



طراحی شاسی

خودروی هیبرید شهری کم مصرف

استاد راهنما : دکتر صابونی

نویسنده : مسعود وحید دستجردی

## خلاصه

در قسمت مقدمه با توجه به هدف اصلی که طراحی خودرو جهت شرکت در مسابقات شل اکو ماراتون<sup>1</sup> بوده و آشنایی خوانندگان با این مسابقات توضیحاتی مختصر از این رقابت به همراه شرح اندکی از نوع خودروی طراحی شده بیان شده است.

در فصل اول این پایان نامه به شرح خصوصیات محصول نهایی پرداخته و سعی می‌شود تا ابتدا هدف از طراحی یک خودروی جدید و نیازهایی که این خودرو پس از تولید باید برطرف نماید را بررسی و تحلیل کنیم. این بررسی شامل پارامترهای ابعاد، سوخت، تعداد سرنشین، موارد ایمنی، آیرودینامیک، موارد فنی و ... شده و راجع به هر یک از این مواد به طور مفصل شرح داده خواهد شد.

در ابتدای فصل دوم به بررسی انواع شاسی پرداخته و سپس در مورد نکات مهم در هنگام طراحی شاسی می‌پردازیم. در انتهای این فصل نیز یک جمع بندی از شاسی منتخب خواهیم داشت.

در فصل سوم به بررسی و شرح حالت‌های مختلف بدنه‌ی خودرو می‌پردازیم و سپس با توجه به مزایا و معایب آن‌ها و محدودیت‌های طراحی که در فصل اول تعیین شد یک نوع از انواع بدنه را به عنوان شاسی برگزیده برای طراحی خودرو انتخاب خواهیم کرد.

در فصل چهارم نیز نگاهی اجمالی داریم به انواع تحلیل مناسب برای شاسی و در ادامه با طراحی اولیه‌ی یک شاسی با توجه به محدودیت‌های طراحی اقدام به تحلیل نیرویی شاسی کرده و سپس به بهینه سازی و رفع عیوب شاسی مورد نظر می‌پردازیم.

در فصل پنجم، نقشه‌های ساخت این شاسی با توجه به اصلاحات انجام شده ارائه می‌گردد.

---

<sup>1</sup> Shell Eco Marathone

## Contents

|    |                                                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | خلاصه .....                                                                     |
| 8  | مقدمه : .....                                                                   |
| 11 | 1 ( محدودیت‌های طراحی .....                                                     |
| 11 | 1-1 ( قوانین مرتبط با قسمت طراحی بدنه و شاسی مسابقات Shell Eco Marathon : ..... |
| 11 | وزن راننده .....                                                                |
| 11 | راحتی و آسایش راننده .....                                                      |
| 12 | طراحی خودرو .....                                                               |
| 12 | اندازه‌ها .....                                                                 |
| 13 | بدنه خودرو .....                                                                |
| 14 | استحکام شاسی .....                                                              |
| 15 | جدا بودن سیستم موتور از راننده: .....                                           |
| 15 | اطفاء حریق: .....                                                               |
| 16 | میدان دید: .....                                                                |
| 16 | کمربند ایمنی: .....                                                             |
| 17 | قابلیت‌های دسترسی : .....                                                       |
| 17 | فرمان خودرو ( فرمان پذیری و شعاع چرخش خودرو): .....                             |
| 17 | چرخ‌ها: .....                                                                   |
| 18 | تایرها: .....                                                                   |
| 18 | روشنایی : .....                                                                 |
| 18 | بوق : .....                                                                     |
| 19 | ترمزها: .....                                                                   |

|    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| 19 | کلاچ و سیستم انتقال قدرت:            |
| 20 | سیستم اگزوز:                         |
| 20 | میزان صدا:                           |
| 20 | مکانیزم قطع و خاموشی در حالت بحرانی: |
| 22 | (2) انتخاب شاسی                      |
| 23 | (1-2) خصوصیات یک شاسی مناسب          |
| 23 | (2-2) انواع شاسی                     |
| 23 | (1-2-2) شاسی مستقل                   |
| 24 | (1-1-2-2) مزایای شاسی و اتاق مستقل   |
| 24 | (2-1-2-2) معایب شاسی و اتاق مستقل    |
| 24 | (3-1-2-2) نتیجه بررسی                |
| 25 | (2-2-2) شاسی نیمه جدا شدنی           |
| 25 | (1-2-2-2) مزایای شاسی نیمه جدا شدنی  |
| 26 | (2-2-2-2) نتیجه بررسی                |
| 26 | (3-2-2) شاسی لوله ای                 |
| 26 | (1-3-2-2) نتیجه بررسی:               |
| 27 | (4-2-2) شاسی مونوکوک                 |
| 27 | (1-4-2-2) مزایای شاسی مونوکوک        |
| 28 | (2-4-2-2) معایب شاسی مونوکوک         |
| 29 | (3-4-2-2) نتیجه بررسی                |
| 29 | (5-2-2) شاسی فلزی فوق سبک            |
| 30 | (6-2-2) شاسی کامپوزیتی (فایبرگلاس)   |

|         |                                                      |
|---------|------------------------------------------------------|
| 31..... | 1-6-2-2 ( مزایای شاسی‌های کامپوزیتی.....             |
| 31..... | 2-6-2-2 ( معایب شاسی کامپوزیتی.....                  |
| 31..... | 3-6-2-2 ( نتیجه بررسی:.....                          |
| 33..... | 3-2 ( انواع تحلیل شاسی (1).....                      |
| 33..... | 1-3-2 ( تحلیل سازه ای.....                           |
| 34..... | 2-3-2 ( شبیه سازی حرکت و دوام قطعات بر روی جاده..... |
| 35..... | 3-3-2 ( تحلیل برخورد.....                            |
| 35..... | 4-3-2 ( تحلیل خستگی.....                             |
| 36..... | 5-3-2 ( تحلیل نویز و ارتعاش.....                     |
| 36..... | 4-2 ( طراحی فرآیند ساخت.....                         |
| 38..... | 3 ( طراحی بدنه:.....                                 |
| 40..... | 1-3 ( نیروهای آیرودینامیکی:.....                     |
| 46..... | 1-1-3 ( جریان حول چرخ‌ها:.....                       |
| 47..... | 2-1-3 ( جریان زیر بدنه خودرو:.....                   |
| 48..... | 2-3 ( فرمان پذیری :.....                             |
| 49..... | 1-2-3 ( آشنایی با آزمایش‌های هندلینگ:.....           |
| 49..... | 1-1-2-3 (آزمایش هندلینگ در شرایط پایدار:.....        |
| 50..... | 1-1-1-2-3 ( چند کمیت قابل توجه در این نمودارها:..... |
| 52..... | 2-1-2-3 ( آزمایش هندلینگ در شرایط گذرا:.....         |
| 52..... | 3-1-2-3 (آزمایش تغییر مسیر ناگهانی:.....             |
| 55..... | 2-2-3 ( عوامل موثر در فرمان پذیری :.....             |
| 55..... | 1-2-2-3 ( ارتفاع مرکز جرم :.....                     |

- 56..... (2-2-2-3) مرکز جرم : .....
- 57..... (3-2-2-3) لختی دورانی.....
- 58..... (4-2-2-3) لختی دورانی طولی و عرضی .....
- 59..... (5-2-2-3) سختی قاب شاسی.....
- 60..... (3-3) طرح اولیه ی بدنه .....
- 62..... (4) طراحی اولیه .....
- 63..... (1-4) روند طراحی اولیه .....
- 65..... (2-4) سایر سیستم‌های وابسته به شاسی .....
- 65..... (1-2-4) سیستم تعلیق .....
- 69..... (3-4) طرح اولیه ی شاسی .....
- 70..... (1-3-4) تحلیل شاسی .....
- 71..... (1-1-3-4) بیشترین جابه‌جایی .....
- 72..... (2-1-3-4) سازه های سه وجهی.....
- 74..... (3-1-3-4) جنس شاسی .....
- 75..... (2-3-4) تحلیل نرم افزاری شاسی .....
- 76..... (1-2-3-4) نتایج آنالیز شاسی با پروفیل‌های مستطیل توسط، محیط تحلیل خرپا ، در نرم افزار اینونتور .....
- 80..... (2-2-3-4) نتایج آنالیز شاسی با پروفیل‌های دایره توسط، محیط تحلیل خرپا در نرم افزار اینونتور .....
- 82..... (4-4) بهینه سازی شاسی.....
- 83..... (1-4-4) تست استاتیکی نهایی .....
- 84..... (2-4-4) تست پیچش نهایی .....
- 86..... (3-4-4) سایر تست‌ها.....
- 87..... (5-4) نتایج نهایی .....

89..... 6-4 ( نتیجه گیری.....

91..... الف 1- ( نقشه های ساخت.....

97..... الف 2- لیست قطعات.....

www.cargeek.ir

## مقدمه :

طراحی خودروی الکتریکی مدت‌هاست در کمپانی‌های مشهور خودرو سازی جهان دنبال می‌گردد . رو به پایان بودن منابع سوخت‌های فسیلی ، گرانی این نوع سوخت ، مشکلات حمل و نقل و از همه مهم‌تر آلاینده‌گی زیاد انواع متداولی مانند بنزین ، گازوئیل و نفت سفید دلایلی هستند که روند حرکت در این مسیر را هرچه بیشتر سرعت می‌بخشند . به علاوه استانداردهای جدید و قوانین سخت‌گیرانه‌ای که برای حفاظت از محیط زیست وضع شده‌اند ، شرکت‌های خودرو ساز را وادار به تحقیق در زمینه‌ی دست یابی به فناوری‌های جدید در زمینه‌ی انرژی‌های نو و قابل حمل کرده‌اند تا بدین وسیله محصولات خود را هر چه کم مصرف‌تر و پاک‌تر روانه بازار کنند .

در این راستا کمپانی بزرگ نفتی شل<sup>2</sup> نیز اقدام به برگزاری مسابقه‌ای تحت عنوان شل اکو ماراتون<sup>3</sup> نموده است تا با ایجاد فضایی رقابتی در میان دانشجویان کشورهای مختلف به بهترین طراحی در خودروی پاک دست یابد . این مسابقات در سال 1932 در آمریکا و به منظور دست یابی به مسافت بیشتر با مصرف سوخت کمتر آغاز به کار کرد . پس از استقبال خوبی که دانشجویان دانشگاه‌های آمریکای از این مسابقات کردند تصمیم بر آن شد تا این مسابقات به صورت جهانی به کار خود ادامه دهد . طبق این تصمیم در سال 1985 مسابقات شل اکو ماراتون در فرانسه و این بار با رقابت دانشگاه‌های مختلف اروپایی افتتاح شد و در اولین دوره‌ی خود با استقبال چشمگیر بیش از 1000 دانشجوی مهندسی از 20 کشور اروپایی مواجه شد . دقیقاً 14 سال بعد ، این مسابقات به آسیا هم رسید و برای اولین بار در کشور مالزی و در پیست اتومبیل رانی کوالالامپور شروع به کار نمود .

اکنون مسابقات شل اکو ماراتون به یکی از معتبرترین مسابقات مهندسی تبدیل شده است که همواره شرکت کنندگان آن با بدست آوردن رکورد های باورنکردنی و جالب خود در دو بخش " خودروهای تحقیقاتی "<sup>4</sup> و " خودروهای شهری "<sup>5</sup> توانسته‌اند نظر بسیاری از شرکت‌های خودروسازی را به خود جلب کنند.

به عنوان مثال نتایج بدست آمده در مسابقات آسیا در سال 2011 برای خودروهای تحقیقاتی ، مصرف 1 لیتر به ازای طی 1521.9 کیلومتر بوده و در بخش خودروهای شهری نیز مصرف 1 لیتر در ازای طی 237.6 کیلومتر می‌باشد .

این دو بخش ، یعنی بخش خودروهای تحقیقاتی و بخش خودروهای شهری دارای قوانین متفاوت بوده و در کل نیز از آیت‌ها و موارد متمایزی در تست خودروهای هر بخش استفاده می‌گردد . گروه طراحی و ساخت خودروی هیبرید ایرانا با توجه

<sup>2</sup> Shell

<sup>3</sup> Shell Eco Marathone

<sup>4</sup> Prototype

<sup>5</sup> Urban Concept

به سابقه‌ی فعالیت خود در زمینه‌ی ساخت خودروی الکتریکی و همچنین کاربری متداول‌تر خودروهای بخش شهری این مسابقات، تصمیم به شرکت در این قسمت گرفت.

گزارشی که در ادامه ارائه می‌گردد روند طراحی شاسی و بدنه‌ی خودروی هیبرید ایرانا است که مطابق با الگوریتم معمول و رایج طراحی خودرو<sup>6</sup> تهیه شده است. لازم به ذکر است در این گزارش تمرکز اصلی بر روی طراحی شاسی و بدنه است لکن در برخی مطالب به ضرورتی که آن مطلب ایجاد می‌نموده توضیحاتی اجمالی و مختصر در زمینه‌ی سایر قطعات نیز داده شده است.

شایان ذکر است خودروی مذکور جهت شرکت در مسابقات سال 2012 شل اکو ماراتون طراحی شده و تماماً منطبق بر قوانین این مسابقات است. به علت اینکه در زمان تدوین این پایان نامه، هنوز شش ماه تا زمان شروع این مسابقات باقی مانده نتایج تست خودرو موجود نمی‌باشد. این نتایج در تاریخ 10 اکتبر سال 2012 در سایت رسمی مسابقات<sup>7</sup> قابل دسترس خواهد بود.

---

<sup>6</sup> الگوریتم طراحی خودرو که در درس طراحی شاسی و بدنه‌ی خودرو معرفی می‌گردد و یکی از معروفترین و رایج‌ترین الگوریتم‌های طراحی است که هم‌اکنون بسیاری از کمپانی‌های معتبر، روند طراحی خود را بر همین اساس پیش می‌برند. در این الگوریتم، شروع طراحی با طراحی بدنه و ساخت مدل‌های مقیاس کوچک شروع شده و سپس سایر اجزا از جمله شاسی و قطعات داخلی موتور با توجه به محدودیت‌هایی که بدنه بر سایر بخش‌ها اعمال می‌کند طراحی و جانمایی می‌گردند.

<sup>7</sup> [www.Shell.com](http://www.Shell.com)

1

فصل اول  
تعیین اهداف طراحی

## 1) محدودیت‌های طراحی

از آنجایی که این خودرو جهت شرکت در مسابقات شل اکو ماراتون طراحی می‌گردد باید در انجام کلیه‌ی مراحل تابع قوانین مسابقه بوده و سعی گردد تا هیچ یک از این قوانین نقض نگردند. به همین دلیل در این فصل، کلیه‌ی قوانین این مسابقات که به قسمت طراحی بدنه و شاسی مرتبط می‌شد در این قسمت عیناً آورده شده است تا در ابتدای کار با محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای خودروها آشنا گردیم.

### 1-1) قوانین مرتبط با قسمت طراحی بدنه و شاسی مسابقات Shell Eco Marathon :

#### وزن راننده

رانندگان وسایل نقلیه prototype باید حداقل وزنشان 50 کیلو گرم باشد و وزن‌های تعادل بایستی با حداقل وزن در وسیله نقلیه توسط تیم قرار داده شوند و باید در محلی ایمن در اتومبیل قرار داده شوند و هیچ خطری را برای راننده نداشته باشند و باید به صورت مجزا باشند.

رانندگان وسایل شهری نوع urban concept بایستی حداقل وزنشان 70 کیلو گرم باشد و وزن‌های تعادل باید در قسمت بار وسیله نقلیه با حداقل وزن باشند و این وزن‌ها باید توسط تیم فراهم شوند و برای وسیله نقلیه و راننده بدون خطر باشند. آن‌ها باید به صورت مجزا باشند. وزن‌های تعادل تنها برای خودروهای دارای رانندگان با وزنی کمتر از 70 کیلوگرم استفاده می‌شود.

ممکن است راننده و وزن‌های تعادل قبل و بعد از هر رانندگی وزن شوند.

#### راحتی و آسایش راننده

لطفاً توجه داشته باشید در شرایطی که درجه حرارت در داخل اتومبیل بسیار زیاد باشد به طور بالقوه بر راحتی و آسایش راننده تأثیر می‌گذارد یا باعث استرس حرارتی می‌گردد.

توصیه می‌شود که در داخل اتومبیل جهت خنک کردن راننده از سیستم تهویه هوا استفاده شود.

توصیه می‌شود تا برای راننده نوشیدنی‌های کافی در اتومبیل گذاشته شود اگر از هر نوشیدنی در اتومبیل استفاده گردد بهتر است از قوطی‌هایی استفاده شوند به راحتی قابل دسترسی باشد و راننده بتواند با نی تا شو از آن‌ها استفاده کند.

## طراحی خودرو

در طی طراحی خودرو و ساخت و برنامه ریزی رقابت رقیبان باید توجه خاصی به جنبه های ایمنی

داشته باشند. به معنای ایمنی راننده - ایمنی دیگر شرکت کننده ها و تماشاگران

- خودروهای شرکت کننده در گروه Urbanconcept باید دقیقاً چهار چرخ داشته باشند که در

شرایط عادی رانندگی به طور کامل در تماس با جاده باشند.

چرخ پنجم برای هر منظور ممنوع است.

- استفاده از بالچه های متحرک برای بهبود آیرودینامیک خودرو ممنوع است.

- بدنه خودرو نباید هر قسمت اضافی که می تواند برای اعضای تیم های دیگر خطرناک باشد را شامل

شود. مثلاً نقطه های تیز باید یک شعاع 5 cm یا بیشتر داشته باشد و یا با مواد قابل انعطاف

مشابه ساخته شود.

برای مثال گوشه های پانل های خورشیدی ، گوشه های بدنه خودرو و....

- داخل خودرو نباید شی هایی که می تواند باعث آسیب رساندن به راننده در حین تصادف شود را

شامل شود.

- پنجره ها نباید از موادی که پس از شکسته شدن به تکه های تیز و برنده تبدیل می شوند ساخته

شوند.

ماده پیشنهاد شده (e.g. lexan) polycarbonate

## اندازه ها

- ارتفاع وسیله ی نقلیه باید بین 130 cm تا 100 cm باشد.

- عرض وسیله ی نقلیه باید بین 130 cm تا 120 cm سانتیمتر باشد.

- طول وسیله ی نقلیه باید بین 350 cm تا 220 cm باشد.

- عرض track باید حداقل 100 cm برای محورهای جلو و 80 cm برای محورهای عقب باشد.

که این اندازه ها بین نقاط میانی که چرخ ها در تماس با زمین هستند اندازه گیری می شود.

- فاصله دو محور (wheel base) باید حداقل 120 cm باشد.

- کابین راننده باید حداقل ارتفاع 88 cm و حداقل عرض 70 cm در قسمت شانه های راننده داشته باشد.
- ارتفاع از زمین ( ground clearance ) باید حداقل 10 cm باشد.
- ماکزیمم وزن خودرو ( به جز راننده ) باید 205 کیلوگرم باشد.

### بدنه خودرو

- بدنه باید تمام قسمت های مکانیکی را بپوشاند به استثنای چرخ ها و تعلیق. در تمامی دیدها از عقب ، جلو ، دو طرف و بالا .
- در نمای بالا (Top View) خودرو ، چرخ ها و تعلیق کاملاً با بدنه پوشانده شود و در نمای روبرو (Front View) و نمای پشت سر (Back View) نیز تا مرکز محورها باید زیر پوسته ی بدنه باشد.
- هرگونه استفاده از قطعات بدنه خودروهای تجاری روز، ممنوع است.
- دسترسی به خودرو توسط راننده باید آسان و عملی و شبیه آنچه در خودرو های امروزی مشاهده می شود باشد.
- هرگونه دسترسی به مکانیزم باز شدن مثل درب ها باید محکم به بدنه ماشین وصل شده باشد. مثل لولا و ریل و...  
نوارهای چسبنده و... نباید به این منظور استفاده شود.
- خودرو باید یک سقف داشته باشد که کابین راننده را بپوشاند.
- شیشه جلوی اتومبیل اجباری است.
- فضایی برای وسایل سفر باید موجود باشد مثل جایی برای چمدان به اندازه ی

50\*40\*20cm (L\*H\*W)

این فضا باید به سادگی از بیرون خودرو در دسترس باشد و شامل یک طبقه و دیواره های کناری باشد برای قرار دادن وسایل برای زمانی که خودرو در حرکت است.

- بدنه خودرو نباید هر قسمت خارجی که می‌تواند باعث آسیب رساندن به اعضای دیگر تیم‌ها شود را شامل شود. مثلاً نقطه‌های تیز باید یک شعاع 5 cm یا بیشتر داشته باشد و همچنین از فوم یا ماده‌ی قابل انعطاف مشابه ساخته شود.

### استحکام شاسی

تیم‌ها باید از استحکام شاسی خود اطمینان حاصل کنند. ( شاسی در هر صورت اعم از شاسی یکپارچه (مونوکوک) یا شاسی‌های مجزا (مانند شاسی‌های فضایی و شاسی‌های نردبانی) باید استحکام کافی داشته باشند.)

باید در محل قرارگیری راننده از یک لوله خم شده جهت محافظت از سر و گردن راننده استفاده شود. در حالت قرارگیری استاندارد راننده و در حالتی که کمربند ایمنی بسته شده است این لوله 5 سانتیمتر با کلاه ایمنی راننده فاصله دارد. لوله‌ی خم یاد شده، در این حالت می‌بایست از شانه‌های راننده فراتر رفته باشد تا بتواند در صورت بروز حوادث احتمالی از راننده محافظت کند.

هر تیم مختار است که از لوله یا پانل‌های آماده به عنوان محافظ راننده استفاده کند. در صورت استفاده از لوله به عنوان محافظ، جنس لوله باید حتماً فلزی باشد. و اگر از پانل‌های آماده استفاده می‌کنید در نظر داشته باشید که این پانل می‌بایست غیر قابل انعطاف و به عنوان یک جزء، جدا از اتاقک موتور باشد.

در صورتی که از شاسی مونوکوک استفاده می‌کنید، قسمت محافظ باید به صورت یکپارچه با بدنه اصلی باشد.

قسمت محافظ باید توانایی تحمل 700 نیوتن بار استاتیکی که در جهات عمودی، افقی یا محوری وارد می‌گردد را بدون هیچ تغییر شکلی داشته باشد.

ابعاد شاسی باید طوری باشد که در صورت بروز تصادف از جلو یا طرفین به راننده صدمه ای نرسد.

### جدا بودن سیستم موتور از راننده:

موتور و سیستم سوخت باید به طور کلی از اتاقک راننده مجزا باشد. یک دیواره ثابت باید کاملاً فضای موتور و محفظه‌ی سوخت و باتری‌ها را از اتاقک راننده جدا کند. این دیواره باید کاملاً آب بندی باشد تا در صورت بروز حادثه در محفظه‌ی سوخت یا موتور هیچ گونه مواد شیمیایی و یا دود وارد کابین راننده نشود. پیشنهاد می‌شود برای درز بندی دیواره‌ی محافظ از ورق‌های آلومینیومی یا نوارهای آلومینیومی استفاده کنید.

دیواره محافظ باید حتماً از مواد غیرقابل اشتعال تهیه گردد.

در خودروهای مسقف ، دیواره محافظ باید راننده را به طور کامل از محفظه‌ی موتور و سوخت محافظت نماید. در خودروهایی که سقف ندارند دیواره‌ی محافظ باید از بلندترین قسمت موتور و باتری‌ها حداقل 5 سانتیمتر بلندتر باشد و راننده را به طور کامل پوشش دهد.

### اطفاء حریق:

تمام خودروها باید یک کپسول اطفاء حریق مناسب داشته باشند (ABC یا BC) . تمامی رانندگان خودرو نیز باید کار با این کپسول را بلد باشند ، حداقل حجم کپسول‌ها باید 1 کیلوگرم باشد. کپسول‌های نیمه پر مجاز نبوده و تیم‌ها تنها مجاز به استفاده از کپسول‌های کاملاً پر و مملو به مهر سازنده و دارای شماره سریال هستند. بر روی بست هر کپسول باید تاریخ تولید و تاریخ انقضاء کپسول درج گردیده باشد. کپسول اطفاء حریق اصلی باید در محفظه‌ی موتور تعبیه گردد و ضامن تخلیه‌ی آن از کابین راننده در حالی که راننده به صورت معمول در جایگاه خود قرار گرفته است قابل دسترسی باشد . همچنین کپسول اطفاء حریق دستی باید در کابین راننده قرار گرفته باشد به صورتی که راننده از بیرون خودرو نیز به آن دسترسی داشته باشد. این کپسول باید به صورت مطمئن و با اتصالات محکم به بدنه متصل شده باشد تا در هنگام حرکت یا تصادف خودرو از جای خود خارج نگردد. در هنگام صدمه دیدن خودرو و یا بروز حریق ، ابتدا راننده باید از خودرو خارج شود و پس از آن کپسول را برداشته و آتش را مورد هدف قرار دهد.

### میدان دید:

راننده باید دید مستقیم و بی واسطه از زاویه عمود بر محور طولی خودرو داشته باشد. این دید نباید توسط وسایل اپتیکی (مانند آینه‌ها و لنزها) و یا دوربین فراهم شده باشد.

خودرو باید از هر دو سمت دارای پنجره‌های با حداقل مساحت  $25 \text{ cm}^2$  (برای مثال  $5 \times 5$ ) باشد.

در صورتی که از آینه استفاده می‌کنید، می‌بایست آن‌ها را به درستی نصب کرده باشید زیرا مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. (هیچ وسیله‌ی الکترونیکی نباید جایگزین آینه‌ی جلوی خودرو گردد).

یک داور میدان دید هر خودرو را چک کرده و امکان رانندگی ایمن را توسط این آینه‌ها بررسی می‌نماید.

داور میدان دید خودروها را به وسیله‌ی قرار دادن بلوک‌هایی به ارتفاع 60 سانتیمتر در هر 30 درجه روی محیط نیم دایره‌ای به مرکز دماغه خودرو و شعاع 5 متر مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

### کمر بند ایمنی:

صندلی راننده می‌بایست حداقل در 5 نقطه به وسیله‌ی قلاب‌های ایمنی (کمر بند ایمنی) به بدنه‌ی اصلی متصل شده باشد تا از راننده در زمانی که روی صندلی نشسته است محافظت کند.

نقاط اتصال باید در بالاتنه‌ی راننده قرار گیرند تا از چرخیدن راننده در هنگام لیز خوردن خودرو جلوگیری کند.

کمر بند ایمنی 5 نقطه‌ای استفاده شده حتماً باید به بدنه اصلی خودرو متصل شده باشد و تنها در یک نقطه باز و بسته گردد. لازم به ذکر است این کمر بند می‌بایست برای این هدف طراحی شده باشد.

متناسب بودن کمر بند ایمنی و صندلی راننده از نکات مورد توجه بوده و این تناسب در هنگام تست‌های فنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

بست‌ها باید مناسب باشند. این به این معناست که بست‌ها باید ویژه مسابقات **motorsport** بوده و دارای تأییدیه و استاندارد **FIA** باشند.

کمر بند ایمنی باید قابلیت بستن یا باز شدن در هنگام حرکت خودرو را داشته باشد.

### قابلیت‌های دسترسی :

در صورت رعایت کلیه قوانین ایمنی از جمله بستن کمربند ایمنی و جاگیری صحیح روی صندلی برای راننده الزامی است که توانایی خروج از وسیله نقلیه را در کمتر از 10 ثانیه و به تنهایی داشته باشد. مکانیزم باز شدن درب باید به سادگی از درون خودرو قابل دستیابی باشد. محل قرارگیری این مکانیزم در بیرون از خودرو باید به طور واضح و قابل مشاهده توسط یک پیکان قرمز رنگ مشخص گردد. ( برای باز کردن درب‌ها نباید هیچ ابزاری غیر از ابزار نصب شده روی خودرو استفاده گردد.) استفاده از چسب برای اطمینان از بسته شدن درب‌ها ممنوع می‌باشد.

### فرمان خودرو (فرمان پذیری و شعاع چرخش خودرو):

فرمان خودرو باید دارای سیستمی باشد که با دو دست به حرکت درآید. این سیستم باید دقیق بوده و لقی نداشته باشد.

میله های فرمان ، tillers ، جوی استیک ، کنترل غیرمستقیم و یا الکترونیکی مجاز نیست .

شعاع چرخش خودرو باید کمتر از 6 متر باشد.

(بازرسی فرمان خودرو در هنگام حرکت و به شرح زیر انجام می‌گردد : مهارت راننده ، شعاع چرخش فرمان و دقیق بودن فرمان به طور خاص ، بازرسان دقت فرمان را با بررسی میزان لقی آن می‌سنجند.)

### چرخ‌ها:

رینگ‌ها باید بین 13 تا 17 اینچ قطر داشته باشند.

چرخ‌ها باید درون بدنه خودرو قرار گیرند و به وسیله دیواره‌ی محافظ از قسمت راننده مجزا شوند. هرگونه دست کاری و و تعمیر چرخ‌ها از زمانی که خودرو روی خط استارت قرار می‌گیرد تا عبور از خط پایان ممنوع است.

### تایرها:

شما مجاز به استفاده از انواع تایر که توسط کمپانی سازندهی رینگ برای رینگ مورد استفاده شما توصیه شده است هستید. رینگ و لاستیک مورد استفاده می‌بایست پس از اسمبل کردن دارای حداقل عرض 80 میلی‌متر باشد (محاسبه از دیواره‌ی لاستیک تا دیواره‌ی لاستیک). این اندازه گیری در زمان سرهم شدن لاستیک و رینگ تحت فشار توصیه شده صورت می‌گیرد.

### روشنایی :

وسیله‌ی نقلیه‌ی تولیدی باید دارای یک سیستم روشنایی خارجی شامل موارد زیر باشد:

دو چراغ جلو

دو چراغ راهنما در جلو

دو چراغ راهنما در عقب

دو چراغ ترمز در عقب (قرمز رنگ)

دو چراغ قرمز در عقب (می‌توان این دو چراغ را با چراغ‌های ترمز ترکیب نمود)

چراغ‌های جلو می‌بایست دارای فاصله‌ای مناسب از هم باشند، فاصله‌ی هر چراغ نباید کمتر از 30 سانتیمتر از محور طولی خودرو باشد.

چراغ‌های راهنمای قرمز رنگ الزاماً باید از سایر چراغ‌ها مجزا بوده و توانایی عملکرد جدا از بقیه را داشته باشند.

### بوق :

تمامی خودروها باید مجهز به یک بوق استاندارد باشند. می‌توانید این بوق را از برگزارکنندگان مسابقات تهیه کنید.

### ترمزها:

همه خودروها باید مجهز به سیستم ترمز هیدرولیک دیسکی برای تمامی چرخ‌ها همراه با مکانیزم پدال باشند. ( سطح پدال‌ها حداقل باید  $25\text{cm}^2$  باشد.)

سیستم هیدرولیک ترمز باید دارای عملکرد مجزا برای محور جلو و عقب باشد یا از الگوی X جهت اتصال ترمزها استفاده کند. (به عنوان مثال چرخ جلو راست به چرخ عقب چپ متصل گردد و چرخ جلو چپ به چرخ عقب راست.)

اگر برای ترمزها از سیستم‌های هیدرولیک تک سیلندر استفاده می‌کنید در نظر داشته باشید که سامانه‌ی مورد استفاده حتماً دارای مدار دابل باشد (دو پیستون و دو تانک).

کارایی سیستم ترمز به وسیله‌ی هر دو راننده‌ی تیم‌ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در این تست خودرو باید در شیب 20 درصد از خود مقاومت نشان داده و حرکت نکند. لازم به ذکر است در این حالت تنها مجاز به درگیر نمودن ترمز اصلی بوده و اجازه استفاده از ترمز دستی را ندارید. علاوه بر موارد بالا امکان دارد تست‌های ترمز در حال حرکت در زمان طی شعاع چرخش خودرو اخذ گردند. ارزیابی سیستم ترمز ممکن است درست قبل از قرار گیری روی خط شروع انجام گردد.

### کلاچ و سیستم انتقال قدرت:

در خودروهای دارای موتور احتراق داخلی باید از سیستم کلاچ استفاده شود. به طوری که در طول مدت بازرسی و سوخت گیری، موتور خودرو باید همچنان روشن باشد. تمامی کلاچ‌هایی که در مسابقات سال 2012 استفاده می‌شوند نباید از هیچ لحاظ وابسته به موتور باشند. (به عبارت دیگر هنگامی که موتور روشن است و ترمزها درگیر نیستند، نباید هیچ حرکتی در چرخ‌ها مشاهده شود.)

سرعت راه اندازی موتور باید همواره پایین‌تر از سرعت درگیری کلاچ باشد.

نصب یک حفاظ برای سیستم‌های انتقال قدرت دارای تسمه یا زنجیر لازم است.

در صورتی که زنجیر یا تسمه انتقال قدرت پاره گردد این حفاظ وظیفه محافظت از راننده و تکنسین را در حال کار بر روی خودرو بر عهده دارد. حفاظ نصب شده روی خودرو باید حتماً از جنس فلز یا کامپوزیت‌هایی با مقاومت کافی در برابر شکست باشد.

### سیستم اگزوز:

گازهای اگزوز بایستی بیرون از خودرو تخلیه شود.  
لوله های اگزوز نباید از پشت خودرو بیرون زده باشد.  
تمامی خودروها باید استانداردهای معمول در مورد گازهای اگزوز را رعایت کنند. به عنوان مثال در مورد مقدار و بوی گازهای خروجی.

### میزان صدا:

میزان سر و صدایی را که خودرو تولید می کند را در فاصله 4 متری از آن اندازه گیری می کنند .  
این میزان نباید بیش از 90 دسی بل باشد.  
اگر این میزان در طول مسیر بیش از حد مجاز باشد به تیم اخطار داده می شود.

### مکانیزم قطع و خاموشی در حالت بحرانی:

روی همه خودرو های شرکت کننده در مسابقات باید یک مکانیزم جهت خاموش کردن اضطراری خودرو نصب شود . البته باید بتوان از خارج و بیرون به این مکانیزم دسترسی داشت.  
برای نشان دادن این مکانیزم باید روی بدنه خودرو یک عقربه قرمز رنگ به ابعاد حداقل 10 سانتیمتر طول و 3 سانتیمتر عرض نصب کرد . این سیستم باید روی بدنه موتور احتراقی را خاموش و از باتری ها نیز جدا باشد.

طبق قوانینی که در بالا مطالعه فرمودید خودروی طراحی شده باید دارای محدودیت های طراحی زیادی از جمله طول ، عرض ، ارتفاع ، وزن و ... باشد . حال به منظور اینکه درک بهتری از این محدودیت ها داشته باشیم تصویری نمادین ترسیم شده است تا کلیه ی این ابعاد در آن لحاظ شده و در هنگام طراحی شاسی و بدنه نیازی به مراجعه به متن نباشد. لازم به ذکر است این تصویر با مقیاس صحیح رسم شده است .

2

فصل دوم  
اصول طراحی شاسی

## (2) انتخاب شاسی

لفظ شاسی به صورت معمول به عنوان اسکلت بندی یک حجم سه بعدی اطلاق می‌شود. همان طور که می‌دانید وظایف شاسی در حقیقت تحمل جرم ، تنش ، انسجام و ارتباط قطعات مختلف در یک جسم سه بعدی و در جهت ایجاد استحکام در جسم مورد نظر جهت انجام وظایف محوله به بهترین وجه ممکن می‌باشد. که این در مورد خودرو نمود بیشتری یافته و علاوه بر وظایف بالا شاسی به عنوان فرم کلی بدنه نیز ایفای نقش می‌کند ، که در صورت طراحی اصولی و دقیق در درجه اول منجر به حفظ جان سرنشینان خودرو خواهد گردید .البته زیبایی و سبکی خودرو نیز در اولویت‌های بعدی به طور مستقیم با شاسی در ارتباط است.

به بیان دیگر مجموعه سیستم نگه‌دارنده بدنه و قطعات به همراه سیستم تعلیق ، سیستم انتقال قدرت ، موتور ، سیستم ترمز ، به همراه فرمان، شاسی نام دارد . همانند هر چیز دیگری، شاسی‌ها نیز دارای معیارها و استانداردهای منحصر به فردی هستند که با رعایت آن‌ها یک شاسی در وضعیت ایده آل خواهیم داشت . البته رسیدن به وضعیت ایده آل تقریباً غیرممکن است زیرا تعدادی از این استانداردها با هم مغایرت دارند ، یعنی با افزودن بر یکی از دیگری کم خواهد شد .

به عنوان مثال استحکام شاسی با استفاده از مواد محکم و البته سنگین محقق خواهد شد که البته این با اصل سبک بودن این قسمت از خودرو در تضاد است. اما با پیشرفت صنایع و دست یابی بشر به تکنولوژی‌های جدید این موضوع تا حدی رفع شده و نمود ظاهری آن هم استفاده از فایبرگلاس و یا فیبر کربن در تولید شاسی است که علاوه بر استحکام از وزن کمی هم برخوردارند، ما نیز تا جایی که ممکن بود سعی کردیم تا با استفاده از امکانات موجود به حد ایده آلی دست یابیم. به همین منظور با تهیه جدولی از موارد ایده آل ر طراحی شاسی و بررسی خواص شاسی‌های رایج سعی در انتخاب بهترین نوع ممکن کردیم. این روند در ادامه مطلب مشهود است.



شکل شماره 1

## 1-2) خصوصیات یک شاسی مناسب

- 1- تحمل بیشترین میزان وزن و تنش ممکنه
- 2- سبکی شاسی
- 3- کمترین حجم ممکنه
- 4- سهولت در پیاده سازی سیستم
- 5- هزینه پایانی کم جهت اجرای سیستم
- 6- توانایی تغییر فرم در موارد لزوم و در نقاط مشخص جهت بالاترین میزان جذب ضربه
- 7- توانایی حفظ استحکام و عدم تغییر فرم در قسمت‌های حیاتی مورد نیاز سیستم جهت حفظ بالاترین میزان ایمنی
- 8- توانایی مقاومت در برابر خوردگی و همچنین توانایی کارکرد در گرمای گسترده
- 9- قابلیت تعمیر ساده و بازایی خصوصیات اولیه
- 10- انتقال کمترین میزان لرزش و صدا به قسمت‌های درونی اتاق

## 2-2) انواع شاسی

### 1-2-2) شاسی مستقل

این شاسی از دو تکه آهن ناودانی بلند که به صورت موازی از جنس فولاد سخت ولی سبک می‌باشد ساخته می‌شود و به وسیله دو رام در دو سر آن به یکدیگر متصل می‌شود. شاسی معمولاً در عقب کمی بالاتر آمده و این به خاطر ایجاد فضای بیشتر برای دیفرانسیل و فنرهاست و در قسمت جلو کمی باریک‌تر ساخته می‌شود که به منظور بهتر فرمان دادن می‌باشد. در طراحی شاسی از ورق‌های نازک فلزی که آن‌ها را به روش شکل دادن (پروفیل) تولید می‌کنند استفاده می‌شود. ضخامت ورق‌ها معمولاً 2 الی 3 میلی متری است و به گونه ای جوشکاری می‌شوند که از استحکام خوبی برخوردار باشند.

## 2-1-2-2) مزایای شاسی و اتاق مستقل

- 1- هزینه های تمام شده به خاطر یک جا و مستقل بودن ساخت شاسی و اتاق کاهش می یابد.
- 2- چون تعویض قطعات به علت خراب شدن به وسیله پیچ و مهره است زمان و مخارج کمتری دارد.

## 2-1-2-2) معایب شاسی و اتاق مستقل

- 1- به علت سنگین بودن خودرو نیروی محرکه آن برای شتاب گرفتن کمتر است
- 2- طراحی ایمنی خودرو به علت سنگین بودن قطعات دشوار است و در هنگام تصادف احتمال این که سرنشینان دچار حادثه شوند زیاد است.
- 3- ساخت قطعات و اسکلت آن نیاز به پرس های سنگین و ماشین آلات گران تری دارد.
- 4- به علت اتصال قطعات توسط پیچ و مهره به سر و صدای زیاد و همچنین استهلاک بیشتری دچار می شود



شکل شماره 2

## 2-1-2-3) نتیجه بررسی

استفاده از این نوع شاسی به طور کامل منتفی شد زیرا همان طور که ملاحظه فرمودید وزن زیاد این نوع شاسی، نیاز به پرس های سنگین و ماشین آلات گران و همچنین عدم ایجاد ایمنی مناسب برای سرنشینان جای هیچ گونه بحثی را باقی نمی گذارد.

## 2-2-2) شاسی نیمه جدا شدنی

نوع دیگری از شاسی‌ها وجود دارد که آن‌ها را شاسی نیمه جدا شدنی گویند کارخانجات خودروسازی ROVER برای اولین بار خودروهایی را تولید کردند که شاسی آن‌ها از دو قسمت تشکیل شده بود.

الف: قسمت ثابت

ب: قسمت‌های جداشدنی از شاسی

اجزای ثابت:

- 1- کف
- 2- ستون‌ها
- 3- دیوارهای صندوق عقب
- 4- دیواره جلوی موتور.

قسمت‌های جداشدنی:

- 1- سقف خودرو
- 2- گلگیرها
- 3- پنجره جلویی و غیره که این‌ها به وسیله پیچ و مهره به قسمت ثابت بسته می‌شوند.

## 2-2-2-1) مزایای شاسی نیمه جداشدنی

- 1- در هنگام تصادف هزینه قطعاتی که خراب شده‌اند و باید تعویض شوند پایین می‌آید .
- 2- فرم اتاق شکل پذیر است و می‌توان طرح جدیدی را تولید کرد.
- 3- می‌توان موتور و محورها را که نسبتاً سنگین هستند بر روی یک اسکلت جداگانه سوار کرد.
- 4- در مونتاژ کردن امکان عایق بندی بهتری بین دو قطعه وجود دارد در نتیجه سرو صدا و همچنین ارتعاشات چرخ‌ها به اتاق کاهش می‌یابند .

## 2-2-2-2) نتیجه بررسی

استفاده از نوع شاسی نیز به گزینه‌ی مناسبی برای خودروی ما نبود زیرا این مدل هم از قطعات و ورق‌های فولادی ساخته می‌شد که وزن زیادی داشتند ولی اعضای تیم تصمیم گرفتند تا با الگوبرداری از این مدل، شاسی مورد نظر خود را طوری طراحی کنند که از دو قسمت ثابت و جدا شدنی تشکیل شود، زیرا در این روش آزادی عمل بیشتری برای طراح دادن به قطعات جانبی داشتند و همچنین در طراحی و ساخت اسکلت اصلی نیز محدودیت کمتری اعمال می‌شد.

## 3-2-2) شاسی لوله ای

اولین گونه از شاسی‌های لوله ای در پاسخ به نیاز فضایی یا سه بعدی بود که در دهه پنجاه و در تمام خودروهای اسپرتی آن زمان جهت یک شاسی مستحکم ساخته شد. گونه های قبلی شاسی یعنی نردبانی و صفحه ای فقط در دو بعد فضایی به صورت طولی و عرضی اجرا می‌شدند. شاسی لوله ای برخلاف این دو گونه به صورت سه بعدی و در جهات بدنه خودرو پیاده سازی می‌گردید که اصطلاحاً به این گونه شاسی، شاسی فضای اطلاق می‌شود. طریقه پیاده سازی این نوع از شاسی به این



شکل شماره 3

صورت است که فرم کلی شاسی که شبیه به فرم تعدادی لوله با قطرهای متفاوت و با توجه به فرم کلی اتاق است، از طریق اتصال این لوله‌ها پیاده سازی می‌شود و بعداً قطعات فنی خودرو و همچنین پانل‌های بدنه و سایر قطعات به این شاسی متصل می‌گردند. در برخی از گونه‌ها جهت اتصال ساده تر و راحت تر قطعات بدنه به جای استفاده از لوله از قوطی‌های مربع شکل استفاده می‌شد ولی بیشترین مقاومت به وسیله لوله های گرد به وجود می‌آمد. از نظر ایمنی این نوع شاسی به سبب ایجاد فرم مناسب در تمامی جهات از قفسه توانایی محافظت مناسبی از سرنشینان ایجاد می‌کند.

## 2-3-2-1) نتیجه بررسی:

در مطالب گفته شده عنوان شد که این نوع شاسی از طریق اتصال لوله به هم درست می‌شود که این خود مزیت بزرگی محسوب می‌شد زیرا در این روش استفاده از پرس‌های پیشرفته و قالب‌گیری قطعات فولادی منتفی می‌گردد و این یعنی صرفه جویی در هزینه و وقت.

همچنین بیان شد که استفاده از این نوع شاسی به گونه ای است که ابتدا شاسی با توجه به طرح کلی بدنه تولید شده و سپس سایر قطعات بدنه به طور جداگانه آماده گردیده و به خودرو متصل می گردند. این خصوصیت نیز یکی از نقاط قوت این نوع شاسی بود زیرا باعث می شد تا امکان تولید قطعات بدنه از جنسی به غیر از جنس شاسی ایجاد شود که منجر به سبکی خودرو و همچنین سادگی فرآیند تولید می گردید.

## 2-2-4) شاسی مونوکوک

اولین گونه از شاسی های یکپارچه، گونه مونوکوک ( Mono Coque ) می باشد. امروزه 99% خودروهای سواری معمولی از گونه آهنی این نوع از شاسی استفاده می کنند. طرح مونوکوک یک شاسی گسترده کلی است که فرم آن شبیه به فرم کلی اتاق خودرو بوده و از اتصال قطعات مختلف با ابعاد متفاوت سازنده قسمت های مختلف اتاق به هم و با روش جوشکاری شکل می گیرد. برخلاف گونه های قبلی که مورد بررسی قرار گرفتند که شاسی به صورت مجزا و جهت ساخت اسکلت بندی و تحمل تنش های مختلف خودرو شکل می گرفت و سپس اتاق (یا قسمت های تشکیل دهنده آن) بر روی شاسی قرار می گرفت در گونه مونوکوک شاسی در برگیرنده قسمت های مختلف خودرو و اتاق آن بوده که در قسمت های مورد نیاز تقویت شده و در حقیقت شاسی خود قسمتی از اتاق خودرو بوده و با تمامی قسمت های آن در ارتباط مستقیم می باشد.



شکل شماره 4

## 2-2-4-1) مزایای شاسی مونوکوک

- 1- قابلیت محافظت و ایمنی در این گونه از شاسی در تمامی جهات بالا بوده و ضمناً می توان برای آن نقاط قابل شکست از پیش تعیین شده طراحی کرد تا ایمنی غیر فعال خودرو بالاتر برود.

2- مزیت دیگر این گونه شاسی فضای مورد استفاده و کاربردی بالا در آن می باشد و به سبب پخش شدن قسمت های مختلف مهار شاسی در جای جای بدنه فضای کاربردی درون اتاق در این گونه از شاسی بسیار بالا می باشد؛ و این جهت تولید خودروهای با فضای کاری گسترده و در مقیاس تولیدی بالا یک مزیت بزرگ محسوب می شود.

#### 2-2-4-2) معایب شاسی مونوکوک

1- اولین ایراد این گونه از شاسی وزن بالای آن می باشد (با توجه به میزان استفاده از فلز در آن به این معنی که مقاومت بالا به معنای لزوم استفاده از میزان بیشتری از آهن در شاسی می باشد و اگر جهت کاهش وزن میزان استفاده از آهن را محدود کنیم مقاومت شاسی افت بسیار زیادی می کند). این موضوع با در نظر گرفتن اینکه مقاومت صفحات پرس شده ای که جهت ساخت این نوع شاسی استفاده می شود هیچ گاه به پای مقاومت لوله ها نخواهد رسید بیشتر تشدید می شود.

2- همچنین این نوع شاسی در مقام مقایسه با دیگر گونه های شاسی کمترین میزان مقاومت در برابر وزن را دارد.



شکل شماره 5

3- با توجه به اینکه در دیگر گونه ها جهت کاهش وزن می شد شاسی را از جنس آهن و بدنه را از دیگر مواد سبک تر نظیر آلومینیوم یا فایبرگلاس ساخت در این گونه به سبب اینکه شاسی قسمت های زیادی از بدنه را هم در بر می گیرد ناچاراً باید بدنه از آهن ساخته شود که باز موجب افزایش بیشتر وزن می شود.

4- عدم توانایی تحمل ضربات شدید در این نوع از شاسی می باشد و شاسی پس از وارد آمدن چنین ضربه ای تغییر شکل کلی خواهد داد.

5- عدم توانایی تعمیر اساسی شاسی پس از وارد آمدن ضربات سنگین می باشد که تقریباً پس از یک تصادف سنگین در این گونه از خودروها به ناچار باید اتاق تعویض شود.

6- از دیگر مشکلات این نوع شاسی پخش شدن ضربات حاصل از برخورد (حتی برخوردهای بدنه) در کل مجموعه اتاق و شاسی می باشد که موجب تغییر شکل ناخواسته در بسیاری از قسمت های اتاق و شاسی پس از وارد آمدن یک ضربه به اتاق می شود و در بعضی موارد حتی در این نوع از شاسی یک ضربه نه چندان محکم به اتاق در قسمت جلو موجب تغییر فرم شاسی در قسمت عقب و جاهایی که اصلاً در جذب ضربه دخیل نبوده اند نیز شده است!

7- این نوع شاسی جهت تولید انبوه بسیار مناسب است و به سبب خط تولید بزرگ و گسترده و همچنین وجود قالب های مختلف برای شاسی و بدنه این نوع شاسی را عملاً نمی توان برای تولید محدود مورد استفاده قرار داد زیرا قیمت تمام شده بسیار زیاد خواهد بود، (البته در صورت تولید انبوه این ایراد تبدیل به حسن شده و قیمت تمام شده را بسیار پایین خواهد آورد و این موضوع در خط تولیدهای رباتیک به وضوح مشاهده می شود به گونه ای که از تمامی انواع دیگر شاسی ارزان تر و اقتصادی تر است.

## 2-2-3) نتیجه بررسی

استفاده از نوع شاسی برای خودروی ایرانا اصلاً مناسب نیست ولی از این جهت مزایا و معایب آن در این نوشتار ارائه شد که اشاره ای شده باشد به اینکه بیشتر خودروهای این کلاس از این نوع شاسی در طراحی خود بهره می بردند که البته در این زمان در حال تغییر از مونوکوک به یک نوع شاس هستند که در زیر به معرفی آن می پردازیم

## 2-2-5) شاسی فلزی فوق سبک

طرح و ساختار کلی این نوع از شاسی شبیه به شاسی مونوکوک در گونه پایه است و تفاوت ها محدود به جزئیات ساخت شاسی می باشد که به صورت اصولی موجب افزایش استحکام و کاهش وزن این نوع از شاسی شده، تفاوت ها شامل ساخت قطعات به روش هیدروفرمینگ استفاده از ورق های فلزی ساندویچی و جوشکاری لیزری می باشد. هیدروفرمینگ یا شکل دهی به کمک فشار آب تکنیکی جدید در ساخت و شکل دهی قطعاتی است که قبلاً به صورت پرسی ساخته می شدند. در مقایسه با شاسی مونوکوک ابتدائی مهندسین پورشه اظهار می کنند که شاسی Ulsab از نظر وزنی 36% سبک تر و 50% مقاوم تر خصوصاً از نظر استحکام پیچشی می باشد.

با توجه به اینکه استفاده تجاری از این نوع شاسی در سال 1998 شروع شده امروزه در کمتر از 8 سال تقریباً استفاده از آن فراگیر شده و اکثر خودروهای تولید انبوه آلمانی سایز کوچک و متوسط، امروزه از این تکنیک در تمام یا قسمت‌های زیادی از شاسی خودروهای خود استفاده می‌کنند. به نظر می‌رسد که در آینده ای نه چندان دور این نوع شاسی به صورت کامل جایگزین شاسی مونوکوک اولیه شود. مزایای این نوع از شاسی شامل استحکام بالا و وزن پایین‌تر نسبت به گونه مونوکوک بدون افزایش قیمت در تولید می‌باشد.



شکل شماره 6

## 2-2-6) شاسی کامپوزیتی (فایبرگلاس)

اولین و قدیمی‌ترین و البته پرکاربردترین انواع غیر رایج شاسی که از نظر قیمت ساخت نیز قیمت معقولی دارد شاسی و بدنه فایبرگلاس می‌باشد. فایبرگلاس برای بسیاری از خودروسازان در مقیاس کوچک و تولید غیر انبوه یک ماده کامل و کاربردی محسوب می‌شود؛ از فولاد و آلومینیوم سبک‌تر است و به سادگی شکل می‌گیرد و در مقابل پوسیدگی و خوردگی از مقاومت بالایی برخوردار است. مهم‌ترین مزیت این شاسی و بدنه سادگی و قیمت ارزان جهت ساخت می‌باشد. در حقیقت برای ساخت این شاسی شما فقط به تعداد معدودی ابزار ارزان قیمت و نیروی کار ماهر نیاز دارید. این موضوع مهم‌ترین مزیت جهت ساخت حتی به صورت تولید در مقیاس کوچک و به صورت دستی می‌باشد. امروزه از شاسی و بدنه فایبرگلاس در قسمت نیمه بالای شاسی و قسمتهایی که معمولاً تحت تنش و فشار کاری کم قرار دارند و احتیاج به تلورانس پایین هم در هنگام ساخت ندارند در بسیاری از خودروها استفاده می‌شود و در قسمت‌های تحت تنش شاسی همچنان از گونه های شاسی لوله ای، شاسی

فضائی آلومینیومی یا مونوکوک مسطح استفاده می‌کنند. این ترکیب وزن بسیار پایین در گونه فایبرگلاس کامل را تا حدودی افزایش می‌دهد.



شکل شماره 7

#### 2-2-6-1) مزایای شاسی‌های کامپوزیتی

- 1- دقت پایین و تلورانس بالا در ساخت این گونه از شاسی به سبب ساخت بدون قالب و معمولاً به صورت دستی.
- 2- خطرناک بودن مواد اولیه کامپوزیت و در اکثر موارد سرطان زا بودن این مواد

#### 2-2-6-2) معایب شاسی کامپوزیتی

- 1- وزن بسیار کم
- 2- مقاومت بسیار زیاد (که در بیشتر موارد با شاسی‌های مونوکوک مقایسه می‌شوند)

#### 2-2-6-3) نتیجه بررسی:

استفاده از شاسی فایبرگلاس برای این خودرو در اولویت بود ولی به دلیل عدم وجود امکانات کافی تصمیم بر آن شد تا با ترکیب این نوع از شاسی با شاسی فضایی و همچنین الهام از شاسی نیمه جداشدنی، یک نوع ترکیبی از شاسی و بدنه طراحی گردد.

با توجه به مطالب گفته شده تصمیم گرفته شد تا به منظور دستیابی به استحکام لازم جهت نصب تجهیزات فنی مانند موتور و سایر سیستم‌های سنگین از شاسی لوله ای استفاده شود و به منظور ایجاد زیبایی و تولید طرح بدنه و هم چنین حفظ وزن کم خودرو از قطعات فایبرگلاس و در مواردی پلی اتیلن برای ساخت نمای ظاهری و همچنین استفاده در مکان‌هایی که تنش‌های فشاری یا کششی کمتری تحمل می‌کنند بهره گرفته شود.

در انتها، جدولی از انواع شاسی‌ها تهیه شده است که در آن علاوه بر بررسی کلیه مدل‌ها به امتیاز دهی به هر بخش پرداخته و در نهایت روند نتیجه‌گیری، بررسی شده است.

| خصوصیات                          | مستقل | نیمه جداشدنی | لوله ای | مونوکوک | فلزی فوق سبک | کامپوزیت |
|----------------------------------|-------|--------------|---------|---------|--------------|----------|
| تحمل بیشترین وزن ممکنه           | 9     | 6            | 7       | 7       | 8            | 6.5      |
| سبکی                             | 3     | 4.5          | 8       | 5       | 6            | 10       |
| حجم کم                           | 2     | 5            | 9       | 6       | 6            | 10       |
| سهولت ساخت                       | 3     | 4.5          | 10      | 4.5     | 4.5          | 7        |
| هزینه اجرایی کم                  | 1     | 3            | 10      | 5       | 6            | 8.5      |
| قابلیت اصلاح                     | 3     | 6            | 10      | 4       | 5            | 5        |
| قابلیت حفظ استحکام               | 7     | 6.5          | 8.5     | 9       | 10           | 7        |
| مقاومت در برابر خوردگی           | 3     | 4            | 8       | 7       | 8            | 10       |
| قابلیت تعمیر                     | 8     | 9            | 10      | 4       | 4            | 5        |
| انتقال کمترین میزان صدا و ارتعاش | 3     | 6            | 5.5     | 7       | 8            | 7        |
| جمع امتیازات                     | 41    | 54.5         | 86      | 58.5    | 65.5         | 76       |

امتیاز مینا برای هر پارامتر از 10 محاسبه گردیده است. (یعنی برای بهترین شاسی در آن پارامتر امتیاز 10 منظور گردیده و بقیه به نسبت آن سنجیده شده‌اند)

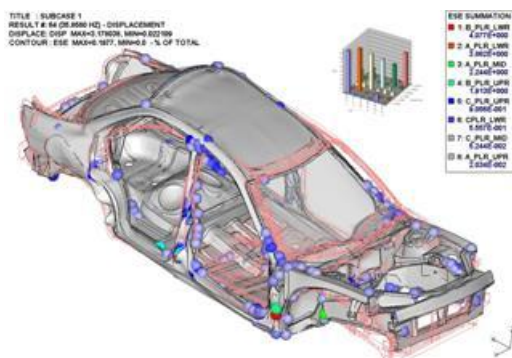
## 3-2) انواع تحلیل شاسی (1)

پس از انتخاب نوع شاسی، به منظور اطمینان از عملکرد آن، طراحی‌های صورت گرفته مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این تحلیل‌ها در زمینه‌های مختلفی صورت خواهند گرفت که از آن جمله می‌توان موارد زیر را به عنوان مهم‌ترین انواع تحلیل لازم برای شاسی مورد بررسی قرار داد. البته لازم است بدانیم که انجام تمامی تحلیل‌های زیر لازم نبوده و در هر خودرو بسته به نوع کاربری آن فقط تعدادی از این تحلیل‌ها انتخاب و انجام می‌شوند.

### 1-3-2) تحلیل سازه ای

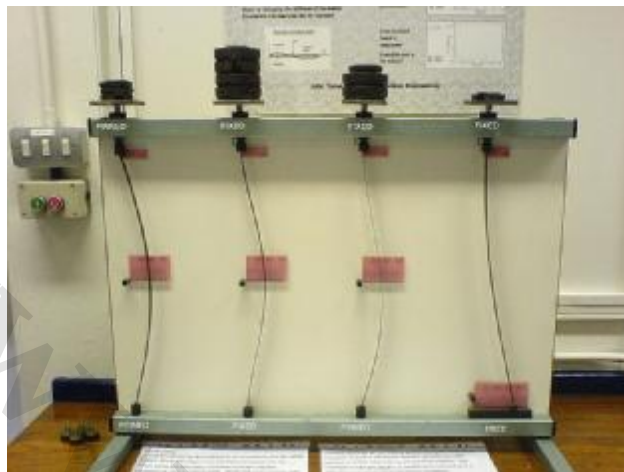
1- تحلیل استاتیکی خطی: این تحلیل شامل انواع تحلیل‌های جابجایی، تنش و سختی می‌گردد. در این نوع تحلیل، شاسی فقط در حالت استاتیکی مورد بررسی قرار گرفته و با اعمال نیروهای مختلف به آن میزان مقاومت قسمت‌های مختلف محاسبه می‌گردد.

2- تحلیل مودال یا فرکانسی: اکثر سازه‌ها ارتعاش دارند. کلیه ماشین‌آلات، خودروها و ساختمان‌ها در عمل تحت اثر نیروهای دینامیکی قرار دارند، که آن‌ها را به ارتعاش وامی‌دارند. مطالعه دینامیک سازه ایی برای درک و ارزیابی مشخصه‌های تولیدات صنعتی ضروری است. برای تضمین یک کارکرد مستمر و رضایت بخش دسترسی به پاسخ دینامیکی سازه یکی از اصول اولیه طراحی است. آنالیز مودال تشریح دقیقی از پاسخ یک سازه را ارائه می‌دهد که می‌توان آن را با خصوصیات طرح مطابقت داد. همچنین این امکان را نیز فراهم می‌کند که به یک ابزار کارا یعنی مدل مودال دسترسی یافته و درباره اثرات اصلاحات انجام یافته بر سازه تحقیق کنیم و یا اینکه رفتار سازه تحت شرایط کاری گوناگون را پیش‌بینی نماییم.



شکل شماره 8: نمونه نتایج تحلیل انجام شده توسط آنالیز مودال

3- تحلیل کمانش خطی : کمانش به رفتاری گفته می‌شود که معمولاً از عضو تحت فشار (ستون، دیوار برشی، ... ) سر می‌زند. اعضای تحت فشار یک سازه، پیش از رسیدن به حداکثر مقاومت فشاری و در حقیقت پیش از شکست تحت اثر تنش تسلیم فشاری، تحت اثر پدیده کمانش دچار شکست خواهند گردید. هرچه ستون بلندتر و سطح مقطع کوچک‌تری داشته باشد (ستون لاغر)، زودتر تحت اثر پدیده کمانش تسلیم می‌گردد.



شکل شماره 9: دستگاه آموزشی بررسی پدیده کمانش

4- تحلیل پاسخ فرکانسی : پاسخ فرکانسی یک سیستم عبارت است از طیف فرکانسی خروجی سیستم به طیف فرکانسی ورودی. پاسخ فرکانسی اندازه طیف خروجی یک سیستم یا یک وسیله در پاسخ به یک محرک است، و جهت مشخص نمودن ویژگی‌های دینامیکی سیستم به کار می‌رود.

5- تحلیل تنش‌های حرارتی : تنش حرارتی<sup>8</sup> نوعی تنش است که در اثر وجود گرادیان حرارتی یا اختلاف ضریب انبساط حرارتی و در نتیجه انبساط و یا انقباض ناهمگن در جسم به وجود می‌آید (2). استفاده از این معیار برای طراحی شاسی وسایل نقلیه‌ای دارای ابعاد بزرگ از تر از معمول و همچنین تحلیل قسمت‌هایی که بیشتر با حرارت در تماس هستند توصیه می‌گردد .

## 2-3-2) شبیه سازی حرکت و دوام قطعات بر روی جاده

این نوع تحلیل به عنوان یکی از معیارهای تعیین کیفیت قطعات و ماندگاری آن‌ها در شرایط واقعی صورت می‌گیرد و از نتایج آن بیشتر در زمینه‌ای افزایش عمر قطعات استفاده می‌گردد. معمولاً این نوع از تحلیل یا با

<sup>8</sup> Thermal Stress

استفاده از نرم افزارهای متداول در این زمینه همچون آدامز<sup>9</sup> صورت گرفته یا با نصب تجهیزات اندازه گیر بر روی مدل اولیه خودرو محاسبه می گردند. از انواع مدل سازی های صورت گرفته در شبیه سازی حرکتی خودرو می توان به گذر از جاده های دارای دست انداز ، حرکت بر روی جاده ی بلژیکی<sup>10</sup> ، تعیین نیروهای وارده از سوی جاده ، شبیه سازی برخورد متوالی درب موتور به بدنه و از این دست اشاره نمود . همچنین شبیه سازی واژگونی خودرو ، شبیه سازی پدیده ی جدایش چرخ از سطح جاده در جاده خیس ، شبیه سازی تلاطم سوخت درون باک و تحلیل نویز ناشی از گذر باد از مجاورت بدنه نیز از دیگر تست هایی است که در این دسته جای می گیرد .

### 2-3-3) تحلیل برخورد

از این نوع تحلیل برای تعیین ایمنی خودرو استفاده می شود که البته در دو مرحله صورت می گیرد . یک بار در هنگام طراحی شاسی و صرفاً با انجام تست های تصادف با استفاده از نرم افزار بر روی شاسی بدون هیچ یک از تجهیزات و بار دیگر پس از نصب کلیه ی قطعات و کامل شدن خودرو با استفاده از آزمایشگاه های مجهز بر روی مدل واقعی خودرو . این تست دارای 8 قسمت مختلف است که به صورت زیر دسته بندی می گردند :

- 1- برخورد از جلو
- 2- برخورد جانبی
- 3- برخورد از عقب
- 4- برخورد سقف
- 5- برخورد سپر
- 6- استحکام صندلی
- 7- استحکام و عملکرد کمربند ایمنی
- 8- برخورد سرنشین به شیشه جلو یا به سرنشین مجاور

### 2-3-4) تحلیل خستگی

در این تحلیل به بررسی موارد زیر پرداخته می شود.

- 1- تحلیل آسیب انباشته

<sup>9</sup> ADAMS

<sup>10</sup> جاده بلژیکی : جاده ای به شکل S و به صورت یک حلقه ی بسته که دارای عرض 4 متر و طول 1101 متر می باشد .(4)

## 2- تخمین عمر خستگی اجزا

### 3- تحلیل عمر خستگی در بارهای اتفاقی

که البته به دلیل اینکه در اینجا فقط به بررسی شاسی و تحلیل‌های استاتیکی پرداخته می‌شود استفاده از این تحلیل کاربرد چندانی نداشته و صرفاً جهت اطلاع آورده شده است. موارد زیر نیز همانند این مورد فقط به منظور آشنایی خوانندگان با مطلب آورده شده و در طراحی پیش رو به دلیل زمان بر بودن فرآیند انجام این تحلیل‌ها استفاده نمی‌شود علاوه بر اینکه خودروی هدف نیز برای استفاده در شرایط مسابقه ای طراحی شده و نیاز چندانی به این تحلیل‌ها نمی‌باشد.

### 2-3-5 (تحلیل نویز و ارتعاش)<sup>11</sup>

1- تحلیل آکوستیک و نویز (مانند نویز ناشی از جریان باد عبوری از روی بدنه)

2- نویز ناشی از مجموعه ترمز

3- شبیه سازی پدیده‌ی تشدید در دیواره تایر

4- تحلیل ارتعاش اجباری و آزاد چرخ، سیستم تعلیق و سازه.

5- تحلیل ارتعاشات انتقال یافته به بدنه و سرنشین از موتور و جاده.

### 2-4 (طراحی فرآیند ساخت)

پس از طراحی و تحلیل شاسی نوبت به طراحی مراحل ساخت می‌رسد. در این قسمت باید به مواردی همچون فرآیند فرم دهی، طراحی قالب‌ها، انتخاب قالب‌های برش و پرس و همچنین طراحی قید و بندها (جیگ و فیکسچر) پرداخت. طراحی دقیق و با دقت این قسمت موجب می‌گردد تا هزینه‌ی تولید یک خودرو تا حد چشمگیری کاهش یافته و از خطاهای به وجود آمده در زمان ساخت کاسته شود.

<sup>11</sup> NVH (noise, vibration, and harshness) analysis

# 3

## فصل سوم طراحی بدنه

### (3) طراحی بدنه:

مهم‌ترین مسئله‌ی پیش رو در طراحی بدنه توجه به اصول آیرودینامیکی و ایجاد مقاومت کم در برابر هوا بود که این امر موجب شد تا انواع فرم بدنه مورد بررسی اجمال قرار گرفته و فرم تقریبی بدنه انتخاب گردد. به این منظور ابتدا به تعریفی کلی از آیرودینامیک می‌پردازیم.

در واقع اولین تعریف‌های مفید برای آگاهی از قوانین حاکم بر حرکت جسم در شاره، در سده‌ی شانزدهم به هنگام پایه‌گذاری مکانیک بیان شد.

گالیله اولین کسی است که در جریان مطالعه‌ی حرکت آونگ به مقاومت هوا پی برد. او متوجه شد که حرکت آونگ به تدریج کند می‌شود و کوشید رابطه‌ی بین سرعت و مقاومت هوا را تعیین کند. آزمایش گالیله عبارت بود از دو آونگ همانند که از دو کره‌ی با وزن یکسان آویزان از نخ‌های با طول برابر تشکیل می‌شدند. یکی را به اندازه‌ی 10 درجه و دیگری را به اندازه‌ی 160 درجه از وضع قائم منحرف و سپس رها کرد. بعد از مدت معینی تعداد نوسان‌هایی که آونگ‌ها انجام داده بودند با هم برابر بود. گالیله با توجه به نسبت متفاوت سرعت‌ها، فهمید مقاومت هوا با سرعت متناسب است و در نتیجه هر دو آونگ نوسان‌های مساوی انجام داده‌اند.

بعداً نیوتن بود که ارتباط بین 4متغیر: مقاومت هوا، مجذور سرعت، مجذور ابعاد خطی جسم و چگالی هوا را بیان کرد. نیوتن همچنین اساس کار تونل باد را بنا نهاد که سه قرن بعد تحقق یافت.

مقاومت هوا = ضریب کشش  $\times$  مساحت در معرض جریان  $\times$  سرعت به توان دو  $\times$  چگالی هوا

بعدها برای سرعت‌های بالاتر نادرستی رابطه نیوتن به اثبات رسید. در واقع آزمایش‌های حرکت‌های پرتابی با سرعت‌های بالاتر نشان داد که مقاومت هوا در مقابل پیشروی پرتابه‌ها خیلی بیش از مجذور سرعت افزایش می‌یابد.

از همان هنگام کوشش‌های مربوط به پیشبرد هیدرودینامیک و مکانیک نظری سیالات در جریان نیمه دوم قرن هجدهم و تمام قرن نوزدهم به پیشرفت‌های بزرگی نایل آمد.

نتایج کارهای دانشمندان مشهور زمان عبارت بودند از:

برنولی: قضیه مهمی را بیان داشت که بر جریان شاره‌های غیر قابل تراکم حاکم است و بعداً به قضیه‌ی برنولی معروف شد.

اویلر : به مطالعه‌ی هیدرودینامیک علاقه‌مند شد و بدین طریق توانست چندین قانون بنیادی مکانیک سیالات را اثبات کند و همچنین اوست که نظریه‌ی مقاومت سیال را روی جسم در حال حرکت بر اساس فشار بیان داشت.

لاپلاس : فرمول درست سرعت انتشار صوت در هوا را پیدا و ثابت کرد که سرعت صوت در هوا با جذر دمای مطلق هوا متناسب است.

در جریان قرن نوزدهم برای اولین بار پرتابه‌ها وارد توپخانه‌ها شدند و بدینسان مطالعه روی پدیده‌های فراصوت آغاز شد. آزمون‌های تیراندازی به ویژه در فرانسه تا سرعت‌های حدود 1500 متر بر ثانیه انجام می‌گرفت. در جریان همین آزمایش‌ها بود که ماخ - فیزیکدان اتریشی - در جسمی که با سرعت فرا صوت حرکت می‌کرد، موج‌های شوک را کشف کرد. روش استریوسکوپی مشاهده جریان‌های فراصوتی که ماخ آن را ابداع کرد، هنوز هم مورد استفاده است.

در قرن اخیر اندیشه‌ی ساخت هواپیماهای دقیق‌تر مطرح شد و ماکت‌های اولیه‌ی هواپیما بیشتر مدیون مطالعه روی پرواز پرندگان است.

جورج کیلی پروفیلی طراحی کرد که شاید اولین پروفیل بال از روی آن ساخته شده باشد و شکل آن بر اساس برش عرضی ماهی قزل آلا طراحی شده بود.

به موازات این کوشش‌های نظری، نخستین دستگاه‌های آزمایش‌های آیرودینامیکی ساخته و به کار گرفته شد. در سال 1871 ونهام و در سال 1891 فیلیپ در انگلیس اتاق‌های دمش را ساختند. بعداً ژوکوفسکی در روسیه و راتو و ایفل در فرانسه به همین کار پرداختند. ایفل به حق یکی از پیشگامان این راه شد. او روش‌های فنی آزمایشی را بنا نهاده است که امروزه نیز از آن‌ها استفاده می‌شود. ایفل برای اندازه‌گیری مقاومت هوا روی صفحات تخت در سال 1910 برج معروف ایفل را ساخت. از این زمان است که بسط نظری آیرودینامیک با ساخت هواپیما دوش به دوش هم پیش می‌رود. به طوری که پیشرفت در یکی، موجب تکمیل و تصحیح در دیگری می‌شود. در سال 1920 پرانتل آلمانی نظریه‌ی پورتانس را بیان کرد و به شرح رفتار جریان هوا پرداخت. در طول جنگ 1939-1940 نشانه‌های اولیه‌ی ورود به ناحیه‌ی سرعت‌های نزدیک به سرعت صوت با هواپیماهای ملخی خیلی سریع مانند اسپیت فایر (سیخ آتش) در جریان خیزهای قائم به ظهور پیوست. ظهور هواپیماهای مجهز به موتورهای واکنشی (جت) این پدیده را خیلی روشن‌تر کردند و از سال 1945 برنامه‌های وسیع پژوهشی روی جریان‌های سریع نزدیک به سرعت صوت در تونل‌های باد ریخته شد. نتایج به دست آمده اجازه دادند که شکل و رفتار آیرودینامیکی هواپیماها را در اطراف سرعت صوت تکمیل و تصحیح کنند و به سرعت‌های فرا صوتی بزرگ دست یابند. در طرح‌های نظامی سرعت عادی هواپیماها به 3 ماخ می‌رسد و مطالعه‌ی آیرودینامیکی هواپیماهای حمل‌ونقل بازرگانی با همین

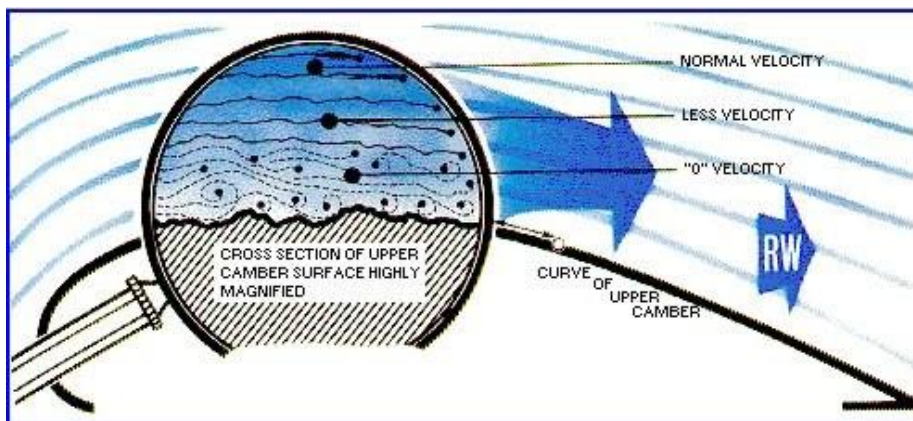
کیفیت در جریان تکامل است. تکامل موتورهای ویژه ای که سرعت برخی از آنها به چند هزار کیلومتر در ساعت می‌رسد به مطالعات پیشرفته تری نیازمند است، مسایل جدیدی را مطرح ساخته‌اند که وجود تونل‌های باد با تجهیزات کامل تر و شرایط جدید پرواز را ضروری‌تر می‌سازند. حال که با روند ظهور علم آیرودینامیک آشنا شدید بهتر است تعدادی از سبک‌های معمول بدنه‌ی خودروها و تأثیر هوا بر روی آنها را مورد بررسی قرار دهیم .

### 3-1) نیروهای آیرودینامیکی :

در بررسی انواع شکل ظاهری بدنه خودروها باید ابتدا به مفهوم نیروی درگ توجه داشت ، این نیرو که در علم مکانیک و آیرودینامیک با نماد  $C_d$  نمایش داده می‌شود در واقع یک نیروی آیرودینامیکی می‌باشد که برخلاف حرکت وسیله نقلیه در حال حرکت در میان جریان هوا ایجاد می‌شود. درگ به وسیله هر جسم جامد ممکن است ایجاد شود. حال سؤال اصلی اینجاست که نیروی درگ چگونه ایجاد می‌شود ؟ درگ یک نیروی مکانیکی است. پس حتماً برای به وجود آمدن نیاز به محیط مادی دارد ، این نیرو در اثر واکنش بین تماس جسم جامد در حال حرکت در میان یک سیال (گاز یا مایع) تولید می‌شود و مثلاً به وسیله یک میدان نیرو الکترومغناطیسی تولید نمی‌شود ، برای اینکه درگ تولید شود جسم جامد حتماً باید با سیال در تماس باشد. اگر سیال نداشته باشیم درگ هم نخواهیم داشت. نیروی درگ همچنین در اثر تفاوت سرعت بین جسم جامد و سیال نیز تولید می‌شود. در آنجا باید حرکت بین شی و سیال را داشته باشیم. اگر حرکتی نداشته باشیم ، درگ نیز تولید نمی‌شود.

درگ یک نیرو می‌باشد ، و نیرو از نوع متغیرهای برداری است پس هم دارای جهت است و هم دارای مقدار. این نیرو همیشه در جهت مخالف جسم جامد در حال حرکت عمل می‌کند. فاکتورهای بسیاری بر مقدار نیروی درگ تأثیر دارند. بسیاری از این فاکتورها به صورت نیروی لیفت اثر می‌کنند و مقداری دیگر باعث ایجاد درگ می‌شوند .

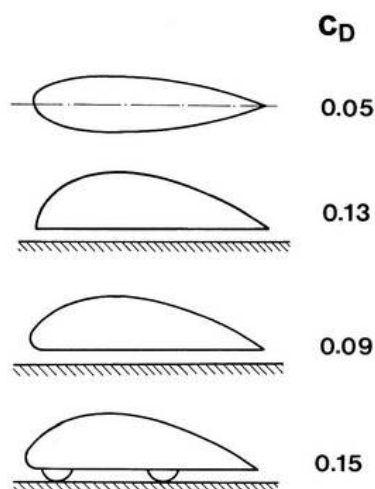
یکی از منابع ایجاد شده توسط درگ اصطکاک پوسته یا سطح بین مولکول‌های هوا و سطح جامد می‌باشد. زیرا اصطکاک سطح یک واکنش بین سطح جامد و گاز می‌باشد ، مقدار اصطکاک سطح به خصوصیات جسم جامد و گاز بستگی دارد. برای جسم جامد، نرمی و مومی شکل بودن سطح اصطکاک کمتری نسبت به جسم جامد زیر تولید می‌کند .



شکل 1

برای گاز ، مقدار آن به ویسکوزیته هوا و مقدار نسبی نیروی ویسکوز در حال حرکت جریان ، یا به عبارتی عدد رینولدز بستگی دارد. همچنین مقدار اصطکاک سطح به لایه مرزی ایجاد شده بر روی سطح جامد نیز وابسته می باشد. همچنین ما می توانیم گمان کنیم که درگ یک مقاومت آیرودینامیکی در برابر جسم در حال حرکت از میان سیال می باشد. منشأ این نوع درگ وابسته به شکل جسم در حال حرکت می باشد و به آن **Form Drag** گفته می شود.

دانشمندان پس از تحقیقات آزمایشگاهی بسیار ، فرم های مختلف بدنه را در گروه هایی دسته بندی کرده و ضریب درگی برای هر گروه تعریف کردند . طبق همین تحقیقات نتیجه گرفته شد که بهترین حالت بدنه مربوط به اشکال شبیه به قطره آب است . بر این اساس هرچه بدنه ی ساخته شده شباهت بیشتری به یک قطره ی آب در حال سقوط داشته باشد ، ضریب درگ کمتری داشته و در نتیجه مقاومت آن در برابر هوا کمتر است . در شکل زیر انواع دسته بندی های مختلف در این مورد را مشاهده می کنید .



شکل 2

بدست آوردن نیروی درگ در خودروهای مختلف به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که مرسوم‌ترین روش آن استفاده از شرایط آزمایشگاهی و تونل باد است. در این روش ابتدا خودرو را در تونل باد قرار داده و سپس با عبور جریان‌هایی موازی دود از روی آن شرایط هوا را در نقاط مختلف خودرو می‌سنجند. اما روش‌های دیگری نیز وجود دارد که به عنوان مثال روش استفاده از نرم افزارهای تحلیل گری همچون Fluent نیز در مواقعی که دسترسی به تونل باد و تجهیزات آزمایشگاهی ممکن نیست تقریباً جوابگو است. روش دیگری نیز که تنها برای مشاهده‌ی نظری کیفیت طراحی بدنه کاربرد دارد استفاده از نشانگرهای آزاد بر روی بدنه است که تصاویر آن را در مورد دو خودروی بیتل<sup>12</sup> و پورشه 993<sup>13</sup> در زیر، مشاهده می‌کنید.



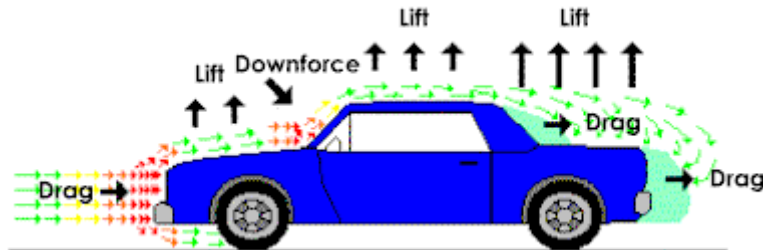
شکل 3



شکل 4

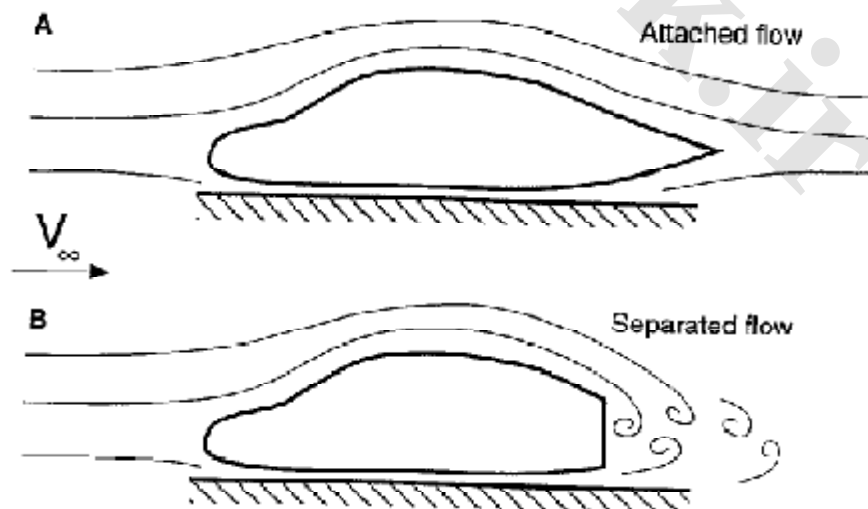
Beetle<sup>12</sup>  
Porsche 993<sup>13</sup>

همان طور که در تصاویر شماتیک صفحه‌ی قبل مشاهده نمودید هرچه انحنای و شیب‌های بدنه دارای شدت کمتری باشند و در اصطلاح، نرم‌تر باشند؛ بدنه‌ی نهایی، مقاومت کمتری نسبت به هوای عبوری از خود نشان داده و نقاط کم فشار (فلش‌های قرمز) در اطراف خودرو ایجاد می‌شود.



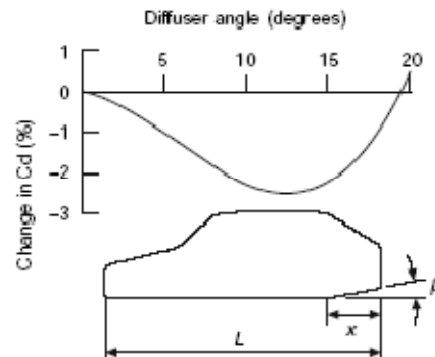
شکل 5

این نقاط کم فشار با ایجاد خلأ نسبی در پشت خودرو، باعث به وجود آمدن نیروی مکندگی می‌شود که همانند یک جاروبرقی قول‌پیکر عمل می‌کند و هر چه سرعت خودرو بیشتر می‌شود بر قدرت مکندگی این نیرو نیز افزوده شده و در نهایت علاوه بر افزایش سوخت مصرفی موتور، پایداری خودرو را نیز دچار اختلال می‌کند. سعی تمامی طراحان خودرو بر این است تا با ارائه راهکارهای مناسب از شدت خلأ به وجود آمده در ناحیه عقب خودرو بکاهند. به همین منظور راه کارهای زیادی نیز ارائه شده است که به عنوان مثال عبور یک کانال هوا از جلوی چرخ‌های عقب خودرو تا روی سپر عقب و یا افزایش انحنا و قسمت پایین سپر عقب را می‌توان اشاره نمود که البته تمامی این راه کارها محدودیت‌هایی از جمله افزایش وزن خودرو و یا عدم امکان استفاده در خودروهای شهری به دلیل محدودیت فضا را در پی دارد.



شکل 6

به عنوان مثال در شکل زیر مشاهده می‌کنید که تغییر زاویه‌ی قسمت زیرین سپر عقب چه میزان در کاهش نیروی درگ تأثیر دارد .

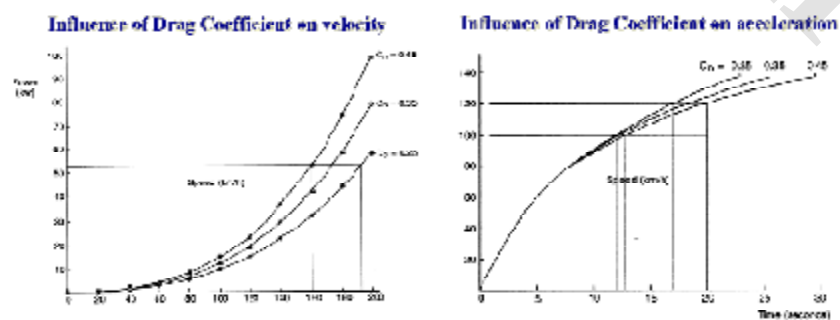


شکل 7

و همچنین تأثیر سرعت در افزایش نیروی درگ و در پی آن افزایش نیروی مورد نیاز برای به حرکت در آوردن خودرو را نیز در جدول زیر مشاهده می‌کنید .

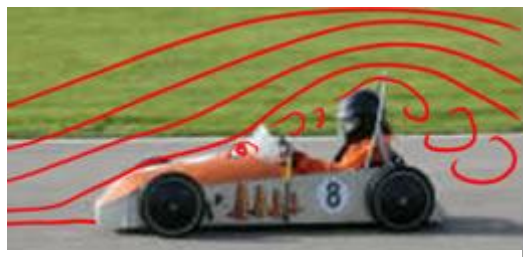
| سرعت (km/h) | $F_d$ | P(HP) |
|-------------|-------|-------|
| 50          | 8.9   | 1.6   |
| 100         | 35.5  | 12.9  |
| 130         | 59.9  | 28.3  |
| 200         | 141.8 | 102.9 |
| 300         | 319.0 | 347.4 |
| 350         | 434.2 | 551.5 |

جدول 1



شکل 8

در بررسی رفتار آیرودینامیکی خودروی ایرانا نیز از خودروهای مشابه الگو برداری شده و نمونه های خارجی ساخته



شکل 10

شده مورد بازبینی دقیق قرار گرفتند تا طرح کلی شکل ظاهری بدنه با توجه به مواد قابل استفاده در ساخت انتخاب گردد.

خطوط قرمز در شکل روبرو نمایانگر آشفتگی هوا در پشت

خودروی مذکور است که این امر به دلیل وجود کاکپیت باز و طول

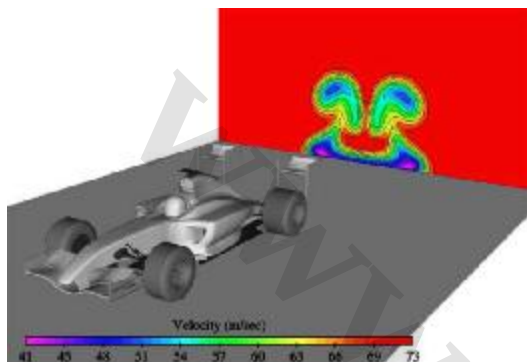
اندک خودرو ایجاد شده است . آشفتگی هوا در پشت این خودرو باعث

افزایش ضریب درگ و در نتیجه کاهش راندمان نهایی خودرو گردیده

است . از این نوع کاکپیت بیش تر در خودروهای فرمول 1 استفاده

می شود که به علت سرعت بسیار بالا و شکل مناسب بدنه اثر آشفتگی

هوا بر روی جریان خروجی از انتهای این نوع خودروها چندان قابل



شکل 9

توجه نبوده و موجب کاهش ضریب درگ نمی گردد.

در خودروهای فرمول 1 ، محفظه ی راننده در سطحی بسیار پایین قرار داشته و سطح باد خور در مقایسه با سطح کلی

خودرو بسیار ناچیز است . همچنین استفاده از دم T شکل در انتهای خودرو و طول زیاد بدنه موجبات وجود یک جریان

یکنواخت در هنگام خروج از بدنه را فراهم می آورد.

در کل استفاده از این نوع بدنه به دلایل متعددی همچون سرعت کمتر در مسابقات شهری و همچنین محدودیت در

ابعاد بدنه و وزن برای خودروهای درون شهری پیشنهاد نمی شود .

شکل 11



همان طور که ملاحظه می کنید در خودروی نمایش

داده شده در شکل زیر با وجود یک تلق در جلوی صورت راننده و

شیب مناسب این تلق ، جریان هوا به صورت یکنواخت و با زاویه ی

مناسب از روی سر راننده عبور می کند . میله ی محافظ که در پشت

سر راننده تعبیه شده است نیز ارتفاع مناسبی داشته و باعث اغتشاش جریان هوا نمی گردد . با این حال گسستگی ایجاد شده

بین تلق جلوی راننده و سر راننده و همچنین طرح نامناسب عقب خودرو باعث آشفتگی هوا در پشت گردیده و همین امر

موجبات تلفات انرژی و افزایش ضریب درگ را فراهم می کند. در خودروی مذکور چرخ ها با پوشش های صیقلی پوشانده شده

است که این خود باعث کاهش شدید ضریب درگ نسبت چرخ‌های دارای اسپوک می‌باشد. تأثیر لاستیک‌ها در ایجاد جریان‌های گردابی در این خودرو با استفاده از چرخ‌های نازک به حداقل رسانیده شده است.



شکل 12

خودروی بعدی که مورد بررسی قرار می‌گیرد همان‌طور که مشاهده می‌کنید تمامی ایرادات رفع شده و علاوه بر پوشاندن کامل

راننده درون بدنه‌ی خودرو و ایجاد فضای مناسب جهت دید راننده،

چرخ‌ها نیز از بیرون قابل رویت نیستند. این امر خود تأثیر بسزایی در کاهش مقاومت هوا دارد به ویژه که طرح آیرودینامیکی بسیار ایده آل بدنه با انتهای جمع شده، کمترین اعوجاج را در جریان خروجی به وجود آورده که با وجود مواد سبک در بدنه خودرو می‌توان این بدنه را به عنوان یک خودروی ایده آل در نظر گرفت.

### 3-1-1) جریان حول چرخ‌ها:

همان‌طور که در تصاویر بالا به وضوح مشخص بود طراحی محل قرار گیری تایرها در ایجاد اغتشاش در جریان هوا و در نتیجه راندمان خودرو نقش به سزایی دارد. به همین منظور و در جهت بدست آوردن یک الگوی مناسب برای آنالیز به خودروهای فرمول 1 رجوع شد و جریان هوای آزاد در اطراف تایرهای آنها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در خودروهای فرمول 1 چرخ‌ها به صورت بدون محفظه و در جریان هوای آزاد قرار دارند. که این امر بیشتر به دلیل ایجاد موقعیت مناسب جهت تعویض سریع لاستیک‌ها و توانایی مانور بالای خودرو بوده است. لکن در این خودروها که تقریباً از قدرت یکسانی برخوردار هستند نمی‌توان از یک جنبه برای سایر جوانب گذر کرد. به همین منظور طراحان این گونه از خودروهای مسابقه ای از دو ردیف بالچه در جلوی هر خودرو استفاده نموده‌اند که خود باعث کاهش شدید ایجاد جریان‌های مغشوش و گردابی بر روی چرخ‌ها شده است. این بالچه‌ها که به صورت زیر نصب شده‌اند نتایجی همانند شکل 16 در بر داشتند.

جریان آزاد توسط این بالچه‌ها اندکی منحرف شده و با پراکندگی کمتری از روی چرخ‌ها عبور می‌کند. این مسئله باعث می‌گردد تا جریان خروجی از انتهای خودرو از اغتشاش کمتری برخوردار بوده و در نتیجه راندمان بالاتری داشت باشد. البته این مسئله به دلیل نداشتن محدودیت در سرعت تعویض لاستیک‌ها و همچنین متفاوت بودن ابعاد تایرهای مورد استفاده چندان در خودروی هیبریدی ایرانا کاربرد نداشته و فقط جهت انجام مقایسه و تأکید بر لزوم توجه به همه‌ی جنبه‌ها در راستای کاهش ضریب درگ قرار داده شده است.

## 3-1-2) جریان زیر بدنه خودرو :

در طراحی بدنه به جنبه های مختلفی توجه می شود تا آشفتگی جریان سیال حول بدنه را به حداقل برساند . به این منظور ، قسمت زیرین بدنه نیز به تازگی مورد توجه واقع شده و در طراحی های جدید راهکارهایی برای بهینه سازی این قسمت ارائه گردیده است . نیروهای درگ ، لیفت و نیروهای جانبی از فرمول های زیر قابل محاسبه است .

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A} \quad \text{Drag} = \frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A C_D$$

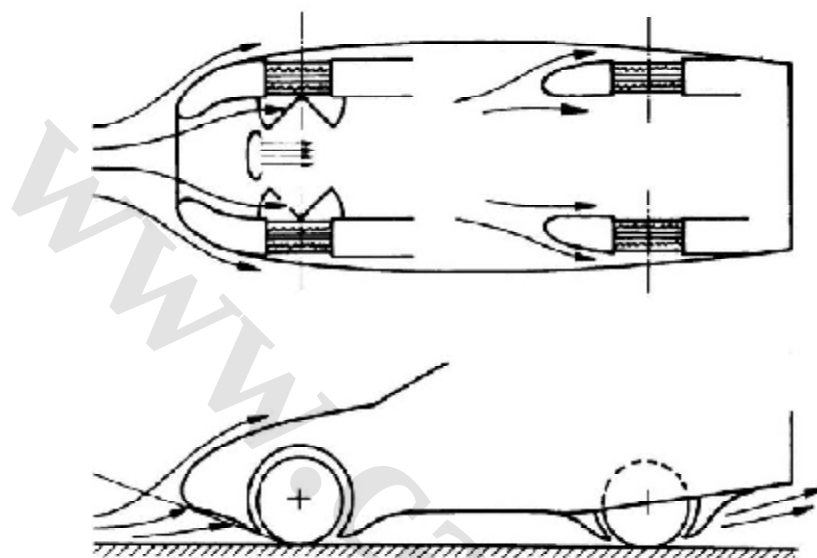
$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A} \quad \text{Lift} = \frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A C_L$$

$$C_Y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A} \quad \text{Side-Force} = \frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 A C_Y$$

در فرمول های بالا  $\rho$  چگالی هوا ،  $V$  سرعت نسبی یا سرعت هوا ،  $A$  سطح جلویی خودرو ،  $C_D$  ضریب درگ ،  $C_L$  ضریب لیفت و  $C_Y$  ضریب نیروهای جانبی است .

همان طور که در این فرمول های و روابط قابل تشخیص است برای کاهش نیروی درگ تنها راهکاری که وجود دارد کاهش سطح باد خور یا همان سطح جلویی خودرو است ولی در عمل می توان با افزایش صافی سطح بدنه و بهینه سازی فرم بدنه این نیرو را کاهش داد . در حقیقت این فرمول ها تنها معیاری غیر قابل اعتماد برای مقایسه خودروها ارائه می دهند و در نهایت تنها آنالیزهای آزمایشگاهی و یا استفاده از نرم افزار های تحلیلی می تواند عددی درست به طراح ارائه دهد . به عنوان مثال می توان از بالچه هایی که از سال 2005 بر روی خودروها نصب گردید نام برد. این بالچه ها با توجه به پهنای کمی که دارند پیش از این اصلاً در معادلات طراحی بدنه وارد نمی شدند ولی بر اثر یک اتفاق کاملاً تصادفی در یکی از آزمایشگاه های شرکت BMW آلمان ، مهندسين تحليل جريانی که بر روی نتایج بدست آمده از تونل باد کار می کردند متوجه شدند که این بالچه ها می تواند تا 0.01 از ضریب درگ بکاهد . شاید در نگاه اول این عدد چندان بزرگ به نظر نرسد ولی برای مقایسه بهتر است بدانید که بدنه ی خودروی پیکان با داشتن ضریب درگ 0.38 تنها 0.04 با بدنه ی خودروی همچون پژو 405 تفاوت دارد و همین تفاوت باعث می گردد تا خودروی پیکان به هیچ عنوان نتواند از مرز سرعت 145 کیلومتر در ساعت تجاوز کند .

دانشمندان و محققانی که در زمینه‌ی آیرودینامیک به کار مشغول هستند بیشتر سعی دارند تا به جای استفاده از فرمول‌ها و روابط ریاضی و حتی نرم افزارهای تحلیل و شبیه سازی<sup>14</sup>، از امکانات آزمایشگاهی با دقت هرچه بیشتر استفاده کنند. که تونل باد به عنوان معروف‌ترین ابزار کار این گروه، از جایگاه مناسبی در تحقیقات برخوردار شده است.



شکل 13

### 2-3) فرمان پذیری :

فرمان پذیری یا هندلینگ نشان دهنده توانایی‌های یک خودرو در فرمان برداری از دستورات راننده است. فرمان پذیری به عوامل زیادی وابسته است و بر خلاف تصویری که عموم مردم از این مبحث دارند و گمان می‌کنند که فرمان پذیری یک خودرو تماماً بر سیستم فرمان و ترمزهای آن وابسته است، دانش ساخت خودرو به ما ثابت کرده است که فرمان پذیری به عواملی همچون مرکز جرم<sup>15</sup>، ارتفاع خودرو<sup>16</sup>، اینرسی زاویه ای خودرو<sup>17</sup> و اینرسی حول محور افقی خودرو<sup>18</sup> وابسته است. البته یقیناً نوع فرمان و سیستم ترمز نیز در این امر تأثیر به سزایی دارند ولی مسئله‌ی اصلی این است که این دو عامل، تنها حلقه‌های پایانی زنجیره‌ی کنترل خودرو هستند و عملکردشان نیز به طرز قابل توجهی متأثر از موارد بیان شده است. به هر

<sup>14</sup> CFD

<sup>15</sup> Center of mass

<sup>16</sup> Center of mass height

<sup>17</sup> Roll angular inertia

<sup>18</sup> Yaw and pitch angular inertia (polar moment)

حال اطلاع از تأثیر عوامل بالا بر روی هندلینگ خودرو تیم‌های طراحی را مجبور به تمرکز و توجه بر روی این مسئله نموده است که در هنگام طراحی بدنه و شاسی حتماً این مسائل را در نظر بگیرند. به همین منظور بهتر است ابتدا با انواع آزمایشاتی که بر روی خودرو انجام می‌گیرد تا هندلینگ آن مورد ارزیابی قرار گیرد آشنا شده و سپس به بررسی فرمول‌ها و روابط موثر در این امر بپردازیم.

### 3-2-1) آشنایی با آزمایش‌های هندلینگ:

برای بررسی هندلینگ یک خودرو سواری بیش از 10 نوع آزمایش مختلف طبق روش‌های استاندارد<sup>19</sup> به کمک حسگرها انجام می‌شود. در این آزمایش‌ها داده‌های گرفته شده از حسگرها و تحلیل آن‌ها وضعیت هندلینگ خودرو را نشان می‌دهد. غیر از این آزمایش‌ها بیش از 20 نوع آزمایش هم به کمک راننده<sup>20</sup> های باتجربه و آموزش دیده و بدون استفاده از حسگر انجام می‌شود. چند نوع مهم از انواع آزمایش‌های objective که به طور شفاف کمیت‌هایی را درباره هندلینگ خودرو نشان می‌دهند به این شرح اند:

- بررسی خودرو در حال گردش پایدار (Steady State Circular Test)
- بررسی خودرو هنگام وارد شدن ورودی فرمان ناگهانی (Transient Behavior Test)
- ترمزگیری در پیچ
- اثر کاهش سرعت در پیچ
- تغییر مسیر ناگهانی

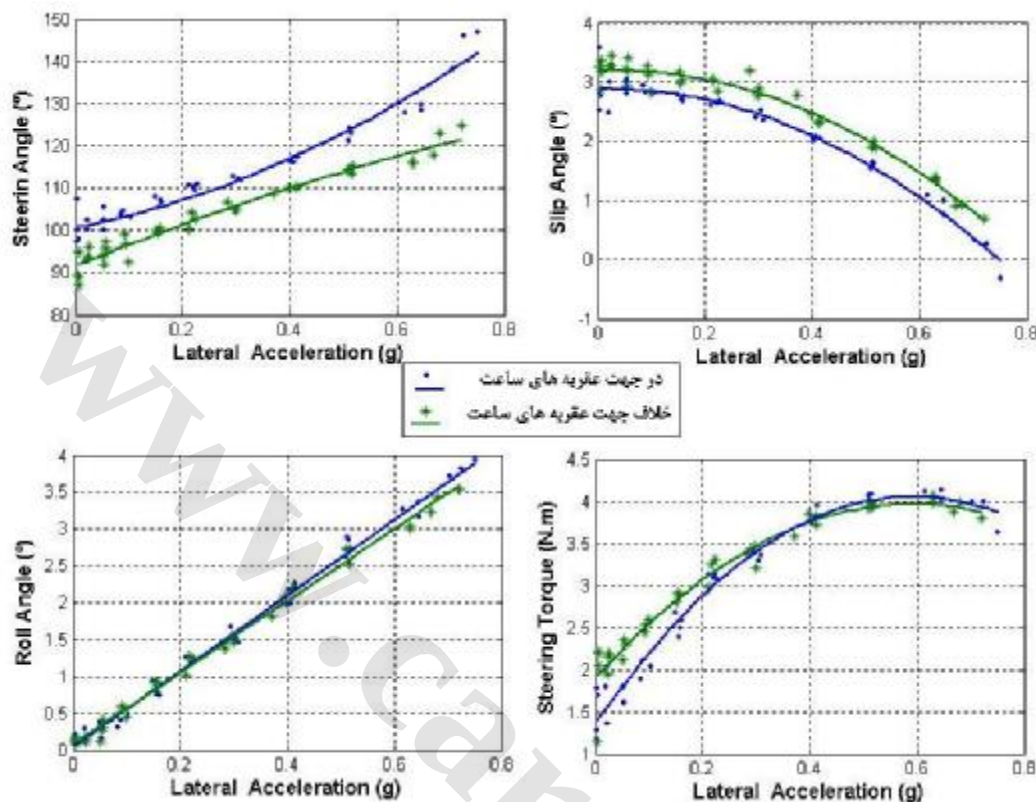
### 3-2-1-1) آزمایش هندلینگ در شرایط پایدار:

این آزمایش به این شکل انجام می‌شود که در یک زمین صاف و بدون شیب و با آسفالت یکنواخت مسیری دایره شکل مشخص می‌شود. سپس در سرعت‌های مختلف در این مسیر خودرو حرکت می‌کند و داده‌های مختلف مثل سرعت خودرو، زاویه فرمان، زاویه غلت، زاویه لغزش، گشتاور فرمان در سامانه داده برداری ثبت می‌شود. هنگام ثبت داده‌ها باید خودرو شرایط پایداری داشته باشد. به عنوان مثال سرعت و زاویه فرمان باید ثابت باشند. بعد از ثبت داده‌ها در هر سرعت، سرعت خودرو افزایش می‌یابد و باز داده‌ها در سرعت بالا تر ثبت می‌شوند. این کار تا حدی تکرار می‌شود که امکان افزایش سرعت به دلیل خطر واژگونی یا لغزش امکان‌پذیر نباشد و به این روش حد اکثر شتاب جانب مرکزی که خودرو می‌تواند تحمل کند به دست می‌آید. این آزمایش در هر دو جهت (در جهت چرخش عقربه‌های ساعت و خلاف آن) انجام می‌شود. بعد از انجام آزمایش کمیت‌هایی مثل زاویه فرمان، زاویه لغزش، گشتاور فرمان و زاویه غلت بر حسب شتاب جانب مرکز در نمودارهایی رسم می‌شود. این نمودارها به خوبی رفتار خودرو را (در شرایط پایدار) در پیچ نشان می‌دهد.

<sup>19</sup> Objective (آزمایشاتی که به کمک حسگرها انجام شده و افراد در داده‌های بدست آمده هیچ نقشی ندارند)

<sup>20</sup> Subjective (داده‌های که بر اساس نظرات افراد آزمایش کننده تهیه شده و نتایج تنها مبتنی بر نظرات این افراد است)

به عنوان مثال در شکل‌های زیر این نمودارها برای یک خودروی سواری در آزمایش پایدار دیده می‌شوند.



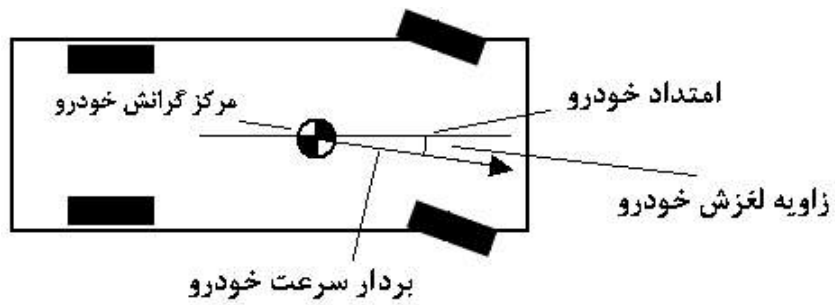
شکل 14

### 3-2-1-1 (چند کمیت قابل توجه در این نمودارها:

همان‌طور که قبلاً اشاره شد بیشینه شتاب جانب مرکز توسط این آزمایش قابل دستیابی است که به خوبی نشان می‌دهد خودرو حد اکثر تا چه حد می‌تواند شتاب را تحمل کند. به عنوان مثال خودرو آزمایش شده در نمودارهای بالا شتاب  $0.75 \text{ g}$  را بدون سر خوردن یا واژگونی تحمل کرده است. (g شتاب گرانش زمین است برابر با  $9.81 \text{ m/s}^2$  است) این کمیت یکی از معیارهای خوب مقایسه هندلینگ خودروهاست.

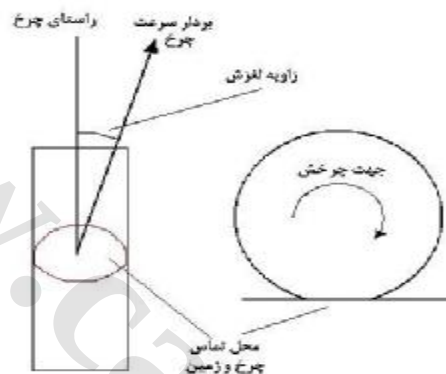
کمیت دیگری که در این نمودارها قابل توجه است زاویه غلت خودرو می‌باشد. طبیعی است که هر چه زاویه غلت خودرو بیشتر باشد راننده احساس نا امنی بیشتری می‌کند. و خطراتی مثل واژگونی بیشتر است. این کمیت هم برای مقایسه هندلینگ خودروها مناسب است. به این شکل که در شتاب‌های جانب مرکز یکسان خودرویی که زاویه غلت کمتری داشته باشد هندلینگ بهتری دارد.

کمیت دیگر زاویه لغزش خودرو است. این کمیت در شکل 18 مشخص است.



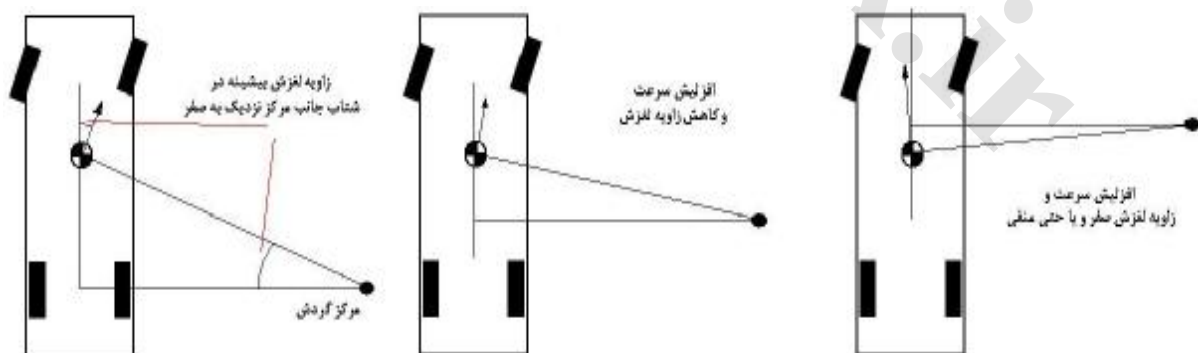
شکل 15

لازم به ذکر است که این زاویه لغزش مربوط به گرانیگاه خودرو است و با زاویه لغزش چرخ متفاوت است.



شکل 16

این زاویه در سرعت‌های نزدیک به صفر (شتاب جانب مرکز نزدیک به صفر) بیشینه است. و با افزایش سرعت و افزایش شتاب جانب مرکز خودرو این زاویه کاهش می‌یابد. در شکل‌های اغراق آمیز زیر با فرض ثابت بودن شعاع دوران از سمت چپ به راست، زاویه لغزش در سرعت‌های نزدیک به صفر تا سرعت‌های زیاد رسم شده‌اند.



شکل 17

برای توضیح شکل بالا لازم به ذکر است که در سرعت‌های کم و نزدیک به صفر که نیروی جانبی کمی از زمین به چرخ‌ها وارد می‌شود هیچ کدام از چرخ‌های عقب یا جلو لغزشی ندارند و زاویه لغزشی که برای مرکز گرانش تعریف می‌شود در مقدار بیشینه خود است. اما با افزایش سرعت، برای تأمین نیروی جانبی از زمین به چرخ‌ها هم در چرخ‌های جلو و هم در چرخ‌های عقب زاویه لغزش به وجود آمده و افزایش می‌یابد و در نتیجه زاویه لغزش گرانیگاه خودرو کاهش می‌یابد.

این کمیت هم معیار خوبی برای مقایسه هندلینگ خودروهاست. هر چه در شتاب‌های جانب مرکز بالا زاویه لغزش مقدار بیشتری داشته و مثبت باشد راننده به خودرو مسلط‌تر است و همچنین زوایای لغزش منفی موجبات ناامنی سرنشینان را فراهم می‌آورد. البته در مسابقات فرمول یا رالی پیچ‌ها را با زاویه لغزش منفی و با سرعت بالا عبور می‌کنند اما مطالب ذکر شده در بالا برای رانندگی حالت عادی و خودروهای سواری می‌باشد.

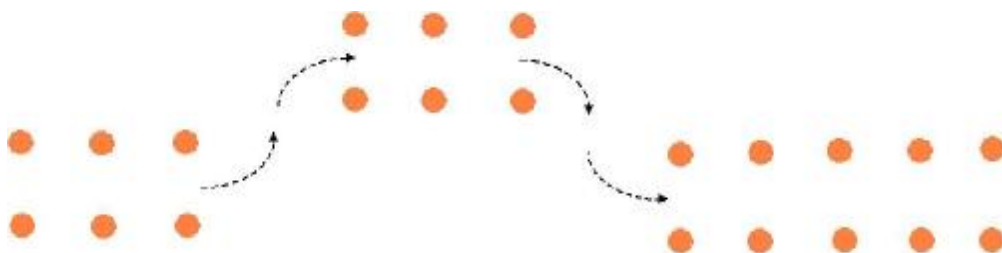
معیارهایی که در بالا گفته شد می‌توانند به مقایسه هندلینگ کمک کنند اما به تنهایی نمی‌توانند مشخصات هندلینگ خودرو را نشان دهند. برای بررسی سرعت عمل خودرو نسبت به فرمان‌های راننده آزمایش‌های دیگری هم انجام می‌شود.

### 2-1-2-3) آزمایش هندلینگ در شرایط گذرا:

این آزمایش به این شکل انجام می‌شود که در یک زمین صاف و بدون شیب و با آسفالت یکنواخت در سرعت‌هایی حدود 100 کیلومتر بر ساعت ورودی‌هایی به صورت ناگهانی به خودرو وارد می‌شود و واکنشی که خودرو به ورودی‌ها نشان می‌دهد توسط حسگرها ثبت می‌شود. به عنوان مثال تأخیر زمانی بین ورودی فرمان و شتاب جانب مرکز و همچنین تأخیر زمانی بین ورودی فرمان و سرعت چرخش خودرو به مسیر فرمان داده شده از اطلاعات مهمی هستند که با انجام این آزمایش به دست می‌آیند.

### 3-1-2-3) آزمایش تغییر مسیر ناگهانی:

این آزمایش به این شکل انجام می‌شود که در یک زمین صاف و بدون شیب مسیری به شکل زیر با اندازه‌های استاندارد مشخص می‌شود.



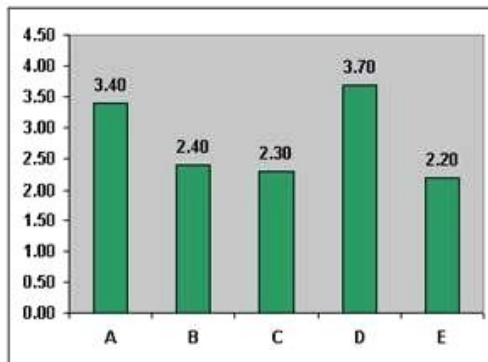
شکل 18

راننده تلاش می‌کند تا با سرعت مسیر مشخص شده را عبور کند به شرطی که خودرو با هیچ کدام از موانع برخورد نکند. این کار بارها با راننده های مختلف در آزمایش یک خودرو تکرار می‌شود. در حین آزمایش داده‌هایی مثل سرعت و زاویه غلت و شتاب عرضی ثبت می‌شوند. آزمایشی که در آن خودرو به هیچ کدام از موانع برخورد نکند و سرعت میانگین در طی مسیر آزمایش بیشینه باشد به عنوان نتیجه تست معرفی می‌شود. البته واضح است که این سرعت بیشینه بستگی به مهارت راننده هم دارد. اما اگر برای خودرو های مختلف راننده‌ها یکسان باشند و از نتیجه به دست آمده از چند راننده ماهر میانگین گرفته شود می‌توان از نتیجه آزمایش فوق توانایی هندلینگ خودرو را به دست آورد.

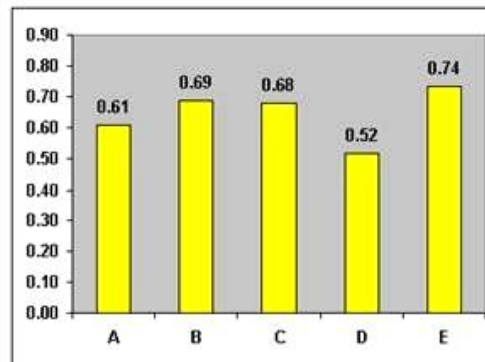


شکل 19

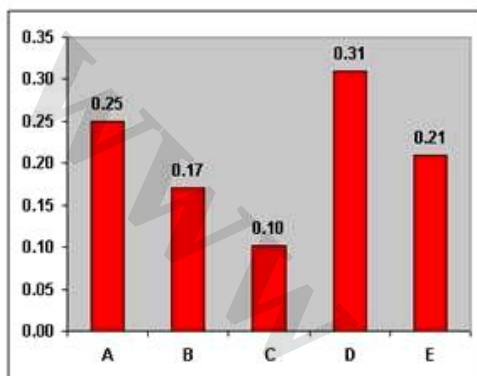
در ادامه برای روشن‌تر شدن مفاهیم گفته شده در بالا نتایج آزمایش‌های فوق برای پنج خودروی سواری که با نام‌های A تا E مشخص شده‌اند با هم مقایسه شده است. همچنین میانگین نمراتی را که سه راننده به هندلینگ هر خودرو داده‌اند هم به عنوان نظرات کلی راننده آورده شده است.



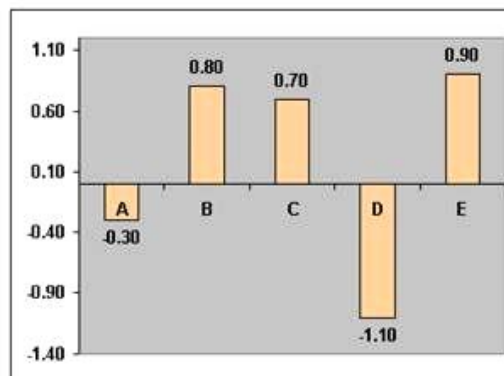
شکل ۹: زاویه غلت بر حسب درجه در شتاب 0.5 g



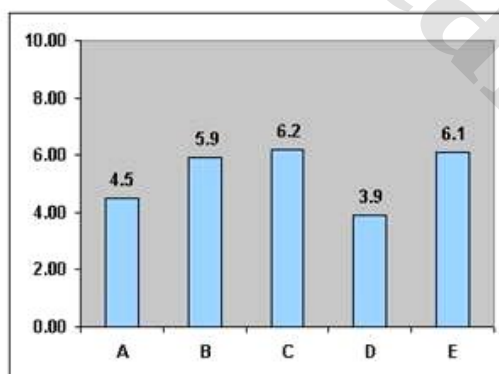
شکل ۸: حد اکثر شتاب جانب مرکز به دست آمده بر حسب g



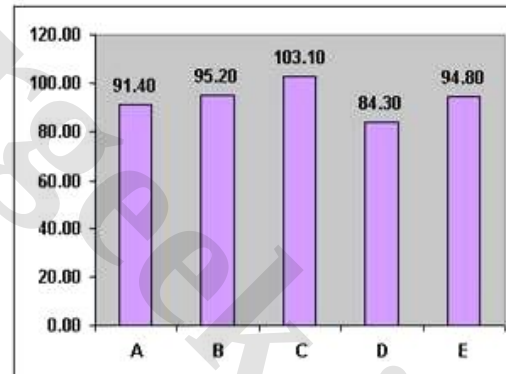
شکل ۱۱: تاخیر زمانی بین ورودی فرمان و شتاب عرضی بر حسب ثانیه



شکل ۱۰: زاویه لغزش خودرو در شتاب 0.5 g



شکل ۱۳: نمره هر خودرو توسط رانندگان (از ۱۰ نمره)



شکل ۱۲: سرعت عبور از مسیر آزمایش بر حسب کیلومتر بر ساعت

شکل ۲۰

در آزمایش‌های انجام شده بر روی خودروهای A تا E موتور در هر پنج خودرو در قسمت جلوی خودرو قرار دارد و

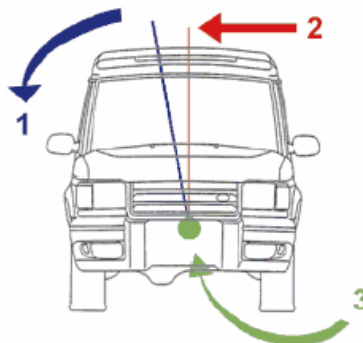
همچنین در هر پنج خودرو محور جلو محرک است و هیچ‌کدام از پنج خودرو سیستم‌های بهبود هندلینگ مثل ESP

نداشته‌اند، اما در سیستم‌های تعلیق و مقاومت غلطشی و ... تفاوت‌هایی با هم داشته‌اند.

### 3-2-2 (عوامل موثر در فرمان پذیری):

#### 3-2-2-1 (ارتفاع مرکز جرم):

مرکز جرم اتومبیل نقطه اتکای وزن اتومبیل است و توسط نیروهای دینامیکی دستخوش تغییرات می‌شود. به خصوص اگر مرکز جرم در ارتفاع بالاتری قرار گرفته باشد نیروهای دینامیکی اثر بیشتری روی آن دارند. کاهش ارتفاع مرکز ثقل اتومبیل برآیند نیروهای وارده بر اتومبیل (که نیروی وزن نیز یکی از آنهاست) را کاهش می‌دهد. هرچه قدر فاصله بین دو محور<sup>21</sup> خودرو طولانی‌تر و عریض‌تر باشد ارتفاع مرکز ثقل کاهش می‌یابد و در برابر انتقال نیرو اتومبیل پایداری بیشتری خواهد داشت و نیروها به جای اینکه به صورت جانبی بر مرکز ثقل اثر کنند به صورت افقی به نقطه مرکز ثقل وارد می‌شوند. حتماً تاکنون مشاهده کردید که یک خودرو هنگام شتاب گیری (شتاب مثبت یا شتاب منفی) به طرف عقب یا جلو متمایل می‌شود. این حرکت به دلیل عکس‌العمل نیروهای اینرسی است که بر روی مرکز جرم وارد شده و مرکز جرم نیز همانند یک بازوی گشتاور، نیرو را بر روی محور عقب یا جلو منتقل می‌کند. این نیرو فقط در جهت پایین عمل کرده و در هنگام شتاب گیری باعث افزایش نیروی وارد بر محور عقب می‌گردد. همان‌طور که در هنگام ترمز گیری نیروی وارد شده بر محور جلو را افزایش می‌دهد. افزایش نیرو و فشار بر محورهای عقب و جلو یک اثر نامطلوب است که در حد کنترل شده برای خودرو ایجاد اشکال نمی‌کند ولی در صورتی که در محاسبه ارتفاع مرکز ثقل سهل انگاری صورت گرفته باشد و این نیرو از مقدار متعارف بیشتر گردد با افزایش بیش از حد فشار به سیستم تعلیق در هنگام ترمز گیری‌های شدید می‌تواند خطرات جدی برای سرنشینان ایجاد کند علاوه بر اینکه از راحتی و آسایش سرنشینان نیز خواهد کاست. البته مهم‌ترین تأثیر این مرکز ثقل در کاهش پایداری جانبی خودرو بوده و در واقع نقش اصلی را در واژگونی خودرو در هنگام دور زدن‌های با سرعت بالا ایفا می‌کند. به همین دلیل مهندسين طراح خودرو همواره سعی می‌کنند تا با افزایش فاصله بین محور چرخ‌ها و متمرکز نمودن قسمت‌های سنگین خودرو در قسمت کف شاسی، ارتفاع مرکز ثقل را به حداقل ممکن رسانده و از اثرات نامطلوب آن بکاهند.



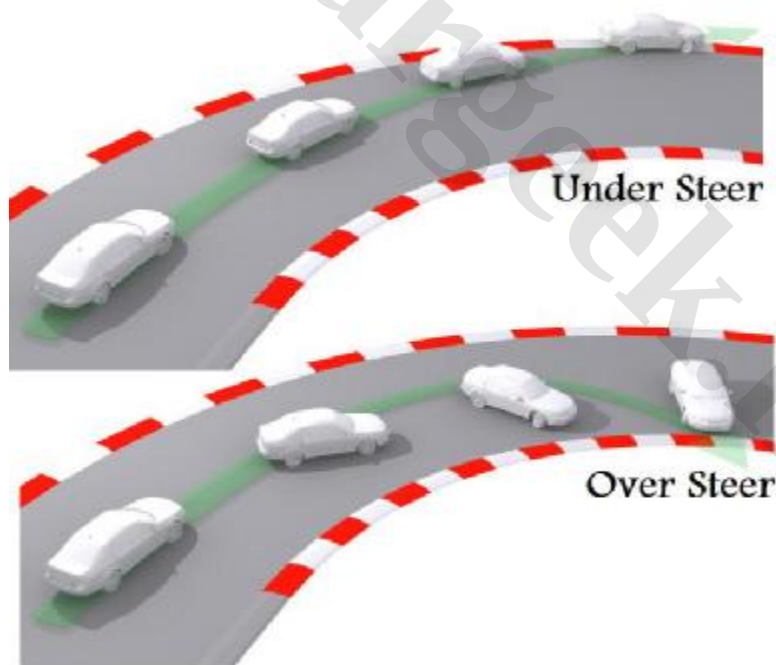
شکل 21

<sup>21</sup> Wheel Base

بدون پرداختن به بحث‌های فیزیکی و مهندسی این‌گونه می‌توان توصیف کرد که مرکز جرم کاری مشابه یک اهرم انجام می‌دهد (میزان نیرو و کار را افزایش می‌دهد) اگر نقطه مرکز ثقل در ارتفاع بلندی قرار گیرد همانند یک اهرم بلندتر عمل می‌کند و هنگام ترمز کردن، شتاب گیری و پیچیدن، این اهرم نیروهای گرانشی ایجاد شده بین مرکز جرم و محل تماس لاستیک‌ها را تقویت می‌کند و این امر باعث می‌شود وزن، شدیدتر و بیشتر منتقل شود (نیروهای گرانشی بزرگ‌تری بر اتومبیل وارد شود).

### 2-2-2-3) مرکز جرم :

تقسیم وزن ایده برای یک خودرو با نسبت 50/50 مشخص می‌شود. این عدد بیانگر این است که مرکز جرم این خودرو به میزان 50 درصد فاصله‌ی بین محورهای عقب و جلو از محور جلو و 50 درصد همین فاصله از محور عقب فاصله دارد. به زبان ساده تر مرکز جرم این خودرو دقیقاً در وسط فاصله‌ی بین محورهای آن قرار دارد. در بررسی صورت گرفته از یک خودرو در یک حالت پایدار هنگام عبور از پیچ، هنگامی که خودرو دارای قسمت جلوی سنگین‌تر<sup>22</sup> بود تمایل به خروج از پیچ و هنگامی که دارای قسمت عقب سنگین‌تر<sup>23</sup> بود تمایل به چرخش به سمت درون پیچ داشت.

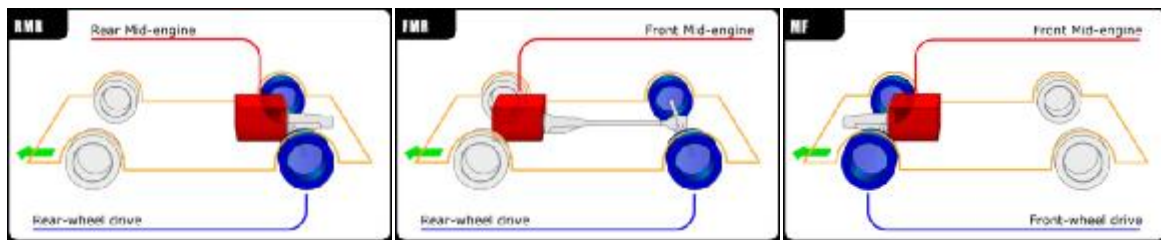


شکل 22

<sup>22</sup> Understeer

<sup>23</sup> Oversteer

معمولاً خودروهایی که دارای موتور جلو و سیستم انتقال قدرت بر روی چرخ‌های عقب بودند در این آزمایش‌ها نتایج بهتری کسب کردند و بدترین حالت متعلق به خودروهایی بود که از موتور عقب و سیستم انتقال قدرت عقب بهره می‌بردند .



شکل 23

خودروهایی که دارای آرایش موتور در وسط شاسی بودند توانستند پیچ را با سرعت بیشتری طی کنند در حالی که خودروهای دارای آرایش FMR در سرعت‌های کمتر ، کنترل بهتر و ساده تری از خود نشان دادند . به همین دلیل است که خودروهای مسابقه ای که امروز ساخته می‌شوند اکثراً از آرایش FMR استفاده می‌کنند .

البته انتقال نسبت وزن خودروهای مسابقه ای به قسمت عقب خودرو به این دلیل است که خودروهای در پیچ بر روی یک مسیر مستقیم حرکت کنند و از چرخش آن‌ها جلوگیری شود . چرا که با ورود چرخ‌های جلویی به پیچ در سرعت‌های بالا نیروی جانب از مرکزی که از سمت پیچ به آن‌ها وارد می‌شود باعث می‌گردد تا خودرو حول مرکز جرم خود اندکی بچرخد . طراحان با در نظر گرفتن این اثر سعی می‌کنند تا با قرار دادن مرکز جرم خودروهای اسپرت و تندرو در موقعیت 40/60 و یا 35/65 از گشتاور وارد شده به مرکز جرم کاسته و این چرخش را تا حد امکان کم کنند . حتی برخی از خودروسازان با استفاده از تایرهای غیر هم اندازه در قسمت جلو و عقب خودرو در جهت کاهش هرچه بیشتر این اثر تلاش می‌کنند.

### 3-2-2-3) لختی دورانی<sup>24</sup>

افزایش لختی دورانی خودرو باعث می‌شود تا خودرو پس از انجام مانورهای تند ، دیرتر به حالت پایدار برسد . این معیار برای یک جسم دارای چگالی یکنواخت با مربع ارتفاع و مربع عرض در ارتباط است و مقدار تقریبی آن را می‌توان از معادله‌ی روبرو بدست آورد . در این معادله  $M$  جرم خودرو به کیلوگرم ،  $h$  ارتفاع مرکز جرم و  $w$  بیشترین عرض خودرو است.

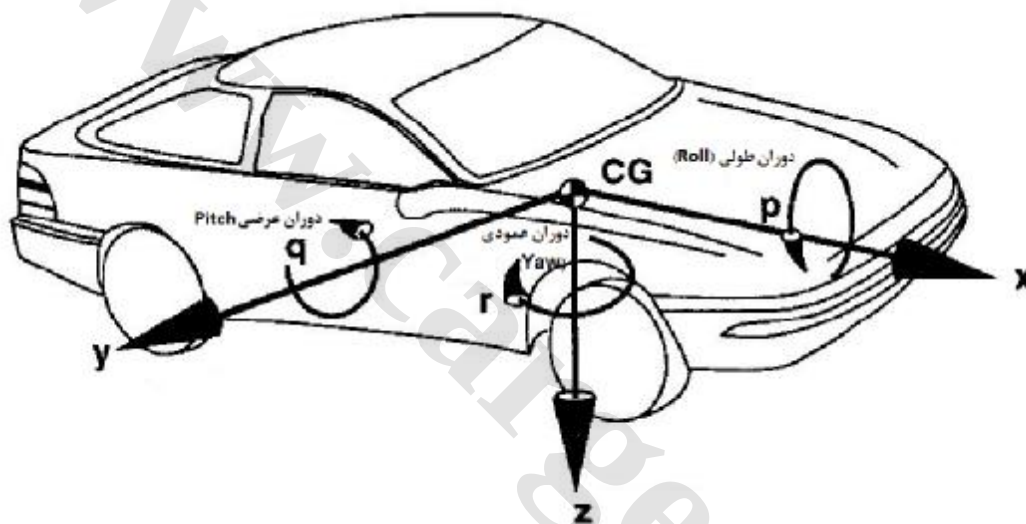
$$I = M(h^2 + w^2) / 12$$

<sup>24</sup> Roll angular inertia

معمولاً در ساخت سقف و گلگیرهای خودرو از مواد سبک وزن استفاده می‌شود تا مرکز جرم ، تا حد امکان پایین باشد. در اینجا باید توجه کرد که عرض زیاد خودرو گرچه باعث پایین آمدن مرکز جرم می‌گردد ولی در عوض با افزایش لختی دورانی در هندلینگ خودرو تأثیر منفی خواهد گذاشت .

### 3-2-2-4) لختی دورانی طولی و عرضی<sup>25</sup>

بجز خودروهایی که دارای ابعاد بسیار کوچک هستند این معیار در سایر وسایل نقلیه دارای اهمیت است . لختی دورانی طولی و عرضی را می‌توانید در شکل زیر مشاهده کنید.



شکل 24

اینرسی زاویه ای در خودروها باعث پدید آمدن نیروی می‌گردد که با نیروی تولید شده به منظور تغییر زاویه‌ی خودرو (مثلاً در فرمان دهی) مقابله می‌کند . دوران عمودی (Yaw) باعث می‌گردد تا خودرو در هنگام حرکت بر روی مسیر مستقیم از پایداری بیشتری برخوردار باشد . این نیرو باعث می‌گردد تا خودرو تمایل بیشتری به حرکت در یک منحنی منظم در هنگام دور زدن داشته باشد و البته خود رو را از بازگشت سریع به حالت اول پس از عبور از پیچ نیز باز می‌دارد . در حقیقت این نیرو بر روی کلیه‌ی دوران‌هایی که خودرو حول محور Z انجام می‌دهد مقاومت نشان داده و از سرعت انجام آن دوران می‌کاهد . دوران عرضی (Pitch) نیز همانند مورد قبلی عمل می‌کند با این تفاوت که در این قسمت ، مقاومت اعمال شده در برابر دوران‌هایی است که حول محور Y صورت می‌گیرند . این نیرو باعث می‌گردد تا توانایی سیستم تعلیق خودرو در هنگام عبور از جاده های ناصاف در تنظیم نیروهای وارد بر چرخ‌های جلو و عقب کاسته شده و در عوض خودرو به حالت ناپایدار در آید .

<sup>25</sup> Yaw and pitch angular inertia

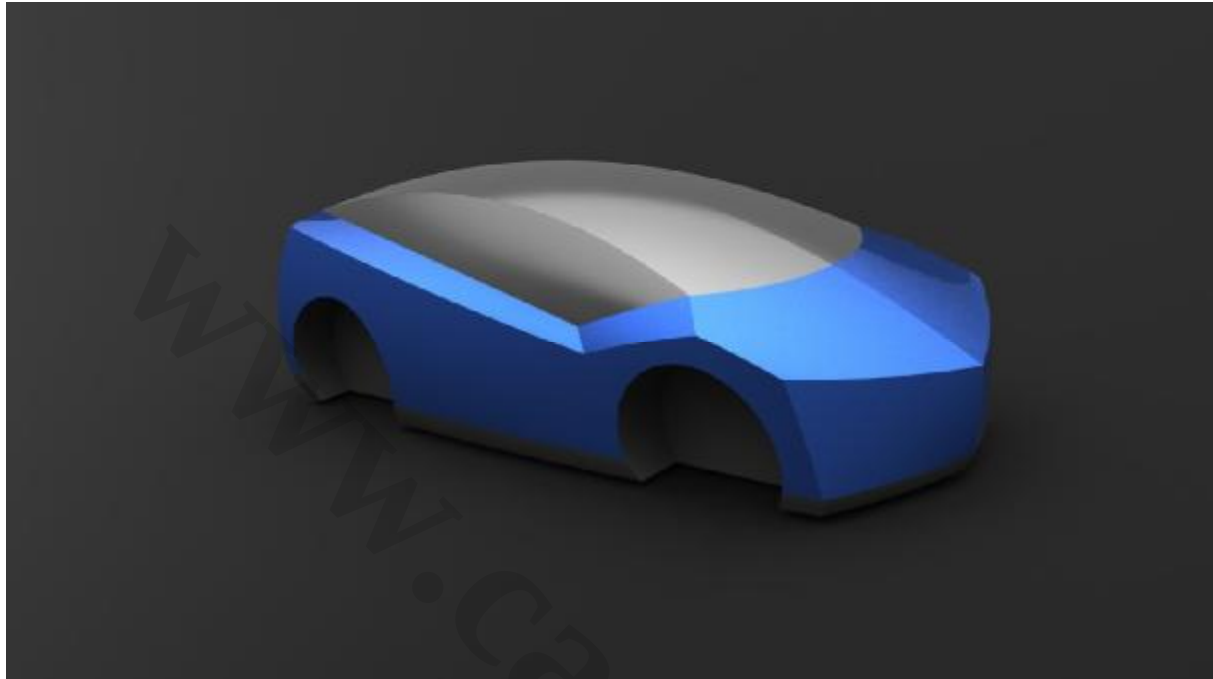
برای کاهش دوران عرضی باید حتی الامکان در طراحی سپر و گلگیرها از مواد سبک استفاده کرد . در بعضی از خودروهای مسابقه ای که دارای نسبت طول به عرض بزرگی هستند سعی می شود تا با حذف گلگیرها ، میزان این پارامتر را در حداقل ممکن قرار دهند .

### 3-2-2-5) سختی قاب شاسی

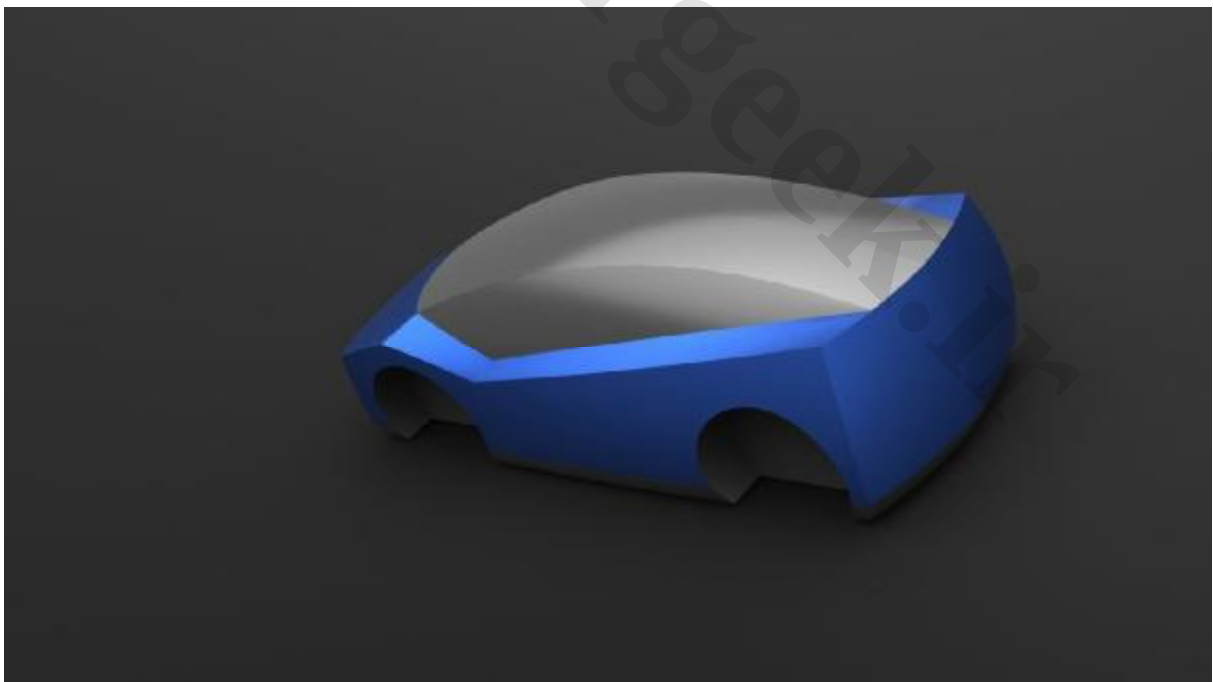
در طراحی شاسی اگر به سختی آن توجه ویژه نشود ممکن است که با وجود تحمل مناسب شاسی در برابر بارهای وارده، در هنگام عبور خودرو از دست اندازها و یا پیچ های تند شاسی دچار مقداری پیچش الاستیک گردد . این پیچش اگر چه در عملکرد شاسی اختلال زیادی ایجاد نمی کند ولی باعث می گردد تا فرمان پذیری خودرو به طرز چشمگیری کاهش یابد . به همین دلیل اکثر طراحان شاسی و کمپانی های بزرگ خودرو سازی امروزه بر این باور هستند که وجود یک قاب اصلی یکپارچه به عنوان پایه ی شاسی (Base) می تواند کمک شایانی به رفع این مشکل کند.

### 3-3) طرح اولیه ی بدنه

با توجه به موارد گفته شده و نظر به ابعاد تعیین شده توسط قوانین مسابقات شل اکو ماراتن ، بدنه ی اولیه ای با تکیه بر سادگی ساخت و و توجه به موارد آیرودینامیک طراحی شده است که در شکل 28 و 29 مشاهده می کنید.



شکل شماره 28



شکل شماره 29

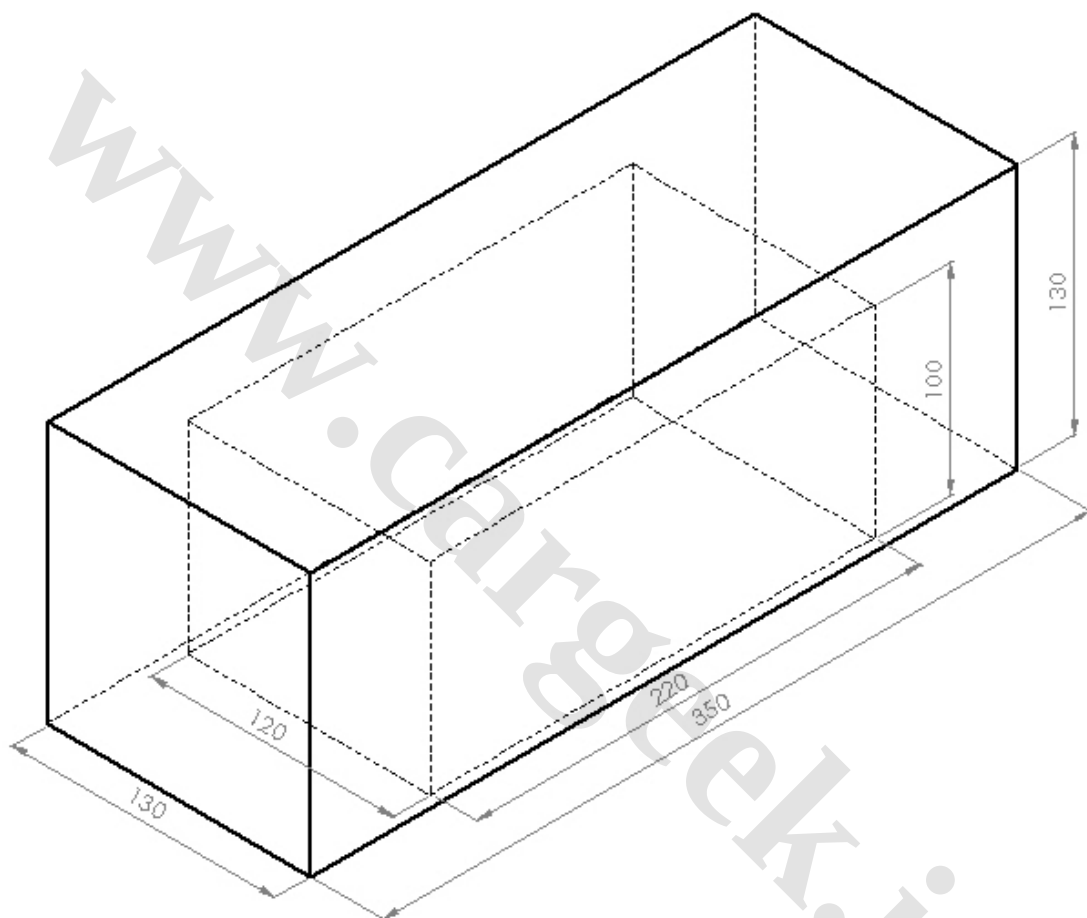
تحلیل های بدنه با توجه به طولانی شدن مطلب و عدم موضوعیت ، ارائه نشده است .

4

فصل چهارم  
طراحی اولیه

## (4) طراحی اولیه

پس از بدست آوردن اطلاعات کافی از عملکرد شاسی و بدنه و نحوه‌ی تأثیر فاکتورهای مختلف در عملکرد این قسمت‌ها نوبت به طراحی اولیه شاسی با توجه به محدودیت‌های موجود می‌رسد. به این منظور قدم اول این است که یک شمای کلی از ابعاد نهایی شاسی داشته باشیم. تصویر 1-4 شمای اولیه‌ی خودرویی است که در ادامه به طراحی شاسی و بدنه‌ی آن خواهیم پرداخت.

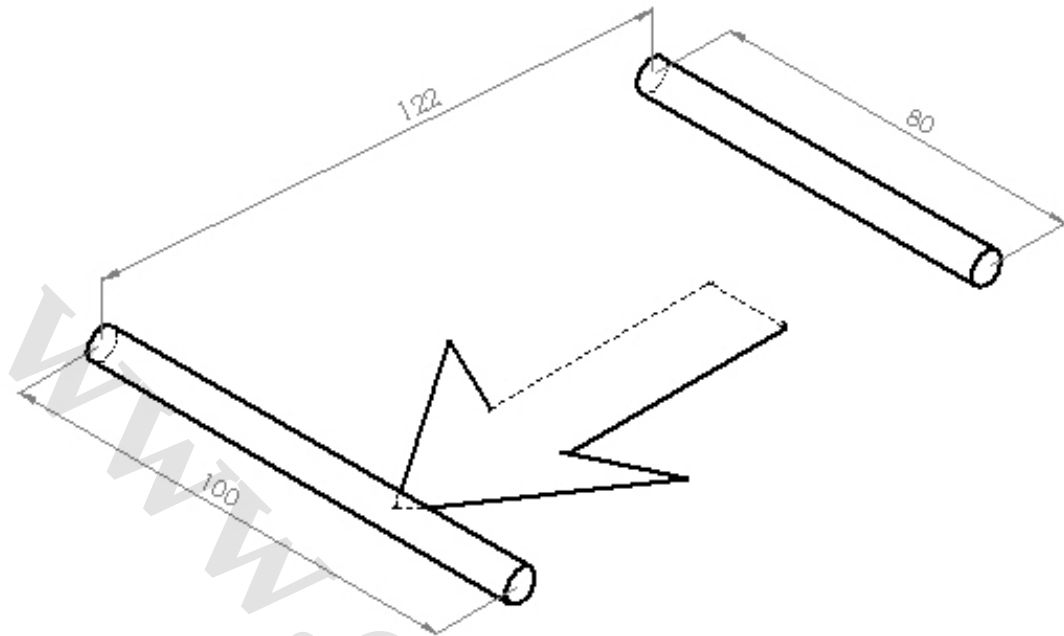


تصویر 1، محدودیت‌های ابعادی طراحی شاسی خودرو

در تصویر شماره 1، ابعاد کلی شاسی<sup>26</sup> که باید در طراحی‌های رعایت شوند نشان داده شده است. مکعب بزرگ‌تر که با خطوط ضخیم نشان داده شده‌اند حداکثر اندازه‌ها و مکعب درونی که با خط چین نشان داده شده است ابعاد حداقلی است. به منظور اینکه شاسی‌ای که طراحی می‌شود باید دارای حداقل وزن ممکن باشد، برای شروع طراحی، استفاده از ابعاد حداقلی را ملاک کار قرار داده و در ادامه در صورتی که این ابعاد جواب گو نبودند می‌توانیم با تغییرات اندکی، آن‌ها را بهبود ببخشیم.

<sup>26</sup> این ابعاد توسط دبیرخانه مسابقات شل اکو مارا تحت عنوان قوانین فاز یک مسابقات سال 2012 تعیین شده و جزییات آنرا می‌توانید در فصل 1 همین مجموعه مشاهده کنید.

البته محدودیت‌های دیگری نیز اعمال شده‌اند که فاصله‌ی چرخ‌ها، حداکثر طول محورها و فاصله‌ی محور عقب و جلو از آن دسته‌اند. این ابعاد در تصاویر 2 نشان داده شده‌اند.



تصویر 2، حداقل فاصله‌ی محورهای جلو و عقب، حداکثر فاصله‌ی چرخ‌های جلو و حداکثر فاصله‌ی چرخ‌های عقب

#### 4-1) روند طراحی اولیه

همان‌طور که در فصل‌های قبل اشاره شد روند طراحی خودرو در کمپانی‌های بزرگ و سازمان یافته با طراحی بدنه و بافت کلی، شروع شده و پس از آن با طراحی شاسی نوبت به سایر گروه‌ها جهت طراحی بقیه‌ی اجزا می‌رسد. ولی یک گروه کوچک دانشجویی یقیناً امکانات و دانش فنی اجازه چنین کاری را نمی‌دهد. چرا که به عنوان مثال در طراحی سیستم انتقال قدرت، جعبه دنده و یا حتی موتور و اجزای وابسته تقریباً تنها کاری که می‌توان انجام داد انتخاب یک مدل مناسب و انجام تغییرات برای نصب بر روی خودرو است و به هیچ عنوان نمی‌توان بر روی مسائلی همچون طراحی موتور و یا طراحی جعبه دنده مانور داد. به همین منظور الگوریتم طراحی خودرو در این گروه‌های کوچک متفاوت است. این روند انتخاب نوع موتور و به طبع آن نوع سیستم انتقال قدرت شروع شده و پس از تعیین محل قرارگیری موتور در حجم کلی بدنه (دقت کنید که حجم کلی تنها یک مکعب با ابعاد حداقلی است که در شکل شماره 1 مشاهده نمودید) مکان چرخ‌ها نیز مشخص می‌شود. پس از اینکه محل چرخ‌ها مشخص شد، سیستم تعلیقی متناسب با فاکتورهای مورد نیاز که برای خودرو از قبل تعریف شده‌اند طراحی می‌شود. در بخش سیستم تعلیق روند کار اندکی متفاوت بوده و با توجه به اینکه تنها داشتن دانش کافی در

این زمینه می‌تواند بیش از 70 درصد عملیات باشد باعث می‌گردد تا در اکثر تیم‌ها این سیستم به صورت یک مجموعه کاملاً طراحی شده به صورت دست ساز ارائه گردد. اجزای مورد نیاز در یک سیستم تعلیق فنرها، دمپرها و بازوهای انتقال نیرو هستند که تمامی این موارد تا حد زیادی قابل تولید است و نیازی نیست تا از مدول های آماده استفاده شود. به همین منظور در این قسمت مدت زمانی که برای طراحی صرف می‌شود معمولاً بیشتر از سایر قسمت‌هاست. بعد از طراحی سیستم تعلیق بخش طراحی بدنه و شاسی وارد عمل شده و با طراحی یک شاسی مناسب سعی در نصب کلیه قطعاتی می‌کند که از طریق سایر گروه‌ها ارائه شده‌اند و البته مکان تقریبی آن‌ها نیز مشخص گردیده است. با به انجام رسیدن این مرحله نوبت به گروه طراحی بدنه می‌رسد که با طراحی بدنه ای مناسب با جایگذاری های صورت گرفته پایان بخش مبحث طراحی اولیه است. البته در این میان پس از طراحی سیستم تعلیق، سایر بخش‌ها نیز دست به کار شده و قطعاتی مانند فرمان، ترمزها، سیستم‌های الکتریکی و اجزای داخلی غیر متصل به بدنه‌ی خودرو را طراحی می‌کنند و به صورت موازی با طراحی شاسی به انجام فعالیت‌های خود می‌پردازند. تعامل میان گروه‌ها در این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است و شاید بتوان گفت که بدون داشتن یک مدیریت قوی در مجموعه هماهنگ کننده، طراحی یک خودرو به هیچ عنوان نمی‌تواند از این مرحله عبور کند.

در نهایت بعد از اینکه کلیه قطعات بر روی شاسی سوار شد و جانمایی اولیه انجام گرفت، وزن و مرکز خودرو استخراج می‌گردد که در صورت تأمین نکردن نیازهای طراحی، مجدداً در بخش‌هایی از خودرو تغییراتی صورت خواهد گرفت. در انتها نیز هنگامی که تمامی فاکتورها اولیه که شامل وزن، مرکز ثقل، امکان ساخت و ارضای قوانین مورد بررسی قرار گرفت خودرو در یک طرح نهایی جمع بندی شده و برای تحلیل‌های نرم افزاری آماده می‌گردد. در این قسمت نیز پس انجام چند تست متداول از قبیل تست‌های استاتیکی بدنه، ارتعاشی سیستم تعلیق و تست آیرودینامیک امکان دارد در بخش‌هایی از خودرو نیاز به تغییرات باشد که با انجام این تغییرات خودرو برای ارسال به مرحله‌ی ساخت آماده است.

در ادامه‌ی این نوشتار مراحل طراحی اولیه‌ی شاسی و بدنه مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت با انجام تست‌های اولیه‌ی تنش استاتیکی و بهینه سازی‌های مربوطه یک مدل نهایی اولیه ارائه خواهد شد.

## 2-4) سایر سیستم‌های وابسته به شاسی

### 1-2-4) سیستم تعلیق

مهم‌ترین سیستمی که در طراحی شاسی تأثیر مستقیم دارد، سیستم تعلیق است. در ابتدای روند طراحی شاسی سیستم تعلیق مولتی لینک از طرف گروه طراحی سیستم تعلیق ارائه شد که شاسی نیز بسته به آن طراحی گردید. تصویر شماره 3 نمونه‌ی مدل سازی شده‌ی شاسی با این نوع تعلیق است.

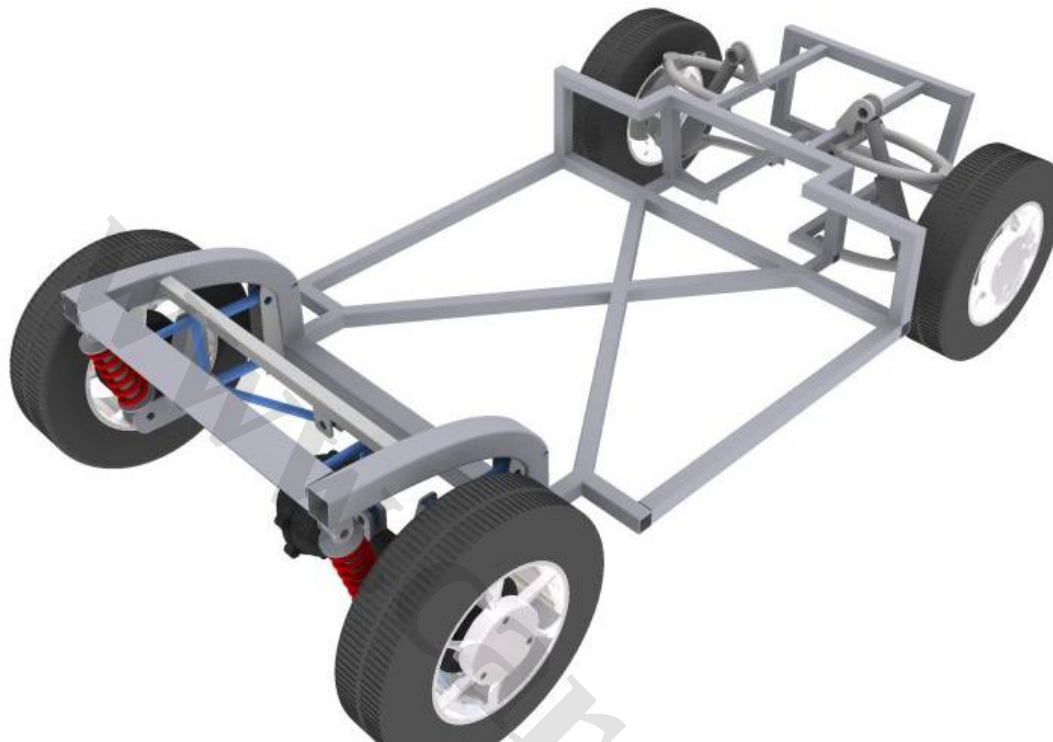


تصویر 3، شاسی طراحی شده با سیستم ابداعی تعلیق مولتی لینک

پس از اینکه این سیستم تعلیق بر روی شاسی اجرا شد به بررسی مزایا و معایب آن پرداخته شد که به دلایل زیر استفاده از منوط به انجام تغییراتی شد.

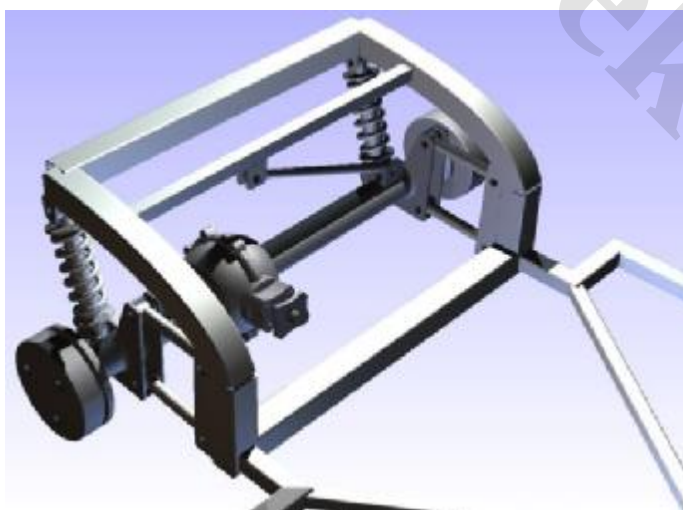
- 1- قسمتی از شاسی که تا بالای اکسل عقب امتداد یافته به عنوان مهم‌ترین عضو در جذب و انتقال نیروهای وارد به تعلیق باید دارای مقاومت زیادی باشد و استفاده از پروفیل‌های سنگین وزن در این قسمت وزن نهایی خودرو را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد.

2- استفاده از این نوع تعلیق نیاز به لینک‌های متعددی دارد که در تصویر شماره 4 مشاهده می‌کنید. با در نظر گرفتن لینک‌ها و اتصالات آن‌ها وزن خودرو در قسمت عقب افزایش یافته و علاوه بر تأثیر منفی بر روی رانندمان نهایی خودرو باعث جابه‌جایی مرکز ثقل به انتهای خودرو می‌شود.



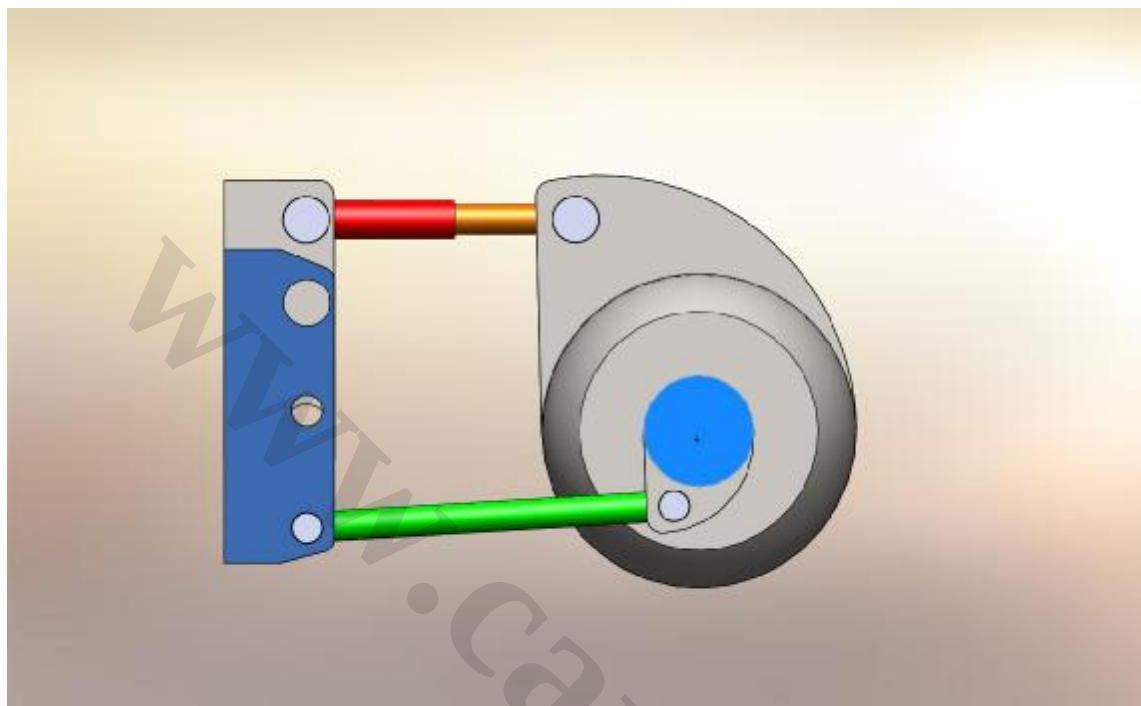
تصویر 4، تعلیق مولتی لینک عقب با تمامی اتصالات

3- پیچیدگی ساخت این تعلیق نیز به عنوان یک فاکتور منفی تلقی گردید.

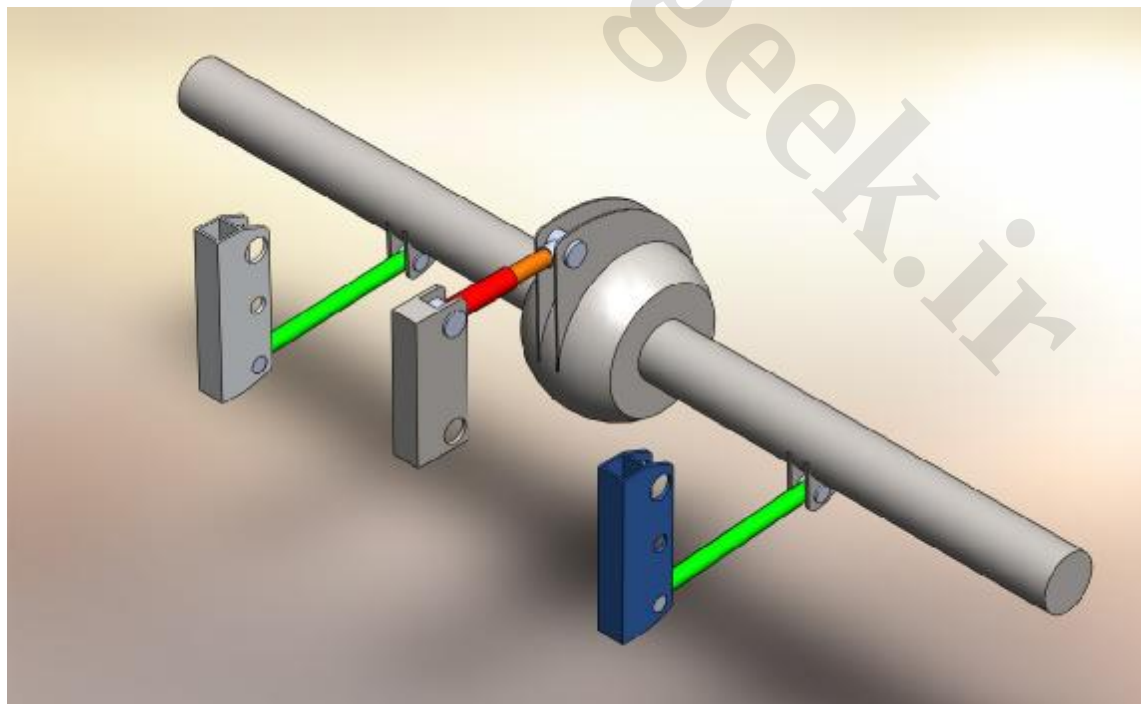


تصویر 5، تعلیق مولتی لینک

در نهایت با در نظر گرفتن تمامی این موارد این تعلیق با انجام اصلاحاتی به صورت تعلیقی که در شکل شماره 5 می‌بینید تغییر پیدا کرد. لازم به ذکر است در سیستم تعلیق قبلی، تعلیق در نظر گرفته شده برای چرخ‌های جلو به دلیل وزن کم و کارکرد بهینه مورد تایید بوده و استفاده از همین تعلیق برای جلو تصویب شد.



تصویر 6، تعلیق مولتی لینک اصلاح شده



تصویر 7، تعلیق مولتی لینک اصلاح شده

در سیستم تعلیق مولتی لینک جدید موارد مربوط به اضافه وزن ایجاد شده در شاسی به طور کامل رفع شد و با قرار دادن یک فنر، دمپر افقی در وسط و همین طور حذف دو عدد از لینک‌های موجود در تعلیق قبلی، در حدود 30 درصد کاهش یافت.

با بررسی بیشتر این نوع تعلیق و تغییراتی که در سیستم انتقال قدرت صورت گرفت استفاده از این تعلیق نیز به دلیل وزن زیاد اکسل عقب و تغییر کلی در این قسمت منتفی شد. اعضای بخش طراحی موتور و انتقال قدرت تصمیم بر آن گرفتند که از موتورهای درون چرخ استفاده کرده و بدین وسیله از استفاده از دیفرانسیل و اکسل عقب پرهیز کنند.

موتورهای درون چرخ جدیدترین نوع موتورهای مورد استفاده در این گونه خودروهاست که با داشتن بیشترین راندمان، به هدفی برای کلیه خودروهای هیبرید تبدیل شده و تمامی صنایع فعال در این زمینه در حال حرکت به این سمت هستند. مهم‌ترین ایرادی که به این نوع موتورهای می‌توان گرفت مبحث کنترل و احتمال خرابی آن‌ها است که به همین دلیل تا کنون در هیچ یک از خودروهای هیبرید ایرانی از این نوع موتور استفاده نشده است.

هدفی که این گروه برای خود تعیین کرده بود رسیدن به وزن 70 کیلوگرمی برای خودرو بود که در صورت تحقق این مطلب، وزن خودرو با وزن سرنشین برابر شده و به عنوان پر بازده‌ترین خودروی جهان لقب خواهد گرفت. به همین منظور استفاده از این نوع موتور می‌توانست در مقایسه با وزن موتور + دیفرانسیل + اکسل عقب، کاهشی در حدود 15 کیلوگرم ایجاد کند که این کاهش به نوبه خود یک کاهش چشم گیر به حساب می‌آمد.



تصویر 8. یکی از انواع موتورهای درون چرخ، In-wheel motor

با توجه به قطعی شدن استفاده از این موتور، تغییرات زیادی در تعلیق عقب صورت گرفت که نتیجه‌ی آن با توجه مکانیزم عملکردی موتورهای درون چرخ‌ی منجر به طراحی یک شاسی فضایی<sup>27</sup> شد که در تصویر شماره 9 مشاهده می‌کنید.

#### 3-4) طرح اولیه‌ی شاسی

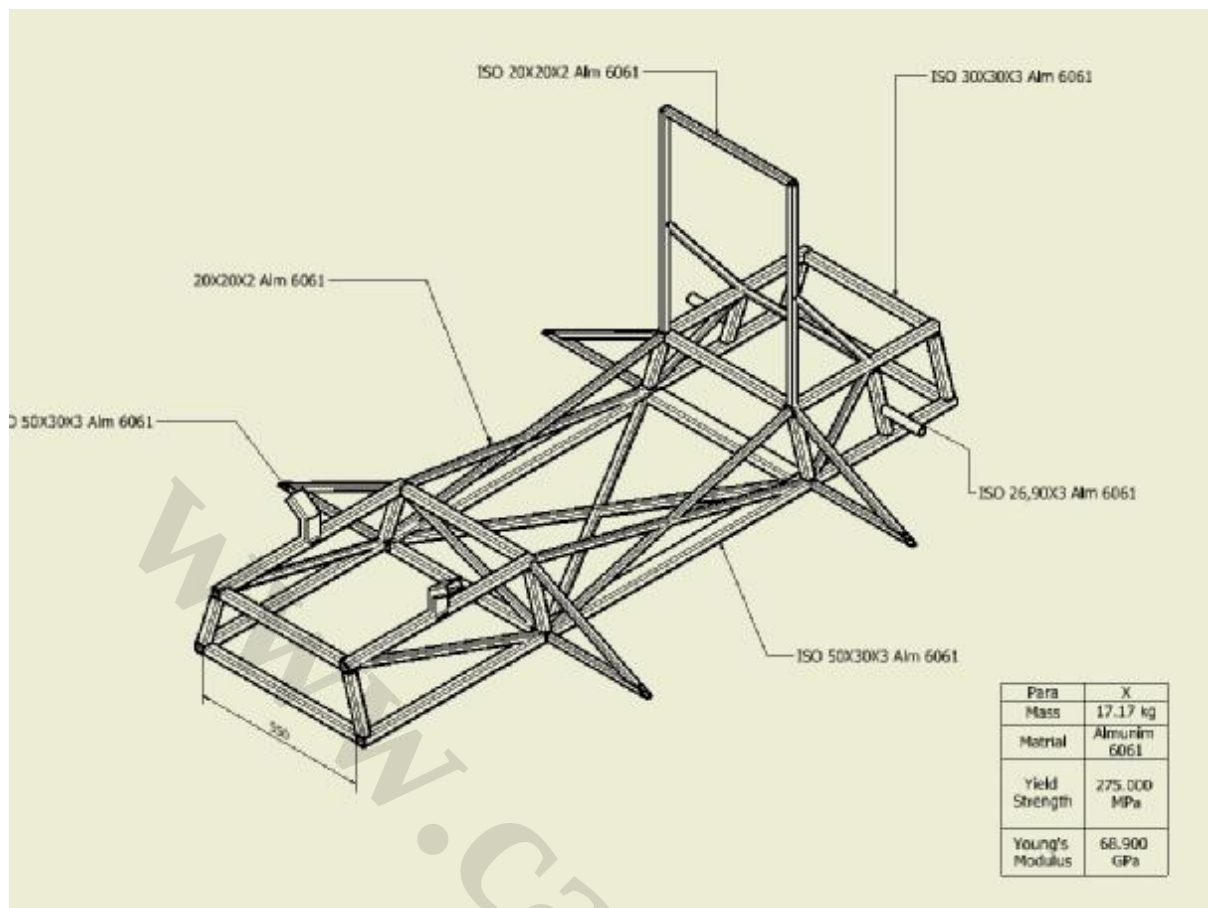


تصویر 9



تصویر 10

<sup>27</sup> Space Frame Chassis



تصویر 11، نقشه‌ی اولیه‌ی شاسی. جنس پروفیل‌های آلایژ آلومینیوم 6061 در نظر گرفته شده‌اند.

#### 1-3-4 تحلیل شاسی

در شاسی‌های فضایی و کلاً در سازه‌های خربایی<sup>28</sup> از چند فاکتور مهم در هنگام طراحی استفاده می‌کنند. اولین و مهم‌ترین عامل در هنگام تحلیل این سازه‌های میزان بیشترین جابه‌جایی<sup>29</sup> است. تنش عمودی بیشینه<sup>30</sup>، تنش‌های محوری اعضا<sup>31</sup> و حداکثر نیروی قابل تحمل در راستای  $y$ <sup>32</sup> نیز دیگر فاکتورهای مهم در سازه‌های فضایی است.

<sup>28</sup> Truss

<sup>29</sup> Maximum Displacement

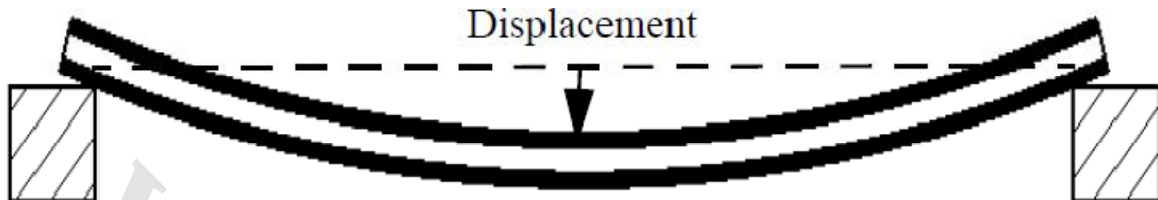
<sup>30</sup> Maximum Normal Stresses

<sup>31</sup> Axial Stresses

<sup>32</sup>  $F_y$

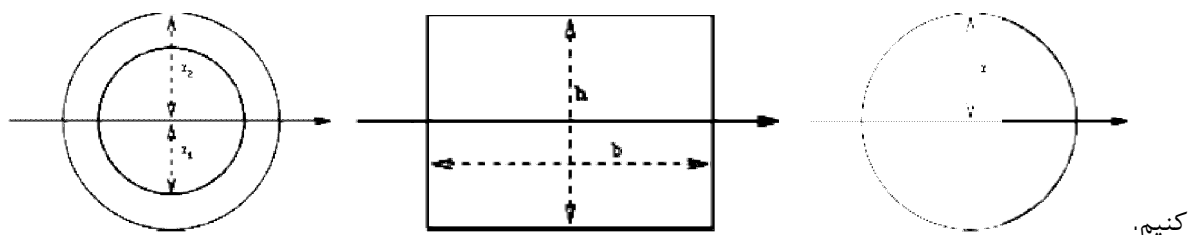
## 4-3-1-1) بیشترین جابه جایی

این معیار را از قوانین ساده‌ی نیوتن پیروی کرده و تمامی ما اطلاعاتی کلی از آن را از فیزیک پایه و مبحث سینماتیک به یاد داریم. جابجایی، برداری است شبیه نیرو. (1). در مورد تحلیل سازه های خرپا، منظور از جابه جایی، تغییر محل یک نقطه‌ی فیزیکی از سازه، قبل و بعد از بارگذاری است.



تصویر 12

استفاده از این معیار در نرم افزارهای تحلیل سازه، بیشترین کاربرد را نسبت به سایر معیارها دارد، چرا که در این معیار تمامی فاکتورهای تنش، کرنش و پیچش مدنظر قرار گرفته و نتایج آن نیز ملموس‌تر از سایر تست‌هاست. برای محاسبه‌ی میزان جابه جایی یک تیر باید ابتدا ممان اینرسی سطح آن تیر را حساب کنیم. در خودروها معمولاً از لوله به عنوان پروفیل اصلی سازه استفاده می‌شود چرا که نسبت سختی به سطح در لوله های بیشتر از سایر پروفیل‌ها است. همچنین نسبت سختی پیچشی نیز در لوله های توخالی دارای مقطع دایره ای شکل بسته 64 برابر بیشتر از پروفیل‌های دارای مقاطع مربعی است. (2) البته مقاطع مربعی سختی بیشتری در اتصالات به وجود آمده توسط جوش از خود نشان می‌دهد. (3) به هر حال در اولین طرح کشید شده از شاسی از پروفیل‌های دارای مقاطع مستطیلی و یا مربع استفاده کردیم چرا که اولاً برای آلیاژ آلومینیوم 6061 در مقاطع دلخواه می‌توان پروفیل تهیه کرد در حالی که استفاده از لوله برای این آلیاژ تنها محدود به چند اندازه تولید شده توسط کارخانه است و ثانیاً با توجه به امکانات کارگاهی و تجربه‌ی گروه تولید در امر ساخت، استفاده از پروفیل‌های غیر منحنی می‌توانست سرعت ساخت شاسی را تا چندین برابر افزایش دهد چرا که نحوه‌ی اتصالات در این نوع مقاطع همگی ساده بوده و برش و اندازه گیری لوله های مورد نیاز، تبحر خاصی را طلب نمی‌کند. در حالی که استفاده از لوله هم در هنگام جوش دادن و هم هنگام برش نیاز به مهارت دارد. البته در ادامه برای تحلیل و مقایسه‌ی نتایج یک نمونه مدل سازی شده نیز با لوله از شاسی، تحلیل شد. برای محاسبه‌ی ممان اینرسی در هر یک از این مقاطع می‌توانیم از فرمول‌های زیر استفاده



برای دایره داریم :

$$I_0 = \frac{\pi(2r)^4}{64}$$

برای مستطیل :

$$I_0 = \frac{bh^3}{12}$$

و برای لوله :

$$I_0 = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$

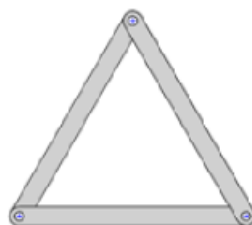
که البته برای لوله های جدار نازک<sup>33</sup> به جای فرمول بالا از این فرمول استفاده می شود.

$$\pi \left( \frac{r_2 + r_1}{2} \right)^3 (r_2 - r_1)$$

همان طور که مشاهده می کنید ممان اینرسی در مقاطع دایره ای تفاوت فاحشی با سایر مقاطع داشته و به همین دلیل از این نوع مقطع در سازه های مکانیکی استفاده فراوان می شود.

#### 4-3-1-2) سازه های سه وجهی

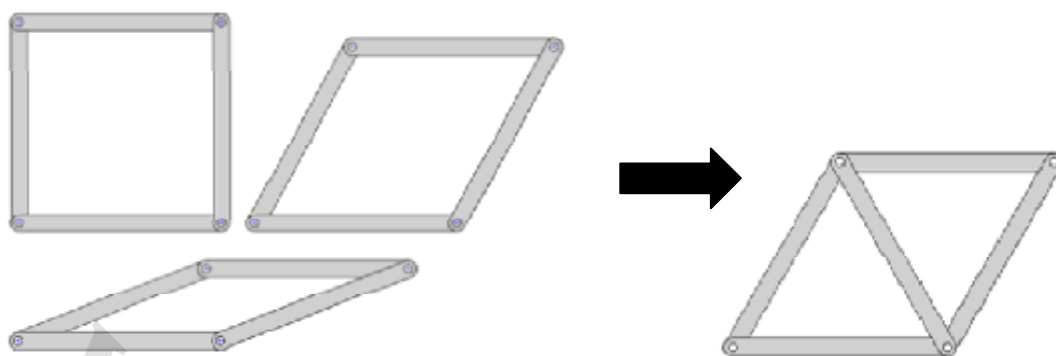
علاوه بر نوع مقطع در این گونه سازه ها، آرایش اجزا سازه نیز نقش به سزایی در تحمل بار توسط آن ها خواهد داشت.



تصویر 13

<sup>33</sup> لوله جدار نازک به لوله هایی گفته می شود که ضخامت آنها کمتر از 5 درصد قطر آنها باشد.

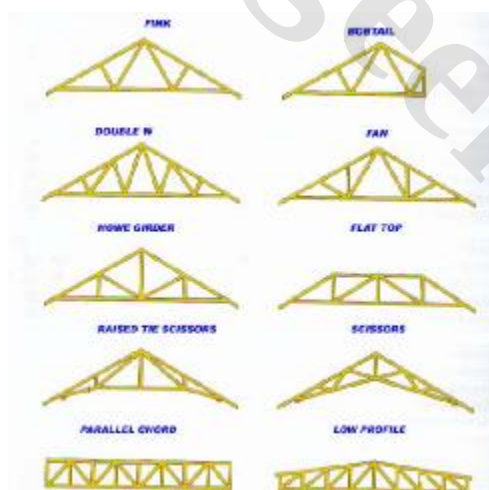
در قالب سازه های فلزی و شاسی های فضایی از ساختار سه وجهی که در شکل 13 می بینید استفاده می شود، چرا که این ساختار باعث به وجود آمدن پایداری در سازه خواهد شد.



تصویر 14

به عنوان مثال در تصویر شماره 14 مربع بالایی را در نظر بگیرید، در صورتی که قسمت پایین این مربع با دست گرفته شده و قسمت بالای آن حرکت داده شود به راحتی می توان آرایش اصلی را از حالت مربع به لوزی و یا حتی یک لوزی بسیار کشیده تغییر داد. اکنون کافی است تا با افزودن عضو پنجم به این ساختار، کل سازه را قفل کرده و هر گونه حرکتی را از آن صلب کنیم. همان طور که متوجه شدید ما به جای یک مربع بزرگ، سازه را به دو مثلث کوچک تقسیم کردیم و همین امر باعث پایداری آن شد.

از همین اصل به ظاهر ساده استفاده های فراوانی در سازه های فضایی شده است و آرایش های مختلف با در نظر گرفتن همین قانون به وجود آمده و استفاده شده اند. نمونه ای از این آرایش ها را در تصویر 15 مشاهده می کنید.



تصویر 15

در طراحی شاسی نیز از همین اصل پیروی شد و سعی گردید تا حتی الامکان و با توجه به اصل سبک بودن شاسی این قانون در تمام اتصالات رعایت شود. تنها بعضی از اتصالاتی که در معرض بارهای شدید قرار نداشتند از این قانون مستثنی شدند.

## 3-1-3-4 جنس شاسی

فلز مورد استفاده در شاسی باید علاوه بر مقاومت خوب در برابر ضربه، کشش و فشار، دارای وزن کمی نیز باشد. به این منظور سه فلز نسبتاً متداول در این زمینه مقایسه گردید که در جدول شماره 1 مشاهده می کنید.

| MATERIAL | TUBE WEIGHT (lbs) | STRESS (psi) | YIELD STRENGTH (psi) | DEFLECTION | YIELD STRENGTH / WEIGHT |
|----------|-------------------|--------------|----------------------|------------|-------------------------|
| STEEL    | 0.35              | 32,300       | 60,000 - 150,000     | 0.022      | 428571.43               |
| ALUMINUM | .12               | 32,300       | 20,000 - 70,000      | 0.065      | 583333.33               |
| TITANIUM | .20               | 32,300       | 115,000 - 140,000    | 0.039      | 700000.00               |

جدول 2

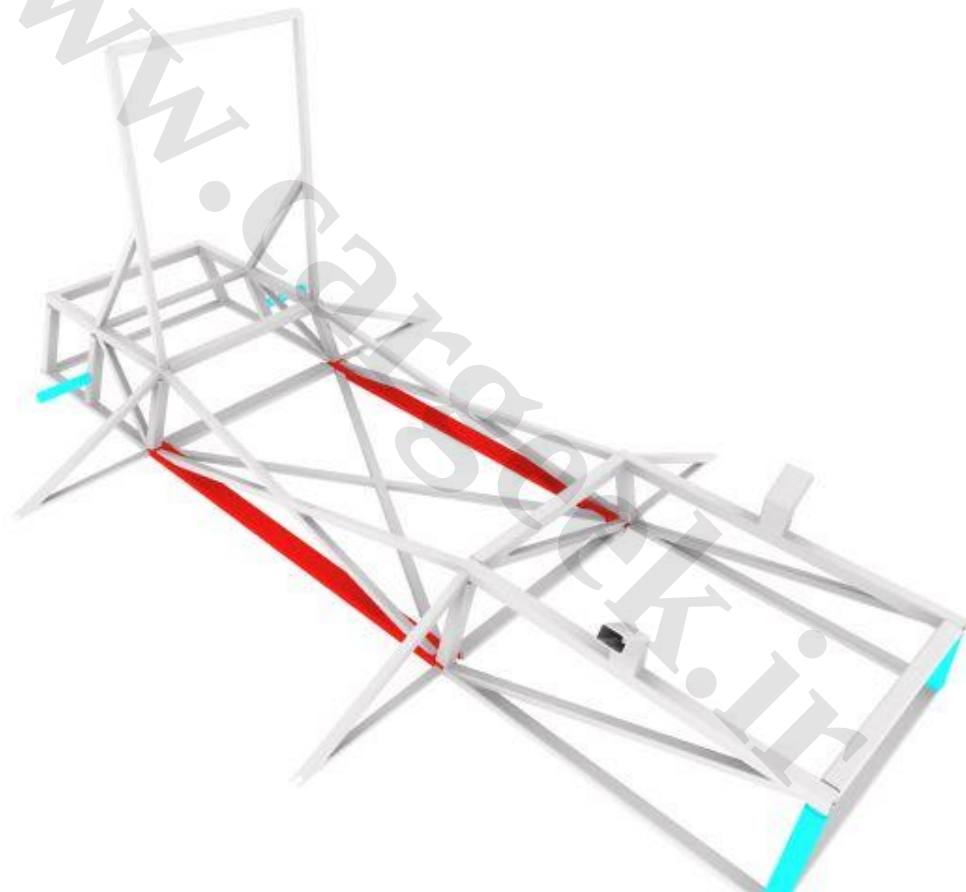
فلز تیتانیوم با دارا بودن بهترین نسبت تنش تسلیم به وزن به عنوان اولین انتخاب بود که با توجه به قیمت زیاد و عدم دسترسی به پروفیل های دارای ابعاد مختلف و همچنین دشوار بودن فرآیند جوشکاری این فلز، اولویت بعدی، یعنی آلومینیوم به عنوان برگزیده این مقایسه، به عنوان فلز اصلی مورد استفاده در ساخت شاسی انتخاب شد.

سایر مواد مانند انواع کامپوزیت ها و حتی چوب نیز مورد بررسی قرار گرفت که هر یک در مراحل اولیه به دلایلی همچون قیمت زیاد، نداشتن شرایط ساخت و عدم توانایی تحمل نیرو در چند راستا، در همان مراحل اولیه از مقایسه خارج شدند. تنها این سه ماده به عنوان مواد اصلی که امروزه در تمامی صنایع مرتبط با سازه های فضایی استفاده می شدند به عنوان کاندید های نهایی مورد بررسی قرار گرفتند که از این میان تیتانیوم به عنوان یک نمونه و شاخص از صنایع پیشرفته در جدول گذاشته شد تا علاوه بر مقایسه با آلومینیوم و فولاد، اهمیت استفاده از تکنولوژی های روز را نیز مورد تاکید قرار دهد.

#### 2-3-4) تحلیل نرم افزاری شاسی

با توجه به تمام مطالب بالا نمونه‌ی اولیه‌ی شاسی طراحی گردید و همان‌طور که در تصاویر 17 الی 21 مشاهده می‌کنید مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی شاسی ابتدا دو نیروی گسترده‌ی 120 کیلوگرمی بر روی پروفیل‌های قرمز رنگ نشان داده شده در تصویر 16 قرار داده شد و پروفیل‌های سبز رنگ نیز به عنوان تکیه گاه های غلطشی، معرفی گردید. پس از اجرای شبیه سازی دو فاکتور حداکثر جابه‌جایی و حداکثر تنش مورد بررسی قرار گرفت و شاسی با توجه به این دو فاکتور بهینه سازی شد.

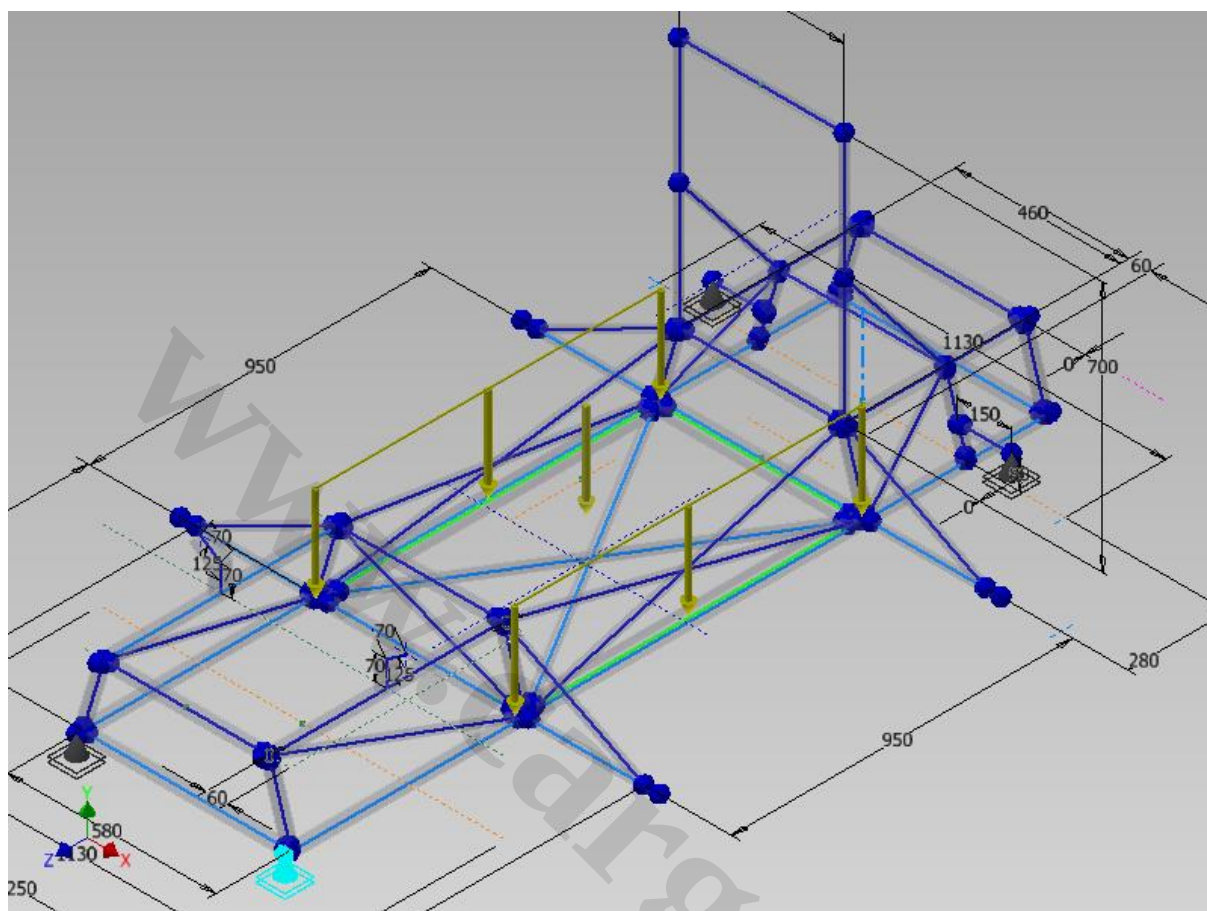
به منظور مقایسه‌ی نتایج، شاسی یک بار با استفاده از پروفیل قوطی و بار دیگر با استفاده از لوله ، مدل شده و نتایج آن ارائه گردید.



تصویر 16

1-2-3-4) نتایج آنالیز شاسی با پروفیل‌های مستطیل توسط، محیط تحلیل خرپا<sup>34</sup>، در نرم افزار

اینونتور<sup>35</sup>



تصویر 17، محل تکیه گاه‌ها و بررسی نیروی عکس‌العمل وارد بر هر یک

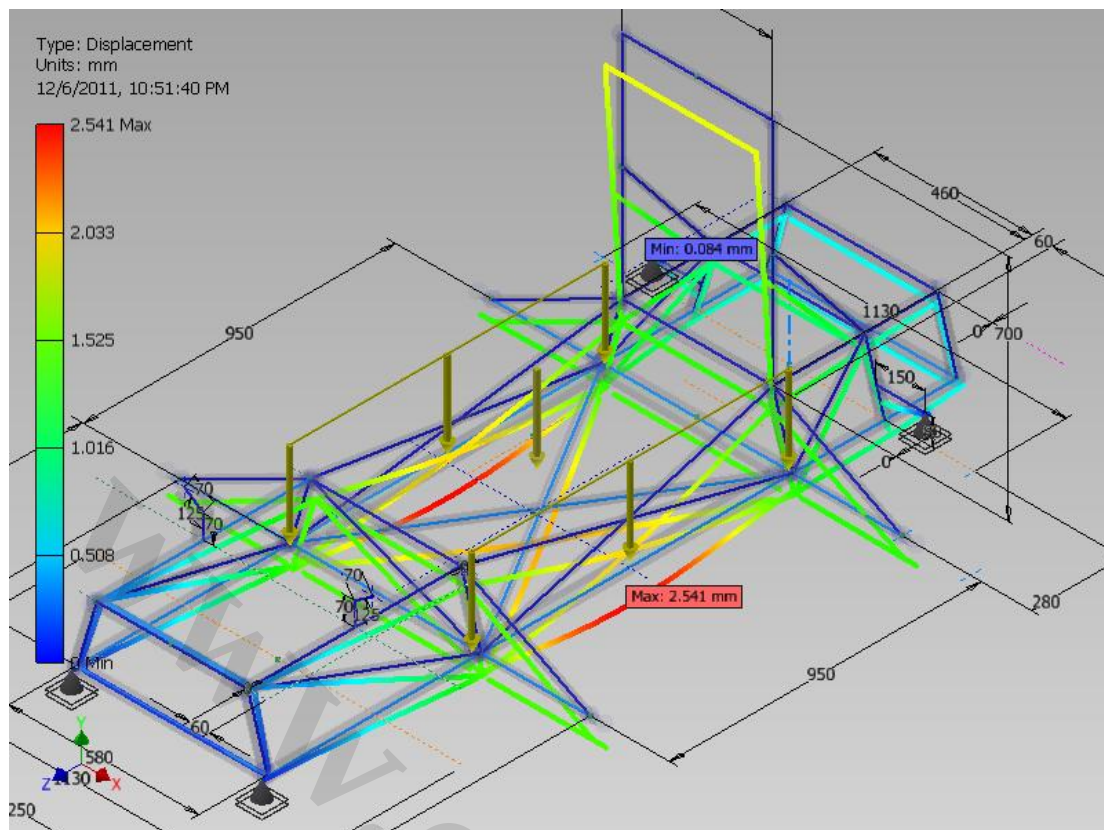
#### نیروهای وارد بر تکیه گاه‌ها

| تکیه گاه                | بزرگی نیرو در راستای $F_y$ |
|-------------------------|----------------------------|
| تکیه گاه پایین سمت راست | 494.875 N                  |
| تکیه گاه پایین سمت چپ   | 499.522 N                  |
| تکیه گاه بالا سمت چپ    | 742.002 N                  |
| تکیه گاه بالا سمت راست  | 740.986 N                  |

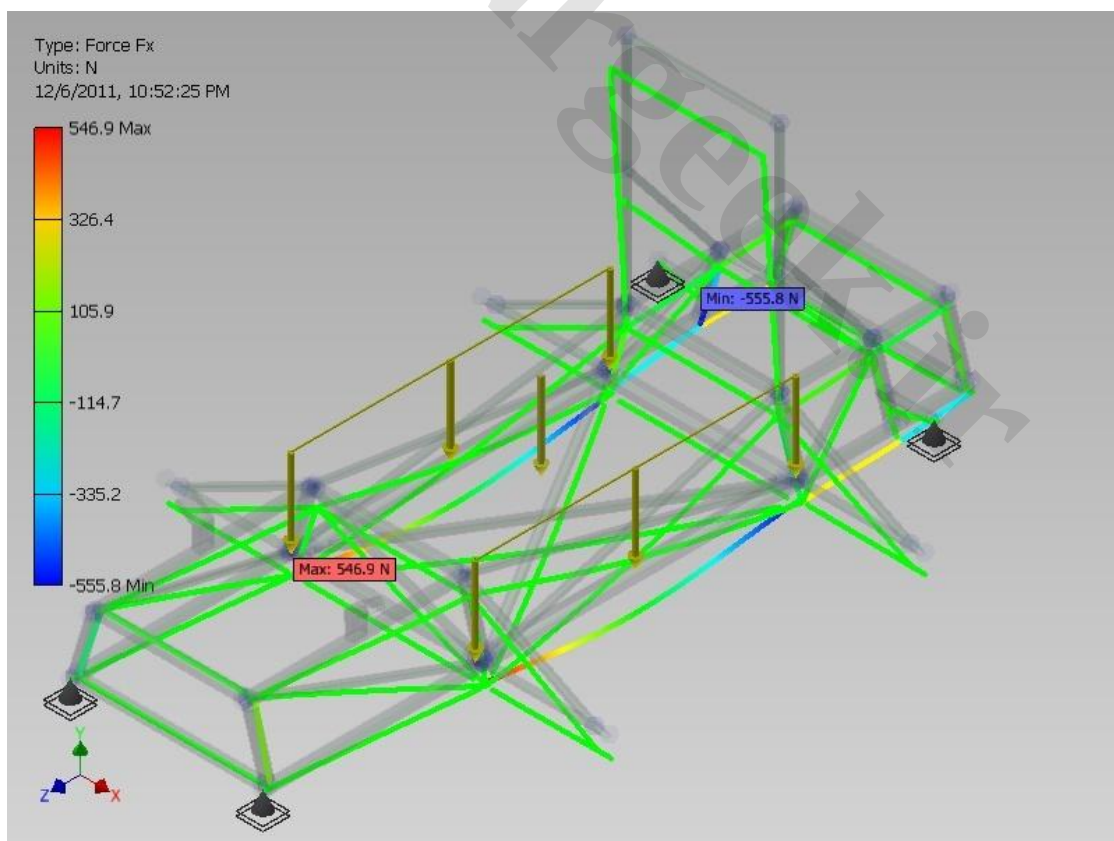
<sup>34</sup> Frame Analysis

<sup>35</sup> Autodesk Inventor 2012

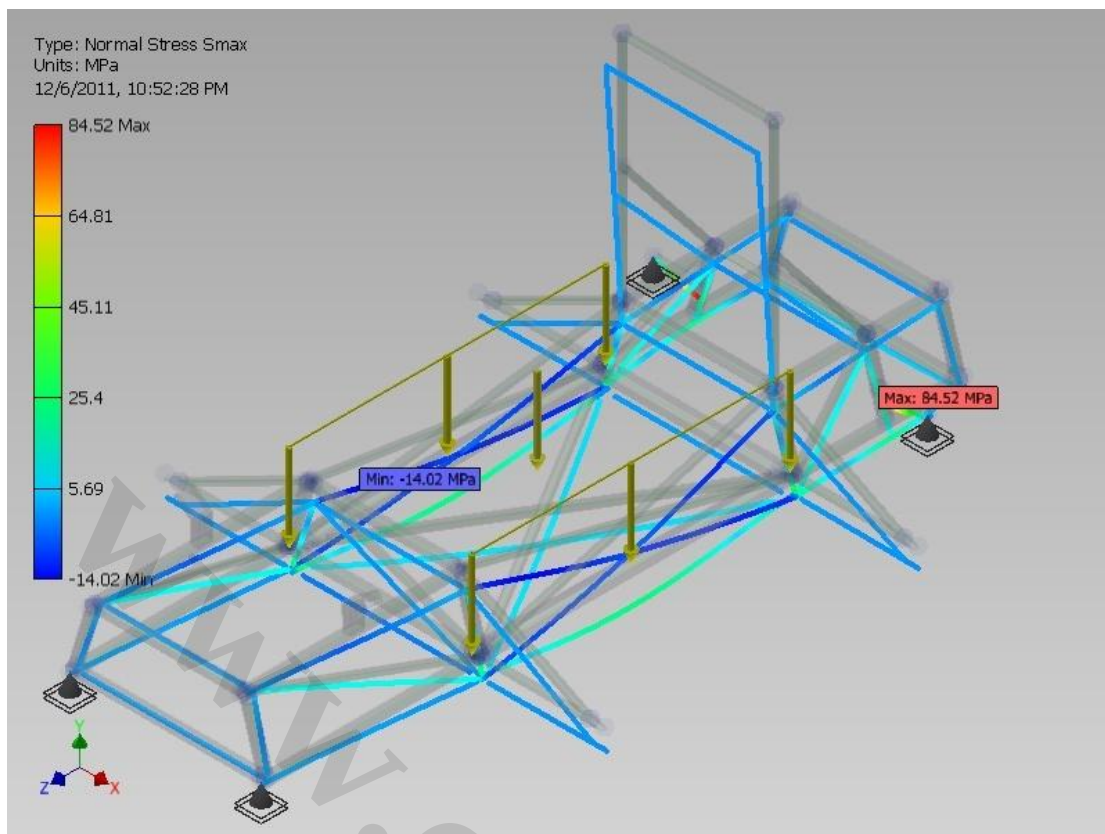
| Name               |          | Minimum         | Maximum         |
|--------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Displacement       |          | 0.000 mm        | 2.541 mm        |
| Forces             | Fx       | -555.775 N      | 546.939 N       |
|                    | Fy       | -740.986 N      | 742.002 N       |
|                    | Fz       | -3254.046 N     | 1958.157 N      |
| Moments            | Mx       | -55771.141 N mm | 102659.611 N mm |
|                    | My       | -54479.113 N mm | 61981.623 N mm  |
|                    | Mz       | -9153.506 N mm  | 9169.277 N mm   |
| Normal Stresses    | Smax     | -14.015 MPa     | 84.520 MPa      |
|                    | Smin     | -84.520 MPa     | 10.387 MPa      |
|                    | Smax(Mx) | 0.000 MPa       | 84.520 MPa      |
|                    | Smin(Mx) | -84.520 MPa     | -0.000 MPa      |
|                    | Smax(My) | -0.000 MPa      | 23.850 MPa      |
|                    | Smin(My) | -23.850 MPa     | 0.000 MPa       |
|                    | Saxial   | -14.646 MPa     | 11.140 MPa      |
| Shear Stresses     | Tx       | -3.662 MPa      | 3.912 MPa       |
|                    | Ty       | -6.520 MPa      | 6.511 MPa       |
| Torsional Stresses | T        | -2.561 MPa      | 2.557 MPa       |



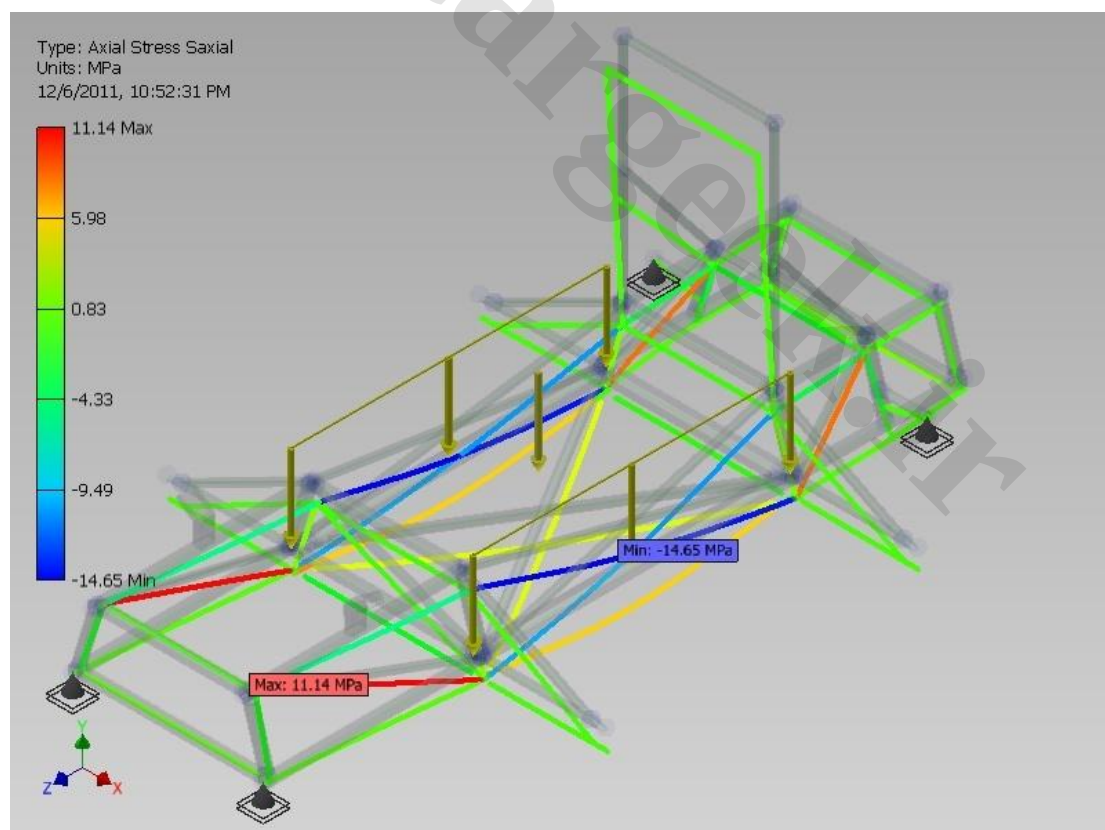
تصویر 18. حداکثر جابه‌جایی به وقع پیوسته پس از بارگذاری



تصویر 19. حداکثر و حداقل نیروهای وارد بر شاسی در راستای X



تصویر 20، حداقل و حداقل تنش عمودی وارد بر شاسی

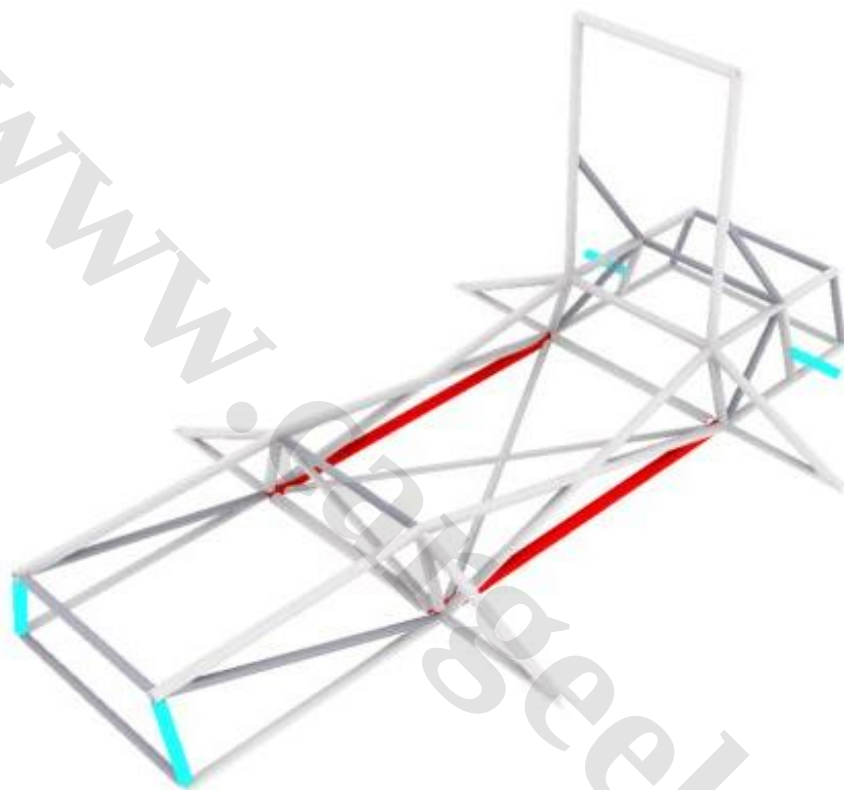


تصویر 21، تنش‌های محوری وارد بر شاسی

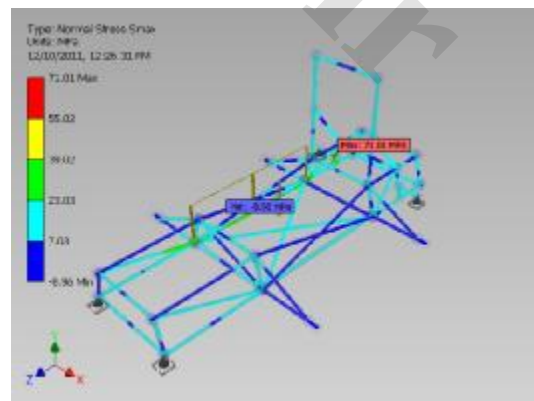
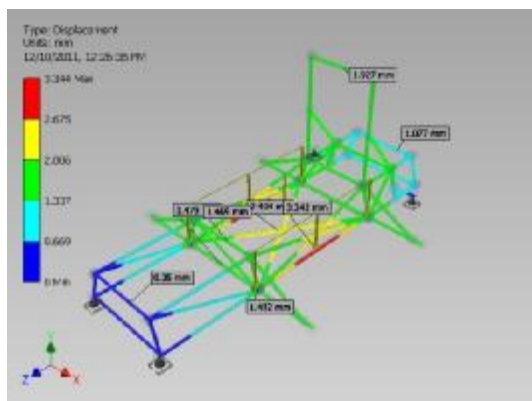
وزن شاسی پس از انجام اصلاحات صورت گرفته بر روی آن با در نظر گرفتن آلیاژ 6061 آلومینیوم به عنوان جنس پروفیل‌های مورد استفاده، به 17.17 کیلوگرم رسیده است.

#### 4-3-2) نتایج آنالیز شاسی با پروفیل‌های دایره توسط محیط تحلیل خریا در نرم افزار اینونتور

با ثابت گرفتن تمامی شرایط ، همان تحلیل قبلی ، برای یک شاسی که این بار به جای استفاده از پروفیل ، در آن از لوله استفاده شده است انجام گرفت.



تصویر 22



تصویر 23

نتایج تست استاتیکی :

| Name               |          | Minimum         | Maximum         |
|--------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Displacement       |          | 0.000 mm        | 3.344 mm        |
| Forces             | Fx       | -550.661 N      | 5005.595 N      |
|                    | Fy       | -1014.164 N     | 2644.465 N      |
|                    | Fz       | -2854.124 N     | 2009.944 N      |
| Moments            | Mx       | -55162.847 N mm | 102490.288 N mm |
|                    | My       | -66251.410 N mm | 59697.004 N mm  |
|                    | Mz       | -20560.667 N mm | 9381.463 N mm   |
| Normal Stresses    | Smax     | -10.160 MPa     | 84.380 MPa      |
|                    | Smin     | -84.380 MPa     | 13.781 MPa      |
|                    | Smax(Mx) | 0.000 MPa       | 84.380 MPa      |
|                    | Smin(Mx) | -84.380 MPa     | -0.000 MPa      |
|                    | Smax(My) | -0.000 MPa      | 45.439 MPa      |
|                    | Smin(My) | -45.439 MPa     | 0.000 MPa       |
|                    | Saxial   | -10.488 MPa     | 14.010 MPa      |
| Shear Stresses     | Tx       | -34.382 MPa     | 8.588 MPa       |
|                    | Ty       | -18.164 MPa     | 14.988 MPa      |
| Torsional Stresses | T        | -8.754 MPa      | 8.777 MPa       |

همان‌طور که در جدول نتایج تست استاتیکی نشان داده شده است ، بیشترین جا به جایی در شاسی دوم بیشتر از شاسی اول بوده ولی وزن نهایی تفاوت چندانی نکرده است. در واقع نکته‌ی قابل توجه این است که بر خلاف انتظار با تغییر پروفیل از مربع به دایره و استفاده از لوله ، شاهد مقاومت بیشتر سازه نبودیم.

www.cargeek.ir

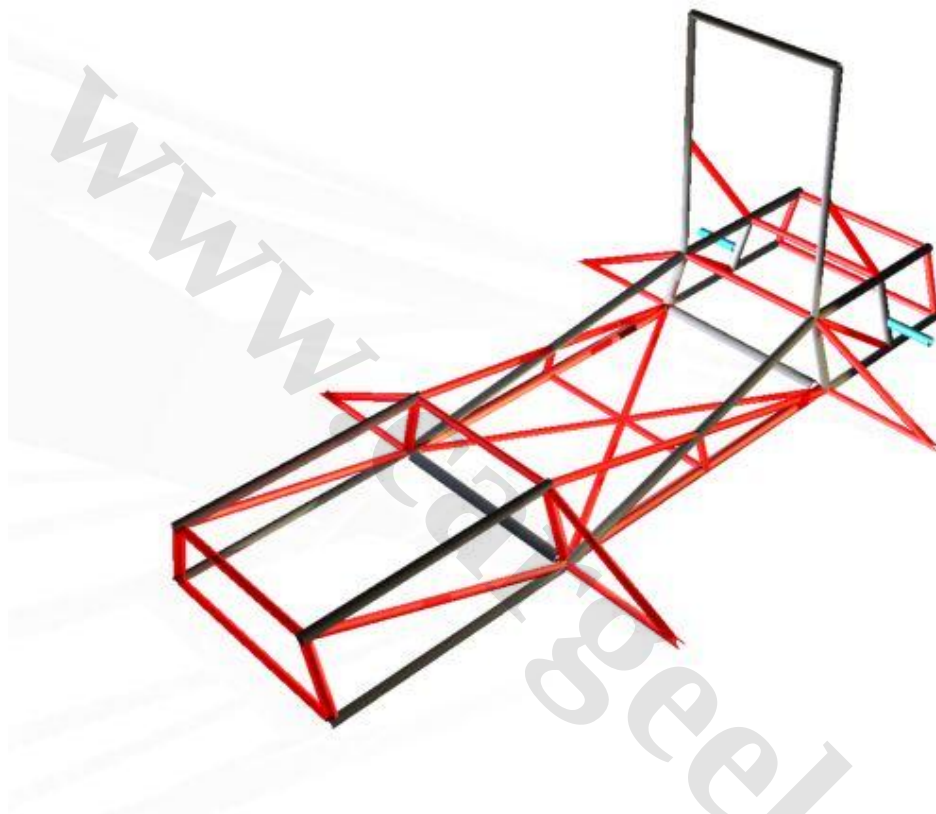
#### 4-4) بهینه سازی شاسی

اولین قدم در بهینه سازی یک سازه خریایی ، حذف عضوها کم اثر یا به اصطلاح عضو صفر است . برای این کار از یک امکان جالب نرم افزار اینونتور استفاده شده است. در این نرم افزار ابزاری تعریف شده است به نام پراب<sup>36</sup> . کاربر با استفاده از این ابزار می تواند هر نقطه ی دلخواهی را از سازه که در نظر دارد مورد ارزیابی قرار داده و انواع اطلاعات آن عضو اعم از نیروها، گشتاورها و سایر موارد را به نمایش گذارد .

---

<sup>36</sup> Probe

با حذف و یا اصلاح اعضایی که نیروی زیادی تحمل نمی کنند می توان علاوه بر کاهش وزن شاسی از بار اضافی وارد شده بر محل های اتصال کاست . در شاسی اصلاح شده تیرهای قرمز رنگ دچار تغییر ابعاد شده اند و برخی از تیرها نیز حذف گردیده اند . با انجام این تغییرات وزن شاسی به 12.6 کیلوگرم کاهش یافت و میزان بیشترین جابه جایی نیز تغییر محسوسی نکرد .



تصویر 24

#### 1-4-4) تست استاتیکی نهایی

نتایج این تغییرات را در جدول زیر مشاهده می کنید .

| Name         |    | Minimum     | Maximum    |
|--------------|----|-------------|------------|
| Displacement |    | 0.000 mm    | 2.864 mm   |
| Forces       | Fx | -3927.693 N | 3497.279 N |
|              | Fy | -3600.008 N | 3517.986 N |

|                    |          |                 |                |
|--------------------|----------|-----------------|----------------|
|                    | Fz       | -3223.208 N     | 2517.499 N     |
| Moments            | Mx       | -54949.342 N mm | 100978.100 Nmm |
|                    | My       | -51695.123 N mm | 55348.542 N mm |
|                    | Mz       | -5509.496 N mm  | 5664.025 N mm  |
| Normal Stresses    | Smax     | -17.631 MPa     | 83.135 MPa     |
|                    | Smin     | -83.135 MPa     | 11.532 MPa     |
|                    | Smax(Mx) | 0.000 MPa       | 83.135 MPa     |
|                    | Smin(Mx) | -83.135 MPa     | 0.000 MPa      |
|                    | Smax(My) | -0.000 MPa      | 61.003 MPa     |
|                    | Smin(My) | -61.003 MPa     | 0.000 MPa      |
|                    | Saxial   | -20.760 MPa     | 12.961 MPa     |
| Shear Stresses     | Tx       | -24.022 MPa     | 64.320 MPa     |
|                    | Ty       | -57.610 MPa     | 24.727 MPa     |
| Torsional Stresses | T        | -3.466 MPa      | 3.500 MPa      |

با توجه به وزن مناسب بدست آمده و نتایج تست استاتیکی ، شاسی اصلاح شده می تواند گزینه ی مناسبی برای استفاده در خودرو باشد .

#### 2-4-4) تست پیچش نهایی

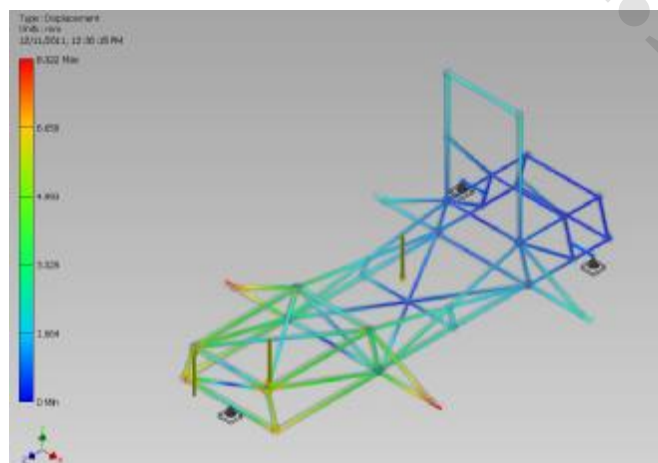
مهم ترین تستی که برای شاسی های خودرو انجام می گیرد تست خمش و پیچش شاسی است . نحوه ی ایجاد پیچش در بدنه و شاسی در اثر عبور غیر همزمان چرخ ها از روی ناهمواری را نشان می دهد . بدترتی حالت پیچش زمانی روی می دهد که چرخ ها واقع بر امتداد قطری خودرو نسبت به بدنه ، به طور همزمان بالا رفته یا پایین روند .

از آنجایی که تعلیق در چرخ‌های عقب این خودرو بر روی چرخ سوار شده است ، با توجه به اینکه میزان جا به جایی چرخ نیز با نظر به پیست مسابقه حداکثر 5 سانتیمتر در نظر گرفته شده است تنها نکته ای که باید در این زمینه توجه شود اتصالات قوی در متصل کردن چرخ به شاسی است .

در یک خودروی معمولی، سختی پیچشی میان محورهای جلو و عقب حداقل باید بین 6500 تا 7500 نیوتن متر بر درجه باشد.(4) مقدار این سختی برای خودروهای کارت، به عنوان نمونه، به حدود 1000 نیوتن متر بر درجه می‌رسد.(5)

خیز بخش‌های میانی خودروی سواری نباید بیش از 1.25 میلی‌متر باشد (4)، که البته در این خودرو که به عنوان یک خودروی مسابقه ای و تحت شرایط خاص ساخته می‌شود این مقدار می‌تواند با توجه به فاکتور وزن تا مقداری نیز افزایش یابد همان‌طور که سختی پیچشی نیز می‌تواند در حدود یک خودروی کارت در نظر گرفته شود چرا که در پیست مسابقه که یک پیست هموار و مخصوص مسابقات فرمول وان است هیچ گونه پستی و بلندی وجود نداشته و حتی با سرعت بهینه‌ی 40 کیلومتر بر ساعت که برای این خودرو در نظر گرفته شده است نیروهای وارد از طرف جاده در هنگام عبور از پیچ‌ها نیز چندان زیاد نیست ، علاوه بر این که افزایش سختی پیچشی در شاسی با پروفیل‌های آلومینیوم ، نیازمند افزودن اتصالات زیادی به ساختار اصلی است که خود موجب افزایش شدید وزن شده و در نهایت نیز نتیجه‌ی مطلوب را نمی‌دهد .

برای کنترل سختی پیچشی ، می‌توان بخش عقب شاسی ( محل اتصال تعلیق به شاسی ) را تثبیت نموده و به محل اتصال تعلیق جلو، دو نیروی مخالف و برابر برای ایجاد کوپل پیچشی، وارد نمود . نتیجه‌ی این تحلیل‌ها با در نظر گرفتن دو نیروی 500N بر روی قسمت جلوی شاسی در ادامه ارائه شده است . این تست فقط به منظور مشاهده‌ی نتایج بوده و هیچ گونه تصمیم‌گیری و یا بهینه‌سازی در این زمینه انجام نخواهد گرفت، زیرا همان‌طور که در بالا اشاره شد انجام این تست برای خودروی هدف این مسابقه و با توجه به شرایط لزومی ندارد .



تصویر 25

البته برای دست یابی به حداقل جابه‌جایی، در برخی از مناطق شاسی (مانند قسمت جلو) لینک‌هایی افزوده شد است.

در بسیاری از موارد، در تحلیل استاتیکی، شرایط مرزی سازه به صورت نیرو یا گشتاور بوده و قید تغییر مکان در اختیار نمی‌باشد. در این حالت به دلیل خطاهای محاسباتی در محاسبه‌ی نیروها یا گشتاورها (مانند گرد نمودن اعداد)، سازه تعادل کامل نداشته و حرکت‌های شتابدار جسم صلب و به بیان دیگر، جابه‌جایی‌های بسیار بزرگ پدید خواهد آمد. برای جلوگیری از پدید آمدن این مشکل، از شیوه‌ی Inertia Relief استفاده می‌گردد. در این روش، مقدار جرم و ممان اینرسی مجموعه در سمت دوم روابط نیوتن (یا ماتریس جرم)، برابر با صفر قرار داده می‌شود و بدین ترتیب، سازه به گونه‌ای ساختگی، ایستا می‌گردد.

برای تولید یک شاسی با استحکام قابل اطمینان و برای استفاده در خودروهای دارای مصارف عمومی، تست‌های بیشتری نیز وجود دارند که تیم طراحی شاسی برای اطمینان از کار خود ناگزیر است تمامی این آزمایشات و تحلیل‌ها را انجام دهد. ولی در خودروهای خاص مانند این خودرو، تنها تست‌هایی انجام می‌گیرند که با توجه به شرایط مسابقه انتخاب شده‌اند. از آنجایی که در این مسابقه سه فاکتور مهم وزن، سرعت و مسیر، هر سه در حالتی تقریباً نزدیک به حالت ایده آل قرار دارند تنها تستی که شاسی بر اساس آن آنالیز گردید تست نیروهای استاتیکی بود. البته به منظور تکمیل بحث، سایر تست‌ها نیز به صورت خلاصه توضیح داده خواهند شد.

#### 4-4-3) سایر تست‌ها

تعیین نیروهای وارده بر اجزاء خودرو طبق مانورهای ویژه‌ای امکان پذیر می‌باشند. حالت‌های بارگذاری ملاک طراحی، که در شرکت‌های طراحی بین‌المللی بکار می‌روند، متنوع می‌باشند. در متن زیر حالت‌های بحرانی از میان این حالت‌ها که بر پایه تجربیاتی که از تحلیل‌های نرم افزار ADAMS و آزمون‌های جاده بدست آمده و برای طراحی شاسی، بدنه و سیستم تعلیق بکار می‌روند، ارائه شده‌اند. خودرو در وضعیت GVW (بار کامل) فرض می‌شود.

- نیروی ناهمواری جاده همراه با شتاب قائم 3g

- نیروی ناشی از رها شدن ناگهانی چرخ‌ها با شتاب قائم 2g

- واژگونی

- ترمز گیری با شتاب 1g

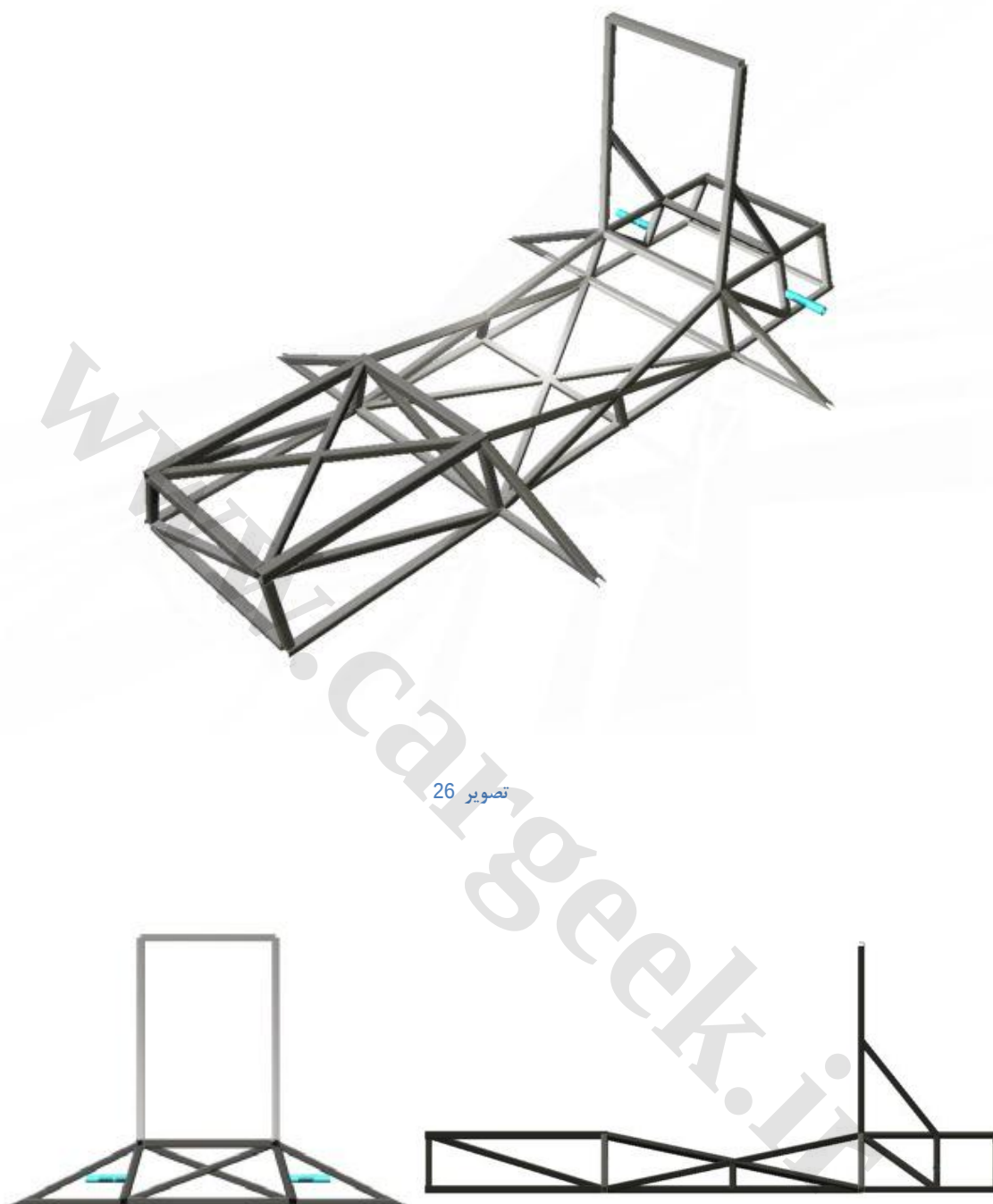
- پیچیدن با شتاب 0.95g

- ترمز گیری بر روی جاده خشن

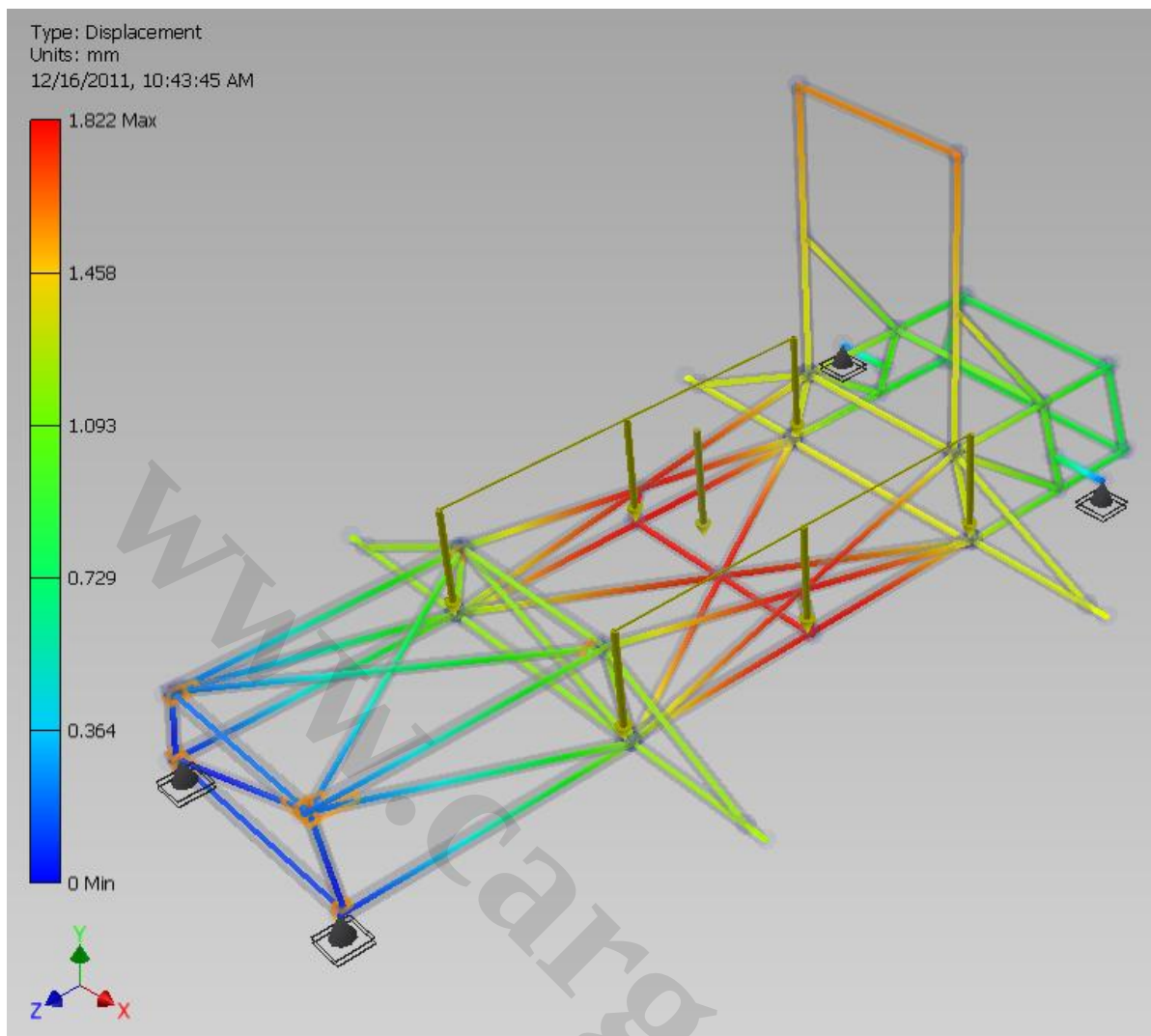
- برخورد چرخ با جدول کنار جاده
- ضربه ناهمواری جاده به چرخ جلو
- ضربه ناهمواری جاده به چرخ عقب
- حرکت در مسیر دایروی با شعاع ثابت 30 یا 25 متر
- اعمال زاویه فرمان پله ای.
- افزایش خطی زاویه فرمان.
- انحراف خودرو بدون تغییر زاویه فرمان . ( برای مثال، شتاب گیری از سرعت 30 کیلومتر بر ساعت تا 70 کیلومتر بر ساعت در مدت 10 ثانیه، فرمان قفل می شود و انحراف جانبی بر حسب پیمایش طولی رسم می گردد.)
- تغییر لاین ساده
- ترمز گیری در پیچ جاده
- تحلیل NVH ( برای یافتن فرکانس ها و شکل مواد طبیعی سیستم به شیوه المان های محدود )
- بررسی ارتعاش اجباری سازه
- بررسی ارتعاش آزاد سازه
- تحلیل کمانش
- تحلیل برخورد ( شبیه سازی آزمایش تصادف )

#### 5-4) نتایج نهایی

بر اساس آزمون های انجام گرفته شاسی ای که در شکل زیر مشاهده می کنید نمونه نهایی شاسی است.



تصویر 26



تصویر 27

| نیرو         | بیشترین جابه جایی | تنش بیشینه       | تنش پیچشی بیشینه |
|--------------|-------------------|------------------|------------------|
| 964 x2 نیوتن | 1.822 میلی متر    | 78.41 مگا پاسکال | 2.965 مگا پاسکال |

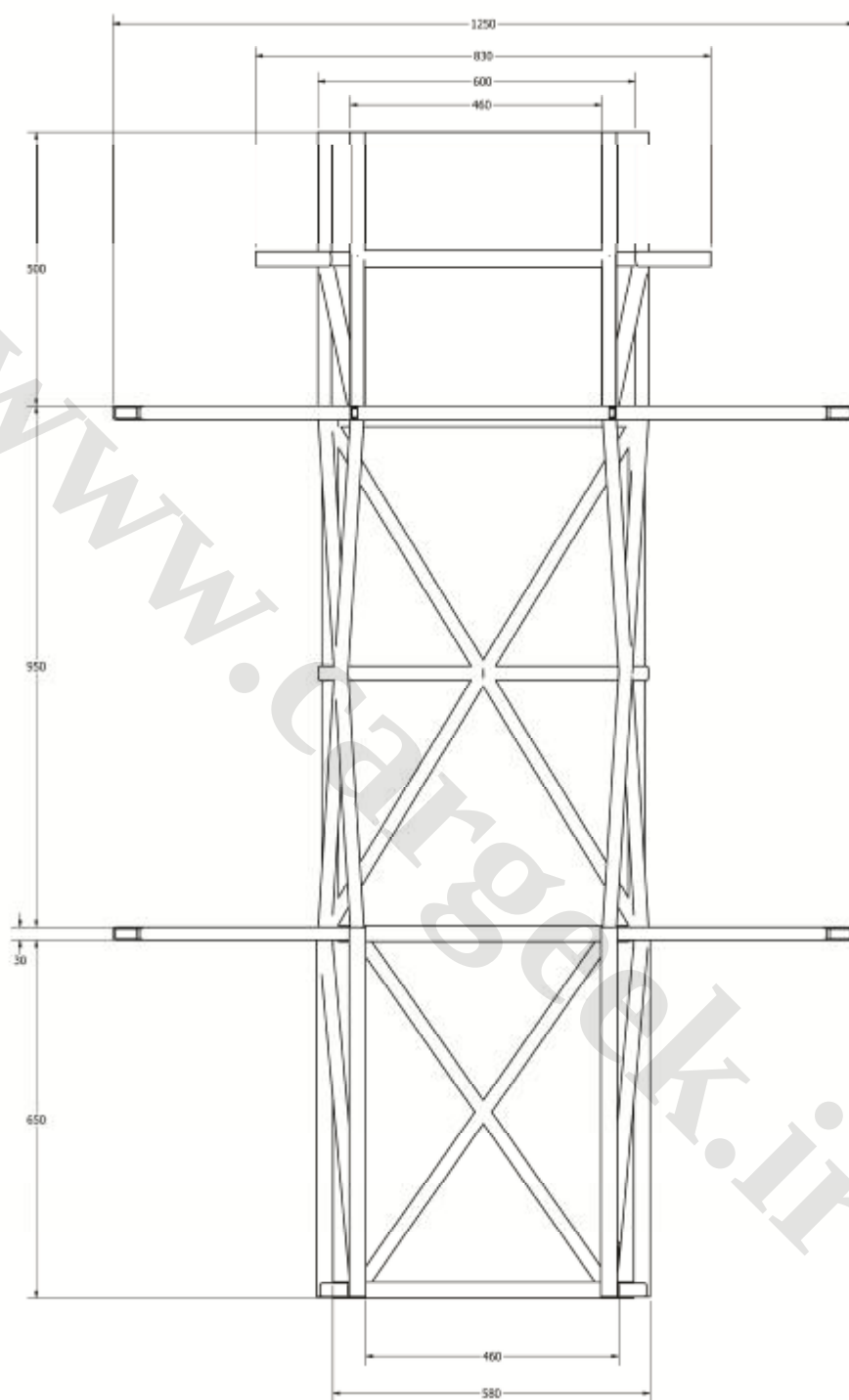
#### 6-4) نتیجه گیری

با توجه به نتایجی که از آزمون آخر بدست آمد ، این شاسی به عنوان کاندید اصلی برای ساخت در نظر گرفته خواهد شد ، و سیر تغییرات در صورت لزوم بر روی این شاسی اعمال خواهد شد. نقشه های ساخت در پیوست الف ارائه شده اند.

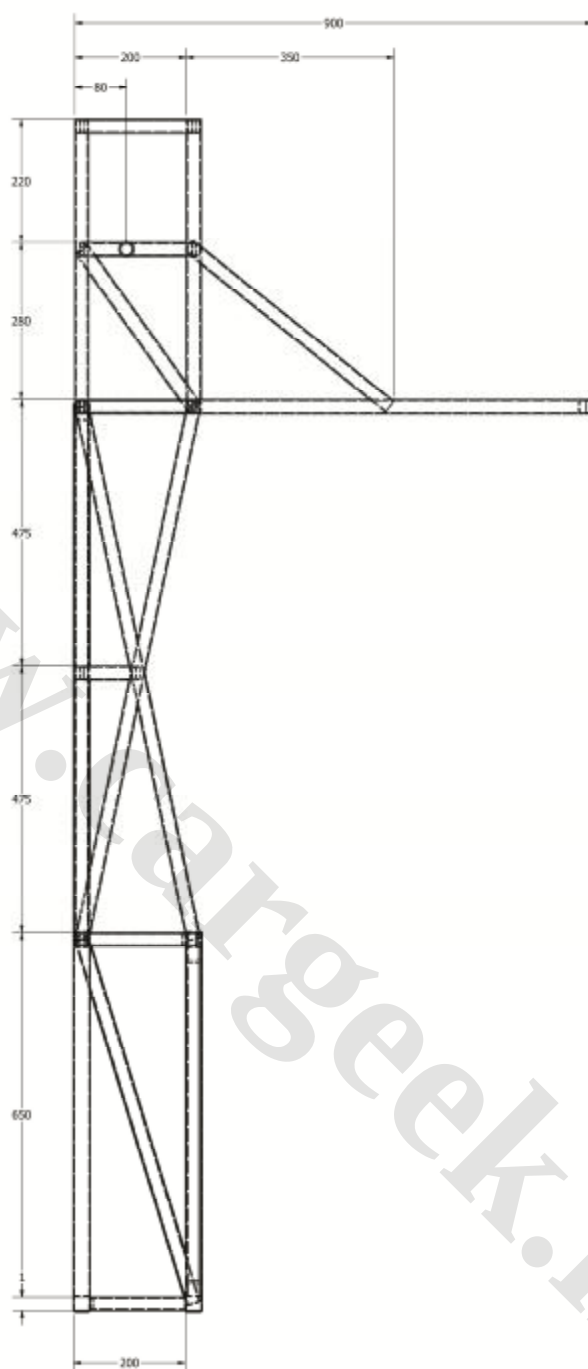
# الف

پیوست  
نقشه های ساخت

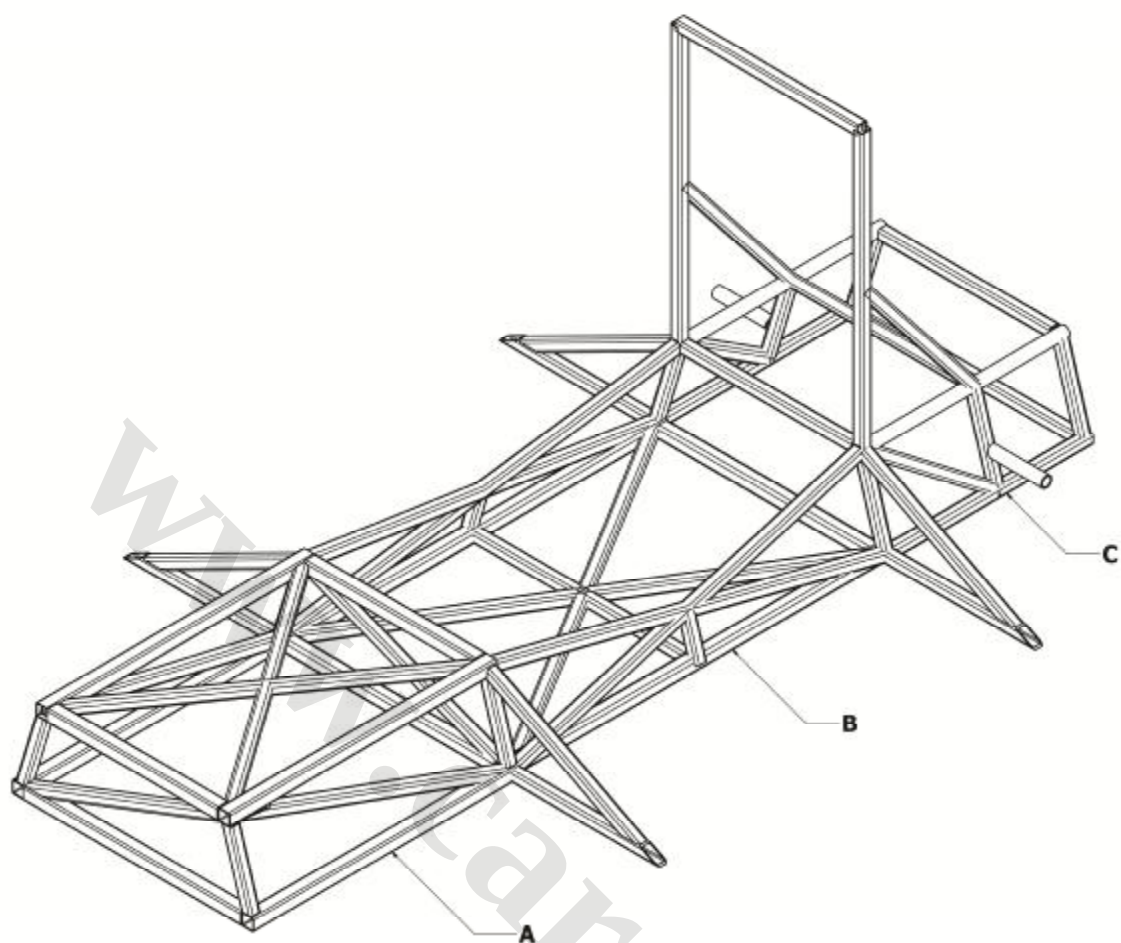
الف - 1) نقشه های ساخت



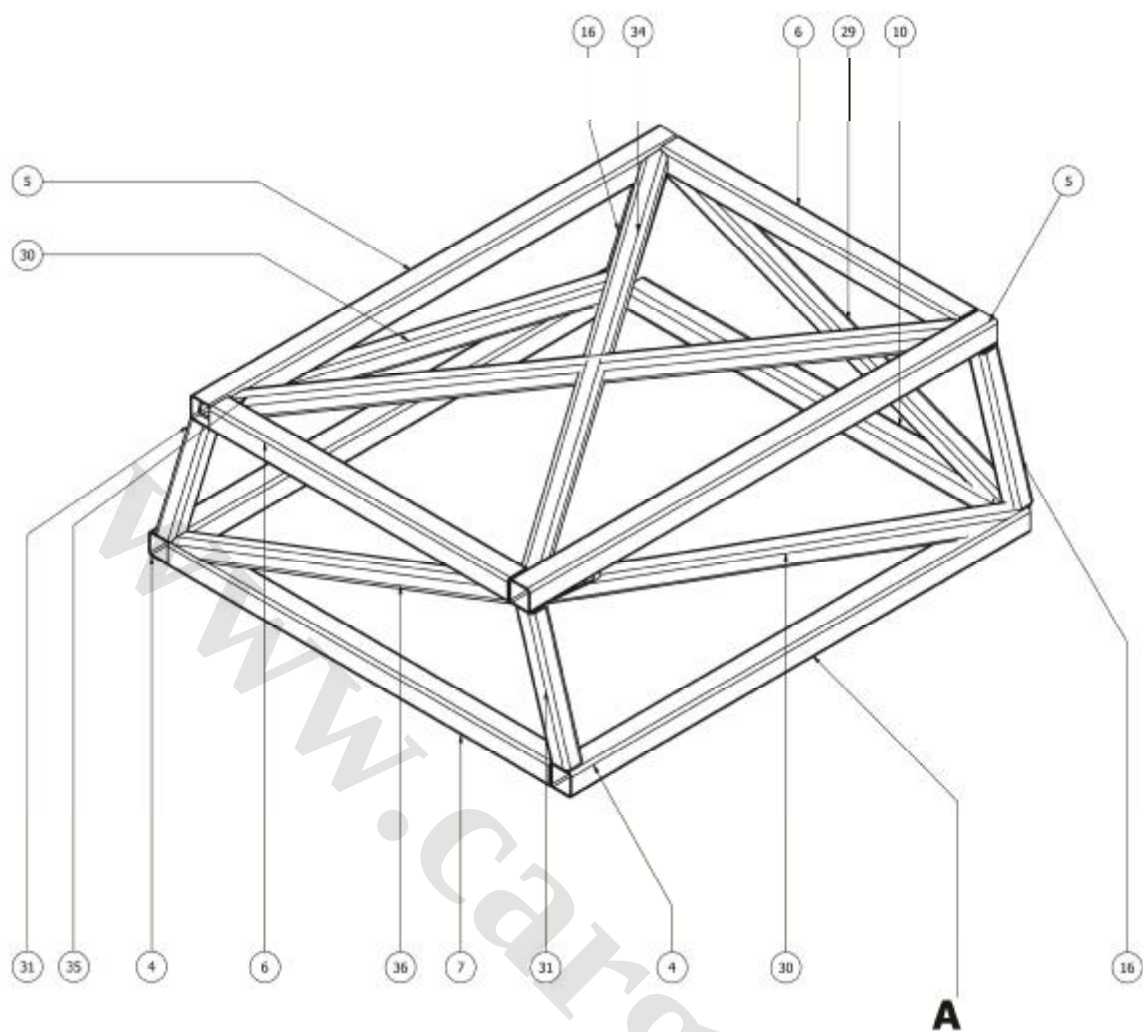
تصویر 28



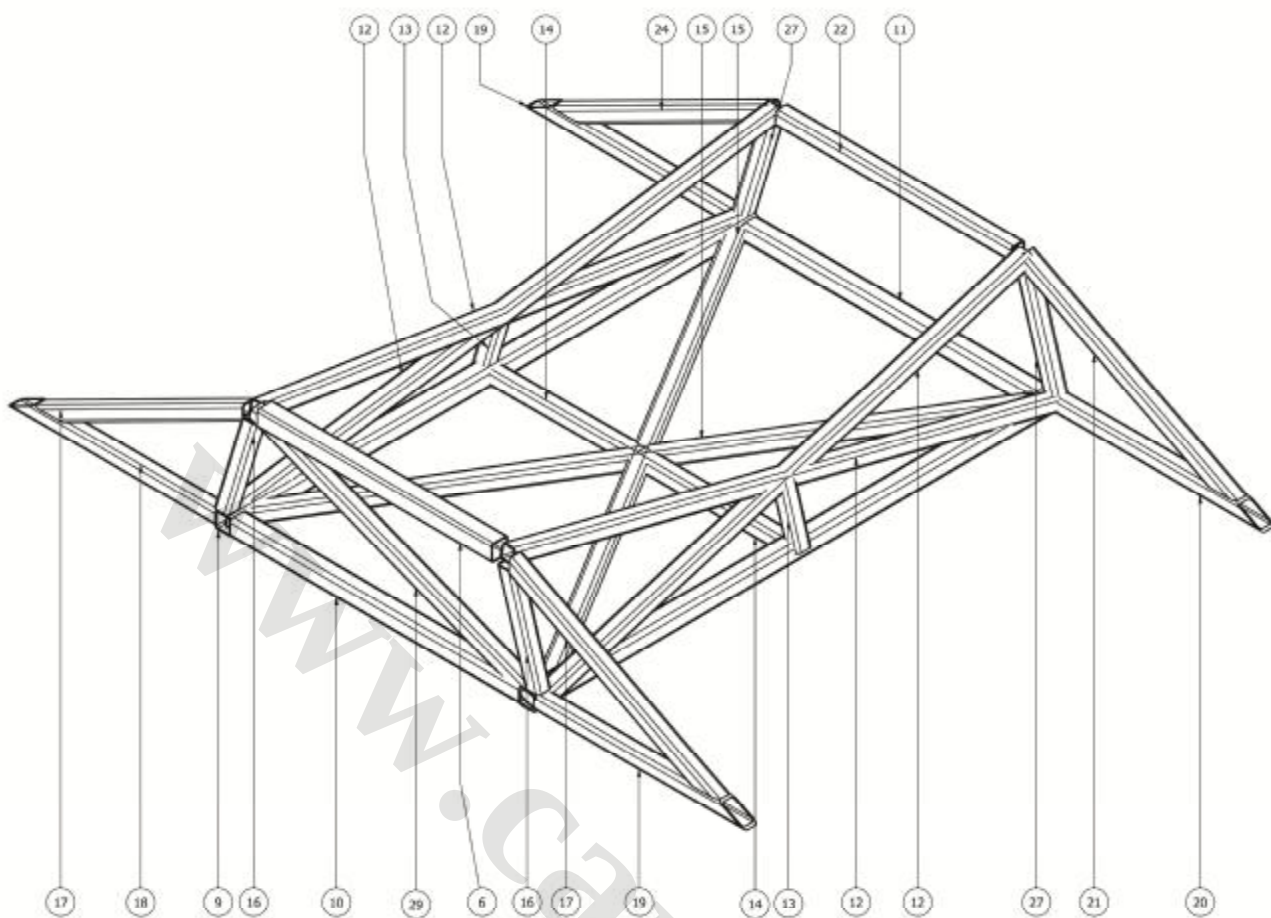
تصویر 29



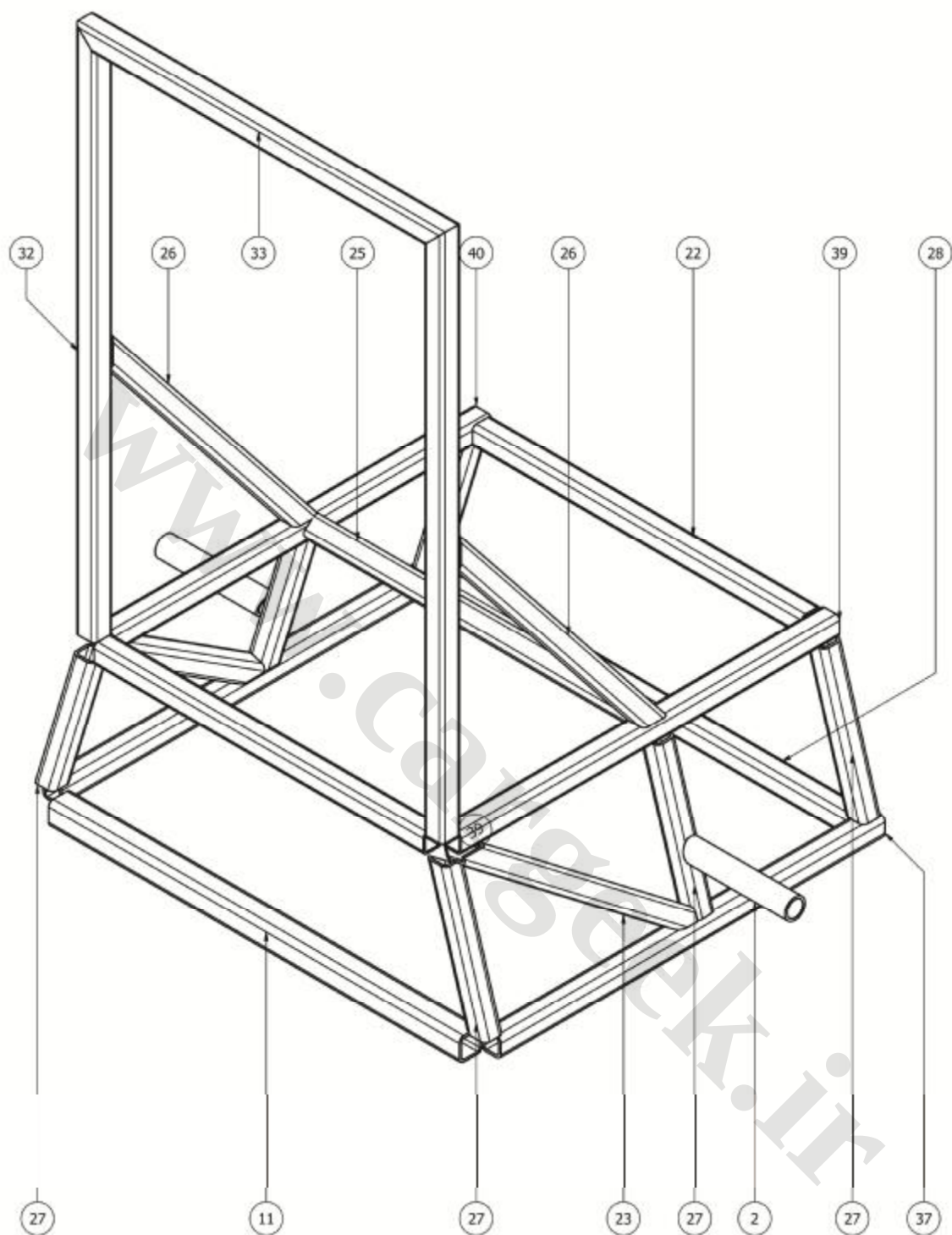
تصویر 30



تصویر 31



تصویر 32 قسمت B



تصویر 33 قسمت C

الف - 2) لیست قطعات

| PARTS LIST |                |                                        |                                                                           |
|------------|----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ITEM       | QTY            | PART NUMBER                            | DESCRIPTION                                                               |
| 1          | 1              | New Dimensions                         |                                                                           |
| 2          | 300.000<br>mm  | ISO 4019 - 26.9x3.0 - 150              | Structural steels,<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections  |
| 4          | 1321.300<br>mm | ISO 4019 - 30x30x2 -<br>660.65         | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 5          | 1342.600<br>mm | ISO 4019 - 30x30x2 - 671.3             | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 6          | 860.000<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x2 - 430               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 7          | 550.000<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x2 - 550               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 8          | 963.450<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x3 -<br>963.45         | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 9          | 967.500<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x3 - 967.5             | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 10         | 530.000<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x3 - 530               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 11         | 555.000<br>mm  | ISO 4019 - 30x30x3 - 555               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 12         | 3890.707<br>mm | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>972.67671916 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 13         | 208.806<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>104.40306509 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 14         | 580.000<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 - 290             | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 15         | 2226.118<br>mm | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>1113.0588484 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 16         | 370.384<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>185.19213762 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 17         | 866.749<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>433.37425567 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |

|    |                |                                        |                                                                           |
|----|----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 18 | 382.359<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>382.35919433 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 19 | 774.718<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>387.35919433 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 20 | 383.264<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>383.2637836  | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 21 | 439.763<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>439.76291221 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 22 | 866.200<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>433.1        | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 23 | 698.570<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>349.28498393 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 24 | 443.858<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>443.85832295 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 25 | 160.000<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 - 160             | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 26 | 896.437<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>448.21869662 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 27 | 1252.837<br>mm | ISO 4019 - 25x25x3 -<br>208.80613018   | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 28 | 553.100<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>553.1        | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 29 | 557.136<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>557.13553109 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 30 | 1349.991<br>mm | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>682.71516755 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 31 | 369.970<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>184.98521071 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 32 | 1400.000<br>mm | ISO 4019 - 25x25x2 - 700               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 33 | 460.000<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2 - 460               | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |

|    |                |                                        |                                                                           |
|----|----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 34 | 796.304<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x3 -<br>796.30396206   | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 35 | 775.395<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x3 -<br>775.39486102   | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 36 | 557.136<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x3 -<br>557.13553109   | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 37 | 1025.308<br>mm | ISO 4019 - 25x25x3 -<br>512.65390526   | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 38 | 1              | Run01                                  |                                                                           |
| 39 | 525.132<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>525.13198732 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |
| 40 | 500.066<br>mm  | ISO 4019 - 25x25x2.5 -<br>500.06599366 | Structural steels -<br>Cold-formed, welded,<br>structural hollow sections |

1. شرعیات, دکتر محمد. اصول طراحی و تحلیل سازه و بدنه خودرو. تهران : انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی. 9789648703573. p. 325. 1390 ,

2. University, MIT. <http://web.mit.edu/emech/dontindex-build/>. *Engeenering Mechanics of solids*. [Online] 2002.

3. بافقی, عباس علی تقی پور. تکنولوژی شاسی و بدنه. تکنولوژی شاسی و بدنه. دزفول : دانشگاه آزاد دزفول,

1389, ص. 20-21.

4. Germany, Formula Student. Pat's Column - Space-frame Chassis. <http://www.formulastudent.de>. [Online] Verein Deutscher Ingenieure, 2012. <http://www.formulastudent.de/academy/pats-corner/advice-details/article/pats-column-space-frame-chassis/>.

5. Fenton, J. Hand book of Aotumotive Body Construction and Design Analysis. s.l. : Wiley, 1998.

6. M, Wolfgang. Road Vehicle Suspension. 1997 : Mechanical Engineering Pubns Ltd.

7. *Thermal shock and thermal fatigue study of alumina*,. P. K. Panda, T. S. Kannana, J. Duboisb, C. Olagnonb and G. Fantozzib. 13, 2002, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 22, pp. 2187-2196.

8. ARTC. *Belgium Road (Pave)*. [Online] 1, Automotive Research & Testing Center, 2011. Full URL : [http://www.artc.org.tw/english/01\\_testing/04\\_02detail.aspx?pid=6](http://www.artc.org.tw/english/01_testing/04_02detail.aspx?pid=6). <http://www.artc.org.tw>.