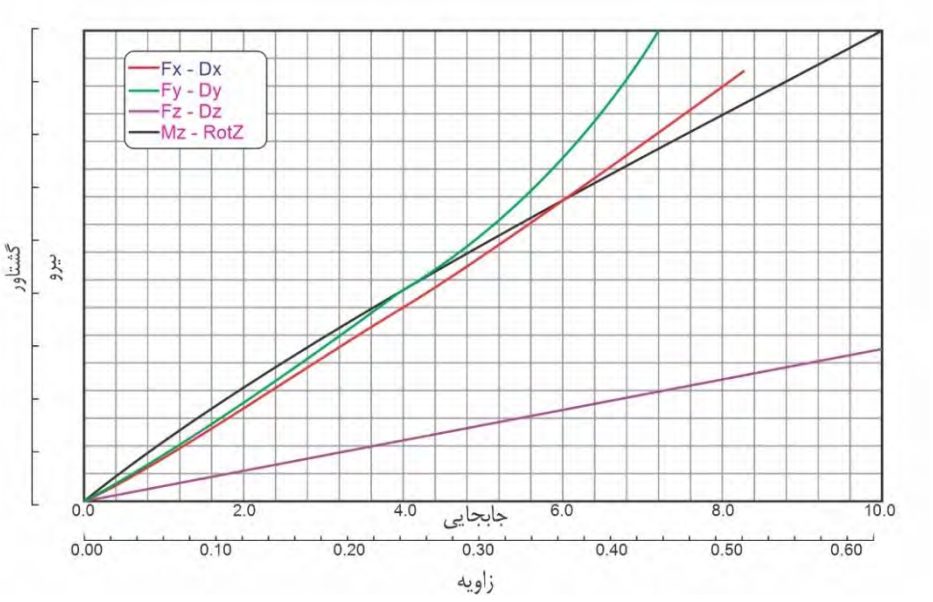


د) تغییر شکل دسته‌موتور در اثر چرخش زاویه‌ای حول محور

شکل ۳-۳۴ تغییر شکل دسته‌موتور در اثر بارگذاری‌های مختلف

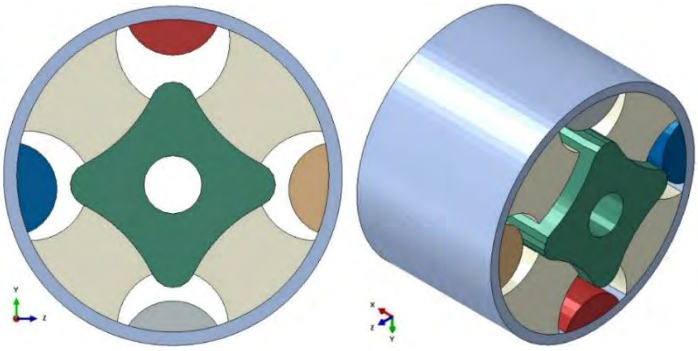
[۱] Static-General

برای هر حالت بارگذاری و تحلیل، منحنی نیرو–جابجایی در محل اعمال قید مکانیکی (نقطهٔ میانی متصل به هسته) استخراج شده در شکل ۳–۳۵ نشان داده شده است. سختی هر حالت با استفاده از نتایج عددی دقیق محاسبه شده است.



شکل ۳–۳۵ منحنی نیرو–جابجایی حالت‌های مختلف بارگذاری و سختی دسته‌موتور

نتایج نشان می‌دهند که مقدار سختی بدست آمده برای طرح اولیهٔ دسته‌موتور در دو راستای عمودی و افقی نسبتاً مناسب اما در دو راستای دیگر اصلاً قابل قبول نیست. در راستای محوری سختی محاسبه شده کمتر و در راستای تحمل گشتاور سختی محاسبه شده بیشتر از سختی مورد نیاز است. بنابراین لازم است در طرح اولیه بازنگری شود. تغییرات پیشنهادی باید در راستای افزایش سختی دسته‌موتور در جهت محور دسته‌موتور و کاهش سختی برای تحمل گشتاور انجام شود و در عین حال سختی دو راستای دیگر که متناسب با سختی مورد نیاز است تغییرات چندانی نداشته باشد. اصلاح هندسی بر روی چند طرح پیشنهادی انجام می‌شود و در نهایت طرح نهایی مطابق شکل ۳–۳۶ شکل ۳–۳۶ آماده شد.



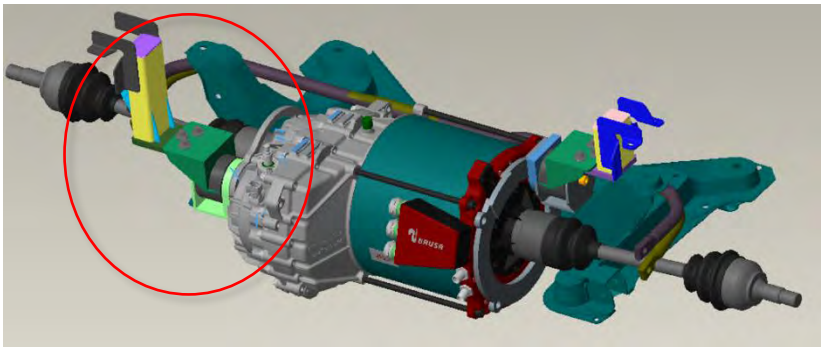
شکل ۳-۳۶ طرح نهایی دسته‌موتور پیشنهادی

۳-٤ تحلیل اجزاء محدود پایهٔ نگهدارندهٔ دسته‌موتورهای خودروی دورگه

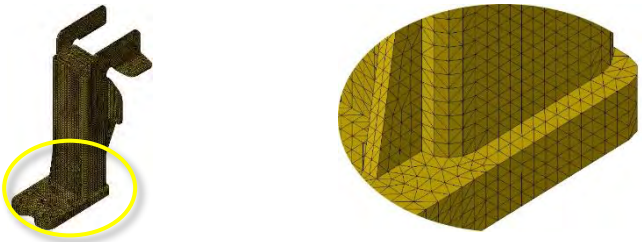
پایه‌های نگهدارنده در مجموعهٔ قوای محرکه وظیفهٔ اتصال سامانه به بدنهٔ اصلی را دارند؛ به‌طوری‌که این اتصال تا حد امکان صلب بوده و با تحریک بسامدی با نیروهای پویای موتور، قطعه یا سامانهٔ مورد نظر دچار پدیده تشدید نشود. در صورت وقوع تشدید، عملکرد قطعه دچار اختلال می‌شود و یا خود نگهدارنده دچار آسیب مکانیکی می‌شود. به همین منظور، نگهدارنده‌های دسته‌موتور قوای محرکهٔ برقی به لحاظ استحکامی، بررسی می‌شود. نیروهای دینامیکی و استاتیکی در تحلیل پویای نرم‌افزار آدامز[۱] و بر اساس رفتارهای متفاوت محاسبه می‌شود. پس از تحلیل دینامیکی، بزرگترین نیروی محاسبه شده برای تحلیل سازه‌ای به کار می‌رود و با درنظر گرفتن معیار مقاومت ماده، ارزیابی می‌گردد.

طرح اولیهٔ نگهدارندهٔ دسته‌موتور باتوجه به وضعیت قرارگیری دسته‌موتور و فاصله بین آن و بدنهٔ خودرو مطابق شکل ۳-۳۷ طراحی شد. الگوی اجزای محدود نگهدارندهٔ دسته‌موتور مطابق شکل ۳-۳۸ با نرم‌افزار پیش‌پردازش هایپرمش[۲] تهیه شد. برای تهیه آن از اجزای سه‌بعدی سی۳دی۱۰ام[۳] استفاده شده است. رفتار جوش با استفاده از روش ترکیب گره‌های اجزایی، شبیه‌سازی شده است.

۱ ADAMS
۲ Hypermesh
۳ C3D10M



شکل ۳-۳۷ نگهدارندهٔ دسته‌موتور خودروی دورگه و نحوهٔ اتصال موتور برقی به بدنه با دسته‌موتور



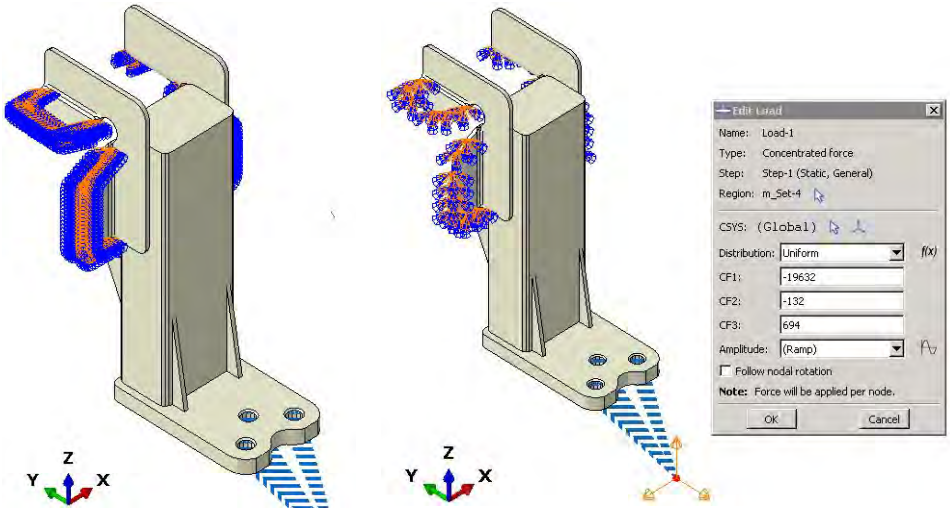
شکل ۳-۳۸ الگوی اجزای محدود نگهدارندهٔ دسته‌موتور خودروی دورگه

با فرض صلب بودن بدنهٔ خودرو نسبت به نگهدارنده، نواحی اتصال نگهدارنده به بدنه را می‌توان قید مکانیکی کامل درنظر گرفت. بارهای پویای و ایستایی از طرف موتور برقی به دسته‌موتور و در نهایت به نگهدارندهٔ دسته‌موتور منتقل می‌شود. شرایط متفاوت رانندگی باعث بروز بارهای مکانیکی در محل دسته‌موتور می‌شود. برای محاسبهٔ نیروهای وارد بر محل دسته‌موتور تحلیل‌های دینامیکی با در نظر گرفتن حالت‌های استاندهٔ رانندگی انجام شده است که در جدول ۳-۶جدول ۳-۶ نتایج تحلیل پویای و دامنهٔ بارهای وارد بر محل دسته‌موتور نشان داده شده است.

جدول ۳-۶ دامنهٔ نیروهای وارد بر محل دسته‌موتورها در شرایط استانداردِ رانندگی

		ترمزگیری	تصادف از عقب	حرکت از روی فرورفتگی	حرکت از روی برآمدگی	شروع به حرکت جلو	شروع به حرکت عقب	گردش به چپ	گردش به راست	شروع به حرکت ناگهانی
دسته‌موتور ۱	F_x (N)	۲۸۶	−۳۷۰	۲۹۶	−۲۶۱	−۵۲۴۱	۴۵۰۸	−۴۹۹۱	−۵۱۶۸	−۱۹۸۹۶
	F_y (N)	۱	−۶	۲۰	−۲۷	−۱۲۳	۱۲۷	−۵۹۳	۳۳۳	−۱۲۷
	F_z (N)	۳۶۵	۲۹۲	۱۷۲۳	−۱۷۰۱	−۳۱۴	۲۲۱۶	−۴۲۷	−۳۳۹	۹۱۶
دسته‌موتور ۲	F_x (N)	۳۷۹	−۴۸۹	۲۲۳	−۲۴۵	−۵۱۲۵	۴۳۶۸	−۵۱۱۸	−۴۶۹۳	−۱۹۶۳۲
	F_y (N)	۱۵	−۱۵	۵۳	−۱۱	−۱۲۶	۱۳۶	−۵۹۱	۳۵۶	−۱۳۲
	F_z (N)	۴۶۴	۳۶۹	۲۲۹۹	−۲۲۷۴	−۴۱۲	۲۴۵۹	−۴۰۹	−۵۸۱	۶۹۴
دسته‌موتور ۳	F_x (N)	۲۵۳	−۲۸۸	−۵۲۰	۵۰۷	۹۹۰۸	−۸۴۱۷	۱۰۱۰۹	۹۸۶۲	۳۹۵۲۹
	F_y (N)	−۱۶	۲۱	−۷۳	۳۸	۲۵۰	−۲۶۴	۳۷	۴۵۹	۲۵۹
	F_z (N)	−۶۵	۱۰۴	۵۶۷	−۶۱۴	۱۴۹۱	−۳۹۰۹	۱۶۰۱	۱۶۸۵	−۸۴۵

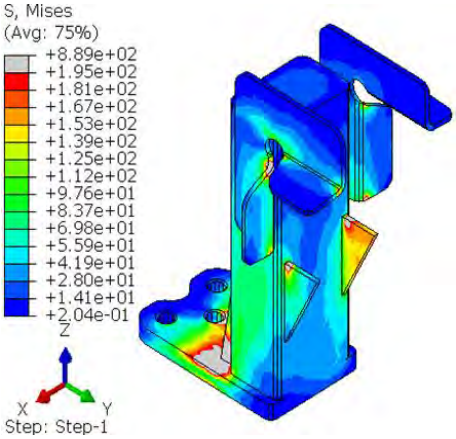
بزرگترین نیروهای موجود در جدول ۳-۶ به منظور کاهش هزینه محاسباتی انتخاب می‌شود و برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. در شکل ۳-۳۹شکل ۳-۳۹ شرایط مرزی و بارهای مکانیکی اعمال شده به الگوی اجزای محدود نشان داده شده است.



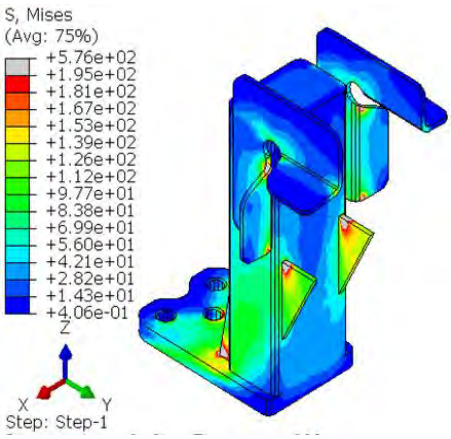
بارهای مکانیکی اعمال شده به محل محور دسته‌موتور (حالت راه‌اندازی با موتور روشن) قید مکانیکی اعمال شده به الگوی اجزای محدود

شکل ۳-۳۹ بارهای مکانیکی اعمال شده به محل محور دسته‌موتور (حالت راه‌اندازی با موتور روشن)

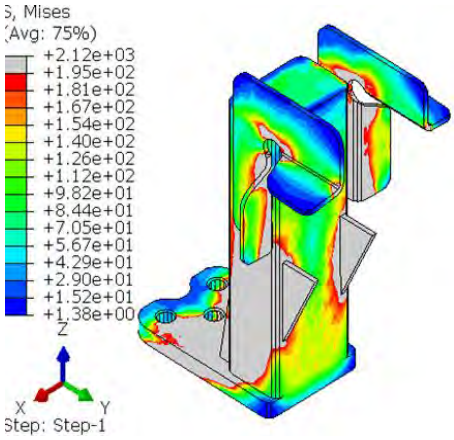
نتایج توزیع تنش حاصل از نرم‌فزار در شکل ۳-۴۰ نشان داده شده است. توزیع تنش نشان داده شده حالت راه‌اندازی با موتور روشن بیشترین مقدار تنش را داشته است و با توجه به معیار تنش، ناحیه قابل توجهی از نگهدارنده تنش بزرگتری نسبت به معیار تنش ماده دارد.



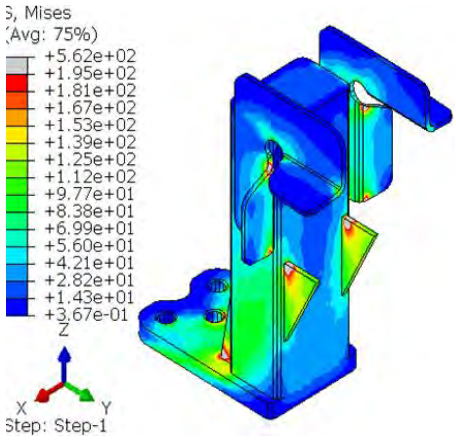
توزیع تنش فون میسز در حالت "راه‌اندازی بر روی دنده عقب"



توزیع تنش فون میسز در حالت "راه‌اندازی بر روی دنده۱"



توزیع تنش فون میسز در حالت "راه‌اندازی در حالت موتور روشن"



توزیع تنش فون میسز در حالت "دور زدن به سمت چپ "

شکل ۳-۴۰ توزیع تنش فون میسز در نگهدارندهٔ دسته‌موتور در حالات مختلف

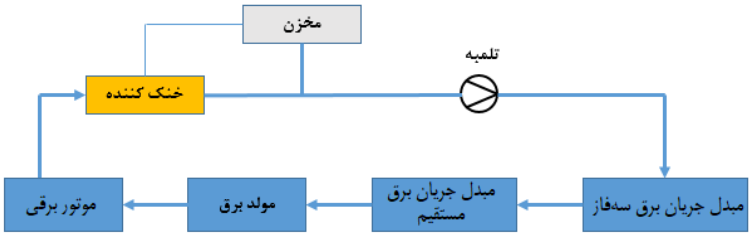
۳-۵ توسعهٔ سامانهٔ خنک‌کاری خودروی دورگه

هدف اصلی در طراحی سامانهٔ خنک‌کاری، مدیریت دمای اجزاء در شرایط عملکردی تعریف شده برای آن‌ها در سامانه‌ای با صرف کمترین انرژی است. با توجه به قابلیت‌های موجود در تحلیل یک بعدی، طراحی مفهومی به صورت یک بعدی انجام می‌شود تا توزیع مناسبی از جریان بر حسب نیازهای اعلام شده برای هر قطعه، بدست آید.

خودروی دورگه طراحی شده از نوع بردافزا[۱] می‌باشد. این خودرو دارای سه مدار خنک‌کاری جداگانه است. به دلیل کارکرد اجزاء در بازه‌های مختلف دمایی، مدارهای متفاوتی در خودرو در نظر گرفته شده است که شامل مدار خنک‌کاری موتور احتراقی، مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی و مدار تجهیزات جانبی و موتور برقی می‌باشد.

۳-۵-۱ مدار خنک‌کاری تجهیزات جانبی و موتور برقی

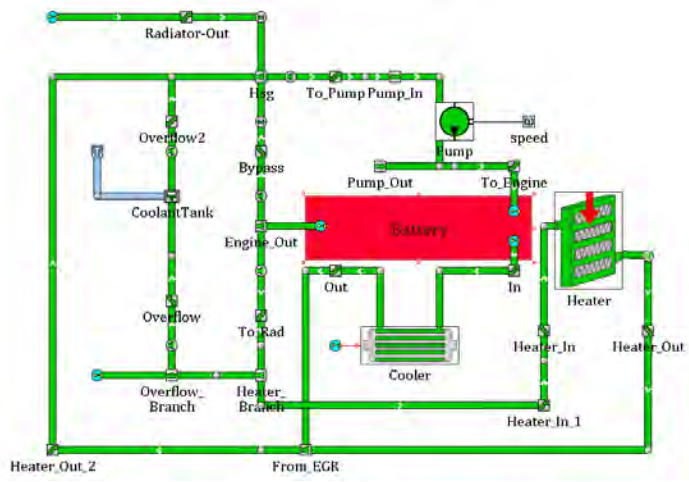
منظور از اجزاء جانبی، مبدل‌های جریان برقی مستقیم و متناوب است که در محدودهٔ دمایی مابین ۴۰ تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد عملکرد مطلوبی دارند. شایان ذکر است که محدودهٔ کارکرد دمایی تجهیزات جانبی و موتور برقی از ۴۰ °C- تا ۸۰°C است. موتور برقی و مولد برق نیز در این مدار قرار می‌گیرند. در شکل ۳-۴۱ طرحواره‌ای از مدار خنک‌کاری تجهیزات جانبی نشان داده شده است. شرایط مورد نیاز در خنک‌کاری این اجزاء در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۳-۴۱ مدار خنک‌کاری تجهیزات جانبی

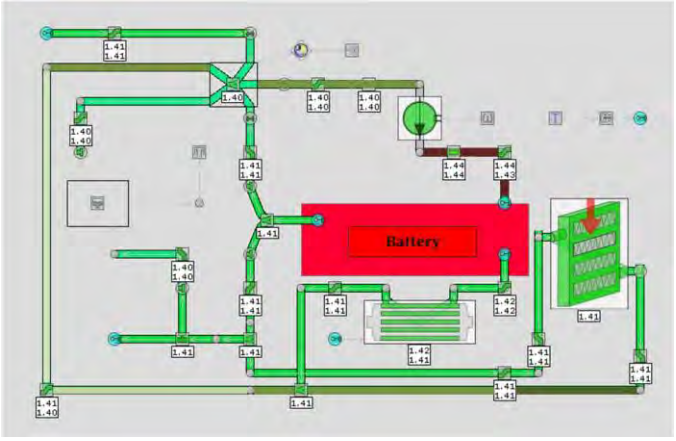
در ادامه با استفاده از نرم‌افزار جی‌تی‌سوئیت[۲]، تحلیل یک‌بعدی هیدرولیکی مدار خنک‌کاری انجام می‌شود. با معرفی اجزاء برقی و مشخصات هیدرولیکی آن‌ها مدار خنک‌کاری در نرم‌افزار یک‌بعدی جی‌تی‌سوئیت ایجاد می‌شود. شکل ۳-۴۲ مدار خنک‌کننده اجزاء برقی را نشان می‌دهد.

[۱] Range Extender
[۲] GT-suite

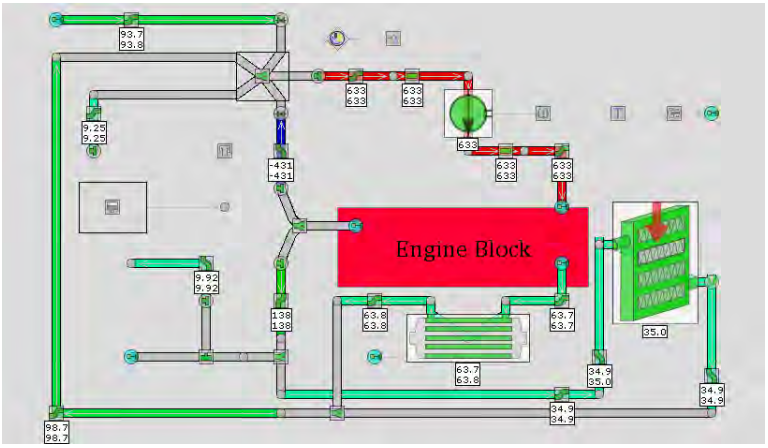


شکل ۳-۴۲ مدار خنک‌کننده اجزاء برقی در نرم‌افزار جی‌تی‌سوییت

در شکل ۳-۴۳ نتایج توزیع فشار و در شکل ۳-۴۴ توزیع جریان در مدار نمایش داده شده است. نتیجهٔ نرم‌افزار نشان می‌دهد که جریان مورد نیاز مدار خنک‌کاری تجهیزات جانبی ۵٫۶ لیتر بر دقیقه است تا دمای تجهیزات در محدودهٔ استانده تعریف شده باقی بماند.



شکل ۳-۴۳ توزیع فشار سیال خنک‌کاری

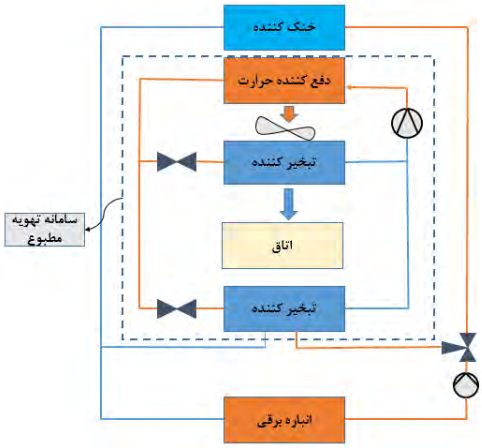


شکل ۳-۴۴ نرخ جریان سیال خنک‌کاری

واحد مدیریت تجهیزات جانبی پس از روشن شدن خودرو، تلمبهٔ آب مدار خنک‌کن تجهیزات برقی را روشن می‌کند. تلمبهٔ مذکور در صورت قرار نداشتن خودرو در وضعیت بی‌باری، روشن خواهد ماند. در زمان اتصال ذخیره‌ساز برق شهری نیز تلمبهٔ مذکور روشن می‌باشد.

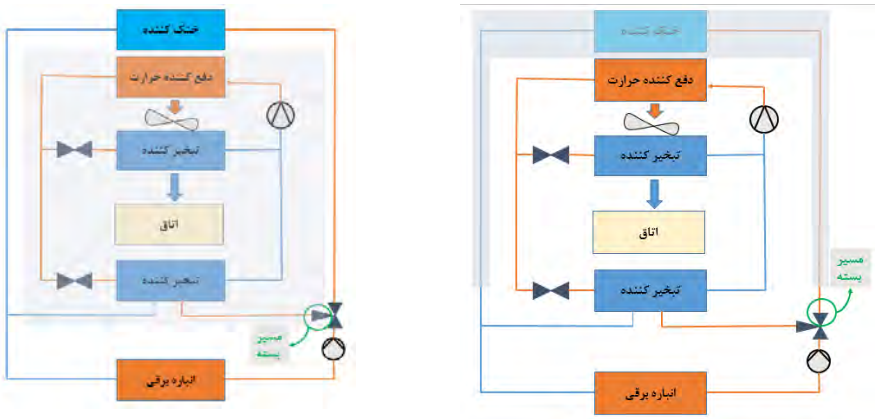
۳-۵-۲ مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی

مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی به صورت طرحواره در شکل ۳-۴۵ نشان داده شده است. محدودهٔ کارکرد مناسب در این مدار ۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد است. به منظور حصول عملکرد مناسب در انبارهٔ برقی سعی بر آن است که دمای سیال مابین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شود. در این مدار، انبارهٔ برقی به‌عنوان تولید کنندهٔ حرارت و مبدل گرمایی (یا تبخیرکننده) دفع کنندهٔ حرارت است.



شکل ۳-۴۵ طرحواره مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی

در شرایطی که دمای هوای محیط خنک باشد، مبدل گرمایی توان دفع حرارت از سیال خنک‌کاری را داشته و نیاز به صرف انرژی بیشتر برای دفع حرارت نمی‌باشد. در این حالت مسیر آب خنک‌کن انبارهٔ برقی از مسیر تهویهٔ مطبوع گذر نخواهد کرد و همانند طرحواره نشان داده شده در شکل ۳-۴۶ ب است. در شرایط اقلیمی گرم، مبدل گرمایی توان خنک‌کاری مناسب خود در مجاورت هوا را از دست داده و به تنجار برقی و سامانهٔ تهویهٔ مطبوع نیازمند است. در این حالت مسیر آب عبوری انبارهٔ برقی از مبدل گرمایی عبور نکرده و همانند شکل ۳-۴۶ الف است.

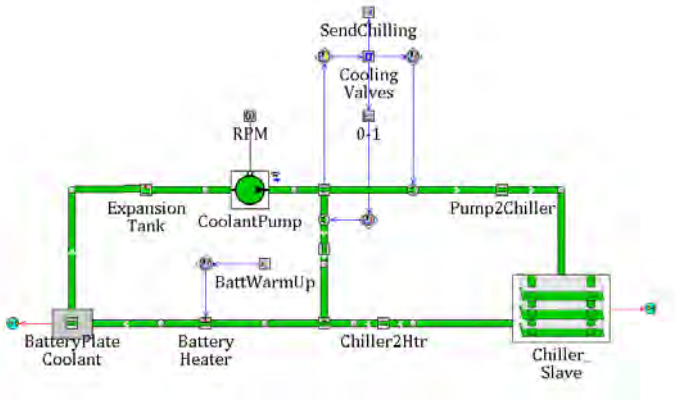


الف) تبخیرکننده[۱] به‌عنوان خنک‌کن سیال ب) مبدل گرمایی به‌عنوان خنک‌کن سیال

شکل ۳-۴۶ حالات عبور جریان در مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی

[۱] evaporaqtor

از نرم‌افزار جی‌تی‌سوئیت برای تحلیل یک‌بعدی سیالاتی مدار خنک‌کاری استفاده می‌گردد. با معرفی اجزاء سامانه و مشخصات سیالاتی آن‌ها مدار خنک‌کاری در نرم‌افزار یک‌بعدی جی‌تی‌سوئیت ایجاد می‌گردد. شکل ۳-۴۷ مدار خنک‌کننده انبارهٔ برقی را در نرم‌افزار جی‌تی‌سوئیت نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۷ مدار یک بعدی خنک‌کنندهٔ انبارهٔ برقی در نرم‌افزار جی‌تی‌سوئیت

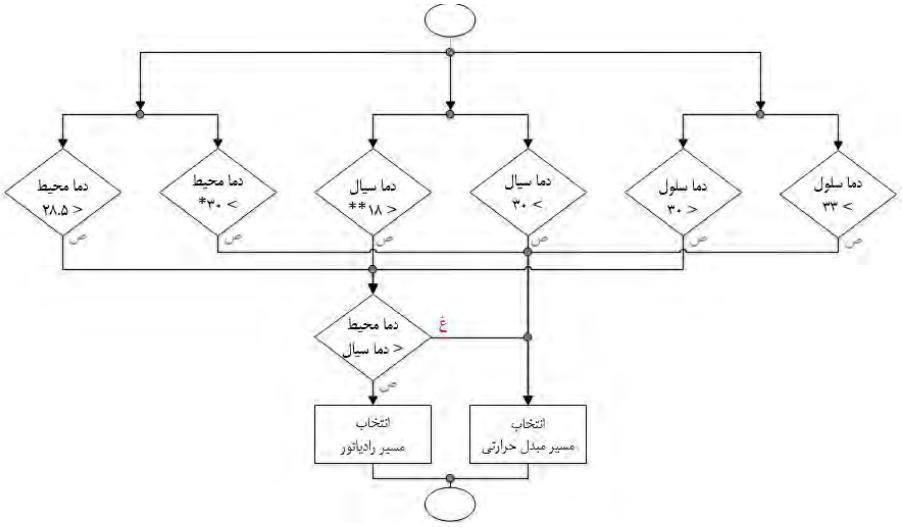
نتایج تحلیل شار عبوری مورد نیاز مدار خنک‌کاری انبارهٔ برقی را برای طراح مشخص می‌کند تا براساس آن تلمبهٔ آب مناسب خریداری و جانمایی گردد.

مدیریت خنک‌کاری انباره به‌وسیلهٔ واحد مدیریت تجهیزات جانبی با استفاده از داده‌های ورودی دمای نقاط مختلف انجام می‌شود. تلمبهٔ آب سیال خنک‌کن انباره پس از روشن شدن خودرو با تأخیر یک ثانیه‌ای روشن و جریان سیال را برقرار می‌کند. تلمبهٔ آب به منظور صرفه‌جویی انرژی در حالت بی‌باری خودرو خاموش می‌شود و تا زمانی که یکی از شروط لازم برقرار نشود، تلمبهٔ آب خاموش می‌ماند. شرایط روشن شدن مجدد تلمبه به این صورت است:

- مصرف بیش از ۷ آمپر از انبارهٔ ولتاژ قوی
- سرعت خودرو بیش از ۱۰ کیلومتر بر ساعت
- افزایش دمای انباره به بیش از ۴۳ درجه سانتی‌گراد

انرژی اتلافی انباره از طریق مبدل گرمایی هواخنک و یا مبدل گرمایی خنک شونده با کمک مبرد دفع می‌شود. تصمیم‌گیری صحیح برای انتخاب مسیر خنک‌کاری علاوه بر عملکرد صحیح سامانه، اثر قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی نیز می‌گذارد. برای مثال، استفاده غیرضروری از تبخیر کننده موجب روشن و خاموش شدن‌های متوالی و زودهنگام تنجار همراه خواهد شد که علاوه بر اتلاف انرژی، موجب کاهش عمر تنجار نیز خواهد

شد. عوامل مختلف در انتخاب مسیر جریان سیال خنک‌کننده در واحد مدیریت تجهیزات جانبی درنظر گرفته شده است که به طور خلاصه شروط دمایی مذکور در شکل ۳–۴۸ شکل ۳–۴۸ و جدول ۳–۷ نشان داده شده است.



شکل ۳–۴۸ راهبرد تصمیم‌گیری خنک‌کاری انباره

جدول ۳–۷ شرایط دمایی راهبرد تصمیم‌گیری خنک‌کاری انباره

مشخصه	انتخاب مسیر جریان سیال	
	تبخیر کننده	مبدل گرمایی هواخنک
دمای محیط	> ۳۰*	< ۲۸,۵
دمای سیال خنک‌کن	> ۳۰	< ۱۸**
دمای بیشینهٔ سلول‌های انباره	> ۳۳	< ۳۰
* در صورت روشن بودن تهویهٔ مطبوع خودرو ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ** در صورتی‌که که دمای سیال از دمای محیط بیشتر باشد.		

همچنین انتخاب مسیر مبدل گرمایی مشروط به قرار داشتن فشار مبرد در محدوده ایمن (۲,۵ تا ۳۲ بار) و همچنین عدم وجود خطا می‌باشد. در زمان اتصال ذخیره‌ساز برق شهری، راهکارهای خنک‌کاری انباره تا زمانی که دمای ذخیره‌ساز و بیشینهٔ دمای سلول به ترتیب به بیش از ۵۸ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد نرسد به طور کامل غیر فعال می‌باشد. در صورتی‌که که هر کدام از شروط مذکور حاصل شود، براساس راهکار بیان شده مسیر مبدل گرمایی یا تبخیر کننده برای جریان سیال خنک‌کننده انتخاب می‌گردد.

فصل چهارم

طراحی

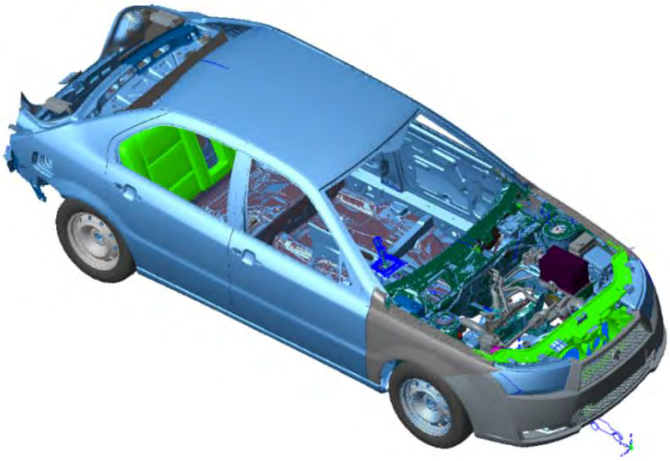
٤-طراحی

یکی از مهمترین بخش‌های توسعهٔ خودروی دورگه، جانمایی و طراحی قطعات جدید در بدنهٔ یک خودروی بنزینی است. طراحی قطعات جدید مطابق با الزامات و استانده‌های خودرویی انجام می‌شود. در عین حال جانمایی موتور برقی و سایر قطعات غیرطراحی نیز باید بر اساس اصول و الزامات خودرویی انجام شود. شایان ذکر است که به دلیل فعال نبودن همیشگی موتور احتراقی، بسیاری از قطعات جانبی همانند فرمان برقی-روغنی، تلمبهٔ آب قطعات برقی و گرمکن اتاق خودرو نیازمند طراحی دوباره یا استفاده از قطعات و مجموعه‌های آماده و جانمایی این قطعات جدید در محفظهٔ موتور است.

٤-١ جانمایی [1]

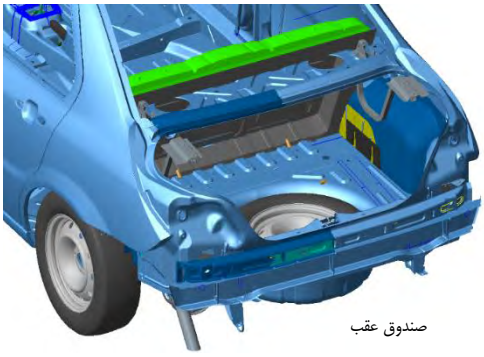
بعد از اتمام محاسبات مهندسی و انتخاب پیکره‌بندی ردیفی برای خودرو، مشخصات و الگوهای مناسب هندسی[2] برای جانمایی در خودرو، دریافت گردید. الگوهای خودروی پایه به صورت طرحواره در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

[1] Packaging
[2] CAD DATA

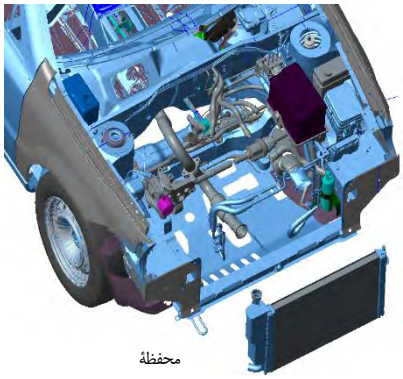


شکل ۴-۱ الگوی خودروی پایه

مهمترین نقشه‌های مورد نیاز برای جانمایی در این طرح محفظهٔ موتور و صندوق عقب خودروی پایه است که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



صندوق عقب



محفظهٔ

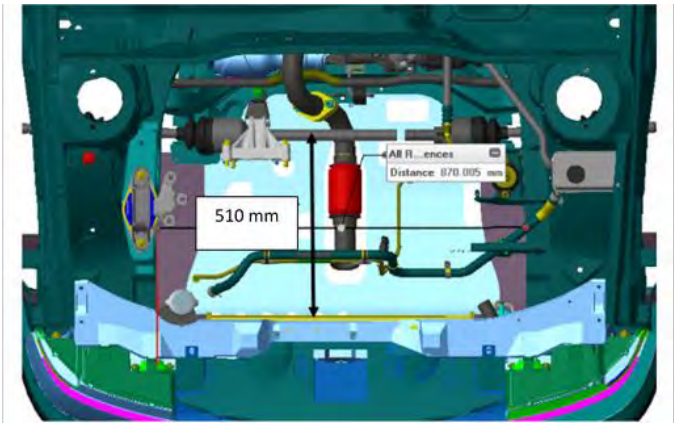
شکل ۴-۲ محفظهٔ موتور و صندوق عقب خودروی پایه

٤-١-١ جزییات جانمایی و طراحی قطعات

- **محفظهٔ موتور[1]**

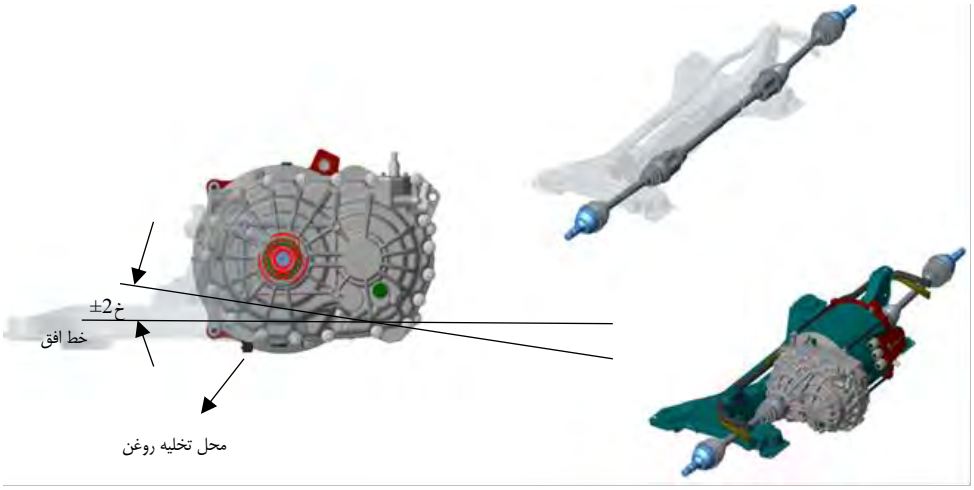
مطابق شکل ۴-۳ ابعاد محفظهٔ موتور خودروی پایه ۵۱۰ x ۸۷۰ میلیمتر است که باید طبق چیدمان از پیش مشخص شده، موتور برقی و موتور احتراقی به همراه مولد برق در محفظهٔ موتور جانمایی شود.

[1] Engine bay



شکل ۴-۳ ابعاد محفظهٔ موتور

بر اساس محدودیت‌های قرارگیری موتور برقی رواداشت زاویهٔ قرارگیری موتور برقی $^{\circ}$ ۲± نسبت به خط افق است که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴ رواداشت مجاز جانمایی موتور برقی

موتور احتراقی استفاده شده در این طرح، موتور سه‌استوانه با حجم موتور ۹۹۸ سی‌سی است. جانمایی این موتور همراه با تغییراتی در طراحی راهگاه هوا و دود بوده است. این موتور به همراه یک مبدل برق ۱۲ولت[1] که با یک اتصال[2] به موتور احتراقی متصل شده است، کار ذخیره‌سازی برق درون انباره را انجام می‌دهد.

بعد از جانمایی اولیهٔ موتور برقی در موقعیت مناسب نوبت به جانمایی موتور احتراقی می‌رسد که با توجه به اتصال مولد برق به آن نیازمند طراحی یک اتصال میان موتور احتراقی و مولد برق است. این اتصال باید خاصیت جذب‌کنندگی ارتعاشات و نیز انتقال قدرت را بر عهده داشته باشد. اتصال مذکور با استفاده از اتصال چنگکی و طراحی خاصی انجام شده است که منجر به ایجاد فاصله میان مولد برق و موتور احتراقی می‌شود. محل قرارگیری مولد برق نسبت به موتور احتراقی در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. شایان ذکر است که حسگر دورسنج موتور سه‌استوانه نیز بر قطعهٔ واسط میانی، جانمایی و نصب شده است.

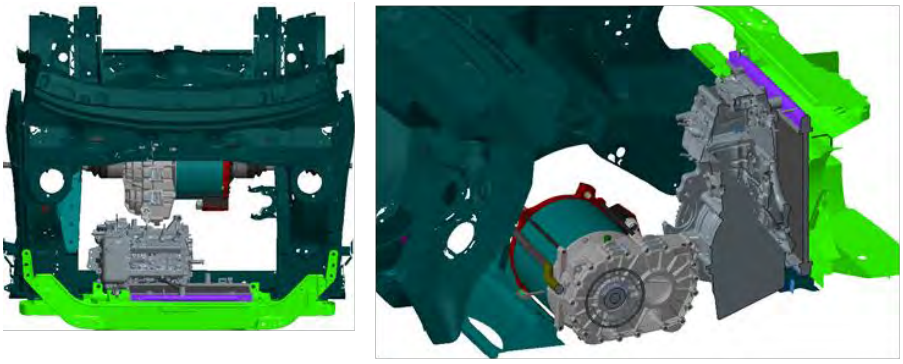
شکل ۴-۵ موقعیت قرارگیری قطعهٔ واسط میانی مولد برق و موتور احتراقی

زاویهٔ قرارگیری مولد برق در هم‌بندی[3] به گونه‌ای است که محل عبور بافه و لوله‌های خنک‌کاری مناسب باشد و مانعی برای باز و بست آن وجود نداشته باشد. برای خنک‌کاری موتور احتراقی از مبدل گرمایی خود موتور استفاده شد که با جانمایی مبدل گرمایی سه‌استوانه در محل مبدل گرمایی اصلی خودروی پایه صورت گرفت.

به منظور رعایت استانداردهٔ جانمایی، موتور احتراقی با فاصله مناسب از موتور برقی جانمایی گردید و برای بهبود فاصله با مبدل گرمایی، قطعهٔ مبدل گرمایی به اندازه ۳۰ میلیمتر به سمت جلو جابه‌جا می‌شود و محل نشست آن

[1] Generator
[2] Coupling
[3] Assembly

با توجه به پایه‌های مبدل گرمایی سه‌استوانه، اصلاح گردید. موقعیت قرارگیری موتورهای برقی و احتراقی نسبت به هم در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶ موقعیت موتور برقی نسبت به موتور احتراقی در طرح نهایی

استانداردِ فواصل استفاده شده در جانمایی در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ استانداردِ استفاده شده برای فواصل در محفظهٔ موتور[۶]

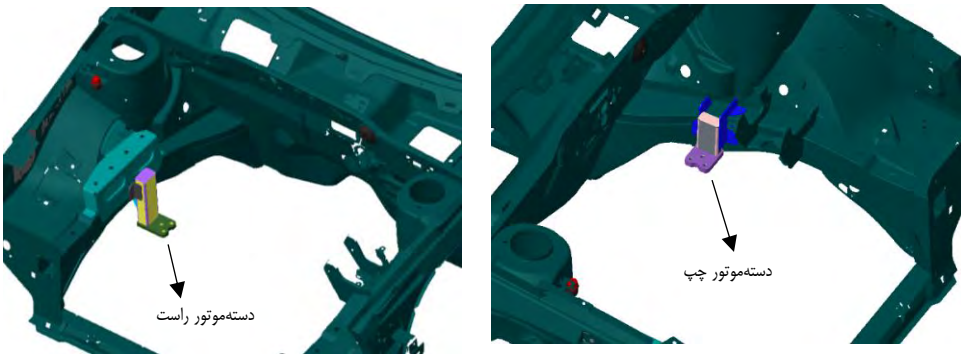
راهنمای فواصل	اندازه - میلیمتر
فاصله دو قطعه متحرک از یکدیگر	۴۰
فاصله یک قطعه ثابت و یک قطعه متحرک از یکدیگر	۳۰
فاصله دو قطعه ثابت	۸
فاصله دو قطعه متحرک چرخنده	۸
کمترین اندازه مورد نیاز جانمایی	۲۰
فاصله با قطعات داغ	۳۰

بعد از جانمایی اولیهٔ قطعات ذکر شده و تأیید جانمایی، نوبت به طراحی دسته‌موتورهای هر یک از این قطعات رسید. در طراحی دسته‌موتورهای موتور برقی، ابتدا محل و چیدمان دسته‌موتورهای موتور برقی به‌وسیلهٔ واحد محاسبات مهندسی انجام شد و دسته‌موتورها نیز بر اساس پیشنهاد محل‌قرارگیری محاسبات مهندسی طراحی شد. برای نگهداری موتور برقی مجموعاً سه عدد دسته‌موتور لازم است.

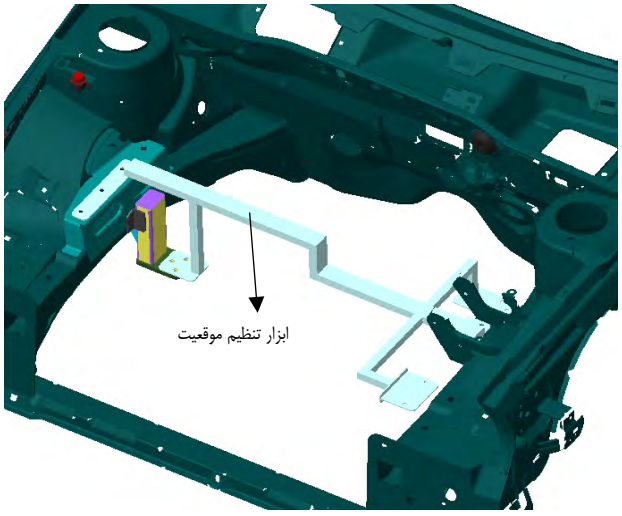
شکل ۴-۷ نگهدارندهٔ جوشکاری شده در چپ و راست محفظهٔ موتور نشان می‌دهد. برای تنظیم فاصله‌های دسته‌موتورها از یک موقعیت‌دهندهٔ تنظیمی[1] که برای این کار طراحی شده بود استفاده گردید. این نگهدارنده در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. محل دسته‌موتور سوم خودرویی، در زیر خودرو و متصل به رام تعیین شده است.

[1] Control fixture

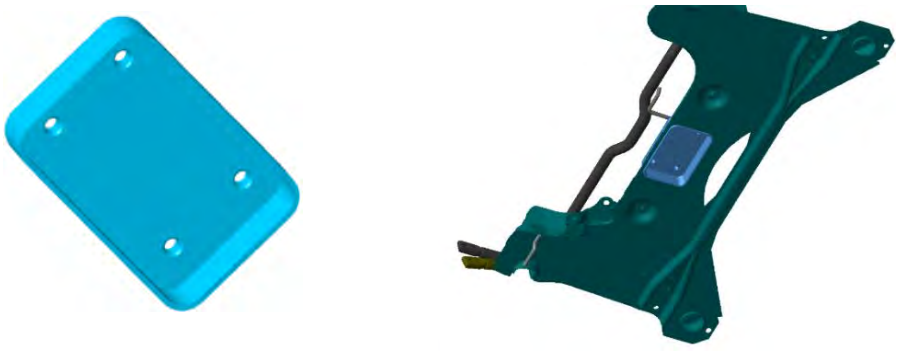
به این منظور در رام تغییراتی صورت گرفت تا قطعهٔ مکعبی شکل در زیر آن جوشکاری شود که در این قطعهٔ مکعبی دسته‌موتور لاستیکی قرار می‌گیرد. موقعیت قرارگیری قطعهٔ مکعبی نسبت به رام خودرو در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۷ دسته‌موتورهای موتور برقی در چپ و راست محفظهٔ موتور

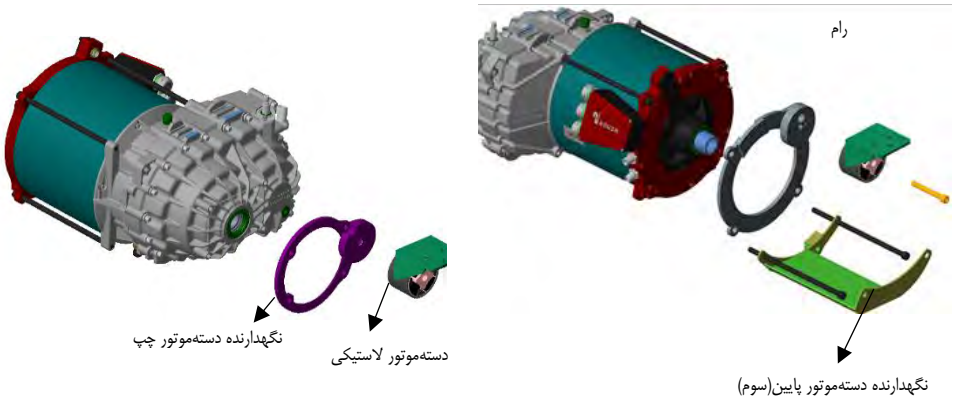


شکل ۴-۸ موقعیت‌دهندهٔ تنظیمی برای تنظیم موقعیت



شکل ۴-۹ جوشکاری قطعهٔ مکعبی به رام

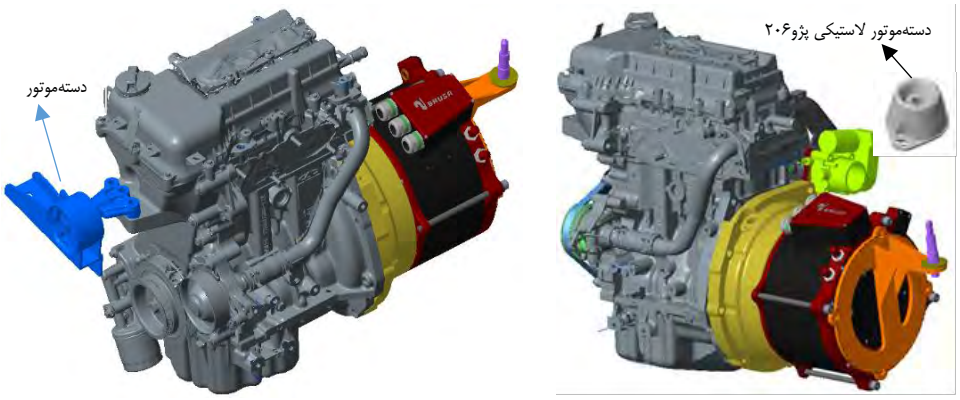
موقعیت قرارگیری دسته‌موتورهای موتور برقی نسبت به خود قطعه نیز در شکل ۴-۱۰ و شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰ موقعیت دسته‌موتورهای موتور برقی

شکل ۴-۱۱ دسته‌موتور زیرین موتور برقی

موتور احتراقی نیز همانند موتور برقی با سه دسته‌موتور به بدنه متصل می‌شود. موقعیت قرارگیری این دسته‌موتورها نسبت به موتور احتراقی در چپ، راست و قسمت زیرین در شکل ۴-۱۲و شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲ اتصال دسته‌موتورهای چپ و راست

شکل ۴-۱۳ موقعیت قرارگیری دسته‌موتور زیرین موتور احتراقی

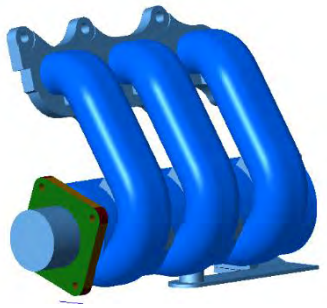
به دلیل وجود تداخل در قطعات و مجموعه‌ها و به منظور حفظ استانده لازم است تغییراتی در برخی از قطعات اصلی موتور احتراقی به وجود آید. شایان ذکر است که مجموعه و قطعات موتور احتراقی برای عملکرد بهینه در یک

نقشه عملکردی طراحی شده‌اند و در حالت کارکرد یک یا چند نقطه می‌توان طراحی این قطعات را تغییر و بهبود داد. مهمترین تغییرات موتور احتراقی به این شرح است:

- طراحی مجدد چند راههٔ هوا[1]
- طراحی مجدد چند راههٔ دود و پس‌پالایشگر [2]
- سازوکار تسمه سفت‌کن[3]
- طراحی مدار خنک‌کاری[4]

• طراحی مجدد چند راههٔ هوا

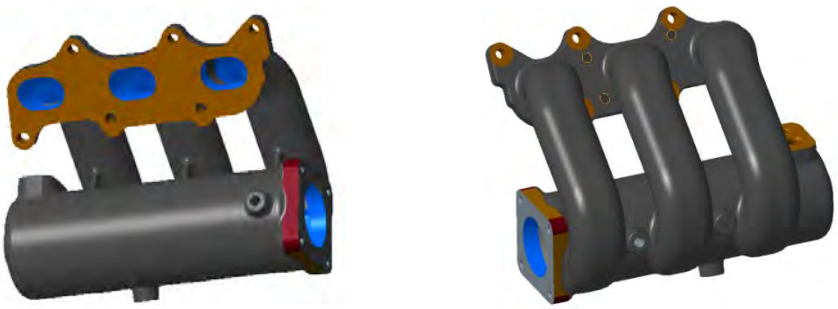
با توجه به کارکرد موتور در چند دور ثابت، طول راهگاه هوا را تغییر می‌دهیم و محاسبات مهندسی طراحی را دوباره تکرار می‌کنیم. شایان ذکر است که محدودیت جانمایی نیز اجازه استفاده از راهگاه اصلی موتور را به ما نمی‌دهد. با توجه به محدودیت‌های موتور شامل قطر راهگاه، طول راهگاه و قطر دریچهٔ گاز، الگوی جانمایی کلی چندراههٔ هوا که شامل طول و قطر راهگاه است و با شکلی مناسب طراحی می‌شود و برای تحلیل جریان به واحد محاسبات مهندسی ارسال می‌شود. در حین طراحی، جانمایی چندراههٔ هوا در کل خودرو با در نظر گرفتن عدم برخورد با دیگر قطعات در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴-۱۴ چندراههٔ هوا برای ارسال به محاسبات مهندسی

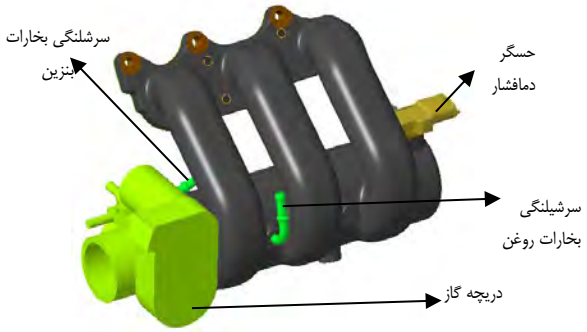
بعد از تحلیل و تأیید محاسبات، نقشهٔ قطعه با توجه به روش ساخت کامل می‌شود و نگهدارنده‌های تقویتی برای آن در نظر گرفته می‌شود. در آخرین گام، تحلیل ارتعاشی انجام و نقشهٔ نهایی ارائه می‌شود.

[1] Intake manifold
[2] Exhaust manifold and catalyst
[3] Tensioner
[4] Cooling



شکل ۴-۱۵ الگوی نهایی چندراههٔ هوا

شایان ذکر است که همانند قطعهٔ اصلی، در طراحی مجدد قطعه لازم است محل اتصال شلنگ بخارات روغن، شلنگ بخارات بازگشتی مخزن سوخت و محل حسگرها در چندراههٔ هوا تعبیه گردد. در شکل ۴-۱۶ محل قرارگیری سایر اتصالات نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶ جانمایی اتصالات چندراههٔ هوا

- **طراحی مجدد چند راههٔ دود و پس‌پالایشگر[1]**

به دلیل محدودیت‌های جانمایی و نیز کارکرد موتور احتراقی در چند نقطهٔ محدود، طراحی چندراههٔ دود تغییر کرد. برای طراحی چندراههٔ دود ابتدا موقعیت پس‌پالایشگر در خودرو مشخص گردید و سپس براساس طول راهگاه بهینه که از واحد محاسبات دریافت شد، طراحی اولیه صورت گرفت. طرح اولیه برای محاسبه مجدد به واحد

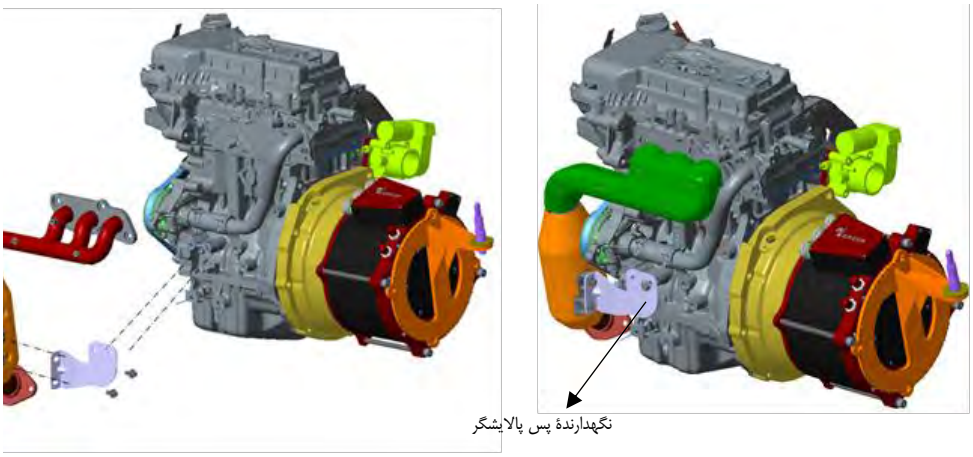
[1] Catalyst

محاسبات ارسال شد و با تأیید طراحی، نقشه قطعات آماده و برای ساخت ارسال شد. روش ساخت این مجموعه که در شکل ۴-۱۷شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است، به‌صورت خم‌کاری و جوشکاری می‌باشد.

شکل ۴-۱۷ مجموعه چندراههٔ دود و پس پالایشگر موتور احتراقی

برای جلوگیری از انتقال حرارت به مبدل گرمایی و محفظهٔ موتور دو سپر حرارتی طراحی شد که بر روی چند راههٔ دود و پس‌پالایشگر قرار می‌گیرد.

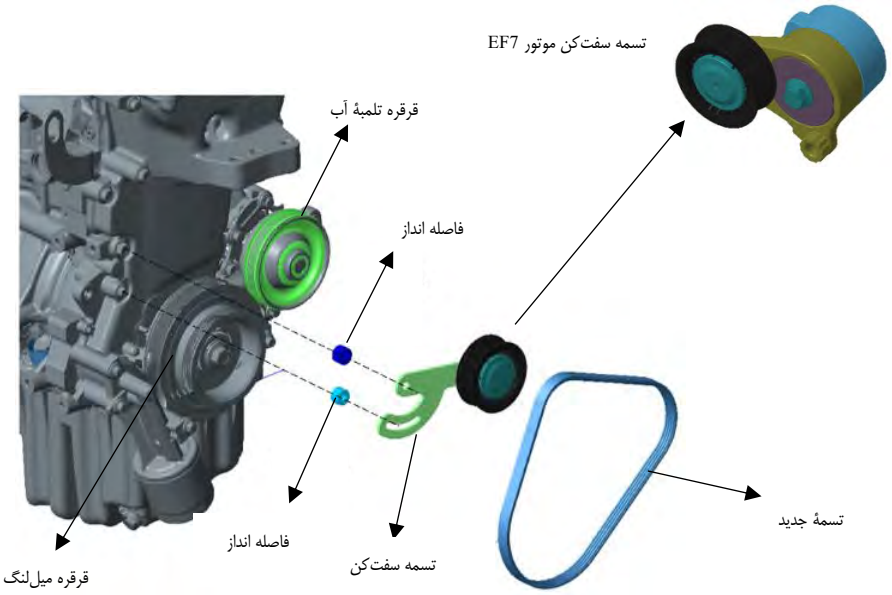
برای جلوگیری از ارتعاشات و تشدید در مجموعه چندراههٔ دود و پس‌پالایشگر، نگهدارنده‌ای برای این مجموعه طراحی گردید که در شکل ۴-۱۸شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۸ مجموعه هم‌بندی شدهٔ چندراههٔ دود و پس پالایشگر بر روی موتور احتراقی

- **سازوکار تسمه سفت‌کن**

با توجه به عدم استفاده از قطعات جانبی و متعلقات[1] از جمله تلمبهٔ فرمان روغنی، تنجار تهویهٔ مطبوع و مولد برق ۱۲ ولت، تسمهٔ قطعات جانبی موتور احتراقی تغییر می‌کند و نیاز به طراحی جدید تسمه است. در سازوکار جدید، تنها تلمبهٔ آب گشتاور خود را از تسمهٔ قطعات جانبی می‌گیرد. در سازوکار جدید به تسمه‌ای با طول و شیار مناسب برای انتقال قدرت از موتور به تلمبهٔ آب نیازمندیم. با استفاده از تسمه‌های موجود در بازار و قرقره هرزگرد تسمه سفت‌کن موتور ملی سازوکار جدیدی ایجاد شد که در شکل ۴–۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۴–۱۹ سازوکار جدید تسمهٔ قطعات جانبی به همراه متعلقات جدید

- **طراحی مدار خنک‌کاری**

موتور احتراقی، تجهیزات برقی و انباره در سه محدودهٔ دمایی متفاوت کار می‌کنند. موتور احتراقی در محدودهٔ دمایی ۸۵ °C تا ۱۱۰°C، تجهیزات برقی در محدوده ۴۰ °C– تا ۸۰ °C و انباره در محدوده ۰ °C تا ۵۵ °C کار می‌کنند. بنابراین سه مدار جداگانه خنک‌کاری برای این سه مجموعه لازم است. مدار خنک‌کاری موتور احتراقی به

[1] Accessories

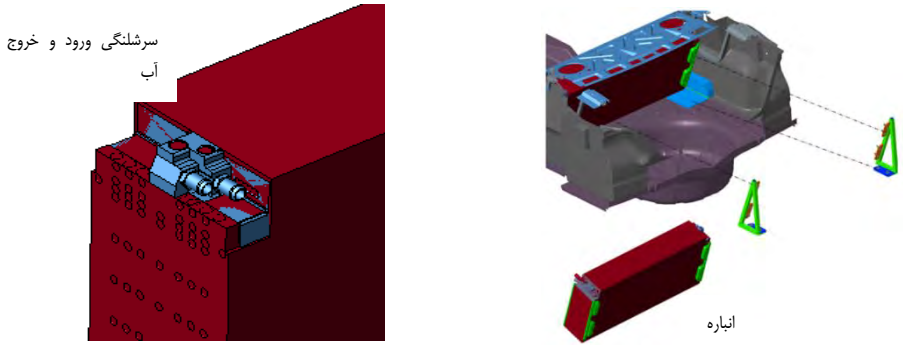
همراه سایر تجهیزات آن از جمله مبدل گرمایی حفظ شد و تنها به دلیل محدودیت جانمایی، تغییرات کوچکی در مخزن انبساط ایجاد گردید.

- **طراحی اتصالات خنک‌کاری انبارهٔ برقی**

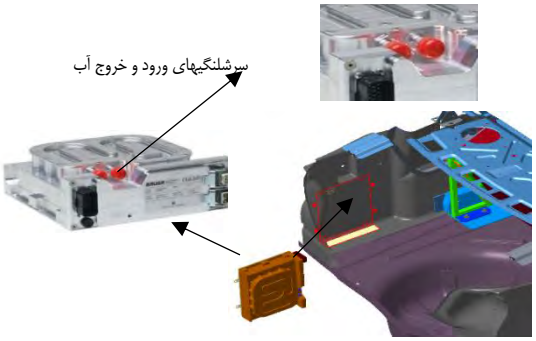
وظیفهٔ انباره، تأمین انرژی مورد نیاز برای رانش موتور برقی و در نتیجه خودرو است. ابعاد انباره با توجه به نوع خودرو، جانمایی و مقدار پیمایش برقی تعیین می‌شود. ذخیره‌سازی جریان برق در انباره و یا تخلیهٔ جریانی انباره منجر به افزایش دمای سلول‌ها و پیل می‌شود. محدودهٔ دمایی مجموعهٔ انباره معمولاً در حدود ۰ °C تا ۵۵ °C است که خنک‌کاری آن را با آب، مبرد یا هوا الزامی می‌کند. روش خنک‌کاری استفاده شده در خودروی دورگه به‌وسیله آب است که این آب در یک مبدل گرمایی، خنک می‌شود. مدار خنک‌کاری انباره به تشریح در قسمت محاسبات مهندسی ارائه شده است.

در شکل ۴-۲۰ انبارهٔ ۳۵۰ ولت استفاده شده در خودروی دورگه ساخت داخل نشان داده شده است که در صندق عقب خودرو جانمایی شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است دو لوله برای ورود و خروج آب برای انباره در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که محاسبات بازدهٔ حرارتی انباره را سازنده داخلی انجام داده و تأیید کرده است.

دستگاه ذخیره‌ساز برق شهری نیز در مسیر مدار خنک‌کاری انباره قرار می‌گیرد. جانمایی این قطعه در شکل ۴-۲۱ و در صندوق عقب خودرو نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۰ جانمایی انباره در صندوق عقب



شکل ۴-۲۱ جانمایی دستگاه ذخیره‌ساز برق شهری

- **طراحی اتصالات خنک‌کاری تجهیزات برقی**

در خودروی دورگه و برقی، تجهیزاتی هستند که با توجه به محدوده دمایی خود به خنک‌کاری نیازمندند. دمای کارکرد قطعات بدین شرح است:

موتور برقی در محدودهٔ دمایی ۴۰ – تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد

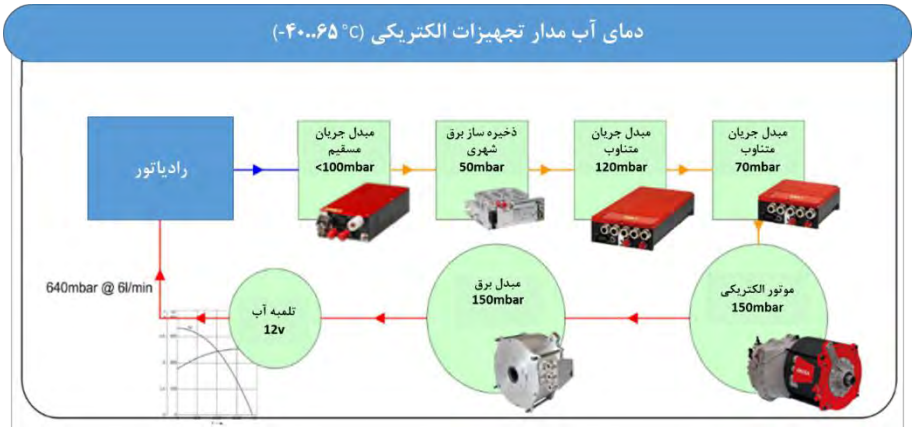
مولد برق در محدودهٔ دمایی ۴۰ – تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد

مبدل جریان متناوب[1] در محدودهٔ دمایی۴۰ – تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد

مبدل جریان مستقیم[2] در محدودهٔ دمایی ۴۰ – تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد

با توجه به محدودهٔ دمایی نزدیک این قطعات، پیشنهاد یکسان‌سازی مدار خنک‌کاری این قطعات مطرح شد که این مدار در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است. در عمل با توجه به نزدیکی ذخیره‌ساز برق شهری به انباره، این قطعه از این مدار حذف به مدار مجموعهٔ انباره اضافه شد.

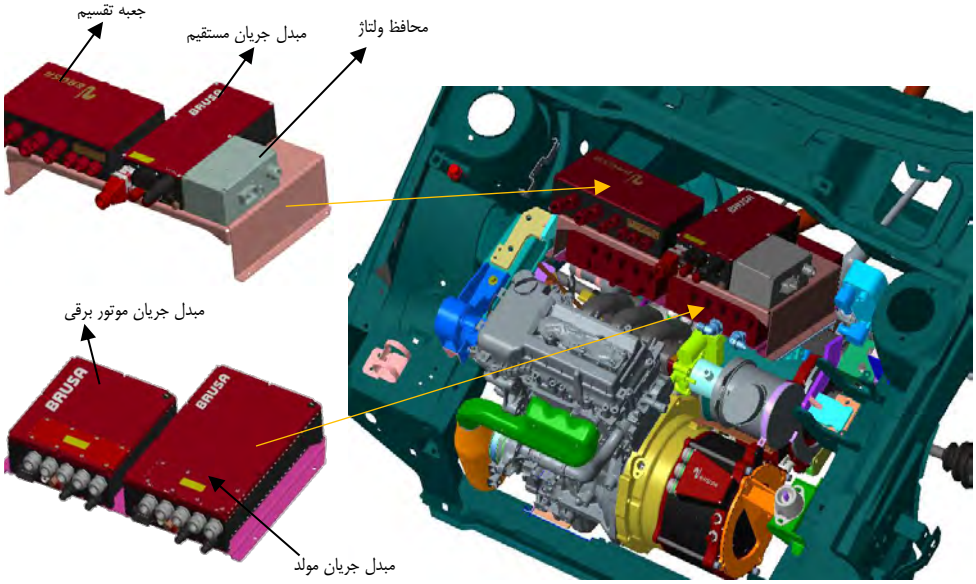
[1] Inverter
[2] Converter



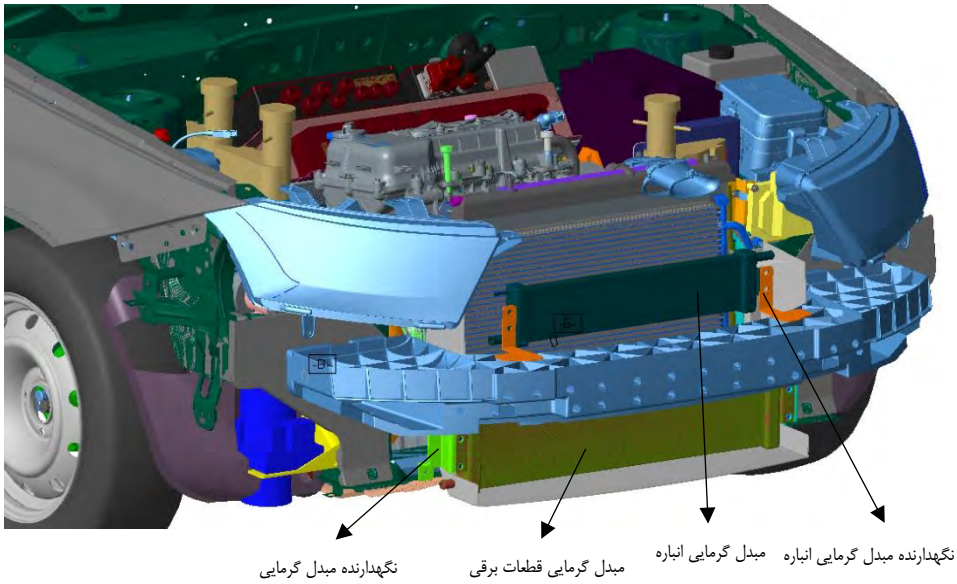
شکل ۴-۲۲ مدار خنک‌کاری قطعات برقی

به دلیل کاهش اتلاف حرارتی و طول مسیر شلنگ‌های آب، قطعات برقی نزدیک به هم و به گونه‌ای جانمایی شد که مسیر خنک‌کاری با کمترین افت فشار مواجه شود. شایان ذکر است که در خودروی تولید انبوه، بسیاری از این قطعات تجمیع شده‌اند و خنک‌کاری آن‌ها ساده‌تر می‌شود. جانمایی قطعات برقی در محفظهٔ موتور در شکل ۴-۲۳شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است.

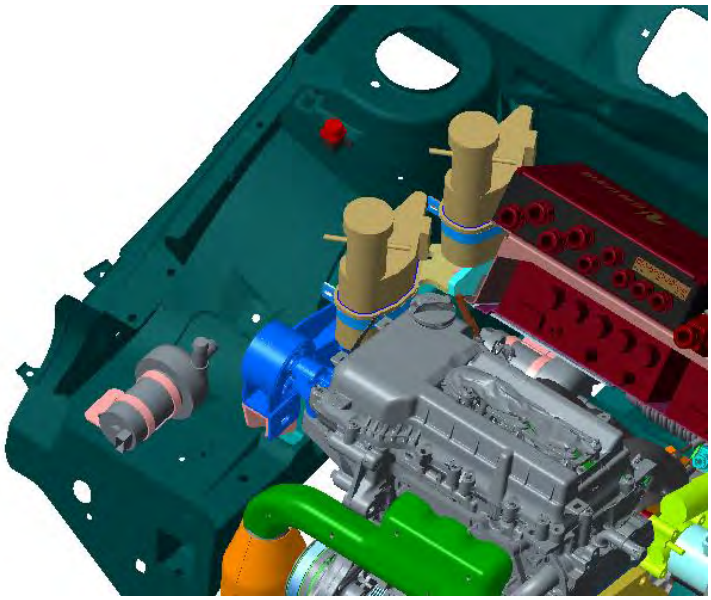
مدارهای خنک‌کاری انباره و تجهیزات برقی مجهز به مبدل‌های گرمایی هوا خنک هستند که در محل هواخور جلوی خودرو جانمایی شده است. اندازه و ابعاد مبدل گرمایی از واحد محاسبات مهندسی دریافت و بهترین محل موجود برای جانمایی آن‌ها مطابق شکل ۴-۲۴ در نظر گرفته شد. برای هر کدام از مبدل‌ها یک منبع انبساط جداگانه در نظر گرفته شد که وظیفهٔ هواگیری را از مسیر خنک‌کاری به عهده دارد. سه عامل جانمایی، در دسترس بودن و بالاترین نقطه نسبت به مدار در طراحی محل قرارگیری مخزن انبساط تأثیرگذار بود. در شکل ۴-۲۵ جانمایی منبع انبساط مدارهای انباره و تجهیزات برقی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۳ جانمایی قطعات برقی



شکل ۴-۲۴ جانمایی مبدل‌های قطعات برقی و انباره در محل هواخور خودرو



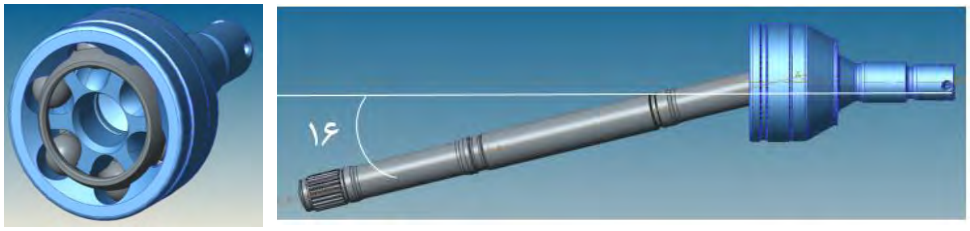
شکل ۴-۲۵ جانمایی مخزن انبساط مدارهای قطعات برقی و انباره

- **طراحی محور انتقال قدرت[1]**

وظیفهٔ محور انتقال قدرت در خودرو، انتقال قدرت از موتور به سر چرخ‌ها است. انتقال قدرت از موتور به سر چرخ‌ها بر اساس سازوکاری انجام می‌شود که هم زمان دو حرکت بالا به پایین و دورانی را انجام می‌دهد. به دلیل این دو حرکت هم زمان، محل اتصال دو سر محور انتقال قدرت به موتور و چرخ‌ها دارای طراحی خاصی است که بتوانند این دو حرکت را پوشش بدهد.

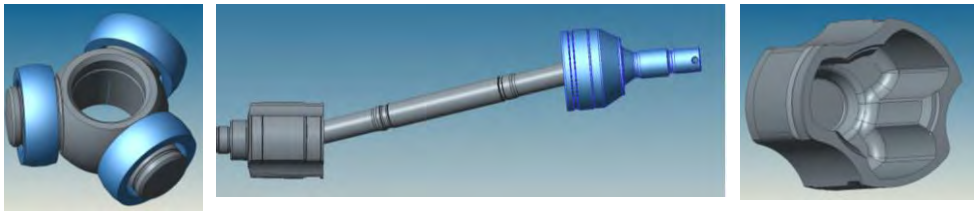
محور انتقال قدرت به وسیلهٔ توپی به چرخ‌ها متصل می‌شود که در شکل ۴-۲۶شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است. از یک طرف چرخ و متعلقات آن به این قطعه متصل می‌گردد و از طرفی محور انتقال قدرت در آن قفل می‌گردد که حامل حرکت انتقالی دورانی از موتور به چرخ است. محور انتقال قدرت درون این قطعه حرکت رفت و برگشتی ندارد و تنها دارای حرکت دورانی و زاویه‌ای است که مقدار زاویهٔ آن نیز بر اساس سازوکاری است که در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است.

[1] Drive shaft



شکل ۴-۲۶ توپی و محل اتصال آن به محور انتقال قدرت

انتهای دیگر محور انتقال قدرت به قطعهٔ دیگری به نام لاله‌گی[1] متصل می‌شود که امکان حرکت رفت و برگشتی و دورانی را برای محور انتقال قدرت فراهم می‌کند. قطعهٔ لاله‌گی و سه‌شاخه در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است.



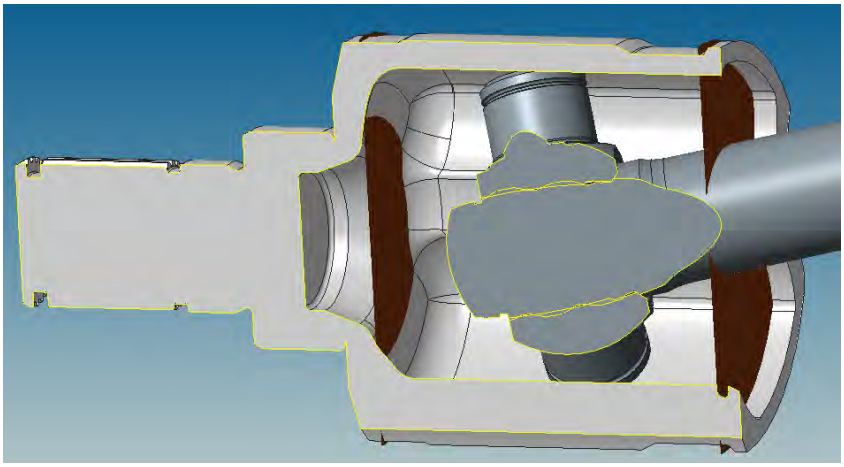
شکل ۴-۲۷ لاله‌گی، موقعیت قرارگیری لاله‌گی نسبت به محور انتقال قدرت و سه‌شاخه

به دلیل تغییر در قوای محرکه و ابعاد ، محور انتقال قدرت نیاز به طراحی مجدد دارد و باید اندازه طولی مناسب محور انتقال قدرت را طوری تعیین کرد تا دو شرط مهم را پوشش دهد:

- انتقال حرکت از موتور به چرخ‌ها صورت بگیرد.
- طول محور انتقال قدرت به اندازه مناسبی باشد که در بحرانی ترین شرایط به موتور ضربه وارد نشود و محور انتقال قدرت از داخل لاله‌گی خارج نگردد.

در انتهای لاله‌گی یک فنر به همراه پولکی قرار دارد که حرکت محور انتقال قدرت سبب فشرده شدن فنر می‌شود. محدوده حرکت سه‌شاخه درون لاله‌گی محدود به صفحاتی است که در شکل ۴-۲۸ نشان داده شده است.

[1] CV joint



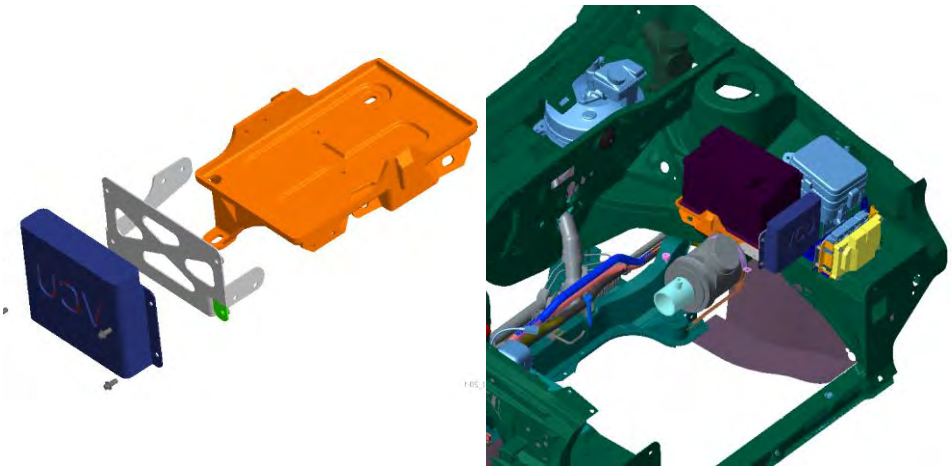
شکل ۴-۲۸ محدوده جابه‌جایی مجاز سه‌شاخه درون لاله‌گی

بنابراین در تحلیل محور انتقال قدرت علاوه بر انتقال حرکت دورانی از موتور به چرخ‌ها، حرکت رفت وبرگشتی محور انتقال قدرت در نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شود تا سه‌شاخه به اندازه مناسب از صفحات نشان داده شده فاصله داشته باشد.

٤-١-٢ جانمایی واحد مدیریت هوشمند[1]

در این خودرو از سه سامانهٔ مدیریت هوشمند استفاده شده است که همه آن‌ها در کنار انباره و جعبهٔ فیوز خودرو جانمایی شده است. محل قرارگیری مدیریت هوشمند در خودرو در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است.

[1] ECU



شکل ۴-۲۹ جانمایی سامانهٔ مدیریت هوشمند

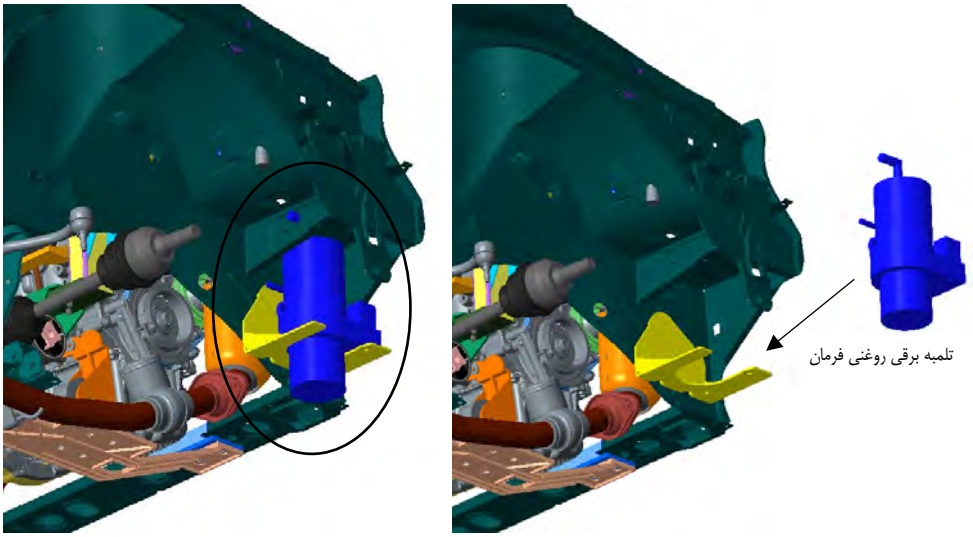
٤-١-٣ تلمبهٔ فرمان برقی-روغنی[1]

در برخی خودروهای بنزینی از تلمبهٔ روغنی فرمان که توان خود را از موتور احتراقی می‌گیرد، استفاده می‌شود. در خودروی دورگه و برقی به دلیل روشن نبودن همیشگی موتور احتراقی، به سازوکار ویژه‌ای برای فرمان نیازمندیم. استفاده از فرمان برقی یکی از ساده‌ترین راهکارها برای جایگزینی تلمبهٔ روغنی فرمان است که حتی در برخی از خوردوهای بنزینی استفاده شده است. راهکار دیگر استفاده از سامانهٔ فرمان برقی-روغنی است که تأمین روغن فشار قوی برای فرمان با تلمبهٔ برقی انجام می‌شود. در خودروی دورگه از سامانهٔ فرمان برقی-روغنی تولید انبوه موجود در بازار استفاده شد که مطابق شکل ۴-۳۰ تلمبه در زیر گلگیر سمت شاگرد و مخزن روغن آن در بالا در کنار صدای هشدار جانمایی گردیده است.

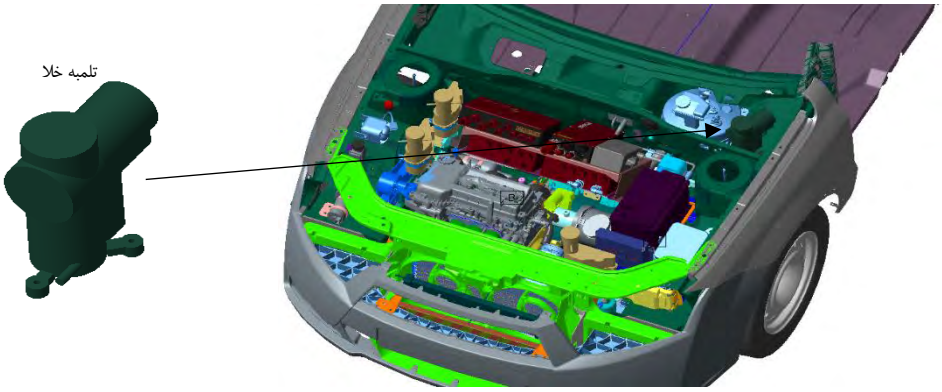
٤-١-٤ تلمبهٔ خلأ[2]

در موتورهای بنزینی، از خلأ محفظه آرامش موتور احتراقی برای تقویت نیروی ترمزگیری استفاده می‌شود. در خودروهای دورگه و برقی به دلیل عدم کارکرد دایمی موتور احتراقی به تلمبهٔ خلأ برقی نیازمندیم که در همه مواقع افزایش قدرت ترمز را تأمین نماید. برای این منظور از تلمبهٔ خلأ موجود در بازار استفاده شد و جانمایی آن نیز در کنار تقویت‌کنندهٔ ترمز خودرو قرار گرفت که در شکل ۴-۳۱ نشان داده شده است.

[1] Electrical hydraulic steering
[2] Vacuum pump



شکل ۴-۳۰ جانمایی تلمبهٔ برقی-روغنی فرمان



شکل ۴-۳۱ محل تلمبهٔ خلأ

فصل پنجم

موتور احتراق داخلی

۵-موتور احتراق داخلی

در خودروی دورگهٔ ردیفی، توان تولیدی موتور احتراقی با استفاده از یک مولد برق متصل به آن، به توان برقی تبدیل می‌شود و سپس از این توان برای ذخیرسازی برق در انباره و یا راه اندازی موتور برقی متصل به چرخ‌های خودرو استفاده می‌شود. برای دستیابی به بهترین عملکرد، لازم است تطابق مناسبی بین عملکرد موتور احتراقی و مولد برق وجود داشته باشد. موتور احتراقی در محدوده عملکردی گسترده‌ای کار می‌کند و در بسیاری از نقاط عملکردی، از بازده مطلوبی برخوردار نیست. به منظور تولید برق با بهترین بازده لازم است موتور در بیشتر مواقع در بهترین نقطهٔ مصرف سوخت ویژه کار کند.

۵-۱ مشخصات مولد برق

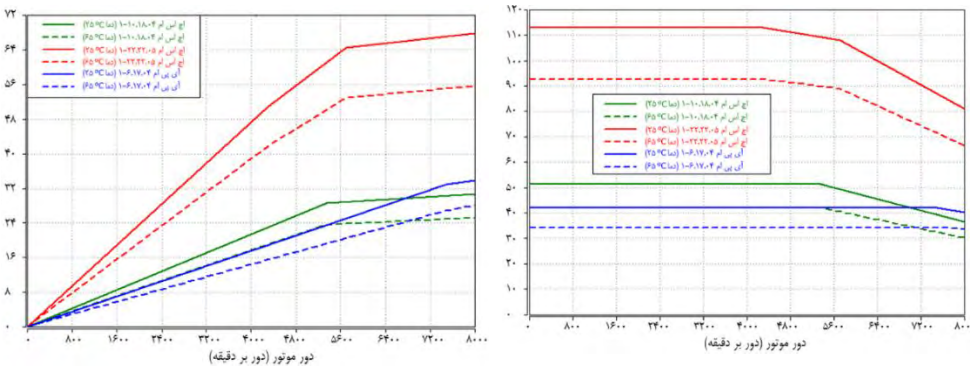
سه نوع مولد برق برای بکارگیری در خودروی دورگه، به این شماره‌های مشخصه پیشنهاد شد:

- آی‌پی‌ام ۱,۶,۱۷,۰۴ [۱]
- اچ‌اس‌ام ۱,۱۰,۱۸,۰۴ [۲]

[۱] IPM1-6.17.04
[۲] HSM1-10.18.04

- اچ‌اس‌ام ۱,۲۲,۲۲,۰۵ [۱]

در شکل ۵-۱ منحنی مشخصهٔ عملکرد (توان و گشتاور بر حسب دور) مولدهای برق نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که عملکرد مولد برق با افزایش دمای آب خنک‌کاری کاهش می‌یابد. با افزایش دمای آب خنک‌کاری از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، عملکرد مولد برق حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد با کاهش همراه می‌شود. مولد برق آی‌پی‌ام در دورهای کند، کمترین گشتاور را در بین این سه مولد برق تولید(مصرف) می‌کند (حدود ۴۰ نیوتن متر). شایان ذکر است که این مولد توان بیشینه (حدود ۳۰ کیلو وات) را در دورهای تند (حدود ۷۵۰۰ دور در دقیقه) به مصرف کننده می‌دهد. مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۱۰ کمی بیشتر از مولد برق آی‌پی‌ام در دورهای کند، گشتاور تولید می‌کند (حدود ۵۰ نیوتن متر) و همچنین توان نامی کمتری از مولد برق آی‌پی‌ام دارد (حدود ۲۶ کیلو وات) که این توان بیشینه در دورهای کندتر (حدود ۶۰۰۰ دور در دقیقه) است. سومین مولد برق پیشنهادی مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۲۲ است که هم گشتاور بیشتر (حدود ۱۰۰ نیوتن متر) و هم توان بیشتری (حدود ۶۰ کیلو وات) نسبت به دو مولد برق قبل تولید می‌کند. شایان ذکر است که به دلیل تولیدی نبودن این مولد برق، از میان گزینه‌های انتخابی حذف شد.



شکل ۵-۱ مشخصهٔ عملکردی مولدهای برق

۵-۲ مشخصات موتورهای احتراق داخلی

دو پیشنهاد در خصوص موتور احتراقی استفاده شده در خودروی دورگه در مد نظر قرار گرفت؛ موتور سه و چهار استوانه که در جدول ۵-۱ مشخصات اصلی این دو موتور ارائه شده است.

[۱] HSM1-22.22.05-W44

جدول ۵-۱ مشخصات اصلی موتورهای احتراقی

موتور	۴ استوانه	۳ استوانه
تعداد دریچه در هر استوانه	۴ عدد	۴ عدد
قطر استوانه	۷۲ میلی‌متر	۷۲ میلی‌متر
طول دسته سمبه	۶۶٫۵ میلی‌متر	۶۶٫۵ میلی‌متر
حجم موتور	۱۰۸۳ سی‌سی	۸۱۲ سی‌سی
نسبت تراکم	۹٫۵	۹٫۵
سامانهٔ سوخت‌رسانی	پاشش درگاهی	پاشش درگاهی

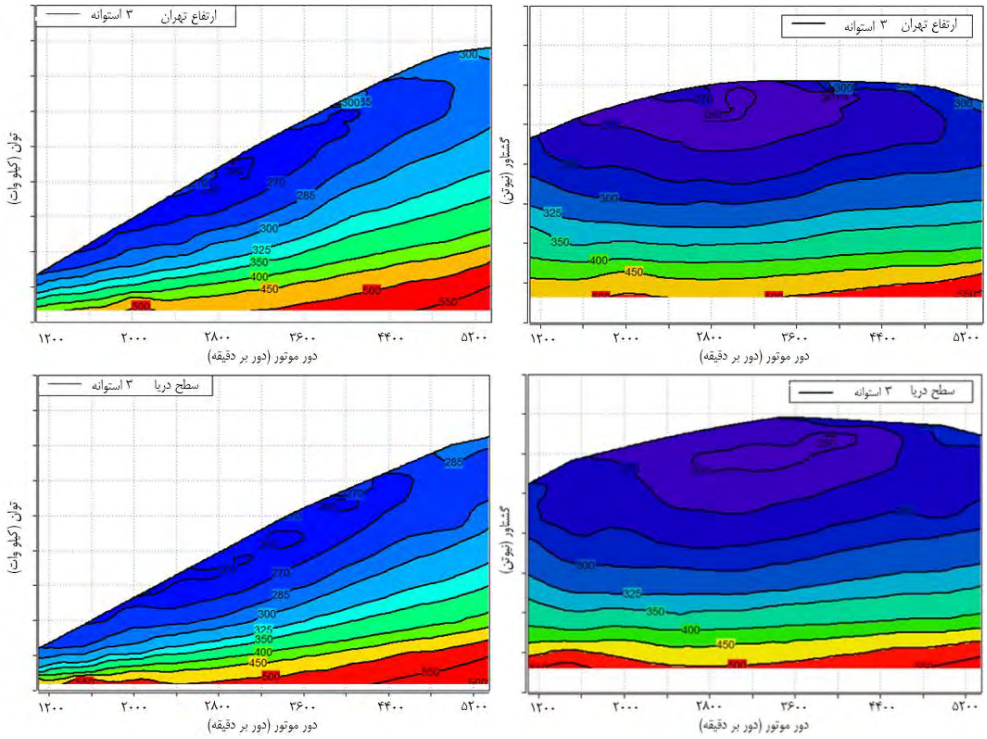
موتورهای فوق برای اندازه‌گیری مصرف سوخت و آلایندگی، در اتاق آزمون بررسی شدند. به منظور بررسی انطباق موتور احتراقی با مولد برق، در شکل ۵-۲ و شکل ۵-۳ نتایج نقشه مصرف سوخت این موتورها نشان داده شده است. نتایج شامل نقشه مصرف سوخت دو موتور در دو شرایط محیطی سطح دریا و سطح تهران است.

مشاهده می‌شود که حداکثر گشتاور موتور چهار استوانه در دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه و حدوداً برابر ۹۵ نیوتن متر است. این مقدار برای موتور سه استوانه حدود ۷۰ نیوتن متر است که تقریباً در همین دور اتفاق می‌افتد. حداکثر توان موتور چهار استوانه حدود ۴۵ کیلو وات است و در دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه رخ می‌دهد. موتور سه استوانه نیز دارای حداکثر توان حدود ۳۶ کیلو وات در دور ۵۳۵۰ دور در دقیقه می‌باشد.

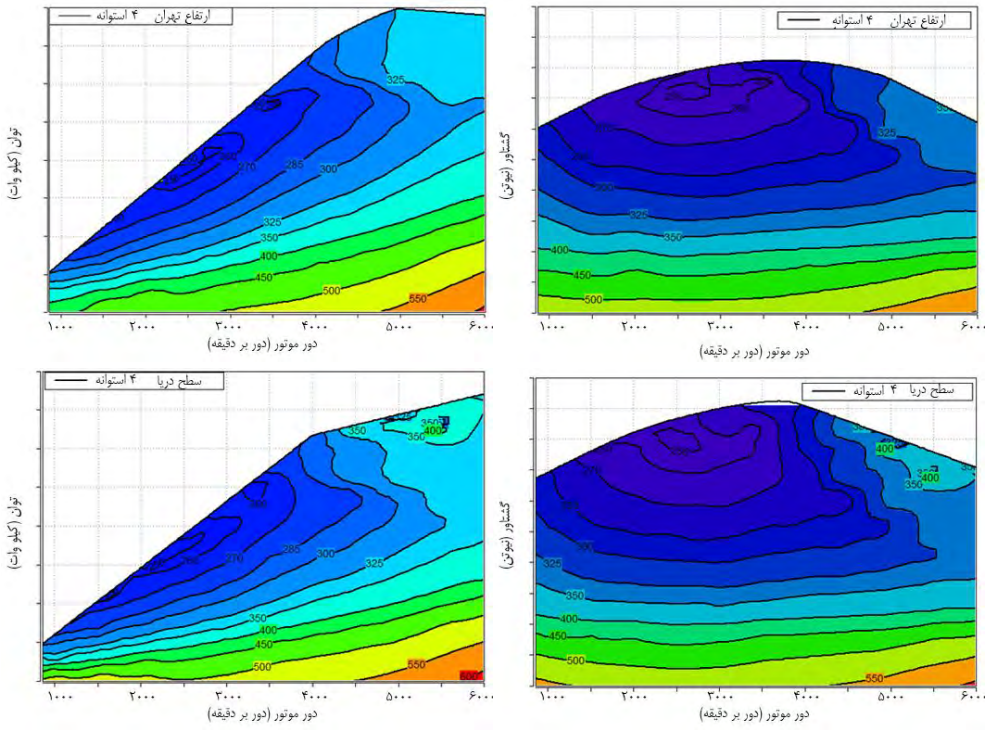
کمینهٔ مصرف سوخت موتور چهار استوانه در حدود دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه رخ داده است. در این شرایط موتور حدود ۷۶ نیوتن متر گشتاور و ۲۳ کیلو وات توان تولید می‌کند و مصرف سوخت ویژه آن ۲۵۶ گرم بر کیلوات ساعت می‌باشد. این در حالیست که موتور سه استوانه نیز حدوداً در همین دور دارای کمینهٔ مصرف سوختی در حدود موتور چهار استوانه بوده ولی حدود ۶۰ نیوتن متر گشتاور و ۱۸ کیلو وات توان ایجاد می‌کند. تمامی اعداد فوق در شرایط محیطی سطح دریا حاصل شده است. در شرایط محیطی سطح تهران حدود ۱۵ درصد توان و گشتاور موتورها کاهش می‌یابد. مصرف سوخت ویژه موتورها تابع ضعیفی از شرایط محیطی است و به‌طور کلی با کاهش فشار محیط، دستیابی به یک گشتاور مشخص در دور خاص، با مصرف سوخت حدود ۱ تا ۲ درصد کمتر حاصل می‌شود. در جدول ۵-۲ مقایسه‌ای بین عملکرد این دو موتور نشان داده شده است.

جدول ۵-۲ مقایسهٔ عملکرد موتورهای احتراقی

		موتور سه استوانه		موتور چهار استوانه	
		سطح دریا	سطح تهران	سطح دریا	سطح تهران
بیشینهٔ توان	کیلو وات	۳۶	۳۱	۴۵	۴۰
سرعت دورانی بیشینهٔ توان	دور بر دقیقه	۵۳۵۰	۵۳۵۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰
بیشنه گشتاور	نیوتن متر	۶۹	۶۲	۹۵	۸۵
سرعت دورانی بیشینهٔ گشتاور	دور بر دقیقه	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰
کمینهٔ مصرف سوخت ویژه	گرم بر کیلووات ساعت	۲۶۰	۲۶۰	۲۵۶	۲۵۶
سرعت دورانی کمینهٔ مصرف سوخت	دور بر دقیقه	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
گشتاور نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت ویژه	نیوتن متر	۶۰	۵۲	۷۶	۷۰
توان نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت ویژه	کیلو وات	۱۸	۱۵٫۵	۲۳	۲۱



شکل ۵-۲ نقشه مصرف سوخت ویژه موتور سه استوانه در شرایط سطح تهران و سطح دریا



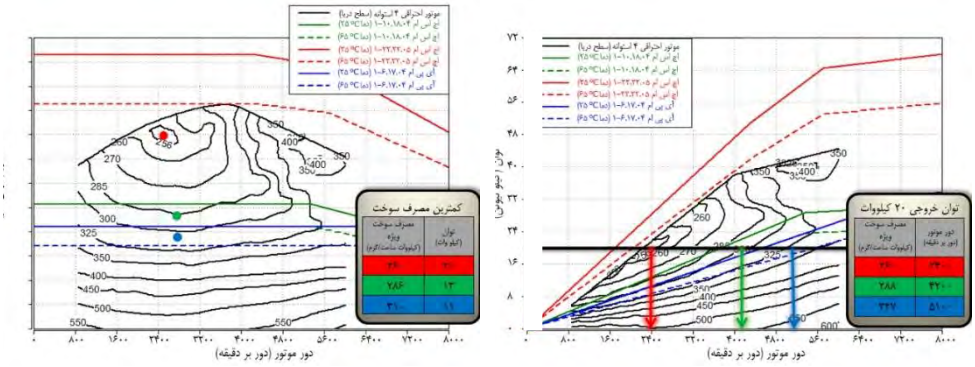
شکل ۵-۳ نقشه مصرف سوخت ویژه موتور چهار استوانه در شرایط سطح تهران و سطح دریا

۵-۳ بررسی تطابق مولد برق و موتور احتراقی

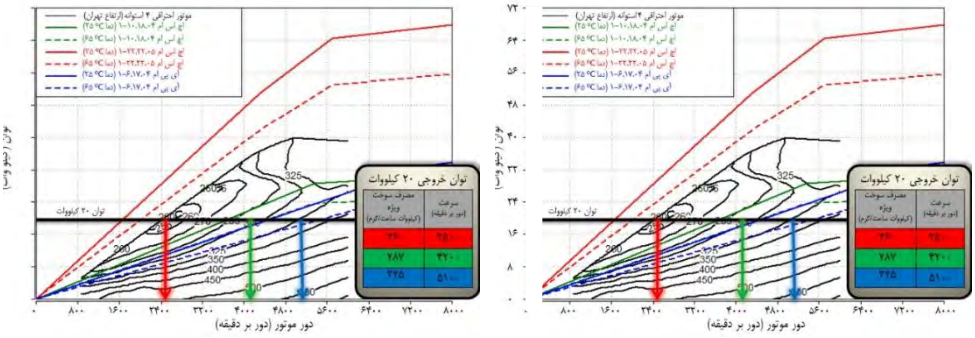
برای بررسی تطابق مولد برق و موتور احتراقی، مشخصهٔ عملکردی هر یک از مولدهای برق بر روی نقشهٔ مصرف سوخت موتورهای احتراقی قرار داده می‌شود و عملکرد موتور احتراقی را به لحاظ توان، گشتاور، سرعت دورانی موتور و مقدار مصرف سوخت بررسی می‌گردد و تطابق در دو حالت صورت می‌گیرد:

- عملکرد برای دستیابی به توان ۲۰ کیلو وات: این مقدار توان تقریباً برابر توانی است که باعث حرکت خودروی دورگه در جاده تخت با سرعت حدود ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می‌شود.
- عملکرد در شرایط کمینهٔ مصرف سوخت: یافتن نقطهٔ عملکردی موتور و مولد برق که کارکرد در آن نقطه کمترین مصرف سوخت را در پی خواهد داشت.

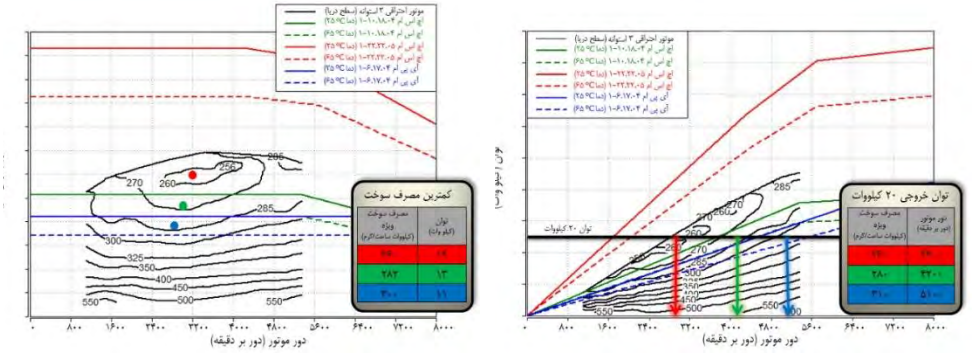
در شکل ۵-۴ تا شکل ۵-۷ نقاط عملکردی برای موتورها و مولدهای برق پیشنهادی در دو حالت اشاره شده، ارائه شده است.



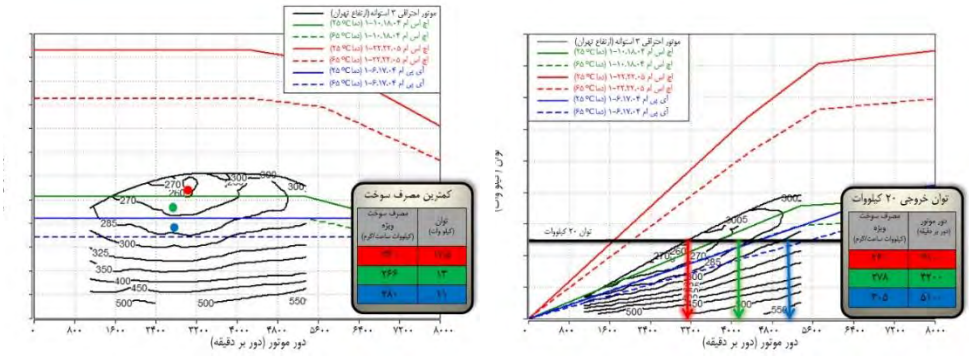
شکل ۵-۴ بررسی نقاط عملکردی موتور چهار استوانه در شرایط سطح دریا



شکل ۵-۵ بررسی نقاط عملکردی موتور چهار استوانه در شرایط ارتفاع تهران



شکل ۵-۶ بررسی نقاط عملکردی موتور سه استوانه در شرایط سطح دریا



شکل ۵-۷ بررسی نقاط عملکردی موتور سه استوانه در شرایط ارتفاع تهران

۵-۴ تحلیل نتایج

در جدول ۵-۳ تا جدول ۵-۵ نقاط عملکردی موتور احتراقی سه و چهار استوانه در هنگام استفاده از هر یک از مولدهای برق پیشنهادی ارائه شده است. مشاهده می‌شود که با استفاده از مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۲۲ می‌توان در تمامی حالت‌های بررسی شده، هر دو موتور احتراقی سه و چهار استوانه را در نزدیکی نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت بکار گرفت. تنها تفاوت بین دو موتور دور عملکردی آن‌هاست که موتور سه‌استوانه در دور تندتری کار می‌کند. در صورت استفاده از این مولد برق، توان بهینهٔ تولیدی از ترکیب این مولد برق و موتور احتراقی، حدود ۲۰ کیلو وات است (حدود ۱۸ کیلو وات برای موتور ۳ استوانه).

جدول ۵-۳ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۲۲,۲۲,۰۵

مولد برق		اچ‌اس‌ام ۱,۲۲,۲۲,۰۵			
موتور احتراقی		۴ استوانه		۳ استوانه	
ارتفاع محیط		سطح دریا	سطح تهران	سطح دریا	سطح تهران
برای تولید ۲۰ کیلو وات توان	مصرف ویژهٔ سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۲۶۰			
	سرعت دورانی موتور (دور در دقیقه)	۲۴۰۰	۲۵۰۰	۲۹۰۰	۳۱۰۰
در نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت	مصرف ویژهٔ سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۲۶۰			
	سرعت دورانی موتور (دور در دقیقه)	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۳۲۰۰	۳۱۰۰
	توان (کیلو وات)	۲۱	۱۹	۱۹	۱۷,۵

در صورت استفاده از مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۱۰ همراه با موتور چهار استوانه، دستیابی به توان ۲۰ کیلووات با مصرف ویژه سوخت ۲۸۸ گرم بر کیلووات ساعت و در سرعت دورانی ۴۲۰۰ دور در دقیقه میسر خواهد شد که حدود

۱۰ درصد بیشتر از حالت بهینه است. همچنین نقطهٔ بهینهٔ مصرف در این ترکیب در سرعت دورانی ۳۰۰۰ دور در دقیقه با مصرف ۲۸۲ گرم بر کیلووات ساعت (در تهران) و توان ۱۳ کیلووات است که حدود ۸ درصد انحراف از بهترین نقطه دارد.

این مولد برق همراه با موتور سه استوانه تطبیق مناسب‌تری دارد که دستیابی به توان ۲۰ کیلووات با حدود ۳ درصد کاهش نسبت به موتور چهار استوانه (حدود ۷ درصد بیشتر از بهترین نقطه) و در سرعت دورانی مشابه با آن امکان‌پذیر است. همچنین نقطهٔ بهینهٔ مصرف در این ترکیب با حدود ۶ درصد کاهش مصرف نسبت به موتور چهار استوانه (حدود ۲ درصد انحراف از بهترین نقطه) در سرعت دورانی مشابه و توانی مشابه با آن قرار می‌گیرد.

جدول ۵-۴ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۱۰,۱۸,۰۴

مولد برق		اچ‌اس‌ام ۱,۱۰,۱۸,۰۴			
موتور احتراقی		۴ استوانه		۳ استوانه	
ارتفاع محیط		سطح دریا	سطح تهران	سطح دریا	سطح تهران
برای تولید ۲۰ کیلو وات توان	مصرف ویژه سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۲۸۸	۲۸۷	۲۸۰	۲۷۸
	سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه)	۴۲۰۰			
در نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت	مصرف ویژه سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۲۸۶	۲۸۲	۲۶۹	۲۶۶
	سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه)	۳۰۰۰			
	توان (کیلو وات)	۱۳			

برای دستیابی به توان ۲۰ کیلو وات با استفاده از مولد برق آی‌پی‌ام و هر یک از موتورها، تنها در سرعت دورانی حدود ۵۰۰۰ دور در دقیقه امکان‌پذیر خواهد بود که در این شرایط مصرف سوخت انحراف زیادی از مقدار بهینه خود خواهد داشت. مقدار افزایش مصرف سوخت در این حالت حدود ۲۵ درصد برای موتور چهار استوانه و حدود ۱۹ درصد برای موتور سه استوانه است. نقطهٔ کمینهٔ مصرف در این شرایط، حدود ۱۷ درصد در موتور چهار استوانه و حدود ۸ درصد در موتور سه استوانه از نقطهٔ بهینه انحراف دارد. شایان ذکر است که در صورت استفاده از این مولد برق، توانی حدود ۱۱ کیلو وات در نقطهٔ کمینهٔ مصرف را هر یک از موتورهای احتراقی تولید خواهند کرد.

جدول ۵-۵ بررسی تطابق موتورهای احتراقی با مولد برق آی‌پی‌ام

مولد برق		آی‌پی‌ام ۱,۶,۱۷,۰۴			
موتور احتراقی		۴ استوانه		۳ استوانه	
ارتفاع محیط		سطح دریا	سطح تهران	سطح دریا	سطح تهران
برای تولید ۲۰ کیلو وات توان	مصرف ویژه سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۳۲۷	۳۲۵	۳۱۰	۳۰۵
	سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه)	۵۱۰۰			
در نقطهٔ کمینهٔ مصرف سوخت	مصرف ویژه سوخت (گرم بر کیلووات ساعت)	۳۱۰	۳۰۰	۲۸۲	۲۸۰
	سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه)	۳۰۰۰			
	توان (کیلو وات)	۱۱			

با توجه به مطالب بیان شده، در صورت نیازمندی به توان ۲۰ کیلووات در اکثر مواقع رانندگی، موتور احتراقی چهار استوانه گزینهٔ مناسبی است. بهترین تطابق این موتور مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۲۲ است. در صورتی‌که استفاده از این مولد برق مقدور نباشد، اتصال مستقیم دو مولد برق دیگر به موتور احتراقی تطابق مناسبی نخواهد داشت و بهتر است از یک جعبه‌دنده افزاینده دور (کاهنده گشتاور) میان موتور احتراقی و مولد برق استفاده نمود.

در حالت نیازمندی به توان حدود ۱۳ کیلووات در اغلب مواقع چرخهٔ رانندگی، موتور احتراقی سه استوانه گزینهٔ مناسب‌تری است. این موتور تطابق خوبی با مولد برق اچ‌اس‌ام ۱,۱۰ دارد. شایان ذکر است برای رسیدن به توان ۲۰ کیلووات می‌توان با افزایش سرعت دورانی تا ۴۲۰۰ دور در دقیقه به این توان دست یافت. در این شرایط افزایش مصرف سوخت ۷ درصد بیشتر از نقطهٔ بهینه است.

فصل ششم

نگاشت

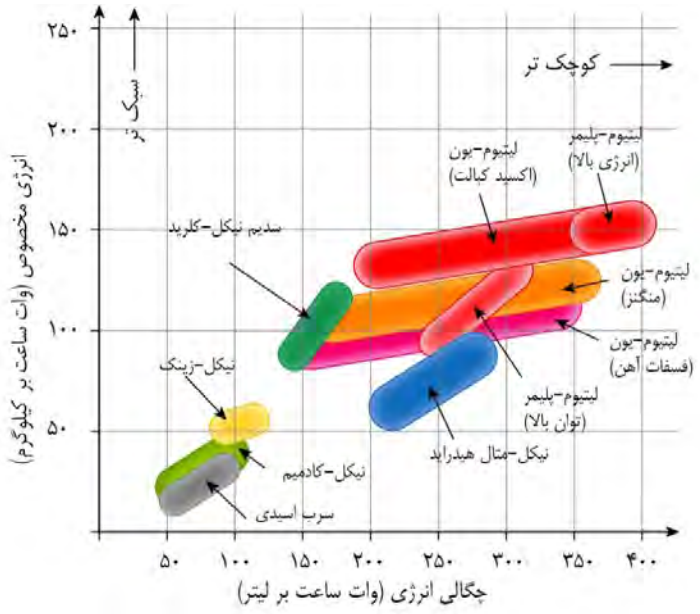
٦- نگاشت

نگاشت به معنای پایش مدیریت هوشمند خودرو و قوای محرکه است و در خودروهای برقی از اهمیت بیشتری نسبت به خودروهای متداول برخوردار است. سامانه‌های پایشگر استفاده شده در خودروی دورگه و برقی شامل سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی، واحد مدیریت تجهیزات جانبی و سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی می‌شود که هر یک وظیفهٔ جداگانه و البته تعاملی را با سامانه‌های دیگر برعهده دارد. مدیریت سامانهٔ خنک‌کاری و همچنین مدیریت انرژی و ارسال اطلاعات لازم برای نمایش در جلو آمپر، به عهده واحد مدیریت تجهیزات جانبی است. سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی نیز پایش موتور احتراقی از نقطه نظر پاشش سوخت و جرقه و همچنین عملکرد مطلوب موتور احتراقی در شرایط مختلف را بر عهده دارد. سامانه‌های ارتباطی متفاوت در این خودرو زیر نظر سامانهٔ مدیریت هوشمند خودرو عمل می‌کنند و اطلاعات لازم خود را از طریق این سامانه با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند.

۶-۱ تجهیزات اصلی خودروی دورگه

۶-۱-۱ انبارهٔ برقی

انرژی برقی را در خودروهای برقی عموماً در انباره و ابرخازن‌ها ذخیره می‌کنند. انباره‌ها با توجه به اینکه توانایی ذخیره‌سازی انرژی بیشتری در یک حجم یا جرم یکسان دارند، نسبت به ابرخازن‌ها، به‌صورت گسترده‌تری در خودروهای برقی به‌کار گرفته شده‌اند. از میان انواع متنوع انباره‌ها، انباره‌های سرب اسیدی[۱]، نیکل متال هیدرید[۲] و لیتیوم یون[۳] بیشترین استفاده را در این حوزه دارند. انباره‌های سرب اسیدی که انباره در حال استفاده در خودروهای سوخت سنگواره‌ای نیز می‌باشد، به دلیل ضعیف بودن انرژی مخصوص یا انرژی برقی بر واحد کیلوگرم انباره در خودروهای کوچک برقی، دوچرخه‌های موتوری یا برخی کاربری‌های خاص مانند کامیون بالابر[۴] برقی کاربرد دارد. انباره نیکل متال هیدرید دارای انرژی مخصوص بیشتر نسبت به نوع سرب اسیدی (در حدود ۲ برابر) و همچنین چگالی انرژی بیشتری می‌باشند.



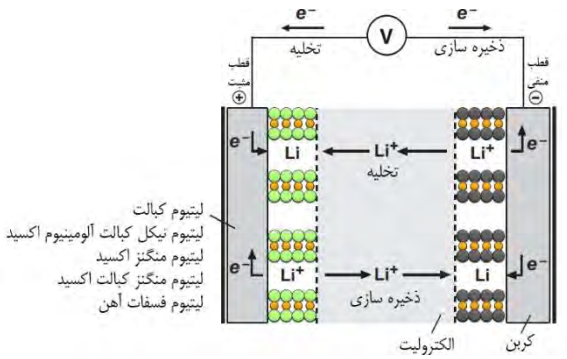
شکل ۶-۱ چگالی انرژی برحسب انرژی مخصوص انباره براساس جنس مواد تشکیل دهنده

۱ lead–acid
۲ Ni–MH
۳ Li-ion
۴ Lift truck

خود تخلیه‌گی قوی و همچنین بازدهٔ ضعیف ذخیره‌سازی از جمله معایب این نوع از انباره‌ها می‌باشد. انباره‌های لیتیوم یونی در خودروهای امروزی بیشترین کاربرد را دارد که ناشی از خصوصیات رقابت‌پذیر آن نسبت به سایر فن‌آوری‌ها می‌باشد. انرژی مخصوص بیشتر انباره لیتیوم یونی باعث شده که با وجود قیمت بیشتر این فناوری و همچنین خطرات ناشی از ذخیره‌سازی بیش از حد و یا دمای زیاد که می‌تواند منجر به آتش‌سوزی بشود، به عنوان پرکاربردترین نوع انباره در خودروهای برقی و حتی دیگر تجهیزات برقی باشد. شکل ۶-۱شکل۶-۱ چگالی انرژی انباره‌های مختلف را برحسب انرژی مخصوص آن‌ها را نشان می‌دهد.

• ساختار انباره لیتیوم یونی

انبارهٔ لیتیوم یونی از نوع انباره‌های قابل ذخیره‌سازی تقسیم‌بندی می‌شود که در آن یون‌های لیتیوم در حین ذخیره‌سازی از قطب مثبت[۱] جدا می‌شود و به قطب منفی[۲] می‌روند. در حین تخلیهٔ انباره نیز جابجایی معکوس یون‌ها رخ می‌دهد. شکل ۶-۲ نشان دهنده نحوهٔ ساختار درونی پیل‌های انباره در حین ذخیره‌سازی می‌باشد.



شکل ۶-۲ نحوهٔ شکل‌گیری جریان در انباره لیتیوم-یون

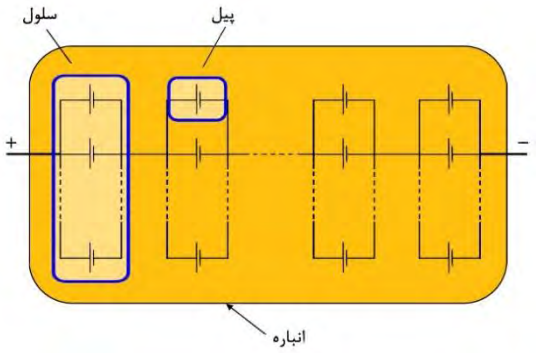
انباره‌های لیتیوم یونی بر اساس جنس قطب منفی دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند. لیتیوم کبالت اکسید[۳] از مواد پرکاربرد برای ساخت قطب منفی می‌باشد که چگالی انرژی بیشتر و همچنین احتمال آتش‌سوزی بیشتری را نسبت به دیگر موارد مرسوم دارند. در مقابل لیتیوم نیکل منگنز کبالت اکسید[۴] چگالی انرژی کمتر و احتمال آتش‌سوزی و انفجار کمتری دارند.

---

۱ Cathode
۲ Anode
۳ LiCoO2
۴ LiNiMnCoO2 یا NMC

- **ساختار سلول‌های انباره**

پیل‌های استفاده شده در انباره از نوع لیتیوم نیکل منگنز کبالت اکسید می‌باشد. در مجموع ۷۶۸ عدد پیل در انباره قرار دارد. هر ۸ عدد پیل که به صورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند، قطب منفی یک سلول را تشکیل می‌دهند تا جریان خروجی از انباره در حد مورد انتظار تأمین شود. همچنین تعداد ۹۶ عدد از این سلول‌ها نیز به صورت ردیفی با یکدیگر متصل شده‌اند تا قطب منفی ولتاژ مورد نیاز انباره را تأمین کند. شکل ۶-۳ ساختار دورنی انبارهٔ خودروی دورگه را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳ ساختار انباره لیتیوم-یون خودروی دورگه

- **مشخصات انبارهٔ دورگه**

انبارهٔ استفاده شده در خودروی دورگه از نوع لیتیوم یونی می‌باشد که دارای ظرفیت ۱۴ کیلووات در ساعت و ۴۰ آمپر ساعت می‌باشد. ولتاژ نامی انبارهٔ ۳۵۰ ولت و بیشینهٔ مقدار ممکن در وضعیت ذخیره‌سازی کامل ۴۰۰ ولت می‌باشد. مشخصات فنی انباره در جدول ۶-۱ ارائه شده است.

جدول ۶-۱ مشخصات فنی انبارهٔ ولتاژ قوی

مشخصات فنی	مقادیر
ولتاژ نامی	۳۵۰ ولت جریان مستقیم
بیشینهٔ ولتاژ	۴۰۰ ولت جریان مستقیم
جریان ذخیره‌سازی	۲۰ آمپر (0.5C)
کمینهٔ ولتاژ	۲۸۰ ولت جریان مستقیم
جریان تخلیهٔ نامی	۱۰۰ آمپر (2.5C)
بیشینهٔ جریان تخلیه	۲۰۰ امپر (5C)
ظرفیت انباره (۲۰ درجه سانتی‌گراد)	۴۰ آمپرساعت / ۱۴ کیلووات ساعت
ظرفیت انباره (۱۰- درجه سانتی‌گراد)	۳۰ آمپرساعت / ۱۰٫۵ کیلووات ساعت
بیشینهٔ جریان ممکن (فیوز)	۲۵۰ آمپر
تخلیهٔ خودبخودی	کمتر از ۳ درصد در ۲۰ درجه سانتی‌گراد
ظرفیت سلول	۵ آمپر ساعت
ولتاژ نامی سلول	۳٫۶۵ ولت

شرایط دمایی عملکرد انباره در جدول ۶-۲ ارائه شده است.

جدول ۶-۲ شرایط دمایی عملکرد انبارهٔ ولتاژ قوی

شرایط دمایی	مقادیر
محدودهٔ دمایی ذخیره‌سازی	-۵ تا +۵۰ درجه سانتی‌گراد
محدودهٔ دمایی تخلیه	-۱۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد
دمای نگهداری در انبار	۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد
دمای ورودی سیال خنک‌کن	۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد (توصیه شده از ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد)
فشار سیال خنک‌کن (دمای ۲۰ درجه و شار ۵ لیتر بردقیقه)	۷۰ میلی بار
شار حجمی‌سیال خنک‌کن	۶ لیتر بر دقیقه
بیشینهٔ فشار سیال خنک‌کن	۱ بار
ظرفیت خنک‌کاری	۲ کیلو وات
رطوبت نسبی	بین ۵ تا ۸۵ درصد
زاویهٔ نصب	کمتر از ۴۵ درجه

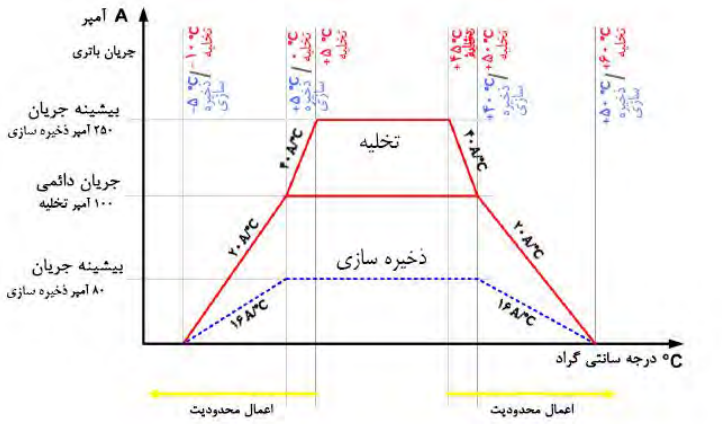
- **تنظیم و محدودیت توان**

کارکرد انباره در محدودهٔ دمایی غیر مجاز و یا خارج شدن ولتاژ یا جریان سلول از محدوده استاندهٔ عملکرد سبب آسیب‌های جدی به انباره و کاهش قابل توجه عمر مفید آن خواهد شد. عملکرد انباره در شرایط غیر تنظیم شده حتی می‌تواند سبب خود اشتعالی انباره گردد که می‌تواند تبعات غیرقابل جبرانی داشته باشد. از این رو واحد

مدیریت انباره سهم اصلی را در حفظ سلامت و کارکرد بی‌خطر انباره بر عهده دارد و براساس داده‌های دریافتی از حسگرها وضعیت انباره را پایش می‌کند. واحد مدیریت انباره صرفاً از طریق کاهش بیشینهٔ جریان لحظه‌ای ذخیره‌سازی یا تخلیه، تلاش می‌کند که انباره را از وضعیت غیر ایمن خارج کند. در صورتی که با وجود محدودیت جریان، انباره در وضعیت پرخطر قرار بگیرد، انباره به طور کامل از مدار خارج می‌شود و واحد مدیریت انباره اجازهٔ عملکرد انباره را تا زمان قرارگیری در وضعیت مناسب نمی‌دهد. محدودیت جریان را واحد مدیریت انباره از طریق پیغامی بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل[۱] گزارش می‌کند. واحدهای مصرف کننده بر اساس این پیغام، جریان مصرفی خود را مدیریت می‌کنند. شرایط دمایی استانهٔ کارکرد انباره و همچنین نحوهٔ محدودیت جریان در شرایط غیر ایمن دمایی در شکل ۶–۴ نشان داده شده است.

در صورتی که دمای انباره از محدوده ایمن خارج شود (۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد در ذخیره‌سازی و ۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد در تخلیه) بیشینهٔ جریان لحظه‌ای عبوری از انباره محدود می‌شود. محدودیت جریان لحظه‌ای از بیشینهٔ مقدار ممکن تا صفر آمپر (قطع جریان) ادامه می‌یابد. ولتاژ هر یک از سلول‌های انباره را واحد مدیریت به صورت برخط[۲] پایش می‌کند و براساس آن بیشینهٔ جریان لحظه‌ای ممکن در حین ذخیره‌سازی یا تخلیه به گونه‌ای که ولتاژ از بیشینه یا کمینهٔ ولتاژ ایمن تجاوز نکند تعیین می‌شود. چنانچه این محدودیت اعمال نگردد ولتاژ سلول در حین تخلیه تا ولتاژ مرگ سلول کاهش می‌یابد و در هنگام ذخیره‌سازی نیز ولتاژ تا نقطهٔ انفجار سلول افزایش می‌یابد. عملکرد واحد مدیریت انباره در شکل ۶–۵ نشان داده شده است.

[۱] CAN
[۲] online



شکل ۶-۴ نحوهٔ اعمال محدودیت در جریان در محدوده ناایمن دمایی

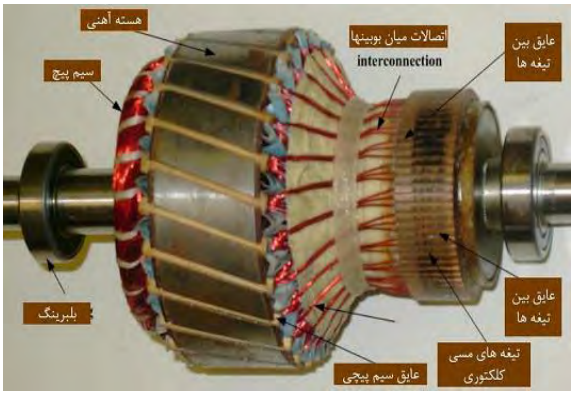
شکل ۶-۵ نحوهٔ اعمال محدودیت در جریان و ولتاژ سلول‌های مختلف

۶-۱-۲ موتور برقی و مولد برق

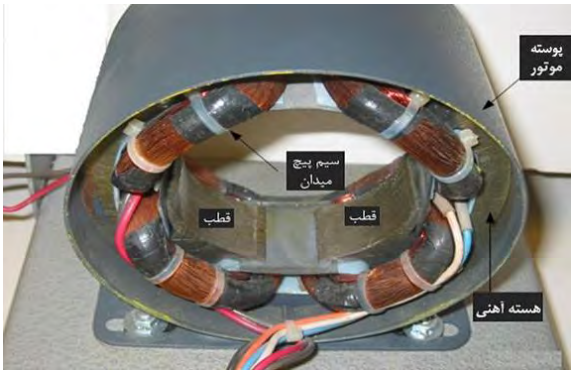
موتورهای برقی را می‌توان از لحاظ نوع جریان به دو گروه جریان متناوب[۱] و جریان مستقیم[۲] تقسیم بندی نمود که هریک دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

[۱] Alternating current (AC)
[۲] Direct current (DC)

موتورهای جریان مستقیم از دیر باز همواره به دلیل کارایی و ساختار مناسب به صورت موتور فرمان‌یار[1] استفاده می‌شوند. تنظیم جداگانهٔ ولتاژ القاگیر[2] و جریان تحریک، تنظیم مستقل سرعت و شار را به صورت ذاتی ممکن ساخته است. به همین دلیل، این موتور به سهولت قابل مدیریت است و از آن در کاربردهای صنعتی با سرعت متغیر استفاده می‌شود. در شکل ۶-۶ و شکل ۶-۷ ساختمان موتور جریان مستقیم و اجزای بکار رفته در آن مشخص شده است.



شکل ۶-۶ ساختار درونی قسمت دوار موتور جریان مستقیم



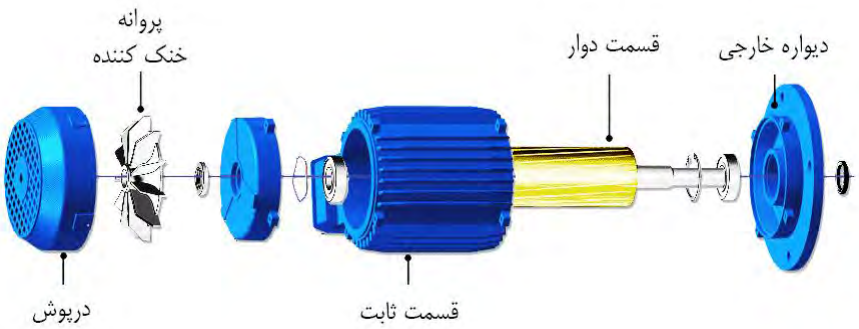
شکل ۶-۷ ساختار درونی قسمت ثابت موتور جریان مستقیم

این موتورها همچنین به دلیل استفاده از جاروبک و جابجاگر[3] دارای این معایب می‌باشد:

[1] servomotor
[2] armature
[3] commutator

- خوردگی در اثر تماس مکانیکی بین جاروبکها و جابجاگر و جرقه‌های ناشی از آن
- حجم و وزن زیاد
- قیمت گران
- بازدهٔ ضعیف بخصوص در سرعتهای پایین و متوسط
- عدم توانایی تحمل اضافه بار و محدودهٔ کم تغییرات سرعت

به همین دلیل موتورهای جریان متناوب به دلیل ساختمان ساده و با وجود این که دارای تنظیم کننده‌های گران قیمت و پیچیده‌تری نسبت به موتورهای جریان مستقیم می‌باشند، همچنان مورد توجه هستند. موتورهای جریان متناوب در دو گروه موتورهای همزمان[۱] و ناهمزمان[۲] دسته‌بندی می‌شوند. موتورهای همزمان وناهمزمان از دو قسمت دوار[۳] و ثابت[۴] تشکیل شده‌اند که در موتورهای همزمان، جریان مستقیم، قسمت دوار را تحریک می‌کند، اما قسمت ثابت حاوی سیم‌پیچ سه فازتوزیع شده درون شیارها می‌باشد از این‌رو این موتورها دو تحریکه محسوب می‌شوند. موتورهای ناهمزمان با توجه ساختمان قسمت دوار به دو نوع سیم‌پیچی می‌شود و قفس سنجابی نام گذاری می‌شوند که نوع قفس سنجابی به دلیل ساختمان ساده تر و ارزان قیمت بودن کاربرد بیشتری دارد. درموتورهای قفس سنجابی سه پایانه از قسمت ثابت خارج می‌شود و به منبع ولتاژ متناوب متصل می‌گردد. شکل ۶-۸ ساختار درونی موتور برقی جریان متناوب قفس سنجابی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸ اجزای تشکیل دهنده موتور جریان متناوب قفس سنجابی

۱ Synchronous
۲ Asynchronous
۳ Rotor
۴ Stator

در اوایل طراحی و استفاده از موتورهای برقی همزمان از مواد مغناطیس دائم در ساختمان این موتورها استفاده می‌گردید اما به دلیل چگالی شار مغناطیسی پایین مواد اولیه با محدودیت‌های جدی روبرو شد و تحریک الکترومغناطیسی جایگزین آهنربای دائم شد. اما با کشف مواد مغناطیس دائم با چگالی شار مغناطیسی خوب امکان تولید موتورهای برقی همزمان با سرعت و گشتاور قابل توجه فراهم گردید. موتورهای مغناطیس دائم در سال‌های اخیر به خاطر خصوصیاتی مانند توان قوی، لختی کم و بازده خوب رقیب اصلی انواع موتورهای دیگر شده است.

- **مواد مغناطیس آهنربای دائم**

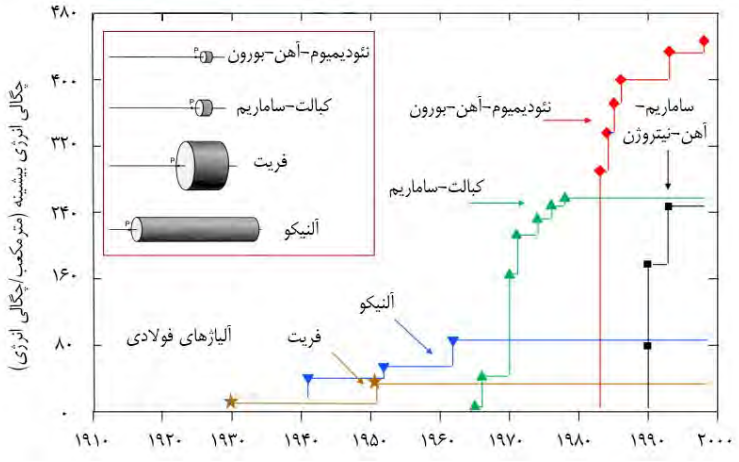
با اختراع ماده مغناطیس دائم نئودمیوم–آهن–بورون[۱] موتورهای مغناطیس دائم وارد مرحلهٔ جدیدی از کاربردهای صنعتی سرعت کم و سرعت متغیر شدند و زمینه‌های کاری جدیدی برای این موتورها مهیا گردید. آهنرباهای دائمی با توجه به ساختار ملکولی و نیز عناصر تشکیل دهنده آن‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از :

- سرامیکها (یا فریت‌ها): ترکیبات شیمیایی هستند که شامل مواد سرامیکی با اکسیدآهن[۲]۳ می‌باشند.
- آلنیکوها[۳] : ساختار شیمیایی آلنیکوها شامل ۸ تا ۱۲درصد آلومینیوم، ۱۵ تا ۲۶ درصد نیکل، ۵ تا ۲۴ درصد کبالت، بیش از ۶ درصد مس، ۱درصد تیتانیوم، و آهن به عنوان ماده پایه می‌باشد.
- آهنرباهای خاک کمیاب

سرامیکها دارای نیروی پسماندکم و نیروی پسماند زدای نسبتاً زیادی می‌باشد و در مقابل آلنیکوها دارای نیروی پسماند نسبتاً زیاد و نیروی پسماندزدای کم می‌باشند. اما در مورد آهنربای خاک کمیاب، هر دوی این عوامل زیاد می‌باشد. از سرامیکها به عنوان مواد خام فراوان و ارزان استفاده می‌شود. از نمونه‌های آهنرباهای خاک کمیاب می‌توان ترکیبات کبالت–خاک کمیاب (کبالت–ساماریم[۴]) و ترکیبات سرامیکها و خاک کمیاب (نئودیمیوم–آهن–بورون[۵]) نام برد. مشخصه اصلی برای تعیین کیفیت آهنربا انرژی بیشینهٔ آن می‌باشد، که از حاصل ضرب شدت میدان مغناطیسی و چگالی شار آهنربا بدست می‌آید. آهنربای باکیفیت در زمان کارکرد خود در نقطهٔ بیشینه، ابعاد کوچکتری خواهد داشت. شکل ۶–۹ انرژی بیشینه انواع آهنربا را نشان می‌دهد.

---

۱ Nd-Fe-B
۲ Fe_3O_3
۳ Alnico
۴ SmCo
۵ Nd-Fe-B



شکل ۶-۹ منحنی چگالی انرژی بیشینهٔ مواد مغناطیسی مرسوم

• ساختار موتورهای هم‌زمان مغناطیس دائم

موتورهای مغناطیس دائم را می‌توان بسته به چگونگی پخش فضایی شار مغناطیسی فاصله هوایی به دو گروه تقسیم‌بندی نمود:

- موتورهای هم‌زمان مغناطیس دائم با پخش فضایی شار فاصله هوایی سینوسی[۱]
- موتورهای هم‌زمان مغناطیس دائم باپخش فضایی شار فاصله هوایی ذوزنقه‌ای[۲]

مشابه همه موتورهای جریان متناوب، قسمت ثابت این گونه از موتورها به صورت ورقه‌ای ساخته می‌شود، با این تفاوت که در موتورهایی با سرعت و بسامد زیاد از مواد گران‌تر با عملکرد بهتر به منظور محدود کردن ابعاد و تلفات دستگاه استفاده می‌گردد. مواد مغناطیسی بکار رفته در موتورهای برقی باید دارای ضریب نفوذ پذیری خوب (به منظور کاهش مقاومت مغناطیسی مدار)، چگالی شار اشباع بزرگ (به منظور به حداقل رساندن حجم و وزن قطعات آهن)و تلفات کم (به دلیل تأثیر گذاری تلفات روی بازده و افزایش دما) را دارا باشند. در این موتورها با هدف کاهش تلفات جریان گردابی[۳] از ورق‌های نازکتر به نسبت موتورهای ناهمزمان جریان متناوب و با همبسته‌های

۱ Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM)
۲ Brush less DC motor (BLDC)
۳ eddy current loss

مخصوص استفاده می‌شود. شکل ۶-۱۰ حلقه‌های تشکیل دهنده قسمت دوار و یک نمونه قسمت دوار هم‌بندی شده را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۱۰ راست: حلقه‌های تشکیل دهنده قسمت ثابت، چپ: قسمت ثابت موتور برقی

هرچه چگالی شار فاصله هوایی در موتورهای همزمان مغناطیس دائم به شکل سینوسی نزدیکتر گردد، موتور برقی دارای نوسان[۱] کمتر خواهد بود و عملکردی نرم و بدون سر و صداتری خواهد داشت.

با جایگزین نمودن آهنربای دائم با سیم‌پیچ قسمت دوار و حذف جابجاگر، جاروبک وحلقه‌های لغزان، تلفات مسی موتور حذف می‌گردد و سبب کاهش دمای موتور خواهد شد. در این حالت، تولید حرارت فقط از سیم‌پیچ‌های سه فاز قسمت ثابت صورت می‌گیرد و از این رو مدیریت دمای موتور و خنک‌کاری آن راحت تر انجام می‌گیرد.

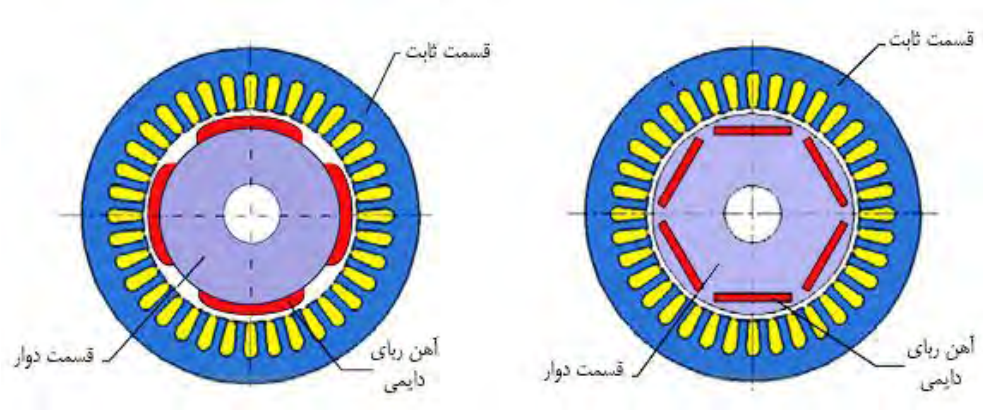
موتورهای آهنربای دائم بسته به نحوهٔ جانمایی آهنربا بر روی قسمت دوار به دو نوع قطب صاف و قطب برجسته تقسیم بندی می‌شوند. چنانچه مواد مغناطیسی آهنربای دائم برروی لایه خارجی قسمت دوار قرار گیرند، دستگاه را مغناطیس دائم قسمت دوار سطحی[۲] (قطب صاف) می‌نامند و در صورتی که آهنربا در داخل قسمت دوار جاسازی شده باشد، دستگاه مغناطیس دائم قسمت دوار داخلی[۳] (قطب برجسته) نامیده می‌شود.

دستگاه‌هایی با آهنربای نصب سطحی به دلیل عدم استحکام مکانیکی لازم برای سرعت‌های تند مناسب نیست. در سرعت‌های تند نیروی گریز از مرکز سبب جدا شدن آهن رباها از سطح قسمت دوار می‌شود. در برخی از این نوع موتورها از یک نوار فولادی یا تار شیشه‌ای به منظور افزایش سطح استحکام مکانیکی استفاده می‌شود ولی بکارگیری آن‌ها همراه با معایب و کاهش بازده موتور می‌باشد. نوار فولادی سبب بروز مشکلات حرارتی ناشی از

---

۱ Ripple
۲ Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Machine(SPMSM)
۳ Interior Permanent Magnet Synchronous Machine(IPMSM)

افزایش تلفات جریان گردابی می‌شود اما نوار تار شیشه‌ای به‌دلیل داشتن ضریب نفوذ مغناطیسی ضعیف‌تر سبب کاهش جریان گردابی القایی می‌شود. علاوه بر این برای نصب آهنربا بر روی سطح قسمت دوار باید آن را به صورت منحنی شکل تولید کرد و یا به صورت تکه‌های کوچک، آهنربا را روی سطح قسمت دوار چسباند که از طرفی به دلیل سخت و شکننده بودن مواد آهنربای دائم، شکل دادن آن‌ها کار مشکل و پر هزینه ای می‌باشد. شکل ۶-۱۱ نمونه ای از جانمایی آهنربا بر روی سطح قسمت دوار و داخل آن را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۱ وضعیت جانمایی آهنربا در قسمت دوار موتور برقی

با این که ساختار قسمت دوار با آهنربای داخلی پیچیده تر از نوع سطحی می‌باشد و ساخت آن مشکل تر است اما این ساختار مزایایی نیز دارد که از جمله آن مستطیل شکل بودن آهن ربای مورد نیاز است. ساختار قسمت دوار به اندازه کافی مستحکم است و نیاز به ادوات نگهدارنده ندارد و از طرفی آهنربای دفن شده در قسمت دوار به خوبی در برابر تنش‌های مکانیکی و سایش محافظت می‌شود که سبب می‌شود دستگاه‌هایی با آهنربای دائم درونی مقاومتر باشند و در سرعت‌های تند استفاده شوند. در موتورهایی با آهنربای داخلی به‌دلیل اینکه فاصله مابین سطح آهنربا با قسمت ثابت یکسان نیست، علاوه بر گشتاور تداخلی که ناشی از تقابل میدان قسمت دوار و قسمت ثابت است، گشتاور رلوکتانسی[۱] نیز رخ می‌دهد. این مسئله سبب بهبود عملکرد موتور در سرعت‌های تند می‌شود. گشتاور رلوکتانسی به‌دلیل عدم یکسان بودن نیروی القایی در محور طولی و عمودی با یکدیگر می‌باشند که دلیل آن توزیع غیریکنواخت آهن ربا در قسمت دوار می‌باشد. هرچه تفاضل القایی دو محور بیشتر باشد، سهم گشتاور رلوکتانسی بیشتر می‌شود.

[۱] Reluctance

• موتور برقی خودروی دورگه

ساختار انتقال قدرت خودروی دورگهٔ ردیفی دارای دو موتور برقی می‌باشد که یکی از آن تولید کننده توان رانشی خودرو است و دیگری تولید کننده توان برقی مصرفی خودرو (مولد برق) می‌باشد. این دو موتور از شرکت بروسا[1] با نام‌های تجاری به ترتیب ۶,۱۷,۱۲-۱ اچ‌اس‌ام و ۱۰,۱۸,۰۴-۱ اچ‌اس‌ام تهیه شده است. این موتورها از نوع موتور همزمان مغناطیس دایم با مواد مغناطیس در داخل فضای روتور هستند. در جدول ۶-۳جدول ۶-۳ و جدول ۶-۴ مشخصات پایه و دمایی موتور برقی و مولد برق ارائه شده است.

جدول ۶-۳ مشخصات پایه موتور برقی و مولد برق

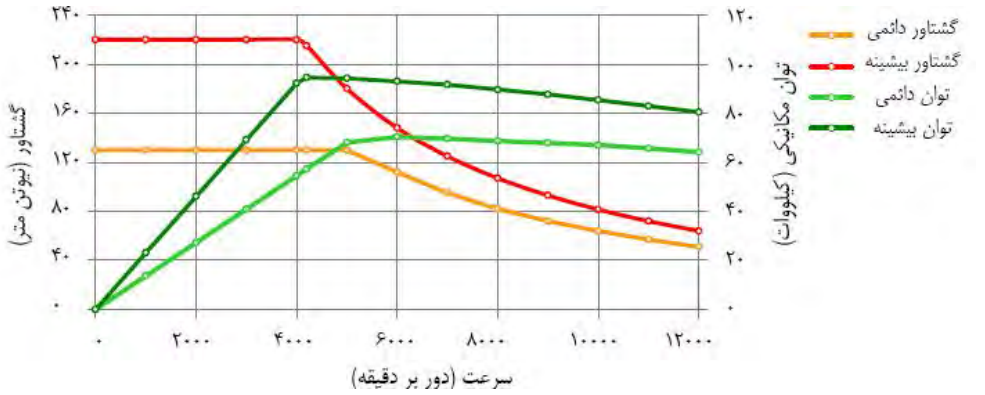
مشخصات پایه	موتور برقی		ژنراتور		واحد
ولتاژ	۴۰۰	۳۶۰	۴۰۰	۳۶۰	ولت
بیشینهٔ سرعت با بیشینهٔ گشتاور	۴۲۰۰	۳۸۰۰	۴۹۰۰	۴۴۰۰	دور در دقیقه
سرعت نامی	۵۲۰۰	۴۷۰۰	۵۴۰۰	۴۹۰۰	دور در دقیقه
بیشینهٔ گشتاور پیوسته	۱۳۰	۱۳۰	۵۲	۵۲	نیوتن متر
بیشینهٔ گشتاور لحظه‌ای	۲۲۰	۲۲۰	۹۸	۹۸	نیوتن متر
بیشینهٔ توان پیوسته	۷۰	۶۴	۲۹	۲۷	کیلو وات
بیشینهٔ توان لحظه‌ای	۹۶	۸۷	۵۰	۴۵	کیلو وات
بیشینهٔ سرعت لحظه‌ای	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۳۰۰۰	دور بر دقیقه
بازده	۹۵		۹۴		درصد

جدول ۶-۴ مشخصات دمایی موتور برقی و مولد برق

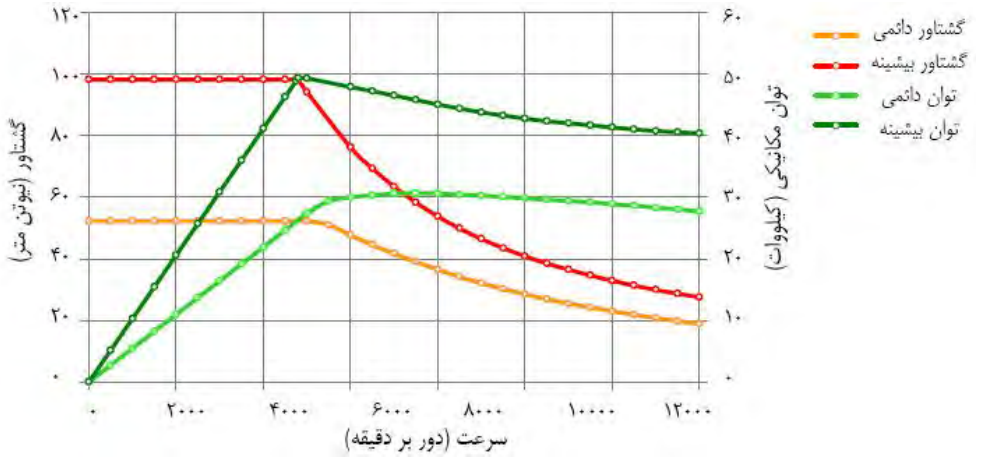
مشخصات دمایی	موتور برقی	ژنراتور	واحد
نسبت ترکیب آب / اتیلن گلیکول	۵۰ / ۵۰	۵۰ / ۵۰	–
محدودهٔ دمایی کارکرد با افت توان	۱۳۲-۱۶۰	۱۱۷-۱۶۰	درجه سانتی‌گراد
بیشینهٔ دمای ممکن	۱۷۰	۱۷۰	درجه سانتی‌گراد
حجم سیال خنک‌کننده در دستگاه	۰,۶	۰,۴	لیتر
کمینهٔ دمای سیال خنک‌کن ورودی	-۴۰	-۴۰	درجه سانتی‌گراد
بیشینهٔ دمای سیال خنک‌کن خروجی	۶۵	۶۵	درجه سانتی‌گراد
شار حجمی سیال خنک‌کن	۶-۸	۶-۸	لیتر بر دقیقه
افت فشار سیال خنک‌کن (شار: ۶، دما: ۲۵)	۱۵۰	۱۲۰	میلی بار
دمای محیط	-۴۰ تا +۸۵	-۴۰ تا +۸۵	درجه سانتی‌گراد

[1] BRUSA

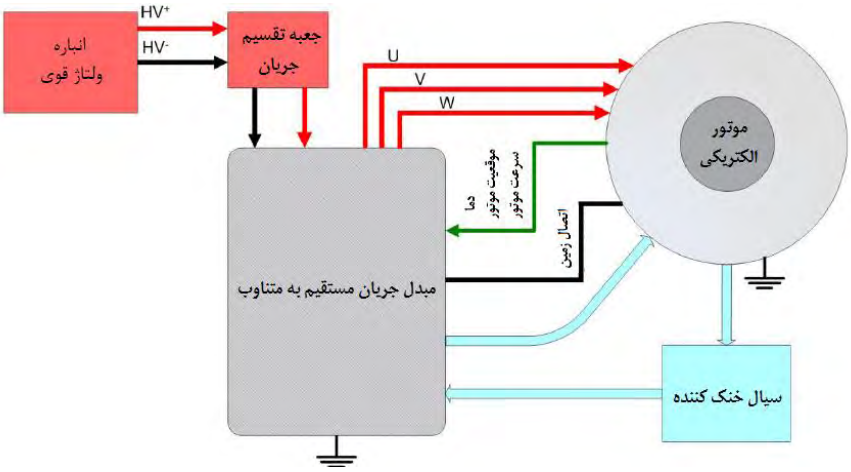
منحنی عملکرد موتور برقی و مولد برق در شکل ۶-۱۲ و شکل ۶-۱۳ نشان داده شده است. اتصالات مابین موتور برقی و مبدل جریان مستقیم به متناوب در شکل ۶-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۲ گشتاور و توان مکانیکی موتور برقی برحسب سرعت زاویه‌ای



شکل ۶-۱۳ گشتاور و توان مکانیکی مولد برق برحسب سرعت زاویه‌ای

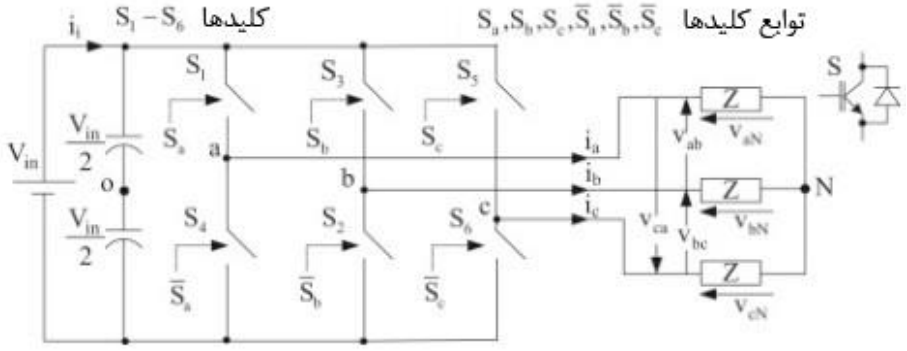


شکل ۶-۱۴ اتصالات موتور برقی با مبدل جریان مستقیم به متناوب

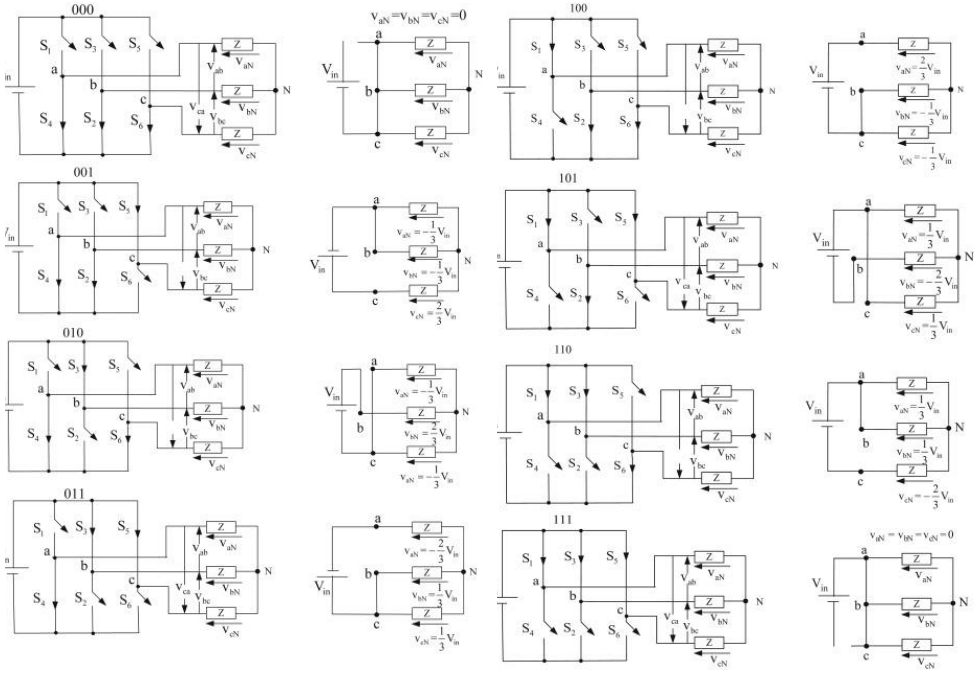
۶-۱-۳ مبدل جریان مستقیم به جریان متناوب

مبدل جریان مستقیم به متناوب وسیله ای است که جریان مستقیم را به جریان متناوب به صورت تک فاز یا سه فاز تبدیل می‌کند. مبدل جریان مستقیم به متناوب موتور سه فاز دارای شش کلید می‌باشد که با بسته و باز شدن آن ولتاژ سینوسی در هر یک از سیم‌پیچ‌ها تأمین می‌شود. شکل ۶-۱۵ به صورت طرحواره کلیدها و خروجی سه فاز مبدل جریان مستقیم به متناوب را نشان می‌دهد. شکل ۶-۱۶ نیز نحوهٔ باز و بست کلیدها و اثر آن را روی ولتاژ خروجی نشان می‌دهد.

تغییرات بر روی کلیدها و اعمال جریان بر روی سیم‌پیچ‌های ایستا موجب تغییر میدان مغناطیسی و جابجایی قطب‌های مثبت و منفی می‌شود. همین مسئله موجب حرکت چرخشی روتور می‌شود که این حرکت به صورت کار مکانیکی استفاده می‌شود. در حالت مولد برق (ژنراتور) این فرایند برعکس رخ می‌دهد و در نهایت تغییرات بر روی کلیدها موجب پیدایش جریان مستقیم از جریان متناوب سه فاز تولید شده از مولد برق می‌شود.



شکل ۶-۱۵ اتصالات مبدل جریان مستقیم به متناوب و موتور سه فاز



شکل ۶-۱۶ وضعیت کلیدها در هشت حالت کاری مبدل جریان مستقیم به متناوب

• مبدل جریان مستقیم به متناوب خودروی دورگه

در خودروی دورگه، از دو مبدل جریان مستقیم به متناوب جداگانه برای موتور برقی جلوبرنده خودرو و مولد برق استفاده شده است. مبدل جریان مستقیم به متناوب نیز از شرکت بروسا خریداری شده است. شکل ۶-۱۷ نمایی

از مبدل جریان مستقیم به متناوب را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۱۷ مبدل جریان مستقیم به متناوب خودروی دورگه

مشخصات فنی مبدل جریان مستقیم به متناوب و همچنین شرایط سیال خنک‌کننده مبدل مطابق جدول ۶-۵ و جدول ۶-۶ ارائه شده است.

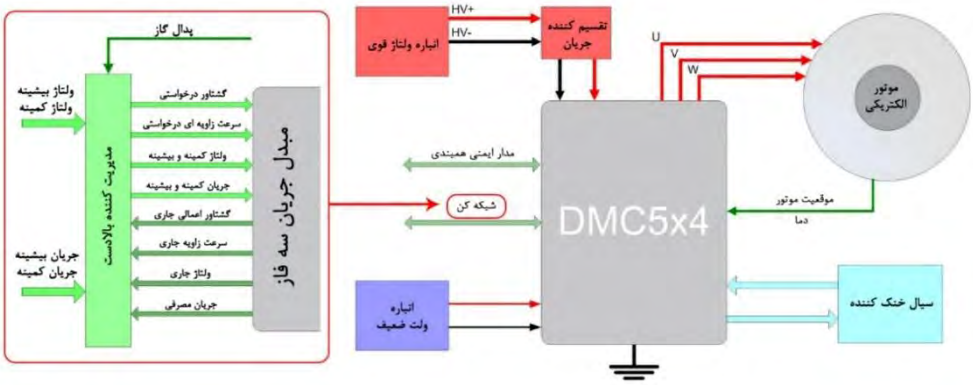
جدول ۶-۵ مشخصات ولتاژ عملکردی مبدل جریان مستقیم به متناوب

ولتاژهای ورودی	دی‌ام‌سی۵۲۴ و دی‌ام‌سی۵۱۴	واحد
کمترین ولتاژ ورودی برد مدیریتی	۶	ولت
کمترین ولتاژ ورودی جریان مستقیم برای عملکرد صحیح	۲۰۰	ولت
بیشترین ولتاژ ورودی جریان مستقیم در محدوده عملکردی	۴۵۰	ولت
ولتاژ قطع اتصال به صورت نرم‌افزاری	۴۶۰	ولت
ولتاژ قطع اتصال به صورت سخت افزای	۴۸۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ قابل تحمل (بدون خسارت)	۵۲۰	ولت

جدول ۶-۶ شرایط دمایی مبدل جریان مستقیم به متناوب

شرایط دمایی	دی‌ام‌سی۵۲۴	دی‌ام‌سی۵۱۴	واحد
مقدار سیال خنک‌کننده در دستگاه	۰,۶	۰,۳	لیتر
قطر خارجی لولهٔ سیال خنک‌کننده	۱۶	۱۶	میلی‌متر
کمینهٔ دمای سیال ورودی	-۴۰	-۴۰	درجه سانتی‌گراد
بیشنیه دمای سیال ورودی	+۶۵	+۶۵	درجه سانتی‌گراد
افت فشار آب (شار ۶ لیتربردقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد)	۱۲۰	۷۰	میلی بار
بیشینه فشار سیال	۱	۱	بار
محدودهٔ دمای محیط برای نگهداری	-۴۰ تا +۸۵	-۴۰ تا +۸۵	درجه سانتی‌گراد
محدودهٔ دمای محیط برای عملکرد	-۴۰ تا +۸۵	-۴۰ تا +۸۵	درجه سانتی‌گراد

شکل ۶-۱۸ طرحواره‌ای از تمام ورودی‌ها و خروجی‌های مبدل جریان مستقیم به متناوب را نشان می‌دهد. مبدل جریان مستقیم به متناوب براساس دستورهای تنظیمی که از طریق پیغام‌های ارسالی از تنظیم‌کنندهٔ بالادست بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل دریافت می‌کند، مدیریت موتور برقی یا مولد برق را انجام می‌دهد. تنظیم‌کنندهٔ بالادست مقدار فشردگی اهرم گاز را به گشتاور درخواستی تبدیل می‌کند و به صورت یک پیغام به مبدل جریان ارسال می‌کند. مبدل جریان براساس گشتاور درخواستی و محدودیت جریان و ولتاژ که از سمت انباره گزارش شده است، موتور برقی را تنظیم می‌کند. مبدل جریان همچنین وظیفهٔ پایش دمای اجزای برقی خود و موتور برقی و محدودیت لازم را برای مدیریت دما با حفظ عملکرد ایمن تجهیزات برعهده دارد.



شکل ۶-۱۸ اتصالات مبدل جریان مستقیم به متناوب

٦-١-٤ مبدل جریان مستقیم

تجهیزات برقی خودرویی، جعبه‌تقسیم‌های برقی هر یک از تجهیزات ولتاژ قوی نظیر انباره و مبدل جریان همگی نیاز به برق ولتاژ ضعیف یا ۱۲ ولت دارند. از این رو تأمین مدار تغذیه ۱۲ ولت در خودرو امری اجتناب ناپذیر است. مبدل جریان مستقیم دستگاهی است که برای تأمین برق ۱۲ ولت از مدار ولتاژ قوی استفاده می‌شود. مبدل جریان مستقیم در واقع دستگاهی است که ولتاژ را از یک سطح به سطح دیگر انتقال می‌دهد.

- **مبدل جریان مستقیم خودروی دورگه**

مبدل جریان مستقیم استفاده شده در خودروی دورگه از شرکت بروسا با نام تجاری بی‌اس‌سی۱۶۲۴ می‌باشد. مشخصات فنی دستگاه در جدول ۶-۷ تا جدول ۶-۹ ارائه شده است.

[1] BSC624

جدول ۶-۷ مشخصات بخش ولتاژ قوی مبدل جریان مستقیم

بخش ولتاژ قوی	بی‌اس‌سی۶۲۴	واحد
کمینهٔ ولتاژ با عملکرد محدود	۲۲۰	ولت
کمینهٔ ولتاژ با عملکرد کامل	۲۴۰	ولت
بیشنیه ولتاژ با عملکرد کامل	۴۵۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ قطع	> ۴۷۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ با احتمال تخریب	۶۰۰	ولت

جدول ۶-۸ مشخصات بخش ولتاژ ضعیف مبدل جریان مستقیم

بخش ولتاژ ضعیف	بی‌اس‌سی۶۲۴	واحد
ولتاژ نامی	۱۴	ولت
کمینهٔ ولتاژ با عملکرد کامل	۸	ولت
بیشنیه ولتاژ با عملکرد کامل	۱۶	ولت
بیشینهٔ ولتاژ قطع	> ۲۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ با احتمال تخریب	۲۵	ولت

جدول ۶-۹ مشخصات فنی مبدل جریان مستقیم

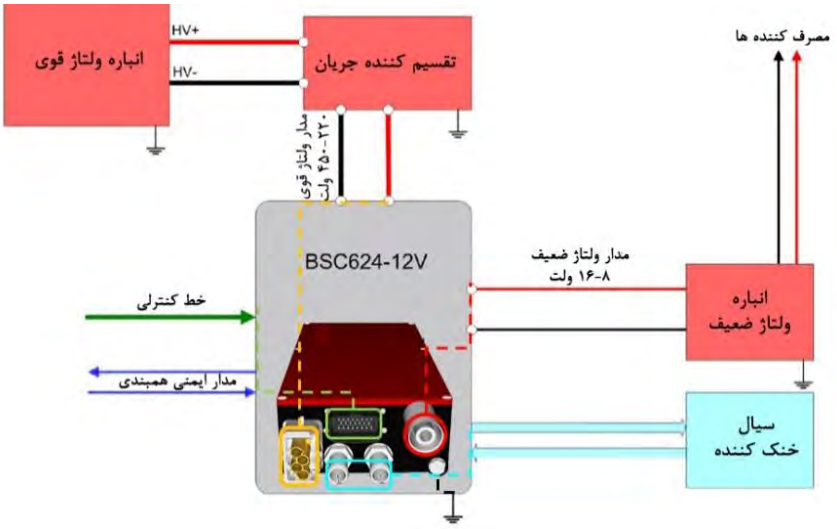
توان	بی‌اس‌سی۶۲۴	واحد
جریان ولتاژ ضعیف پیوسته	۲۰۰	آمپر
بیشینهٔ جریان ولتاژ ضعیف	۲۵۰	آمپر
جریان ولتاژ قوی پیوسته	۶,۳	آمپر
بیشینهٔ جریان ولتاژ قوی	۷,۹	آمپر
توان خروجی پیوسته	۲,۸	کیلووات
بیشینهٔ توان خروجی	۳,۵	کیلووات

شرایط دمایی دستگاه و سیال خنک‌کننده نیز در جدول ۶-۱۰جدول ۶-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۰ شرایط دمایی مبدل جریان مستقیم

شرایط دمایی	بی‌اس‌سی۶۲۴	واحد
نسبت ترکیب آب به ضدیخ	۵۰ / ۵۰	درصد
مقدار سیال خنک‌کن در دستگاه	۲۲۵	میلی‌لیتر
کمینهٔ دمای سیال خنک‌کن ورودی	-۴۰	سانتی‌گراد
بیشینه دمای سیال خنک‌کن ورودی	۶۵	سانتی‌گراد
کمینهٔ شار سیال خنک‌کن	۴	لیتربردقیقه
بیشینهٔ شار سیال خنک‌کن	۱۰	لیتربردقیقه
افت فشار سیال(شار ۴ لیتربردقیقه)	۰,۱<	بار
بیشینهٔ فشار استاتیکی	۲	بار
محدودهٔ دمای محیط در شرایط انبار	-۴۰ تا +۱۵۰	سانتی‌گراد
محدودهٔ دمای محیط در حین عملکرد	-۴۰ تا +۸۵	سانتی‌گراد

شکل ۶-۱۹ به صورت طرحواره ورودی و خروجی‌های مبدل جریان مستقیم را نشان می‌دهد. مدیریت مبدل جریان مستقیم را تنظیم‌کنندهٔ بالادست و از طریق پیغام ارسالی بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل انجام می‌دهد. مبدل جریان مستقیم بر اساس داده‌های دریافتی از حسگرهای خود، وظیفهٔ محدودسازی یا قطع توان خروجی خود را در شرایط غیر ایمن دمایی و کاهش یا افزایش بیش از حد ولتاژ در بخش ولتاژ قوی و ضعیف، برعهده دارد.



شکل ۶-۱۹ اتصالات مبدل جریان مستقیم خودروی دورگه

۶-۱-۵ ذخیره‌سازی برق شهری

استفاده از برق شهری برای تأمین و ذخیره‌سازی انرژی در انباره‌های خودروهای دورگه می‌تواند اثر قابل توجهی بر کاهش آلودگی در محیط‌های شهری با انباشت آلاینده‌ها، داشته باشد. برای این منظور از دستگاه ذخیره‌ساز برق شهری که در واقع یک مبدل جریان متناوب برق شبکه به جریان مستقیم است، استفاده می‌شود.

- **ذخیره‌سازی برق شهری خودروی دورگه**

ذخیره‌ساز استفاده شده در خودروی دورگه از شرکت بروسا با نام تجاری ان‌ال‌جی۵ می‌باشد. مشخصات فنی دستگاه مزبور در جدول ۶-۱۱ و جدول ۶-۱۲ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۱ مشخصات فنی بخش متناوب ذخیره‌ساز برق شهری

جریان متناوب ورودی	ان‌ال‌جی ۵	واحد
کمینهٔ ولتاژ	۱۰۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ	۲۶۴	ولت
کمینهٔ بسامد	۴۸	هرتز
بیشینه بسامد	۶۲	هرتز
بیشینهٔ جریان	۱۶	آمپر
بیشینهٔ توان	۳٫۶۸	وات
بازده	۹۳	درصد

جدول ۶-۱۲ مشخصات فنی بخش جریان مستقیم ذخیره‌ساز برق شهری

جریان مستقیم خروجی	ان‌ال‌جی ۵	واحد
ظرفیت ذخیره‌سازی	۳٫۳	ولت
محدوده ولتاژ	۲۰۰ – ۵۲۰	ولت
دقت ولتاژ ذخیره‌سازی	± ۱	هرتز
بیشینهٔ جریان	۱۲٫۵	هرتز
دقت جریان	± ۲	آمپر

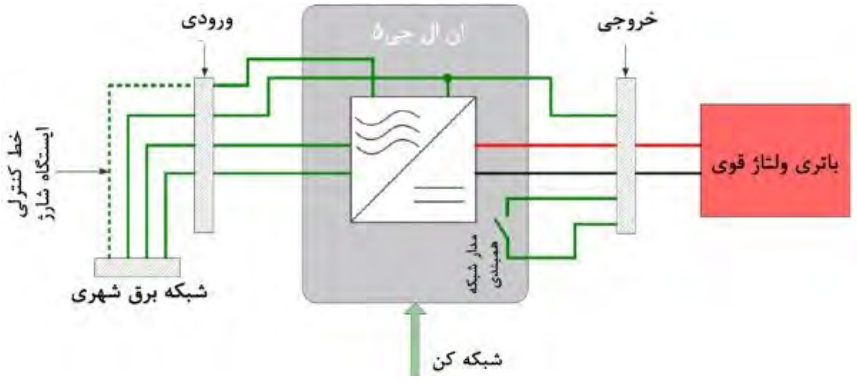
مشخصات خنک‌کاری ذخیره‌ساز نیز در جدول ۶-۱۳ ارائه شده است. توان خروجی ذخیره‌ساز در صورتی‌که از محدودهٔ دمای کارکرد ایمن خارج شود، کاهش می‌یابد. اگر با وجود کاهش توان دمای دستگاه در وضعیت بحرانی قرار بگیرد، به طور کامل دستگاه از کار می‌افتد.

جدول ۶-۱۳ شرایط دمایی ذخیره‌سازی برق شهری

شرایط دمایی	ان‌ال‌جی ۵	واحد
حجم سیال داخل دستگاه	~ ۰٫۳	لیتر
قطر خارجی لولهٔ سیال	۱۵٫۲	میلی‌متر
کمینهٔ دمای سیال	−۲۵	سانتی‌گراد
بیشینه دمای سیال	+۷۰	سانتی‌گراد
افت فشار سیال (شار ۵ لیتربردقیقه و	۵۰	میلی بار
بیشینهٔ فشار سیال	۱٫۰	بار
شار سیال	۴ تا ۶	لیتر بر دقیقه
دمای محیط در شرایط نگهداری	−۴۰ تا +۸۵	سانتی‌گراد
دمای محیط در شرایط کاری	−۲۵ تا +۷۰	سانتی‌گراد
دمای دستگاه برای کارکرد کامل	−۲۰ تا +۶۰	سانتی‌گراد

طرحواره ورودی و خروجی‌های ذخیره‌ساز در شکل ۶-۲۰ نشان داده شده است. شرایط ذخیره‌سازی انباره از طریق پیغام‌های ارسال شده از سمت انباره را در بستر شبکهٔ پایشگر مستقل ذخیره‌ساز اعمال می‌کند. همچنین ذخیره‌ساز توانایی تعامل با پادمان‌های استاندارد ایستگاه‌های ذخیره‌سازی را نیز دارد.

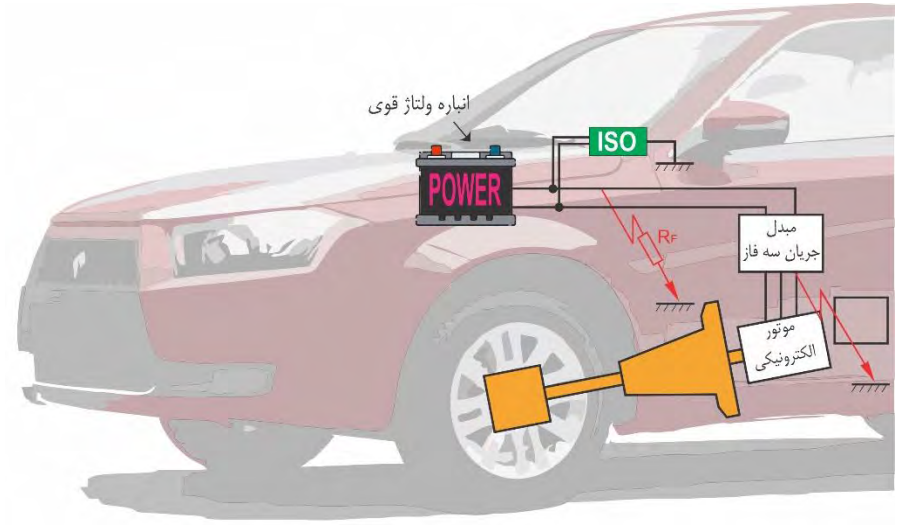
واحد مدیریت انباره پس از آنکه از طریق سامانهٔ تنظیم تجهیزات ولتاژ قوی پیغام اتصال ذخیره‌ساز به برق شبکه را دریافت می‌کند، پیغام ولتاژ و جریان خروجی ذخیره‌ساز را بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل ارسال می‌کند. ذخیره‌ساز این پیغام را دریافت و براساس آن عملکرد خود را مدیریت می‌کند.



شکل ۶-۲۰ اتصالات ذخیره‌ساز برق شهری

۶-۱-۶ سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی

در صنعت خودروسازی، ولتاژ بیشتر از ۶۰ ولت به عنوان ولتاژ قوی شناخته می‌شود و شامل شیوه‌نامه‌های ایمنی ویژه‌ای می‌شود. در این خودروها لازم است که همواره عدم اتصال مدار ولتاژ قوی با مدار ولتاژ ضعیف، پایش شود. به این منظور به دستگاه‌های مخصوصی نیاز است که با اندازهٔ سطح مقاومت بین کفی خودرو (پایه منفی انبارهٔ ولتاژ ضعیف) و مدار ولتاژ قوی، مقدار نشت جریان بین این دو مدار را اندازه‌گیری نماید. شکل ۶-۲۱شکل ۶-۲۱ به صورت طرحواره موقعیت قرارگیری سامانهٔ امنیتی مدار ولتاژ قوی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲۱ نحوهٔ اتصال سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی در خودرو برقی

- **سامانهٔ امنیتی مدار ولتاژ قوی خودروی دورگه**

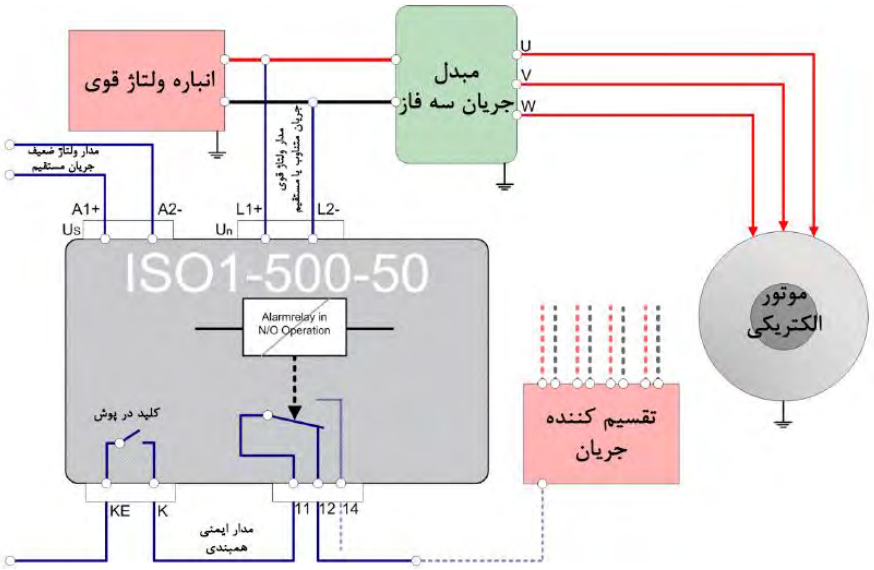
سخت‌افزار استفاده شده در خودروی دورگه از شرکت بروسا و با نام تجاری ایزو[1] می‌باشد. مشخصات فنی قطعهٔ مزبور در جدول ۶-۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۴ مشخصات فنی سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی

مشخصات فنی	ایزو	واحد
کمینهٔ ولتاژ مدار ولتاژ قوی (جریان متناوب)	۵۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ مدار ولتاژ قوی (جریان متناوب)	۴۰۰	ولت
کمینهٔ ولتاژ مدارولتاژ ضعیف	۱۲	ولت
بیشینهٔ ولتاژ مدار ولتاژ ضعیف	۸۴	ولت
کمینهٔ ولتاژ مدار ولتاژ قوی (جریان مستقیم)	۰	ولت
کمینهٔ ولتاژ مدار ولتاژ قوی (جریان مستقیم)	۱۰۰۰	ولت
بیشینه ظرفیت حد مجاز نشت جریان	۲۰	میکرو فاراد
کمینهٔ دمای عملکرد استاندارد	-۲۵	سانتی‌گراد
بیشینه دمای عملکرد و نگهداری در انبار استاندارد	+۷۰	سانتی‌گراد
کمینهٔ دمای نگهداری در انبار	-۴۰	سانتی‌گراد

[1] ISO1

اتصالات عایق[1] به صورت طرحواره در شکل ۶-۲۲ ارائه شده است. سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی دارای واحد مدیریت مستقل می‌باشد که براساس ورودی‌هایی که از مدار ولتاژ قوی و ضعیف می‌گیرد، عدم اتصال این دو مدار را پایش می‌کند. در صورتی که نشت جریان بین مدارها تشخیص داده شود، اتصال مدار ایمنی هم‌بندی قطع می‌گردد و انباره به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ جریان از مدار خارج می‌شود.



شکل ۶-۲۲ اتصالات سامانه امنیتی مدار ولتاژ قوی

۶-۱-۷ جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی

در سامانه‌های برقی زمانی که تعداد تولید کننده و مصرف کننده‌های انرژی برقی در مدار بیش از یکی باشد، باید از جعبه تقسیم جریان[2] برای انتقال انرژی برقی بین قطعات استفاده نمود. با توجه به جریان قوی که در مدار وجود دارد و همچنین سطح بالای ولتاژ، هر گونه اتصال بین پایانه‌های مثبت و منفی می‌تواند خسارت‌های مالی و جانی زیادی را به دنبال داشته باشد. برای این منظور استفاده از جعبهٔ فیوز در مسیر مدار بسیار برای این گونه سامانه‌ها حائز اهمیت می‌باشد. شکل ۶-۲۳ ساختار درونی جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی را نشان می‌دهد.

[1] Isolation
[2] Power Distribution Unit (PDU)

شکل ۶-۲۳ جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی خودروی دورگه

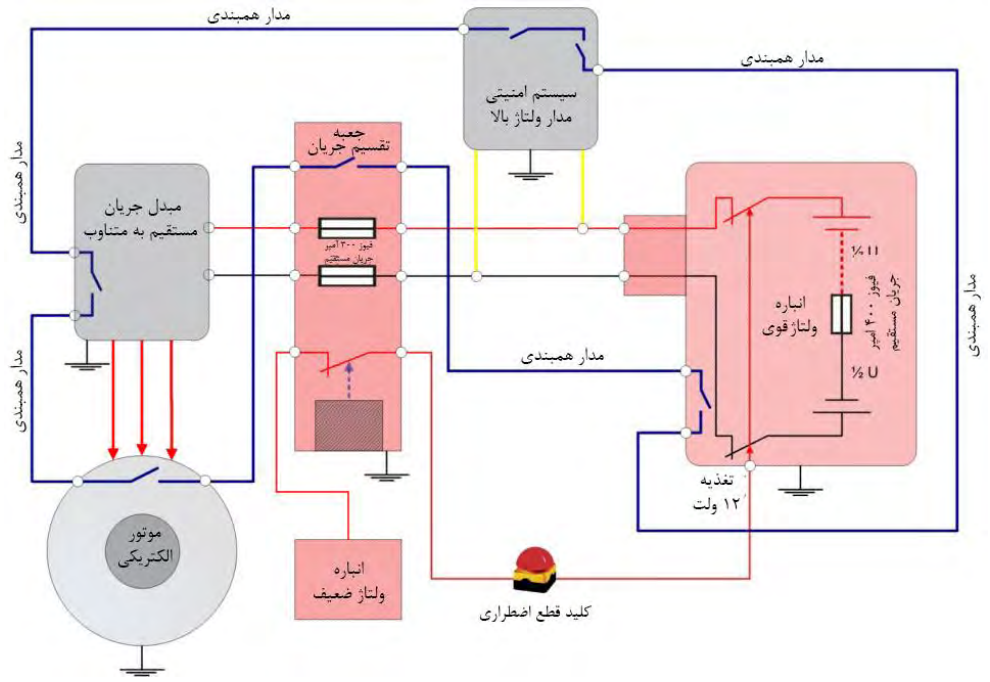
- **جعبه تقسیم خودروی دورگه**

جعبه تقسیم استفاده شده در خودروی دورگه ساخت شرکت بروسا میباشد. اجزای اصلی جعبه تقسیم جریان که برای خودروی دورگه استفاده شده است عبارتند از:

- پایش اتصالات مدار هم‌بندی قطعات ولتاژ قوی
- فیوزهای جریان قوی به منظور قطع شدن مدار در زمان اتصال کوتاه یا جریان قوی مدار

- **جعبهٔ الکترونیکی**

چون جعبه تقسیم نیز بخشی از مدار ایمنی برقی ولتاژ قوی خودرو می‌باشد، لذا باید از مداری برای پایش سامانهٔ ایمنی استفاده نمود. برای این منظور یک عدد کلید فشاری (شکل ۶-۲۴ را مشاهده کنید) در قسمت بالایی این جعبه تقسیم و زیر در جعبه قرار داده شده است تا در صورت باز شدن در جعبه تقسیم، کلید قطع شود و مدار ایمنی مسیر ورودی ولتاژ قوی را به جعبه تقسیم قطع کند. نقش جعبه تقسیم در مدار ایمنی ولتاژ قوی در شکل ۶-۲۴شکل ۶-۲۴ مشخص است. مشاهده می‌شود که مدار هم‌بندی که بین تمامی قطعات مشترک می‌باشد از جعبه تقسیم نیز عبور می‌کند. در زمانی که کلید زیر در جعبه تقسیم فعال نباشد این مسیر قطع می‌شود و جعبه تقسیم نشانک تحریک کلید اصلی انباره را قطع می‌کند.



شکل ۶-۲۴ اتصالات جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی

- **فیوزهای جریان قوی**

فیوزهای استفاده شده در این جعبه تقسیم ساخت شرکت باس‌من[1] می‌باشند که در دو نمونهٔ ۲۰ و ۳۰۰ آمپر استفاده شده اند. مشخصات این فیوزها در شکل ۶-۲۵ و شکل ۶-۲۶ آمده اند.

ولتاژ مجاز :		**۶۰۰ ولت جریان مستقیم و متناوب**
جریان مجاز :		۰٫۱ تا ۳۰ آمپر
جریان قطع ایمن :		۱۰۰ هزار آمپر در جریان متناوب ۱۰ هزار آمپر در جریان مستقیم
جنس :		بدنه: ملامین کلاهک: همبستهٔ مس

شکل ۶-۲۵ فیوزهای ۲۰ آمپر استفاده شده در جعبه تقسیم خودروی دورگه به همراه مشخصات آنها

[1] BUSSMANN

ولتاژ مجاز :	**۵۰۰ ولت جریان مستقیم و متناوب**
جریان مجاز :	۵۰ تا ۳۰ آمپر
جریان قطع ایمن :	۲۰۰ هزار آمپر در جریان متناوب ۵۰ هزار آمپر در جریان مستقیم

شکل ۶-۲۶ فیوزهای ۳۰۰ آمپر استفاده شده در جعبه تقسیم خودروی دورگه به همراه مشخصات آنها

- **مشخصات ورودی و خروجی‌ها**

طبق مشخصات اعلام شدهٔ سازنده، محدودیت‌های ورودی‌ها و خروجی‌های جعبه تقسیم طبق جدول ۶-۱۵ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۵ مشخصات فنی جعبه تقسیم مدار ولتاژ قوی

مشخصات فنی	مقادیر	واحد
ولتاژ عملکردی	۲۰۰ – ۵۰۰	ولت
ولتاژ کاری برد	۷ تا ۱۵	ولت
جریان عبوری از مدار هم‌بندی	۱۰	میلی آمپر
بیشینهٔ ولتاژ ممکن برای مدار هم‌بندی	۳۰	ولت
قطر بافه پیشنهادی خروجی‌های اصلی ۳۰۰ آمپر	۵۰	میلی‌متر مربع
قطر بافه پیشنهادی خروجی‌های فرعی (تنجار)	۲۵	میلی‌متر مربع
بیشینهٔ جریان اتصال موتور برقی	۳۰۰	آمپر
بیشینهٔ جریان اتصال ژنراتور	۱۰۰	آمپر
بیشینهٔ جریان اتصال ذخیره‌ساز، مبدل جریان	۲۰	آمپر
بیشینه دمای محیط	۸۵	سانتی‌گراد
کمینهٔ دمای محیط	۴۰	سانتی‌گراد

۶-۱-۸ بافه‌ها (کابل‌ها)

بافه‌ها از اصلی‌ترین اجزای تشکیل دهندهٔ خودروهای برقی و دورگه می‌باشند که برای هدایت جریان برقی بکار گرفته می‌شوند. بافه‌ها نقش بسیار مهمی در حفظ ایمنی و عملکرد پایدار خودرو دارند و از این رو باید استانده‌های مربوطه را با نهایت دقت در انتخاب، نصب، کاربرد و شرایط نگهداری به کار بست تا از خسارات مالی

و جانی پیشگیری گردد. بافه‌ها در حقیقت نوعی‌هادی‌اند که در داخل یک پوشش عایق قرار گرفته‌اند. ساختمان بافه‌ها از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

- هادی: موادی با رسانایی خوب و تلفات کم می‌باشد که وظیفهٔ هدایت جریان برقی را بر عهده دارد. معمول‌ترین‌هادی استفاده شده در بافه‌ها مس و آلومینیوم با خلوص خوب می‌باشد.
- عایق: پوشش نارسانایی است که از مواد غیر فلزی تشکیل شده وهادی‌های بافه را از یکدیگر و همچنین از محیط اطراف جدا سازی و حفاظت می‌کند.
- پوسته فلزی[۱]: لایه فلزی متصل به قطب منفی (زمین) که برای محدود کردن میدان برقی درون بافه و محافظت از آن در برابر اثرات برقی خارجی استفاده شده است.

عوامل مهم در انتخاب نوع بافه می‌توان به ولتاژ نامی، افت ولتاژ مجاز، بار اتصال کوتاه مجاز، مقدار تحمل بافه در برابر شدت جریان عبوری، شرایط محیطی و حفاظت مدار اشاره کرد. روکش خارجی بافه‌های مدار ولتاژ قوی در خودروهای برقی عموماً رنگ نارنجی دارند.

- **بافهٔ استفاده شده در خودروی دورگه**

بافهٔ استفاده شده در خودروی دورگه متعلق به شرکت رادکس[۲] می‌باشد. این بافه‌ها دارای تأییدیه استانداردهای ایزو۶۷۲۲[۳] و دین۱۳۶۰۲[۴] هستند و خصوصیات بارز آن‌ها به این صورت است:

- مقاوم در برابر دماهای بسیار گرم و سرد (۴۰– درجه تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد)
- مقاوم در برابر اسید باطری، انواع روغن، سوخت و مایعات خنک‌کننده موتور
- مقاوم در برابر ازن
- مقاوم در برابر رطوبت، شعله، روغن ترمز

۱ Shield
۲ RADOX
۳ ISO 6722
۴ DIN EN 13602

هادی بافهٔ استفاده شده از جنس مس انعطاف‌پذیر و پوسته فلزی آن نیز از رشته‌های نازک درهم تنیده مسی می‌باشند. روکش خارجی بافه نیز از جنس لاستیک انعطاف‌پذیر[1] نارنجی می‌باشد. شکل ۶-۲۷ اجزای تشکیل دهندهٔ بافه را نشان می‌دهد. در جدول ۶-۱۶ نیز مشخصات فیزیکی و فنی بافه‌ها ارائه شده است.

شکل ۶-۲۷ اجزای تشکیل دهنده بافه

جدول ۶-۱۶ مشخصات بافهٔ استفاده شده در خودروی دورگه

مشخصات	مقدار	واحد
سطح مقطع بافه	۳۵	میلی‌متر مربع
سطح مقطع‌هادی	۷٫۹	میلی‌متر مربع
مقاومت‌هادی (دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد)	۰٫۵۲۷	اهم بر کیلومتر
وزن	۴۴٫۵	کیلوگرم بر ۱۰۰ متر
بیشینهٔ ولتاژ جریان متناوب نسبت به زمین	۷۲۰	ولت
بیشینهٔ ولتاژ جریان مستقیم نسبت به زمین	۹۰۰	ولت
محدودهٔ دمایی	۴۰- تا ۱۵۰+	سانتی‌گراد
کمینهٔ شعاع خم شدگی	۴ برابر قطر بافه	–

۶-۱-۹ تنجار[2] برقی

در خودروهای دورگه برقی به دلیل عدم کارکرد دایمی موتور احتراقی، لازم است از تنجار برقی برای فشرده‌سازی گاز موجود در سامانهٔ تهویهٔ مطبوع استفاده شود. برای این منظور در این خودروهای برقی و دورگه از تنجار برقی برای فشرده‌سازی گاز تهویهٔ مطبوع و خنک‌سازی هوای داخل اتاق خودرو استفاده می‌شود. شایان ذکر است که در مناطق گرمسیری، سامانهٔ خنک‌کاری هواخنک جوابگوی توان خنک‌سازی انبارهٔ برقی نیست و به سامانه‌ای برای خنک‌سازی آب انبارهٔ برقی نیازمندیم. به همین منظور از سامانهٔ تهویهٔ مطبوع اتاق خودرو برای خنک‌سازی همزمان اتاق خودرو وسیال خنک‌کننده انبارهٔ برقی در هوای گرم استفاده می‌شود. به همین دلیل، توان تنجار برقی مجموع توان لازم برای خنک کردن اتاق خودرو و سیال خنک‌کننده انباره در گرمترین روز سال است.

[1] Elastomer
[2] Compressor

- **تنجار خودروی دورگه**

تنجار استفاده شده بر روی خودروی دورگه نمونهٔ اچکیوآ۲دی-۳۴اچ۳۲۰تی[۱] است که ساخت شرکت واکیونگ[۲] می‌باشد. نمایی از تنجار برقی در شکل ۶-۲۸ نشان داده شده است. مشخصات فنی این تنجار در جدول ۶-۱۷ آمده است.

شکل ۶-۲۸ نمایی از تنجار برقی خودروی دورگه

[۱] HQA2D-34H320T
[۲] VAQOUNG

جدول ۶-۱۷ مشخصات مکانیکی مجموعه تنجار

مشخصات مکانیکی	مقادیر
شمارهٔ نمونه	اچ‌کیوآ۲دی-۳۴اچ۳۲۰تی
نوع	نیمه بسته پیچشی
مبرد	آر۱۳۴آ
حجم جابجایی	۳۴ سانتی مترمکعب در هر چرخش کامل
روغن	امکریت آرال۶۸اچ۱ / ۱۵۰ میلی‌لیتر
موتور برقی	جریان مستقیم آهنربای دائمی همزمان
عایق‌کاری	سطح اف
وزن خالص (باروغن)	۶٫۴ کیلوگرم
خنک‌کاری	هواخنک
قطر لولهٔ ورودی	۱۸٫۳ میلیمتر
قطر لولهٔ خروجی	۱۵٫۵ میلیمتر
محدودهٔ سرعت	۱۰۰۰ الی ۶۵۰۰ دور بر دقیقه
تغییر سرعت	۵۰۰ دور بر ثانیه
زمان سپری‌شده برای بیشینهٔ سرعت	۱۳ ثانیه بعد از شروع به کار
فشار آب‌بندی	۳٫۵ مگا پاسکال
بیشینهٔ فشار قابل تحمل	۸٫۳ مگا پاسکال سمت پرفشار ۵٫۲ مگا پاسکال سمت کم فشار
فشار بازشدن شیر تنظیم فشار	۴ مگا پاسکال
فشار بسته شدن شیر تنظیم فشار	۳٫۲۵ مگا پاسکال
سطح حفاظت	آی‌پی۶۷

مشخصات برقی تنجار در جدول ۶-۱۸ ارائه شده است:

[1] EMKARATE RL68H

جدول ۶-۱۸ مشخصات برقی مجموعه تنجار

مشخصات برقی	مقادیر
ولتاژ عملکرد بهینه	۳۲۰ ولت جریان مستقیم
محدوده ولتاژ عملکردی	۲۲۰ تا ۴۲۰ ولت جریان مستقیم
نوع اتصالات ولتاژ قوی	آمفنول[۱]
ولتاژ تغذیه	۱۲ ولت (۹ تا ۱۶ ولت)
جریان تغذیه	کمتر از ۱ آمپر
نوع اتصالات ولتاژ ضعیف	سومیتومو[۲]
سازگاری الکترومغناطیسی	ایزو ۷۶۳۷ - ایزو ۱۱۴۵۲
ولتاژ عایق‌کاری	۳۰۰۰ ولتاژ جریان متناوب در ۶۰ ثانیه
مقاومت عایق	مقاومت بین ۲۰۰۰ ولت جریان مستقیم و بدنه > ۱۰۰ میلی اهم

٦-١-١٠ سامانهٔ پایش خودروی دورگه

با پیشرفت فناوری استفاده از حسگرها و عملگرهای مختلف در خودروها افزایش چشم‌گیری داشته است. حسگرهای خوانش دما و فشار، شیرهای تنظیمی، تلمبه‌های برقی، موتورهای تنظیمی جریان مستقیم، حسگرهای خوانش مقدار شار هوا و آب، افشانه‌های سوخت و سیم‌پیچ‌های تغذیه شمع از جمله تجهیزات الکترونیکی می‌باشند که امروزه در اکثر خودروها استفاده می‌شوند. راه اندازی و پایش این تجهیزات الکترونیکی با سامانهٔ پایش موتور انجام می‌شود. رایانهٔ موتور شامل بخش‌های مختلفی اعم از ریزپردازنده[۳]، راه‌انداز خروجیهای گسسته[۴]، شبیه‌ساز پهنای نوار[۵]، راه انداز افشانه‌های سوخت، راه انداز سیم‌پیچ، راه انداز حسگرکوبش، راه انداز خوانش نسبت سوخت به هوا، حافظه داخلی قابل تغییر، راه انداز پایش ریزپردازنده و راه‌اندازها، تنظیم کننده تغذیه و مدار چاپی است.

امروزه با پیشرفت ریزپردازنده‌ها بسیاری از راه اندازها از روی سامانه‌های پایشگر حذف شده‌اند و پایه‌های مختلف ریزپردازنده‌ها قابلیت خوانش مستقیم نشانک‌های حسگرهایی مانند حسگر کوبش را دارند. با پیشرفت ریزپردازنده‌ها طراحی مدارهای چاپی بسیار ساده‌تر می‌شود و قطعات الکترونیکی استفاده شده روی مدارهای چاپی کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین این امر موجب استفاده از یک مدار چاپی برای کاربردهای وسیع تر نیز خواهد شد.

---

۱ Amphenol
۲ Sumitomo
۳ Micro controller
۴ Digital
۵ Pulse-width modulation (PWM)

- **سامانه‌های پایشگر خودروی دورگه**

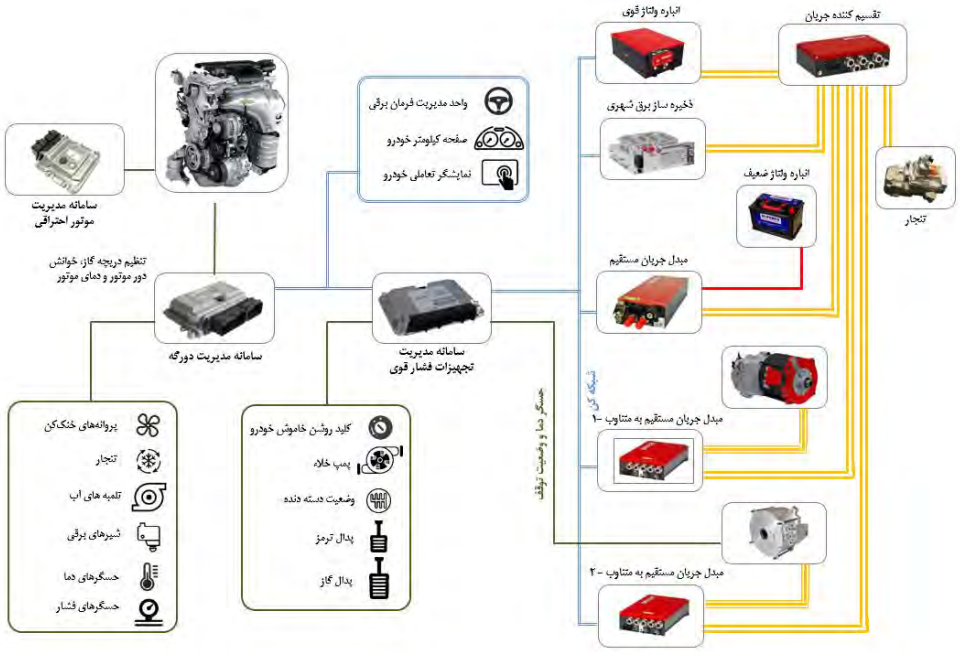
سامانه‌های پایشگر استفاده شده در این خودرو شامل سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی، واحد مدیریت تجهیزات جانبی و سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی می‌شود که هر یک وظیفهٔ جداگانه و البته در تعامل با سامانه‌های دیگر را برعهده دارد. پایش و مدیریت اجزاء برقی ولتاژ قوی بر عهده سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی بوده و این سامانه اطلاعات مورد نیاز واحد مدیریت تجهیزات جانبی را از طریق شبکهٔ پایشگر مستقل[۱] در اختیار قرار می‌دهد. مدیریت سامانهٔ خنک‌کاری و همچنین مدیریت انرژی و ارسال اطلاعات لازم برای نمایش در جلو آمپر، به عهده واحد مدیریت تجهیزات جانبی است. سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی نیز پایش موتور احتراقی را از نقطه نظر پاشش سوخت و جرقه و همچنین عملکرد مطلوب موتور احتراقی در شرایط مختلف بر عهده دارد. در ادامه توضیحاتی در خصوص هر رایانه مدیریتی ارائه شده است. شکل ۶-۲۹ ارتباطات بین سامانه‌های مدیریتی را با یکدیگر و تجهیزات جانبی دیگر نشان می‌دهد.

- **سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی**

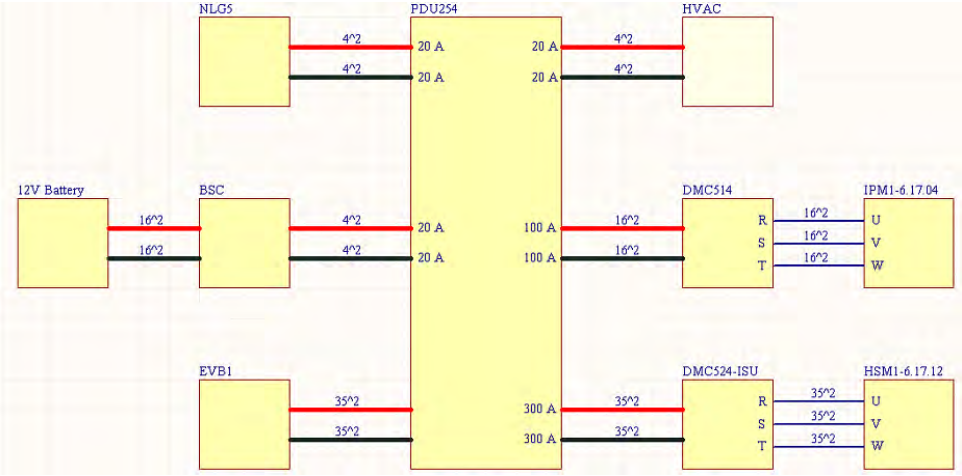
سخت‌افزار این رایانه از نوع تی‌تی‌سی ۶۰۲[۲] ساخت شرکت تی‌تی‌کنترل[۳] بوده و از زبان برنامه‌نویسی کدسیس[۴] در آن استفاده می‌شود. توابع پایه موجود در این رایانه، امکان مدیریت اجزاء برقی را فراهم می‌سازد. شکل ۶-۳۰ سیم‌کشی مدارهای ولتاژ قوی را نمایش می‌دهد. اتصالات ولتاژ قوی به منظور جلوگیری از خطرات احتمالی باید به درستی عایق کاری شده باشند. قطعهٔ مرکزی برای تقسیم ولتاژ جعبه تقسیم جریان است که امکان ارتباط هر یک از اجزا را به ولتاژ قوی فراهم می‌کند. هر ارتباط به جز انباره در داخل جعبه تقسیم جریان دارای فیوز جداگانه است. فیوز انبارهٔ ولتاژ قوی در داخل خود انباره قرار دارد.

---

۱ CAN bus
۲ TTC60
۳ TTControl
۴ CoDeSys



شکل ۶-۲۹ طرحوارهٔ ارتباطات سامانه‌های مدیریت



شکل ۶-۳۰ سیم‌کشی مدارهای ولتاژ قوی

ورودی و خروجی‌های مهم به سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی را می‌توان به این صورت بر شمرد:

- شبکهٔ پایشگر مستقل
- فرمان روشن شدن

فرمان روشن شدن سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی مستقیما از کلید روشن/خاموش یا از ذخیره‌ساز دریافت می‌شود. در صورت قطع کلید روشن/خاموش یا قطع ذخیره‌ساز برق شهری، سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی نیز خاموش می‌شود.

- وضعیت رانندگی

برای رانندگی از طریق دسته دنده خودکار و در وضعیتهای رانش، توقف، دنده عقب و خلاص به سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی، پیامی ارسال می‌شود.

- اهرم گاز

سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی، وضعیت اهرم گاز را به صورت ولتاژ دریافت می‌کند. به منظور امکان عیب‌یابی (با توجه به ایمنی مورد نیاز) از اهرم گاز با دو نیروسنج برقی[۱] استفاده شده است.

- کلید ترمز

در این خودرو از یک کلید ترمز دو مرحله‌ای به منظور ایمنی در شرایط ترمزگیری استفاده شده است. با دریافت دستور ترمز، گشتاور اعمالی روی موتور برقی صفر می‌شود.

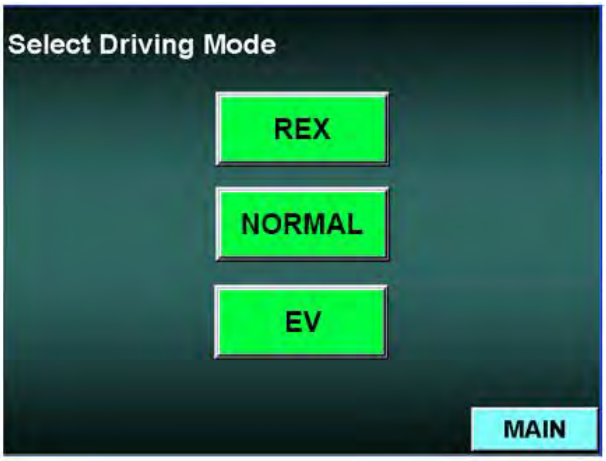
- بازیافت انرژی

به منظور امکان تغییر در شدت بازیافت انرژی متناسب با درخواست راننده، تغییر شدت بازیافت انرژی به وسیلهٔ راننده با دسته‌دنده امکان‌پذیر است. با تغییر شدت بازیافت انرژی، از دو ورودی بالارونده و پایین رونده برای تغییر مقدار بازیافت انرژی استفاده می‌شود.

[۱] potentiometer

- انتخاب حالت رانندگی

این گزینه امکان انتخاب پیمایش تمام برقی[۱]، موتور احتراقی روشن[۲] و عادی[۳] را برای راننده فراهم می‌سازد که با نمایشگر اتاق خودرو و از طریق شبکهٔ پایشگر مستقل به سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی ارسال می‌گردد. در حالت تمام برقی، موتور احتراقی خاموش است و در حالت موتور احتراقی روشن و عادی در صورتی‌که سطح ذخیره‌سازی انباره از حدی کمتر باشد؛ موتور احتراقی روشن خواهد بود. نمایی از حالات مختلف کارکرد خودرو در شکل ۶-۳۱ نشان داده شده است.



شکل ۶-۳۱ نمایش حالت‌های مختلف رانندگی برای خودروی دورگه

- تلمبهٔ خلأ ترمز

به منظور ایجاد نیروی کمکی ترمز از یک تلمبهٔ خلأ برقی استفاده شده که مدیریت آن را سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی و از طریق خروجی ۱۲ ولت در شرایطی که خودرو حرکت می کند؛ انجام می‌دهد. در داخل تلمبهٔ خلأ یک سامانهٔ اندازه‌گیری فشار قرار دارد که به محض رسیدن به فشار مشخص به صورت خودکار خاموش خواهد شد.

۱ EV
۲ REX
۳ Normal

- قفل توقف

جعبه‌دنده موتور برقی مجهز به قفل توقف است که به صورت مکانیکی و در زمان توقف خودرو، موجب قفل شدن موتور می‌شود.

- دمای روغن جعبه‌دنده

جعبه‌دنده مجهز به حسگر دما است که دمای روغن را به سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی ارسال می‌کند.

- فرمان روشن و خاموش شدن موتور احتراقی

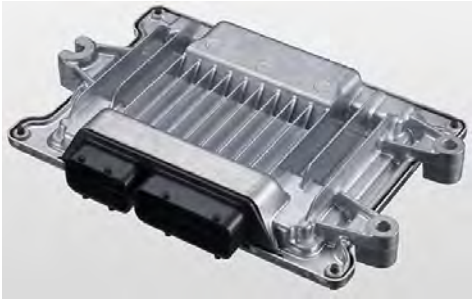
با توجه به شرایط کاری و سطح ذخیره‌سازی انباره، متناسب با راهبرد مدیریت انرژی، سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی فرمان روشن و خاموش شدن موتور احتراقی را از طریق پیغام پایشگر مستقل به واحد مدیریت تجهیزات جانبی ارسال می‌نماید و واحد مدیریت تجهیزات جانبی نیز موتور احتراقی را فعال یا غیر فعال می کند.

- **سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی**

موتور احتراقی استفاده شده در خودروی دورگه از نوع سه استوانه است که دریچهٔ گاز آن برقی است. چون رایانهٔ موتور احتراقی برای مدیریت دور موتور نیاز به نشانک اهرم گاز دارد و با علم به این که درخودروی دورگه اهرم گاز زیر پای راننده به عنوان ورودی برای مدیریت موتور برقی استفاده می‌شود، لازم است نشانک اهرم گاز برای موتور احتراقی شبیه‌سازی شود. برای این منظور از یک مدار مدیریتی استفاده شده است که نشانک پیوسته[1] اهرم گاز را شبیه‌سازی می‌کند.

در شکل ۶-۳۲ تصویری از رایانهٔ موتور احتراقی ارائه شده است. از رایانهٔ مدیریت موتور به منظور روشن و خاموش کردن موتور احتراقی استفاده می‌شود. اطلاعات زمان پاشش افشانه سوخت به منظور محاسبهٔ مقدار مصرف سوخت، از طریق به اشتراک‌گذاری در اختیار واحد مدیریت تجهیزات جانبی قرار می‌گیرد. همچنین از اطلاعات حسگر دمای آب برای پایش پنکهٔ (فن) خنک‌کاری، دور موتور به منظور تنظیم دور در نقطهٔ درخواستی در واحد مدیریت تجهیزات جانبی استفاده خواهد شد.

[1] Analog Signal



شکل ۶-۳۲ رایانه سامانهٔ مدیریت موتور احتراق داخلی

- **واحد مدیریت تجهیزات جانبی**

از واحد مدیریت تجهیزات جانبی به عنوان هستهٔ مرکزی مدیریت خودروی دورگه استفاده می‌شود. واحد مدیریت تجهیزات جانبی ارتباط میان موتور احتراقی و سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی و نمایش مشخصه‌های مورد نیاز در نمایشگر اتاق و نمایشگر راننده، مدیریت سامانهٔ خنک‌کاری اجزاء برقی، انباره و موتور احتراقی و ایجاد پیغام‌های مناسب برای فرمان برقی را بر عهده دارد. واحد مدیریت تجهیزات جانبی شامل دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است که توضیحات مفصل آن در ادامه آورده شده است.

- **سخت‌افزار واحد مدیریت تجهیزات جانبی**

تجهیزات جانبی همانند تلمبهٔ آب و تنجار برقی نیز به مدیریتی هوشمند نیازمندند. شایان ذکر است که نگارش توابع نرم‌افزاری و نگاشت توابع اولیه با سخت‌افزاری داخلی انجام شد. پس از بررسی چند نمونهٔ رایانهٔ موتور، با توجه به لزوم در دسترس بودن اطلاعات پردازنده و همچنین ورودی و خروجی‌های آن، نهایتا ام‌ای۷[۱] سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی ساخت شرکت بوش[۲] استفاده شده در خودروی سمند با موتور ملی، برای این منظور انتخاب شد. به منظور سازگار نمودن سامانهٔ انتخابی با ورودی و خروجی‌های لازم در طرح دورگه تغییراتی در آن اعمال شد. مشخصات جعبه تقسیم برقی و پردازنده این سامانه مورد شناسایی قرار گرفت و تغییرات لازم در آن ایجاد گردید. برنامه‌ریزی سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی نیز طراحی و اجرا شد. بخش سوم و پر اهمیت دیگر، تدوین برنامهٔ پایه برای امکان گردآوری[۳] و اجرای توابع بود که این مهم نیز صورت پذیرفت. به همین منظور، چند نمونه سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی آماده و همزمان با توسعهٔ برنامه‌های پایه، از طریق نرم‌افزارهای برنامه‌ریز پیشرفته، قواعد

۱ ME7
۲ Bosch
۳ Compile

تدوین شده اجرا و تنظیم گردید. بهینه‌سازی‌های سخت‌افزاری روی سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی به این شرح است:

- ایجاد تغییراتی برای خوانش ورودی‌های پیوسته غیر فعال[۱] با توجه به افزایش ورودی‌های پیوسته نظیر دما
- اصلاح پایهٔ خوانش دور موتور با توجه به اشتراک گذاری حسگر دور موتور بین واحد مدیریت تجهیزات جانبی و سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی
- ایجاد اصلاحات لازم روی جعبه تقسیم برای بارگذاری اطلاعات
- تغییر برای اعمال علامت (سیگنال) شبیه‌ساز پهنای نوار (باند) به تنجار

- **نرم‌افزار واحد مدیریت تجهیزات جانبی**

همزمان با بررسی سخت‌افزار و ایجاد تغییرات سخت‌افزاری، نرم‌افزار پایه بر مبنای مشخصات پردازنده استفاده شده در واحد مدیریت تجهیزات جانبی آماده سازی شد. از جمله بخش‌های نرم‌افزاری می‌توان به این موارد اشاره نمود:

- بخش ارتباط با نرم‌افزار نگاشت (اینکا[۲]) برای نمایش متغیرها و نگاشت برخط
- بخش‌های وابسته با پادمان[۳] پایشگر مستقل و امکان دریافت و ارسال پیغام‌ها
- برنامه اصلی شامل تعریف ورودی‌ها و خروجی‌ها به واحد مدیریت تجهیزات جانبی و همچنین تعیین شدت زمانی اجرای فرایندها
- بخش مدیریت نوع و مقدار حافظه‌ها

- **نرم‌افزارهای استفاده شده**

نرم‌افزارهای استفاده شده در فرایند تدوین توابع، گردآوری برنامه، بارگذاری واحد مدیریت تجهیزات جانبی، نمایش مشخصه‌ها برای نگاشت و تحلیل نتایج بدین شرح است:

---
۱ passive
۲ INCA
۳ Protocol

- **نرم‌افزار اسکت[1]**

اسکت محصول شرکت اتاس[2] است که قبلا با پرداخت قابلیت استفاده خریداری شده است. نرم‌افزار اسکت محیطی برای ایجاد قاعدهٔ (الگوریتم) ریاضی و منطقی پدیده‌های مختلف فیزیکی موتور است. اقواعد مختلف یکپارچه می‌شود و به صورت فایلی که قابل استفاده برای پردازنده سامانهٔ مدیریت موتور احتراقی باشد، در اختیار کاربر قرار داده می‌شوند. شکل ۶-۳۳ نمونه ای از فضای کاری اسکت را نمایش می‌دهد.

- **نرم‌افزار تسکینگ[3]**

این نرم‌افزار در اصل گردآورنده است که تبدیل فایل‌های متنی ایجاد شده با اسکت را به زبان ماشین و زبان قابل ثبت روی پردازنده بر عهده دارد.

سامانهٔ (سیستم عامل) آرتی‌ای-اوسک[4]

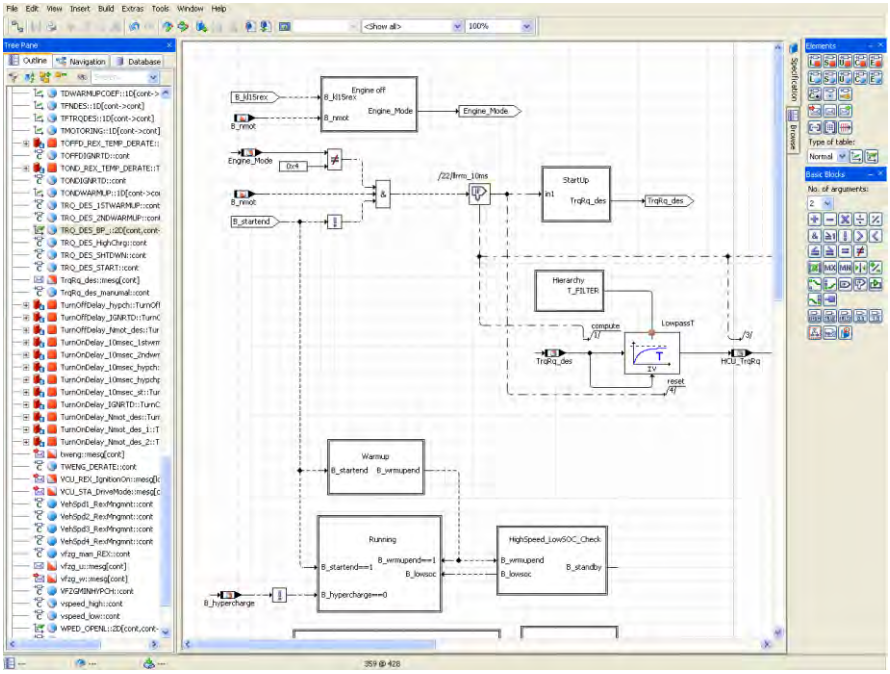
سامانه‌ای است که تسکینگ از آن برای تبدیل و ایجاد فایل‌ها استفاده می‌کند.

- **نرم‌افزار اس‌تی‌فلشر[5]**

این نرم‌افزار به منظور بارگذاری ریزپردازنده اس‌تی۱۰اف۲۷۵[6] که در واحد مدیریت تجهیزات جانبی بکار رفته، استفاده می‌شود. شایان ذکر است که برای برنامه‌ریزی رایانه موتور، پیکره‌بندی و ساختار مناسب برای هر ریزپردازنده منحصر به فرد است.

---

۱ Ascet
۲ ETAS
۳ TASKING
۴ RTA_OSEK
۵ STFlasher
۶ ST10F275

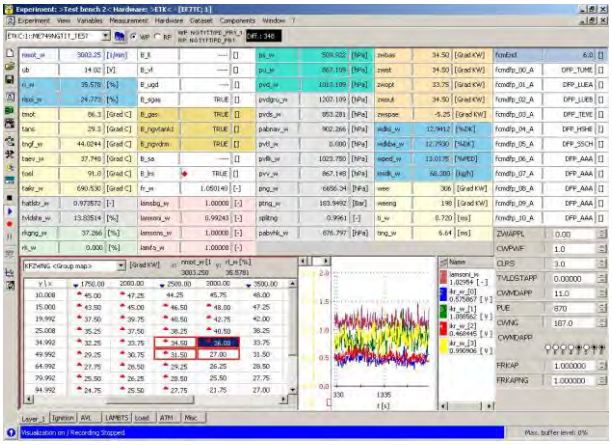


شکل ۶-۳۳ محیط کاری نرم‌افزار اسکت

- **نرم‌افزار اینکا[1]**

در مراحل توسعهٔ نگاشت خودرو، متغیرهای رایانه موتور در هر لحظه با نرخ داده برداری متفاوت پایش و ذخیره می‌شود و مقادیر جداول آن‌ها به صورت برخط تغییر می‌کند. به همین منظور برنامه‌ی رایانه‌ای اینکا با استفاده از سخت‌افزاری که به رایانهٔ موتور متصل می‌شود و با دیگر سخت‌افزارها مانند تجهیزات اندازه‌گیری دما، فشار و نسبت هوای اضافه اتصال دارد؛ امکان زینه‌بندی برخط خودرو را فراهم می‌آورد. از دیگر قابلیتهای این نرم‌افزار، امکان برنامه‌ریزی رایانهٔ موتور با نسخه نرم‌افزاری مورد نظر می‌باشد. شکل ۶-۳۴ نمونه ای از صفحهٔ نرم‌افزار اینکا را نشان می دهد.

[1] INCA



شکل ۶–۳۴ محیط نمایش متغیرها در نرم‌افزار اینکا

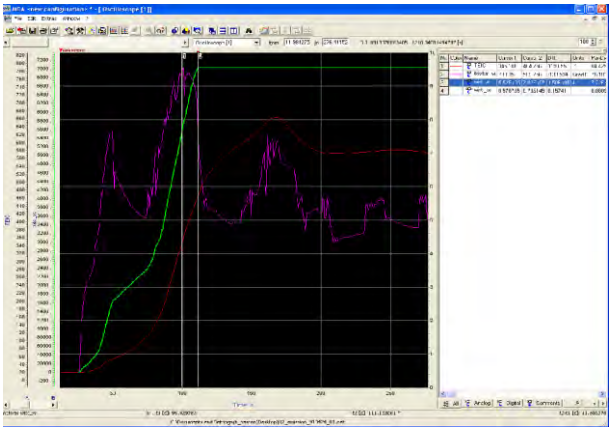
- **نرم‌افزار امدی‌ای[۱]**

از این نرم‌افزار برای پردازش و تحلیل داده‌های رایانه موتور که با اینکا ثبت شده است، استفاده می‌شود. شکل ۶–۳۵ نمونه‌ای را از کاربرد نرم‌افزار نشان شده است.

- **نرم‌افزار متلب[۲]**

نتایج آزمون‌ها برای به دست آوردن متغیرهای اندازه‌گیری و تحلیل بهینه، به کمک این نرم‌افزار تحلیل شده است.

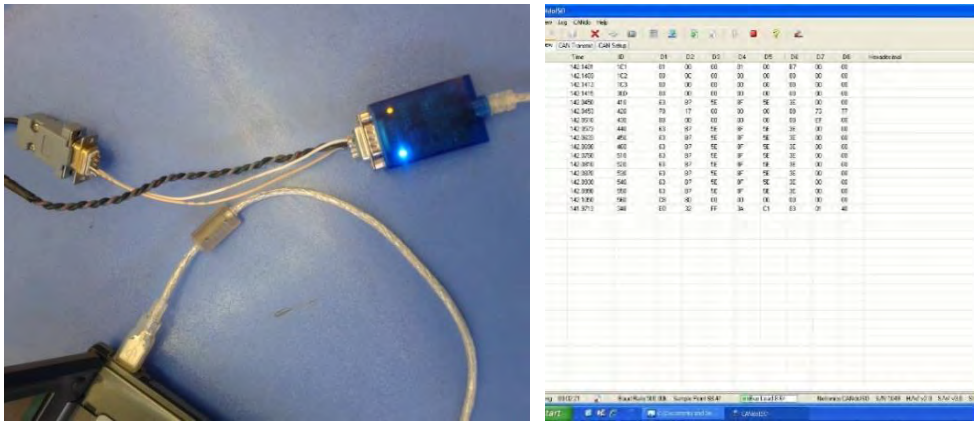
۱ MDA
۲ MATLAB



شکل ۶–۳۵ نحوهٔ نمایش متغیرها در نرم‌افزار ام‌دی‌ای

- **نرم‌افزار کندو**[۱]

این نرم‌افزار به منظور نمایش پیغام‌های پایشگر مستقل (ارسال و دریافت) به کار می‌رود. با استفاده از این نرم‌افزار بدون نیاز به ارتباط با خودرو و هر سامانه ارسال کننده، در داخل نرم‌افزار پیغام با مشخصات مورد نیاز ایجاد و ارسال می‌شود. شایان ذکر است که در فرایند توسعهٔ توابع، صحت پیغام‌های ارسالی از واحد مدیریت تجهیزات جانبی از طریق این نرم‌افزار صحه گذاری می‌شود. شکل ۶–۳۶ محیط نرم‌افزار به همراه واسط آن را نشان می‌دهد.



شکل ۶–۳۶ سخت‌افزار کندو به همراه محیط نرم‌افزار آن

[۱] CanDo

- **فرایند تدوین توابع و نگاشت**

همزمان با توسعهٔ برنامهٔ پایه از طریق نرم‌افزار اسکت، قواعد پایش مشخصه‌های مختلف نظیر سامانهٔ خنک‌کاری، پایش دور موتور، خوانش حسگرها، فرمان به عملگرها نظیر شیر برقی، دریافت و ارسال پیغام‌های پایشگر مستقل پیاده سازی شد. با توجه به تجربیات قبلی و دانش فنی در خصوص هر پدیده فیزیکی و همچنین با استناد به طرح‌های فیزیکی ارائه شدهٔ واحد محاسبات مهندسی و طراحی، در ابتدا قاعدهٔ مدیریتی تدوین می‌شود. در مرحلهٔ بعدی، تعداد و نوع ورودی و خروجی‌های واحد مدیریت تجهیزات جانبی برای پایش پدیدهٔ فیزیکی مورد نظر مشخص و نقاط اتصال مناسب آن در سخت‌افزار واحد مدیریت تجهیزات جانبی تعیین می‌شود. در برنامهٔ پایه، ورودی و خروجی‌ها شناسایی می‌شود و در برنامهٔ اسکت اعمال می‌گردد. قاعدهٔ مشخص شده نیز با استفاده از نرم‌افزار در محیط برنامه ایجاد و فرایند محاسبه آن نیز (مثلاً هر ۱۰۰میلی ثانیه یکبار) تعیین می‌گردد. این فرایند برای همه توابع پایشی طی شده است. به منظور بررسی صحت اجرای قاعده، یک نمونه دسته سیم موقت شامل همه ورودی و خروجی‌ها تهیه می‌شود و به صورت آزمایشی واحد مدیریت تجهیزات جانبی بارگذاری می‌شود و عملکرد توابع به صورت مستقل ارزیابی می‌گردد. با استفاده از نرم‌افزار اینکا، مقادیر ورودی تغییر داده و پاسخ آن روی واحد مدیریت تجهیزات جانبی پایش می‌شود. با این روش ایرادات احتمالی مشخص می‌شود و اصلاحات لازم در برنامه اسکت ایجاد و مجدداً ارزیابی گردید. این فرایند تا حصول نتیجه نهایی و کسب اطمینان از عملکرد درست تابع، ادامه یافت.

- **فرمان برقی–روغنی**

در سامانهٔ فرمان روغنی از طریق افزایش فشار روغن، توان کمک کننده لازم برای چرخش فرمان فراهم می‌شود. توان مصرفی تلمبهٔ روغنی معمولاً به صورت مکانیکی از موتور احتراق داخلی گرفته می‌شود و یا با استفاده از یک موتور برقی تأمین می‌گردد. در سامانهٔ فرمان برقی–روغنی افزایش فشار روغن به‌وسیلهٔ یک تلمبهٔ برقی تأمین می‌شود. در خودرو برقی و دورگه به‌دلیل عدم کارکرد موتور احتراقی در تمام لحظات رانندگی، از سامانهٔ فرمان برقی–روغنی استفاده شده است. شکل ۶–۳۷ مجموعه تلمبهٔ روغن خودرو را نشان میدهد.

واحد مدیریت تجهیزات جانبی وظیفهٔ مدیریت و راه اندازی تلمبهٔ روغن را برعهده دارد. با خارج شدن وضعیت دسته دنده از حالت توقف، تلمبهٔ روغن روشن می‌شود. تلمبهٔ روغن با وصل کردن کلید و همچنین شبیه‌سازی سرعت خودرو و دور موتور احتراق داخلی معادل که بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل به واحد الکترونیک تلمبهٔ روغن ارسال می‌گردد، فعال می‌شود. واحد الکترونیک تلمبهٔ روغن با افزایش سرعت خودرو، سرعت چرخش موتور برقی

را کاهش می‌دهد و در نتیجه نیروی کمک کننده به راننده کاهش می‌یابد. این امر علاوه بر کاهش مصرف انرژی در خودرو سبب افزایش ضریب ایمنی در حین رانندگی با سرعت تند می‌شود.

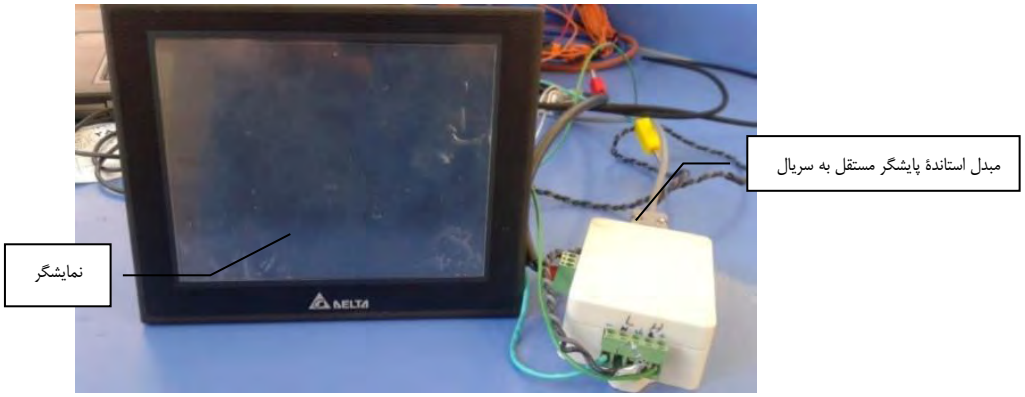
شکل ۶-۳۷ تلمبهٔ برقی-روغنی خودروی دورگه

۶-۲ نمایشگر خودروی دورگه

نمایشگر خودروی دورگه ارتباط بین راننده و خودرو را با نمایش متغیرهای مهم (نظیر مسیر انتقال انرژی، مصرف سوخت، خطاها، دمای محیط) و ارسال فرمان تعیین حالت رانندگی برقرار می‌نماید. نمایشگر انتخاب شده دارای قابلیت ایجاد صفحات مختلف و همچنین ارتباط از طریق پروتکل پایشگر مستقل است و به گونه ای انتخاب شده است که علاوه بر نمایش مناسب متغیرها، جانمایی مناسب در خودرو نیز داشته باشد. در ادامه شرح کارکرد این نمایشگر و توضیحات مورد نیاز درباره صفحات آن ارائه گردیده است.

۶-۲-۱ مشخصات نمایشگر خودرو

نمایشگر استفاده شده در خودروی دورگه یک نمایشگر ۷ اینچی است که قابلیت ارتباط مستقیم با استانداردِ پایشگر مستقل را ندارد. لذا از یک مبدل پایشگر مستقل به سریال برای این منظور استفاده شده است. شکل ۶-۳۸ نمایشگر و مبدل را آن نشان می‌دهد.

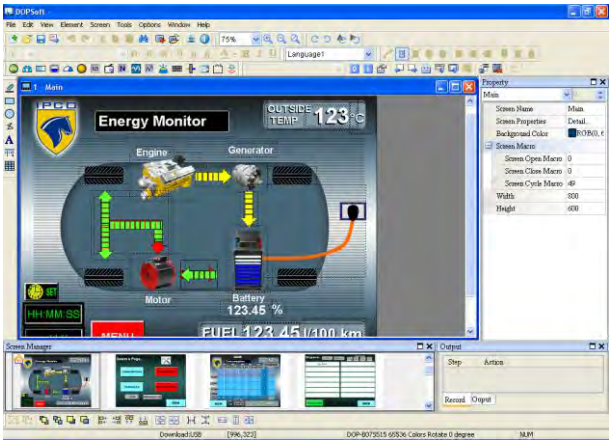


شکل ۶-۳۸ نمایشگر خودروی دورگه

برای برنامه‌نویسی نمایشگر از نرم‌افزار دی‌اُپی سافت[۱] محصول شرکت دلتا استفاده شده است. این نرم‌افزار دارای یک محیط گرافیکی است و قابلیت ایجاد صفحات ، اجزای مختلف در هر صفحه و نوشتن کد اختصاصی برای هر صفحه را دارد که در شکل ۶-۳۹ نشان داده شده است. تعداد ۶ صفحه مختلف ایجاد گردیده است:

- صفحهٔ نمایش اصلی
- صفحهٔ راهنما
- صفحهٔ نمایش مصرف سوخت
- صفحهٔ خوانش عیب‌ها
- صفحهٔ نمایش متغیرهای اصلی
- صفحهٔ تعیین حالت رانش خودرو به‌وسیلهٔ راننده

[۱] DOPSoft



شکل ۶-۳۹ محیط نرم‌افزار

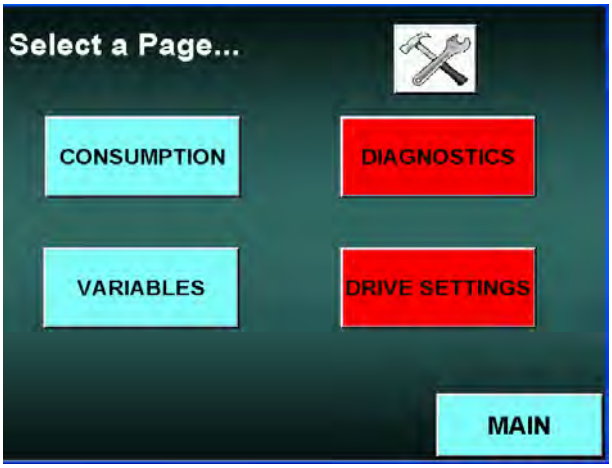
۶-۲-۲ ساختار نرم‌افزار نمایشگر

با روشن شدن نمایشگر، صفحهٔ اصلی آن مشابه آنچه در شکل ۶-۴۰ نشان داده شده؛ ظاهر می‌شود. صفحهٔ اصلی شامل این بخش‌ها است:

- نمایش مسیر انرژی
- نمایش زمان و تاریخ
- نمایش دمای محیط بیرون خودرو
- نمایش مصرف سوخت متوسط موتور احتراق داخلی
- گزینهٔ فهرست (منو) که کاربر را به صفحهٔ راهنما می برد

با انتخاب گزینهٔ فهرست، یک صفحهٔ راهنما (شکل ۶-۴۱) باز می‌شود که در آن به کاربر اجازه داده می‌شود بین صفحات دیگر انتخاب کند. همچنین اگر گزینهٔ تنظیمات انتخاب شود، راننده می‌تواند تنظیمات نمایشگر را انجام دهد. در ادامه به شرح صفحات متفاوت این نمایشگر می‌پردازیم.

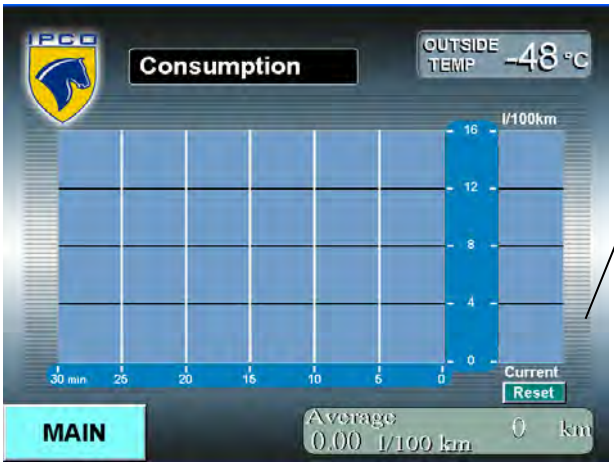
شکل ۶-۴۰ صفحهٔ اصلی نمایشگر



شکل ۶-۴۱ نمای صفحهٔ راهنما

۶-۲-۳ صفحهٔ نمایش مصرف سوخت

مقدار مصرف سوخت خودرو به دو صورت نمایش داده می‌شود: ۱- مصرف سوخت متوسط از ابتدای آخرین شروع به حرکت خودرو (مصرف در طول چرخه) به صورت میله ای و عددی ۲- نمایش متوسط مصرف سوخت در طول ۵ دقیقه گذشته (بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر) به صورت میله ای. کاربر می‌تواند لحظه نمایش متوسط در طول زمان را با فشار دادن دکمه ازنو صفر نماید. صفحهٔ مزبور در شکل ۶-۴۲ نشان داده شده است.



مسافت پیموده شده از ابتدای چرخه

شکل ۶-۴۲ نمایش مصرف سوخت متوسط در نمایشگر

٦-٢-٤ نمایش مسیر انرژی

به منظور آگاهی راننده از چگونگی انتقال انرژی مابین موتور احتراقی، مبدل برق، انباره و موتور برقی در صفحهٔ اصلی نمایشگر این مسیرها نمایش داده می‌شود. شکل ۶-۴۳ مسیرهای مختلف انتقال انرژی را نشان می‌دهد.

ذخیره‌سازی انباره از طریق موتور احتراقی

رانندگی برقی

بازیابی انرژی

ذخیره‌سازی از طریق موتور احتراقی و رانندگی

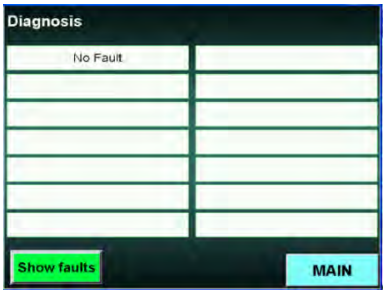
ذخیره‌سازی از طریق موتور احتراقی و بازیابی انرژی

ذخیره‌سازی از طریق ذخیره‌ساز برق شهری

شکل ۶-۴۳ چگونگی نمایش انتقال انرژی بین اجزای مختلف خودروی دورگه در صفحهٔ نمایشگر

٦-۲-۵ صفحهٔ نمایش خطاها

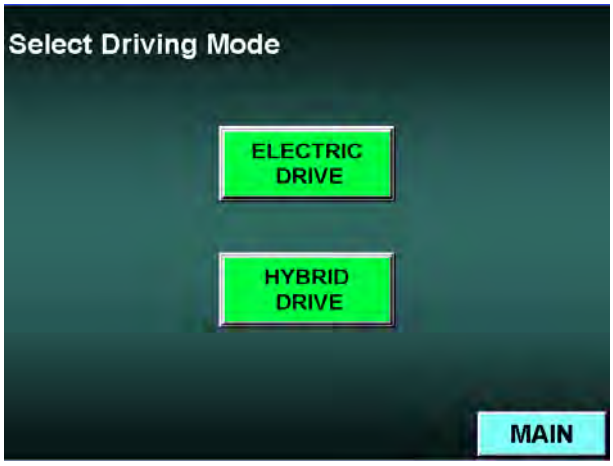
در این صفحه کاربر می‌تواند خطاهایی که واحد مدیریت تجهیزات جانبی تشخیص داده، مشاهده کند. این صفحه در شکل ۶-۴۴ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴۴ نمای صفحهٔ نمایش خطاها

٦-۲-٦ صفحهٔ انتخاب حالت رانش خودرو

در این صفحه به راننده قابلیت انتخاب بین دو حالت داده می‌شود؛ ۱- رانش خودرو در حالت برقی و بدون استفاده از موتور احتراقی؛ ۲- رانش خودرو در حالت دورگه که در آن با توجه به شرایط رانندگی و وضعیت سطح ذخیره انباره، موتور احتراقی خاموش و روشن می‌شود. صفحهٔ مورد نظر در شکل ۶-۴۵ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در صورت ضعیف بودن سطح ذخیره انبارهٔ برقی، با انتخاب رانش برقی نیز موتور احتراقی روشن خواهد شد.



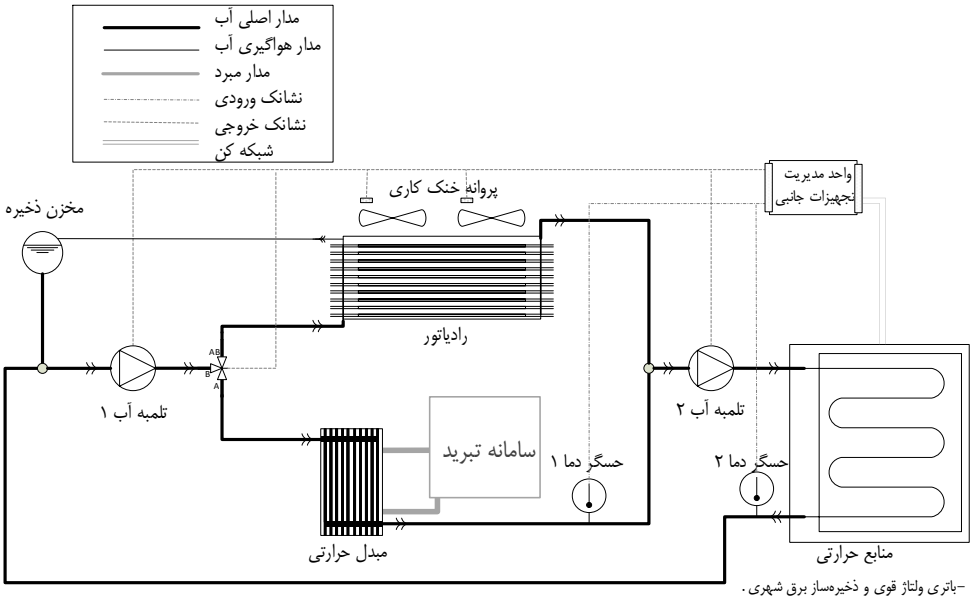
شکل ۶-۴۵ نمای صفحهٔ انتخاب حالت رانندگی

٦-٣ سامانه‌های تنظیم دمای خودروی دورگه

خودروی دورگه دارای تجهیزاتی است که محدودهٔ دما و توان حرارتی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. پایش دمای این تجهیزات در نحوهٔ عملکرد و عمر مفید آن‌ها تأثیر بسزایی دارد. چهار منبع حرارتی موتور احتراق داخلی، انبارهٔ ولتاژ قوی، اتاق راننده و اجزای برقی (که شامل موتور برقی، مولد برق، مبدل جریان مستقیم به متناوب، مبدل جریان مستقیم و ذخیره‌ساز) در خودروی دورگه وجود دارد.

٦-٣-١ سامانهٔ مدیریت دمای انبارهٔ ولتاژ قوی

خنک‌کاری انبارهٔ ولتاژ قوی و ذخیره‌ساز برق شهری در یک سامانه مشترک انجام می‌گیرد. این سامانه متشکل از دو تلمبهٔ آب برقی، مبدل گرمایی هواخنک، مبدل گرمایی مبرد–آب و شیربرقی می‌باشد که به تفصیل در فصل شبیه‌سازی، بررسی و تحلیل شد. واحد مدیریت تجهیزات جانبی، مسئولیت پایش و مدیریت سامانه را براساس دمای گزارش شدهٔ تجهیزات و دو حسگر دمایی موجود در مسیر سیال خنک‌کن بر عهده دارد. سامانهٔ خنک‌کاری مزبور به صورت طرحواره در شکل ۶-۴۶ نشان داده شده است.



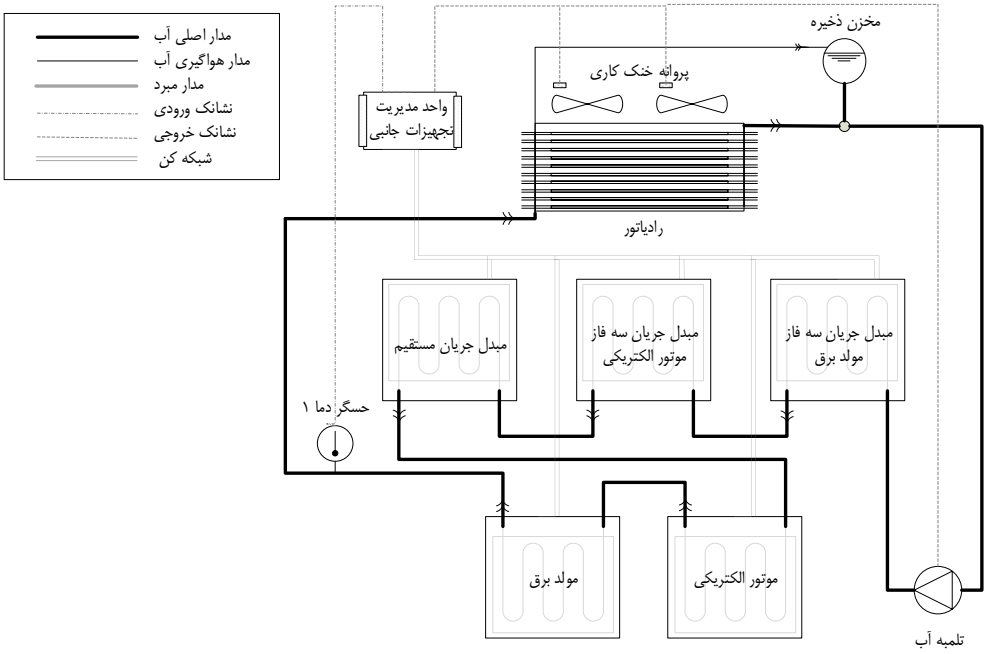
شکل ۶-۴۶ طرحواره سامانهٔ مدیریت دمای انباره

شکل ۶-۴۶ نشان می‌دهد که سیال خنک‌کننده سامانهٔ مدیریت دمای انباره در مبدل گرمایی مبرد-آب در تماس با مبرد سامانه تبرید، انرژی حرارتی خود را از دست می‌دهد. واحد مدیریت تجهیزات جانبی همچنین وظیفهٔ مدیریت سامانهٔ تبرید و تأمین مبرد مورد نیاز سامانهٔ خنک‌کن انباره را بر عهده دارد. سامانهٔ تبرید علاوه بر خنک‌کاری انباره، سرمایش محفظهٔ داخل اتاق خودور را نیز به عهده دارد.

افت بیش از حد دمای انباره سبب کاهش توان خروجی و همچنین کاهش عمر انباره می‌شود. به همین منظور در فصول سرد، گرمایش انباره ضروری است. برای تحقق این امر، چرخش جریان در مدار سمت مبدل مبرد-آب با روشن شدن تلمبه‌ها شکل می‌گیرد. جریان سیال به مرور سبب گرم شدن انباره و خارج شدن آن از محدوده ناایمن دمایی می‌شود.

۶-۳-۲ سامانهٔ خنک‌کاری تجهیزات برقی

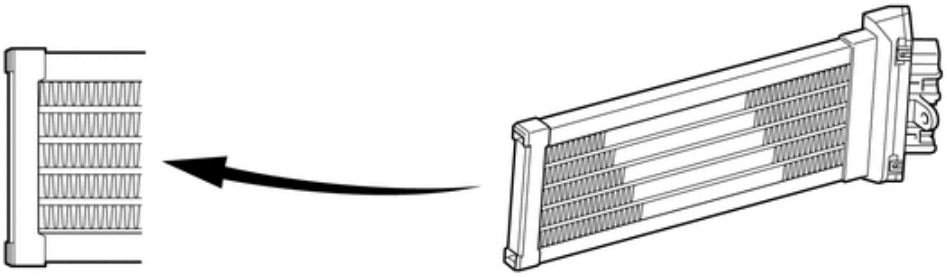
تجهیزات برقی ولتاژ قوی که شامل موتور برقی، مبدل جریان برقی، مبدل جریان مستقیم به متناوب و مبدل جریان مستقیم می‌باشد، سامانهٔ خنک‌کن مستقل دارد. طرحواره مدار خنک‌کاری تجهیزات برقی در شکل ۶-۴۷ نشان داده شده است که تجهیزات برقی به صورت ردیفی در مدار قرار گرفته‌اند. تجهیزاتی که بیشترین اتلاف حرارتی را دارند و سبب بیشترین افزایش دما در سیال خنک‌کن می‌شوند، در انتهای مسیر قرار گرفته اند. این امر سبب می‌شود که گرمای جذب شدهٔ سیال را تجهیزات دیگر جذب نکنند و دمای آن‌ها افزایش نیابد.



شکل ۶-۴۷ نقشه سامانهٔ خنک‌کاری تجهیزات برقی

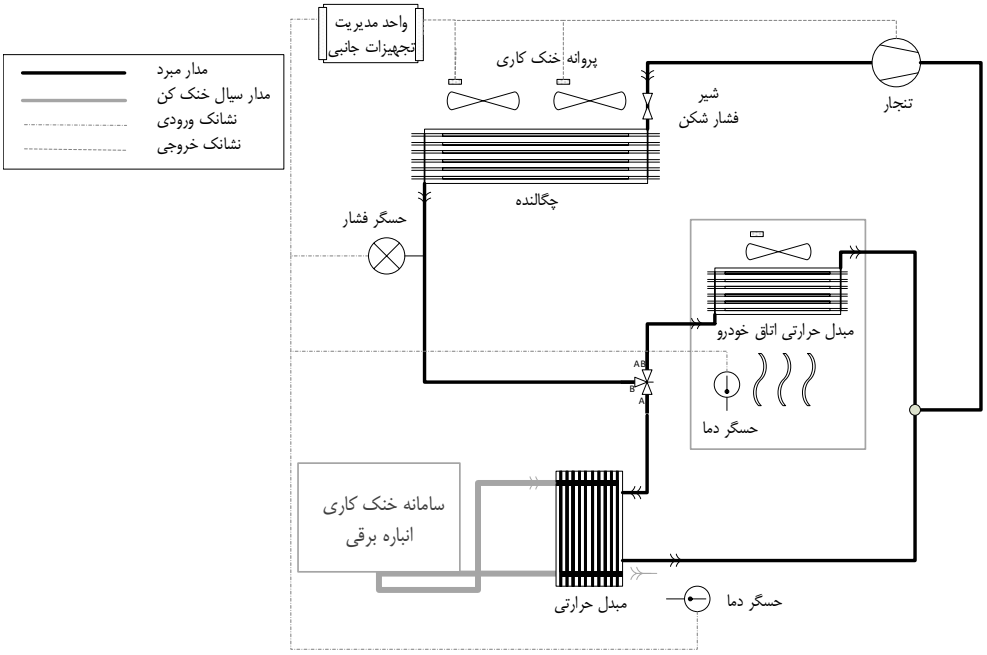
۶-۳-۳ سامانهٔ تهویه اتاق خودرو

برای گرمایش اتاق خودرو، از گرم‌کن برقی که از مدار ولتاژ ضعیف تغذیه می‌کند، استفاده شده است. در این خودرو با توجه به اینکه موتور احتراق داخلی مانند یک خودروی معمولی همیشه استفاده نمی‌شود، مبدل گرمایی هواخنک گرمایشی اتاق خودرو که از آب موتور به عنوان سیال گرم‌کننده استفاده می‌کند حذف می‌شود و گرم‌کن برقی جایگزین آن شده است. گرم‌کن برقی به صورت طرحواره در شکل ۶-۴۸ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴۸ گرم‌کن برقی خودروی دورگه

خنک‌کاری اتاق خودرو با جریان هوای عبوری از یک مبدل گرمایی مبرد-هوا که سیال خنک‌کن آن جریان مبرد می‌باشد، انجام می‌گیرد. در بخش‌های قبلی گفته شد که مدار مبرد به صورت موازی به سامانهٔ خنک‌کاری انباره نیز متصل است. سامانهٔ خنک‌کاری اتاق خودرو به صورت طرحواره در شکل ۶-۴۹شکل ۶-۴۹ نشان داده شده است.



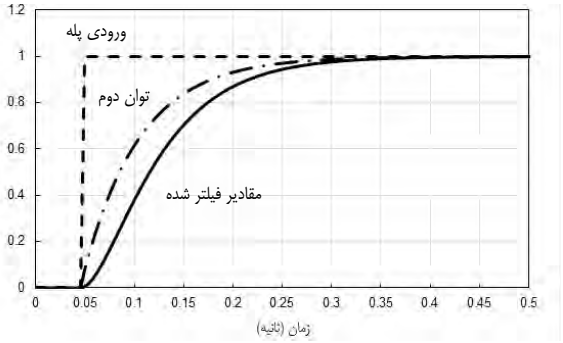
شکل ۶-۴۹ نقشه سامانهٔ تهویه اتاق خودرو

واحد مدیریت تجهیزات جانبی وظیفهٔ مدیریت و پایش شرایط دمایی و فشاری سامانه مزبور را بر عهده دارد و براساس راهکار تعیین شده سامانه مزبور را مدیریت می‌کند.

٦-٤ راهبردهای مدیریتی خودروی دورگه

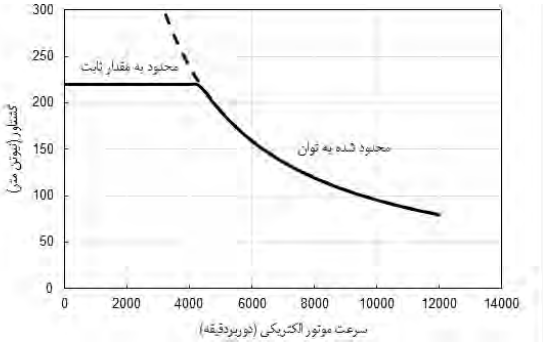
٦-٤-١ شبیه‌سازی گشتاور درخواستی راننده

گشتاور مورد نیاز خودرو با تغییر مقدار فشردگی اهرم گاز به‌وسیلهٔ راننده، از خودرو درخواست می‌شود. سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی از طریق دو نیروسنج برقی موقعیت اهرم گاز را دریافت می‌کند. مقسم ولتاژ اول که دقیق‌تر است، به منظور موقعیت سنجی و مقسم ولتاژ دوم که دقت آن تقریباً یک دوم مقسم ولتاژ دقیق‌تر است به منظور پایش صحت عملکرد مقسم ولتاژ اول به کار می‌رود. مقادیر بدست آمده از خروجی پیوستهٔ مقسم ولتاژ ابتدا از یک صافی عبور داده می‌شود و سپس به منظور کاهش هر چه بیشتر نوسانات و تغییرات آرام مقادیر اهرم گاز، توان دوم مقادیر اصلاح شده در محاسبات اعمال می‌گردد. واکنش به ورودی پله به صورت شکل ۶-۵۰ می‌باشد.



شکل ۶-۵۰ واکنش صافی اعمالی به اهرم گاز با ورودی پله

مقدار اهرم گاز پس از اعمال اصلاحات ذکر شده، در بیشینهٔ گشتاور موتور برقی ضرب می‌شود و به عنوان گشتاور درخواستی به مبدل برقی موتور برقی ارسال می‌شود. بیشینهٔ گشتاور و بیشینهٔ توان به‌وسیلهٔ موتور برقی محدود می‌شود که در شکل ۶-۵۱ نشان داده شده است. در هنگام ترمزگیری با رها کردن اهرم گاز، صافی اعمالی سبب تأخیر در صفر شدن گشتاور می‌شود. به همین منظور و همچنین اطمینان از صفر شدن گشتاور پیش برنده به خودرو، در هنگام ترمز گیری گشتاور اعمالی ناشی از اهرم گاز به موتور برقی در مدت یک ثانیه به صفر می‌رسد.

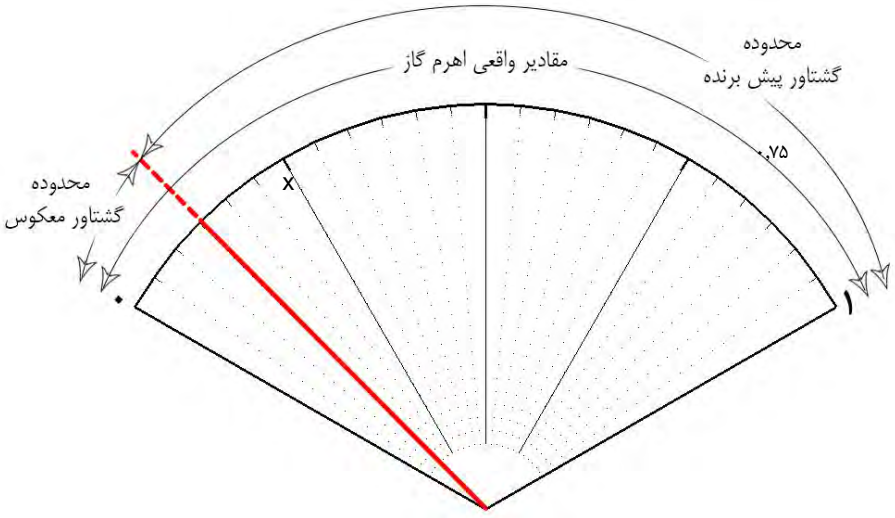


شکل ۶-۵۱ نحوهٔ اعمال محدودیت گشتاور به موتور برقی

٦-٤-٢ شبیه‌سازی انرژی بازگشتی در حال حرکت

با رها کردن اهرم گاز و قرارگیری آن در موقعیت عدم فشردگی، گشتاور اعمالی مقادیری در جهت عکس حرکت خودرو خواهد داشت. بیشینهٔ گشتاور معکوس اعمالی در این وضعیت با مقدار پیش فرض ۲۰ نیوتن متر محدود شده است. اعمال گشتاور معکوس به نوعی شبیه ساز نیروی اصطکاکی موجود در سامانه انتقال قدرت خودروهای با موتور احتراقی می‌باشد و موجب می‌شود تا راننده شرایط مشابه کاهش سرعت خودرو را با موتور احتراقی در حین رانندگی با خودروی برقی نیز تجربه کند. این مسئله علاوه بر افزایش ایمنی در رانندگی، سبب کاهش نیازمندی به فشردن اهرم ترمز و افزایش سهولت در رانندگی خواهد شد.

به منظور معادل سازی گشتاور پیش‌برنده و ترمزی، بیشترین گشتاور پیش‌برنده معادل ۱ و بیشترین گشتاور ترمزی در حالتی اعمال می‌شود که پای راننده به طور کامل از روی اهرم گاز برداشته شده است. شکل ۶-۵۲ به صورت طرحواره، معادل‌سازی مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۲ تقسیم اهرم گاز به منظور شبیه‌سازی انرژی بازگشتی

مقدار صفر گشتاور پیش برنده با یک فاصله از مقدار صفر اهرم گاز که در شکل ۶-۵۲ با x نشان داده شده است، مشخص شده است. به عبارت دیگر مقدار صفر اهرم گاز معادل با بیشینهٔ گشتاور معکوس اعمالی می‌باشد. موقعیت نقطهٔ x با این معادله محاسبه می‌شود.

مجموع بیشینهٔ گشتاور پیش برنده و معکوس / بیشینهٔ گشتاور معکوس = موقعیت نقطهٔ x در اهرم گاز

گشتاور معکوس در وضعیت دنده جلو و عقب براساس موقعیت اهرم در محدوده گشتاور معکوس در تمام سرعت‌های خودرو به غیر از سرعت‌های کمتر از دو کیلومتر بر ساعت به خودرو اعمال می‌گردد.

٦-٤-٣ شبیه‌سازی حرکت خزشی خودرو

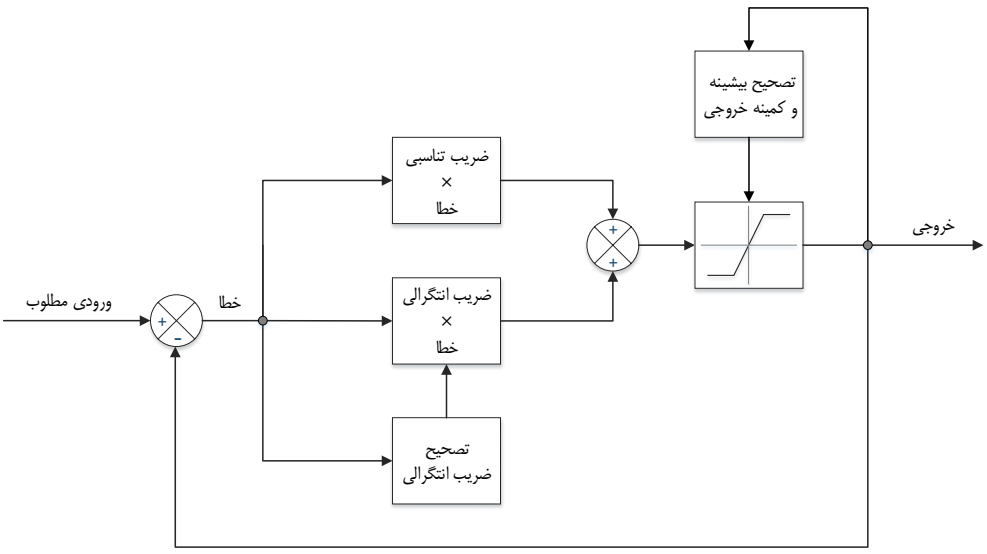
عدم حرکت خودرو در جهت خلاف وضعیت دنده در لحظات اولیه شروع به حرکت در سطوح شیبدار، از ویژگی‌هایی است که سبب سهولت رانندگی می‌شود. این ویژگی در خودروهای موتور احتراقی مجهز به جعبه‌دنده خودکار و خودروهای برقی در دسترس می‌باشد. برای راه اندازی حرکت خزشی خودرو از مدیریتی انتگرالی-تناسبی در سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی استفاده شده است. برای جلوگیری از اختلالات احتمالی در عملکرد خودرو، حرکت خزشی خودکار در این شرایط فعال می‌شود:

- دنده در وضعیت جلو یا عقب باشد

- اهرم ترمز فشار داده نشده باشد.
- سرعت خودرو کمتر از ۵ کیلومتر بر ساعت باشد.

هر یک از ضرایب اولیه تناسبی و انتگرالی برای دنده جلو ۱۰ و برای دنده عقب به ترتیب ۵ و ۱۰ می‌باشد. ورودی مطلوب پایشگر، سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. به منظور کاهش نوسانات و تغییرات آرام خروجی پایشگر، بیشینه و کمینهٔ مقدار ممکن برابر مقدار خروجی قبلی پایشگر بعلاوه یک مقدار ثابت است. مقدار ثابت مجاز افزایش یا کاهش خروجی پایشگر نیز با افزایش خطای پایشگر، افزایش می‌یابد.

باتوجه به اینکه داده منطقی از شرایط جاده برای خودرو در دسترس نمی‌باشد، پایشگر نمی‌تواند مقادیر اولیهٔ مناسبی (مدار حلقه باز) داشته باشد. به همین دلیل با تغییر شیب جاده، تکان‌های خیلی سریع که به صورت ضربه خود را نشان می‌دهد و یا پاسخ‌های کند را که منجر به حرکت خودرو در خلاف جهت می‌شود به همراه دارد. برای جلوگیری از این امر، ضرایب اولیه تناسبی و انتگرالی برای شیب‌های کم و متوسط تعیین گردید و قاعده‌ای برای افزایش این ضرایب با افزایش خطای ورودی پایشگر در نظر گرفته شد. شکل ۶-۵۳ قاعدهٔ مدیریتی حرکت خزشی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۳ پایشگر حرکت خزشی

٦-٤-٤ شبیه‌سازی انرژی بازگشتی در هنگام ترمزگیری

وضعیت اهرم ترمز را براساس مقسم ولتاژ و کلید تعبیه شده برای آن، با سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی پایش می‌گردد. براساس موقعیت اهرم ترمز، گشتاور معکوس ترمزی از صفر تا ۴۰ نیوتن متر در بیشینهٔ مقدار ممکن به موتور برقی اعمال می‌گردد. گشتاور معکوس ترمزی در سرعت‌های خیلی پایین به منظور کاهش نوسانات به صفر میل می‌کند.

٦-٤-٥ مدیریت تهویه اتاق خودرو

واحد مدیریت تجهیزات جانبی وظیفهٔ مدیریت و پایش وضعیت سامانهٔ تهویهٔ داخل اتاق خودرو را برعهده دارد. در صورت فشرده شدن کلید تهویهٔ مطبوع به‌وسیلهٔ سرنشین، واحد مدیریت پس از بررسی وضعیت فشار مبرد اقدام به روشن نمودن تنجار و باز کردن شیر سمت مبدل هواخنک داخل اتاق خودرو می‌کند. با توجه به اولویت خنک‌کاری انبارهٔ ولتاژ قوی، در شرایط بحرانی که دمای سیال خنک‌کن انباره به بیش از ۴۶ درجه سانتی‌گراد برسد، شیر ورودی مبرد به مبدل هواخنک اتاق خودرو بسته می‌شود تا تمام ظرفیت خنک‌کاری برای مدار انباره استفاده گردد. واحد مدیریت همچنین دمای هوای خروجی از مجرای کولر را در اختیار دارد و در صورتی که دمای آن کمتر از ۵ درجهٔ سانتی‌گراد برسد، جریان مبرد از مبدل هواخنک تا رسیدن دمای هوا به ۹ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود. برای گرمایش اتاق خودرو یک گرمکن برقی که تحت مدیریت واحد مدیریت تجهیزات جانبی قرار دارد، در نظر گرفته شده است. گرمکن برقی انرژی زیادی از مدار ولتاژ ضعیف مصرف می‌کند و در صورتی که ولتاژ به هر دلیل به کمتر از ۱۲٫۵ ولت برسد، گرمکن استفاده نمی‌شود.

- **مدیریت روشن خاموش شدن موتور- مولد برق**

در خودروی دورگهٔ ردیفی، موتور احتراق داخلی به منظور تولید انرژی برقی استفاده می‌شود. در شرایطی که سطح ذخیره‌سازی انباره از حد مشخصی کمتر شود، مجموعهٔ مبدل برق به منظور تولید انرژی مورد نیاز حرکت خودرو یا بخشی از آن فعال می‌گردد. سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی با رصد کردن سطح ذخیره‌سازی انباره، دستور روشن شدن موتور احتراق داخلی را به واحد مدیریت تجهیزات جانبی ارسال می‌کند. سطح ذخیره‌سازی در نظر گرفته شده برای روشن شدن موتور احتراق داخلی بستگی به حالت کاری خودرو دارد. سه حالت؛ موتور احتراقی روشن (رکس[1])، تمام برقی (ای‌وی[2]) و عادی[3](کمینهٔ مصرف انرژی) به عنوان حالت‌های کاری خودرو در نظر گرفته شده است که راننده می‌تواند هر یک از این سه حالت را تعیین کند. موتور احتراق داخلی با انتخاب حالت موتور

[1] REX
[2] EV
[3] Normal

احتراقی روشن و در صورتی که سطح ذخیره‌سازی انباره کمتر از ۹۰ درصد باشد، روشن می‌شود و در سطح ذخیره‌سازی ۹۵ درصد خاموش می‌شود. در حالت‌های تمام برقی و عادی، موتور احتراق داخلی در سطح ذخیره‌سازی به ترتیب ۲۰ و ۵۰ درصد روشن می‌شود و در سطح ذخیره‌سازی به ترتیب ۴۰ و ۶۰ درصد خاموش می‌گردد.

روشن کردن و پایش دور موتور احتراق داخلی بر عهدهٔ واحد مدیریت تجهیزات جانبی می‌باشد. پایش دور موتور احتراقی با یک جعبه تقسیم واسط میان واحد مدیریت تجهیزات جانبی و واحد مدیریت موتور احتراق داخلی انجام می‌شود. تعیین حالات کاری موتور شامل راه اندازی، گرمایش و کارکرد در نقطهٔ کاری بهینه، با توابع تعریف شده در آن انجام می‌شود. زمان‌های تأخیر بین گذر از هر یک از حالت‌ها و همچنین زمان ماندگاری به همراه گشتاور مورد نیاز برای هر حالت از دیگر مواردی است که در تابع پایش دور تعریف شده است. درخواست‌های ارسالی از طریق شبکهٔ پایشگر مستقل به سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی ارسال می‌شود و بر اساس شرایط تعریف شده بر روی مولد برق اعمال می‌شود. حالت‌های کاری در نظر گرفته شده برای موتور احتراق داخلی طبق جدول ۶-۱۹ می‌باشد.

جدول ۶-۱۹ حالت‌های کاری خودروی دورگه

حالت‌های کاری	نام	توضیح
۰	موتور خاموش	موتور در وضعیت خاموش است.
۱	راه اندازی	موتور در حالت روشن شدن است.
۲	گرمایش	موتور با هدف گرم کردن پس‌پالایشگر سه‌منظوره در حال کار است.
۳	درحال کار *	موتور با هدف تولید انرژی برقی در حال کار است.
۴	خاموش شدن	موتور در حال خاموش شدن است.
* موتور در حال کار دارای دو وضعیت کارکرد بهینه و کارکرد پرتوان می‌باشد.		

برای هر حالت مجموعه‌ای از اقدامات متناظر در نظر گرفته شده است که از جمله می‌توان به اختصاص یک دور و یک گشتاور مطلوب اشاره نمود. در جدول ۶-۲۰ دور و گشتاور هر یک از حالت‌ها معرفی شده است.

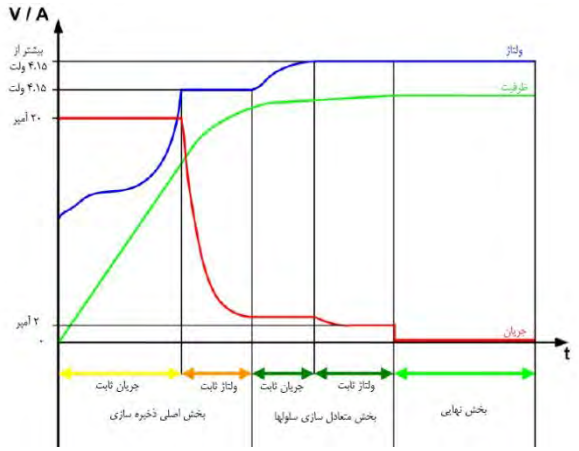
جدول ۶-۲۰ اطلاعات موتور احتراقی در حالت‌های کاری خودروی دورگه

حالت‌های کاری	سرعت دورانی(دور در دقیقه)	گشتاور(Nm)	توضیح
۰		–	–
۱	۱۰۰۰	۰	موتور به صورت موتورگردانی می‌چرخد.
۲	۱۰۰۰	۷	براساس دمای موتور، به مدت ۶ تا ۲۰ ثانیه در این وضعیت قرار دارد.
	۱۰۰۰	۱۰	براساس دمای موتور، به مدت ۱۴ تا ۵۰ ثانیه در این وضعیت قرار دارد.
۳	۲۵۰۰	۵۰	سطح ذخیره‌سازی انباره بیش از ۴۰ درصد است و یا سرعت خودرو کمتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.
	۲۷۰۰	۵۰	سطح ذخیره‌سازی انباره کمتر از ۴۰ درصد است و سرعت خودرو بیشتر از ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. وضعیت خودرو در حالت غیر از تمام برقی (ای‌وی) است.
	۴۰۰۰	۵۰	سطح ذخیره‌سازی انباره کمتر از ۴۰ درصد است و سرعت خودرو بیشتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. وضعیت خودرو در حالت غیر از تمام برقی (ای‌وی) است.
۴	۱۰۰۰	۲	برای جلوگیری از تغییرات شدید، دور و بار موتور کاهش می‌یابد.

در صورتی‌که سطح ذخیره‌سازی انباره پس از روشن شدن موتور احتراق داخلی روند کاهشی خود را ادامه دهد، موتور احتراق داخلی در وضعیت کارکرد پرتوان قرار می‌گیرد. دور موتور احتراقی در وضعیت کارکرد پرتوان با توجه به سرعت خودرو و در دو دور متفاوت تنظیم می‌شود. واحد مدیریت تجهیزات جانبی همواره دمای موتور احتراق داخلی را پایش می‌کند. در صورتی که دمای موتور احتراق داخلی از ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر شود، وضعیت کارکرد پرتوان غیرفعال می‌شود و گشتاور مولد برق براساس مقدار دمایی که از ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد افزوده شده است، کاهش می‌یابد.

٦-٤-٦ مدیریت ذخیره‌ساز برق شهری

ذخیره‌ساز برق شهری مستقیما تحت مدیریت واحد مدیریت انباره می‌باشد ولی سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی به عنوان واحد مدیریتی بالادست باید دستور اولیه قرارگیری در حالت ذخیره‌ساز را صادر نماید. به محض اتصال ذخیره‌ساز به برق شهری، سامانهٔ مدیریت تجهیزات ولتاژ قوی وضعیت خودرو را به وضعیت ذخیره‌سازی با برق شهری تغییر می‌دهد. پس از آن واحد مدیریت انباره براساس شرایط انباره، پیغامی را که حاوی ولتاژ و جریان خروجی ذخیره‌ساز است بر روی شبکهٔ پایشگر مستقل برای ذخیره‌ساز ارسال می‌کند. ذخیره‌سازی انباره‌های لیتیوم-یونی معمولاً با یک الگوی استاندارد انجام می‌شود که در شکل ۶-۵۴ نشان داده شده است.



شکل ۶-۵۴ منحنی استاندهٔ ذخیره‌سازی انباره

فرایند ذخیره‌سازی در بخش اول یا اصلی به صورت جریان ثابت آغاز می‌شود و تا زمانی که ولتاژ سلول تا حد مشخصی افزایش نیابد ادامه می‌یابد. در بخش ولتاژ ثابت، جریان کاهش می‌یابد تا مانع از افزایش سطح ولتاژ سلول شود. در بخش دوم ذخیره‌سازی یا بخش متعادل‌سازی سلول‌ها، فرایند همسان‌سازی ولتاژ سلول‌ها را در حین ذخیره‌سازی در انباره انجام می‌دهد. در این بخش نیز ذخیره‌سازی به صورت جریان ثابت و ولتاژ ثابت با جریان ضعیف انجام خواهد شد.

فصل هفتم

انطباق مجموعه‌ها و قطعات

۷-انطباق مجموعه‌ها و قطعات

۷-۱ بازنمودن قطعات خودروی پایه

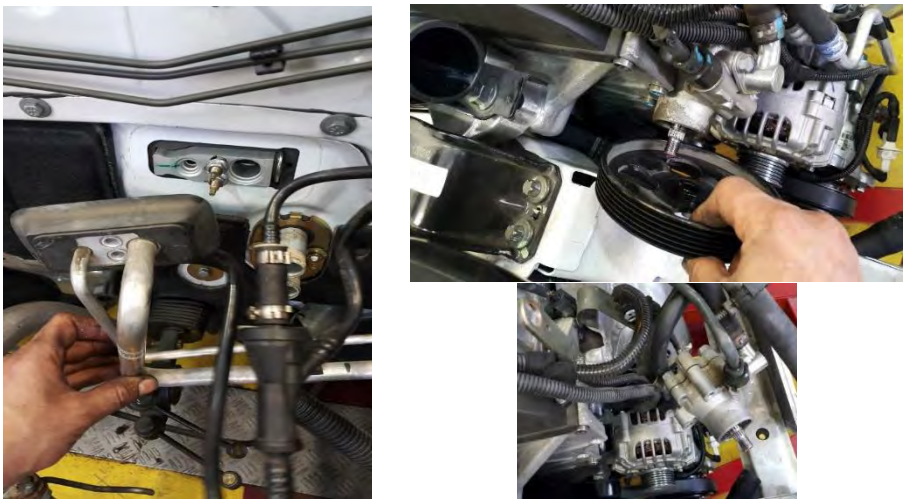
در ابتدا خودروی پایه به کارگاه آماده سازی منتقل و فرایند جداسازی به همراه پیاده‌سازی قطعات و مجموعه‌ها از روی خودرو آغاز گردید. برای آماده‌سازی و اعمال تغییرات برروی بدنه و نصب قطعات و سامانه‌های مختلف باید ابتدا کلیهٔ قطعات خودرو اصلی جدا و پیاده‌سازی شود. در ادامه، مراحل بازکردن و پیاده سازی قطعات و سامانه‌های مختلف خودرو نشان داده شده است. ابتدا سپر خودرو و مجموعه‌های جلوخودرو از قبیل دیاق، سینی پروانه و چراغ‌ها باز می‌شود که در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.

شکل ۷-۱ جدا کردن سپر خودرو، دیاق و سینی پروانهٔ خودرو

بعد از پیاده‌سازی و بازکردن سپر و مجموعه‌های جلو خودرو، می‌توان مایعات خنک‌کاری و روانکاری را تخلیه نمود. پس از تخلیه مایعات خنک‌کاری می‌توان مبدل گرمایی را از خودرو جدا نمود. تخلیهٔ مایع روانکاری جعبه‌دنده و بازکردن محور محرک و چرخ‌ها در مرحلهٔ بعدی انجام می‌شود. برای ادامه باز کردن و پیاده‌سازی موتور و قطعات موتور، باید انبارهٔ برقی، دسته سیم‌ها و سامانه‌های الکترونیکی از خودرو و رایانهٔ موتور جدا شود که نمایی از کار در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.

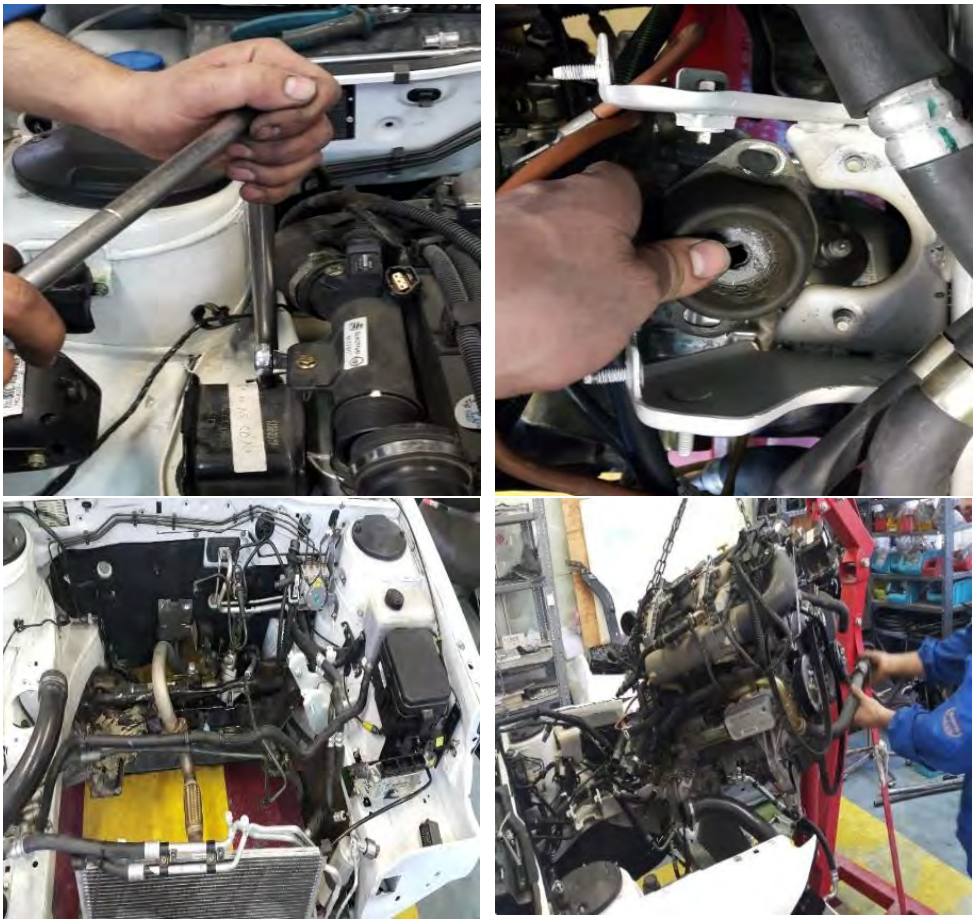
شکل ۷-۲ جدا کردن سامانه‌های الکترونیکی

سامانه‌های دیگر خودرویی همانند سامانهٔ تهویهٔ مطبوع و تلمبهٔ روغنی فرمان نیز در مرحلهٔ بعدی از روی خودرو باز می‌شود که نمایی از آن در شکل ۷–۳ نشان داده شده است.



شکل ۷–۳ جدا کردن سامانهٔ تلمبهٔ روغنی فرمان و تهویهٔ مطبوع

پس از بازکردن و جداکردن قطعات و سامانه‌های خودرویی و مجزا از موتور، نوبت به باز کردن و پیاده‌سازی موتور از مجموعه بدنهٔ خودرو می‌رسد. بدین منظور بعد از اطمینان از عدم تداخل و اتصال سایر سامانه‌ها و قطعات، دسته‌موتورها از بدنهٔ خودرو باز و موتور با احتیاط و رعایت نکات ایمنی و فنی از مجموعه خودرو پیاده می‌شود که نمایی از آن در شکل ۷–۴ نشان داده شده است.



شکل ۷–۴ باز کردن ضربه گیر، دسته‌موتور و خارج کردن موتور از محفظهٔ موتور

به دلیل تغییرات مورد نیاز در رام خودروی دورگه، مجموعه رام و قطعات آن از خودرو باز و تحویل کارگاه ساخت می‌شود. شایان ذکر است که مجموعه فرمان در خودروهای برقی و دورگه، برقی بوده و بنابراین دیگر نیازی به مجموعهٔ فرمان فعلی نخواهد بود. در شکل ۷–۵ نمایی از مجموعهٔ رام و جعبهٔ فرمان نشان داده شده است.

شکل ۷-۵ مجموعه رام و جعبهٔ فرمان خودرو

مجموعه راهگاه دود، جمع‌کنندهٔ بخارات بنزین و کمک فنرها نیز از روی خودرو پیاده‌سازی می‌شود تا در صورت لزوم تغییرات ناشی از دورگه نمودن خودور بر روی آن اعمال گردد.

۷-۲ آماده سازی محفظه خودرو

بعد از اتمام طراحی و جانمایی قوای محرکه، تجهیزات برقی و انبارهٔ برقی؛ آماده سازی محفظهٔ موتور انجام می‌شود. خودروی نمونه در خط تولید هم‌بندی نمی‌شود و بیشتر قطعاتی که در خودرو نصب می‌شود نیاز به آماده‌سازی محل نصب دارند. به همین منظور بر اساس کتابچه هم‌بندی خودرو، نسبت به آماده‌سازی محفظهٔ موتور اقدام می‌شود.

در اولین گام، محل نصب دسته‌موتورهای قبلی خودرو جدا می‌شود و آماده‌سازی برای اتصال محل نصب نگه‌دارنده[۱] دسته‌موتورهای جدید انجام می‌شود. به منظور نصب موتور برقی و احتراقی مجموعاً شش عدد دسته‌موتور طراحی شده است. به دلیل حساسیت محل نصب دسته‌موتورها از یک موقعیت دهنده[۲]، استفاده می‌شود. موقعیت دهنده مذکور در محفظهٔ موتور نصب می‌شود و نگهدارنده‌های دسته‌موتور برروی بدنهٔ خودرو جوش داده می‌شود که در شکل ۷-۶ نشان داده شده است. محل نصب موقعیت دهنده‌های مذکور ابتدا در نرم‌افزارهای طراحی بررسی می‌شود و پس از بررسی رواداشت‌های آن، آمادهٔ نصب بر خودرو می‌شود.

[۱] Bracket
[۲] Fixture

شکل ۷-۶ نصب موقعیت دنده برروی بدنه

انبارهٔ برقی و مجموعه ذخیره‌ساز برق شهری در صندوق عقب طراحی و جانمایی شده است و به همین منظور نگهدارنده‌های خاصی در محل تعیین شده آماده‌سازی و نصب می‌شود که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است. شایان ذکر است که کلیهٔ اتصالات جوشی در خودرو با جوش آرگون انجام شده است.

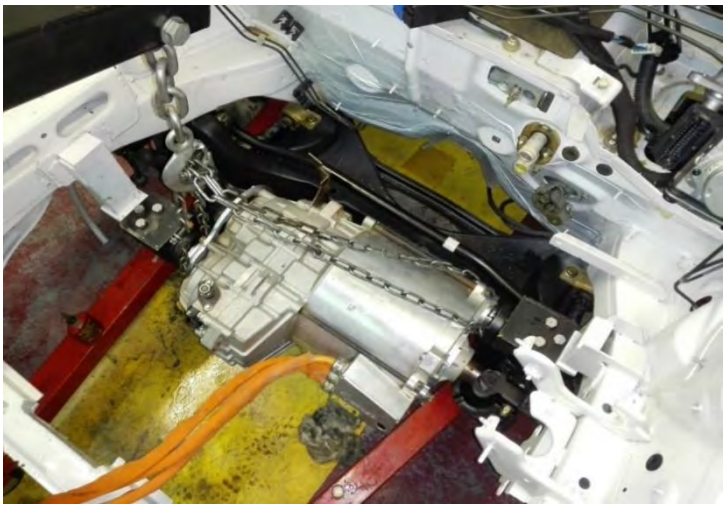
شکل ۷-۷ نصب نگهدارنده‌های انبارهٔ برقی

۷-۳ هم‌بندی مجموعه‌ها و قطعات

پیش‌هم‌بندی موتور احتراقی، موتور برقی[۱] و سایر تجهیزات در حد امکان مطابق کتابچهٔ هم‌بندی انجام می‌شود و سپس هم‌بندی و آماده‌سازی خودرو شروع می‌گردد. موتور برقی به همراه دسته‌موتورهای آن اولین

[۱] Electric Motor

مجموعه‌ای است که در محل خود قرار می‌گیرد. بعد از جانمایی اولیهٔ موتور برقی در موقعیت مناسب نوبت به جانمایی موتور احتراقی می‌رسد که با توجه به اتصال مولد برق به آن، به طراحی یک اتصال میان موتور احتراقی و مولد برق نیازمند است. این اتصال باید خاصیت جذب‌کنندگی ارتعاشات و نیز انتقال قدرت را بر عهده داشته باشد. اتصال مذکور با استفاده از اتصال چنگکی و طراحی خاصی انجام شده است که منجر به ایجاد فاصله میان مولد برق و موتور احتراقی می‌شود. پیچ‌های اتصال موتور برقی نصب و گشتاور آن‌ها تنظیم می‌شود که در شکل ۷–۸ نشان داده شده است.



شکل ۷–۸ نصب موتور برقی برروی بدنه

بعد از نصب موتور برقی در محل خود، محورهای محرک خودرو در محل خود نصب می‌شوند. شایان ذکر است محورهای محرک نصب شده بر روی موتور برقی و خودرو، به دلیل تغییرات خودرویی از ابتدا طراحی و نصب گردید. نمایی از موقعیت محور محرک تغییر یافته در شکل ۷–۹ نشان داده شده است.

شکل ۷-۹ نصب محورهای محرک چپ و راست خودرو

پس از نصب موتور برقی و محورهای محرک، جعبهٔ فرمان خودرو نصب می‌شود. تلمبهٔ فرمان در خودروی دورگه به دلیل روشن نبودن همیشگی موتور احتراقی به نمونهٔ تلمبهٔ برقی-روغنی تغییر یافته است. نمایی از مجموعهٔ فرمان و میل‌موجگیر اصلاح شده در شکل ۷-۱۰شکل ۷-۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۷-۱۰ جانمایی مجموعه جعبهٔ فرمان روی رام خودرو

پس از نصب موتور برقی و قطعات پایینی محفظهٔ موتور، موتور احتراقی با فاصله مناسب از موتور برقی جانمایی گردید و برای بهبود فاصله با مبدل گرمایی، مجموعهٔ بادخور خودرو به همراه مبدل گرمایی و متعلقات به اندازه ۳۰ میلی‌متر به سمت جلو خودرو جابه‌جا شد و محل نشست آن با توجه به پایه‌های مبدل گرمایی جدید اصلاح گردید.

استانداردِ فواصل استفاده شده در این طرح مطابق با استانده به شرح جدول ۷-۱ است.

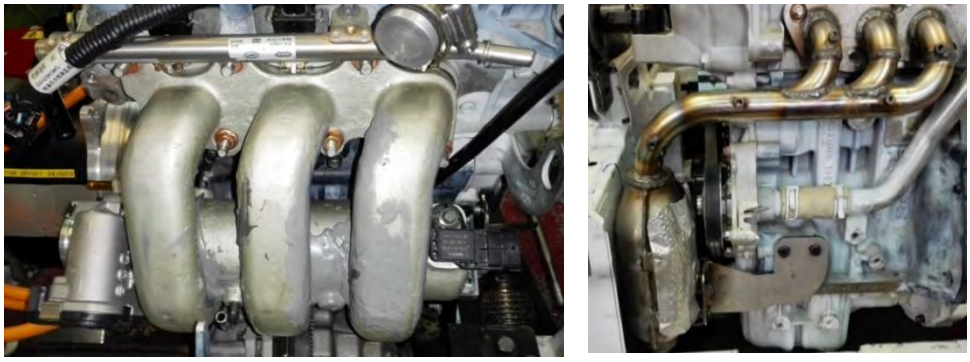
جدول ۷-۱ استانداردِ فواصل مطابق با استانده

راهنمای طراحی موتور	فاصله
دو قطعهٔ متحرک	۴۰
یک قطعهٔ ثابت	۳۰
دو قطعهٔ ثابت	۸
فواصل دینامیکی	۸
حداقل فاصله مورد نیاز برای جانمایی	۲۰
فواصل قطعات در نزدیکی قطعات گرم	۳۰

موتور به کار گرفته شده در این خودرو، موتور سه استوانه است که موقعیت قرارگیری آن نسبت به موتور برقی و فرمان برقی در شکل ۷-۱۱ نشان داده شده است. معمولاً در خودروهای بنزینی از تلمبهٔ روغنی فرمان که توان خود را از موتور احتراقی می‌گیرد، استفاده می‌شود. در خودروی دورگه و برقی به دلیل روشن نبودن همیشگی موتور احتراقی به سازوکار ویژه‌ای برای فرمان نیازمندیم. به منظور جایگزینی تلمبهٔ روغنی از فرمان برقی استفاده شده است. راهکار دیگر استفاده از سامانهٔ فرمان برقی–روغنی است که تأمین روغن فشار قوی برای فرمان با یک تلمبهٔ برقی انجام می‌شود.

شکل ۷-۱۱ سوار کردن موتور احتراقی به همراه دسته‌موتورهای راست و چپ

موتور احتراقی در خودروی دورگهٔ ردیفی تنها در یک یا چند نقطهٔ کاری محدود کار می‌کند. با توجه به تغییر کارکرد موتور از یک نقشه گسترده به چندین نقطهٔ محدود، طراحی چندراههٔ دود و چندراههٔ هوا با در نظر گرفتن قطعات مجاور آن تغییر کرد. پس‌پالایشگر سه‌کارهٔ موتور سه‌استوانه حفظ شد و با تغییراتی در خودروی دورگه قابل استفاده گردید. چندراهه‌های جدید در شکل ۷-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۲ چندراهه‌های جدید دود و هوا در موتور سه‌استوانه

برای جلوگیری از انتقال ارتعاشات مجموعه موتور به لولهٔ دود خروجی و مسیر لوله‌ها، از اتصالات و لولهٔ تغییرشکل‌پذیر[1] خودروی پژو ۲۰۶ استفاده شد که در کارگاه سازنده لولهٔ دود خروجی به عنوان قطعهٔ نهایی و به‌صورت جوشکاری به چندراهه اضافه شد. برای جلوگیری از انتقال حرارت به مبدل گرمایی و در موتور دو سپر حرارتی طراحی شد و چندراههٔ دود و پس‌پالایشگر سه‌منظوره از محیط اطراف عایق شد. سپر حرارتی چندراههٔ دود به‌صورت متصل به چندراهه است و در آخرین مرحلهٔ هم‌بندی قطعات نصب می‌شود. سپر حرارتی پس‌پالایشگر سه‌منظوره به‌کمک خود سازنده به‌صورت اتصال جوشی طبق نقشه ایجاد شد.

شکل ۷-۱۳ نصب صافی هوا و لوله‌های مسیر بخار روغن

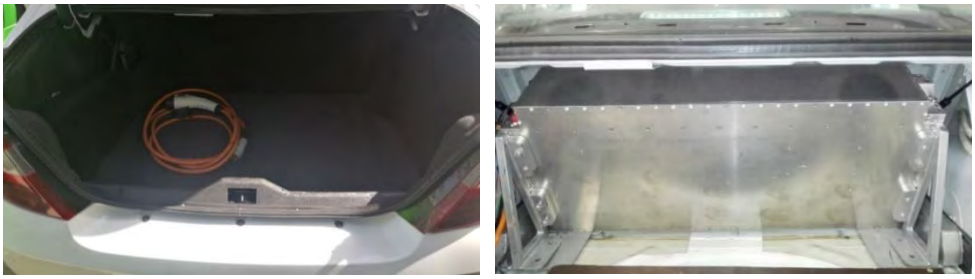
صافی هوای استفاده شده در این طرح از خودرو روآ یا وانت آریسان الگوبرداری شد که با تغییری در بدنهٔ پلاستیکی آن، طبق شکل ۷-۱۳ به صورت مستقیم با واسطه لولهٔ لاستیکی به دریچهٔ گاز متصل شد. برای نگهداری این مجموعه، نگهدارنده‌ای به مولد برق نصب شد و صافی هوا روی آن جانمایی گردید.

۷-٤ نصب انبارهٔ برقی و سایر قطعات برقی

مجموعهٔ انبارهٔ برقی و ذخیره‌ساز برق شهری در صندوق عقب خودور جانمایی و نصب گردید. جانمایی این مجموعه به گونه‌ای بود تا از فضای صندوق عقب به طور کامل استفاده گردد. به همین منظور با همکاری تنگانگ با توسعه دهندهٔ مجموعهٔ انبارهٔ برقی، چیدمان خاصی برای آن طراحی شد که مجموعهٔ صندوق عقب به خوبی قابل دسترس باشد. ابعاد انباره با توجه به نوع خودرو ،جانمایی و مقدار پیمایش برقی مورد تقاضا تعیین می‌شود. با توجه به اینکه جریان برق ذخیره شده در انباره‌ها و همچنین تخلیهٔ جریان برق موجب افزایش دمای پیل‌های انباره می‌شود محدودهٔ کاری و دمایی انباره‌ها متفاوت می‌باشند. روش خنک‌کاری استفاده شده در خودروی دورگه با آب

[1] Flexible Pipe

می‌باشد به‌طوری‌که آب در مبدل گرمایی، انرژی خود را از دست می‌دهد و خنک می‌شود. مجموعهٔ انبارهٔ برقی جانمایی شده در شکل ۷–۱۴ نشان داده شده است. از دو لولهٔ ورودی و خروجی برای خنک‌کاری انباره استفاده شده است. این لوله‌ها در داخل انباره‌ها گردش آب دارد و سبب انتقال حرارت در آن می‌شود.



شکل ۷–۱۴ جانمایی انبارهٔ برقی در صندوق عقب

تجهیزات برقی خودرو شامل مبدل‌های جریان مستقیم و متناوب در آخرین قسمت هم‌بندی محفظهٔ موتور نصب می‌گردد. در این تجهیزات علاوه بر بافه‌های برق، شلنگ‌های سامانهٔ خنک‌کاری استفاده شده است. زاویهٔ قرارگیری مولد برق سه‌فاز[۱] در هم‌بندی به گونه‌ای است که محل عبور بافه و لوله‌های خنک‌کاری مناسب باشد و مانعی برای باز و بست آن وجود نداشته باشد. برای خنک‌کاری موتور احتراقی از مبدل گرمایی خود موتور استفاده شد که با جانمایی مبدل گرمایی سه‌استوانه در محل مبدل گرمایی اصلی خودروی پایه صورت گرفت.

همچنین تجهیزات برقی با توجه به محدودهٔ دمایی کاری نیاز به خنک‌کاری و انتقال حرارت دارند. شکل ۷–۱۵ نحوهٔ قرارگیری این تجهیزات برقی در محفظهٔ موتور را نشان می‌دهد. مدارهای خنک‌کاری انباره و تجهیزات برقی به مبدل‌های هوا خنک مجهزند که در محل هواخور جلوی خودرو جانمایی شده است. اندازه و ابعاد مبدل گرمایی از واحد محاسبات مهندسی دریافت و در بهترین محل موجود برای جانمایی آن‌ها در جلوی خودرو نصب شده است.

[۱] Generator

شکل ۷-۱۵ جانمایی تجهیزات برقی در محفظهٔ موتور

۷-۵ تکمیل‌کاری خودرو

پس از جانمایی و هم‌بندی مجموعهٔ قوای محرکه، تجهیزات برقی و انبارهٔ برقی نوبت به تکمیل‌کاری و تغییرات جزئی در خودرو و سامانه‌های آن می‌رسد. به منظور کاهش انتقال صدای موتور احتراقی به داخل خودرو، اقدام به عایق‌کاری برخی نقاط خودرو از جمله درها و در موتور خودرو شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۷-۱۶ نشان داده شده است.

شکل ۷-۱۶ عایق‌کاری در خودرو

محل اتصال برق شهری به مجموعهٔ ذخیره‌ساز برق شهری با الگوبرداری از خودروهای برقی و در زیر نشان خودرو در صندوق عقب تعیین گردید. برای تعبیهٔ محل اتصال برق در عقب خودرو، صندوق عقب شابلون‌گذاری و برش خورد که در شکل ۷–۱۷ نشان داده شده است. پایهٔ نگهدارنده و قاب اتصال نیز پس از طراحی و ساخت، به رنگ مناسب برای خودروی دورگه آماده شد.

شکل ۷–۱۷ برشکاری بدنهٔ خودرو برای تعبیه محل اتصال برق شهری به انبارهٔ برقی

به دلیل تغییر از حالت دنده دستی به خودکار نیاز به اصلاح و تغییرات دسته دنده خودرو است. بدین منظور مطابق شکل ۷–۱۸ پیشخوان پیاده‌سازی می‌شود و قطعهٔ جدید پس از اعمال تغییرات در پیشخوان، در محل خود نصب گردید.

شکل ۷–۱۸ تغییرات پیشخوان و دسته دنده

فصل هشتم

آزمون های خودروی دورگه

۸- آزمون‌های خودروی دورگه

آزمون مرحله‌ای برای ارزیابی عملکرد طراحی و محاسبات مهندسی است و در صورت عدم قبولی در هر آزمون، در محاسبات و طراحی تجدید نظر می‌شود. شایان ذکر است که خودروی دورگه در مرحلهٔ نمونه است و محاسبات و طراحی در حد خودرو نمونه انجام شده است. در این مرحلهٔ آزمون‌هایی نظیر تصادف و برخورد مورد نظر طراحی و محاسبات مهندسی نبوده و لذا خودرو از این جنبه آزمایش نشد. در ادامه آزمون‌های قابلیت رانندگی، آلایندگی و سروصدا برای خودروی دورگه ارائه می‌گردد.

۸-۱ آزمون اندازه‌گیری صدا و ارتعاشات خودروی دورگه

ارزیابی وضعیت خودرو از لحاظ صدا و ارتعاش به وسیله مجموعه آزمون‌هایی که این مؤلفه‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند، امکان پذیر است. با آزمون‌ها می‌توان مقدار صدا و ارتعاش را در نقاط مشخصی از خودرو با محدوده مجاز آن‌ها مقایسه کرد و در صورت وجود مغایرت در نتایج، به ریشه‌یابی آن به کمک این نوع آزمون‌ها پرداخت. در این بخش رویه و نتایج آزمون صدا و ارتعاشات خودروی دورگهٔ ردیفی، بررسی شد. در این خودرو تا زمانی که سطح انرژی انبارهٔ برقی در حد مشخصی باشد صدا و ارتعاشات خودرو تنها از موتور برقی و متعلقات آن تأثیر می‌پذیرد و

در زمان روشن شدن موتور احتراقی، صدا و ارتعاشات ناشی از موتور احتراقی نیز به آن اضافه می‌شود. مجموعه آزمون‌های صدا و ارتعاشات که در مورد این خودرو انجام گرفته است بدین شرح است:

- آزمون ارزیابی صدا و ارتعاشات داخل اتاق خودرو
- آزمون ارزیابی ارتعاشی موتور برقی و احتراقی
- آزمون ارزیابی عملکرد دسته‌موتورهای موتور برقی و احتراقی
- آزمون ارزیابی اثر انبارهٔ دود بر صدای داخل و بیرون محفظهٔ سرنشین

۸-۱-۱ آزمون ارزیابی صدا و ارتعاشات داخل محفظهٔ خودرو

صدا و ارتعاش یکی از متغیرهای تعیین سطح آسایش در رانندگی به حساب می‌آید. کارشناسان در حوزهٔ خودرو با اندازه‌گیری آنها، محدوده‌ای را تعیین نموده‌اند که معیار سنجش راحتی در خودرو قرار گرفته است. در این آزمون، صدا و ارتعاش در خودرو، مطابق شیوه‌نامه‌های استانداردِ اندازه‌گیری شده است. برای این کار، خودرو در اتاق آزمون خودرو در حالت تمام بار آزمایش شد.

نحوهٔ آزمایش:

- جاروب سرعت موتور برقی در حالت تمام بار، موتور احتراقی خاموش
- جاروب سرعت موتور برقی در حالت تمام بار، موتور احتراقی روشن در سرعت‌های ثابت

محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج:

- خط حرکت (ریل) صندلی راننده
- غربیلک فرمان

محل نصب حسگرهای صدا:

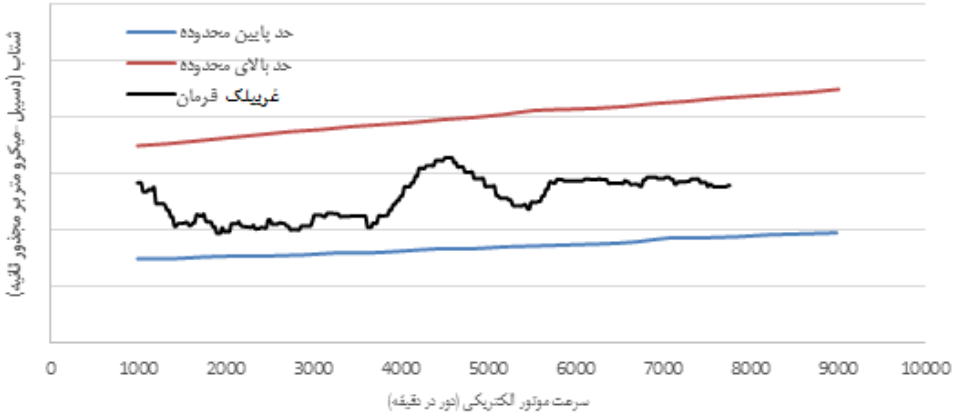
- محل سرنشین جلو
- محل سرنشین عقب

در شکل ۸-۱شکل ۸-۱ اتاق آزمون خودرو نشان داده شده است. در این اتاق آزمون محور محرک خودرو بر روی لگام ترمز قرار می‌گیرد و گشتاور مقاوم جاده بر روی آن شبیه‌سازی می‌شود. در شکل ۸-۲ و شکل ۸-۳ محل نصب حسگرها و در شکل ۸-۴ نمونه ای از نتایج آزمون قابل مشاهده است.

شکل ۸-۱ خودرو در اتاق آزمون خودرو بر روی لگام‌ترمز

شکل ۸-۲ محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج داخل خودرو

شکل ۸-۳ محل نصب حسگرهای صدا داخل خودرو



شکل ۸-۴ ارتعاشات غربیلک فرمان در راستای طولی با جاروب سرعت موتور برقی- دور موتور احتراقی ۲۷۰۰ دور در دقیقه

۸-۱-۲ آزمون ارزیابی ارتعاشی موتور برقی و احتراقی

بسامد[۱] طبیعی قطعات باید به حد کافی از بسامد تحریک نیروهای موتور فاصله داشته باشند تا در حین کارکرد، تشدید رخ ندهد. وقوع تشدید در یک قطعه موجب ایجاد صدا و ارتعاشات نامطلوب می‌شود و همچنین احتمال شکست ناشی از تشدید وجود دارد. با ثبت ارتعاش قطعات و مجموعه‌ها و تحلیل آن می‌توان بسامد طبیعی

[۱] Frequency

قطعات را شناسایی کرد. اگر بسامد طبیعی قطعات و مجموعه‌ها در محدودهٔ کاری موتور باشد، باید با اصلاح طراحی بسامد طبیعی را به خارج از محدودهٔ کاری موتور انتقال داد. در این آزمون ارتعاشات در نقاط مورد نظر همزمان با جاروب سرعت موتور، با استفاده از حسگرهای شتاب‌سنج ثبت می‌شود. نتایج آزمون در نمودارهایی موسوم به نمودارهای آبشاری ارتعاشات ترسیم می‌گردد که بسامد طبیعی از این نمودارها قابل استخراج است.

نحوهٔ آزمایش:

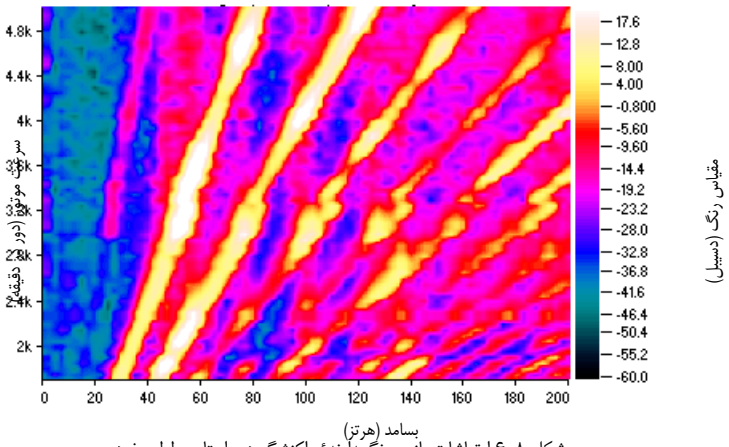
- جاروب سرعت موتور برقی در حالت تمام بار، موتور احتراقی خاموش
- جاروب سرعت موتور احتراقی در حالت بار جزیی، موتور برقی خاموش

محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج:

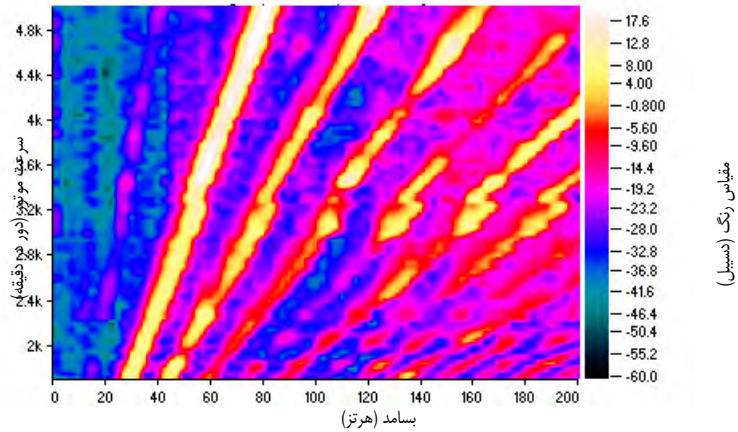
- چند راههٔ هوای موتور احتراقی
- نگهدارندهٔ تجهیزات برقی
- نگهدارندهٔ واکنشگر سه‌منظوره
- مجاور دسته‌موتورهای موتور برقی و احتراقی سمت موتور و بدنه

در شکل ۸–۵ محل نصب حسگر شتاب‌سنج روی بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر نشان داده شده است. در شکل ۸–۶ تا شکل ۸–۸ نمونه‌ای از نتایج آزمون قابل مشاهده است.

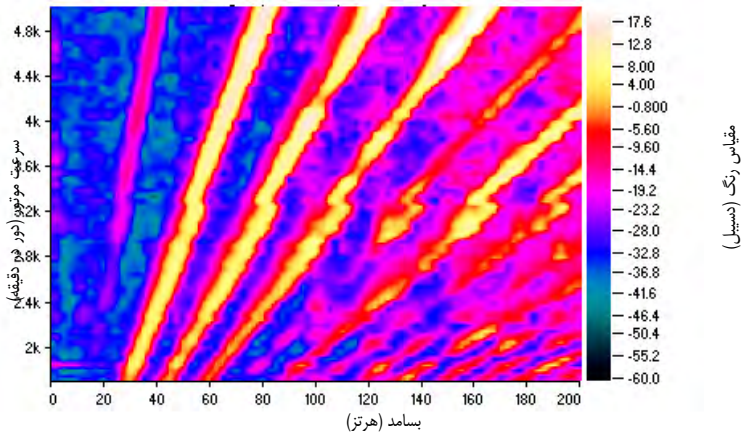
شکل ۸–۵ محل نصب شتاب‌سنج در مجاورت بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر



شکل ۸–۶ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای طولی خودرو



شکل ۸–۷ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای عرضی خودرو



شکل ۸–۸ ارتعاشات بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر در راستای عمودی خودرو

نتایج آزمون نشان می‌دهد که بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر و صفحهٔ زیرین متصل به دسته‌موتور میانی موتور احتراقی، در محدودهٔ کارکرد موتور احتراقی، بسامد طبیعی دارند. این موضوع باعث رخداد تشدید می‌شود. به همین دلیل طرح بازوی نگهدارندهٔ واکنشگر برای رفع این مشکل اصلاح گردید.

۸-۱-۳ آزمون ارزیابی عملکرد دسته‌موتورهای موتور برقی و احتراقی

بررسی وضعیت ارتعاشی دسته‌موتورها به عنوان یک عضو جدا کننده ارتعاشات موتور از بدنه و ارزیابی مقدار کارآیی آن‌ها با آزمون ارتعاشی امکان‌پذیر است. این آزمون با اندازه‌گیری شتاب در محل دسته‌موتورها در دو سمت موتور و بدنه، به‌کمک حسگرهای شتاب‌سنج انجام می‌شود. با توجه به اینکه خودروی دورگه دارای دو موتور احتراقی و برقی است، آزمون گفته شده در مورد دسته‌موتورهای هر دو موتور باید انجام شود.

نحوهٔ آزمایش:

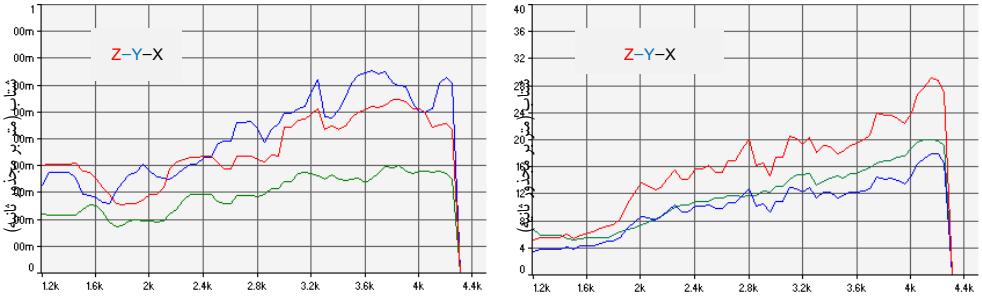
- راه اندازی موتور احتراقی از سرعت صفر تا ۱۰۰۰ دور در دقیقه هنگام ذخیره‌سازی برق در انبارهٔ برقی
- جاروب سرعت موتور برقی در حالت تمام بار، موتور احتراقی خاموش
- جاروب سرعت موتور برقی در حالت تمام بار، موتور احتراقی روشن

محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج:

- مجاور دسته‌موتورهای موتور برقی سمت موتور و بدنه
- مجاور دسته‌موتورهای موتور احتراقی سمت موتور و بدنه

در شکل ۸-۹ محل نصب حسگر شتاب‌سنج در مجاورت دسته‌موتور چپ موتور برقی و دسته‌موتور راست موتور احتراقی نشان داده شده است. نمونه‌ای از نتایج آزمون دسته‌موتورها در شکل ۸-۱۰ قابل مشاهده است.

شکل ۸-۹ محل نصب حسگرها روی دسته‌موتور چپ موتور برقی (سمت راست) و دسته‌موتور راست موتور احتراقی (سمت چپ)



سرعت موتور (دور در دقیقه)　　سرعت موتور (دور در دقیقه)

شکل ۸-۱۰ ارتعاشات موتور (سمت چپ) و بدنه (سمت راست) در محل دسته‌موتور بالا راست موتور احتراقی

نتایج آزمون ارتعاشی دسته‌موتورها نشان می‌دهد که سهم عمده‌ای از ارتعاشات بدنه هنگام عملکرد موتور احتراقی، از دسته‌موتور میانی موتور احتراقی ناشی می‌شود. به عبارت دیگر، این دسته‌موتور نقش بیشتری در انتقال ارتعاشات موتور به بدنه ایفا می‌کند. یکی از دلایل این موضوع، وجود بسامد طبیعی در محدودهٔ بسامد کاری موتور احتراقی، در صفحهٔ زیرین دسته‌موتور میانی است که در بخش قبل به آن اشاره شد. بهبود این ارتعاش از طریق اضافه نمودن میراکنندهٔ لاستیکی انجام گرفت.

۸-۱-٤ آزمون ارزیابی اثر انباره دود بر صدای داخل و بیرون خودرو

این آزمون برای بررسی صدای سامانه راهگاه دود موتور احتراقی هنگام روشن بودن موتور احتراقی انجام شده است. ابتدا صدای داخل خودرو و لولهٔ خروج دود با انباره اولیهٔ خودرو ثبت شده است. محتوای بسامدی صدای داخل خودرو و لولهٔ خروج دود نشان می‌دهد که سطح صدا در چند بسامد، از محدودهٔ مجاز آن (طبق شکل ۸-۹شکل ۸-۹) بیشتر است. برای رفع این مشکل، انبارهٔ عقب سامانهٔ خروج دود با انباره‌های دیگری جایگزین می‌شود و داده‌های آن ثبت شده است. آزمون در حالت خودرو ساکن و هنگام روشن بودن موتور احتراقی در دورهای ثابت انجام گرفته است.

نحوهٔ آزمایش:

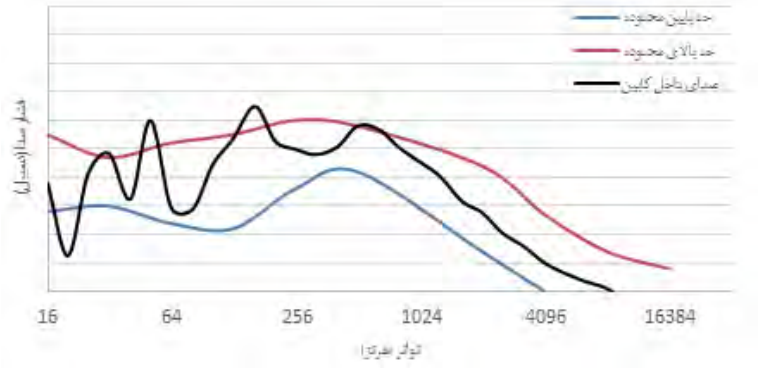
- سرعت موتور احتراقی ۱۰۰۰ دور در دقیقه‌گشتاور ۱۰ نیوتن متر
- سرعت موتور احتراقی ۳۰۰۰ دور در دقیقه‌گشتاور ۵۰ نیوتن متر

محل نصب حسگرهای صدا:

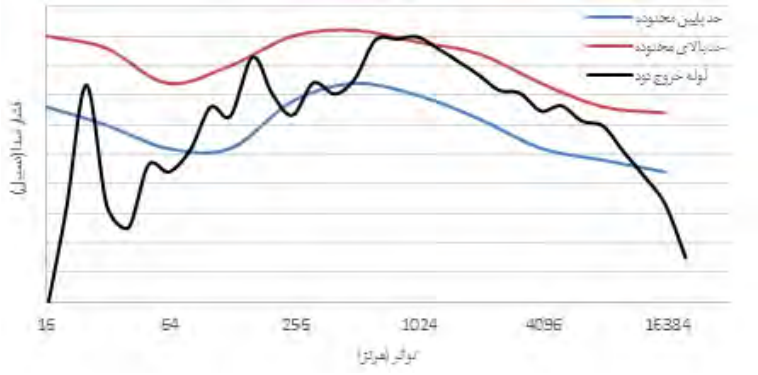
- مقابل لولهٔ خروج دود
- داخل خودرو در محل سرنشین جلو
- داخل خودرو در محل سرنشین عقب

در شکل ۸–۱۱ محل نصب حسگر و در شکل ۸–۱۲ تا شکل ۸–۱۴ نمونه‌ای از نتایج آزمون قابل مشاهده است. نتایج آزمون نشان می‌دهد، سامانهٔ خروج دود با انبارهٔ دود ۱ صدای کمتری تولید می‌کند.

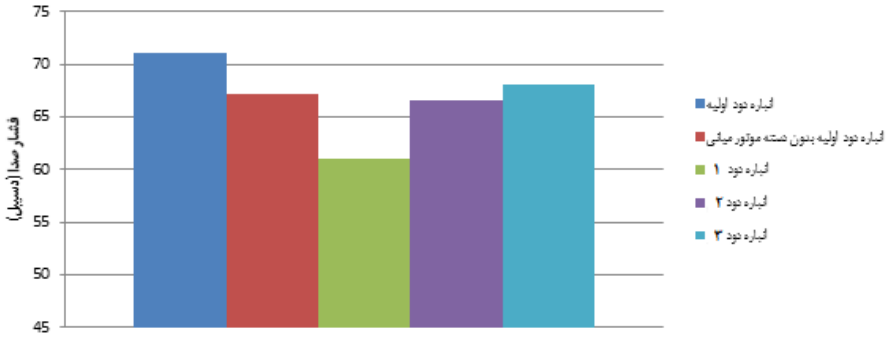
شکل ۸–۱۱ محل نصب حسگر صدا مقابل لولهٔ خروج دود



شکل ۸–۱۲ محتوای بسامدی صدای داخل خودرو در محل سرنشین جلو



شکل ۸-۱۳ محتوای بسامدی صدای لولهٔ خروج دود



شکل ۸-۱۴ سطح صدای داخل خودرو در محل سرنشین جلو، سرعت موتور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، گشتاور ۵۰ نیوتن متر

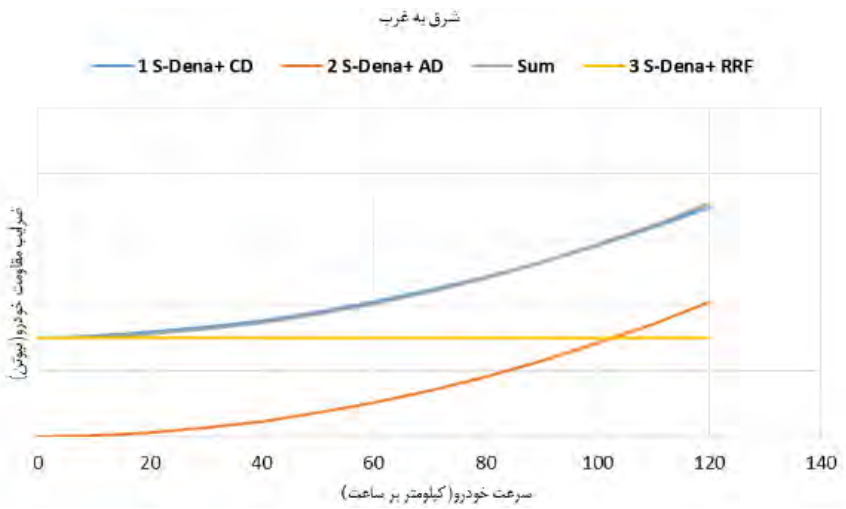
۸-۲ آزمون ضرایب دنده‌خلاص[۱]

استاندهٔ آزمایش دنده خلاص در سطح دریا است. محدودهٔ رواداشت مجاز استانده، آزمایش در شرایط فشار هوای زمستان شهر تهران را مجاز می‌داند. چندین محل به منظور آزمایش بررسی شد که با درنظر گرفتن مشخصات هر یک شامل طول مسیر، کیفیت جاده و ارتفاع از سطح دریا، مرکز مورد نظر برگزیده شد که تصویر ماهواره‌ای آن در شکل ۸-۱۵ نشان داده شده است.

[۱] Coast Down Test

شکل ۸-۱۵ مسیر آزمون انتخابی برای محاسبهٔ ضرایب دنده خلاص خودرو

ضرایب دنده خلاص خودرو با رسم منحنی نیرو برحسب سرعت و با استفاده از درونیابی اتخاذ می‌شود. با در نظر گرفتن تعداد نقاط آزمایشگاهی معادل و منطبق کردن نمودار با تعداد مشخصه‌های مجهول، تابع ضرایب مقاومت خودرو به شکل مشخصی بدست آمد که نمونه‌ای از آن در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است. پس از شبیه‌سازی و بدست آوردن مقادیر C_dA (حاصلضرب ضریب مقاومت هوا در سطح تصویر شده خودرو) و f_{rr} (ضریب مقاومت چرخ ها) می‌توان تمامی نیروهای مقاوم در برابر حرکت خودرو را با داشتن جرم خودرو برحسب سرعت رسم نمود. با درنظر گرفتن منحنی درجه دو از نیروی مقاوم در برابر حرکت خودرو بر حسب سرعت، ضرایب سه گانه نیروی مقاوم در برابر خودرو محاسبه می‌شود.



شکل ۸-۱۶ محاسبه ضرایب دنده خلاص

۸-۳ آزمون آلایندگی و مصرف سوخت

به منظور اندازه‌گیری مصرف سوخت و آلایندگی خودروی دورگه، آزمون‌های استانده برروی خودرو در شرایط مشخص انجام می‌شود. آزمون‌های مصرف سوخت و آلایندگی خودروهای بنزینی در چرخهٔ اروپایی انجام می‌شود. برای آزمایش آلایندگی و مصرف سوخت در خودروهای بدون قابلیت ذخیرسازی برق شهری[۱]، دو آزمون با سطح ذخیره انبارهٔ برقی متفاوت تعریف می‌شود:

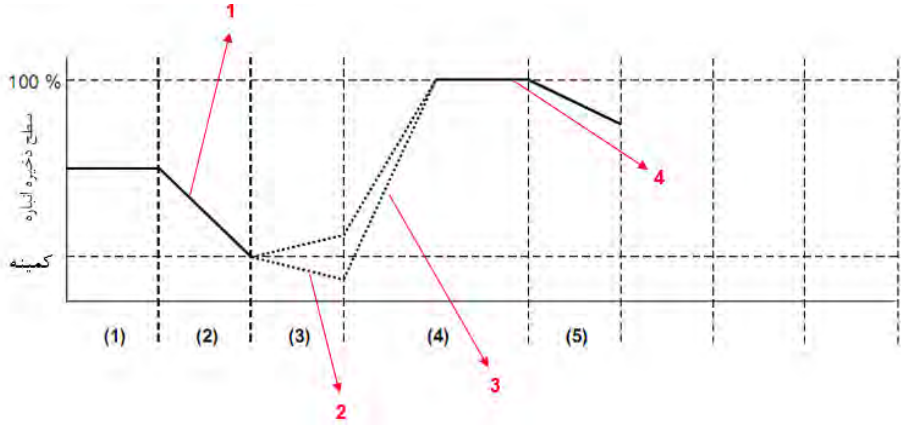
- آزمون اول: در حالت ذخیره کامل انبارهٔ برقی
- آزمون دوم: در حالت ذخیره کمینهٔ انبارهٔ برقی

در واقع شرایط آزمون اول و دوم، دو حالت پیش آماده سازی برای آزمایش نوع اول است.

چرخهٔ شهری[۲] به این‌صورت است که آزمون، ۴ مرتبه تکرار می‌شود. زمان چرخه: ۸۲۰ ثانیه، سرعت حداکثر: ۵۰ کیلومتر بر ساعت، طول چرخه: ۴/۰۵ کیلومتر.

چرخهٔ برون‌شهری[۳] نیز به این صورت است: زمان چرخه: ۴۰۰ ثانیه، حداکثر سرعت: ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت.

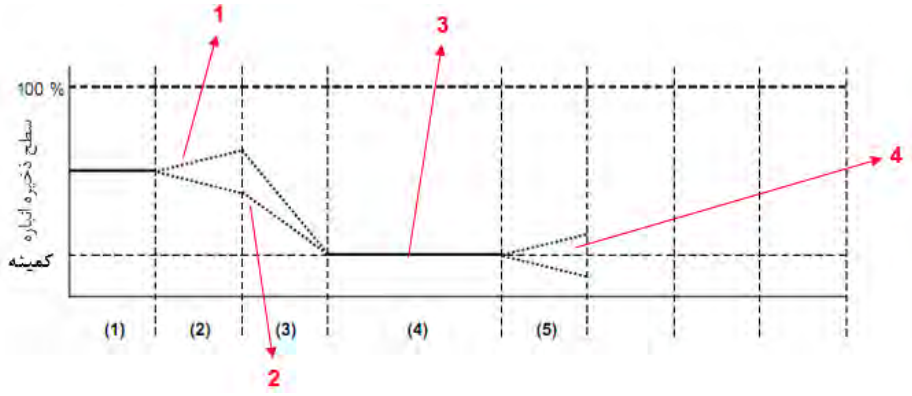
پیش آماده‌سازی خودرو و آزمون اول مطابق شکل ۸-۱۷ انجام شود:



شکل۸-۱۷ رویهٔ آزمون اول

[۱] Off- Vehicle Charging HEV(OVC)
[۲] ECE
[۳] EUDC

در قسمت ۱، تخلیهٔ انباره انجام می‌شود. به‌طوری‌که: در حالی که انباره کاملاً پر است با سرعت ثابت ۵۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کند تا زمانی که موتور روشن شود. اگر دسترسی به این سرعت ثابت بدون روشن شدن موتور احتراقی ممکن نباشد باید مقدار آن کاهش یابد. اگر موتور به طور خودکار روشن شود باید ۱۰ ثانیه بعد از آن خاموش شود. در قسمت ۲، یک چرخه ای‌سی‌ای۱۵[1] و دو چرخه ای‌یودی‌سی انجام می پذیرد. در قسمت ۳، نگهداری در دمای اتاق به مدت حداقل ۶ ساعت و پرکردن انباره انجام می‌گردد. در قسمت۴، آزمون نوع ۱ شروع می‌شود. الگوی دنده مشخص شده در آزمون نوع ۱ در اینجا لازم نیست. سپس آزمون دوم مطابق شکل ۸–۱۸ انجام می‌شود.



شکل ۸–۱۸ رویهٔ آزمون دوم

در قسمت ۱، آزمون ای‌یودی‌سی به‌صورت سه مرتبه متوالی انجام می‌شود. در قسمت ۲، تخلیهٔ انباره در حالی‌که ذخیرهٔ انباره کامل می‌باشد خودرو با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کند. این پیمایش تا زمانی ادامه می‌یابد که موتور احتراقی روشن شود. (بازه زمانی که باید با سرعت ثابت حرکت کند باید بین سازنده و سازمان استاندارد به توافق برسد). اگر دسترسی به این سرعت ثابت بدون روشن شدن موتور احتراقی ممکن نباشد باید مقدار آن کاهش یابد. اگر موتور به طور خودکار روشن شود باید ۱۰ ثانیه بعد از آن خاموش شود. در قسمت ۳، نگهداری در دمای اتاق به مدت حداقل ۶ ساعت و پر کردن انباره انجام می‌گردد. در قسمت۴، آزمون نوع ۱ شروع می‌شود. الگوی دنده مشخص شده در آزمون نوع ۱ در اینجا لازم نیست. با توجه به اینکه آلاینده ها در دو آزمون و در شرایط اولیهٔ متفاوت اندازه‌گیری می‌شوند، باید میانگین وزن‌دهی شده آن‌ها باید محاسبه شود.

$$M = (De \cdot M1 + Dav \cdot M2)/(De + Dav)$$ معادلهٔ ۶ ۱

Mi: جرم آلاینده iام بر حسب گرم بر کیلومتر

[1] ECE15

M1i: میانگین جرم آلاینده iام بر حسب گرم بر کیلومتر که از آزمون با انبارهٔ برقی پر (آزمون اول) بدست آمده است.

M2i: میانگین جرم آلاینده iام بر حسب گرم بر کیلومتر که از آزمون با انبارهٔ برقی خالی (آزمون دوم) بدست آمده است.

De: پیمایش حرکت در حالت برقی بر طبق پیوست ۷ مقررات ۱۰۱[1]

Dav: ۲۵ کیلومتر (میانگین فاصله بین دو جایگاه ذخیره انبارهٔ برقی در خودروی دارای قابلیت ذخیره‌سازی با برق شهری)

۸-۳-۱ محاسبهٔ مصرف سوخت

مقدار مصرف سوخت بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر محاسبه می‌شود:

$C1 = 100 \cdot c1/Dtest1$ و $C2 = 100 \cdot c2/Dtest2$ (l/100 km) معادلهٔ ۶ ۲

$C = (De \cdot C1 + Dav \cdot C2)/(De + Dav)$ معادلهٔ ۶ ۳

C: مصرف سوخت خودرو بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر

C1: مصرف سوخت در آزمون اول بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر

C2: مصرف سوخت در آزمون دوم بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر

۸-۳-۲ محاسبهٔ مصرف برق

مقدار مصرف برق نیز بدین صورت محاسبه می‌شود:

$e4 = e2 - e3$ معادلهٔ ۶ ۴

$E1 = e1/Dtest1$ and $E4 = e4/Dtest2$ (Wh/km) معادلهٔ ۶ ۵

$E = (D_e \cdot E_1 + D_{av} \cdot E_4)/(D_e + D_{av})$ معادلهٔ ۶ ۶

E: مصرف برق بر حسب واتساعت بر کیلومتر

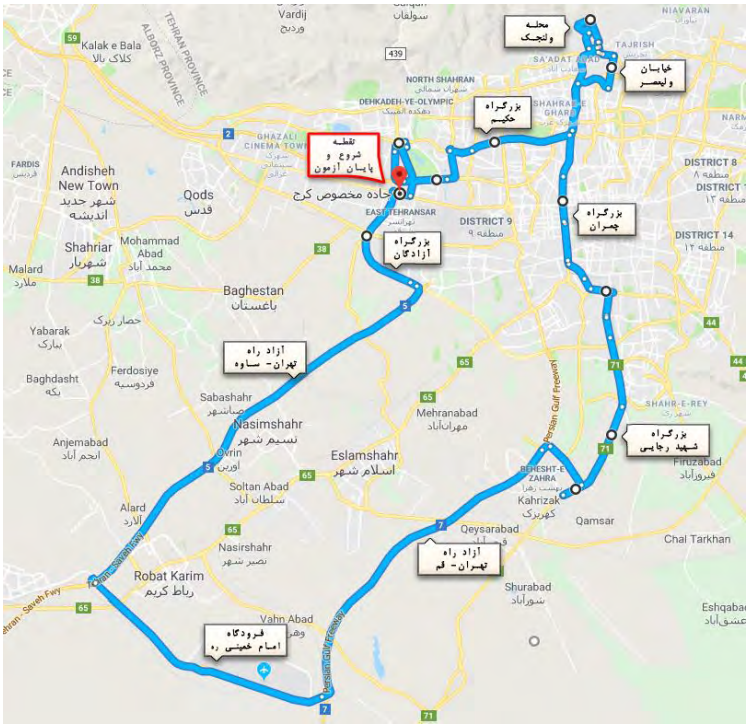
E1: مصرف برق در آزمون اول بر حسب واتساعت بر کیلومتر

E2: مصرف برق در آزمون دوم بر حسب واتساعت بر کیلومتر

[1] Regulation 101 Annex 7

۸-٤ آزمون‌های مصرف سوخت واقعی در سطح شهر تهران

علاوه بر آزمایش‌های مصرف سوخت و آلایندگی، آزمایش‌هایی در چرخهٔ شهری متناسب با شدآمد تهران و بزرگ‌راه‌های اطراف آن انجام پذیرفت. در این آزمایش که به مسافت حدود ۱۶۵ کیلومتر انجام شد، خودرو در حالت‌های مختلف و تقریباً شبیه با چرخهٔ استانداردی که در اتاق آزمون انجام پذیرفته شده بود در جاده مورد بررسی قرار گرفت. (شکل ۸-۱۹)



شکل ۸-۱۹ مسیر آزمون چرخهٔ شهری خودروی دورگه

در این آزمایش، مصرف سوخت خودروی دورگه در شرایط واقعی پایش و محاسبه گردید. در این مسیر، خودروی پایه به همراه خودروی دورگه و در شرایط واقعی، مسیر را پیمود و مصرف سوخت آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. نتایج تجربی حاصل از این آزمون کاهش ۴۷٪ مصرف سوخت خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه را نشان داد.

۸-۵ آزمون شتاب‌گیری

خودروی آماده شده نسبت به خودروی جاری دارای تغییرات زیادی می‌باشد. این تغییرات در سطوح مختلف خودرو مانند سامانه‌های انتقال خودرو، توان، انرژی، سوخت و... می‌باشد. همچنین به دلیل تغییرات وزن و جرم خودرو، به آزمون‌های عملکردی خودرو نیازمندیم. به دلیل تغییرات نوع سامانه انتقال قدرت تعدادی از آزمون‌ها مشخص و انجام شد. یکی دیگر از آزمون‌های انجام شده برروی خودرو، آزمون شتاب‌گیری می‌باشد.

شتاب‌گیری ۱۰۰- ۰ کیلومتر بر ساعت

شتاب‌گیری ۹۰- ۶۰ کیلومتر بر ساعت

به دلیل افزایش وزن خودرو زمان شتاب‌گیری از حالت سکون تا سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت نسبت به خودرو جاری متفاوت می‌باشد. همچنین نرخ شتاب‌گیری از سرعت ۶۰ تا ۹۰ کیلومتر بر ساعت به منظور بررسی انعطاف حرکتی خودرو انجام شده است. شدت شتاب‌گیری میانی در این بازه سرعت، می‌تواند عملکرد طراحی و شبیه‌سازی خودرو را برای گروه طراحی مشخص نماید.

۸-۶ آزمون‌های ادراک حسی قابلیت رانندگی خودروی دورگه

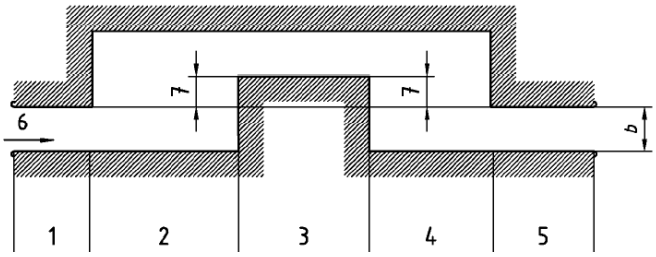
خودروی دورگه به علت افزوده شدن انبارهٔ برقی در صندوق عقب خودرو و همچنین اضافه شدن مجموعه‌های دیگر، دچار تغییر جرم و تغییر در موقعیت مرکز جرم شده است. چون رفتار پویای خودرو و عملکرد سامانهٔ ترمز متأثر از جرم خودرو و موقعیت مرکز جرم است لذا لازم است وضعیت خودرو با شرایط بارگذاری جدید، ارزیابی شود. آزمون‌های خودرویی به دو بخش اندازه‌گیری حسی[۱] و کمی[۲] تقسیم می‌شوند. آزمون‌های ادراک حسی را رانندگان آموزش‌دیده انجام می‌دهند و حس آن‌ها نسبت به مشخصه‌های مختلف رانندگی معیار سنجش خواهد بود. در آزمون‌های با اندازه‌گیری کمی از حسگرهای مختلف و ابزارهای داده‌برداری برای ثبت داده‌های واقعی در شرایط تعریف شده استفاده می‌شود. اگر بر اساس آزمون ادراک حسی لازم باشد تغییراتی در سامانه‌های خودرو اعمال شود، برای تعیین مقدار تغییرات لازم باید اندازه‌گیری کمّی از مشخصه‌های مورد نظر انجام شود.

---
۱ Subjective
۲ Objective

۸-۷ آزمون استانداۀ تغییر مسیر[۱]

این آزمون یکی از آزمون‌های استانده برای بررسی وضعیت پویای خودرو است که به صورت ارزیابی حسی راننده‌های مجرب و کارآزموده انجام می‌گیرد. استانداۀ استفاده شده برای خودروهای سواری و همچنین خودروهای سنگین تا وزن ۳٫۵ تن است. در این آزمون استانده، خودرو باید در مسیری مشابه با شکل ۸-۲۰ حرکت نماید. این مسیر حرکتی از چندین بخش تشکیل شده است. طول مسیر ثابت ولی پهنای آن تابع عرض خودرو است. عرض خودرو بدون در نظر گرفتن آینه‌های بغل لحاظ می‌گردد.

طول و پهنای هر کدام از بخش‌های مختلف در شکل ۸-۲۰ نشان داده شده و در جدول ۱-۸ آورده شده است. به منظور دستیابی به شتاب جانبی قوی، طول بخش ۴ نسبت به بخش ۲ به اندازۀ ۱ متر کمتر است. حفظ تعادل خودرو برای عبور از بخش ۴ و ۵ سخت‌تر از بخش‌های دیگر مسیر است. به عبارت دیگر شتاب جانبی خودرو در تغییر مسیر ناگهانی دوم بیشتر از تغییر مسیر ناگهانی اول است. شمارۀ ۶ نشان داده شده در شکل ۸-۲۰ جهت مسیر حرکت خودرو را نشان می‌دهد.



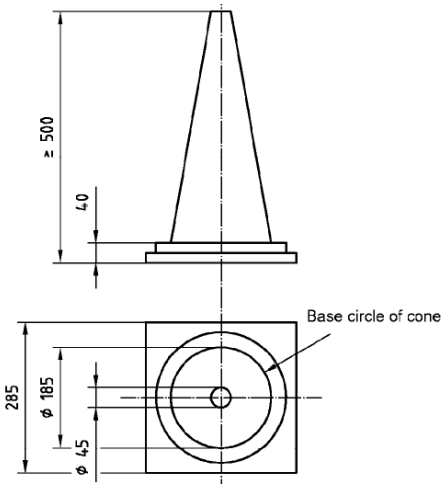
شکل ۸-۲۰مسیر حرکت خودرو در آزمون استانداۀ ایزو-۳۸۸۸[۲]

جدول ۸-۱ طول و پهنای بخش‌های مختلف در آزمون استانداۀ ایزو-۳۸۸۸ (ابعاد به متر است)

بخش	طول	عرض(پهنا) مسیر
۱	۱۲	عرض خودرو × ۱+۲٫۵
۲	۱۳٫۵	–
۳	۱۱	عرض خودرو +۱
۴	۱۲٫۵	–
۵	۱۲	(عرض خودرو× ۱٫۳)+۰٫۲۵

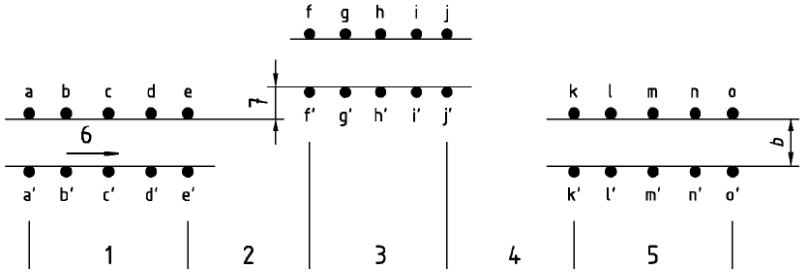
برای نشانه‌گذاری مسیر حرکت خودرو در این آزمون از مخروطی‌هایی با ارتفاع حداقل ۵۰ سانتی‌متر استفاده می‌گردد. ابعاد استانده برای یکی از این مخروطی‌های استفاده شده در شکل ۸-۲۱ نشان داده شده است.

[۱] ISO-3888-Lane Change-Obstacle Avoidance
[۲] ISO-3888



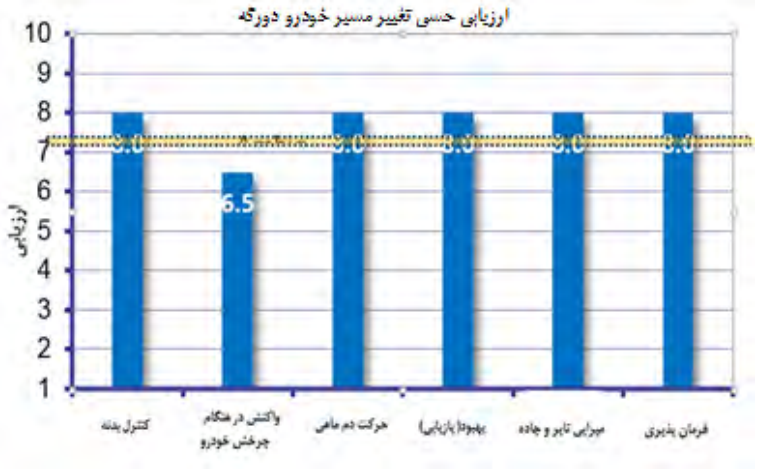
شکل ۸–۲۱ ابعاد استانده برای مخروطی‌های استفاده شده در آزمون استاندهٔ ایزو–۳۸۸۸

محل قرارگیری مخروطی‌های نشانه‌گذاری در طول مسیر این آزمون در شکل ۸–۲۲ نشان داده شده است. به دلیل آزمایش به صورت ادارک حسی، سرعت مشخص و معینی برای خودرو لحاظ نمی‌گردد. خودرو با سرعت دلخواه و دور موتور حداقل ۲۰۰۰ دور در دقیقه وارد بخش ۱ می‌گردد. بعد از وارد شدن در ناحیهٔ ۱ راننده اهرم گاز را رها می‌کند. خودرو بقیه راه را با اهرم رها شده می‌پیماید. به منظور ایجاد قابلیت تکرار آزمون، سرعت خودرو در انتهای بخش ۱ اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد. این اندازه‌گیری را راننده اجرا و گزارش می‌کند. این آزمون تنها وابسته به حس راننده است و هیچ مشخصه‌ای اندازه‌گیری و گزارش نمی‌شود.



شکل ۸–۲۲ محل قرارگیری نشانه‌گذاری‌ها در آزمون استاندهٔ ایزو–۳۸۸۸

امتیاز خودرو به‌وسیلهٔ راننده‌های متفاوت در نمودار شکل ۸–۲۳ ارائه شده است. امتیازها بر مبنای عدد ۱۰ می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون حسی جلوگیری از تصادف، وضعیت خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه بهتر ارزیابی شده است. میانگین امتیاز راننده‌ها به خودروی پایه با خط زرد در شکل ۸–۲۳ نشان داده شده است.



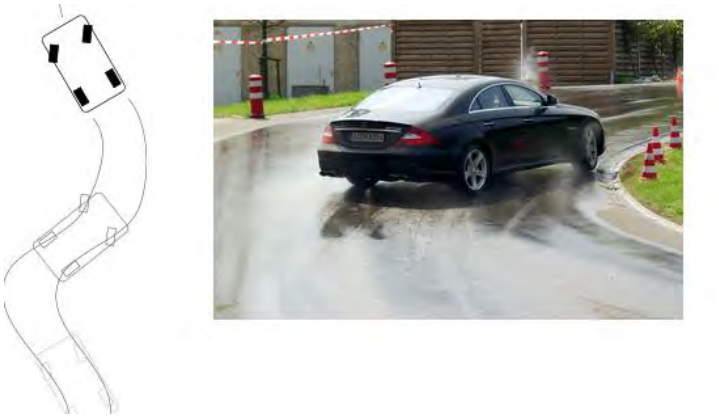
شکل ۸-۲۳ نتایج امتیازدهی راننده‌ها به آزمون تغییر مسیر

مشخصه‌های آزمون حسی تغییر مسیر از این قرار است:

- نگه‌داشت بدنه[۱] : نگه‌داشت کلی بدنهٔ خودرو را راننده ارزیابی می‌کند. مهم‌ترین موضوع مورد سنجش، توان حرکت با سرعت مطلوب در مسیر در نظر گرفته شده برای خودرو است.
- پاسخ به گردش[۲]: نحوهٔ پاسخ دادن خودرو به تغییر ناگهانی مسیر (ورودی فرمان) در این مشخصه ارزیابی می‌شود.
- دم ماهی[۳] : این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که چرخ‌های عقب خودرو غلتش خود را بر جاده از دست بدهند و در جهت عمود به مسیر حرکت شروع به لغزش کنند. حرکت دم‌ماهی سبب ناپایداری بخش عقب خودرو می‌شود و به اصلاح خودرو بیش فرمان[۴] می‌شود. نمونه‌ای از دم ماهی خودرو در شکل ۸-۲۴ نشان داده شده است.

۱ Body control
۲ Turning response
۳ Fish tail
۴ Over steer

- بازیابی[1] : نحوهٔ برگشت خودرو به مسیر مطلوب بعد از اعمال فرمان‌دهی سریع، در این مشخصه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



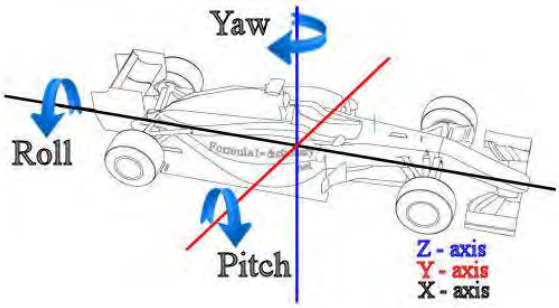
شکل ۸-۲۴ نحوهٔ حرکت دم ماهی در خودروی واقعی

- از بین رفتن زاویهٔ غلتشی[2]: به هنگام تغییر مسیر ناگهانی، خودرو حول محور طولی خود تحت بار دورانی قرار می‌گیرد. این دوران ممکن است منجر به چپ شدن خودرو شود. این زاویه به کمک سامانهٔ تعلیق خودرو خنثی می‌شود. مقدار و چگونگی خنثی شدن این زاویه در این مشخصه از آزمون ارزیابی می‌شود. جهت‌های چرخش استاندهٔ خودرو و به خصوص جهت چرخش غلتشی خودرو در شکل ۸-۲۵ نشان داده شده است.

- کم فرمانی[3]: در کم فرمانی، چرخ‌های جلوی خودرو در هنگام دور زدن بیشتر از چرخ‌های عقب دچار لغزش می‌شود. این پدیده باعث می‌گردد که راننده برای دور زدن یک پیچ ثابت بیشتر از حد مورد انتظار زاویهٔ فرمان خودرو را بچرخاند. معمولاً خودروهای سواری به صورت کم فرمان طراحی می‌شود. شایان ذکر است که خودروهای مسابقه‌ای که نیاز به واکنش سریع در پیچ‌ها دارند، به صورت بیش‌فرمان طراحی می‌گردند. در خودروهای بیش‌فرمان برای دور زدن در پیچ ثابت راننده زاویهٔ فرمان کمتر از حد معمول اعمال می‌کند. در این حالت امکان لیز خوردن پشت خودرو وجود دارد و در حالت بیش فرمانی حفظ پایداری خودرو دشوارتر خواهد بود.

---

۱ Recovery
۲ Roll damping
۳ Under steering

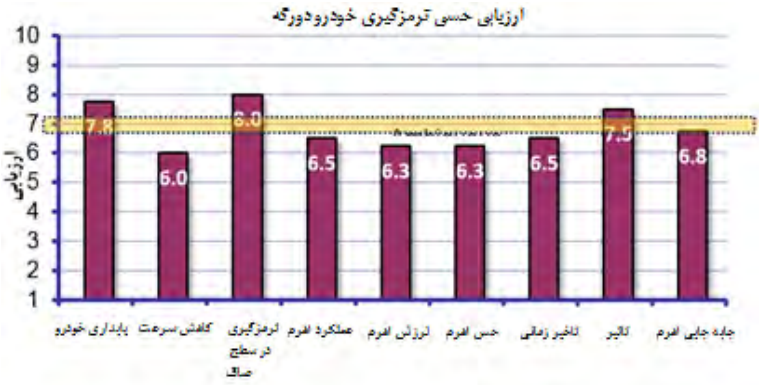


شکل ۸–۲۵ جهت‌های چرخش استانداۀ خودرو

۸–۸ آزمون عملکرد سامانه ترمز

برای این آزمایش حسی، راننده با سرعت ثابت حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر مستقیم به صورت ناگهانی اقدام به ترمز می‌نماید. راننده به هنگام ترمز دست خود را از فرمان جدا می‌کند. خودرو نباید در حین آزمون دچار تغییر مسیر شود. مقدار خط ترمز و حس مطلوب به هنگام ترمزگیری و مقدار پایداری خودرو در مسیر به واسطه راننده‌ها در این آزمون گزارش می‌شود.

مقدار امتیاز دهی راننده‌ها به مشخصه مورد بررسی در این آزمون در شکل ۸–۲۶ گزارش شده است. از میان مشخصه‌های مورد بررسی در این آزمون، پایداری خودرو (عدم انحراف خودرو به هنگام ترمزگیری)، نرمی ترمزگیری و مقدار تأثیر ترمزگیری خودروی دورگه نسبت به خودروی پایه بهتر گزارش شده است. سایر مشخصه‌های ترمزگیری خودروی دورگه در مقایسه با خودروی پایه امتیاز کمتری گرفته‌اند.



شکل ۸–۲۶ امتیازدهی مشخصه‌های مختلف در آزمون ترمزگیری

فصل نهم

تأمین قطعات

۹- تأمین قطعات

ارزیابی و آزمون اجزاء و زیر مجموعه‌ها در هنگام فرایند طراحی و توسعه، به ساخت و تأمین قطعات نیازمند است. به منظور مرتفع نمودن نیازهای نمونه‌سازی قطعات در مراحل مختلف طرح و برای ارائهٔ بازخورد مناسب و به‌موقع به طراحان، واحد تأمین قطعات نمونه در زیرمجموعه واحد طراحی ایجاد شده است. تأمین قطعات و مجموعه‌های خودروی دورگه و برقی با هدف خودکفایی و اولویت ساخت داخلی به‌منظور کاهش وابستگی، در قالب این فعالیت‌ها آغاز شده است:

- داخلی‌سازی قطعات
- شناسایی تأمین کنندگان داخلی
- شناسایی تأمین کنندگان خارجی
- ارزیابی سازندگان
- تدوین الزامات، نیازمندی‌ها در قالب مشخصات فنی قطعات[1] و درخواست پیشنهاد فنی[2]

[1] TPS
[2] RFP

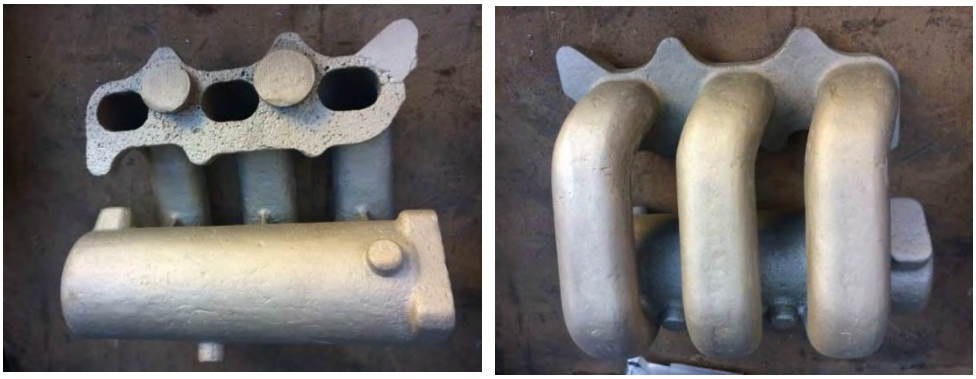
- تخمین هزینه و محاسبه قیمت تمام شده

۹-۱ ساخت چندراههٔ هوا و چندراههٔ دود

ساخت چندراههٔ هوای موتور احتراقی پس از نهایی شدن نقشهٔ اصلی و با برگزاری جلسه با سازندهٔ قطعه آغاز شد. سازنده روش ساخت قالب کفسان (فومی) چند قسمتی و ریخته‌گری آلومینیوم داخل ماسه دی‌اکسیدکربن را پیشنهاد کرد و با آن موافقت شد. پس از آماده شدن نقشهٔ اصلی چندراههٔ هوا، سطح جدایش تعریف شد و قسمتهای داخلی قالب به شیوه کفسانی از بستر بیرونی چندراهه (منفی داخلی) ماشینکاری می‌شود و پس از پایان کار به‌صورت یک قالب واحد به یکدیگر چسبانده شدند. برای مقاومت بیشتر کار در حین مذاب‌ریزی قسمت‌های جدا با سیم مفتول‌هایی مقاوم‌سازی شد. نمونه‌ای از ماشینکاری قالب کفسانی در شکل ۹-۱شکل ۹-۱ نشان داده شده است.

پس از آماده‌سازی پشت و روی قالب، بستر فومی در داخل ماسهٔ دی‌اکسیدکربن قرار داده شد و مذاب‌ریزی انجام پذیرفت. چندراههٔ خام شکل گرفته بعد از مرحلهٔ تمیزکاری و ماشینکاری آماده می‌شود که نمایی از آن در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.

شکل ۹-۱ ماشینکاری قالب کفسانی چندراههٔ هوای موتور احتراقی



شکل ۹–۲ قطعهٔ نهایی چندراههٔ هوا

آزمون نشتی قطعهٔ ساخته شده قبل از نصب در فشار هوای ۳٫۵ بار و دمای ۲۳ درجه سانتیگراد انجام می‌شود. نشتی مجاز قطعه در شرایط ذکر شده کمتر از ۶۰ سی‌سی در دقیقه است.

چندراههٔ دود و مسیر دود خودرو به کمک نمونه‌سازی سریع از روش اف‌دی‌ام[1] ساخته شد و سپس از این نمونه برای یک الگوی جوشکاری ساخت مسیر دود استفاده گردید. نمونهٔ اولیه و قطعهٔ نهایی در شکل ۹–۳ نشان داده شده است. خم‌های مسیر دود به روش تنظیم عددی رایانه‌ای[2] ساخته و به یگدیگر جوش داده شد. روش ساخت و تولید این قطعه بر اساس استانداردهٔ دین ۸۵۷–۱ [3] می‌باشد.

شکل ۹–۳ چندراههٔ دود و روش ساخت نمونه

[1] FDM
[2] CNC
[3] CN ISO 857-1 DIN

۹-۲ ساخت محور محرک

به دلیل عدم امکان جابه‌جایی موتور برقی به کارگاه سازنده، ابتدا نمونه محور و لاله‌گی با یک میله فولادی در ردهٔ کمتر از استانده تراشیده شد. محور نمونه به همراه هزارخاری ساخته شده برروی موتور برقی هم‌بندی شد و پس از اطمینان از صحت کارکرد بر روی همبستهٔ[1] اصلی تراشیده شد. در مرحلهٔ نهایی عملیات حرارتی بر روی محور محرک انجام شد و قطعه تکمیل گردید. روداشت هم‌بندی محور محرک در موتور برقی جذب و روان بودن آن است. محور محرک و لاله‌گی ساخته شده در شکل ۹-۴شکل ۹-۴ نشان داده شده است.

شکل ۹-۴ محور محرک و لاله‌گی

۹-۲-۱ داخلی‌سازی قطعات

شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو[2] از بدو تأسیس با نگرش داخلی‌سازی و استفاده حداکثری از ظرفیت‌های داخلی و توانمندسازی سازندگان داخلی، رسالت خود را آغاز نموده است و همواره ارتقاء سطح دانش و کیفیت سازندگان داخلی در مسیر طرح‌ها از اهداف بلندمدت این مجموعه می‌باشد. در طرح خودروی دورگه با توجه به فنآوری پیشرفتهٔ تولید قطعات و وابستگی به تأمین‌کنندگان خارجی، استفاده از امکانات و ظرفیت‌های موجود در داخل کشور از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. شرکت ایپکو شناسایی سازندگان و تأمین‌کنندگان داخلی، ارزیابی سازندگان، ارتقاء سطح دانش و کیفیت سازندگان، ایجاد کارگروه‌های تخصصی برای شناسایی قطعات و مجموعه‌ها و تعیین اولویت ساخت داخل، تشکیل کارگروه بومی‌سازی قطعات خودروی دورگه و تهیه مدارک فنی لازم برای ساخت داخل کشور را در دستور کار خود قرار داده است.

[1] alloy

[2] ایپکو

۹-۲-۲ شناسایی تأمین کنندگان داخلی

به منظور شناسایی توانمندی داخلی و با همکاری معاونت علمی‌فناوری ریاست جمهوری اقدام به برگزاری نمایشگاه قطعات خودروی دورگه و برقی در راستای شناسایی توانمندی داخلی شد. شرکت‌های سازنده و تحقیقاتی در چندین مرحله ارزیابی شدند و بر اساس استانداۀ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو رتبه‌بندی شدند.

شکل ۹-۵ نمایشگاه قطعات خودروی دورگه و برقی

انتخاب تأمین‌کنندۀ شایسته یکی از مهمترین مراحل در فرایند ساخت و تولید برای رسیدن به محصولی با کیفیت مطلوب و با قیمت رقابتی است.

۹-۲-۳ شناسایی تأمین‌کنندگان خارجی

با توجه به نوپا بودن صنعت خودروهای برقی و دورگه در ایران و پیشرفت سریع این حوزه، لزوم همکاری با شرکت‌های مطرح و سازندگان خارجی برای استفاده از تجربیات آن‌ها و انتقال دانش فنی مورد نیاز از اهمیت برخوردار است. از سوی دیگر در کوتاه مدت و با توجه به شمارگان محدود تولید و ایجاد صرفه اقتصادی محصول، تأمین بعضی از قطعات از سازندگان تولید انبوه انجام شد. مخزن اطلاعاتی جامعی از تمامی تأمین‌کنندگان قطعات وسایل نقلیۀ برقی در دنیا به‌ویژه کشور چین در هنگام اجرای طرح جمع‌آوری شد.

۹-۲-٤ تخمین هزینه و محاسبه قیمت تمام شده

قیمت تمام شدۀ محصول از مهمترین عوامل موفقیت محصول در بازار رقابتی امروز است. تخمین و محاسبه قیمت تمام شده محصول و اطلاع از قیمت محصولات رقبا به منظور مدیریت هزینه‌ها برای تولید محصول رقابتی، در ابتدای طرح از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. گروه تأمین با در نظر گرفتن این مهم سعی در رصد و همکاری با تأمین‌کنندگان بیشتری برای رسیدن به اهداف قیمتی از پیش تعیین می‌شود و تأمین قطعات با اقتصادی‌ترین روش نموده است. روش‌های مختلفی بر اساس شمارگان تولید، ساخت داخلی، تأمین از منابع خارجی، پیشنهاد

تغییرات در طرح به منظور کاهش هزینه‌ها و یا استفاده از محصولات و فناوری‌های جدید، برای تصمیم‌گیری، ارائه شده است.

پیوست‌ها

واژه‌نامه

واژه‌نامه

آ

ب

آب‌بند	Gasket
آرایه	Matrix
آزمون دوام	Durability Test
آزمون‌های اندازه‌گیری و حسی	Objective and Subjective Tests
آزمون‌های صحه‌گذاری	Validation Tests

الف

اتصال	Coupling
اتصال چنگکی	Clutch
اتصالات عایق	Isolation
استانده	Standard
الگوبرداری	Benchmarking
الگوی سه‌بعدی	3D Model
انبارهٔ برق	Battery
ایستایی–عمومی	General–Static

بازخور	Feedback
بازدهٔ تنفسی	Volumetric Efficiency
باقابلیت ذخیره برق شهری	Plug in
بدنه	Engine Block
بردافزار	Range Extender
برقاطیسی	Electromagnetic
بسامد	Frequency
بسیارمنعطف	Hyper elastic
بی‌نشتی	Seal

پ

پادمان	Protocol
پس‌پالایشگر سه‌منظوره	Three way catalyst
پسخور	Feedback
پس‌فشار	Back Pressure
پیش هم‌بندی	Pre-Assembly
پیشخوان	Instrument Panel
پیشخور	Feed forward

پوسته فلزی	Shield
پودمانی	Modularity
ت	
تبخیرکننده	Evaporator
تحلیل پویایی	Dynamic Analysis
تصدیق	Verification
تغییر مسیر	Track change
تفاضلی	Differential
تلفات جریان گردابی	eddy current loss
تلمبهٔ خلأ	Vacuum Pump
تلمبهٔ فرمان برقی روغنی	Electrical hydraulic steering
تلمبهٔ فرمان روغنی	Power Steering Pump
تمام‌بار	Full Load
تمام دورگه	Full Hybrid
تنجار	Compressor
توسعهٔ محصول	Product Development
ج	
جابجاگر	commutator
جانمایی	Packaging
جعبه تقسیم جریان	Power Distribution Unit (PDU)
جعبه‌دنده پیوسته	CVT
چ	
چرخ طیار	Flywheel
چند راههٔ دود	Exhaust Manifold
چند راههٔ هوا	Intake Manifold
چندراههٔ گاز	Fuel Rail
چندراهه	Manifold
ح	
حسگر	Sensor
حرکت از روی دست انداز	Road Bump
حرکت شتاب گیری در خط مستقیم	Straight Line Acceleration
حرکت عمودی چرخ‌ها	Wheel Travel
حرکت عمودی هم‌فاز دو چرخ	Parallel Wheel Travel
حرکت عمودی در خلاف جهت دو چرخ	Opposite Wheel-Travel
حرکت عمودی یک چرخ	Single Wheel-Travel
حرکت‌های گردشی	Cornering
حرکت گردشی با فرمان رها	Cornering Steering Release
حرکت گردش با شعاع ثابت	Constant Radius Cornering
حرکت گردش با موتور خاموش	Cornering Power-off
خ	
خود القایی	Self-Magnetic
خفیف دورگه	Mild Hybrid
خفیف دورگه تسمه‌ای	Belt start generator
د	
دسته‌موتور گشتاوری	Torque Strut Mount
دورگه	Hybrid
دورگهٔ ردیفی	Series Hybrid
دورگهٔ ردیفی موازی	Power Split Hybrid
دورگهٔ موازی	Parallel Hybrid
ذ	
ذخیره‌سازی برق شهر	Charging
ذخیره‌ساز برق شهری	On Board Charger
ر	
راه انداز / راه اندازی	Starter/Start
راهگاه	Port
راهگاه خروجی	Exhaust Port
راهگاه ورودی	Intake Port
رواداشت	Tolerance
رواداشت هندسی	Geometric Tolerance
روانکاری	Lubrication
ریز پردازنده	Microcontroller
ریزدورگه	Micro Hybrid
ز	
زاویهٔ فرمان قفل شده در راست	Steering Lock to Right
زاویهٔ فرمان قفل شده در چپ	Steering Lock to Left
زنجیرهٔ تأمین	Supply Chain
زینه‌بندی	Calibration
س	
سازوکار تسمه‌سفت‌کن	Tensoiner
سازوکار لنگ	Crank Train
سامانهٔ پایش	Monitoring System
سامانهٔ تخلیهٔ دود	Exhaust System
سامانهٔ خنک‌کاری	Cooling System
سامانهٔ روانکاری	Lubrication System
سامانهٔ مدیریت موتور	Engine Management System
سامانهٔ هوای ورودی	Intake System
سیال خنک‌کن	Coolant
ش	
شبه‌ایستایی	Quasi-static
شبیه‌ساز پهنای نوار	Pulse With Modulation(PWM)
شدآمد	Traffic
شرایط درجا	Idle Condition
شروع به حرکت جلو	Drive Off
شروع به حرکت عقب	Drive Off (Reverse)
شروع به حرکت ناگهانی	Idiot Start

ص	
صحه‌گذاری	Validation
ض	
ضد چرخش	Anti roll
ضرایب دنده خلاص	Coast Down Cofficients
ط	
طراحی تفصیلی	Detail Design
طراحی مفهومی	Concept Design
طرحواره	Layout
طول جابه‌جایی	Stroke
ظ	
ظرفیت موتور	Engine Capacity
ع	
عیب‌یاب/ عیب‌یابی	Diagnostic
عدم بلند شدگی	Anti-lift
ف	
فشار برقی	Piezo electric
فشار مؤثر متوسط ترمزی	BMEP
فشار مؤثر متوسط داخلی	IMEP
ق	
قابلیت رانندگی	Drivability
قرقرهٔ سر میل‌لنگ	Crankshaft Pulley
قطب مثبت	Cathode
قطب منفی	Anode
قطر دریچهٔ دود	Exhaust Valve Diameter
قطر دریچهٔ گاز	Throttle Diameter
قطعات جانبی و متعلقات	Accessories
قلاب ماهی	Fish hook
ک	
کفی	Platfrom
گ	
گسسته	digital
گردش به چپ	Left Corner
گردش به راست	Right Corner
ل	
لامبدا	λ
لاله‌گی	CV Joint
لولهٔ تغییرشکل‌پذیر	Flexible Pipe
م	
مبدل جریان مستقیم	Converter
مبدل جریان متناوب	Inverter
مجموعهٔ قوای محرکه	Powertrain System
محافظ حرارتی	Heat Shield
محفظهٔ موتور	Engine Bay
محور انتقال قدرت	Drive Shaft
محور گشتاور غلتشی	Torque Roll Axis (TRA)
مغناطیس دائم قسمت دوار سطحی	Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Machine(SPMSM)
مغناطیس دائم قسمت دوار داخلی	Interior Permanent Magnet Synchronous Machine(IPMSM
مصرف ویژهٔ سوخت ترمزی	BSFC
موتور فرمان‌یار	servomotor
موتورهای هم‌زمان مغناطیس دائم با پخش فضایی شار فاصلهٔ هوایی سینوسی	Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM)
موتورهای هم‌زمان مغناطیس دائم باپخش فضایی شار فاصلهٔ هوایی ذوزنقه‌ای	Brush less DC motor (BLDC)
موقعیت‌دهنده	Fixture
موقعیت‌دهندهٔ تنظیمی	Control Fixture
مولد برق سه‌فاز	Generator
مولد برق جریان مستقیم	Alternator
مقدار ذخیره انبارهٔ برقی	SOC
میله پیچش	Torsion bar
ن	
نشانک پیوسته	Analog Signal
نقدگاه	Milestone
نگاشت	Calibration
نگاشت خودرو	Vehicle Calibration
نگاشت موتور	Engine Calibration
نگهدارنده	bracket
نوسان	Ripple
نیروسنج برقی	potentiometer
و	
ولتاژ القاگیر	armature
هـ	
هرزگرد	Idler
همبسته	Alloy
هم‌بندی	Assembly

پیوست‌ها

مراجع

مراجع فارسی

۱. گزارش طراحی مفهومی (نقدگاه ۱) طرح دورگه. ۱۳۹۰/۰۹/۰۲ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو

مراجع انگلیسی

1. Reitz, R.D., *Directions in internal combustion engine research.* Combustion and Flame, 2013. **1**(160): p. 1-8.

2. Offer, G.J., et al., *Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system.* Energy policy, 2010. **38**(1): p. 24-29.

3. *The International Council on Clean transportation*. 2020; Available from: https://theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy.

4. *Global EV Outlook 2019*. 2019, International Energy Agancy.

5. Houben, M. and T.v. Reth, *Engineering Design Report, Vehicle Integration*, FEV, Editor. 2005.