

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**ELEKTRİKLİ BİR ŞEHİR ARACININ GÖVDE TASARIMI VE
AERODİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAVUZALP ÖZCAN

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**



**ELEKTRİKLİ BİR ŞEHİR ARACININ GÖVDE TASARIMI VE
AERODİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAVUZALP ÖZCAN

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Bu tez alışması Pamukkale Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2021FEBE048 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

YAVUZALP ÖZCAN

ÖZET

**ELEKTRİKLİ BİR ŞEHİR ARACININ GÖVDE TASARIMI VE
AERODİNAMİK ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAVUZALP ÖZCAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. İSMAİL OVALI)**

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Yapılacak olan çalışmalardaki amaç fosil yakıtlardan uzaklaşmak için çalışmalar yürüten otomotiv sektörünün odak noktasında yer alan bir elektrikli şehir aracı tasarım ortaya koymaktır. Bu araç tasarlanırken kullanıcı kitlesine uygun ve isterlerini en ideal karşılayabilecek şekilde tasarım kriterleri belirlenmiştir.

Bu isterler belirlenirken, şehir aracını kullanan veya talep eden genç kitle hedef alınarak, araçtaki tasarımsal ve aerodinamik analizler sonucunda da aracın efektif tasarım ve görselliği ön plana çıkartılarak, hafif, kitleye hitap eden bir tasarım ortaya koymak amaçlanmaktadır.

Puma hayvanından esinlenerek çıkartılan tasarım çizgileri ile ilk olarak 2B olarak aracın modeli çıkartılmış, daha sonra 3B programlar yardımıyla aracın modeli oluşturulmuştur. 3B model analiz programlarında hava akış analizleri yapılmış ve bu kapsamda final revizyonlar tasarım üstünde yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Araç Gövde Tasarımı, Aerodinamik Analiz, Elektrikli Otomobiller, Şehir Araçları

ABSTRACT

BODY DESIGN AND AERODYNAMIC ANALYSIS OF AN ELECTRIC CITY VEHICLE

MSC THESIS

YAVUZALP ÖZCAN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
AUTOMOTIVE ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. İSMAİL OVALI)

DENİZLİ, SEPTEMBER 2021

The aim of the study is to design an electric city vehicle that is at the focal point of the automotive industry, which carries out studies to move away from fossil fuels. While designing this electric vehicle, design criteria have been determined in a way that is suitable for the user group and can meet their needs ideally.

While determining these requirements, it is aimed to create a light and mass appealing design by targeting the young audience who use or demand a city vehicle, and by emphasizing the effective design and visuality of the vehicle as a result of the design and aerodynamic analyzes in the vehicle.

With the design lines inspired by the puma, the model of the vehicle was first created in 2D, then the model of the vehicle was created with the help of CAD programs. Air flow analyzes were made in 3D model analysis programs and final revisions were made on the design based on analyzes results.

KEYWORDS: Vehicle Body Design, Aerodynamic Analysis, Electric Cars, City Vehicles

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ | v |
| TABLO LİSTESİ | ix |
| SEMBOL LİSTESİ | x |
| ÖNSÖZ | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR | 3 |
| 2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi ve Günümüzdeki Yeri | 3 |
| 2.2 Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları | 9 |
| 2.3 Elektrikli Araç Türleri | 12 |
| 2.3.1 Hibrit Araçlar | 13 |
| 2.3.2 Plug-in Hibrit Araçlar | 13 |
| 2.3.3 Bataryalı Elektrikli Araçlar | 14 |
| 2.4 Elektrikli Araç Bileşenleri | 15 |
| 2.4.1 Elektrik Motoru..... | 15 |
| 2.4.2 Batarya | 16 |
| 2.4.3 Güç Grubu..... | 17 |
| 3. ŞEHİR ARACI (MİKRO ARAC) TARİHÇESİ | 19 |
| 3.1 Mikro Arabaların Avantajları | 20 |
| 3.2 L Sınıfı Araçlar | 20 |
| 4. ARAÇ TASARIM SÜREÇLERİ | 24 |
| 4.1 Araç Boyutları ve Proporsiyonu | 27 |
| 4.2 Araç Ağırlığı ve Malzemeler | 31 |
| 4.3 Paketleme ve Ergonomi | 35 |
| 5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ KAYIPLARI VE AERODİNAMİK | 41 |
| 5.1 Aerodinamik | 44 |
| 5.1.2 Sürüklenme Kuvveti | 47 |
| 5.1.3 Kaldırma Kuvveti | 54 |
| 5.1.4 Yanal Kuvvet | 55 |
| 5.1.5 Yunuslama Momenti..... | 56 |
| 5.1.6 Sapma Momenti | 56 |
| 5.1.7 Yalpa Momenti | 57 |
| 5.2 Aerodinamik Akış Çizgileri | 58 |
| 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 59 |
| 6.1 Araç Hedef Kitlesinin Belirlenmesi | 59 |
| 6.1.1 Araç İsterilerinin Belirlenmesi..... | 61 |
| 6.1.2 Araç İsterilerine Göre Çıkış Figürünün Belirlenmesi | 64 |
| 6.1.3 Araç Proporsiyonu ve 2D Paketleme | 68 |
| 6.2 Aracın 3D Paketleme Çalışmaları ve Modellenmesi | 76 |
| 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA | 87 |
| 7.1 Araç Tasarımının Aerodinamik Analizi | 87 |
| 7.2 Araç Arka Tampon Detay Çalışması | 97 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7.3 | Araç Geri Görüş Sistemi Detay Çalışması | 100 |
| 7.4 | Araç Ön Tampon Detay Çalışması..... | 104 |
| 7.5 | Aydınlatma ve Diğer Detayların Tasarlanması | 110 |
| 8. | SONUÇ VE ÖNERİLER | 120 |
| 9. | KAYNAKLAR..... | 122 |
| 10. | EKLER..... | 126 |
| | EK A | 126 |
| | EK B | 127 |
| 11. | ÖZGEÇMİŞ..... | 129 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1:Robert Anderson ve ürettiği araç (Rebecca, 2014) | 3 |
| Şekil 2.2:GM şehir aracı prototipi-1973 (Rebecca, 2014)..... | 4 |
| Şekil 2.3:CitiCar diğer adıyla Comuta-Car (Rebecca, 2014) | 5 |
| Şekil 2.4:EV1 aracı-Amerikan Ulusal Tarih Müzesi (Rebecca, 2014)..... | 6 |
| Şekil 2.5:Toyota Prius (Rebecca, 2014) | 6 |
| Şekil 2.6:Tesla Roadster (Tesla Web Sitesi, 2021)..... | 7 |
| Şekil 2.7:Tesla Model S (Rebecca, 2014)..... | 7 |
| Şekil 2.8:GM Chevy Volt ve Nissan LEAF (Rebecca, 2014) | 8 |
| Şekil 2.9:2008-2012 yıllarında PHEV-Batarya satış maliyet çizelgesi (Rebecca, 2014)..... | 8 |
| Şekil 2.10:Küresel elektrikli otomobil stoku, (Ajanovic ve diğ. 2021)..... | 9 |
| Şekil 2.11:Motor türlerine göre CO ₂ salınımı (Kanada Ulusal Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, 2014) | 10 |
| Şekil 2.12:1\$ yakıt ile girilebilecek mesafe (Kanada Ulusal Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, 2014)..... | 10 |
| Şekil 2.13:EV araç paketleme kombinasyonları (EVgo web sitesi, 2020) | 12 |
| Şekil 2.14:Hibrit araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020)..... | 13 |
| Şekil 2.15:Plug-In hibrit araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020)..... | 14 |
| Şekil 2.16:Bataryalı elektrikli araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020) | 14 |
| Şekil 2.17:Tork-motor hızı-rölanti hızı grafiği | 16 |
| Şekil 2.18:Tesla batarya paketi (Tesla Web Sitesi, 2021) | 16 |
| Şekil 3.1:2011-2018 arası AB ülkelerinde L sınıf araç satışları (Ajanovic ve diğ. 2021)..... | 21 |
| Şekil 4.1:Otomotivde konsept geliştirme döngüsü | 24 |
| Şekil 4.2:Tasarım proses döngüsü | 24 |
| Şekil 4.3:Araç Tasarım 2B çizim çalışması (Daimler web sitesi, 2017) | 25 |
| Şekil 4.4:Araç proporsiyon örneklendirmesi (DaeDesign web sitesi, 2018).... | 26 |
| Şekil 4.5: Kil modelleme çalışması (Daimler web sitesi, 2017)..... | 27 |
| Şekil 4.6:Araç dış görünüş bileşenleri (Luccarelli, 2014) | 29 |
| Şekil 4.7: Smart ForTwo ön proporsiyon (autoevolution.com, 2020)..... | 30 |
| Şekil 4.8: Smart ForTwo yan proporsiyon (autoevolution.com, 2020) | 30 |
| Şekil 4.9: Smart ForTwo arka proporsiyon (autoevolution.com, 2020) | 30 |
| Şekil 4.10: IYM ve EV araç alt sistem ağırlık karşılaştırması..... | 31 |
| Şekil 4.11: 1975'ten günümüze kadar araçlarda ağırlık azalımı (MacKenzie ve diğ., 2014) | 32 |
| Şekil 4.12: Çekme mukavemeti ve yoğunluk(Mihai-Paul, 2018)..... | 34 |
| Şekil 4.13: 1970'den 2010'a kadar araç bileşimindeki değişiklik (Mihai-Paul, 2018)..... | 35 |
| Şekil 4.14: 2B araç boyutsal kavram ve entegrasyon ölçüleri (Severin ve diğ., 2012)..... | 36 |
| Şekil 4.15:İç trim ergonomi çalışmaları(Daimler web sitesi, 2017)..... | 36 |
| Şekil 4.18:Araç oturma konfigürasyonu (Julian, 2002)..... | 39 |
| Şekil 4.19:2D paketleme ölçülendirmeleri(Julian, 2002) | 40 |
| Şekil 5.1:Bataryalı elektrikli araçlarda enerji kayıpları (ABD Enerji Bakanlığı web sitesi, 2021)..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.2:Araç aerodinamiğine etki eden kuvvetler | 45 |
| Şekil 5.3:Statik basınç katsayısı dağılımı (Julian, 2002) | 47 |
| Şekil 5.4:Ses kaynakları (Julian, 2002) | 48 |
| Şekil 5.5:Kaldırma, sürükleme ve yunuslama | 48 |
| Şekil 5.6:Üç kutulu ve iki kutulu araç tasarımları (Wikipedia Araç Gövde Biçimleri, 2010) | 50 |
| Şekil 5.7:Kaput ve ön cam açısının C_D üzerindeki etkileri (Julian, 2002) | 51 |
| Şekil 5.8:Hatchback ve sedan araçların arka akış ayrımları (Julian, 2002) | 51 |
| Şekil 5.9:Arka difüzör açısının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (Julian, 2002) | 54 |
| Şekil 5.10:Kanadın havayı yönlendirmesi (carid.com web sitesi, 2016)..... | 55 |
| Şekil 5.11:Araç üzerinde sapma momenti | 57 |
| Şekil 5.12:Araç üzerinde yalpa momenti..... | 57 |
| Şekil 5.13:Mercedes-Benz rüzgar tünel testi (Daimler web sitesi, 2017)..... | 58 |
| Şekil 6.1:Genel kitle cinsiyet dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021) | 59 |
| Şekil 6.2:Genel kitle ülke katılımcıları (adtargeting.io web sitesi, 2021) | 59 |
| Şekil 6.3:Genel kitle cinsiyet dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021) | 60 |
| Şekil 6.4:Genel kitle ilişki durumu (adtargeting.io web sitesi, 2021) | 60 |
| Şekil 6.5:Genel kitle meslek dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021) | 61 |
| Şekil 6.6:On çizgi analizi çalışması | 65 |
| Şekil 6.7:Yan çizgi analizi çalışması | 66 |
| Şekil 6.8:Tasarım 2B çalışması | 66 |
| Şekil 6.9:Aracın kara kalem çizimleri | 67 |
| Şekil 6.10:Tasarım vektör çalışması..... | 68 |
| Şekil 6.11: On proporsiyon ve paketleme kontrolü | 69 |
| Şekil 6.12: EV Motor paket ölçüleri..... | 69 |
| Şekil 6.13: Batarya paket ölçüleri..... | 70 |
| Şekil 6.14: Lastik paket ölçüleri | 70 |
| Şekil 6.15: Ön Paketleme | 71 |
| Şekil 6.16: Araç proporsiyon kesitleri | 72 |
| Şekil 6.17: 2B paketleme A-A kesiti | 72 |
| Şekil 6.18: 2B paketleme kesitleri | 73 |
| Şekil 6.19: SAE standardına göre sürücü oturuş baz ölçüleri..... | 73 |
| Şekil 6.20: Araç genel ölçülendirilmesi..... | 74 |
| Şekil 6.21: Sürücü-yolcu konfigürasyonu | 75 |
| Şekil 6.22: Ölçekli 2B paketleme | 76 |
| Şekil 6.23:Rhino 3B tasarım başlangıcı..... | 77 |
| Şekil 6.24: 3B Sürücü Araç Konfigürasyonu | 77 |
| Şekil 6.25: 3B paketleme çalışması | 78 |
| Şekil 6.26: Araç Rhinoceros 5 detay yüzey modeli..... | 79 |
| Şekil 6.27: Araç baz 3D modeli..... | 79 |
| Şekil 6.28: Sürücü-Yolcu manikin detayları | 80 |
| Şekil 6.29:Arac ve manikin boyutları..... | 80 |
| Şekil 6.30: %95 manikin oturuş pozisyonu | 82 |
| Şekil 6.31: %5 manikin oturuş pozisyonu | 83 |
| Şekil 6.32: %5-%95 manikin oturuş pozisyonları | 83 |
| Şekil 6.33: %5-%95 manikin alt görüş açıları | 84 |
| Şekil 6.34: Ön teker 3B paket çalışması..... | 85 |
| Şekil 6.35: 3B kapı alanı..... | 85 |
| Şekil 6.36: Kapı paket alanı..... | 86 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 6.37: Araç CATIA CAD modeli | 86 |
| Şekil 7.1: Design Modeller' da sınır şartları verilen model | 87 |
| Şekil 7.2: DesignModeller ürün ağacı | 88 |
| Şekil 7.3:Modelin ve sınır şartların mesh görünümü..... | 89 |
| Şekil 7.4:Araçın mesh yapısı | 89 |
| Şekil 7.5:Mesh modülündeki işlemler sonrası onay mesajı..... | 90 |
| Şekil 7.6:Fluent "Setup" modül ayarları | 90 |
| Şekil 7.7:Alt duvar sınır şartı | 91 |
| Şekil 7.8:Hava sınır şartı..... | 91 |
| Şekil 7.9:Sürtünme ve kaldırma katsayısı tanımları | 92 |
| Şekil 7.10:Çözüm öncesi final proje görünümü | 92 |
| Şekil 7.11:Hız/İterasyon grafiği..... | 93 |
| Şekil 7.12:Sürtünme katsayı grafiği | 93 |
| Şekil 7.13:Kaldırma katsayı grafiği | 94 |
| Şekil 7.14:Araç analizi basın biçimi..... | 94 |
| Şekil 7.15:Aracın yüzeyine gelen havanın hız dağılımı | 95 |
| Şekil 7.16:Hava akısı yan ve arka görünüşü..... | 95 |
| Şekil 7.17:Aracın ön projeksiyon alanı..... | 96 |
| Şekil 7.18: Baz araç tasarımı arka tampon detayı..... | 97 |
| Şekil 7.19: Revize edilmiş arka tampon ölçüleri | 98 |
| Şekil 7.20: Baz araç tasarımı arka türbülans akış çizgileri..... | 98 |
| Şekil 7.21: Baz model arka tampon analizi | 99 |
| Şekil 7.22: Revize edilen arka tampon analizi | 99 |
| Şekil 7.23: Revize arka tampon türbülans akış çizgileri..... | 100 |
| Şekil 7.24: ECE R46' ya göre Sınıf VII ayna görüş alanı (ECE R 46-05) | 101 |
| Şekil 7.25: Kamera yerleşimi | 101 |
| Şekil 7.26: Kamera görüş açısı izometrik görünümü | 102 |
| Şekil 7.27: Kamera görüş alanı-Sınıf VII görüş alan karşılaştırması | 102 |
| Şekil 7.28: Ayna üzerindeki hız konturu | 103 |
| Şekil 7.29: Ham model yan hız konturu | 103 |
| Şekil 7.30: Geri görüş sistemli yan hız konturu | 104 |
| Şekil 7.31: Ön panjur detayları..... | 105 |
| Şekil 7.32: Ön difüzör, davlumbaz deflektörleri ve ön alt tampon detayları . | 105 |
| Şekil 7.33: Ön difüzör, davlumbaz deflektörleri ve ön salt tampon detayları | 106 |
| Şekil 7.34: Ön alt panjur detayları..... | 106 |
| Şekil 7.35: Ön panjur detayları genel görünüş | 107 |
| Şekil 7.36: Araç alt kapama boşaltmaları | 107 |
| Şekil 7.37: Davlumbaz deflektörleri..... | 108 |
| Şekil 7.38: Motor odası hava akışı (orta kesit)..... | 108 |
| Şekil 7.39: Revize araç tasarımı arka türbülans akış çizgileri..... | 109 |
| Şekil 7.40: Deflektör hava akışı..... | 110 |
| Şekil 7.41: Kısa far, gündüz farı, sinyal regülatif geometrik alanları..... | 111 |
| Şekil 7.42: Sis farı regülatif geometrik alanı | 111 |
| Şekil 7.43: Kısa far regülatif geometrik görünürlüğü..... | 112 |
| Şekil 7.44: Uzun far regülatif geometrik görünürlüğü | 112 |
| Şekil 7.45: Gündüz farı regülatif geometrik görünürlüğü | 112 |
| Şekil 7.46: Sis farı regülatif geometrik görünürlüğü | 113 |
| Şekil 7.47: Ön sinyal regülatif geometrik görünürlüğü | 113 |
| Şekil 7.48: Arka aydınlatma grubu regülatif geometrik alanı | 114 |
| Şekil 7.49: Stop lambası regülatif geometrik görünürlüğü..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 7.50: Pozisyon lambası regülatif geometrik görünürlüğü | 114 |
| Şekil 7.51: Arka sinyal regülatif geometrik görünürlüğü | 115 |
| Şekil 7.52: Geri vites lambası regülatif geometrik görünürlüğü | 115 |
| Şekil 7.53: Arka sis lambası regülatif geometrik görünürlüğü | 115 |
| Şekil 7.54: Refleks reflektör regülatif geometrik görünürlüğü | 116 |
| Şekil 7.55: Üçüncü stop regülatif geometrik görünürlüğü | 116 |
| Şekil 7.56: Sürücü görüş huzmesi | 117 |
| Şekil 7.57: Dış trim ana komponentler | 117 |
| Şekil 7.58: Araç bütünü komponent yapısı | 118 |
| Şekil 10.1: Araç genel ölçülendirmesi | 126 |
| Şekil 10.2: Araç ön izometrik görünüşü | 127 |
| Şekil 10.3: Araç arka izometrik görünüşü | 127 |
| Şekil 10.4: Araç ön izometrik görünüşü | 128 |
| Şekil 10.5: Araç arka izometrik görünüşü | 128 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|-----|
| Tablo 2.1: Batarya veri karşılaştırması (Lowry, 2003) | 17 |
| Tablo 2.2: Bataryaların menzil için gerekli ağırlıkları (Lowry, 2003)..... | 17 |
| Tablo 3.1: L Sınıfı araç ana kategorileri (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2021)..... | 21 |
| Tablo 3.2: L Sınıfı araç alt kategori tanımları (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2021) . | 22 |
| Tablo 4.1: Literatürdeki postural açılar (Julian, 2002)..... | 39 |
| Tablo 4.2: SAE standardına göre araç sürüş değerleri (Julian, 2002)..... | 39 |
| Tablo 6.1: Şehir arabaları özet karşılaştırma tablosu | 63 |
| Tablo 6.2: Hayvanların karakteristikleri | 64 |
| Tablo 6.3: Şehir Aracı için sürücü konfigürasyon ölçüleri (Stuart M. ve diğ, 2009)..... | 74 |
| Tablo 6.4: Araç genel ölçülendirmesi | 74 |
| Tablo 6.5: Şehir Aracı için sürücü-yolcu konfigürasyon ölçüleri (Stuart M. ve diğ, 2009)..... | 75 |
| Tablo 6.6: 3B tasarım sonrası ölçüler..... | 78 |
| Tablo 6.7: %95 manikin sürücü manikin koltuk paketleme ölçüleri | 81 |
| Tablo 6.8: %95 manikin direksiyon paketleme ölçüleri | 81 |
| Tablo 6.9: %95 manikin pedal paketleme ölçüleri..... | 81 |
| Tablo 6.10: %95 manikin ayak koyma paketleme ölçüleri..... | 81 |
| Tablo 6.11: %5 manikin sürücü manikin koltuk paketleme ölçüleri | 82 |
| Tablo 6.12: %5 manikin direksiyon paketleme ölçüleri | 82 |
| Tablo 6.13: %5 manikin pedal paketleme ölçüleri..... | 82 |
| Tablo 6.14: %5 manikin ayak koyma paketleme ölçüleri..... | 82 |
| Tablo 7.1: Araç özellik tablosu | 119 |

SEMBOL LİSTESİ

| | | |
|------------------------|---|--|
| PHEV | : | Plug-in hibrit araçlar |
| HEV | : | Hibrit araçlar |
| NiCd | : | Nikel Kadmiyum |
| NiMH | : | Nikel Metal Hidrit |
| Li-Ion | : | Lityum İyon |
| NCAP | : | New Car Assessment Programme |
| ACRRISS | : | Araç Kiralama Endüstrisi Sistemleri Standartları Birliği |
| A | : | a eğrisi ile OT segmenti arasındaki kesişme noktası |
| O | : | Ön tekerleğin merkezi |
| T | : | A sütununun uzantısı ile ön tekerlek arasındaki teğetlik noktası |
| b | : | Dingil mesafesinin uzunluğu |
| C | : | V noktasının PQ parçası üzerindeki izdüşümü |
| P | : | Arka tekerleğin merkezi |
| Q | : | Arka tekerleğin iç noktası |
| d | : | Kapı yüksekliği |
| g | : | Greenhouse yüksekliği |
| h | : | Aracın toplam yüksekliği |
| h₁ | : | Alt kapı hattının yer düzleminden yüksekliği |
| h₂ | : | Ön lambaların yer düzleminden yüksekliği |
| l | : | Aracın toplam uzunluğu |
| r | : | Tekerlek çapı |
| IYM | : | İçten yanmalı motor |
| EV | : | Elektrikli araç |
| EPA | : | Çevre Koruma Ajansı |
| C_D | : | Sürükleme katsayısı |
| C_L | : | Kaldırma katsayısı |
| C_M | : | Moment katsayısı |
| H | : | Sabit değeri |
| V | : | Akış hızını |
| P_{atm} | : | Atmosfer basıncı |
| P | : | Yoğunluğu |
| q | : | Dinamik basıncı |
| F | : | Aerodinamik bileşke kuvveti |
| P | : | Ortam basıncı |
| A | : | Aracın ön görünüşte kapladığı alan |
| F_D | : | Sürükleme kuvvetin |
| F_L | : | Kaldırma kuvveti |
| F_Y | : | Yanal kuvveti |
| M_P | : | Yunuslama momenti |
| L | : | İki aks arası uzunluğu |
| M_Y | : | Sapma momenti |
| M_R | : | Yalpa momenti |

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübeleriyle bana ışık tutan, olumlu ve yapıcı eleştirileriyle beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. İsmail OVALI' ya; tezimin başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen ve çalışmalarım boyunca bana her türlü destek ve sabrı gösteren değerli eşim Gizem ÖZCAN' a, teşekkür ederim. Analiz aşamasında bana her türlü destek ve bilgi paylaşımında olan Makine Mühendisi Bahadır GÜNDÜZLER' e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Küresel anlamda sosyal çevre ve ülke yönetimleri açısından son denemelerdeki en önemli konulardan birisi üretim ve tüketim sisteminde fosil yakıtların kullanımı ve bu yakıtların çevreye verdikleri zararların azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimdir. Bunun çözümü olarak, başta güneş enerjisi gibi, çıktıları çevreye zarar vermeyen sistemlerin oluşturulması ve yaygınlaştırılmasıdır.

Globalde artan otomotiv kullanımı da, araçların yakıt sistemlerinin fosil yakıtlar olması sebebiyle bu konunun odak noktasında yer almaktadır. Fosil yakıtlı araçlardan salınan CO₂ ve diğer zararlı gazlardan dolayı, küresel ısınmaya olumsuz yönde etki etmesi ve ülke yönetimlerinin bu salınım ve zararları minimize etme çalışmaları otomotiv sektörünün gelecek yol planlarını belirlemesinde en önemli faktörlerden birisidir.

Bu sebeple gelişen teknolojilerin katkısıyla, güneş enerjili ve elektrikli araçların geliştirilmesi ve üretilerek global anlamında kullanılmasının giderek artması beklenmektedir. Birçok şirketin elektrikli araca yatırım yapması ve pazar payını arttırmaya çalışması da bu anlamda konuyu destekleyen çıktılardır.

Ek olarak şehir içi şahsi araçların kullanım ihtiyaçlarının artacağı göz önünde bulundurulursa, ekonomik, hafif ve sürdürülebilir çözümlerin önemi gün geçtikçe daha da artacaktır. Tüm bu durumlardan kaynaklı olarak özellikle otomotiv sektörünün merkez noktasına kayan elektrikli araçların ve özellikle günümüzde kullanımı iyice artmaya başlayan şehir araçlarının, gençlere hitap edecek olan bir araç tasarım ve ekonomik şartlarla birleştirilerek ortaya koyularak sunulması; hem global hem de yerel anlamda önem taşımaktadır.

Bu çalışmada şehir için kullanıma yönelik bir elektrikli şehir aracının bir hedef kitle belirlenerek, endüstriyel tasarım süreçleri gerçekleştirilmiş ve oluşturulan model üzerinde aerodinamik optimizasyon çalışmaları ve detay tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Aracın şasi tasarımı, EV motor, bataryaları, direksiyon ve yönlendirme sistemleri Open Motors markasının halka açık olan Tabby Evo alt yapısı temel alınarak, tasarlanan araca uygulanmıştır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar, günümüzde bilinen benzinli veya dizel motorlu araçlardan farklı olarak, gücünü sisteme entegre bir elektrik motorundan alan araçlardır. Yani elektrikli araçlar, araç üzerinde yer alan bataryalar sayesinde, bataryaların içinde yer alan kimyasal enerjiden, kinetik enerjiye dönüşüm sağlayan sistemlere sahip araçlardır. Bu araçlar 3 ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar;

Bataryalar

Elektrik motoru

Güç grubudur.

Elektrikli araçlar günümüzde otomotiv sektöründe 3 ana başlıkla kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarla beraber kullanılanlara, hibrit ve plug-in hibrit, tamamen elektrikli olanlara ise bataryalı elektrikli araç denmektedir.

2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi ve Günümüzdeki Yeri

Elektrikli araçların tarihine bakıldığında, 1800 yılların başında at arabaları ve iki tekerlekli hafif arabalar taşıma için popüler taşıma araçlarıydı. Ancak o günün yenilikçi düşünen kişileri elektrikli araçların gelecekte hakim olacağı düşüncesiyle, Macaristan, Hollanda ve Amerika' da elektrikli araç için çalışmalar yürüttüler. Bu çalışmaların sonucu olarak 1832 senesinde Robert Anderson şarj edilemeyen pil ile bilinen ilk elektrikli aracın üretimini gerçekleştirdi. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.1-Robert Anderson ve ürettiği araç (Rebecca, 2014)

1890 yılında William Morrison, Amerika’ da bilinen ilk başarılı elektrikli araç üretimini gerçekleştirmiştir. Bu tarihten itibaren buharlı ve içten yanmalı araçlara göre çok popüler olan elektrikli araçlar, genel itibariyle piyasaya hakim olmaya başlamıştır. 1897 yılında ise New York şehrinde 60 adetten fazla elektrikli araç taksi hizmeti vermeye devam başlamıştır.

Ancak bu piyasa hakimiyeti 1908 yılında Henry Ford’ un içten yanmalı motorlu Model T aracının seri üretim şartlarının gelişmesiyle beraber sona ermiştir. Model T aracının seri üretim hattında üretilmesi sebebiyle elektrikli araçlara göre yarı fiyatından daha fazla ucuza satılmasıyla hızla piyasadan yok olmaya başlamıştır.

İçten yanmalı motorların bu hakimiyeti, 1970’ li yıllarda petrol fiyatlarının artışına kadar sürmüştür. Ancak fiyat artışları sebebiyle ABD Kongresi, elektrikli ve hibrit araç araştırma geliştirme çalışmaları için onay vermiş, bununla paralel olarak başta General Motors olmak üzere birçok araç üreticisi de elektrikli araç prototipleri yapmaya başlamıştır. NASA’da bu çalışmalara destek olmuş ve 1971’ de Ay’ a yolladıkları araştırma aracını elektrikli araç olarak tasarlamıştır.

General Motors, şehir içi kullanım için içten yanmalı motorlara alternatif olarak çalışmalar yürütmüş ve bu çalışmalar sonucunda ilk prototipi 1973 yılında düşük kirliliğe sahip güç sistemi geliştirme konulu konferansta tanıtmıştır. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.2:GM şehir aracı prototipi-1973 (Rebecca, 2014)

1974 senesinde, Sebring-Vanguard şirketi 6 BG gücünde, 55-60km menzile sahip dönemi en popüler şehir aracının üretimini gerçekleştirmiş ve 1977 senesine kadar 2000' den fazla araç piyasaya sürmüştür.



Şekil 2.3:CitiCar diğer adıyla Comuta-Car (Rebecca, 2014)

Ancak tüm bu araştırmalar ve üretimler sonucunda da maksimum 70km menzil ve 60km/s maksimum hıza sahip elektrikli araçlar, içten yanmalı araçlara göre hız ve menzil konusunda geride kalmıştır ve uzun bir süre içten yanmalı motorlar küresel hakimiyetini sürdürmüştür.

1990' lı yılların başında ABD' de federal ve ulusal yönetmeliklerle elektrikli araç çalışmaları tekrar canlandırılmış ve elektrikli araçların menzilleri ve hız limitleri, içten yanmalı araçlara yaklaştırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmaların sonucu olarak General Motors, 1996 yılında EV1 aracını üretti ve bu araç, küresel anlamda elektrikli araçlara olan ilgiyi tekrar ateşledi. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.4:EV1 aracı-Amerikan Ulusal Tarih Müzesi (Rebecca, 2014)

Bunun sonucunda da Toyota 2000' li yılların başında, seri imalat hattı ürünü olan hibrit “Prius” modelini tanıttı. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.5:Toyota Prius (Rebecca, 2014)

Bu çalışmalara paralel olarak, elektrikli araçlar için en önemli konu olan bataryalar için akademik ve sektörel çalışmalar hız kazandı.

Tüm bunları sonucu olarak, günümüzde elektrikli araçların sektörel lideri olan Tesla Motors, 2006 yılında Silikon Vadisi' nde girişim şirketi olarak kuruldu. Tesla Motors, tek şarj ile 300km' den fazla menzile sahip spor araç yapmak için çalışmalarına başladı. Bu çalışmalar hızla sonuca ulaşarak, 2008 yılında “Roadster”

modelini hayata geçirdi ve günümüze kadar bu model 2450 adet satılmıştır. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.6: Tesla Roadster (Tesla Web Sitesi, 2021)

Tesla Motors bu çalışmaları sayesinde 2010 yılında Amerika Enerji Bakanlığı tarafından 456M \$ kredi desteği almaya hak kazanmıştır.

Bu kredi desteğiyle beraber, Model S' i hayata geçiren Tesla Motors, günümüzde elektrikli araçları kullanıcı ve üretici açısından bakış açılarını tamamen değiştirmiştir. 2012 yılında üretime geçen "Model S" günümüze kadar 260,000' den fazla satılmıştır. (Rebecca, 2014)



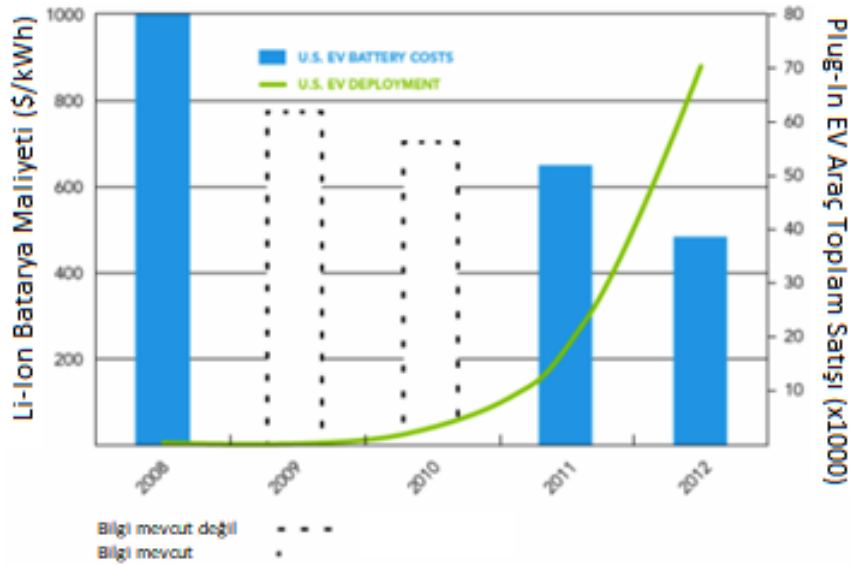
Şekil 2.7: Tesla Model S (Rebecca, 2014)

Tesla' nın bu başarısı birçok büyük otomobil üreticisine elektrikli araçlar araştırma ve geliştirme çalışmaları ilham vermiştir. Bu çalışmalar sonucunda 2010 yılında General Motors, "Chevy Volt" ile şart edilebilir hibrit aracını, Nissan ise tam elektrikli "LEAF" modelini ABD pazarında piyasaya sürmüştür. (Rebecca, 2014)



Şekil 2.8:GM Chevy Volt ve Nissan LEAF (Rebecca, 2014)

Bu çalışmaların hızlanması ile elektrikli araç batarya maliyetlerinde ciddi düşüşler meydana gelmiştir.

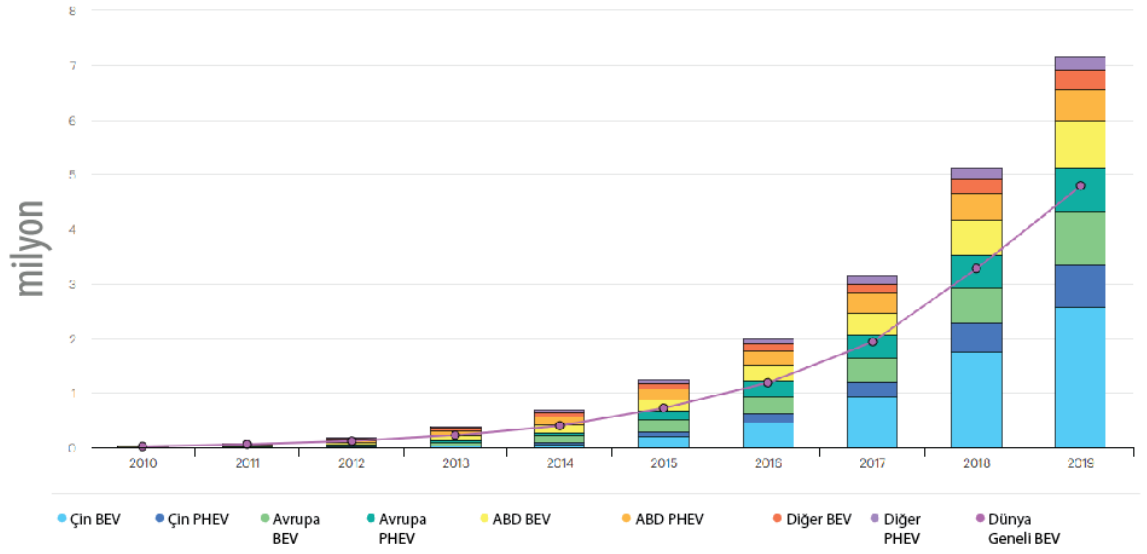


Şekil 2.9:2008-2012 yıllarında PHEV-Batarya satış maliyet çizelgesi (Rebecca, 2014)

ABD' nin elektrikli araçlar üzerindeki yatırım ve atılımlarını Avrupalı ve Asyalı otomotiv üreticileri de takip ederek, birçok hibrit ve tam elektrikli araçları piyasaya sürmüşlerdir. Renault Zoe ve Twizy gibi tam elektrikli modelleri ve benzinli/dizel motorlara sahip modellerin elektrikli versiyonları olan Fluence Z.E. ve

Kangoo Z.E. modellerini piyasa sürmüştür. Bunlara ek olarak BMW i3, Hyundai Ioniq EV, Citroen C-Zero, E-Méhari, Fiat 500e, Honda e, Mini Cooper SE, Opel Corsa-e, Peugeot 208, iOn, Seat Mii Electric, Skoda Citigo iV, Smart EQ ForFour, EQ ForTwo, Toyota C+ Pod, iQ modelleri ile piyasaya girmiş ya da grime hazırlığı yapmaktadır.

Tüm bu grafikler ışığında, günümüz koşulları göz önünde bulundurulduğunda, elektrikli araçların pazardaki payları giderek artmaya başlamıştır. (Rebecca, 2014)

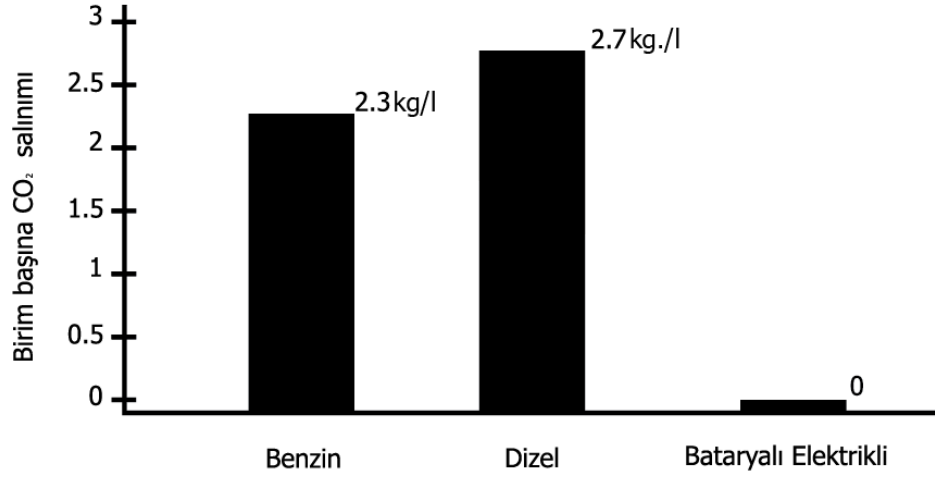


Şekil 2.10: Küresel elektrikli otomobil stoku, (Ajanovic ve diğ. 2021)

2.2 Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları

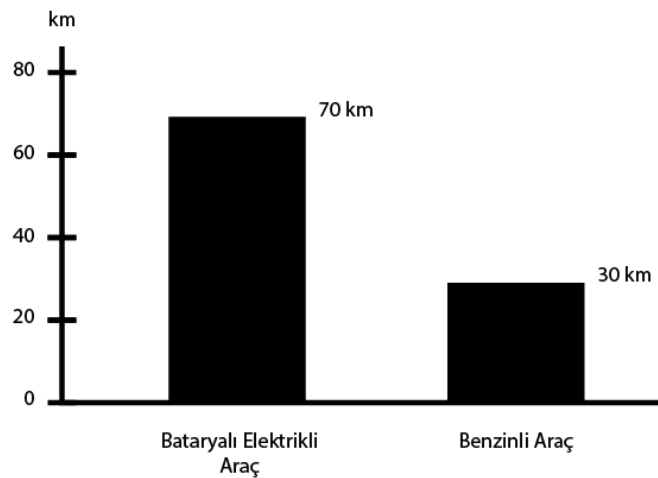
Elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Elektrikli araçların avantajları ise;

- Sürüş sırasında herhangi bir zararlı gaz emisyonu veya sera gazı üretimi gerçekleştirmez. Bataryalar ise yenilenebilir enerji kaynaklarından şarj edilebilir olmasından dolayı CO2 salınımına katkı sağlamaz. (VW Service Training, 2013)



Şekil 2.11: Motor türlerine göre CO₂ salınımı (Kanada Ulusal Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, 2014)

- Bu sayede dünyanın bazı bölgelerinde pilot çalışmaları süren yakın gelecekte de çoğalmasa ön görülen “Sıfır Emisyon Bölgeleri” ne rahatça girebilecekler.
- İçten yanmalı motorlara göre daha sessiz çalışarak, gürültü emisyonunda ciddi avantajlar sağlamaktadır. Elektrikli araçlarda, en yüksek hızda bile araç içine gelen en yüksek ses lastik sesidir.
- Elektrik motoru çok sağlamdır ve az bakım gerektirir. Bakımları içten yanmalı motorlara göre daha az sıklıkta yapılmaktadır.
- İçten yanmalı motorlar %25-40 arası performansa sahip iken, elektrik motorları ise %96 verimliliğe sahiptir.
- İçten yanmalı motorlara göre daha ekonomik seyahat avantajı sunmaktadırlar. (VW Service Training, 2013)



Şekil 2.12: 1\$ yakıt ile girilebilecek mesafe (Kanada Ulusal Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, 2014)

- İçten yanmalı motorlara göre çok daha iyi tork değerine sahiptirler. Maksimum torku, hiç duraksamadan sağlayabilirler. Bu sayede elektrikli motorlar, aynı değere sahip içten yanmalı motora göre daha hızlı bir hızlanma yetisine sahiptir.
- Şanzıman, debriyaj, susturucular, partikül filtreleri, yakıt deposu, marş motoru, alternatör ve bujiler gibi içten yanmalı motorların güç aktarma bileşenlerine gerek duymadıkları için, tasarımları ve paketlemesi daha kolaydır.
- Araç frenlemesinde rejeneratif frenleme sayesinde, araç sürüş esnasında harcanan enerjinin bir kısmı geri kazanılmaktadır.
- Elektrikli araçlar yüksek voltajlı pillere sahip olsalar da, bu piller, günlük yaşam alanımızdaki bölgelerde şarj edilebilir.
- Enerji sadece ihtiyaç duyulduğunda verildiği için, sıkışık trafikte veya kırmızı ışıklarda beklendiğinde içten yanmalı motorlar gibi enerji sarf etmez.
- Daha teknolojik ve çağa uyum sağlayan bir yapıya sahiptir.
- Elektrikli tahrik motorundaki redüksiyon dişli kutusu dışında elektrikli araç herhangi bir yağlama yağı gerektirmez. (VW Service Training, 2013)

Bunların yanında elektrikli araçların en büyük dezavantajı olarak, halen daha gelişmekte olan batarya teknolojisi bulunmaktadır. Diğer dezavantajları ise;

- İlk yatırım maliyetinin yüksekliği sebebiyle, araç fiyatları da, içten yanmalı motorlu araçlara göre daha fazladır.
- Güç kaynağı olarak bakıldığında, bataryalar petrol bazlı yakıtlara göre daha ağırdır.
- Elektrikli araçlar, pil boyutu ve yapısı nedeniyle sınırlı bir menzile sahiptir. Bu sebeple menzil dışına seyahatlerde, kullanıcının seyahat planlamasını menzil ve şarj istasyonu/lokasyonuna göre yapması gerekecektir.
- Yüksek voltajlı bir pilin şarj edilmesi, pil şarjına ve güç kaynağına bağlı olarak uzun sürebilir.

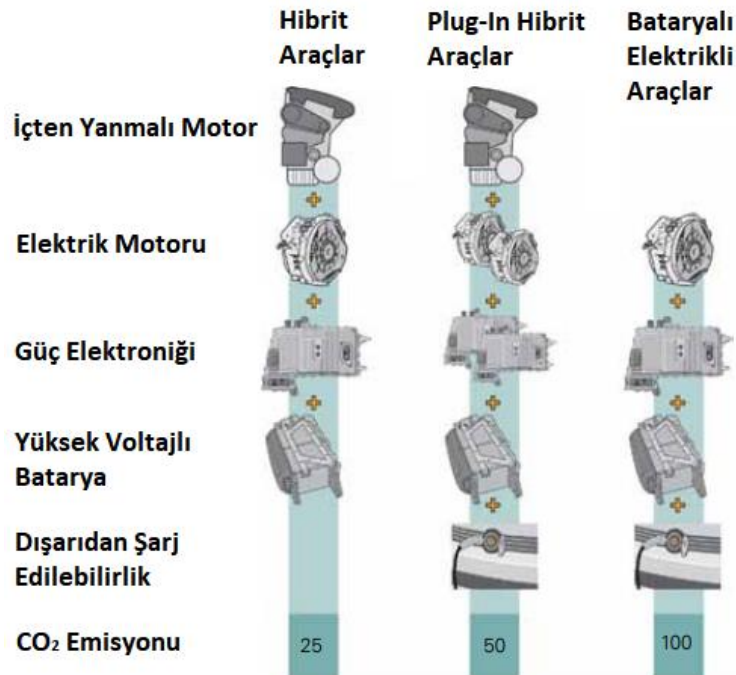
- Elektrikli şarj istasyonları günümüz şartlarında sayısı artmaya devam etse de, petrol istasyonları kadar yaygın olmadığından dolayı şarj edilecek bölgeler açısından dezavantaj teşkil etmektedir. (VW Service Training, 2013)

Üretim ve tüketim sistemini besleyen enerjinin petrol ve doğalgaz gibi çevreye zararlı sınırlı kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi sebebiyle elektrikli araçların potansiyeli günümüzde çok fazladır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla beraber karbon emisyonunda %20' ye varan, fosil yakıtlara olan bağlılıkta da %30-60 azalmalar olacağı beklenmektedir. (Rebecca, 2014)

2.3 Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araçlar, batarya türlerine göre 3 çeşitte sınıflandırılmaktadır. Güncel olarak elektrikli araç tipleri şu şekildedir;

- Hibrit araçlar
- Plug-in hibrit araçlar
- Bataryalı elektrikli araçlar

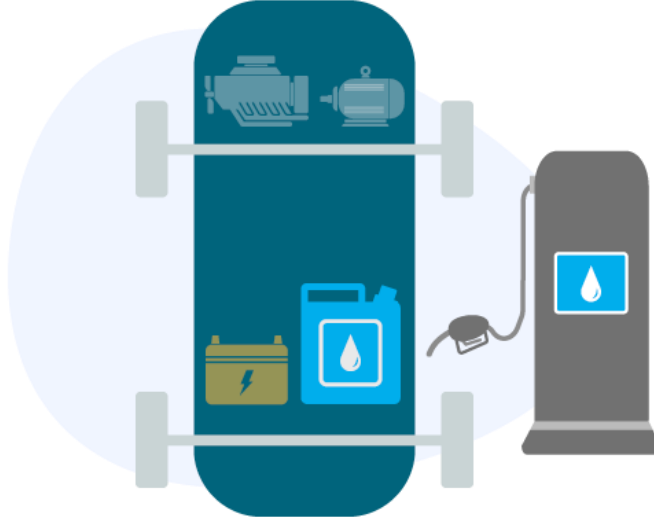


Şekil 2.13:EV araç paketleme kombinasyonları (EVgo web sitesi, 2020)

2.3.1 Hibrit Araçlar

Hibrit otomobillerde elektrik pili ve içten yanmalı motor bulunur. Elektrik pili, içten yanmalı motor kullanılarak şarj edilir. İçten yanmalı motor devreye girmeden 1-2 km gibi kısa bir süre aracı götürecek kadar küçük bir elektrik motoruna sahiptirler.

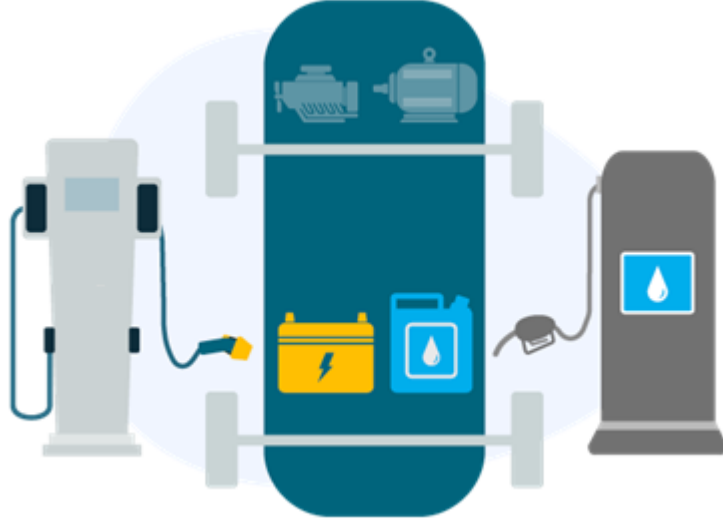
Geleneksel içten yanmalı motorlarda fren enerjisi fren balatalarında ve rotorlarda ısı olarak kaybolurken; hibrit araçlarda ise frenleme sırasında rejeneratif frenleme ile enerjinin bir kısmı geri kazanılarak akünün enerjisine takviyede bulunur. (EVgo web sitesi, 2020)



Şekil 2.14:Hibrit araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020)

2.3.2 Plug-in Hibrit Araçlar

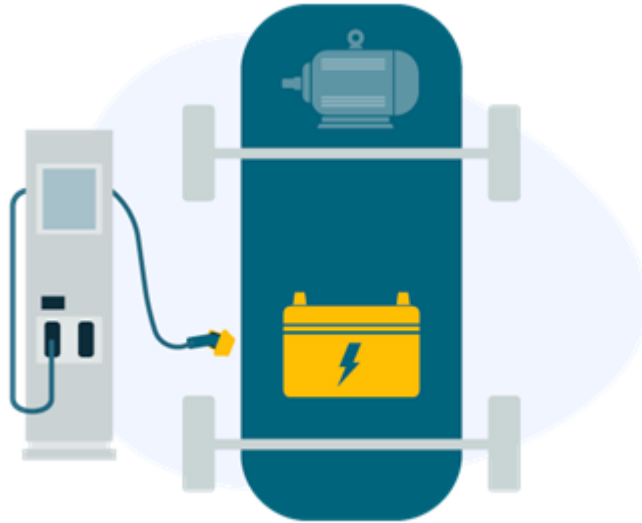
Hibrit araçlar gibi frenleme esnasında rejeneratif frenleme ile enerjinin bir kısmı geri kazanılarak akünün enerjisine takviyede bulunur. Hibrit araçlardan en büyük farkı ise bataryası daha büyük bir bataryaya sahip olmaları ve yeniden şarj etmek için şebekeye bağlanabilmeleridir. Büyük bataryası sayesinde içten yanmalı motor devreye girmeden 30-40 km menzilde yol kat edebilirler. (EVgo web sitesi, 2020)



Şekil 2.15: Plug-In hibrit araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020)

2.3.3 Bataryalı Elektrikli Araçlar

Genel itibariyle elektrikli araç olarak da bilinirler. Bu araçlar tam elektrikli olup, tamamen doldurulabilir bir bataryaya sahiptirler. Bu sayede herhangi bir içten yanmalı motora sahip olmadan ilerleyebilirler. Bu sebeple araç herhangi bir CO₂ emisyonuna veya gaz salınımı kaynaklı çevre kirlenmesine sebebiyet vermezler. (EVgo web sitesi, 2020)



Şekil 2.16: Bataryalı elektrikli araç genel bakış (EVgo web sitesi, 2020)

2.4 Elektrikli Araç Bileşenleri

Elektrikli araçlar bileşen sayısı olarak içten yanmalı motorlara göre daha az bileşene sahiptir. Genel itibariyle bileşenlerine bakacak olursak elektrikli araç ana sistem parçaları şunları içerir:

- Elektronik kontrollü (güç elektroniği) ve soğutma sistemli elektrik motoru
- Şarj cihazı ve kontrol ünitesi yüksek voltajlı pil
- Diferansiyel dahil güç grubu

2.4.1 Elektrik Motoru

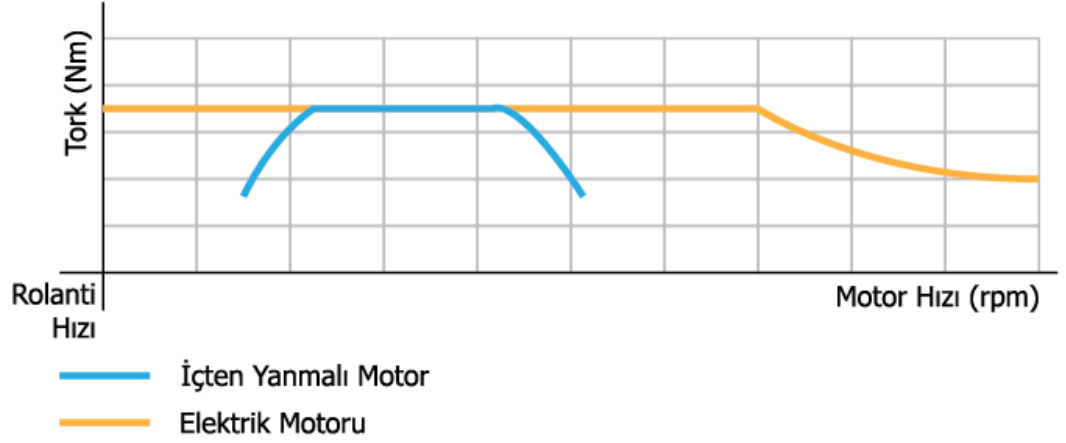
Elektrik motoru, fosil yakıt kullanan araçlarda içten yanmalı motorunun yerini almaktadır. Prensip olarak, herhangi bir elektrik motoru alternatör olarak da kullanılabilir. Elektrik motoru mekanik olarak tahrik edildiğinde alternatör olarak elektrik enerjisi sağlar.

Elektrik motoru, elektrik akımı ile beslendiğinde sürücü olarak çalışır. Tahrik için kullanılan elektrik motorları su soğutmalıdır. Hava soğutması da mümkün olabilir, ancak alan ve üretilen ısı miktarı nedeniyle karmaşıktır.

Hibrit araçlarda (HEV), elektrik motoru aynı zamanda içten yanmalı motorun marş motoru olarak da işlev görür.

Elektrik motoru maksimum torkuna ilk devirde ulaşır. Rölanti hızına ulaşmak için bir başlatma aşaması gerektirmez. Belirli bir devir sayısına ulaşıldığında, devir arttıkça mevcut tork düşer. Elektrikli motorunun bu özellikleri sayesinde karmaşık bir şanzımana ihtiyaç duyulmamaktadır.

İçten yanmalı motorlar ise tork üretmek için bir rölanti devrine ihtiyaç duyar. Motor devri artırıldığında mevcut tork artar. Buna bağlı olarak içten yanmalı motorlarda, çeşitli vites oranlarına sahip bir şanzıman gerektirir.



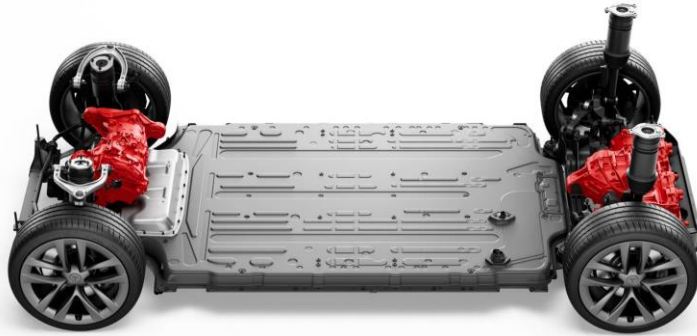
Şekil 2.17:Tork-motor hızı-rölanti hızı grafiği

2.4.2 Batarya

Bataryalar, bir elektrikli aracın en önemli parçasıdır. Kimyasal tepkimeler sonrasında ortaya elektrik enerjisi ortaya çıkartarak, aracın da bu elektrik enerjisiyle de tahrik gücüyle hareket etmesini sağlar.

Yüksek voltaja sahip bataryalar aracın güç elektroniğine direk olarak güç sağlamakla yükümlüdürler.

Bataryalar geçmişte olduğu gibi günümüzde de elektrikli araçların en geliştirilmesi gereken parçalarıdır. Bataryaların menzil olarak arttırılması, şarj süresinin kısaltılması ve ağırlık olarak azaltılmasıyla beraber elektrikli araçların dünya genelinde kullanımına hız kazandıracak faktörlerdir.



Şekil 2.18: Tesla batarya paketi (Tesla Web Sitesi, 2021)

Elektrikli araçlar için batarya ömürleri her bir şarj, bir döngü olacak şekilde 10 senelik toplamda 3000 döngü yapacak şekilde tasarlanmaktadır.

Dünya genelinde çok sık kullanılan 4 farklı batarya teknolojileri kullanılmaktadır. Bu bataryalar;

- Kurşun Asit bataryalar
- Nikel Kadmiyum bataryalar
- Nikel Metal Hidrit bataryalar
- Lityum İyon bataryalar

Tablo 2.1: Batarya veri karşılaştırması (Lowry, 2003)

| Batarya Tipi | Enerji (Wh/kg) | Maksimum Güç (W/kg) | Verim (%) | Ömür | Fiyat (\$/kW) |
|--------------|----------------|---------------------|-----------|----------|---------------|
| 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 |

Bataryalar, kullanım menzillerine ve ağırlık kısıtlarına göre tercih sebebi olmaktadır. Kurşun asit bataryalar düşük enerjiye ve maliyete sahip oldukları için daha çok kısa menzil içerisinde kullanılacak olan araçlarda (golf aracı, fabrika shuttle'ları vb.) kullanılmaktadır. Bununla beraber günümüzde son kullanıcı odaklı araçlarda ise diğer batarya grupları kullanılmaktadır.

Tablo 2.2: Bataryaların menzil için gerekli ağırlıkları (Lowry, 2003)

| Batarya Tipi | 100km Menzil için Gerekli Batarya Ağırlığı (kg) |
|--------------|---|
| Kurşun Asit | 1000 |
| NiCd | 440 |
| NiMH | 460 |
| Li-Ion | 330 |

2.4.3 Güç Grubu

Bataryalı elektrikli araçlar günümüzde sıklıkla kullanılan geleneksel güç grubuna ihtiyaç duymazlar. Ancak hibrit elektrikli araçlar ve plug-in hibrit araçlarda elektrik motoru asıl tahrik motoru değil, yardımcı tahrik motoru olduğu için, bu

araçlarda geleneksel güç grubu bulunmaktadır. Bu güç grupları da otomatik veya çift kavramaları güç gruplarıdır.

3. ŞEHİR ARACI (MİKRO ARAC) TARİHÇESİ

Şehir araçları kavramı, diğer adlarıyla kent araçları ya da mikro araçlar, diğer aralara göre boyutsal olarak daha küçük, 700cc den küçük üç veya dört tekerlekli araçlardır.

Bu araçların ataları olarak sayılacak araçlar ilk olarak 1895 senesinde Léon Bollée “Voiturette” ismini verdiği 3 tekerlekli aracıyla otomotiv dünyasına girmiştir. Voiturette’ yi 1910-1920 tarihleri arasında ise bisiklet araçlar olarak ucuz, hafif ve küçük araçlar takip etmiştir. (Wikipedia Voiturette başlığı, 2021)

Akabinde 2. Dünya Savaşı sonrasında 1940’ larda İngilizler ve Almanlar tarafından içten yanmalı motora sahip, hava şartları baz alınarak, “Voiturette” ve “bisiklet araçlardan” daha avantajlı olan araçlar “mikro araç” adıyla üretime ve anılmaya başlanmıştır. (Michael, 2007)

Mikro araçlar günümüzde farklı kıtalarda farklı bölgesel isim ve segmentlerde isimlendirilmektedir.

Avrupa’ da Euro NCAP segment sınıflandırmasına göre A segment ya da mini araç olarak sınıflandırılırken; ABD’ de Çevre Koruma Ajansı’ nın belirlediği kriterler doğrultusunda “minicompact” olarak ve ACRRISS (Araç Kiralama Endüstrisi Sistemleri Standartları Birliği) tarafından ise M (Mini) ve N (Mini Elite) koduyla sınıflandırılmaktadır. (ACRRISS web sitesi, 2021)

BM Ekonomi Komisyonu tarafından ise bu araç türleri motor tipi, ağırlık ve tekerlek sayısına göre L sınıfı ve M sınıfı olarak kategorize edilmektedir. (Avrupa Komisyonu web sitesi, 2021)

Bölgelere göre ise ABD’ de “subcompact”, Japonya’ da “Kei”, Avrupa’ da ise “mini araç” olarak isimlendirilmektedir.

Şehir araçları regülasyonlarda L sınıfı ve M sınıfı olarak geçmektedir ve tüm regülatif isterler doğrultusunda bu araç sınıflarının bulunduğu kategorilerde regüle edilirler. M sınıfı araçlar en az dört tekerlekli, motorlu yolcu taşıma amaçlı araçlardır. L sınıfı araçlar ise, iki ve üç veya dört tekerlekli motorlu araçlardır.

3.1 Mikro Arabaların Avantajları

Mikro arabalar, otomobil klasmanındaki en küçük versiyonu olduklarından dolayı daha düşük güç ve enerji tüketimi gereksinimleri sayesinde, geleneksel araçların karşımıza çıkarttıkları problemlerden daha uzak olarak, bu tarz sorunlar ortaya çıkmadan elektrikli araç teknolojisi kullanılarak hayatımızı kolaylaştırmaktadırlar.

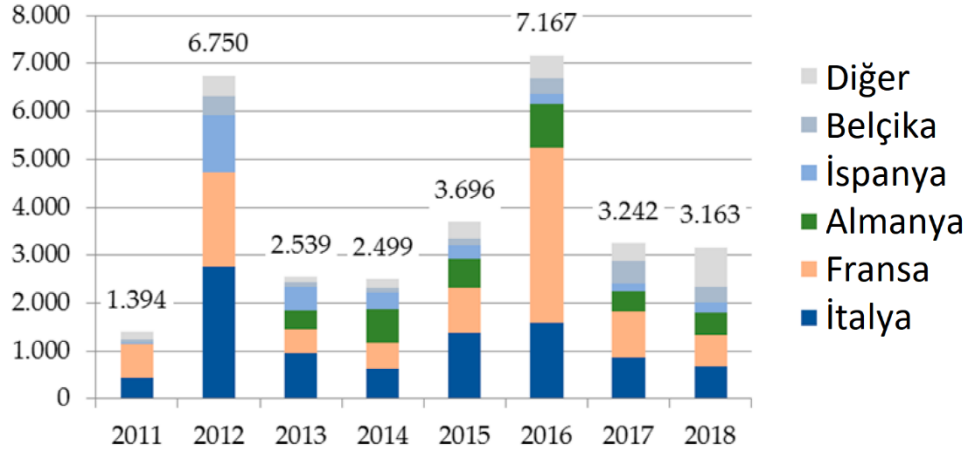
Günümüzde hükümetler ve yetkili kuruluşlar tarafından CO₂ salınımının kısıtlanması için toplu taşımaların tercih edilmesi önerilmektedir. Ancak toplu taşımaların, her ne kadar günümüzde gelişmiş bir altyapısı olsa da buna rağmen bazı bölge ve alanlara göre sınırlı ağ ve yolcu kapasitesi, sabit hareket saatleri gibi bazı kısıtlamaları nedeniyle toplu taşıma herkes için yeterli olmamaktadır. Bunun yerine küçük elektrikli şehir arabaları toplu taşımaya alternatif olarak görülmektedir. Bu araçlar gürültüsüz ve çevreye daha az zarar verirken daha az trafik sıkışıklığına neden oluyor ve minimalist tasarımları sayesinde toplu taşımaya göre daha esnek koşullar sunuyor.

Boyutsal olarak küçük olmalarından ötürü park alanı probleminin daha az yaşanması ve boyutlarından dolayı daha az trafik hacmi oluşturmalarıdır.

Bunlara ek olarak regülasyonlarda belirlenen hız sınırlarından dolayı, şehir içi sürüşlere daha uyumlu bir yapıya sahiptirler. Elektrikli şehir araçlarında herhangi CO₂ salınımı olmadığından dolayı yeşil bir çevre için avantaj olarak görülmektedir.

3.2 L Sınıfı Araçlar

L sınıfı araçlar M ve N sınıfı araçlara göre daha düşük bütçeli ve trafikte daha az hacim kaplayan araçlardır. İçten yanmalı motorlu versiyonları için, motor hacimleri daha düşük olduğundan dolayı karbon salınımları M ve N sınıfı araçlara göre daha düşüktür. Küresel ısınmadan kaynaklı olarak global anlamda alınan önlemlerin otomotiv dünyasındaki yansımaları bakıldığında, L sınıfı araçların yüzdesi global anlamda artmaktadır.



Şekil 3.1: 2011-2018 arası AB ülkelerinde L sınıf araç satışları (Ajanovic ve diğ. 2021)

Regülasyonlar gereği L kategorisi araçlar maksimum 4000mm uzunluk, 2000mm genişlik ve 2500mm yüksekliğe sahip olmalıdır. Ancak bu kriterlerde belirtilenler haricinde L6eB kategorisi için uzunluk maksimum 3000mm L7e-C için 3700mm; genişlik L1e için 1000mm, L6e-B ve L7e-C için 1500mm olarak sınırlandırılmıştır. L sınıfı araçlar 7 üst kategoriden oluşmaktadır. Bu kategorilerin her biri, kendilerine ait ek alt kategorilerle sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.1: L Sınıfı araç ana kategorileri (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2021)

| Kategori | Azami Hız | Motor Gücü | | Açıklama |
|----------|-----------|--------------------|------------|--|
| | | İçten Yanmalı | Elektrikli | |
| L1 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | İki tekerlekli araç |
| L2 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | Üç tekerlekli araç |
| L3 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | Yolcu sepetsiz iki tekerlekli araç |
| L4 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | Yolcu sepetli iki tekerlekli araç |
| L5 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | Simetrik olarak yerleştirilmiş üç tekerlekli araç |
| L6 | 45 km/s | 50 cm ³ | 4 kW | Elektrik motorlu araçlarda akü ağırlığı hariç yüksüz ağırlığı 0.35 tonu geçmeyen dört tekerlekli araç |
| L7 | 90km/s | 15 kW | | Elektrik motorlu araçlarda akü ağırlığı hariç yüksüz ağırlığı 0.4 tonu (yük taşıma amaçlı araçlarda 0.55 ton), L6 sınıfına girmeyen dört tekerlekli araç |

L sınıfı araçlar, elektrikli ve içten yanmalı motorlara sahip olmakla beraber, aracın uzunluğu, türü ve kullanım alanı başta olmak üzere temel kriterlerle belirli alt kategorilere ayrılmıştır.

Tablo 3.2:L Sınıfı araç alt kategori tanımları (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2021)

| Alt Kategori | Kategorisi Tanımı | Araç Kategorisi Açıklaması |
|--------------|---|--|
| L1e-A | Tahrikli bisiklet | Pedalla çalışacak şekilde tasarlanmış Maksimum motor gücü 1kW |
| L1e-B | İki tekerlekli moped | L1e kategorisine dahil L1e-A haricindeki diğer araç |
| L2e-U | İş amaçlı tasarlanmış üç tekerlekli moped | Açık veya kapalı, hemen hemen düz ve yatay bir yükleme yeriyle özellikle mal taşımak için tasarlanmış araçlar. Yükleme Yer Uzunluğu: $Uzunluk_{Yükleme\ yeri} \times Genişlik_{Yükleme\ yeri} \geq 0,3 \times Uzunluk_{Araç} \times Azami\ genişlik\ veya\ yükleme\ yeri\ alanı\ asgari\ olarak\ 600\ mm^3$ 'le sınırlandırılmış |
| L2e-P | Yolcu taşımak için tasarlanmış üç tekerlekli moped | L2e-U araçların özel sınıflandırma kriterlerine uyanlar dışındaki L2e araçlar |
| L3e-A1 | Düşük performanslı motosiklet | Maksimum motor kapasitesi 125 cm ³ Maksimum motor gücü 11kW Güç/ağırlık oranı $\leq 0,1\ kW/kg$ |
| L3e-A2 | Orta performanslı motosiklet | Maksimum motor gücü 35kW Güç/ağırlık oranı $\leq 0,2\ kW/kg$ L3e-A1 araçların özel sınıflandırma kriterlerine uyanlar dışındaki L3e araçlar |
| L3e-A3 | Yüksek performanslı motosiklet | L3e-A1 veya L3e-A2 araçlara özgü sınıflandırma kriterlerine göre sınıflandırılmayan başka herhangi bir L3e araç |
| L4e | Yan arabalı iki tekerlekli motosiklet | Bir L3e aracın sınıflandırma ve alt sınıflandırma kriterlerine uyan, sepetli (sürücü dahil azami dört oturma yeri) olan araç |
| L5e-A | Üç tekerlekli motosiklet | Sürücü yeri dahil azami beş oturma yeri olan ve L5e-B araçların özel sınıflandırma kriterlerine uyanlar dışındaki L5e araç |
| L5e-B | Ticari üç tekerlekli motosiklet | Ticari yararlanma amaçlı bir araç Sürücünün oturma yeri dahil azami iki oturma yeriyle donatılmış L2e araç olarak sınıflandırılmayan üç tekerlekli araç |
| L6e-A | Karayolunda giden hafif dört tekerlekli motosiklet | Bir L6e-B aracın özel sınıflandırma kriterlerine uyanlar dışındaki L6e araç Maksimum motor gücü 4kW |
| L6e-B | Hafif dört tekerlekli motorlu araç | En fazla üç yandan girilebilen, kapalı bir sürücü ve yolcu bölmesi Maksimum motor gücü 6kW |
| L7e-A | Karayolunda giden ağır dört tekerlekli motorlu araç | L7e-B veya bir L7e-C aracın özel sınıflandırma kriterlerine uymayan L7e araç |
| L7e-B | Her arazide gidebilen ağır dört tekerlekli motosiklet | Bir L7e-C aracın özel sınıflandırma kriterlerine uymayan L7e araç Azami yerden yükseklik 180cm |
| L7e-C | Ağır dört tekerlekli motorlu araç | Bir L7e-B aracın özel sınıflandırma kriterlerine uymayan L7e En fazla üç yandan girilebilen, kapalı bir sürücü ve yolcu bölmesi |

L7e sınıfı araçlar, her kara aracı gibi regülasyonlara tabiidir. Bu regülasyonlara uyum süreci, regülasyona göre, geliştirme sürecinde, 3B modelleme sürecinde, prototip üzerinde olmak üzere farklı zamanlarda yapılması gerekmektedir.

4. ARAÇ TASARIM SÜREÇLERİ

Araç tasarım süreci, otomotiv şirketlerinin gelişen teknoloji ve istelere göre, sürekli olarak sürdürmeleri gereken bir süreçtir. Bu süreç başlangıcında yeni ürün fikri ve pazar çalışması ile başlar ve sonucunda ise bir ürün meydana getirilir. Bu meydana gelen ürünler, bazen piyasaya çıkartılmadan sonlandırılan projelerde olabilir. Bu süreçler ortalama 3 sene süren bir süreç olup, tüm çalışmalar yapıldığında seri üretime hazır ürünlerin elde edilmesi planlanmaktadır.



Şekil 4.1: Otomotivde konsept geliştirme döngüsü

Şekil 4.1’ de gösterilen grafikte, tasarım süreci, “Araç Konsepti” kısmıyla başlar ve büyük anlamda “Ergonomi” ile biter. Ancak bundan sonraki süreçlerde de tasarım ile ilgili iyileştirmeler olsa da bunlar aracın konseptini etkilemez ve genel yapısını değiştirmez. Tasarım süreci, başlangıçtan seri üretime kadar 5 genel adımdan oluşmaktadır.



Şekil 4.2: Tasarım proses döngüsü

Tasarım süreci öncesinde aracın veya ürünün planlaması ve araştırılması yapılmaktadır. Tasarım süreci öncesinde yapılacak çalışmaların girdisi olarak proje hedefleri belirlenir. Bu proje hedeflerinde kullanıcıya sunulacak hizmet/ürün, pazar/rekabet araştırması, maliyetlendirme hedefleri belirlenir. Bu çıktılar endüstriyel

tasarım ve mühendislik ekiplerinin ilk girdileri olarak fikir paylaşımı yapılır ve buna göre sistem/proje revize edilerek, tasarım çalışmalarına başlanır.

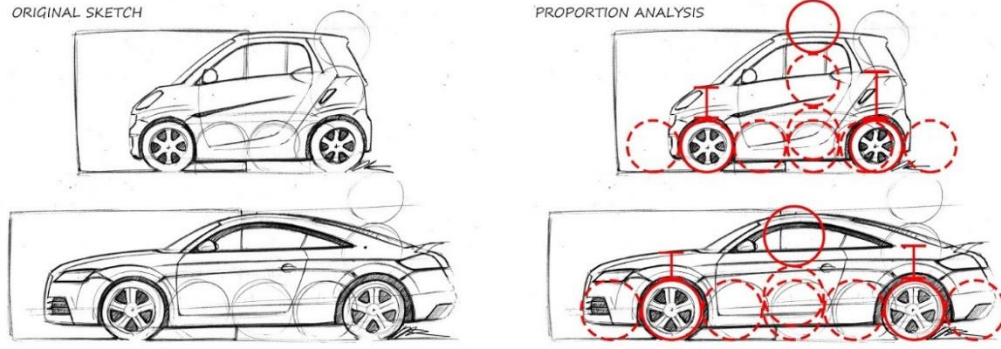
Tasarım süreci, geliştirme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Tasarımcılar araştırma, geliştirme ve üretim alanlarıyla yakın işbirliği içinde çalışırlar, araç boyutları, malzeme konseptleri ve üretim süreçlerini koordine eder ve ince ayarlarlar, ayrıca süreçte üretilebilirliği sağlarlar.

Tasarım süreci her zaman bir fikrin kâğıt üzerine çizimi ile başlar. Belirlenen araç konseptine ve kriterlere göre eskiz defterinde veya bilgisayar ekranında, tasarımcının kafasında var olan fikirlerin yansıtılmasıyla hayat bulmaya başlar.



Şekil 4.3:Araç Tasarım 2B çizim çalışması (Daimler web sitesi, 2017)

Çeşitli sayıdaki eskizler sonrasında proje isterlerine en yakın ve bunlardan tasarımcılarına göre en iyi eskizler seçilerek detaylandırmaya devam edilir. Bu eskizler, araç segmentine göre tasarımsal açıdan günümüze kadar uzanan kabul görmüş proporsiyon ölçüleri dikkate alınarak çizilmeye başlanır.



Şekil 4.4:Araç proporsiyon örneklendirmesi (DaeDesign web sitesi, 2018)

Eskizler sonrasında, kağıt ya da bilgisayar ortamında, aracın şekillenmesi için en temel adımlardan birisi de paketlemedir. Paketleme, çizilen ilk 2B çizimlerin, genel mühendislik ihtiyaçlarının bu çizimlere yansıtılması, aracın boyutlarının, orantılarının belirlenmesi ve çizimlerin bu boyutlamalara göre tutarlı olacak şekilde güncellenmesini sağlar. Özetle paketlemenin temelinde, orantılar, boyutlar ve çizgiler tutarlı bir bütün oluşturması yatmaktadır. Bu süreçte ilk ortaya çıkan tasarımlarda değişiklikler ve tavizler meydana gelebilmektedir. Paketlemede amaç, aracın temel mekanik ve ergonomik gereksinimlerini gösteren 3B görünümünün şekillenmesini sağlamaktır.

Bu paketleme ön paketleme aşaması olup, mümkün olduğunda az ve ana detaylar dikkate alınarak yapılmaktadır. Tasarım şekillenmesi ve onaylanması sonrasında mühendislik çalışmalarında detay paketleme ve komponent yerleşimleri yapılarak dataya final hali verilecek çalışmalar gerçekleştirilmesi sağlanacaktır.

Paketlemeyle beraber ürünün detay proporsiyon çalışması da yapılmaktadır. Revize edilen ve detaylandırılan 2B modeller, bilgisayar veya kil modelleme yardımıyla, 3B olarak sanal ortamda ya da ölçekli şekilde kil üzerinde modellenmeye başlanır. Bu kil modelleme veya bilgisayar üzerinden 3B modelleme, hem tasarımın 2B' den 3B' ye geçerek perspektiften daha detaylı ve bütün olarak değerlendirilmesini sağlar, hem de tasarım sonrasında yapılacak mühendislik çalışmalarının ilk çıktısı olarak işlevsellik kazanır.

Bu süreçte tasarım üzerinde birçok değişiklik ya da birden fazla farklı detaylar oluşturulmaktadır. Bu sebeple genelde kil model yapılacağı zaman 1:1 model çok az

kullanılmaktadır. Ancak tasarım netleşip, ihtiyaç olması durumunda profesyonel ekipler tarafından 1:1 kil model yapılmaktadır.

Sanal 3B tasarımlar kil modele göre bir nebze daha hızlı üretilebilir ve değiştirilebilir olsalar da, gerçek bir ölçekli ya da tam boyutlu kil modelin üzerinde görülebilecek bazı noktaların gözden kaçmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple kil modellemeler günümüzde birçok otomotiv firması ya da profesyonel firmalar tarafından desteklenerek üretilmektedir. Bu kil model üzerinde revizyonlar tamamlandıktan sonra, 3B tarayıcılar ile model bilgisayar ortamına nokta bulutu olarak kaydedilip, bu nokta bulutları üzerinden 3B son revizyonlar gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.5: Kil modelleme çalışması (Daimler web sitesi, 2017)

Tüm 3B modellemeler sonrasında, seçilen 3B modelin tam tasarımsal detaylandırma süreci başlar. Bu süreç mühendislik departmanı tarafından detay tasarım, yapısal tasarım ve geliştirilecek takımlar için ihtiyaç duyulan tüm yüzey datalarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır (torquenews.com web sitesi, 2021).

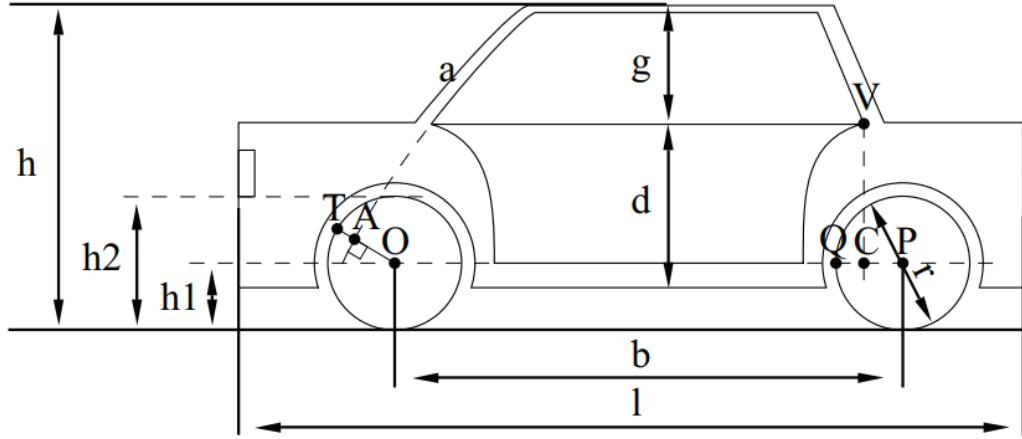
4.1 Araç Boyutları ve Proporsiyonu

Güç aktarma sistemi, araba paketlemede en etkili sistemlerden biridir. Bu nedenle, alternatif güç aktarım teknolojilerinin tanıtılması, daha önce geleneksel yanmalı motorlar tarafından kısıtlanan bir araç içindeki paketi önemli ölçüde değiştirecektir. Gelecekteki alternatif otomobillerin görünümünü tahmin etmek için, elektrikli güç aktarma sistemi konseptlerinin bu araçların estetik oranlarını nasıl etkileyeceğini ve tasarım sürecinde ana itici güçlerin hangi temel işlevsel unsurları olacağını anlamak önemlidir.

Bir araç tasarımı kullanıcı gözüyle incelendiğinde, kullanıcı araba bileşenlerini, renk, döşeme ve şekil olarak ayırır ve bunları ana unsur kabul ederek estetik olarak gruplandırır. Bir otomobile bakıldığında araç oranı açısından en fazla bilgiyi yan görünüş vermektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Martin Luccarelli ve ekibi araç segmentlerine göre araç mimarisi için genel boyutlandırmalar ve formüller ortaya çıkartmıştır. Bu formüllerde bulunan bileşenler her araç segmenti için kendine özgü olup, belirli bir değer aralığına sahiptir. Bu bileşenler;

- A, a eğrisi (A sütununun uzatılmış çizgisi) ile OT segmenti arasındaki kesişme noktası.
- O, ön tekerleğin merkezi
- T, A sütununun uzantısı ile ön tekerlek arasındaki teğetlik noktası;
- b, dingil mesafesinin uzunluğu;
- C, V noktasının PQ parçası üzerindeki izdüşümü.
- P, arka tekerleğin merkezi;
- Q, arka tekerleğin iç noktası;
- d, kapı yüksekliği;
- g, greenhouse yüksekliği;
- h, aracın toplam yüksekliği;
- h₁, alt kapı hattının yer düzleminde yüksekliği;
- h₂, ön lambaların yer düzleminde yüksekliği;
- l, aracın toplam uzunluğu;
- r, tekerlek çapı



Şekil 4.6:Araç dış görünüş bileşenleri (Luccarelli, 2014)

Çalışmalar sonucunda uygun estetik tasarımın g/d oranının 1:2 orana sahip olması gerektiği sonucuna varmıştır. Bu oran spor arabalarda 1:3 ve MPV araçlarda ise 1:1.5 olarak tanımlanmaktadır.

Kapı alt noktası olarak belirlenen h_1 yüksekliğinde bulunan çizgi uzatıldığında, tekerleklerin merkez çizgisi ile birleşmelidir. Bu birleşim detayı spor arabalarda aranmamaktadır.

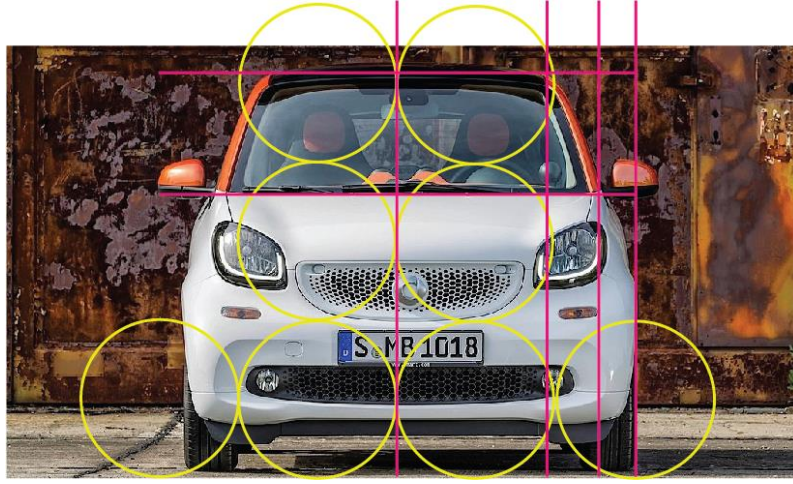
Ön far grubu için belirlenen h_2 'nin yükseklik konumu, tekerleklerin yüksekliği ile tanımlanmalıdır. Bu birleşim detayı spor arabalarda aranmamaktadır.

A direğinin uzatılmış hali olarak kabul edilen a eğrisi ön tekerleğin üst kısmına teğet olabilir, ön tekerleğin merkezine yakın veya ön tekerleğin ön kısımda bitebilir.

C sütununun konumu göz önüne alındığında, V noktasının dikey izdüşümü, arka tekerleğin merkezine yakın veya arka tekerleğin merkezinden hemen önce bitebilir.

Bir şehir aracının oranları ise;

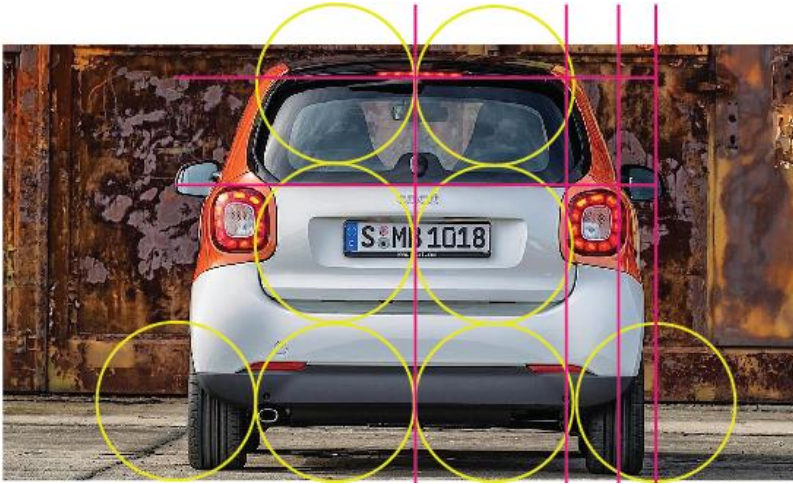
- h ; “ $\approx (2+1/4)r$ ” ile “ $\approx (2+3/4)r$ ” arasında;
- b ise “ $\approx (2)r$ ” ile “ $\approx (2+1/2)r$ ” olarak tanımlanabilir. (Luccarelli, 2014)



Şekil 4.7: Smart ForTwo ön proporsiyon (autoevolution.com, 2020)



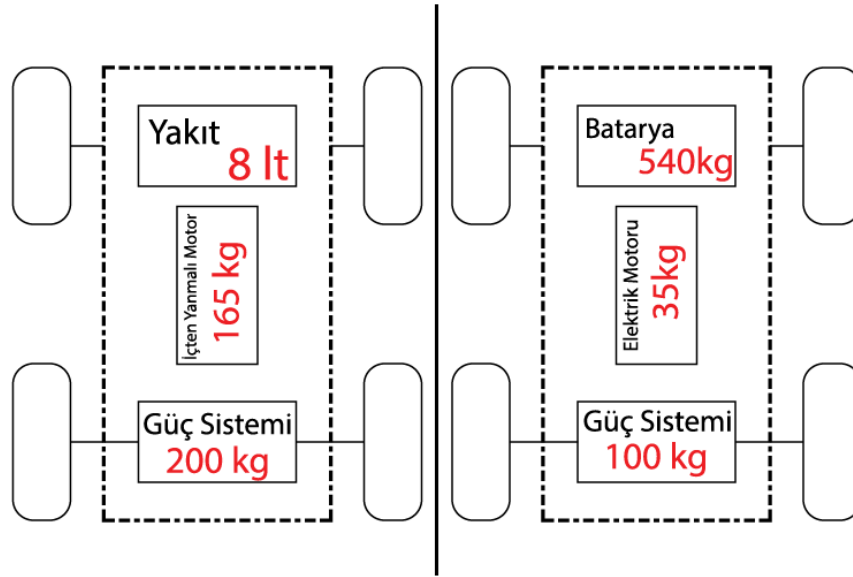
Şekil 4.8: Smart ForTwo yan proporsiyon (autoevolution.com, 2020)



Şekil 4.9: Smart ForTwo arka proporsiyon (autoevolution.com, 2020)

4.2 Araç Ağırlığı ve Malzemeler

Ağırlık/kütlenin azaltılması, araç emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltmak için en önemli stratejilerden biridir. Motor, şanzıman, hibrit ve termal yönetim teknolojilerinin tümü, enerji kayıplarını azaltmak ve verimliliği artırmak için tasarlanmıştır. Buna karşılık, ağırlık azaltma, tahrik sisteminin verimliliğinden bağımsız olarak aracı hareket ettirmek için gereken enerji miktarını düşürür. Ağırlık, bir aracı hızlandırmak ve lastik yuvarlanma direncinin üstesinden gelmek için gereken gücü doğrudan etkiler. Ayrıca frenler tarafından dağıtılan enerji miktarını da belirler. Ağırlığın azaltılması, toplam araç yükü üzerinde, aerodinamik veya lastik yuvarlanma direncindeki gelişmelerden daha büyük orantılı etkilere sahiptir. Günümüzde ağırlık azaltma elektrikli araçlarda, içten yanmalı motora sahip geleneksel otomobillerde olduğundan daha fazla öneme sahiptir. Çünkü aynı uzunlukta menzili sağlayabilecek ve daha hafif bataryalara ya da toplam ağırlığa sahip olan araçlar daha öne geçecektir. Elektrikli araçlar için en önemli kriter menzildir.

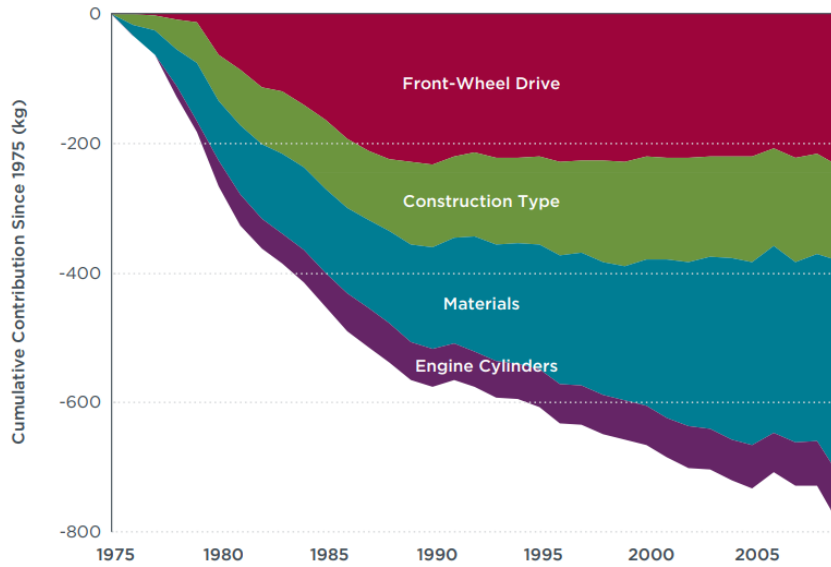


Şekil 4.10: IYM ve EV araç alt sistem ağırlık karşılaştırması

Daha hafif araç ağırlığı aynı zamanda yol tutuşu, frenleme, sürüş, kargo kapasitesi ve hızlanmayı da iyileştirir.

Ahşaptan başlayan araç yapısının yerini çelik aldı ve uzun yıllar boyunca kullanılan ana malzeme oldu. Gelişen teknoloji ve ağırlık azaltma istekleri doğrultusunda, çeliğin payı giderek azalırken, bu payda yerine plastik ve alüminyum

geldi. 1975'ten beri, gelişmiş malzemeler hafiflemede genişleyen bir rol oynadı ve şimdi Şekil 3'te gösterildiği gibi önden çekişli şemalardan ve çerçeve yapı tipinden daha fazla ağırlık azaltma sunuyor. Araçların şasi ve güç sistemleri ağırlıkları azaldıkça, motorlar ve kullanıcıya sunulan hizmetler de dolaylı olarak ileriye gidebildi. Aracın şasi ve alt sistemlerinden gelen ağırlık azaltmalarıyla motorlar daha güçlü hale gelirken, kullanıcı isterleri doğrultusunda daha büyük ve uzun araçlarla bu durum dengelenmiş durumdadır. Tüm bunlara rağmen ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) 2015 Yakıt Ekonomisi Eğilimleri raporuna göre, bu dönemde ağırlığa göre ortalama beygir gücü %11 arttı. Binek araçlarda ise 2004'ten bu yana yakıt tüketimini %21 oranında azalma görülmüştür. Genel olarak, ağırlık azaltmadan daha güçlü, daha güvenli ve kullanıcıya daha fazla olanak sunar hale gelmiştir. (MacKenzie ve diğ., 2014)



Şekil 4.11: 1975'ten günümüze kadar araçlarda ağırlık azalımı (MacKenzie ve diğ., 2014)

Tasarım ve ürün geliştirme sürecinde malzeme seçimi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü malzeme seçimi mevcut tasarımın daha iyi performans sergilemesini ya da hedefleri doğrultusunda tasarımın daha iyi çalışmasını sağlayan ana etkenlerden birisidir. Otomotivde kullanılan kompozit malzemeleri, takviyeli plastikler ve polimerler, geleneksel otomotiv bileşenlerine kıyasla, darbe dayanımı, kolay kalıplanabilirlik, geliştirilmiş estetik ve azaltılmış ağırlık gibi gelişmiş özellikler sundukları için otomobilin hafifleştirilmesi için yaygın olarak tercih edilen alternatifler arasındadır. (MacKenzie ve diğ., 2014)

Bu hafiflemenin en büyük avantajı ise, azalan kütle ağırlığından kaynaklı olarak, azalan yakıt sarfiyatı ya da motor gücü ya da kullanıcı odaklı tasarımların artırılmasıdır. Bununla beraber bu gelişmiş plastikler ve polimer kompozitler, araç ağırlığını azaltırken ve aynı zamanda müşterilere üstün değer sunarken otomobillerin görünümünün, işlevselliğinin ve güvenliğinin iyileştirilmesine yardımcı olmuştur. Kompozit malzemeler, bu isterleri karşılarken mekanik özellik olarak da isterleri karşılamaktadır.

Günümüzde araçların parça ve bileşenlerin yapımında kullanılan ana malzemeler çelik, alüminyum, magnezyum, bakır, plastik ve karbon fiberdir. Araçların gövdesi için termal, kimyasal veya mekanik direnç, kolay üretim ve dayanıklılık içeren maddeler tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler günümüzde çeliğin yerini almaya başlamıştır ve gelecekte bu payın daha da artacağı ön görülmektedir. Gövde yapısında çeliğin kullanılmasının başlıca nedeni, çarpma durumunda darbe enerjisini absorbe etme yeteneğidir.

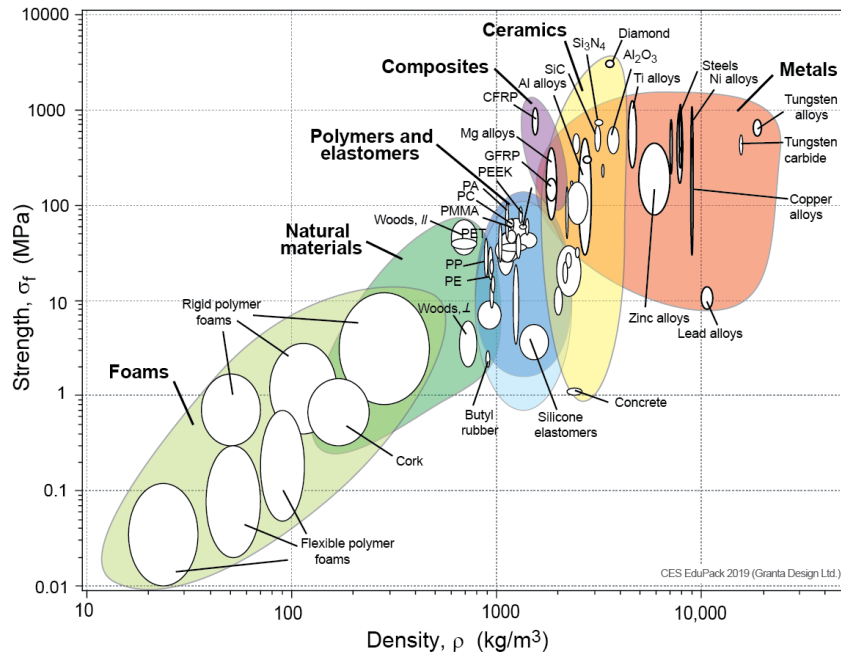
Otomotiv endüstrisinde alüminyum kullanımı, düşük yoğunluğu ve yüksek özgül enerji absorbe performansı ve iyi özgül mukavemeti nedeniyle son yıllarda artmıştır. Alüminyum kullanımı potansiyel olarak araç gövdesinin ağırlığını da azaltmaktadır. Özellikle hafif yük araçlarında gövde yapıları alüminyuma doğru kaymıştır. Ayrıca günümüzde Tesla araçları da alüminyum şasi kullanmaktadır. Böylece gövdede %50'ye varan ağırlık tasarrufunun sağlanmaktadır. EV araçlarda bataryadan gelen ağırlıktan dolayı, alüminyum şasi ve gövde yapısı kullanımı tercih sebebi olmaktadır.

Magnezyum, otomotiv sektöründe giderek yaygınlaşan bir diğer hafif metaldir. Alüminyumdan %33, çelik/dökme demir bileşenlerden %75 daha hafiftir. Magnezyum alaşımlarının alüminyuma göre daha iyi üretilebilirlik, daha uzun kalıp ömrü ve daha hızlı katılma gibi belirgin avantajları vardır. Ayrıca magnezyum bileşenleri daha yüksek işlenebilirliğe sahiptir.

Titanyum esas olarak yüksek sıcaklık bölgelerinde ve egzoz sistemleri, süspansiyon yayları, valf yayları, valfler ve bağlantı çubukları gibi yüksek mukavemet gerektiren alanlarda kullanılmıştır. Ancak elektrikli araçlarda bu komponentler

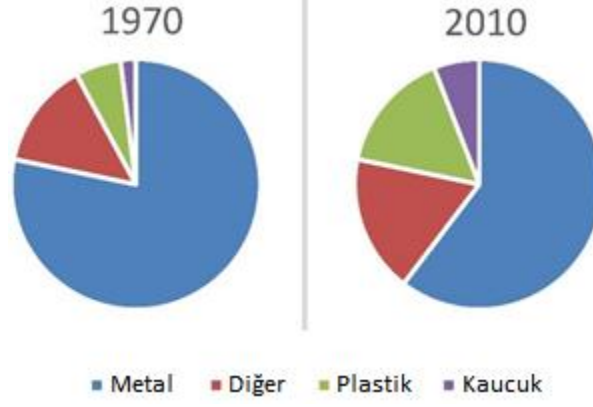
bulunmadığı için, yüksek maliyetli titanyum yerine, magnezyum ve alüminyum kullanılmaktadır.

Fiber takviyeli kompozitler, kompozit yapıların yüksek mukavemet/düşük ağırlık oranı olması ve yalnızca hafif olmakla kalmayarak, aynı zamanda sert, güçlü ve dayanıklı olmasıyla çok çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu kompozitler koltuk yapıları, tamponlar, davlumbazlar, dış kaplamalar ve yakıt depoları gibi yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerde kullanılmaktadır.



Şekil 4.12: Çekme mukavemeti ve yoğunluk(Mihai-Paul, 2018)

Birçok plastik ve polimer kompozit, çeliklere benzer çekme mukavemetleri sunarken bu malzemelere göre önemli ölçüde daha az yoğundur. Geleneksel araçlarda kütlece plastik yüzdesi 1970'de %6'dan 2010'da %16'ya çıkması otomotiv üreticilerinin plastik ve kompozit tercihlerini arttırdığını göstermektedir (Mihai-Paul, 2018).



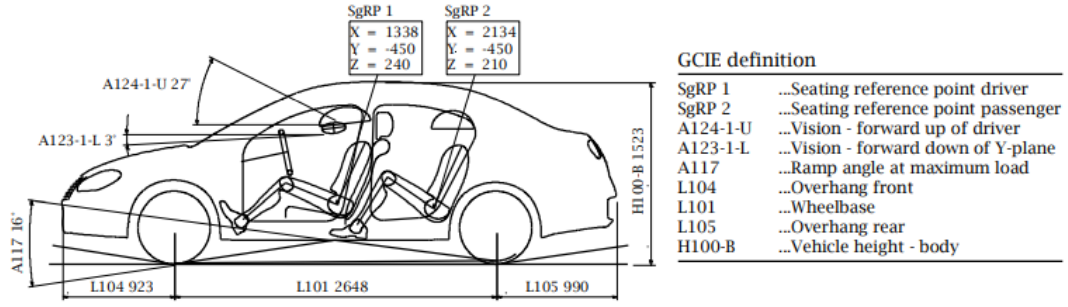
Şekil 4.13: 1970'den 2010'a kadar araç bileşimindeki değişiklik (Mihai-Paul, 2018)

4.3 Paketleme ve Ergonomi

Ergonomi; insanın fiziksel ve psikolojik özelliklerini inceleyerek, kullanıcının bir araç veya çevre ile olan uyum düzeyini yükselterek, bu uyuma doğal ve teknik araştırma ve geliştirme çalışmalarıdır.

Son kullanıcı odaklı her üründe olduğu gibi otomotiv sektöründe de ergonominin boyutu çok önemli bir yere sahiptir. Bir aracın veya araç içi ürünün ergonomik olarak değerlendirilmesi tasarım süreci boyunca gerçekleşmesi esastır. Aksi durumda ciddi finansal ve takvimsel sorunlarla karşı karşıya kalınmaktadır. Günümüze kadar gelen tasarım süreçlerinde ergonomik detaylar genel itibariyle süreçte araç stil tasarımı yapılırken çok detaylandırılmazdı. Ön tasarım kabulünden sonra paket detayları, projede daha sonrası ciddi revizyonlarla karşılaşmamak için detaylandırılarak mühendislik çalışmalarına devam edilirdi. Ancak gelişen teknoloji ve biriken bilgi birikimi doğrultusunda ergonomik kısıtlar ve değerlendirmeler konsept tasarım aşamasının başlangıcından itibaren değerlendirilmektedir. Tasarım programı başladığında, önceden tanımlanmış ergonomi hedefleri ve çıktıları ile tasarıma başlanmaktadır.

Bu süreçteki küresel anlamda kabul edilen geleneksel prosedür, basitçe "dıştan içe" tasarlama olarak tanımlanabilir. Aracın dış tasarımından paketleme çalışmalarına başlanır ve sonrasında iç tasarım ve paketleme süreçleri ile devam edilir. Bu süreç iç tasarım sürecini belirli bir oranda kısıtlamaktadır.



Şekil 4.14: 2B araç boyutsal kavram ve entegrasyon ölçüleri (Severin ve diğ., 2012)

İç tasarımdaki bu kısıtlamalarla karşılaşılmasından dolayı yeni bir araç tasarlamaya alternatif bir yaklaşım, “içten dışa” tasarlamaktır. Bu yaklaşım, aracın içindeki yolcu sorunlarına daha net bir şekilde odaklanmayı amaçlamaktadır. Hedeflenen kitlelerdeki yolcuların boyutları ve yolcu sayısı, yaşı, tercih ettiği duruşlar, görüş hatları ve erişim zarflarının ayrıntılarıyla beraber çıkartılması ve paket alanın oluşturulması ile beraber ortaya çıkan hacim doğrultusunda, dış tasarım mühendislik ve tasarım kısıtları dikkate alınarak belirlenmektedir.



Şekil 4.15: İç trim ergonomi çalışmaları (Daimler web sitesi, 2017)

Başarılı tasarımın, dayatılan kısıtlamalar (tipik olarak zaman, maliyet ve mevzuat) dahilinde çalışmak ve mümkün olan her yerde optimum tavizler elde etmekle çok ilgisi vardır. Konaklama ve konforu etkileyen temel ergonomi sorunları en baştan belirlenmezse, bu tür tavizler elde edilemez.

Ergonomik tasarımlar ve hedefler yapılırken aşağıdaki kriterlere dikkat edilmelidir. Bu kriterler;

- Yapılan ergonomik tasarım hedeflenen kullanıcı kitlesi tarafından tatmin edici olmalıdır. Kullanıcı tarafından kullanışlı ya da tatmin edici olmayan tasarım ergonomik olarak başarılı sayılmamaktadır. Dolayısıyla bunun için, hedeflenen kitlenin başta antropometrik ölçüleri ve kullanıcı istekleri dikkate alınarak ergonomik ve stil tasarımları şekillendirilir.
- Hedeflenen kitledeki kullanıcıların antropometrik boyutsal farklılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple ortalama bir insan boyutu olarak tasarım yapıldığı takdirde, o tasarım ergonomik olarak amacına hizmet etmeyecektir.
- Hedef kitlenin kullanım şartları ve kullanım alışkanlıkları dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır. Örneklendirmek gerekirse, uzun yol sürücüleri ile sürekli kısa mesafe sürücüleri için tasarlanan kabin ve koltuklar birbirinden farklı olmak zorundadır.
- Ergonomi erken süreçte devreye girmelidir. Aksi durumda yanlış tasarlanan bir ürünün düzeltilmesi daha uzun süreli ve daha maliyetli sonuçlara yol açacaktır.
- Tasarımlar için ergonomi geri dönüşleri tasarım tatmin edici kabul edilene kadar yinelemeli tasarım değişikliklerine duyulan ihtiyacı göstermek için açıkça temel geri bildirim sağlamalıdır. Böylece bir ergonomik bilgi bankası oluşturulur ve ilerleyen tasarımlarda hedefe ulaşmak için harcanan efor ve zaman daha kısılırken, ortaya çıkan ürünün stilistik ve ergonomik detayları daha iyi olur.
- Ergonomik tasarım yapılırken, yapılacak tasarımda hedeflenen kitlede ortalama bir boyutsal ya da kurgusal detaylarla çalışmak, ürünün başarısı için olumsuz olacaktır. Bu sebeple belirlenen hedef kitle antropometrik boyutlarında %5 ve %95' lik dilime giren boyutsal değerler seçilmektedir. %5' lik boy, nüfusun %5'inin daha kısa ve %95'inin daha uzun olduğu bir değerdir; %50' lik boy ortalama boydur; %95'lik boy, nüfusun %95'inin daha kısa ve %5'inin daha uzun olduğu

bir değerdir. Hedef kullanıcıya hizmet verebilecek şekilde tasarlanan tasarımlar, kitle için hedeflenen başarıya ulaşabilecektir.

- Yapılan tasarımda ayarlanabilirlik mümkün olmadığında ortalama kişi için tasarım yapılır. Ancak boşluklar, erişim veya koltuk tasarımları vb. ayarlanabilir durumlar için ortalama veriler kullanılmamaktadır.

Tasarım sürecinde kullanılan ergonomideki en önemli standartlar, yönergeler ve önerilerin başta gelenleri;

- SAE J1100-Oturma referans noktası
- SAE J1517-Sürücü tarafından seçilen koltuk konumu
- SAE J941-Eyelipse (ISO 4513/BS AU 176)
- SAE J287-El kumandaları zarflara ulaşması (ISO 4040/BS AU 199)

Ürün planlama aşamasından sonra, pazar araştırması gerçekleştiğinde ve aracın temel parametreleri bilindiğinde 2D paket tasarımları yapılmaktadır. Bu tasarımlar ön, yan ve arka görünüşlerden yapılırlar ve ana mekanik bileşenlerle paketlenme yapılarak tasarım çalışmaları devam ettirilir. Bazı regülasyona tabii konulara ait detaylar (görüş analizi vb.) bu 2D paketleme ve tasarım esnasında çözümlenebilmektedir.

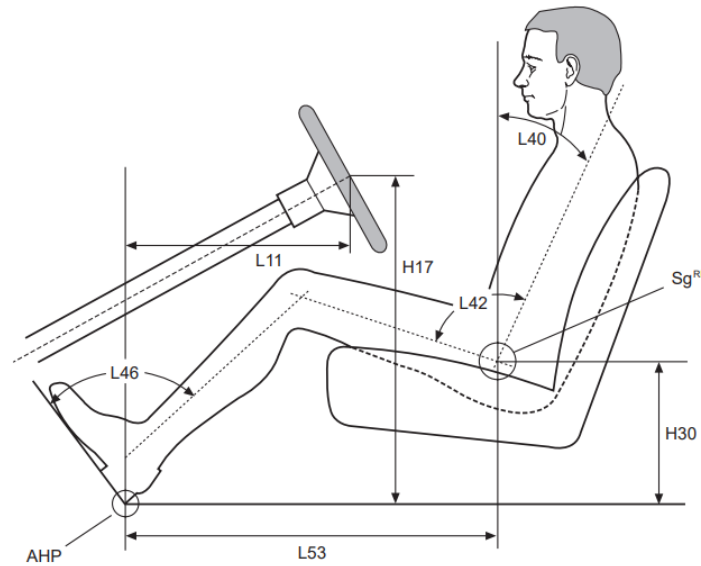
2D paketleme çalışmaları ve proporsiyonlarla beraber şekillenen tasarımların 3D ortama aktarılmasıyla beraber paketleme çalışmalar sanal ortamda ve 1:1 modellerle fiziki olarak devam etmektedir. Bu datalar ve modellerde, 2D ortamda görülmeyen detaylar incelenerek, tasarıma son şekiller verilmek üzere çalışmalar stilistler ve mühendisler tarafından tamamlanır.

Günümüze kadar olan çalışmalar ve kontroller doğrultusunda kafa ve vücut ölçüleri için gerçek gözlemlenen duruşlar, Tablo 4.1' de gösterildiği gibi literatüre geçmiştir.

Tablo 4.1: Literatürdeki postural açılar (Julian, 2002)

| | %95 Limit |
|-------------------|------------------|
| Boyun eğimi | 29-63 |
| Gövde-uyluk açısı | 89-112 |
| Diz açısı | 103-136 |
| Kol fleksiyonu | 16-74 |
| Dirsek açısı | 80-161 |
| Ayak-baldır açısı | 81-105 |

Yine çalışmalar sonucunda çok çeşitli duruşlara ve vücut boyutlarına uyum sağlamak için Tablo 4.2’ de gösterilen hesaplanmış ve literatüre girmiş olan SAE ölçüleri de genel itibariyle paketleme ölçülendirilmelerinde kullanılmaktadır (Julian, 2002).

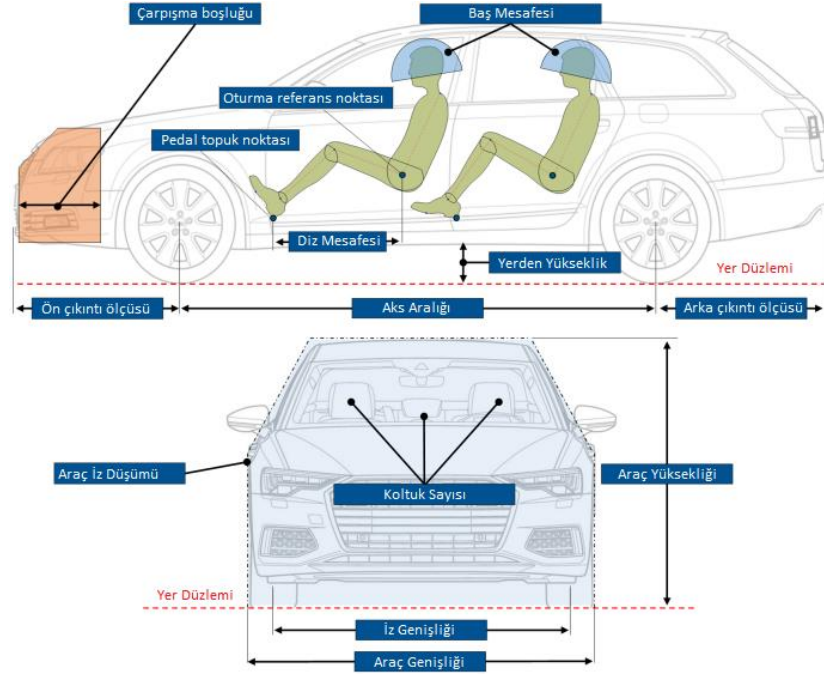


Şekil 4.16: Araç oturma konfigürasyonu (Julian, 2002)

Tablo 4.2: SAE standardına göre araç sürüş değerleri (Julian, 2002)

| Sürüş Teçhizatı Değerleri | L11 | L40 | L53 | H30 | H17 |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ortalama | 438 | 16 | 738 | 301 | 628 |
| Maksimum | 602 | 25 | 889 | 335 | 689 |
| Minimum | 322 | 5 | 577 | 283 | 580 |
| Standart Sapma | 48 | 4 | 67 | 11 | 24 |

Bu ölçüler araç model ve segmentine göre değişim göstermektedir.



Şekil 4.17:2D paketleme ölçülendirmeleri(Julian, 2002)

5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ KAYIPLARI VE AERODİNAMİK

Bataryalı elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlara göre daha verimlidir. İçten yanmalı motorlarda enerji geri dönüşü %25-40 arasındayken elektrikli araçlarda bu oran %80-95 arasındadır. Bir elektrikli araçta elektrikli tahrik sistemi, yalnızca %15 ila %20'lik bir enerji kaybından sorumludur. Ek olarak elektrikli araçlar rölantide enerji kaybı yaşamazken, frenleme esnasında da rejeneratif frenleme sayesinde enerjini geri kazanır. Böylece elektrikli araçlarda verimlilik %95 maksimum verimliliğe ulaşabilir.

ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan araştırmalar sonucunda elektrikli araçlar için enerji kayıplarından yola çıkarak enerji gereksiniminin şehir içi %55 ve otoyol sürüşü %45 olduğu için tahmin edilmektedir. Bu araştırmalarda başlıca enerji kayıplarının olduğu bölgeler;

- Bataryalar
- Frenler
- Elektrikli tahrik sistemleri
- Direksiyon sistemi ve güç organları soğutma sistemleri ve kontrol üniteleri

Bataryayı şarj edilirken AC-DC dönüştürülmesinden kaynaklı olarak bir enerji kaybı yaşanmaktadır. Buna ek olarak bataryaların %80 şarjından sonra şarj direnci artacağından bu direncin aşılmasında da enerji kayıpları yaşanmaktadır. Bu kayıplar iklim şartları, batarya ve araç türüne göre değişim göstermektedir.

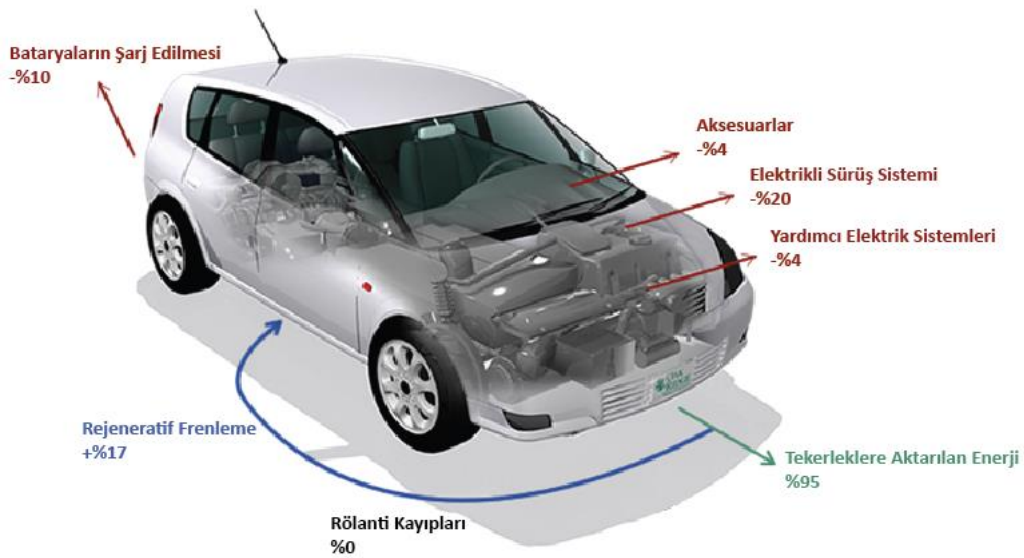
Elektrikli otomobillerin elektrikli tahrik sistemleri, geleneksel araçların motor ve şanzımanlarından çok daha verimlidir. Yine de, aracın enerjisinin bir kısmı aktarma organları verimsizlikleri nedeniyle kaybolur.

Direksiyon sistemi ve güç aktarma organları soğutma ve kontrol sistemleri enerji kullanır. Bu soğutma esnasında da enerji kayıpları gerçekleşmektedir.

Işıklar, ön cam silecekleri, navigasyon sistemleri ve medya sistemleri gibi elektrikli aksesuarlar güç ve daha düşük yakıt tasarrufu gerektirir.

Elektrikli kapı kilitleri ve sinyal lambaları gibi aksesuarlardan kaynaklanan kayıplar çok küçükken, ısıtma sistemi bulunan koltuk ve direksiyon simidi ısıtıcıları ve klima kontrol fanlarından kaynaklanan kayıplar daha fazladır.

Çok soğuk koşullarda, yardımcı elektrik kayıpları, birleşik şehir/otoyol sürüşünde enerji kullanımının %33'ünden fazlasını oluşturabilir. Kabinin ısınmasına yardımcı olmak için motordan gelen ısıyı kullanan geleneksel benzinli veya dizel araçlardan farklı olarak, tüm ısının elektrikle sağlanması gerekir.



Şekil 5.1: Bataryalı elektrikli araçlarda enerji kayıpları (ABD Enerji Bakanlığı web sitesi, 2021)

Bu kayıplara ek olarak,

- Frenleme kayıpları
- Rüzgar direnci kaynaklı kayıplar
- Yuvarlanma direnci kaynaklı kayıplar mevcuttur.

Geleneksel bir araçta fren uyguladığımızda, başlangıçta ataleti yenmek ve aracı hareket ettirmek için kullanılan enerji, frenlerdeki sürtünme yoluyla ısı olarak kaybedilir.

Elektrikli otomobiller, aksi takdirde frenleme sırasında kaybedilecek olan enerjinin bir kısmını geri kazanmak için rejeneratif frenleme kullanır.

Şehir içi kullanımlarda araçların duraksaması otoyollara göre çok daha fazla olacağından dolayı, frenleme geri kazanımı %35' lere kadar çıkmaktadır.

Bir araç, yolda giderken havayı yoldan çekmek için enerji harcar. Bu direnç araç ya da havanın hızına bağlı olup, sürekli değişkenlik gösterir. Düşük hızlarda daha az enerji ve hız arttıkça daha fazla enerji harcar.

Bu direnç doğrudan aracın şekli ve ön alanı ile ilgilidir. Daha düzgün araç şekilleri sürtünmeyi önemli ölçüde azaltmıştır, ancak %20-30 oranında daha fazla azalma mümkündür.

Eskiden araçların dış hatlarına sadece görsel olarak yaklaşım gerçekleştirilirken, gelişen mühendislik yaklaşımları ve edinilen tecrübeler, bu hatların aerodinamik faktörlere etkisinin olduğunu belirlemiş ve tasarım faktörleri ve çizgileri de bu doğrultuda gelişim göstermiştir.

Günümüz tasarımlarında, tüm tasarımlar aerodinamik olarak en uygun tasarım olan teorik alt sınır olarak kabul edilen ve 0.1 direnç katsayısına sahip damla şekline benzetilmeye çalışılmaktadır.

Yuvarlanma direnci, düz bir yüzey üzerinde yuvarlanırken lastiğin deformasyonunun neden olduğu direnç kuvvetidir.

Yeni lastik tasarımları ve malzemeleri yuvarlanma direncini azaltabilir. Otomobiller için yuvarlanma direncinde %5-7'lik bir azalma, yakıt verimliliğini %1 artırır, ancak bu iyileştirmelerin çekiş, dayanıklılık ve gürültüye karşı dengelenmesi gerekir.

Elektrikli araçlarda motor kaynaklı ese olmadığı için, araç içine lastik sesi gürültü testindeki en yüksek ses olarak belirlenmektedir. Bu sebeple lastik gelişimlerinde bu faktörün de önemi fazladır.

5.1 Aerodinamik

Aerodinamik, havanın içinde hareket eden bir cisme hava tarafından uygulanan kuvvet ve momentlerin etkisiyle cismin etrafında oluşan hava akışlarının incelenmesidir. Aerodinamik hava ile temas eden her mühendislik alanında vazgeçilmez bir alandır. Özellikle otomotiv ve havacılık/uzay sanayinde bu konunun önemi fazladır.

Hava ve cisim arasında her daim bir temas olacağından dolayı, ortada bir bağıl hız oluşacaktır. Bu durumda mutlaka aerodinamik kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin nedeni araç gövdesi üzerindeki dış akıştan kaynaklanır. Oluşan direncin %90'dan fazlası dış akıştandır.

Otomotivlerde aerodinamik genel olarak aşağıdaki katsayılar ile tanımlanır.

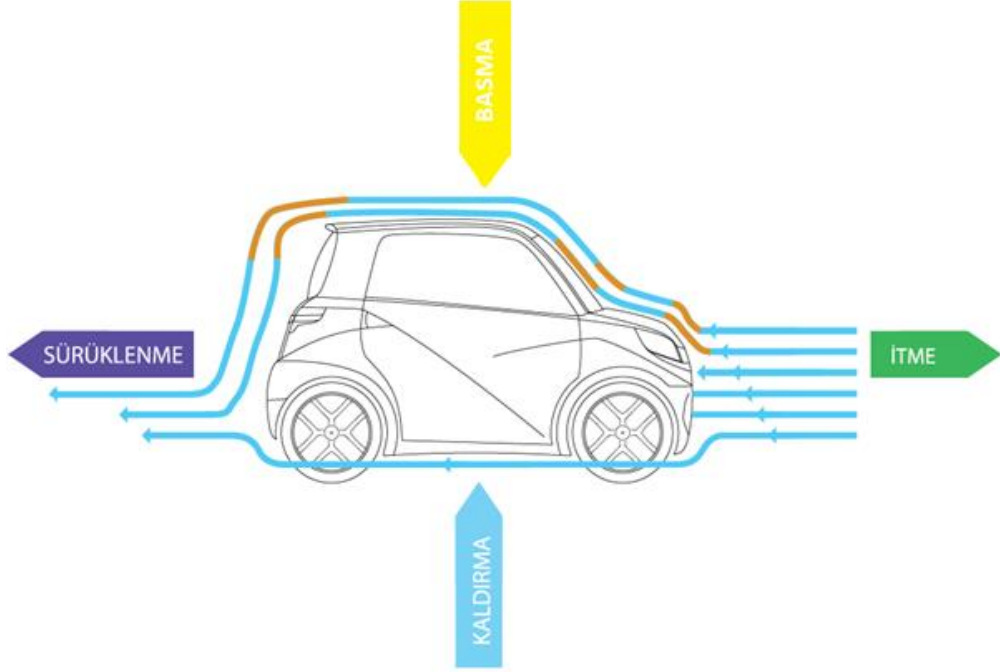
- Sürüklenme katsayısı (C_D),
- Kaldırma katsayısı (C_L),
- Moment katsayısı (C_M).

Bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, tüm tasarım çalışmaları ve çizimleri, aerodinamik katsayıların azaltılması yönündedir. Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda, aerodinamik iyileştirmeler sonucunda %12'lik azalama ile araç başına %5' lik bir azalama meydana geleceği belirlenmiştir. Bu %5' lik azalma ile küreselde yaklaşık 11.5 milyar litre yakıt tasarrufu sağlanabilir (Julian, 2002).

Aerodinamik iyileştirmeler için tasarımsal anlamda belirli tasarım aksiyonlarıyla iyileştirmeler sağlandığı görülmüştür. Bu aksiyonlar ise,

- Yan camlarının ve ön aydınlatma gruplarının dış trim ile bir tasarlanması
- Ön gril ve tampona hava yönlendiriciler/kesiciler yerleştirilmesi
- Yan aynaların araç hava akışına katkı sağlayacak şekilde yerleşim ve tasarımı
- Lastik tasarımlarındaki oyuklarının genişletilmesi
- Tekerlekler arasına etekler yerleştirilerek, hem çamur atma hem de havanın yönlendirilmesine katkıda bulunulması

- Çamurlukların örtülmesi ve önden gelen hava akışlarının çamurluklar içinden geçirilerek frenlere aktarılması. Bu sayede fren soğutma sistemine de katkıda bulunmaktadır.



Şekil 5.2:Araç aerodinamiğine etki eden kuvvetler

Bernoulli denklemi sürtünmesiz bir akış boyunca, hızda gerçekleşen artış ile basıncın ters orantılı olduğunu belirtir. Bu yüzden hızdaki herhangi bir artış, akışkanın dinamik basıncını ve kinetik enerjisini orantılı olarak artırırken statik basıncını ve potansiyel enerjisini düşürür.

$$H = \frac{\rho * v^2}{2} + P_{atm}$$

$$\frac{\rho * v^2}{2} = q$$

“H” sabit değeri, “V” akış hızını, “P_{atm}” statik (atmosferik) basıncı, “ρ” yoğunluğu ve “q” dinamik basıncı göstermektedir.

Burada yoğunluk ve akış hızının karesinin yarısı, dinamik basıncı (q), P ise statik basıncı ifade eder. Bu durumda havanın hızının değişmesiyle beraber dinamik basınç da değişkenlik göstermeye baslar. Taşıt etrafında hızlanmaya başladığı andan

itibaren oluşan dış akış nedeniyle taşıt yüzeyindeki basınç değişimi şekil direncini, kayma gerilmeleri de yüzey sürtünmesini oluşturmaktadır.

Araç üzerindeki basınç değişiminden yola çıkılarak bu basınç değerinin aracın önden görünüşte kapladığı alana ilişkilendirilmesiyle aerodinamik kuvvet bulunur. (Demircioğlu, 2007)

$$F = \int (P - P_{atm}) * A$$

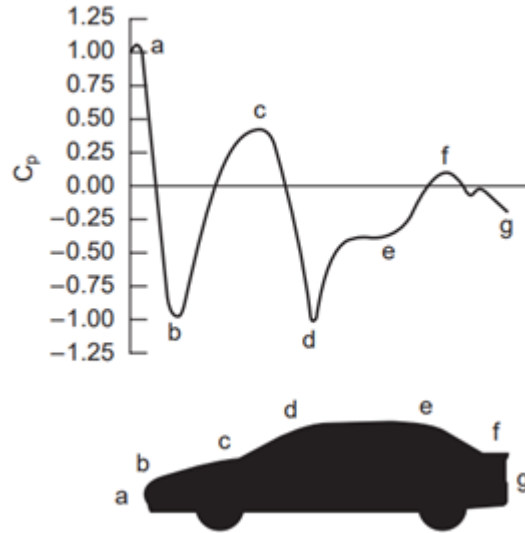
“F” Aerodinamik bileşke kuvvetini, “P” ortam basıncını, “P_{atm}” atmosfer basıncını ve “A” aracın ön görünüşte kapladığı alanı göstermektedir.

Binek otomobillerin aerodinamik stabilitesi, genel olarak iki bağımsız endişe olarak ele alınmıştır. Birincisi, bir otomobilin yüksek hızda ve sakin koşullarda düz bir çizgide giderken "hissi" ve şerit değiştirme manevra kabiliyeti ile ilgilidir. İkincisi, atmosferik koşullarla çevre koşullarından kaynaklı olarak artan geçici rüzgarlar ya da köprü vb. gibi yerlerde bulunan sabit yan rüzgarların etkileriyle ilgilidir. Sakin hava koşullarında düz çizgi istikrarsızlığının kaynakları, tespit edilmesi en zor aerodinamik etkilerden biridir. Bunun nedeni büyük ölçüde şasi dinamikleri arasındaki karmaşık etkileşimler ile kaldırma kuvvetlerinin büyüklüğündeki ve basınç merkezindeki nispeten küçük değişikliklerdir. Ek olarak sürücü hissi ve güven gibi nitel gözlemlerin ve hissiyatlarının tespiti zor olduğu için bu kavramların netleştirilmesi zordur.

Buna rağmen, köprü vb. ya da anlık geçici rüzgar artışlarından çapraz rüzgarların etkisi daha kolay ölçülebilir. Rüzgar tüneline araçlar yalpalama koşulları altında model testine tabi tutuluyor olsa da sürüklenme ve rüzgar gürültüsü optimizasyonu esnasında sıfır çapraz rüzgar varsayımlarına yapılmaktadır. Benzer durumlar ağır ve uzun araçları sollarken sıklıkla yaşanmaktadır. Bu durumdan dolayı aracın kademeli ve hızlı bir şekilde çapraz rüzgara maruz kalması nedeniyle oluşan yan kuvvetleri, yalpalama momentlerini ve yalpalama oranlarını en aza indirecek şekilde tasarlanması arzu edilir.

5.1.2 Sürüklenme Kuvveti

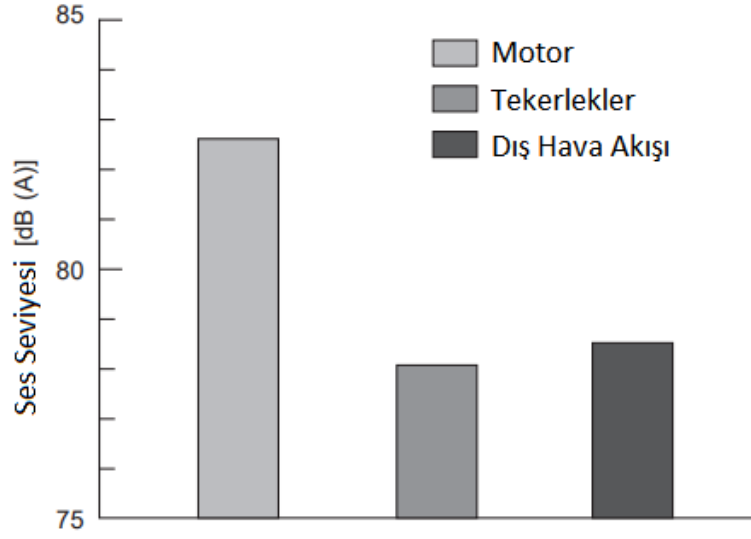
Sürüklenme kuvveti aracın hava içerisindeki hareketine karşı çıkan aerodinamik kuvvettir. Bir araç ileri doğru hareket ederken, etrafındaki havanın hareketi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi tüm araç yüzeyinde değişen basınçlara neden olur.



Şekil 5.3: Statik basınç katsayısı dağılımı (Julian, 2002)

Sürüklenme kuvveti, basıncın büyüklüğüne, üzerine etki ettiği elemanın alanına ve o yüzey elemanının eğimine bağlıdır. Böylece, her biri benzer bir ön alana sahip iki farklı tasarımın çok farklı form sürüklenme değerlerine sahip olması mümkündür. Hava, aracın yüzeyi boyunca akarken, genellikle yüzey sürtünmesi veya yüzey sürtünme direnci olarak adlandırılan ikinci direnç bileşenine yol açan sürtünme kuvvetleri üretilir. Araçta oluşan bu kuvvetin büyük bir kısmı yüzey sürtünme direnci nedeniyle oluşmaktadır. Bu kuvvetteki en büyük etkenler ise tekerlekler ve tekerlek bombeleri, yan aynalar, kapı kolları, yağmur olukları ve ön cam silecek lastikleri ve egzoz sistemi gibi aracın üzerindeki şeklin bozulmasına sebebiyet veren parçalar veya yüzeylerdir.

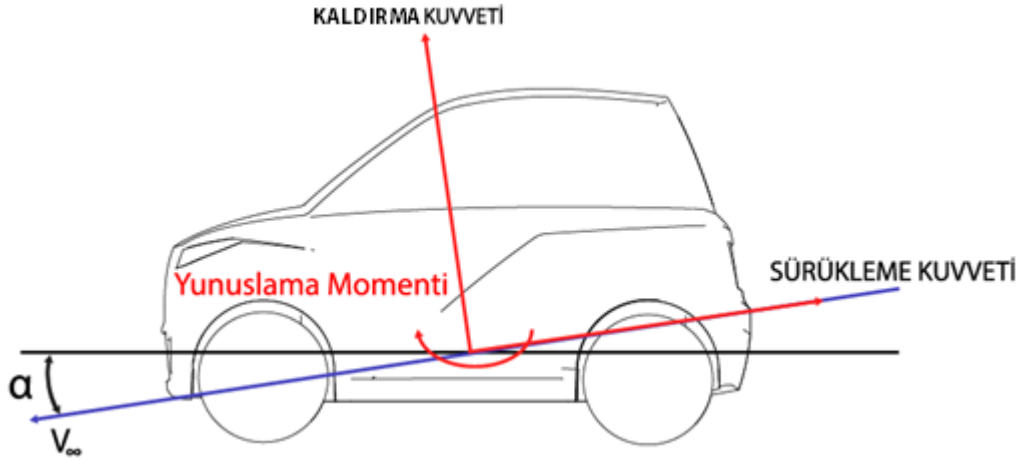
Şekil 5.4' de 150 km/sa hızla hareket eden küçük bir arabada kaydedilen farklı gürültü kaynakları (motor, lastikler ve aerodinamik) arasında yaklaşık bir karşılaştırma sağlanır.



Şekil 5.4:Ses kaynakları (Julian, 2002)

Elektrikli araçlarda motor sesi en az gürültü kaynaklarından birisi olduğundan dolayı, tekerlerin yanı sıra dış hava akışının iyileştirilmesi sürüş konforu için daha fazla önem kazanmaktadır.

Ayrıca bir taşıtta oluşan sürüklenme kuvvetinin (F_D) % 90'dan fazlası yüzey sürtünme direnci nedeniyle oluşmaktadır (Julian, 2002).



Şekil 5.5:Kaldırma, sürüklenme ve yunuslama

Aerodinamik sürüklenme kuvveti motorun sağladığı itme kuvveti ile karşılanmaktadır. Aracın hareket edebilmesi için, diğer enerji kayıplarıyla beraber sürtünme kuvvetini de yenmesi gerekeceğinden dolayı, sürtünme kuvvetinin artıyor olması yakıt tüketiminde direkt etkilidir.

$$F_D = \frac{\rho * v^2}{2} * A * C_D = q * A * C_D$$

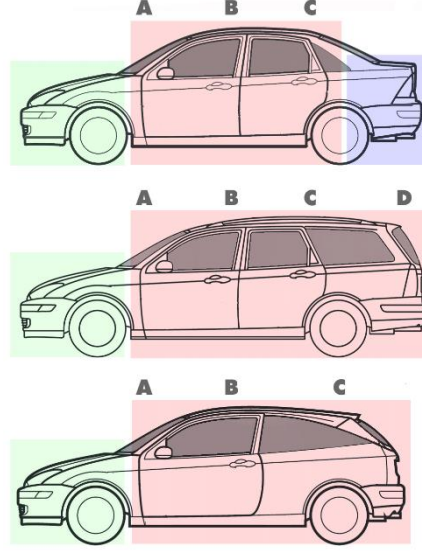
“ F_D ” aerodinamik bileşke kuvvetini, “ V ” akış hızını, “ ρ ” yoğunluğu, “ q ” dinamik basıncı, “ A ” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “ C_D ” sürüklenme katsayısını göstermektedir.

Araç üzerindeki sürtünmeyi azaltmak sadece kuvveti ile ilgili değildir. Sürtünme sebebiyle araç üzerinde gürültü yükü ve frekans yükü de artmaya başlar. Araç üzerine gelen akış, yan aynalar, arka yüzey, A direğinin çevresi gibi genelde keskin köşelerde veya ayrılan yüzeylerde meydana gelir.

Ancak sürtünme kuvvetini azaltmak için alınan tasarımsal önlemler, aracın dinamik istikrarını negatif olarak etkileyebilmektedir. Modern, düşük sürtünmeli tasarımları karakterize eden yuvarlak şekiller, hem oluşan yan kuvvetler hem de yalpalama momentleri açısından özellikle çapraz rüzgarlara karşı hassastır.

Son yıllarda araç tasarımındaki eğilimler, hem artan teknik anlayışın hem de daha karmaşık şekillerin kabul edilebilir bir maliyetle üretilmesini sağlayan gelişmiş üretim yöntemlerinin bir sonucu olarak mümkün hale gelen kademeli ve ayrıntılı iyileştirmeleri yansıtmaktadır. Bu iyileşmelerle ufak değişiklikler ile yüzey sürtünmeleri azaltılarak sürtünme direncinin düşürülmesi sağlanmaktadır.

Tipik bir üç kutulu araç üzerindeki hava akışından kaynaklanan merkez hattı basınç dağılımı Şekil 5.3’ de “**a**” noktasında gösterilmiştir. Bu noktada maksimum basınç kaydedilir ve bu da araçtaki en büyük şekil direncinin oluşmasına neden olur.

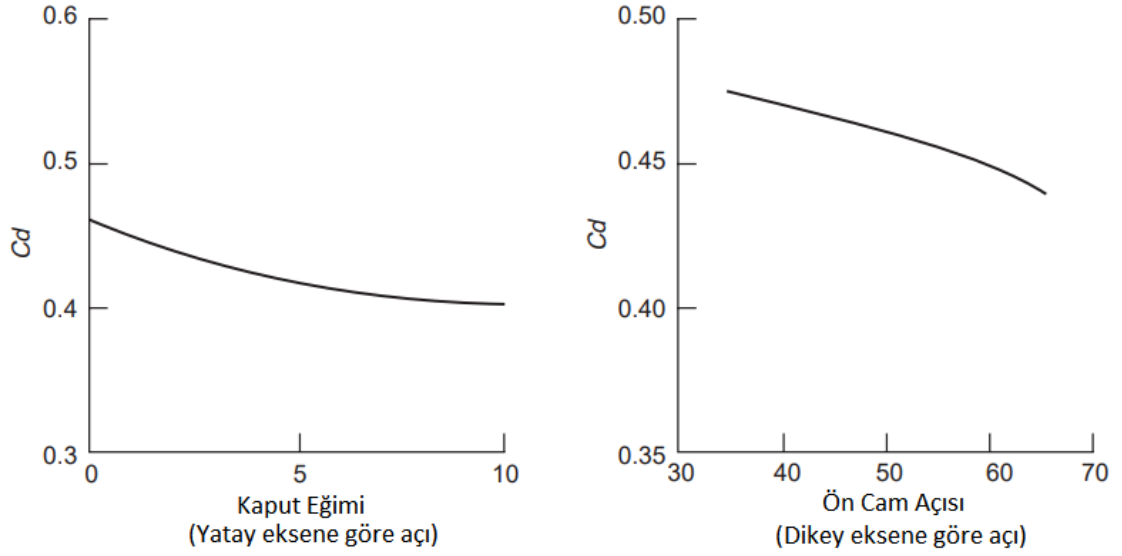


Şekil 5.6:Üç kutulu ve iki kutulu araç tasarımları (Wikipedia Araç Gövde Biçimleri, 2010)

Bu yüksek basınçlı, düşük hızlı akış, Şekil 5.3’ de “b” noktası ve etrafında hızla hızlanır. Ardından yine aynı hızla yavaşlar. Yavaşlayan hava, basınç gradyanının birleşik direncine ve araç yüzeyinden ayrılmaya neden olan viskoz sürtünme kuvvetlerine karşı araç yüzeyi boyunca onu taşımak için yeterli momentuma sahip olmayabilir. En önündeki düz, öne bakan yüzeyin azaltılması veya ortadan kaldırılmasıyla birlikte keskin ön köşenin alçaltılması ve yuvarlatılması a ve b noktasındaki basınçların ve akışların yüzeyden ayrılmalarını azaltarak, yüzey sürtünme kuvvetinin azalmasına katkıda bulunur.

Ön camın tabanında (Şekil 5.3’ de c noktası) ikinci bir ayırma bölgesi gözlemlenir. Bu bölge kaput-cam ayrımı ve ön cam eğimidir. Silecek konumlarından kaynaklı olarak kaput-cam ayrımında bir çökelti oluşur e bu noktada bir hava girdabı meydana gelir. Ayrıca camdan dolayı B noktasından gelen hava tekrar bir direnç noktasıyla karşılaşır.

Ön camının eğimsiz olması, sürtünme direnci için olumlu bir tasarımıdır. Ancak cam tasarımının giderek eğik bir biçimde yapılması belirli bir noktadan sonra ergonomik problemleri beraberinde getirmektedir. Eğik camdan kaynaklı olarak sürücü baş bölgesinin ve kabin alanının azalmasına sebebiyet vermektedir. Bununla beraber araç dışından gelen ışığın kırılmasına sebebiyet vereceği için optik sorunlarını da beraberinde getirmektedir.



Şekil 5.7: Kaput ve ön cam açısının C_D üzerindeki etkileri (Julian, 2002)

Şekil 5.3' de b noktasındaki benzer bir yüksek basınçlı, düşük hızlı akışın benzeri de tavan-cam birleşim noktasında oluşmaktadır. Bu noktadan sonra aracın arkasına doğru gidildikçe hava akışı daha karmaşık bir hal alır ve gereken çözümler daha az sezgiseldir. Bu bölgede aracın önündeki gibi iki boyutlu değerlendirmeler yetersiz kalmaktadır.

Araç arka detayına göre, aracın arkasında oluşacak hava akımı da şekillenmektedir. Şekil 5.8' de bu farklılıklar gösterilmektedir.



Şekil 5.8: Hatchback ve sedan araçların arka akış ayrımları (Julian, 2002)

Şekil 5.8' de yer alan ilk görseldeki gibi düz tip araç arka detaylarında büyük, düşük basınçlı akışlar meydana gelir. Araç yapısındaki keskinlikten dolayı hava akışı direk olarak araç arka yüzeyini takip edemez. Bu tür araç tiplerinde sürtünme kuvveti,

kuyruktaki enine kesit alanına, araç yüzeyine etki eden basınca ve daha az ölçüde girdapların yaratılmasıyla emilen enerjiye bağlıdır.

Şekil 5.8’ de yer alan ikinci görseldeki gibi araç arka detayına sahip hatchback, fastback ve çoğu sedan modellerinde olduğu gibi arka yüzey daha yumuşak eğimliyse çok farklı bir akış yapısı ortaya çıkar. Bu taraz araçlarda aracın arka tarafının dikliği diğer araç tiplerine göre daha az olduğundan dolayı arka ayırındaki basınç farklılığı daha az farklılık gösterir. Üst yüzey üzerindeki düşük basınç, aracın yanları boyunca nispeten daha yüksek basınçlı havayı yukarı doğru çeker ve ‘C’ sütunlarında yoğun, konik girdapların oluşmasına yol açar. Bu girdaplar, 30 derecenin üzerindeki arka cam açılarında bile üst yüzey akışının yüzeye bağlı kalma olasılığını artırır. Böylece hava, kabinin arkasından aşağı doğru çekilir ve bu, hem kaldırma hem de sürüklenme yönlerinde bileşenleri olan bir tepki kuvveti ile sonuçlanır. Bu sebeple arka cam açısı bu tarz araçlarda sürtünme kuvveti açısından kritiktir.

Van tipi araç arkalarında açı sıfırdan 15 dereceye doğru arttıkça, etkin taban alanı azaldıkça başlangıçta hafif bir sürüklenme azalması olur. Arka cam açısındaki daha fazla artış, üst yüzey basınçlarının sürtünmeyi tetikleyen etkisi ve takip eden girdap oluşumunun artmasıyla bu eğilimin etkisini tersine çevirir.

Sedan araçlarda ise, araç üstü akışı arka camdan geçerken, arka taraftaki hava koşulları hatchback ve fastback’ lere benzer şekilde, ‘C’ sütununda veya yakınında konik girdaplar oluşturulabilir. Arka camın eğimi, akışın arka camdan ayrılmasına neden olmak için yeterli sebep olabilir. Ancak genelde bagaj akışının devamının sağlanmasını sağlar. Bu sebepten dolayı bu araçlarda kritik bölge tavan ile arka camın birleşim noktasıdır.

Minimum sürtünme direnci ortalama 15°’lik bir arka cam açısında elde edilmektedir. Ancak bu açıyı elde etmek için de arka bagaj kapağının büyütülmesine sebebiyet vermektedir. Bu da araç boyunda uzamaya neden olur. Bu durum, arka görüşü genellikle azaltılsa da, bagaj alanı açısından daha fazla fayda sağlar.

Arabanın yan tarafı da sürtünme katsayısı olarak fayda sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar ve tasarımlar sonucunda en uygun tasarımın aracın arkasına doğru arkaya doğru birbirine yaklaşan enine doğru kısalan tasarım olduğu görülmüştür. Bu aracın

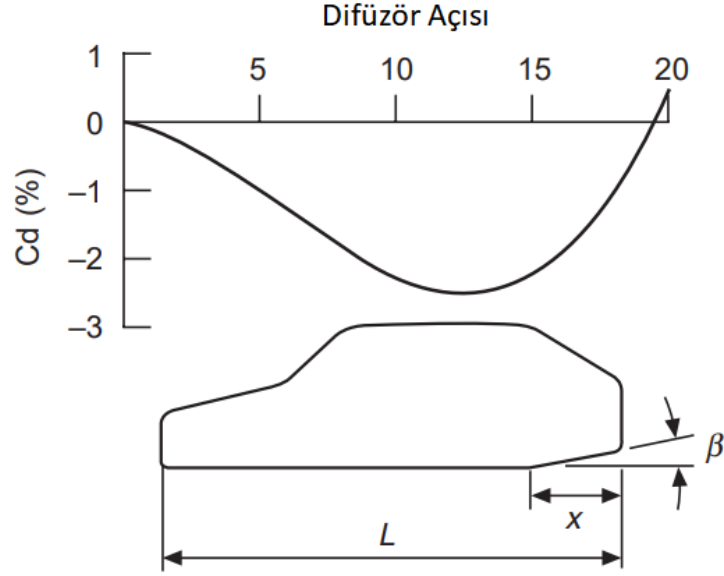
arka tarafının ince bir şekilde uzamasına sebebiyet verirken, arkasında oluşan akışın araca doğru dalgalanması ortadan kalkar. Yüzey sürtünme direnci, aracın arkasının uzamasından kaynaklı olarak yüzeyler üzerindeki basınçları artırsa da, genel sürüklemeye de olumlu etki eder.

Aerodinamik sürtünmeyi azaltmak için görünür yüzeylerdeki düzeltmelerin yanında aracın alt gövdesinin de etkisi çok fazladır. Gövde altı düzleştirmeler ve düzenlemeler tasarım esnasında aracın ileriki süreçleri için ciddi önem taşımaktadır. Aracın bakımı, süspansiyon yerleşimi ve tekerlek hareketi için boşluk ve aracın yürür aksamında ısınan ve soğutulma ihtiyacı olan parçaların (motor, fren ve egzoz) soğutulması için hava akışının sağlanması gibi birçok faktör göz önünde bulundurularak tasarım ve paketleme yapılmalıdır.

Günümüzde elektrikli araçlarda soğutulma ihtiyacı olan parçaların az olmasından dolayı, bu tasarım süreci diğer araçlara göre daha farklı olarak değerlendirilir ve bu da yapılan tasarımların üretilebilirliği için avantajlı bir durumdur.

Aracın ön tarafından aşağıya, aracın altına giren ve altından çıkan havanın önemi, aracın önünden yukarıya doğru çıkan havanın önemi kadar büyüktür. Bu sebeple, araçların tamponlarının altına takılan hava difüzörlerinin hava akışındaki önemi büyüktür. Difüzörler sayesinde genel sürtünme direncinde azalma gerçekleşmektedir. Difüzörler iki yararlı işlevi yerine getirir. Birincisi, aracın ön kısmının altındaki basıncı azaltarak ön aksa etki eden kaldırma kuvvetini azaltmaktır. Bu, basınçta karşılık gelen bir düşüşle hızlanan burun altındaki akışı kısıtlayarak elde edilir. Binek otomobiller için, yüksek hızda gereken direksiyon kuvvetlerinde aşırı bir artış olmaksızın dengeyi korumak için nötr veya çok hafif bir negatif kaldırma arzu edilir.

Yüksek performanslı yol otomobilleri için, lastiklerin yapışmasını artırmak için önemli aerodinamik bastırma kuvveti oluşturmak tercih edilebilir. Ancak artan sürtünme ve aşırı direksiyon hassasiyeti gibi aerodinamik bastırma kuvvetinin yan etkileri, bir aile otomobilinde genellikle istenmeyen bir durumdur. Bu difüzörlerinin varlığı, ek basınç noktaları oluşturmaya rağmen genel sürtünme direncine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca arka tamponda hava difüzörlerinin kullanılması da sürtünme direncine katkıda bulunur.



Şekil 5.9: Arka difüzör açısının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (Julian, 2002)

Arka difüzörlerden yönlendirilen hava alt gövde uzunluğu boyunca yayılır ve basıncı artar. Böylece yüzey direnci azalır. Ancak araç üstü alçak basınç ve araç altı yükselen basıncın arasındaki etkileşim bu durumda kötüleşme riskini de barındırmaktadır. Her ne kadar her tasarımda belirli seviyede iterasyona ve testlere ihtiyaç duyulsa da yaklaşık 15°'lik difüzör açılarının en büyük fayda sağladığı görülmüştür. (Julian, 2002)

5.1.3 Kaldırma Kuvveti

Otomotiv sektöründe, hava araçlarına göre kaldırma kuvvetinin küçük olması istenir. Bu sayede aracın yol tutuşu artar iyileşmesine, virajlarda aracın savrulma riskinin azaltılmasına fayda sağlanır.

Bu kuvvetin ters yönündeki baskı kuvvetinin fazla olmasıyla da aracın yere basması ve tekerlere gelen yük artacağından dolayı, sürtünme ve yakıt sarfiyatı artacaktır. Bu yüzden kaldırma kuvvetinin belirli bir seviyede olması aerodinamik bir hedeftir.

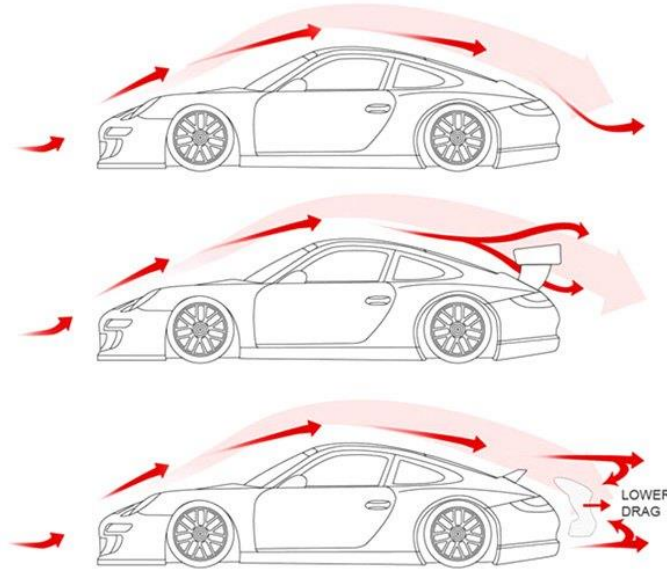
Aracın hızı arttıkça aracın üstündeki hava basıncı azalır ve aracın üstünden bir emme etkisiyle aracı yerden kesmeye doğru sürükler. Ek olarak aracın altına giren havanın da kaldırma etkisiyle bu emme kuvveti birleştiğinde aracın yol tutuşu olumsuz

etkilenir. Bu sebeple araçların ön cam ve tavan tasarımları, özellikle yüksek hızlı araçlarda basma kuvvetini arttıracak şekilde tasarlanır.

$$F_L = \frac{\rho * v^2}{2} * A * C_L = q * A * C_L$$

“ F_L ” kaldırma kuvvetini, “ V ” akış hızını, “ ρ ” yoğunluğu, “ q ” dinamik basıncı, “ A ” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “ C_L ” kaldırma katsayısını göstermektedir.

Gün geçtikçe hafifleyen araç ağırlıkları karşısında kaldırma kuvvetinin kontrol altında tutulmasının önemi giderek artmıştır. Tüm çalışmalara ek olarak, araç tasarımında arka kanat kullanımı, aracın yere basmasını arttıracığı için, aracın yola tutunmasında katkıda bulunacaktır. (Demircioğlu, 2007)



Şekil 5.10:Kanatın havayı yönlendirmesi (carid.com web sitesi, 2016)

5.1.4 Yanal Kuvvet

Hava kuvvetinin belirli durumlarda kontrolsüz olarak gelmesiyle, araca etki eden hava hareketi, aracın şekline göre simetrikliğini kaybeder. Bu durumda aracı kontrolde tutmaya yarayan kuvvet yanallı kuvvettir. Bu kuvvet birleşeni sürüklenme ve kaldırma kuvveti ile dik açı yapmaktadır. (Demircioğlu, 2007)

$$F_Y = \frac{\rho * v^2}{2} * A * C_Y = q * A * C_Y$$

“F_Y” yanal kuvveti, “V” akış hızını, “ρ” yoğunluğu, “q” dinamik basıncı, “A” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “C_Y” yanal kuvvet katsayısını göstermektedir.

5.1.5 Yunuslama Momenti

Yunuslama momenti; kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinden kaynaklanan aracın ön ve arkasından etki eden kaldırma kuvvetlerinin birbirine eşit olmadığı durumda oluşan momenttir. Bu moment, basınç merkezi ile ağırlık merkezinin birbirine ilişkilendirilmesiyle bulunur. (Demircioğlu, 2007)

$$M_P = \frac{\rho * v^2}{2} * A * L * C_P = q * A * L * C_P$$

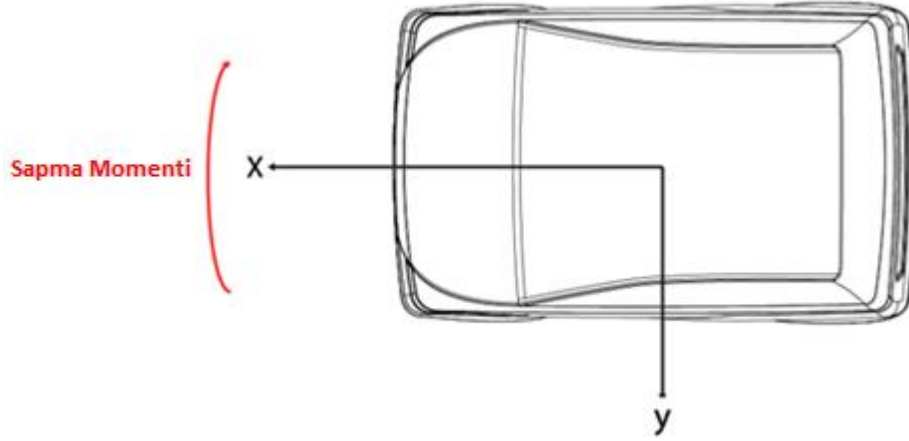
“M_P” yunuslama momentini, “V” akış hızını, “ρ” yoğunluğu, “q” dinamik basıncı, “A” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “L” iki aks arası uzunluğu ve “C_P” yunuslama moment katsayısını göstermektedir.

5.1.6 Sapma Momenti

Sapma momenti, aracın sol ve sağ taraflarından etki eden yanal kuvvetler birbirine eşit olmadığı zamanlarda oluşan momenttir. (Demircioğlu, 2007)

$$M_Y = \frac{\rho * v^2}{2} * A * L * C_Y = q * A * L * C_Y$$

“M_Y” sapma momentini, “V” akış hızını, “ρ” yoğunluğu, “q” dinamik basıncı, “A” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “L” iki aks arası uzunluğu ve “C_Y” sapma moment katsayısını göstermektedir.



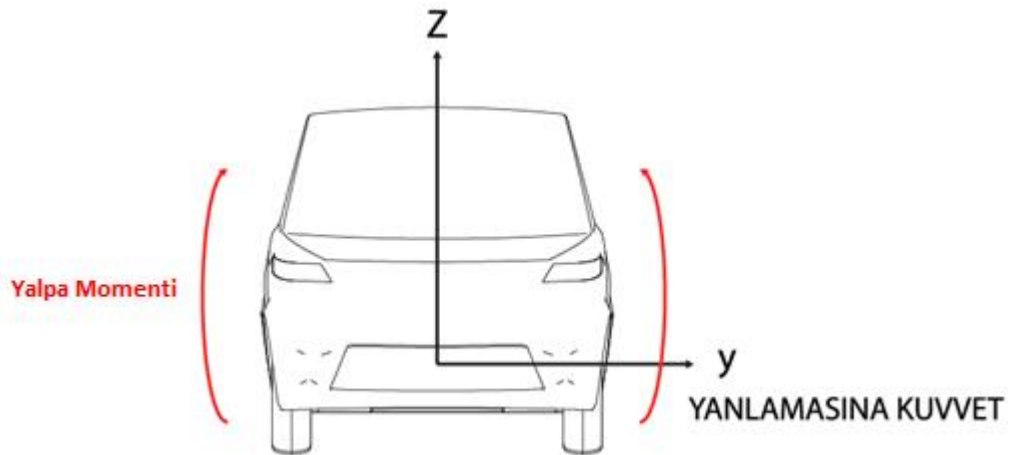
Şekil 5.11:Araç üzerinde sapma momenti

5.1.7 Yalpa Momenti

Yalpa momenti, yanal rüzgârların aracın ön ve arkasına aynı şiddetle etki etmediği durumlarda oluşan aerodinamik momenttir. (Demircioğlu, 2007)

$$M_R = \frac{\rho * v^2}{2} * A * L * C_R = q * A * L * C_R$$

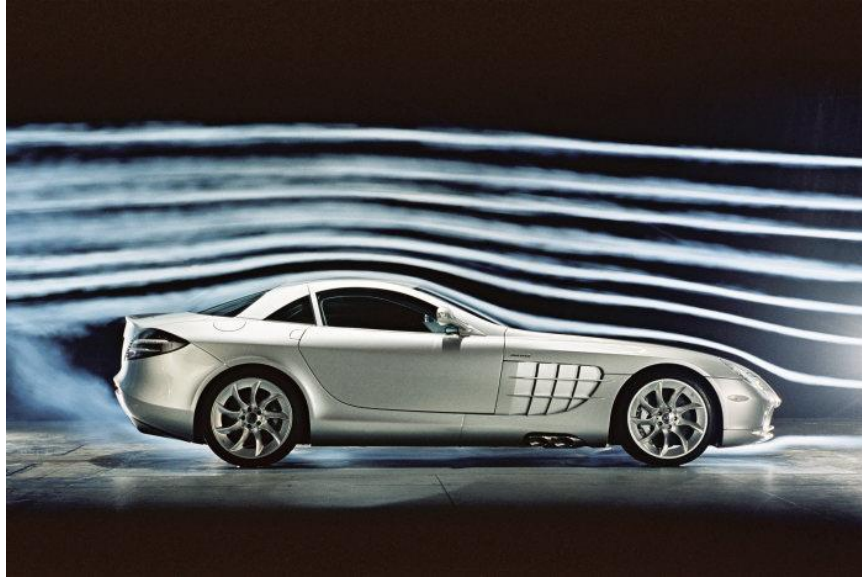
“M_R” yalpa momentini, “V” akış hızını, “ρ” yoğunluğu, “q” dinamik basıncı, “A” aracın ön görünüşte kapladığı alanı ve “L” iki aks arası uzunluğu ve “C_R” yalpa moment katsayısını göstermektedir.



Şekil 5.12:Araç üzerinde yalpa momenti

5.2 Aerodinamik Akış Çizgileri

Aerodinamik akış çizgileri, akış alanı boyunca akışkan hareketinin test yapılan araç üzerinde anlık olarak yön ve hız bilgilerinin anlaşılması için bilgilendirir. Akış çizgileri birbirine yaklaştıkça ve uzaklaştıkça, hava tabakasındaki değişimin gözlemlenmesiyle araç etrafındaki hız ve basınç değerlerini belirlemek mümkündür (Barnard, 1996).



Şekil 5.13: Mercedes-Benz rüzgar tünel testi (Daimler web sitesi, 2017)

Günümüzde otomotiv üreticileri, bu akış çizgilerinden hem sanal analizler yardımıyla, hem de gerçek ölçekli ya da 1:1 ölçekli modellerden, gerekse araç üzerinden rüzgar tünelleri yardımıyla varsayımlar yaparak, bu sonuçlara ve testlere göre düzeltme ve geliştirme süreçlerini devam ettirirler.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

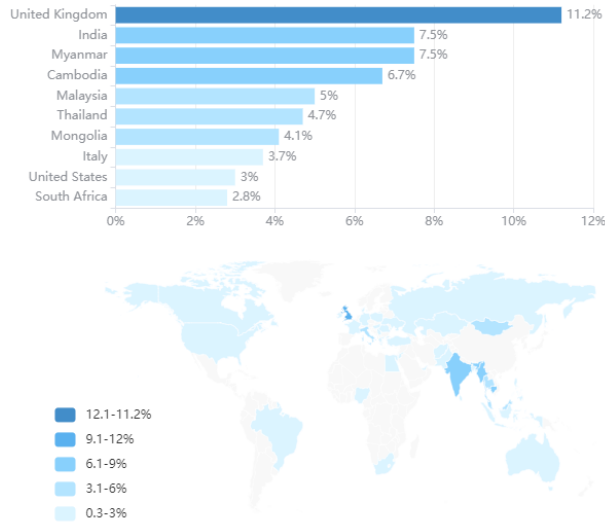
6.1 Araç Hedef Kitesinin Belirlenmesi

Araç tasarım hedefleri belirlenirken, “Şehir araçları” üzerinden yapılmış olan çalışmalar ve internet data verileri kullanılmıştır. Seçilen "Şehir arabası" başlıklı aramalar ve sosyal medya grup katılımlarına bakıldığında, bu başlığın toplamda 11.418.991 izleyicisi bulunmaktadır. Bu kullanıcıların %75,4' ünü erkekler, %24,6'sını ise kadınlar oluşturmaktadır.



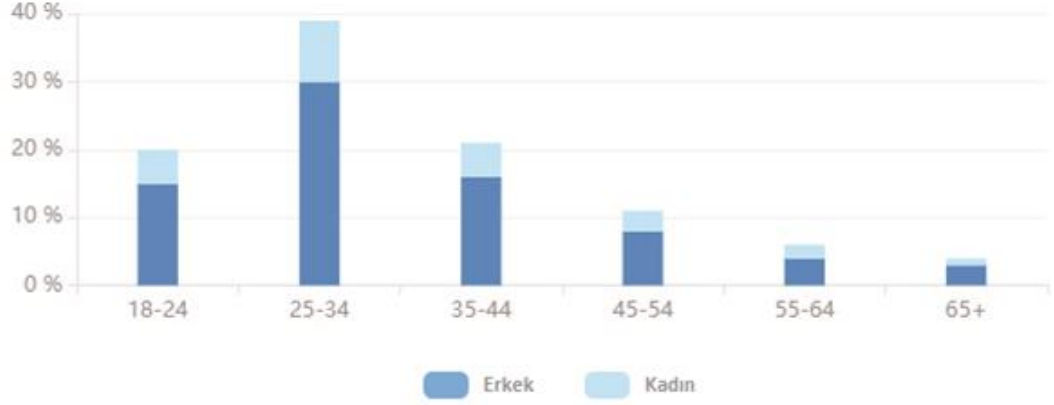
Şekil 6.1: Genel kitle cinsiyet dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021)

Şehir arabasında en büyük ilgi, İngiltere ve Hindistan’ dan olmaktadır.



Şekil 6.2: Genel kitle ülke katılımcıları (adtargeting.io web sitesi, 2021)

Bu grubun büyük çoğunluğu 25-34 arasında ve genelin %38,29'unu oluşturmaktadır. 35-44 gibi diğer yaş grupları ise %22,88'lik bir paya sahiptir. 18-24 yaş arası ilgilenenlerin oranı ise %17,76' dır.



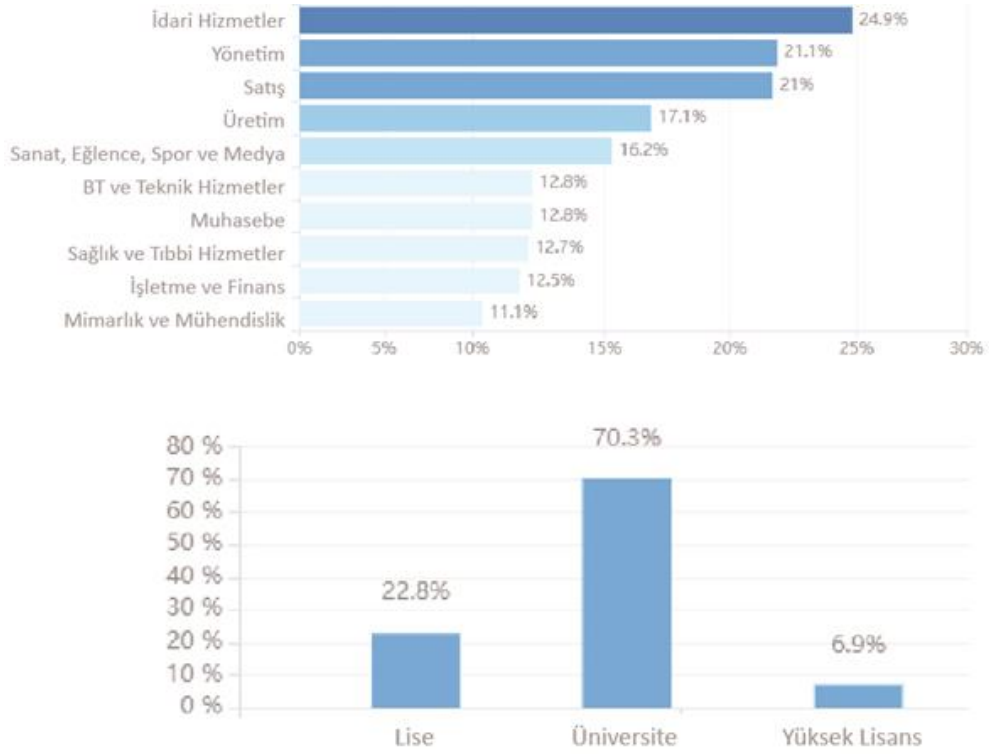
Şekil 6.3: Genel kitle cinsiyet dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021)

Gruptaki ilgilenen kişilerin çoğu evli ve nişanlı durumundadır. Bu grup genelin yaklaşık %45'lik büyük bir payını oluşturmaktadırlar.



Şekil 6.4: Genel kitle ilişki durumu (adtargeting.io web sitesi, 2021)

Katılımcıların çoğu (%77,2) üniversite mezunu olup, iş açısından genel itibariyle idari ve yöneticilik konumunda çalışanlar %46'lık kısmı oluşturmaktadır.



Şekil 6.5: Genel kitle meslek dağılımı (adtargeting.io web sitesi, 2021)

Tüm araştırmalar sonucunda ortaya çıkan genel kitleden, hedef kitle olarak, 25-34 yaş aralığı, üniversite mezunu, meslek sahibi, bekar, ilişkisi olan ve evli ancak çekirdek aile olan kişiler seçilmiştir. Bu durumda kullanıcı hedef kitle kriterleri olarak aşağıdaki maddeler çıkmıştır.

- Orta/üst sınıf kentsel alanlarda kullanılacak.
- Çekirdek aile, genç çiftler, bekarlar tarafından kullanılacak.
- Meslek grubu olarak yöneticiler veya beyaz yakalılar tarafından kullanılacak.
- Sosyal aktivite, işe gidiş geliş ya da iş için kullanılacak.

6.1.1 Araç İsterilerinin Belirlenmesi

Araç tipi belirlenirken, günümüzde yaşanan kentsel yoğunluk ve hava kirliliği baz alınmıştır. Bu etkenleri başlıca maddeler olarak sıralarsak;

- Şehirlerdeki nüfus artışı,
- Toplu taşımanın her duruma veya zamana hitap edememesi,
- Özellikle işe gidiş geliş zamanlarında trafik yoğunluklarının yaşanması,
- Trafikte büyük kişisel araçlar tercih edildiği için kişi başına düşen araç hacim oranının fazla olması,
- Yol üzerinde veya şehir içinde park sorunları,
- Mevcut park yerlerindeki araç kapasitesinin azlığı
- Şehir içi kullanımlarda motor gücü büyük ya da CO₂ salınımı fazla araç kullanılması

Bu kriterler göz önüne alındığında, araç segmenti/türü olarak “Şehir Aracı” seçilmiştir. Şehir aracı tanımına M, N sınıfı araçların yanı sıra L sınıfı araçlarda girmektedir. Tasarımda amaçlanan şehir içi kullanım olduğu için, şehir için hız sınırlamaları da göz önüne alındığında, hedef araç segmenti L sınıfı araç kategorisi çalışma için seçilmiştir.

L sınıfı araçlarda boyutsal ve motor hacmi büyük olan L7 sınıfı araçlar hedef araç segmenti olarak seçilmiştir. L7 sınıfı araçlar akü ağırlığı hariç yüksüz ağırlığı 0,4 tonu, azami net gücü 15 kW’ı geçmeyen ve L6 sınıfına girmeyen dört tekerlekli araçtır.

Ek olarak araç tasarımındaki amaçlardan bir tanesi olan, CO₂ ve zararlı gaz salınımını engellemek olduğu için daha yeşil bir çevreye katkıda bulunmak amacıyla L7e-C sınıfı olarak segment daraltılmış ve araç hedef segment ve regülatif hedefleri belirlenmiştir.

Hedef kitle dikkate alındığında L7eC araç sınıfında bulunan araçlardan daha büyük hacimli, ancak L7e sınıfı regülasyonlarını aşmayacak şekilde tasarım yapmak ve kullanıcı kitlesine sunmak hedefi belirlenmiştir.

L7e sınıf için rekabet analizi yapılmıştır. Bu analiz karşılaştırma tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.1: Şehir arabaları özet karşılaştırma tablosu

| Araç | Motor Gücü (kW) | Mak. Hız (km/h) | Ağırlık (kg) | Menzil (km) | Araç Sınıfı | Boyular (UxGxY mm) |
|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| GEM e2 | 6.7 | 25 | 510 | 150 | N/A | 2620 1410 1854 |
| Kewet Buddy Electric | 13 | 80 | 400 | 120 | L7e-C | 2440 1430 1440 |
| Aixam e-City | 8 | 45 | 400 | 130 | L7e-C | 2762 1500 1480 |
| Nissan New Mobility | 8 | 80 | 500 | 100 | L7e-C | 2340 1230 1450 |
| Honda Micro Commuter | 15 | 50 | 400 | 65 | L7e-C | 2500 1250 1446 |
| Toyota C+Pod | 12 | 60 | 690 | 150 | M1 | 2490 1290 1550 |
| Tazzari Zero City | 15 | 90 | 450 | 140 | L7e-C | 2795 1500 1450 |

Seçilen hedef kitlede araç kullanıcılarının 2 kişi seyahat edebileceği ön görülerek, tasarım kriterleri buna göre belirlenmiştir. Bu kriterler araç isteri olarak aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Bagaj hacminin büyük olmalıdır.
- İşe gidiş geliş için kullanılacağından dolayı, büyükşehirlerde işe gidiş geliş zamanının 1 saate yakın zaman alacağı düşünülerek, ferah iç paket hacmine sahip olmalıdır.
- Büyük şehirlerde beyaz yakalıların işlerine yakın ya da yakın olabilecek semtlerde yaşadığı ön görülerek, 150km menzile sahip olmalıdır.
- Araç rakiplerine göre kendi sınıfında ve tüm otomotiv pazarında daha teknolojik bir kimliğe sahip olmalıdır. Bu fark teknolojileri içerisinde, LDWS sistemi, kamera ayna sistemi, park sensörleri bulunacaktır.
- Yeterli baş ve bacak mesafesine sahip olmalıdır.
- Kolay giriş ve çıkış sağlamalıdır.
- Daha iyi ön ve yan görüş sağlamalıdır. Bu kamera ayna sistemiyle sağlanacaktır.

6.1.2 Araç İsterlerine Göre Çıkış Figürünün Belirlenmesi

Araç figürü, kıyaslamalı olarak yapılan araştırmalar sonucunda doğadaki yapısının uygun olduğu düşünülen Puma hayvanı seçilmiştir. Seçilen figür üzerinden tasarım çizgi çalışmaları ve deneme 2B çizimler, Sketchbook çizim ve kavramsal çizimleri için tasarlanmış bir raster grafik yazılım uygulaması ile yapılmıştır.

Hedef kitle ve araç isterlerine göre, aracın görsel beklentileri aşağıdaki gibidir.

- Agresif,
- Rahat,
- Atak,
- Kendinden emin

Bu anahtar kelimeler ile çıkış noktası hayvanlar alemi seçilmiştir. Hayvanlar aleminden yapılan araştırmalar sonucunda, karşılaştırma tablosundan en uygun olan karakter seçilmiştir.

Tablo 6.2: Hayvanların karakteristikleri

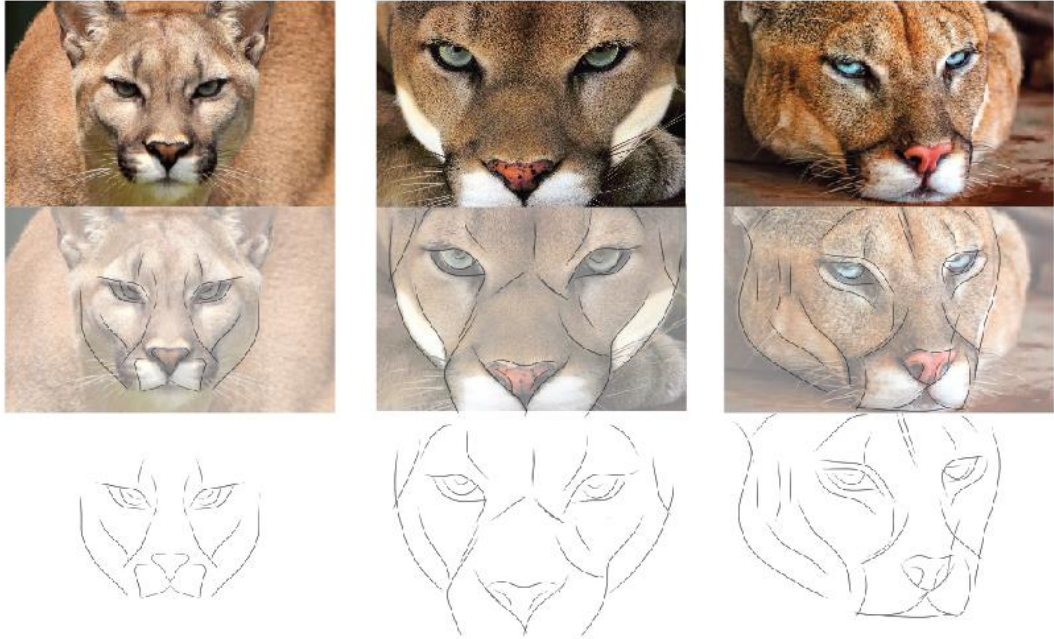
| | Köpek Balığı | Puma | Çita | Panter | Baykuş |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|
| Karakteristik Özellikleri | Az yer | Çevik | En Hızlı | Ağır Başlı | Sakin |
| | Agresif | Kuvvetli | Türüne göre küçük | Dışa dönük | Detaycı |
| | Uzun ömürlü | Agresif | Türüne göre sessiz | Disiplinli | Hesaplı |
| | Seri | Üst türüne göre küçük | Kendi türüne göre küçük | Agresif | Yüksek Görme kabiliyeti |
| | Hareketli | Kendi türüne göre büyük | | | Yüksek işitme kabiliyeti |
| | | Kaslı | | | |
| | | Türüne göre sessiz | | | |
| | | Enerjisini akıllı kullanan | | | |

Bu karşılaştırma tablosuna ek olarak Psikoloji’ de yer alan “Aptal Puma Sendromu” incelenmiştir. Bu sendromun açıklamasında Puma hayvanı baz alınmış ve pumanın büyük bir av ile küçük bir avı yakalamak için harcayacağı enerjinin aynı

olmadığının bilimsel olarak ortaya koyulduğu tespit edilmiştir. Aptal Puma Sendromu'ndan ortaya çıkan özete bakıldığında “elde edeceğimiz girdiye, harcadığımız emekler değiyor mu?” sorusu ortaya çıkmaktadır. Bu da hedefe ulaşmak için harcanan maddi/manevi kaynakların, hedefe ulaştığında sağlayacağı maddi/manevi faydaya değmesine denk gelmektedir. Buradan araç tasarımının çıkış noktalarından, büyükşehirlerdeki gereksiz trafik yoğunluğu ve kişi başına düşen araç hacimlerine bakıldığında, sadece şehir içi dolaşım, işe-gidiş geliş gibi basit aktiviteler için büyük hacimli ya da güçlü motorlu araçların kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tüm bu bilgiler doğrultusunda çıkış figürü olarak hem karakteristik uyumu, hem de bilimsel altyapısının araç kriter ve hedefleriyle eşleşmesi doğrultusunda “Puma” hayvanı seçilmiştir.

Puma hayvanının karakteristik özelliklerini en iyi yansıtmasını sağlayacak şekilde, görseller üzerinden çizgi analizleri yapılmıştır.



Şekil 6.6:On çizgi analizi çalışması

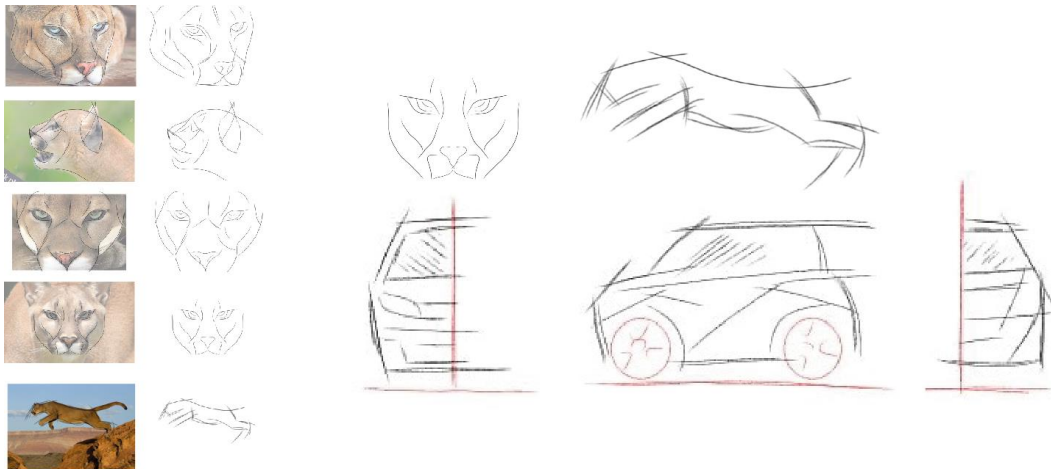
Puma' nın ön görüşünden aracın ön detay karakter çizgileri çıkartılmıştır.



Şekil 6.7: Yan çizgi analizi çalışması

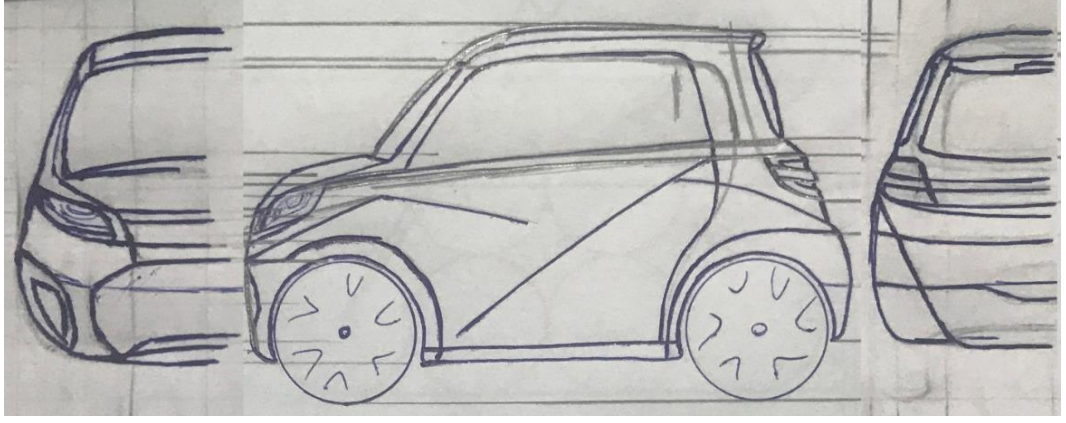
Puma' nın yan görünüşünden, en atak pozisyon arasından yan çizgi çalışmaları yapılmıştır.

Tüm bu çizgi ve detaylar bir araya getirilerek, Sketchbook programında, araç 2B çizim çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 6.8: Tasarım 2B çalışması

Çizgi analizi akabinde, Bölüm 4.1’ de belirtilen şehir aracı proporsiyonlarına göre, 2B sketch tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarımlar arasından, konseptte uygun olan tasarım seçilip, kara kalem ile kağıt üzerinde detaylı sketch çalışmaları yapılmıştır. Yapılan kara kalem çalışmalarında, aracın sol görüşünü baz alınarak, ön ve arka tarafı simetri eksenine göre yarım çizilmiştir.



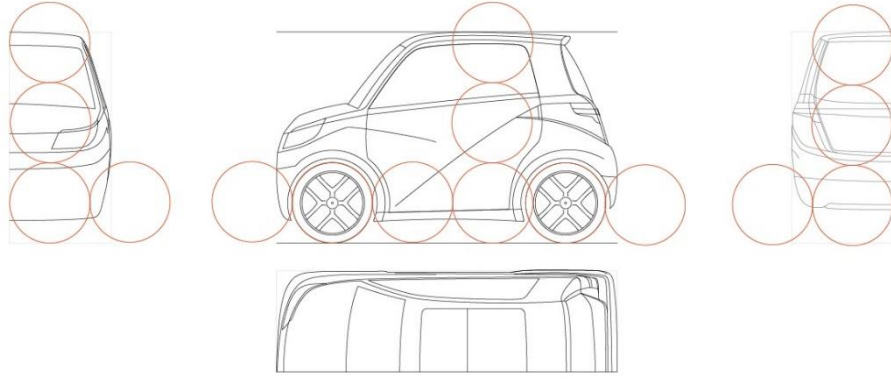
Şekil 6.9:Aracın kara kalem çizimleri

6.1.3 Araç Proporsiyonu ve 2D Paketleme

Araç proporsiyon çalışma çizimleri Adobe Illustrator ve Sketchbook uygulaması ile yapılmıştır. 2B paketleme çalışmaları yapılan çizimler üzerinden Rhinoceros 5 programında 2B ve ölçüsel olarak yapılmış ve sonrasında bu modeller üzerinden 3B modellemeye geçilmiştir.

Kağıt üzerinde çizilen 2B araç görselleri üzerinden, daha doğru detaylandırma çalışması yapılabilmesi için Adobe Illustrator programı üzerinden, vektör çizimleri yapılmıştır.

Kara kalem çalışmaları üzerinden 4.1. Bölümde bahsedilen araç proporsiyon referansları baz alınarak, şehir aracına göre aşağıdaki formüle uyularak aracın vektörel çizimleri yapılmıştır.

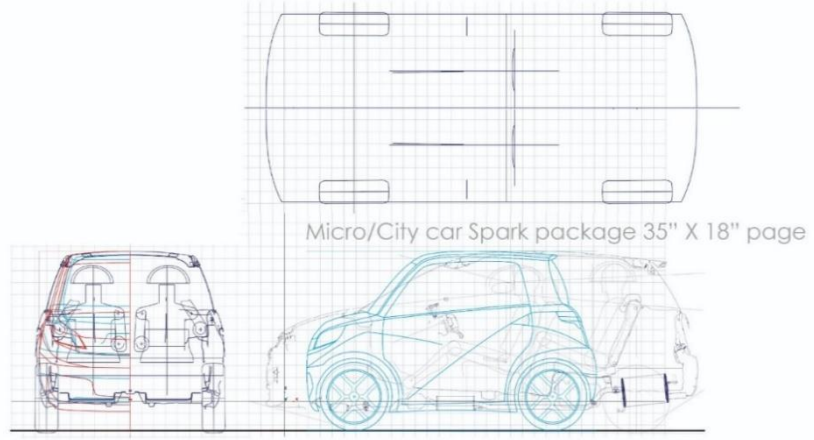


Şekil 6.10:Tasarım vektör çalışması

Ön sketch tasarım ve proporsiyon çalışmaları sonrasında, aracın yaklaşık boyutları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Final boyutlar, 2B paketleme tasarımı sonrasında belirlenecek olup, bu boyutlandırmalar üzerinden, 3B tasarıma geçiş yapılacaktır.

- Aks aralığı: 2,8-3 teker çapı,
- Ön çıkıntı: 0,75-0,8 teker çapı,
- Arka çıkıntı: 0,75-0,8 teker çapı,
- Araç yüksekliği: 2,5-2,7 teker çapı
- Araç genişliği:2,5-2,75 teker çapı

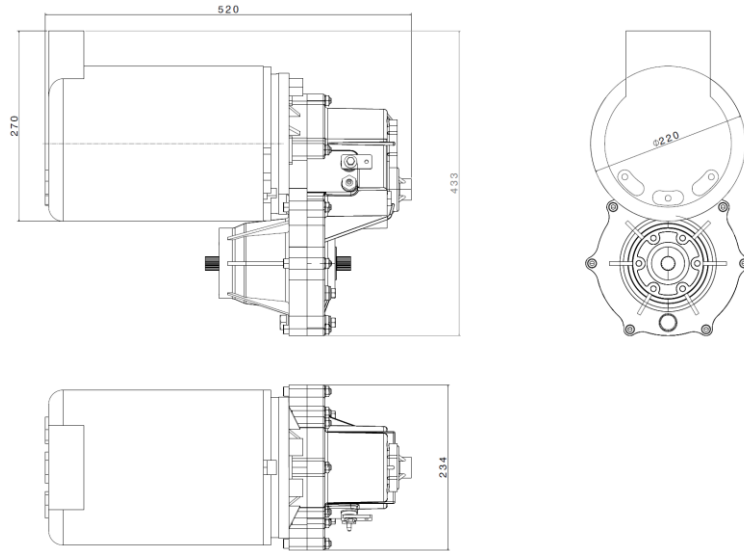
Yapılan vektörel çalışmalar, Mikro/şehir araçları paketleme taslakları üzerinden ön kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 6.11: Ön proporsiyon ve paketleme kontrolü

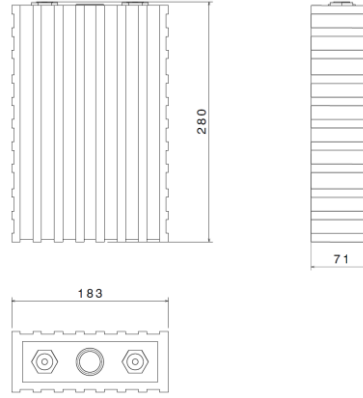
Ön kontrollerin akabinde vektör ve proporsiyon çalışmalarının detaylandırılması için, araçta kullanılacak ana komponentler belirlenmiştir.

Araçta kullanılmak üzere, 19 kW 235A yüksek performanslı asenkron EV motor seçilmiştir. Mevcut motorun paket hacmi 520x434x234mm' dir.



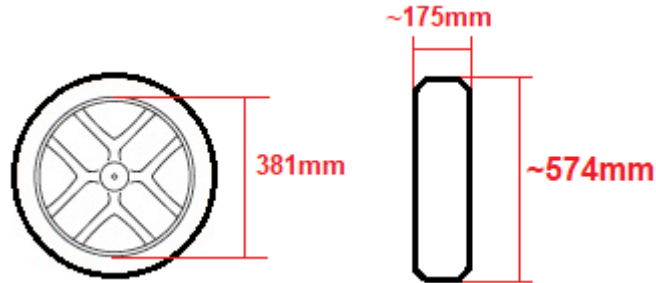
Şekil 6.12: EV Motor paket ölçüleri

EV batarya olarak, LiFePO₄ 185 Ah, 82V batarya seçilmiştir. Batarya paket alanı 280x183x71mm' dir. Araçta kullanılacak batarya adeti toplamda 24 adettir. Bu batarya adeti, Open Motors firmasının ürettiği Tabby Evo aracı baz alınarak belirlenmiştir.



Şekil 6.13: Batarya paket ölçüleri

Lastik olarak, araçta 175/55 R15 lastik belirlenmiştir. Bu lastiğin paket alanı ise, çap 574mm, genişlik ~175mm' dir.



Şekil 6.14: Lastik paket ölçüleri

Ana komponentler araç vektörü üzerinde, ölçeklendirilerek, 2B detay paketleme çalışmaları yapılmıştır.

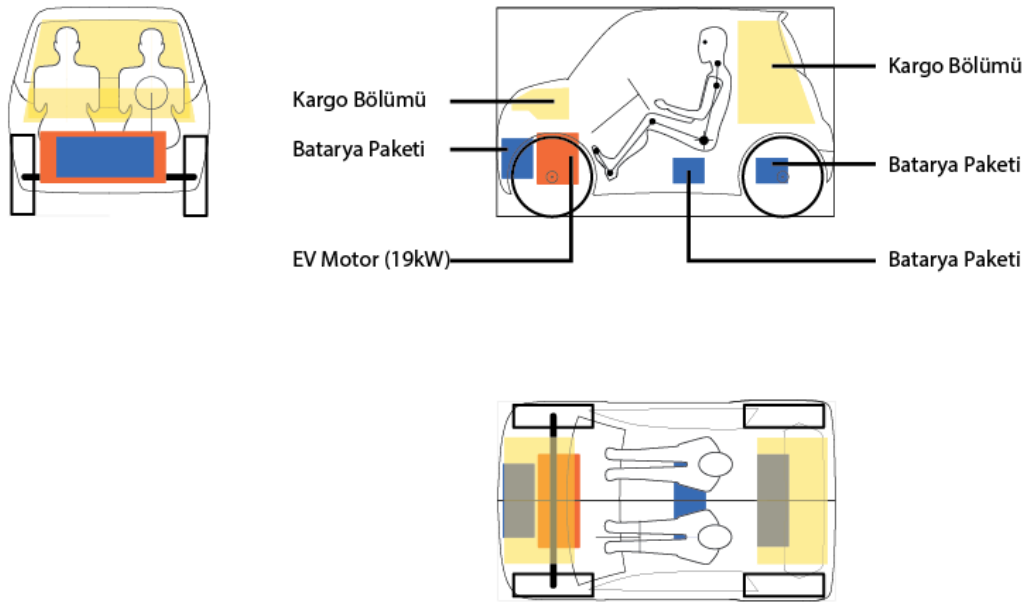
Bu paket çalışmalarında, lastik ölçüsünün belirlenmesiyle detay 2B paket çalışması için araç ölçüleri belirlenmiştir.

- Aks aralığı: 1607-1722 mm aralığı,
- Ön çıkıntı: 430-460 mm aralığı,
- Arka çıkıntı: 430-460 mm aralığı,
- Araç yüksekliği: 1435-1550 mm aralığı,

- Araç genişliği: 1435-1579 mm aralığı

Araç, L7e-C sınıf olacağı için, ECE R168/2013 regülasyonunda belirtilen genişlikler kapsamında araç genişliği maksimum 1500mm olacak şekilde baz alınmıştır.

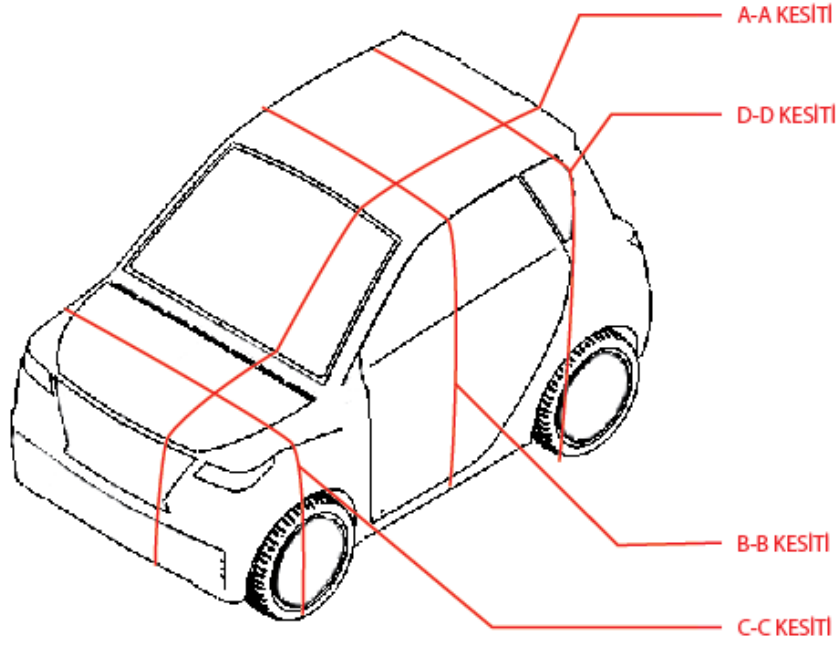
2B paketleme de ilk olarak, aracın ön proporsiyon ölçüleri baz alınarak, Tabby Evo altyapısına göre EV motor ve batarya paketlerinin yerleştirilmesi yapılmıştır. 7 adet batarya motor bölgesine, 7 adet batarya sürücü-yolcu koltuk altına ve 10 adet batarya da arka aks bölgesine yerleştirilmiştir. Bu paketlemeler ile birlikte, aracın EV motor, batarya, sürücü ve yolcu, kargo bölgeleri 2B görünüşte, bölgesel olarak yerleşke kazanmıştır.



Şekil 6.15: Ön Paketleme

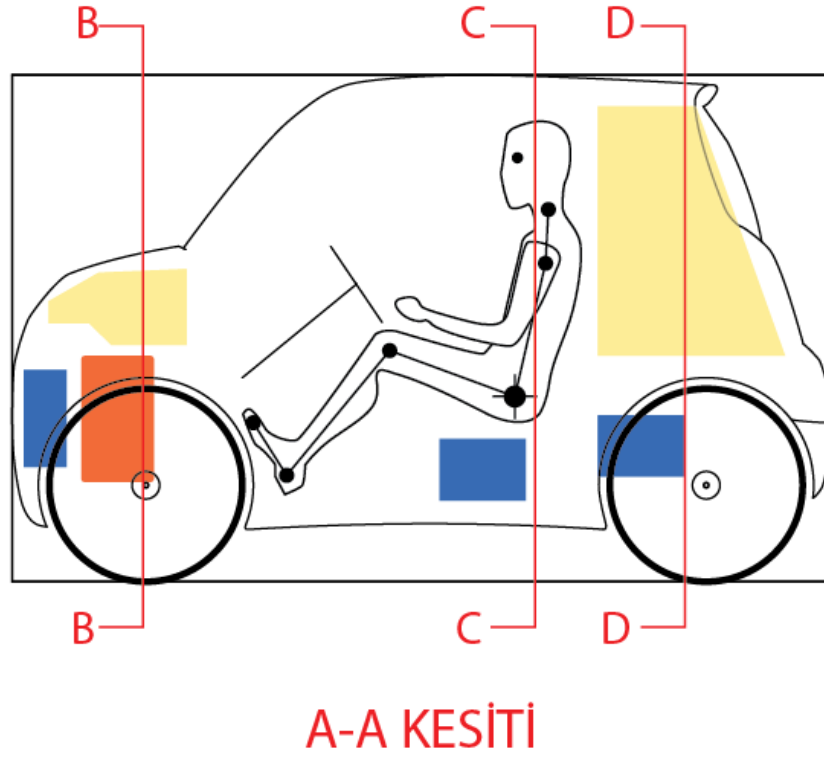
Araçta sürücü ve yolcu oturuş pozisyonu, yüksek oturuş pozisyonu olarak, SAE J1100 standardında belirtilen ölçüler baz alınmıştır.

Detaylı çalışmalar için, araçta 4 farklı kesit alınarak, final proporsiyon öncesi baz ölçüler SAE standartlarına göre belirlenmiştir.



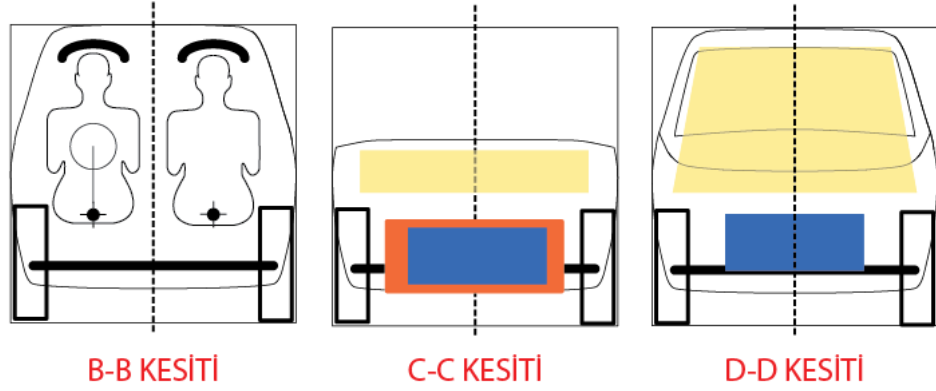
Şekil 6.16: Araç proporsiyon kesitleri

Bu kesitlerde, aracın motor bölgesi, sürücü bölgesi ve kargo bölümü paketlemeleri ve kontrolleri yapılmıştır.



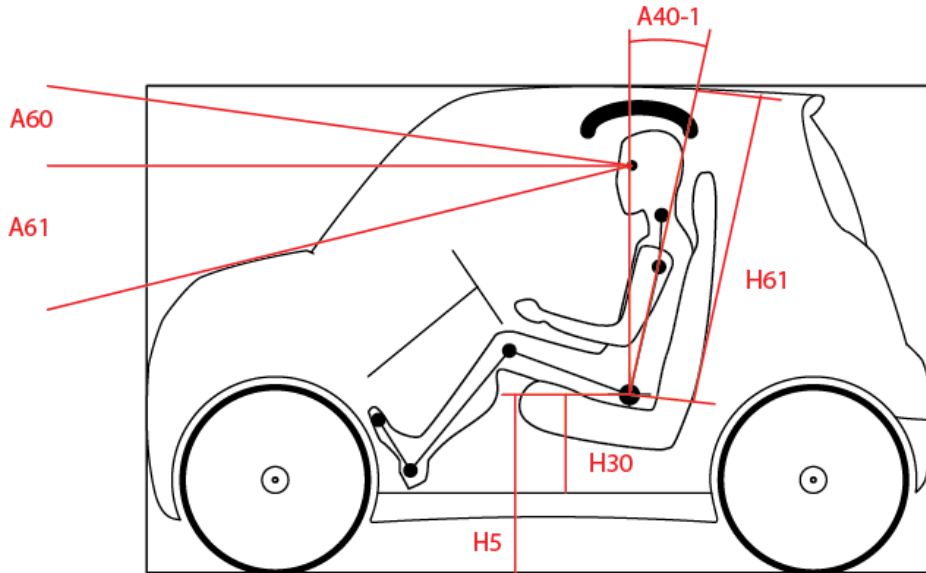
Şekil 6.17: 2B paketleme A-A kesiti

A-A kesitinden yola çıkılarak B-B kesitinde sürücü- yolcu konfigürasyonu, C-C kesitinde motor odası ve D-D kesitinde aracın kargo bölümü konfigürasyon ve paketlenmesi detaylandırılmıştır.



Şekil 6.18: 2B paketleme kesitleri

A-A kesitinde sürücü oturuş pozisyonu ve araç oturma konfigürasyonu ele alınmıştır. Araçta yüksek oturuş olması belirlendiği için, SAE standardında yer alan yüksek oturuş ölçüleri ve sektörde tecrübeler ve entegrasyon kontrolleri sonrasında belirlenmiş olan oturuş ölçüleri baz alınmıştır.



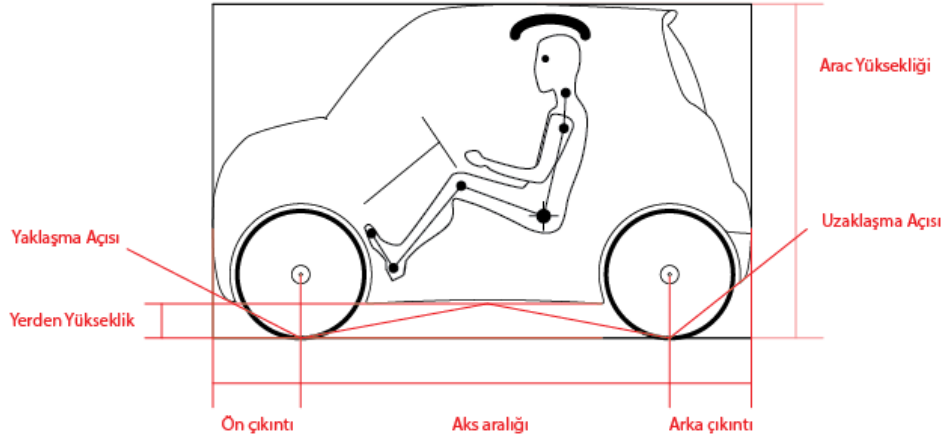
Şekil 6.19: SAE standardına göre sürücü oturuş baz ölçüleri

SAE standartlarındaki ölçü tabloları ve sektörel entegrasyon tecrübeleri baz alındığında, sürücü oturuş baz ölçüleri için, belirlenen ölçüler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.3: Şehir Aracı için sürücü konfigürasyon ölçüleri (Stuart M. ve diğ., 2009)

| Ölçü Tanımı | H5 | H30 | A40-1 | A60 | A61 | H61 |
|-------------|-----|-----|-------|-----|-----|------|
| Ölçü | 625 | 275 | 21 | 14 | 11 | 1000 |

Sürücü pozisyonlarının yanı sıra, aracın genel ölçülendirilmesi de bu görünüş üzerinden yapılmıştır.



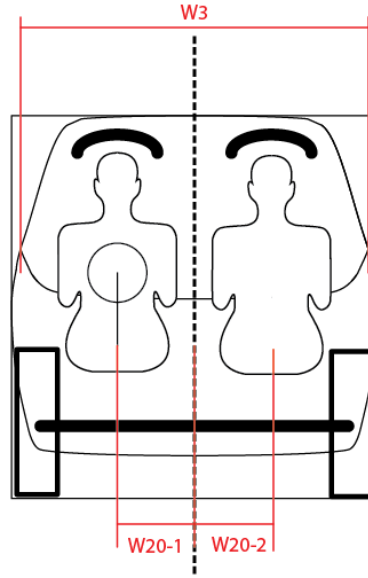
Şekil 6.20: Araç genel ölçülendirilmesi

Araç genel ölçülendirilmesi, proporsiyon çalışmasında bulunan aralıkların, 2B ve 3B paketlemelerin tasarım çizgisi kapsamında değerlendirilmesi sonrasında final araç ölçülerinin çıkmasına fayda sağlayacaktır. Araç için proporsiyon ölçülerinin yanı sıra, hedef olarak yaklaşma açısı uzaklaşma açısı ve yerden yükseklik 175 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.4: Araç genel ölçülendirmesi

| Ölçü Tanımı | Ölçü |
|------------------|--------------|
| Aks aralığı | 1607-1722 mm |
| Ön çıkıntı | 430-460 mm |
| Arka çıkıntı | 430-460 mm |
| Araç yüksekliği | 1435-1550 mm |
| Araç genişliği | max. 1500 mm |
| Yakınlaşma Açısı | 29° |
| Uzaklaşma Açısı | 34° |
| Yerden Yükseklik | 175mm |

B-B kesitinde sürücü ve yolcu oturuş pozisyonu ve araç için oturma konfigürasyonu ele alınmıştır.



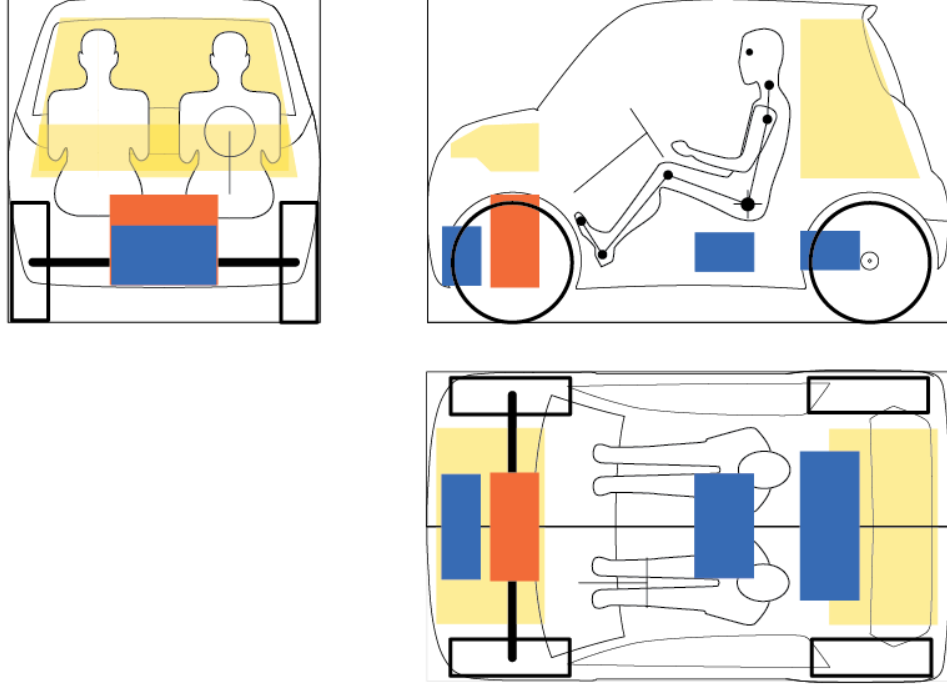
Şekil 6.21: Sürücü-yolcu konfigürasyonu

SAE standartlarındaki ölçü tabloları ve sektörel entegrasyon tecrübeleri baz alındığında, sürücü oturuş baz ölçüleri için, belirlenen ölçüler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.5: Şehir Aracı için sürücü-yolcu konfigürasyon ölçüleri (Stuart M. ve diğ, 2009)

| Ölçü Tanımı | W20 | W3 |
|-------------|-----|------|
| Ölçü | 300 | 1200 |

Tüm ana komponentler ölçekli şekilde 2B paketleme üzerinde kontrol edilmiştir.



Şekil 6.22: Ölçekli 2B paketleme

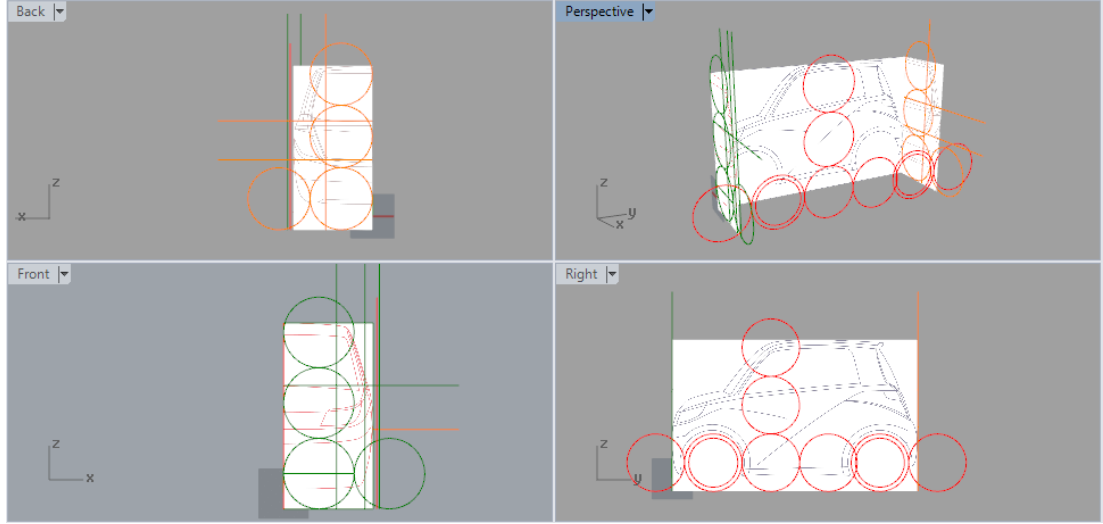
Seçilen batarya, EV motor paketlemeleriyle, araç proporsiyonu değerlendirildiğinde 2B paketlemede, 3B tasarıma ve paketlemeye geçmek için engel olmadığı görülmüştür.

6.2 Aracın 3D Paketleme Çalışmaları ve Modellenmesi

2B paketleme akabinde, belirlenen ölçü aralıklarında araç görünüşleri araç modellenmesi için 3B data ortamına aktarılmıştır. 3B data düzenlenmesinde, Rhinoceros 5 bilgisayar destekli modelleme programı, CATIA v5 bilgisayar destekli tasarım programıyla analize hazır 3B veri haline getirilmiştir.

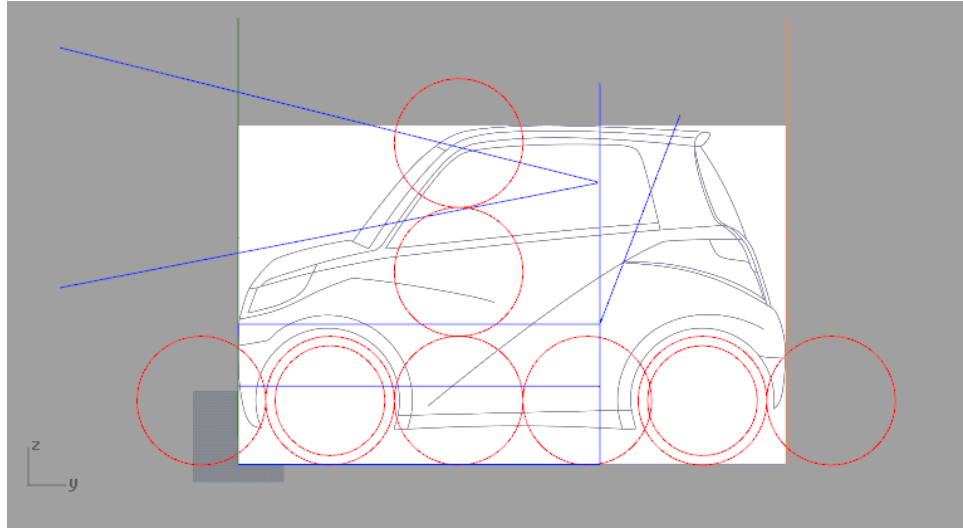
Paket 3B tasarımlar ve aracın yüzey modellemesi Rhinoceros 5 programında yapılmıştır.

2B ön proporsiyon, paketleme ve ergonomi çalışmasının ardından, Rhinoceros 5 yardımıyla, Adobe Illustrator programında vektör haline dönüştürülen ön arka ve yan görünüş ayrı ayrı programa aktarılmıştır.



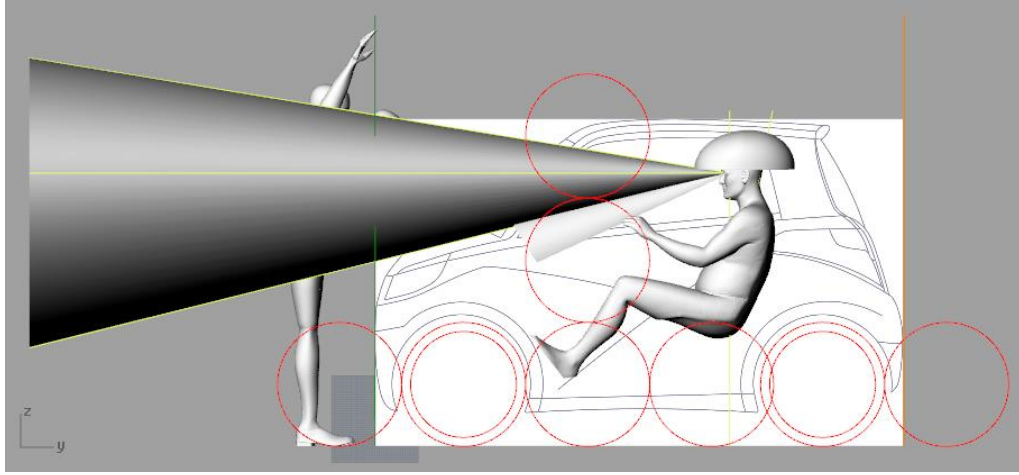
Şekil 6.23:Rhino 3B tasarım başlangıcı

Rhino programında, 2B olarak kontrolleri yapılan dataların 3B ortamda modellenmesi yapılarak, ön tasarım çalışmasına başlanmıştır. Tüm görünüşler eklendikten sonra, 2B paketlemede belirlenen tekerlek çapı baz alınarak, tüm 2B görseller boyutlarına getirilmiştir. Boyutlarına gelen görsellerin akabinde, SAE J1100' dan referans alınan ölçülendirmeler yardımıyla baz manikin bölgesi belirlenmiştir.



Şekil 6.24: 3B Sürücü Araç Konfigürasyonu

Bu manikin bölgesine göre referans manikin yerleştirilerek 3B tasarım çalışmaları için altyapı oluşturulmuştur.



Şekil 6.25: 3B paketleme çalışması

Tüm referans ve 2B' dan 3B' ye aktarılan paketleme ölçülerinin yanında, tasarım ön proporsiyonunda belirlenen ölçüler baz alınarak, tasarım girdisi ve esinlenme noktası göz önünde bulundurulmuş ve aracın boyutları netleştirilmiştir.

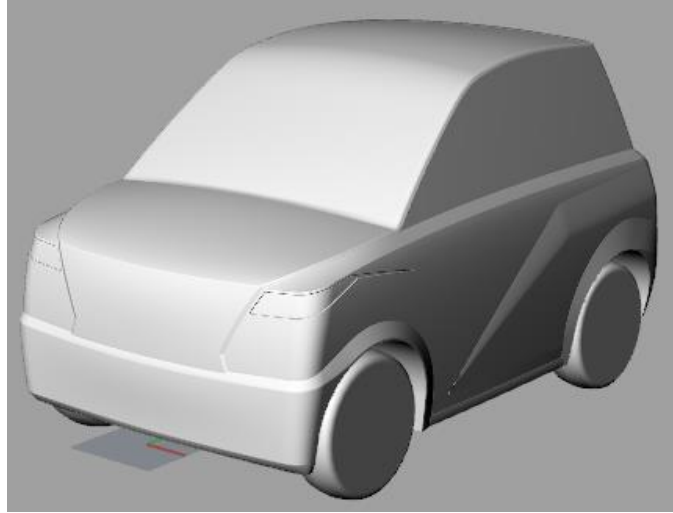
Son tasarıma göre, aracın boyutları aşağıdaki gibidir.

- Aks aralığı 1710 mm
- Ön çıkıntı 450 mm
- Arka çıkıntı 455 mm
- Araç yüksekliği 1562 mm
- Araç genişliği 1481 mm

SAE regülasyonunda tanımlanan iç ölçüler ise 3B yüzey tasarımı sonrasında

Tablo 6.6: 3B tasarım sonrası ölçüler

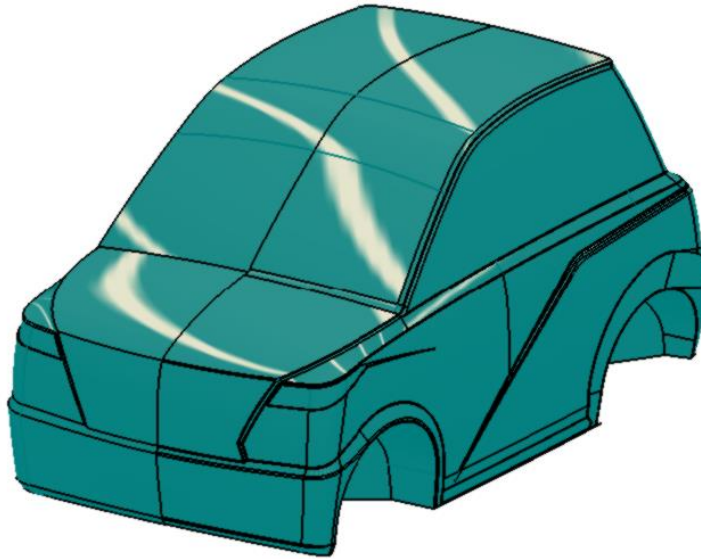
| Ölçü Tanımı | W20 | W3 | H5 | H30 |
|--------------------|--------------|------------|------------|------------|
| Ölçü | 323 | 1210 | 550 | 285 |
| Ölçü Tanımı | A40-1 | A60 | A61 | H61 |
| Ölçü | 21 | 14 | 11 | 1030 |



Şekil 6.26: Araç Rhinoceros 5 detay yüzey modeli

Rhinoceros 5’ te tamamlanan yüzeyler, şasi ve diğer parçalar ile montaj için CATIA programına “stp” formatında çekilmiştir. CATIA v5 programı kullanılarak stp formatındaki veri “CATPart” haline getirilmiştir. Bu “CATPart” ile Rhinoceros 5 programında eklenmeyen detaylar, CATIA üzerinden eklenerek, tasarım detaylandırılmıştır. Ayrıca CATIA Ergonomics Design & Analysis modülü ile detaylı 3B paketleme kontrolü yapılmıştır.

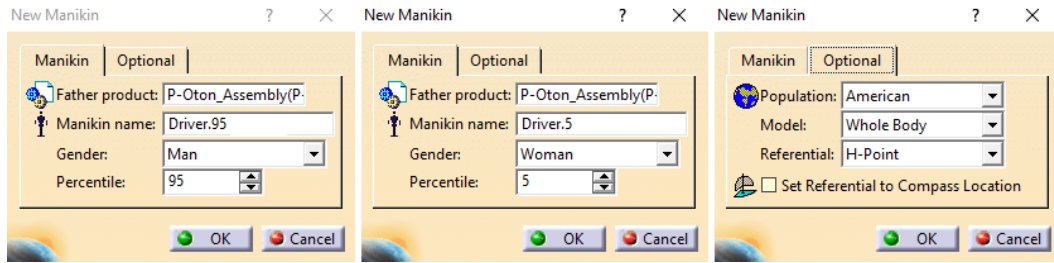
Rhinoceros 5’ ten çekilen yüzey datalarının simetriği alınarak, aracın tam hacmi oluşturulmuştur.



Şekil 6.27: Araç baz 3D modeli

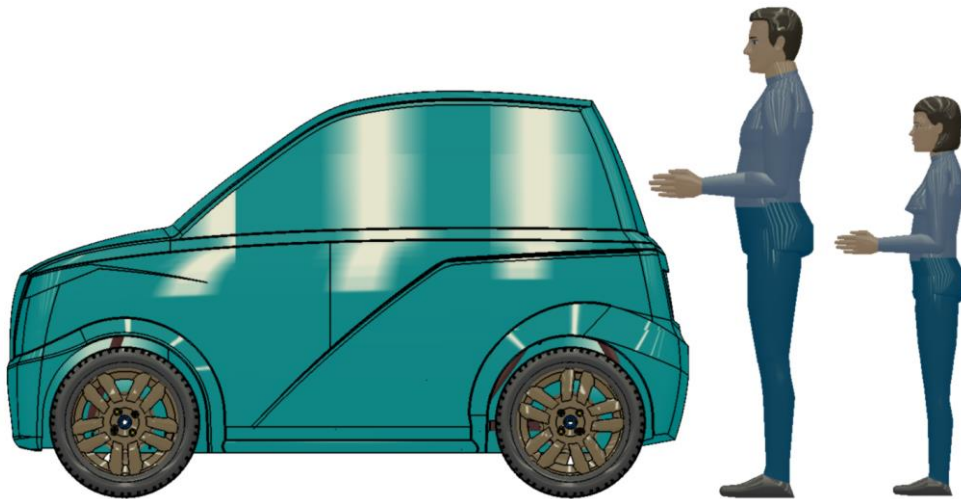
Bu model üzerinden, Tabby Evo aracının altyapısı baz alınarak, alt sistemler CAD datada modellenmiştir. Tabby Evo aracının aks aralığı, tasarlanan araca göre aracın koltuk arkasından itibaren uzatılmış ve 1661 mm’ den 1710mm’ ye getirilmiştir.

Aracın alt sistemlerinin baz dataları oluşturulduktan sonra, araçtaki 3B ergonomik kontroller için CATIA programında “Ergonomics Design & Analysis” modülünde, “Insert a new manikin” komutu ile insan modelleri sisteme atılmıştır. Seçilen hedef kitle doğrultusunda, 24-35 yaş aralığını anatomik olarak maksimum ve minimum boyutlarıyla temsil etmesi için, minimum boyut için kadın figürü olarak %5’ lik bölgeden, maksimum erkek figürü olarak ise %95’ lik bölgeden manikin seçimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.28: Sürücü-Yolcu manikin detayları

Belirtilen ayarlarda manikinler araç datasına eklendiğinde, %95 erkek manikin boyu yaklaşık 1900mm, %5 kadın manikin boyu 1520mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.29:Arac ve manikin boyutları

Manikinleri, aracın sürücü pozisyonuna getirmek ve paket kontrolünü yapmak amacıyla CATIA programında “Ergonomics Design & Analysis” modülünde, “New Package” komutu ile, sürücü pozisyon paketlemesi otomatik olarak, SAE standartlarında belirtilen ölçüler dahilinde oluşturulmuştur.

%95’ lik sürücü için, belirlenen ölçüler manikin boyutlarına uygun olarak aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.7: %95 manikin sürücü manikin koltuk paketleme ölçüleri

| Koltuk Pozisyonu | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-----|------|--------|--------|
| Ölçü Tanımı | SgRP | | | A19 | TL2 | TL18 | A27-1 | A40-1 |
| | L31-1 | W20-1 | H30-1 | | | | | |
| Ölçü | 1585 | -280 | 290 | 5 deg | 100 | 445 | 15 deg | 25 deg |

Tablo 6.8: %95 manikin direksiyon paketleme ölçüleri

| Direksiyon Pozisyonu | | | | | | |
|----------------------|-----|------|-----|-----|--------|-----------|
| Ölçü Tanımı | L11 | W7 | H17 | W9 | A18 | Grip Dim. |
| Ölçü | 135 | -280 | 700 | 300 | 30 deg | 30 mm |

Tablo 6.9: %95 manikin pedal paketleme ölçüleri

| Pedal Pozisyonu | | | | | | |
|-----------------|-----|------|-----|-----|------|-----|
| Ölçü Tanımı | PRP | | | AHP | | |
| | L1 | W1 | H1 | L8 | W8 | H8 |
| Ölçü | 820 | -180 | 350 | 900 | -180 | 240 |

Tablo 6.10: %95 manikin ayak koyma paketleme ölçüleri

| Ayak Koyma Pozisyonu | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ölçü Tanımı | FRP | | | FPA |
| | L98-1 | W98-1 | H98-1 | A48-1 |
| Ölçü | 850 | -430 | 240 | 48 |



Şekil 6.30: %95 manikin oturuş pozisyonu

%5' lik sürücü için, belirlenen ölçüler manikin boyutlarına uygun olarak aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.11: %5 manikin sürücü manikin koltuk paketleme ölçüleri

| Koltuk Pozisyonu | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-----|------|--------|--------|
| Ölçü Tanımı | SgRP | | | | | | | |
| | L31-1 | W20-1 | H30-1 | A19 | TL2 | TL18 | A27-1 | A40-1 |
| Ölçü | 1435 | -280 | 294 | 5 deg | 100 | 445 | 15 deg | 25 deg |

Tablo 6.12: %5 manikin direksiyon paketleme ölçüleri

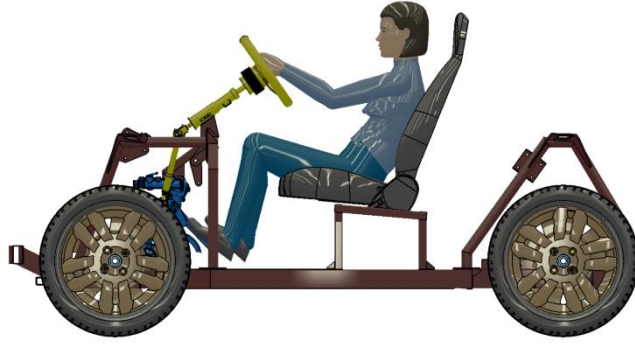
| Direksiyon Pozisyonu | | | | | | |
|----------------------|-----|------|-----|-----|--------|-----------|
| Ölçü Tanımı | L11 | W7 | H17 | W9 | A18 | Grip Dim. |
| Ölçü | 145 | -280 | 700 | 300 | 30 deg | 30 mm |

Tablo 6.13: %5 manikin pedal paketleme ölçüleri

| Pedal Pozisyonu | | | | | | |
|-----------------|-----|------|-----|-----|------|-----|
| Ölçü Tanımı | PRP | | | AHP | | |
| | L1 | W1 | H1 | L8 | W8 | H8 |
| Ölçü | 820 | -180 | 350 | 900 | -180 | 240 |

Tablo 6.14: %5 manikin ayak koyma paketleme ölçüleri

| Ayak Koyma Pozisyonu | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ölçü Tanımı | FRP | | | FPA |
| | L98-1 | W98-1 | H98-1 | A48-1 |
| Ölçü | 850 | -430 | 240 | 48 |



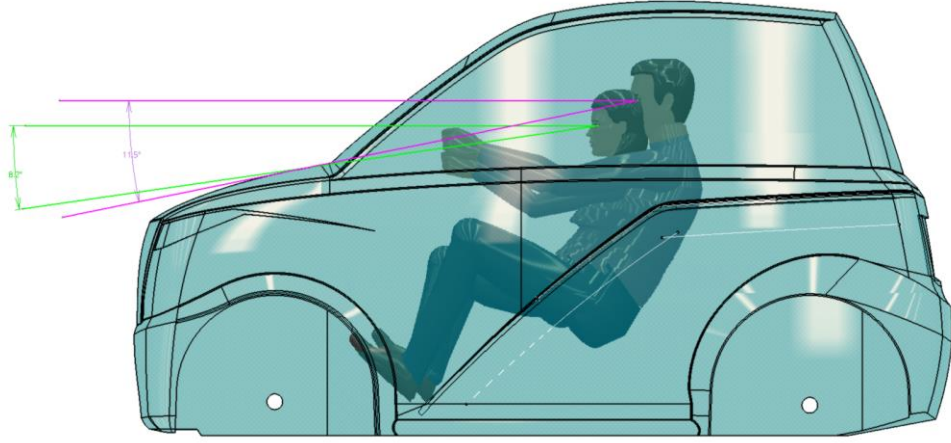
Şekil 6.31: %5 manikin oturuş pozisyonu

%5 ve %95 manikinler araç üzerine yerleştirildiğinde, oturuş pozisyonları arasında 149 mm' lik bir ölçü farklılığı bulunmaktadır.



Şekil 6.32: %5-%95 manikin oturuş pozisyonları

Manikinlerin görüş açılarına bakıldığında, %5' lik manikin alt görüş açısı 8,2 derece iken, %95' lik manikin alt görüş açısı 11,5 derecedir.



Şekil 6.33: %5-%95 manikin alt görüş açıları

Üst görüş açıları ise, tasarımda belirlenen ölçülere göre, detay tasarımda uygun hale getirilecektir.

Aracın davlumbaz açıklıklarının kontrolü için, seçilen tekerlek ve salıncak sistemlerinden faydalanılarak, aracın teker zarfları çıkartılmıştır. Bu paketleme çalışmasında süspansiyon ve direksiyon stroke' ları baz alınarak tekerleğin, tam sağ üst konum, tam sol üst konum, tam sağ alt konum, tam sol üst konumları belirlenmiştir.

Bu hareket esnasında, açısal farklılıklardan kaynaklı bir problem olmaması için, tekerlek zarfi 2° lik hareketlerle, tekerin süpüreceği tüm alanlar alınarak araç ham modeli üzerindeki ilişkisi kontrol edilmiş ve ön ve arka teker davlumbazlarının açıklıkları belirlenmiştir.



Şekil 6.34: Ön teker 3B paket çalışması

Araçta sürücü ve yolcu iniş-binişleri için sağda ve solda eşit boşluklara sahip birer kapı bulunacaktır. Bu kapı boşlukları, %95 erkek manikin göz önünde bulundurularak tasarımın imkan verdiği dahilinde belirlenmiştir.



Şekil 6.35: 3B kapı alanı

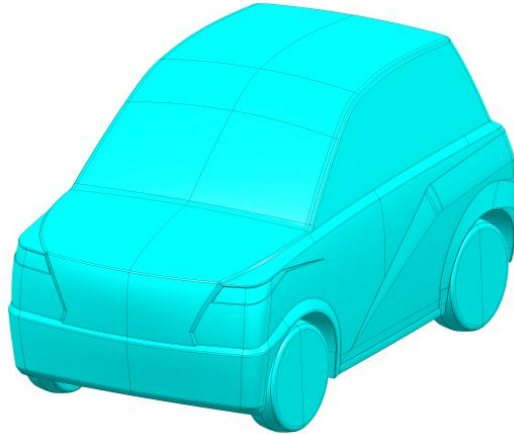
En dar kesitte 760mm olacak şekilde, 1222mm yüksekliğe ve 1242mm genişliğe sahip kapı boşluğu tasarımda oluşturulmuştur. Belirlenen ölçülerde kapı 80°'lik bir açılma döngüsüne sahip şekilde paket tasarımı tamamlanmıştır.



Şekil 6.36: Kapı paket alanı

3B paketleme çalışmalarının akabinde, data hedef tasarım doğrultusunda detay öncesinde, detayları net belirlemek amacıyla analize hazır hale getirilmiştir.

CATIA' da Ansys programı için analize hazırlanacak dosyada, analizin yükünü hafifletmek ve mesh sırasında problemle karşılaşmamak amacıyla, tekerlekler çapı koruyacak şekilde düzeltilmiştir. Bununla beraber alt parçalar yok edilerek, sadece Şekil 6.37'de görülen 3B veri elde edilmiştir.

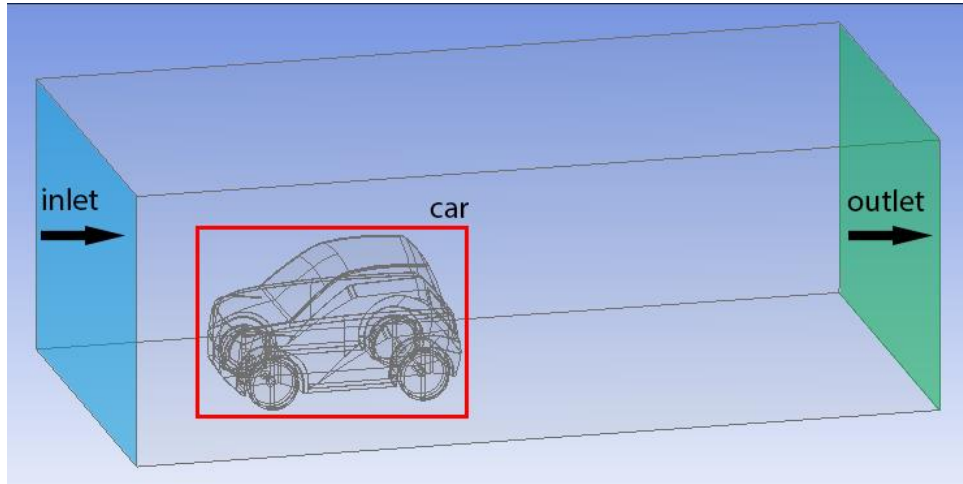


Şekil 6.37: Araç CATIA CAD modeli

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1 Araç Tasarımının Aerodinamik Analizi

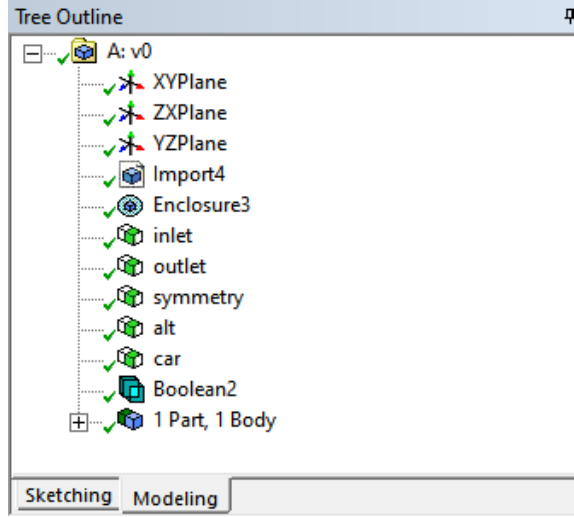
Araç analizlerinde Ansys v19.2 Workbench modülü kullanılmıştır. Tasarımın analize hazır hali CATIA v5 programından “stp” dosya uzantılı olarak çıktı alınır. ANSYS Workbench içerisinde “Fluid Flow (Fluent)” analiz tekniği atanır. CATIA’ dan alınan çıktı Fluid Flow (Fluent) analiz tekniği içerisinde yer alan “Geometry” sekmesi içerisine “DesignModeller” yardımıyla aktarılır. Bu kısımda içerisine atılan datanın üzerine yüzey sınır şartları belirlenir ve “Enclosure” komutu yardımıyla rüzgâr tüneli modelinin kontrol hacmi oluşturulur. Kontrol hacmi aracın üstünden 1500mm, her iki yandan ayrı ayrı 1500mm, önden 1500mm, arkadan 5000mm ve aracın altından aracın yüksekliğini belirlemek amacıyla 30mm olacak şekilde belirlenir. Oluşturulan rüzgar tüneli modelinin içerisinden “Boolean” komutuyla rüzgar tüneli katısının içerisinden, araç katı modeli çıkartılır. Araç yüzeyi rüzgar tüneli modelinin içerisinden çıkartıldıktan sonra analizde kullanılmak üzere beş farklı sınır şartı belirlenir.



Şekil 7.1: Design Modeller' da sınır şartları verilen model

Bunlar “inlet”, “outlet”, “symmetry” ve “car” ve “groundsurface” dir. “inlet” olarak isimlendirilen yüzey yani giriş yüzeyi; akışkanın analize girdiği yüzeylerdir. “outlet” olarak isimlendirilen yüzey yani çıkış yüzeyi; akışkanın çıktığı yüzeylerdir. “symmetry” olarak isimlendirilen yüzey yani duvarlar; akışkanın akışına karşı akışı geçirmeyen yüzeylerdir. “car” olarak isimlendirilen yüzey yani aracın modeli; araç

modelinin rüzgâr tüneli içinden çıkartıldığından yüzey kısımlarının akış içinde bıraktığı sızdırmaz yüzeylerdir. “alt” olarak isimlendirilen yüzey ise rüzgar tünelinin taban yüzeyidir.



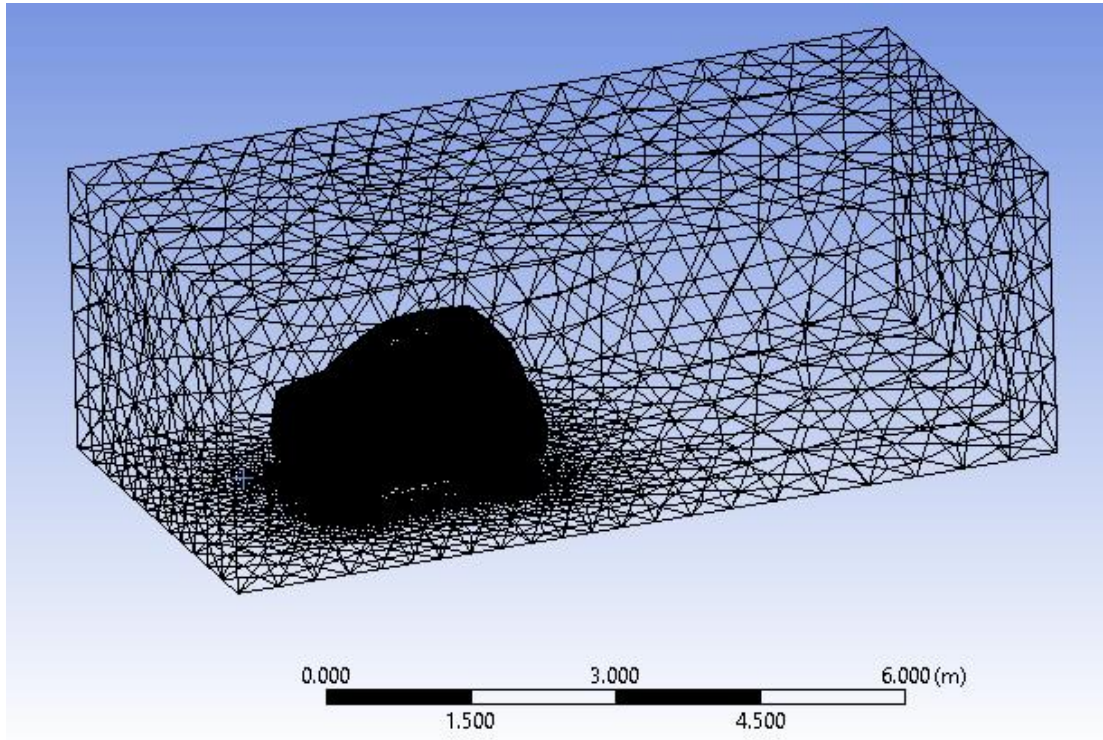
Şekil 7.2: DesignModeller ürün ağacı

DesignModeller’ da hazırlanan yüzeyler akabinde “Mesh” modülü yardımıyla sonlu elemanlara ayrılır. Model boyutuna göre mesh sayısı ve büyüklükleri değişiklik göstermektedir. Modele mesh atılmadan önce mesh ile ilgili kısıtlar belirlenmelidir. Mesh modülü içinde işlemlerin tamamlanması için ilk olarak analiz ayarları yapılmalıdır.

Mesh modülünde, çözümüleme gerçekleşmeden önce birkaç işlem yapılmalıdır. Öncelikle “Physis Preference” kısmından CFD seçilmiştir. Ardından “Quality” bölümündeki “Smoothing” sekmesinden “high” seçilerek en yüksek ayar verilmiştir.

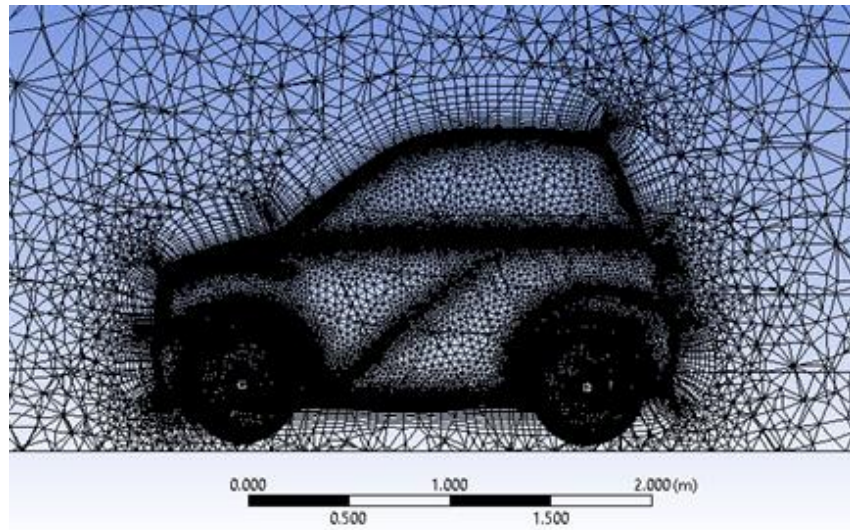
Mesh modülünde ilk olarak için metot belirleme işlemi yapılmış ve eklenen metotta kullanılacak sınır koşullarını sağlayan duvarlar için “tetrahedrons” metodu seçilmiştir. Rüzgar tüneline aracın üzerindeki akışlar kontrole dileceği için “Inflation” ile rüzgar tünelinin odak noktası olarak, “car” seçeneği ile de araç yüzeyleri sınır şartı olarak seçilmiştir. “Inflation Options” tan “First Layer Thickness” seçilerek, ilk katman kalınlığı da “0.01”m, “Maximum Layer” ise 10 adet olarak ilerlenmiştir.

Generate sonucunda, mesh işlemi başarılı olmuş ve toplamda 1741476 nodes ve 4414583 element oluşmuştur.



Şekil 7.3: Modelin ve sınır şartların mesh görünümü

Meshler Generate edildikten sonra kesit alınarak aracın mesh yapısına bakıldığında, keskin hatlı bir araç olmasından kaynaklı köşe dönüşlerde mesh yoğunluğu mevcuttur.



Şekil 7.4: Aracın mesh yapısı

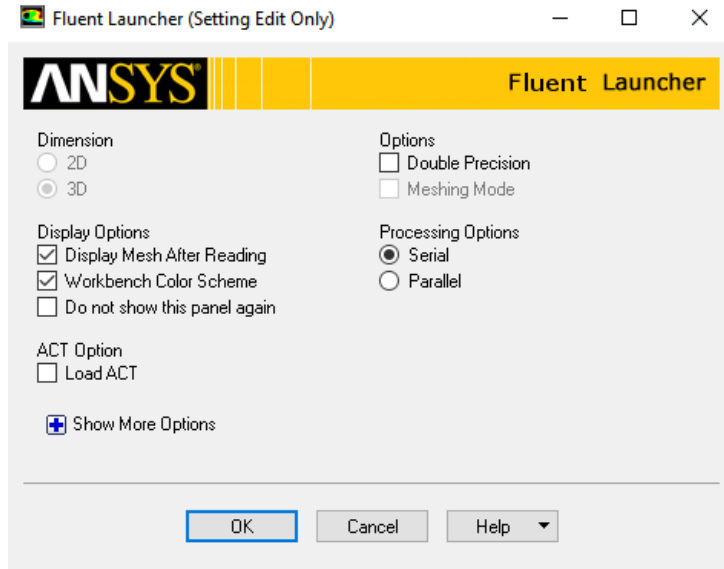
Mesh modülünde yapılan işlemler, program tarafından analiz edilebilir olduğu onaylanmalıdır.

| Messages | | |
|----------|--|--------------------|
| | Text | Association |
| Info | The mesh translation to Fluent was successful. | Project>Model>Mesh |

Şekil 7.5:Mesh modülündeki işlemler sonrası onay mesajı

Bu onay sonrasında Workbench' e geri dönülerek Setup modülünden analiz esnasında kullanacağı donanım ayarları yapılmıştır.

Setup modülünde donanım kapasitesi de göz önünde bulundurularak, süreç için "Serial" seçeneği seçilmiştir.



Şekil 7.6:Fluent "Setup" modül ayarları

Tüm mesh ve ayar işlemlerinin ardından, çözüm öncesi, akış şartlarının belirlenmesi için "Solution" modülü kullanılmıştır. Bu modülde, "Setup" sekmesi altında yer alan "Materials" seçeneğinden havanın yoğunluğunu kontrol edilmiş ve 1,225 kg/m³ olarak kabul edilmiştir. Analizde araç hedef kriteri olarak belirlenen 90 km/h (25m/s) hızda gittiği kabul edildiği için "Boundary Conditions" bölümünde, aracın hız kazandırmasını temsil edecek şekilde, daha önceden sınır şartı olarak araç tabanında yer alan "alt" isimli yüzeyin sınır şartında, "Moving Wall" seçeneği ile aracın önünden arkasına giden eksen (z eksen) seçilerek, 90km/h hız, m/s olarak (25m/s) sınır şartı tanımlanmıştır.

Wall

Zone Name: alt

Adjacent Cell Zone: solid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Wall Motion

Stationary Wall Moving Wall

Motion

Relative to Adjacent Cell Zone Absolute Speed (m/s): 25 constant

Direction

Translational Rotational Components

X: 0 Y: 0 Z: 1

Shear Condition

No Slip Specified Shear Specularity Coefficient Marangoni Stress

Wall Roughness

Roughness Models

Standard High Roughness (Icing)

Sand-Grain Roughness

Roughness Height (m): 0 constant

Roughness Constant: 0.5 constant

Şekil 7.7:Alt duvar sınır şartı

Aynı bölümden havanın giriş hızını tayin etmek amacıyla “inlet” bölümünden, havaya, araç ile aynı hız (25km/h) tanımlanmıştır.

Velocity Inlet

Zone Name: inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 25 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0 constant

Turbulence

Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio

Turbulent Intensity (%): 5

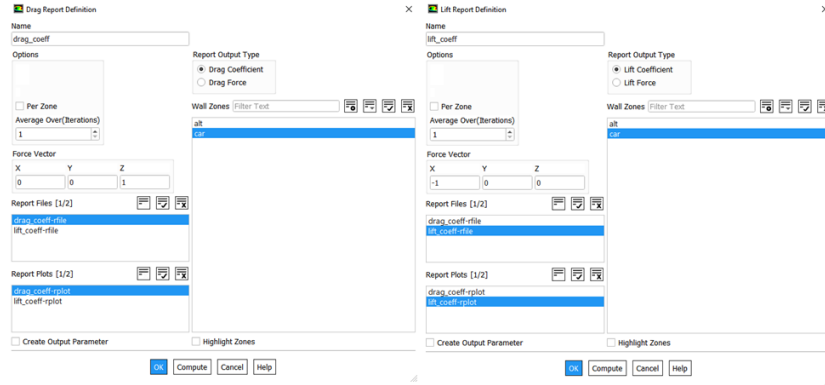
Turbulent Viscosity Ratio: 10

OK Cancel Help

Şekil 7.8:Hava sınır şartı

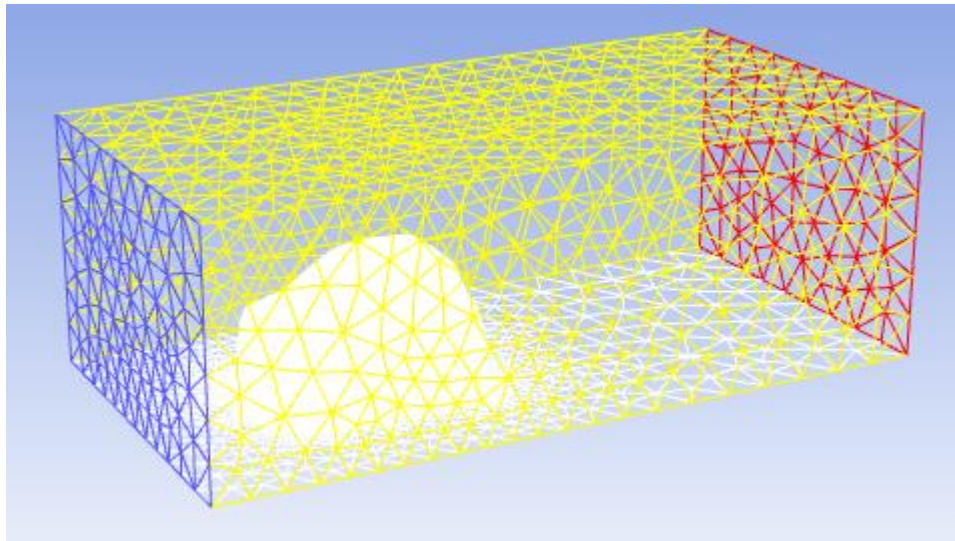
“Solution” sekmesi altında yer alan “Methods” bölümünde, çözüm metodu seçimi, donanımsal kısıtlardan dolayı “SIMPLED” olarak seçilmiştir.

Çözümleme esnasında, sürtünme katsayısı ve kaldırma katsayısının alınması için “Reports Definitions” bölümünden, “drag_coeff” adı altında sürtünme katsayısı çıktısı ve “lift_coeff” sı altında kaldırma katsayısı çıktısı incelenmek üzere eklenmiştir.



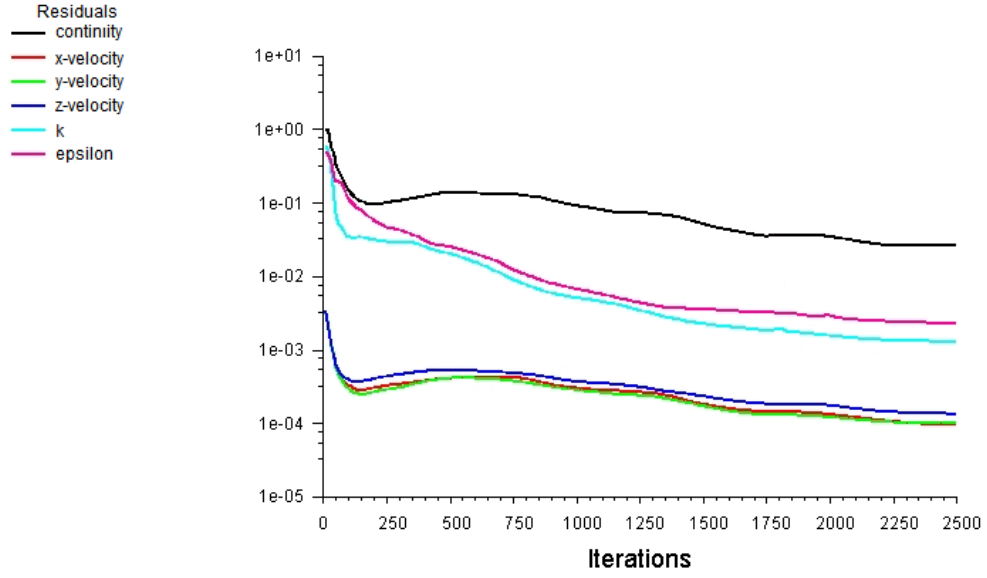
Şekil 7.9:Sürtünme ve kaldırma katsayısı tanımları

Kurulan analiz senaryosunda, 2500 iterasyon olacak şekilde analiz koşturulmuştur.



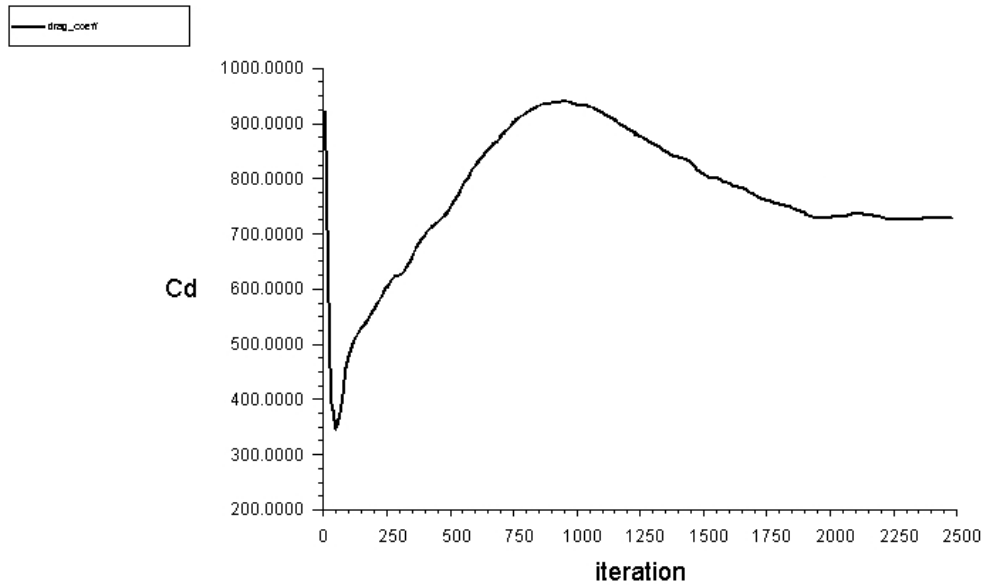
Şekil 7.10:Çözüm öncesi final proje görünümü

Ansys Solution modülünde 24 saat sonra çözümler tamamlamıştır. Bu çözümlerde çıktı olarak ilk önce “Residuals”, “lift_coeff” ve “drag_coeff” grafikleri alınmıştır.



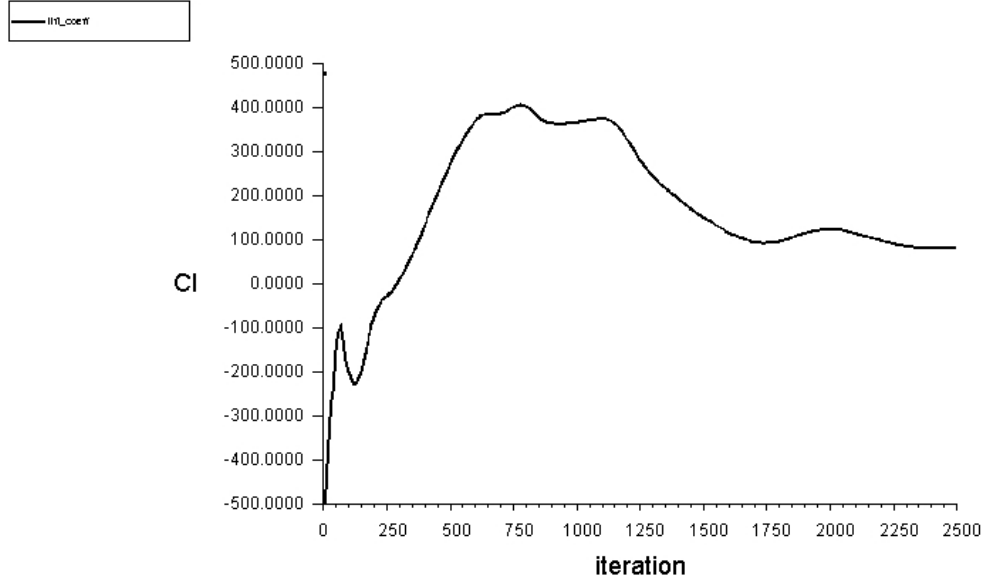
Şekil 7.11:Hız/İterasyon grafiği

Sınır şartları ve maksimum hız değerlerine göre yapılan analiz sonucunda, hız/iterasyon grafiği, yaklaşık 2000 iterasyondan sonra dengeye girmiştir.



Şekil 7.12:Sürtünme katsayı grafiği

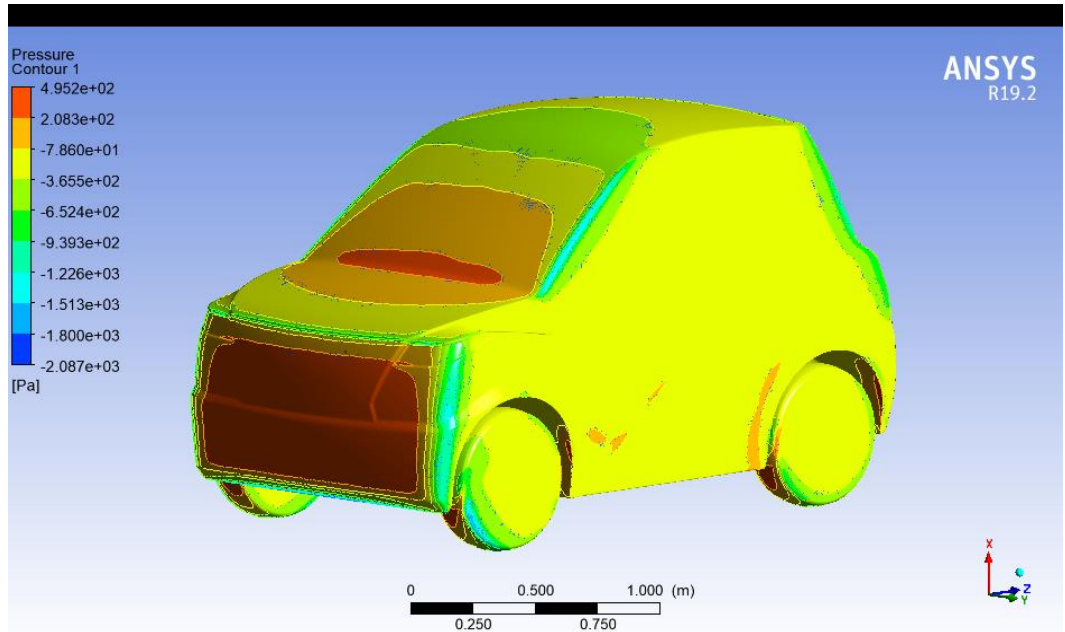
Sürtünme katsayı grafiği de yaklaşık 2000 iterasyondan sonra dengeye girmiştir.



Şekil 7.13:Kaldırma katsayı grafiği

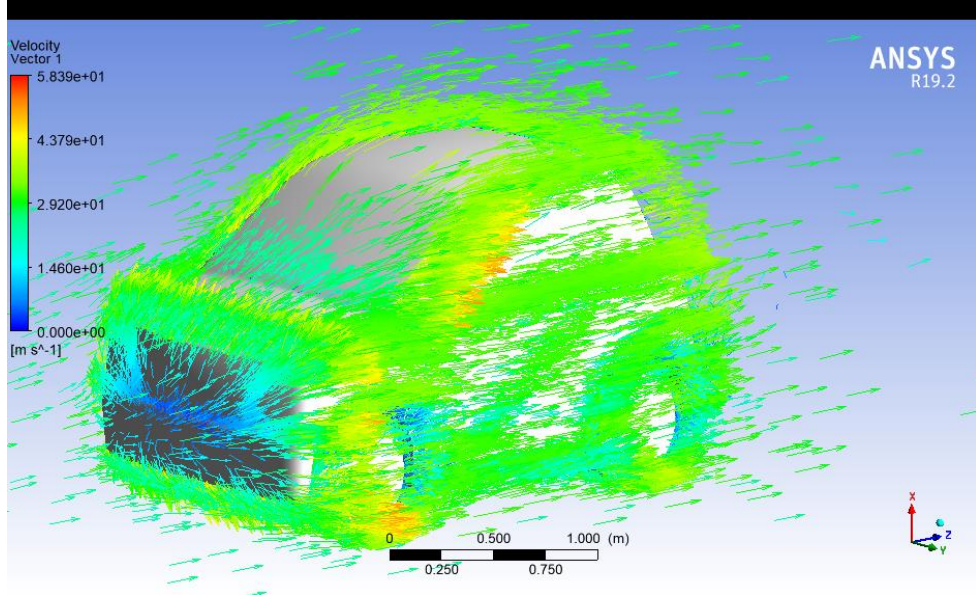
Kaldırma katsayı grafiği de yaklaşık 2000 iterasyondan sonra dengeye girmiştir.

Analiz sonuçlarına bakıldığında, 3D veri üzerinden “Contour” seçeneğiyle, yüzeydeki basınç biçimlerine bakıldığında aracın ön tampon ve ön kaput üstü -ön altı cam ve teker ön bölgelerinde maksimum basıncın oluştuğu görülmektedir.



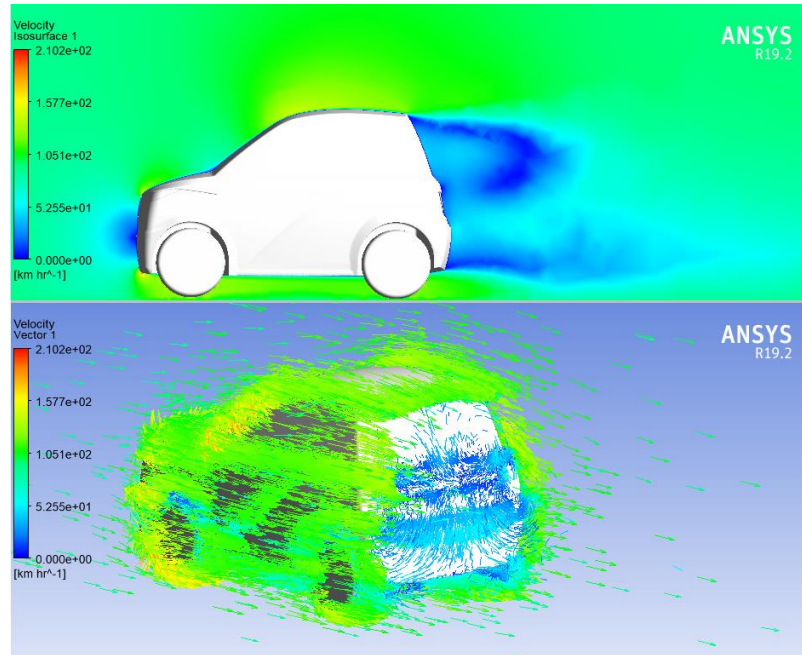
Şekil 7.14:Araç analizi basın biçimi

Aracın yüzeyinde oluşan hız kaynaklı sürtünme direncinin aracın alt tampon, tekerlek ve a direk bölgelerinde arttığı görülmüştür. Sürtünmenin arttığı noktalara bakıldığında, havanın hızında bir artış gözlenmektedir.



Şekil 7.15:Aracın yüzeyine gelen havanın hız dağılımı

Bu bölgelerde araç 90 km/h hız ile giderken havanın hızı, yaklaşık olarak 210km/h' lere kadar çıkmaktadır. Aracın arkasında, havanın hızı yavaşlamakta ve basınç farkından kaynaklı olarak bir vortex oluşturmaktadır.



Şekil 7.16:Hava akısı yan ve arka görünüşü

Ansyes CFD-Post modülünde yer alan “Expressions” sekmesinde yeni formül girilerek, kaldırma kuvveti ve sürtünme kuvveti programdan direkt olarak elde edilmiştir. Sürtünme kuvveti için, kuvvet yönü z eksenini olduğundan dolayı “force_z()@car”, kaldırma kuvveti için ise sürtünme eksenini x eksenini olduğundan dolayı “force_x()@car” ifadesi girilmiştir.

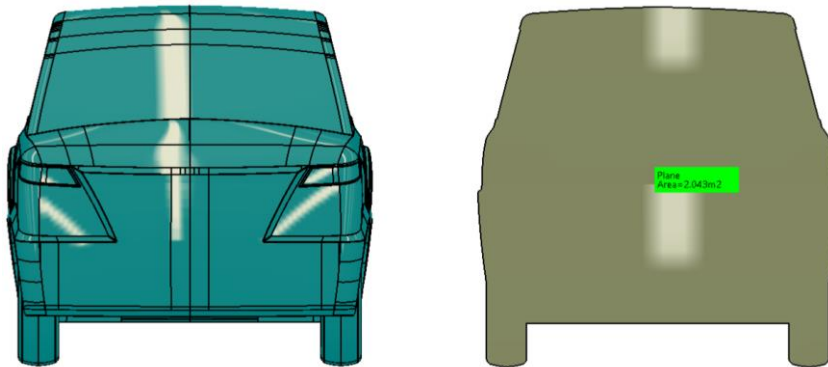
Bu kuvvetlerden yola çıkılarak, yine yeni formül atamasıyla sürtünme katsayısı “drag_coeff” ve kaldırma katsayısı “lift_coeff” analiz sonucunda elde edilen grafikteki ifadelerin matematiksel birimi olarak çekilmiştir.

Bu formüllerde kullanılan değerler, sürtünme kuvveti ve kaldırma kuvvetinin formüllerine yer alan ifadelerin Ansyes CFD-Post modülüne göre karşılıkları şeklinde aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\text{liftforce}^2 / (\text{areaAve(Velocity)} @ \text{inlet} * \text{areaAve(Velocity)} @ \text{inlet} * 2.043[\text{m}^2] * 1.225[\text{kg}^{\wedge}\text{m}^{-3}])$$

$$\text{dragforce}^2 / (\text{areaAve(Velocity)} @ \text{inlet} * \text{areaAve(Velocity)} @ \text{inlet} * 2.043[\text{m}^2] * 1.225[\text{kg}^{\wedge}\text{m}^{-3}])$$

Bu formüllerde yer alan “liftforce” daha önce formülü girilen kaldırma kuvvetini, “dragforce” daha önce formülü girilen sürtünme kuvvetini, “areaAve(Velocity)@inlet” inlet olarak atanmış olan bölgeden gelen hava hızını, “2.043[m^2]” aracın ön projeksiyon alanını ve “1.225[kg^m-3]” ise havanın yoğunluğunu ifade etmektedir. Aracın ön projeksiyon alanı, CATIA programı yardımıyla 2.043 m² bulunarak, formülün oluşturulması esnasında sisteme girilmiştir.

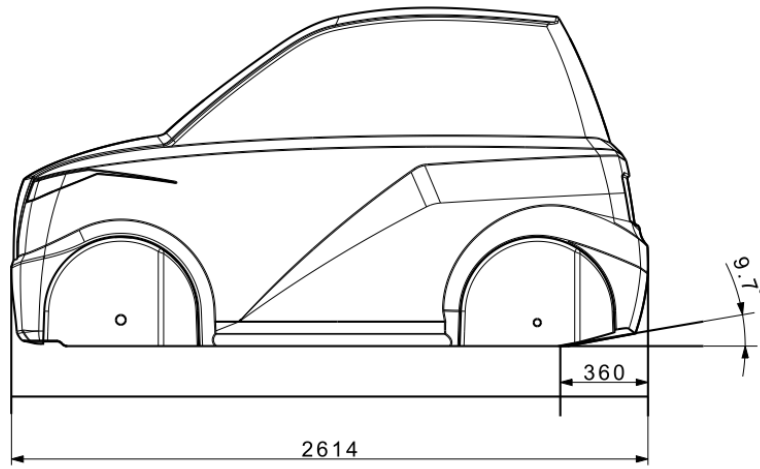


Şekil 7.17: Aracın ön projeksiyon alanı

Bu formüller sonucunda aracın sürtünme kuvveti, 447.195 N; katsayısı (C_D) 0.596621; kaldırma kuvveti 58.5376 N ve kaldırma katsayısı (C_L) 0.0780973 bulunmuştur.

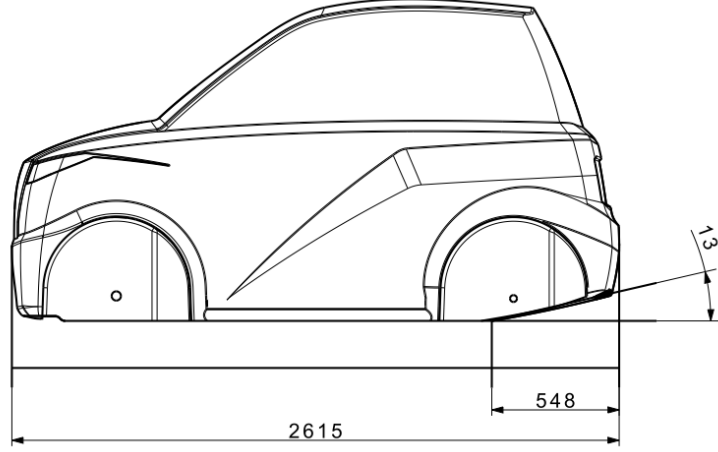
7.2 Araç Arka Tampon Detay Çalışması

Yapılan baz araç tasarım ve analizi sonrasında, arka tampon açısının yaklaşık $9,7^\circ$ derece ön tasarıma sahiptir.



Şekil 7.18: Baz araç tasarımı arka tampon detayı

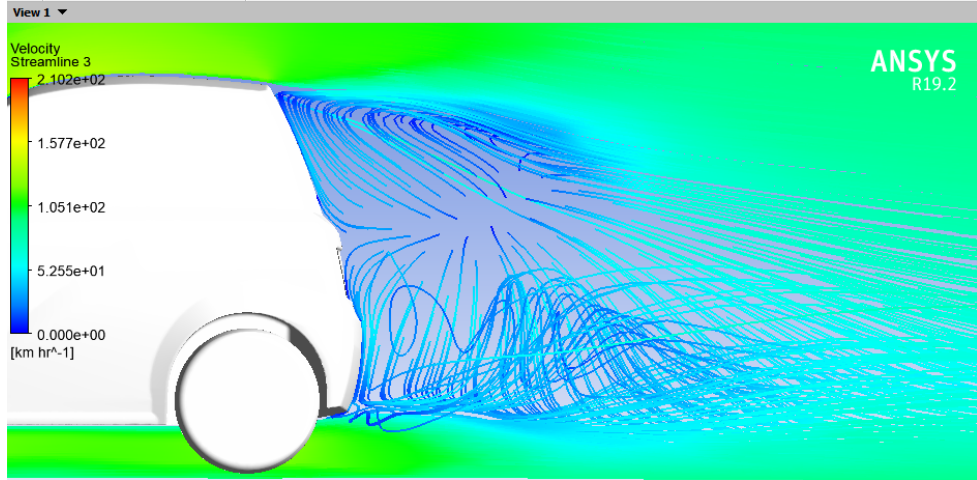
Hem uzaklaşma açısının artırılması hem de arka difüzör açısının Şekil 5.9' da belirtildiği şekilde grafikte belirlenen $10-15^\circ$ aralığının C_D üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak düzenlenmiş ve X/L oranı 0,2 olacak şekilde arka tampon açısı 13° olarak yeniden revize edilmiştir.



Şekil 7.19: Revize edilmiş arka tampon ölçüleri

Bu revizyonla beraber arka difüzöre hava yönlendirmesine katkı sağlaması amacıyla flap adı verilen yönlendiriciler eklenmiştir.

Bu revizyonlar sonrasında, yapılan iterasyonların akışa etkisini görmek için, baz aracın sınır şartları referans alınarak tekrar analiz yapılmıştır.

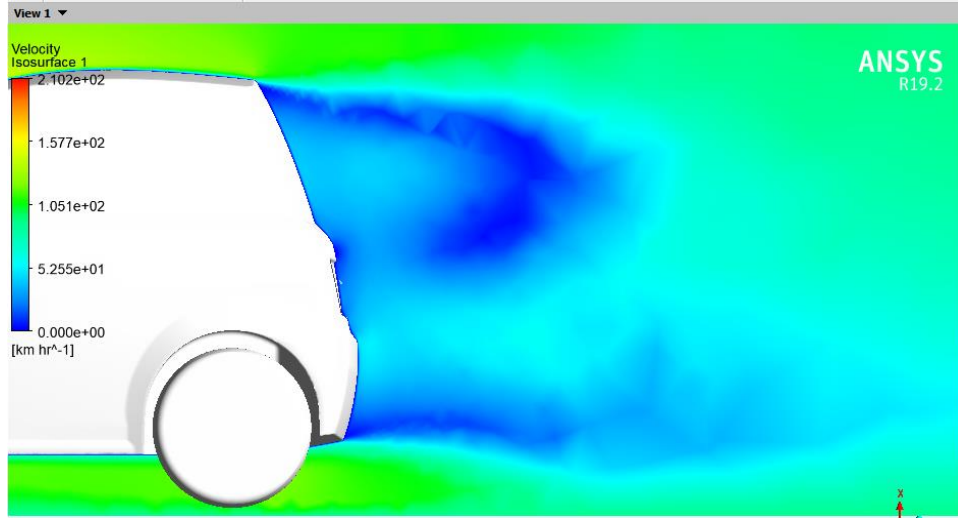


Şekil 7.20: Baz araç tasarımı arka türbülans akış çizgileri

Analiz sonucunda genel olarak beklentide aracın C_D katsayısını düşürmek beklenmiştir. Yapılan analizde C_D katsayısının 0.571798 değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

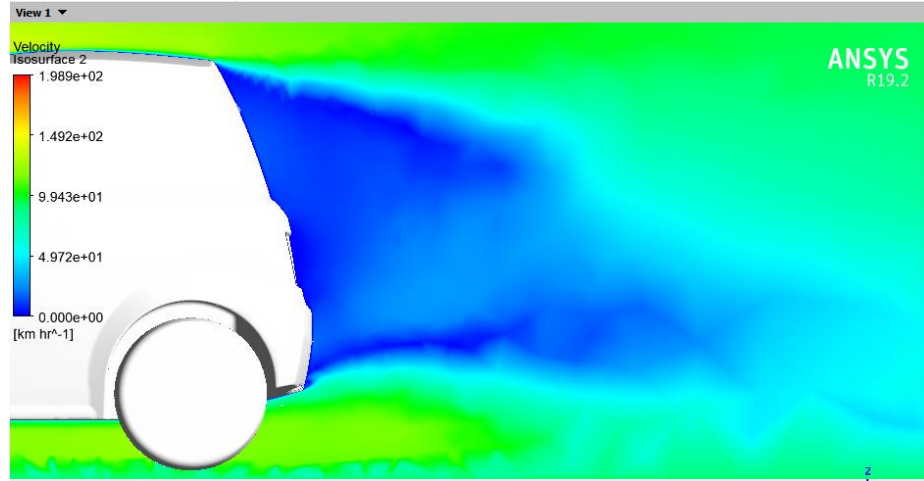
Ancak aracın sedan araçlara göre HB yapıdaki aracın arka üst ve alt noktası arasındaki mesafe farklı olmasından kaynaklı olarak, revize edilen arka tampon tasarımında türbülans azalması beklenirken, aksine yapılan analiz sonucunda alanın

hacminin, uzunluğunun artmasından kaynaklı türbülansın şiddetinin arttığı tespit edilmiştir.



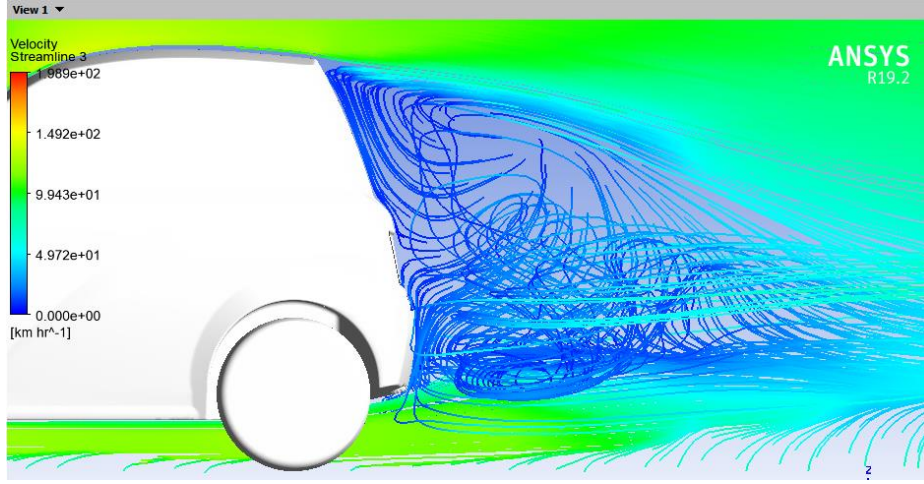
Şekil 7.21: Baz model arka tampon analizi

Şekil 7.21’ de görüldüğü gibi aracın tavanından gelen havanın, alt tabandan gelen havanın Şekil 7.22’ ye kıyasla birbirinden çok etkilenmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.22: Revize edilen arka tampon analizi

Revize tampon tasarımı sürtünme katsayısında %3’ lük bir azalma sağlasa, akan trafikte arkadan yakın takipte olan araca Şekil 7.23’de görüldüğü gibi türbülanslı bir hava göndereceğinden, takip eden araç için güvenli sürüş koşullarının oluşmasını olumsuz etkileyecektir.



Şekil 7.23: Revize arka tampon türbülans akış çizgileri

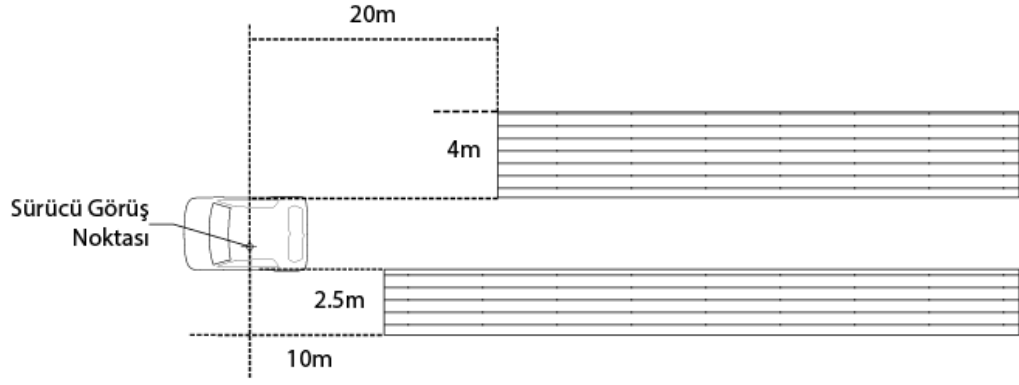
Ancak bu durum L7e-C sınıfı araçların maksimum hızının 90 km/s olduğu göz önünde bulundurulduğunda ve tasarlanan araç genel itibariyle şehir içi kullanım odaklı olduğundan kaynaklı olarak, bu durum tolere edilebilir bir durum olarak karşılanabilir.

7.3 Araç Geri Görüş Sistemi Detay Çalışması

Araçlarda ECE R46 regülasyonu kapsamında geri görüş cihazı/ayna sistemi eklenmesi zorunludur. Bu sistemin tipi araç tip ve ağırlığına göre değişmekte olup, tüm şartlar ECE R46 regülasyonunda belirtilmiştir.

Bu sistem göz önünde alındığında araç hedefleri doğrultusunda, araca kamera sistemi koyulmasına karar verilmiştir.

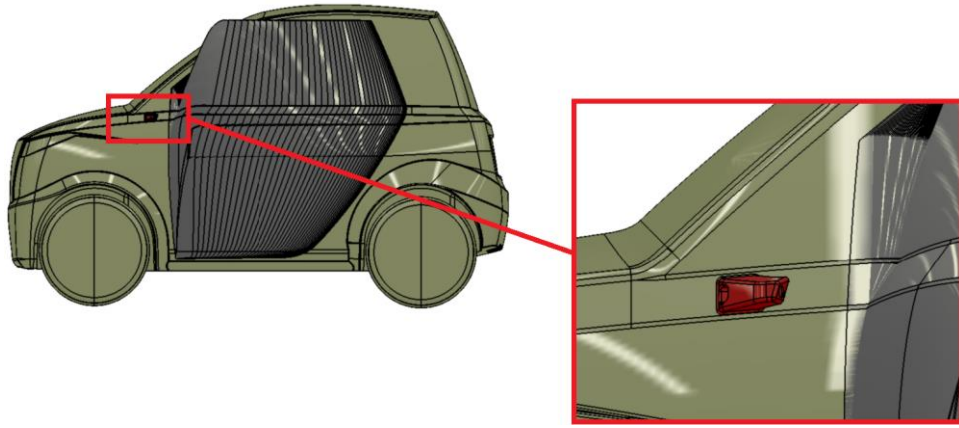
Tasarlanan araç ECE R46 regülasyonu kapsamında L sınıfı araç kategorisinde olduğu için, Sınıf VII olarak adlandırılan geri görüşü sağlayan geri görüş cihazı ya da aynası bir adet şoför, bir adet yolcu tarafına, regülasyonda belirtilen alanları göstermek şartıyla bu araçlar için zorunludur (**ECE R 46-05**).



Şekil 7.24: ECE R46' ya göre Sınıf VII ayna görüş alanı (ECE R 46-05)

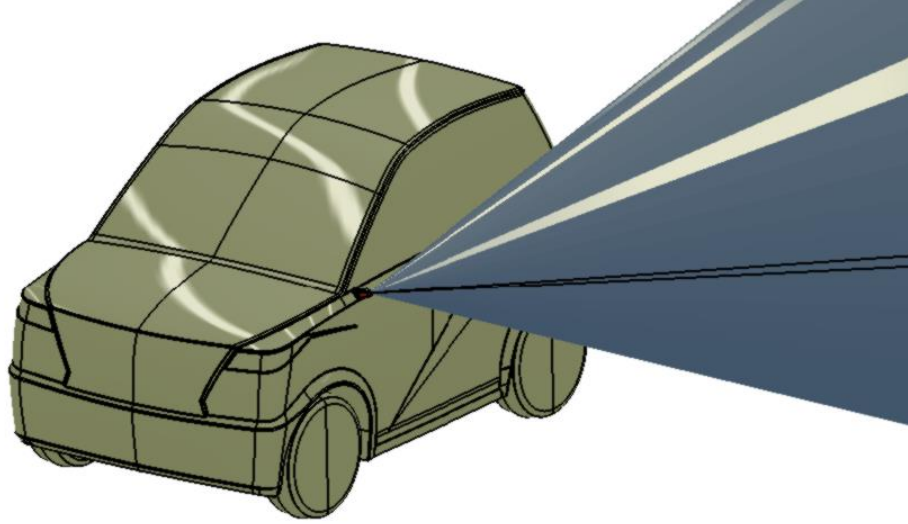
Kamera sisteminin ya da aynanın Şekil 7.24' deki gösterilen alanı görmesi yasal zorunluluktur.

Tasarlanan araç için geri görüş için kamera sistemi seçilmiştir. Seçilen kameranın nominal görüş alanı 176° derecedir. Paketleme çalışması için kameranın bu görüş alanı zarf olarak kullanılarak, araç üzerinde, gövdede sabit kalacak, kapı boşluklarına denk gelmeyecek şekilde yerleşimi yapılmıştır.

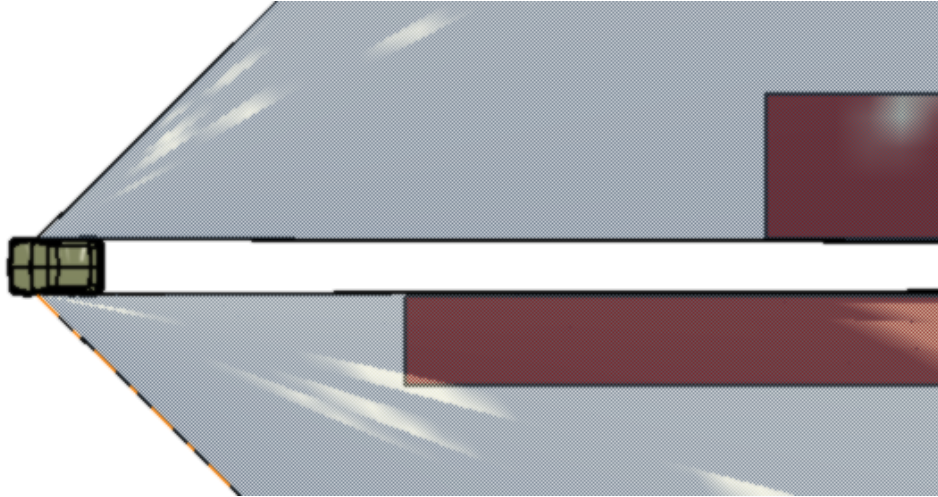


Şekil 7.25: Kamera yerleşimi

Kamera yerleşimi sonrasında, Sınıf VII için tüm alanın hem yolcu tarafında hem de şoför tarafında görüldüğü belirlenmiştir.



Şekil 7.26: Kamera görüş açısı izometrik görünümü

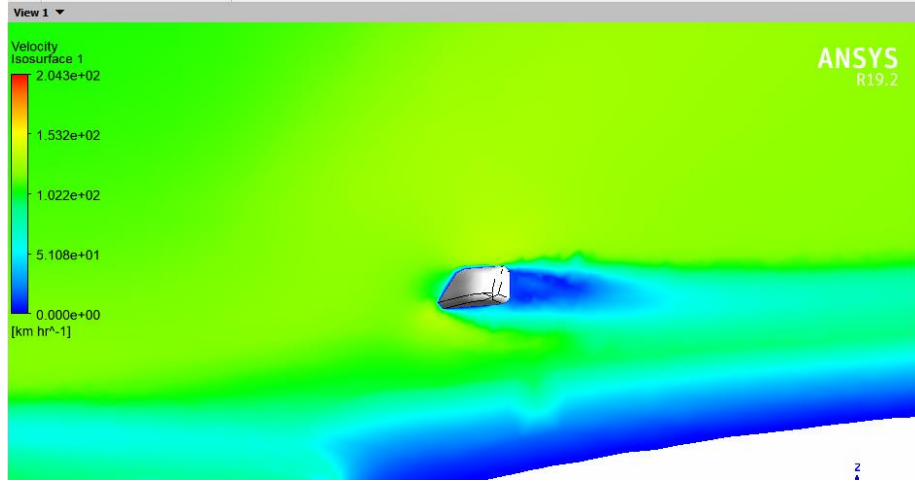


Şekil 7.27: Kamera görüş alanı-Sınıf VII görüş alan karşılaştırması

Yerleştirilen kamera sonrasında, kameranın akışa etkisini görmek için, baz aracın sınır şartları referans alınarak tekrar analiz yapılmıştır.

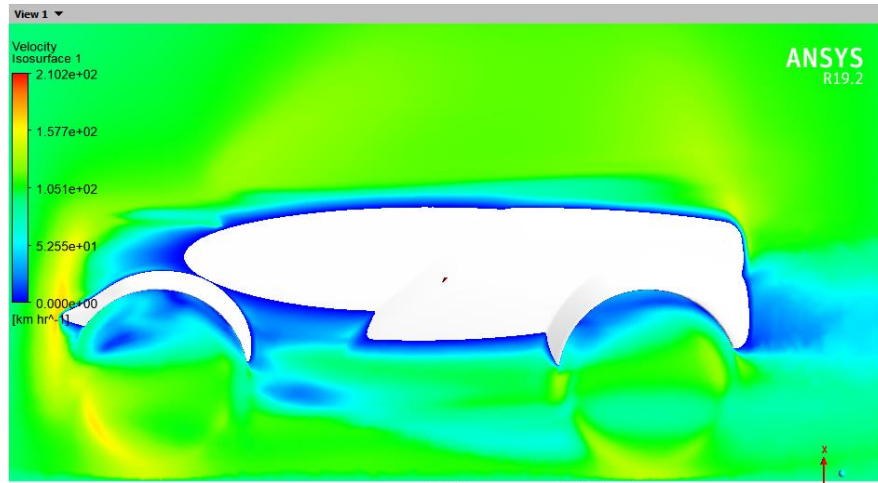
Analiz sonucunda araca eklenen kamera sistemi aracın ön projeksiyon alanını $2,061 \text{ m}^2$ ' ye çıkartarak %1' lik bir artışa sebebiyet vermiştir.

Bu artış sonucunda, araca eklenen kamera sisteminin, aracın aerodinamik çizgisine uyum sağlayacak şekilde olduğundan, beklenenin aksine araç üzerinden akan havanın yüzeylerden Şekil 7.28' de görüldüğü gibi ciddi şekilde ayrılmadığı gözlenmiştir.



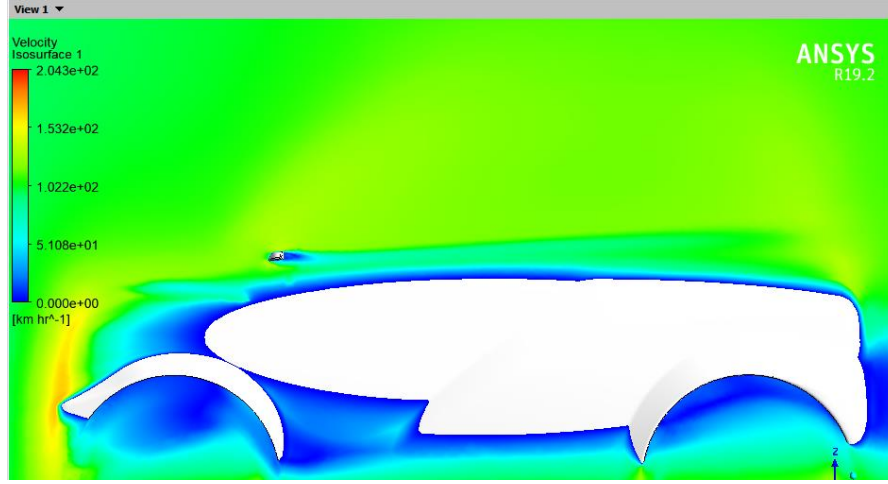
Şekil 7.28: Ayna üzerindeki hız konturu

Aracın geneline bakıldığında baz model analizinde ortaya çıkan belt-line üzerinde Şekil 7.29' daki görüldüğü gibi düzgün takip eden akış çizgilerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7.29: Ham model yan hız konturu

Şekil 7.30' da geri görüş sisteminin eklenmesiyle beraber ortaya çıkan sonuçlar ışığında belt-line üzerindeki akışın, aracın yan yüzeyinden akan akışa oranla düşük bir bozulmaya sebebiyet vermediği gözlemlenmektedir.



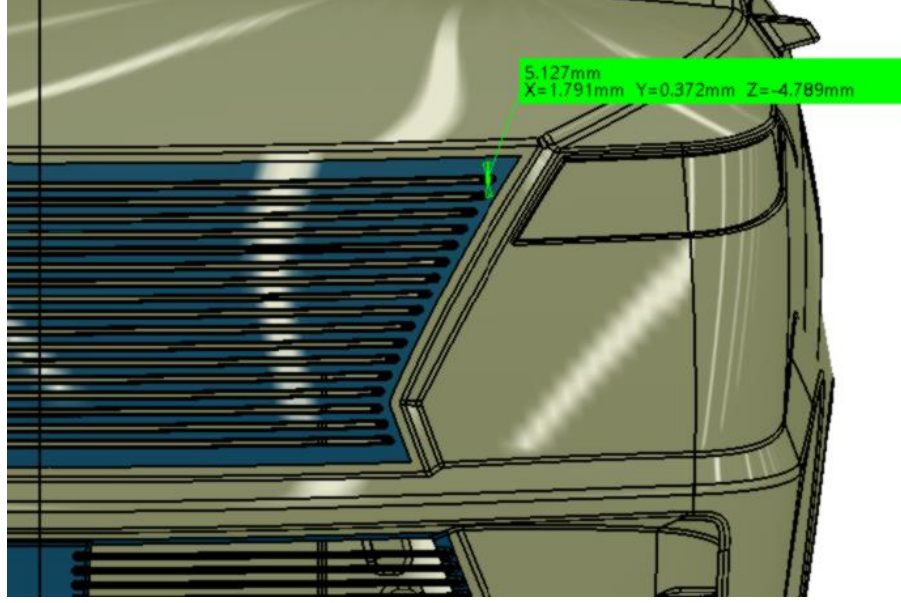
Şekil 7.30: Geri görüş sistemli yan hız konturu

Konvansiyonel ayna tasarımının dışına çıkılarak eklenen geri görüş sisteminin, bu aynalara kıyasla araca daha az olumsuz etkiye sebebiyet vermiştir.

7.4 Araç Ön Tampon Detay Çalışması

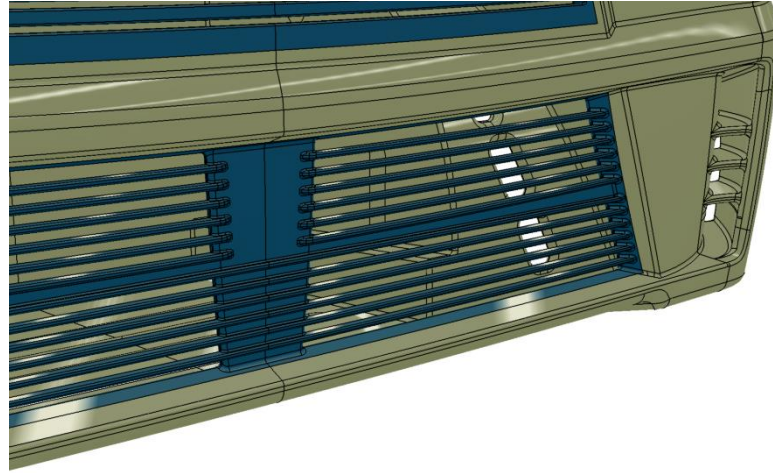
EV araçlarda, her ne kadar içten yanmalı motor bulunmasa da, kullanılan komponentlerde soğutma ihtiyacı bir hayli fazladır. Özellikle batarya ve EV motorun soğutulması, araç performansını ve komponent bakım ve ömürlerini iyileştirmektedir. Bu sebeple aracın motor odasında bulunan EV motor ve bataryalar ile ön tarafa gelen havanın ek olarak lastik ve frenleme sisteminin soğutulması için ön tampon ve ön alt tampon bölgesinde panjur yapıları çalışılmıştır. Bu panjur yapısı çalışılırken amaç, havayı mümkün olduğunca en efektif şekilde teker, fren sistemi ve motor odasına atmaktır.

Bu kapsamda tampondan kaput altına kadar olan bölgeye, yaklaşık 5mm genişliğinde deflektör boşlukları açılmıştır.



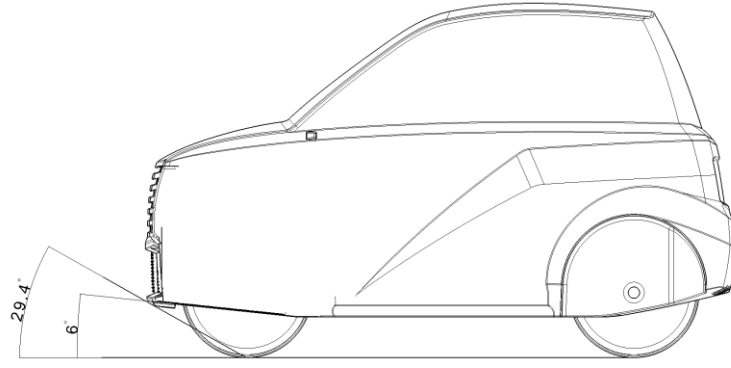
Şekil 7.31: Ön panjur detayları

Alt tampon bölgesinde, önden gelen havayı aşağıya yönlendirmek amacıyla yere paralel olan tampon alt bölgesine 6° derece açı verilerek, havayı alta ve üste yönlendirecek şekilde ön difüzör tanımlanmıştır.



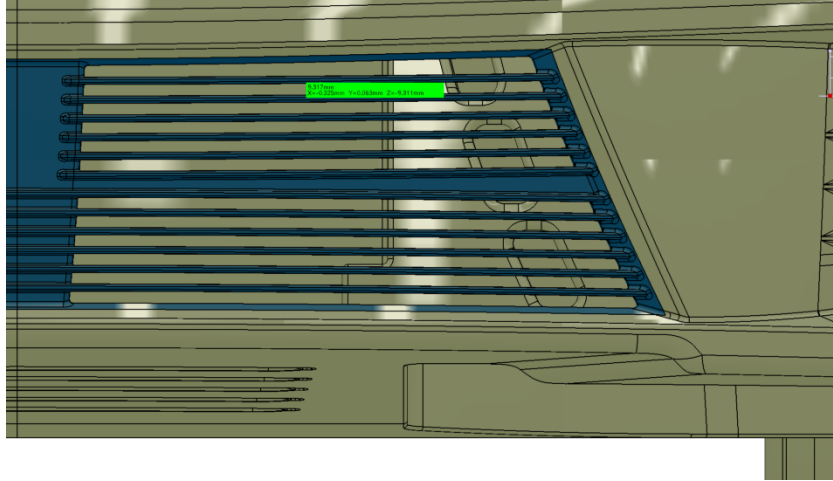
Şekil 7.32: Ön difüzör, davlumbaz deflektörleri ve ön alt tampon detayları

Bu tasarım değişikliğiyle beraber ek olarak ön yaklaşma açısı da $29,4^\circ$ ye çıkartılmıştır.

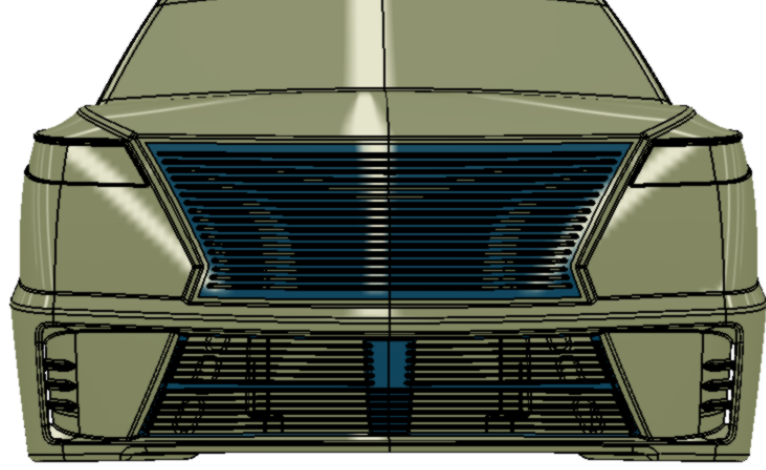


Şekil 7.33: Ön difüzör, davlumbaz deflektörleri ve ön salt tampon detayları

Ön alt kısımda, difüzörün üzerinde kalan havanın, motor odasına girişini saplamak amacıyla, tampon bölgesinde, ortaya LDWS radar ve ön görüş kamerası gelecek şekilde kapatılmış, ~9 mm boşaltmalar açılmıştır.

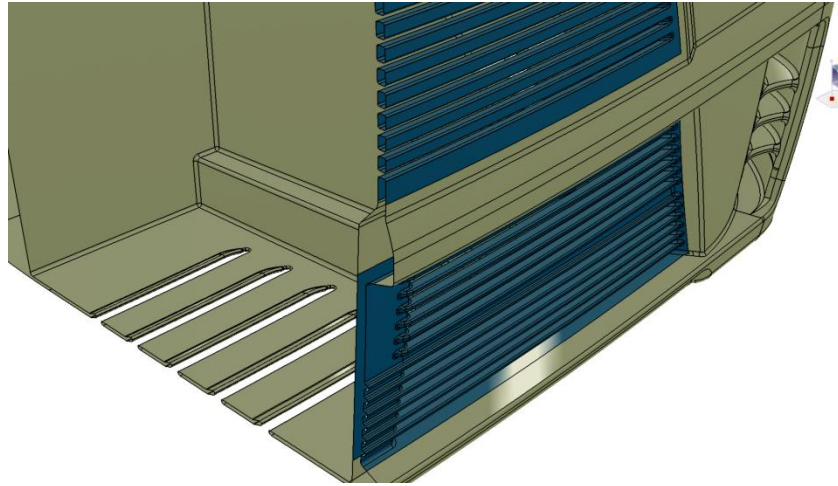


Şekil 7.34: Ön alt panjur detayları



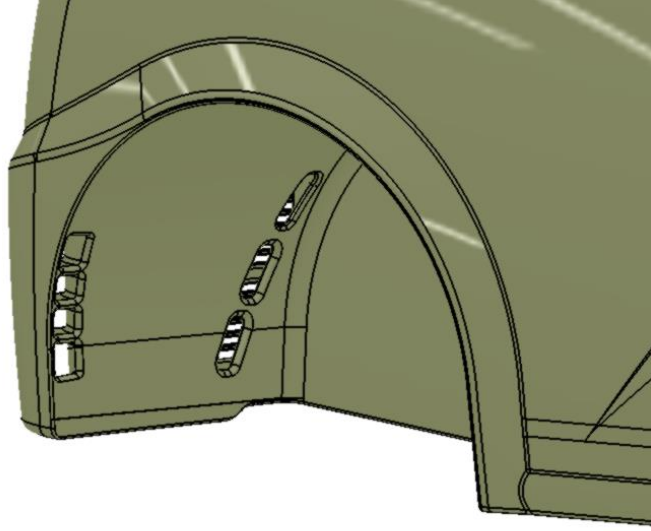
Şekil 7.35: Ön panjur detayları genel görünüş

Motor odasında dolaşan havanın ön panjurlardan çıkarak hava sirkülasyonu oluşturmasını engellemek amacıyla, motor odası alt kapamaya tahliye boşaltmaları açılarak, motor odasındaki havanın araç altına aktarılması amaçlanmıştır.



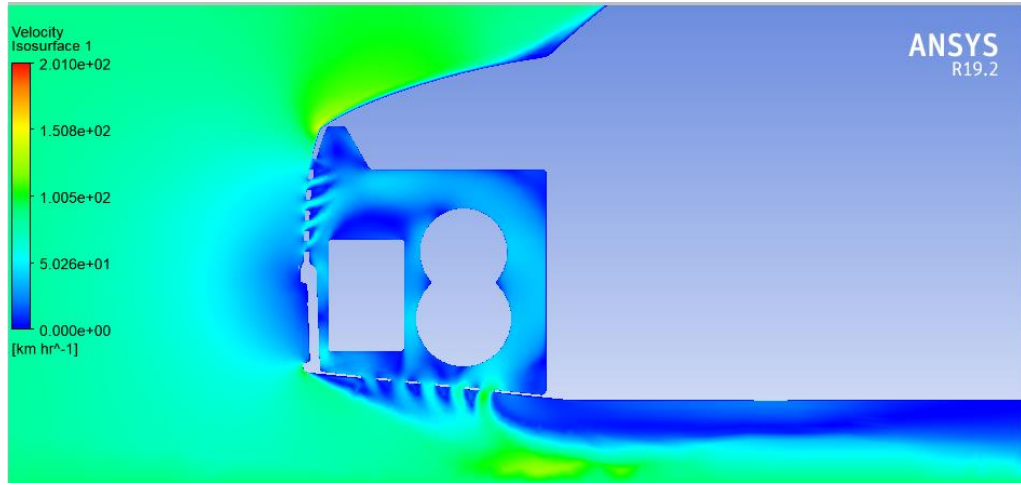
Şekil 7.36: Araç alt kapama boşaltmaları

Aracın fren ve lastik soğutması için, bazı araç modelinde havanın ve basıncın biriktiği yerler göz önünde bulundurularak, tampon uç kısımlara ve davlumbaz üzerine hava deflektörleri açılarak, ön yüzeyden gelen havanın teker ve fren sistemine gitmesi sağlanmıştır.



Şekil 7.37: Davlumbaz deflektörleri

Analizler sonucunda, ön taraflara açılan panjurlardan giren havanın motor odasındaki hareketi hız konturu üzerinden Şekil 7.38’ de gözlemlenmektedir.



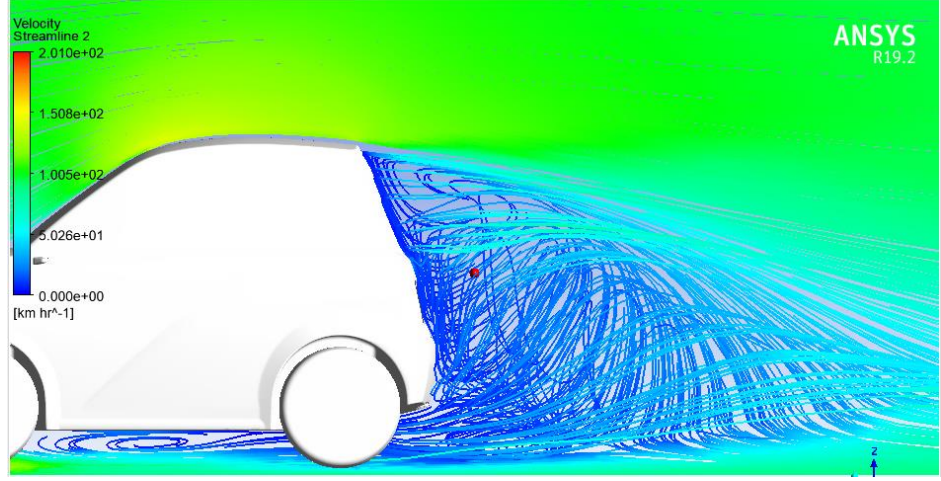
Şekil 7.38: Motor odası hava akışı (orta kesit)

Motor odası akışı orta kesitten incelendiğinde havanın motor odası içinde yavaşladığı ve buna bağlı olarak basıncının arttığı gözlenmektedir.

Bu durum havanın akışının azalmasından dolayı motor odasının soğutulmasına olumsuz yönde etki edecektir. Ayrıca araç alt kapamasında yer alan açıklıklardan çıkan yavaş hava, aracın ön tamponunda revize edilen ve eklenen difüzörden kaynaklı olarak altına giren hızlı hava ile karşılaştığında, bu havanın hızını azaltmaya yönelik bir eğilim gösterdiğinden baz modele göre aracın altındaki hava belirli bir miktarda

yavaşlayarak, basıncının artmasına sebebiyet vermiştir. Bu durum araca uygulanan kaldırma kuvvetinin artmasına yol açmıştır.

Meydana gelen bu durum sonucunda aracın arkasına giden havanın da etkilendiği gözlenmektedir. Şekil 7.20’ de aracın arkasına giden havanın etkilenecek Şekil 7.39’ de görüldüğü gibi türbülansın şiddetinin daha da artmasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.



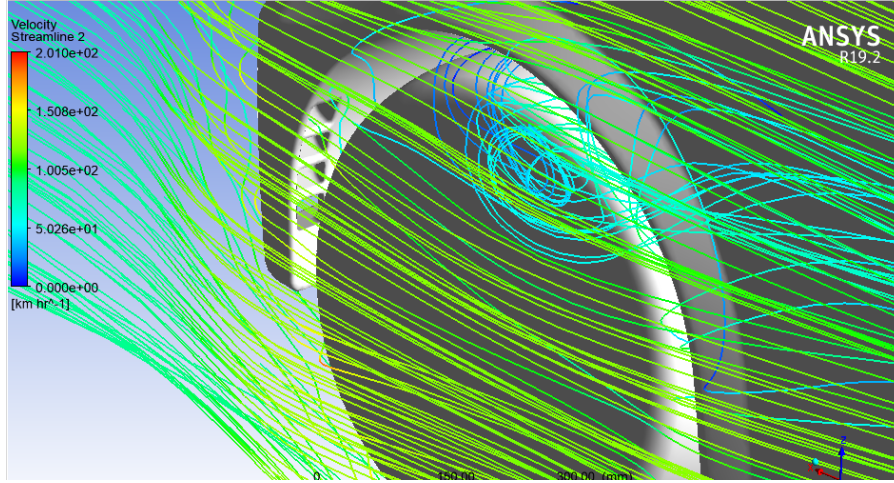
Şekil 7.39: Revize araç tasarımı arka türbülans akış çizgileri

Yukarıda bahsedilen analiz sonuçlarında çıkan olumsuz sonuçları daha minimal hale getirmek adına, motor odasına giden Şekil 7.38’ de yukarı yönlü olan havanın, ön kargo bölümünden kaput-ön cam çizgisine aktarılarak, o bölgedeki hızı yavaşlayan havanın hızının artırılmasıyla o bölgedeki basınç azaltılarak, aracın ön projeksiyon alanına etki eden sürüklenme kuvvetinin azalması yönünde bir etki beklenebilir.

Ayrıca motor odasından havanın bir bölümünün kaput-ön cam bölgesinden aracın üzerine aktarılmasından dolayı, araç alt kapamasından tahliye edilen hava azalacağından dolayı arkadaki meydana gelen türbülans artımının azalması beklenmektedir.

Bunun yanında alt kapamalardaki boşaltmaların tasarımının havayı yere paralele yakın şekilde yönlendirecek şekilde tasarlanması durumunda, arkada oluşan olumsuz durumun daha da azalması ön görülmektedir.

Ek olarak lastik ve fren sistemleri soğutması için ön tampon ve davlumbaza yerleştirilen deflektörler sayesinde havanın istenildiği gibi teker ve frenlere yönlendirildiği (Şekil 7.40) gözlemlenmiştir.



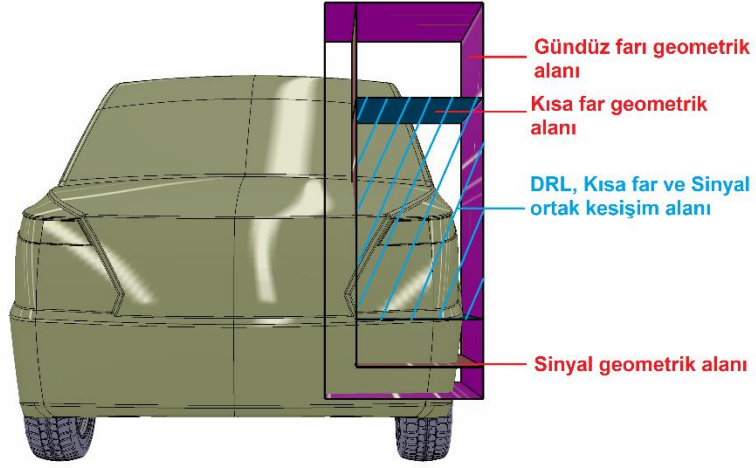
Şekil 7.40: Deflektör hava akışı

7.5 Aydınlatma ve Diğer Detayların Tasarlanması

Her kara taşıtında regülasyonlar dahilinde ön, arka ve yan aydınlatmalar araç sınıfına göre belirlenen kriterler ve adetlerde olmak zorundadır.

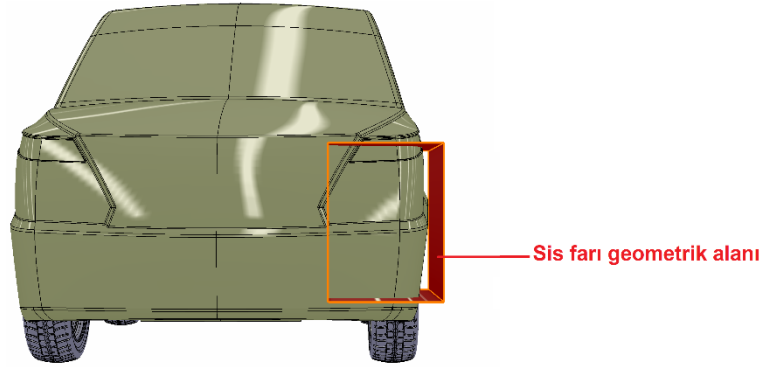
Aydınlatma ile ilgili regülasyon olan ECE R 48' de, ön aydınlatma grubu için, ön sis farı, kısa far, uzun far, sinyal ve gündüz farı, yan aydınlatma için sinyal arka aydınlatma için, sis farı, stop lambası, üçüncü stop lambası, park lambası, sinyal lambası, geri vites lambası ve plaka lambası regülatif zorunluluk olarak belirtilmiştir.

Regülasyondaki tüm ön far grubu geometrik sınırlamaları çıkartılarak araç üzeri kontrol yapıldığında, tasarım aşamasında belirlenen entegre far bölgesinin, gündüz farı, sinyal ve kısa far için ortak uygun bir alan olduğu teyit edilmiştir. Uzun far için regülasyonda herhangi bir yükseklik veya genişlik kısıtı bulunmadığı için, kısa-uzun far bi-LED olarak kullanılmıştır.



Şekil 7.41: Kısa far, gündüz farı, sinyal regülatif geometrik alanları

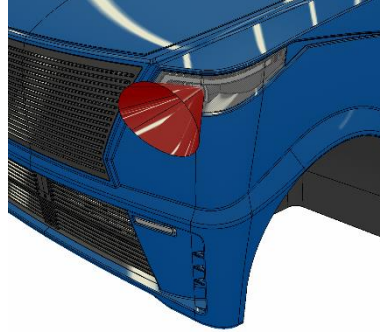
Sis lambası ise, belirlenen entegre far alanı dışında kaldığı için, sis farı ön alt tampon bölgesine, regülatif alanın içinde kalacak şekilde yerleştirilecektir.



Şekil 7.42: Sis farı regülatif geometrik alanı

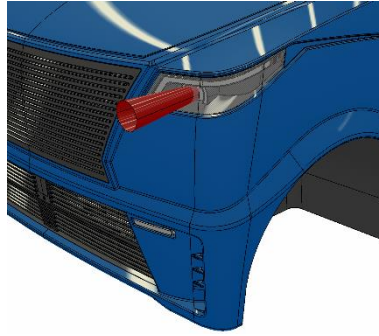
Bunun üzerine, her aydınlatma grubu için, geometrik görünürlük isteri baz alınarak entegre far iç tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım esnasında regülasyonda belirtilen geometrik görünürlüklerde baz alınan en önemli nokta olarak, regülasyonda belirtilen alanların herhangi bir araç komponenti ile çakışmaması gerekmektedir.

Bu doğrultuda kısa far, yatayda 10° içe, 45° dışa doğru; dikeyde ise 15° yukarıya, 10° aşağıya doğru bir geometrik görünürlüğe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



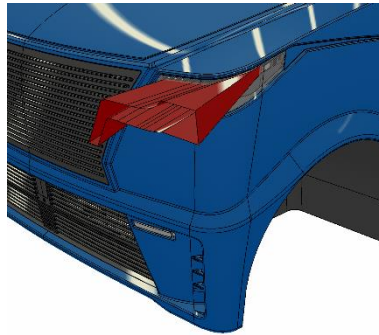
Şekil 7.43: Kısa far regülatif geometrik görünüşü

Uzun far, her yöne doğru 5° açıyla geometrik görünüşe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



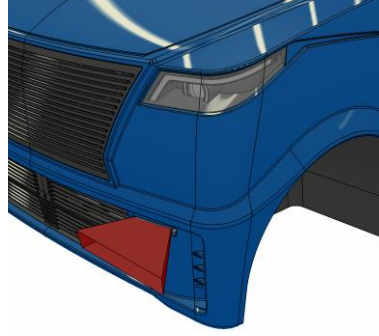
Şekil 7.44: Uzun far regülatif geometrik görünüşü

Gündüz farı, yatayda $\pm 20^\circ$, dikeyde ise $\pm 10^\circ$ açıyla geometrik görünüşe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



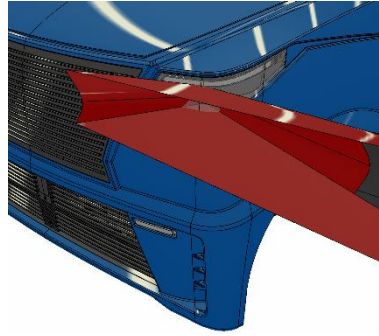
Şekil 7.45: Gündüz farı regülatif geometrik görünüşü

Sis lambası, yatayda 10° içe, 45° dışa doğru; dikeyde ise 5° her yöne geometrik görünüşe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.46: Sis farı regülatif geometrik görünürlüğü

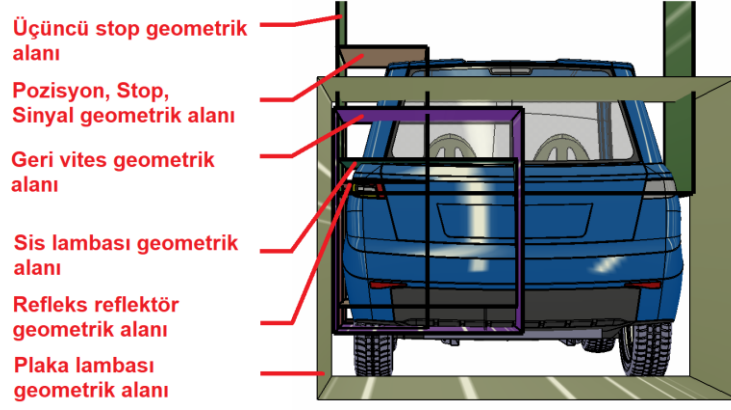
Sinyal, yatayda 45° içe, 80° dışa doğru; dikeyde ise 15° yukarıya ve aşağıya geometrik görünürlüğüne sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.47: Ön sinyal regülatif geometrik görünürlüğü

Tüm bu geometrik görünürlük kısıtlarıyla beraber entegre far ve sis farı yerleşimi tamamlanıp kontrol edildiğinde herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Regülasyondaki tüm arka aydınlatma grubu geometrik sınırlamaları çıkartılarak araç üzeri kontrol yapıldığında, tasarım aşamasında belirlenen entegre arka stop bölgesinin, stop, sinyal, geri vites, sis ve pozisyon lambası için ortak uygun bir alan olduğu teyit edilmiştir. Ancak tasarım çizgisi gereği entegre stop lambası içerisine sinyal, stop, geri vites ve pozisyon lambaları için alanlar olduğu için, sis lambası reflektör ile birleştirilerek, reflektör-sis lambası ortak alanında araç üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 7.48: Arka aydınlatma grubu regülatif geometrik alanı

Stop lambası, yatayda $\pm 45^\circ$; dikeyde ise $\pm 15^\circ$ geometrik görünürlüğe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.49: Stop lambası regülatif geometrik görünürlüğü

Pozisyon lambası, yatayda 45° içe, 80° dışa doğru; dikeyde ise $\pm 15^\circ$ geometrik görünürlüğe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.50: Pozisyon lambası regülatif geometrik görünürlüğü

Sinyal lambası, yatayda 45° içe, 80° dışa doğru; dikeyde ise $\pm 15^\circ$ geometrik görünürlüğe sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.51: Arka sinyal regülatif geometrik görünürlüğü

Geri vites, yatayda 30° içe, 45° dışa doğru; dikeyde ise 15° yukarıya ve 5° aşağıya geometrik görünürlüğüne sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.52: Geri vites lambası regülatif geometrik görünürlüğü

Sis lambası, yatayda $\pm 25^\circ$; dikeyde ise $\pm 5^\circ$ geometrik görünürlüğüne sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



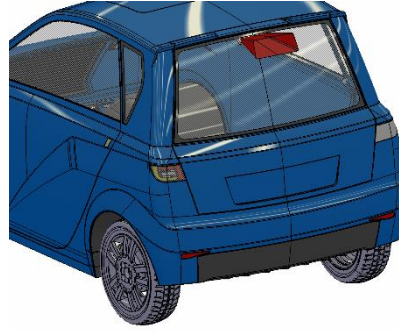
Şekil 7.53: Arka sis lambası regülatif geometrik görünürlüğü

Refleks reflektör, yatayda $\pm 30^\circ$; dikeyde ise $\pm 10^\circ$ geometrik görünürlüğüne sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.54: Refleks reflektör regülatif geometrik görünürlüğü

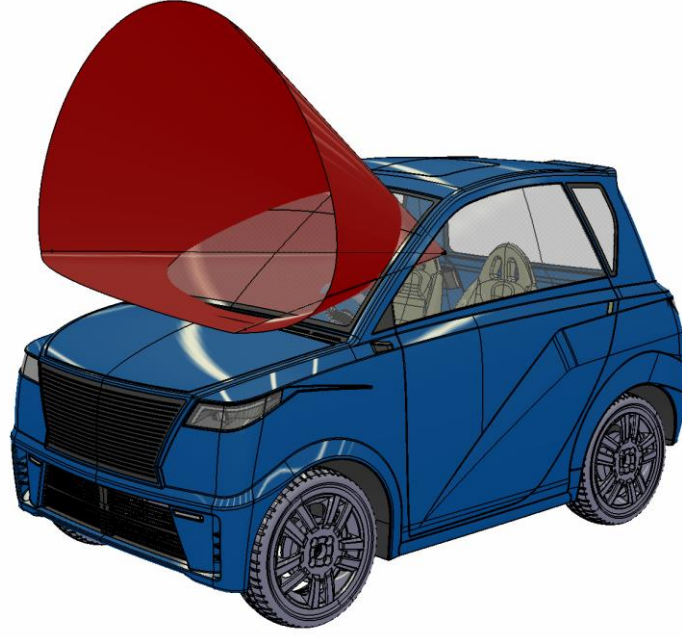
Üçüncü stop, yatayda $\pm 10^\circ$; dikeyde ise 10° yukarıya, 5° aşağıya doğru geometrik görünürlüğüne sahip olmalıdır (ECE R 48-12,2014).



Şekil 7.55: Üçüncü stop regülatif geometrik görünürlüğü

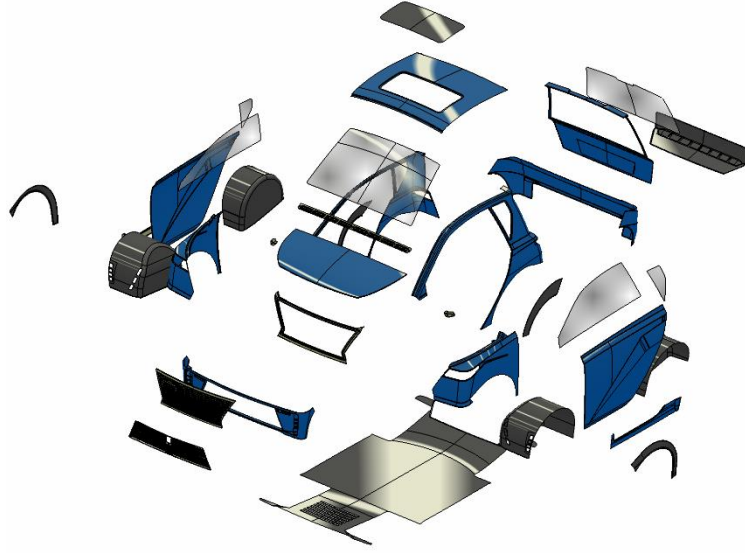
Tüm bu geometrik görünürlük kısıtlarıyla beraber entegre stop ve entegre refleks reflektör-arka sis farı yerleşimi tamamlanıp kontrol edildiğinde herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Araçta %5-%95 manikin göz noktalarının ortalaması alınarak görüş açılarının final açıları belirlenmiştir. Final tasarım durumunda ortalama görüş açısı, yatayda 10° dışarıya, 22° dışarıya (yolcu tarafına), dikeyde de 9.5° aşağıya, $40,8^\circ$ derece yukarıya doğru görüş açısına sahiptir.



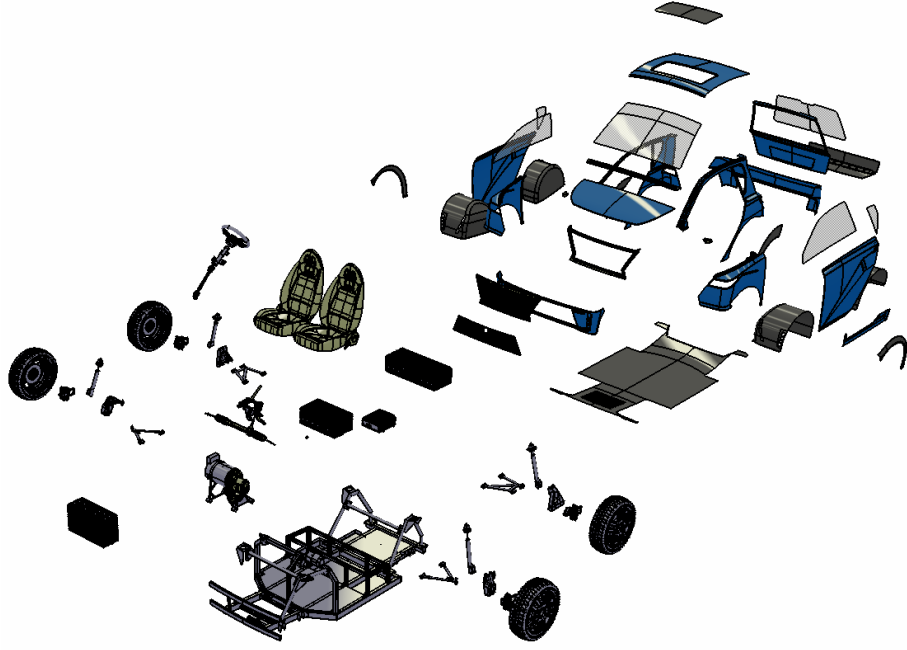
Şekil 7.56: Sürücü görüş huzmesi

Şehir aracı, tasarımın ön üretim yöntemi değerlendirmelerine istinaden parçalara ayrılması sonucunda tasarımı yaklaşık olarak 41 ana komponente bölünmüştür.



Şekil 7.57: Dış trim ana komponentler

Dış trim ile beraber ara toplamda tekerler, şasi, süspansiyon ve yönlendirme sistemi, EV motor sistemi, harness sistemi, direksiyon sistemi, iç trim, dış trim (41 ana komponent), salıncak sistemleri dahil olmak üzere, 10 ana komponent grubundan oluşmaktadır.



Şekil 7.58: Araç bütünü komponent yapısı

Araç tasarımına göre, öngörülen olarak dış trim parçaların üretim yöntemi camlar ve aydınlatmalar dışında, DCPD, termoform, plastik enjeksiyon, SMC ve RTM ve sac kalıplamalar olarak belirlenmiştir. Bu üretim yöntemleriyle, dış trim toplam ağırlığı aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Araç arka kapısı, kaput, tavan, pillar bölgeleri ve çamurluk bölgeler RTM olarak; ön-alt panjurlar ve fenderlar plastik enjeksiyon olarak; ön tampon, arka tampon, yan kapılar ve davlumbazlar DCPD olarak, alt kapamalar ve arka difüzör Al olarak; silecek kapama bölgesi ve kargo bölümleri termoform olarak baz alınmıştır.

Bu bağlamda, ağırlıklara hesaplandığında camlar yaklaşık 23 kg, sac kapamalar 25 kg, termoform parçalar 13 kg, RTM parçalar 32 kg, plastik enjeksiyon parçalar 7 kg ve DCPD parçalar 34 kg; aydınlatma grupları da 5,5 kg olmak üzere dış trim toplamda 139,5 kg öngörülen ağırlığa sahiptir.

Tabby Evo' nun altyapısına bakıldığında, bu araçtan entegre edilen araç alt yapısının toplam ağırlığı, şasi 110 kg, batarya grubu tanesi 4 kg' dan toplamda 96 kg ve motor 40 kg, koltuklar 15' er kg' dan 30 kg olmak üzere toplamda 271,5 kg' dır.

L7e-C aracının regülatif ağırlığı batarya dahil 600kg olduğundan dolayı, diğer sistemler için 184,5 kg' lık bir ağırlık kalmaktadır.

Aracın tüm tasarım detayları tek bir tabloda toplanmıştır.

Tablo 7.1: Araç özellik tablosu

| Araç | Özellikler |
|-------------------------------------|---|
| Motor Gücü (kW) | 19 (kısıtlandırılmış şekilde 15) |
| Mak. Hız (km/h) | 90 |
| Ağırlık (kg) | 410 + EES (batarya hariç) + iç trim (koltuklar hariç) |
| Menzil (km) | 140 |
| Araç Sınıfı | L7e-C |
| Boyular (UxGxY mm) | 2615x1485x1561 |
| Aydınlatma Grubu | LED |
| Geri Görüş Sistemi | Kamera (360° destekli) |
| Diğer opsiyonlar | LDWS radar, park sensörleri |
| Aks aralığı | 1710 |
| Uzaklaşma / Yakınlaşma açısı | 29,4° / 34 |
| Yerden yükseklik | 178mm |
| Kargo hacmi | 270 lt (koltuk arkası) + 80 lt (tavan koltuk arkası arası) +66 lt (ön kargo bölümü) |

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada şehir için kullanıma yönelik bir elektrikli şehir aracının endüstriyel tasarım süreçleri gerçekleştirilmiş ve oluşturulan model üzerinde aerodinamik analizler yapılarak, detay tasarımları gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarında elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Elektrikli şehir araçlarının hedef kitle belirlenerek amaca uygun paketlemesi yapılmıştır.
- Otomotiv sektörünün gelecek noktalarından birisi olarak kabul edilen şehir araçları için, günümüzde mevcutta bulunan L7e kategorisindeki rakip araçlara kıyasla daha büyük hacimli bir araç tasarımı ortaya çıkartılmıştır.
- Bir araç tasarımında, proje hedeflerinden konsept dış tasarım bitimine kadar olan süreç, ergonomik ve tasarım açısından incelenmiştir.
- Hedef kitle doğrultusunda, hedef opsiyonlar belirlenerek, aracın opsiyonlara göre modellenmesi ve bu modellenme aşamalarında ilgili regülatif isterler göz önünde bulundurulması açısından tasarım süreci değerlendirilmiştir.
- Bir aracının yüzey modelleme ile optimize edildiği süreçler belirlenmiştir.
- Elektrikli şehir araçlarının kullanıcıya hitap ettiği kriterler belirlenmiştir.
- Çalışmalar sonucunda, kullanıcılara, daha rahat bir sürüş konforu sunulacak bir tasarım elde edilmiştir.
- Motor gücü değiştirilerek, ilgili regülasyonlar sağlanması koşuluyla, M sınıfı A segment bir araca devşirilebilen bir araç tasarımı ortaya çıkartılmıştır.
- Aerodinamik analizler sonucunda araç tasarımına revize edilen komponentlerin araca olumlu ve olumsuz yönlerde etkilediği gözlemlenmiştir.
- Davlumbaza açılan fren soğutma kanalları, aracın şehir içi trafiğinde yoğun frenlemeden kaynaklı oluşabilecek ısıyı azaltmaya fayda sağlayacaktır.

- Ön tampon ve ön panjur bölgesine açılan boşaltmaların istenildiği gibi havanın batarya ve EV motoru soğutmak için girmesi sağlanmıştır, akış analizi sonucunda havanın motor odasında istenildiği gibi dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak içeri giren havanın, tahliye bölgelerinin yetersizliğinden kaynaklı olarak içeride kaldığı ve basıncı artırarak sürtünme katsayısını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Havanın tahliyesi için yeterli oranda ve yönde açılacak tahliye kanalları ile beraber bu durumun etkilerinin olumlu yöne çevrileceği düşünülmektedir.
- Arka tampon difüzörün üzerinde gerçekleştirilen revizyon çalışması ile süre gelen tasarım faktörlerin araçtan araca, tasarımdan tasarıma farklılık gösterdiği saptanmıştır.
- Konvansiyonel ayna tasarımlarına alternatif olarak sektörde kullanımı yaygınlaşan geri görüş sistemlerinin, analizler sonucunda araç üzerindeki olumsuz etkilerinin konvansiyonel ayna tasarımlarına göre daha az olduğu belirlenmiştir.

9. KAYNAKLAR

Rebecca M., ABD Enerji Bakanlığı, The History of the Electric Car
<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>, (2014)

<https://www.tesla.com>, (2021)

Ajanovic, A., Haas, R., Schrödl, M., "On the Historical Development and Future Prospects of Various Types of Electric Mobility", *Energies* 2021, 14(4), 1070;
<https://doi.org/10.3390/en14041070> (2021)

www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oeef/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_9_e.pdf (2021)

www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oeef/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_9_e.pdf (2021)

VW Service Training, Basics of Electric Vehicles Design and Function, Self Study Program 820233, 2013

<https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/>, (2021)

Lowry, J., Larminie, Electric Vehicle Theory Explained.: John Wiley & Sons, Ltd, 2003

<https://en.wikipedia.org/wiki/Voiturette> (2021)

<https://www.acriss.org/how-acriss-does-it/acriss-car-codes/> (2021)

https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/vehicle-categories_en (2021)

Michael D., The A-Z of popular Scooters & Microcars: Cruising in style!, Veloce Publishing, 2007

<https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=8182&mevzuatTur=KurulmVeKurulusYonetmeli&mevzuatTertip=5> (2021)

<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/The-design-process-From-the-initial-idea-to-the-finished-car.xhtml?oid=15379797> (2021)

<http://daedesign.blogspot.com/2018/10/proportions-of-different-types-of-cars.html>, (2021)

<https://www.torquenews.com/1080/how-car-design-works-start-finish>, (2021)

Luccarelli, M., Lienkamp, M., Matt, D., and Spena, P. R., “Automotive design quantification: parameters defining exterior proportions according to car segment”, SAE Technical Paper 2014-01-0357, 2014

<https://www.autoevolution.com/cars/smart-fortwo-2014.html>, (2021)

MacKenzie D., Zoepf, S., & Heywood, J., Determinants of US passenger car weight. International Journal of Vehicle Design, 65(1), 2014

Mihai-Paul T., "Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient", Imre Kiss University Politehnica Timisoara Faculty of Engineering Hunedoara, Romania, 2018

Severin S., Mario H., Katharina T., Patrick R., "Conceptual Full-Vehicle Development supported by Integrated Computer-Aided Design Methods", University of Technology Graz, 2012

https://en.wikipedia.org/wiki/Car_body_configurations

<https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>, (2021)

Julian H.-S., An Introduction of Modern Vehicle Design. Butterworth Heinemann, 2002

Barnard, B. H., “Road Vehicle Aerodynamic Design”, Longman, London, 1996

<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Under-the-microscope-the-large-wind-tunnel-in-Untertuerkheim.xhtml?oid=9361506> (2009),

Demircioğlu T.K., “Bir Ara Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu”, Yüksek Lisans, 2007

Michael G., What Kind of Spoiler is Right for You?, <https://www.carid.com/articles/what-kind-of-spoiler-is-right-for-you.html>, (2014)

Stuart M., Geoff W., H-Point The Fundamentals of Car Design & Packaging, Designstudio Press, 2009

https://adtargeting.io/interest-targeting/facebook/City%20car/6003401661947/en_US (2021)

<https://www.michaelpage.com.tr/advice/kariyer-tavsiyeleri/i%C5%9F-ya%C5%9Fam-dengesi/t%C3%BCrkiye%E2%80%99de-%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fanlar-avrupa%E2%80%99daki-en-uzun-i%C5%9Fegidi%C5%9F> (2021)

ECE R 46-05, "Uniform provisions concerning the approval of devices for indirect vision and of motor vehicles with regard to the installation of these devices", 2013

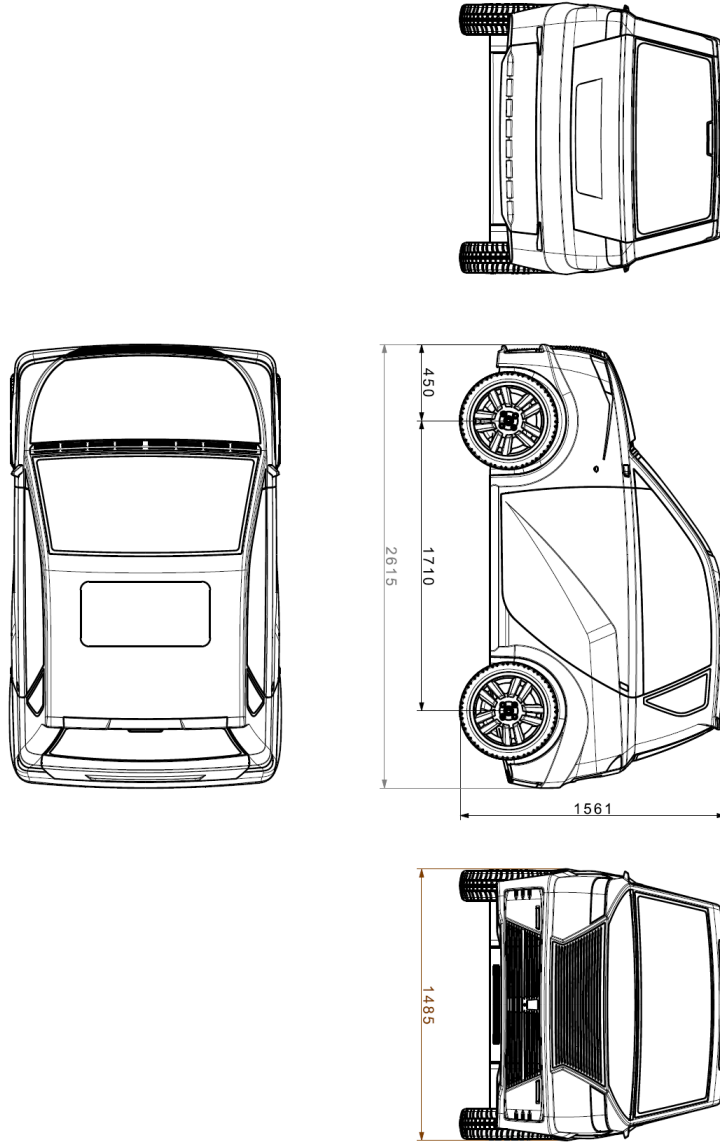
ECE R 48-12, " Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices", 2014

EKLER

10. EKLER

EK A

Tasarlanan araç genel ölçülendirmesi;



Şekil 10.1: Araç genel ölçülendirmesi

EK B

Tasarlanan aracın render görselleri;



Şekil 10.2: Araç ön izometrik görünüşü



Şekil 10.3: Araç arka izometrik görünüşü



Şekil 10.4: Araç yan görünüşü



Şekil 10.5: Araç ön görünüşü