

**M1 SINIFINDA ELEKTRİKLİ SPOR BİR ARACIN
GÖVDESİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ**

**DESIGN AND MANUFACTURING OF THE BODY OF
AN M1 CATEGORY SPORT ELECTRIC VEHICLE**

TURAN SOYÖZEN

DOÇ. DR. ENGİN TANIK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2014

TURAN SOYÖZEN'in hazırladığı “**M1 SINIFINDA ELEKTRİKLİ SPOR BİR ARACIN GÖVDESİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk HİMMETOĞLU

Başkan

.....

Doç. Dr. Engin TANIK

Danışman

.....

Doç. Dr. Yiğit KARPAT

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Anneme, babama ve aileme ithafen...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içerisindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir iftira yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/12/2014

Turan SOYÖZEN

ÖZET

M1 SINIFINDA ELEKTRİKLİ SPOR BİR ARACIN GÖVDESİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ

TURAN SOYÖZEN

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Engin TANIK

Aralık 2014, 89 Sayfa

Elektrikli otomobiller, dünya genelinde artan fosil yakıt fiyatları ile her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Bu tezde, EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş.'de tasarlanıp üretilen EVT S1 adlı elektrikli prototip otomobilin gövdesinin tasarım ve üretim felsefesi ele alınmıştır. Bu gövde literatürdeki örneklerle göre nispeten basit bir yapıya sahiptir ve dolayısıyla üretim maliyeti açısından avantajlıdır. İlk modellemelerden ufak detaylarına kadar tüm tasarım, kil model kullanılmadan tamamen bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gövdenin akış analiz simülasyonu ile aerodinamik performansı belirlenmiştir. Daha sonra üç boyutlu yazıcı ile 1/18 ve 1/5 ölçekli modelleri üretilmiştir. Tasarım ileri detaylar ile zenginleştirilerek; kapı, bagaj ve cam kısımlarının işlevsel tasarımı yapılmıştır. Bagaj ve kaputun kinematik ve statik kuvvet analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak da gövdenin üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu tez ile birlikte bilhassa ülkemizde oldukça yabancı bir alan olan otomobil gövde tasarımında literatüre yeni bir çalışma kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: otomobil gövde tasarımı, elektrikli otomobiller, karbon fiber, kompozit malzemeler

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURING OF THE BODY OF AN M1 CATEGORY SPORT ELECTRIC VEHICLE

TURAN SOYÖZEN

**Master of Science, Department of Mechanical
Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Engin TANIK

December 2014, 89 Page

As fossil fuel prices increase globally, electric vehicles are becoming more important over time. In this thesis, design and manufacturing philosophy of the body of EVT S1 electric prototype vehicle, designed and manufactured by EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş., is introduced. This body has a relatively simpler structure than examples in literature, hence, is advantageous in terms of production costs. All design details of the body, which are designed completely with computer aided design software without using a clay model, are taken into consideration. Aerodynamic performance of the body has inspected with flow analysis simulation. 1/18 and 1/5 scale models are manufactured using 3D printer. Design is enriched, and functional designs of the door, luggage and windscreen areas are completed. Kinematic and static force analyses of the trunk door and hood are performed. Finally, production methods of the body are mentioned. Thus, with this thesis, a new study is added to the literature in the field of automobile body design, which is still a fairly immature area in Turkey.

Keywords: car body design, electric vehicles, carbon fiber, composite materials

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda ve yüksek öğrenim hayatımın tamamında kıymetli desteklerini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Engin TANIK ve Doç. Dr. Volkan PARLAKTAŞ'a; ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan annem Gülsen SOYÖZEN, babam Hikmet SOYÖZEN ve biricik eşim Zeynep SOYÖZEN'e; tasarım ve modelleme sürecinin her anında birlikte çalıştığımız Sayın Yük. Müh. Raşit KARAKUŞ'a ve vermiş oldukları değerli desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarım Yük. Müh. Göktuğ Burak ÇALIK ve Yük. Müh. Nahit BABAARSLAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

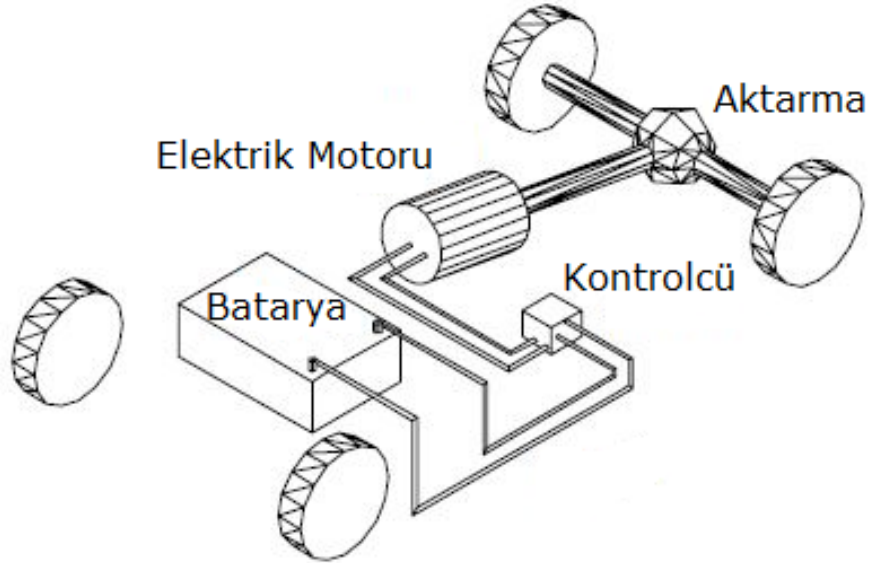
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Elektrikli Otomobillere Genel Bakış	1
1.1.1 Elektrikli Otomobillerin Avantajları ve Dezavantajları	1
1.1.1.1 Ağırlık	2
1.1.1.2 Ekonomi	3
1.1.1.3 Çevrecilik	3
1.1.1.4 Dezavantajlar.....	4
1.1.2 Geçmişte Elektrikli Otomobiller	6
1.1.3 Günümüzde Elektrikli Otomobiller	8
1.2 Literatürdeki Yaygın Şasi ve Gövde Tipleri	12
1.2.1 Şasi Tipleri	13
1.2.1.1 Merdiven Şasi (Ladder Frame)	13
1.2.1.2 Uzay Şasi (Space Frame)	14
1.2.1.3 Omurga Şasi (Backbone)	14
1.2.1.4 Küvet Şasi (Tub).....	16
1.2.1.5 Monokok (Unibody)	17
1.2.2 Gövde Malzeme Seçenekleri.....	18
1.2.2.1 Alüminyum	19
1.2.2.2 Plastik	20
1.2.2.3 Fiber Kompozitler.....	21
1.3 Gövde Tasarım Felsefesi	24
2. İLK MODELLEME	26
2.1 Ana Modelin Oluşturulması	26
2.1.1 Kısıtlar	26
2.1.1.1 Boyutlandırma.....	27
2.1.1.2 Yan Camların Açılma Önkoşulu.....	29

2.1.1.3 A Sütunu	30
2.1.1.4 Çamurluk Ağızları	30
2.1.2 Ana Hatların Belirlenmesi.....	32
2.2 Aerodinamik Yapı.....	34
2.2.1 Analiz Sonuçları	36
3. İLERİ MODELLEME	39
3.1 Detaylandırma Çalışmaları	39
3.2 Gövdenin Parçalara Ayrılması	44
3.3 1/14 ve 1/5 Modeller.....	47
4. İŞLEVSEL TASARIM	53
4.1 Camlar.....	53
4.2 Bagaj Bölgeleri.....	55
4.3 Kapı Bölgeleri.....	69
5. ÜRETİM	75
5.1 Bagaj İçi Bağlantı Parçaları.....	75
5.2 Ön ve Arka Tamponlar.....	76
5.2.1 Kalıp Modelleri	77
5.2.2 Kalıplar	79
5.2.3 Nihai Ürünler	81
6. SONUÇLAR.....	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	89

1. GİRİŞ

1.1 Elektrikli Otomobillere Genel Bakış

Elektrikli araçlar, en genel tanımı ile üzerindeki bataryalarda depolanmış olan kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek hareket eden araçlardır. Elektrikli bir otomobil sistem olarak; enerji kaynağı olarak kullanılan bataryalar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir elektrik motoru ve motora giden enerji akışını düzenleyen bir kontrolcüdür oluşmaktadır [1]. Şekil 1.1’de gösterilen çalışma prensibine sahip olan araçlar tam elektrikli otomobiller olarak isimlendirilirken, bataryalara ek olarak başka bir güç kaynağından daha (küçük hacimli bir içten yanmalı motor gibi) beslenen araçlara ise hibrit araçlar denilmektedir.



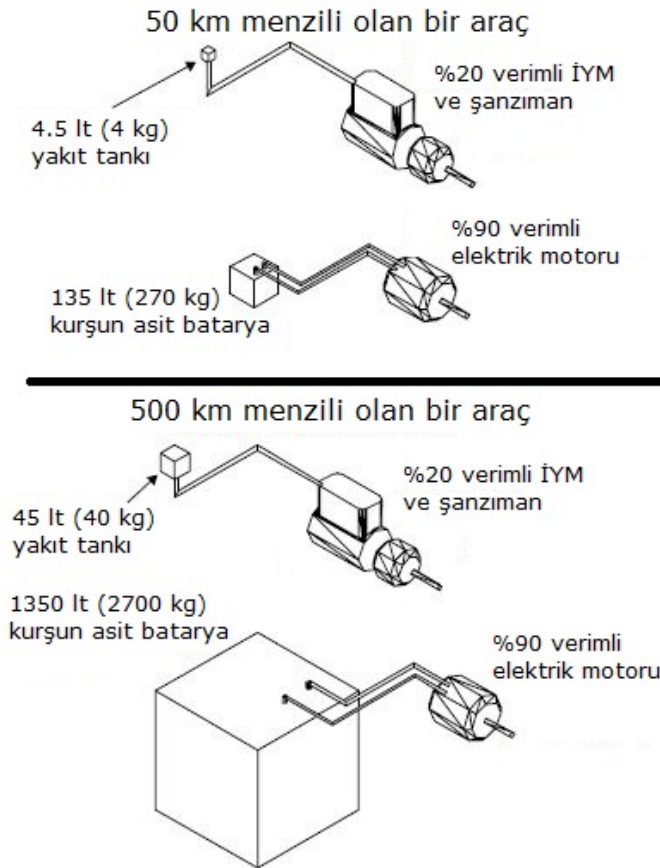
Şekil 1.1 Elektrikli otomobil temel çalışma prensibi

1.1.1 Elektrikli Otomobillerin Avantajları ve Dezavantajları

Elektrikli otomobillerin yapıları gereği birçok avantajları ve bazı dezavantajları vardır. Bunlar aşağıdaki başlıklarda özetlenmiştir.

1.1.1.1 Ağırlık

Günümüzde otomobillerde ağırlık azaltma çalışmaları büyük bir önem kazanmıştır. İçten yanmalı motora sahip geleneksel otomobillerde bile bu konuda ciddi çalışmalar yapılmaktayken elektrikli otomobillerde bu konu çok daha büyük önem teşkil etmektedir. Zira aynı miktarda batarya ile daha hafif olan araç daha uzun menzile sahip olacaktır. Menzil elektrikli otomobiller için çok önemli bir kıyaslama verisidir. Ayrıca ağırlık, aracın hızlanma performansına da doğrudan etki eden bir parametredir. Bahsedilen durumlar teorik olarak içten yanmalı motora sahip araçlar için de geçerli olmakla birlikte nispeten göz ardı edilebilmektedir. Çünkü akaryakıt dolum süresi, batarya şarj süresine göre çok daha kısadır. Akaryakıttan ve kurşun-asit bataryadan elde edilecek enerjilerin kıyaslanması Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Aynı menzili gidebilmek için gereken akaryakıt ve batarya [2]

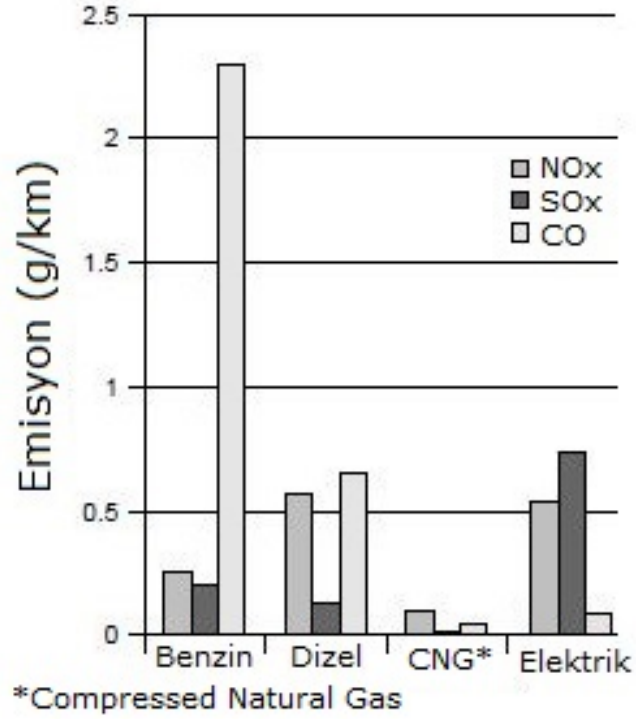
1.1.1.2 Ekonomi

İşletme maliyeti kavramının birçok sektörde en önemli parametrelerden birisi olduğu yüzyılımızda, elektrikli otomobillerin en büyük avantajlarından birisinin yakıt tüketimi olduğunu söylemek yanlış olmaz. İçten yanmalı motorlu bir otomobile göre elektrikli bir otomobil Amerika şartlarında yaklaşık 5-6 kat daha ekonomiktir [3]. Akaryakıt fiyatlarının elektrik tüketim fiyatlarına oranının Amerika'ya göre çok daha yüksek olduğu ülkemizde bu oran daha da artmaktadır. Ayrıca normal otomobillerin bakımları sırasında değişmesi gereken yağ ve yağ filtresi, hava filtresi, mazot filtresi, çeşitli kayışlar vb. sarf parçaları bulundurmadiğı için bakım maliyeti de oldukça düşüktür. Tüm bunlara ek olarak, çoğu ülkede elektrikli araçların vergileri diğer otomobillere göre ya daha düşüktür ya da tamamen kaldırılmıştır. Örneğin ülkemizde sıfır otomobil alırken aracın silindir hacmine göre %45 ile %145 arası değişen oranlarda ödenen Özel Tüketim Vergisi, elektrikli araçlar için %3 ile %15 arasında değişmektedir [4].

1.1.1.3 Çevrecilik

Ekonomik avantajlarının yanı sıra elektrikli otomobiller oldukça çevrecidir. Renault'nun yaptığı bir araştırmaya göre üretiminden ömrünün sonuna kadar olan tüm süreç ve detaylar göz önünde bulundurulduğunda elektrikli bir otomobilin akaryakıt tüketen bir otomobile göre daha çevreci olduğu kanıtlanmıştır [5]. Akaryakıt tüketen araçların doğaya saldığı zararlı gazlar çevre için büyük tehdit oluştururken, elektrikli otomobiller "sıfır emisyon" ilkesi ile çalışırlar ve kullanım esnasında doğaya herhangi bir gaz salmazlar.

Şekil 1.3'te farklı otomobil tiplerinin doğaya saldıkları gaz miktarları gösterilmiştir. Elektrikli araçların doğaya tek zararı, şarj olmaları için tükettikleri elektriğin üretimi esnasında doğaya salınan gazlardır. Yine de şebekedeki elektriğin çoğunlukla fosil yakıtlar ile üretildiğı yerleşim yerlerinde bile elektrikli araçların daha çevreci olduğu kanıtlanmıştır [6].



Şekil 1.3 Farklı yakıt türlerindeki araçların emisyon değerleri [2]

Doğadaki CO₂ emisyonunun büyük kısmını oluşturan fosil yakıtlı termik santrallerin yerlerini daha çevre dostu elektrik üretim metotlarına bırakmasıyla beraber, elektrikli araçlar kullanım esnasında olduğu gibi şarj olma süresince de çevreye zarar vermeyeceklerdir. Üstelik normal araçlarda sarf malzeme olarak kullanılan filtreler de kullanım ömürleri dolduktan sonra atığa dönüşmekte ve geri dönüşüme müsait olmamaktadırlar. Elektrikli otomobillerin ise bu tarz parçalarının olmaması çevre için başka bir avantajdır. Ayrıca içten yanmalı motorlu araçlara nazaran oldukça sessiz çalıştıkları için ses kirliliğine de sebep olmamaktadırlar.

1.1.1.4 Dezavantajlar

Bütün bu avantajları ile birlikte elektrikli otomobillerin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan ilki yüksek batarya maliyetleridir. Tablo Şekil 1.4'te yaygın batarya türleri çeşitli teknik özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Batarya Tipi	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Maksimum Güç (W/kg)	Enerji Verimi (%)	Ömür Döngüsü	Fiyat (\$/kWh)
Kurşun-Asit	35-50	150-400	>80	500-1000	120-150
NiCd	50-60	80-150	75	800	250-350
NiMH	70-95	200-300	70	750-1200+	200-350
Li-ion	80-130	200-300	>95	1000+	200
NaNiCl	90-120	130-160	80	1200+	230-345
Fe-Hava	80-120	90	60	500+	50
Zn-Hava	100-220	30-80	60	600+	90-120

Şekil 1.4 Çeşitli batarya tiplerinin teknik özellikleri

Standart bir dört kapılı otomobil 100 km/h hızla seyir halindeyken ortalama 30 kW güç çeker. Elektrik motoru ile tekerlekler arasındaki toplam verim %70 alınarak bu otomobil ile aynı menzile ulaşmak için kullanılması gereken batarya miktarları Şekil 1.5’de gösterilmiştir.

Batarya Tipi	Spesifik Enerji (Wh.kg ⁻¹)	Gereken yaklaşık batarya miktarı (kg)			
		75 km menzil	150 km menzil	225 km menzil	300 km menzil
Kurşun-Asit	30	750	1500	2250	3000
NiMH	65	346	692	1038	1384
Li-ion	90	250	500	750	1000
NaNiCl	100	225	450	675	900
Zn-Hava	230	98	196	294	392

Şekil 1.5 Farklı batarya tiplerinde belirli menziller için gereken batarya miktarları [2]

Kurşun-asit bataryalar nispeten ucuz olmakla birlikte düşük spesifik enerjiye sahiptirler ve bu sebeple yalnızca kısa bir menzilin yeterli olduğu golf arabası, fabrika içi küçük araçlar gibi uygulamalarda kullanılabilirler. Nikel metal hidrit, lityum iyon ve sodyum nikel klorit gibi yeni sayılabilecek batarya teknolojileri ise daha uzun menziller için

elverişli olmakla birlikte yüksek maliyetlidirler. Bu sebeplerden ötürü elektrikli otomobillerde kullanılmak için endüstri standardı gösterilebilecek ideal bir batarya türü bulunmamaktadır.

Elektrikli otomobillerin bir diğer dezavantajı ise şarj metodu ve süresidir. Şarj işlemi bazı araçlarda normal dağıtım şebekesi ve araca bütünleşik bir şarj ünitesi ile yapılabilmektedir. Bazı durumlarda ise sabit bir şarj istasyonu kullanılır. Özel olarak tasarlanan bu istasyonlar kısa sürede şarj imkânı sağlamakla birlikte henüz çok yaygın değildir. Normal dolumlar ise 7-8 saat gibi uzun süreler alabilmektedirler. Elbette gelecekte batarya ve şarj teknolojilerinde kaydedilecek olan ilerlemeler ile bu sıkıntıların çözümüne ışık tutulması beklenmektedir.

1.1.2 Geçmişte Elektrikli Otomobiller

Genel kanının aksine elektrikli otomobillerin kökeni çok daha eskilere dayanmaktadır. İlk elektrikli otomobiller 19.yüzyılın ortalarında ve sonlarında üretilmiştir. İlk modeller, o zamanın batarya teknolojisi gereği şarj edilemeyen piller kullanıyorlardı. Şarj edilebilen pillerin ortaya çıkmasıyla birlikte elektrikli otomobiller piyasada oldukça güçlü bir hale geldiler. Zamanın içten yanmalı motorlu otomobillerine göre çok daha güvenilir, arıza sıklığı az, kokusuz, sessiz ve temiz oldukları için insanlar tarafından tercih ediliyorlardı. Üstelik elektrikli otomobiller performans anlamında da diğer otomobillerden avantajlıydılar. 1899-1900 yıllarında elektrikli otomobiller altın çağını yaşadılar. Bu yıllarda Amerika’da en çok satılan otomobiller elektrikli otomobillerdi [7]. Özellikle 1899 yılında Belçikalı yarışçı Camille Jenatzy’nin Şekil 1.6’de gösterilen “La Jamais Contente” adlı elektrikli otomobili ile Paris’te 106 km/h hıza ulaşarak kara hız rekorunu kırması, elektrikli otomobillere olan ilgiyi daha da artırdı. Bu araç, 100 km/h hızın üzerine çıkan ilk otomobil olarak da tarihe geçmiştir [8].

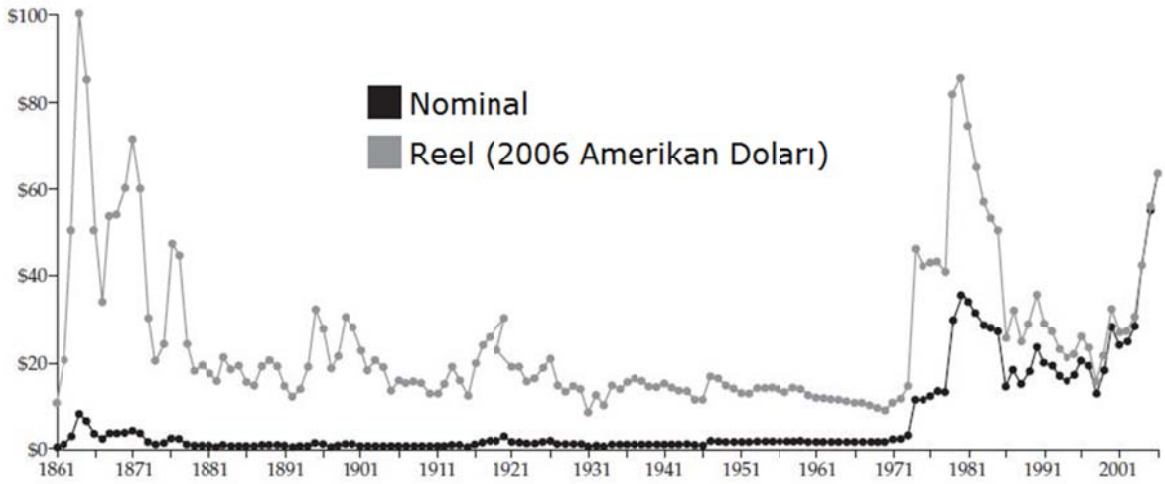


Şekil 1.6 Camille Jenatzy'nin elektrikli otomobili "La Jamais Contente"

1911 yılında marş motorunun bulunması, elektrikli otomobillerin popüleritesine atılan ilk kurşun olmuştur. Çünkü içten yanmalı motorlu araçların en büyük sıkıntısı olan aracı çalıştırmak için aracın önündeki bir kolu fiziksel olarak çevirme zorunluluğu bu şekilde ortadan kalkmıştır. Üstelik aynı dönemde petrol ve dolayısıyla akaryakıt erişim imkânı da artmış ve böylece akaryakıt kullanan araçların büyük dezavantajlarından geriye yalnızca maliyeti kalmıştır. Henry Ford'un öncülüğünde belki de elektrik ve internet kadar büyük bir buluş olan seri üretim fikri gelişmiş ve araçların maliyeti ciddi oranda düşmüştür. Sonuç olarak elektrikli otomobillerden her alanda daha avantajlı hale gelen akaryakıt tüketen otomobiller üretilmiş ve yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1930'lu yıllarda gelindiğinde ise elektrikli otomobil sektörü neredeyse tamamen yok olmuştur.

Şekil 1.7'de görüldüğü üzere, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi ile birlikte ciddi artış yaşayan akaryakıt fiyatları gözleri tekrar elektrikli otomobillere çevirmiştir. Fakat onlarca yıldır içten yanmalı motorlar inanılmaz bir evrim geçirerek pazarın tek hâkimi olmuşken, elektrikli otomobil alanındaki çalışmalar neredeyse durmuştur. Bu yüzden büyük firmaların tekrar elektrikli otomobil prototiplerine yatırım yapmaları 90'lı yılların ortasına kadar sürmüştür. Bu dönemlerde Kaliforniya Hava Kaynakları Kurumu (CARB), Kaliforniya hükümetinin temiz hava

politikası gereğince daha ekonomik ve daha düşük emisyon değerlerine sahip otomobilleri teşvik etmek amaçlı girişimlere başlamıştır [9]. Bu çalışmaların öncülüğünde GM EV1, Nissan Altra ve Toyota RAV4 EV gibi bazı araçlar seri üretime geçerek uzun bir aradan sonra satışı yapılan ilk elektrikli otomobiller olmuşlardır.



Şekil 1.7 1861-2006 yılları arasında petrol fiyatlarının değişimi [1]

1.1.3 Günümüzde Elektrikli Otomobiller

21. yüzyılın başlamasıyla birlikte, petrol fiyatlarında yeniden artışlar görülmeye başlandı. Büyük otomobil üreticileri popülerliğini giderek kaybeden yüksek silindirik hacimli SUV'lar yerine daha çok küçük hacimli şehir otomobillerine yönelmeye başladılar. Otomobillerde ekonomi kavramının daha büyük bir önem taşımaya başlaması, elektrikli otomobiller için açılacak yeni bir sayfa anlamına geliyordu.

Amerikan Tesla Motors firmasının 2008 yılında ürettiği Şekil 1.8'da gösterilen Roadster modeli, gelecekte belki de elektrikli otomobillerin yeniden dirilişinin sembolü olarak anılacaktır. 3.7 saniye olan 0-100 km/h hızlanması ile ön plana çıkan araç aynı zamanda 320 km olan menzili ile elektrikli araç literatürüne "otoyola uygun" (highway capable) terimini sokmuştur. 2008-2012 yılları arasında 31'den fazla ülkede toplamda 2400'ün üzerinde Tesla Roadster satılmıştır [10].



Şekil 1.8 Tesla Roadster

Firmanın bir sonraki modeli olan Şekil 1.9’da gösterilen Model S ise 2012 yılında satışa sunulmuştur. Geniş ve lüks bir aile otomobili olan araç, 420 km menzili ile piyasadaki en uzun menzile sahip elektrikli otomobil unvanını almıştır [11].



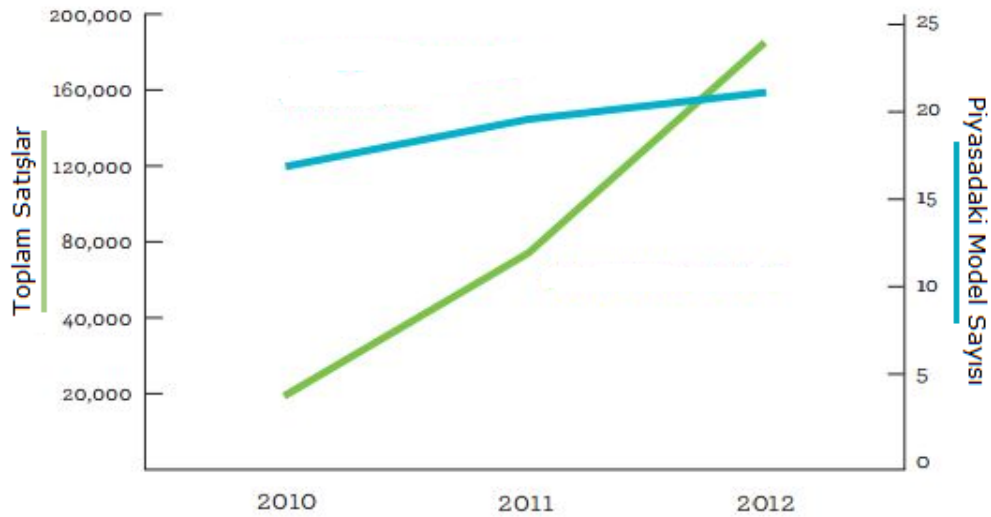
Şekil 1.9 Tesla Model S

Tesla Motors’un elektrikli otomobil piyasasını tekrar canlandırması büyük üreticilerin hamlelerini de beraberinde getirmiştir. Uluslararası boyutta üreticilerden olan Mitsubishi ve Nissan tamamen elektrikli olan i-MiEV ve Leaf modellerini 2010 yılında piyasaya sunmuşlardır. Bu modellerden Şekil 1.10’de gösterilen Nissan Leaf 2011 senesinde “Avrupa’da Yılın Otomobili” seçilmiştir [12].



Şekil 1.10 Nissan Leaf

Avrupalı üreticilerden Renault da Zoe ve Twizy gibi safkan elektrikli modelleri ve içten yanmalı motorlu versiyonları ile büyük oranda ortak parçalar taşıyan Fluence Z.E. ve Kangoo Z.E. modelleri ile elektrikli otomobil sektörüne giriş yapmıştır. Ford ise Focus modelinin elektrikli versiyonunu satışa sunmuştur. Volkswagen ve BMW gibi büyük Alman şirketleri de bu alanda çalışmalarına devam etmektedir. Bu gelişmeler ile birlikte Şekil 1.11’de görülebileceği üzere, piyasada satışa sunulan elektrikli otomobil çeşitlerinin artması, dünya çapındaki toplam elektrikli otomobil satışlarında da artışa yol açmıştır.

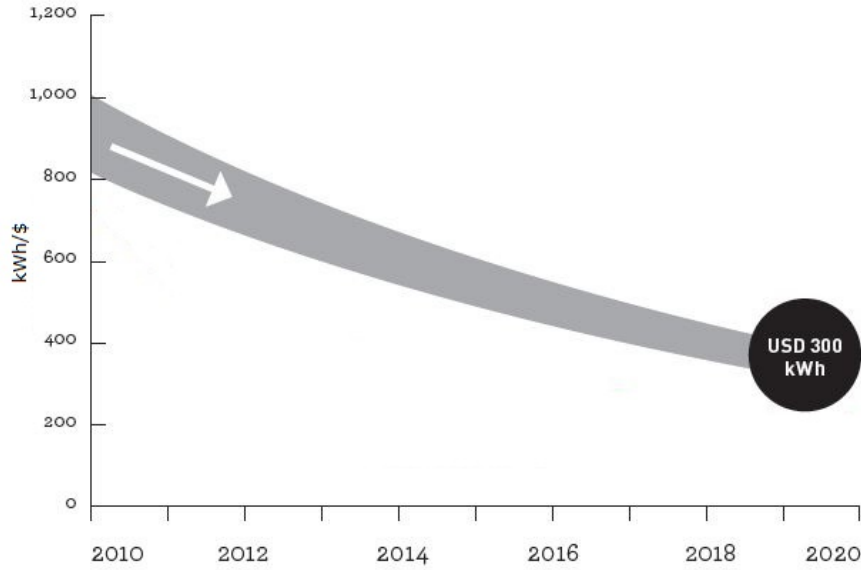


Şekil 1.11 Yıllara göre piyasadaki model sayısı ve toplam satışlar [13]

Bazı ülkeler vergi indirimi avantajının yanı sıra yalnızca elektrikli araçlar için tahsis edilmiş olan park yerleri, otoyollarda güvenlik şeridinden

gidebilme hakkı ve benzeri teşvik programları ile elektrikli otomobilleri yaygınlaştırmaya öncülük etmektedir. Ayrıca çevreye duyarlılığın ve ekonomik durumun gelişmiş olduğu toplumlarda elektrikli otomobillere olan ilgi diğer ülkelere oranla daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Örneğin Norveç'te 2013 yılının Eylül ayında Tesla Model S, Ekim ayında ise Nissan Leaf, yalnızca elektrikli araçlar arasında değil tüm klasmanlar içinde ülke çapında en çok satan otomobil olmuştur [14].

Şekil 1.12'te görüleceği üzere, yapılan araştırmalar 2020 yılına gelindiğinde batarya maliyetlerinin yaklaşık üçte birine düşeceğini öngörmüştür. Batarya teknolojilerindeki muhtemel gelişmeler ile hem günlük kullanıma hem de şehirlerarası yolculuklara elverişli elektrikli otomobillerin gelecekte daha da yaygınlaşması beklenmektedir.



Şekil 1.12 Önümüzdeki yıllar için batarya maliyetleri öngörüsü [13]

Dünyada küresel ısınma ile çalmaya başlayan tehlike çanları da toplumların ve hükümetlerin çevreye duyarlılık konusuna her geçen gün daha çok önem vermelerine, dolayısıyla da elektrikli otomobillere "yol açmaktadır". Üstelik yükselen petrol fiyatları ve daha uzun vadede düşünersek azalan petrol rezervleri, elektrikli otomobillerin geleceği için bir diğer fırsat olarak görülebilir.

1.2 Literatürdeki Yaygın Şasi ve Gövde Tipleri

Bir taşıtın tüm parçalarının monte edildiği yapılar olan şasiler, yüzyıllardır üzerinde çalışılan önemli bir mühendislik alanı haline gelmiştir. şasi, bir otomobilin yapısal anlamda iskeleti görevini gören, süspansiyon ve aktarma gibi sistemlerini taşıyan ana kısmıdır. Motorlu taşıtlarda şasinin başlıca görevleri şunlardır:

- Aracın gövdesini, süspansiyon, fren ve aktarma sistemlerini taşımak
- Statik ve dinamik yüklere karşı mukavemet sağlamak

Burada bahsedilen statik ve dinamik yükler aracın, yolcuların ve bagajın ağırlığı, yol koşullarından doğacak kuvvetler, motor ve aktarmadan kaynaklanan tork, hızlanma ve yavaşlama anındaki ivmelerden doğan kuvvetler ve kaza anında oluşacak kuvvetler gibi yüklere [15]. Tipik bir otomobil şasisi şekil 1.13'te gösterilmiştir.



şekil 1.13 Lincoln MKZ şasisi

Yukarıda bahsedilenlere ek olarak otomobil şasisinin yolcular ve bagaj için yeterli alan sağlaması, titreşim ve sesi azaltarak konfor hissini artırması ve güvenlik şartlarını sağlayan sınırlar içerisinde mümkün olduğunca hafif olması istenir.

1.2.1 Şasi Tipleri

Araçlarda kullanılan şasiler yapılarına göre farklı tiplere ayrılmaktadır. Bu şasi tipleri aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

1.2.1.1 Merdiven Şasi (Ladder Frame)

Kökleri at ile çekilen arabalara kadar dayanan bu şasi tipi en genel anlamıyla uzunlamasına iki profilden oluşmaktadır. Burulma direncini artırmak amacıyla bu profillerin arasına yatay profiller atılmasıyla günümüzdeki şeklini almıştır. Oldukça basit olan bu şasi tipinin en büyük avantajlarından birisi, gövde hatlarını takip etmediği için farklı gövde seçenekleri ile birlikte kullanılabilir, yani modüler olmasıdır. Modülerlik, 40'lı yıllarda aynı şasinin üzerine 4 kapılı bir sedan ya da bir kabrio inşa edebilmek gibi bir özgürlük sunarken, günümüzde ise fabrikadan çıkan bir kamyon ya da kamyonetin ihtiyaca göre beton mikserine, itfaiyeye ya da ambulansa dönüştürülebilmesi anlamına gelmektedir. Üstelik çarpışma sonrası tamir edilmesi de görece oldukça basittir.



Şekil 1.14 Infinite QX merdiven şasi

Bununla birlikte burulma direncinin düşük olması, ağırlık merkezinin yerden yüksek olması, ağır olması ve çarpışma bölgesinin bulunmaması gibi dezavantajları vardır. Merdiven şasinin başarılı olduğu konulardan biri ise yük taşımaktır. Bu sebeplerle günümüzde halen kamyonlar gibi ağır vasıtalarda kullanılmaktadır [16].

1.2.1.2 Uzay Şasi (Space Frame)

Merdiven şasinin burulmaya karşı dirençli olmaması, zemine dik olan üçüncü boyutta destek elemanları eklenerek çözülmek istenmiştir. Bu sebeple ana iskelet üzerine çok sayıda profil karmaşık bir yapıda birbirine kaynaklanarak kafes benzeri bir yapı oluşturulmuş ve Uzay şasi elde edilmiştir. Şasi tipinin doğası gereği kullanılan profiller burulma yerine çekiye ya da basıya maruz kalmaktadır. Bu sayede Uzay şasilerde burulma direnci oldukça yüksektir. Ayrıca diğer şasi tiplerine göre daha az malzeme kullanıldığı için Uzay şasiler daha hafiftir. Fakat bu karmaşıklık aynı zamanda üretim sürecini zorlaştırmakta ve karmaşık şasi fiyatsızları gerektirmektedir. Üstelik Uzay şasilerde kullanılan profiller üç boyutlu bir hacim kapladığı için sürücü, yolcu ve bagaj için yeterince iç hacim elde edilememektedir.



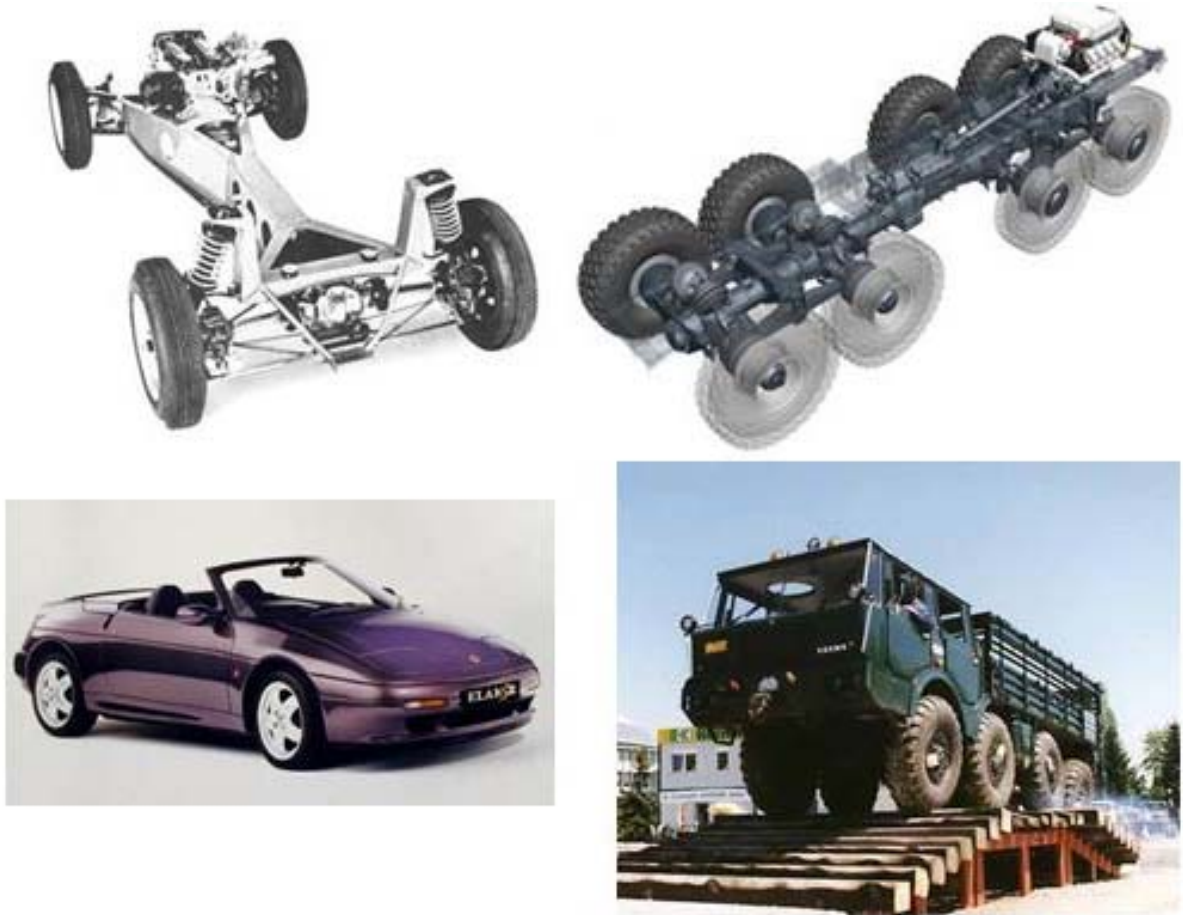
Şekil 1.15 Audi R8 uzay şasi

1.2.1.3 Omurga Şasi (Backbone)

Uzay şasiler her ne kadar burulma direnci ve mukavemet anlamında oldukça başarılı olsalar da, iç hacmi oldukça daraltmaları ciddi bir

problemdir. Omurga şaside ise uzunlamasına yerleştirilen ve genelde levhaların katlanması ile oluşturulan geniş bir profil ve süspansiyon sistemini monte etmek için konumlandırılmış yatay profiller kullanılır. Ana profil yüksek mukavemet ve direnç sağlar. En büyük dezavantajı ise yanıl çarpışmaları sönümleyecek elemanları bulunmadığı için yandan çarpmalara karşı oldukça zayıf olmalarıdır. Bu bölgenin gövde elemanları ile desteklenmesi gerekmektedir.

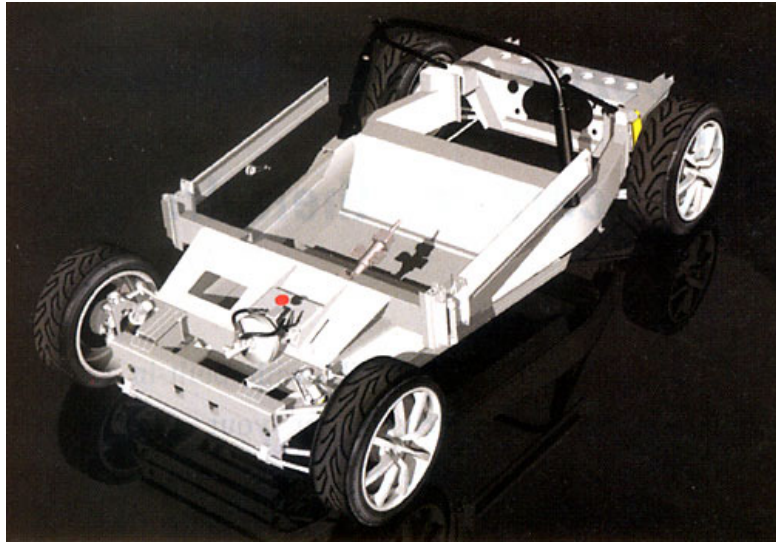
Şekil 1.16’de görüldüğü üzere omurga şasinin en tipik örneği küçük bir spor otomobil olan Lotus Elan olsa da Çekoslovak Tatra firmasının ürettiği devasa askeri kamyonlar gibi farklı araçlarda da bu şasi tipini görmek mümkündür.



Şekil 1.16 Omurga şasi örnekleri: Lotus Elan ve Tatra 8x8

1.2.1.4 Küvet Şasi (Tub)

Omurga Şasinin yanal  arpışmalardaki zafiyetini ve düşük burulma direncini engellemek amacıyla aracın taban kısmına destekler konulması ihtiya ı doğmuştur. Fakat bu desteklerin eklenmesi ile Şasinin giderek Merdiven Şasi tipine benzeyeceği gözlemlenmiştir. Bu veriyle, omurga Şasinin ana profilinin şekillendirilmiş levhalardan oluşturulmasından esinlenilerek, aracın taban kısmına gelecek destekler, profiller yerine düzlemsel levhalardan oluşturulmuş ve küvet tipi Şasi elde edilmiştir. Küvet şasilerde, düzlemsel tabanın yan kısımlarına ek destek profilleri konularak sürücü ve yolcular için küvet diye tabir edilebilecek bir yapı oluşturulur. Küvet yapısı yolcular için oldukça güvenli bir yaşam alanı sağlarken, süspansiyon ve aktarma sistemlerinin montajı için küvetin n ve arka kısımlarına ek bağlantılar yapılmasına da zemin hazırlar. retimi ve ilk yatırım maliyeti diğer Şasi tiplerine göre oldukça düşük olduğu için yeni kurulan spor otomobil şirketleri arasında oldukça yaygındır. Bunlara rnek olarak Tesla Roadster, Venturi Fetish, Dodge EV ve Zytek Elise gösterilebilir. şekil 1.17’da gösterilen Lotus Elise şasisi, ufak değişikliklerle Tesla Roadster ve Opel Speedster gibi bazı araçlarda kullanılmıştır.



şekil 1.17 Lotus Elise küvet Şasi

1.2.1.5 Monokok (Unibody)

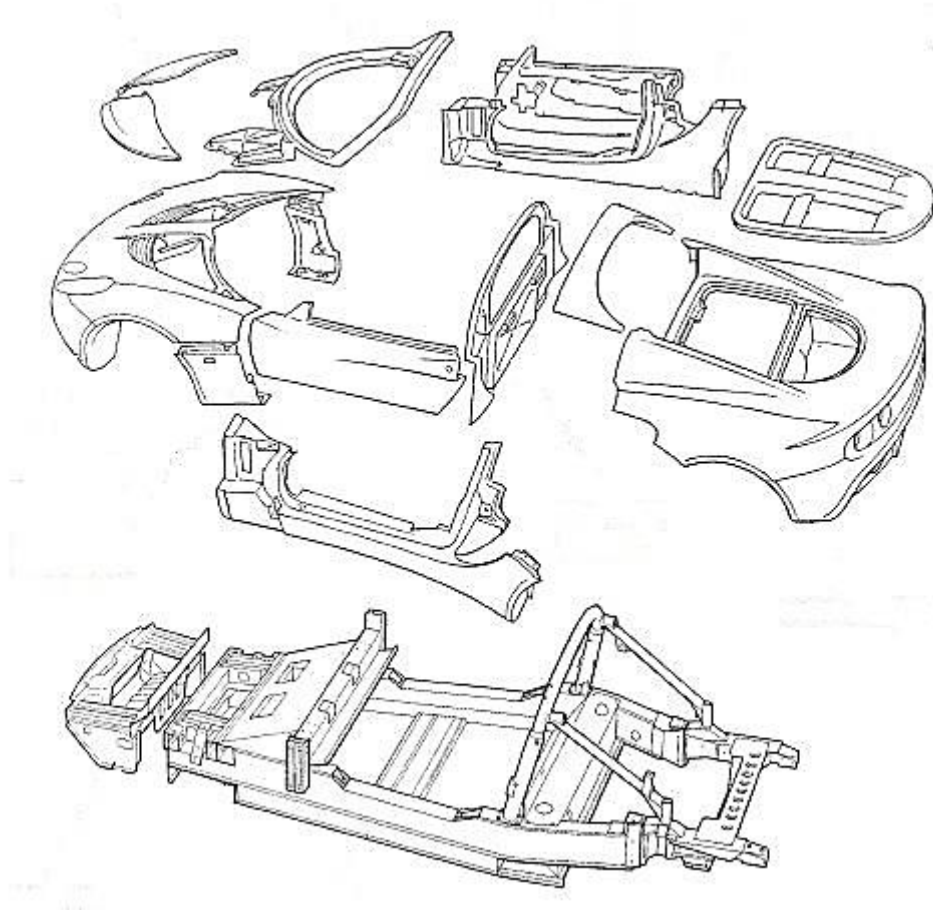
Omurga ve küvet şasi tipleri ile şaside levhalar kullanma fikri popüler bir uygulama haline gelmiştir. Fakat yine de gövdenin bağımsız olarak şasinin üzerine monte edilmesi gerekmektedir. Küvet tipi şaside aracın dış parçalarından birisi olan tabanın, düzlemsel levhalardan üretilmesi ve yük taşıyan bir eleman olarak kullanılması, aynı durumun diğer gövde panelleri için de uygulanmasını gündeme getirmiştir. Monokok şasi bu fikirden doğmuş olan, gövde panellerinin yük taşıyan şasi elemanları olarak kullanıldığı bütünleşik şasi tipidir. Şasi elemanları gövde hatlarını oluşturduğu için üretimi ve tasarımı zahmetli olsa da, yeterli direnç ve mukavemeti iç hacimden fedakârlık etmeden sağlayabildiği için yüksek adetli seri üretim için en iyi seçenektir. Bu nedenle günümüzde modern otomobillerin %99'u bu şasi tipini kullanmaktadır [17]. Fakat tasarım süreci ve üretim hattının planlanması ciddi sayıda çalışan ve yatırım istediğinden, yalnızca büyük üreticiler tarafından kullanılabilir. Monokok şasiler genelde çelik ve alüminyum gibi metallerden üretilmekteyken, Şekil 1.18'da görüldüğü gibi karbon fiber gibi fiber kompozitlerden şasi örnekleri de mevcuttur.



Şekil 1.18 Lamborghini Aventador karbon fiber monokok şasi

1.2.2 Gövde Malzeme Seçenekleri

nceki bölümde bahsedilen şasi tiplerinden Monokok haricindeki tüm şasilerin ortak özelliği, gövdeyi oluşturacak parçaların şasiye ayrıca giydirilmesi zorunluluğudur. Üretilen gövde parçaları çeşitli aparatlar ile aracın şasisine monte edilir. Body-on-frame olarak isimlendirilen bu araçların gövde panelleri çoğunlukla alüminyum, plastik ya da fiber kompozitlerinden üretilerek araca giydirilir. şekil 1.19’de Lotus Elise’nin alüminyum şasisi ve fiberden üretilen gövde panelleri gösterilmiştir.



şekil 1.19 Lotus Elise alüminyum şasi ve fiber gövde panelleri [18]

Gövde panelleri için malzeme seçeneklerinin, kendilerine has avantaj ve dezavantajları vardır. Buradaki temel parametreler, seri üretime uygunluk, prototip üretim kolaylığı ve kalıp maliyetleridir. Bir sonraki kısımda farklı malzeme seçenekleri incelenmiştir.

1.2.2.1 Alüminyum

Alüminyum, seri üretimi yapılan body-on-frame araçlarda en yaygın olarak kullanılan gövde malzeme seçeneğidir. Kullanılan gelişmiş alaşımlar ile hem dayanıklı hem de hafif paneller üretilebilmesi ve alışlageldik araç gövdesi hissiyatı vermesi alüminyum bir numaralı tercih haline getirmektedir. Çoğunlukla spor ya da lüks otomobillerde kullanılan alüminyum gövde panellerini üretmek, oldukça maliyetli kalıplar ve büyük presler gerekmektedir. Bu nedenle düşük sayıda üretimler ya da prototip çalışmaları için alüminyum gövde panelleri uygun değildir.

Ferrari, Mercedes-Benz ve Rolls-Royce markaları bazı modellerinde alüminyum gövde panelleri kullanmıştır [19]. Ayrıca Ford GT modelinde kullanılan alüminyum gövde panelleri Şekil 1.21’de gösterilmiştir [20].



Şekil 1.20 Ferrari 458 Italia alüminyum gövde panelleri



Şekil 1.21 Ford GT alüminyum gövde panelleri

1.2.2.2 Plastik

Otomobillerin tamponları, esnek yapıları sayesinde ufak kazalarda hasar almadıkları için plastikten üretilmektedir. Bazı firmalar tamponlar dışında çamurluklar gibi bazı parçaları da plastikten üretmektedir. Paslanma sorunu olmaması ve hafif olması ile öne çıkan plastikler, çeşitli nedenlerden dolayı gövde malzeme seçeneği olarak pek yaygın değildir.

Plastik gövde panelleri enjeksiyon kalıplama metodu ile üretilmektedir. Üretim için gereken çelik kalıplar alüminyum seçeneğindeki kadar pahalı olmamakla birlikte yine de karmaşık bir yapıya sahiptir. Ayrıca üretim metal preslemeye göre daha uzun sürmektedir. Plastiklerin yüksek genleşme katsayısı nedeniyle sıcaklık değişimlerindeki genleşme ve büzölmelerini imkân sağlamak için kapılar, bagaj ve birleşme yerlerindeki boşluklar daha toleranslı bırakılmak zorundadır [21].

Gövde malzemesi olarak plastik kullanımına en büyük örnek şu an faal olmayan Saturn firmasıdır. GM bünyesinde kurulan firma 1991 yılından itibaren 2009'a kadar birçok modelinde gövde malzemesi olarak plastik kullanmış fakat araçların yüzey kalitesinden memnun olmayıp plastik kullanımını bırakmıştır [22].



Şekil 1.22 Yangın sonucunda plastik panelleri deforme olmuş bir Saturn

Alman otomobil devi BMW de 1988 yılında ürettiği Z1 modelinde, tamamen plastikten gövde panelleri kullanmıştır [23]. Bu plastik

parçalar Şekil 1.23'te görülebileceği üzere araçtan herhangi bir parça gibi çıkarılıp takılabilmektedir.

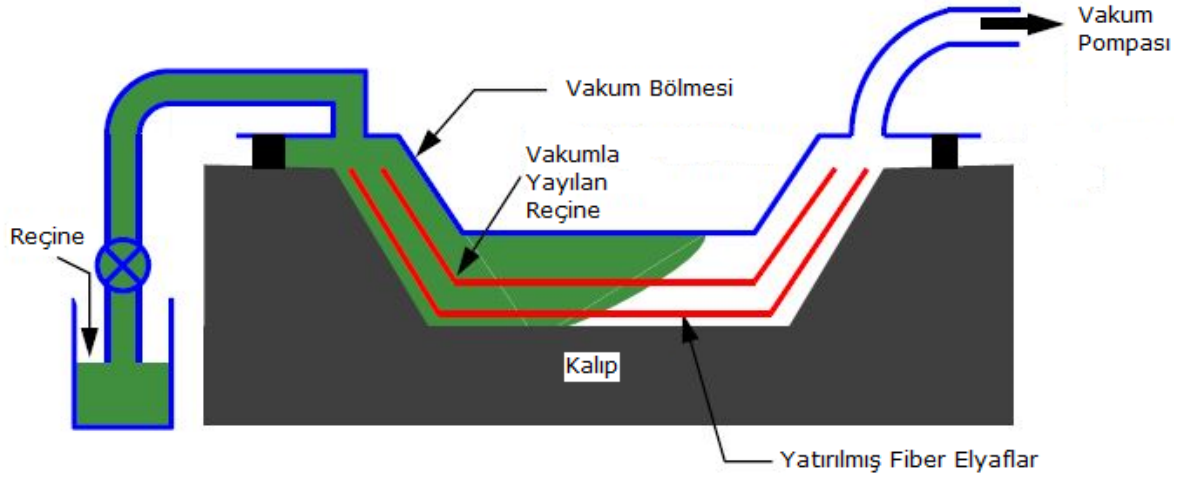


Şekil 1.23 Plastik gövde panelleri sökülmüş bir BMW Z1

1.2.2.3 Fiber Kompozitler

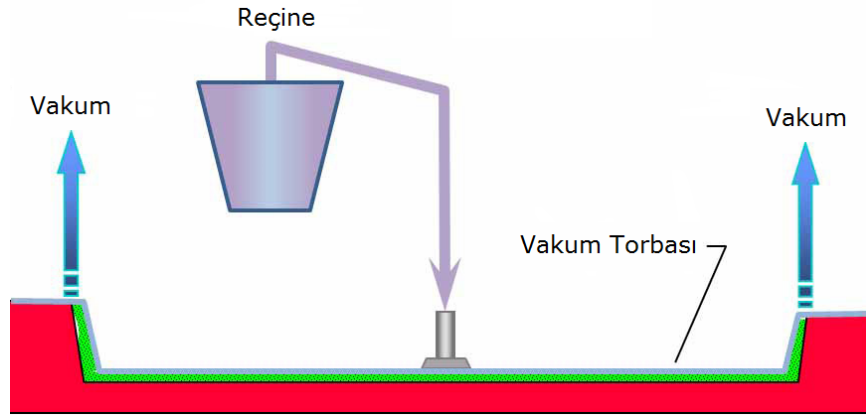
Fiber kompozitler ise bir diğer ayrı gövde malzemesi seçeneğidir. Fiber kompozitlerin en büyük avantajı, diğer seçeneklere nazaran ilk üretim maliyetinin daha düşük olmasıdır. Bunun temel sebebi panelleri üretmek için gereken kalıpların ahşap, farklı fiber kompozitler ya da köpük benzeri malzemelerden üretilebiliyor olmasıdır. Üstelik fiberin oldukça hafif olması da büyük bir avantajdır. Bu nedenle çok adetli seri üretimi yapılmayan spor otomobiller için çok uygundur. Fakat bununla birlikte fiber paneller yüksek el işçiliği gerektirdiği için çıkan ürünler birbirinin kusursuz olarak aynısı değildir ve bu nedenle yüksek adetli seri üretim için elverişsizdir.

Seri üretim için gerekli ürün benzerliği, yüzey ve tolerans hassasiyetleri, karmaşık tasarım imkânı ve hızlı üretim RTM (Resin Transfer Molding) teknolojisi ile sağlanabilmektedir. RTM, fiber kumaşların el ile kalıba yatırılması yerine iki parçalı bir kalıp içerisinde yatırılmasına dayanır. Vakum altındaki kalıba reçine pompalanarak homojen bir dağılım elde edilir. RTM'in proses şeması Şekil 1.24'te gösterilmiştir. Bu şekilde yapılan üretim hem iki yüzü de pürüzsüz ürün verirken hem de tasarıma üçünü boyut katılmasına olanak tanır. Fakat RTM için de plastik enjeksiyonda olduğu gibi çelik ya da alüminyum kalıplar gerekmektedir ve bu yüzden maliyet artmaktadır. Prototip çalışmalarından çok orta ölçekli fiber gövde üretimleri için uygundur.



Şekil 1.24 VARTM proses şeması

Şekil 1.25'da proses şeması gösterilen vakum infüzyon, ya da Light RTM adı verilen üretim tekniği ise genel hatları ile RTM'e benzemek ile birlikte, üst kalıp olarak katı bir cisim yerine bir vakum torbasının kullanıldığı tekniktir. Bu teknik yüzey kalitesinden feragat etmeden metal kalıp kullanma zorunluluğunu ortadan kaldırdığı ve maliyetleri düşürdüğü için düşük ölçekli prototip çalışmaları için idealdir [24].



Şekil 1.25 Vakum infüzyon proses şeması

Fiber kompozit gövdeli otomobillerin öncüsü Chevrolet Corvette'dir. 1954 yılında üretilen araç, seri üretime geçmiş fiber kompozit gövdeli ilk otomobil olma unvanına sahiptir [25]. İngiliz Lotus firması da 60'lı yıllardan itibaren fiber kompozit gövdelere sahip spor otomobiller üretmektedir.



Şekil 1.26 Boyanmış Lotus Elise fiber kompozit body panelleri

McLaren, Lamborghini ve Aston Martin gibi lüks otomobil üreticileri tarafından hafifliği ve dayanıklılığı sebebiyle gövde panellerinde karbon fiber kullanılmaktadır. Ayrıca 2014'te üretilen BMW i3, lüks sınıf dışında çoğunlukla karbon fiber gövde panellerine sahip olan ilk otomobildir [26].

Karbon fiber kompozit paneller, neredeyse tamamen karbon atomlarından oluşan karbon liflerden üretilen karbon fiber kumaşların, epoksi reçine ile sertleştirilmesi ile üretilir. Karbon fiber kumaşlar, liflerinin diziliş şekline göre "plain" (düz) ve "twill" (fitilli) olarak isimlendirilir. Ayrıca kumaşın birim alanının ağırlığına göre (200 gr/m² gibi) farklı seçenekler mevcuttur.

1.3 Gövde Tasarım Felsefesi

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, tasarımı yüksek adetli seri üretime yönelik olarak yapılan otomobillerde şasi ve gövdenin üretimi endüstri standardı haline gelen metotlar ile yapılmaktadır. Fakat daha düşük ölçekli üretimlerde ve prototip çalışmalarında çeşitli çözüm yolları bulunmaktadır. Üretilen otomobilin tasarım felsefesine ve hizmet edeceği ihtiyaca göre bu çözüm yolları arasından en uygun olanının seçilmesi önem taşımaktadır.

EVT S1'in en önemli sıfatları "elektrikli" ve "spor" bir otomobil olmasıdır. Bu nedenle şasi tipi seçimi yapılırken, seçilen şasinin bu sıfatların gerektirdiği özellikleri taşımaya uygun olması en önemli konulardan biri olmuştur. Örneğin modern bir spor otomobilin merdiven şasi kullanılarak üretilmesi araç dinamiği açısından uygun olmayacaktır.

Spor bir otomobilin şasisinin yüksek burulma direnci sağlaması gerekmektedir. Elektrikli bir otomobilin şasisinin, belirli güvenlik kriterlerini sağlayacak sınırlar içerisinde mümkün olduğunca hafif olması gerekmektedir. Prototip ya da düşük adetli üretim amacıyla tasarlanan bir otomobilin şasisinin yüksek yatırım maliyetlerine neden olmadan, piyasadan tedarik edilebilen profiller/levhalar gibi malzemeler ile üretilmesi gerekmektedir. Tüm bu gereksinimler göz önünde bulundurulduğunda, 1.2.1 başlığında özetlenen şasi tipleri arasından en uygun olanın alüminyum malzeme ile üretilen küvet şasi tipi olduğu görülecektir.



Küvet şasi tipi kullanmanın getirdiği zorunluluklardan birisi de gövdenin şasiden tamamen bağımsız parçalardan üretilerek araca sonradan giydirilmesidir. Bu nedenle 1.2.2 başlığında özetlenen malzeme seçenekleri arasından tercih yapılmalıdır. Bu tercihin yapılmasındaki en belirleyici parametre ise “gerçekleştirilebilirlik”tir. EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş. için gerçekleştirilebilirlik; yapılan seçimin oldukça yüksek maliyetli cihazlar/makinalar, tasarımı ve üretimi için ciddi sayıda personel ve teknik altyapı gerektiren kalıplar, olası tolerans hataları ya da parçalar arası uyumsuzluklar gibi durumlarda sonradan müdahale imkânı tanımayan malzemeler gibi sıkıntılara neden olmaması anlamına gelmektedir.

Gövde malzemesi olarak plastik ve alüminyum kullanmak, en önemlisi maliyet olmak üzere yukarıda belirtilen sıkıntıların bir kısmını beraberinde getirecektir. Bu nedenle fiber kompozit malzeme kullanılması uygun bulunmuştur. Ağırlığı mümkün olduğunca azaltmak ve daha yüksek kalite hissi için karbon fiber elyaf kullanılması tercih edilmiştir. Üretim metodu olarak da 1.2.2.3 başlığında belirtilen sebeplerden dolayı vakum infüzyon (Light RTM) tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Dünya literatüründe, EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş.’nin S1 projesi ile ulaşmak istediği hedeflere yakın amaçlarla yola çıkan birçok firmanın da üretimlerinde alüminyum küvet şasi tipi ve kompozit gövde kullanması bu tercihlerin doğruluğunu teyit eder niteliktedir.

2. İLK MODELLEME

2.1 Ana Modelin Oluşturulması

Bu tezde, EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.ř.‘de tasarlanıp üretilen EVT S1 adlı prototip elektrikli otomobilin gövde tasarım ve üretim felsefesi ele alınmıştır. Aracın şekil 1.1‘de görüldüğü üzere ciddi bir mühendislik ile şasi, süspansiyon, fren, direksiyon ve aktarma sistemleri tasarlanmış olup, aracın genel yapısına uygun özgün bir gövde tasarlanılması planlanmıştır.



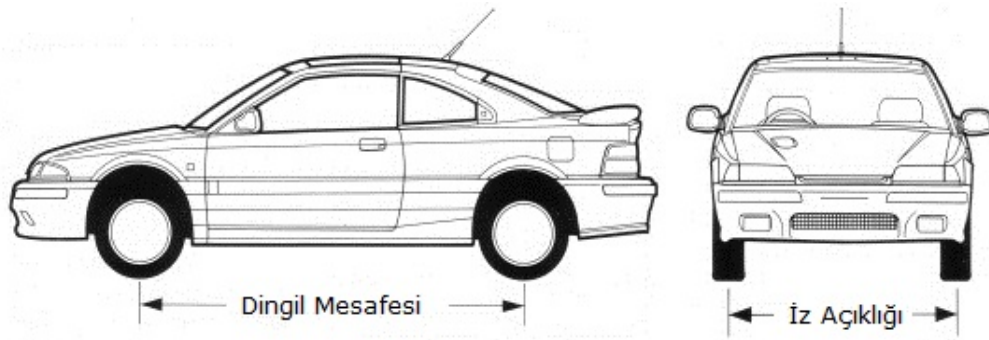
şekil 2.1 EVT S1 prototip elektrikli otomobil şasisi

2.1.1 Kısıtlar

Otomobil tasarımı, estetik kaygılar ve teknik limitler ile çerçevelenen bir prosestir. Tasarımın ana hatlarını belirlemek için yapılması gereken ilk iş, teknik limitleri ve kısıtlamaları belirlemektir. Bu nedenle çalışmalara ilk olarak bu kısıtların neler olduğunu belirlemek ve bunlara göre gzmler üretilerek başlanmıştır.

2.1.1.1 Boyutlandırma

Tasarıma başlamak için gereken ilk parametre, dingil mesafesi (wheelbase) ve iz açıklığı (track width)'dir. Şekil 2.2'de gösterildiği üzere, dingil mesafesi ön tekerleklerin merkezi ile arka tekerleklerin merkezi arasındaki mesafe iken iz açıklığı ise aynı teker grubundaki (ön ya da arka) tekerlerin birbirleri arasındaki mesafe anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2 Dingil Mesafesi ve İz Açıklığı

Bu iki önemli parametre, yıllar içerisinde yapılan çalışmalar ve denemeler ile otomobil üreticileri tarafından belli otomobil segmentleri için optimize edilmiştir. EVT S1'in dingil mesafesi ve iz açıklığı belirlenirken de, benzer spor araçların değerlerinden yararlanılmıştır. EVT S1'e piyasadaki en yakın otomobiller Porsche Cayman ve Lotus Elise'dir. Bu otomobillerin dingil mesafesi ve ön/arka iz genişliği değerleri ile bunların oranları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

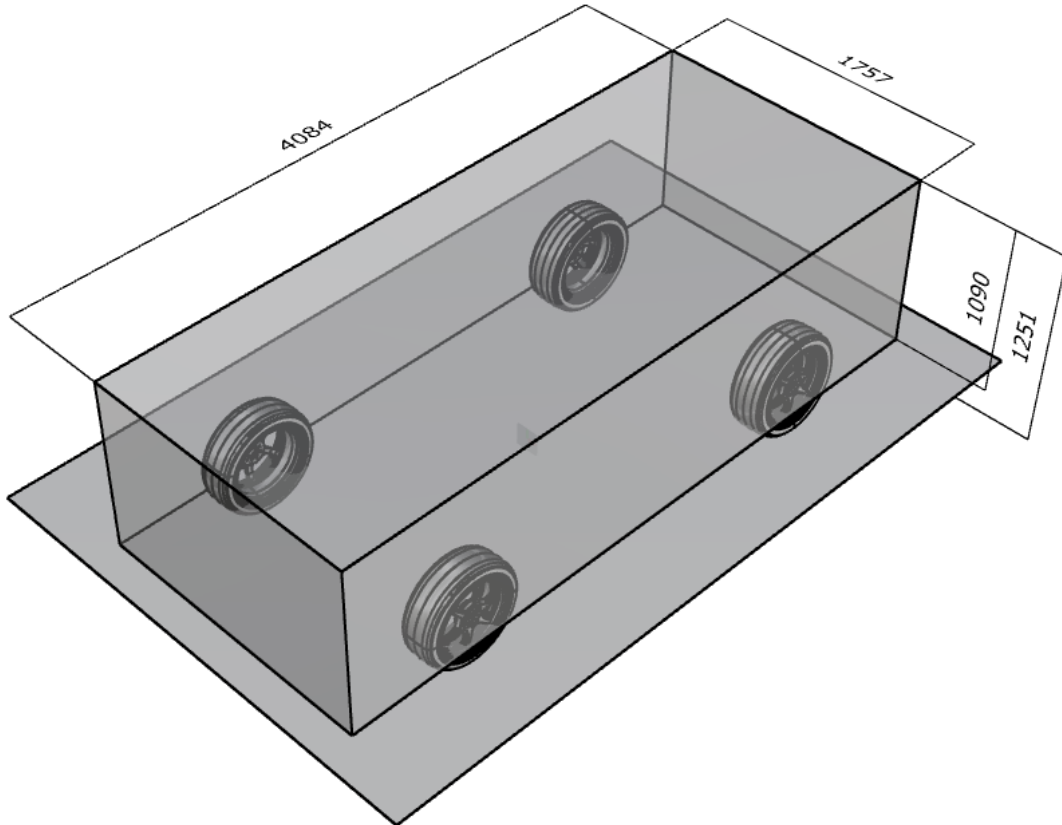
Araç	Dingil Mesafesi (mm)	Ön İz Genişliği (mm)	Arka İz Genişliği (mm)	Oran
Lotus Elise	2300	1440	1453	1,590
Porsche Cayman	2473	1526	1537	1,615
EVT S1	2400	1500	1500	1,600

Şekil 2.3 EVT S1 ve benzer otomobillerin dingil mesafesi ve iz genişliği değerleri ile bunların oranları

Bu değerler belirlendikten sonra, şasi ve şüspansiyon tasarım bölümleri aracın lastiklerinin önde 205/45/R17 ve arkada 225/45/R17 olarak kullanılması gerektiğini kararlaştırmıştır. Aracın uzunluğu, genişliği ve yüksekliği de şekil 2.4'te gösterildiği üzere benzer şekilde belirlenerek şekil 2.5'te gösterildiği şekilde tasarımın ilk adımı atılmıştır.

Araç	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
Porsche Cayman	4379	1801	1293
Lotus Elise	3726	1701	1202
EVT S1	4084	1757	1251

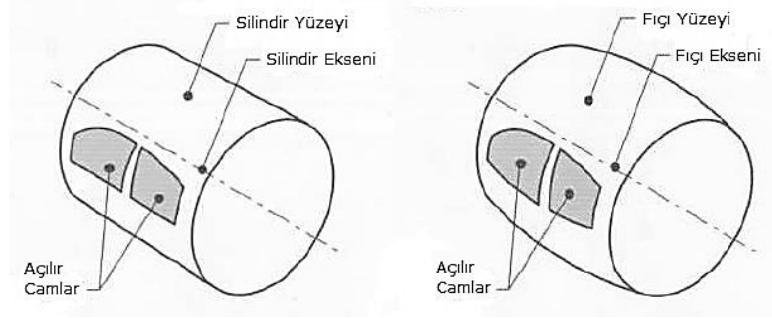
şekil 2.4 EVT S1 ve benzer otomobillerin uzunluk genişlik ve yükseklik ölçüleri



şekil 2.5 EVT S1'in dış sınırları

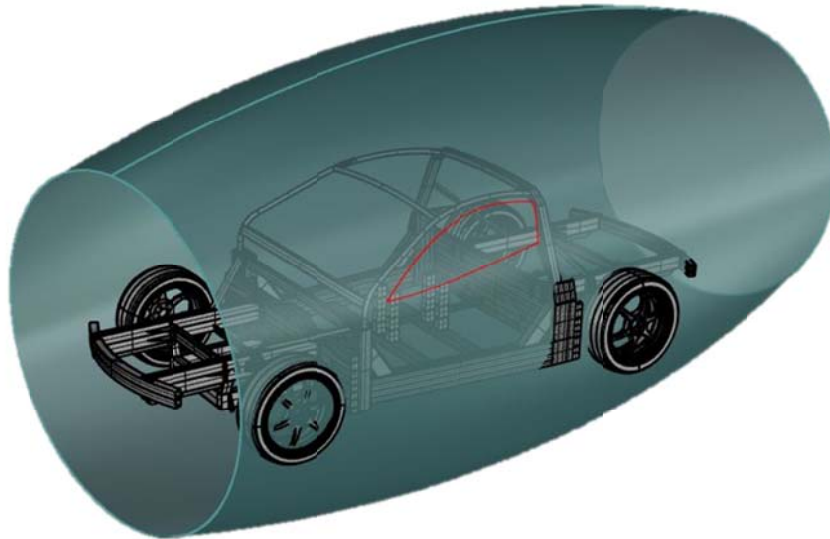
2.1.1.2 Yan Camların Açılma Önkoşulu

Otomobillerdeki yan camlar, fiziksel olarak sıkışmadan açılıp kapanma işlevini görebilmeleri için mutlaka bir silindir ya da fıçı şeklinin üzerinde bulunmalıdırlar [27]. Şekil 2.6’de gösterilen bu durum tasarımın en başında dikkat edilmez ise ilerleyen aşamalarda ciddi sıkıntılara neden olabilecek bir kısıtlamadır.



Şekil 2.6 Yan camların açılıp kapanması için gereken şartlar [27]

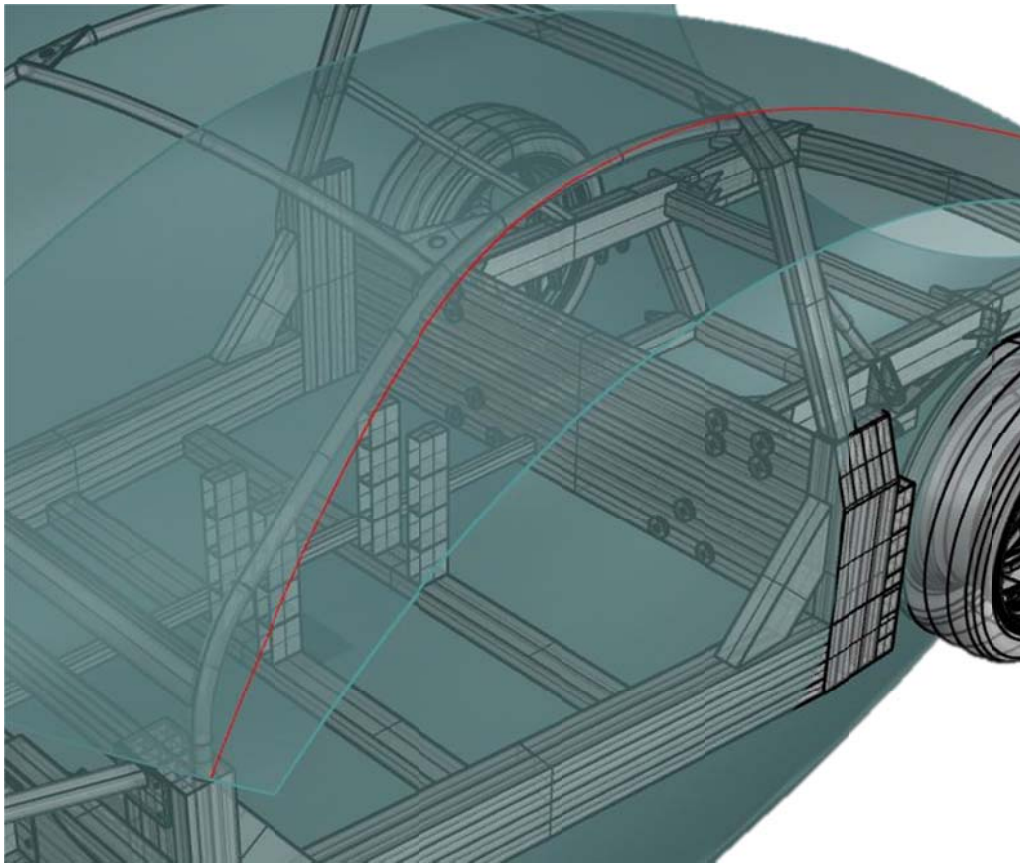
Bu nedenle otomobilin yan yüzeylerine bir referans oluşturabilmek amacıyla ilk olarak bu yüzey oluşturulmuştur. Aracın aerodinamik yapısına daha uygun olacağı ve arka kapıların olmadığı düşünülerek silindir yerine fıçı şekli uygun görülmüştür.



Şekil 2.7 Yan camların açılması için oluşturulan fıçı yüzeyi

2.1.1.3 A Sütunu

Fıçı yüzeyi oluşturulduktan sonra yapılması gereken bir diğer işlem de aracın A sütunu olarak isimlendirilen kısmının, şasinin kabin kafes yapısındaki A sütununun etrafını sarmasını sağlamaktır. Bu şekilde, kabin kafes yapısı ile araç gövdesi arasındaki mesafeyi A sütunu boyunca kabul edilebilir bir değerde kalmasını sağlayacak şekilde üst yüzey oluşturulmuştur. Gövde A sütunu çizgisi ve kabin kafes yapısı A sütunu arasındaki ilişki Şekil 2.8’da gösterilmiştir.

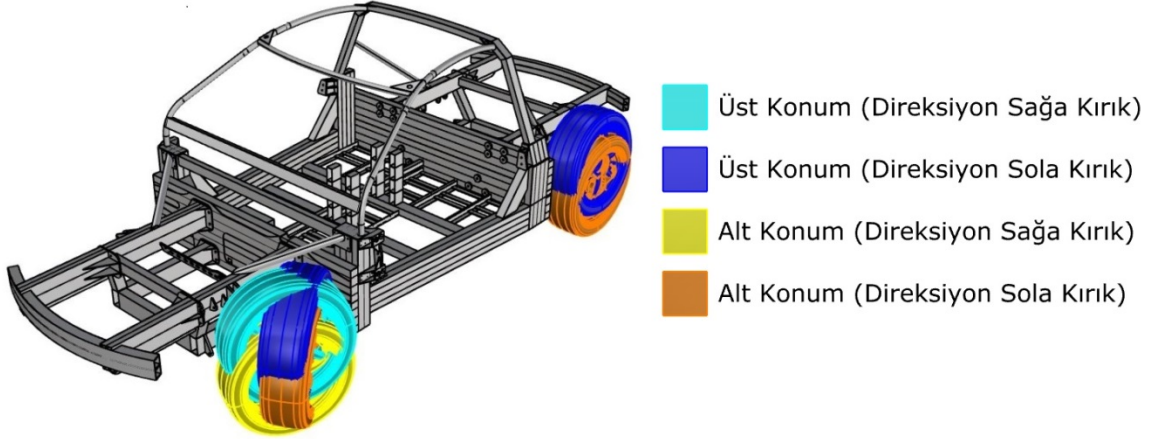


Şekil 2.8 Gövde A sütunu çizgisi ve kabin kafes yapısı A sütunu arasındaki ilişki

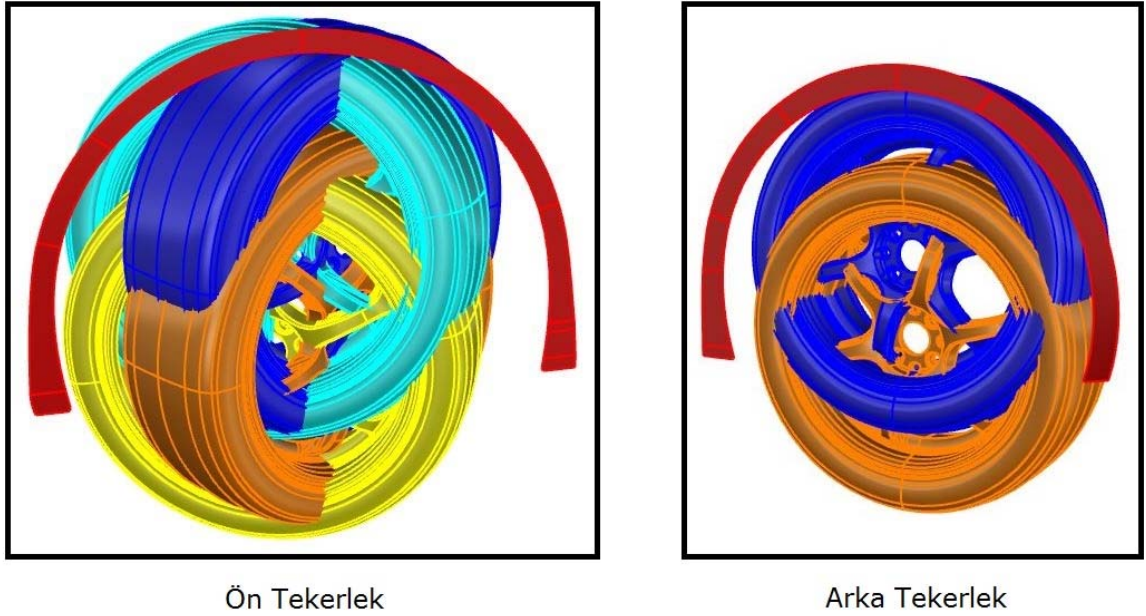
2.1.1.4 Çamurluk Ağızları

Aracın lastiklerinin etrafını saran, çamurlukların başladığı yüzeylere çamurluk ağızları adı verilmektedir. Çamurluk ağızları ile tekerler arasındaki boşluğun mümkün olduğunca az olması her ne kadar popüler bir trend olsa da (hatta bu boşluk tasarım camialarında “dead cat hole”

olarak isimlendirilmiştir [28]), aracın süspansiyon ve ön tekerlerde direksiyon sistemleri tarafından belirlenen teker hareketlerine izin verecek kadar geniş olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da gösterildiği üzere, tekerlerin limit koşullardaki (maksimum süspansiyon ve direksiyon strokları) konumlarına istinaden çamurluk ağızları belirlenmiştir.



Şekil 2.9 Tekerlerin limit koşullardaki konumları



Şekil 2.10 Çamurluk ağızlarının konumları

2.1.2 Ana Hatların Belirlenmesi

Otomobil tasarımı, estetik unsurların oldukça ön planda olduğu bir alan gibi görünmekle birlikte mühendislik gereklilikleri ve fiziksel gerçeklikler ile sınırlanmıştır. Bu estetik unsurlar ve mühendislik gereklilikleri; kullanıcı konforu, güvenlik, ergonomi, iç hacim ve ekonomik kaygılar ile birleşerek otomobil tasarımının temel dayanaklarını oluşturmaktadırlar.

Spor otomobillerde 1930'lu yıllardan günümüze kadar evrilerek süregelen bazı karakteristik özellikler vardır. Bunların bir kısmı mühendislik gerekliliklerinden doğan tasarımlara oluşan göz aşinalığından kaynaklanmaktadır. Örneğin ağırlık merkezinin yere yakın olması aracın performans özelliklerini iyileştirmek için gereken bir zorunluluktur ve spor araçların kabinlerinin sıradan araçlara göre oldukça alçak olması geleneği buradan kaynaklanmaktadır.



a



b



c

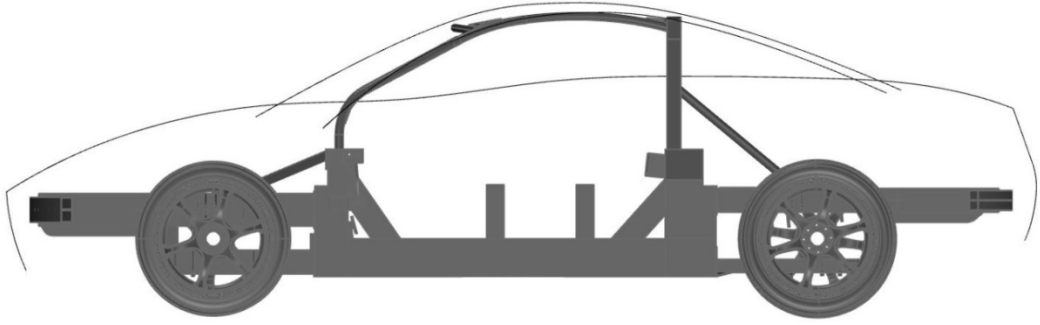


d

Şekil 2.11 Bazı önemli spor otomobiller:

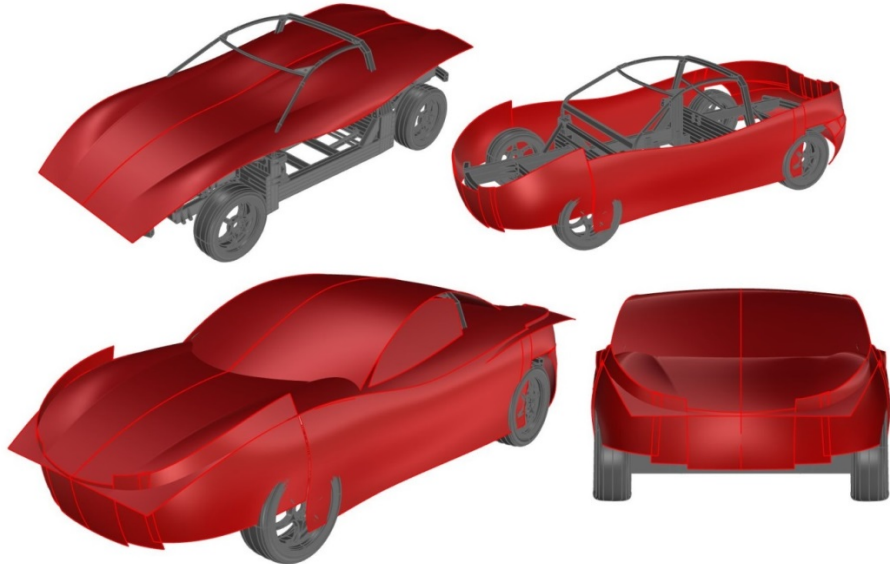
- a) 1954 Mercedes-Benz 300SL b) 1993 Porsche 911 Turbo
c) 2001 Ferrari 360 Modena d) 2015 Chevrolet Corvette

EVT S1'in gövde ana hatları belirlenirken bu karakteristik özelliklerin yanı sıra aracın elektrikli olmasından kaynaklanan sadelik ve modernlik ile agresif bir spor otomobilin çizgileri birleştirilmek istenmiştir. Aracın ana hatları Doç. Dr. Engin TANIK, Doç. Dr. Volkan PARLAKTAŞ ve Yük. Müh. Raşit KARAKUŞ danışmanlığında belirlenmiştir. İşe ilk olarak Şekil 2.12'de görülebileceği üzere aracın yan görünümünden ana hatları belirlenerek başlanmıştır.



Şekil 2.12 Yan görünümünden ana hatları belirleyen çizgiler

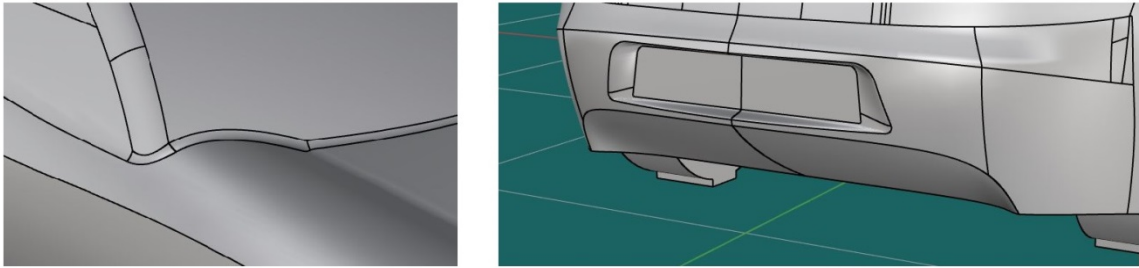
Bu çizgilere üçüncü boyutlar eklenerek üzerinde çalışabilmek için Şekil 2.13'te gösterildiği şekilde aracın ana yüzeyleri oluşturulmuştur.



Şekil 2.13 EVT S1 için oluşturulan ana yüzeyler

2.2 Aerodinamik Yapı

Ana yüzeyler oluşturulduktan sonra, aracın detay modellemesine geçilmeden önce bu yüzeylerin aerodinamik olarak uygun olduğunu teyit etmek amacıyla akış analizi yapılması gerekmiştir. Analizler Yük. Müh. Göktuğ Burak ÇALIK tarafından yapılmıştır. Bu analiz için öncelikle yapılan tasarım taslak olarak kapalı bir yüzey haline getirilmiştir. Kapalı yüzey oluşturulurken Şekil 2.14'te gösterildiği üzere aracın aerodinamik yapısını etkileyecek bazı ufak detaylar (sivri köşelerin yumuşatılması, arka tampona difüzör eklenmesi gibi) eklenerek daha gerçekçi bir model elde edilmiştir.



Şekil 2.14 Aerodinamik modeli iyileştirmek için eklenen bazı detaylar

Otomobillerde oluşan hava direncini düşürmek için aracın taban kısmı mümkün olduğunda düzlemsel parçalar ile kapatılmalıdır. Ferrari'nin F50 ve Enzo modellerinin alttan görünüşleri Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Bu kısımların düzlemsel parçalar ile kapatılması C_d değerinde %1 ile %7 arasında bir düşüş sağlayacaktır [29].



Şekil 2.15 Ferrari F50 ve Enzo modellerinin alttan görünüşü

Bu nedenle EVT S1'in şasisinin küvet modülünün tabanı da tamamen düz olarak tasarlanmış ve ilerleyen aşamalarda oluşacak boşlukların da düzlemsel parçalar ile kapatılması kararlaştırılmıştır. Bu doğrultuda analiz için hazırlanan modelin taban kısmı düzlemsel olarak kapatılmıştır. Tüm bu eklemelerin amacı, yapılan analiz ile elde edilen sonuçların doğruluğunu arttırmaktır. Aracın akış analizine giren kapalı modeli Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Akış analizi için hazırlanan model

2.2.1 Analiz Sonuçları

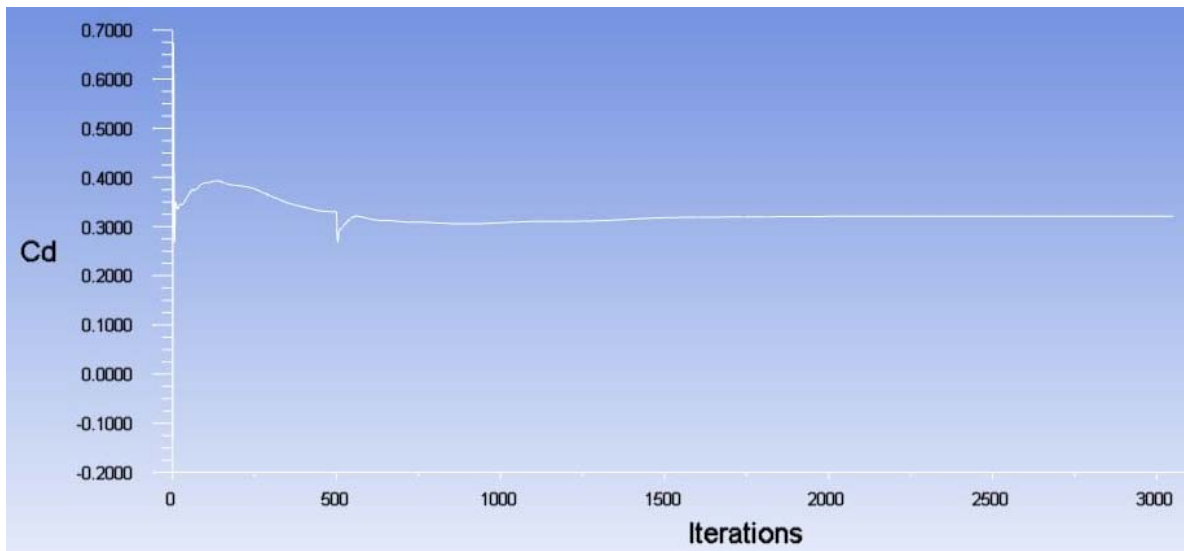
Aracın aerodinamik analizleri bilgisayar ortamında Fluent adlı yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile aracın üzerinde oluşan aerodinamik kuvvetlerin katsayıları ve basınç dağılımı bulunmuştur. Bu değerlerden en kritik olanı C_d ile gösterilen sürtünme katsayısıdır.

Araçlara etki eden aerodinamik kuvvetlerden en büyüğü, serbest akış hızına ve yere paralel, taşıtın ileri hareket yönüne zıt yöndeki direnç kuvvetidir. Bu kuvvet herhangi bir hızdaki bir araç için aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

$$F_d = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_d * A \quad (1)$$

F_d : Sürtünme kuvveti, ρ : Hava yoğunluğu (1,255 kg/m³), V : Aracın hızı, C_d : Sürtünme katsayısı, A : Aracın kesit alanı

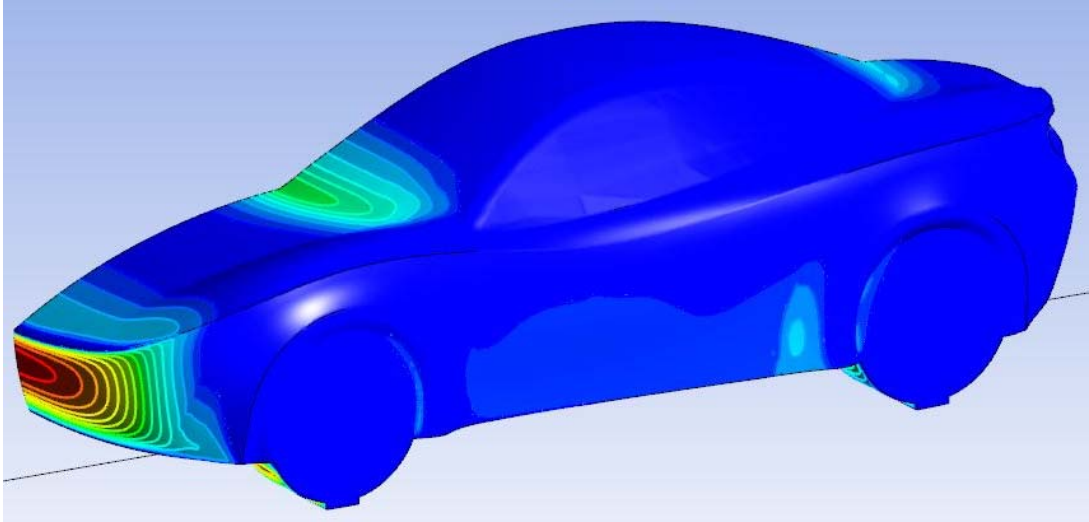
Bu denklemden de görülebileceği üzere, aracın $C_d A$ değeri sürtünme kuvvetini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Yapılan analizler sonucunda aracın sürtünme katsayısı Şekil 2.17’de gösterildiği üzere 0,3 olarak tespit edilmiştir.



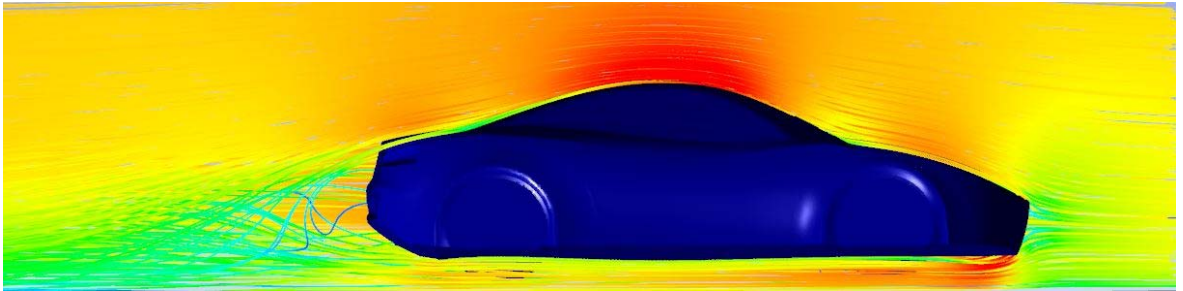
Şekil 2.17 Analiz sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı

Bu değerin Tesla Roadster için 0,35 ve Porsche Cayman için 0,3 olduğunu göz önünde bulundurursak, 0,3 değeri oldukça kabul edilebilir bir değerdir. Ayrıca aracın en geniş kesit alanı $1,78 \text{ m}^2$ 'dir, bu da $0,534 \text{ m}^2$ gibi bir $C_d A$ değerine işaret etmektedir. Aynı değerin Lotus Elise için $0,59 \text{ m}^2$, Smart Roadster Coupe için $0,596 \text{ m}^2$, Tesla Model S için $0,576 \text{ m}^2$ ve Mazda RX7 için $0,553 \text{ m}^2$ olduğu düşünülürse bu değerin de oldukça uygun olduğu söylenebilir.

Analizlerden elde edilen bir diğer sonuç ise basınç dağılımıdır. Aracın üzerinde oluşan basınçlar Şekil 2.18'de gösterildiği şekilde ön tampon bölgesinde ve ön cam başlangıcında yoğunlaşmaktadır. Aracın üzerinden akan havanın akış çizgileri Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Akış çizgilerinde de beklenmedik bir durumun olmadığı gözlemlenmiştir.

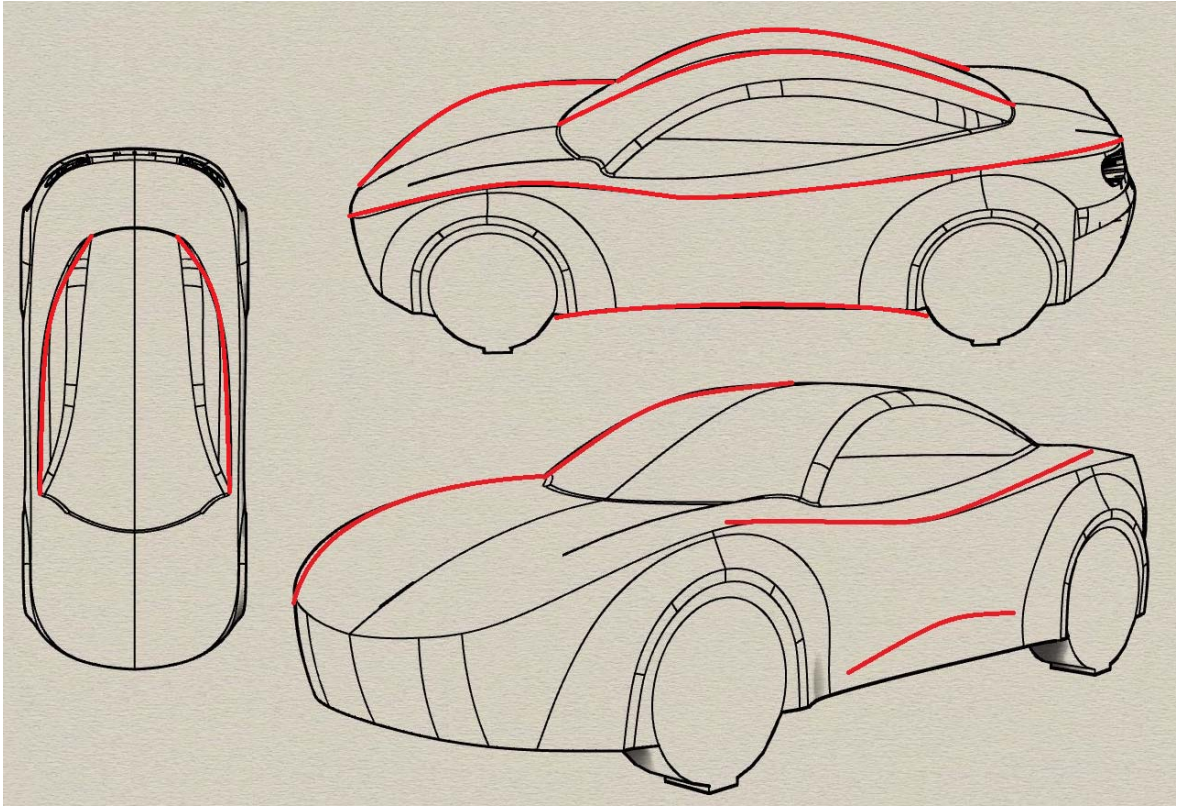


Şekil 2.18 Aracın üzerinde oluşan basınç dağılımı



Şekil 2.19 Hava akış çizgileri

Analizde elde edilen değerlerin başarılı olmasının temel sebebi, tasarımın ilk modelleme sürecinde genel otomobil aerodinamik ilkelerine bağlı kalınmasına özen gösterilmiş olmasıdır. Şekil 2.20’de gösterildiği üzere, kabinin üst görünüşte arkaya doğru daralarak damla formunu alması, ön ve arka camlar ile kaput yüzey geçişlerinin eğimlerinin mümkün olduğunca yumuşak verilmesi, aracın omuz hattının ve burun kısmının konumlandırılması bu çalışmalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca C_dA değerinin düşük çıkmasındaki temel faktör de aracın kesit alanının mümkün olduğunca düşük tutulmaya çalışılmış olmasıdır.



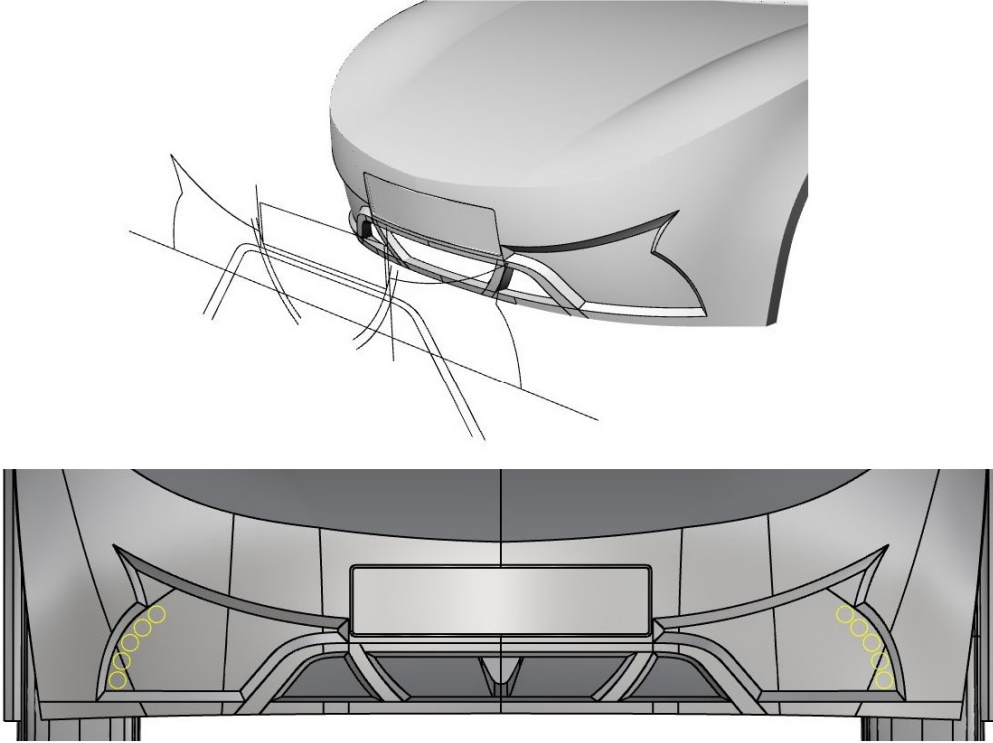
Şekil 2.20 EVT S1’in aerodinamik yapısını iyileştiren karakteristik çizgileri

3. İLERİ MODELLEME

3.1 Detaylandırma Çalışmaları

Akış analizi sonucunda ortaya çıkmış olan aracın temel hatları uygun bulunmuş ve modelin detaylandırılması sürecine girilmiştir. Bu kısımda modelin çeşitli bölgelerine detaylar eklenerek son ürüne yaklaşmak hedeflenmiştir.

Detaylandırma çalışmalarına ilk olarak ön ve arka tamponlardan başlanmıştır. Ön tampon, hem aracın karakteristik yüzünü oluşturan detayları hem de bazı aydınlatma elemanlarını (farlar ve gündüz ledleri) taşıması açısından tasarımda önemli bir rol oynamaktadır. Ön tampon detayları için Yük. Müh. Raşit KARAKUŞ'un danışmanlığında ana hatlar belirlenerek Şekil 3.1'de gösterilen taslak modeller oluşturulmuştur.



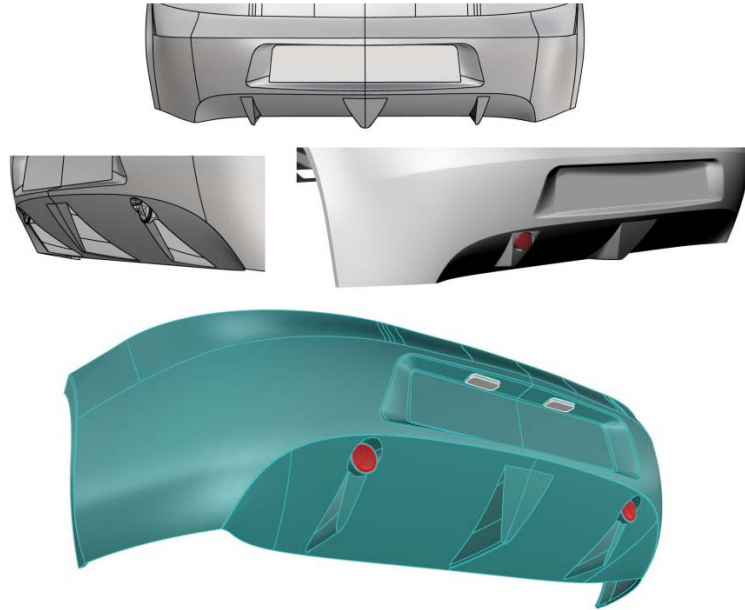
Şekil 3.1 Ön tampon için yapılan taslak çalışmalar

Yapılan taslak çalışmalar estetik olarak yüzey geçişlerine ve kalıp alarına dikkat edilerek yeniden şekillendirilmiş ve tampona nihai şekli verilmiştir. Bu aşamada kullanılacak led gündüz farlarının teknik çizimlerine uygun olarak led yuvaları oluşturulmuş ve Avrupa standartlarına uygun şekilde plakalık kısmı güncellenmiştir.



şekil 3.2 Tamamlanan n tampon tasarımı

Arka tampon için de benzer bir süreç uygulanmıştır. İlk olarak çizilen taslak tasarımlar üzerinden hatlar belirlenmiş ve difüzör, sis farı ve geri vites lambası, plakalık kısmı ve plaka aydınlatma ışıkları eklenmiştir.



şekil 3.3 Arka tampon taslak çalışmaları ve nihai ürün

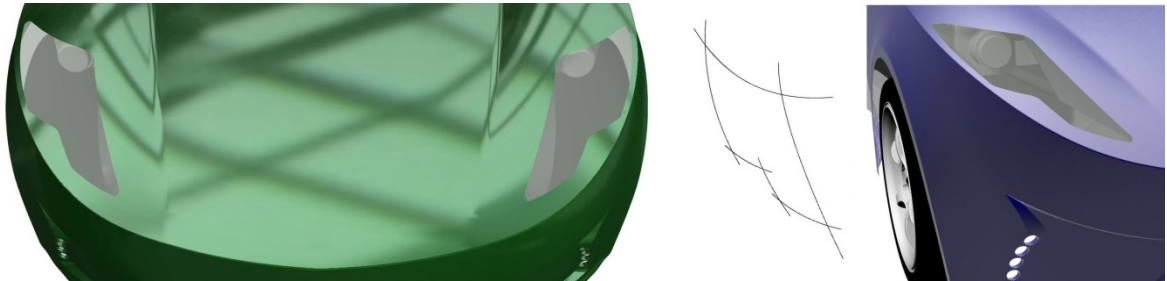
Bu işlemlerden sonra aracın far ve stop lambaları konumlandırılmıştır. Yüksek adetli seri üretim amacıyla tasarlanan otomobillerde far ve stop lambaları maliyetli bir tasarım ve kalıplama sistemi ile üretilirken, prototiplerde ve düşük adetli üretim hedeflendiğinde hazır ürünlerin kullanılması yegâne çözümdür. Bu nedenle far ve stop lambaları için Şekil 3.4'te gösterilen piyasadan temin edilebilen hazır ürünler seçilmiş, bu ürünler tasarlanan yuvalar ile aracın estetiğine uyarlanmıştır.



Şekil 3.4 Kullanılan Led Far ve Stop Lambaları

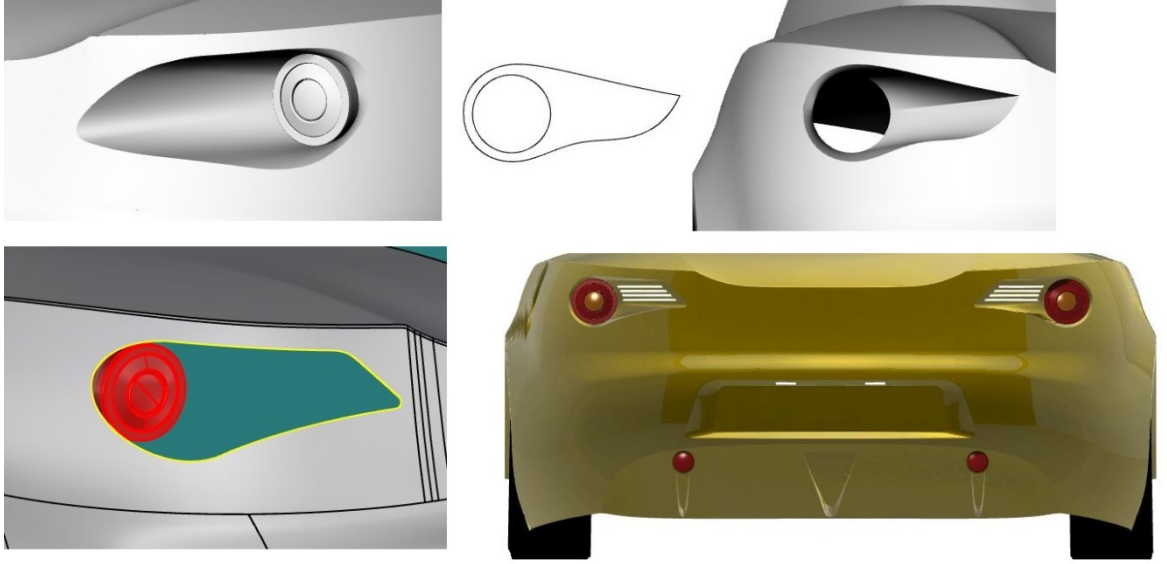
Far ve stop gibi aydınlatma elemanlarının konumlandırılması ile ilgili Avrupa, Amerika ve Türkiye menşeli birçok standart bulunmaktadır. Bu standartların hepsine uyum sağlamanın en kesin yolu olarak hâlihazırda bu pazarların hepsinde satılan otomobillerin far ve stop konumlarına bakılmış ve bu ölçülere (yükseklik, üniteler arası konum, genel lokasyon vs.) uygun bir tasarım yapılmıştır.

Farların oluşturulması için yapılan taslak çizimler arasından estetik ve teknik olarak en uygunu seçilerek uygulanmıştır.



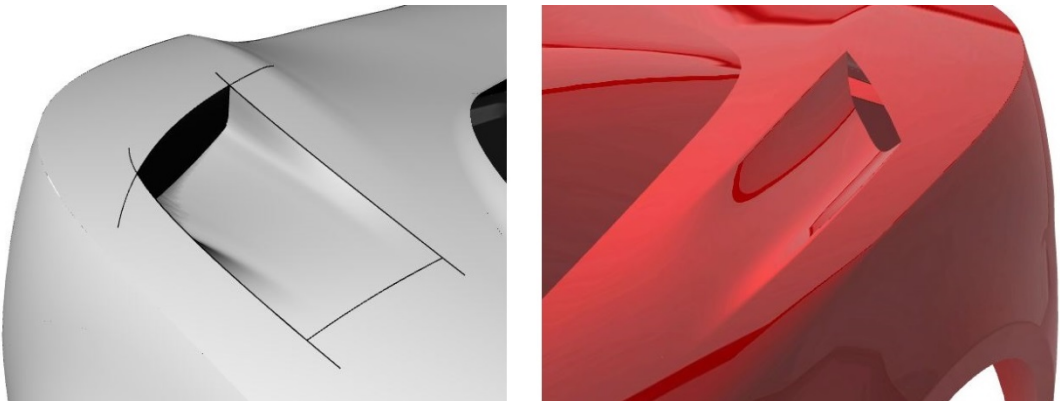
Şekil 3.5 Farlar için yapılan çalışmalar ve tasarımın son hali

Şekil 3.6’da gösterildiği üzere benzer bir prosedür stoplar için de uygulanmıştır. Stop lambalarının yanlarındaki hava tahliye boşlukları, aracın soğutma sisteminde kullanılan radyatörler için gereken havanın tahliyesi için açılmıştır.



Şekil 3.6 Stoplar için yapılan çalışmalar ve tasarımın son hali

Hava girişi için aracın akış analizinde havanın kırılma noktalarından olan arka omuz bölgesi seçilmiştir. Buradan geçen havanın radyatörlerden geçerek yukarıda bahsedilen açıklıklara kanalize edilmesi planlanmıştır. Ayrıca Şekil 3.7’de gösterilen bu kanal vasıtasıyla aracın estetik yapısına da agresif bir hava katılmıştır.



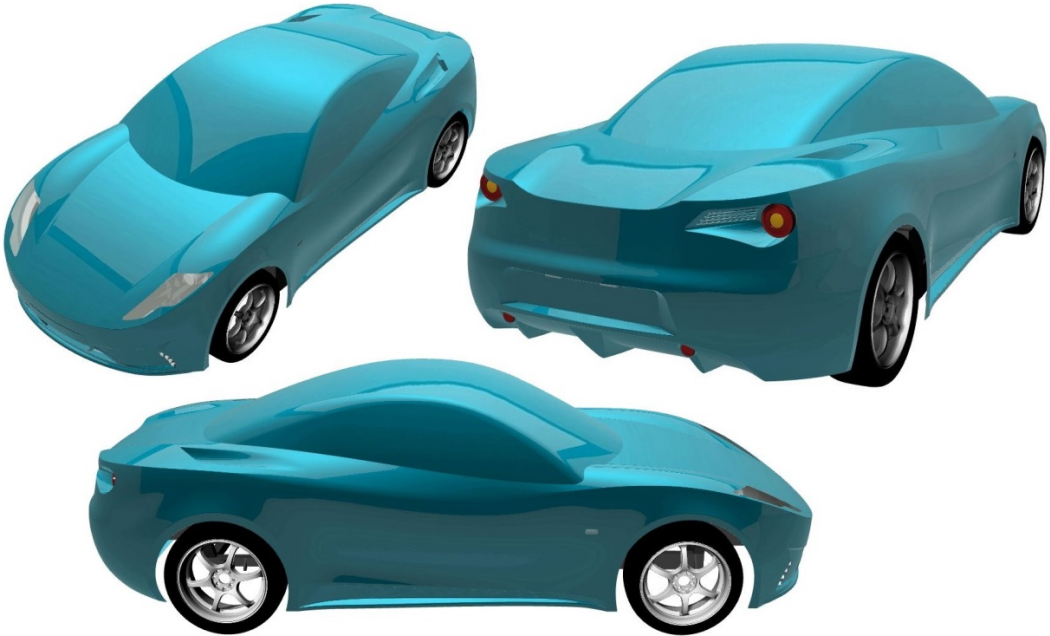
Şekil 3.7 Hava girişi için açılan kanal

Bu işlemlerden sonra aracın marşpiyel kısmı Şekil 3.8’de gösterildiği şekilde detaylandırılmıştır. Bu detay ile hem yan hatta estetik bir görünüm yakalanmış, hem de kapı bölgesinin alt kısmına daha agresif bir görünüm kazandırılmıştır. Aracın omuz çizgisi de kapı bölgesinde yumuşatılarak görünüm iyileştirilmiştir.



Şekil 3.8 Detaylandırılan marşpiyel bölgesi

Araç tek parça kabuk halindeyken yapılabilecek detaylandırma çalışmaları bu işlemler ile sonlanmıştır. Daha ileri detayların tasarlanabilmesi için tamponlar, kapılar ve kaputlar gibi kısımların üretime yönelik şekilde parçalanması gerekmektedir. Aracın parçalama işlemlerine geçmeden önceki son hali Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



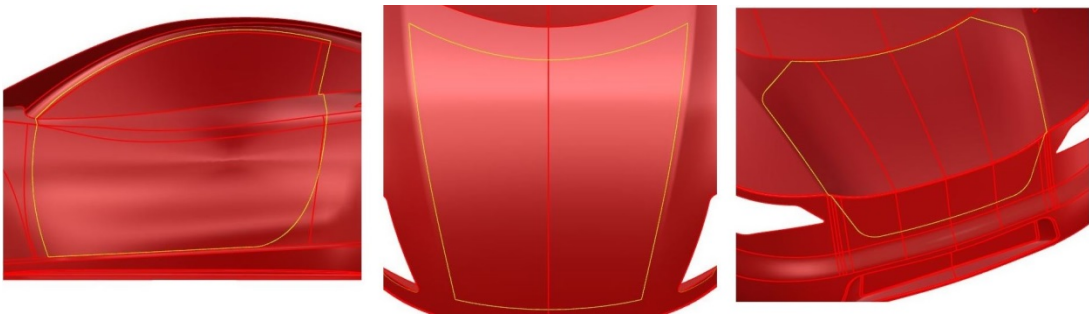
Şekil 3.9 Parçalama işleminden önce tasarımın son hali

3.2 Gövdenin Parçalara Ayrılması

Detaylandırma işlemleri tamamlandıktan sonra bu kısma kadar tek parça bir kabuk halinde olan gövde, retilceği şekilde parçalara ayrılmıştır. Üretilcek otomobilin mümkün olduğunca az parçadan oluşması istenmektedir. Çünkü daha az parça, daha az birleşim noktası ve daha az tolerans hatası demektir. Birleşim noktalarının artması, bu noktaların oldukça hassas bir şekilde üretilmesini ve montaj esnasında hassas fikstür ekipmanları kullanılmasını gerektirdiği için kalıp maliyetlerini yükseltmektedir. Bu nedenlerden dolayı kabuk, montaj imkânı tanıyacak ve işlevsel zorunlulukları karşılayacak şekilde en az sayıda parçaya ayrılmalıdır.

Kapılar ve kaputlar açılıp kapandıkları için mecburen ayrı birer parça olmak zorundadırlar. n ve arka tamponun da ana gövdeyle bütünleşik halde araca giydirilmesi mümkün olmadığı için ayrılması gerekmektedir. Bu şartlar altında model iki kapı (sağ ve sol), iki kaput (n ve arka), iki tampon (n ve arka) ve ana gövde olmak üzere toplam 7 parçaya ayrılmıştır.

Kesim yerleri belirlenirken, bu çizgilerin hem aracın hatlarına uygun olması hem de üretim için zorluk yaratmayacak şekilde tasarlanmasına dikkat edilmiştir. Parça kenarlarında sivri köşeler kalmayacak şekilde kesme işlemi yapılmıştır. Kesme işleminin sonras oluşan 7 parça şekil 3.11’de gösterilmiştir.

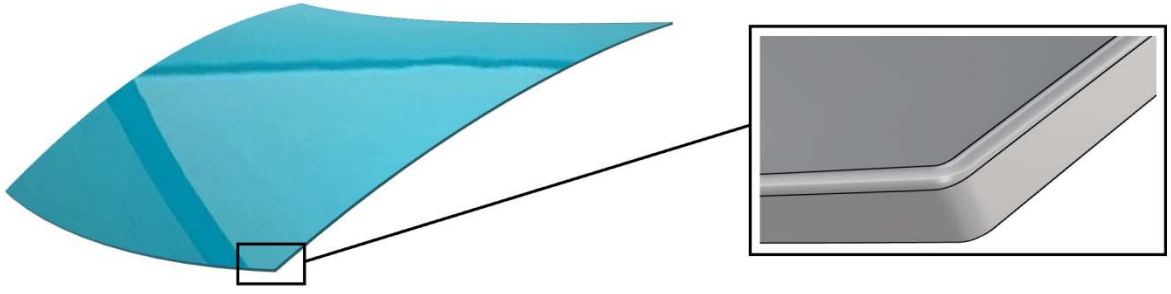


şekil 3.10 Kapı ve kaputlar için çizilen kesme bölgeleri



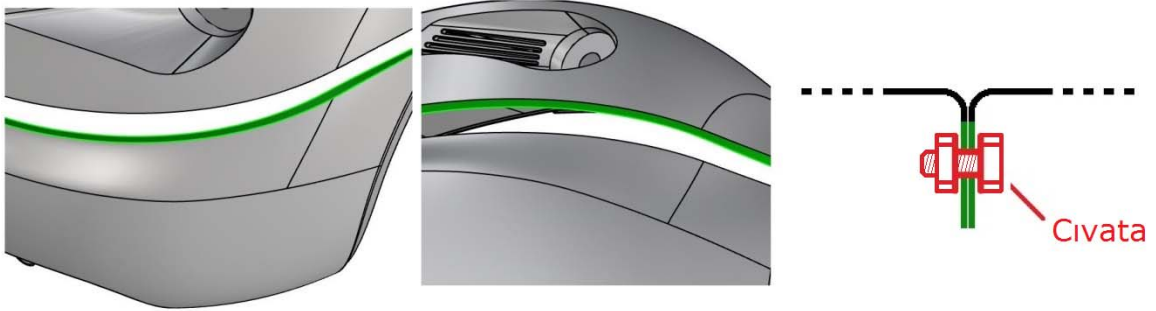
Şekil 3.11 Kesme işleminden sonra oluşan 7 parça

Açılıp kapanma işlevi olan parçalar ile ana gövde arasındaki boşluklara gövde boşlukları adı verilmektedir. Gövde boşluklarının mümkün olduğunca az olması aracın içinde oluşan rüzgâr ve yol gürültüsünü azaltmakta ve kalite hissini artırmaktadır. Seri üretim otomobillerde büyük presler ile üretilen sac gövde panelleri arasındaki boşluklar günümüzde yüksek üretim teknikleri ile 3 mm'ye kadar düşmüştür. Fakat kompozit üretimlerde el işçiliği ile bu hassasiyetlere ulaşmak mümkün olmadığı için daha yüksek toleranslar verilmektedir. Bu doğrultuda gövde panelleri arasında menteşe bölgelerinde 5,5 mm, diğer kısımlarda 4,5 mm boşluk bırakılmıştır. Daha sonra parça kenarlarına içe doğru 5 mm ofset verilerek parçaların kenarlarında oluşan keskinlik giderilmiştir. Oluşan yüzeylerin dış kenarları yumuşatılarak parçalama işlemi tamamlanmıştır. Bu işlemler uygulandıktan sonra oluşan ön kaput yüzeyi ve kenar detayı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Ön kaput kenar detayı

Ön ve arka tamponların kenarlarına ise ana gövdeye birleştirebilmek için içe doğru 20 mm'lik faturalar çizilmiştir. Aynı faturalar gövde üzerinde de verilerek birleşme bölgeleri oluşturulmuştur. Faturalar oluşturulurken parçanın kalıptan çıkarılabilmesi için faturanın ilgili yüzeyin normali doğrultusunda olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Üretilen parçaların bu faturalara atılacak olan cıvatalar ile birbirlerine tutturulması planlanmıştır.



Şekil 3.13 Arka tampon fatura bölgesinden bir kesit ve bağlantı metodu

Bu işlemler sonrasında modelin dışarıdan bakıldığında görülebilecek kısımları şekillenmiştir. Yapılacak olan diğer işlemler aracın dış yüzeylerinde değil, iç kısımlarında olup estetik önem taşımayan mekanik kısımlar olacaktır. Bu bölgelerde çalışmalara başlandıktan sonra tekrar dış yüzeylerin değişmesini gerektirecek işlemler yapılması ciddi zaman ve emek kaybına neden olacaktır. Bu sebeple tasarımın doğrulanması amacıyla modelin üç boyutlu halinin gözle incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmüştür.

3.3 1/14 ve 1/5 Modeller

Modelleri üç boyutlu olarak görmek, bilgisayar ortamında fark edilmesi zor olan yüzeyleri inceleyerek daha gerçekçi bir his sağlamaya yardımcı olacaktır. Aracın hatlarının ve kısımlarının oransal olarak doğruluğunu teyit etmek üç boyutlu model üzerinde çok daha kolaydır. Bu nedenle oldukça popüler bir teknik olan üç boyutlu yazıcı kullanılarak aracın ABS malzemeden iki farklı ebatta modelinin üretilmesi kararlaştırılmıştır.

İlk olarak nispeten küçük bir model ürettirilerek inceleme ve gerekirse değişiklik yapılması, sonra ise daha büyük bir model üretilerek hem kontrol edilmesi hem de sergileme amacıyla kullanılması uygun görülmüştür. Model ölçekleri ilk model için 1/14, ikinci model için ise 1/5 olarak belirlenmiştir.

Mevcut modelin üç boyutlu yazıcının uyumlu olduğu program tarafından algılanabilmesi için kapalı ve tek parça bir yüzey oluşturması gerekmektedir. Bu nedenle araç üzerinde açılan tolerans boşlukları uygun şekilde kapatılmıştır. Bu boşluklar görünür olabilmeleri için genişletilmiştir. Gerçekçiliği artırmak için de yan dikiz aynası ve silecek boşluğu gibi kısımlar eklenmiştir. Destek malzemesi miktarını azaltmak için tekerleklerin ayrıca üretilerek monte edilmesi planlanmıştır.



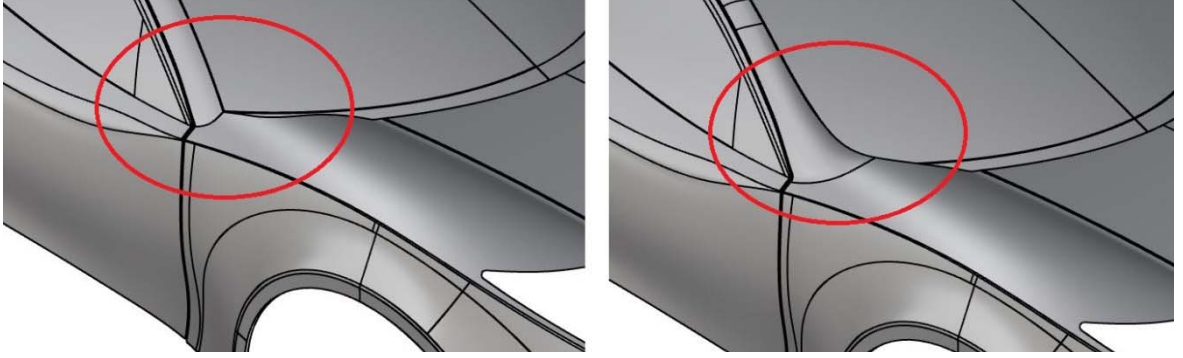
Şekil 3.14 Üç boyutlu yazıcı için hazırlanan 1/14 ölçekli model

Hazırlanan model üç boyutlu yazıcı ile üretilerek tasarımın ilk defa üç boyutlu bir obje olarak incelenmesi mümkün olmuştur. Üretilen ölçekli modelin önden ve arkadan görünümü Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



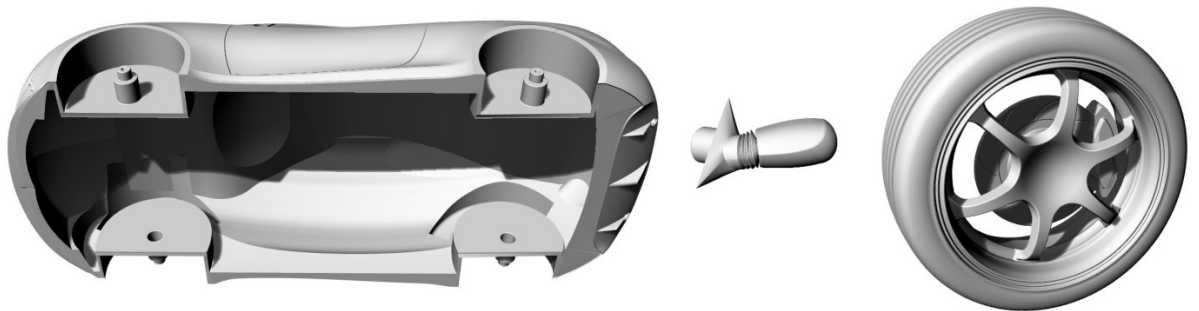
Şekil 3.15 Üç boyutlu yazıcı ile üretilen 1/14 ölçekli model

1/14 ölçekli model genel olarak beğenilmekle birlikte tek bir sıkıntı göze çarpmıştır. A sütununun kaput yakınında gövde ile birleştiği kısım aracın diğer kısımlarına göre göze hoş gelmemektedir. Bu nedenle bir revizyona gidilerek bu bölgeye daha dinamik bir form verilmiştir. Yapılan değişiklik Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 A sütunu bölgesinde yapılan değişiklik

Bu değişiklik sonrasında model 1/5 ölçekli üretim için yeniden hazırlanmıştır. Ürünün ebatı oldukça büyük olduğundan, üç boyutlu yazıcının üretim süresini kısaltmak ve malzeme israfını engellemek için modelin iç kısmı boşaltılmıştır. Ayrıca jantların iç kısımlarına fren diskleri ve kaliperler eklenerek daha gerçekçi bir görünüm hedeflenmiştir. 1/14 ölçekli modelin aksine dış dikiz aynaları ana gövdeden bağımsız üretilerek sonradan monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi üç boyutlu yazıcının boş kısımları doldurmak için kullandığı destek malzemesinin kullanımını azaltmaktır.

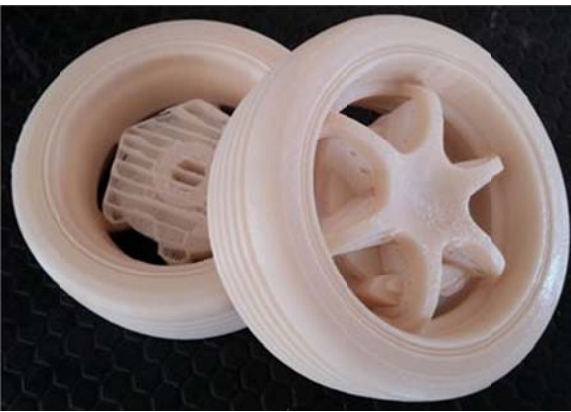


Şekil 3.17 1/5 ölçekli modelin parça çizimleri

Hazırlanan 1/5 ölçekli model yaklaşık 82 cm uzunluğunda, 35 cm eninde ve 22 cm yüksekliğinde bir ürün olup üretimi 1 hafta sürmüştür. Üretim süresinin bu kadar yüksek olmasının sebebi, yüksek hassasiyet ayarı ile modelin çok sayıda katmana bölünerek üretilmiş olmasıdır. Modelin üretimi esnasında çekilmiş bir fotoğraf Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 1/5 ölçekli modelin üç boyutlu yazıcı ile üretimi

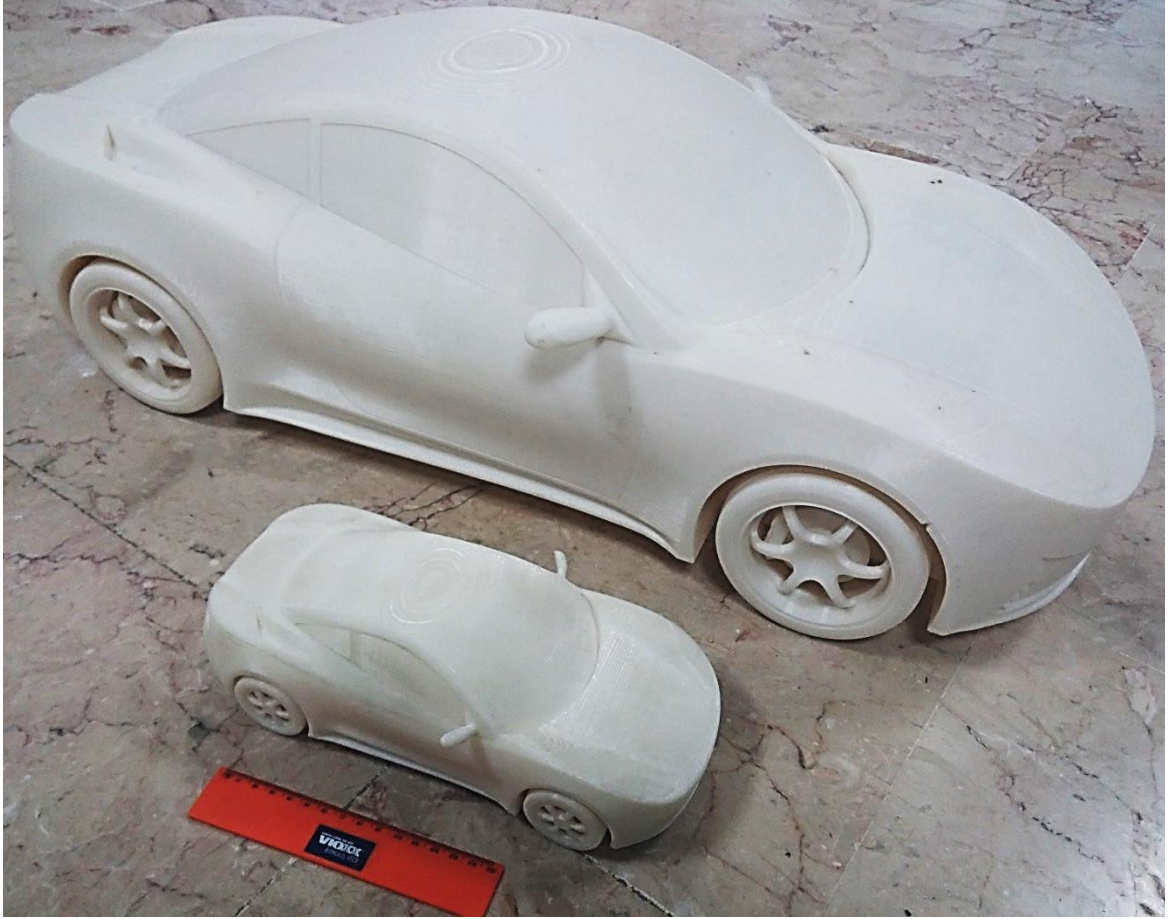


Şekil 3.19 Üretilen jantlar ve dış dikiz aynaları

Fotoğraflarda görülen destek malzemeleri modelin üst bölgelerindeki alt kısmı boş olan yerlere üç boyutlu yazıcı tarafından atılan ve kimyasal bir solüsyon yardımıyla eritilerek yok edilebilen bir malzemedir. Bu işlem ile destek malzemesi giderildikten sonra parçaların montajı yapılarak 1/5 ölçekli model tamamlanmıştır.



Şekil 3.20 Üretimi tamamlanan 1/5 ölçekli model



Şekil 3.21 1/5 ve 1/14 ölçekli modeller

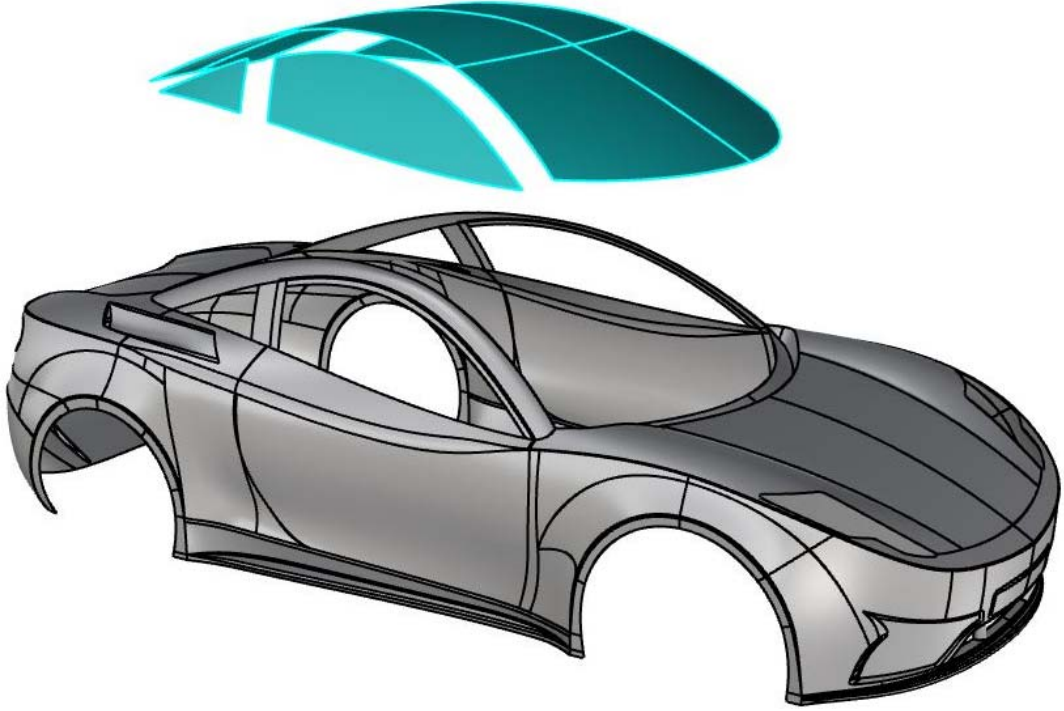
Üç boyutlu modellerin üretimi ve denetlenmesi ile birlikte tasarımın herhangi bir oransal hatası ya da göze hoş gelmeyen noktası olmadığı teyit edilmiş ve sürecin estetik kısmı tamamlanmıştır. Bu kısımdan itibaren yapılacak çalışmalar mekanik görevleri yerine getirecek bagaj bölmeleri, açılı kapanır parçaların fitil yuvaları, kilit ve bagaj içi mekanizmaları aparat yuvaları gibi yerler olup aracın dış görünüşüne etki etmeyecektir.

4. İŞLEVSEL TASARIM

Aracın görünür yüzeylerinin tamamlanması ile birlikte camlar, kapılar ve bagajlar gibi işlevsel kısımlar için gerekli olan fitil yuvaları ve montaj yüzeyleri gibi kısımların tasarımı yapılmıştır.

4.1 Camlar

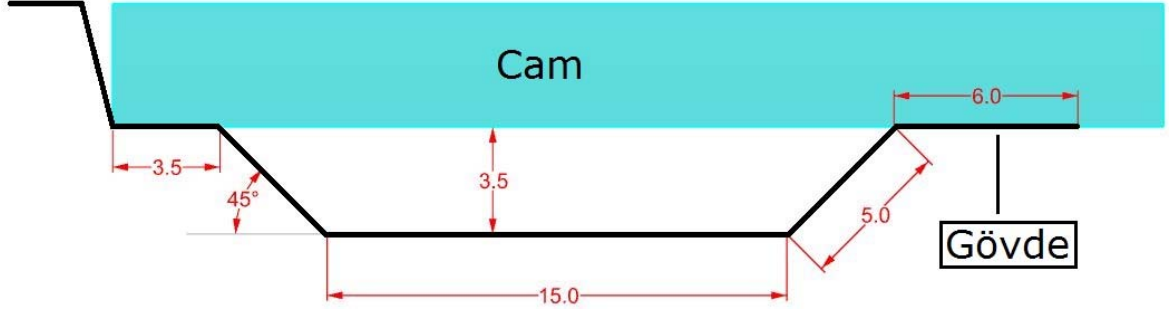
Aracın ana hatları ile şekillenmeye başlayan camlar bu kısımda kesin olarak belirlenmiştir. Aracın cam tavan olması kararlaştırılarak ön cam, arka cam ve tavan camı şasiye uygun olarak parçalara ayrılmıştır. Ön cam, arka cam, tavan camı, yan camlar ve kelebek camlar olarak 7 parçadan oluşan cam seti Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Ayrılmış haldeki camlar ve gövde

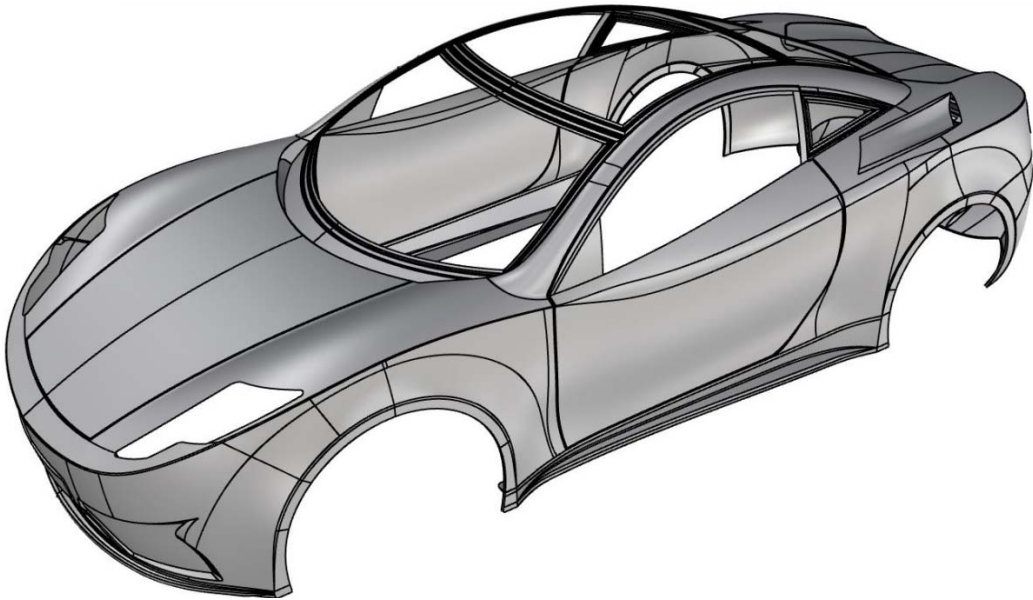
Açılıp kapanma işlevi olan yan camlar dışındaki diğer camların gövdeye monte edilebilmesi için montaj yüzeyleri oluşturulmalıdır. Bu nedenle cam üreticisi ile yapılan görüşmeler sonucunda camların kalınlıkları temperli camlar için 3,5 mm, lamine camlar için 4 mm olarak belirlenmiştir. Buna uygun olarak camlara kalınlık verilerek cam basma yüzeyi kesiti tasarlanmıştır.

Dış kısımda 3,5 mm, iç kısımda ise 6 mm cam basma yüzeyi oluşturulmuştur. Orta bölgede 3,5 mm derinliğinde ve 15 mm eninde silikon doldurma boşluğu bırakılmıştır. Oluşturulan cam basma yüzeyi kesiti Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Cam basma yüzeyi kesiti

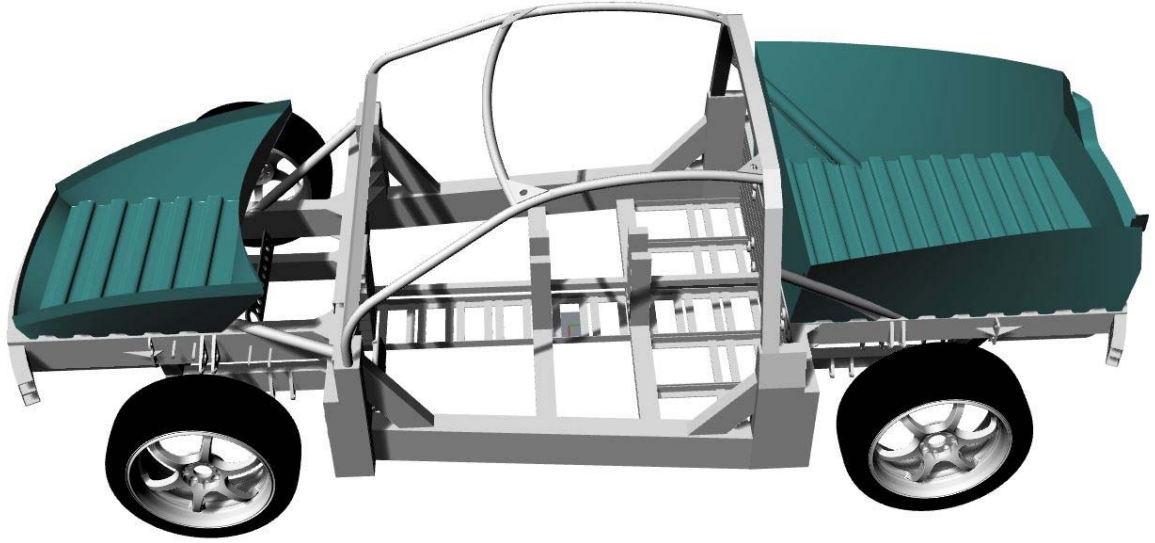
Oluşturulan yüzey kesitinin camların çevresi boyunca süpürülmesi ile cam basma yüzeyleri oluşturulmuştur. Bu işlem esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, ölçülerin çevre boyunca sabit kalmasıdır. Bu nedenle yüzeyler örülürken her noktada dikey aralıkların camın normaline dik olmasına ve yatay aralıkların yüzey üzerinde ofsetlenmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 4.3 Cam basma yüzeyleri eklenmiş model

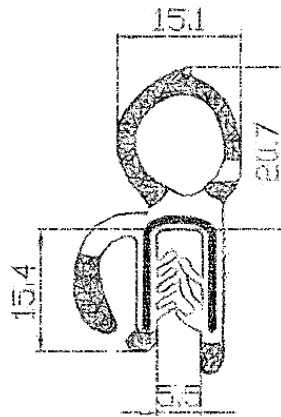
4.2 Bagaj Bölgeleri

Aracın ön ve arka kısmında konumlandırılması planlanan bagaj bölgeleri bu kısımda tasarlanmıştır. Bagaj bölmeleri şasi traverslerine bindirilmiş ve kaput çizgilerine göre maksimum bagaj hacmini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bagaj zeminleri mukavemeti artırmak amacıyla dalgalı bir yapıda modellenmiştir.



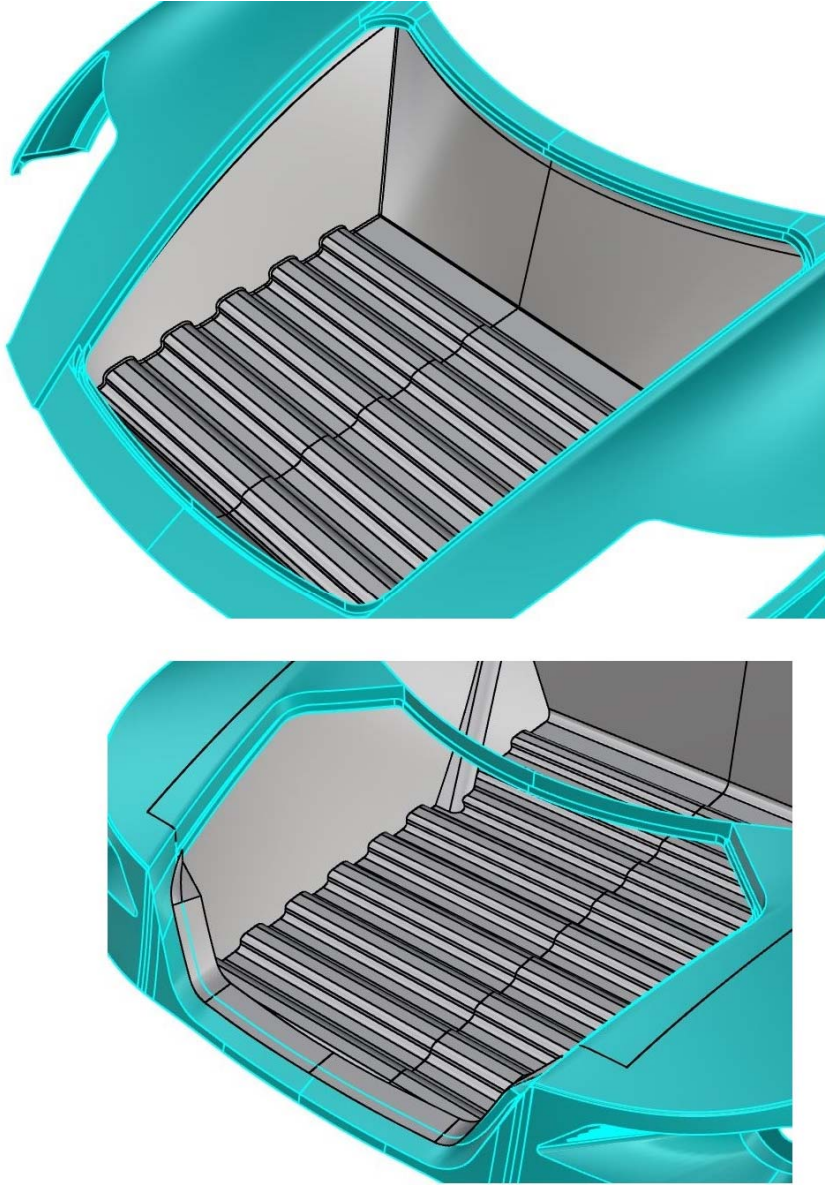
Şekil 4.4 Ön ve arka bagaj bölmeleri

Bagaj bölmeleri tamamlandıktan sonra kaputlar ile bagaj bölmeleri arasında kullanmak üzere piyasadan temin edilebilen bir bagaj fitili seçilmiştir.



Şekil 4.5 Bagajlarda kullanılmak üzere seçilen bagaj fitili

Bagaj bölmelerinin ana gövdeden ayrı olarak üretilmesi ve üretildikten sonra ana gövde ile birleştirilmesi planlanmıştır. Bu nedenle fitil yuvaları ana gövdeden kesilerek ayrılan kaputların altında kalan boşluğa konumlandırılmıştır. Fitilin ana gövde üzerindeki çıkıntıya takılması ve kaput iç yüzeyine basması planlanmıştır. Yuvalar seçilen fitilin ölçülerine göre tasarlanırken, aynı cam basma yüzeylerinde olduğu gibi burada da fitilin her noktada kaput iç yüzeyine dik basmasına dikkat edilmiştir. Ön ve arka bagaj fitil yuvaları Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Ön ve arka bagaj fitil yuvaları

Fitil yuvaları tamamlandıktan sonra, ön ve arka bagaj kapaklarının kilitleri, kilit karşılıkları ve menteşeleri seçilerek konumlandırılmıştır. Arka bagaj kapağında kullanılan menteşenin işlevini görebilmesi için mafsal noktası ile bağlantı noktası arasındaki ötelemeye imkân verecek "J" şeklinde bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Ön bagaj kapağı ise daha düzlemsel bir parça olduğu için, standart otomobillerde kullanılan dört çubuk mekanizması şeklindeki menteşeler yerine basit bir menteşenin uygun olduğu belirlenmiştir. Ebat ve bulunabilirlik gibi kriterler göz önünde bulundurularak Şekil 4.7’de gösterilen menteşeler seçilmiştir.



Şekil 4.7 Ön ve arka bagaj menteşeleri

Ön ve arka bagaj kapakları için piyasadan temin edilebilen ürünler arasından basit ve hacmen küçük bir kilit seçilmiştir. Ön ve arka bagaj kapaklarında aynı kilit setini kullanmak için herhangi bir engel bulunmadığından bu şekilde kullanılması planlanmıştır. Kullanılacak bagaj kilidi ve bagaj kilit karşılığı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Bagajlarda kullanılan amortisörlerin içerisinde yalıtılmış halde basınçlı nitrojen gazı bulunmaktadır. Amortisör sıkıştırılınca bu gazın hacmi küçülerek basıncı artar ve amortisörü açmak için belirli bir kuvvet uygular. Strok ilk haline geldiğinde ise basınç düşer ve kuvvet uygulamayı keser.



Şekil 4.8 Ön ve arka bagaj kilidi ve karşılığı

İlgili parçaların bağlantılarının tasarımına geçilmeden önce kullanılacak amortisörler seçilmiştir. Çalışma esnasındaki esnemeleri engellemek ve daha simetrik bir kuvvet dağılımı sağlayabilmek için sağ ve sol taraflarda birer adet olmak üzere çift amortisör kullanılması uygun bulunmuştur. Amortisörlerin bagaj kapakları kapalı konumdayken statik dengeye yakın kuvvet vermesi ve açıkken uç noktadan uygulanacak 2-3 kg aralığındaki bir kuvvetle kapanması hedeflenmiştir.

Ön kaput için amortisör seçimi yapılırken öncelikle kaputun ağırlığı hesaplanmıştır.

$$V_{\text{ön}} = A_{\text{ön}} * t \quad (2)$$

$$V_{\text{ön}} = 8176,5 \text{ cm}^2 * 1,5 \text{ mm} = 1226,5 \text{ cm}^3$$

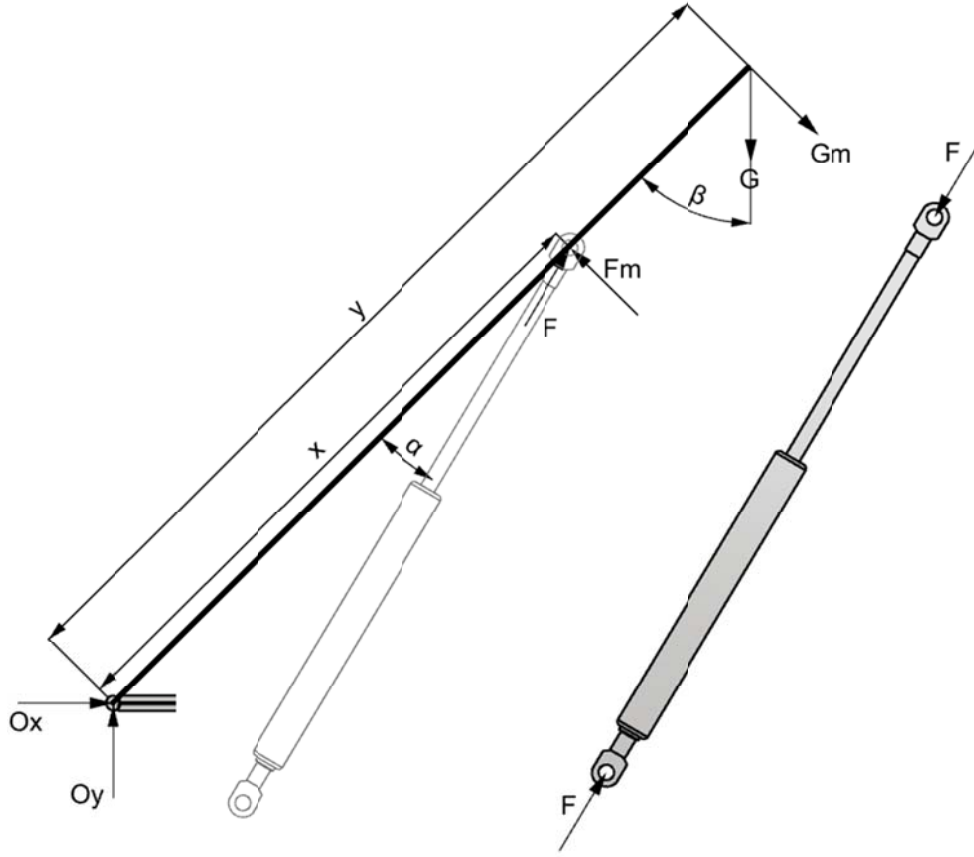
$$m_{\text{ön}} = d_f * V_{\text{ön}} \quad (3)$$

$$m_{\text{ön}} = 2,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1226,5 \text{ cm}^3 = 3,07 \text{ kg}$$

$A_{\text{ön}}$: Ön kaput alanı, t : Kalınlık, $V_{\text{ön}}$: Ön kaput hacmi, d_f : Yoğunluk (Reçine dâhil işlenmiş ürün), $m_{\text{ön}}$: Ön kaput kütlesi

Bu ağırlık değerine kilit karşılığı, menteşeler, seçilecek amortisörler ve bunların montajı için tasarlanılacak olan iç kaputun da ağırlığının ekleneceği düşünülerek toplam ağırlık 7 kg olarak alınmıştır.

Birkaç iterasyondan sonra 250 N'lık iki adet amortisörün ön kaput için belirtilen konumda seçilmesi uygun bulunmuştur. Açık konum için yapılan hesaplamalar aşağıda gösterildiği gibidir.



Şekil 4.9 Ön bagaj amortisörü açık konumda iken

$$F_m = F * \sin \alpha \quad (4)$$

$$F_m = 250 \text{ N} * \sin 14,5^\circ = 62,6 \text{ N}$$

F_m : Amortisörün uyguladığı kuvvetin dik bileşeni, F : Amortisörün uyguladığı kuvvet, α : Amortisör ile kaput arasındaki açı

$$G = m_{\text{ön}} * g \quad (5)$$

$$G = 7 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 68,67 \text{ N}$$

$$G_m = G * \sin \beta \quad (6)$$

$$G_m = 68,67 \text{ N} * \sin 35^\circ = 39,4 \text{ N}$$

G_m : Kaput ağırlığının dik bileşeni, G : Ön kaput ağırlığı, $m_{ön}$: Ön kaput kütlesi, g : Yerçekimi ivmesi

$$M_1 = [2 * (F_m * x)] \quad (7)$$

$$M_1 = [2 * (62,6 \text{ N} * 340,5 \text{ mm})] = 42,63 \text{ Nm}$$

$$M_2 = G_m * y \quad (8)$$

$$M_2 = 39,4 \text{ N} * 475 \text{ mm} = 18,72 \text{ Nm}$$

$$M = M_1 - M_2 \quad (9)$$

$$M = 42,63 \text{ Nm} - 18,72 \text{ Nm} = 23,91 \text{ Nm}$$

M_1 : Kaputu açmaya zorlayan moment, x : Amortisör kuvvet kolu uzunluğu, M_2 : Kaputu kapatmaya zorlayan moment, y : Kaput ağırlığı kuvvet kolu, M : Mafsal etrafındaki toplam moment

Burada $y=475$ mm değeri kaputun tahmini ağırlık merkezini işaret etmektedir. $x=340,5$ mm değeri deneysel olarak belirlenen bir noktadır. Denklem 7'deki 2 çarpanı iki adet amortisör kullanıldığı içindir. Kaputun en uç noktası mafsal merkezine yaklaşık 1 m uzaklıktadır, dolayısıyla 23,91 Nm'lik momenti yenebilmek için bu noktaya 2,4 kg civarı bir kuvvet uygulanmalıdır. Bu değer ilk başta belirtilen aralığa uygundur.

Amortisörler piyasada maksimum stroklarında kaç N kuvvet uyguladıklarına göre isimlendirilseler de strok arttıkça uyguladıkları kuvvet lineer olarak değişmektedir. Bunu test etmek için alınan amortisör numunelerine testler yapılarak farklı stroklarda uyguladıkları kuvvet değerleri bulunmuştur. 250 N'luk amortisör için bu hesap aşağıda gösterilmiştir.

$$F_x = F_{ilk} + \left(\left(\frac{F_{son} - F_{ilk}}{\Delta x} \right) * x \right) \quad (10)$$

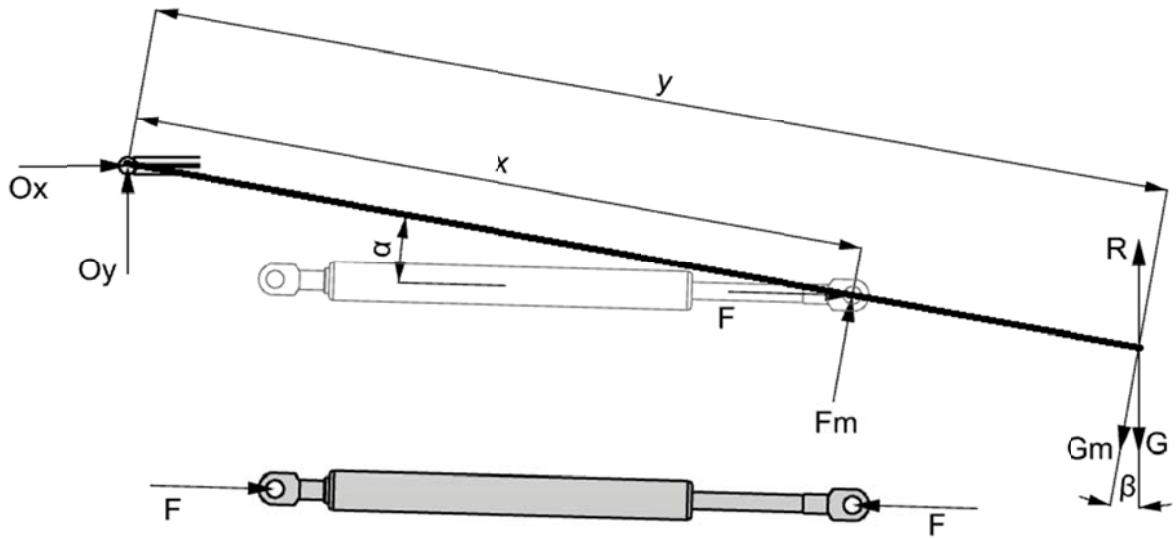
$$F_x = 250 \text{ N} + \left(\left(\frac{320 \text{ N} - 250 \text{ N}}{0,115 \text{ m}} \right) * x \right) = (250 + 608,7 * x) \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (11)$$

Δ_x : Amortisör maksimum stroku, F_{ilk} : Maksimum stroktaki kuvvet, F_{son} : Minimum stroktaki kuvvet, x : Herhangi bir strok, F_x : Herhangi bir x strokundaki kuvvet

Maksimum strokunda 340 mm olan amortisörün boyu bagajın kapalı olduğu konumda 267,2 mm'ye düşmektedir. Bu konumda uyguladığı kuvvet Denklem 11 yardımıyla aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$F_{x=267,2 \text{ mm}} = 250 \text{ N} + \left(\frac{608,7 \text{ N}}{m} * (340 \text{ mm} - 267,2 \text{ mm}) \right) = 294,3 \text{ N}$$

$F_{x=267,2 \text{ mm}}$: Amortisörün 267,2 mm strokta uyguladığı kuvvet



Şekil 4.10 Ön bagaj amortisörü kapalı konumda iken

$$F_m = F_{x=267,2 \text{ mm}} * \sin \alpha \quad (12)$$

$$F_m = 294,3 \text{ N} * \sin 8,5^\circ = 43,5 \text{ N}$$

$$G_m = G * \cos \beta \quad (13)$$

$$G_m = 68,67 \text{ N} * \cos \beta = 67,6 \text{ N}$$

Bu değerleri Denklem 7 ve 8'de yerine koyarsak;

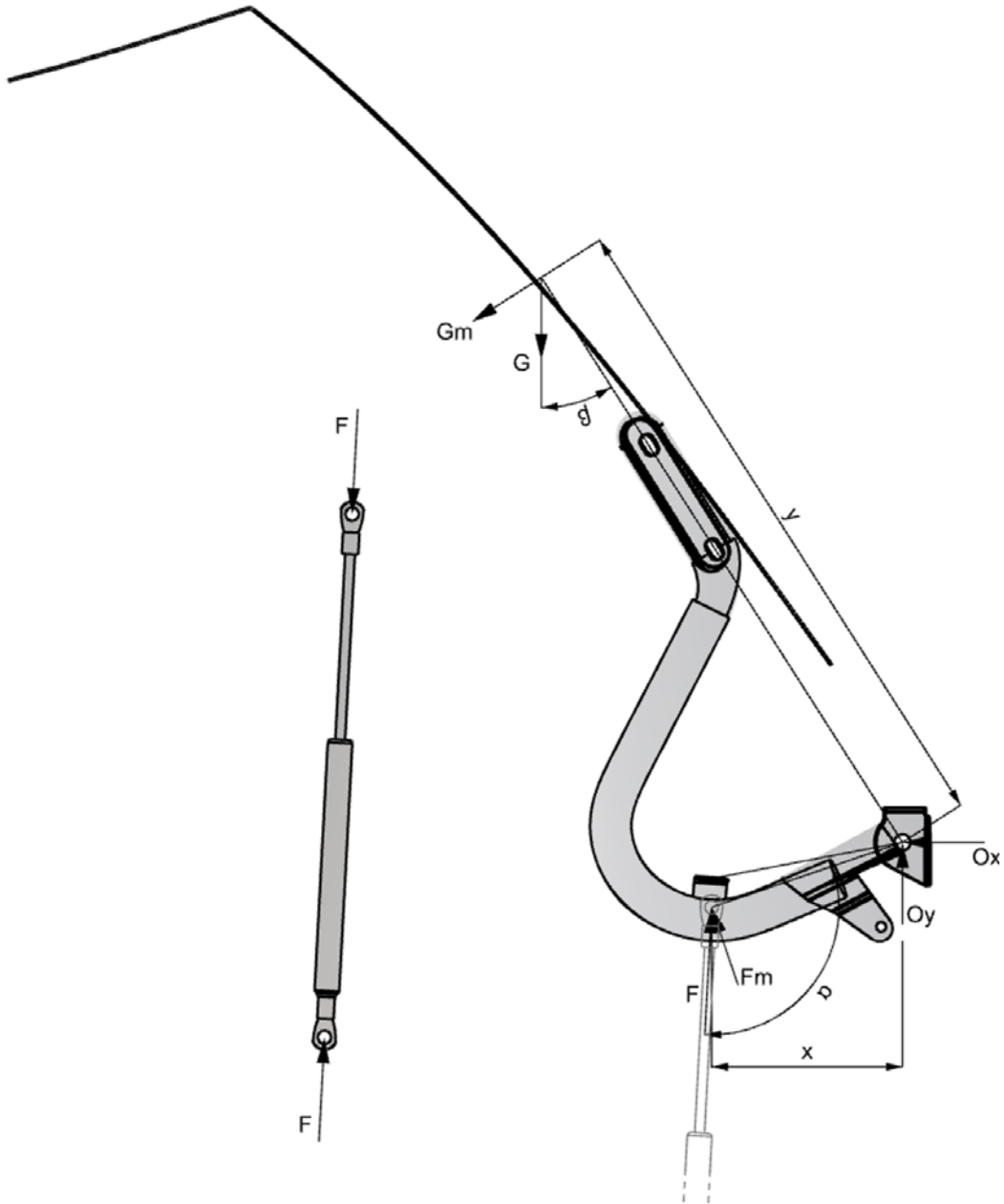
$$M_1 = [2 * (43,5 \text{ N} * 340,5 \text{ mm})] = 29,62 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 67,6 \text{ N} * 475 \text{ mm} = 32,11 \text{ Nm}$$

Bu değerleri Denklem 9'da yerine koyarsak;

$$M = 29,62 \text{ Nm} - 32,11 \text{ Nm} = -2,49 \text{ Nm}$$

Kapalı konumda iken oluşan -2,49 Nm'lik moment kaput kilit karşılığı üzerinde oluşan R kuvveti ile dengelenmektedir. Bu da ilk başta belirtilen önkoşula uygundur. Benzer hesaplamalar arka bagaj kaputu için de yapılmıştır.



şekil 4.11 Arka bagaj amortisörü açık konumda iken

$$V_{arka} = A_{arka} * t \quad (14)$$

$$V_{arka} = 5574,3 \text{ cm}^2 * 1,5 \text{ mm} = 836,1 \text{ cm}^3$$

$$m_{arka} = d_f * V_{arka} \quad (15)$$

$$m_{ön} = 2,5 \frac{g}{\text{cm}^3} * 836,1 \text{ cm}^3 = 2,09 \text{ kg}$$

A_{arka} : Arka kaput alanı, t : Kalınlık, V_{arka} : Arka kaput hacmi, d_f : Yoğunluk (Reçine dâhil işlenmiş ürün), m_{arka} : Arka kaput kütlesi

Bu ağırlık değerine kilit karşılığı, menteşeler, seçilecek amortisörler ve bunların montajı için tasarlanılacak olan iç kaputun da ağırlığının ekleneceği düşünülerek toplam ağırlık 6 kg olarak alınmıştır.

Birkaç iterasyondan sonra 155 N'luk iki adet amortisörün arka kaput için belirtilen konumda seçilmesi uygun bulunmuştur. Açık konum için yapılan hesaplamalar aşağıda gösterildiği gibidir.

Denklem 4'ten;

$$F_m = 155 \text{ N} * \sin 111,8^\circ = 143,9 \text{ N}$$

$$G = m_{arka} * g \quad (16)$$

$$G = 6 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 58,86 \text{ N}$$

Denklem 6'dan;

$$G_m = 58,86 \text{ N} * \sin 36^\circ = 34,6 \text{ N}$$

Bu değerleri Denklem 7 ve 8'de yerine koyarsak;

$$M_1 = [2 * (143,9 \text{ N} * 117,2 \text{ mm})] = 33,73 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 34,6 \text{ N} * 407,6 \text{ mm} = 14,1 \text{ Nm}$$

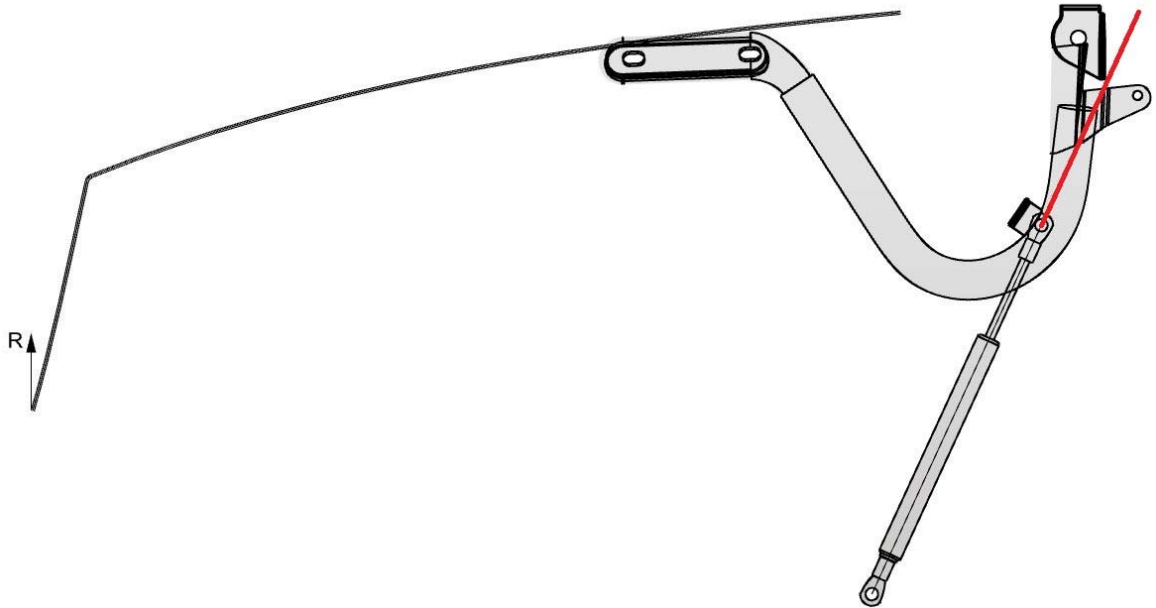
Bu değerleri Denklem 9'da yerine koyarsak;

$$M = 33,73 \text{ Nm} - 14,1 \text{ Nm} = 19,63 \text{ Nm}$$

Burada $x=407,6 \text{ mm}$ kaputun tahmini ağırlık merkezini işaret etmektedir. $y=117,2 \text{ mm}$ değeri amortisörün montajı için kullanılması uygun görülen mafsal üzerindeki bir noktadır. Kaputun en uç noktası

mafsal merkezine yaklaşık 0,7 m uzaklıktadır, dolayısıyla 19,6 Nm'lik momenti yenebilmek için bu noktaya 2,8 kg civarı bir kuvvet uygulanmalıdır. Bu değer ilk başta belirtilen aralığa uygundur.

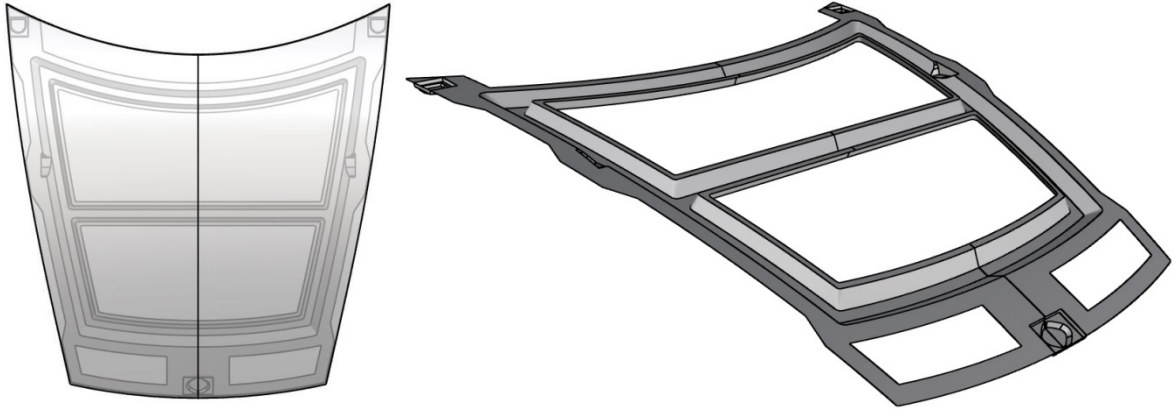
Kapalı konumda ise farklı bir durum gerçekleşmiştir. Amortisörler bagajın kapalı olduğu konumda Şekil 4.12'de gösterildiği üzere mafsal noktasına ters yönde (kaputu kapalı kalmaya zorlayacak şekilde) kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvetin doğrultusu ile amortisör bağlantısı ve mafsal doğrultusu arasındaki açı çok az olduğu için uygulanan kuvvet oldukça düşüktür. Kapalı konumda iken oluşan moment kaput kilit karşılığı üzerinde oluşan R kuvveti ile dengelenmektedir. Kaput açılmaya başladıktan hemen sonra amortisörler kaputu kaldıracak şekilde çalışacaklardır. Bu durum da belirtilen ön koşula uygundur.



Şekil 4.12 Arka bagaj amortisörü kapalı konumda iken

Menteşeler ve amortisörler seçilerek yerleştirildikten sonra, bunların bağlantıları tasarlanmıştır. Ön kaputa bağlanması gereken parçalar menteşenin üst kısmı, amortisörün üst bağlantısı ve kaput kilit karşılığıdır. Hem bu parçaların bağlanabileceği üç boyutlu bir hacim oluşturmak, hem bağlantı noktalarını referanslamak, hem de kaputa

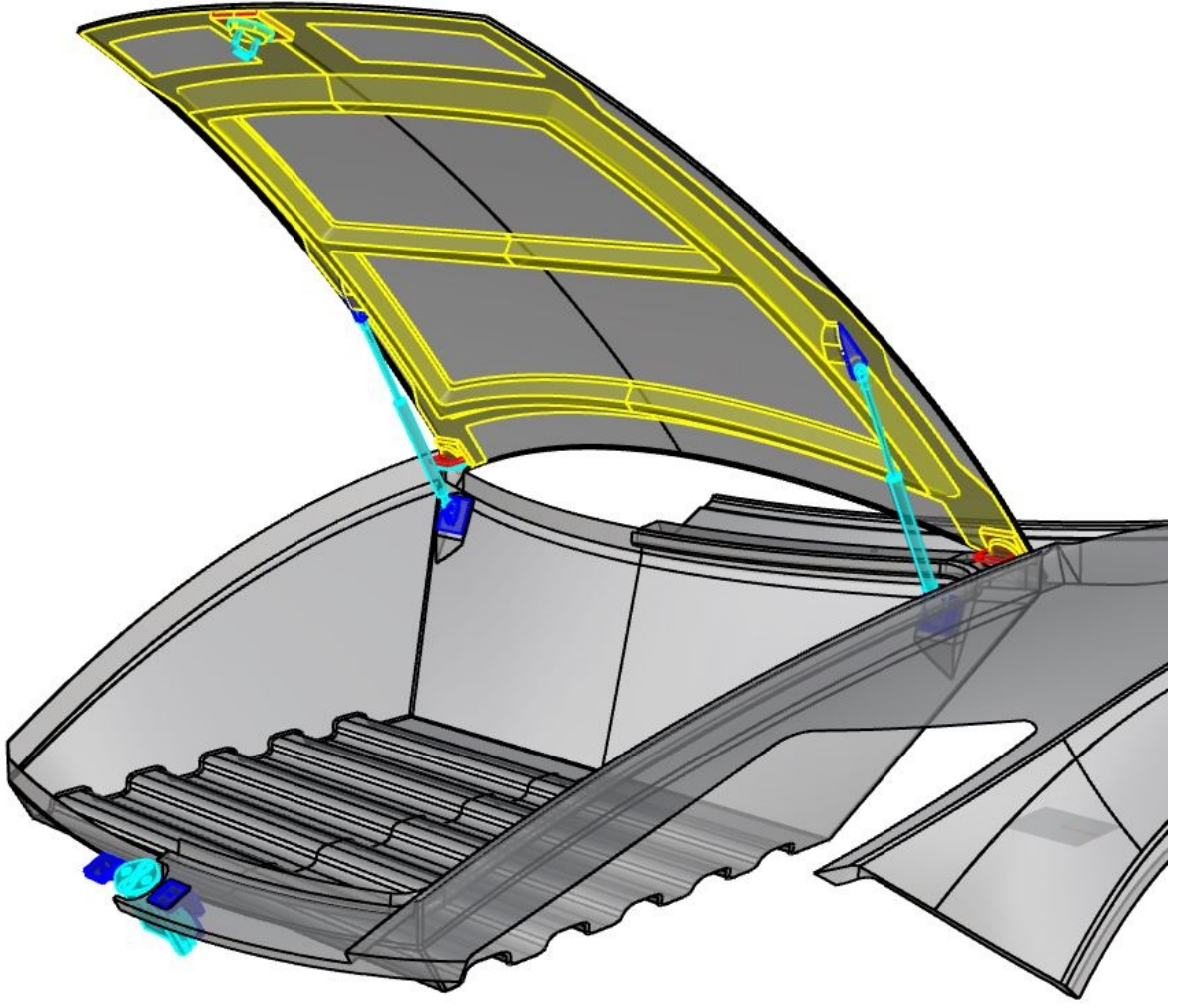
mukavemet sağlamak amacıyla gövde ile aynı malzemeden bir iç kaput tasarlanmıştır.



Şekil 4.13 Ön taraf için tasarlanan iç kaput

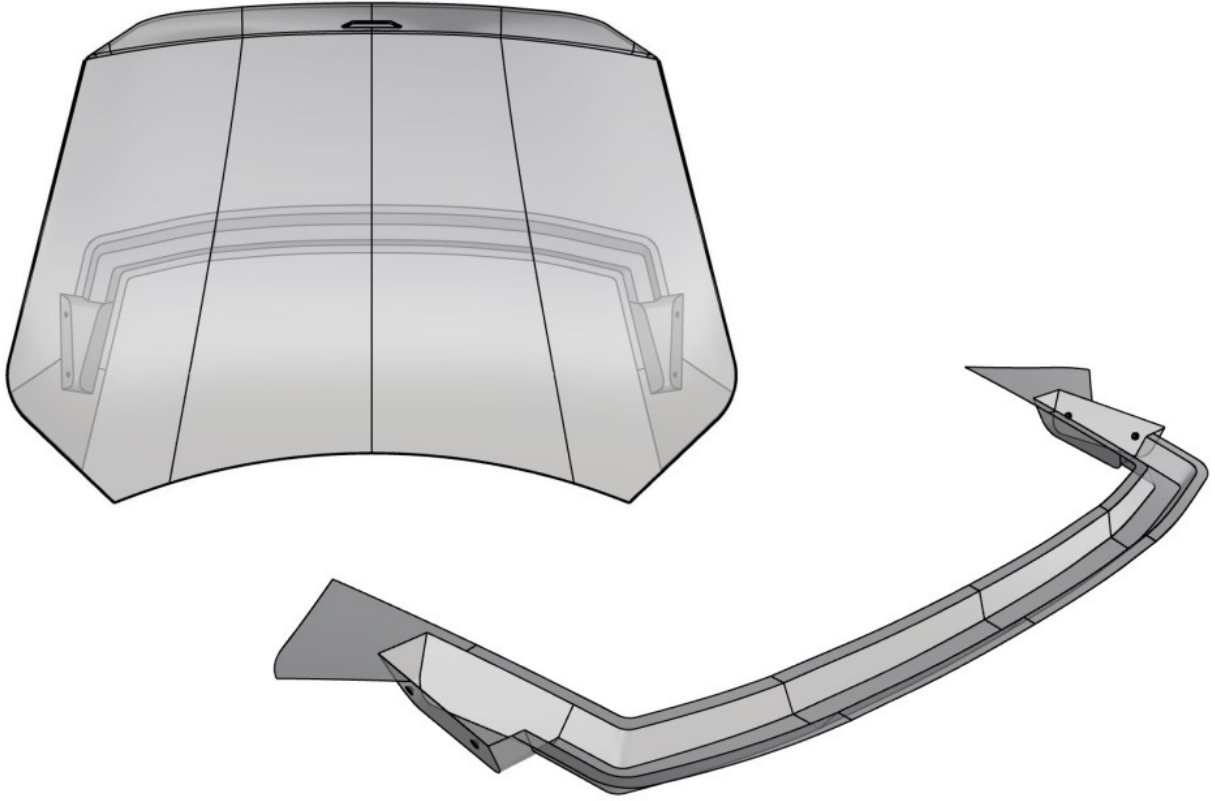
İç kaput, bagaj mekanizmalarının montajı için gereken yüzeylerin mukavemet amaçlı oluşturulan yüzeyler ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Ağırlığı azaltmak amacıyla gereksiz bölgelere boşluklar bırakılmıştır. Bu boşluklar aynı zamanda kaput ile iç kaputun birbirine fiber kumaş ile yapıştırılması için de kullanılacaktır.

Menteşenin üst kısmı ve kaput kilit karşılığının vidalanabilmesi için, kaput ile iç kaput arasına 6 mm kalınlığında alüminyum plakalar eklenmiştir. Amortisör üst bağlantısı ise arkadan somunla sıkılabilmesi için iç kaputun dışında bırakılmış, sadece sabitlemek için 3,17 mm kalınlığında alüminyum plakalar ile desteklenmiştir. Amortisör alt bağlantısı için bir tutucu tasarlanmış ve bagaj havuzuna buna uygun bir yuva eklenmiştir. Ana gövde üzerine bağlanması gereken parçalardan menteşenin alt parçasının merkezlenmesi için yuva açılmış ve altına vidalama için 6 mm kalınlığında alüminyum plaka eklenmiştir. Kaput kilidi için de bir tutucu tasarlanarak ana gövde üzerine yine plakalar yardımıyla monte edilmesi planlanmıştır.



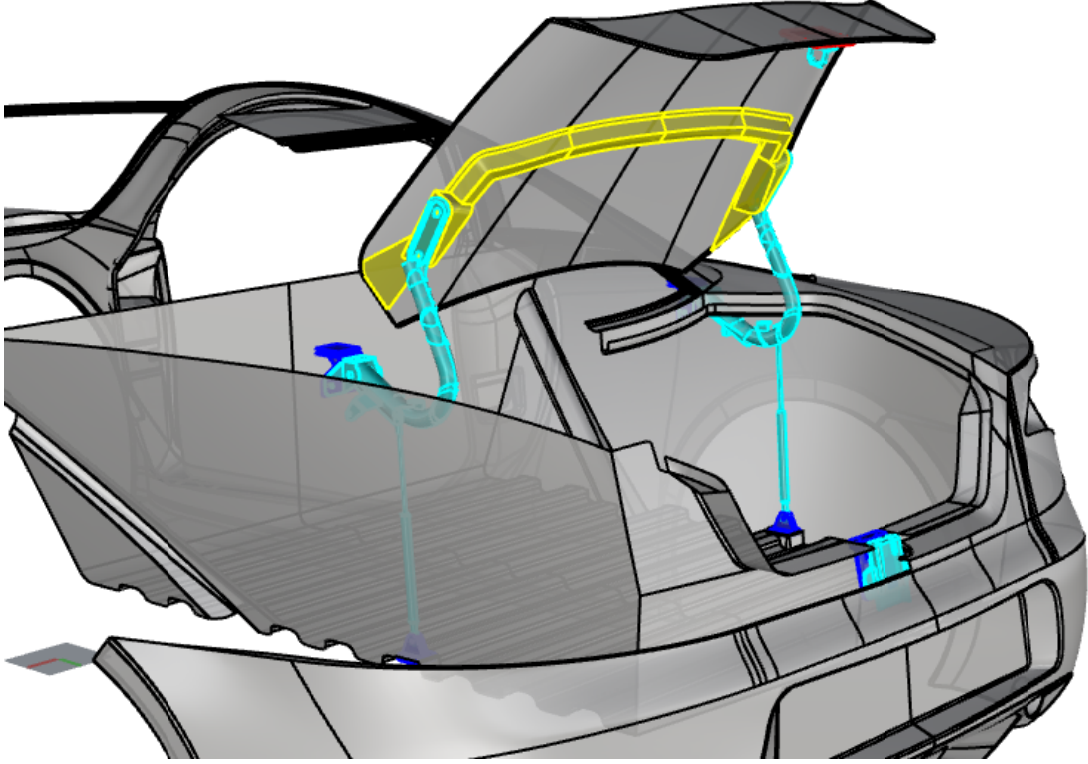
Şekil 4.14 Ön kaput içi ve bagaj içi mekanizmaları

Arka kısımda da menteşe bağlantısı için hacim oluşturmak ve mukavemeti artırmak amacıyla bir iç kaput tasarlanmıştır. Bagajın şekli gereği ön tarafın aksine yalnızca düz kısımda desteğe ihtiyaç duyulacağı düşünülerek daha küçük bir iç kaput tasarlanmıştır. İç kaputun uçlarındaki düzlemsel çıkıntılar ise yapıştırma işlemi esnasında kaputla referanslamak amacıyla konulmuştur.



Şekil 4.15 Arka taraf için tasarlanan iç kaput

Arka bagaj menteşesi üzerindeki montaj deliklerini kullanabilmek için iç kaputun ilgili kısmına 6 mm'lik alüminyum vidalama plakası eklenmiştir. Kaput kilit karşılığı tıpkı ön taraftaki gibi 6 mm'lik bir plaka üzerine montaj edilecek şekilde konumlandırılmıştır. Amortisörün üst bağlantısı için menteşe üzerindeki bir montaj deliği kullanılmıştır. Alt bağlantı için bir tutucu tasarlanmış ve bagaj havuzuna buna uygun bir yuva eklenmiştir. Kaput kilidi için de ön kısımdakine benzer bir tutucu tasarlanmıştır. Menteşe üst bağlantısı aracın iç kısmında kalan pandizot bölgesine monte edilecek olan bir başka tutucu ile yapılacak olup, bu tutucunun merkezlenebilmesi için pandizot bölgesine yuva açılmıştır. Arka kaput içi ve bagaj içi mekanizmaları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

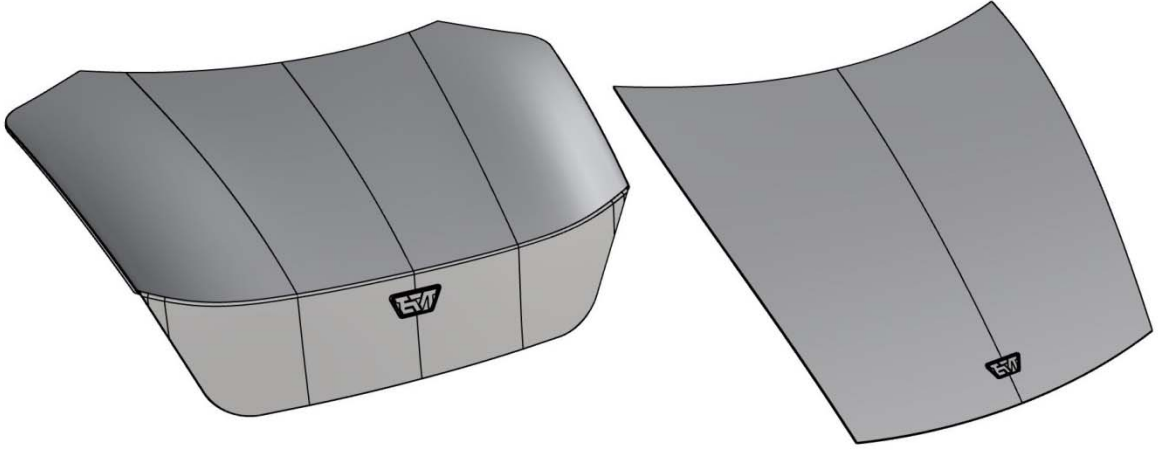


Şekil 4.16 Arka kaput içi ve bagaj içi mekanizmaları

Son olarak, bagaj kapakları üzerine üretimden sonra aracın logolarının eklenmesi için yuvalar açılmıştır. Zamak dökümden imal edilen logoların ölçüsüne göre ön ve arka bagaj kapakları son halini almıştır.



Şekil 4.17 Bagaj kapaklarında kullanılmak üzere üretilen logolar

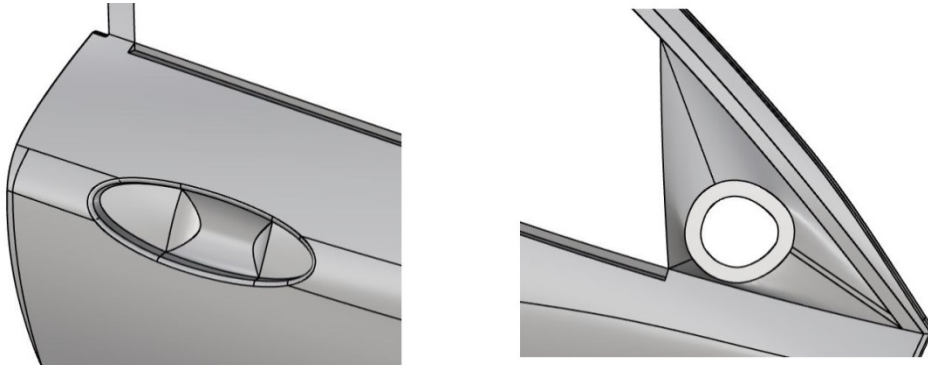


Şekil 4.18 Logolara göre düzenlenen bagaj kapakları

4.3 Kapı Bölgeleri

İşlevsel tasarımın bagaj bölgelerinden sonraki önemli bir kısmı da kapı bölgeleridir. Bu kısımda ilk olarak kapı dış yüzeyi, dış kapı koluna ve kullanılacak dikiz aynasına göre modifiye edilmiştir.

Dış kapı kolu, kapı açma mekanizmasının çalışma sınırları içerisinde uygun bir yüksekliğe konumlandırılmıştır. Kolu açmak için insan elinin girebileceği bir mesafede derinlik verilerek montaj için düz yüzeyler oluşturulmuştur. Dikiz aynası için de seçilen aynaya uygun olarak montaj bölgesi tasarlanmış ve kapı üzerindeki üçgen kısım bu montaj bölgesi ile birleştirilmiştir. Bahsedilen montaj yüzeyleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

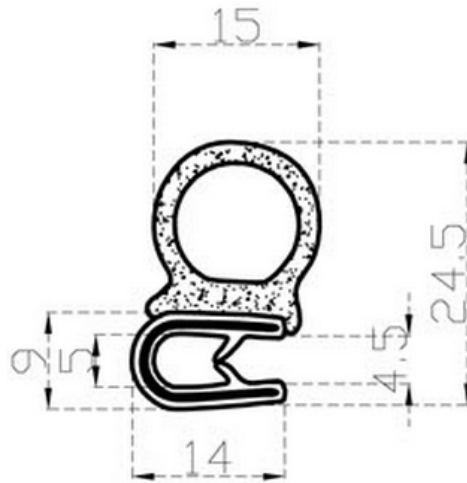


Şekil 4.19 Kapı kolu ve dikiz aynası için oluşturulan montaj yüzeyleri



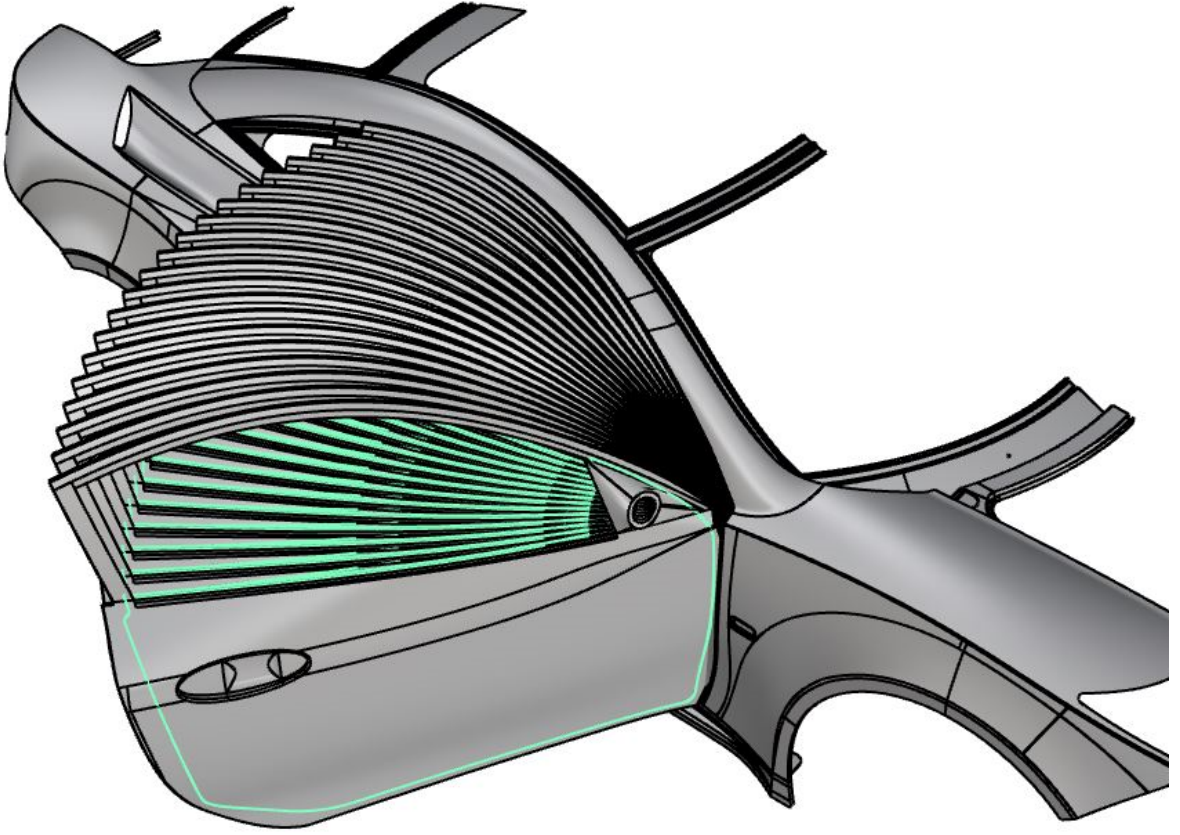
Şekil 4.20 Dış kapı kolu ve dikiz aynası ile tamamlanmış kapı

Daha sonra gövde üzerinde kalan, kapı kapandığı zaman içerisine gireceği kapı yuvası bölgesi tasarlanmıştır. Bu işlem için öncelikli olarak kapıda kullanılacak fitil belirlenmiştir.



Şekil 4.21 Kapılarda kullanılmak üzere seçilen kapı fitili

Bu fitilin, kapı yuvası etrafınca gövdeye takılması ve kapının iç yüzeyine basması planlanmıştır. Bunun için kapı yüzeyi üzerinde belirli bir mesafede alınan ofsetler, yüzeye dik olacak şekilde ötelenmiş ve kapı yuvasının sınırları belirlenmiştir. İlgili kısma gelen şasi bölgesi ayrıca örtülerek gizlenmiştir. Kapının açılması esnasında kapı yuvasına takılmasını engellemek için, kapının açılırken taradığı alan simüle edilerek yuva bu bölgeden uzak tutulmuştur. Bu işlem Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



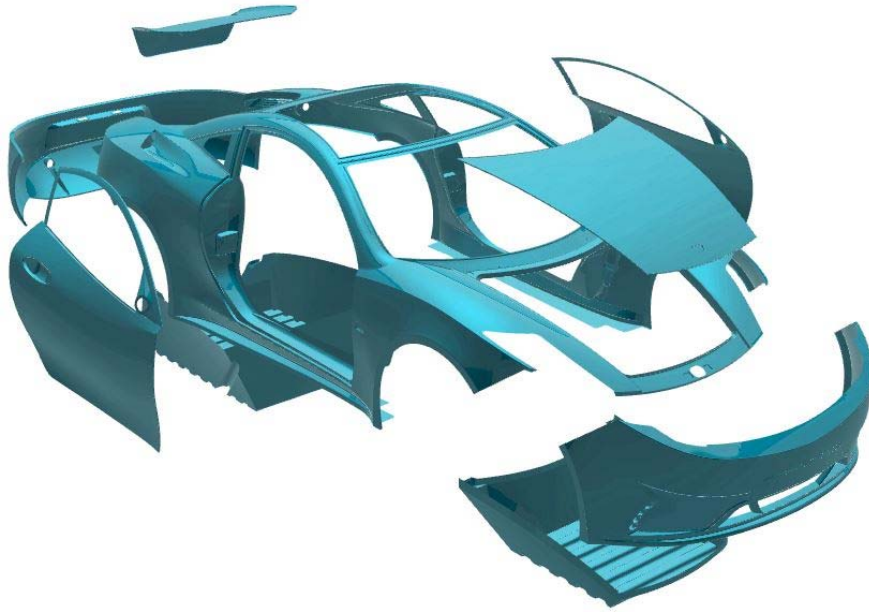
Şekil 4.22 Kapının açılması esnasında taradığı hacmin bulunması

Kapı yuvasının kaba hatları bu şekilde belirlendikten sonra ortaya çıkan yuva, bu bölgenin içerisinde kalan kapı kilidi kısmı, kapı menteşeleri kısmı ve kapı gergisinin montajına imkân verecek şekilde detaylandırılmıştır. Yüzey üzerinde kalıbın çıkma açısına göre iç bükeylik oluşturan kısımlar düzeltilerek kapı yuvası son halini almıştır. Tamamlanan kapı yuvası Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Fitilin geçmesi için oluşturulan yüzeyin dış kısımları kırmızı renkli çizgi ile işaretlenmiştir.

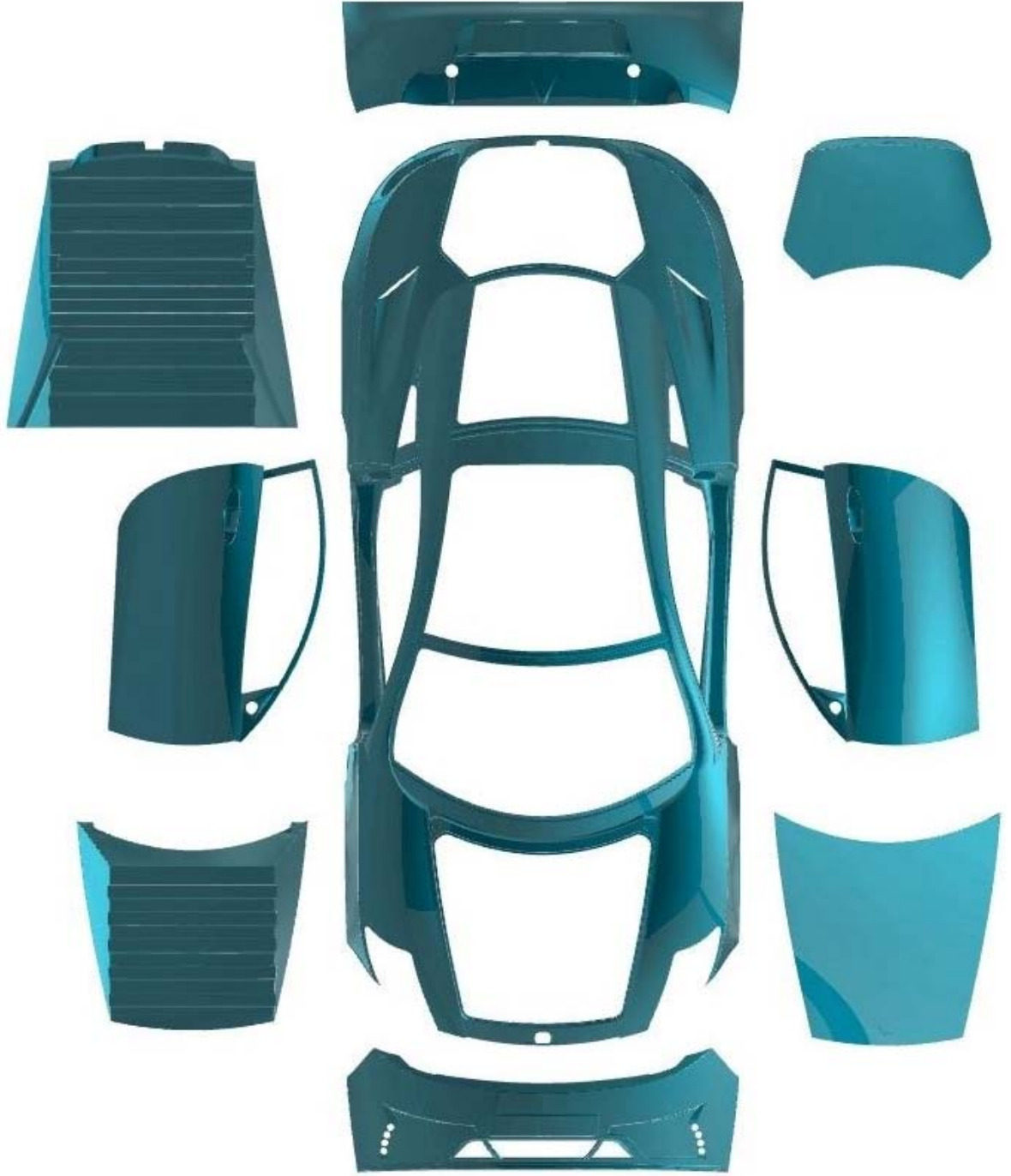


Şekil 4.23 Tamamlanan kapı yuvası

Bu işlemler ile aracın tüm dış gövde panelleri (7 parça) ve bagaj bölmeleri (2 parça) üretime hazır hale gelmiştir.



Şekil 4.24 Üretime hazır hale gelen gövde panelleri ve bagaj bölmeleri



Şekil 4.25 Üretime hazır hale gelen gövde panelleri ve bagaj bölmeleri



Şekil 4.26 EVT S1 ön görünüm



Şekil 4.27 EVT S1 arka görünüm

5. ÜRETİM

Gövdenin üretime hazır hale gelmesi ile birlikte üretim süreci başlamıştır. Bu kısımda mekanizmalarının montajında kullanılacak olan parçaların ve gövde panellerinden ön ve arka tamponun üretimi gösterilmiştir.

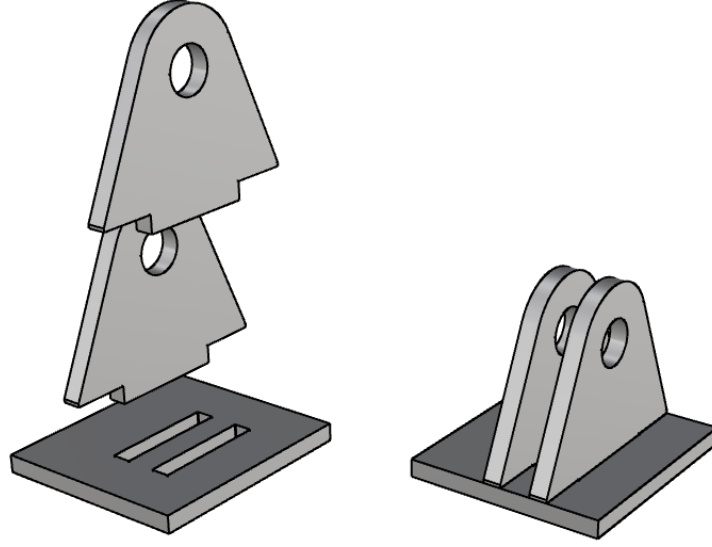
5.1 Bagaj İçi Bağlantı Parçaları

Ön ve arka bagaj içlerinde kullanılacak olan menteşe, kilit, kilit karşılığı ve bagaj amortisörleri gibi parçaların tasarımı 4.2 başlığında gösterilmiştir. Bu parçaların montajında kullanılmak üzere tasarlanan parçalar, iki boyutlu CNC router ile alüminyum malzeme kullanılarak üretilmiştir. Az sayıda üretilecek olan bu parçaların üretiminde döküm ya da çok eksenli CNC gibi maliyetli seçeneklerin yerine belirli kalınlıklarda alüminyum levhalardan kesim yapılarak oluşturulan parçaların kaynaklanması tercih edilmiştir.



Şekil 5.1 İki boyutlu CNC router ile kesilen parçalar

Bu parçaların kaynaklanması esnasında referanslama problemi yaşanmaması için parçalar dişi ve erkek yuvalar geçmeli olarak üretilmiştir. Bu işlem Şekil 1.1Şekil 5.2’de örnek bir parça üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Bagaj içi montaj parçalarında kullanılan geçmeli bağlantı

Birleşim yapıldıktan sonra bagaj içi montaj parçaları kaynaklanarak üretim tamamlanmıştır.

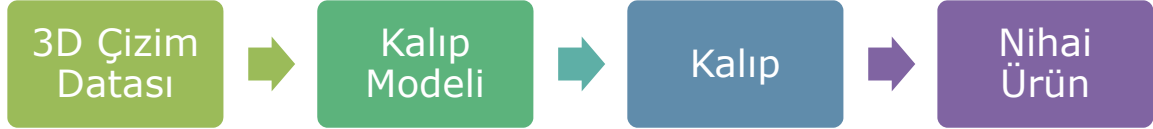


Şekil 5.3 Kaynak işleminden sonra bagaj içi montaj parçaları

5.2 Ön ve Arka Tamponlar

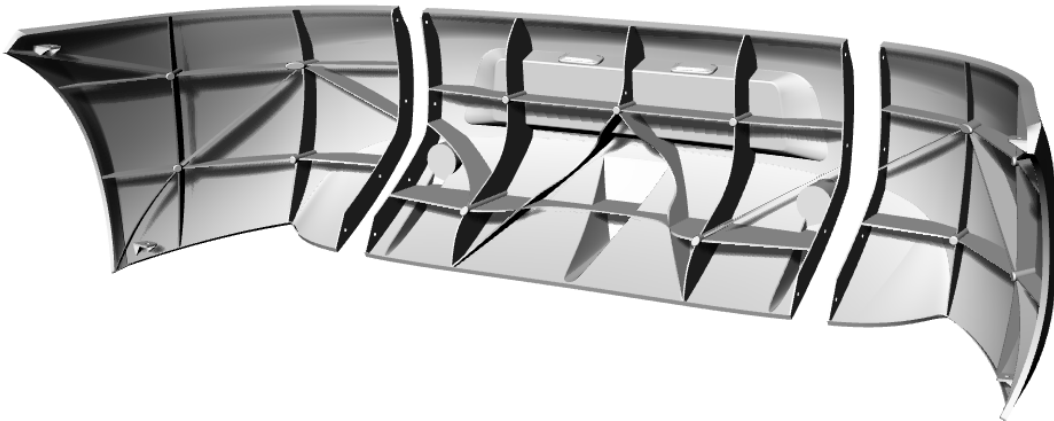
Gövde panellerinin üretimine ilk olarak ön ve arka tamponlardan başlanmıştır. Gövdeyi oluşturan ana parça dışındaki diğer parçalar (tamponlar, kaputlar ve kapılar) arasından yüzeyinde en çok detay bulunduran parça tamponlar olduğu için üretime bu parçalardan başlanmıştır. Böylece detayların istenilen kalitede üretilip üretilmeyeceğinin kontrolü sağlanmak istenmiştir.

Vakum infüzyon tekniği ile bir parçanın üretilmesi için yalnızca dışı kalıba ihtiyaç vardır. Fakat CNC ile doğrudan dışı kalıbı üretmek yüzey kontrolünü zorlaştıracaktır. Bu nedenle ilk önce son ürünün bir kopyası olan “kalıp modeli” üretilmiştir. Üretilen kalıp modeli üzerinden parçanın vakum infüzyonda kullanılacak olan dışı kalıbı el ile alınmıştır. Daha sonra bu kalıp kullanılarak nihai ürün ortaya çıkarılmıştır.



5.2.1 Kalıp Modelleri

Gövde panellerinin üretiminin ilk aşaması olan kalıp modellerinin çok eksenli CNC ile üretilmesi gerekmektedir. Fakat tampon kalıp modellerinde deneme amacıyla daha önce 1/5 ve 1/14 ölçekli modellerin üretiminde de kullanılan üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Tıpkı ölçekli modellerde olduğu gibi, parçanın üç boyutlu yazıcı ile üretilmesi için kapalı bir hacim haline getirilmesi gerekmiştir. Bu işlem esnasında kalıp modeline mukavemet kazandırmak için modelin arka kısmına destek bayrakları çizilmiştir. Ürün tek parça halinde yazıcıya sığmadığı için uygun yerlere bağlantı flanşları ve merkezleme delikleri açılmıştır. Ön tampon iki, arka tampon üç ayrı parçadan üretilmiştir.



Şekil 5.4 Üç boyutlu yazıcı için hazırlanan arka tampon kalıp modeli

Ayrıca uç kısımlara açılan destekler ile parçaya fikstür görevi gören bir şasi tasarlanmıştır. Bu şasinin amacı kalıp alma işlemi esnasında kalıp modelinin esnemesini engellemektir.



Şekil 5.5 Üç boyutlu yazıcı ile üretilen ön ve arka tampon kalıp modelleri

Üç boyutlu yazıcı parçayı katmanlar halinde ürettiği için ürünlerin üzerinde çok ince çizgiler bulunmaktadır. Ayrıca ürünler parçalardan oluştuğu için yüzeyleri kalıp almaya uygun değildir. Bu nedenle kalıp modellerinin yüzeyleri macun ve zımpara ile düzeltilmiştir.



Şekil 5.6 Macun ve zımpara işleminden sonra ön tampon kalıp modeli

Kalıp alınmadan önce yapılması gereken son işlem ise kalıp modellerinin boyanmasıdır. Bu şekilde yüzey üzerinde kalan çok küçük gözenekler de kapanarak model kalıp almaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.7 Ön ve arka tampon kalıp modellerinin boyanması

5.2.2 Kalıplar

Kalıp modelleri tamamlandıktan sonra özel kompozit kalıp malzemesi kullanılarak kalıplar üretilmiştir. El ile serme yöntemi ile yatırılan kumaşlar kürünü tamamladıktan sonra kalıplar hazır hale gelmiştir.



Şekil 5.8 Ön tampon kalıbının hazırlanması



Şekil 5.9 Ön tampon kalıbı

Kalıplar üretilirken nihai ürünün kalıptan çıkmasını engelleyecek kısımlara maçalar eklenmiştir. Nihai ürün kalıptan maçalar ile birlikte çıkarıldıktan sonra, maçalar çıkarılarak nihai ürün elde edilmektedir.



Şekil 5.10 Arka tampondaki plaka aydınlatmaları için konulan maçalar

5.2.3 Nihai Ürünler

Kalıplar tamamlandıktan sonra nihai ürünlerin üretimine geçilmiştir. Kalıpların içersine karbon fiber kumaşlar yatırılarak reçinelenmiştir.



Şekil 5.11 Yatırılan kumaşların reçinelenmesi

Daha sonra kumaşların üzeri çok küçük gözenekli bir naylon ile kapatılmıştır. Gözeneklerin amacı vakumlama işlemi esnasında reçinenin kumaşları etkilemeden bu küçük boşluklardan geçmesidir.



Şekil 5.12 Fazla reçinenin tahliyesinde kullanılan gözenekli naylon

Şekil 5.12’de gösterilen naylonun üzerine vakumlanan reçineyi emmesi için keçe bir tabaka konulmuştur.



Şekil 5.13 Reçinenin emilmesi için konulan keçe tabaka

Kalıp, üzerindeki tabakalar ile birlikte sızdırmazlığı sağlanmış bir vakum poşetine geçirilerek vakum yapılmıştır. Vakum işlemi ile kumaşlar kalıbın yüzeyine doğru itilirken, fazla reçine gözenekli naylondan geçerek keçeye hapsedilmiştir.



Şekil 5.14 Kullanılan vakum poşeti

Vakum işlemi tamamlandıktan sonra reçinenin kürünü tamamlanması beklenmiştir. Daha sonra nihai ürünler kalıplardan çıkarılarak üretim tamamlanmıştır.



şekil 5.15 üretilen  n ve arka tamponlar

6. SONUÇLAR

Bu tezde, M1 sınıfında elektrikli bir spor otomobilin gövde panellerinin tasarım ve üretim felsefesi ele alınmıştır. İlk olarak elektrikli otomobiller en genel özellikleri ile tanımlanmıştır. Otomobillerde kullanılan şasi tipleri incelenerek, bu şasi tiplerinin hangilerinde gövdenin bağımsız olarak üretilerek şasiye haricen giydirilmesi gerektiği açıklanmıştır. Ayrıca gövde malzeme seçenekleri arasından neden karbon fiber seçildiği ve hangi üretim metodu ile üretim yapılması planlandığı gösterilerek literatür araştırması kısmı tamamlanmıştır.

Modellemenin ilk basamağı olarak, tasarımı sınırlayan zorunluluklar belirlenmiştir. Bu zorunluluklar tasarımın genel hatlarının ortaya konmasında yardımcı olmuştur. Tasarıma dair ilk estetik yüzeyler ortaya çıktıktan sonra modelin aerodinamik uygunluğu denetlenmiştir. Yapılan analizler ile aracın sürtünme katsayısı, basınç dağılımı ve hava akışı elde edilmiştir. Bu şekilde modelin aerodinamik yapısının uygun olduğu teyit edilerek ileri modelleme evresine geçilmiştir.

İleri modelleme kısmında aracın tüm yüzeyleri ele alınarak detaylandırma çalışmaları yapılmıştır. Bu işlemler esnasında aracın estetik kimliği kazandırılmış ve yüzeyler son şekillerini almıştır. Daha sonra gövde, üretime uygun şekilde parçalara ayrılmıştır.

Gövdenin gözle muayenesi için üç boyutlu yazıcı kullanılarak aracın 1/14 ölçekli modeli üretilmiştir. Üç boyutlu bir obje olarak modelin incelenmesi ile bazı değişiklikler yapılmış ve yine üç boyutlu yazıcı ile 1/5 ölçekli model üretilmiştir. Görsel ve oransal olarak model incelenerek tasarımın estetik kısmı tamamlanmıştır.

Aracın görünen yüzeylerinin tasarımının tamamlanması ile işlevsel tasarım kısmına geçilmiştir. Bu kısımda aracın cam montaj yüzeyleri, bagaj bölgeleri ve kapı bölgesi modellenmiştir. Bagaj ve kapı kısımlarında kullanmak üzere fitiller seçilerek, bu fitillere uygun fitil

yuvaları ve geçmeleri tasarlanmıştır. Kapıların dış yüzeylerindeki kapı açma kolu ve dikiz aynası gibi detaylara uygun olarak değişiklikler yapılmıştır. Bagaj içi mekanik ekipmanları ve bunların montajında kullanılacak olan parçalar tasarlanmıştır. Kullanılacak bagaj amortisörleri detaylı hesaplamalar ile belirlenmiştir.

Üretim kısmında ise ilk olarak bagaj içi ekipmanlarının montajında kullanılacak olan alüminyum parçaların üretimi anlatılmıştır. Daha sonra gövde panellerinden olan ön ve arka tamponların kalıp modellerinin hazırlanması gösterilmiştir. Hazırlanan kalıp modelleri kullanılarak kalıpların ve nihai ürünlerin nasıl üretildiği gösterilmiştir.

Bu tez ile aerodinamik açıdan başarılı, üretim ve ilk yatırım maliyeti oldukça düşük, estetik, modern ve özgün bir spor otomobil gövdesi tasarlanmıştır. Aracın yalnızca estetik olarak görünen dış yüzeyleri değil, bagajlar, cam kanalları gibi işlevsel detayları da tasarlanarak tamamen üretime uygun bir otomobil gövdesi elde edilmiştir.

Otomobilin diğer gövde panellerinin üretimi, tezde gösterilen ön ve arka tamponların üretimine benzer şekilde EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş. bünyesinde devam etmektedir. Tasarımı tez dâhilinde tamamlanan camların üretimi de yine şirket bünyesinde devam etmektedir.

Ülkemizde otomotiv sektörü her ne kadar en geniş sektörlerden birisi olarak tanımlansa da, mevcut otomotiv fabrikalarının çok büyük kısmı yalnızca montaj yapmaktadır. Üretim ve Ar-Ge faaliyetleri yapan yabancı menşeli diğer şirketlerde ise gövde ve dış tasarım faaliyetleri yürütülmemektedir. Bu nedenle tez kapsamında yapılan faaliyetlerin yerli literatürde karşılığı oldukça azdır. Ayrıca tezin çıktısı olan gövde, EVT S1'in seri üretime geçmesi ile birlikte Türkiye'de tasarlanan, üretilen ve son kullanıcıya satılan ilk otomobilde kullanılmış olacaktır ve bu nedenle ayrı bir önem ve anlam taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] S.,Brant, B. Leitman, *Build Your Own Electric Vehicle*, 2nd ed.: McGraw Hill, 2009.
- [2] J., Lowry, J. Larminie, *Electric Vehicle Theory Explained.*: John Wiley & Sons, Ltd, 2003.
- [3] (2014, Nisan) Tesla Motors. [Online].
<http://www.teslamotors.com/goelectric#savings>
- [4] (2014, Nisan) Gelir İdaresi Başkanlığı. [Online].
<http://www.gib.gov.tr>
- [5] "Fluence And Fluence Z.E. Life Cycle Assessment," Renault, Ekim 2011.
- [6] "State of Charge: Electric Vehicles' Global Warming Emissions and Fuel-Cost Savings across the United States," Union of Concerned Scientists, Temmuz 2012.
- [7] Anderson J. Anderson C. D., *Electric and Hybrid Cars: A History.*: McFarland and Company, 2012.
- [8] "La Jamais Contente Caractéristiques Techniques," Association Suisse Des Véhicules Routiers Électriques Et Efficients, 2006.
- [9] R.,Hulten, S. Cowan, "Escaping Lock-in: the Case of the Electric Vehicle," *Technological Forecasting and Social Change*, no. 53, pp. 61-80, 1996 Eylül.
- [10] "Third Quarter 2010 Shareholder Letter," Tesla Motors, Kasım 2012.
- [11] (2014, Nisan) Amerika Birleşik Devletleri Resmi Yakıt Tüketimi

Bilgilendirme Sitesi. [Online].
<http://www.fueleconomy.gov/feg/evsbs.shtml>

- [12] (2014, Haziran) Car of the Year Official Site. [Online].
http://www.caroftheyear.org/previous-winners/2011_1/coty
- [13] "Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020," Clean Energy Ministerial, Electric Vehicles Initiative, International Energy Agency, Nisan 2013.
- [14] "Aylık Araç Satış Rakamları," Opplysningsraadet for Veitrafikken (OFV), 2013.
- [15] R.K. Rajput, *A Textbook of Automobile Engineering.*: Laxmi Publications, 2007.
- [16] J. Happian-Smith, *An Introduction to Modern Vehicle Design.*: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [17] M. Wan, "Different Types of Chassis," AutoZine Technical, 1998.
- [18] "Lotus Elise Complete Service Notes," Lotus,.
- [19] *The Aluminum Automotive Manual.*: European Aluminum Association, 2013.
- [20] "Aluminum Extrusion Showcase," Aluminum Extruders Council, 2005.
- [21] B. Lutz, *Car Guys vs. Bean Counters: The Battle for the Soul of American Business*, 1st ed.: Portfolio/Penguin, Temmuz 2011.
- [22] Lindsay Chappell. (2014, Haziran) Plastic News. [Online].
<http://www.plasticsnews.com/article/20120809/NEWS/308099984/sabic-plastic-body-panels-are-coming-back>

- [23] E. Kittler, *Essential BMW Roadsters & Cabriolets.*: Bay View Books.
- [24] Molded Fiber Glass Companies. (2014)
<http://www.moldedfiberglass.com/>. [Online].
http://www.moldedfiberglass.com/sites/default/files/docs/MFG_Technical_Design_Guide_FRP_Composite_0.pdf
- [25] Molded Fiber Glass. [Online].
http://www.moldedfiberglass.com/sites/default/files/docs/MFG_The_History_of_the_Chevrolet_Corvette_0.pdf
- [26] B. Howard. (2014, Haziran) Extreme Tech. [Online].
<http://www.extremetech.com/extreme/162582-bmw-i3-will-bmws-new-ev-finally-be-the-breakthrough-for-carbon-fiber-cars>
- [27] S. Macey, *H-Point, The Fundamentals of Car Design & Packaging.*: Design Studio Press, 2009.
- [28] Phil Patton. (2014, Eylül) The New York Times. [Online].
http://www.nytimes.com/2007/04/01/automobiles/01DESIGN.html?pagewanted=2&_r=0&ei=5087&em&en=84dbb3ad5f567b1a&ex=1175745600
- [29] RWTH Aachen University, *Structural Design of Vehicles: Aerodynamics and Design*, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Turan SOYÖZEN
Doğum Yeri : Sivas
Medeni Hali : Evli
E-posta : tsoyozen@gmail.com
Adresi : Eymir Mah. Kocairmak Sk. F1-31A/4 Gölbaşı/Ankara

Eğitim

Lise : Kayseri Fen Lisesi
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Makine Mühendisliği

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce – İleri
Almanca – Orta

İş Deneyimi

MPM Design & Engineering (1 Yıl)
EVT Motor Otomotiv San. Tic. A.Ş. (3 Yıl)

Deneyim Alanları

Otomotiv, Modelleme, Tasarım, Üretim

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-

