

به نام خدا

پروژه

طراحی و ساخت

خودروی سواری تک سرنشین هیبرید الکتریکی

آپادانا

مجری : علی صفائی

مکان : دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده مهندسی مکانیک

زمان شروع : مرداد 1386

زمان پایان : مرداد 1388

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	1
فصل اول – مقدمه	2
فصل دوم – معرفی	12
فصل سوم – فاز طراحی و ساخت خودرو	18
(1-3) سیستم تولید و انتقال قدرت	18
(2-3) شاسی	33
(3-3) بدن	44
(4-3) سیستم تعليق	50
(5-3) سیستم فرمان و ترمزها	56
فصل چهارم – فاز تست و اصلاح خودرو	59
(1-4) تست های حرکتی و اصلاحات خودرو	60
(2-4) تست مصرف سوخت خودرو	71
فصل پنجم – زمان بندی اجرای پروژه و لیست هزینه ها	74
(1-5) کل پروژه	74

- 75 فاز اول: مطالعات اولیه (2-5)
- 76 فاز دوم: طراحی (3-5)
- 77 فاز سوم: ساخت (4-5)
- 85 فاز چهارم: تست و اصلاح (5-5)
- 86 آینده پژوه آپادانا
- 87 نتیجه گیری

چکیده

گزارش حاضر، به عنوان گزارش پایانی پروژه طراحی و ساخت خودروی هیبریدی آپادانا ارائه می گردد. در ابتدا، دلایل روی آوردن خودروسازان به سمت ساخت خودروهای هیبریدی و همچنین سیاست هایی که دولت های بعضی از کشورهای صنعتی جهت افزایش تولید و استفاده خودروهای هیبریدی به کار می برد، در مقدمه گزارش آورده شده است. در فصل بعد، تیم آپادانا به عنوان زیرمجموعه ای از گروه خودروی دانشگاه صنعتی اصفهان، معرفی می گردد.

فصل سوم، حاوی اطلاعات تفصیلی در مورد مراحل طراحی و ساخت قسمت های مختلف خودروی آپادانا است. در این فصل، نمونه ای از تحلیل ها، محاسبات و همچنین نقشه های کارگاهی برخی از قطعات خودروی آپادانا به همراه عکس های مربوطه، ارائه می گردد.

فصل چهارم، فعالیت های تیم آپادانا در فاز تست و اصلاح خودرو را شامل می شود. در این فصل تست های انجام شده بر روی خودروی آپادانا و در پی آن اصلاحات صورت گرفته به همراه دلایل آنها ارائه شده اند. در این قسمت نیز نتایج تحلیل های نرم افزاری به همراه نقشه های کارگاهی جهت تکمیل اطلاعات، قرار داده شده است.

فصل پنجم مربوط به جدول زمان بندی و هزینه های پروژه می باشد. در این قسمت هزینه های جزئی مراحل ساخت خودرو آورده شده اند. در پایان، آینده ای که برای پروژه خودروی هیبریدی آپادانا می توان متصور بود، به همراه نتیجه پروژه حاضر، آمده است.

فصل اول

مقدمه

پیشرفت اتومبیل و صنعت خودرو یکی از بزرگترین دستیافتهای تکنولوژی مدرن می‌باشد. اتومبیل کمک بزرگی را به رشد جامعه مدرن با پاسخ دادن به نیازهای جامعه جهت راحتی و آسودگی زندگی روزمره افراد، کرده است. صنعت خودرو در کنار چند صنعت دیگر به عنوان ستون فقرات اقتصاد جامعه مدرن جهانی نقش ایفا می‌کند و به تنها یابخش عظیمی از نیروی کار فعال در جامعه را به خود اختصاص داده است.

اما از طرف دیگر، استفاده از تعداد بسیار زیادی خودرو در سرتاسر جهان مشکلات جدی را برای محیط زیست و حیات انسان بوجود آورده است و در آینده نیز بوجود خواهد آورد. آلودگی هوا، گرم شدن کره زمین و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی کره زمین از عمدۀ ترین مسائلی است که صنعت خودرو در حال حاضر برای حیات بشر ایجاد کرده است.

- آلودگی هوا

در حال حاضر اکثر خودروهای موجود در بازار بر موتور احتراق داخلی خود که سوخت آن بنزین (که از مشتقات یکی از سوخت‌های فسیلی به نام نفت است) می‌باشد، جهت تولید توان مورد نیاز خود برای حرکت، تکیه دارند. احتراق یک فرآیند شیمیایی است که مابین ماده سوختنی و هوا رخ می‌دهد و گرما و فرآیندهای احتراق تولید می‌کند. گرمای تولید شده توسط یک موتور به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود و فرآورده‌های احتراق در اتمسفر آزاد می‌شوند. ماده سوختنی که در فرآیند احتراق جزء مواد واکنشگر است، در واقع یک نوع هیدروکربن است. یک هیدروکربن یک ماده مرکب است که مولکول آن از اتمهای کربن و

هیدروژن تشکیل شده است. در حالت ایده آل، احتراق یک هیدروکربن تولید بخارآب و دی اکسید کربن می کند که برای محیط زیست از نظر آلایندگی مضر نیستند. اما فرآیند احتراقی که در موتورهای درون سوز احتراقی در خودروها رخ می دهد، یک فرآیند ایده ال نیست. فرآورده های احتراق درون این موتورها، علاوه بر بخارآب و دی اکسیدکربن حاوی مقادیری از کربن مونواکسید، اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن های نساخته می باشد که همه اینها برای سلامت انسان، مضر هستند.

اکسیدهای نیتروژن در فرآورده های احتراق موتورهای درون سوز احتراقی، از واکنش بین نیتروژن موجود در هوا و اکسیژن بوجود می آیند. در شرایط معمولی نیتروژن یک گاز خنثی است. ولی در دمایها و فشارهای بالا، بسیار فعال می باشد. در فرآیند احتراق، شرایط برای واکنش نیتروژن و اکسیژن فراهم است. درصد زیادی از اکسیدهای نیتروژن تولیدی، به صورت نیتریک اکسید (NO) است. نیتریک اکسید خروجی از اگزوز خودرو، با اکسیژن موجود در هوا دوباره واکنش می دهد و نیتروژن دی اکسید (NO_2) تولید می کند. بعداً این ماده تحت اثر اشعه فرابنفش نور خورشید، به نیتریک اکسید و اتم فوق العاده فعال اکسیژن تبدیل می شود. این اتم اکسیژن موجود در هوا بر سلول های حیاتی بدن انسان اثر مخرب می گذارد. همچنین نیتروژن دی اکسید تولیدی با بخارآب موجود در هوا واکنش داده و تولید نیتریک اسید (HNO_3) می کند. نیتریک اسید عامل اصلی تولید باران های اسیدی و در نتیجه نابودی جنگلهای و بناهای باستانی در کشورهای صنعتی است.

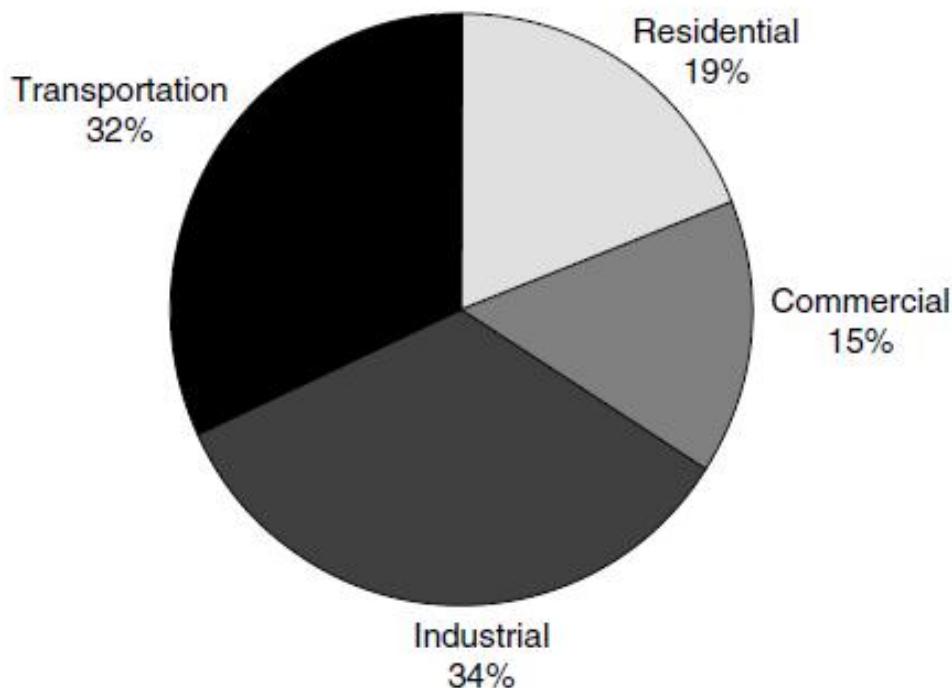
کربن مونواکسید در اثر احتراق ناقص هیدروکربن ها بدلیل کمبود اکسیژن در محیط ایجاد می شود. کربن مونواکسید یک ماده سمی برای انسان یا هر موجود زنده ای است که آنرا تنفس می کند. هنگامی که مونواکسید کربن وارد بدن می شود، جای اکسیژن در گلبول های قرمز را می گیرد و در نتیجه از مقدار اکسیژنی که به بافت های مختلف بدن می رسد، می کاهد و در نهایت موجب مرگ انسان خواهد شد.

هیدروکربن های نساخته نیز در اثر احتراق ناقص هیدروکربن ها ایجاد می شود. هیدروکربن های نساخته بسته به ماهیتشان برای موجودات زنده مضر هستند. هیدروکربن های نساخته در اتمسفر تحت اثر اشعه فرابنفش خورشید، تولید مولکول ازن (O_3) می کنند. ازن به غیر از اثری که بر گرم شدن سریع تر کره زمین می گذارد، به سلول های بدن موجودات زنده حمله می کند و موجب پیری زودرس و در نهایت مرگ آنها می گردد. افراد مسن تر از این نظر در خطر بیشتری هستند. سالانه، مرگ تعدادی از افراد در شهرهای آلوده جهان در اثر مقدار بیش از حد مجاز ازن در اتمسفر، گزارش می شود.

- گرم شدن جهانی کره زمین

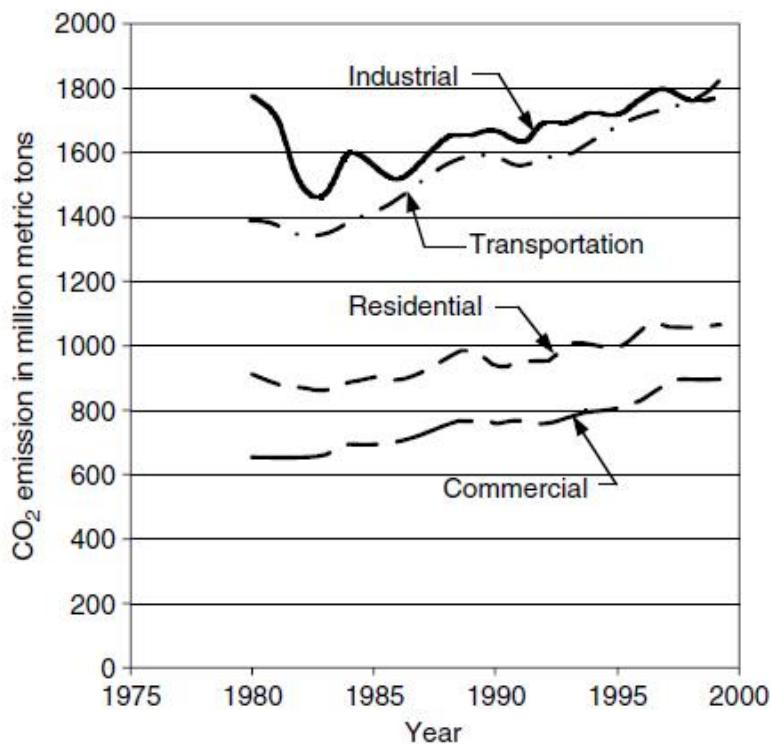
گرم شدن کره زمین در نتیجه اثر گلخانه ای گازهای موجود در اتمسفر مانند کربن دی اکسید و متان می باشد. این گازها، امواج مادون قرمز نور خورشید که توسط زمین منعکس می شوند را درون اتمسفر زمین به دام می اندازند. این امر باعث می شود که انرژی گرمایی این امواج در اتمسفر زمین باقی بماند و دما را افزایش دهد. یک افزایش جزئی در دمای زمین موجب ایجاد آثار مخرب زیست محیطی در محیط می شود که در نهایت بر روی جمعیت انسان ها تأثیر می گذارد.

کربن دی اکسید محصول احتراق هیدروکربن ها و ذغال سنگ می باشد. حمل و نقل درصد قابل توجهی از آلایندگی دی اکسید کربن هوا (32% در سالهای 1980 تا 1999) را بوجود می آورد. در شکل ۱-۱ ، توزیع دی اکسید کربن در سالهای 1980 تا 1999 را در جهان مشاهده می کنید.



شکل ۱-۱ - توزیع تولید دی اکسید کربن در بخش های تولیدی جهان در سالهای 1980 تا 1999

همچنین در شکل 2-1 می توانید روند تأثیر حمل و نقل در تولید دی اکسید کربن موجود در هوا را مشاهده کنید. همانطور که ملاحظه می کنید همواره درصد قابل توجهی از این مقدار متعلق به بخش حمل و نقل بوده است. نکته دیگر این است که روند تولید دی اکسید کربن در بخش حمل و نقل در طول 25 سال گذشته یک سیر صعودی داشته است.



شکل 2-1 - روند تأثیر حمل و نقل در تولید دی اکسید کربن موجود در هوا

- کاهش ذخایر سوخت های فسیلی

قسمت اعظمی از سوخت مصرفی بخش حمل و نقل، سوخت های مایعی است که از نفت مشتق می شوند. نفت یک سوخت فسیلی است که از تجزیه سلولهای موجودات زنده که میلیون ها سال در زیر لایه های مستحکم زمین محبوس شده اند، بدست می آید.

" ذخیره اثبات شده نفت " ، مقدار نفتی است که براساس اطلاعات زمین شناسی و مهندسی با درصد قطعیت بالایی تحت شرایط اقتصادی و اجرایی موجود از منابع شناخته شده نفت، در آینده استخراج خواهد شد. شرکت نفت بریتانیا در سال 2001 آماری منتشر کرد که در آن مقدار ذخیره اثبات شده نفت در جهان به تفکیک مناطق مختلف اعلام شد. این آمار در جدول 1-1 مشاهده می شود. همچنین در این جدول یک ضریب (R/P ratio) داده شده است که بیانگر تعداد سالی است که این ذخایر با توجه به شرایط تولید حال حاضر، باقی خواهند ماند.

Proved Petroleum Reserves in 2000

Region	Proved Reserves in 2000 in Billion Tons	R/P ratio
North America	8.5	13.8
South and Central America	13.6	39.1
Europe	2.5	7.7
Africa	10	26.8
Middle East	92.5	83.2
Former USSR	9.0	22.7
Asia Pacific	6.0	15.6
Total world	142.1	39.9

جدول 1-1 - آمار مقدار ذخیره اثبات شده نفت در جهان به تفکیک مناطق مختلف

در کنار این آمار در سال 2001 توسط شرکت آمار زمین شاسی ایالات متحده، آماری در مورد منابع کشف نشده نفت بر روی کره زمین اعلام شد. این آمار در جدول 2-1 آمده است.

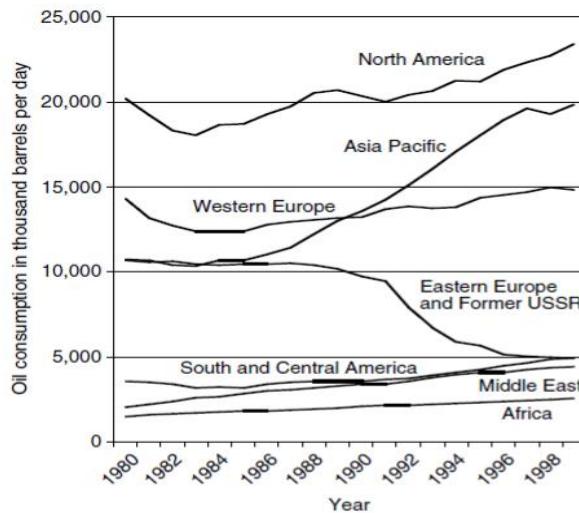
U.S. Geological Survey Estimate of Undiscovered Oil in 2000

Region	Undiscovered Oil in 2000 in Billion Tons
North America	19.8
South and Central America	14.3
Europe	3.0
Sub-Saharan Africa and Antarctica	9.7
Middle East and North Africa	31.2
Former USSR	15.7
Asia Pacific	4.0
World (potential growth)	98.3 (91.5)

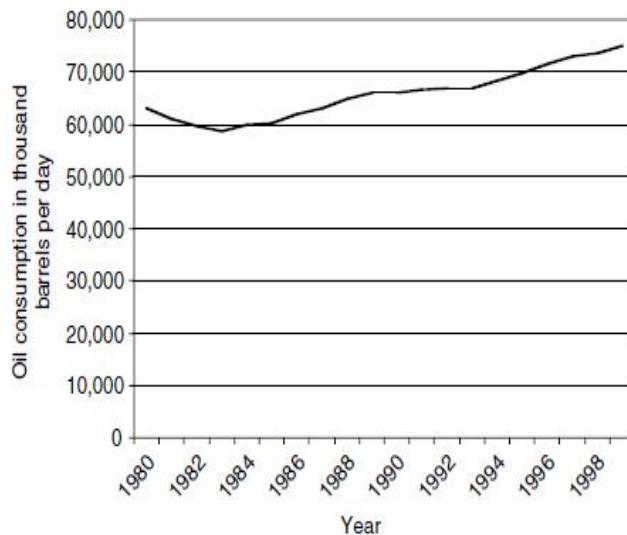
جدول 2-1 - آمار منابع کشف نشده نفت بر روی کره زمین

نکته ای که باید به آن توجه کرد، این است که دلیل عدم اکتشاف این مقدار زیاد منابع نفتی، شرایط نامساعد محیط در این مناطق است (مثلاً در سیبری و شمال آمریکا).

حال مشاهده آماری در مورد روند رشد مصرف نفت در جهان، خالی از لطف نخواهد بود. براساس آمار موجود، مصرف نفت در کشورهای جنوب شرقی آسیا به طرز سرسرام آوری در حال افزایش است. در مقابل، مصرف نفت در کشور روسیه و کشورهای بلوک شرق اروپا در حال کاهش است. برآیند این افزایش ها و کاهش ها این می شود که مصرف نفت در کل جهان سیر صعودی دارد. این آمارها در شکل های 3-1 و 4-1 نشان داده شده اند.

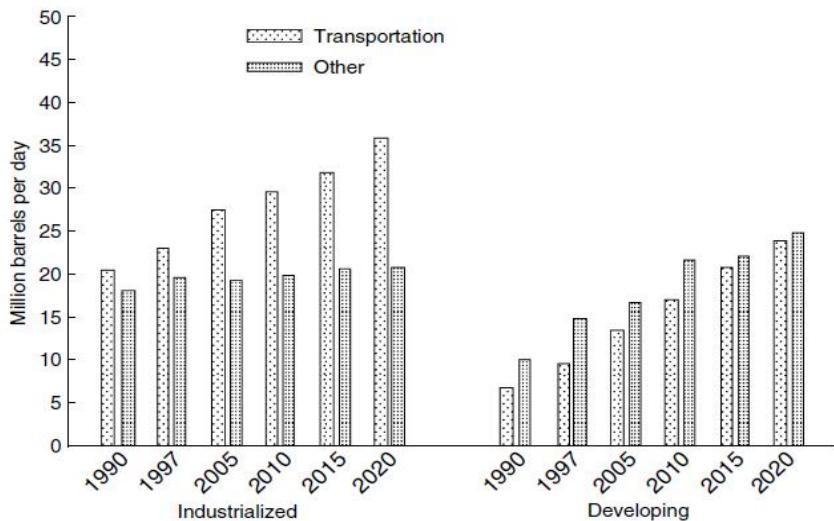


شکل 3-1 – مصرف نفت در مناطق مختلف کره زمین



شکل 4-1 – مصرف نفت کلی کره زمین

در ضمن همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، درصد بالایی از مصرف نفت در جهان مربوط به بخش حمل و نقل می باشد.



شکل ۱-۵ - مقایسه مصرف نفت در حمل و نقل و قسمتهای دیگر صنعتی

تعیین تعداد سالهایی که منابع نفتی زمین می توانند نفت مورد نیاز انسان را تأمین کنند بطور کامل به روند اکتشاف منابع جدید در سالهای آینده بستگی دارد. اطلاعات بدست آمده در طول تاریخ نشان می دهد که سرعت اکتشاف منابع جدید نفت در حال حاضر پایین است. از طرف دیگر، آمارها نشان می دهند که مقدار مصرف نفت به سرعت در حال افزایش است. اگر روند اکتشاف ذخایر نفتی و مقدار مصرف نفت در جهان به همین ترتیب ادامه یابد، پیش بینی می شود که انسان فقط تا سال 2038 می تواند از نفت استفاده کند.

با توجه به شرایط کنونی جهان و معضلات فراوانی که با مصرف سوخت های فسیلی ایجاد می شود و در بالا به آنها اشاره شد، می توان به اهمیت موضوع کاهش مصرف سوخت های فسیلی در بخش حمل و نقل پی برد.

در دهه های اخیر تحقیقات و پیشرفت ها در صنعت خودرو در جهان، بیشتر در زمینه افزایش بازده، تمیز بودن و ایمنی حمل و نقل انجام گرفته است. خودروهای الکتریکی، هیبرید الکتریکی و سلول سوختی نمونه هایی از این پیشرفت ها هستند. در این بین خودروهای هیبرید الکتریکی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند؛ هم مصرف سوخت را کاهش داده اند و هم نسبت به موارد مشابه با اقبال بیشتری بین مردم روبرو شده اند.

خودروهای هیبرید الکتریکی از موتورهای احتراق داخلی معمول، جهت تأمین توان اولیه خود و از باتری به همراه موتورهای الکتریکی جهت تأمین توان اضافی مورد نیاز خود استفاده می کنند. این خودروها از چند

دیدگاه قابل دسته بندی هستند؛ ولی در یک دسته بندی کلی، به ۳ نوع سری ، موازی و سری - موازی تقسیم می شوند :

- هیبرید سری : در این نوع هیبرید، موتور احتراق داخلی نقش شارژکننده باتری هایی را به عهده دارد که برق مورد نیاز موتور الکتریکی را تأمین می کنند و فقط موتور الکتریکی نیروی محرکه را به چرخها می دهد.

- هیبرید موازی: در این نوع هیبرید، دو سیستم تولید قدرت مجزا در خودرو وجود دارد. در این خودروها، هم موتور احتراق داخلی می تواند نیروی محرکه لازم را به چرخها بدهد و هم موتور الکتریکی. ضمناً باتری ها توسط موتور احتراق داخلی شارژ نمی شوند.

- هیبرید سری - موازی: در این سیستم که کاملترین نوع هیبرید و در عین حال پیچیده ترین آنها نیز می باشد، موتور احتراق داخلی و موتور الکتریکی هر دو نیروی محرکه لازم را تأمین می کنند(که با تغییر درصد توان آنها از توان کل مصرفی خودرو، نوع هیبرید از تمام هیبرید تا الکتریکی صرف تغییر می کند). همچنین در این سیستم، موتور احتراق داخلی می تواند باتری ها را شارژ کند.

این خودروها نسبت به خودروهای معمولی بازده بیشتری و نسبت به خودروهای الکتریکی صرف، برد مسافت بیشتری دارند. تا سال 2006 تعداد زیادی خودروی هیبرید توسط شرکت های آمریکایی و ژاپنی ساخته شد که کم مصرف ترین آنها خودروی تویوتا پایروس با مصرف کم تر از 3/5 لیتر بنزین در 100 کیلومتر (در شرایط خیابان های شهری) می باشد. در مقابل، خودروهای سلول سوختی هستند که بصورت بالقوه بازده بیشتری نسبت به خودروهای هیبرید الکتریکی دارند ولی در حال حاضر در حد آزمایشگاهی پیش رفته اند و زمان زیادی خواهد برد که آنها تجاري شوند.



شکل 1-6- خودروی هیبریدی تویوتا پایروس

در سال 2008 تعداد 450 هزار خودروی هیبرید الکتریکی در جهان خریداری شده است و پیش بینی می شود این آمار در سال 2015 به رقم 4 میلیون خودرو در سال برسد. برای ورود هر چه بیشتر خودروهای هیبریدی به بازارهای مصرف جهان، علاوه بر تعریف پروژه هایی با هدف طراحی و ساخت این خودروها در کارخانه های بزرگ خودروسازی، عامل دیگری نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است و آن ترغیب خریداران به سمت خودروهای هیبریدی است. خودروهای هیبریدی بدلیل استفاده از تکنولوژی روز، در مقایسه با خودروهای معمولی گران تر هستند و به همین دلیل عوام مردم در نگاه اول دید مثبتی به خرید این خودروها ندارد. بدین منظور در سالهای گذشته دولت های کشورهای پیشرفته با اتخاذ سیاست هایی سعی در جلب توجه مردم به استفاده از خودروهای هیبریدی کرده اند. بطور مثال دولت ژاپن از تابستان امسال تا اواسط سال 2010 به خریداران خودروهای هیبریدی یا الکتریکی یارانه ای معادل 200 هزار ی恩 تقریباً برابر با 2000 دلار می پردازد. همچنین دولت آمریکا در ماه جاری اعلام کرده است که به خریداران تراکتورهای هیبرید الکتریکی کمک مالیاتی 9000 دلاری خواهد کرد. در کنار کمک های مالی به خریداران، دولت ها کمک هایی نیز به تولیدکنندگان خودروهای هیبریدی کرده اند. از این دست اقدامات توسط این دولت ها در سالهای اخیر بسیار انجام شده است.

در ایران نیز در طی چند سال گذشته فعالیت های مثبتی در زمینه طراحی و ساخت خودروهایی با تکنولوژی جدید آغاز شده است. فعالیت هایی که بدلیل وجود منابع و ذخائر نفتی و گازی عظیم در کشور با سرعت کمتری نسبت به کشورهای دیگر دنبال می شوند. با توجه به ذخائر فراوان گاز در کشور، قسمت بیشتری از فعالیت هایی که در سطح صنعتی مورد استفاده وسیع قرار گرفته است، مربوط به استفاده از گاز طبیعی به جای بنزین در خودروها می باشد. با این وجود تحقیقات در زمینه طراحی و ساخت خودروهای الکتریکی و هیبریدی ادامه داشته است. این فعالیت ها را می توان به چند دسته تقسیم کرد:

- تحقیقات در کارخانه های بزرگ خودروساز. مانند طرح ساخت خودروی هیبریدی در ایران خودرو که البته با فراخوان به دانشگاه های بزرگ کشور همراه بوده است.

- تحقیقات در دانشگاه ها با حمایت کارخانه های خودروساز و یا سایر مؤسسات. مانند پروژه اتوبوس هیبرید که با همکاری دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه تهران، مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست و شرکت ایران خودرو در حال انجام است.

- تحقیقات در دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی بدون حضور کارخانه ها و مؤسسات. مانند پیاده کردن تکنولوژی سلول سوختی بر روی خودروی سواری پراید در دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

همانطور که ملاحظه می شود گام های اولیه در کشور ما برداشته شده است و با حضور نیروهای جوان و با استعداد باید به آینده امیدوار بود. همچنین در کنار فعالیت های صنعتی، برگزاری مسابقات

دانشجویی در زمینه طراحی و ساخت خودروهای الکتریکی و هیبریدی می‌تواند به تسريع روند بومی سازی این تکنولوژی‌ها در کشور کمک کند. طی دو سال گذشته دو دوره مسابقه دانشجویی با عنوان طراحی و ساخت خودروهای الکتریکی و هیبرید الکتریکی توسط پژوهشکده شهید رضایی دانشگاه صنعتی شریف برگزار شده است. این مسابقات با حمایت مالی چندین شرکت انجام گردیده است. برگزاری این گونه مسابقات علاوه بر مورد ذکر شده، از نظر ترویج فرهنگ کارگری و ایجاد بستر مناسب جهت آشنایی دانشجویان با مسائل و فعالیت‌های صنعتی نیز حائز اهمیت می‌باشد.

امید است که در آینده نه چندان دور، شاهد انبوه سازی خودروی سواری هیبریدی در کشور باشیم.

فصل دوم

معرفی

گروه آپادانا به عنوان زیر مجموعه ای از گروه خودروی دانشگاه صنعتی اصفهان ، فعالیت خود را با 7 نفر عضو (که بعدها این تعداد به 10 نفر رسید) به طور رسمی از مرداد ماه سال 1386 با هدف ساخت یک خودروی کم مصرف تک سرنشین با استفاده از تکنولوژی هیبریدی و همچنین شرکت در مسابقات طراحی و ساخت خودروی کم مصرف که در کشور فرانسه با نام Shell Ecomarathon به صورت سالانه برگزار می شود، آغاز کرد. گروه خودروی دانشگاه صنعتی اصفهان یک گروه قدیمی می باشد که از سال 1381 شروع به فعالیت نموده است. خلاصه فعالیت های این گروه بدین شرح می باشد :

- شرکت در مسابقات آفریقای جنوبی در سال 2004 با خودروی صحرایی (MINI BAJA) و کسب جایزه ویژه مسابقات در بخش طراحی اقتصادی و عنوان پیشرفتہ ترین تیم .
- ساخت نمونه دوم خودروی مینی باجا ، با افزایش قابلیت های ویژه خودروی قبلی در سال 2005.
- طراحی و ساخت خودروی فرمول (FORMULA) به عنوان اولین خودروی فرمول خاورمیانه ، که پس از شرکت در مسابقات جهانی انگلستان به عنوان سوم در قسمت طراحی این مسابقات دست یافت .
- در سال 1387 ، دو تیم از زیر مجموعه های گروه خودروی دانشگاه صنعتی اصفهان در مسابقات ملی و جهانی شرکت کردند:
- تیم SUPERMILEAGE در مسابقات SHELL ECO MARATHON ، در قسمت PROTOTYPE شرکت کرد و توانست یکی از جوایز ویژه مسابقات را از آن خود کند.

همچنین تیم پارسا که بر روی خودروی الکتریکی (EV) کار می کرد ، توانست در مسابقات دانشگاه صنعتی شریف ، مقام دوم را کسب کند.

تیم آپادانا در ابتدای کار اهداف خود را در چارچوب های زیر تعریف کرد:

- طراحی و ساخت یک خودروی سواری شهری تک سرنشین.
- بومی سازی تکنولوژی خودروی هیبریدی در کشور.
- کاهش مصرف سوخت .
- کاهش آلودگی هوا.
- تربیت نیروی جوان متخصص در زمینه خودرو.
- شرکت در مسابقات برون مرزی.

در مرحله بعد، پروژه در قالب یک پروژه تیمی دانشجویی تعریف شد و به ۵ فاز تقسیم گردید:

- فاز اول: تحقیقات و مطالعات اولیه. در این قسمت، تحقیقات و مطالعات بر اساس فعالیت های انجام گرفته در زمینه مربوطه چه در داخل و چه در خارج از کشور انجام گرفت. کتاب ها و سایت های اینترنتی مختلف به عنوان مراجع اصلی به کار رفته و چندین نفر از اساتید دانشکده های مهندسی مکانیک و مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان به عنوان مشاور، اعضای تیم را راهنمایی کردند. بعلاوه با توجه به ساخت چندین خودرو در دانشگاه صنعتی اصفهان در سال های اخیر، در زمینه های عمومی خودرو(به غیر از سیستم هیبریدی) از تجربیات گروه های قبلی نیز استفاده شد.
- فاز دوم : طراحی. در این مرحله از پروژه، افراد گروه با توجه به اطلاعات به دست آمده از فاز اول و همچنین با استفاده از نرم افزار های مربوطه، مراحل طراحی قسمت های مختلف خودرو را آغاز کردند. مهمترین و در ضمن طولانی ترین بخش ، طراحی سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی و استراتژی کنترل آن بود.
- فاز سوم: ساخت. پس از اتمام طراحی ها، تیم وارد فاز ساخت و خرید قطعات مورد نیاز خودرو شد. در این فاز نیز، تهیه ادوات تولید و انتقال قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار بود.
- فاز چهارم : تست و اصلاح. در این فاز، خودروی ساخته شده جهت انجام فعالیت های اصلاحی، در مراحل مختلف مورد تست و آزمایش قرار گرفت. در پایان پروژه ، براساس نتایج بدست آمده در مرحله تست، موارد اصلاحی خودرو انجام گرفت.
- فاز پنجم : شرکت در مسابقات، کنفرانسها و جشنواره ها.

سپس تقسیم وظایف صورت گرفت و تیم براساس فعالیت هایی که پیش بینی می شد و همچنین با استفاده از تجربیات اساتید مشاور، به صورت زیر سازماندهی گردید:

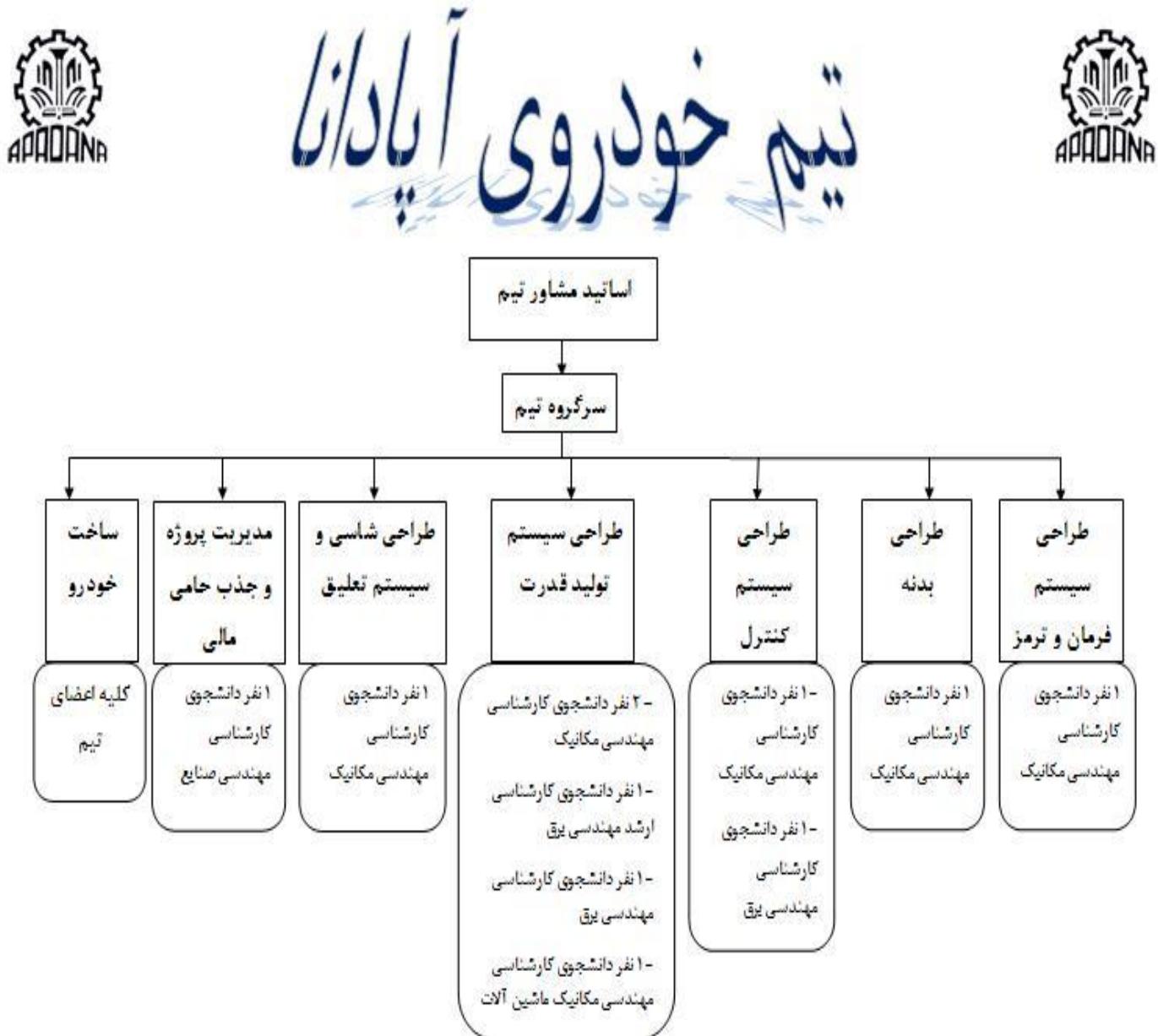
- اساتید مشاور: یک تیم دانشجویی که متشکل از دانشجویانی است که از تجربه کافی و اطلاعات علمی کامل برخوردار نیستند، نیازمند یک تیم مشاور خوب می باشد که تیم را در مسیر صحیح خود قرار دهد. تیم مشاور گروه آپادانا از اساتید دانشکده های مهندسی مکانیک و مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان تشکیل شده بود.
- سرگروه تیم: سرگروه تیم به عنوان فرد هماهنگ کننده عمل می کرد و پل ارتباطی بین تیم مشاور و اعضای گروه بود. همچنین مسئولیت تیم بر عهده او بود.
- مدیر پژوهش و مسئول امور مالی: در تیم آپادانا یک نفر دانشجوی رشته مهندسی صنایع، آشنا به امور برنامه ریزی و مالی، سرگروه تیم را در برنامه ریزی های کلی گروه یاری می کرد.

- بخش های فنی تیم:

- 1- سیستم تولید و انتقال قدرت خودرو: این بخش، قسمت اصلی فعالیت گروه خودروی آپادانا بود که خود به چند قسمت جزئی تر تقسیم می شد:
 - بخش موتور احتراق داخلی: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک ماشین آلات.
 - بخش موتور الکتریکی و منبع انرژی الکتریکی: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی برق.
 - بخش انتقال قدرت هیبریدی: دو نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک.
 - بخش کنترل: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک و یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی برق.
- 2- شاسی و سیستم تعليق خودرو: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک.
- 3- بدنه خودرو: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک.
- 4- سیستم فرمان و ترمز خودرو: یک نفر دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک.



شکل ۱-۲ – اعضای تیم آپادانا



شکل 2-2 - نمودار سازماندهی تیم آبادانا

فصل سوم

فاز طراحی و ساخت خودرو

(1-3) سیستم تولید و انتقال قدرت:

سیستم تولید قدرت خودروی آپادانا یک سیستم سری موازی است. این سیستم شامل یک موتور احتراق داخلی، یک موتور الکتریکی، یک ابرخازن، یک انتقال قدرت پیوسته، یک کلچ اتوماتیک و سیستم کنترل کننده است. با توجه به اینکه هدف، طراحی یک خودروی شهری بوده است، در تمامی مراحل طراحی، این معیار به عنوان یک معیار تعیین کننده در نظر گرفته شده است.

تعیین اندازه ادوات سیستم تولید قدرت هیبریدی

با توجه به ماکزیمم سرعت مجاز یک خودروی شهری در روز که 60 کیلومتر بر ساعت میباشد، طراحی سیستم تولید قدرت هیبریدی آپادانا بر اساس سرعت ماکزیمم 60 کیلومتر بر ساعت و سرعت متوسط 15 کیلومتر بر ساعت انجام شد. از طرف دیگر با توجه به کمیاب بودن ادوات هیبرید در کشور و همچنین مشکلات واردات قطعات، با طیف کوچکی از قطعات برای به کار بردن در سیستم روبرو بودیم. در اینجا محاسبات انجام گرفته در این قسمت به صورت خلاصه آورده شده است. در قسمت اول، محاسبات مربوط به ماکزیمم توان مورد نیاز برای حرکت خودرو با در نظر گرفتن شیب 10 درصد جاده دیده می شود. در قسمت دوم، محاسبات مربوط به توان مورد نیاز برای حرکت خودرو با ماکزیمم سرعت آورده شده است. در آخرهم محاسبات تعیین ظرفیت ابرخازن که در سیستم به کار می رود، ملاحظه می شود.

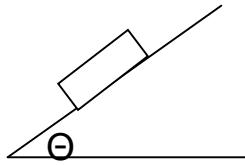
18

$$M = 220 \text{ kg} \quad C_{rr} = 0/015 \quad C_d = 0/1$$

$$A_{\text{frontal}} = 1/22 \text{ m}^2 \quad g = 9/81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho_{\text{air}} = 1/21 \text{ kg/m}^3 \quad R_{\text{wheel}} = 0/28 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{cvt}} = 0/6 \quad \eta_{\text{clutch}} = 0/8$$



$$a = 0 \quad \& \quad W_{\max}$$

$$\sin \theta \approx \theta = 10\% = 0/1$$

$$V_{\text{ave}} = 5 \text{ km/h} \quad (5/18) = 4/17 \text{ m/s}$$

$$\sum F = C_{rr} Mg + 0.5 C_D A \rho (V_{\text{ave}})^2 + Mg \sin \theta$$

$$\sum F = C_{rr} Mg + 0.5 C_D A \rho (V_{\text{ave}})^2 + Mg \sin \theta$$

$$= (0/015) (220) (9/81) + (0/5) (0/1)$$

$$(1/22)(1/21)(6/94)^2 + (220) (9/81) (0/1)$$

$$= 32/4 + 1/27 + 215/82$$

$$= 249/463 \text{ N}$$

$$T = (\sum F) R_{\text{wheel}} = (249/463) (0/28) = 69/85 \text{ N.m}$$

$$\Omega = V_{\text{ave}} / R_{\text{wheel}} = 4/17 / 0/28 = 14/89 \text{ rad/s}$$

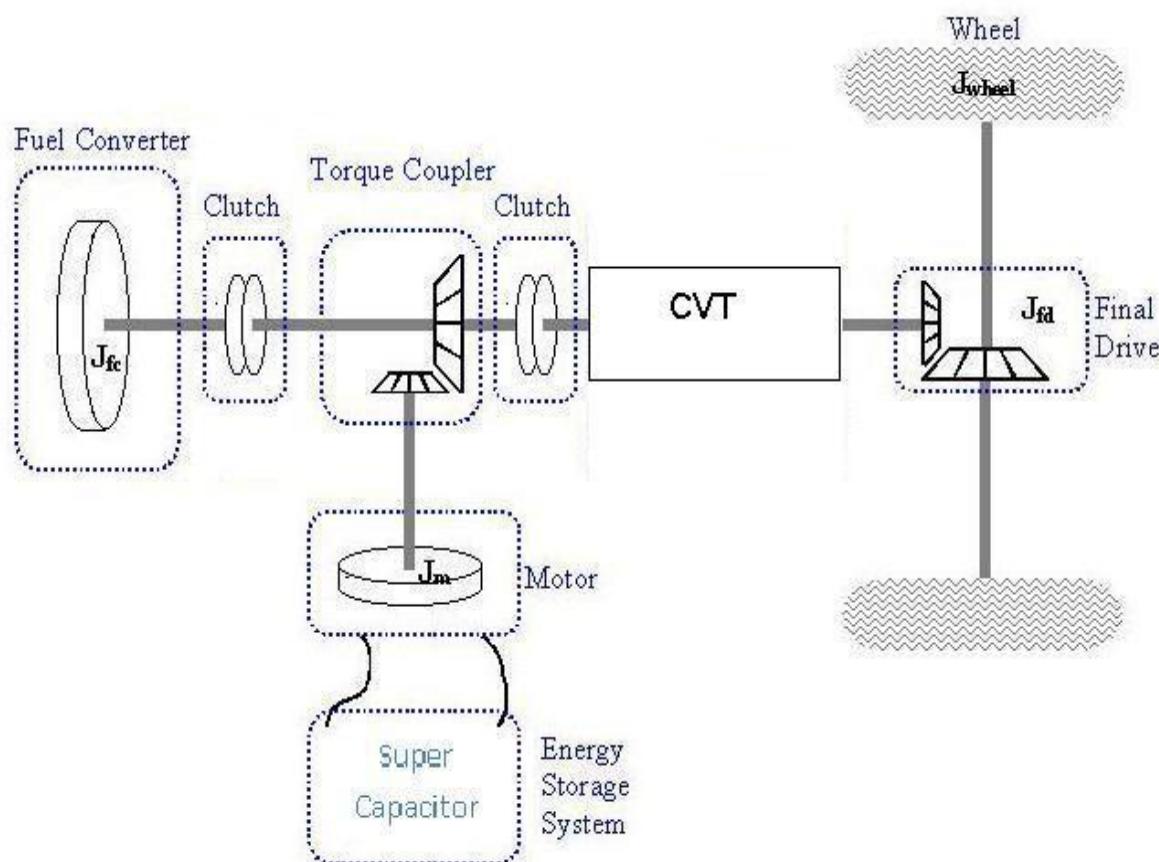
$$W = T \Omega / \eta_{\text{total}} = (69 / 85) (14 / 89) / (0 / 8) (0 / 6)$$

$$= 2 / 17 \text{ kW}$$

$$\implies W_e + W_m = 2 / 17$$

☆ $W_e = 1 / 8 \text{ kW} , W_m = 0 / 6$ (1-3)

$V_{\text{ave}} = 16 \text{ km/h}$ (2-3)



شکل ۱-۳ - نمای شماتیک سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی خودروی آپادانا

γ.

$$V_{max} = 60 \text{ km/h} (5/18) = 16/67 \text{ m/s}$$

$$\sum F = C_{rr} Mg + 0/5 C_D A \rho (V_{max})^2$$

$$= 32/4 + 20/51$$

$$= 52/91 \text{ N}$$

$$a=0 \text{ & } V_{max}$$



$$T = (\sum F) R_{wheel} = (52/91) (0/28) = 81/14 \text{ N.m}$$

$$\Omega = V_{max}/R_{wheel} = 16/67/0/28 = 59/53 \text{ rad/s}$$

$$W = T\Omega / \eta_{total} = (14/81) (59/53) / (0/6) (0/8)$$

$$1/84 \text{ kw} =$$

$$\Rightarrow W_e = 1/8 \text{ kw} , V_{max} = 59 \text{ km/h} \quad (3-3)$$

$$\Rightarrow W_m = 0/6 \text{ kw} , V_{max} = 29 \text{ Km/h} \quad (4-3)$$

$$W_m \cdot t = (0/5) \cdot C \cdot (V_{max}^2 - V_{min}^2)$$

$$V_{max} = 24 \text{ v} , V_{min} = (0/5) (24) = 12 \text{ v}, t = 180 \text{ s}, W_m = 0/6 \text{ kw}$$

$$\Rightarrow C = (600) (180) / (3/8) / (24^2)$$

$$= 500 \text{ F}$$

$$\star \quad C = 520 \text{ F}, V = 24 \text{ v} \quad (5-3)$$

بنابراین موتور احتراق داخلی با توان ماکزیمم $1/8$ کیلووات و موتور الکتریکی با توان ماکزیمم $0/6$ کیلووات انتخاب شد. همچنین یک ابرخازن با ظرفیت 520 فاراد انتخاب گردید. بقیه ادوات، متناسب با این 3 قطعه اصلی انتخاب شدند.

ملاحظات کنترلی سیستم تولید قدرت هیبریدی

رابطه (3-6) باید همیشه توسط راننده محاسبه و چک شود.

$$\begin{aligned}\Omega_e &= [6000 - 4500] \text{ rpm} \\ T_E &= T_G + T_w = 2/5 \text{ N.M}\end{aligned}\quad (6-3)$$

گشتاور engine در هر لحظه از حرکت، توسط یک ترک سنج سنجیده می شود و در نمایشگر نمایش داده می شود. گشتاور $2/5$ نیوتن متر که در اینجا وارد محاسبات شده است، ماکزیمم گشتاور تولیدی موتور احتراق داخلی در بازه ایده‌آل است.

همچنین در ادامه منظور از ژنراتور، حالت ژنراتوری موتور الکتریکی و منظور از موتور، حالت موتوری موتور الکتریکی است.

۱. استارت : (شروع کار کنترل)

۵ ثانیه مکث برای گرم شدن و در گیر شدن کلاچ اتوماتیک درنظر گرفته می شود. سپس وقتی ژنراتور به موتور احتراق داخلی وصل شد، ژنراتور را شارژمی کند. در این حالت راننده با استفاده از پدال گاز و نمایشگرهای روبرو دور موتور احتراق داخلی را در محدوده بهینه که با توجه به اطلاعات موجود بین 4500 تا 6000 دور بر دقیقه می باشد، قرار می دهد و ماشین حرکت می کند. راننده باید ترک engine را با پدال گاز روی 2.5 قرار دهد.

$$T_E \sim 2/5 \text{ N.M}$$

$$T_w \sim \Rightarrow T_E = T_G + T_w \sim T_G = 2/5 \text{ N.M} \quad (7-3)$$

$$\Omega = [4500, 6500] \text{ rpm}$$

۲. در حال حرکت :

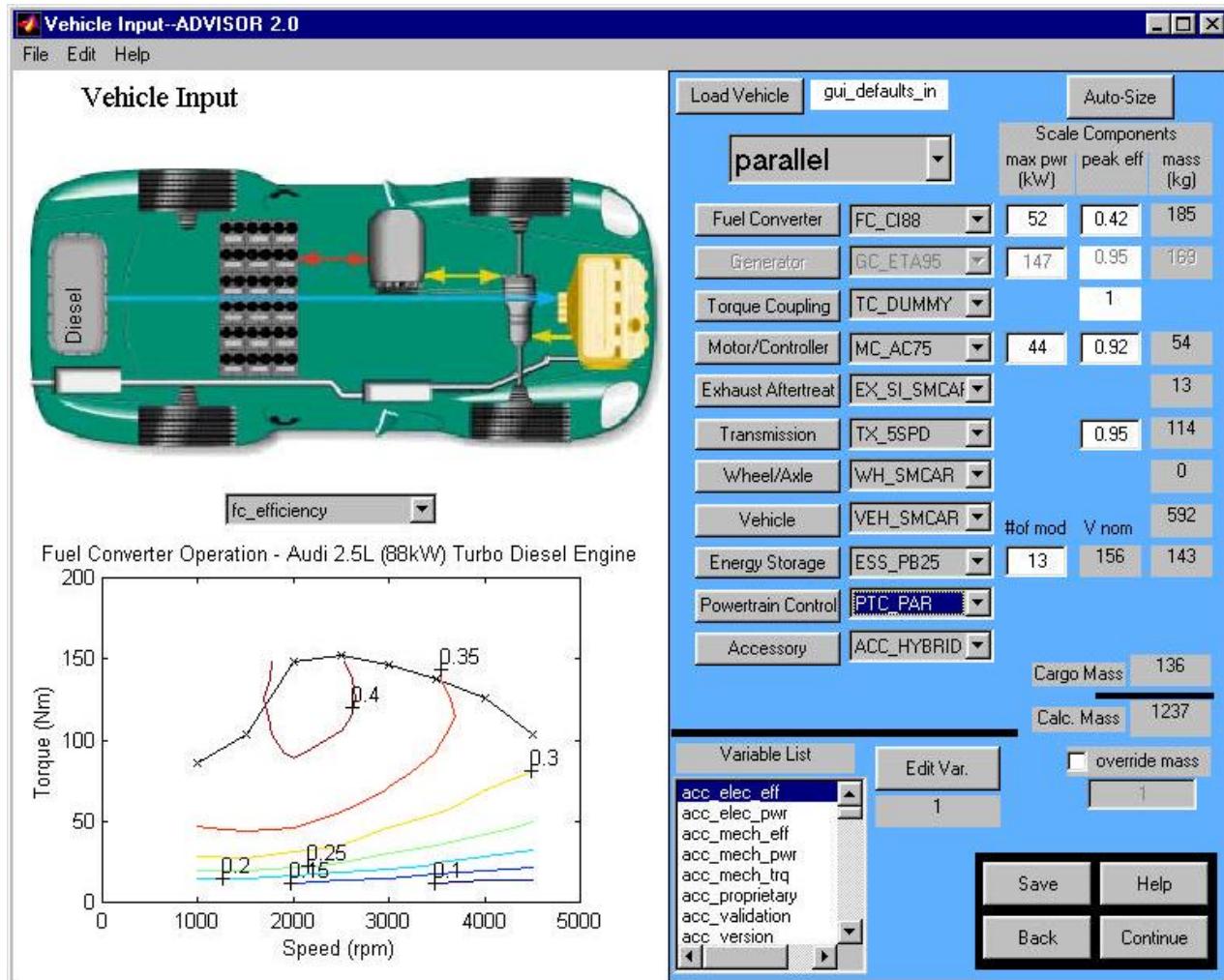
راننده با استفاده از پدال گاز و نمایشگرهای روبرویش ، سرعت مورد نظر ماشین را کنترل می کند و همانطور که گفته شد با محدود کردن کورس پدال گاز سرعت دورانی موتور احتراق داخلی در محدوده بهینه قرار می گیرد. یک سنسور همیشه سرعت خودرو را به کنترلر ارسال می کند. تا زمانی که شارژ ابرخازن کامل نشده است، موتور احتراق داخلی به تنها یی، تمام قدرت لازم برای حرکت را تأمین می کند. در این حالت ماکریم سرعت خودرو با توجه به شرایط مسیر متغیر است.

۳. ابرخازن پر شده است (به حدی از شارژ برسد که بتوان از آن استفاده کرد)

به محض آنکه شارژ ابرخازن تکمیل شد، سنسوری که به ابرخازن متصل است به راننده نمایش می دهد که ابرخازن پر شده است. در این زمان راننده با توجه به شرایط مسیر حرکت باید برای نحوه استفاده از دو منبع قدرت تصمیم بگیرد. با توجه به اینکه رابطه ی ولتاژ خازن و سرعت موتور/ژنراتور به صورت خطی است، بنابراین به هر ولتاژ خازن، سرعتی از موتور/ژنراتور نسبت داده می شود که کار کردن سیستم در بیشتر از آن باعث می شود، ژنراتور فعال باشد و کار کردن سیستم در کمتر از آن سرعت باعث می شود که موتور فعال باشد.

تعیین مصرف سوخت خودرو

تعیین مصرف سوخت خودرو از دو طریق به صورت دقیق قابل انجام است. روش اول استفاده از نرم افزارهایی نظیر " ADVISOR " است که البته در این کار با دشواری شبیه سازی یک سیستم جدید در نرم افزار روبرو هستیم. تیم آپادانا در این زمینه به مدت ۲ ماه فعالیت هایی را انجام داد که متأسفانه به نتیجه ی مطلوبی نرسید. هدف تیم آپادانا برای پروژه آتی، کار بر روی این قسمت خواهد بود.



شکل ۲-۳ – نمایی از نرم افزار ADVISOR

روش دوم، استفاده از "دینامومتر" است. این روش نیز مشکلاتی دارد که بزرگترین آنها در دسترس نبودن دستگاه دینامومتر است.

بنابراین ملاحظه می شود که تا زمان اندازه گیری دقیق مصرف سوخت خودروی آپادانا، ناگزیر به رجوع به محاسبات خود هستیم. در اینجا محاسبه ای برای تعیین مصرف سوخت خودروی آپادانا آمده است که تقریباً عدد ۲ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر را نشان می دهد:

((اگر خودروی آپادانا در یک مسیر یک ساعته با سرعت متوسط ۲۵ کیلومتر بر ساعت حرکت کند، تقریباً در ۰/۴ از مدت طی مسیر موتور احتراق داخلی خاموش بوده است و در این مدت توان متوسط ۱.۶۴ کیلووات

را تأمین می کند. با توجه به عدد مصرف سوخت 340 گرم بر کیلووات ساعت که به عنوان یک عدد متوسط در مشخصات موتور احتراق داخلی خودروی آپادانا وجود دارد و همچنین چگالی 692 کیلوگرم بر مترمکعب برای بنزین، خواهیم داشت :))

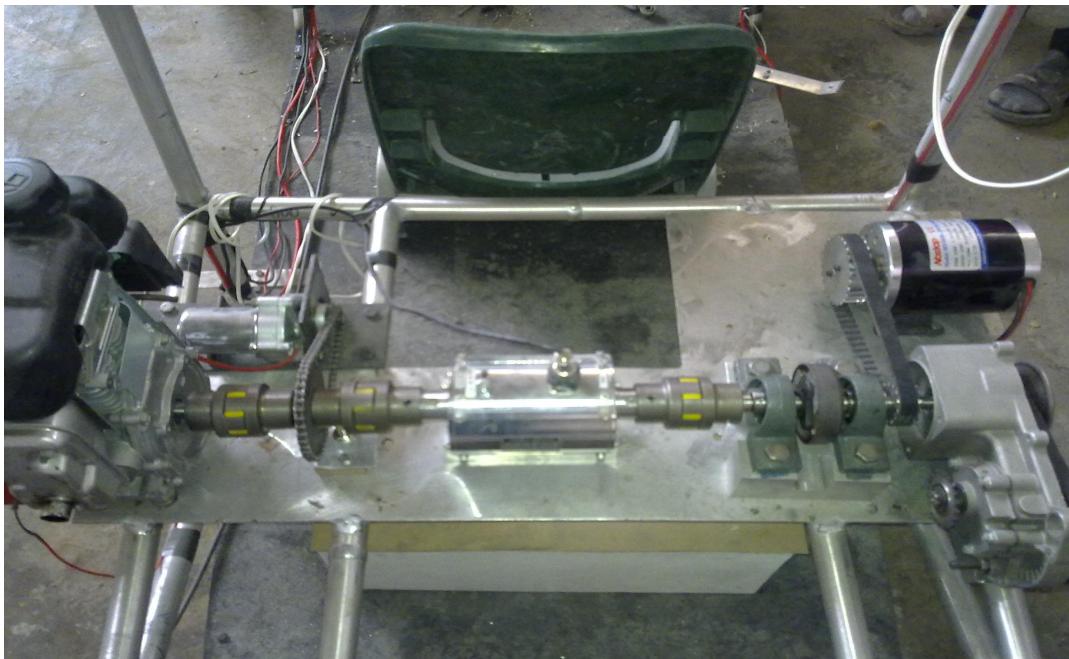
$$E = (1/64) (0/6) (1) = 0/984 \text{ kwh}$$

$$M_{\text{oil}} = (0/984) (340) = 0/335 \text{ kg}$$

$$V_{\text{oil}} = (0/335) / (692) = 0/48 \text{ liter}$$

→ **$V_{\text{oil}} \text{ in } 100 \text{ km} = 1/9 \text{ liter}$** (8-3)

با توجه به کارکرد موتور احتراق داخلی در محدوده بهینه، عدد مصرف سوخت از 340 کمتر خواهد بود و در عمل (پس از ساخت خودرو) می توان به مصرف سوختی کمتر از این امیدوار بود، البته باید خطاهای محاسبات را نیز در نظر داشت.



شکل 3 - نمایی از سیستم تولید و انتقال قدرت خودروی آپادانا

مشخصات فنی ادوات تولید و انتقال قدرت

.1 موتور احتراق داخلی



شکل 4-3 – موتور احتراق داخلی خودروی آپادانا

Specifications

Engine Type	Air-cooled, 4-Stroke, OHV, single cylinder
Bore x Stroke	41.8 x 36 mm (1.65 x 1.42 in)
Displacement	49 cm ³ (2.99 cu in)
Compression Ratio	8.0 : 1
Net Horse Power Output*	1.6kW (2.1HP) at 7,000 rpm
Net Torque	2.7 Nm (2.0 lbs ft) at 4,500 rpm
PTO Shaft Rotation	Counterclockwise (from PTO shaft side)
Ignition System	Transistorized magneto ignition
Starting System	Recoil Starter
Carburetor	Float Type

Lubrication System	Forced Splash
Governor System	Centrifugal Mechanical
Air Cleaner	Semi-dry Type
Oil Capacity	0.25l (0.26 US qt, 0.22 Imp qt)
Fuel Tank Capacity (liter)	0.77l (0.81 US qt)
Dimensions (L x W x H)	225mm(8.9 in) x 274mm (10.8 in) x 353mm (13.9 in)
Dry Weight	5.5 kg (12.1 lbs)



شكل 5-3 – موتور الكترويكي خودروی آپادانا



شكل 6-3 – CVT خودروی آپادانا

2. موتور الكترويكي

- ولتاژ 24 ولت

- توان 600 وات (پيوسته)

- سرعت دورانی $200 + 2800$ دور بر دقيقه

- وزن : 4 کيلوگرم

CVT .3

- ماکزيمم نسبت تبديل 1:9

- وزن تقربي 6 پوند

- ابعاد : $5.5 * 4 * 9$ اينچ

۴. کلاچ اتوماتیک

در سیستم انتقال قدرت خودروی آپادانا، یک عدد کلاچ اتوماتیک بر روی شافت خروجی موتور بنزینی و قبل از موتور الکتریکی قرار دارد. این کلاچ از نوع گریز از مرکز بوده و با توجه به سختی فنر استفاده شده در آن، در سرعت مشخصی درگیر می‌شود.



شکل ۳-۷ – کلاچ اتوماتیک خودروی آپادانا

۵. ابر حازن

- 1.Total capacitance:500F.
- 2.The max. operating voltage:25VDC
- 3.Charging current: Max. 10A(at fixed current and voltage)
- 4.Charging time: about 1250 seconds.
- 5.Rated discharging current:>= 100A (25C)
- 6.DC resistance: <=0.03 ohm.(at testing current 100A)
- 7.Max energy saved: 156.25kj
- 8.Working Temperature:-40C- +70C
- 9.Storage Temperature: -50C--+80C.
- 10.Outling Dimension:400*1600*1900(L*W*H).
- 11.N.W.: 12.5kg



شکل ۳-۸- ابرخازن خودروی اپادانا

ساخت و مونتاژ سیستم

کلیه ادوات به همراه قطعات جزئی تر بر روی یک ورق از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 نصب شده اند. به این صورت فاکتور کاهش وزن در نظر گرفته می شود. اتصال شافت اصلی به محور عقب، توسط یک چرخ زنجیر که به صورت نامتقارن بر روی شافت عقب قرار گرفته است، می باشد. منظور از نامتقارن این است که دندنه زنجیر از نظر موقعیت طولی بر روی شافت عقب، در مرکز شافت قرار ندارد. اگر قرار بود دندنه زنجیر دقیقاً در مرکز شافت قرار بگیرد، تقریباً ۵ کیلوگرم به وزن خودرو اضافه می شد. با اتصال مستقیم خروجی CVT به شافت عقب که در آن دندنه زنجیر به یکی از چرخ ها نزدیک تر است، بار به صورت نامتقارن بر روی یاتاقان های درون چرخ ها که تکیه گاه شافت عقب هستند، وارد می شود. این مشکل با انتخاب یاتاقان های قوی تر حل شد.

تیم آپادانا با توجه به سرعت پایین خودرو، وزن پایین و هزینه بالا تصمیم گرفت از دیفرانسیل بر روی محور عقب استفاده نکند. خودروهای مشابه خارجی نیز از دیفرانسیل استفاده نمی کنند. ایده ای که برای جایگزین کردن به جای دیفرانسیل توسط یکی از اعضای تیم ارائه شد، استفاده از بلبرینگ های یکطرفه در توبی چرخ های عقب بود. یاتاقان های یکطرفه به این ترتیب عمل می کنند که در جهت حرکت روبه جلوی محور عقب، آزاد هستند ولی در جهت حرکت روبه عقب، قفل می شوند. با استفاده از دو عدد از این نوع یاتاقان ها در هر یک از چرخ ها، هر یک از چرخ ها می توانستند به صورت مستقل از یکدیگر حرکت کنند (به عبارت دیگر چرخ ها بر روی محور عقب، صلب نمی شوند). این ایده می توانست مشکل نبود دیفرانسیل را در هنگام پیچیدن خودرو حل کند. مشکل این طرح آن بود که با این کار، خودرو نمی توانست روبه عقب حرکت کند. همچنین قیمت این نوع یاتاقان ها در مقایسه با یاتاقان های معمولی بسیار بالاتر است. در نهایت

اعضای تیم متفق القول به این نتیجه رسیدند که از این قطعه در چرخ ها استفاده شود. البته در فاز تست خودرو، این یاتاقان ها معطلات دیگری بوجود آوردند که موجب حذف آنها از سیستم شد.

جهت افزایش دور موتور بنزینی (گاز دادن)، یک عدد پدال گاز در جلوی اتاق راننده و پایین پای او تعییه شده است. برایی کاهش وزن و همچنین سادگی سیستم، گازدادن موتور بنزینی بوسیله سیم انجام می گیرد و هیدرولیکی نیست.

اتصال موتور الکتریکی بر روی شافت خروجی موتور بنزینی به صورت دو عدد پولی و یک تسمه تایمینگ می باشد. با استفاده از تسمه تایمینگ و پولی های شیار دار اتلاف انرژی را در این قسمت کاهش دادیم. برای انتخاب تسمه تایمینگ مطلوب، با استفاده از نمودارهای طراحی و سرعت ماکریم محور خروجی موتور احترافی که برابر با 6000 دور بر دقیقه است و همچنین توان 2/2 اسب بخاری این محور، تسمه تایمینگ نوع L انتخاب شد.

یکی از قسمت های حساس مونتاژ سیستم انتقال قدرت بر روی شاسی، نصب صحیح کلاچ اتوماتیک بر روی شافت خروجی موتور بنزینی بود، به صورتی که صفحات درونی و بیرونی کلاچ به طور هم مرکز نسبت به هم قرار گیرند. در صورتی که این دو صفحه هم مرکز نباشند، اتلاف کلاچ بالا رفته و مصرف سوخت افزایش خواهد یافت. دو نفر از اعضای گروه هم مرکزی دو صفحه کلاچ را با استفاده از ابزارهای مختلف، اندازه گیری می کردند. در نهایت، این دو صفحه با خطای پایینی نسبت به یکدیگر هم مرکز شدند.

پیش از مونتاژ سیستم تولید و انتقال قدرت بر روی شاسی، اعضای تیم تصمیم گرفتند که سیستم هیبریدی را یکبار به صورت بدون بار آزمایش کنند. بدین منظور یک پایه شبیه به قسمتی از شاسی خودرو که برای مونتاژ سیستم در نظر گرفته شده بود، با استفاده از لوله های آهنی ساخته شد. سپس تمامی ادوات بر روی پایه نصب و سیستم هیبریدی آزمایش گردید. نتیجه نهایی رضایت بخش بود و نشان داد که موتور بنزینی متناسب با مقدار سرعت دورانی خود، خازن را در ولتاژهای مختلف توسط موتور الکتریکی شارژ می کند. این موضوع، اساس طرح هیبریدی خودروی آپادانا است.

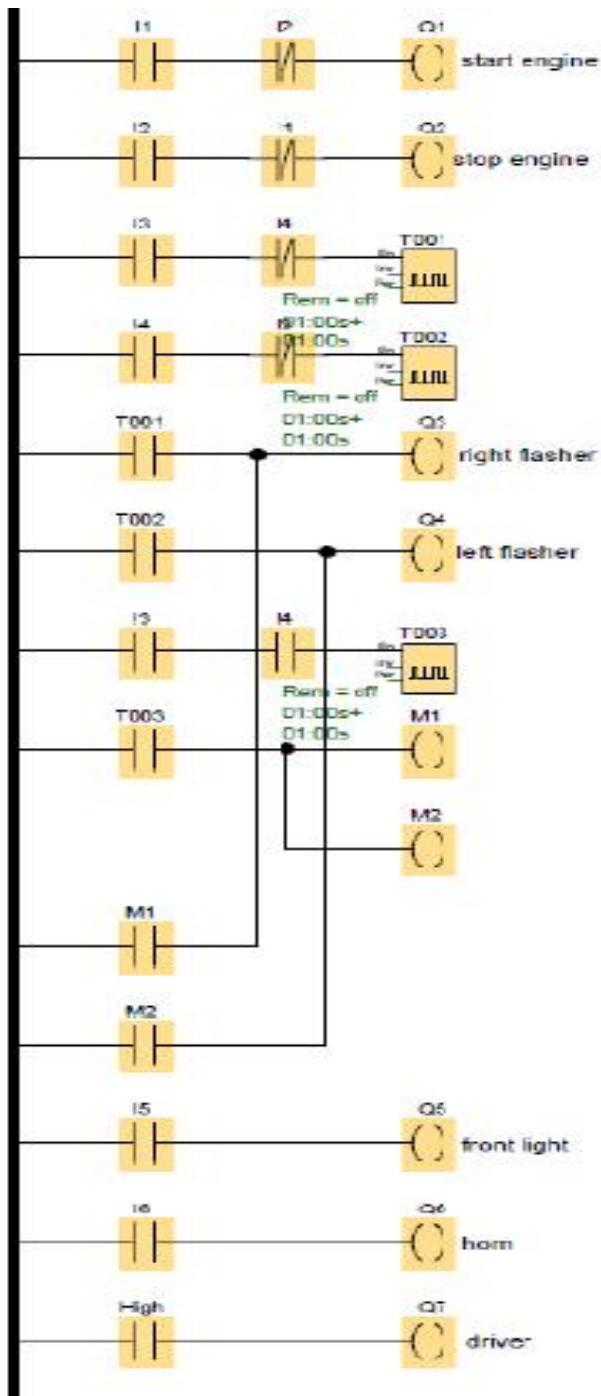
برای تأمین استراتژی کنترل، نیاز به تعدادی نمایشگر، ولتمتر و آمپرmetr داریم. منبع برق این ادوات 3 عدد باتری 12 ولت است. همچنین جهت سادگی سیستم و جلوگیری از تعدد مدارات الکتریکی، برای اتصال تمامی نمایشگرها به منابع تغذیه، از یک عدد PLC در خودروی آپادانا استفاده شده است. برنامه نویسی PLC توسط دو نفر از اعضای گروه انجام شده است. بعلاوه برای تأمین برق ادوات جانبی خودرو مانند چراغ ها، بوق و درایور موتور الکتریکی از سیستم فوق استفاده می شود. برای روشن و خاموش کردن موتور بنزینی، یک استارتر موتورسیکلت بر روی سیستم نصب شد. برق این استارتر توسط یکی از باتری های 12 ولتی که جدا از سیستم تولید قدرت هستند، تأمین می شود. همچنین دو کلید روشن و خاموش موتور بنزینی بر روی برد

جلوی خودرو قرار داده شده اند که جهت استارت زدن و خاموش کردن موتور بنزینی به کار می روند. همچنین برای استفاده از نمایشگرهای روی برد خودرو، نیاز به برق AC در خودرو داشتیم. که بدین منظور، یک عدد اینورتر برای تبدیل برق DC باتری ها به AC در سیستم به کار رفته است.



شکل ۳-۹ - برد جلوی خودروی آپادانا (نمایشگرها و PLC)

برنامه نویسی PLC استفاده شده در خودروی آپادانا :



(2-3) شاسی

شاسی یک خودرو، پایه‌ی یک خودرو است و استحکام کل خودرو را تأمین می‌کند. استراتژی اصلی در طراحی شاسی خودروی آپادانا، وزن کم است؛ اگر می‌خواهیم مصرف سوخت خودرو را کاهش دهیم، باید وزن آن را کم کنیم.

انواع شاسی

بطور کلی شاسی خودروها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- شاسی‌های مستقل یا سرخود. این گروه از شاسی‌ها بصورت یک قطعه جدا از بدنه ساخته می‌شوند و سپس بدنه روی شاسی سوار می‌گردد. شاسی‌های صفحه‌ای و فضایی در این دسته قرار دارند. شاسی فضایی از نظر ایمنی نسبت به شاسی صفحه‌ای برتری دارد. مزیت اصلی این شاسی‌های مستقل، راحتی ساخت شاسی بدون ماشین آلات صنعتی است. از این رو هنوز در بعضی از نقاط جهان، در خودروهای دست ساز که برای اهداف خاصی ساخته می‌شوند، این دسته شاسی‌ها و اکثرًا از نوع فضایی، بکار می‌روند. معایب شاسی‌های فضایی عبارتند از:

1. حجم زیاد و بسته شاسی که موجب محدودیت فضای قابل استفاده داخل اتاق می‌شود.
2. مشکلات هنگام نصب درها و پنجره‌ها که موجب دشواری ورود و خروج سرنشینان می‌شود.

3. توانایی ساخت این نوع شاسی به صورت سری سازی و مکانیزه مقدور نیست و این امر موجب قیمت تمام شده بالای این نوع شاسی می‌شود.

امروزه در کارخانه‌های بزرگ خودروسازی جهان، شاسی 99 درصد خودروها به صورت یکپارچه با بدنه ساخته می‌شوند.

- شاسی‌های یکپارچه با بدنه. همانطور که از اسم آن بر می‌آید، این نمونه از شاسی‌ها با بدنه یکپارچه هستند و مجموع این دو، اتاق خودرو را تشکیل می‌دهد. اولین گونه از شاسی‌های یکپارچه، شاسی‌های مونوکوک یا گسترده هستند که امروزه نیز شاسی اکثر خودروهای سواری معمولی از این گونه است. طرح مونوکوک یک شاسی گسترده کلی است که فرم کلی آن شبیه به فرم اتاق خودرو بوده و از اتصال قطعات مختلف با ابعاد متفاوت به هم اتاق را تشکیل می‌دهد. جهت ساخت این نوع از شاسی‌ها از ماشین آلات صنعتی بسیاری مانند انواع پرسها، ربات‌های انتقال دهنده قطعات و ... استفاده می‌شود. معایب شاسی‌های گسترده عبارتند از:

1. اولین ایراد این گونه از شاسی وزن بالای آن می‌باشد.
2. عدم توانایی تعمیر اساسی شاسی پس از وارد آمدن ضربات سنگین.

۳. پخش شدن ضربات حاصل از برخورد در کل مجموعه اتاق و شاسی که موجب تغییر شکل ناخواسته در بسیاری از قسمتهای اتاق و شاسی پس از وارد آمدن یک ضربه به اتاق می شود.

البته با توجه به معایب شاسی های گسترده، تلاش برای دستیابی به یک شاسی یکپارچه که عاری از عیوب های ذکر شده باشد، ادامه یافته است و نتیجه آن ساخت شاسی های فلزی فوق سیک است.

طراحی شاسی خودروی آپادانا

با توجه به اطلاعات فوق، مناسبترین نوع شاسی برای خودروی آپادانا، شاسی فضایی لوله ای است. این انتخاب به دلایل زیر صورت گرفت:

- وزن کم شاسی فضایی که مهمترین فاکتور طراحی در پروژه حاضر می باشد. در ضمن با انتخاب لوله برای اعضای شاسی فضایی، وزن خودرو کمتر می شود.
- ساخت آسان شاسی بدون نیاز به ماشین آلات صنعتی.
- دارا بودن ایمنی قابل قبول با توجه به هدف ساخت خودروی آپادانا در برابر شاسی صفحه ای و شاسی های گسترده.

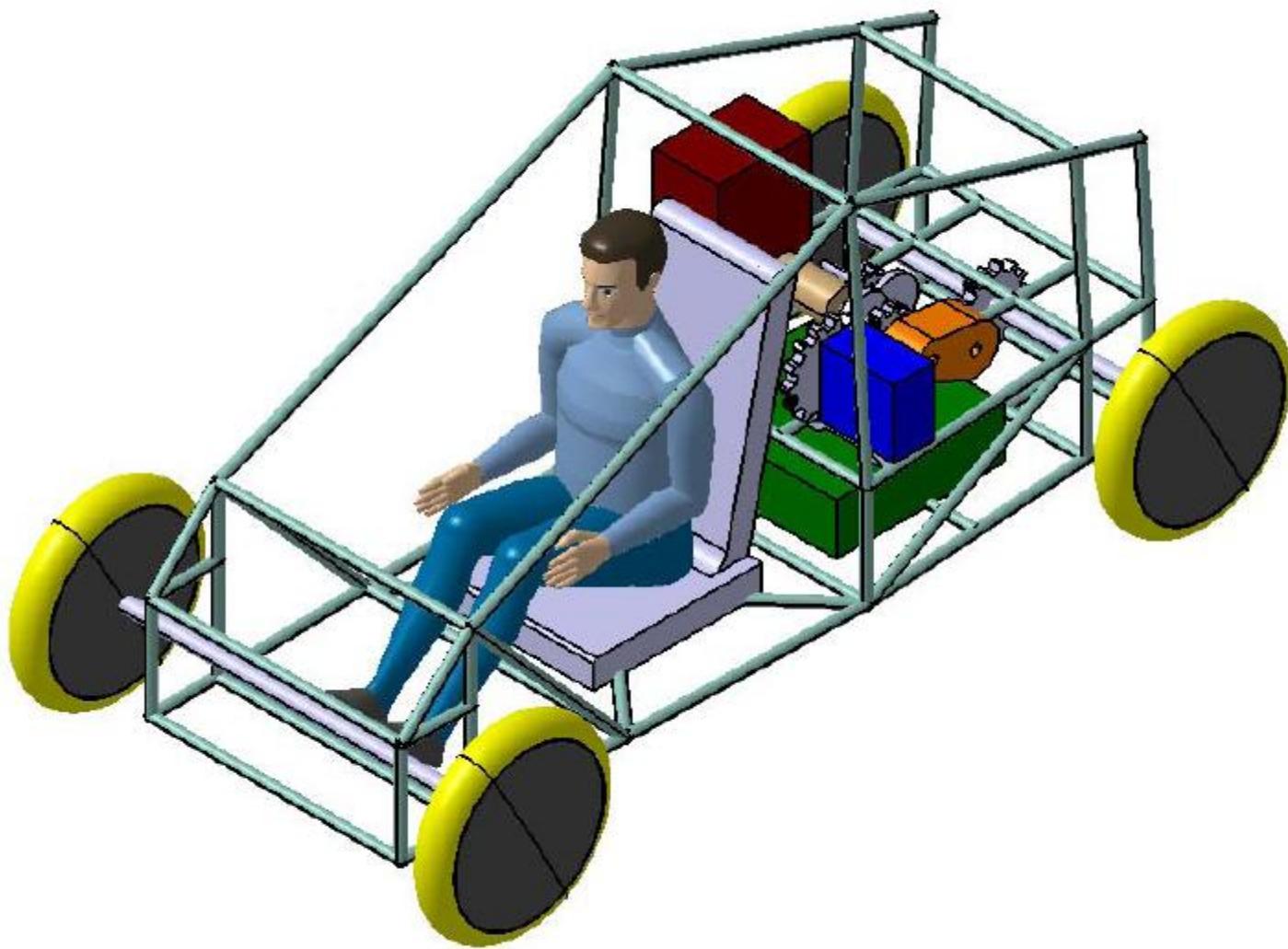
طراحی شاسی اولیه و جانمایی

در ابتدا یک شکل اولیه از شاسی خودرو با در نظر گرفتن قوانین مسابقات Shell Ecomarathon کشیده شد. این قوانین عبارتند از :

- ارتفاع کلی خودرو بین 100 تا 130 سانتی متر.
- عرض کلی خودرو بین 120 تا 130 سانتی متر.
- طول کلی خودرو بین 220 تا 350 سانتی متر.
- فاصله چرخها در جلو حداقل 100 سانتی متر و در عقب 80 سانتی متر.
- اتاق راننده دارای حداقل ارتفاع 88 سانتی متر و حداقل عرض 70 سانتی متر باشد.
- حداقل ارتفاع شاسی از سطح جاده برابر با 10 سانتی متر.
- بالای سر راننده باید یک لوله به فاصله 5 سانتی متر قرار داشته باشد که بتواند باری به وزن 70 کیلوگرم را تحمل کند.

سپس مرحله جانمایی انجام شد. در مرحله جانمایی، محل قرارگیری اجزای قسمت های مختلف خودرو بر روی شاسی تعیین گردید. در این مرحله، جانمایی اجزای سیستم تولید و انتقال قدرت از اهمیت خاصی برخوردار بود. بدلیل اینکه بعضی از قطعات از خارج از کشور وارد می شدند و شرکت فروشنده نقشه کارگاهی از آن را در اختیار ما قرار نمی داد، مجبور شدیم به اطلاعاتی که در مورد ابعاد قطعات داشتیم اکتفا کرده و

جانمایی را انجام دهیم. در شکل 3-10 نمای شماتیک جانمایی اولیه شاسی خودروی آپادانا شامل جانمایی اجزای تولید و انتقال قدرت به همراه راننده را مشاهده می کنید.



شکل 3-10 - جانمایی اولیه شاسی خودروی آپادانا

با توجه به قوانین فوق و جانمایی های صورت گرفته، مشخصات ابعادی شاسی اولیه به صورت جدول 3-1 با تعیین گردید.

اندازه (میلیمتر)	مورد
2400	طول شاسی
(ماکزیمم) 800	عرض شاسی
1000	ارتفاع شاسی
150	فاصله شاسی تا جاده
1300	فاصله چرخهای جلو
1200	فاصله چرخهای عقب

جدول 1-3 - ابعاد شاسی اولیه خودروی آپادانا

انتخاب جنس مناسب برای لوله های شاسی

برای آغاز تحلیل ها بر روی شاسی به کمک نرم افزار، باید یک جنس اولیه برای لوله های شاسی انتخاب می شد. مشخصه مهمی که برای جنس شاسی باید مورد توجه قرار گیرد، نسبت استحکام تسليم به چگالی ماده است. چقرمگی ماده یا به عبارتی مقاومت ماده در برابر ضربه برای شاسی خودروی آپادانا از اهمیت بالایی برخوردار نیست؛ زیرا یک خودروی نمونه است که در یک مسیر امن حرکت خواهد کرد و احتمال وارد آمدن ضربه به خودروی ضعیف است. از اینرو آلیاژهای آلومینیوم با استحکام بالا بهترین گزینه هستند. پس از مطالعه گروه های آلیاژی آلومینیوم، این نتیجه بدست آمد که گروه های 5000 (صرفی صنایع دریایی) و 7000 (صرفی صنایع هوایی) مناسبترین هستند. مورد دیگری که بررسی شد، استفاده از آلیاژهایی است که تحت عملیات حرارتی قرار گرفته باشند. هزینه انجام عملیات حرارتی بر روی مواد بسیار بالا است و به صرفه نمی باشد ولی اگر می توانستیم لوله ای از جنس آلیاژ آلومینیوم را در بازار پیدا کنیم که در کارخانه تولید کننده تحت عملیات حرارتی قرار گرفته باشد، مناسبترین گزینه بود. در جدول 2-3 لیستی از آلیاژهای مناسب با مشخصات آنها را مشاهده می کنید.

	ρ (Kg/m ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y / ρ	S _u / ρ
Al - 5056 - O	2/7	150	290	55/5	107/5
Al - 5083 - O	2/7	145	290	53/7	107/5
Al - 5456 - O	2/7	160	310	59/3	114/8
Al - 7075 - O	2/7	105	230	38/9	85/2
Al - 7178 - O	2/7	105	230	38/9	85/2

جدول 2-3 - مشخصات بعضی از الیازهای آلومینیوم مناسب برای شلیخی خودروی آپادانا

مرحله بعد، جستجو در بازار برای یافتن جنس مطلوب بود. تقریباً پس از دو ماه جستجو در بازارهای اصفهان، تهران و حتی خارج از کشور ، بهترین مورد که در مقایسه با موارد دیگر هم مشخصات بهتر و هم هزینه متعادل تری داشت را انتخاب کردیم. برای حصول اطمینان از مشخصات آلومینیوم مورد نظر که با نام آلومینیوم 7000 در بازار تهران معروف بود، نمونه ای از آن تهیه و در آزمایشگاه تحت تست کشش ساده آزمایش شد. نتایج این تست به صورت زیر بدست آمد :

- چگالی: 2.8 Kg/m³

- تنش تسلیم: 298 Mpa

- تنش شکست: 370 Mpa

- %11 : Elongation

برای انتخاب نهایی جنس مورد نظر، ابتدا باید تحلیل ها به کمک نرم افزار انجام می شد.

انتخاب سطح مقطع مناسب :

بدلیل وزن کمتر، توزیع تنش متقارن در سطح مقطع و همچنین ملاحظات ایمنی از میان مقاطع مستطیلی، دایره ای توپر و دایره ای توخالی، دایره توخالی (اعضای لوله ای) انتخاب شد. برای شروع تحلیل

ها بر روی شاسی، نیاز به یک مقدار اولیه برای قطر لوله ها داشتیم. بدین منظور از مشخصات شاسی خودروهای مشابه خارجی و همچنین چندین خودروی داخلی استفاده کردیم. نکته قابل توجه در مورد قطر لوله ها این است که تمامی تنش های وارد بر اعضای شاسی (عمودی یا برشی) با افزایش قطر دایره مقطع، کاهش می یابند، ولی در مقابل وزن شاسی بیشتر می شود. با در نظر گرفتن جمیع جوانب، قطر بیرونی اولیه اعضای شاسی برابر با 40 میلیمتر و ضخامت آن 2 میلیمتر انتخاب شد.

تحلیل ها :

شاسی یک خودرو بنابر حالت های مختلف حرکتی ، تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی قرار می گیرد. در منابع علمی مختلف روش های متفاوتی برای تحلیل شاسی یک خودرو جهت تعیین استحکام آن در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی معرفی شده است. در اینجا یک روش جدید برای تحلیل شاسی خودروی آپادانا ارائه می شود.

ابتدا 4 موقعیت بحرانی زیر برای خودرو از لحاظ اعمال بار بر روی شاسی آن در نظر گرفته شد:

- موقعیت استاتیکی خودرو(بدون حرکت)
- موقعیت ترمزگیری خودرو
- موقعیت شتابگیری خودرو
- موقعیت پیچیدن خودرو

بدلیل وجود شرایط امن حرکت خودرو، شاسی خودرو نیاز به چقرومگی (مقاومت در برابر ضربه) بالایی ندارد. بنابراین در محاسبات مربوط به این قسمت از ضریب ضربه 1 استفاده شد. تحلیل های مربوط به 4 موقعیت فوق به کمک نرم افزار sim designer for catia انجام شد. روند تحلیل به این صورت بود که بارهای بحرانی در هر یک از موقعیت های بحرانی فوق با استفاده از معادلات مربوطه تعیین گردید. سپس این بارها در نرم افزار به شاسی اعمال شد و ماکزیمم جابجایی به همراه تنش های ماکزیمم نقطه به نقطه شاسی تعیین و به عنوان نتایج تحلیل ارائه شدند. در زیر می توانید معادلات مربوط به تعیین بار بحرانی در هر یک از 4 موقعیت فوق را مشاهده کنید. این روابط برگرفته از کتاب "Automotive Chassis" ترجمه "دکتر محمد جواد زرکوب" می باشند.

- **static situation:**

$$F_{r,f} = (G_g * L_{f,r}) / (2*L)$$

$F_{r,f}$: the force on each wheel at rear and front of vehicle.

G_g : the sprung weight.

L : wheel base.

$L_{f,r}$: the longitudinal length between front/rear shaft from mass center.

- **Braking situation:**

Front wheels: $F_{normal} = 2*F_f$
 $F_{braking} = 1.5*F_f$

Rear wheels: $F_{normal} = F_r$
 $F_{braking} = 0.8 * F_r$

- **Acceleration situation :**

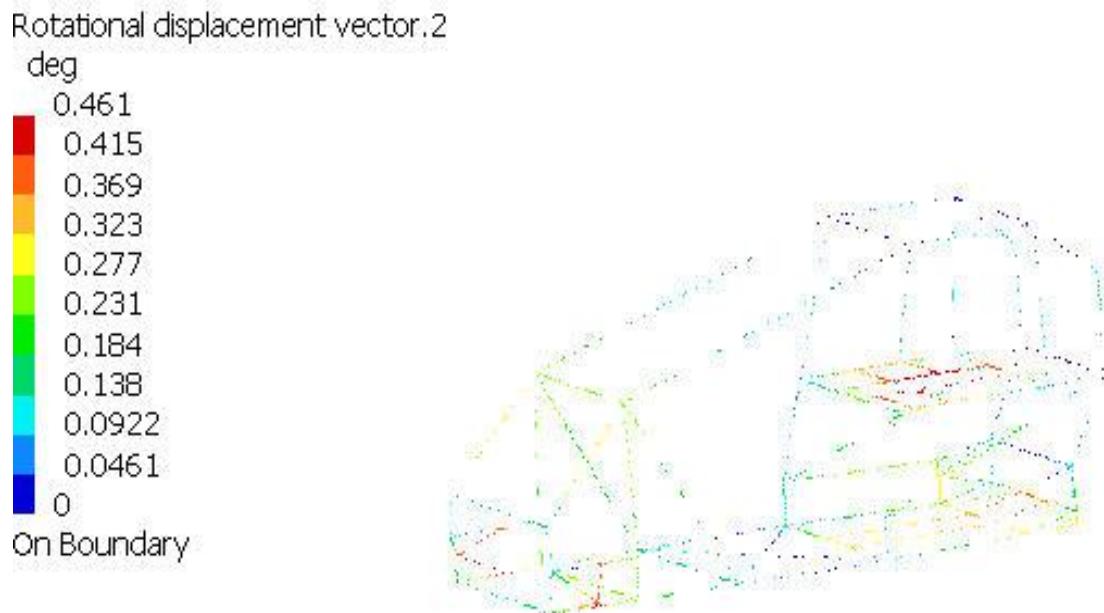
Driver wheels: $F_{normal} = 1.8 * F_r$
 $F_{acceleration} = 1.5 * F_r$

- **Cornering situation :**

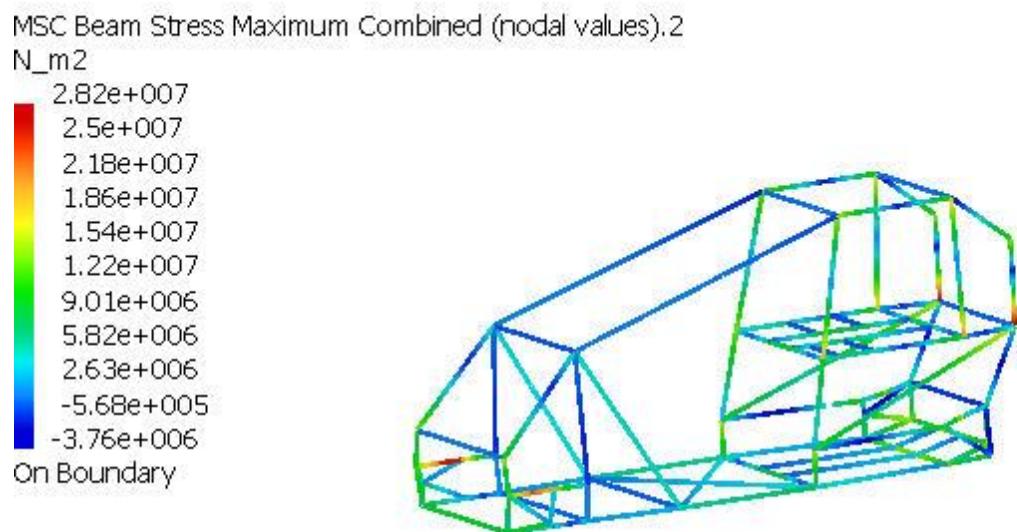
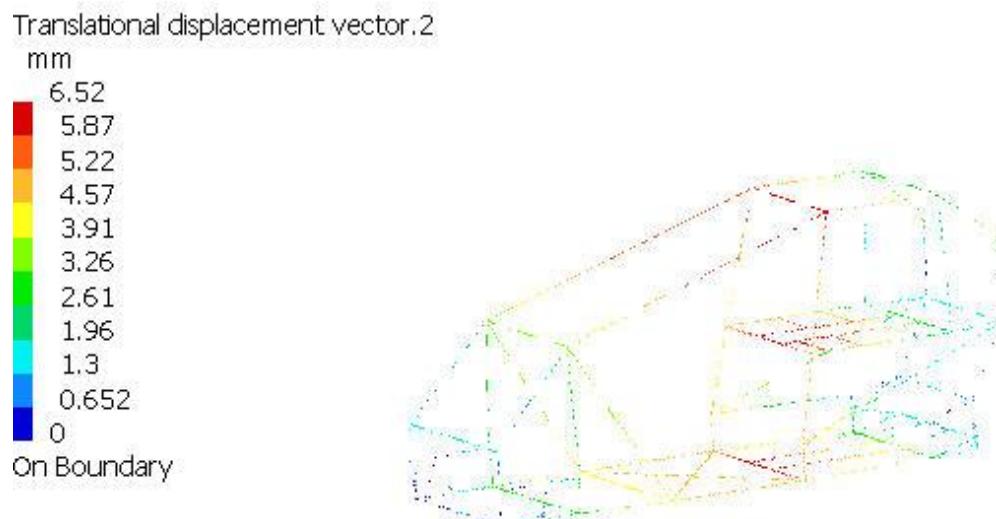
Outer wheels: $F_{normal} = F_g$
 $F_{cornering} = 0.6 * F_g$

Inner wheels: $F_{normal} = 1.2 * F_g$
 $F_{cornering} = 2 * F_g$

پس از انجام تحلیل ها، جنس ذکر شده در قسمت قبل با ضریب ایمنی در حدود ۲/۵ و سطح مقطع آن به شکل دایره توخالی با قطر خارجی ۳۰ میلیمتر و ضخامت ۱/۵ میلیمتر برای استفاده به عنوان اعضای لوله ای شاسی فضایی خودروی آپادانا انتخاب شد. در اینجا نمونه ای از نتایج بدست آمده از تحلیل های نرم افزاری انجام گرفته بر روی شاسی خودرو آورده شده است.



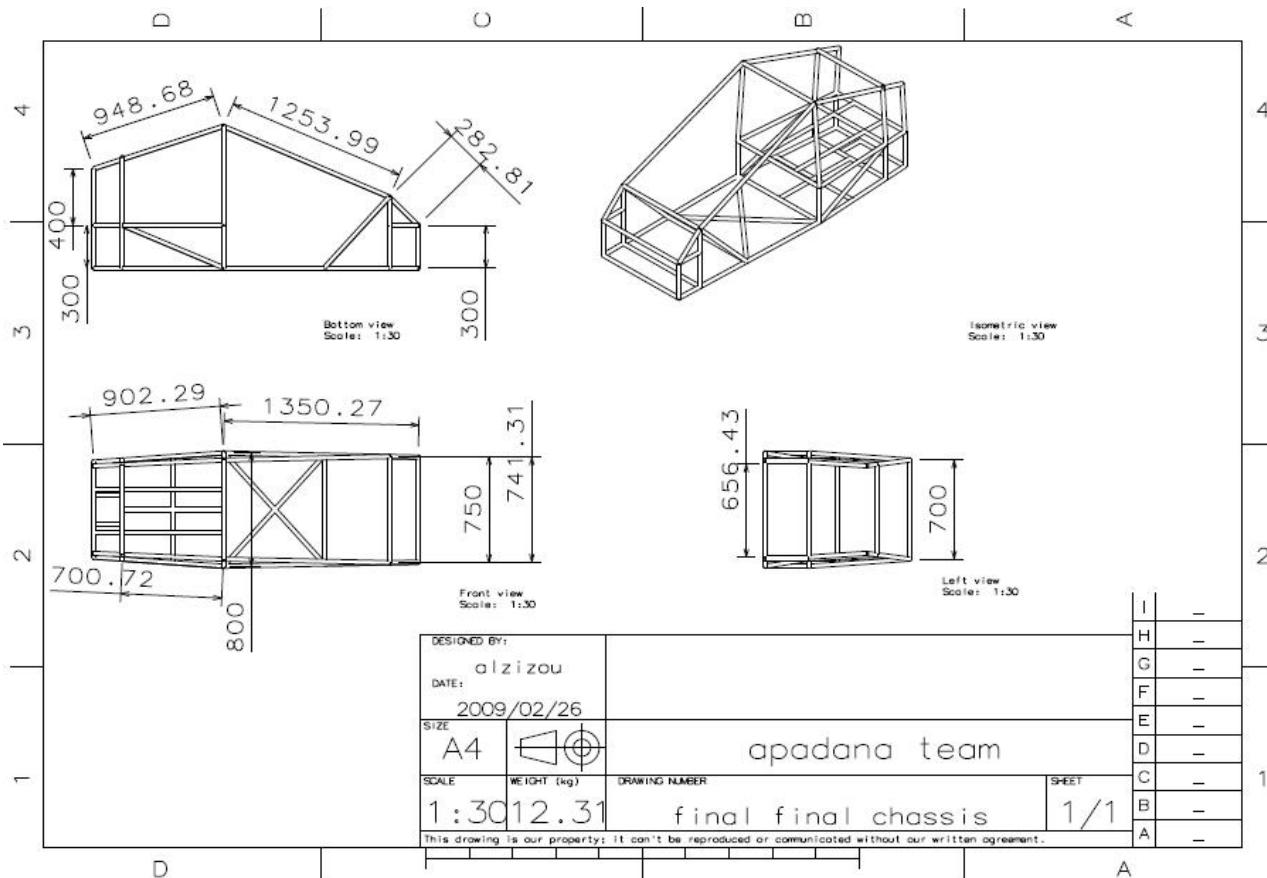
شکل ۳-۱۱ - نمونه ای از نتایج تحلیل شاسی خودروی آپادانا



12-3- نمونه ای از نتایج تحلیل شاسی خودروی آپادانا

ساخت شاسی

آلیاژ آلومینیوم انتخاب شده برای ساخت شاسی، فقط به صورت میل گرد در بازار موجود است. به همین دلیل مجبور شدیم برای دستیابی به سطح مقطع مورد نظر، ابتدا میله از آن جنس با قطر 35 میلیمتر تهیه کنیم. سپس با انجام یک مرحله تراشکاری، لوله هایی با قطر خارجی 30 و قطر داخلی 27 میلیمتر ولی با حداقل طول 50 سانتیمتر تأمین گردید. در نهایت با انجام جوشکاری آرگون (روش جوشکاری مناسب برای قطعات آلومینیومی)، لوله هایی با ابعاد مورد نظر بدست آمد. بدلیل دشواری حمل و نقل تجهیزات جوشکاری آرگون، لوله های تولید شده را به محل جوشکاری منتقل کرده و براساس نقشه های شاسی که به کمک نرم افزار CATIA بدست آمدند، جوشکاری کلی سازه شاسی خودروی آپادانا انجام گرفت. مدت زمانی که صرف جوشکاری لوله های شاسی شد، در مجموع برابر با یک هفته بود. در طول این مدت، همواره دو نفر از اعضای تیم برای حصول اطمینان از دقیقیت ابعادی عملیات جوشکاری و ساخت شاسی، در محل حاضر بودند. نقشه کارگاهی شاسی نهایی خودروی آپادانا به صورت شکل ۱۳-۳ می باشد. شاسی خودروی آپادانا وزنی در حدود 13 کیلوگرم دارد.



13-3 – نقشه کارگاهی شاسی خودروی آپادانا



14-3- شاسی خودروی آپادانا

(3-3) بدن

بدنه خودرویی که قصد داریم طراحی کنیم، مربوط به یک خودروی تک سرنشین هیبریدی است . قوانین مسابقه shell eco marathon محدودیت هایی را از لحاظ ابعاد خودرو قائل شده است که در طراحی باید مد نظر باشند. دقت کنیم که یک بدن خودرو در درجه اول باید تمام اجزای خودرو را در بر بگیرد . پس با این هدف و با توجه به جانمایی اجرا و ساختمان شاسی خودرو، به یک بدن اولیه دست میباییم. بهینه سازی دارای دو پایه است :

1. کاهش سطح اثر فشار منفی در عقب خودرو
2. جلوگیری از شکل گیری گردابه های طولی در پشت بدن.

در ادامه، در حالت های مختلف این دو را توضیح میدهیم. سعی بر این است در هر قسمت دلایل آیروдинامیکی که موجب تغییرات میشود، نیز آورده شود. در شکل 3-15 بدن اولیه را مشاهده می کنید. همانطور که آمد این بدن کاملا اجزای خودرو را می پوشاند. همچنین، از اصول اولیه ای که یک بدن باید داشته باشد، پیروی می کند. در طراحی توجه خود را بیشتر به سه بخش معطوف می کنیم:

- دماغه
- سقف
- قسمت عقبی خودرو



شکل 3-15- شمایی از بدن اولیه و اعضای جانمایی شده در آن. این بدن اصول اولیه ای که برای طراحی یک بدن دارد را رعایت می کند.

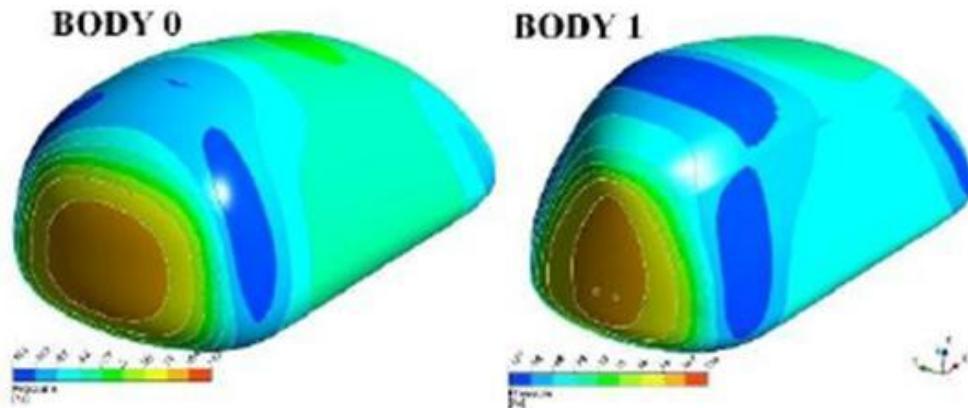
در تصویر ۳-۱۶، نمایی از توزیع فشار را در قسمت جلو و عقب بدن اولیه مشاهده می کنید. این توزیع فشار راهنمای خوبی در طراحی های بعدی خواهد بود. در ادامه از آنجایی که قصد داریم حالت های متفاوت را با هم مقایسه کنیم، بدن اولیه را بدن صفر می نامیم . مقدار $7/42$ نیوتن در سرعت هوای ۱۵ متر بر ثانیه، نیروی درگ وارد بر خودرو است.

قسمت عقب خودرو

قسمت عقب خودرو از آنجایی که در معرض جدایش و همچنین فشارهای نسبی منفی است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. به همین دلیل ابتدا به بهینه سازی این قسمت می پردازیم.

بدنه ۱ :

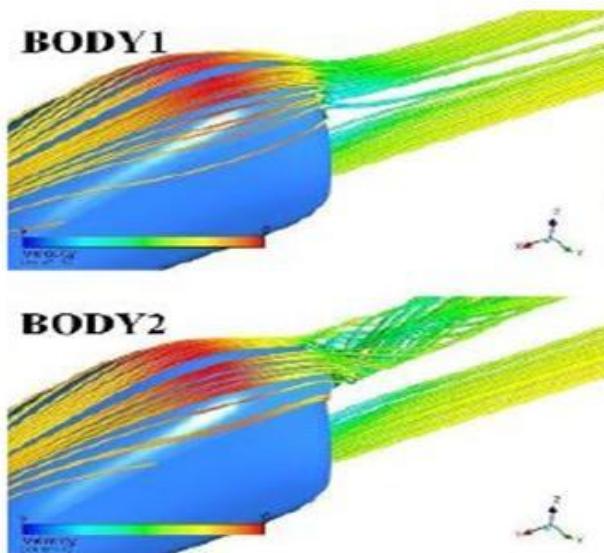
این بدن کاملا مشابه بدن صفر است با این تفاوت که سطح عقب آن کوچکتر شده است. این امر باعث می شود سطحی که فشار نسبی منفی روی آن عمل می کند، کوچکتر شده، نتیجتا درگ کاهش یابد. میزان نیروی درگ $6/8$ نیوتن است.



شکل ۳-۱۶-۳ - توزیع فشار بر روی بدن صفر و یک.

به وسیله قرار دادن پرههایی، می توان جریان بر روی بدن را کنترل کرد. این پره ها کمک می کنند تا ساختار جریان تغییر کرده، گردابه های طولی شکل گرفته، قدرت کمتری پیدا نمایند. با این هدف یک لبه به قسمت بالا اضافه شد. مشاهده شد این لبه در این مورد با ایجاد دو گردابه طولی در انتهای خودرو، نیروی درگ را تا ۴۰٪ افزایش داد. در توضیح باید گفت در بدن ، جدایش در لبه پایینی سطح شیبدار در زاویه ۲۵ درجه اتفاق می افتد؛ درنتیجه جریانی که از کناره ها و سقف وارد می شود، با یکدیگر گردابه های طولی پرنفوذی را ایجاد می کنند.

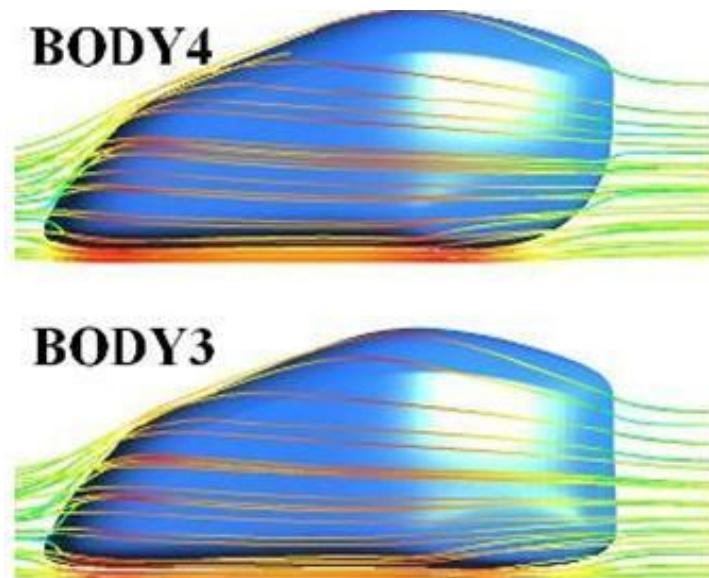
با قرار دادن پره در لبه بالایی و جدایش مصنوعی جریان از لبه بالایی، از اندازه این گردابه طولی کاسته شده، میزان نیروی درگ کاهش می یابد . میزان درگ در این حالت $48/9$ نیوتن است.



شکل ۱۷-۳ - گردابه طولی ایجاد شده در اثر لبه. بدن یک و دو کاملاً مشابه هستند

: بدن ۳

در ادامه باز هم قصد داریم تا سطح اثر فشار منفی را کاهش دهیم. با توجه به محدودیت های جانمایی در صورتی که بخواهیم سطح پشت را بیشتر از این کاهش دهیم باید اندکی طول بدن را زیاد نماییم. به این ترتیب درگ حاصل 5 نیوتن گزارش شد.



شکل ۱۸-۳ - شکل بدن ها و خطوط جریان حول بدن های سه و چهار

بدنه 4 :

در بدنه 4 تغییرات کوچکی بوجود آورده‌یم. قسمت پایین و عقب بدنه را اندکی بالا آورده‌یم. مقدار درگ در این حالت $5/1$ گزارش شد که اندکی افزایش را نشان می‌دهد. ولی این تغییر از جهاتی سودمند است:

- زیبایی بیشتر
- میزان مصرف متریال کمتر
- وزن کمتر

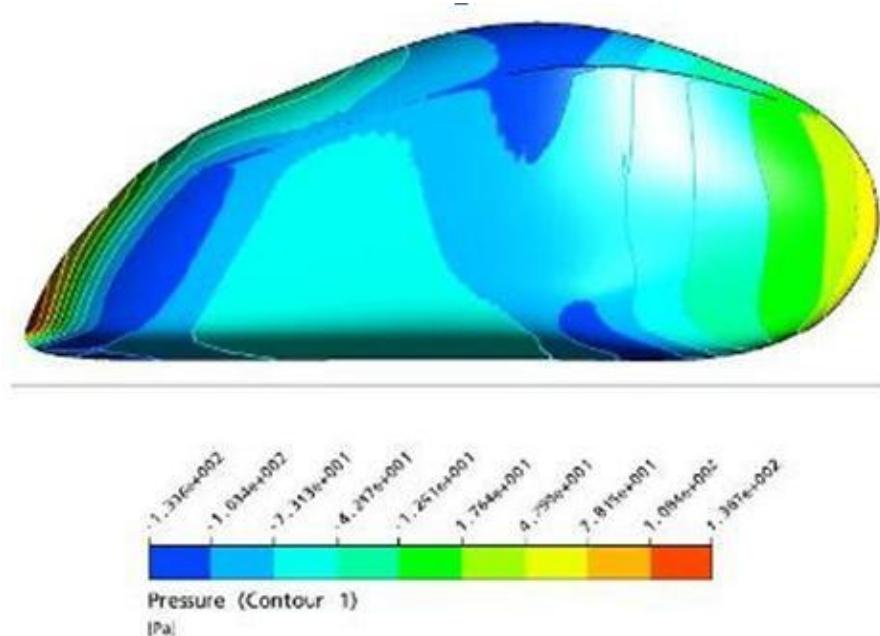
با توجه به موارد فوق این تغییر را لحاظ می‌کنیم.

سقف و دماغه

برای ایجاد تغییرات در سقف، استفاده از نمودار فشار حول بدنه مناسب است. البته تغییرات در سقف خودرو، اثر محسوسی را بر روی درگ نخواهد داشت ولی در کل اندکی از درگ را کاهش می‌دهد.

بدنه 5 :

این بدنه مشابه با بدنه 4 است. با این تفاوت که قسمت انتهایی سقف پایین آمده است. میزان نیروی درگ در این حالت 5 نیوتون گزارش شد. این تغییر نیز به دلیل مصرف متریال کمتر لحاظ می‌شود.



شکل 19-3 – توزیع فشار حول بدنه پنج

6: بدن

دماغه خودرو پرفشارترین قسمت آن است. بنابراین هرچه بتوان سطح این ناحیه پرفشار را کاهش داد، نیروی درگ کاهش خواهد یافت. در بدن 6 تا آنجایی که مسائل جانمایی اجازه داد، سطح دماغه کاهش پیدا کرد. میزان نیروی درگ در این حالت 4/4 نیوتون گزارش شد. بدن نهایی خودروی آپادانا، بدن شماره 6 می باشد.

ساخت بدن

برای جنس بدن، با چندین گزینه روبرو بودیم. ولی با توجه به اصلی ترین فاکتور طراحی که کاهش وزن خودرو می باشد، تصمیم بر آن شد که از الیاف کربن (C400 carbon fiber with epoxy) استفاده شود. الیاف کربن مزایا و معایب دارد :

• مزایا

- چگالی کم
- مقاومت طولی بسیار زیاد.

• معایب

- قیمت بالا
- مقاومت برشی پایین
- دشواری ساخت.

ساخت بدن توسط 5 نفر از اعضای تیم انجام شد. بدن به 5 قسمت تقسیم گردید: جلو، عقب، چپ، راست و سقف . در ابتدا پلات مقاطع برش خورده بدن با مقیاس 1:1 تهیه و شکل این مقاطع روی قطعات فوم با ضخامت 5 و 10 سانتیمتر برش داده شد (هر چه ضخامت فوم کمتر باشد، دقیق ساخت بیشتر می شود). این قطعات را به یکدیگر چسبانده و یک لایه الیاف شیشه بر روی آن کشیدیم. به این ترتیب قالب های 5 قسمت اصلی بدن ایجاد شدند. برای داشتن بدن ای با سطح صاف، با استفاده از سمباده و بتونه، تا جای ممکن پستی و بلندی های سطح قالب ها را از بین بردیم. این کار که یکی از وقت گیرترین قسمت های پروژه آپادانا بود، توسط اعضای گروه و در مدت یک ماه و نیم انجام شد. در نهایت لایه پایانی که از جنس الیاف کربن بود بر روی آنها قرار گرفت. البته قبل از اینکه کربن را بر روی قالب ها قرار دهیم، تمامی سطح ها

Fiber	Density [g/cm ³ (Pci)]	Axial Modulus [GPa (Msi)]	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Axial Coefficient of Thermal Expansion [ppm/K (ppm/°F)]	Axial Thermal Conductivity [W/m · K]
E-glass	2.6 (0.094)	70 (10)	2000 (300)	5 (2.8)	0.9
HS glass	2.5 (0.090)	83 (12)	4200 (650)	4.1 (2.3)	0.9
Aramid	1.4 (0.052)	124 (18)	3200 (500)	-5.2 (-2.9)	0.04
Boron	2.6 (0.094)	400 (58)	3600 (520)	4.5 (2.5)	—
■ SM carbon (PAN)	1.7 (0.061)	235 (34)	3200 (500)	-0.5 (-0.3)	9
UHM carbon (PAN)	1.9 (0.069)	590 (86)	3800 (550)	-1 (-0.6)	18
UHS carbon (PAN)	1.8 (0.065)	290 (42)	7000 (1000)	-1.5 (-0.8)	160
UHM carbon (pitch)	2.2 (0.079)	895 (130)	2200 (320)	-1.6 (-0.9)	640
UHK carbon (pitch)	2.2 (0.079)	830 (120)	2200 (320)	-1.6 (-0.9)	1100
SiC monofilament	3.0 (0.11)	400 (58)	3600 (520)	4.9 (2.7)	—
SiC multifilament	3.0 (0.11)	400 (58)	3100 (450)	—	—
Si-C-O	2.6 (0.094)	190 (28)	2900 (430)	3.9 (2.2)	1.4
Si-Ti-C-O	2.4 (0.087)	190 (27)	3300 (470)	3.1 (1.7)	—
Aluminum oxide	3.9 (0.14)	370 (54)	1900 (280)	7.9 (4.4)	—
High-density polyethylene	0.97 (0.035)	172 (25)	3000 (440)	—	—

جدول 3-3 - مشخصات برخی از مواد کامپوزیت

را با استفاده از فیلم جداکننده پوشاندیم. این عمل با هدف تسهیل در جداکردن بدنه نهایی (بعد از خشک شدن) از روی قالب ها صورت گرفت. در پایان در قسمت هایی که بدنه از لحاظ استحکام ضعیف بود، با الیاف تقویت گردید.

بدنه خودروی آپادانا وزنی در حدود 6 کیلوگرم دارد.



شکل 3-20-3 - شماتیک بدنه خودروی آپادانا

4-3) سیستم تعلیق :

می دانیم که مهمترین وظیفه سیستم تعلیق خودرو ، حفظ تعادل خودرو و همچنین حفظ تماس چرخها با سطح جاده در طول حرکت خودرو ، بویژه در شرایط خاص مانند دور زدن ، ترمز کردن و شتاب گرفتن است.

سیستمهای تعلیق به طور معمول از چند قطعه فلزی تشکیل شده اند که از پایین به چرخها و از بالا به شاسی متصل اند. این قطعات فلزی بوسیله فنرها به هم متصل شده اند و ارتعاشات ایجاد شده در حین حرکت را جذب می کنند. برای تنظیم کار این فنرها ، سیستم تعلیق به کمک فنر نیاز دارد. کمک فنرها، استوانه هایی حاوی سیال هیدرولیکی می باشند که با استفاده از علم هیدرولیک ، کار فنرها را تنظیم می کنند.

در خودروهای سواری، بحث راحتی سفر یکی از بحث های مهم و حساس است که تأمین آن بر عهده سیستم تعلیق می باشد. به طور معمول نوسان بین 70 تا 90 هرتز برای انسان مناسب تلقی می شود و می تواند یک سفر راحت را برای او به ارمغان بیاورد . بنابراین این اعداد در صدر معیار های ما برای طراحی سیستم تعلیق قرار گرفت.

طراحی سیستم تعلیق:

در طراحی سیستم تعلیق با دشواری های زیادی روبرو نبودیم. برای چرخهای جلو، سیستم تعلیق مستقل جناقی با توجه به سادگی سیستم انتخاب شد. در مورد چرخهای عقب، بدلیل وجود محور و همچنین نداشتن پلس و دیفرانسیل، مجبور به استفاده از سیستم اکسل ثابت شدیم. البته برای هر چرخ عقب، فنر و کمک فنر در نظر گرفته شد و اتصال چرخها به شاسی نیز با جناق ها می باشد. به این ترتیب در محور عقب، اگر یکی از چرخها پایین برود، چرخ دیگری بالا می آید؛ به این سیستم تعلیق، سیستم غیرمستقل گفته می شود.

در طراحی سیستم تعلیق، دو مورد اساسی باید تعیین می شد:

- هندسه تعلیق.

- اندازه سختی فنر و ضریب دمپینگ کمک فنر.



شکل 3-21 - نمایی از سیستم تعلیق چرخ جلوی خودروی آپادانا

- هندسه تعلیق:

برای جلوگیری از کله زنی خودرو در موقعیت ترمزگیری و شتابگیری، طراحی هندسه تعلیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کله زنی را به دو مورد کلی تقسیم می‌کنیم: (تمامی روابط این قسمت برگرفته شده از کتاب "ترجمه "دکتر محمد جواد زرکوب" است)

: (فقط در مورد محور عقب اعمال می‌شود) منظور مقابله با فرآیند پایین آمدن محور عقب و بالا رفتن جلوی خودرو در اثر شتابگیری خودرو است. مطلوب ما این است که این مقدار 100 درصد شود:

$$(e - r)/d = h/L * (1 + (k_r/k_f)) \quad (9-3)$$

: منظور مقابله با فرآیند بالا رفتن محور عقب و پایین آمدن جلوی خودرو در موقع ترمزگیری خودرو است. در عمل بین 50 تا 60 درصد است (بنا بدلا لیل ایمنی حرکت). این هندسه هم در محور عقب و هم در جلوی خودرو اعمال می‌شود:

$$a_d) E_f/d_f = h/(L * \epsilon) \quad \text{چرخهای جلو} : \quad (10-3)$$

$$e_r/d_r = h/[(1 - \epsilon) * L] * a_d \quad \text{چرخهای عقب} : \quad (11-3)$$

نسبت نیروی ترمی که بر روی چرخهای جلو می‌افتد:

موقعیت حرکتی دیگری که در طراحی یک سیستم تعليق باید مورد بررسی قرار گیرد، پیچیدن خودرو است. شرطی که در این قسمت باید رعایت شود، حد چپ شدن خودرو در پیچ است:

$$F_{Gr/f} \geq (F_{sr/f} * H_s) / S_{r/f} \quad (12-3)$$

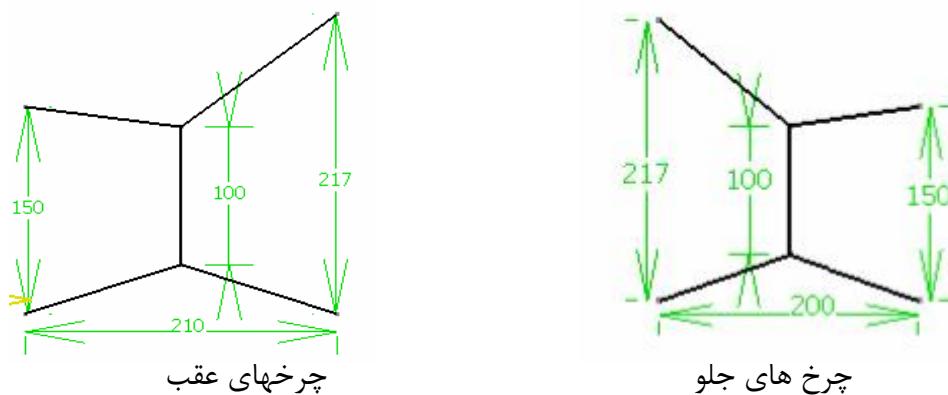
$F_{Gr/f}$: نیروی عمودی وارد بر چرخ های جلو یا عقب در حالت استاتیکی خودرو.

$F_{sr/f}$: نیروی جانبی وارد بر هر یک هز چرخهای جلو یا عقب در حالت پیچیدن خودرو.

H_s : ارتفاع مرکز ثقل خودرو از سطح جاده. (هر چه کمتر باشد، بهتر است)

$S_{r/f}$: فاصله عرضی چرخهای جلو و عقب خودرو. (هر چه بیشتر باشد، مناسبتر است)

با توجه به نکات طراحی بیان شده و پس از انجام تحلیل ها، هندسه تعليق خودرو (وضعیت قرار گیری جناق ها) در دید از بغل خودرو به صورت زیر تعیین گردید: (اعداد بر حسب میلیمتر هستند)



شکل ۳-۲۲ - هندسه سیستم تعليق خودروی آپادانا

فner و کمک فner:

•

بطور معمول، نوسان فner برای تعليق جلو بین ۶۰ تا ۸۰ نوسان در دقیقه و برای تعليق عقب بین ۷۰ تا ۹۰ نوسان در دقیقه است. این اعداد با در نظر گرفتن فاکتور راحتی سفر برای راننده بیان شده اند. در مورد

خودروی آپادانا، با توجه به در دسترس نبودن فنر و کمک فنر مورد نظر، از فنر و کمک فنر لول مربوط به یکی از موتورسیکلت های موجود در بازار استفاده شد. پس از تستی که بر روی این فنر و کمک فنر لول انجام شد، سختی آن به صورت زیر بدست آمد:

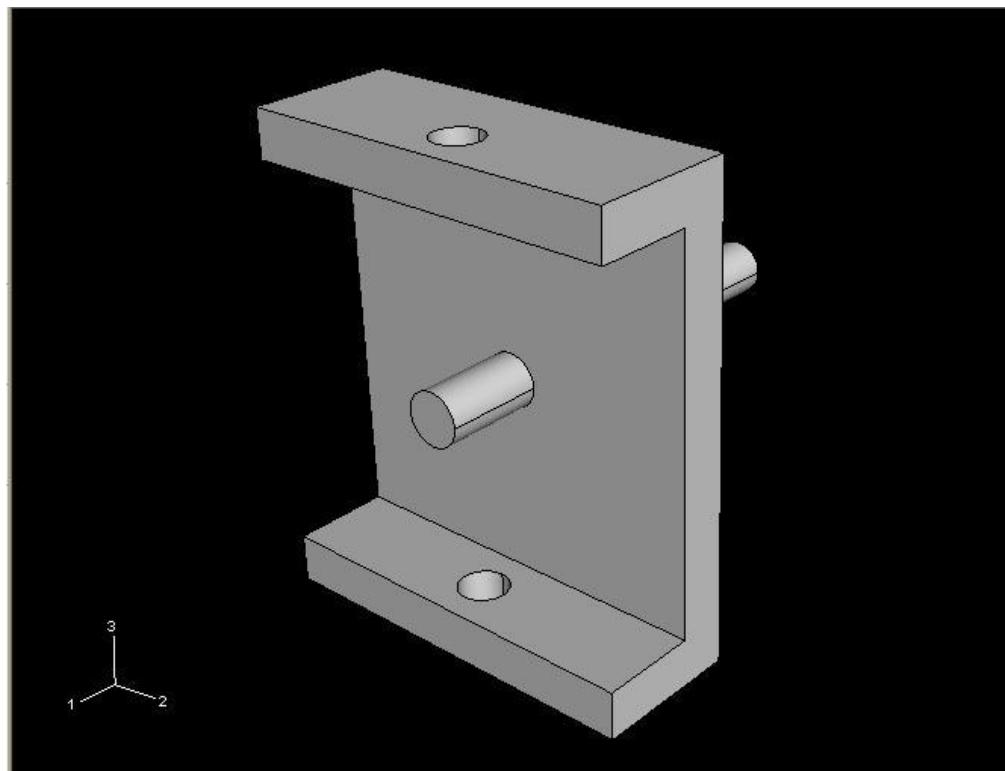
11/5 کیلوگرم بار : 6 میلیمتر تغییر ارتفاع



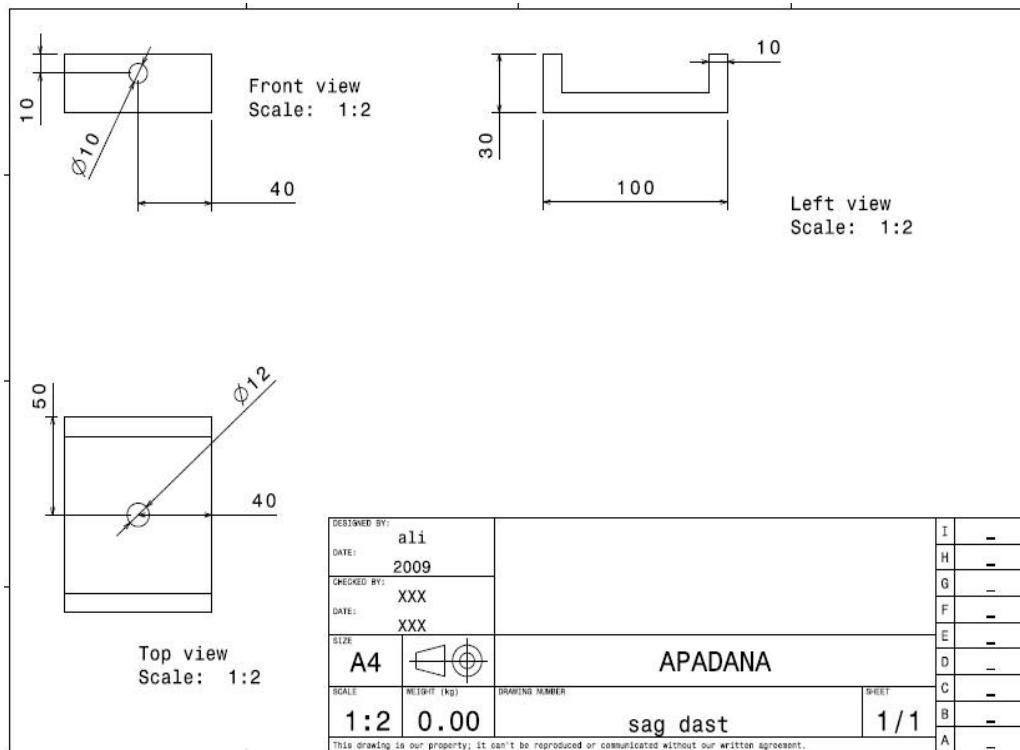
شکل 3-23 - فنر و کمک فنر خودروی آپادانا

طراحی سگدست:

"سگ دست" نام قطعه‌ای است که رابط بین چرخ، سیستم تعليق، سیستم فرمان و ترمزها است. تمامی اتصالات این سیستم‌ها بر روی سگ دست سوار شده و به شاسی و چرخ متصل می‌گردند. این قطعه، مقدار زیادی از بارهای ناشی از وزن خودرو را تحمل می‌کند. با توجه به فاکتور مهم در طراحی خودروی آپادانا که وزن پایین آن می‌باشد، برای ساخت سگدست خودرو، از آلیاژ آلومینیوم 7075 (وزن پایین و استحکام بالا) استفاده شد. ابتدا با توجه به محدودیت فضایی موجود بین چرخ‌ها و شاسی، اندازه‌های سگ دست تعیین گردید. سپس قطعه در نرم افزار CATIA مدل سازی شد. تحلیل استحکام این قطعه با نرم افزار ABAQUS انجام گرفت. همچنین اتصالات فرمان و ترمز بر روی سگدست با توجه به محدودیت فضایی از همان جنس سگدست تعبیه گردید. نمای شماتیک و نقشه کارگاهی سگ دست خودروی آپادانا در شکل‌های 3-24 و 3-25 نشان داده شده است. در پایان 4 عدد از این قطعه برای خودرو سوار شد.



شکل ۳-۲۴ - نمای شماتیک سگ دست خودروی آپادانا

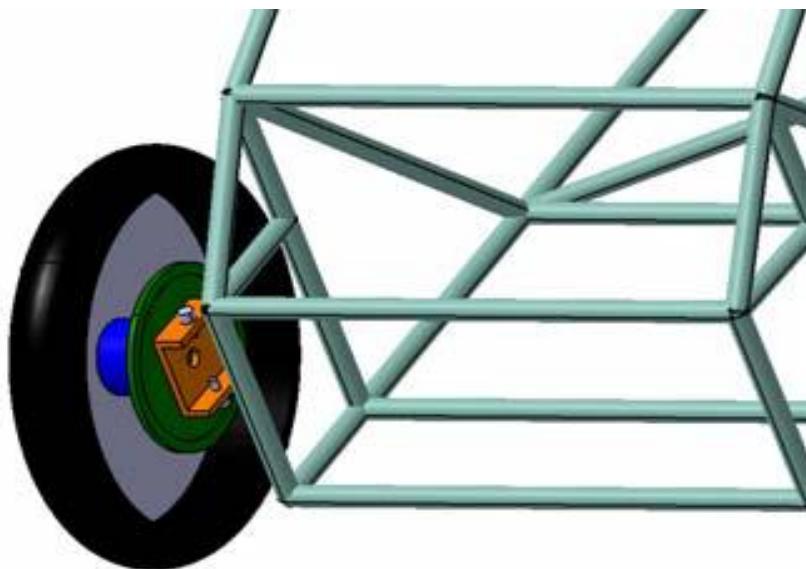


شکل ۳-۲۵ - نقشه کارگاهی سگ دست خودروی آپادانا

ساخت و مونتاژ اجزای سیستم تعليق:

سيستم تعليق خودروی آپادانا شامل 8 عدد جناق برای اتصال سگ دست ها به شاسي است (هر چرخ دو جناق). به دليل خطاهایی که در ساخت سازه شاسي خودرو و عمليات جوشکاري آن بوجود آمده بود، تهيه نقشه کارگاهی دقیق برای جناق ها و سفارش ساخت آنها به کارگاه های قطعه سازی دشوار بود. از اين رو تمامی اين 8 جناق به صورت تجربی توسط اعضای گروه از لوله های فولادی ساخته شد. البته اين موضوع مقداری از دقت اين قطعات کاست.

ساخت 4 عدد سگدست مورد نياز خودرو توسط يك کارگاه قطعه سازی و با استفاده از نقشه کارگاهی مربوطه انجام گرفت. در عوض ساخت اتصالات ترمز و فرمان خودرو که بر روی سگ دست نصب می شدند، توسط اعضای تيم انجام شد. در نهايیت برای مونتاژ اين قطعات بر روی سگدست ها از عمليات جوش آرگون استفاده گردید. در پايان تمامی قطعات ساخته شده به همراه فنر ها بر روی شاسي مونتاژ شد.



شكل 3-26- شماتيك اتصالات چرخ به همراه سگ دست. قبل از مونتاژ چرخها

ابدا قطعات در نرم افزار شبیه سازی شد.

موضوع مهمی که در مورد مونتاژ سیستم تعليق وجود داشت، اتصال چرخها به سگ دست بود. چرخ هایی که برای خودروی آپادانا مورد استفاده قرار گرفت، چرخهای مربوط به يك نوع موتورسيكلت است. اين امر بدليل رعایت قوانین مسابقات Shell Ecomarathon 16 اينچ و پنهانی

لاستیک برابر با ۳ اینچ می باشد. همچنین تایری که برای خودروی آپادانا انتخاب شد، یکی از کم مقاومت ترین تایرها در سطح جهان است؛ بطوریکه مقاومت غلتشی آن برابر است با ۰/۰۱۵. پس از بررسی نحوه اتصال چرخ موتورسیکلت و همچنین چرخ خودروهای سواری، تصمیم گرفته شد که از سیستم اتصال چرخ جلوی موتورسیکلت ها استفاده شود؛ به این صورت که یک محور اصلی به قطر ۱۲ میلیمتر از درون توپی چرخ که دارای ۲ بلبرینگ ساده است، عبور می کند و پس از عبور این محور از درون سگدست، به آن پیچ می شد. فاصله بین سگ دست و چرخ بر روی محور توسط چند واشر فلزی و لاستیکی پر شد. البته در مرحله تست، این سیستم جواب نداد و در آن تغییراتی بوجود آمد.

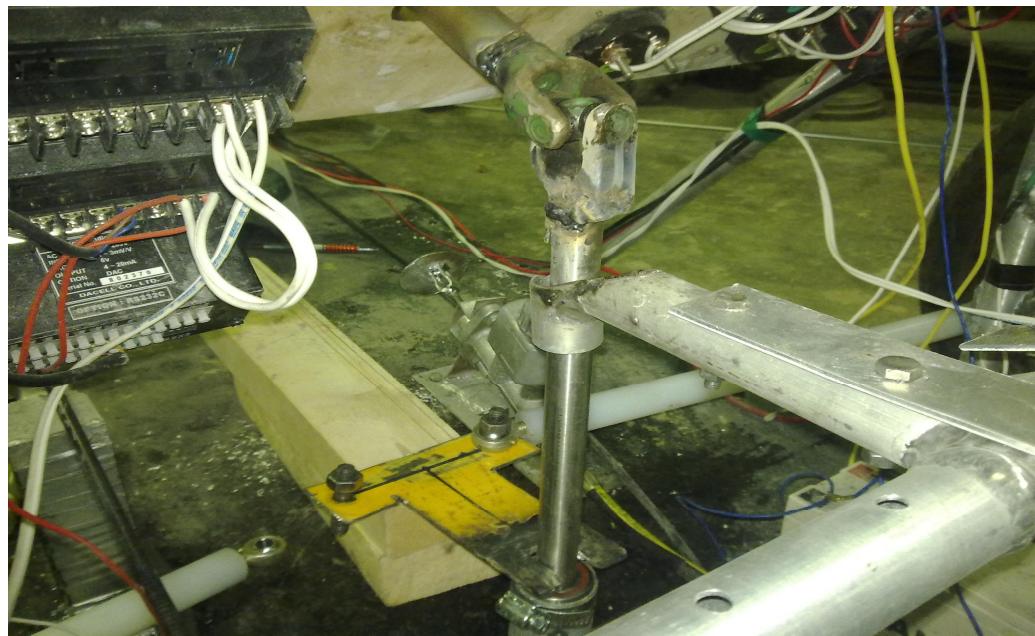
(5-۳) سیستم فرمان و ترمزها :

سیستم فرمان:

سیستم فرمان، وظیفه کنترل خودرو و جهت دادن به حرکت چرخها را به عهده دارد. انواع مختلفی از سیستم های فرمان تا به امروز در خودروها استفاده شده اند که معروفترین آنها " سیستم دنده شانه ای " و " بازوی پیت من " هستند. سیستم بازوی پیت من قدیمی تر است و شعاع فرمان پذیری کمتری تأمین می کند. در عوض ساخت آن بسیار ساده و کم هزینه است، بطوریکه در اکثر خودروهای نمونه از این نوع سیستم فرمان استفاده می شود. سیستم فرمان دنده شانه ای در مقایسه با بازوی پیت من پیچیده تر و گران تر است. امروزه در اکثر خودروهای شهری بدلیل شعاع فرمان پذیری بالایی که دارد، از این سیستم استفاده می شود.

با توجه به سرعت پایین خودروی ما ، نقش سیستم فرمان ، آن چنان حیاتی و حساس به نظر نمی رسد. بعلاوه با در نظر گرفتن فاکتور کاهش وزن و هزینه به این نتیجه می رسیم که بازوی پیت من برای خودروی آپادانا بسیار مناسب است.

مقدار حداقل زاویه چرخش چرخها که توسط فرمان خودرو تأمین می شود براساس قوانین مسابقات shell eco marathon محدود شده است. پس از انجام طراحی طول های مناسب برای دستیابی به حد چرخش چرخها در نرم افزار CATIA ، ساخت اتصالات مورد نظر توسط اعضای گروه انجام شد. میله های فرمان از جنس تفلون (بسیار سبک) می باشد. برای اتصال بازوها به دسته فرمان، از یک اتصال با ۳ درجه آزادی چرخشی استفاده شد.



شکل ۳-۲۷- اتصال ۳ درجع آزادی چرخشی فرمان خودروی آپادانا

ترمزا :

در خودروهایی که تکنولوژی هیبرید به کار رفته است، سیستم ترمز یکی از قسمت‌های مهم می‌باشد. در این خودروها، هر دو سیستم ترمز هیدرولیکی (معمول برای تمامی خودروها - در قوانین مسابقه نیز آمده) است که سیستم ترمز باید هیدرولیکی باشد) و سیستم ترمز بازیاب (Regenerative Brake System) در کنار هم فعالیت می‌کنند. در سیستم ترمز هیدرولیکی، سیال، نیروی وارد شده به پدال ترمز را به لنت‌های ترمز دیسکی منتقل می‌کند و ترمز اعمال می‌شود. همچنین سیستم ترمز بازیاب به گونه‌ای کار می‌کند که مقداری از انرژی جنبشی چرخ‌ها را به هنگام ترمز گرفتن به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. این عمل توسط یک ژنراتور انجام شده و انرژی الکتریکی تولید شده، در باتری‌هایی که در خودرو تعییه شده‌اند، ذخیره می‌شود. CPU خودرو و چندین حسگر، کار این سیستم ترمز را کنترل می‌کنند.

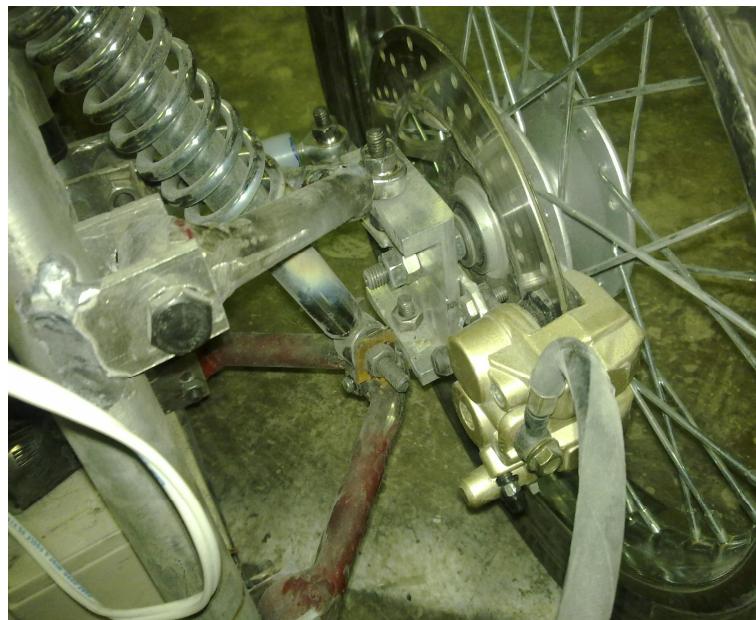
برای ترمزا خودروی آپادانا، در ابتدا با توجه به وزن و سرعت پایین خودروی آپادانا، باید تعیین می‌شد که مقدار انرژی که در اثر ترمز بازیاب ذخیره می‌شود، چه درصدی از کل انرژی خازن را شامل می‌شود؛ به عبارت دیگر باید تست می‌شد که ترمز بازیاب به صرفه است یا خیر. با انجام یک سری محاسبات دستی، مشخص شد که این مقدار انرژی، درصد بسیار پایینی از انرژی خازن را شامل می‌شود. با فرض اینکه ترمز

بازیاب بتواند 50 درصد از انرژی ترمی را ذخیره کند؛ همچنین با توجه به اینکه ماکزیمم انرژی که خازن می‌تواند ذخیره کند برابر با 152 کیلوژول است، داریم :

$$\text{انرژی که توسط ترمی بازیاب ذخیره می‌شود} = 0.5 * 0.5 * 220 \text{ Kg} * 50^2 \text{ Km/h} = 10.6 \text{ Kj} << 152 \text{ Kj}$$

بنابراین در طراحی‌ها از این مقدار صرفه نظر کردیم. البته پیاده سازی ترمی بازیاب برای خودروی آپادانا با توجه به اینکه موتور الکتریکی به محور عقب متصل است، کار دشواری نبود. ولی با توجه به اینکه در طراحی‌های اولیه، چرخهای عقب به محور صلب نبودند، عمل بازیابی صورت نمی‌گرفت. هرچند که در مراحل تست و اصلاح، قابلیت ترمی بازیابی هم به سیستم اضافه شد.

با توجه به وزن و سرعت پایین خودرو، تصمیم بر آن گرفته شد که فقط در چرخهای جلو از ترمی استفاده شود. نوع ترمی که استفاده شد، ترمی دیسکی با کالیپر دو پیستونه بود که بر روی یکی از موتورسیکلت‌های بازار نصب شده بود. برای استفاده از ترمزها، یک پدال در اتاقک راننده جلوی پای او تعییه شده است که روغن را از داخل شلنگ‌ها عبور داده و به پشت پیستون‌ها می‌رساند. نکته قابل ذکر در مورد نصب ترمزها این بود که برای کارایی بهتر ترمزها، عمل هواگیری باید به بهترین شکل انجام می‌شد.



شکل 3-28- ترمی چرخهای جلوی خودروی آپادانا

فصل چهارم

فاز تست و اصلاح خودرو

مراحل تست خودروی آپادانا به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

- تست های حرکتی. در این تست ها، سیستم های مکانیکی خودرو جهت حرکت هر چه بهتر و همراه با اتلاف کمتر انرژی، مورد آزمایش قرار می گیرند. این تست ها در مسیری رفت و برگشتی به مسافت 200 متر انجام گرفت و شامل موارد زیر هستند :

1. سیستم انتقال قدرت.

2. سیستم تعليق .

3. سیستم فرمان و ترمزها.

پس از انجام تستهای حرکتی، اعضای تیم با انجام اصلاحات لازم، خودرو را برای تست مصرف سوخت آماده کردند.

- تست مصرف سوخت. در این تست، مصرف سوخت خودرو در یک مسیر از قبل تعیین شده اندازه گیری می شود. این مرحله از تست، پس از پایان تست های حرکتی انجام گرفت.

(1-4) تست های حرکتی و اصلاحات خودرو:

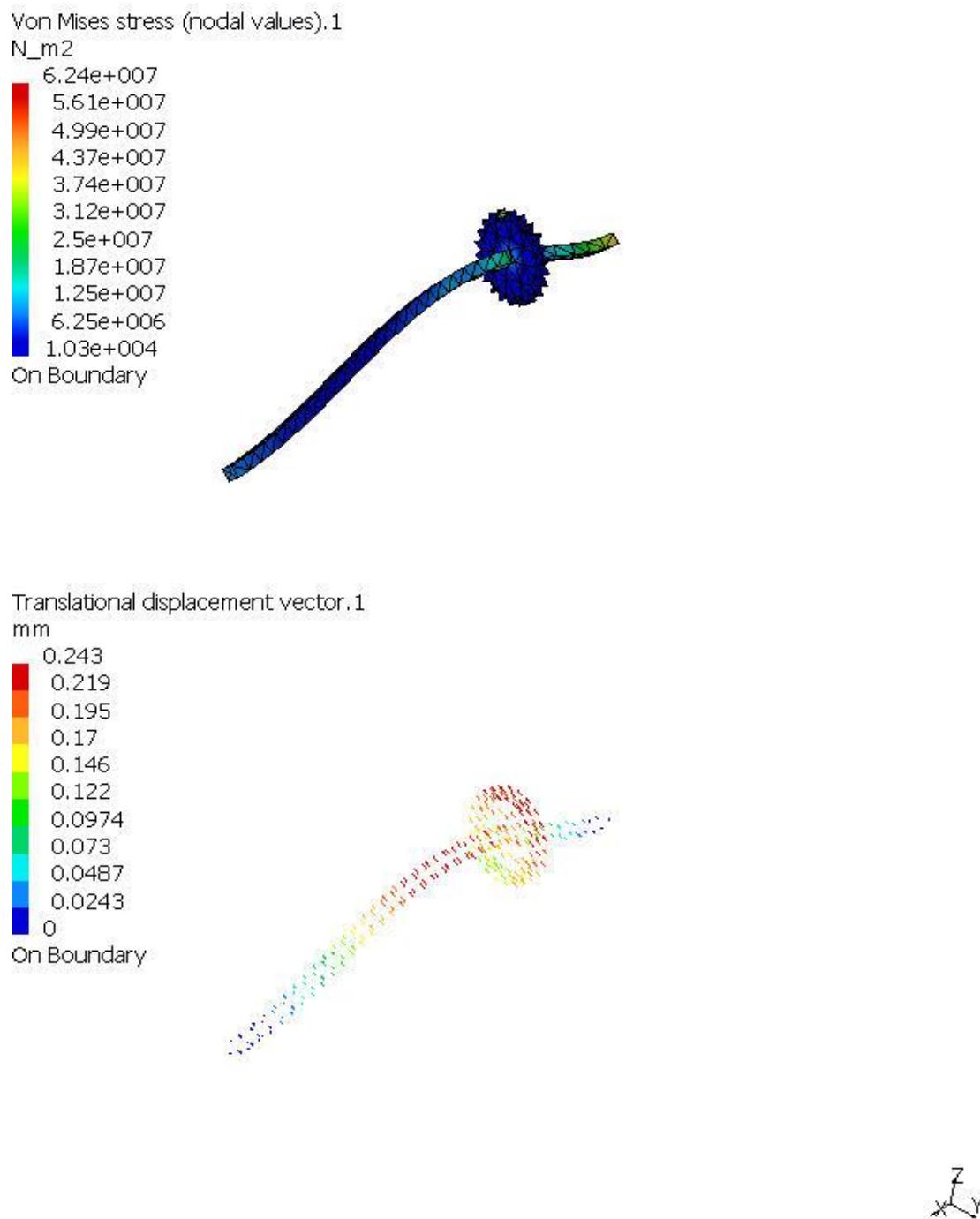
- سیستم انتقال قدرت

پس از انجام تست ها، مشکلات سیستم شامل موارد زیر مشخص شدند :

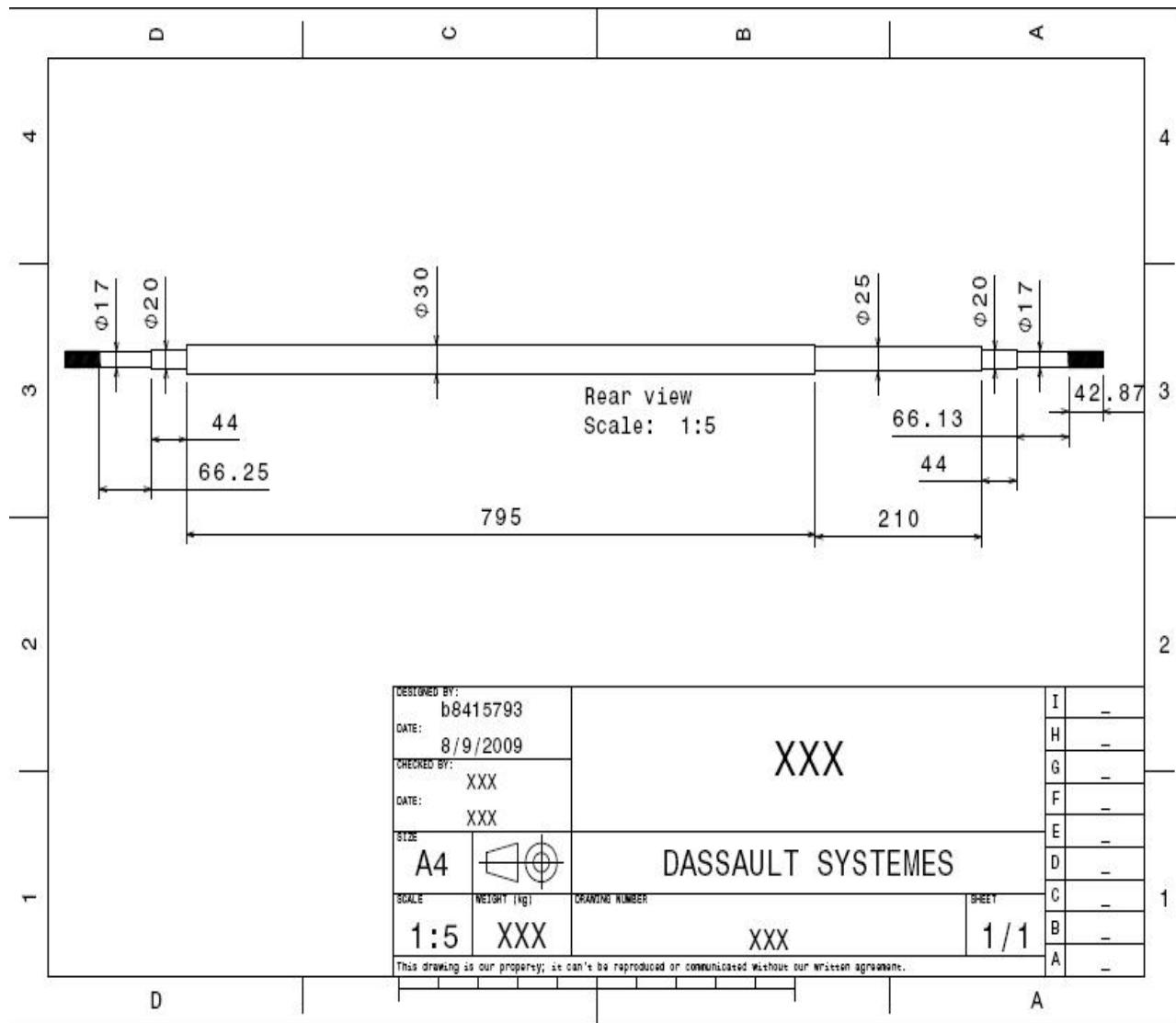
1. کلاچ خودرو. در سیستم انتقال قدرت خودروی آپادانا، یک عدد کلاچ اتوماتیک بر روی شافت خروجی موتور بنزینی و قبل از موتور الکتریکی قرار دارد. این کلاچ از نوع گریز از مرکز بوده و با توجه به سختی فنرهای استفاده شده در آن، در سرعت مشخصی درگیر می شود. بعد از انجام تست ها، مشخص شد که این کلاچ ضعیف است و پس از کار کردن خودرو برای یک مدت کوتاه، صفحات آن داغ شد و اصطکاک بین این دو صفحه از بین رفت. در نتیجه کلاچ در هیچ سرعتی از محور خروجی موتور بنزینی، درگیر نمی شد و قدرت به محور عقب انتقال نمی یافت. راه حلی که در این مورد وجود داشت، استفاده از یک کلاچ قوی تر بود که البته دور درگیری آن باید مانند کلاچ قبلی در حدود 3500 تا 4000 دور بر دقیقه باشد. پس از زمان کوتاهی جستجو برای یافتن کلاچ مناسب، یک کلاچ از نوع گریز از مرکز که برای انتقال توان ماکزیممی برابر با 10 اسب بخار طراحی شده بود و سرعت درگیری آن در حالت بدون بار 4000 دور بر دقیقه بود، انتخاب گردید. مزیت دیگر کلاچ جدید نسبت به کلاچ قدیمی، هم مرکزی صفحات آن بود که به صورت خود به خود در هنگام نصب کلاچ بر روی محور انجام می شد. برای مونتاژ این کلاچ بر روی سیستم، مجبور شدیم محور ورودی CVT را عوض کنیم.

2. محور عقب خودرو. قطر محور عقبی که در طراحی ها برای خودروی آپادانا در نظر گرفته شده بود، برابر با 20 میلیمتر بود. این محور، قدرت را بوسیله یک زنجیر از محور خروجی CVT می گرفت و به چرخها منتقل می کرد. در طراحی های انجام شده، فقط تحلیل های استاتیکی و خستگی انجام شده بود و مسأله ارتعاشات محور در نظر گرفته نشده بود. هنگام انجام تست های حرکتی خودرو، زنجیر سیستم از روی دنده زنجیر جدا می شد و ارتباط بین سیستم انتقال قدرت با محور عقب از بین می رفت. راه حلی که در این مورد وجود داشت، افزایش قطر شافت محور عقب و همچنین افزایش پهناهی دانه های زنجیر و دنده زنجیر بود. برای یافتن قطر مناسب محور، محور عقب به همراه تکیه گاه های آن در نرم افزار CATIA مدل سازی شد و سپس توسط نرم افزار Sim Designer for CATIA، ماکزیمم جابجایی محور در اثر نیروی وارده توسط زنجیر به آن، تعیین شد. نتیجه حاصل قطر 30 میلیمتر را

برای محور عقب، مناسب دانست. در زیر نمونه ای از نتایج تحلیل ها و همچنین نقشه کارگاهی محور جدید را ملاحظه می کنید.



شکل ۱-۴ – نتایج حاصل از تحلیل محور عقب خودروی آپادانا



شکل ۴-۲- نقشه کارگاهی محور عقب خودروی آپادانا

۳. منبع ذخیره انرژی الکتریکی. پس از انجام تست های حرکتی، مشخص شد که ابرخازنی که به عنوان منبع تغذیه و همچنین ذخیره انرژی الکتریکی، در سیستم وجود دارد، زمان بسیار کمتری نسبت به آنچه که از قبل در طراحی ها پیش بینی می شد، می تواند انرژی لازم برای موتور الکتریکی را فراهم می کند. این موضوع باعث می شود مدت زمانی که موتور الکتریکی در یک مسیر مشخص می تواند موتور بنزینی را کمک کند، کاهش یابد. برای رفع این مشکل، تصمیم گرفته شد که از دو عدد باتری به عنوان منابع تغذیه اصلی در سیستم

استفاده کنیم. بطوریکه باتری ها با ابرخازن موازی هستند. باتری ها 12 ولتی و 17 آمپر ساعتی می باشند. در سیستم جدید ابرخازن دو نقش اساسی خواهد داشت :

- کاهش محسوس زمان شارژ و دشارژ باتری ها.

- ریپل کردن یا یکنواخت کردن جریان ورودی موتور الکتریکی.

بدین ترتیب، می توانیم از موتور الکتریکی در زمان طولانی تری استفاده کنیم.

برای مونتاژ باتری ها بر روی شاسی خودرو، از یک حفاظ چوبی استفاده کردیم و آنها را در کنار ابرخازن در قسمت پایینی شاسی قرار دادیم.

4. اتصال چرخهای عقب به محور عقب . همانطور که گفته شد برای رفع مشکلات ناشی از نبود دیفرانسیل بر روی محور عقب خودرو، دو عدد بلبرینگ یک طرفه در توبی هر یک از چرخها استفاده شده بود. در تست های حرکتی، براساس بار وارد به بلبرینگ ها، همه آنها شکستند. راه حلی که وجود داشت، صلب کردن محور عقب به چرخها بود. به این ترتیب که در هر یک از چرخها از دو بلبرینگ ساده که نسبت به بلبرینگ های قبلی قوی ترند، استفاده شد و سپس با پیچ کردن محور به چرخها، محور صلب شد. با این کار، خودرو آزاد بود که در جهت عقب هم حرکت کند. در عوض خاصیت دیفرانسیلی محور عقب از بین رفت. از طرف دیگر، در مواقعی که راننده پای خود را از روی پدال گاز بر می دارد، این امکان وجود دارد که ممتنم چرخها، بتواند از طریق موتور الکتریکی، باتری و خازن را شارژ کند (خاصیت ترمز بازیاب).

5. استراتژی حرکت خودرو. با توجه به وارد شدن باتری به مدار قدرت سیستم هیبریدی، استراتژی حرکت و استفاده از خودرو قدری تغییر می کند. با انجام اصلاحات لازم که در طول انجام تست ها نتیجه گیری شدند، استراتژی نهایی برای حرکت خودروی آپادانا به صورت زیر خواهد بود :

- نحوه به کارگیری ENGINE و DC MOTOR :

ENGINE همواره به عنوان نیروی محرکه اصلی و DC MOTOR به عنوان نیروی کمکی به محور گشتاور اعمال می کنند. در مسیر های شیب دار، هنگام راه اندازی و موقعیت هایی که احتیاج به گشتاور بالایی داریم، از DC MOTOR به عنوان محرک کمکی استفاده می کنیم. در موقعیت هایی که ENGINE به عنوان محرک کافی است، DC MOTOR را از مدار خارج کرده

و اگر وضعیت جاده طوری باشد که گشتاور ENGINE بیشتر از گشتاور مورد نیاز برای حرکت باشد (سراسیبی ها)، DC MOTOR به عنوان شارژر عمل می کند. در واقع در این موقعیت، کنترل کننده سرعت خودرو است و از افزایش سرعت آن جلوگیری می کند.

- موقعیت شروع حرکت :

(الف) روشن کردن سیستم: یک کلید کلی برای قطع و وصل برق کل سیستم در زیر دسته فرمان بر روی برد جلوی خودرو تعییه شده است که برق PLC به عنوان کامپیوتر مرکزی و اینورتر را قطع و وصل می کند. برای روشن کردن سیستم این کلید باید در "وضعیت ON" باشد. بعد از زدن کلید اصلی، PLC شروع به کار کرده و تا بالا آمدن برنامه آن باید کمی صبر کنیم (سبز شدن چراغ روی PLC). سپس تمام کلیدهای روی برد جلوی راننده قابلیت قطع و وصل داشته و آماده به کارند.

(ب) روشن کردن ENGINE : برای روشن کردن موتور بنزینی از استارتر استفاده می کنیم که کلید آن در بالای برد سمت راست قرار دارد (کلید قرمز رنگ به صورت فشاری). سرعت چرخش محور خروجی موتور بنزینی توسط پدال گاز تنظیم می شود. در مدار استارت موتور بنزینی، یک آفتمات قرار داده شده است تا به هنگام استارت زدن، به باتری بار زیادی وارد نشود.

(ج) روشن کردن DC MOTOR : موتور الکتریکی مورد نظر بوسیله درایو الکتریکی راه اندازی می شود. با زدن کلید درایو (قرار داده شده بین دو فیوز بر روی برد جلوی راننده) موتور الکتریکی آماده به کار بوده و بوسیله پتانسیومتر تعییه شده در بالای آن می توان دور موتور را تنظیم کرد (چرخش ساعتگرد پتانسیومتر به معنی افزایش دور موتور و چرخش پاد ساعتگرد آن به معنی کاهش دور موتور است). باید توجه کرد که هنگام راه اندازی (استارت موتور بنزینی خودرو)، پتانسیومتر کاملاً بسته باشد (محل صفر) تا به موتور الکتریکی فشار وارد نشود. درایو را باید بعد از استارت خودرو روشن کرد. اگر کلید درایو موتور الکتریکی در حالت OFF باشد به معنای این است که موتور الکتریکی نمی تواند در حالت موتوری عمل کند؛ در حالیکه در سرعت های بالا می تواند به صورت ژنراتور عمل کند.

از نکات قابل توجه در حین کارکردن موتور الکتریکی، ولتاژ باتری ها (ابرخازن) است که بوسیله یک ولتمتر در سمت چپ برد، نمایش داده می شود. این مقدار بیانگر شارژ منبع تغذیه الکتریکی سیستم است.

د) راه اندازی خودرو : در هنگام راه اندازی، چون اینرسی سکون ماشین زیاد بوده و احتیاج به نیروی بالایی برای حرکت داریم، هم از ENGINE و هم از DC MOTOR استفاده می کنیم. بطوریکه ابتدا پدال گاز را فشار داده و همزمان با آن پتانسیومتر را در جهت ساعتگرد می چرخانیم تا گشتاور موتورها با هم جمع شود.

- در طول حرکت خودرو :

پس از راه افتادن خودرو، باید توجه کرد که DC MOTOR در حال کار کردن است و ENGINE به عنوان محرک اصلی عمل می کند. با توجه به میزان شارژ منابع تغذیه الکتریکی و شرایط جاده مورد نظر (که آیا ENGINE به تنهایی کافی است یا خیر) می توان DC MOTOR را خاموش کرد و یا روشن باقی گذاشت. در اینجا CVT کار خود را شروع می کند و با توجه به باری که از طرف جاده به چرخها وارد می شود، قدرت دو منبع تولید قدرت را با نسبت تبدیل مناسب به محور عقب منتقل می کند.

تنها در سرعت های پایین به سیستم کمک می کند و در سرعت های بالا به عنوان شارژر عمل می کند. هرگاه در سرعت های بالا، نیاز به گشتاور کامل ENGINE داشته باشیم، باید DC MOTOR را از مدار خارج کنیم تا به طور کامل گشتاور ENGINE به محور عقب منتقل شود. جهت قطع موتور الکتریکی از مدار از یک رله که بوسیله PLC کنترل می شود، استفاده می کنیم. کنترل PLC بر روی این رله به این صورت است که ابتدا کلید سمت چپ PLC را می زنیم تا وارد صفحه مورد نظر شویم. سپس برای قطع کردن موتور الکتریکی، کلید PLC بر روی ESC را نگه داشته و همزمان کلید UP را می زنیم. هرگاه موتور از مدار خارج باشد، یک چراغ قرمز زیر پتانسیومتر روشن خواهد شد. برای وصل کردن مجدد موتور الکتریکی بوسیله رله، باید کلید ESC بر روی PLC را نگه داشته و همزمان کلید DOWN را بزنیم تا هم چراغ قرمز خاموش شود و هم موتور وارد مدار گردد.

روش گفته شده برای قطع موتور الکتریکی از مدار، یک روش دستی است. می توان آنچه گفته شد را بوسیله یک برنامه که به PLC داده می شود، به صورت اتوماتیک انجام داد. بدین منظور یک کلید قطع و وصل در سمت چپ برد جلوی خودرو تعییه شده است که جهت قطع و یا وصل سیستم اتوماتیک خارج کردن موتور الکتریکی از مدار می باشد. سیستم اتوماتیک به این صورت است که برای PLC تعریف می شود اگر سرعت محور خروجی موتور بنزینی از یک حد مشخص بالاتر رفت، برای عدم جلوگیری از کاهش سرعت خودرو توسط موتور الکتریکی، موتور الکتریکی را از مدار خارج کند. اگر ما بخواهیم در سرعت های بالا، موتور الکتریکی باتری ها را

شارژ کند، کلید ذکر شده را در حالت قطع قرار می دهیم؛ در غیر این صورت در سرعت های بالا، موتور الکتریکی به صورت اتوماتیک از مدار خارج خواهد شد.

هرگاه سرعت خودرو بالا باشد (دور شافت ENGINE حدود 5000 دور بر دقیقه) و باتری ها شارژ کمی داشته باشند، باید DC MOTOR در مدار باشد تا باتری ها را شارژ کند. عمل شارژ شدن باتری ها توسط موتور الکتریکی، توسط نمایشگر جریان الکتریکی (آمپر متر) که بر روی MOTOR برد خودرو قرار دارد، قابل مشاهده است. اگر عقربه به سمت بالا حرکت کند، یعنی DC ENGINE در حال مصرف انرژی است (به کمک می کند) و اگر عقربه به سمت پایین حرکت کند موتور در حال تولید انرژی (شارژ کردن باتری ها) خواهد بود.

نکته مهم دیگری که باید در اینجا به آن اشاره کرد، حد پایین و بالای باتری ها و خازن به عنوان منابع ذخیره انرژی الکتریکی سیستم است. حد بالای شارژ برابر با 24 ولت (ماکزیمم ولتاژ باتری ها و خازن) و حد پایین شارژ برابر با 18 ولت یعنی ولتاژی که از آن مقدار پایین تر PLC به عنوان کنترل کننده سیستم، خاموش می شود، می باشد. در سیستم حاضر برق PLC از باتری های مدار قدرت تأمین می شود؛ در صورتیکه بتوانیم یک منبع انرژی جداگانه برای در نظر بگیریم، حد پایین شارژ سیستم تا 12 ولت (مینیمم ولتاژ ابرخازن) پایین می آید.

- انتهای حرکت خودرو :

هنگام توقف خودرو می خواهیم سرعت خودرو را کاهش دهیم و در نهایت بایستیم. در این موقعیت باید به موارد زیر توجه شود :

الف) اگر موتور در مدار بوده و پتانسیومتر تا آخر باز باشد، باید پتانسیومتر را به حالت صفر برد و یا کلید درایو را قطع کرد تا موتور الکتریکی در هنگام کم شدن سرعت خودرو باعث اعمال نیروی جلوبرنده به محور عقب نشود.

ب) اگر موتور در مدار نبوده (بوسیله رله)، در این حالت نیز باید درایو را خاموش کرد تا در هنگام راه اندازی بعدی به موتور فشار وارد نشود.

ج) اگر درایو خاموش باشد، هیچ مشکلی برای ایست کامل نخواهیم داشت.

پس از ایست کامل خودرو باید به نکات زیر توجه کرد :

الف) درایو الکتریکی خاموش باشد.

ب) پتانسیومتر به حالت صفر برگردانده شده باشد.

ج) دکمه فشاری موجود در قسمت سمت راست برد، فشرده شود تا ENGINE خاموش گردد.

د) کلید قطع کل سیستم که در زیر دسته فرمان قرار دارد، در حالت قطع قرار گیرد تا برق خودرو بطور کامل قطع شود.

- سیستم تعليق

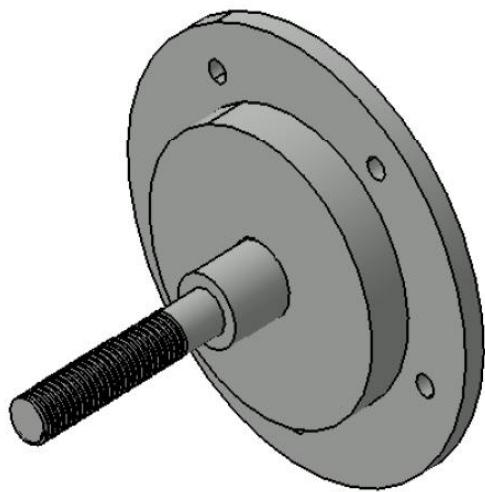
پس از انجام تست ها، مشکلات سیستم شامل موارد زیر مشخص شدند :

۱. اتصال چرخها به سگ دست . در حین انجام تست ها، ملاحظه شد که چرخ سمت چپ جلوی خودرو، پس از طی مسافتی قفل می کند. همچنین هر دو چرخ جلو در حین حرکت، لنگ می زندند. دو دلیل برای این مشکلات وجود داشت:

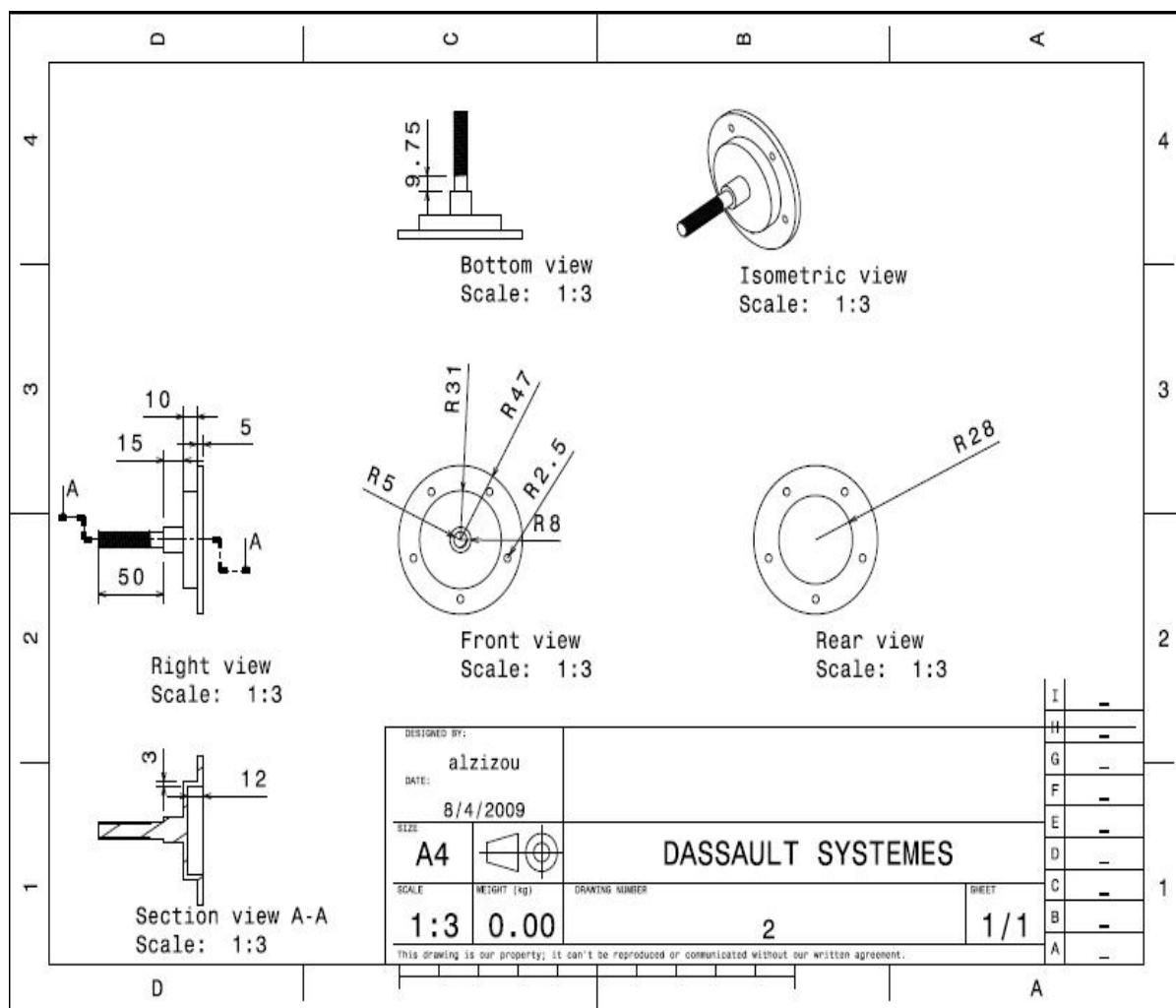
- مهره های محور داخلی چرخ سمت چپ، در حین حرکت رو به جلو خودرو، بسته می شدند و به بلبرینگ های داخل چرخ فشار وارد کرده و چرخ را متوقف می کردند.

- لنگ زدن چرخها بدليل مناسب نبودن واشرهای لاستیکی استفاده شده بین بلبرینگ و سگ دست بود.

برای رفع این مشکلات، راه حلی که مناسب به نظر می رسید، استفاده از قطعه ای بود که به صفحه توپی چرخ پیچ شود و محور خروجی از این قطعه از درون بلبرینگی که داخل سگ دست قرار داشت، عبور کند و سپس با مهره محکم شود. به این ترتیب دیگر از بلبرینگ های درون توپی چرخ استفاده ای نمی شد. همچنین برای رفع مشکل قفل شدن چرخ سمت چپ، رزوی روی محور این چرخ، چپ گرد تراشیده شد و برای بستن آن از دو مهره چپگرد استفاده کردیم. برای چرخ سمت راست از مهره و محور راستگرد استفاده شد. شکل شماتیک این قطعه به همراه نقشه کارگاهی آن را در شکل های ۳-۴ و ۴-۴ مشاهده می کنید. ساخت این قطعه که ۲ عدد از آن نیاز بود، توسط یک کارگاه قطعه سازی انجام گرفت.



شک ۴-۳- شماتیک قطعه متصل کننده چرخهای جلو به سگدست ها.



شکل ۴-۴- نقشه کارگاهی قطعه متصل کننده چرخهای جلو به سگدست.

بعد از تست مجدد، چرخها هنوز لنگ می‌زندن ولی مشکل قفل شدن چرخ سمت چپ، حل شد. بعد از بررسی دوباره مشکل و مشورت با افراد متخصص، نتیجه این شد که این لقی چرخ در داخل سگ دست، ناشی از لقی بلبرینگ است. چون تکیه گاه محور چرخ فقط یک بلبرینگ بود، لقی خود بلبرینگ که در حد صدم میلیمتر است، در ابعاد قطر چرخ، موجب ایجاد لنگی می‌شد. راه حل این بود که بر روی شافت چرخ از دو بلبرینگ اسفاده شود. بنابراین مجبور شدیم به همان سیستم چرخ موتورسیکلت برگردیم، با این تفاوت که این بار بین بلبرینگ داخل توپی چرخ و سگ دست از یک بوش فولادی که با دقت بالایی تراشیده شده بود، استفاده کردیم. در اینجا نیز محور چرخ سمت چپ جلوی خودرو، رزوه چپگرد دارد و با مهره چپگرد محکم شده است.

2. زاویه کم بر منفی چرخها. همانطور که گفته شد جناق‌های سیستم تعليق خودرو توسط اعضای گروه و به صورت تجربی ساخته شد. به دلیل دقت پایین ساخت این قطعات، زاویه کم بر منفی در چرخهای جلوی خودرو ایجاد شد که این موضوع موجب عدم فرمان‌پذیری مناسب خودرو می‌شود. بعلاوه زیاد بودن این زاویه موجب افزایش نیروهای جانبی وارد بر خودرو در پیچ‌ها می‌گردد. برای رفع این مشکل، جناق‌های فوقانی چرخ‌های جلو اصلاح گردید و زاویه کم بر کمتر شد. همچنین برای کمتر شدن این زاویه، در اتصالات پیچ و مهره بین جناق‌ها و سگ دست از واشر فنری استفاده کردیم. در نهایت، این مقدار کاهش یافت ولی به حد مطلوب نرسید.

• سیستم فرمان و ترمزا

در طول تست‌های حرکتی خودرو، یکی از یزگترین مشکلاتی که با آن روبرو بودیم، نرم نبودن و زاویه کم فرمان‌پذیری خودرو بود. برای رفع این مشکل دو عمل انجام شد :

- روغن کاری اتصالات فرمان خودرو. با این کار بلبرینگ‌هایی که در سیستم به کار رفته اند، روانتر و نرم‌تر کار می‌کنند.

- از بین بردن سطح تماس بین سگ‌دست و جناق‌های سیستم تعليق. تماس بین آنها به سیستم فرمان اجازه چرخش نمی‌داد. با کاهش این سطح تماس، زاویه فرمان‌پذیری سیستم بیشتر شد.

همچنین ترمزهای دیسکی چرخهای جلو دو مشکل داشتند. یکی حساسیت کم پیستون‌ها و دیگری درگیری لنت و دیسک ترمز در حالت عادی که موجب اتلاف انرژی در سیستم می‌شد. برای حل این دو مشکل دو راه کار ارائه شد:

- هواگیری مجدد سیستم ترمز. اگر هواگیری با دقت انجام بگیرد، مشکل عدم حساسیت ترمزها از بین خواهد رفت.

- ساییدن لنت‌ها به منظور افزایش فاصله آنها تا دیسک ترمز. اگر چه این عمل، یک عمل حرفة‌ای نیست ولی اگر به مقدار کافی از ضخامت لنت‌ها کاسته می‌شد، مشکل درگیری لنت و دیسک ترمز از بین می‌رفت.

در نهایت با پیاده کردن دو مورد ذکر شده، مشکلات سیستم ترمز به طور کامل حل شد.

• اصلاح بدن خودروی آپادانا

همانطور که قبل‌اگفته پس از طراحی بدن، ساخت آن توسط اعضای تیم آغاز شد. برای ساخت بدن ابتدا باید قالب‌های آن تأمین می‌شد و سپس الیاف کربن نهایی روی این قالب‌ها قرار می‌گرفت. پس از انجام تمامی این مراحل، بدلاًیل مختلفی، بدن خودروی آپادانا، قابل استفاده و مناسب نبود:

- کم تجربگی افراد تیم برای ساخت بدن. قالب‌های اولیه، سطحی صاف نداشتند.

- فاصله زیاد بین بدن و شاسی خودرو. اتصال بدن به شاسی با دشواری زیادی همراه بود.

- دشوار بودن نصب چراغ‌های خودرو بر روی بدن.

- دشوار بودن نصب شیشه و در بر روی بدن خودرو.

همه این موارد موجب شد که بدن خودروی آپادانا، از هر لحاظ مناسب نباشد. از این‌رو تصمیم گرفته شد که با هزینه‌ای پایین و در زمانی کم، یک بدن موقت با ظاهری زیبا و وزنی پایین برای آپادانا ساخته شود. جنس این بدن از فلکسی گلاس (نوعی شیشه که قابلیت انعطاف دارد) است و در قطعاتی کوچک بر روی شاسی نصب شده است. برای رنگ خودرو از نوار چرمی با رنگ طوسی استفاده شد. در اینجا خودروی آپادانا را بعد از نصب بدن جدید بر روی آن مشاهده می‌کنید.



شکل 4-5 - خودروی آپادانا با بدنه نهایی

(2-4) تست مصرف سوخت خودرو :

پس از انجام تست های حرکتی و همچنین اصلاحاتی که موجب بهبود عملکرد حرکتی خودرو می شد، نوبت به آخرین تست خودرو رسید. برای انجام تست مصرف سوخت خودرو، به یک سری امکانات و شرایط نیاز داشتیم :

- مسیر مناسب برای تست خودرو. منظور از مسیر مناسب، مسیری است مانند یک پیست مسابقه خودرو که هم شیب زیادی نداشته باشد و هم جاده، بدون پستی و بلندی باشد. بعلاوه باید جایی باشد که خودرو دیگری تردد نکند. مسیری را که اعضای تیم توانستند برای تست خودرو حاضر کنند. یک پارکینگ بزرگ خودرو بود که در ساعات کم تردد روز برای تست خودرو مناسب بود. همچنین مسیر جاده مسطح بود. تنها مشکل این مسیر، شیب نسبتاً زیاد آن بود. به هر حال

بدلیل نزدیکی پارکینگ ذکر شده به محل نگهداری خودرو، این محل انتخاب شد. مسافت یک دور این مسیر بار با ۳۳۰ متر بود.

- روش اندازه‌گیری مصرف سوخت خودرو. برای این کار از روشی که در مسابقات Shell Ecomarathon استفاده می‌شود، استفاده کردیم. بدین ترتیب که یک مخزن سوخت که مقدار ماکزیمم آن توسط یک خط مشخص شده است را به عنوان باک بنزین موتور بنزینی قرار دادیم. قبل از شروع تست، این مخزن را تا مقدار ماکزیمم از بنزین پر کردیم. پس از پایان تست، با یک سرنگ مدرج، مقداری بنزین در مخزن ریختیم تا دوباره به مقدار ماکزیمم خود برسد. مقدار مصرف بنزین خودرو برابر با مقدار بنزینی است که توسط سرنگ وارد مخزن می‌شود. البته باید توجه کنیم که مصرف کلی خودرو به این ترتیب مشخص نمی‌شود؛ بلکه باید مقدار انرژی الکتریکی که مصرف شده است را نیز محاسبه کرده و آن را به صورت مقدار معادل بنزین بیان کنیم. این مقدار نیز در مرحله تست انجام شد. مقدار کل بنزین مصرفی خودرو در طول تست برابر با مجموع دو مقدار ذکر شده است.

- توجیه راننده در مورد استراتژی حرکت. ابتدا استراتژی نهایی حرکت خودروی آپادانا توسط اعضای تیم تدوین شد و قبل از شروع تست به راننده که یکی از اعضای تیم بود ارائه شد. در طول مسیر تست، راننده باید سعی کند که از تمامی نکات موجود در استراتژی حرکت پیروی کند. زیرا این امکان وجود دارد که در صورت عدم عمل به استراتژی حرکت، مصرف سوخت خودرو افزایش یابد.

پس از فراهم آوردن شرایط لازم برای تست خودرو، خودرو آماده تست شد. مقرر گردید که خودرو در مسیر ۳۳۰ متری تعیین شده، ۴ دور بنزد. البته قبل از انجام تست نهایی، راننده با خودرو چند بار مسیر را طی کرد تا مطمئن شویم که اشکالی پیش نخواهد آمد. قبل از شروع تست، چند اشکال جزئی در سیستم انتقال قدرت وجود داشت که برطرف شد. در نهایت نتایج حاصل از تست خودرو، به صورت زیر بدست آمد :

- مسافت طی شده : ۱۳۲۰ متر.

- زمان طی کردن هر دور به طور متوسط : ۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه.

- مصرف بنزین از مخزن سوخت : ۲۹ سی سی.

- مصرف انرژی الکتریکی : افت ولتاژ باتری‌ها بین شروع و پایان مسیر از ۲۴ ولت به ۲۱ ولت.

با توجه به اینکه سوختن هر لیتر بنزین، $44/4$ مگاژول بر کیلوگرم انرژی تولید می‌کند و با در نظر گرفتن چگالی بنزین که برابر با ۷۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب است، داریم : (باتری‌ها ۱۷ آمپرساعتی هستند)

$$[(24 - 21) * 17 * 3600] / [44.4 * 1000 * 720 / 10^6] = 5.7 \text{ cc}$$

به عبارت دیگر، افت ولتاژ باتری ها برابر با مصرف $5/7$ سی سی بنزین است. در نتیجه مصرف کل بنزین در طول تست برابر است با :

$$29 + 5.7 = 34.7 \text{ cc} * 100 / 1.32 = 2.6 \text{ lit per 100 Km}$$

مصرف سوخت خودروی آپادانا بر اساس نتایج حاصل از تست، برابر است با $2/6$ در هر 100 کیلومتر. در مقام مقایسه، نمی توان این نتیجه را با مصرف سوخت خودروهای معمولی بازار مقایسه کرد، زیرا هم وزن آنها بیشتر است و هم شرایط مسیر متفاوت. اما می توان این نتیجه را با مصرف سوخت خودروهای مشابه مقایسه کرد. در داخل کشور، اطلاعاتی از خودروی مشابه در دسترس نیست. در خارج از کشور، بهترین مقایسه می تواند با خودروهای شرکت کننده در مسابقات Shell Ecomarathon انجام گیرد. البته شبیه مسیر مسابقه مذکور بسیار کمتر از مسیر تست خودروی آپادانا است و معمولاً خودروها در این مسابقات برای رسیدن به مصرف سوخت بهتر، موتور احتراق داخلی خود را در طول مسیر برای مدتی خاموش می کنند و با مصرف سوخت صفر حرکت می کنند (با اینرسی حرکت می کنند). بهترین و بدترین رکورد در مسابقات Shell که خودروها دارای موتور احتراق داخلی اند ولی لزوماً هیبریدی نیستند، در سال 2008 به صورت زیر می باشد :

- بهترین رکورد مربوط به تیمی از سوئد با مصرف $0/34$ لیتر در 100 کیلومتر.

- بدترین رکورد مربوط به تیمی از فرانسه با مصرف $1/4$ لیتر در 100 کیلومتر.

- رکورد تیمی از سوئد با خودروی هیبریدی الکتریکی : $1/12$ لیتر در 100 کیلومتر.

همانطور که ملاحظه می شود رکورد خودروی آپادانا، با تیم های مذکور فاصله زیادی دارد. در هر صورت با ادامه فعالیت بر روی خودروی آپادانا، ارتقای ادوات تولید قدرت آن و کاهش تلفات خودرو، می توان به دستیابی به رکورد های بهتر امیدوار بود.

فصل پنجم

زمان بندی اجرای پروژه و برآورد هزینه ها

(تمامی هزینه ها بر حسب ریال است)

: کل پروژه (1-5)

هزینه کل	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	فاز
2/000/000	87/5/31	87/2/1	120 روز	مطالعات اولیه
6/000/000	87/9/31	87/6/1	120 روز	طراحی
139/260/000	88/1/31	87/10/1	120 روز	ساخت
5/800/000	88/6/1	88/5/1	31 روز	تست و اصلاح

(2-5) فاز اول پروژه: مطالعات اولیه

مرحله	مدت زمان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	هزینه تجهیزات	هزینه مسافرت	هزینه انتشارات	هزینه کل
جمع آوری اطلاعات	45 روز	87/2/1	87/3/15	500/000	300/000		800/000
دسته بندی و سطح بندی اطلاعات	25 روز	87/3/16	87/4/8	100/000			100/000
گزارش اطلاعات مورد نیاز	20 روز	87/4/9	87/4/31	200/000			200/000
جمع بندی اطلاعات و ارائه گزارش	30 روز	87/5/1	87/5/31	400/000	500/000	900/000	

(3-5) فاز دوم پروژه: طراحی

هزینه کل	هزینه انتشارات	هزینه مسافرت	هزینه تجهیزات طراحی	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	مرحله
625/000	125/000		500/000	87/9/31	87/9/15	15 روز	طراحی سیستم ترمز و اتصالات آن
625/000	125/000		500/000	87/9/31	87/9/15	15 روز	طراحی سیستم فرمان و اتصالات آن
625/000	125/000		500/000	87/9/31	87/9/1	15 روز	طراحی سیستم تعیین و اتصالات آن
2/025/000	125/000	400/000	1/500/000	87/8/31	87/6/1	90 روز	طراحی سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی
1/075/000	125/000		950/000	87/9/31	87/9/1	30 روز	طراحی شاسی خودرو
1/025/000	125/000		900/000	87/9/31	87/9/1	30 روز	طراحی بدنه خودرو

(4-5) فاز سوم پروژه: ساخت

هزینه کل	هزینه دستمزد	هزینه مسافرت و حمل و نقل	هزینه انتشارات	هزینه ابزار	هزینه مواد اولیه و قطعات	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	مرحله
4/340/000	20/000	670/000	150/000	400/000	2/920/000	88/1/20	88/1/5	15 روز	سیستم ترمز و اتصالات آن
1/200/000		260/000	150/000	200/000	590/000	88/1/20	88/1/5	15 روز	سیستم فرمان و اتصالات آن
12/640/000	50/000	690/000	150/000	500/000	10/800/000	88/1/31	88/1/1	30 روز	سیستم تعليق و اتصالات آن
68/600/000	107/000	1/930/000	250/000	400/000	64/950/000	88/1/31	87/10/1	4 ماه	سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی
20/250/000	1/298/000	1/680/000	170/000	600/000	4/820/000	87/12/30	87/10/1	3 ماه	شاسی خودرو
26/230/000	360/000	2/000/000	170/000	1/510/000	18/950/000	87/12/30	87/10/1	3 ماه	بدنه خودرو

6/000/000	5/500/000	500/000				88/1/31	88/1/16	10 روز	جعبه خودرو
-----------	-----------	---------	--	--	--	---------	---------	--------	------------

فاز سوم - مرحله اول: سیستم ترمز خودرو و اتصالات:

مرحله	مدت زمان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	هزینه مواد اولیه و قطعات	هزینه ابزار	هزینه حمل و نقل	هزینه دستمزد	هزینه کل
خرید کالیپر ترمز(4 عدد)	5 روز	88/1/5	88/1/9	780/000		250/000		1/030/000
خرید شلنگ و پمپ ترمز	5 روز	88/1/10	88/1/14	1/470/000		90/000	200/000	1/760/000
ساخت پدال ترمز	3 روز	88/1/15	88/1/17		200/000			200/000
ساخت اتصال کالیپر ترمز به سگ دست	3 روز	88/1/15	88/1/17	100/000	200/000	80/000		380/000
خرید دیسک ترمز(4 عدد) و نصب آن روی چرخ ها	5 روز	88/1/5	88/1/9	470/000		250/000		720/000
اتصال پدال ترمز به شاسی خودرو	2 روز	88/1/18	88/1/19					
اتصال کالیپر ترمز به سگ دست	2 روز	88/1/18	88/1/19					
هوای گیری ترمز	1 روز	88/1/20	88/1/20	100/000				100/000

فاز سوم - مرحله دوم: سیستم فرمان خودرو و اتصالات آن

مرحله	مدت زمان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	هزینه مواد اولیه و قطعات	هزینه ابزار	هزینه و نقل حمل	هزینه دستمزد	هزینه کل
خرید بازو های فرمان	5 روز	88/1/5	88/1/9	240/000		90/000		330/000
ساخت اتصال فرمان به سگ دست	3 روز	88/1/10	88/1/12	50/000	20/000	80/000		330/000
خرید غربیلک فرمان	2 روز	88/1/13	88/1/15	150/000		90/000		240/000
ساخت اتصال بازو های فرمان به هم	5 روز	88/1/16	88/1/20	150/000				150/000

فاز سوم - مرحله سوم: سیستم تعلیق و اتصالات آن

هزینه کل	هزینه دستمزد	هزینه حمل و نقل	هزینه ابزار	هزینه مواد اولیه و قطعات	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	مرحله
850/000	500/000	100/000		250/000	88/1/6	88/1/1	5 روز	ساخت سگ دست(4 عدد)
750/000		90/000	300/000	360/000	88/1/6	88/1/1	5 روز	ساخت جناق(8 عدد)
380/000		90/000		290/000	88/1/6	88/1/5	2 روز	خرید فر و کمک فر
7/650/000				7/650/000	88/1/25	88/1/1	25 روز	خرید تایر و لاستیک
780/000		80/000		700/000	88/1/29	88/1/26	3 روز	اتصال سگ دست به چرخ
530/000		80/000	200/000	250/000	88/1/31	88/1/30	2 روز	اتصال جناق ها به سگ دست
1/550/000		250/000		1/300/000	88/1/25	88/1/1	25 روز	خرید رینگ و توپی چرخ

فاز سوم - مرحله چهارم: سیستم تولید و انتقال قدرت

هزینه کل	هزینه دستمزد	هزینه مسافرت و حمل و نقل	هزینه ابزار	هزینه مواد اولیه و قطعات	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	مرحله
7/260/000		360/000		6/900/000	87/11/30	87/10/1	60 روز	خرید engine
7/260/000		360/000		6/900/000	87/11/30	87/10/1	60 روز	خرید موتور و driver
1/750/000				1/750/000	87/12/30	87/11/1	60 روز	خرید CVT و کلاچ
26/800/000				26/800/000	87/11/30	87/10/1	60 روز	خرید capacitor
4/820/000	1/070/000	400/000		3/350/000	87/12/30	87/12/1	30 روز	خرید ادوات انتقال قدرت (شافت، کوپلینگ، یاتاقان، چرخ زنجیر، تسمه، پولی)
19/760/000		510/000		19/250/000	88/1/15	88/1/1	15 روز	خرید باتری ها، نمایشگر

								جزئی الکترونیکی ادوات و های سوئیچ
360/000		160/000	200/000		88/1/31	88/1/16	15 روز	نصب و سوار کردن ادوات تولید و انتقال قدرت روی شاسی
340/000		140/000	200/000		88/1/31	88/1/16	15 روز	نصب و سوار کردن ادوات الکترونیکی بر روی شاسی

فاز سوم - مرحله پنجم: شاسی خودرو

مرحله	مدت زمان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	هزینه مواد اولیه و قطعات	هزینه ابزار	هزینه حمل و نقل	هزینه دستمزد	هزینه کل
خرید متریال شاسی و آماده سازی اجزا	45 روز	87/10/1	87/11/15	4/370/000	200/000	690/000	5/000/000	10/260/000
جوشکاری اجزای شاسی	20 روز	87/11/16	87/12/5			400/000	6/280/000	6/680/000

1/040/000		190/000	400/000	450/000	87/12/20	87/12/6	15 روز	ساخت و اماده سازی اتصالات مربوط به سیستم تعليق، فرمان و تولید قدرت بر روی شاسی
2/100/000	1/700/000	400/000			87/12/30	87/12/21	10 روز	جوشکاری اتصالات مربوط به سیستم تعليق، فرمان و تولید قدرت بر روی شاسی

فاز سوم - مرحله ششم: بدن خودرو

مرحله	مدت زمان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	هزینه مواد اولیه و قطعات	هزینه ابزار	هزینه مسافرت و حمل و نقل	هزینه دستمزد	هزینه کل
ساخت قالب های بدن	45 روز	87/10/1	87/11/15	4/900/000	400/000	400/000	5/700/000	5/700/000
آماده سازی قالب های بدن برای ساخت بدن نهایی	15 روز	/11/16 87	87/11/30	1/700/000	160/000	400/000	3/600/000	5/860/000

12/660/000		760/000	500/000	11/400/000	87/12/30	87/12/1	روز 30	ساخت بدن نهایی خودرو
590/000		90/000	250/000	250/000	88/1/10	88/1/1	روز 10	آماده سازی بدنه برای نصب بر روی شاسی
80/000		80/000			88/1/22	88/1/11	روز 12	اتصال و نصب بدنه بر روی شاسی
730/000		150/000	100/000	480/000	88/1/25	87/1/23	روز 3	خرید و نصب چراغ ها، صندلی و درب خودرو
440/000		120/000	100/000	220/000	88/1/31	88/1/26	روز 5	تمیز کاری و رنگ امیزی بدنه

(5-5) فاز چهارم: تست و اصلاح خودرو

هزینه کل	هزینه حمل و نقل	هزینه انتشارات	هزینه ابزار	هزینه مواد اولیه و قطعات	تاریخ پایان	تاریخ شروع	مدت زمان	مرحله
800/000	150/000		200/000	450/000	88/1/15	88/1/1	15 روز	تست و راه اندازی سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی
4/000/000	700/000		800/000	2/500/000	88/5/23	88/5/1	23 روز	تست حرکتی خودرو و اصلاحات
500/000	100/000		100/000	300/000	88/5/25	88/5/24	2 روز	تست مصرف سوخت خودرو
500/000		500/000			88/6/1	88/5/26	6 روز	ارائه نتایج و تدوین گزارش

آینده پروژه آپادانا

برای آینده پروژه خودروی هیبریدی آپادانا می توان دو مورد متصور شد:

۱. ادامه پروژه در سطح دانشجویی و ارتقای خودرو حهت شرکت در مسابقات طراحی و ساخت خودرو در داخل و خارج از کشور و کسب مقام های برتر. طراحی و ساخت و خودروهایی در این کلاس در کشورهایی نظیر سوئد، ژاپن، پرتغال، آمریکا و حتی ترکیه، چندین سال است که آغاز شده است.

۲. ادامه پروژه در سطح صنعتی و پیاده کردن سیستم هیبریدی تست شده در خودروی آپادانا بر روی خودروهای سواری شهری که در داخل کشور تولید می شوند. هم اکنون در کشورهای مختلف نظیر آمریکا و ژاپن، تولید خودروهای هیبریدی شهری از یک دهه پیش شروع شده است.

شرط نیل به این اهداف، دریافت کمک های مالی و همچنین حمایت های معنوی از طرف مسئولین مرتبط می باشد. انشاالله با یاری مسئولین محترم و همچنین همت دانشجویان و صنعتگران عزیز، می توان امیدوار بود که در آینده ای نزدیک، خودروی هیبریدی شهری در داخل کشور تولید شود.

نتیجه گیری

خودروی آپادانا، یک خودروی تک سرنشین با وزنی در حدود ۱۵۰ کیلوگرم و سرعت ماکزیمم ۴۰ کیلومتر بر ساعت است. مصرف سوخت این خودرو بر اساس تست انجام شده برابر با ۲/۵ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر می باشد. تمامی مراحل طراحی و ساخت خودرو توسط دانشجویان مقطع کارشناسی در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفته است.

با اتمام پروژه آپادانا نتایج زیر حاصل شده است :

- بومی سازی تکنولوژی خودروی هیبریدی. با توجه به اینکه پیش بینی می شود تا ۲۰ سال آینده اکثر خودروهای تولیدی در کارخانه های خودروسازی جهان از نوع هیبریدی باشند، بومی سازی ساخت این خودروها در کشور از اهمیت خاصی برخوردار است
- ساخت خودرویی کم مصرف که هم می تواند در سطح دانشجویی دنبال شود و هم در سطح صنعتی. با در نظر گرفتن این نکته که در دهه های آینده مهمترین مسأله در جوامع بشری، موضوع انرژی و کاهش مصرف آن است، ارائه راهکارهایی جهت کاهش مصرف سوخت مانند ساخت خودروی کم مصرف بسیار مهم می باشد.
- تربیت نیروی جوان متخصص در زمینه خودرو. سرمایه های اصلی یک کشور، نیروی جوان و متخصص آن کشور است. با انجام چنین پروژه هایی، می توان در جهت تربیت جوانان متخصص در کشور گام بزرگی برداشت.
- به امید موفقیت برای ایران و ایرانی.