

**OTOMOBİLLERDEKİ YAN AYNALARIN DIŞ  
YÜZEYİNDE OLUŞAN HAVA DİRENCİ  
ETKİSİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa ARIKAN**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2020**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOBİLLERDEKİ YAN AYNALARIN DIŞ YÜZEYİNDE**  
**OLUŞAN HAVA DİRENCİ ETKİSİNİN NÜMERİK OLARAK**  
**İNCELENMESİ**

**Mustafa ARIKAN**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2020**

## TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa ARIKAN tarafından hazırlanan “Otomobillerdeki Yan Aynaların Dış Yüzeyinde Oluşan Hava Direnci Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 10/12/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

**Başkan** : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Ahmet KESKİN  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
Bolu Teknik Bilimler M.Y.O

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... /..... /..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

10 / 12 / 2020

  
Mustafa ARIKAN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOBİLLERDEKİ YAN AYNALARIN DIŞ YÜZEYİNDE OLUŞAN HAVA DİRENCİ ETKİSİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa ARIKAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Gün geçtikçe enerji kaynaklarının azalması sebebi ile otomotiv sektöründe çalışmalar alternatif yakıtlara ve yakıt sarfiyatına yönelik ağırlık kazanmıştır. Bu bağlamda yan ayna formunun aerodinamik özellikleri incelenmiş ve farklı formlar için olası enerji tasarrufu durumu araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada Fiat punto marka otomobil yan aynası 3 boyutlu tarayıcıda taratılmış ve yardımcı programlar ile nokta bulutları birleştirilerek model düzenlenmiştir. SolidWorks'te geometri son şeklini almış ardından nümerik analiz yapmak üzere Ansys fluent'e aktarılmıştır. CFD yöntemi ile 80, 100 ve 120 km/h sabit hız değerlerinde yan ayna için hava direnci katsayısı hesaplanmıştır. Karşılaştırma yapmak üzere çizilen üç farklı yan ayna formu için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Sadece form değişikliği ile sonuçlar görünmek istendiği için bütün ayna formalarının iz düşüm alanları aynıdır. 100 km/h hız için sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda aerodinamik açıdan en verimsiz yan ayna modeli dikdörtgen modeli en verimli model ise yamuk formunda çizilen model olmuştur. Otomobil yan aynası ile yamuk formu arasındaki hava direnci katsayısı farkının az da olsa farklı olduğu görülmüştür.

**2020, ix + 67 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Aerodinamik, Hava direnci, Yan ayna, Nümerik analiz.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **NUMERICAL INVESTIGATION OF THE AIR RESISTANCE EFFECT ON THE EXTERIOR SURFACE OF SIDE MIRRORS OF AUTOMOBILES**

Mustafa ARIKAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. İbrahim MUTLU

Due to the decrease in energy resources day by day, studies in the automotive sector have focused on alternative fuels and fuel consumption. In this context, the aerodynamic properties of the side mirror form have been observed and the possible energy saving situation for different forms has been investigated.

In this study, Fiat punto brand automobile's side mirror was scanned in 3D scanner and the model is organized by support programs with combining point clouds. Geometry took its final shape in SolidWorks and then transferred to Ansys fluent for numerical analysis. Air resistance coefficient was calculated for the side mirror at 80, 100 and 120 km/h constant speed values with the CFD method. The same procedures were repeated for three different side mirror forms drawn for comparison. The projection areas of all mirror forms are the same, as the results were desired to be seen only with the form change. Results were evaluated for 100 km/h speed. As a result of the analysis, the most inefficient side mirror model in terms of aerodynamics was the rectangular model, and the most efficient model was the model drawing in trapezoid form. It has been observed that the difference in air resistance coefficient between automobile side mirror and trapezoid form is slightly different.

**2020, ix + 67 pages**

**Keywords:** Aerodynamic, Weather resistance, Side mirror, Numerical analysis.

## TEŐEKKÖR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesi sırasında, űnerileriyle ve bilgi birikimleri ile desteęini ve emeęini bizlerden hiç esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU hocama bűyűk katkılarından dolayı teőekkűr ederim. Araőtırma ve yazım sűresince yardımlarını bizden eksik etmeyen Sayın Dr. Őęr. Ŭyesi İbrahim YAVUZ hocama teőekkűr ederim.

Bugűnlere gelmemi saęlayan ve bu araőtırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teőekkűr ederim.

Mustafa ARIKAN  
Afyonkarahisar 2020

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Aerodinamik .....	3
2.1.1 Otomobillerde Aerodinamik .....	4
2.2 Otomobile Etkiyen Kuvvetler .....	8
2.2.1 Yuvarlanma Direnci .....	9
2.2.2 Yokuş Direnci .....	11
2.2.3 İvme Direnci.....	12
2.2.4 Aerodinamik Kuvvetler.....	13
2.2.4.1 Aerodinamik Direnç .....	15
2.2.4.2 Aerodinamik Kaldırma.....	20
2.2.4.3 Aerodinamik Yanal Kuvvet.....	22
2.3 Aerodinamik Kuvvetlerin Belirlenme Yöntemleri .....	22
2.3.1 Yol Testleri.....	23
2.3.2 Rüzgar Tünelleri.....	24
2.3.3 Nümerik Analiz Yöntemi .....	27
2.3.1. CFD ile ilgili yapılan çalışmalar .....	28
3. MATERYAL ve METOT .....	32
3.1 Kullanılan Yöntem ve Programlar .....	32
3.1.1 3 Boyutlu Tarayıcı.....	32
3.1.2 Horus Programı .....	33
3.1.3 MeshLab.....	34



3.1.4 Meshmixer .....	35
3.1.5 SolidWorks.....	35
3.1.6 Ansys.....	36
3.1.7 Fluent .....	36
3.2 Çalışma Yöntemi .....	37
4. BULGULAR .....	49
4.1 Yan Ayna Formlarının 100 km/h Hız İçin Nümerik Analiz Sonuçları.....	50
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	56
6. ÖNERİLER .....	57
7. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	63
EKLER .....	64
EK 1 Dikdörtgen Formu İçin Fluent Çıktıları .....	64
EK 2 Küre Formu İçin Fluent Çıktıları .....	65
EK 3 Otomobil Formu İçin Fluent Çıktıları .....	66
EK 4 Yamuk Formu İçin Fluent Çıktıları.....	67

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

A	İz düşüm Alan
a	Taşıt ivmesi
$C_D$	Hava direnci katsayısı
$C_L$	Kaldırma katsayısı
$F_A$	İvme direnci
$F_D$	Aerodinamik sürtünme kuvveti
$F_L$	Kaldırma kuvveti
$F_{St}$	Yokuş direnci
$F_R$	Yuvarlanma direnci
$f_{ro}$	Yuvarlanma direnci katsayısı
G	Taşıt ağırlığı
H	Toplam basınç
m	Kütle
P	Basınç
$P_\infty$	Atmosfer basıncı
V	Akış hızı
$V_t$	Taşıt hızı
$\rho$	Havanın yoğunluğu
p	Yokuş eğimi
$\lambda$	İvme direnci katsayısı

### Kısaltmalar

---

3B	3 Boyut
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Farklı otomobil gövde tasarımları ile hava direnci katsayısının yıllar içindeki değişimi .....	4
Şekil 2.2 Volkswagen marka taşıtlardaki sürüklenme direnci katsayısı değişimi.....	5
Şekil 2.3 Otomobil üzerindeki farklı bölgelerin aerodinamik dirence olan etki dağılımı .....	6
Şekil 2.4 Bir otomobilin hava içerisindeki hareketinde etrafında oluşan hava akımları.....	7
Şekil 2.5 Bir otomobile etkiyen direnç kuvvetleri .....	8
Şekil 2.6 Yuvarlanma direncindeki değişimin genel enerji kayıplarına etkisi.....	10
Şekil 2.7 Otomobillerde yokuş direncinin oluşması .....	11
Şekil 2.8 Bir otomobilin temel bileşenleri .....	12
Şekil 2.9 Otomobil üzerindeki aerodinamik kuvvet, basınç, moment ve ağırlık merkezi gösterimi.....	14
Şekil 2.10 Otomobillerde yüzey sürtünme direnci ve basınç direnci.....	15
Şekil 2.11 Hız karşısında aerodinamik sürtünme ve yuvarlanma direnci .....	16
Şekil 2.12 Bir aracın ön alanını temsil eden diyagram.....	17
Şekil 2.13 Bazı taşıtların hava direnci katsayıları .....	18
Şekil 2.14 Rüzgar tüneline bir otomobilde akış şeklinin oluşumu.....	19
Şekil 2.15 Bir otomobil etrafındaki akış alanı ve onu takip eden girdaplar .....	20
Şekil 2.16 Tekerlek yuvarlanma direnci ölçüm düzeneği .....	23
Şekil 2.17 Rüzgar tüneli şematik resmi.....	24
Şekil 2.18 Geometrik benzerlik için prototip ve modeli .....	25
Şekil 4.1 Hız değişimi ile aerodinamik direnç kuvvetinin değişimi .....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Yuvarlanma direnci katsayısı ortalama değerleri.....	9
<b>Çizelge 4.1</b> Farklı hız değerleri için elde hava direnç katsayısı ( $C_D$ ) büyüklükleri. ....	49
<b>Çizelge 4.2</b> Farklı yan ayna formları için elde edilen katsayı değerleri.....	54
<b>Çizelge 4.3</b> Yan ayna modellerinin aerodinamik direnç kuvvetleri ve otomobilde kapladıkları büyüklerin oranı.....	55

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Çalışmada kullanılan 3 boyutlu tarayıcı modeli .....	32
<b>Resim 3.2</b> Horus programında üç boyutlu taratılan bir model.....	33
<b>Resim 3.3</b> MeshLab programı arayüz örneği .....	34
<b>Resim 3.4</b> Fluent programı arayüz örneği.....	37
<b>Resim 3.5</b> Çalışma kapsamında yapılan iş akış şeması.....	38
<b>Resim 3.6</b> Kalibrasyon deseni üzerine gelen renkli ışık çizgileri .....	38
<b>Resim 3.7</b> Desen uzaklığının ayarlanması .....	39
<b>Resim 3.8</b> Kalibrasyon işleminin tamamlanması.....	39
<b>Resim 3.9</b> Çalışmada kullanılan otomobil yan ayna modeli.....	39
<b>Resim 3.10</b> Horus arayüzü ve taranılacak alanın ekrandaki gösterimi .....	40
<b>Resim 3.11</b> Horus ile tarama işlemi sonrası yan aynanın nokta bulutu dağılımı .....	40
<b>Resim 3.12</b> Yüzey yapılandırma komutu.....	41
<b>Resim 3.13</b> İşlem sonrası yan ayna katı modeli.....	41
<b>Resim 3.14</b> Yan ayna modelinin SolidWorks programına aktarılmış hali .....	42
<b>Resim 3.15</b> Yan ayna modelinin SolidWorks programında düzenlenerek son halini almış şekli .....	43
<b>Resim 3.16</b> Yan ayna modelinin DesingModeler modülünde işlem sonrası durumu....	44
<b>Resim 3.17</b> Yan ayna modelinde yüzeylerin adlandırılması ve mesh oluşumu.....	45
<b>Resim 3.18</b> Giriş hızının 100 km/h sabit olarak sınır şartlarında belirlenmesi.....	46
<b>Resim 3.19</b> Analiz için kullanılacak yan ayna modeli referans değerleri.....	46
<b>Resim 3.20</b> Cd değeri için monitör oluşumunda yapılan işlemler .....	47
<b>Resim 4.1</b> Dikdörtgen formundaki yan ayna modeli analiz sonuçları .....	51
<b>Resim 4.2</b> Dikdörtgen formundaki yan ayna modeli .....	51
<b>Resim 4.3</b> Küre formundaki yan ayna modeli analiz sonuçları .....	52
<b>Resim 4.4</b> Küre formundaki yan ayna modeli .....	52
<b>Resim 4.5</b> Otomobil yan aynası için $C_D$ grafiği ve değerleri .....	53
<b>Resim 4.6</b> Yamuk formundaki yan ayna modeli sonucu oluşan $C_D$ grafiği.....	53
<b>Resim 4.7</b> Yamuk formundaki yan ayna modeli .....	54

## 1. GİRİŞ

Motorlu taşıtlar günümüzde toplumumuzun vazgeçilmezleri arasındadır. Hayatımızın her alanında olan taşıtlar büyük bir hizmet sağlamanın yanında ekonomik olarak ta sorumluluk ve masraf getirmektedir. Motorlu taşıtların çalışmasında temel madde fosil yakıttır. Ulaşım için benzin ve sıvılaştırılmış benzin gazı (LPG) gibi fosil yakıtlar kullanılır. Ancak, dünya fosil yakıtlarının rezervleri sınırlıdır (Ağbulut ve Bakır 2019). Bu nedenle yakıt en yüksek ekonomik verim ile kullanılmalıdır. Ülkemiz gibi dışarıdan enerji ithal eden ülkeler için bu ekonomik sorumluluk oldukça önemlidir. Bu yüzden enerji tasarrufu önemli ve öncelikli bir konudur. Taşıtlar açısından bakacak olursak yakıt sarfiyatı ile ilgili çalışmalar yapıp ekonomik olarak tasarruf elde edilmek istenmektedir. Özellikle petrol fiyatlarının düzenli bir şekilde artması ülkelerin ekonomisini doğrudan olumsuz olarak etkilemektedir.

Türkiye İstatistik Kurumunun, Aralık 2019'a ilişkin motorlu kara taşıtları istatistik verilerine göre; 671 bin 131 taşıtın trafiğe kaydı yapıldı, 380 bin 77 taşıtın ise trafikten kaydı silindi. Böylece trafikteki toplam taşıt sayısı 291 bin 54 arttı. Trafiğe kayıtlı toplam araç sayısı 23 milyon 156 bin 975 oldu. Bu araçların yüzde 54'ünü otomobil, yüzde 16,4'ünü kamyonet, yüzde 14,4'ünü motosiklet, yüzde 8,2'sini traktör, yüzde 3,7'sini kamyon, yüzde 2,1'ini minibüs, yüzde 0,9'unu otobüs, yüzde 0,3'ünü ise özel amaçlı taşıtlar oluşturmuştur. Yüzde 54 gibi yüksek bir yüzde ile ilk sırada bulunan otomobillerin sayısı ise 12 milyon 503 bin 49 a yükselmiştir (TÜİK 2020).

Bu sayılar gün geçtikçe artmaktadır. Daha fazla taşıt aynı oranda yakıt sarfiyatını da beraberinde getirmekte ve bu da ekonomiye doğrudan etki etmektedir. Araçlarda yakıt ekonomisini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar aracın tasarımından, teknik durumuna, yol ve iklim şartlarından, sürücü deneyimine kadar çeşitli faktörleri içine alır. Ayrıca yakıt sarfiyatına önlem olarak, trafikte özel araçların gereksiz kullanımı engellenmek için toplu taşımanın kullanımı teşvik edilmektedir. Aynı zamanda fazla araçtan doğan yollardaki trafik sıkışıklığı ve kaza ihtimali ülkeyi ekonomik olarak olumsuz etkilemektedir. Araçların gövdelerinin maruz kaldıkları aerodinamik dirence uygun tasarlanması da bu önlemler arasındadır.

Bu çalışmada trafiğe kayıtlı araçların büyük çoğunluğunu oluşturan otomobillerin tasarımını üzerinden çalışılacaktır. Yakıt sarfiyatı ve rüzgâr direncine karşı verimlilik açısından tasarımlar aerodinamik yapıya uygun tasarlanır. Otomobilde hava direnci katsayısı ne kadar düşük ise etkiyen aerodinamik direnci o kadar düşük olur. Ve bu otomobilin verimini arttırır. Özellikle ön tampon, silecekler, yan aynalar, bagaj kapağının üst kısmı ve lastiklerin yüzeye temas ettiği noktalar aerodinamik direncin en çok maruz olduğu noktalar olarak dikkat çekmektedir. Çalışma kapsamında Fiat punto marka otomobil yan aynası 3 boyutlu tarayıcı ile taratılarak Solidworkse aktarılacaktır. Geometri düzenlenip oluşturulduktan sonra Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile ANSYS Fluent üzerinden simülasyonu yapılacaktır. Yan ayna modelinin aerodinamik yapısı incelenerek hava direnci katsayısı elde edilecek ve aerodinamik direnç kuvveti hesaplanacaktır. Aynı işlemler farklı geometrik şekillerde analiz edilerek otomobil yan aynası ile karşılaştırılacak ve yan ayna formunun avantajının daha iyi anlaşılması sağlanacaktır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Aerodinamik

16. yy da yelkenli gemilerin savaşları dünyadaki siyasi güce önemli etkendi. Gemi gövdesi etrafındaki su akışının yarattığı direnci azaltarak gemilerin hızlanması amaçlandı. Böylece, gemi gövdelerinin sürüklenmesi büyük ilgi gerektiren bir mühendislik problemi haline geldi ve böylece akışkanlar mekaniği çalışmalarına ivme kazandırdı. Katılar, sıvılar ve gazlar arasındaki en temel ayırım atom ve moleküler düzeydedir. Hem gazlardaki hem de sıvılardaki moleküllerin hareketleri benzer fiziksel özelliklere sahiptir ve bir katıninkinden oldukça farklıdır. Bu nedenle, hem sıvıların hem de gazların dinamiklerinin çalışması, akışkanlar dinamiği adı verilen aynı genel başlık altında sınıflandırılmaktadır. Öte yandan, sıvı akışı ile gaz akışı arasında bazı farklılıklar vardır; ayrıca, farklı gaz türlerinin (örneğin, N<sub>2</sub>, He, vb.) farklı özellikleri vardır. Bu nedenle, akışkanlar dinamiği aşağıdaki gibi üç bölüme ayrılır.

Hidrodinamik — sıvı akışı

Gaz dinamiği — gaz akışı

Aerodinamik — hava akışı

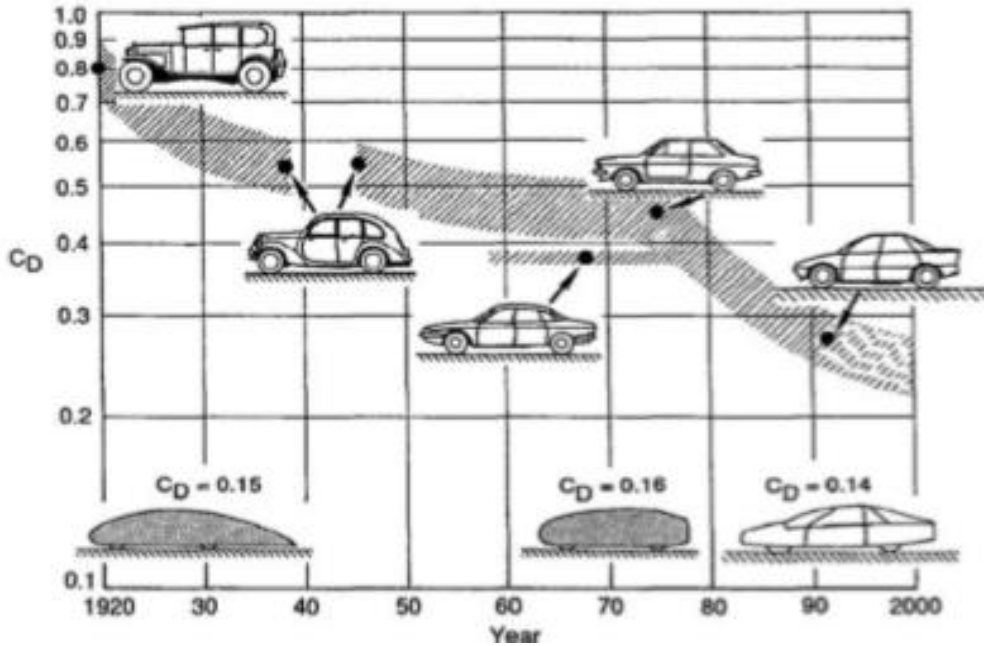
Aerodinamik, katı cismin atmosfer içerisinde hareketini, cismin etrafını saran havanın çeşitli hızlarda ve çeşitli yönlerden esen rüzgârla, cisim arasındaki etkileşimini inceler. Aerodinamik, mühendislikte birçok pratik uygulamaya sahip uygulamalı bir bilimdir. Bir aerodinamik teorinin ne kadar hassas olabileceği ya da sayısal bir çözümün matematiksel olarak karmaşık olabileceği önemli değildir, tüm bu çabalar genellikle pratik hedeflerden birine veya daha fazlasına yöneliktir. Bu alan bir akışkan boyunca hareket eden cisimler üzerindeki kuvvet ve momentleri ile cisme etkiyen ısı transferini inceleyip hesaplar. Aerodinamik, dış ve dahili aerodinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Dış aerodinamik farklı şekillerdeki katı cisimlerin etrafındaki çalışmalardır. Bir roketin ön kısmı, bir uçak, otomobil ya da şok dalgalar üzerinde sürüklenme ve kaldırma dış aerodinamik alanına girmektedir. Dahili aerodinamik ise kanallar içindeki dahili akışlarla ilgilenirler. Örneğin, bir jet motoru ile ya da bir havalandırma borusu içerisinde gerçekleşen hava akımı ile ilgili çalışmaları kapsar (Anderson 2001).



## 2.1.1 Otomobillerde Aerodinamik

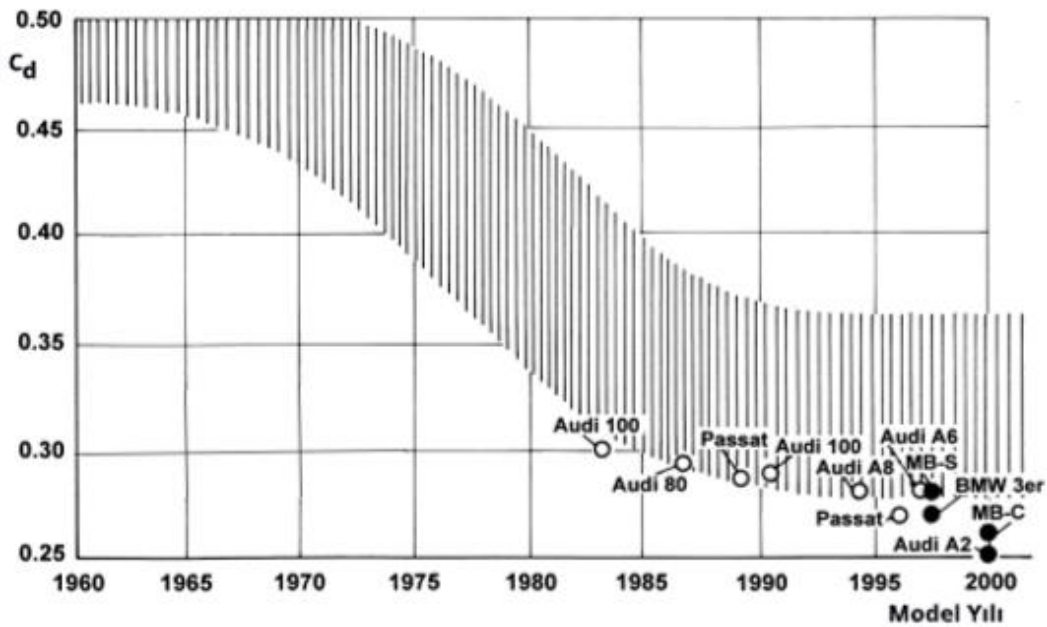
Otomobil üzerindeki aerodinamik yapı araç dinamiğini, yakıt sarfiyatını ve gürültü seviyesini önemli ölçüde etkilemektedir. Aerodinamik sürtünme genellikle düşük araç hızında önemsizdir, ancak aerodinamik direncin büyüklüğü yükselen hız ile dikkate değer hale gelir. Yüksek sürtünme direncine sahip bir araç, ivmesini engelleme eğilimindedir ve artan hız ile yakıt tüketimini artırır. Sürekli olarak daha iyi yakıt ekonomisi ihtiyacı, daha yüksek araç performansı, rüzgar gürültüsü seviyesinin azaltılması ve hareket halindeki bir araç için gelişmiş yol tutuşu ve stabilize, araç üreticilerinin hava direncinin doğasını araştırmasını ve farklı araç gövde şekilleri için çalışmasını sağlamıştır (Heisler 2002).

Taşıt aerodinamiği, akışkanlar mekaniğinin etkisinin anlaşılması ile yıllar geçtikçe gelişmiştir. Bununla beraber otomobiller için farklı gövde tasarımları karşımıza çıkmıştır. Bu tasarımlar sayesinde hava direnci veya diğer adıyla sürüklenme direnci katsayısı giderek azaltılmış ve yakıt ekonomisinde tasarruf edilerek araç verimliliği arttırılmıştır. Geçmişten günümüze farklı otomobil gövde tasarımları ile hava direnci katsayısındaki değişim Şekil 2.1’de görülmektedir (Hucho 1998).



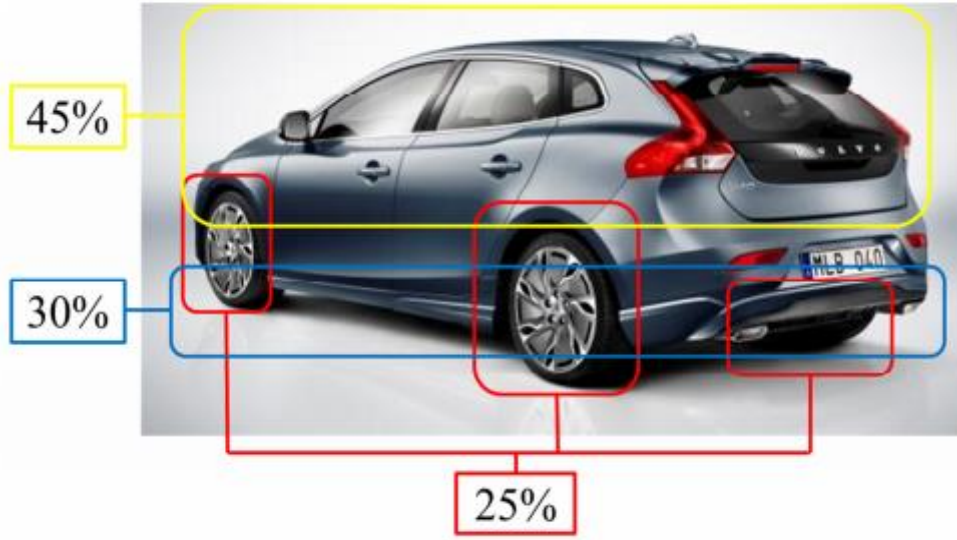
Şekil 2.1 Farklı otomobil gövde tasarımları ile hava direnci katsayısının yıllar içindeki değişimi (Hucho 1998).

Taşıt üreticilerinin birçoğu yakıt tüketimine etki eden aerodinamik sürüklenme direnç katsayısını azaltmak için taşıt şeklini değiştirmişlerdir. Ancak, tüm taşıt üreticileri üretimde aerodinamik duruma aynı önceliği vermemişlerdir. Aerodinamiğin esas önemi 1973-74 yıllarındaki petrol krizinde oluşmuş ve bu yıldan itibaren yolcu araçlarında hava direnci katsayısında doğrusal olmayan bir azalma olmuş, yapılan önemli projelerle yıllara bağlı olarak 0,25' e kadar düşmüştür. Şekil 2.2'de Volkswagen marka taşıtlardaki sürüklenme direnç katsayısının yıllara göre değişimi verilmiştir (Yıldız 2018).



Şekil 2.2 Volkswagen marka taşıtlardaki sürüklenme direnç katsayısı değişimi (Hucho 1998).

Tasarımcılar, hem iyi görünümlü hem de aerodinamik olarak verimli şekiller elde etmek için çalışıyorlar. Araçların üst gövdesine çok fazla çalışmalar yapılmıştır. Aerodinamik sürüklenme kuvvetinin yarısından azı üst gövde tarafından kaynaklanır. Tekerlekler ve tekerlek yuvaları toplam sürtünmenin dörtte birine kadar çıkabilir. Otomobil alt bölgesi ve detaylar sürtünmenin %30 kadarına maruz kalır. Gövde altı ve tekerlek yuvaları aerodinamik sürtünme kuvvetinin en büyük kısmından sorumlu olduğu için bu alanların büyük bir gelişme potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Aerodinamik mühendisleri, söz konusu alanlarla ve genel olarak araçlarla ilişkili durumları anlamak için çok çalışmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanarak çok daha karmaşık ve ayrıntılı modelleri için simüle ederler (Vdovin 2013).



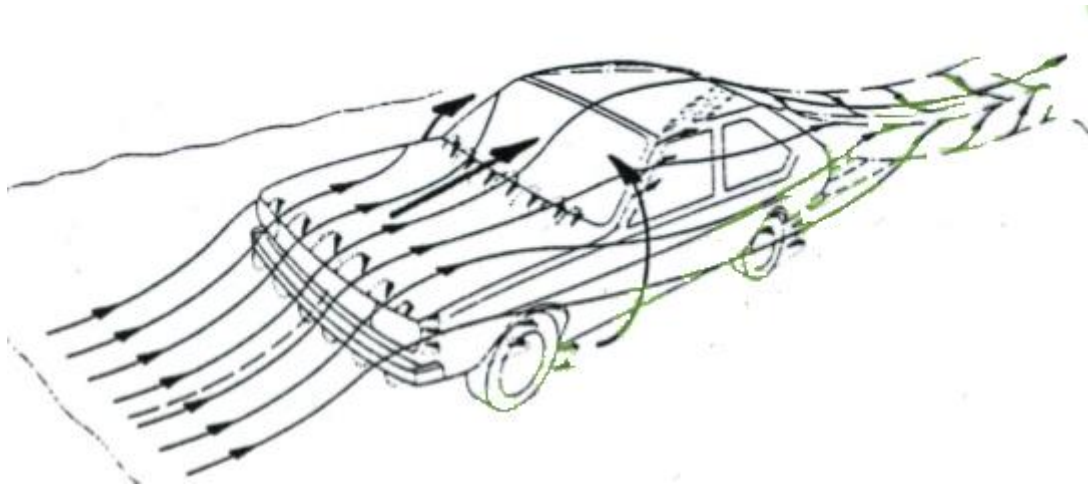
**Şekil 2.3** Bir otomobilin aerodinamik sürtünmeye maruz kaldığı alanların dağılımı (Vdovin 2013).

Seyir halindeyken camı açmak, bagaja yüklenen valizlerin ağırlığı, kullanılan lastiklerin ağırlığı hava direnç katsayısında artışa neden olmaktadır. Yapılan çalışmalarda ön tampon, silecekler, yan aynalar, bagaj kapağının üst kısmı ve lastiklerin yüzeye temas ettiği noktalar aerodinamik direncin en yüksek olduğu noktalar olarak ortaya çıkmıştır. Bu yüzden daha rahat bir hava akışının sağlanabilmesi için farklı tasarımlar yapılmaktadır. Lastik oyuklarının genişletilmesi, araç altındaki girinti ve çıkıntıların kamufle edilerek düzleştirilmesi, ön panel altına hava kesiciler yerleştirilmesi, ön ve arka camların daha yatık bir şekilde tasarlanması, kapı camlarının ve farlarının araç kaportasıyla bir yüzeyde tasarlanması, çamurlukların örtülmesi, yan aynaların aerodinamik özellik taşıyacak formda üretilmesi, ön ve arka tekerlekler arasına etekler yerleştirilmesi yapılan iyileştirmelere örnektir (İnt. Kyn.1).

Otomobillerde aerodinamik dirençten kaynaklanan yakıt tüketiminin etkisinin yanında aerodinamik tasarımcı aynı zamanda hava akışının cam ve lamba yüzeylerindeki su ve kir birikim modellerini kontrol etme şeklini de dikkate almalıdır. Ayrıca, herhangi bir rüzgâr gürültüsünü en aza indirmek ve havalandırma akışları için tasarım yapmak önemlidir. Motor soğutması için hava akışı en önemlidir. Yolcu bölmesi, frenler ve şanzıman soğutması için hava akışları, motor soğutmasına göre çok daha az önemlidir (Stone ve Ball 2004).

Deneysel veya sayısal yöntemlerle otomobiller için aerodinamik kuvvetlerin hesaplanması günümüze kadar incelenen önemli konulardan birisi olmuştur. Hareket esnasındaki otomobile etki eden aerodinamik kuvvetler yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri, ilave motor gücü, yol tutuş özellikleri, değişen yol şartlarında yol dengesini sağlama gibi temel özellikleri etkilediği için önemlidir. Yapılan çalışmalarda deneysel metodların maliyetli olup uzun zaman alması ayrıca otomobilin tüm dış yüzeylerinde ölçüm yapılmasının zorluğu dezavantaj getirmektedir. Sayısal hesaplama yöntemleri ise bilgisayar destekli programların ilerleyen teknoloji ile gelişmiş olması daha avantajlı ve tercih edilir hale gelmiştir. Genel kişisel bir araç için ortalama aerodinamik sürüklenme katsayı değeri 0.33 iken yapılan iyileştirmelerle ortaya çıkarılan düşük sürüklenme katsayısına sahip araçlardaki değer ise ortalama 0.25'tir. Yapılan aerodinamik çalışmalar, sürüklenme kuvvetindeki %3 oranındaki bir düşüşün yakıt tüketimini %1 oranında azalttığını ortaya çıkarmıştır. Azalan yakıt kaynakları ve diğer çevresel kaygılar, yakıt ekonomisi ve gaz emisyonları aerodinamik sürüklenme katsayısını etkileyen merkezi konulardır (Hucho 1998).

Otomobilin tavanındaki akış hızının daha yüksek olması, akış hızının düşük olduğu araç gövdesinden daha düşük bir basınca maruz kalmasını sağlar. Otomobilin üst tarafı ile alt tarafı arasındaki basınç farkı dolaşıma ve bir kaldırma kuvvetine yol açar. Ayrıca, dolaşımın varlığı otomobilin arkasında bir girdap oluşmasına sebep olur (Stone ve Ball 2004). Hava içerisinde seyir halindeki otomobilin formuna bağlı olarak çevresinde hava akımları ve girdaplar oluşmaktadır (Şekil 2.4).



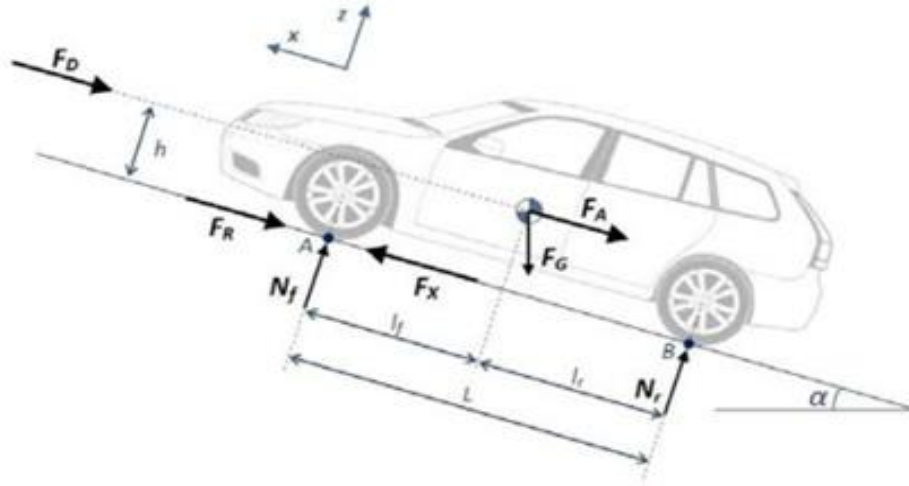
**Şekil 2.4** Bir otomobilin hava içerisindeki hareketinde etrafında oluşan hava akımları (İnt. Kyn. 2).

## 2.2 Otomobile Etkiyen Kuvvetler

Modern bir otomobilin aerodinamik direnç kuvveti, 80 km/h sabit hızda toplam direncinin %75-%80'ini oluşturur (Gencer vd. 2020). Otomobilin hareketi sırasında etkiyen dirençler aşağıdaki gibi incelenebilir.

- Tekerlek yuvarlanma direnci
- Aerodinamik kuvvetler
- İvme direnci
- Yokuş direnci

Bir yolda hareket eden bir otomobil, farklı direnç türlerine maruz kalmaktadır. Sabit hıza sahip hareketli bir araç üzerindeki toplam direnç kuvveti, yuvarlanma direnci, yokuş direnci, hızlanma direnci ve aerodinamik sürtünme direncinin toplamıdır. Aracı ileri itmek için bu direnç kuvvetlerinin üstesinden gelinmelidir. Aşağıda etki eden direnç kuvvetleri gösterilmiştir Şekil(2.5) (Levin ve Rigdal 2011).



Şekil 2.5 Bir otomobile etkiyen direnç kuvvetleri (Levin ve Rigdal 2011).

Toplam direnç bütün bu dirençlerin toplamı olarak ifade edilir.

$$F_X = F_A + F_R + F_{St} + F_D \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'e göre  $F_X$  toplam direnç kuvveti olmak üzere;  $F_A$ , aracın hızlanması için gerekli kuvvettir. Bu terimin toplam sürüş direnci üzerinde önemli bir etkisi vardır ve hızlanma, sürüş davranışına ve aracın toplam kütlesine bağlıdır.  $F_R$  yuvarlanma direncini temsil eder ve lastiklerin yola, yani aracın kütlesine uyguladığı normal kuvvetle orantılıdır.  $F_R$  yuvarlanma direnci için bir sabittir, ancak lastik basıncına ve sıcaklığa olduğu kadar çok karmaşık özelliklere de sahiptir.  $F_{St}$ , araç kullanımına bağlı olarak yokuş yukarı veya yokuş aşağı gitmek için gerekli kuvvettir. Ve son olarak  $F_D$  otomobil hızına ve otomobil iz düşüm alanına göre değişen aerodinamik sürtünme kuvvetini gösterir (Marklund 2013 ).

### 2.2.1 Yuvarlanma Direnci

Düzensiz doğrusal hareket halindeki bir otomobilin tekerleğine etkiyen en büyük direnç yuvarlanma direncidir. Yuvarlanma direnci tekerleğinin dönmesi esnasında zemin ve lastiklerdeki form değişimlerinden oluşmaktadır. Bu sebeple lastik, tekerleğin dönmesi amacıyla verilen enerjinin tamamı kullanılmamakta, bir kısmı yol ile lastik arasındaki sürtünmeden kaybolmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalardan 125 ile 150 km/h hızları arasında yuvarlanma direncinin; %90 ile 95 arası lastiğin yapısal histerezislerinde, %2 ile 10 arası lastik ile yer arasındaki sürtünmeden ve %1,5 ile 3,5 arası da hava direncinden kaynaklandığını göstermektedir (İnt. Kyn. 2).

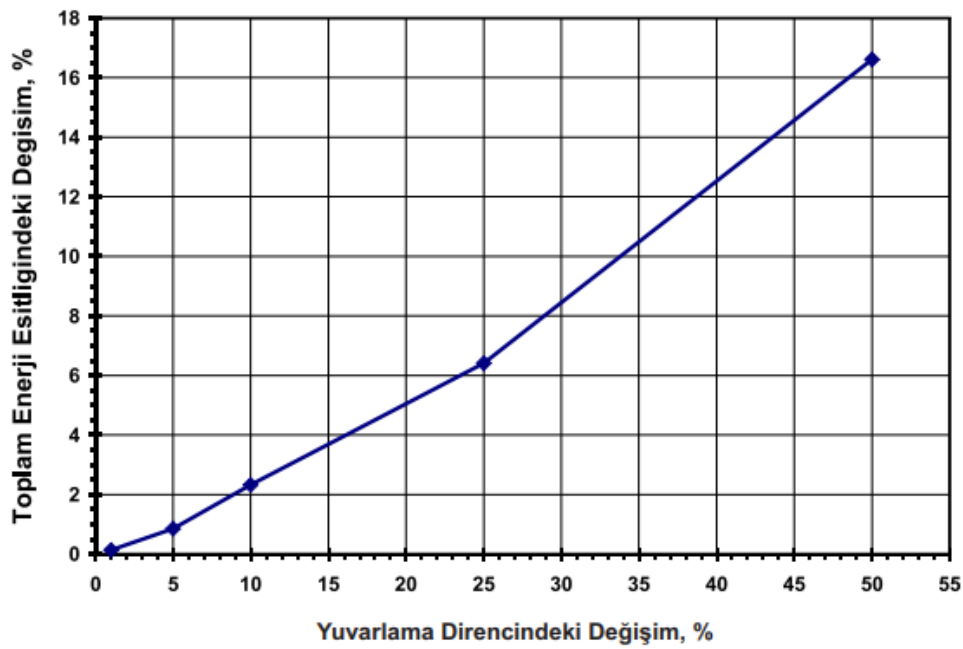
(2.2) numaralı denklemde ( $f_{ro}$ ) yuvarlanma direnç katsayısını, (G) taşıt ağırlığını ifade etmektedir. Yuvarlanma direnci taşıtın hızlanma performansına önemli ölçüde etki etmektedir (Kunt 2020).

$$F_R = f_{ro} \cdot G \quad (2.2)$$

**Çizelge 2.1** Yuvarlanma direnci katsayısının ortalama değerleri (İnt. Kyn. 2)

Lastik Tipi	Beton	Sert Toprak	Kum
Binek Otomobil	0,015	0,08	0,030
Kamyon	0,010	0,06	0,025
Traktör	0,020	0,04	0,020

Birçok değişkene bağlı olan yuvarlanma direnci katsayısının artması tahrik sırasında aşılmaması gereken dirençleri arttırmaktadır. Özellikle düşük taşıt hızlarında yuvarlanma direnç kuvveti enerji kayıpları açısından büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde otomobil lastiklerinin yuvarlanma direnç katsayıları genel olarak 0.007-0.014 arasında değişmektedir. Yuvarlanma direncine etki eden temel faktörler sürüş koşulları, taşıt hızı, lastik şişirme basıncı ve lastiğe etki eden düşey yüküdür. Bu faktörler frenleme, tahrik ve tutunma durumları dikkate alınarak optimum bir değerde tutulursa otomobillerde enerji tasarrufu sağlanarak menzil artırılabilir (Kunt 2020).



Şekil 2.6 Yuvarlanma direncindeki değişimin genel enerji kayıplarına etkisi (Tat ve Özenç 2007).

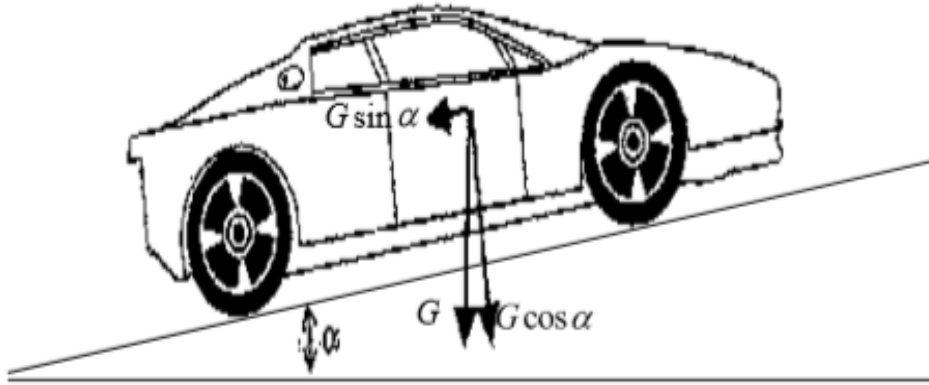
Yuvarlanma direncini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar ile birlikte yuvarlanma direncindeki azalmanın, toplam enerji kayıplarındaki azalmaya oranı bulunmuştur. Bir otomobili sürekli bir hıza ulaştırma amacı ile elde edilen gücün yaklaşık %25'e yakın bir kısmını yuvarlanma direnci harcar. Lastik üreticileri bu durumu göz önüne alarak yaptıkları deney çalışmalarının sonucunda, yuvarlanma direncini %5 azaltmakla, yakıt ekonomisine %1 katkı sağlanacağını iddia etmişlerdir. Ayrıca yapılan araştırmalara göre taşıttan olan herhangi bir kaybın oranı %p ise, bu kaybın yakıt ekonomisine etkisi (%10-15).p arasındadır (Tat ve Özenç 2007).

### 2.2.2 Yokuş Direnci

Hareket halindeki bir otomobile yolun eğimi sebebi ile etki eden dirence yokuş direnci denir. Yokuş direnci, otomobil ağırlığının ( $G$ ), hareket halinde olduğu yüzeyine paralel olan bileşenidir ( $G \cdot \sin \alpha$ ). Yol eğim açısının yukarı yönde artışı hareketi zorlaştırıcı, açının yola doğru azalışı ise hareketi kolaylaştırır. Bu sebeple eğim yukarı yönde yani yokuş yukarı hareket esnasında eğim direnci pozitif, buna karşılık eğim aşağı yönde yani otomobilin yokuş aşağı hareketi esnasında direnç negatif olarak alınmalıdır. Bu sebeple, eğim direnci aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (İnt. Kyn. 3).

$$F_{St} = G \cdot \sin \alpha \quad (2.3)$$

Bu ifade  $F_{St}$  yokuş direnci olmak üzere,  $G$  taşıtın ağırlığı,  $\alpha$  ise yolun yatayla yapmış olduğu eğim açısıdır. Eğim açısı  $\alpha$  değerinin küçük olması sebebi ile  $\sin \alpha$  yerine  $\tan \alpha$  değeri konularak hesaplamalar kolaylaştırılabilir (Arslan 2005). Eğimli bir yolda otomobile etkileyen ağırlık bileşenleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Otomobillerde yokuş direncinin oluşması (Arslan 2005)

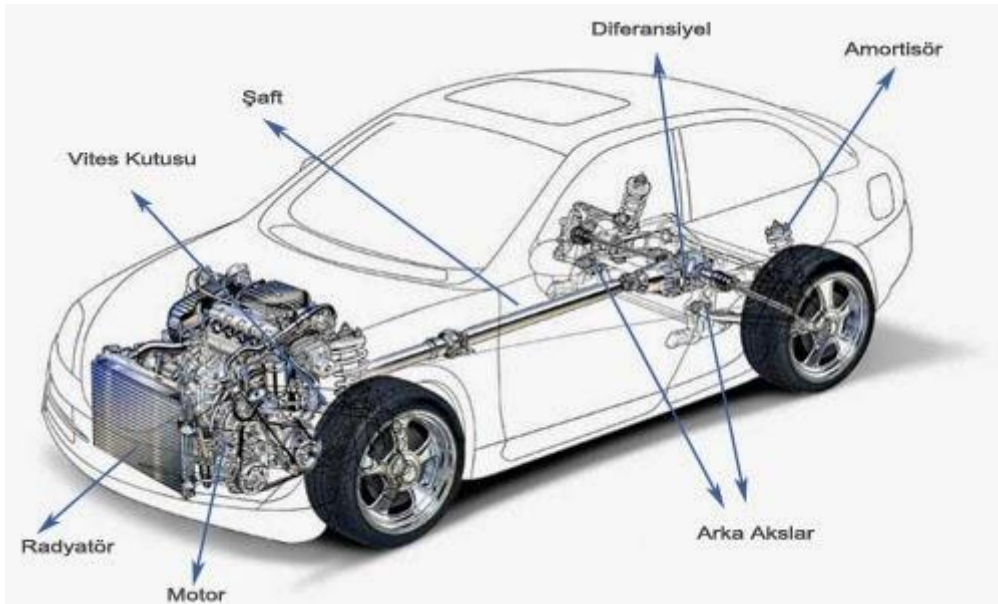
Karayollarında yokuş eğimleri açı olarak verilmez, yüzdesel (% p) olarak verilir. % 10 yokuş eğiminin anlamı: Yolda 100 m ilerlemenin sonunda 10 m yükselme anlamına gelmektedir. Yokuş eğimleri p ile ifade edilir: (İnt. Kyn. 2).

$$p = \tan \alpha = 0,1 = \%10 \quad (2.4)$$



### 2.2.3 İvme Direnci

Atalet, ivmeli hareket eden bütün cisimlerin sahip olduğu bir kavramdır. Motorlu araçlar ivmeli hareket ettiklerinden, hızlanma ve yavaşlamalarında atalet kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Yavaşlamalarda ivme negatif yönlü olup, aracı ileri doğru hareket ettirme eğilimindedir. Bu nedenle motora ek bir yük getirmez. Hızlanmalarda ise aksine, aracın ilerlemesine karşı bir direnç kuvveti söz konusudur. Otomobil hareketine son vermek için fren yaptığı esnada ortaya çıkan kuvvet sebebi ile araç öne doğru hareket etme eğilimindedir ama bu yönde hareket etmesi istenmediği için direnç olarak karşımıza çıkar (Sarı 2007). İvme direnci; tekerleklerin yuvarlanma hareketi, güç aktarma organları ve motorun dönel atalet kuvvetlerinin sonucu oluşmaktadır. Otomobil hızındaki değişimler, bu elemanların dönme hızlarının değişmesi ile sağlanmaktadır (Arslan 2005).



Şekil 2.8 Bir otomobilin temel bileşenleri.

İvmelenme direnci  $F_A$ , bir otomobilin ivmelenmesi için yenilmesi gereken dirençtir. Dönen ve öteleme yapan kütlelerin ivmelenmesi için gerekli kuvvetlerden oluşur.  $F_A$  ifadesinin içerisinde daha kolay şekilde hesaplanabilmesi için dönen kütlelerin etki faktörü  $\lambda$  olarak yazılır. İvmelenme direnci;

$$F_A = m \cdot a \cdot \lambda \quad (2.5)$$

Burada  $m$  aracın kütlesi,  $a$  ivmesini,  $\lambda$  ise ivme direnç katsayısı olarak geçmektedir.  $\lambda$  formülü ise aşağıdaki gibidir.

$$\lambda = \frac{\sum \theta_i \cdot \omega_R}{r_{dyn}} \quad (2.6)$$

$\sum \theta_i$  tahrik sistemindeki dönen kütlelerin tekerlek eksenine indirgenmiş kütle atalet momenti,  $\omega_R$  tekerlek açısal ivmesi ve  $r_{dyn}$  tekerlek dinamik yarı çapıdır.  $\lambda$  1'den büyük bir değerdir. Aynı araç için vites basamağının küçülmesi, çevrim oranının büyümesiyle birlikte  $\lambda$  değeri artar ve yaklaşık olarak 1 ile 1,65 arasında bir değer alır (İnt. Kyn. 2).  $\lambda$  değeri otomobillerde 1. viteste 1,45; 2. viteste 1,15; 3. viteste 1,08; 4. viteste 1,05; 5. viteste 1,03 civarında alınabilir (İnt. Kyn. 4).

#### 2.2.4 Aerodinamik Kuvvetler

Aerodinamik kuvvet otomobilin hareketi esnasında hava ile etkisine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimler otomobilin performansına etki eder. Hava akışı otomobil hızına ve otomobilin hareket ettiği ortamın rüzgâr hızına bağlıdır. Aerodinamik kuvvet otomobil yüzeyinin çevresine dağılan basınçların bileşkesidir ve "basınç merkezi" diye adlandırılan bir noktaya etki eder. Otomobilin kullanım biçimini olumlu veya olumsuz etkileyen şartlar ortaya çıkartmaktadır. Otomobil kararlılığı düşünüldüğünde aerodinamik kuvvet göz önüne alınması gereken önemli bir kuvvettir.

Bileşke aerodinamik kuvvetin otomobilin ilerlemesine engel olan bileşenine, "aerodinamik direnç" denilmektedir. Aerodinamik kuvvetin diğer önemli iki çeşidi ise, aerodinamik kaldırma (lift) ve yanal kuvvetlerdir. Aerodinamik kaldırma kuvveti, otomobilin alt ve üst kısımları arasındaki basınç farkından oluşan ve aracı yukarıya doğru kaldırmaya etki eden kuvvettir. Aerodinamik yanal kuvvet ise otomobilin dönüşlerinde veya herhangi bir açıdan etki eden rüzgâr yüzünden sapmasına neden olan ve aracın kararlılığını etkileyen dirençtir.

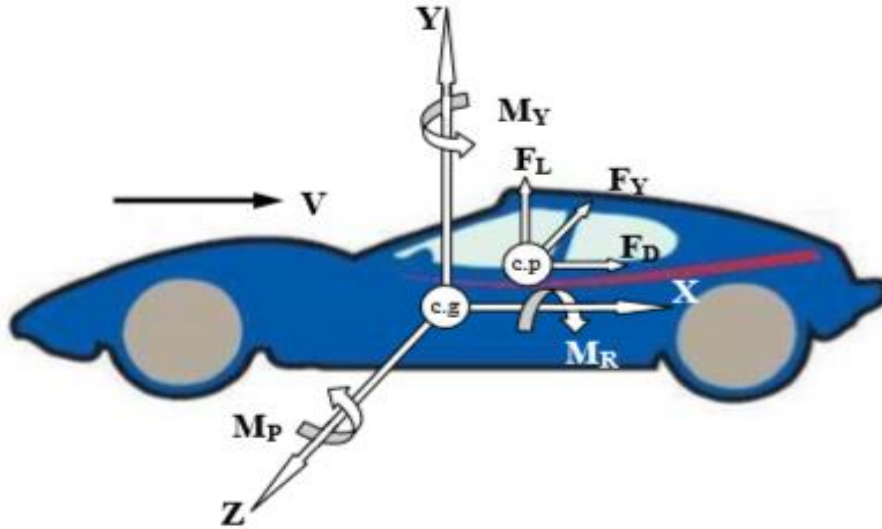
Bir otomobilde aerodinamik kuvvetin belirlenmesinde Bernoulli denkleminde faydalanılır. Bu denklem enerjinin korunumu yasasından faydalanarak çıkarılmıştır.

Aynı akış yolu boyunca her noktadaki dinamik ve atmosferik basınç toplamı eşittir. Dolayısı ile toplam basınç (H) aşağıdaki gibidir.

$$P + \frac{\rho \times V^2}{2} = H(\text{sabit}) \quad (2.7)$$

Bu denklemde (2.7) P atmosferik basıncı (statik basınç), ikinci terim ( $\rho.V^2/2$ ) dinamik basıncı ve H toplam basıncı ifade etmektedir.  $\rho$  havanın yoğunluğunu V ise akış hızını göstermektedir. Buradaki toplam basınç, bozulmaya uğramamış hava ortamından hesaplanabilir. Denklem (2.7) ile dinamik basıncın değişmesi havanın hızının değişmesi ile orantılıdır.

Aerodinamik basınç kuvveti hesaplamalarda kolaylık sağlaması için kuvvetin otomobilin belirli bir noktadan etki ettiği şeklinde düşünülür. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi bu noktaya basınç merkezi denilmektedir. Bu nokta ağırlık merkezi ile aynı yerde olmaması ile birlikte bu iki noktanın birleştirilmesi hesaplamalar açısından büyük kolaylıklar sağlar (Demircioğlu 2007).



Şekil 2.9 Otomobil üzerindeki aerodinamik kuvvet, basınç, moment ve ağırlık merkezinin gösterimi (Demircioğlu 2007).

Bernoulli prensibine göre hareket halindeki bir otomobilin etrafında her otomobilin gövde şekline özgün bir basınç dağılımı oluşmaktadır. Buna göre araca etki eden basınç

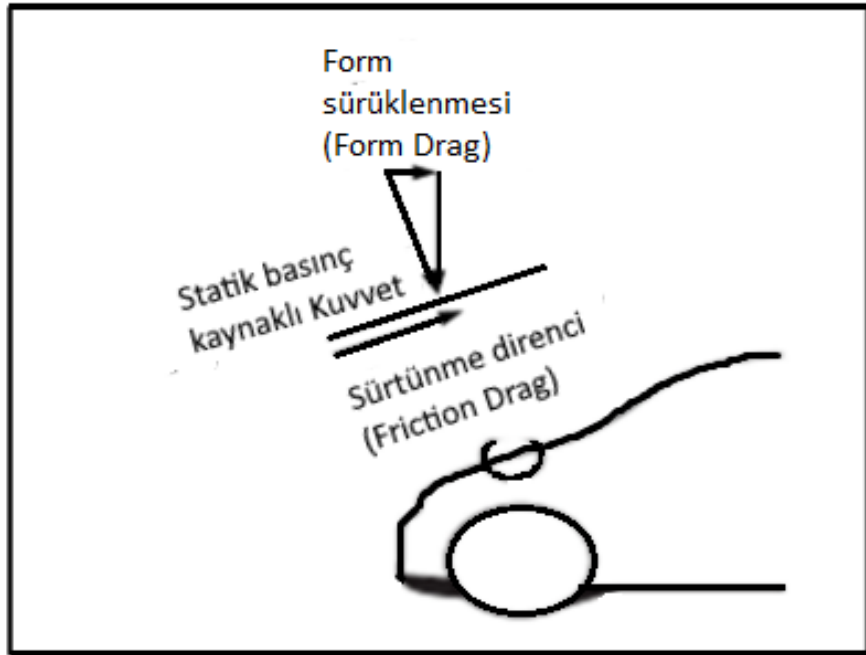
dağılımının tüm araç yüzey alanına göre integre edilmesiyle, üzerinde rölatif hızdan kaynaklı oluşan aerodinamik bileşke kuvvet (F) bulunur.

$$F = \int (p - p_{\infty}) dA_y \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de F bileşke aerodinamik kuvvet (otomobil yüzeyindeki yayılı kuvvet) olmak üzere  $p$  ortam basıncı,  $p_{\infty}$  atmosfer basıncı,  $dA_y$  taşıt üzerinde akışa dik doğrultudaki alanı göstermektedir.

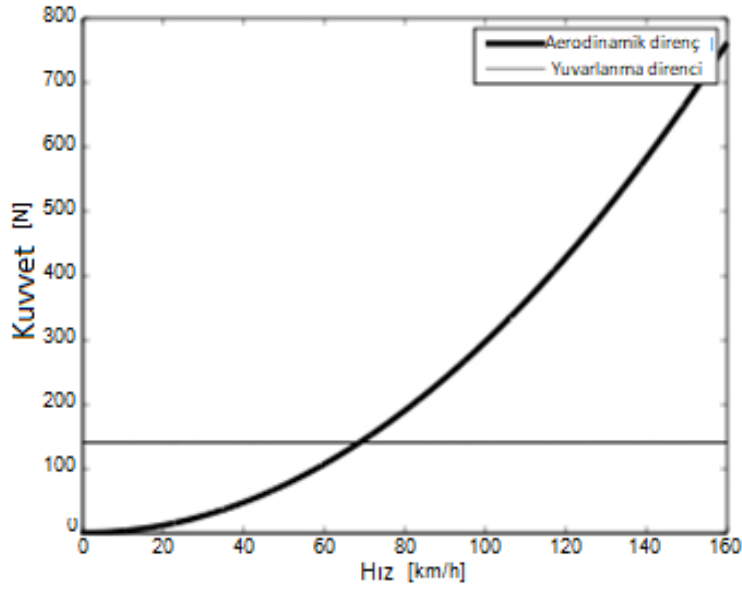
#### 2.2.4.1 Aerodinamik Direnç

Aerodinamik kuvvetin taşıtın hareketi doğrultusundaki bileşenine aerodinamik direnç denir. Bir cisim etrafında akan sabit hızlı hava sonucu, iki bileşenden oluşan bir direnç kuvveti oluşur. Bu bileşenler; yüzeyin yapışkanlığı etkisine bağımlı yüzey sürtünme direnci ve gövdeye etki eden ana akış basınç dağılımının sonucu olarak meydana gelen basınç direncidir. Cismin şekliyle doğrudan alakalı olduğu için bu dirence form direnci adı da verilir. Aşağıda aerodinamik direnç bileşenleri gösterilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Otomobillerde yüzey sürtünme direnci ve basınç direnci (Altınışık 2013).

Form (basınç) sürtünmesi yüzeylere normal yönde etki ederken, sürtünme kuvveti ise yüzeye teğet olarak hareket eder. Bir binek otomobilin ölçeği ve şekli nedeniyle, form sürüklemesi baskındır (Vdovin 2013). Düz bir levha düşünüldüğünde, akış yönüne paralel şekilde tutulursa etkiyen direnç tamamıyla sürtünme direncinden, dik tutulduğu zaman ise etkiyen direnç bütünüyle basınç direncidir. Bir silindir düşünüldüğü zaman her iki direnç bu cisme etki eder. En düşük direnç katsayısı  $C_D$  paralel levha için, en yüksek katsayı ise dik levha için görülür. Silindirde oluşan direnç bu iki değer arasındadır (Çengel ve Cimbala 2005). Araç hızına ve gövde şekline bağlı olan aerodinamik direnç kuvveti hız arttıkça artmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Hız karşısında aerodinamik sürtünme ve yuvarlanma direnci (Johan ve Rikard 2011).

Basınç merkezi, bileşke aerodinamik kuvvetin etki ettiği noktadır ve hava akış hızına bağımlı olduğu için ağırlık merkezi gibi sabit değildir. Yüksek hızlarda basınç merkezi ön tarafa kaymaktadır. Aerodinamik direnç büyüklüğü cismin şekline, boyutuna ve akışkanın hızına bağlı değişmektedir. Bu yüzden aerodinamik sürükleme katsayısı veya diğer adıyla hava direnci katsayısı diye adlandırılan ve  $C_D$  ile gösterilen bir katsayı ortaya çıkar. Hava direnci katsayısı aşağıdaki formülasyon ile ifade edilir (Akgül ve Özkan 2015).

$$F_D = 0,5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V_t^2 \quad (2.9)$$

Burada;

$F_D$ : Aerodinamik direnç, N

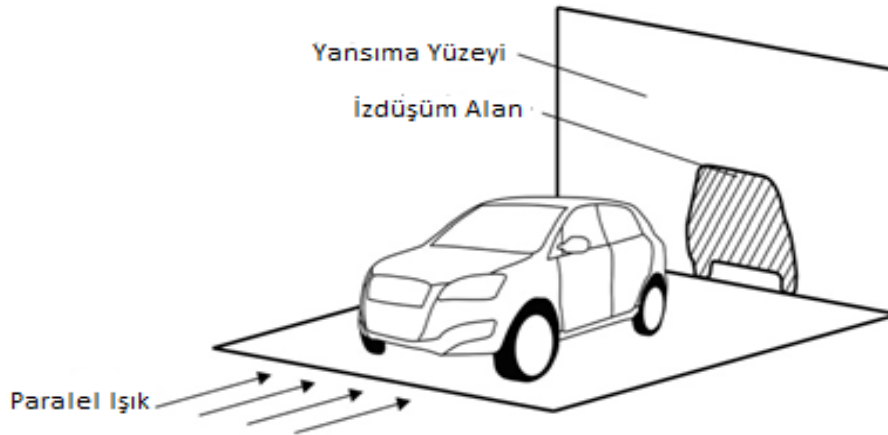
$\rho$ : Havanın yoğunluğu,  $\text{kg/m}^3$

$C_D$ : Aerodinamik sürüklenme veya hava direnci katsayısı

A: Otomobilin karakteristik iz düşüm alanı,  $\text{m}^2$

$V_t$ : Taşıtı hızı, m/s









Hava direnci katsayısı, bir aracın aerodinamik direncini tanımlayan boyutsuz bir miktardır ve boyut ve hızdan bağımsız olarak farklı otomobil şekillerini karşılaştırırken kullanışlı bir araçtır (Alexey 2013). Aerodinamik direnç, aracın ön alanı ile karakterize edilen bir boyuta bağlıdır. Otomobile tam karşıdan gelen paralel ışıkların arka taraftaki yansımaya yüzeyinde oluşturduğu gölge alanı formülde kullanılan iz düşüm alanını temsil eder. Aşağıda bir aracın ön alanını temsil eden bir diyagram gösterilmektedir (Wu ve Liu 2011). Bir otomobilin ön iz düşüm alanı 1,5 ile 2,6  $\text{m}^2$  arasında değişiklik göstermektedir (İnt. Kyn. 3).



Şekil 2.12 Bir aracın ön alanını temsil eden diyagram (Wu ve Liu 2011).

Direnç iki farklı etkiden (sürtünme ve basınç) kaynaklansa da, bunları ayrı ayrı belirlemek genellikle zordur. Çoğu durumda, tek tek direnç bileşenleri yerine toplam direnç ile ilgileniriz ve bu nedenle genellikle toplam hava direnç katsayısı rapor edilir. Sürüklenme katsayılarının belirlenmesi, çoğunlukla deneysel olmak üzere çok sayıda çalışmanın konusu olmuştur ve literatürde pratikte ilgili herhangi bir geometri hakkında çok miktarda sürüklenme katsayısı verisi vardır. (Çengel ve Cimbala 2005).

Bir araç alanının azaltılması otomobil içindeki konforu olumsuz etkileyeceği için fazla bir küçültme yapılamaz bu yüzden değişiklik yapılabilecek tek seçenek hava direnci katsayısı  $C_D$  değerinin düşürülmesidir (İnt. Kyn. 2). Direnç katsayısı  $C_D$ 'nin azaltılabilmesi için araç formları gün geçtikçe aerodinamikteki adıyla damla formuna benzetilmeye çalışılmaktadır. Damla formunun özelliği doğrusal akımda bilinen en az bozuntuya sebep olan yapı olmasıdır.

Görsel	Taşıt	$C_D$
	Açık spor	0,5-0,7
	Pikap	0,5-0,6
	Arka uzun	0,4-0,55
	Farlar, arka tekerlekler yedek lastik gövde içinde kama biçimli gövde	0,3-0,4
	En avantajlı aerodinamik biçim	0,15-0,20
	Otobüs	0,6-0,7
	Kamyon, treyler	0,8-1,5
	Motosiklet	0,6-0,7

Şekil 2.13 Bazı taşıtların hava direnci katsayıları (İnt. Kyn. 6).

Otomobile etki eden aerodinamik direnç üç elemandan oluşmaktadır.

Aracın, arka tarafındaki boşluğun olduğu kısımda meydana gelen türbülansın oluşturduğu direnç. Bu direnç, özellikle arka kısım olmak üzere, otomobilin gövde şekline bağlıdır. Aerodinamik direncin en büyük bileşenidir ve toplam aerodinamik direncin yaklaşık % 80'i kadardır.

Yüzey sürtünme direnci aracın dış yüzeyinden geçen havanın neden olduğu dirençtir. Normal şartlardaki bir otomobilde yüzey sürtünme direnci, toplam aerodinamik direncin yaklaşık % 10'u kadardır.

Aracın radyatör mekanizmasından veya iç kısımlarından, havalandırma ve soğutma için akan havaya bağlı oluşan iç direnç. Akış hatlarının şekline göre değişmekle beraber iç direnç toplam direncin yaklaşık %10 kadarını kapsar.

Otomobil hareketli durumda iken zemine göre bir bağıl hızı bulunmaktadır. Havanın durağan olması ve rüzgârın olmaması durumunda otomobil zemine ve aynı zamanda havaya göre eşit bağıl hıza sahip olacaktır. Ancak rüzgâr olması durumunda, yani havanın zemine göre bir bağıl hıza sahip olması durumunda otomobilin zemine göre bağıl hızı havaya göre olandan farklı bir değer alacaktır. Taşıtın aerodinamiği incelenirken genellikle çözüm için hava akışının olmadığı ve otomobilin zemine göre sabit bir bağıl hızla hareketi kabul edilir. Ayrıca, havanın sıkıştırılmaz özellikte incelenebilmesi için taşıt hızının alçak olması ayrıca taşıtın düz bir zeminde ilerlediği kabulleri yapılır. Aerodinamik analiz yapılırken otomobilin hareketsiz hava içinde ilerlemesi ile rüzgâr tünellerindeki gibi havanın hareketsiz otomobil üstünden ilerlemesi durumlarında analiz açısından bir fark olmadığı dikkate alınarak çözüm yapılabilir. Çünkü aerodinamik çözümde taşıt ile havanın birbirine göre göreceli hareket yapması bu durumu sağlamaktadır (Yıldız 2018).



**Şekil 2.14** Rüzgâr tüneline bir otomobilde akış şeklinin oluşumu.

Şekil 2.14' te Rüzgâr tüneline gerçekte ölçülerdeki bir otomobilin üstünden geçen hava akış yolunun duman ile görüntülenmesi görülmektedir. Aerodinamik analiz için herhangi bir zamanda aracın, belirli bir kısmından akan havaya ait bir parçacık dikkate alınır. Bu parçacık hareket halindeki araca göre yerleştirilmiş bir koordinat eksenine göre bağıl bir hareket yapmakta ve belirli bir güzergâh izlemektedir. Parçacıkların takip

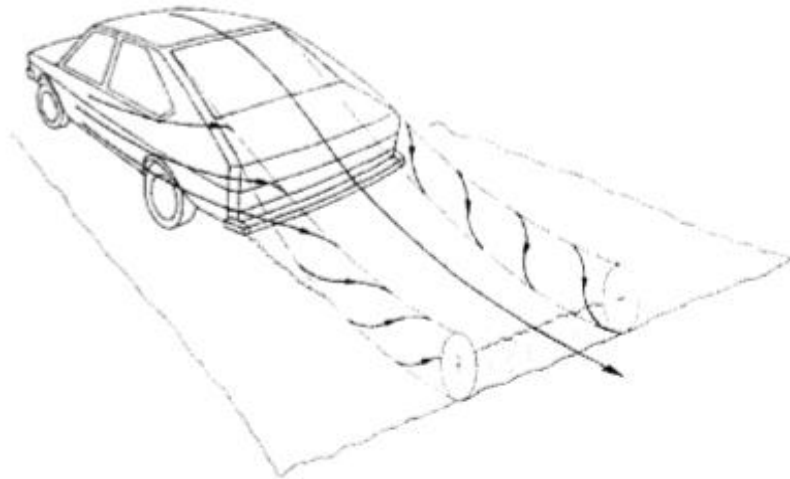


ettiği bu yol akış yolu olarak adlandırılır. Daha sonra taşıt üzerinde belirlenen bu noktaya gelen diğer tüm parçacıkların bir önceki parçacığın izlediği yolu izlediği kabul edilmektedir. Bunun gibi diğer bütün akış yollarının oluşturduğu küme taşıt çevresindeki hava akış şeklini belirtir. Bu akış şekli taşıtın şekline ve hızına bağlı olarak değişecektir. Taşıt üzerindeki bu hava akış şekli görüntüsü, rüzgâr tünelleri yardımıyla veya tüm taşıt yüzeyine ince ve esnek iplikler yerleştirilerek elde edilebilir (Yıldız 2018).

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile trafikte tespit edilen sonuçlar birbirinden farklılık göstermesi normal bir durumdur. Çünkü trafik koşullarında araca etki eden rüzgâr, direnç katsayısına etki eder (Sarı 2007).

#### **2.2.4.2 Aerodinamik Kaldırma**

Aerodinamik kaldırma bir otomobilin yer ile arasındaki basınç büyüklüğünün üst kısmındaki basınç büyüklüğü ile arasındaki fark ile ortaya çıkar. Bu durum aracın çevresinde hava sirkülasyonuna ve kaldırma kuvveti ile aracı havaya kaldırma eğilimine neden olur. Böylece aracın arka kısmında şekil 2.15'te görüldüğü gibi girdapların oluşmasına yol açar.



**Şekil 2.15** Bir otomobilin etrafındaki akış alanı ve onu takip eden girdaplar (Hucho 1998).

Dinamik basınç artışı hava akış hızının karesi ile doğru orantılıdır. Dinamik basıncın yüksek olduğu bölgelerde statik basınç azalmaktadır. Bu durumda, hava hızının daha düşük olduğu taşıtın alt yüzeyine etkiyen statik basınç, hava hızının yüksek olduğu üst yüzeye etkiyen statik basınçtan daha fazla olacak ve fazla basınç taşıtı yukarıya doğru kaldırmaya çalışacaktır.

Aerodinamik kaldırmanın etkisini tam olarak anlayabilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla aerodinamik kaldırma kuvveti yerine aerodinamik kaldırma katsayısı  $C_L$  kullanılmaktadır. Bir karayolu taşıtının tasarımında en önemli aerodinamik faktörlerden biri kaldırma kuvvetidir. 100 km/h hızın altındaki hızlarda kaldırma kuvveti çok etkin değilken bu hızın üzerindeki hızlarda önem arz etmektedir. Aks yüklerini azaltmasının bir sonucu olarak dinamik aks yükleri ve kararlılık önemli ölçüde etkilenir. 1980 öncesi araçlar için kaldırma katsayısı değerlerinin sürüklenme direncine benzer şekilde genellikle 0,3 ile 0,5 aralığında olduğu belirtilmektedir. Ancak günümüz binek araçları kaldırma katsayıları sıfır veya sıfıra çok yakın olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bununla birlikte yarış araçları için negatif kaldırma katsayıları kullanılmaktadır (Solmaz ve İçingür 2010).

Karayolu taşıtları için taşıtın zemin ile olan mesafesi büyük bir önem taşımaktadır. Kaldırma araç alt kısmındaki tasarım ve basınç dağılımına bağlıdır. Araç altında akışın durmasına sebep olacak girinti ve çıkıntılar statik basıncın artmasına ve dolayısıyla kaldırma kuvvetinin artmasına sebep olacaktır. Günümüz araçlarında bu sorun araç altı kaplamaların uygulanmasıyla büyük ölçüde giderilmiştir.

Kaldırma katsayısı, araç gövdesi üzerinde üretilen kaldırma kuvvetini tanımlayan ve denklem (2.9) ile ifade edilen boyutsuz bir katsayıdır (Gopal 2014)

$$C_L = \frac{F_L}{0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_t^2} \quad (2.10)$$

Burada  $C_L$  kaldırma katsayısı olmak üzere,  $F_L$  taşıta etki eden kaldırma kuvveti,  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $V$  taşıt hızı ya da tünel içerisindeki akış hızı ve  $A$  ise taşıt ön iz düşüm alanını belirtmektedir.

### 2.2.4.3 Aerodinamik Yanal Kuvvet

Otomobile etki eden hava akışı dikey simetri eksenine paralel şekilde olması durumunda, aerodinamik direnç ve aerodinamik kaldırma kuvveti bileşenlerine ayrılabilir. Eğer akış otomobile farklı bir açıda ise, simetrik olmayan bir akış hattı ortaya çıkar. Yanal kuvvet araç etrafındaki asimetric hava akışı olarak tanımlanabilir ve yanal rüzgâr bileşeni, araç üzerinde hareket yönünü değiştirebilecek bir yan kuvvette uygular (Gopal 2014). Otomobillerde yanal kuvvetin oluşmasında herhangi bir yerden etki eden rüzgâr veya aracın dönme esnasında gerçekleşen doğrultu değişimidir. Bu sebeple aerodinamik kuvvet; aerodinamik direnç, aerodinamik kaldırma ve aerodinamik yanal kuvvet olarak üç farklı şekilde incelenir. Yanal kuvvetin hesaplanması için kullanılan formül de aşağıdaki gibidir:

$$C_Y = \frac{F_Y}{0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_t^2} \quad (2.11)$$

$C_Y$  yanal kuvvet katsayısı olmak üzere boyutsuzdur ve  $F_Y$  taşıta etki eden yanal kuvveti,  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $V$  taşıt hızı ya da tünel içerisindeki akış hızı ve  $A$  ise taşıt ön iz düşüm alanını belirtmektedir.

Yanal kuvvetin etki ettiği nokta ağırlık merkezi ile örtüşmemekle beraber sabit değildir ve otomobilin gövde tasarımına bağlı olarak, araç merkezinin ön kısımlarında bulunmaktadır. Basınç merkezi daha da önde bulunan arka tarafı kısa taşıtlar, dışa sapma eğimlidir ve kontrolleri daha zordur. Eğer basınç merkezi arkada kalırsa içe sarmaya neden olacaktır. Basınç merkezini ağırlık merkezine ne kadar yakınsa aerodinamik yanal kuvvete karşı kararlılık o kadar iyidir.

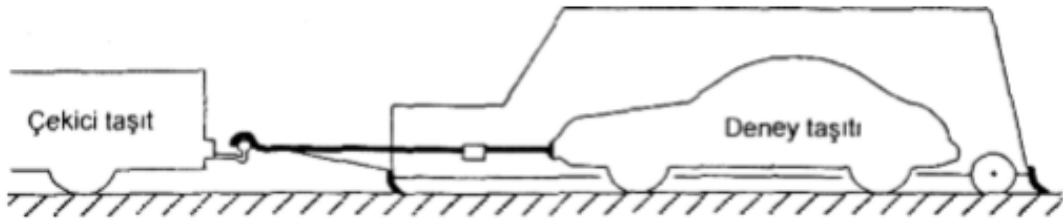
### 2.3 Aerodinamik Kuvvetlerin Belirlenme Yöntemleri

Otomobillerde hava direnci katsayısı 0,3 ile 0,4 arası değişir ve aerodinamik direnci geliştirme çalışmaları fiziksel olarak (genellikle rüzgâr tüneli testi ile) veya giderek artan bir şekilde nümerik simülasyon yöntemlerle yani CFD yöntemi ile belirlenir (Watkins ve Wino 2007).

### 2.3.1 Yol Testleri

Gerçek şartlarda yapılan yol testleri bir takım zorlukları olmasına rağmen araştırmalar için önemli bir yeri vardır. Hareketli bir otomobil için deney yapıldığında bir takım mekanizmaya sahip olunması gerekir ayrıca otomobile belirli bir sayıda ölçü aleti yerleştirilebilir. Farklı gövde tasarımına sahip iki otomobil için ölçü donanımlarının birbirlerine aktarılması gerekmektedir. Bu donanımlar farklı araç geometrileri için sorun oluşturabilir bu da araştırma şartları açısından zorluk çıkartmaktadır. Ölçü aletlerinin hassas bir şekilde taşınabilmesi gereklidir aksi halde deneyin tekrarlanabilirliği sınırlı kalmaktadır. Ayrıca kontrolü mümkün olmayan rüzgâr gibi çeşitli çevre etkenlerine bağımlıdır (Demircioğlu 2007).

Aerodinamik direnci doğru şekilde ölçmek için yuvarlanma direnci bilinmelidir. Çünkü gerçek yol şartlarında otomobil yuvarlanma direncine de maruz kalır. Sadece yuvarlanma direncinin belirlenmesi için otomobil çevredeki havaya maruz kalmamalıdır. Bu yüzden araç bir muhafaza ile kapatılır (Şekil 2.16). Muhafaza içindeki aerodinamik kuvvete maruz kalmayan otomobilin direnç kuvveti hassas ölçüm cihazları ile ölçülür ve değer elde edilir. Daha sonra yapılan yol deneyindeki elde edilen büyüklük değer, muhafaza içinde ölçülen yuvarlanma direncinden çıkartılır. Bu şekilde aerodinamik direnç hesaplanır (Demircioğlu 2007).

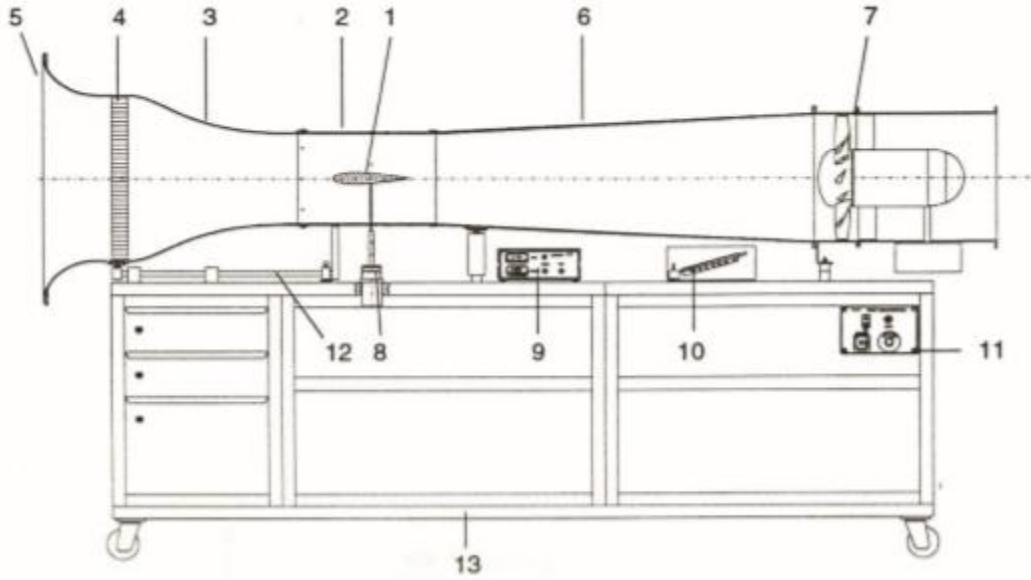


Şekil 2.16 Tekerlek yuvarlanma direnci ölçüm düzeneği (Demircioğlu 2007).

Bir diğer yol testi ölçüm yöntemi ise otomobilin belirli bir hızdan yavaşlamaya bırakıldığı yöntemdir. Bu yöntem ile de iyi sonuçlar alınmıştır.  $C_D$  katsayısının hesabı, otomobil durana kadar ilerlediği yolun uzunluğu ile ve yavaşlama ivmesinin ölçümü ile yapılır (Demircioğlu 2007).

### 2.3.2 Rüzgâr Tünelleri

Aerodinamik direncin hesaplanmasında bir diğer yöntem rüzgâr tüneli testleridir. Rüzgâr tüneli testlerinde gerçek boyutlu model kullanılabildiği gibi küçük modeller de kullanılabilir. Daha küçük modellerin kullanımı yol testlerine göre daha kolay gerçekleştirildiği ve az maliyetli olduğu için avantajlıdır. Gerçek boyutlu bir model ile yapılacak bir çalışmada ise yol testinden daha maliyetli olabilir (İçingür ve Solmaz 2011). Rüzgâr tüneli modellerinin tasarımı ve üretimi genel olarak oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir süreçtir ve benzerlik gereksinimlerini, ölçüm gereksinimlerini, güç gereksinimlerini ve işleme gereksinimlerini karşılamalıdır (Zhu 2019).



Şekil 2.17 Rüzgâr tüneli şematik resmi (İçingür ve Solmaz 2011).

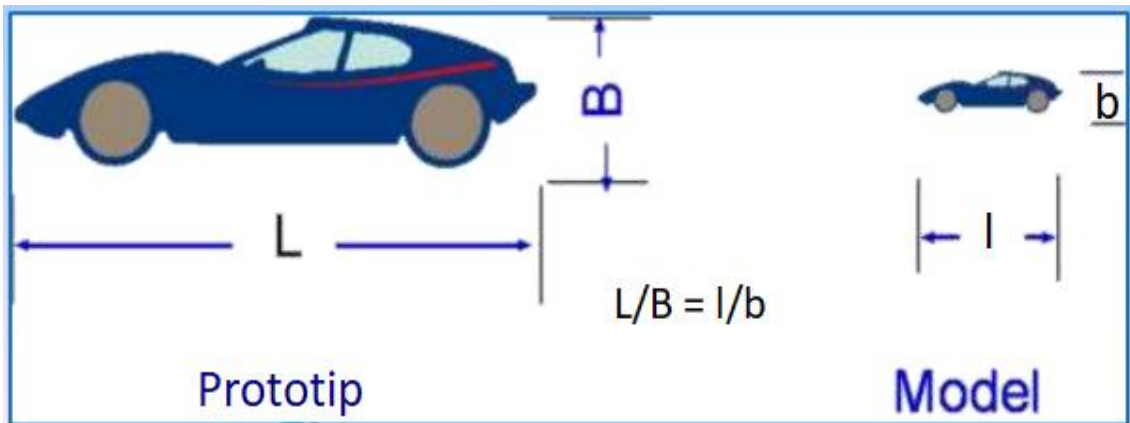
- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 1. Model                   | 10. Eğik manometre   |
| 2. Test Odası              | 11. Şalter kutusu    |
| 3. Kısıcı                  | 12. Ray              |
| 4. Akış düzeltici          | 13. Taşıyıcı İskelet |
| 5. Emiş kısmı              |                      |
| 6. Yayıcı                  |                      |
| 7. Fan                     |                      |
| 8. İki eksenli yük hücresi |                      |
| 9. Amplifikatör            |                      |

Üzerinde deney yapılacak gerçek boyutlardaki modelin kendisi veya prototipi test odasına yerleştirilir. Test koşulu için belirlenen hava akış hızı ve gerekli açı değeri ayarlanır. Model üzerinden akan hava akış hattı görüntülenir ve ölçüm cihazları ile ölçümler yapılır (İnt. Kyn. 6).

Rüzgâr tüneline (Şekil 2.17) emiş kısmından hava girişi sağlanmaktadır. Fan devri, şalter kutusu üstünde bulunan fan devir ayar şalteri ile değiştirilir ve bu şekilde akış hızı istenilen hızda ayarlanır. Akış düzeltici sayesinde giren havanın hareketi düzenlemektedir. Havanın akış hızı ise rüzgâr tüneli üzerindeki eğik manometre ile ölçülür. 16 kolonlu sıvı manometre sayesinde rüzgâr tünelineki basınç ölçümleri yapılır. Sağlıklı bir çalışma için rüzgâr tüneline giriş kısmından 1 metre, çıkış kısmından ise 2 metre önünde herhangi bir obje veya duvar olmamalıdır (İçingür ve Solmaz 2011).

Araç aerodinamiği ile ilgili çalışmalarda, prototip ve model araba arasında üç farklı benzerlik koşulu sağlanmalıdır. Bunlar geometrik, kinematik ve dinamik benzerlik koşullarıdır. (Bayındırlı 2019).

Geometrik benzerlik boyutlar (uzunluklar) arası oranı esas alır. Bir koordinat sisteminde bütün boyutlar (genişlik, uzunluk ve derinlik) aynı lineer ölçek oranına sahipse model ve prototip geometrik olarak benzer kabul edilir (İnt. Kyn. 5).



Şekil 2.18 Geometrik benzerlik için prototip ve model.

Hız vektörünün prototipler ve modeller üzerindeki oranları, kinematik benzerlik sağlamak için aynı olmalıdır. Kinematik benzerliğin sağlanması, rüzgâr tüneli deneylerindeki blokaj etkisine de bağlıdır. Blokaj oranı, modelin ön yüzeyinin, rüzgâr tüneli test bölümünün ön yüzeyinin alanı ile orantılı olarak tanımlanır. Literatürde rüzgâr tüneli testlerinde blokaj etkisinin ihmal edilmesi için blokaj oranının %7.5 sınırının altında olması önerilmektedir (Ozel vd. 2015 ).

Reynolds sayısı bağımsızlığı dinamik benzerliği sağlamak için kullanılmaktadır. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanır. Atalet ve viskoz kuvvetlerin tam dinamik benzerliği sağlamak için etkili kuvvet olduğu çalışmalarda Reynolds sayısı model ve prototip için aynı olmalıdır. Bununla birlikte, modeller ve prototipler aynı boyutta değilse, Reynolds sayısında eşitlik elde etmek çok zordur (Ozel vd. 2015). Birçok cisim için direnç katsayısı Reynolds sayısının bir eşik değerinden sonra değişmez. İşleri kolaylaştıran bu duruma Reynolds sayısı bağımsızlığı denir.

Rüzgâr tünelleri hız ve tasarım biçimleri gibi özelliklerine göre farklı sınıflara ayrılırlar. Açık ve kapalı devre olmak üzere iki tip rüzgâr tüneli vardır. Hız limitlerine göre ise göre de ses altı, ses hızına geçiş ve ses üstü olarak üç sınıfa ayrılırlar. Kapalı devre sistem açık devre sistemine göre daha pahalıdır. Ancak kapalı devre sisteminin daha az gürültülü çalışması, yüksek akım kalitesi ve harcadığı enerjinin daha az olması gibi özellikleri onu avantajlı yapar (İnt. Kyn. 6).

Rüzgâr tünelleri bir otomobilin aerodinamik başarımının incelenmesinin yanında ek parçaların kullanımı ile otomobilin yol tutuş özelliklerini iyileştirme, yakıt tüketimini azaltma ve kirlenme gibi sorunları için çalışma yapılmasını sağlar (İnt.Kyn. 6).

Rüzgâr tüneli modellerinde alüminyum, ahşap, çelik veya kompozit cinsi malzemeler kullanılır. Test esnasında modelin maruz kaldığı aerodinamik ve yerçekimi kuvvetlerini taşıyabilmesi gereklidir. Olası bir parça kopması durumunda tünele ve kullanılan modele zarar gelmemesi için uygun tasarım ve doğrulama metotlarının kullanımı gereklidir (İnt. Kyn. 7).

### 2.3.3 Nümerik Analiz Yöntemi

İkinci dereceden denklemler, düzgün geometriye sahip kısmi türevli lineer diferansiyel denklemler ve sistemlerinin analitik yöntemlerle çözüme gidilmesine karşılık diğer durumlarda pek kolay olmamaktadır. Hatta çoğu kere bu imkânsızdır. Bundan dolayı büyük denklem sistemleri, lineer olmama durumu ve karmaşık geometri durumlarında sayısal yöntemler veya deneysel yöntemler uygulanmaktadır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayısal yöntemlerin yoğunluğunu ve etkinliğini artırmıştır (İnt. Kyn. 8).

Nümerik analiz veya diğer adıyla Sayısal çözümlenme, matematiksel problemlere sayısal çözümler yapan bir bilimsel hesaplama matematiği olarak geçmektedir. Bu karmaşık matematiksel problemlerin sayısal çözümleri yüksek hızlı bilgisayarlar ile yapılır. Böylece nümerik analiz, algoritmaları çalıştırıp geliştirerek matematiksel problemleri çözüp analizini yapar (İnt. Kyn. 9).

Otomobillerde aerodinamik etkileri incelemek,  $C_D$  katsayısını hesaplamak gibi işlemler için CFD (Computational Fluid Dynamics) yani hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile nümerik olarak incelenir. Sayısal analiz yönteminin deneysel çalışmalara göre çok daha kısa sürede sonuç vermesi ve maliyetsiz olması en bilinen avantajıdır. Gelişen teknoloji ile yüksek hızlı bilgisayarlar ve bilgisayar destekli programların rüzgâr tüneli testlerine ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesi kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Öncelikle analiz edilecek olan modelin geometrisi bilgisayar ortamında CAD (Computer Aided Design) veya 3 boyutlu tarayıcı yardımı ile oluşturulmalıdır. Hesaplamaların yapılabilmesi için bu modelin bir ağ yapısına (mesh) sahip olması gerekir. Bu ağ sonlu elemanlara bölünerek oluşturulur. Akışkanın etki ettiği gerekli sınır şartları tanımlanır. Akışkanın cinsi, akış hızı, model, türbülans viskozitesi ve yoğunluk gibi değerler belirlenerek çözüme geçilir. Çözüm sonunda elde edilen veriler incelenip yorumlanır.



Fluent programı süreklilik, momentum, enerji, türbülans için genel integral denklemlerini sonlu hacimler metodunu kullanarak çözmektedir. Sonlu hacimlerin hesaplamalı akışanlar dinamiği (HAD) ile çözümlenmesinde süreklilik ve momentum denklemleri kullanılır. Uygulamada bu denklemleri analitik olarak çözmek zordur. Bu yüzden bu denklemler paket programlar kullanılarak nümerik olarak çözümlenir (Bayındırlı vd. 2018).

### 2.3.3.1 CFD İle İlgili Çalışmalar

Otomobiller motor tarafından üretilen güç ile uğradıkları kayıpları telafi ederler. Aerodinamik direnç bunlardan biri olmakla beraber düşük hızlarda önemli bir kayıp yaşatmamaktadır. Yüksek hızlarda ise direnç kaybının büyük değerlere ulaşmasının sebebi araç hızının karesi ile doğru orantıda artmasıdır. “Solidworks” bilgisayar destekli tasarım programı yardımı ile katı modeli çizilen bir F1 aracının  $C_D$  ve  $C_L$  katsayısını Ansys programında k-ε türbülans modeli ile tespit edilmiştir. F1 aracının 130 km/h değeri için  $C_D$  katsayısını 0.516 ve  $C_L$  katsayısını 0.425 olarak hesaplamıştır. Bu değerler gerçek değerden çok uzak bir sonuç olduğunu bunun nedenin geometrik benzerliğin tam sağlanamaması, ağ sayısının yetersiz olduğu ve çözümlenme yapan bilgisayar kapasitesinin yetersiz olduğundan kaynaklandığını ifade etmiştir (Demircioğlu 2007).

Bir sedan yarış aracın arka tamponunu yapısını değiştirerek sayısal bir işlem (Sonlu Hacimler Yöntemi) ile analiz ederek aerodinamik bakımdan iyileşme elde etmişlerdir. CFD metodu ile k-ε türbülans modelinden faydalanarak yaptıklarını nümerik analiz sonucunda model aracın  $C_D$  katsayısını 0.323 olarak tespit etmişlerdir ve sürtünme katsayısının azaltılabileceğini düşünerek çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucu geliştirdikleri 5 değişik tampon düfüzörleri ile  $C_D$  katsayısını %22.13'e kadar azaltmışlardır. Minimum  $C_D$  katsayısını 0.25 olarak tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin araç arkasında negatif basınç bölgesinin azaltılmaktan kaynaklandığını ifade etmişlerdir (Hassan vd. 2014).

Sarı gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmasında Renault Kangoo marka hafif ticari araç catia programı kullanarak modellemiş, nümerik yaklaşık çözüm yöntemi olan sonlu

hacimler yöntemi ile Fluent® programında analiz edilerek, sanal koşullarda aracın ön formuna etkileyen hava direnci ve  $C_D$  direnç katsayıları bulunmuştur. Farklı taşıt ön cam ve kaput açıları için  $C_D$  direnç katsayıları belirlenmiş, ön cam ve kaput için en uygun açıları elde etmiştir. Farklı açılardaki  $C_D$  katsayılarını karşılaştırılmış ve bu verilerin yakıt sarfiyatına olan etkileri enerji cinsinden hesaplayarak birbirleriyle karşılaştırmıştır (Sarı 2007).

Belirli bir otomobilin ön bölümündeki aerodinamik etkilerin ve enerji kaybının sayısal incelemesi yapılmıştır. Ölçüleri belirlenmiş araç Solidworks programında modellenmiştir. Modellenen otomobil modeli üzerinde Ansys Fluent yazılımında k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Taşıtın ağ yapısı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Çözüm için Ansys'de sınır şartları olarak serbest akış hızı 27 m/s alınmıştır ve hava akış özellikleri belirlenmiştir. Ön bölümü kapalı olan otomobil modeli için sürüklenme ve kaldırma katsayıları Fluent programında analiz edilerek hesaplanmıştır. Daha sonra aracın ön bölümüne delik açılarak ve ızgara yerleştirilerek analizler ayrı ayrı tekrar yapılmıştır. Ayrıca, aracın ön bölümündeki deliğin arkasına rüzgâr türbini ilave edilmesiyle veriler tekrar incelenmiştir. Sonuç olarak ön bölümünde delik, ızgara, türbin bulunan araçlarda enerji tüketiminin kapalı form otomobile göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak otomobile ilave edilen rüzgâr türbini yardımıyla üretilen enerjinin ana model otomobile göre oluşan kayıp enerjiden daha fazla olduğu görülmüştür. Böylece otomobile etkileyen aerodinamik kayıp enerjinin bir kısmının rüzgâr türbini yardımıyla geri kazanımının mümkün olduğu görülmüştür (Yıldız 2018).

Çalışma kapsamında minibüste spoiler kullanımı ile hava direnci kuvvetinde iyileştirme elde edilmek istenmiştir. Solid Works® programında 1/15 oranında minibüs modeli oluşturulmuş ve bagaj üstü için spoiler çizilmiştir. Spoiler minibüs bagajı üstüne 10 mm ( $L/H=0.065$ ) ve 15 mm ( $L/H=0.1$ ) mesafelerinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Spoiler kullanımı ile minibüsün arka kısmında meydana gelen negatif basınç alanı düşürülmek istenmiştir. Bu kapsamda Fluent programında beş farklı akış hızı ile yapılan testlerin sonucunda aerodinamik direnç katsayılarının büyük bir kısmını oluşturan negatif basınç kaynaklı sürüklenme kuvveti azaltılmıştır. Aerodinamik direnç katsayısı sırası ile ortalama ( $C_D$ ) %4.96 ve %5.27 azaltılmıştır. Model minibüs etrafındaki akış

yapısı ve taşıt gövdesi üzerindeki basınç dağılımına ait akış görüntülemeleri Fluent ile yapılmıştır (Bayındırlı ve Çelik 2019).

SAAB 9-3 Sport sedan ve SAAB 9-3 Sports modelli araçta gövde altı üzerindeki sürtünme azaltma etkisi üzerine incelenmiştir. Analiz için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanılmış, yani rüzgâr tüneli testi yapılmamıştır. Simülasyonlar, düz bir gövde ve bir difüzör ile aerodinamik sürüklenme kuvvetinde büyük bir iyileşmenin sağlanabileceğini göstermiştir. Farklı ek aerodinamik parçalar ve difüzör tasarımlarında, en etkili sürtünme azaltma durumunu bulmak için simüle edilmiş ve en etkili biçimin, arka jantları kapalı olan bir difüzörden oluştuğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, taşıtların aerodinamiğini, özellikle de alt gövdede iyileştirme olasılıklarının hala olduğunu göstermiştir. Gövde altı paneller ve bir difüzör kullanıcı ile sürtünme direnci önemli ölçüde azaltılabilir ve dolayısıyla daha düşük yakıt tüketimi sağlanabilir (Johan ve Rikard 2011).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), süreklilik ve momentum denklemlerini ve uygulamaya bağlı olarak uygun yardımcı denklemleri çözmek için yinelemeli yöntemleri kullanan bir akış modelleme tekniğidir. Bu makalede Citroen C5 2007 için bir arabanın ön ve arka cam açılarının sürüklenme kuvveti üzerindeki etkisini incelenmiştir. Sonlu hacim yöntemi esas alınarak sayısal sonuçlar elde edilmiş ve otomobilin aerodinamik davranışı farklı ön ve arka cam açıları ile incelenmiştir. İlk sonuçlar, en az sürüklenme katsayısına dayanarak otomobil için en uygun şekli tahmin etmeye yardımcı olmuştur. Bu araştırma kapsamında, ön ve arka cam açı tasarımının önemini ve araç şeklinin yüzey pürüzlülüğünün önemini görülmüş ve modifiye edilmiş araba modelinin aerodinamik sürüklenme katsayısı, ilk araba tasarımından yaklaşık % 8,88 daha düşük olan 0,41'e düştüğü gözlemlenmiştir. Bu yakıt tüketiminde önemli bir azalmaya denk gelmektedir (Elrawemi ve Aburawey 2019).

Muthuvel ve arkadaşları otobüs gövdesi inşaat şirketlerinin önceliğinin otobüsün dış yüzeyi ve yapısı olduğunu, aerodinamik yönünün görmezden geldiğini ve mevcut şehirlerarası otobüslerin zayıf aerodinamik dış tasarıma sahip olduğunu belirtmiştir. Yapmış oldukları projenin amacı, otobüsün sürüklenme kuvvetinin etkisini azaltmak için

otobüsün dış yüzeyini ve yapısını değiştirerek aerodinamik iyileştirme sağlamaktır. Dört değişik gövde şekline sahip otobüs modelinin aerodinamik yapısını nümerik yöntemle CFD analizi kullanarak yapmışlardır. Deneysel olarak ise rüzgâr tüneline incelemişlerdir. Farklı hız değerleri için yaptıkları testlerde otobüs modelinin ön yüzey alanını ve ön tampon formunu konik bir biçimde değiştirerek akış yapısını aerodinamik bakımdan iyileştirmiş ve test sonucunda, mevcut otobüsten yeni otobüs formuna kadar sürükleme kuvvetinde yaklaşık %30 - %34 oranında önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir (Muthuvel vd. 2013).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Kullanılan Yöntem ve Programlar

Bu çalışmada Fiat punto marka otomobilin yan aynayı koruyan dış yüzeyi 3 boyutlu tarayıcı kullanılarak taratılmış, meshlab ve meshmixer gibi yardımcı programlarla katılaştırılıp Solidworks programına aktarılmıştır. Burada parça ürün ağacında tanımlatılıp düzenlenerek mesh oluşturmak için Ansys programına aktarılmıştır. Mesh oluşturduktan sonra fluent ara yüzünde CFD metodu ile 100 km/h hız için hava direnci katsayısı hesaplanmış ve aynı işlem üç farklı geometrik şekil için uygulanıp birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

##### 3.1.1 3 Boyutlu Tarayıcı

Yan ayna parçası, el yapımı 3 boyutlu tarayıcı ile taratılmıştır. 3 Boyutlu Tarayıcı bilgisayar programı yardımı ile kullanılır. Tarama işlemini yapmak için öncelikle kalibrasyon yapmak gerekir. Kalibrasyon için ise aşağıdaki desen kullanılıp şekildeki gibi siyah bir platforma konulmalıdır.



**Resim 3.1** Çalışmada kullanılan 3 boyutlu tarayıcı modeli.

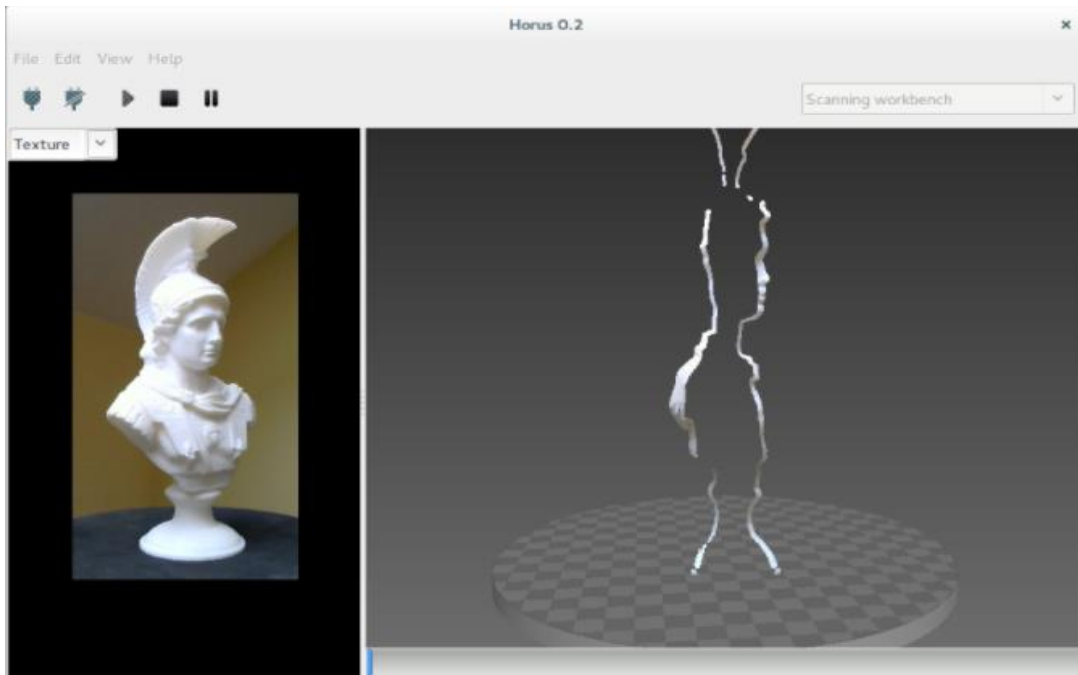
3 boyutlu tarayıcı, nesnelere 3D olarak modelleyerek CAD programlarına uyumlu dosyalara dönüştürmektedir. Tarama esnasında modele kameranın yanında bulunan

lazerler ile ışık gönderilir ve böylece modelin genel hatları belirlenir. Yardımcı bilgisayar destekli programların kullanımı ile nokta bulutlu şekilde oluşan modelin iç ve dış kısmı doldurulur. Gerçek model ile bilgisayar ortamında oluşan model arasında bir takım farklılıklar olabilir. Bu modelin fazla girintili yüzeyinin olmasından, model yüzeyindeki kirlerden veya tarama yapılan ortamın ışık kaynağından oluşabilir. (İnt. Kyn. 10).

Ürünlerdeki hataların giderilerek yeniden üretilmesi, parçalardaki ölçü kontrolleri, artık üretilmeyen ya da üreticisi bulunamayan bir ürüne ihtiyaç duyulması halinde, o ürünün tekrar üretilmesi ve ürüne ait ana dosyanın kaybolması ya da bulunamaması durumunda 3 boyutlu tarayıcıların kullanım avantajı bulunmaktadır (İnt. Kyn. 10).

### 3.1.2 Horus Programı

3 Boyutlu tarayıcı Horus programı yardımı ile kullanılır. Bu program ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Lazer konumu, ışık ayarları ve motor dönme derecesi ile panelin dönme hızı ayarlanır. Taratılan parçanın nokta bulutu şeklindeki görüntüsü ekrana ilk olarak Horus programında gelir.

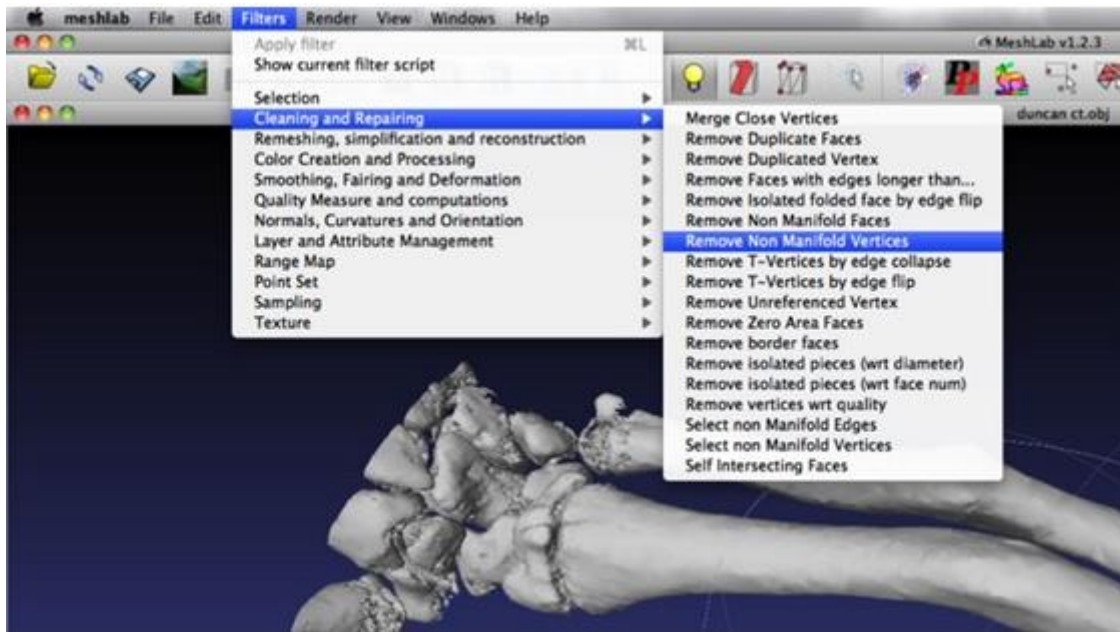


**Resim 3.2** Horus programında üç boyutlu taratılan bir model.

Başlangıç ayarında 200 mm çapında bir alana ve yüksekliğe tarama yapan program, ayarlardan 250 mm ye kadar çıkartılabilir. Tarama işlemi devam ederken ortam ışığının sabit kalmasına dikkat edilmelidir. Parça tarandıktan sonra .ply formatında kaydedilerek işlem sonlandırılır.

### 3.1.3 MeshLab

MeshLab, yapılandırılmamış 3B üçgen ağların işlenmesi ve düzenlenmesi için açık kaynaklı ve ücretsiz bir sistemdir. Birçok uzantılı dosyayı açabilen ve farklı uzantılarda kaydetmemizi sağlayan bu yazılım, istenmeyen bölümleri ortadan kaldırmak ve belirli bölümleri izole etmek için 3B görüntünün işlenmesine izin verir. Ağ, yinelenen veya referans verilmeyen köşeleri, deliklerin otomatik olarak doldurulmasıyla temizlenmelidir. Bu, "filtreler" altındaki açılır menüden yapılmaktadır. Bu işlemler yapıldıktan sonra, ağ bir .stl dosyası olarak kaydedilir. Stl, 3D Systems (Rock Hill, SC) tarafından oluşturulan bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımına özgü bir dosya formatıdır. Bu format birçok yazılım paketi tarafından desteklenir ve hızlı prototipleme ve bilgisayar destekli üretim için yaygın olarak kullanılır (Frame ve Huntley). Sistem Ply, Stl, Off, Obj, 3DS, VRML 2.0, X3D gibi formatları desteklemektedir.



Resim 3.3 MeshLab programı arayüz örneği.

### 3.1.4 Meshmixer

Meshmixer üçgen ağlar ile çalışan, Stl dosyalarını oluşturmak, değiştirmek, incelemek ve düzeltmek için kullanılabilen Autodesk'in ücretsiz ve açık tabanlı bir yazılım parçasıdır. Basit ve kullanışlı bir ara yüze sahiptir. Genel olarak taranmış olan 3B modeli düzenleyip yazdırmak için kullanılır. Ana özelliklerden bazıları şunları içerir;

**Ağ ve Karıştırma:** Birden çok modeli birçok yaratıcı şekilde kolayca birleştirmeye olanak tanır, bu şekilde ağlar kolayca kesebilir ve birkaç tıklamayla birleştirilebilir. Düzlem kesimleri, aynalama ve mantıksal araçlar ağları birleştirmeye yardımcı olur.

**Şekillendirme:** Modelleri farklı araçlar kullanarak gerçek zamanlı olarak kil olarak özelleştirir.

**Damga:** Farklı ızgara ve desen seçenekleri kullanarak modelleri işler.

**Düzenle:** Modelleri değiştiren ve 3B yazdırma için optimize eden komut.

**Analiz:** 3D baskı ile ilgili modellerin farklı özelliklerini (örneğin kalınlık, sağlamlık, kararlılık) analiz eder.

**Yazdır:** Oluşturulan modeli doğrudan bağlı bir masaüstü 3B yazıcıda veya çevrimiçi bir 3B yazdırma hizmetini kullanarak yazdırır

### 3.1.5 Solidworks

Solid Works, tasarım dünyasında gelişen teknoloji ile hız kazanan iş yaşamına ayak uydurmak için kullanımı kolay, güvenilir ve Windows için hazırlanmış üç boyutlu tasarım programıdır. 1995 yılından bu yana sürekli geliştirilerek geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmış olan bu program, temelde Windows işletim sistemleriyle çalışan ilk 3D modelleme programı olma özelliğine sahiptir.

SolidWorks CAD programları arasında kullanımı en kolay olan programlardan birisidir. İnternette bulunan birçok ücretsiz eğitim videoları ile SolidWorks kolayca öğrenilebilir. En yaygın kullanılan 3 boyutlu katı modelleme yazılımıdır. Bünyesinde bulundurduğu hazır parçalar, üç boyutlu modelden iki boyutlu çizime geçişteki kolaylığı, ayrıca bünyesindeki "Hole Wizard" ile metrik veya inch, havşalı veya faturalı tüm delikleri



oluşturarak montaj ve tasarımda hız sağlar. SolidWorks makine, mobilya, plastik/sac kalıpcılığı, otomasyon, mekatronik, endüstriyel ürün tasarımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

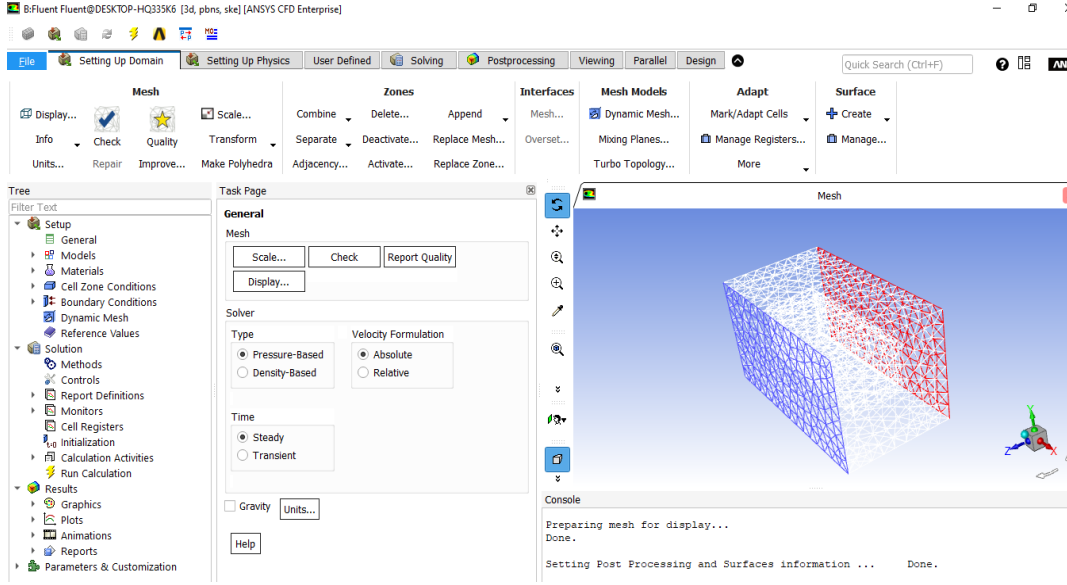
### **3.1.6 Ansys**

1970 yılında kurulan Ansys Inc, ürün tasarımlarının gerçek dünya ortamlarında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılan mühendislik simülasyon yazılımını geliştirir, pazarlar ve destekler. Ansys yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan ilişkisini simüle etmekte kullanabilen genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu sayede ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar.

Ansys, çeşitli modülleriyle daha birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılır. Ansys'in 3 temel modülü olan Structural (Yapısal), Fluent (Akış) ve Electromagnetics (Elektromanyetik) yaygın olarak kullanılmaktadır. Structural modülü malzemelerin dayanımları ile ilgili problemlerde, Fluent modülü akış analizlerinde ve Electromagnetics modülü ise manyetik alanların olduğu uygulamalar için kullanılır. Ansys; otomotiv sanayisi, havacılık ve uzay, enerji teknolojileri, ısıtma ve soğutma sektörü ve yenilenebilir enerji sektörü gibi mühendisliğin birçok alanında sıklıkla kullanılır (İnt. Kyn. 11).

### **3.1.7 Fluent**

Hesaplamalı akışkanlar çözücüsü olan Ansys Fluent programı bütün mühendislik alanlarında kullanılan gelişmiş akışkanlar dinamiği hesaplamaları yapabilen modüle sahiptir. Dünya üzerinde uçak, gemi ve otomobil gibi taşıtların hava ve su ortamında analizinin yapılması için kullanılan bu program, bir akışkan gibi hareket eden sayısal ağların oluşturulması ve analizlerinin yapılması ile kapsamlı bir akış simülasyonu yapabilir. Ansys Fluent ile yalnız sıvılar değil, gaz ve yarı akışkan haldeki maddelerin simülasyonu da yapılabilir. Uçak kanatları üzerindeki hava akışı, bir canlıdaki dolaşım sistemi, türbinlerdeki akış, bina tesisatı içerisindeki su akışı buna örnektir (İnt. Kyn. 12).



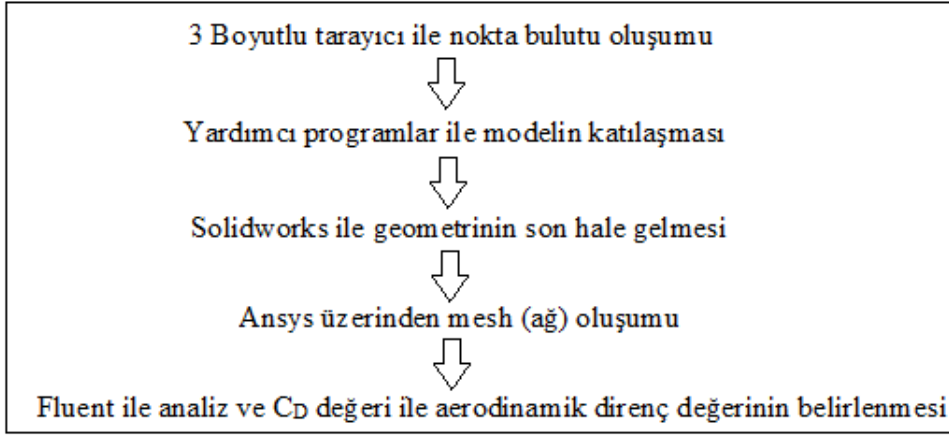
**Resim 3.4** Fluent programı arayüz örneği.

Fluent yazılımının Ansys Workbench'e entegre edilmesi sayesinde, kullanıcılar çok yönlü olarak başlıca tüm CAD sistemlerine çok yönlü bağlantı sağlayabilir, güçlü bir geometri düzeltme ve oluşturma aracı olan Ansys Desing Modeler ve gelişmiş sayısal ağ (mesh) oluşturma aracı Ansys Meshing araçları kullanabilirler. Ansys Fluent modülünün hızlı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etmesi ve kapsamlı fiziksel modelleme seçeneklerinin olması onu CFD alanında en kapsamlı ve tercih edilen yazılım paketlerinden biri yapmaktadır.

### 3.2 Çalışma Yöntemi

Yapılan çalışmada Fiat punto marka otomobilin yan aynasının dış kapağı kullanılmıştır. Geometrinin oluşturulması için tarama işlemi Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ciclop 3D tarayıcı ile yapılmıştır.

İlk olarak otomobil yan ayna modeli 3 boyutlu tarayıcı ile taratılarak modelin nokta bulutu oluşturulmuştur. Ardından MeshLab ve Meshmixer gibi yardımcı programlar ile geometri katı şeklini almış ve çerçeve eklenilerek son halini alması için stl. formatında Solidworkse aktarılmıştır. Ansys programı ile ağ oluşturularak farklı hız değerleri için Fluent üzerinden CFD metodu ile analiz yapılmış ve değerler elde edilmiştir. Çalışmada kapsamında iş akış şeması Resim 3.5'te gösterilmiştir



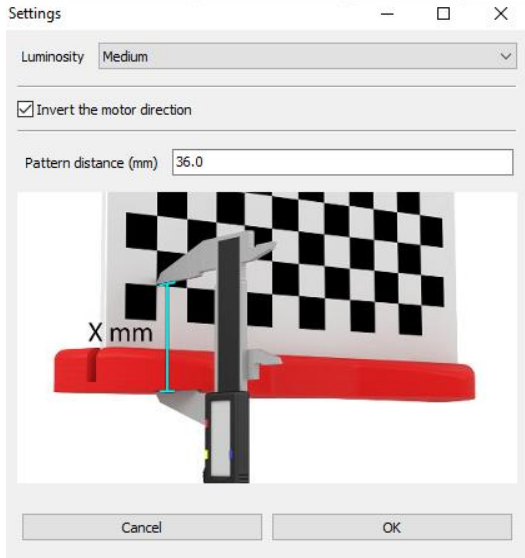
**Resim 3.5** Çalışma kapsamında yapılan iş akış şeması.

Öncelikle 3D ciclop tarayıcıyı kullanabilmek için kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Kalibrasyonun doğru olması için öncelikli olarak lazerler kontrol edilmiştir. Horus programı üzerinden “Control workbench “ ve “Laser control” adımları takip edildikten sonra lazer çizgileri siyah platformun üzerine ince ve dik olarak düşecek şekilde el ile ayarlanır. Kalibrasyon deseni, lazerlerin aydınlatıp kameranın taraması için motor ile dönen siyah yuvarlak platforma kameraya tam karşıdan bakacak şekilde yerleştirilmiştir. “File”, “Launch wizard” ve “Connect” adımları takip edilerek ve ekrana görüntü gelmiştir. Ortam ışığı, kamerada kalibrasyon deseni üzerinde renkli ışık çizgileri görülecek şekilde ayarlandıktan sonra işleme devam edilmiştir.

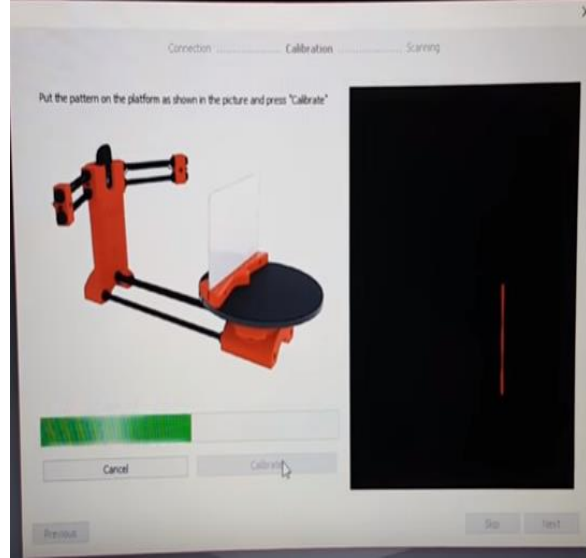


**Resim 3.6** Kalibrasyon deseni üzerine gelen renkli ışık çizgileri.

Kalibrasyon deseni üzerine gelen çizgiler tarayıcının kalibre edilmeye hazır olduğunu gösterir. “Edit Settings”, “Pattern distance” ölçülüp milimetre olarak girilir. Daha sonra “auto check” yapılarak kalibre edilir. “Next”, “Calibrate” seçenekleri ile ilerleyerek kalibrasyon işlemi tamamlanır.



**Resim 3.7** Desen uzaklığının ayarlanması.



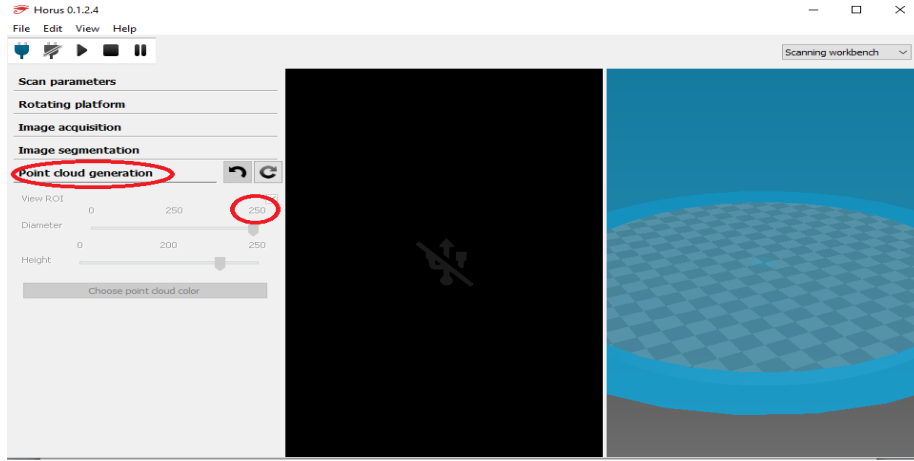
**Resim 3.8** Kalibrasyon işleminin tamamlanması.

Resim 3.7’de işlemi başlatmak için desen ile zemin arasındaki mesafe 36 milimetre olarak ölçülüp girilmiştir. Resim 3.8’de ise gerekli tüm işlemler yapıldıktan sonra platformun 360 derece dönüp lazerler tarafından taranarak kalibrasyon işleminin tamamlanması gösterilmiştir.



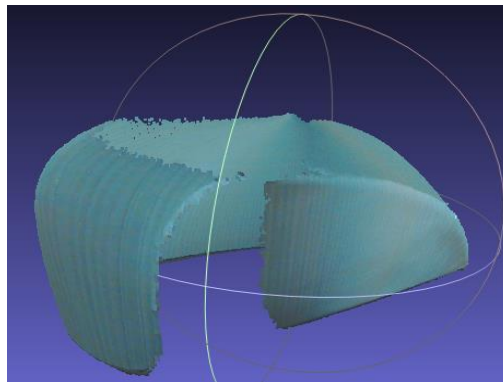
**Resim 3.9** Çalışmada kullanılan otomobil yan ayna modeli.

Yan ayna dış yüzeyi, aynanın olduğu kısım platformun üzerine gelecek şekilde yatay olarak yerleştirilmiştir. Başlangıçta 200 mm gibi bir tarama hacmine ayarlı olan program, parçanın yatay uzunluğundan dolayı yetersiz kalmıştır. Bunun için “Scanning workbench”, “Point cloud generation” adımları takip edilerek taranılan hacim 250 mm ye çıkartılmıştır (Resim 3.10).



**Resim 3.10** Horus arayüzü ve taranılacak alanın ekrandaki gösterimi.

Tarama işlemine başlamadan önce “Scanning workbench”, “Scan parameters”, “Use laser” kısmından tek lazer seçilir. Çift lazer seçili iken parçanın simetrik olamamasından kaynaklı nokta bulutları çakışmakta ve istenilen görüntü alınamamaktadır. Platformu döndüren motor dönme hızı açısı ne kadar yavaş olur ise elde edilen görüntü o kadar net ancak tarama işlemi de o kadar uzun sürede gerçekleşmektedir. Motor hızı ayarı ise “Rotating platform”, “Step degrees” adımları takip edilerek ayarlanmaktadır. Yapılan çalışmada motor dönme derecesi 0.45 olarak ayarlanmıştır

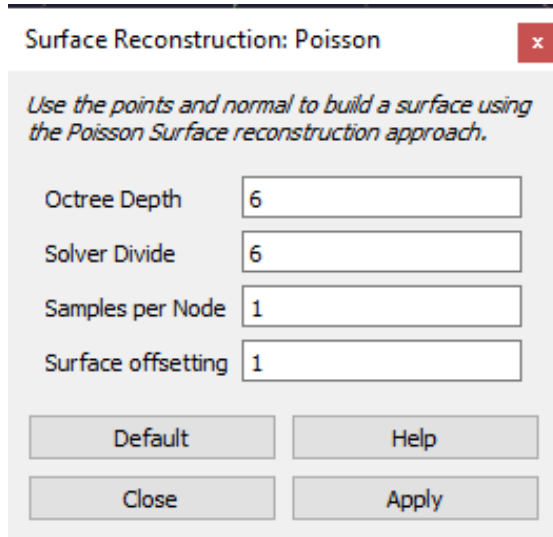


**Resim 3.11** Horus ile tarama işlemi sonrası yan aynanın nokta bulutu dağılımı.

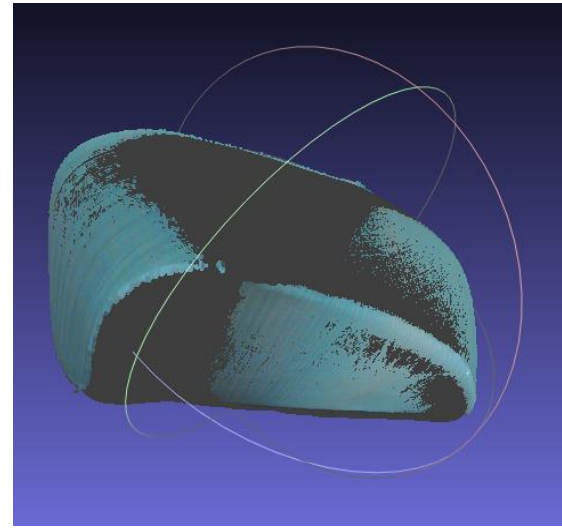
Taramaya başlamak için “Scanning workbench”, “Play” komutu seçilerek işlem başlatılır. Tarama devam ederken ortam ışığının sabit kalmasına dikkat edilmiştir. “View” kısmından panel, video ve scene seçenekleri işaretlenerek tüm arayüzlerden işlem kontrol edilmiştir. Tarama bittikten sonra elde edilen nokta bulutları ply. formatında kaydedilmiştir.

Kaydedilen taranmış model “File”, “Import Mesh” adımları ile MeshLab programına çağırılır. Daha sonra nokta bulutlarının oluşturduğu şekildeki eğrilikler ve boşlukları düzenleyip nokta kümelerinin dolumu için “Filters”, “Normals, Curvatures and Orientation”, “Compute normals for point sets” adımları takip edilir. Bu şekilde nokta kümeleri için normaller hesaplanmış olur ve Apply ile nokta bulutlarına dolum işlemi gerçekleştirilerek model katılaştır.

Ardından “Filters”, “Remeshing, Simplification and Reconstruction”, “Surface Reconstruction: Poisson” ile açılan pencere uygulanarak dolgu tamamlanıp stl formatı ile kaydedilmiştir.



**Resim 3.12** Yüzey yapılandırma komutu.

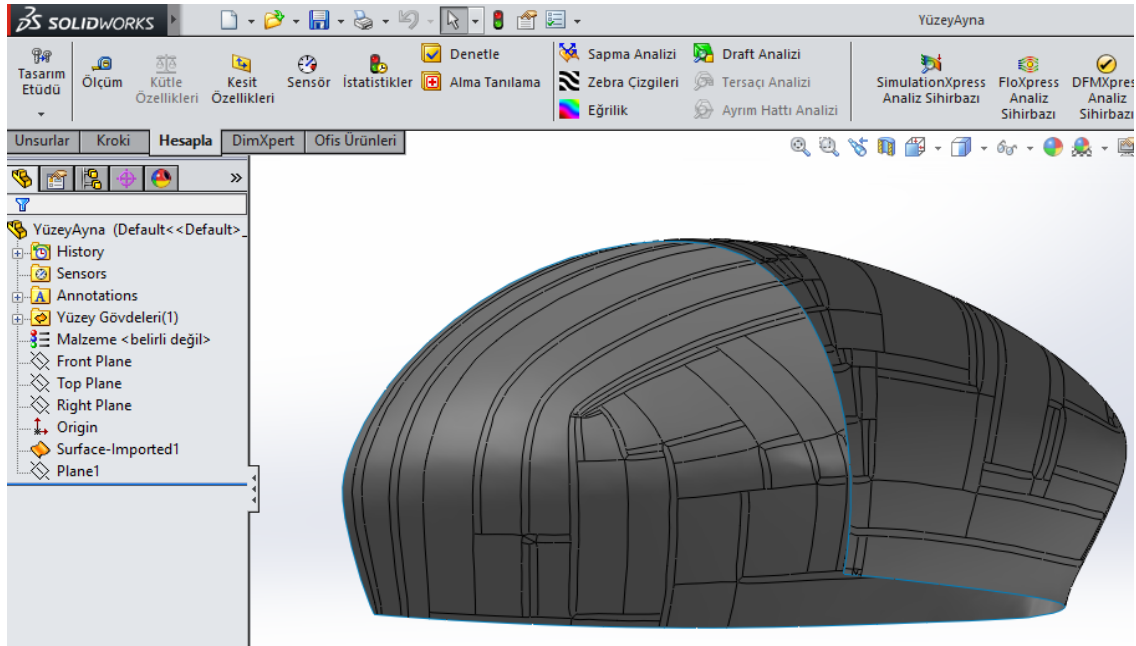


**Resim 3.13** İşlem sonrası yan ayna katı modeli.

Resim 3.12’de nokta bulutlarını doldurarak bir yüzey oluşturmak için sistem tarafından kullanılan normal değerlerin, yüzey yeniden yapılandırma komutunda gösterimi görülmektedir. Resim 3.13’te çalışmada kullanılan yan ayna modelinin MeshLab programındaki işlemi sonrası oluşan hali görülmektedir.

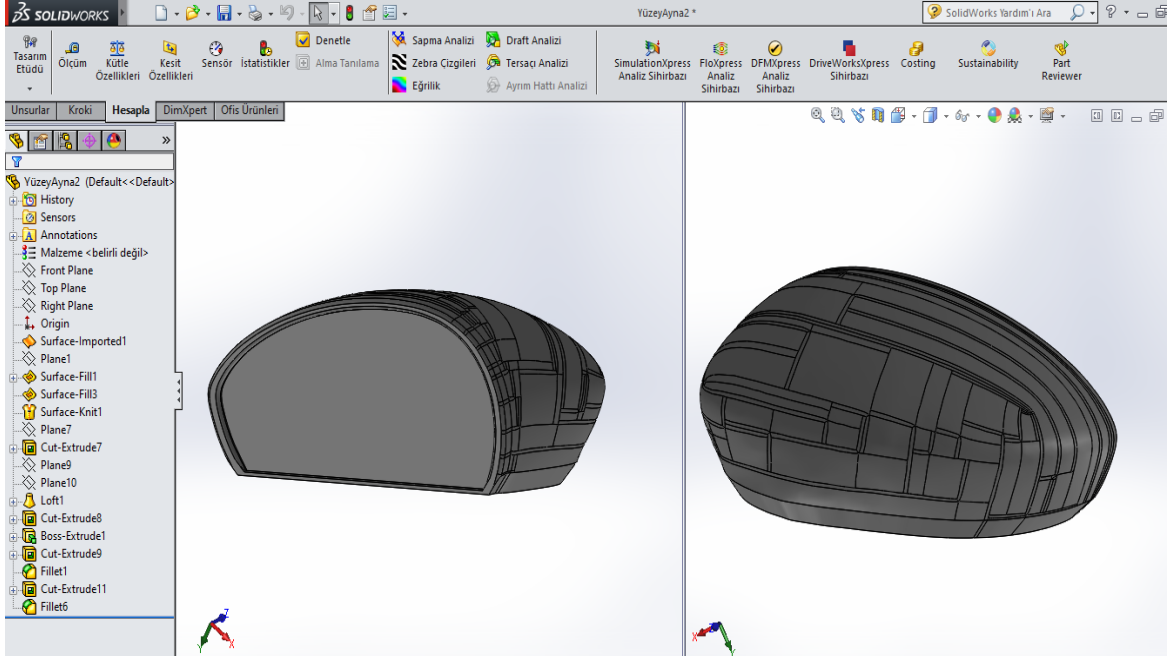
MeshLab sonrası içi boş katılmış şekildedeki yan ayna modelimizin, aynanın olduğu kısımdaki dolguyu kesmek için Autodesk Meshmixer programında import edilerek kaydedilen model çağırılmıştır. Daha sonra “Edit”, “Plane Cut” seçilip dolgu yapılan yüzey kesilerek “File”, “Export Mesh” ile .stl formatında kaydedilip parça 3 boyutlu yazıcıda yazdırılmaya veya Solidworkse aktarmaya hazır hale gelmektedir.

Dış yüzeyi oluşturulan yan ayna modeli son halini almak için SolidWorks programına aktarılmıştır. Modelimizin yüzeyi SolidWorks programında çizilmediği için ürün ağacında eklenen yüzey şeklinde tek parça olarak gözükmetedir. Yapılan işlemler sonunda kabuk şeklindeki parçanın açık kısımları kapatılmış, yüzeyler birleştirilip tek model halini almıştır. Aynanın çerçeve kısmı ise programda çizilerek görsel sağlanmıştır.



**Resim 3.14** Yan ayna modelinin SolidWorks programına aktarılmış hali.

3D sketch komutu ile ayna çerçevesinin bulunduğu konumdaki iki uç birleştirilmiş ve kapatılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan otomobil modelindeki çerçeve ölçüleri eklenmiştir. Yüzeyler kapatıldıktan sonra ayna çevresine 8 mm genişliğinde ve ayna dış yüzeyinin alt kısmına şeklin formuna uygun şekilde 11mm boyutlarında çerçeve çizilmiştir. Çerçeve, aynanın dış yüzeyine bağlı olduğu için çalışmada kullanılmıştır.

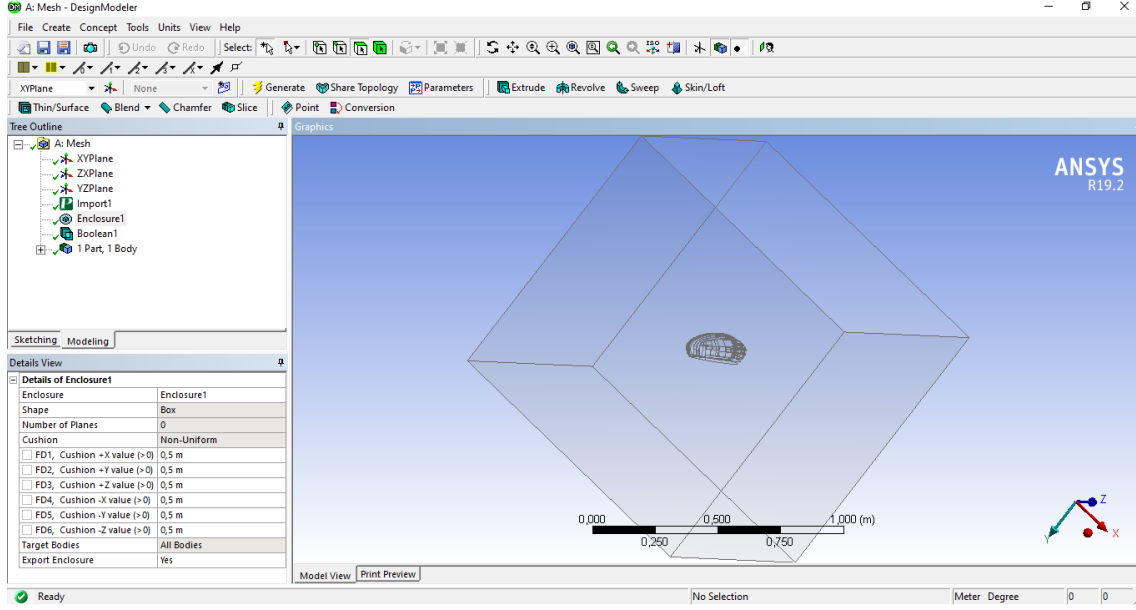


**Resim 3.15** Yan ayna modelinin SolidWorks programında düzenlenerek son halini almış şekli.

Resim 3.14'te yan ayna modeli dış yüzeyinin tarandıktan sonra yardımcı programlar ile düzenlenmesinin ardından Solidworks'te tek parça halindeki görünümü gösterilmiştir. Resim 3.15'te ise Solidworks'te çizilerek analize girmek için son şeklini almış yan ayna modeli gösterilmiştir. Model çizilirken 3 boyutlu çizim, yüzey atama, ekstrüzyon ile katı oluşturma ve kesme ile loft gibi komutlar kullanılmış ve görsellik olması açısından çerçeve kenarlarına 2 mm radyus atılmıştır. İşlem sonrası Ansys'te mesh oluşturmak için Parasolid (.x\_t) formatında kaydedilmiştir.

Ansys 19.2 sürümü kullanılan çalışma, Ansys workbench üzerinden yapılmıştır. Ağ oluşturmak için Mesh ara yüzünde bulunun DesingModeler modülüne .x.t formatında kaydedilen cisim çağırılmıştır. Generate yapılarak ekrana gelen yan ayna modeline öncelikle hava direncine maruz kalacağı muhafaza aktarılmıştır. Bunun için “Tools“, “Enconslure” adımları takip edilir. Ortaya çıkan kapalı hacmin büyüklüğü istenilen ölçüde değiştirilebilir. Çalışmada muhafaza 50 cm<sup>3</sup> hacmindeki bir küp olarak ayarlanmıştır. Böylelikle sistem birbirine bağlı iki farklı katı tanımlanmış olur. Yan ayna geometrisini muhafazadan ayırmak için “create”, “boolean” adımları takip edilerek “operation”, “subtract” seçilir. Daha sonra solid olan modelin ismi ayna olarak değiştirilmiştir ve DesingModeler modülü kapatılmıştır.





**Resim 3.16** Yan ayna modelinin DesingModeler modülünde işlem sonrası durumu.

Resim 3.16’da DesingModeler’deki işlem ağacında uygulanan komutlar, import edilen ayna modeli, oluşturulan muhafazanın sınır şartları ve bütün işlemler sonucunda ağ oluşturulmadan önce ekranda elde edilen son görüntü gösterilmiştir.

Daha sonra muhafaza sınırlarını adlandırmak ve modele ağ oluşturup fluent’te analize hazır hale getirmek için meshing modülüne girilmiştir. Muhafazanın isimlendirmek istediğimiz yüzeyine sağ tık “create named selection” adımlarını takip ederek yüzeyler isimlendirilmiştir.

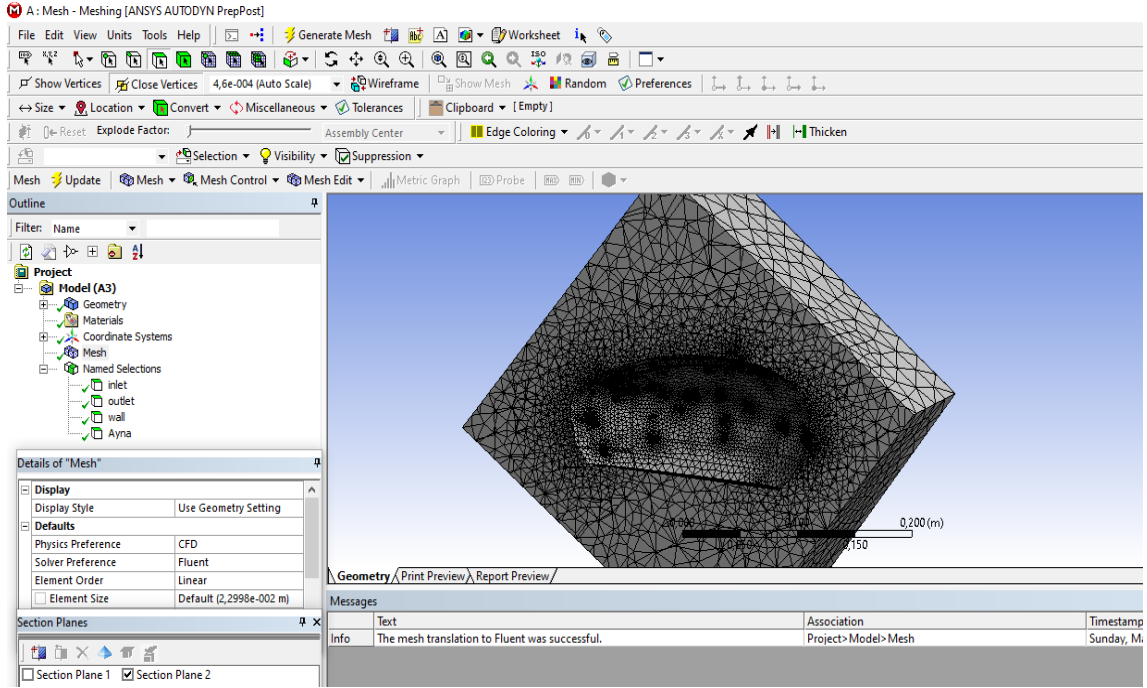
**İnlet:** Hava’nın giriş yönü, yan ayanın dış tarafına bakan yüzey.

**Outlet;** Hava çıkışının gerçekleştiği ayanın baktığı yüzey.

**Wall:** Yan aynayı muhafaza edip çevreleyen sınır yüzeyler.

**Ayna:** Çalışma konusu olarak elde edilen analiz edilecek yan ayna modeli.

Yüzeylerin isimleri belirlendikten sonra mesh detaylarından fizik referansı CFD, çözüm referansı ise fluent olarak ayarlanmış ve update yapılarak mesh oluşturulmuştur. Daha sonra Workbench’te update project ile mesh, fluent setupa aktarılmaya hazır hale gelmiştir.



**Resim 3.17** Yan ayna modelinde yüzeylerin adlandırılması ve mesh oluşumu.

Resim 3.17’de mesh oluşumunun fluent’e çevirisinin başarılı olduğu bilgisi ile birlikte çalışmanın analiz öncesi durumu gösterilmiştir.

Fluent’te analiz için gerçekleştirilen adımlar sırasıyla şöyledir. Öncelikle modeller yani çözümde kullanılacak denklemin belirlenmesi, analizde kullanılacak malzeme ki bu çalışmada malzememiz hava, sınır koşullarının belirlenmesi, sayısal modeli kurmak, çözümü ve hesaplamayı kurmak, işlem sonrası elde edilen görünüm ve sonuçlar şeklindedir.

Oluşturulan mesh’i fluente bağladıktan sonra setup ile arayüz açılıp check yapılarak mesh kontrol edilmiştir. Daha sonra viskoz modeli k-epsilon olarak değiştirilmiştir. Hız birimi ise ünite kısmından m/s den km/h’a değiştirilmiştir. Materyal olarak akışkanımız hava ve muhafaza etki alanı, hücre bölgesi koşullarından hava olarak ayarlamıştır. Analizde kullanılan havanın yoğunluğu  $1,225 \text{ kg/m}^3$  tür. Sınır şartları belirlenip değerler girilmiştir.

**Resim 3.18** Giriş hızının 100 km/h sabit olarak sınır şartlarında belirtilmesi.

(Inlet) giriş: Akışkanın girdiği yüzey olup sabit hız sınır şartı olarak tanımlanmış ve 100 km/h olarak değer girilmiştir.

(Outlet) çıkış: Akışkanın çıktığı yüzey olup sabit basınç sınır şartı olarak tanımlanmıştır.

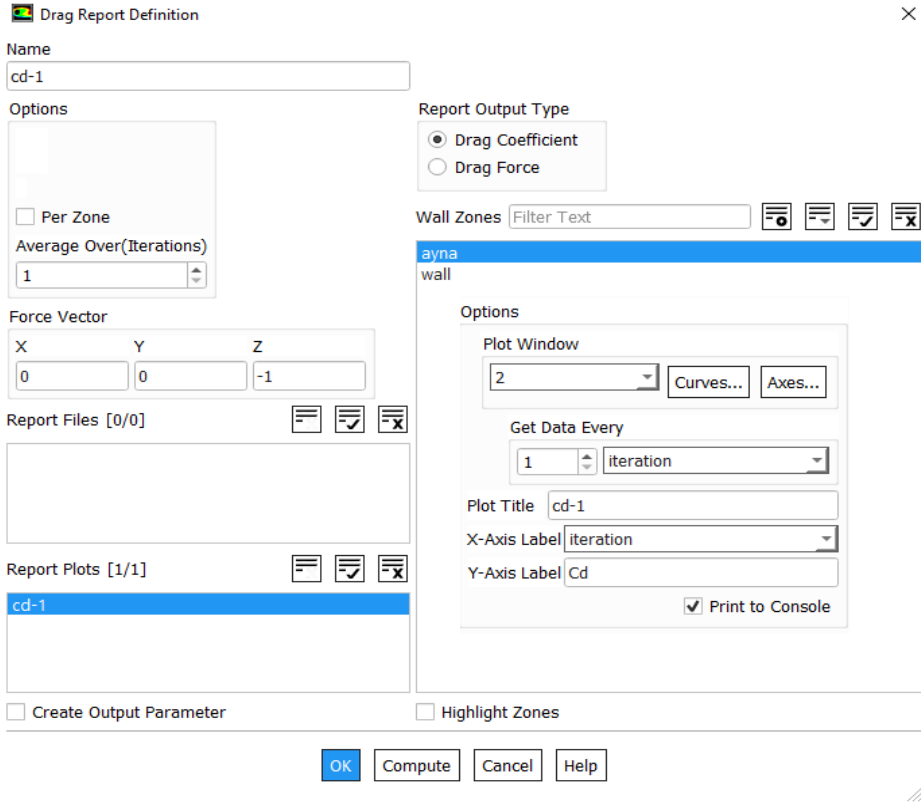
(Wall) duvar: Duvar, test alanının sınırlarını kapsayan kenar yüzeyleri olup duvar sınır şartı kullanılmıştır.

Ayna: Akışkanın etki ettiği üstünde analizin yapılacağı yan ayna modeli

(Interior Solid) muhafaza: ayna modelinin olduğu muhafazanın iç kısmı olarak tanımlanmıştır.

**Resim 3.19** Analiz için kullanılacak yan ayna modeli referans değerleri.

Fluent CFD yaklaşımı ile aerodinamik direnç kuvvetini hesaplar ve bunun için denklem 2.9’da belirtildiği gibi hava yoğunluğu, hız ve modelin ön iz düşüm alanı gerekmektedir. Dolayısıyla referans değerlerine hız ve iz düşüm alan girilmelidir. İz düşüm alan için “Reports”, “Projected Areas” adımları takip edilir, herhangi bir yüzeyden öngörülen alanlara bu komut ile bakılır. Hava giriş yüzeyi z olduğu için z yönü seçilip yüzey olarak “ayna” seçilir ve compute yapıp alan hesaplanır. Hesaplanan alanın değeri ve hangi düzlemden hesaplandığı bilgisi konsolda verilmektedir. Çalışmada yan ayna iz düşüm alanı  $0,02323 \text{ m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Resim 3.19’da yan ayna için referans değerleri gösterilmiştir.



**Resim 3.20**  $C_D$  değeri için monitör oluşumunda yapılan işlemler.

Çözüm metodundan basınç hız bağlantısı şemada coupled olarak seçilmiştir. Hava direnci katsayısını elde etmek ve grafik olarak görmek için monitör oluşturulur. Sürüklenme katsayısını her iterasyon için görmek çözümün yakınsamasını kontrol etmeyi sağlar. Bunun için “monitörts”, “create”, ”drag” adımları takip edilmiştir. Çıkan pencerede konsola yazdırma seçilir, her iterasyonda veri verilmesi ve ikinci yeni bir pencereye bunları göstermesi ayarlanır. Rapor çıktı türü sürüklenme katsayısı, verilerin

toplanacağı yüzey olarak ayna ve kuvvet vektörü olarak hava kuvveti z koordinatından etki edeceği için z kısmı -1 olarak yazılmıştır. Monitör başlığı cd-1 olarak adlandırılmış ve kaydedilerek işlem sonlanmıştır. Resim 3.20’de  $C_D$  değeri için monitör oluşturulurken işaretlenen seçenekler gösterilmiştir.

Girilen referans değerleri ve hava direnci katsayısı için oluşturulan monitör sonrası hesaplama için son adıma geçilmiştir. Çözüm başlatma metodu olarak hybrid initialization seçilmiş ve 200 iterasyon için hesaplama çalıştırılarak analiz yapılmıştır. Hava direnci katsayısı ve ayna üzerine etki eden basınç hatları görseli elde edilerek işlem sonuçlanmıştır. İşlem sonrası hava direnci katsayısı “reports”, “forces” adımları takip edilip ayna formu ve koordinat olarak hava girişinin olduğu düzlem seçilerek konsola yazdırılır. Fluent analizinde hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) hesaplanırken ayna modeli üzerine gelen basınç kuvveti kaynaklı katsayı ve yüzey sürtünme kuvveti kaynaklı katsayılar ayrı ayrı konsolda gösterilmektedir. Toplam hava direnci katsayısı bu kuvvetlerin toplamından elde edilmiştir.

Bu analizler 80, 100 ve 120 km/h değerleri için yapılmış ve aerodinamik direnç değerleri bulunmuştur. Değerlendirme kapsamında 100 km/h sabit hız için sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

#### 4. BULGULAR

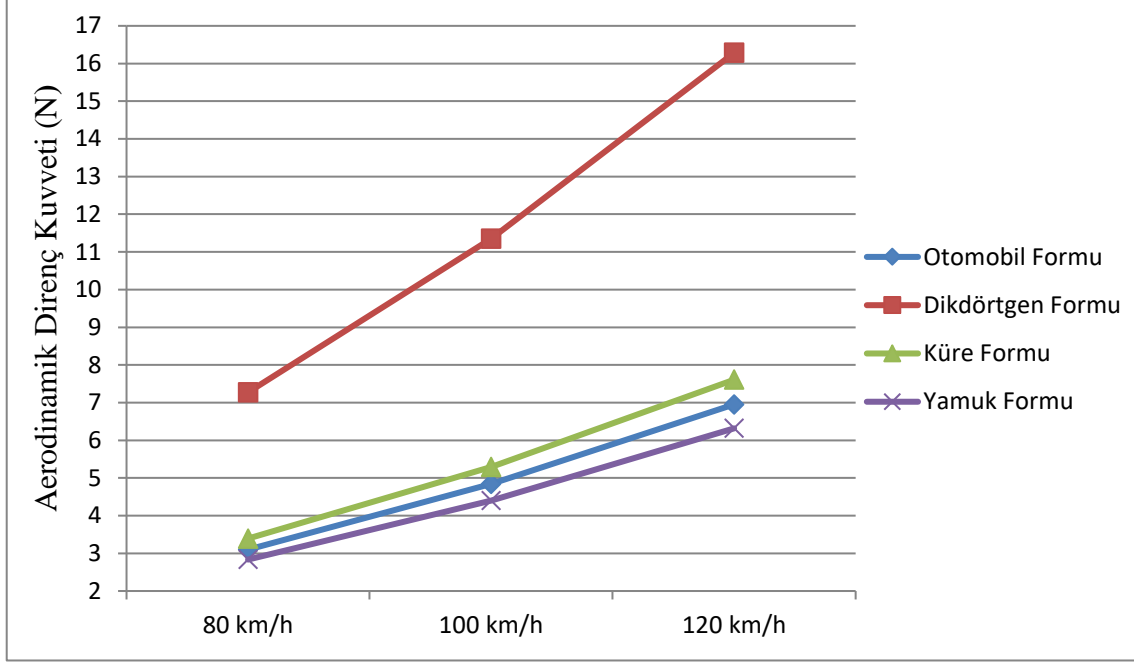
Gerçek boyuttaki otomobil yan ayna modeli için yapılan nümerik analiz sonrasında üç farklı yan ayna formu için CFD analizi yapılmıştır. Üç farklı ayna formu otomobil yan aynası ile birlikte aynı iz düşüm alanına sahip olup Solidworks 2014'te çizilmiş ve sabit hız değeri girilmiştir. Dış yüzey formunun değişimi ile  $C_D$  arasındaki ilişki görülmek istendiği için dört formunda iz düşüm alanı aynı olacak şekilde çizilmiş ve aynı sabit hız değeri kullanılmıştır. Analizler sonucunda hava direnci katsayısı, toplam etkiyen hava kuvveti büyüklüğü ve bu kuvvetin ayna formunda nasıl dağıldığını gösteren şekil elde edilmiştir. Otomobil yan aynası dahil toplam dört form birbirleri ile karşılaştırılmış ve avantajlı olan belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda farklı yan ayna formları için aerodinamik direnç değerleri ve hava direnç katsayıları hesaplanmıştır. Farklı hız değişimleri ile beraber bu değerlerin değişimi görülmüştür. 80, 100 ve 120 km/h gibi farklı hız değerleri için elde edilen hava direnç katsayısı değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Farklı hız değerleri için elde hava direnç katsayısı ( $C_D$ ) büyüklükleri.

Ayna Formu	80 km/h için Hava Direnç Katsayısı ( $C_D$ )	100 km/h için Hava Direnç Katsayısı ( $C_D$ )	120 km/h için Hava Direnç Katsayısı ( $C_D$ )
Dikdörtgen	1,035	1,033	1,029
Küre	0,449	0,448	0,447
Otomobil	0,395	0,395	0,394
Yamuk	0,371	0,369	0,367

Hava direnci katsayısı cismin formuna bağlı olmasına rağmen, analiz sonucu hızın artması ile beraber hava direnci katsayısında az da olsa bir azalma olduğu görülmektedir. Farklı hız değerleri ile aerodinamik direnç kuvveti arasındaki ilişki durumu ise aşağıda Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

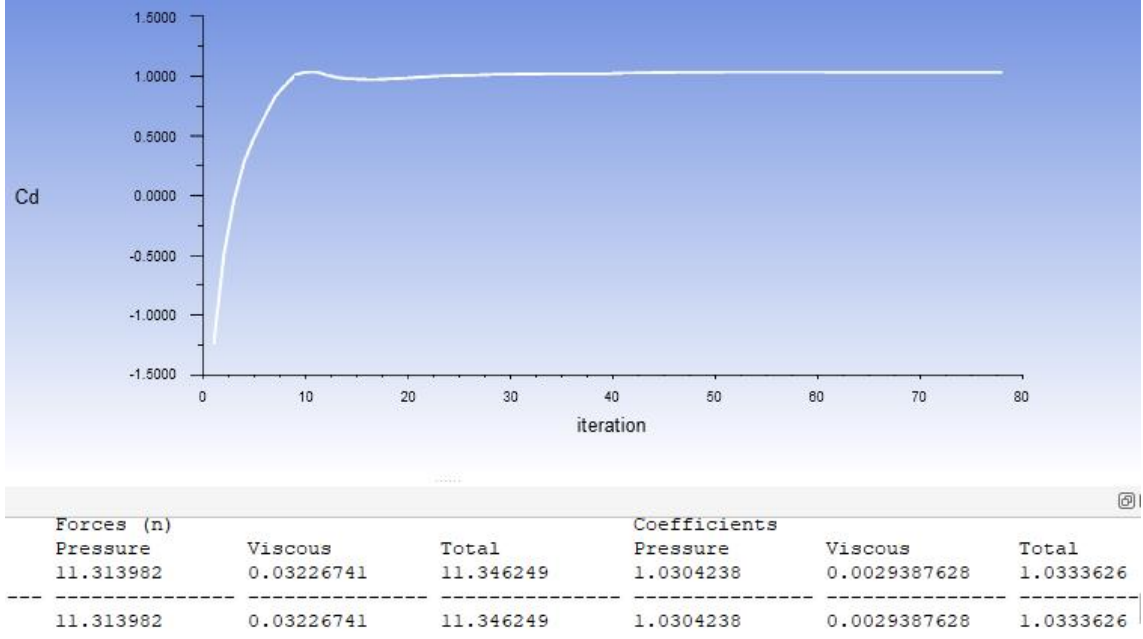


Şekil 4.1 Hız değişimi ile aerodinamik direnç kuvvetinin değişimi.

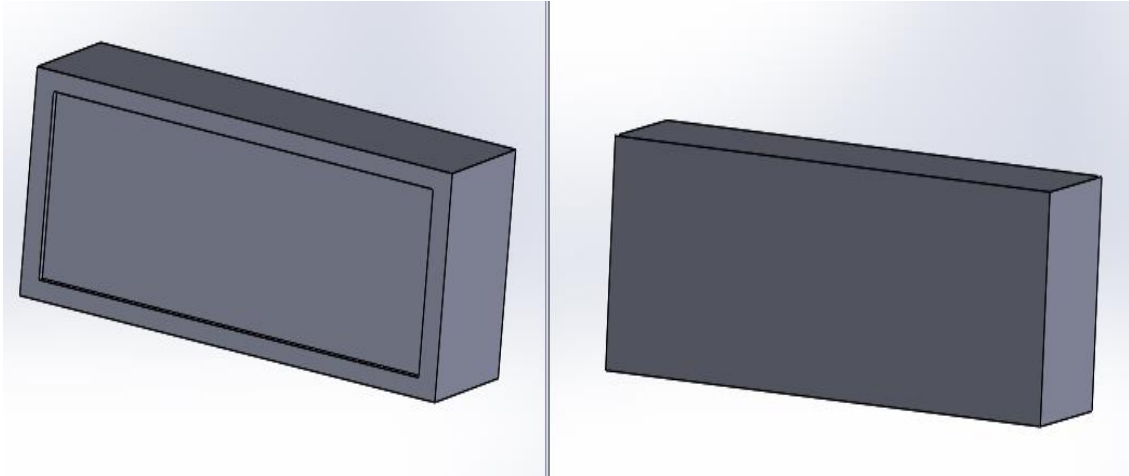
Otomobil yan ayna formu için 80 km/h hız değerinde aerodinamik direnç kuvveti 3,099 N iken 120 km/h için bu değer 6,952 N değerindedir. Yamuk formunda ise 80 km/h hız değerinde aerodinamik direnç kuvveti 2,835 N iken 120 km/h için bu değer 6,317 N değerindedir. Dikdörtgen formunun sahip olduğu yüksek hava direnci katsayısı maruz kaldığı aerodinamik direnç kuvvetinin de yüksek olmasına neden olmuştur. Şekil 4.1'e göre hızın artması ile aerodinamik direnç kuvveti doğrusal değil ivmeli bir şekilde artmaktadır bunun sebebi hızın karesi ile doğru orantıda artan bir değer olduğu içindir. Değerlendirme kapsamında 100 km/h hız değeri için ayna formları birbirleri ile karşılaştırılmış

#### 4.1 Yan Ayna Formlarının 100 km/h Hız İçin Nümerik Analiz Sonuçları

Dikdörtgen formundaki ayna modeli için yapılan analiz sonucu hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) 1,03336 olarak hesaplanmıştır. Çizilen model  $250,18 \times 90,35 \text{ mm}^2$  taban alanına ve  $0,02323 \text{ m}^2$  iz düşüm alanına sahiptir. 1,03042 hava kuvveti katsayısı 0,00293 ise yüzey sürtünme ile oluşan katsayı olarak görülmüştür. Modele etkiyen toplam aerodinamik direnç kuvvetinin büyüklüğü ise 11,34624 N'dur. Resim 4.1'de 100 km/h için analiz sonucu, Resim 4.2'de ise kullanılan dikdörtgen formundaki yan ayna modeli gösterilmiştir.



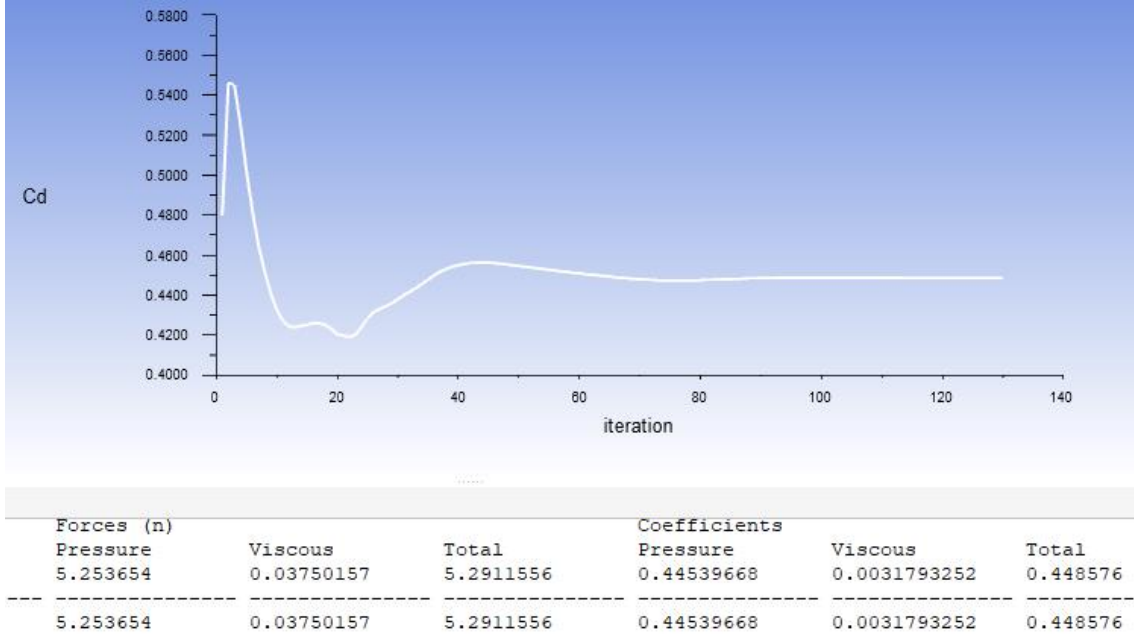
**Resim 4.1** Dikdörtgen formundaki yan ayna modeli analiz sonuçları.



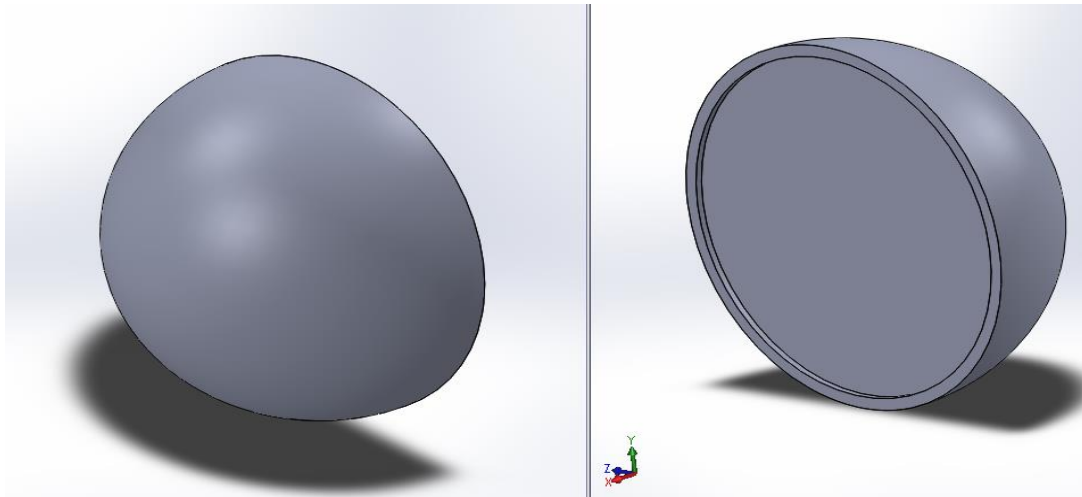
**Resim 4.2** Dikdörtgen formundaki yan ayna modeli.

Küre formundaki model için yapılan analiz sonrası elde edilen hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) 0,44857 olarak hesaplanmıştır. Model 171,89 mm çapında ve 0,02323 m<sup>2</sup> iz düşüm alanına sahiptir. Hava kuvveti katsayısı 0,44539 olup yüzey sürtünme katsayısı ise 0,00317 olarak görülmüştür. Toplam 5,29115 N etkiyen aerodinamik direnç kuvvetinin ise 0,03750 N'luk kısmının ise yüzey sürtünmeden kaynaklandığı görülmüştür. Resim 4.3'te 100 km/h değeri için yapılan analiz sonucu, Resim 4.4'te ise kullanılan küre formundaki yan ayna modeli gösterilmiştir.





**Resim 4.3** Küre formundaki yan ayna modeli analiz sonuçları.



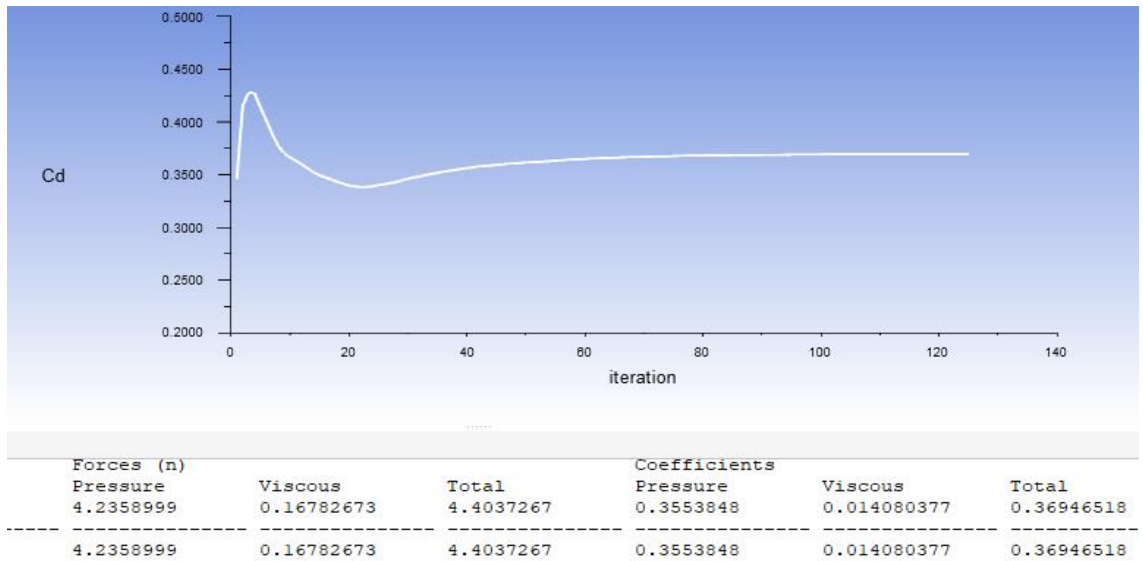
**Resim 4.4** Küre formundaki yan ayna modeli.

Otomobil yan aynası için 100 km/h değerindeki analiz sonucunda hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) 0,39548 olarak hesaplanmıştır. İz düşüm alanı  $0,02323 \text{ m}^2$  olan yan ayna modeli için 0,38758 hava kuvveti katsayısı, 0,00790 ise yüzey sürtünme ile oluşan katsayı olarak görülmüştür. Toplam 4,84360 N etkileyen hava kuvvetinin 0,09678 N'luk kısmının ise yüzey sürtünmeden kaynaklandığı, 4,74681 N'luk kısmının ise etki eden basınç kuvvetinden kaynaklandığı görülmüştür. Resim 4.5'te 100 km/h için elde edilen değerlerin analiz sonucu gösterilmiştir.

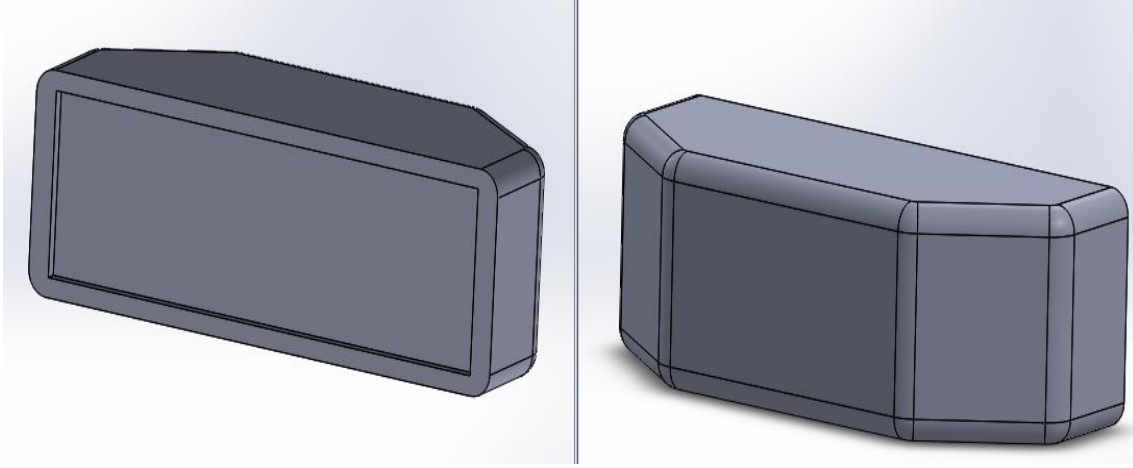


**Resim 4.5** Otomobil yan aynası için  $C_D$  grafiği ve değerleri.

Son olarak günümüz otomobil aynasına benzemesi için çizilen yamuk formundaki yan ayna modeli için CFD analizi yapılmıştır. Tabanı dikdörtgen şeklinde olan modelin dış yüzeyi simetrik bir şekilde beş yüzeye ayrılmış ve tüm sivri köşelere keskin bir hat kalmaması için yarıçap verilmiştir. Yapılan analiz sonrası elde edilen hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) 0,36946 olarak hesaplanmıştır. Hava kuvveti katsayısı 0,35538 olup yüzey sürtünme katsayısı ise 0,01408 olarak görülmüştür. Toplam aerodinamik direnç kuvveti ise 4,40372 N'dur. Resim 4.6'da 100 km/h değeri için elde edilen  $C_D$  grafiği, Resim 4.7'de ise kullanılan yamuk formundaki yan ayna modeli gösterilmiştir.



**Resim 4.6** Yamuk formundaki yan ayna modeli sonucu oluşan  $C_D$  grafiği.



**Resim 4.7** Yamuk formundaki yan ayna modeli.

Çizelge 4.2’de yapılan nümerik analiz sonucu 100 km/h hız değeri için dört farklı yan ayna formunda elde edilen katsayıların değerleri gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2** Farklı yan ayna formları için elde edilen katsayı değerleri.

<b>Ayna Formu</b>	<b>Yüzey Sürtünme Katsayısı</b>	<b>Hava Kuvvet Katsayısı</b>	<b>Hava Direnci Katsayısı</b>
Dikdörtgen	0,003	1,030	1,033
Küre	0,003	0,445	0,448
Otomobil	0,008	0,387	0,395
Yamuk	0,014	0,355	0,369

Günümüz şartlarında üretilen bir otomobilin ortalama hava direnci katsayısının 0,3 ile 0,4 arasında olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda ön iz düşüm alanının 1,5 m<sup>2</sup> ile 2,6 m<sup>2</sup> arasında değiştiği de bilinmektedir. Bu değerlerin arasında 0,35 C<sub>D</sub> değeri ve 2 m<sup>2</sup> ön iz düşüm alanına sahip ortalama bir otomobil için hesap yapılmak istendiğinde 100 km/h hız değerinde aerodinamik direnç kuvveti 330,825 N olmaktadır.

Farklı yan ayna formlarında hesaplanan hava direnci katsayıları için Denklem (2.9) bağıntısı ile toplam aerodinamik direnç kuvveti hesaplanabilir. Denklemde hava

yoğunluğu  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , iz düşüm alanı tüm yan aynalarda aynı olup  $0,02323 \text{ m}^2$  alınmıştır. Hız ise  $100 \text{ km/h}$  değeri için  $27,7778 \text{ m/s}$  olarak alınmıştır.

**Çizelge 4.3** Yan ayna modellerinin aerodinamik direnç kuvvetleri ve otomobilde kapladıkları büyüklüklerin oranı.

<b>Ayna Formu</b>	<b>Aerodinamik Direnç Kuvveti (N)</b>	<b>Otomobildeki Büyüklük Oranı (%)</b>
Dikdörtgen modeli	11,346	3,42
Küre modeli	5,291	1,59
Otomobil modeli	4,484	1,35
Yamuk modeli	4,403	1,33

Değerler  $100 \text{ km/h}$  ve bir adet yan ayna için geçerlidir.

Otomobil aynasının basit dikdörtgen formunda olmayıp aerodinamik yapıya uygun tasarlanmış olması, iki yan ayna düşünüldüğünde  $13,724 \text{ N}$  değerinde azalma sağlamış ve toplam aerodinamik direnç kuvvetinde  $\%4,14$ 'lük bir tasarruf elde etmiştir. Elde edilen sonuca göre otomobil aynasının yamuk modeli formunda olması durumunda ise aerodinamik direnç kuvvetinde toplamda  $0,16 \text{ N}$ 'luk bir azalma görülmektedir. Çizelge 4.3'e göre iki adet yan ayna için otomobilin toplam aerodinamik kuvvetinde  $\%0,04$ 'lük bir azalma anlamına gelmektedir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İlerleyen ve günümüzde yaşantımızı doğrudan etkileyen teknoloji sayesinde hayat kolaylaşmış ve fiziksel iş yükü azalmıştır. Bütün bu teknolojik yeniliklerin çalışma şartı olan enerji kaynakları aynı ölçüde önemini arttırmıştır. Yıllar geçtikçe artan dünya nüfusu, ilerleyen teknoloji ile birlikte daha fazla enerji gereksinimini ortaya çıkartmıştır. Bu durum hem enerji kaynaklarının değerini arttırmakta hem de var olan enerji kaynaklarını gün geçtikçe azaltmaktadır. Ulaşım sektöründen bakacak olursak kara yolları için otomobillerin yıllar içerisindeki gelişimi ile mesafeler kısalmış ve zamandan büyük ölçüde tasarruf edilir duruma gelmiştir. Bu gelişme ile birlikte otomobillerin sayısı da sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde otomotiv sektöründe yakıt ihtiyacını karşılamak için çoğunlukla yenilenemez enerji kaynağı olan fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için yeni enerji kaynağı rezervleri aranmakta, yenilenebilir alternatif enerji kaynakları araştırılmakta veya var olan enerji tüketimini azaltarak tasarruf etmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada enerji tüketiminden tasarruf etmek amacı ile otomobil yan ayna formu gerçek boyutlarında incelenmiş ve dış yüzey formunun değişimi ile hava direnci katsayısındaki ilişki CFD analiz yöntemi ile gözlenmiştir. Hava direnci katsayısındaki azalma aerodinamik açıdan daha verimli olduğu için özellikle uzun yol şartlarında önemli derecede yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Otomobillerin genel şekli yüzünden bazı bölgelerine aerodinamik direnç daha fazla etki etmektedir. Çalışmada kullanılan yan ayna bu bölgelerden biridir.

Çalışmada otomobil yan aynası gerçek boyutlarında ve formunda kullanılabilmesi için 3 boyutlu tarayıcıda taratılmıştır. SolidWorks Programında çerçeve eklenerek düzenlenmiş ve Ansys Fluent ile 100 km/h sabit hız değeri için hava direnci katsayısı ( $C_D$ ) hesaplanmıştır. SolidWorks'te çizilen ve iz düşüm alanı aynı olan üç farklı ayna formu aynı işlemlerden geçmiş ve her biri için hava direnci katsayısı hesaplanmıştır. Yan aynanın sadece dış yüzey formunun değişimi ile  $C_D$  arasındaki ilişki incelendiği için hız ve ön iz düşüm alanı sabit kalmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda otomobil yan aynası için hava direnci katsayısı 0,395 olarak hesaplanmıştır. En verimli sonuç ise yamuk formunda çizilen yan ayna modeli olup hava direnci katsayısı 0,369 olarak görülmüştür. Dikdörtgen yan ayna modelleri 1'in üzerindeki katsayı değerleri ile en verimsiz değerler olmuştur. Sonuçlar bize ön iz düşün alanı aynı olmasına rağmen hava kuvvetinin etki ettiği form değişikçe, hem toplam hava kuvveti büyüklüğünün hem de hava direnci katsayısının azaldığını göstermiştir.

Otomobil üreticileri tasarımlarını estetiği ve yakıt tasarrufunu bir arada olacak şekilde yaparlar. Yamuk formundaki yan ayna modeli otomobilde kullanılan forma göre yakıt sarfiyatı olarak çok az da olsa daha verimlidir. Estetik olarak daha olumsuz duracağı düşünülmektedir ancak azalan enerji kaynakları göz önüne alındığı zaman verimlilik daha öncelikli bir konudur. Özellikle uzun yol şartlarında otomobile etkileyen toplam direncin yaklaşık %80'inin aerodinamik direnç kaynaklı olduğu göz önüne alınırsa %0,04'lük azalma oranının göz ardı edilmemesi gerektiği düşünülmektedir.

## **6. ÖNERİLER**

Otomobillerin yan ayna dışında farklı bölgelerinin de yüksek aerodinamik dirence maruz kaldığı bilinmektedir. Bilgisayar destekli analiz programlarının gelişmesi ve 3 boyutlu tarayıcıların yaygınlaşarak ölçülmesi zor formların bilgisayar ortamına aktarılması büyük kolaylık sağlamıştır. Bu sayede ileride 3 boyutlu tarayıcıların yardımı ile tersine mühendislikle ilgili çalışmalar yapılabilir.

Bu çalışmada yan ayna formu değiştirilerek daha verimli bir yakıt ekonomisi elde edilebileceğinin sonucu çıkarılmıştır. Yan aynalara olası bir hava deliği açılarak, formu damla formuna daha yakın tasarlayarak veya yan aynayı otomobil içine alarak çalışmalar geliştirilebilir. Ayrıca silecekler ve tekerlekler arasına yerleştirilen etekler ile aerodinamik direnci azaltmaya yönelik çalışmalar yapılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Ağbulut Ü, Bakır H, 2019, The Investigation on Economic and Ecological Impacts of Tendency, to Electric Vehicles Instead of Internal Combustion Engines, Düzce University Journal of Science & Technology, 7, 25-36.
- Akgül V, Özkan M, 2015, Bir Taşıt Modeli için Hava Direnç Katsayısına Etki Eden Boyutların ve Akış Kontrol Uygulamalarının Nümerik Yöntemle İncelenmesi, ISITES 2015, 3-5 Haziran, Valencia, 1465-1474.
- Altınışik A, 2013, Binek Araç Modeli Üzerindeki Aerodinamik Analizlerin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 185s, Bursa.
- Anderson J H, 2001, Fundamentals of Aerodynamics Third Edition, McGraw Hill, 892p, New York.
- Arslan M Ö, 2005, Ticari Taşıt Aerodinamiğinin Temelleri ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 151s, İstanbul.
- Bayındırlı C, Çelik M, Demiralp M, 2018, Bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi ve sürüklenme kuvvetinin pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi, Politeknik Dergisi, 21, 785-795.
- Bayındırlı C, 2019, Drag reduction of a bus model by passive flow canal, International Journal of Energy Applications and Technologies, 6, 24-30.
- Bayındırlı C, Çelik M, 2019, Bir Taşıta Etki Eden Aerodinamik Direnç Kuvvetinin Bagaj Üstü Spoiler İle İyileştirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 470-479.
- Çengel Y, Cimbala J, 2005, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, McGraw Hill Education, 864p, London.
- Demircioğlu T K, 2007, Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simülasyonu, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s, Balıkesir.

- Elrawemi M, Aburawey I, 2019 The effect of front and rear windscreen angles on the aerodynamic drag force of a simplified car model, *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 6, 83-88.
- Frame M, Huntley J S, 2012, *Rapid Prototyping in Orthopaedic Surgery: A User's Guide*, *The Scientific World Journal*, 2012, Article number 838575.
- Gencer F, Yamaç Y, Aşçı M İ, Gündeşli R, 2020, Elektrikli Bir Aracın Aerodinamik Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 23, 48-59.
- Gopal P, 2014, *Experimental and Computational Studies On Vehicle Aerodynamic Drag Reduction By Vortex Generators*, Anna University, Ph.D. Thesis, 188p, Chennai.
- Hassan R, Islam T, Ali M, Islam Q, 2013, Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars, 10th International Conference on Mechanical Engineering, ICME2013, 20-22 December, Dhaka, Bangladesh, 308 – 313.
- Heisler H, 2002, *Advanced Vehicle Technology Second Edition*, Butterworth Heinemann, 656p, London.
- Hucho W H, 1998, *Aerodynamics of Road Vehicles Fourth Edition*, Sae International, 956p, Warrendale.
- İçingür Y, Solmaz H, 2011, Düşük Hızlı Bir Rüzgar Tünelinde Değişik Otomobil Modellerinin Aerodinamik Direnç Katsayılarının Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 26, 455-460.
- Kunt M A, 2020, Tümüyle Elektrikli Binek Tipli Bir Araçta Yuvarlanma Direnci Değişiminin İvmelenme Performansı ve Transmisyon Kayıplarına Etkisi Üzerine Bir Çalışma, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7, 743-752.
- Levin J, Rigdal R, 2011, Aerodynamic analysis of drag reduction devices on the underbody for SAAB 9-3 by using CFD, M.Sc. Thesis, 67p, Gothenburg.
- Marklund J, 2013, *Under-body and Diffuser Flows of Passenger Vehicles*, Chalmers University of Technology, Ph.D. Thesis, 60p, Gothenburg.



- Muthuvel A, Murthi M K, Sachin N P, Vinay M K, Sakthi S, Selvakumar E, 2013, Aerodynamic Exterior Body Design of Bus, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4, 2453-2457.
- Ozel M, Aygün E, Akansu Y E, Bayindirli C, Seyhan M, 2015, The Passive Flow Control Around a Truck-Trailer Model, International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 4, 185-192.
- Sarı F M, 2007, Hafif Ticari Taşıtlarda Taşıt Ön Formuna Etkiyen Hava Direncinin Aerodinamik Analizi Ve Yakıt Sarfiyatına Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Eskişehir.
- Solmaz H, İçingür Y, 2010, Karayolu Taşıtları İçin Kaldırma Katsayısının Önemi ve Belirlenmesi, Politeknik Dergisi, 13, 203-208.
- Stone R, Ball J K, 2004, Automotive Engineering Fundamentals, Sae International, 612p, Warrendale.
- Tat M E, Özenç F, 2007, Otomobil Lastiklerinde Yuvarlanma Direncine Etkiyen Faktörlerin ve Standart Yuvarlanma Direnci Ölçüm Tekniklerinin İncelenmesi, Mühendis ve Makine Dergisi, 47, 16-22.
- TÜİK 33648, 2020, Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2019, TÜİK, Ankara.
- Vdovin A, 2013, Investigation of Aerodynamic Resistance of Rotating Wheels on Passenger Cars, Chalmers University of Technology, Thesis For Licentiate Of Engineering, 35p, Gothenburg.
- Watkins S, Vito G, 2008, The effect of vehicle spacing on the aerodynamics of a representative car shape, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 1232-1239.
- Wu J D, Liu J C, 2011. Development of a predictive system for car fuel consumption using an artificial neural network, Expert Systems with Applications, 38, 4967-4971.
- Yıldız A, 2018, Belirli Bir Otomobilin Ön Bölümündeki Aerodinamik Etkilerin Ve Enerji Kaybının Sayısal Olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Elazığ.

Zhu W, 2019, Models for wind tunnel tests based on additive manufacturing technology, Progress in Aerospace Sciences, 110, Article number 100541.

## İnternet Kaynakları

- 1- <https://malzemebilimi.net/aerodinamik-nedir-aerodinamik-rekoru-hangi-otomobile-aittir.html>, 3.10.2020
- 2- <http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%203%20Hareket%20Diren%c3%a7leri.pdf>, 3.10.2020
- 3- <https://docplayer.biz.tr/110073020-Bolum-4-karayolunda-seyreden-araclara-etkiyen-direncler.html>, 3.10.2020
- 4- [https://www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2015/11/TEMEL-TASIT-TEKNOLOJISI-GUC-AKTARMA-HESAPLAMALAR\\_2015-2016.pdf](https://www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2015/11/TEMEL-TASIT-TEKNOLOJISI-GUC-AKTARMA-HESAPLAMALAR_2015-2016.pdf), 3.10.2020
- 5- [https://www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2017/10/AERODINAMIK-DIRENC-VE-RUZGAR-TUNELI\\_2017.pdf](https://www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2017/10/AERODINAMIK-DIRENC-VE-RUZGAR-TUNELI_2017.pdf), 3.10.2020
- 6- <https://slideplayer.biz.tr/slide/10235926/>, 3.10.2020
- 7- <http://www.ae2project.com/ruzgartunelinedir/>, 23.06.2020
- 8- [https://www.academia.edu/42084110/Sayisal\\_yontemler\\_Ders\\_Notlari\\_H\\_Bayiroglu?auto=download](https://www.academia.edu/42084110/Sayisal_yontemler_Ders_Notlari_H_Bayiroglu?auto=download), 3.10.2020
- 9- [https://tr.wikipedia.org/wiki/Nümerik\\_analiz](https://tr.wikipedia.org/wiki/Nümerik_analiz), 3.10.2020
- 10- <https://novatek3d.com/3-boyutlu-tarama-nedir-nasil-yapilir/>, 3.10.2020
- 11- <https://muhendistan.com/ansys-nedir-nerelerde-kullanilir/>, 3.10.2020
- 12- <http://www.teknikerik.com/ansys-fluent-nedir.html>, 3.10.2020

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa ARIKAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Nilüfer 15.07.1994  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) : cmrarikan@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gürsu İMKB Anadolu Lisesi (2008 – 2012)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği  
(2012-2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, (2018-2020)

## EKLER

### EK 1. Dikdörtgen Formu İçin Fluent Çıktıları

80 km/h						
Forces - Direction Vector (0 0 -1)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
ayna	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
	7.2501116	0.023132293	7.2732439	1.0317277	0.0032918428	1.0350196
Net	7.2501116	0.023132293	7.2732439	1.0317277	0.0032918428	1.0350196
100 km/h						
Forces - Direction Vector (0 0 -1)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
ayna	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
	11.313982	0.03226741	11.346249	1.0304238	0.0029387628	1.0333626
Net	11.313982	0.03226741	11.346249	1.0304238	0.0029387628	1.0333626
120 km/h						
Forces - Direction Vector (0 0 -1)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
ayna	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
	16.241091	0.042129707	16.28322	1.0271956	0.0026645654	1.0298601
Net	16.241091	0.042129707	16.28322	1.0271956	0.0026645654	1.0298601

## EK 2. Küre Formu İçin Fluent Çıktıları

80 km/h

Forces - Direction Vector (1 0 0)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	3.366574	0.026205407	3.3927795	0.4459577	0.0034713341	0.44942904
-----						
Net	3.366574	0.026205407	3.3927795	0.4459577	0.0034713341	0.44942904

100 km/h

Forces - Direction Vector (1 0 0)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	5.253654	0.03750157	5.2911556	0.44539668	0.0031793252	0.448576
-----						
Net	5.253654	0.03750157	5.2911556	0.44539668	0.0031793252	0.448576

120 km/h

Forces - Direction Vector (1 0 0)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	7.5575857	0.05041825	7.608004	0.44494478	0.0029683206	0.4479131
-----						
Net	7.5575857	0.05041825	7.608004	0.44494478	0.0029683206	0.4479131

### EK 3. Otomobil Formu İçin Fluent Çıktıları

80 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	3.0325673	0.066738181	3.0993054	0.38689867	0.0085145393	0.39541321
-----						
Net	3.0325673	0.066738181	3.0993054	0.38689867	0.0085145393	0.39541321

100 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	4.7468181	0.096785367	4.8436034	0.38758716	0.0079027181	0.39548988
-----						
Net	4.7468181	0.096785367	4.8436034	0.38758716	0.0079027181	0.39548988

120 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	6.8200545	0.13238603	6.9524406	0.38671602	0.0075066553	0.39422268
-----						
Net	6.8200545	0.13238603	6.9524406	0.38671602	0.0075066553	0.39422268

#### EK 4. Yamuk Formu İçin Fluent Çıktıları

80 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	2.71977	0.11530657	2.8350765	0.35653759	0.015115663	0.37165325
-----						
Net	2.71977	0.11530657	2.8350765	0.35653759	0.015115663	0.37165325

100 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	4.2358999	0.16782673	4.4037267	0.3553848	0.014080377	0.36946518
-----						
Net	4.2358999	0.16782673	4.4037267	0.3553848	0.014080377	0.36946518

120 km/h

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
ayna	6.0864215	0.2282839	6.3147054	0.35461141	0.013300439	0.36791185
-----						
Net	6.0864215	0.2282839	6.3147054	0.35461141	0.013300439	0.36791185