نخستین کنفرانس ملی انرژی، فناوری‌های خودرو، توسعه پایدار
با رویکرد توسعه فناوری خودروی هیبریدی و الکتریکی
تهران، آبان ۱۳۹۰

طراحی و ساخت سواری هیبرید برقی پراید در دانشگاه کاشان
بخش اول: محاسبه و طراحی اجزای مکانیکی

سعید گلابی
دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
golabi-s@kashanu.ac.ir

ابوالفضل حلوایی نیاسر
استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
halvaei@kashanu.ac.ir

چکیده
این مقاله با هدف توسعه فن‌آوری خودروهای هیبرید برقی و استفاده از منابع موجود در کشور، به طراحی و ساخت اولین خودروی سواری هیبرید برقی با پلت‌فرم پراید پرداخته است. برای خودروی هیبرید مورد نظر، با توجه به هزینه و محدودیت زمانی، آرایش موازی نوع مستقل درنظر گرفته شده است. موتور احتراق داخلی مورد استفاده، موتور پراید CC ۱۳۰۰ بوده که در بخش جلوی خودرو قرار دارد و در عقب خودرو، از یک موتور الکتریکی PMSM با توان نامی kW ۲۲ استفاده گردیده است. کنترل موتور احتراقی بوسیله دستگاه ECU نوع زیمنس انجام می‌شود که در این پروژه تغییر خاصی در عملکرد آن داده نشده است. برای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی از باتری‌های نوع لیتیم-یون‌پلیمر با ولتاژ مجموع ۱۹۲ ولت استفاده گردیده است. برای کنترل انرژی در حالات مختلف، واحد کنترل هیبرید (HCU) به نحوی طراحی شده است که می‌تواند خودرو را در حالات فقط برقی، فقط احتراقی و حالت هیبرید قرار دهد. در این پروژه از شاسی و فریم خودوری پراید استفاده گردیده است و با توجه به تغییر مرکز جرم و جهت افزایش پایداری، شاسی تقویت گردیده که نتایج با نرم افزار اجزا محدود ANSYS صحه‌گذاری گردیده‌اند. سیستم انتقال نیروی مناسب با نسبت دنده ثابت و دیفرانسیل و سایر متعلقات در بخش عقب خودرو برای موتور الکتریکی طراحی گردیده است. سیستم تعلیق خودرو و سایر سیستم‌های جانبی مجددا محاسبه و عملکرد آنها صحه‌گذاری گردیده است. بدنه خودرو از لحاظ آیرودینامیکی در نرم افزارهای Gambit و Fluent تحلیل گردیده و تغییراتی روی بدنه انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: خودروی هیبرید برقی موازی، خودروی پراید، ECU، HCU، کنترل انرژی، سیستم تعلیق.

۱- مقدمه
علیرغم انجام تحقیقات وسیع جهت افزایش بازده و بهینه‌سازی مصرف سوخت خودروهای احتراق داخلی(ICE)، این خودروها هم اکنون به عنوان منبع عمده آلودگی هوا در مناطق شهری معرفی شده‌اند. علاوه بر مسئله آلودگی هوا، محدودیت منابع سوخت فسیلی، استفاده غیربهینه از سوخت در خودروهای احتراق‌داخلی را زیر سئوال برده است. ابتدا بنظر می‌آمد که خودروهای برقی جایگزینی مناسب برای خودروهای احتراق داخلی بشمار آیند. اما دانسیته پائین ذخیره انرژی باتری‌ها در مقایسه با دانسیته انرژی سوخت‌های فسیلی سبب کاهش برد خودروهای برقی و در نتیجه عدم موفقیت تجاری آنها بویژه در رده خودروهای سواری گردیده است [۱]. خوشبختانه، ایده خودروی برقی با پیشرفت در تکنولوژی پیل سوختی جان تازه‌ایی گرفته است و تقریبا تمامی شرکت‌های خودرو ساز معتبر جهان، خودروهای با پیل سوختی (FCV) را بعنوان راه حل دراز مدت و راهبردی صنعت خودروسازی در نظر گرفته‌اند که البته در کوتاه مدت محقق نخواهد شد. صاحبنظران اعتقاد دارند که تا زمان فراهم شدن امکان بکارگیری تکنولوژی پیل سوختی در سطح تجاری، خودروهای HEV می توانند بعنوان راه حل میانی برای مساله آلودگی هوا و مصرف بهینه سوخت درنظر گرفته شوند [۲، ۳].

در کشور ما نیز با توجه به مسئله آلودگی شهرهای بزرگ بخصوص تهران، محدودیت تولید سوخت و همچنین آزادسازی قیمت انواع سوخت، برخی صنایع خودروسازی را تشویق به انجام پژوهش-هایی در طراحی و ساخت خودروی هیبرید نموده است. جهت انجام پژوهش‌های بیشتر و شتاب دادن به این موضوع، ارگان‌های مسئول، مراکز دانشگاهی را به انجام پژوهش و فن‌آوری در این زمینه تشویق نموده‌اند. مقاله حاضر نیز در راستای توسعه تکنولوژی ساخت خودروهای هیبرید، به تبیین طراحی و ساخت سواری هیبرید برقی بر اساس خودروی پراید مدل سایپا ۱۳۱ برای شرکت در مسابقات دانشجویی کشوری، پرداخته است. به دلیل حجم مطالب، این مقاله فقط به بیان مسئله و طراحی و انتخاب اجزای مکانیکی خودروی هیبرید پراید می‌پردازد و در مقاله بعدی، به طراحی و انتخاب اجزای سیستم محرکه الکتریکی این خودرو پرداخته خواهد شد.

۲- کلیات طرح

خودروی طراحی شده موضوع این مقاله یک خودروی هیبرید برقی ۴ نفره جهت شرکت در سومین مسابقه ملی طراحی ماشین می‌باشد که دارای مشخصات کلی زیر است:

- پیمایش ۴۴,۲۵ Km با ۲ لیتر بنزین در حالت هیبرید
- پیمایش ۱۲,۳ Km در سیکل شهری در حالت فقط برقی
- موتور احتراق داخلی بنزینی رفت و برگشتی حداکثر ۱۸۰۰ CC

۳- انتخاب نوع آرایش هیبرید

خودروهای برقی هیبرید به سه دسته اصلی آرایش هیبرید سری، موازی و سری– موازی تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل (۱) طرح کلی آنها نمایش داده شده است [۴]. در خودروی هیبرید سری، درجه هیبریداسیون برابر با ۱۰۰٪ یا یک بوده، به آن معنا که توان هر دو موتور احتراقی و الکتریکی باید معادل یکدیگر باشند. در اغلب خودروهای هیبرید موازی، از موتور الکتریکی برای شتاب گیری و کار در سرعت‌های پائین استفاده می‌شود و در نتیجه توان موتور احتراقی از توان موتور الکتریکی بیشتر است اما در خودروی هیبرید سری– موازی این نسبت تقریبا برابر است. هر یک از آرایش‌های فوق از نقطه‌نظرهای عملکردی و اقتصادی مزایا و معایب خاص خود را دارند که در جدول (۱) به برخی مشخصه‌های اصلی اشاره گردیده است.

آرایش موازی از حیث تطابق با خودروهای احتراقی کنونی، همخوانی بیشتری دارد به این معنا که بدون تغییرات عمده در پلات-فرم خودروی احتراقی، می‌توان یک خوردوی احتراقی موجود را به خودروی هیبرید برقی تبدیل نمود. آرایش موازی از نظر نسبت توان موتور احتراقی به توان موتور الکتریکی، به انواع مختلف تقسیم‌بندی می‌گردند که در جدول (۲) با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. تقسیم‌بندی دیگر از نظر چگونگی ترکیب انرژی دو سیستم الکتریکی و احتراقی با چرخ‌های محرک بوده که می‌توان از این جهت به انواع کوپلینگ گشتاور، کوپلینگ سرعت و کوپلینگ نیرو دسته‌بندی نمود [۵].

از نظر محل قرارگیری بخش‌های الکتریکی و احتراقی نیز آرایش موازی به گونه‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. در سیستم‌های هیبرید موازی هم‌محور، شافت موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی روی یک محور مشترک قرار گرفته‌اند. تفاوت این سیستم‌ها به محل قرار گرفتن سیستم کلاچ و تعداد آنها بستگی دارد. سیستم‌های هیبرید موازی غیر هم‌محور نیز به سه دسته با ترکیب‌کننده قبل از جعبه دنده، با ترکیب‌کننده بعد از جعبه‌دنده و آرایش موازی مستقل تقسیم‌بندی می‌شوند [۵].

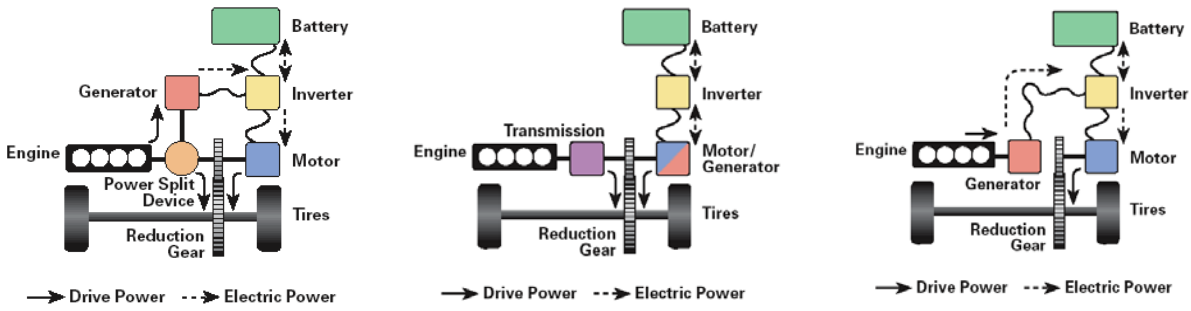
تقریبا اغلب انواع آرایش‌های موازی نیازمند طراحی گیربکس و سیستم انتقال مناسب بوده و لذا با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در این پروژه، به سختی بتوان از موتورهای احتراقی و پلات‌فرم‌های موجود بدون ایجاد تغییرات عمده استفاده نمود. تنها آرایش موازی مستقل بوده که در آن از یک خودروی احتراقی موجود با کمترین تغییرات در سیستم مکانیکی موتور احتراقی می‌توان یک خودروی هیبرید موازی ساخت. از مزایای آرایش مستقل می‌توان به بازگشت انرژی در ترمز بازیاب، بازده بالاتر نسبت به سیستم سری، امکان استفاده از پلت‌فرم‌های موجود و پیچیدگی ساخت کمتر اشاره نمود. از آن جا که این سیستم بر روی یک خودروی دیفرانسیل جلو قابل پیاده‌سازی است، دامنه‌ی انتخاب پلت‌فرم آماده وسیع‌تر خواهد بود. در مقابل، عدم امکان شارژ باتری‌ها در حالت توقف خودرو، محدودیت در ناحیه کاری موتور الکتریکی به دلیل استفاده از گیربکس دور ثابت بر روی محور عقب از معایب این آرایش است.

جدول(۱). مقایسه آرایش‌های مختلف خودروهای هیبرید

مشخصه / آرایش	سری	موازی	سری - موازی
توقف هرزگرد	خوب	خوب	عالی
بازیابی انرژی	عالی	خوب	عالی
کنترل با راندمان حداکثر	خوب	متوسط	عالی
راندمان کلی	خوب	خوب	عالی
شتاب‌گیری	متوسط	خوب	خوب
توان دائمی خروجی	متوسط	متوسط	بالا
پیچیدگی طراحی	متوسط	متوسط	بالا
قیمت	متوسط	پائین	بالا

جدول(۲). انواع مختلف آرایش موازی (P = توان کل نامی خودرو)

مشخصه / نوع سیستم	ایده‌آل	احتراقی اصلی	الکتریکی اصلی
توان سیستم احتراقی	P	P	P >>
توان سیستم الکتریکی	P	P >>	P
برد	خیلی خوب	خوب	ضعیف
عملکرد	خیلی خوب	خوب	خوب
عملکرد بدون آلودگی	ممکن	غیرممکن	ممکن
وزن و حجم	زیاد	مناسب	مناسب
کاربرد	–	سواری – مینی‌بوس	سواری شهری



(الف) آرایش سری (ب) آرایش موازی (ج) آرایش سری- موازی

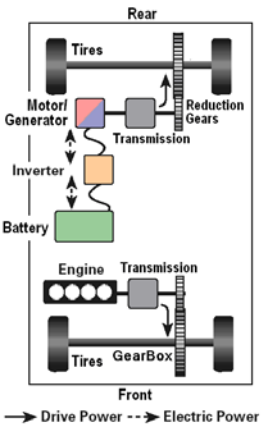
شکل (۱). طرح‌های مختلف خودروهای هیبرید برقی

با توجه به ملاحظات طراحی، کاهش هزینه و محدودیت زمانی پروژه، از خودروی پراید ۱۳۱ که از نوع دیفرانسیل جلو است، استفاده می‌گردد. شکل (۲) طرح کلی خودروی هیبرید موردنظر را نمایش می‌دهد. در این طرح یک موتور احتراقی و گیربکس روی محور جلوی خودرو قرار می‌گیرد و با مکانیزم انتقال قدرت به چرخ‌ها متصل می‌گردد. یک موتور الکتریکی با توانی برابر با ۵۰ الی ۶۰ درصد توان موتور احتراقی روی چرخ های عقب قرار دارد که از این موتور برای راه اندازی خودرو و طی مسیر خودرو در سرعت های کم استفاده خواهد شد. یک گیربکس دور ثابت و دیفرانسیل نیز به چرخ های عقب متصل می‌شود. در بین گیربکس دور ثابت و موتور الکتریکی یک کوپلینگ وجود دارد که تحت دستور سیستم کنترل (HCU) قرار دارد و این سیستم، انتقال قدرت یا عدم انتقال قدرت را توسط این کوپلینگ روی چرخ های عقب کنترل می‌کند.

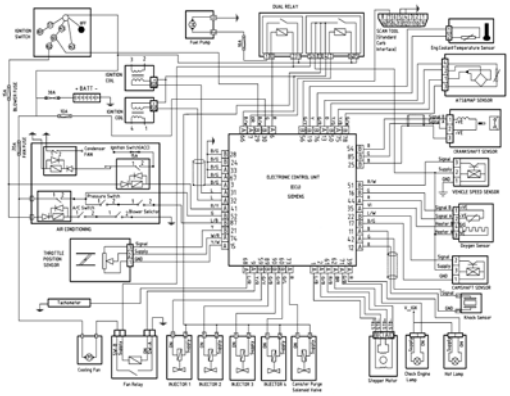
۴- واحد کنترل الکترونیکی(ECU) موتور احتراقی

به‌دنبال انتخاب موتور بنزینی خودروی پراید به‌عنوان موتور استفاده شده در خودروی هیبرید، از بین پنج سیستم کنترل موتور (ECU) این خودرو، سیستم انژکتوری با کیت واحد کنترل زیمنس انتخاب شد. برخی قابلیت‌های این سیستم نسبت به سایر ECU ها عبارتند از: گذراندن استاندارد آلودگی اروپا و قابلیت ارتقا برای گذراندن استانداردهای بالاتر، کم مصرف بودن موتور بنزینی، شتاب‌گیری بهتر، وجود همزمان لامپ اخطار گرم شدن موتور و لامپ عیب‌یابی، وجود سنسور ضربه و طولانی‌تر شدن عمر موتور، برنامه‌ریزی کامل‌تر واحد کنترل موتور بنزینی.

واحد ECU از طریق اطلاعات و سیگنال‌های فراهم شده به وسیله حسگرها، برای تنظیم موتور در وضعیت بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این واحد دو کارکرد اصلی یعنی مدت بازماندن سوخت‌پاش‌ها و تنظیم زمان جرقه‌زنی را کنترل می‌کند. در شکل (۳)، مدار داخلی این واحد نمایش داده شده است که برخی از حسگرها و عملگرهای آن عبارتند از: حسگر دما و فشار هوا، حسگر دمای مایع خنک‌کننده، حسگر وضعیت دریچه‌ی‌گاز، حسگر دور موتور و موقعیت زاویه میل‌لنگ، حسگر موقعیت میل سوپاپ، حسگر سرعت خودرو، حسگر اکسیژن، حسگر ضربه (کوبش)، شیر برقی کنسیتر، کلید اینرسی یا کلید قطع کن، موتور مرحله‌ای، رله دوبل، کویل و انژکتور.



شکل(۲). ساختار کلی خودروی پراید هیبرید طراحی شده



شکل(۳). مدار داخلی ECU نوع زیمنس موتور احتراقی پروژه

۵- واحد کنترل هیبرید (HCU)

واحد کنترل هیبرید امکان کار هماهنگ اجزای متنوع به نحو بهینه را برای رسیدن به اهداف چندگانه و گاه متعارض طراحی از جمله صرفه‌جویی در سوخت و آلودگی کمتر فراهم می‌کند. در خصوص این پروژه، راهبردهای متفاوتی برای استفاده در خودروی هیبرید موردنظر بررسی شدند. در نهایت با توجه به انتخاب آرایش موازی از روش ترکیبی کنترل سطح شارژ باتری و کنترل با روشن و خاموش کردن موتور احتراقی استفاده می‌گردد چرا که کنترل سطح شارژ باتری برای سرعت‌های پائین و سیکل درون شهری و کنترل با خاموش و روشن کردن موتور احتراقی برای سیکل بین شهری و خارج از شهر مناسب‌تر است [۶].

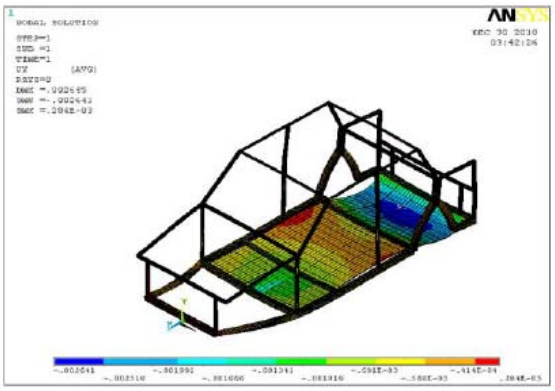
در خودروی طراحی شده، از موتور الکتریکی تا یک سرعت مشخص نه چندان زیاد (۳۰ km/hr) جهت حرکت خودرو استفاده گردیده است. از این سرعت به بالا کوپلینگ مربوطه از مدار خارج شده و موتور احتراقی شروع به کار خواهد نمود. حرکت خودرو در سرعت‌های کم با موتور الکتریکی باعث کاهش آلودگی هوا و آلودگی صوتی می‌شود. در سرعت‌های بالاتر که به توان بیشتری نیاز است و موتورهای احتراقی هم در این سرعت‌ها از بازده‌ی بیشتری برخوردارند، از موتور احتراقی استفاده می‌شود. کنترل‌کننده طراحی شده، قابلیت کنترل خودرو در حالت‌های زیر را داراست:

- موتور الکتریکی پیش‌برنده: اگر گشتاور بار مورد نظر از گشتاور موتور الکتریکی کمتر بوده و شارژ باتری در محدوده مجاز باشد.
- حالت پیش‌برنده ترکیبی: زمانی‌که توان بار زیاد است و هر دو موتور احتراقی و الکتریکی بصورت همزمان گشتاور بار را در سرعت‌های پائین تامین می‌کنند.
- موتور احتراقی پیش‌برنده: زمانی‌که توان بار کمتر از توان موتور احتراقی در حالت کار بهینه است و همچنین در سرعت بالا.
- حالت ترمزی بازیاب تنها: زمانی‌که خودرو در حالت ترمزی بوده و توان ترمزی کمتر از توان حداکثر موتور الکتریکی است و باتری‌ها با توجه به سطح شارژشان ظرفیت شارژ شدن داشته باشند.
- حالت ترمزی ترکیبی: زمانی‌که توان ترمزی از توان حداکثر موتور الکتریکی بیشتر بوده و یا باتری‌ها شارژ کامل باشند، ترمز مکانیکی نیز فعال می‌گردد.

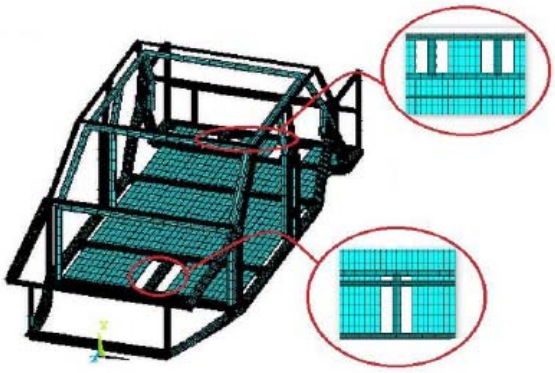
۶- طراحی فریم و شاسی

برای خودروی موردنظر، دو گزینه اساسی پیش رو بوده است. اولین گزینه استفاده از فریم و شاسی یک خودروی آماده که در بازارهای داخلی در دسترس باشد و تغییرات مورد نیاز روی آن انجام شود. گزینه دوم ساخت فریم و شاسی از ابتدا و بر اساس نیازهای جانمایی، استحکام و ایمنی بوده است. با توجه به فاکتورهایی همچون هزینه، زمان، امکان ساخت و ...، تصمیم بر این شد که از فریم و شاسی آماده یکی از خودروهای موجود در بازار داخل استفاده شود. در همین راستا، خودروهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به معیارهایی چون هزینه، وزن، حجم، پایداری، ایمنی، آرگونومی و پس از امتیازدهی، خودروی پراید انتخاب گردید.

با اضافه شدن موتور الکتریکی و متعلقات ان به عقب خودرو، نیاز به تغییر و طراحی مجدد در برخی از قسمت‌های شاسی احساس شده است. طراحی انجام شده شامل پنج گام است. در گام اول پس از شناسایی بارها، محل اعمال آنها مشخص می‌گردد. در گام دوم با بررسی و مقایسه بارگذاری‌ها، خطرناک‌ترین حالت بارگذاری بدست می‌آید. در سومین گام، شکل قفس واژگونی انتخاب می‌شود. در گام چهارم، مدل در نرم‌افزار ANSYS ایجاد می‌شود. در گام آخر نیز مدل تحلیل شده و داده‌ها بررسی و تغییرات لازم در شاسی اعمال می گردند و دوباره تحلیل صورت می‌گیرد. بر اساس نتایج تحلیل‌های بدست آمده مطابق شکل (۴)، در قسمت عقب و کف صندوق عقب اعوجاج بسیار است. همچنین جابجایی در جایی که دسته موتور قرار دارد بالاست. لذا با قرار دادن تیرهای مشخص شده در شکل (۵) شاسی تقویت گردیده است.



شکل(۴). نمایش کانتور جابجایی در حالت بارگذاری استاتیکی



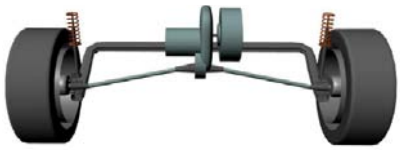
شکل(۵). تغییرات اعمال شده برای تقویت شاسی و کاهش تنش و اعوجاج

۷- سیستم انتقال قدرت عقب خودرو

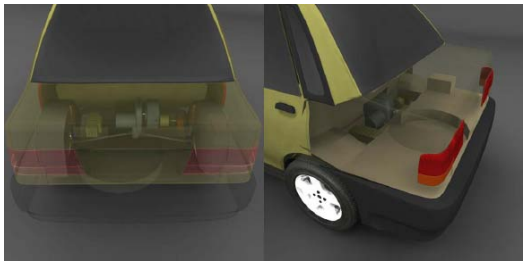
همانطور که گفته شد در قسمت عقب خودرو از یک موتور الکتریکی به همراه گیربکس با نسبت تبدیل ثابت و دیفرانسیل خودروی پراید استفاده می‌گردد. جهت محاسبه نسبت دنده مناسب، از مقدار گشتاور لازم برای شیب روی بیشینه، سرعت نامی موتور الکتریکی و سرعت بیشینه خودرو استفاده می‌گردد.

برای گیربکس عقب خودرو، تنها دو حالت زیر درنظر گرفته می‌شود: (الف) گیربکس در حالت دنده یک ثابت شود. (ب) گیربکس در حالت دنده ۲ ثابت شود. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که با ثابت کردن دنده‌ی گیربکس عقب بر روی دنده دو در مقایسه با حالتی که دنده عقب بروی دنده یک ثابت شود، شتاب حرکت خودرو به روی شیب کمتر خواهد بود که دلیل آن نیز کاهش نسبت تبدیل گشتاور می‌باشد. ولی در حالت دنده دو خودرو قادر به پیمایش شیب بیشتری خواهد بود که دلیل آن نیز کاهش نیروی اینرسی در نتیجه‌ی کاهش شتاب و نهایتا افزایش نیروی عکس‌العملی تکیه گاه بروی چرخ های جلو می‌باشد که افزایش توانایی شیب روی را به همراه خواهد داشت. همچنین در حالت دنده دو در مقایسه با حالت دنده یک، خودرو در حرکت معمولی خود با موتور الکتریکی نیز دارای سرعت بیشینه‌ی بیشتری خواهد بود. نهایتا با در نظر گرفتن این موارد، در محور محرک عقب، از دنده دو گیربکس پراید استفاده خواهد شد.

هم مرکز بودن شفت خروجی موتور الکتریکی و شفت ورودی گیربکس از مسایل بسیار مهم در اتصال موتور الکتریکی به گیربکس می‌باشد. برای این منظور از یک صفحه‌ی فولادی با ابعاد مناسب و با ضخامت ۱۰ میلیمتر استفاده شده است بنحویکه موتور و گیربکس از دو طرف به این صفحه محکم می‌شوند. چیدمان نهایی موتور الکتریکی و گیربکس در روی محور عقب در شکل (۶) نشان داده شده است. برای انتقال توان از موتور الکتریکی به گیربکس از یک محور کوتاه فولادی استفاده می‌شود. در نهایت، مجموعه‌ی موتور و گیربکس به صورت یک واحد یکپارچه خواهند شد و برای نگهداری مجموعه در انتهای خودرو، کافیست گیربکس را مهار کرد. با توجه کاهش گنجایش باک بنزین به ۱۰ لیتر، مقداری فضای اضافی در این قسمت ایجاد خواهد شد که می‌توان از این فضای اضافه برای جانمایی باتری‌ها، موتور الکتریکی و گیربکس استفاده کرد. این جانمایی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل(۶). چیدمان نهایی موتور و گیربکس در روی محور عقب



شکل(۷). جانمایی قسمت عقب

۸- محاسبات کارآیی خودرو

در این بخش، روند انجام شده برای محاسبه معیارهای کارآیی خودرو نظیر، شیب‌روی، برد، سرعت و شتاب بدون ذکر فرمول و محاسبات آورده می‌شوند.

۸-۱- محاسبه شیب‌روی

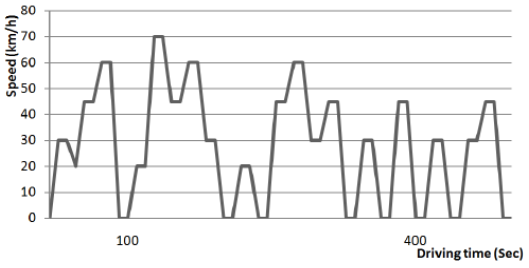
در محاسبه‌ی شیب روی بیشینه با فرض مود شتاب‌گیری برای حرکت، که با استفاده از آن هر دو موتور (عقب و جلو) می‌توانند نیروی پیشران برای خودرو تامین کنند، ابتدا نیروهای مقاوم حرکت تعیین می‌شود و بعد از آن با اعمال قانون دوم نیوتون در سطح شیبدار و نیز با توجه به قیدی که برای جلوگیری از لغزش چرخ های جلو به حرکت اعمال می‌شود، می‌توان میزان شیب روی بیشینه و نیز مقدار شتاب بیشینه خودرو در آن شیب را بدست آورد که به ترتیب عبارتند از ۲۲ درجه (۴۰٫۵٪) و ۱٫۲۵۴ m/s^2.

۸-۲- محاسبه برد

در محاسبات مربوط به برد خودرو ابتدا یک سیکل شهری مطابق شکل (۸) شبیه‌سازی شده است، به این ترتیب که تغییرات سرعت خودرو در زمان‌های مختلف و مدت زمان حرکت‌های سرعت ثابت خودرو در این سیکل پیش‌بینی شده است. پس از آن برای دو حالت برد تمام برقی و برد هیبریدی، با توجه به نحوه استفاده از موتورها در دو حالت مذکور، شماره دنده‌ای که خودرو در آن در حال حرکت خواهد بود و نیز نوع حرکت خودرو در بازه‌های زمانی مختلف (حرکت شتاب‌دار و یا حرکت سرعت ثابت)، نیروهای مقاوم حرکت و پس از آن توان لازم برای غلبه بر آن نیروها محاسبه شده و انرژی مورد نیاز برای آن از منابع موجود انرژی (۲ کیلووات ساعت باتری و ۲ لیتر بنزین) کسر می‌شود. در نتیجه با انرژی محدودی که در اختیار است، میزان برد خودرو محاسبه می‌شود. در حالت الکتریکی کامل برد خودرو با شارژ کامل برابر با ۱۲٫۳ Km خواهد بود و در حالت هیبریدی با دو لیتر بنزین و شارژ کامل برابر با ۴۴٫۲۵ Km بدست می‌آید.

۸-۳- محاسبه سرعت و شتاب خودرو

در محاسبه‌ی سرعت و شتاب برای مسیر ۴۰۰ m آزمون، در صورت استفاده خودرو از حداکثر قدرت خود، شتاب صفر تا صد خودرو ۱۷ m/s خواهد بود که در انتهای این مسیر سرعت خودرو به ۱۲۷ Km/h خواهد رسید.



شکل(۸). سیکل شهری مورد استفاده برای حرکت خودرو

۹- سیستم‌های جانبی مکانیکی

۹-۱- محاسبه مرکز جرم خودرو

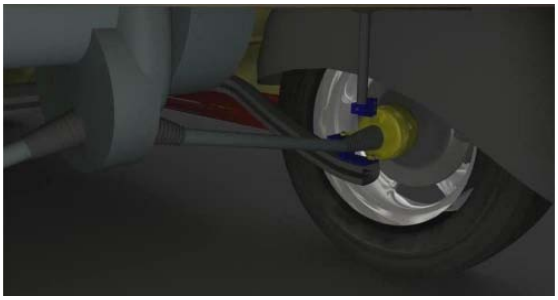
جرم خودروی پراید بدون سوخت ۸۴۵ Kg بوده که با قرار گرفتن تجهیزات الکتریکی به وزن مجموع ۷۵ Kg، جرم خودروی هیبریدی بدست آمده ۹۲۰ Kg است. با نوشتن محاسبات استاتیکی، فاصله مرکز جرم خودرو هیبرید از محور جلو و سطح زمین به ترتیب برابر است با ۱۶۹ cm و ۵۲ cm. مقدار ۴۴٪ از وزن خودرو بر روی محورهای عقب بوده و ۵۶٪ دیگر نیز بر روی محورهای جلوی خودرو است.

۹-۲- سیستم فرمان و کنترل

سیستم فرمان استفاده شده در خودروی پراید از نوع دنده شانه‌ای می‌باشد. با توجه به بررسی های صورت گرفته و استانداردهای موجود، برای حرکت غربیلک فرمان نیرویی معادل ۵ الی۲۰ نیوتن لازم می‌باشد [۷] و لذا طراحی بر اساس نیروی ماکزیمم یعنی۲۰ نیوتن که توسط راننده بر غربیلک اعمال می‌شود در نظر گرفته شده است. نتایج محاسبات صورت گرفته مبین آن است که سیستم فرمان خودروی پراید بطور کامل ارضاکننده‌ی معیارهای طراحی در این خودرو می‌باشد.

۹-۳- سیستم تعلیق

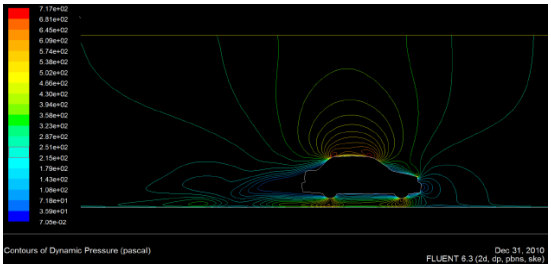
در بررسی سیستم تعلیق ابتدا از لحاظ راحتی سرنشین و تعداد درجات آزادی که برای خودرو درنظر گرفته می‌شود، مناسب‌ترین مدل سازی انتخاب گردیده است. مدل مورد استفاده مدل یک چهارم خودرو با دو درجه آزادی می‌باشد [۸]. در ادامه با توجه به روابط دینامیکی حاکم بر مجموعه و استفاده از اعداد جادویی در طراحی سیستم تعلیق، سختی و دمپینگ مورد نیاز برای تعلیق جلو و عقب (فنرها و کمک‌فنرها) تعیین و ضرایب تصحیح محاسبه شده‌اند. با توجه به اینکه در عقب نیز از چرخ‌های جلو استفاده شده است برای دستیابی به تعلیقی مشابه قبل، دو قطعه به مجموعه اضافه شده‌اند که در نهایت به روش المان محدود این اجزا تحلیل شده‌اند. ضرایب سختی فنرهای جلو و عقب به ترتیب برابر با ۹۹۱۰۰ N/m و ۷۹۲۸ N/m، ضرایب میرایی کمک فنرهای جلو وعقب به ترتیب برابر با ۹۰۶ N.s/m و ۷۳۳ N.s/m آورده شده‌اند. روش اتصال سیستم تعلیق در جلو کاملا منطبق بر شیوه‌ی اتصال آن در خودروی پراید است که از قسمت طبق به شاسی و از بالا به بدنه اتصال می‌یابد که در شکل (۹) نمایش داده شده است.



شکل(۹). اجزای اضافه شده به تعلیق عقب

۱۰- آیرودینامیک بدنه خودرو

علاوه بر طراحی داخل خودرو، بدنه و ظاهر بیرونی خودرو نیز در جذب مصرف‌کننده تاثیر به سزایی دارد. آیرودینامیک بدنه خودرو که تاثیر زیادی در کاهش مصرف انرژی خودرو به ویژه در سرعت‌های بالا و شتاب گیری دارد، نیازمند بررسی ها و تحلیل های پیچیده‌ای برای انتخاب نوع انحناهای بدنه و مکان قرارگیری آنها است. در خودروی هدف به دلیل انتخاب پلت فرم پراید به صورت آماده که تنها facelift روی آن انجام می‌شود، محدوده‌ی کاری در این قسمت انجام تحلیل‌هایی در نرم افزارGambit و Fluent را شامل می‌شود. در این تحلیل ابتدا بدنه خودرو در نرم افزار Gambit مدل‌سازی شده و سپس برای انجام تحلیل‌ها به نرم افزار fluent انتقال یافته است و با استفاده از معادلات حاکم نیروی های وارد بر خودرو به خصوص در سرعت های بالا و در هنگام شتاب گیری بررسی گردیده‌اند. توزیع سرعت و فشار بدست آمده از تحلیل در نرم افزار Fluent حول محور خودرو درسرعت ۲۰ m/s در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود. مطابق شکل بیشترین فشار دینامیکی به منطقه‌ی سقف و تایرها وارد می‌شود که برای مورد اول در قسمت بدنه تدابیری اندیشیده شده است. شکل (۱۱) نمای جلوی خودروی facelift شده را نشان می‌دهد.



شکل(۱۰). توزیع فشار دینامیکی حول خودرو

شکل(۱۱). نمای جلوی خودروی طراحی شده

۱۱- نتیجه‌گیری

در این مقاله، چگونگی طراحی و محاسبه اجزای مکانیکی خودروی هیبرید پراید ساخته شده در دانشگاه کاشان پرداخته شد. این خودرو از نوع موازی مستقل می‌باشد. به دلایل متعدد، روی بخش موتور احتراقی، سیستم ECU و سیستم انتقال توان موتور احتراقی تغییراتی انجام نشده است. موتور الکتریکی بهمراه یک دیفرانسیل، دنده کاهنده ثابت و کلاچ روی محور عقب خودرو قرار دارند. با توجه به افزایش وزن خودرو و تغییر مرکز جرم، و جهت حفظ پایداری، فریم و شاسی اندکی تقویت گردیده‌اند. محاسبات طراحی بخش‌های جانبی خودرو نظیر سیستم تعلیق، فرمان، و ترمز مجددا در نرم‌افزار انجام گردیده‌اند و تغییراتی برای بهبود عملکرد خودرو انجام گردیده است. همچنین آیرودینامیک بدنه خودرو تحلیل گردیده و تغییرات اندکی در بخش جلوی خودرو روی بدنه انجام شده است. این پروژه هم اینک توسط دو تیم دانشجویی برق و مکانیک در دانشگاه کاشان در مرحله ساخت قرار دارد که امید است تا مرداد ۹۰ ساخت آن به اتمام رسیده و تست‌های عملکردی انجام شوند.

۱۲- تشکر و قدردانی

از حمایت‌های بی شائبه ریاست محترم دانشگاه کاشان و همچنین پشتیبانی موثر شرکت سایپا کاشان کمال سپاس را داریم.
همچنین از تیم دانشجویی بخش مکانیک این پروژه که بواقع بهمراه دانشجویان بخش برق، مجریان اصلی انجام این پروژه از ابتدا تا انتها بوده‌اند، کمال تشکر را داریم. اسامی این دانشجویان به ترتیب حروف الفبا عبارتند از: حسن افشاری، آرزو بطحایی، بیژن حیدری شیبانی، فاطمه خانی، نیلوفر دانشیار، مهدی طاهر زاده، شهیده صیادیان، الهه عزیزیان، مهدی غرویان، محمد جواد غیاثی، مهدی مرادی خولنجانی، حسین میرزایی، محمدرضا نساج‌پور.

۱۳- مراجع

[۱] C.C.Chan; "*The State of the Art of Electric and Hybrid, Vehicles*", Proceedings of the IEEE, vol. ۹۰.

[۲] رامین فرنیا، کامران اسماعیلی امین، علی صالح زاده، بررسی علل کاهش مصرف سوخت خودروهای هیبرید در مقایسه با خودروهای احتراق داخلی، ۱۳۷۹

[۳] H. Moghbeli, A. Halvaei Niasar, R. Langari; "*New Generation of Passenger Vehicles: FCV or HEV?*", Proceeding of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT۰٦), pp.٤٥٢-٤٥٩, December ۲۰۰٦, Mumbai, India.

[٤] http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/hybrid/

[٥] M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi and S. Gay; "*Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*". CRC Press, Nov. ۲۰۰٤, USA.

[٦] Halvaei Niasar, A., Moghbelli, H., Vahedi A., *Design Methodology of Drive Train for a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV) and its Power Flow Control Strategy*, IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC ۲۰۰٥), San Antonio, TX, USA, May ۲۰۰٥, pp. ١٥٤٩-١٥٥٤.

[۷] Thomas D.Gillespic; *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, ۱۹۹۲.

[۸] J. h. Smith; *An Introduction to modern vehicle design*, Butterworth-heinemann, ۲۰۰۲.