

**MODEL BİR OTOMOBİLE ETKİYEN AERODİNAMİK
KUVVETLERİN ANALİZİ**

Müh. Göksel GÖKÇEGÖZ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK
OCAK-2013**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MODEL BİR OTOMOBİLE ETKİYEN AERODİNAMİK KUVVETLERİN
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Göksel GÖKÇEGÖZ

Enstitü No: 101120105

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Ocak 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2013

Tez Danışmanı :	Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (F.Ü)
	Yrd. Doç. Dr. Duygu EVİN (F.Ü)

OCAK-2013

ÖNSÖZ

Bu çalışmada otomobillerde aerodinamik etkilerin analiz yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Üç ayrı model araç üzerinde deneyler yapılarak aerodinamik sürüklenme katsayıları hesaplanmıştır. Aerodinamik yapının otomobil performansına etkilerinden bahsedilerek otomobil üretiminde ve seçiminde aerodinamik yapının büyük önem arz ettiği anlatılmıştır. Ayrıca bu konuda tüketicileri bilgilendirmek amaçlanmıştır.

Çalışmalarımda emeği geçen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK 'a, Doç. Dr. Haydar EREN 'e ve Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

GÖKSEL GÖKÇEGÖZ
ELAZIĞ – 2013

İçindekiler

ÖNSÖZ	I
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. OTOMOBİL AERODİNAMİĞİ	4
2.1. Sürüklenme Kuvveti ve Gücü	6
2.2. Kaldırma Kuvveti ve Yunuslama Momenti	8
2.3. Yanlama Kuvveti, Yanlama Momenti ve Yuvarlanma Momenti	9
3. AERODİNAMİK ETKİLERİN HESAPLAMALARI	10
3.1. Sayısal Analiz Yöntemi	10
3.1.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği	10
3.1.2. Gambit.....	10
3.1.3. Fluent	10
3.2. Deneysel Yöntemler	11
3.2.1. Benzerlik	11
3.2.1.1. Geometrik benzerlik	11
3.2.1.2. Kinematik benzerlik.....	11

3.2.1.3. Dinamik benzerlik	12
3.2.1.4. Π Teoremi (Buckingham Teoremi) yardımı ile otomobil üzerindeki akışın boyut analizi	13
3.2.2. Deneysel yöntem türleri	15
3.2.2.1. Kuvvet ve basınç ölçümü yardımı ile yapılan hesaplamalar	15
3.2.2.2. İz tarama metodu (momentum kaybı) ile yapılan hesaplamalar	18
4. AERODİNAMİK YAPININ OTOMOBİL PERFORMANSINA ETKİLERİ	20
4.1. Yakıt Ekonomisi	20
4.2. Yakıt Tüketimine Etki Eden Diğer Faktörler ve Önlemler	21
4.3. Kontrol ve Stabilite	23
4.4. Havalandırma ve Gürültü	24
5. DENEYİN YAPILIŞI	25
5.1. Deney Düzenegi	26
5.2. Hesaplamalar	27
5.2.1 Mini Cooper S	27
5.2.1.1. Model Mini Cooper S' in özellikleri	28
5.2.1.2. Mini Cooper S hesaplamaları	30
5.2.1.3. Sürüklemeye katsayısının hesaplanması;	30
5.2.1.4. Hızların hesaplanması;	37
5.2.2. BMW X6	47
5.2.2.1. Model BMW X6'nın özellikleri	48
5.2.2.2. BMW X6 hesaplamaları	51
5.2.2.3. Sürüklemeye katsayısının hesaplanması;	51
5.2.2.4. Hızların hesaplanması;	58
5.2.3. Audi R8	68
5.2.3.1. Model Audi R8'in özellikleri	69
5.2.3.2. Audi R8 hesaplamaları	71

5.2.3.3. Sürüklenme katsayısının hesaplanması;.....	71
5.2.3.4. Hızların hesaplanması;.....	78
5.2.5. Bağıl Hataların Hesaplanması	90
5.3. Deney Sonuçlarının Yorumlanması.....	91
6. SONUÇLAR ve İRDELEME.....	92
7. KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	96

ÖZET

Günümüz teknolojisi bir taraftan yüksek doğruluklu ölçü aletlerinin imal edilmesini sağlarken bir taraftan da ölçü aletlerinin boyutlarını küçülterek, küçük yüzeyler ve cisimler üzerinde çalışma kolaylığı getirmiştir. Bu çalışmada otomobil üzerine etki eden aerodinamik kuvvet ve momentler incelenmiştir. Ayrıca otomobil aerodinamik yapısının yakıt tüketimi, konfor, gürültü, havalandırma, kontrol ve stabilite gibi performans karakteristiklerine olan etkisinden bahsedilmiştir. Otomobilin özellikle sürüklenme katsayısının öneminden bahsedilerek bu katsayının hesaplanma yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ölçü aletleri, Aerodinamik kuvvet, Yakıt tüketimi, Gürültü, Stabilite.

SUMMARY

The recent technology, while providing the production of measuring devices with high accuracy, has made it easy to work on small surfaces and substances by diminishing the sizes of the measuring devices. In this study, the effect of aerodynamic forces and momentums on an automobile have been examined. Also, the effect of the aerodynamic structure of an automobile on characteristics of performance such as fuel consumption, comfort, noise, aspiration, control and stability has been mentioned. While the importance of automobile's drag coefficient is told, the method of this parameter calculation have been explained in details.

Keywords: Measuring Devices, Aerodynamic Forces, Fuel Consumption, Noise, Stability.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1936 yapımı Mercedes W125.....	6
Şekil 2. Hareketli bir otomobile etkiyen kuvvetler ve momentler.....	7
Şekil 3. Kinematik benzer akışlar.....	12
Şekil 4. Deneylerin yapıldığı rüzgar tünelinin fotoğrafı.....	16
Şekil 5. Deneylerde kullanılan model aracın fotoğrafı.....	17
Şekil 6. Hava tüneli deneyi, akış içersine yerleştirilmiş silindir üzerindeki hız dağılımı....	18
Şekil 7. Rüzgarlıkları tanıtan bir şirketin reklam fotoğrafı.....	21
Şekil 8. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	26
Şekil 9. Deneylerde dijital anemometre ile yapılan hız ölçümü.....	27
Şekil 10. Mini Cooper S marka otomobilin fotoğrafı.....	27
Şekil 11. Deneyde kullanılan Mini Cooper S model aracının fotoğrafı.....	29
Şekil 12. Mini Cooper S model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.....	46
Şekil 13. Mini Cooper S model aracından elde edilen hız değişim grafiği.....	46
Şekil 14. BMW X6 marka otomobilin fotoğrafı.....	47
Şekil 15. BMW X6 marka aracın gerçek ölçüleri.....	48
Şekil 16. Deneyde kullanılan BMW X6 model aracının fotoğrafı.....	49
Şekil 17. Gaziantep Üniversitesinde yapılan deneylerde BMW X6 model aracın fotoğrafı.....	50
Şekil 18. BMW X6 model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.....	67
Şekil 19. BMW X6 model aracından elde edilen hız değişim grafiği.....	67
Şekil 20. Audi R8 marka otomobilin fotoğrafı	68
Şekil 21. Audi R8 marka otomobilin gerçek ölçüleri.....	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 22. Deneyde kullanılan Audi R8 model aracın fotoğrafı.....	70
Şekil 23. Audi R8 model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.....	88
Şekil 24. Audi R8 model aracından elde edilen hız değişim grafiği.....	88
Şekil 25. Deneylerde kullanılan üç model araçtan elde edilen hız değişim grafiği.....	89
Şekil 26. Deneylerde kullanılan üç model araçtan elde edilen basınç değişim grafiği.....	90

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Benzin motorlu 1200 kg'lık bir otomobilde 90 km/h hızda yakıt enerjisinin % olarak kullanımı.....	5
Tablo 2. Temel mühendislik büyüklüklerinin bir kısmının temel boyutlar cinsinden ifadesi.....	14
Tablo 3. Bazı araçların 90 km/h sabit hızda 100 km deki yakıt tüketimi değerleri	20
Tablo 4. Deneyler sonucunda Mini Cooper S model aracından elde edilen basınç değerleri.....	30
Tablo 5. Deneyler sonucunda Mini Cooper S model aracından elde edilen hız değerleri.....	45
Tablo 6. BMW X6 aracının camları açık ve kapalı olarak yapılan deneyin sonuçlarının incelenmesi.....	49
Tablo 7. Deneyler sonucunda BMW X6 model aracından elde edilen basınç değerleri.....	51
Tablo 8. Deneyler sonucunda BMW X6 model aracından elde edilen hız değerleri.....	66
Tablo 9. Deneyler sonucunda Audi R8 model aracından elde edilen basınç değerleri.....	71
Tablo 10. Deneyler sonucunda Audi R8 model aracından elde edilen hız değerleri.....	87
Tablo 11. Hesaplanan deney sonuçları.....	91

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma ve geliştirme
MIRA	: Motor Industry Research Association
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ODTÜ	: Orta Doęu Teknik Üniversitesi
ESP	: Electronic Stability Program (Elektronik Denge Programı)

SEMBOLLER LİSTESİ

F_D	: Sürüklenme kuvveti N
F_L	: Kaldırma kuvveti N
F_y	: Yanlama kuvveti N
M_y	: Yunuslama momenti N.m
M_x	: Yuvarlanma momenti N.m
M_z	: Yanlama momenti N.m
C_D	: Sürüklenme katsayısı
q	: Dinamik basıncı Pa
A_f	: Aracın projeksiyon alanı m^2
ρ	: Havanın yoğunluğu kg/m^3
V	: Aracın hızı m/s km/h
D	: Aracın maksimum yüksekliği m
b	: Aracın maksimum genişliği m
Re	: Reynolds sayısı
C_{DP}	: Basınç (form veya şekil) direnç katsayısı
C_{DF}	: Sürtünme (viskoz) direnç katsayısı
C_{DB}	: Taban sürüklenmesini ifade eden katsayı
μ	: Dinamik viskozite $kg/m.s$
P	: Sürüklenme gücü kW

1. GİRİŞ

Otomobillerin günümüzde en çok kullanılan kara taşıtları olduğu tartışmasız bir gerçektir. Otomobil üreten firmalar aerodinamiğe çok önem vermektedir. Bunun için büyük bütçeler ayrılarak AR-GE çalışmaları yapılmaktadır. Firmalar tasarladıkları araçların ilk önce küçük bir modelini yaparak rüzgar tüneline deneysel testler yapmaktadırlar. Rüzgar tüneline sabit duran aracın üzerine değişik hızlarda hava akışı gönderilerek araç üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu verilerle aerodinamik yapı ortaya konulmaktadır.

1744 yılında akışkan ortamdaki cisimler üzerinde çalışan D'Alembert, cisim üzerine etki eden bir direncin varlığını görüyor ancak bunun nedenini açıklayamıyordu. D'Alembert paradoksu olarak bilinen bu durum, akışkan moleküllerinin hem birbirleri hem de cisim ile aralarındaki sürtünme direncinden kaynaklanıyordu ve büyüklükleri cismin geometrisine göre değişen kuvvet ve momentleri oluşturuyordu. Akışkanın hava olduğu bir ortamda cisim üzerine etki eden bu kuvvet ve momentler aerodinamik kuvvet ve momentler olarak adlandırılır [10].

Saatteki hızı 100 km olan bir binek otomobili, gücünün %60'ını hava ile sürtünmeden kaynaklanan sürüklenme direnci kuvvetini, %20'sini tekerlek sürtünme kuvvetini, %20'sini hareketi önleyen diğer kuvvetleri yenmek için harcar. Aracın aerodinamik özelliklerinin iyileştirilmesi ile yakıt sarfiyatından önemli ölçüde tasarruf sağlanır. Aracın aerodinamik karakteristiğinin araç kirliliği, motor soğutma sistemi, havalandırma sistemi, fren sistemi, araç etrafındaki hava akışından kaynaklanan gürültü miktarı gibi birçok parametre üzerine de etkisi vardır [1].

Literatürdeki çalışmaların içerik ve yayımlanma tarihleri incelendiğinde kara taşıtları ve özellikle otomobillerin aerodinamik özelliklerinin araştırılmasının İkinci Dünya Savaşı sonrasında önem kazandığı görülür. Özellikle sürüklenme direnci katsayısını küçültmeye yönelik araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sonuçları hızla üretime yansıtılmış ve düzenlenen otomobil yarışlarında diğer özelliklerin yanında aerodinamik yapılar da karşılaştırılmıştır [10].

1960'lı yıllarda aerodinamik etkilerin analizinde deneysel olarak yapılan ilk çalışmalarda rüzgar tüneli kullanılmıştır. 1961-1968 yılları arasında arka arkaya raporlar yayımlayan Motor Industry Research Association'ın (MIRA) 141 farklı araca dair aerodinamik test sonucu vermiştir ve MIRA'dan sonrada ilk olarak Carnish'in 13 ve Bowman'ın 21 araç üzerinde kısıtlı sayıda model üzerinde deneysel araştırmalar yapmışlardır [2]. Bu arada sayısal analiz yöntemleri de geliştirilmeye başlandı. R. G. S. White araçların sürüklenme direnci katsayısını (C_D) sayısal olarak hesapladı. White, daha önce deneysel olarak C_D katsayıları belirlenmiş 20 araç üzerinde metodunu uyguladı ve $\pm$ % 7 doğruluk oranıyla MIRA'nın deneysel sonuçlarına yaklaştı [2].

Zamanla araçlarda C_D katsayısının azaltılmasını sağlayacak yöntemler de araştırıldı. Araca ilave edilen aksamalar geliştirildi. Bunlardan en yaygın olanları kanatçıklar, spoyler (spoiler) ve hava bentleri (airdam) idi. Schenkel 1977 yılında yayımladığı bir makalede, aracın önüne ve arkasına ilave edilen spoyler'in sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri (drag ve lift) üzerindeki etkilerini 3/8 ölçekli bir model üzerinde rüzgar tüneline inceledi. 1991

yılında Ohno ve Kohri "kenar hava bentleri (side airdam)" ilavelerinin aracın aerodinamik performansına etkilerini rüzgar tüneline incelediler. Çeşitli otomobillere ilave edilen kenar hava bentlerinin uygun geometrik biçimde olmaları halinde C_D ve C_L 'yi azaltma yönünde etkiledikleri sonucuna vardılar [10].

Geropp, ve Odenthal 2000 yılında "Coanda Effect" yöntemini otomobil için araştırdılar. Bu yöntem aracın arkasından çıkan havanın emilip hızlandırıldıktan sonra tekrar püskürtülmesi sonucunda, aracın arkasındaki girdaplı bölgenin (wake) daraltılması ve dolayısıyla aracın C_D katsayısının azaltılması esasına dayanır. Geropp ve Odenthal çalışmalarının sonucunda "Coanda Effect" yöntemiyle C_D katsayısının 0,39'dan 0,35'e düştüğü, yani toplam C_D 'de % 10 mertebesinde düşüş olduğu sonucuna vardılar [3].

Han (1989) zemine yakın küt gövdeli taşıtların SAD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) esaslı aerodinamik direnci belirleyen ilk araştırmacılardan birisidir. Han sıkışamaz Reynolds ortalama Navier-Stokes metodunu k- δ türbülans modeli ile birlikte Ahmet tipi taşıt gövdeleri etrafındaki akışı simule etmek için kullanmıştır [11].

Swift (1991) bir taşıtın yuvarlanma direncini ve aerodinamik direnç katsayısının tespiti için yavaşlama deneyi gerçekleştirmiş ve deney sonucunda C_D katsayısını 0.37 olarak tespit etmiştir [11].

1981 yılında Gilhaus 1/5 ölçeğinde kamyon kabin şeklinin ve eklenmiş olan rüzgar yansıtıcısının aerodinamik direnci %14 azalttığı sonucuna varmıştır [12].

Roussillon (1981) aerodinamik direnç katsayısı C_D 'nin düşük hızlı çapraz rüzgarda yavaşlama metodu ile ölçülmesi için yol deneyleri yapmışlar ve C_D katsayısını 0.425 olarak belirtmiştir [11].

Makowski ve Kim (2000) otomobile benzer şekildeki bir modeli SAD paket programı FLUENT V.5 kullanarak üç farklı k- δ türbülans modeli (standart, realizable ve RNG ve Non-equilibrium duvar fonksiyonu ile çözmüşlerdir. RSM ile yapılan çözümde daha fazla CPU gerektiği ancak daha iyi sonuç alındığı belirtilmiştir [11].

Gümüşlüol ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada geçiş durumunda olan taşıtların aerodinamik etkileşimlerini rüzgâr tüneline deneysel olarak incelenmiştir. Sollamanın başladığı pozisyonda, geçecek modelin önündeki yüksek basınçlı bölgenin, geçilecek modelin arkasında oluşan düşük basınçlı bölge ile etkileşmekte olduğunu ve böylece hem öndeki hem de arkadaki aracın üzerindeki kuvvetlerin tek aracın yalnız seyahatinde oluşan sürüklenme kuvvetinden daha az oluştuğu sonucuna varmışlardır [14].

2004 yılında ise Le Good ve Garry otomobil aerodinamiğinde kullanılan basit gövdeleri (Ahmet model, NRSCC/SAE model, Rover model, Davis model, Docton model, Chrysler model, Ford aspect ratio model, GM model vs.) temel otomobil şekilleri ve değişken geometri modelleri (Ford variable, CNR, SAE/PININFARINA, Ford reference, Volvo ECC) incelenmiş ve avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir [11].

Dong Sun ve arkadaşları (2006) aerodinamik deneyler sonucunda elektrikle çalışan küçük hava taşıtı geliştirmişlerdir. İki tip kanat gövdeli (üçgen ve kare) taşıt prototipini rüzgâr ve su tünellerinde test etmişlerdir. Üçgen modelin kareye oranla daha yüksek

kaldırma katsayısına sahip olduğu, daha az girdap oluşturduğu ve böylelikle daha iyi dinamik performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Konstantin ve arkadaşları (2007) çalışmalarında su üstü hibrit trimaran modelinin aerodinamik katsayılarını rüzgâr tüneline belirlemişler ve farklı hücum açıları için “vortex-lattice” metoduna dayanan sayısal akışkanlar dinamiği (CFD computational fluids dynamic) bilgisayar kodları ile modelin aerodinamik analizini yapmışlar. Ayrıca modelde kanadın basınçlı tarafına uygulanan interceptor’un (kaldırma yüzeyine dik yerleştirilen plaka) aerodinamik kaldırmada etkili bir yükselme doğurduğunu görmüşlerdir.

Arief Suhariyono ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada küçük hava taşıtlarının aerodinamik karakteristiklerini (sürüklenme, kaldırma kuvvetleri ile yuvarlanma, yunuslama momentleri) test etmek için hassas bir ölçüm sistemini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak tasarlamışlar ve sistemin kalibrasyon değerleri ile analiz sonuçlarını karşılaştırdıklarında % 3.57 hata ile kabul edilebilir olduğunu görmüşlerdir. Bir kanat modelini rüzgar tüneline ölçüm sistemi ile test edip 4kanadın referans verileri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında ölçüm sisteminin doğru sonuç verdiği ortaya çıkmıştır [14].

2. OTOMOBİL AERODİNAMİĞİ

Uçak veya benzeri bir cisim ile hava arasında hız farkı bulunduğunda havanın cisme bir aerodinamik kuvvet etkidiğinden ve ayrıca bu kuvvetin, seçilen bir referans noktaya göre bir moment oluşturduğundan söz edilir. Aslında hava akımı cisme bir tek noktada kuvvet etkimez. Cisim ile havanın temas yüzeyinin her noktasında etkiyen kuvvetin bir dağılımı, ve her noktadaki kuvvetin de belirtilen bir referans noktaya göre yarattığı bir moment söz konusudur.

Hava akımının cisim yüzeyi üzerindeki herhangi bir noktada etkidiği kuvveti yüzeye dikey ve teğetsel doğrultularda olmak üzere iki bileşene ayırmak mümkündür. Bunlardan yüzeye dik olan bileşen basınç kuvveti, teğet olanı ise sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Kuvvet bileşenlerinin birim alana etkiyen kısımları ise sırasıyla basınç ve kayma gerilmesi olarak adlandırılır. Her ikisi de basınç boyutunda büyüklüklerdir [13].

Taşıt ve hava mutlak olarak sabit olmayıp arada bir bağıl hız olacağından aerodinamik kuvvetler oluşmaktadır. Bu kuvvetlerin oluşma nedenleri araç gövdesi üzerindeki dış akış ile motor, radyatör sistemi, araç içindeki ısıtma-soğutma, havalandırma maksadıyla oluşan iç akıştır. Oluşan direncin % 90'dan fazlası dış akıştan kaynaklanmaktadır.

Aerodinamik direncin en önemli kaynakları gövde direnci (basınç dağılımının yatay bileşeninden dolayı oluşur), akışkan direnci (türbülansların oluşmasından ve aerodinamik kaldırma kuvvetinden dolayı oluşur), sürtünme direnci (taşıt dış yüzeyinin hava ile temasından dolayı oluşur) ve iç hava akımıdır (taşıt sistemi içindeki boşluklarda havanın dolaşmasından dolayı oluşur).

Geometrik boyutları ve hızı bilinen bir aracın hava direnç kaybını azaltmanın tek yolu aracın dış formuna bağlı olan sürüklenme katsayısı C_D 'yi azaltmaktır. C_D değerinin azaltılması; binek araçları için ekonomik açıdan, belli hıza çıkması istenen araca daha küçük motor takılabilmesi anlamına gelir. Yarış arabalarında ise yüksek performans hedeflendiğinden motor gücü sabit bir aracın daha yüksek hıza erişebilmesi C_D değerinin önemini ortaya koyar.

Taşıtlarda motorun ürettiği güç, hava direnci ve sistem içindeki kayıpları dengeler. Düşük hızlarda hava direnci diğer kayıplar yanında oldukça düşük mertebelerdedir. Ancak hız 30-40 km/h değerine ulaşınca hava direnci önem kazanır (Tablo 1). Bunun nedeni ise hava direncinin hızın karesiyle doğru orantılı olarak artmasıdır [14].

Tablo 1. Benzin motorlu 1200 kg'lık bir otomobilde 90 km/h hızda yakıt enerjisinin % (yüzde) olarak kullanımı [14].

Kayıplar	Kısmi yük (sabit hız)		Tam yük (ivme veya yokuş)	
Termodinamik kayıplar	% 78		% 72	
Yardımcı sistemler	% 5	Krank milindeki faydalı enerji % 22	% 5	Krank milindeki faydalı enerji %28
Tekerlek yuvarlanma kaybı	% 4.6		% 2	
İvme veya yokuş kaybı	% 0		% 14.3	
Aerodinamik kayıplar	% 10.6		% 5.9	
Transmisyon kaybı	% 1.8		% 0.8	
Taşıta verilen toplam enerji	% 100		% 100	

Sürüklenme katsayısı C_D 'nin azaltılabilmesi için araç formları gün geçtikçe aerodinamikteki adıyla damla formuna benzetilmeye çalışılmaktadır. En ideal şekil ise su damlası şekli olarak bilinen yatay eksene göre simetrik şekle aittir. Damla formunun özelliği doğrusal akımda bilinen en az bozuntuya sebep olan yapı olmasıdır [14].

Sürüklenme katsayısını azaltmak için yapılan çalışmalarda aracın kaportası çevresinde akan havanın kesintisiz ve pürüzsüz bir yüzey etrafında akması sağlanarak sürüklenme katsayısı daha da düşürülebilmektedir. Bu çalışmalarda; araçlarda kapı camlarının ve farların kaporta ile aynı yüzeyde olması, ön ve arka camların daha yatık tasarlanması, lastik oyuklarının genişletilmiş çamurluklarla örtülmesi, ön ve arka tekerlekler arasına etekler yerleştirilmesi, ön panel altına hava bentleri (airdam) yerleştirilmesi ve aracın altındaki düzgünsüzlükleri alt kaplama takviyesi gibi önlemler alınmaktadır.

C_D değerini azaltma çalışmalarının sonucu olarak geliştirilen farklı önlemler sayesinde direnç kaybı oldukça düşürülebilmektedir. Ancak bu amaç için uygulanacak ilave önlemlerin doğurabileceği maliyet artışı C_D değerinin küçültülmesi sonucu ortaya çıkacak avantajı geçeceğinden bu gibi önlemler şimdilik deneme, geliştirme ve yarış araçları gibi özel amaçlı araçlara uygulanabilmektedir.

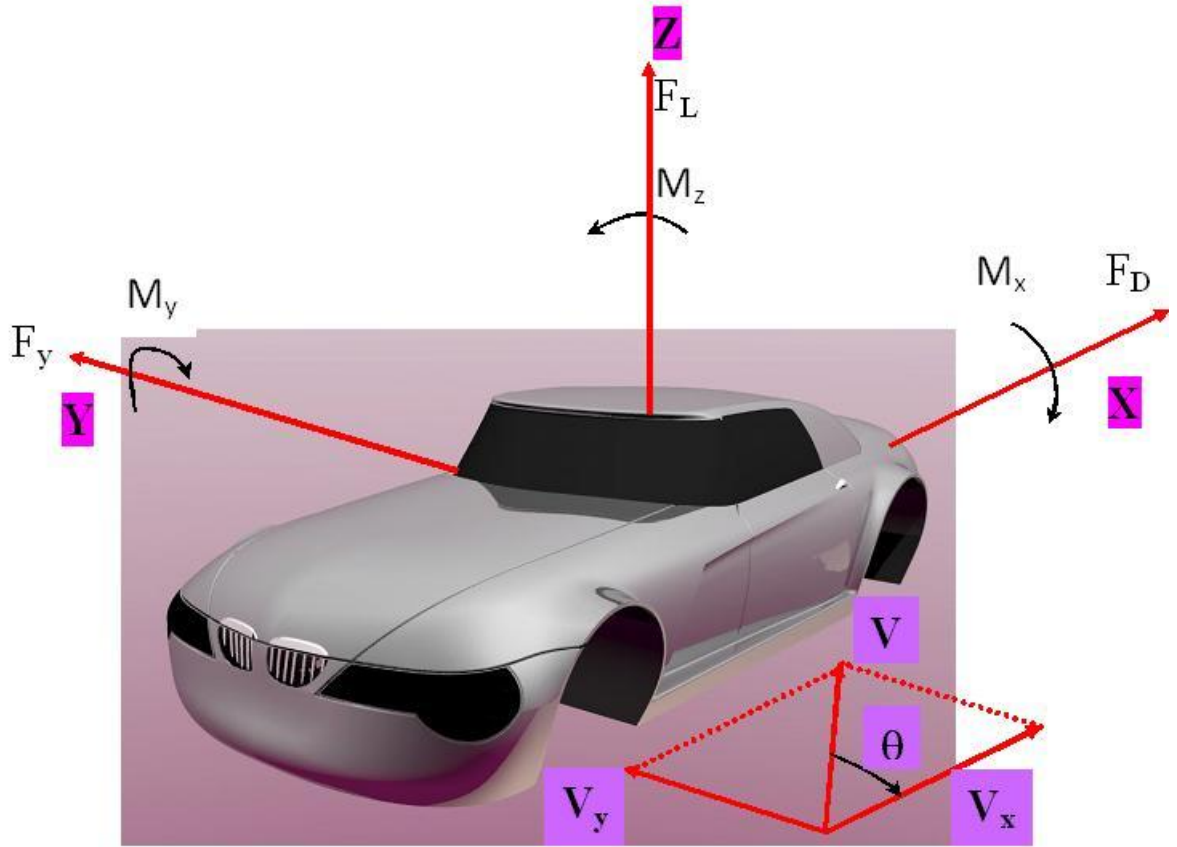
Bu konuda rekor 0.182 ile Mercedes'in C111 serisinin 1985'de geliştirdiği C111/4 modelindedir. Zaman değerlerini alt üst eden 1936 yapımı geliştirilmiş Mercedes W125 0.20'lik C_D değeri ile damla formuna en yakın araçlardan biridir (Şekil 1) [14].



Şekil 1. 1936 yapımı Mercedes W125 [14].

2.1. Sürüklenme Kuvveti ve Gücü

Aerodinamik kuvvetin cismin hareket yönüne paralel ve ters yönlü olan bileşeni sürüklenme direnç kuvveti (F_D), cismin baş ve kuyruk uç noktalarından geçen eksene göre dik olan bileşeni kaldırma kuvveti (F_L), F_y yanlama kuvveti olarak tanımlanır. Cismin, otomobil gibi bir araç olması halinde aracın ön ve arka akslarına paralel etkiyen kaldırma kuvvetlerinin eşit olmamasından kaynaklanan moment, oluşan hareketin biçimi nedeniyle yunuslama momenti M_y , M_x yuvarlanma momenti, M_z ise yanlama momenti olarak adlandırılır. Araçların aerodinamik karakteristikleri belirlenerek, aerodinamik açıdan kaliteleri kıyaslanırken bu büyüklüklerin boyutsuz katsayılara dönüştürülmüş değerleri kullanılır. Sürüklenme direnç kuvvetinin boyutsuz haline sürüklenme direnci katsayısı C_D olarak tanımlanır.



Şekil 2. Hareketli bir otomobile etkiyen kuvvetler ve momentler.

Araçların aerodinamik özelliklerinin geliştirilmesiyle ile yakıt sarfiyatından büyük ölçüde tasarruf sağlanabilir. Bir aracın aerodinamik özelliklerinin araç kirliliği, motor soğutma sistemi, havalandırma sistemi, fren sistemi, araç etrafındaki hava akışından kaynaklanan gürültü miktarı gibi birçok yönden etkisi vardır.

Kaynakların içerik ve yayımlanma tarihleri incelendiğinde otomobillerin aerodinamik özelliklerinin araştırılmasının İkinci Dünya Savaşı sonrasında önem kazandığı görülmektedir. Özellikle sürüklenme direnci katsayısını azaltmaya yönelik araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sonuçları üretime yansıtılıp düzenlenen otomobil yarışlarında diğer özelliklerin yanında aerodinamik yapılar da karşılaştırılmıştır.

Otomobillere etki eden en büyük aerodinamik kuvvet bileşeni genellikle sürüklenme (direnç) kuvvetidir. Yakıt sarfiyatı bu kuvvete doğrudan bağlı olup, motor gücünün bir kısmı bu kuvveti yenmek için harcanır. Örneğin 48km/h hızı olan bir otomobilde aerodinamik sürtünme, yer ve lastik arasındaki yuvarlanma sürtünmesini aşabilmektedir.

Analitik olarak;

Otomobile etkiyen aerodinamik sürüklenme (direnç) kuvveti;

$$F_D = q \cdot C_D A_f = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 C_D A_f \quad (2.1)$$

Şeklinde tanımlanır. Burada q dinamik basıncı, C_D aerodinamik direnç (sürüklenme) katsayısını, A_f aracın projeksiyon alanını, ρ havanın yoğunluğunu ($\rho=1.227 \text{ kg/m}^3$) ve V aracın hızını göstermektedir. A_f aracın projeksiyon alanı;

$$A_f = (0.8)(a)(b) \quad (2.2)$$

Şeklinde tanımlanmakta olup, burada a aracın maksimum yüksekliğini, b ise aracın maksimum genişliğini göstermektedir.

Sürüklenme gücü 'P' ise;

$$P = F_D \cdot V = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 C_D A_f, \text{ kW} \quad (2.3)$$

C_D aerodinamik direnç katsayısı, verimlilik, yüksek hız ve yakıt ekonomisi hedef alındığında çok önemli olmaktadır. Bu katsayının mümkün olduğunca düşük olması istenir.

Bu katsayı;

$$C_D = C_{DP} + C_{DF} + C_{DB} \quad (2.4)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada C_{DP} basınç (form veya şekil) direnci katsayısını ifade eder ve otomobilin yüzeyi üzerinde akım ayrılması olmayan bölgede yüzeye dik olarak etki eden basıncın neden olduğu sürüklemeyi ifade eder. C_{DF} sürtünme (viskoz) sürüklenme katsayısını ifade eder ve aynı yüzey üzerinde yine akım ayrılmasının olmadığı bölgede yüzey sürtünmesinin neden olduğu sürüklemeyi gösterir. C_{DB} ise taban sürüklemesini ifade eden katsayı olup, akım ayrılması ile meydana gelir ve sürüklemenin en büyük kısmını oluşturur. Bu nedenle sürüklenme kuvvetini azaltmaya yönelik çalışmalar genellikle otomobil üzerindeki akım ayrılmasını azaltmaya ve art iz bölgesinin yapısını değiştirmeye yönelik olarak yapılmaktadır. Ayrılmış bölge ne kadar büyükse basınç direncide o denli büyük olur. Akım ayrılmasının etkileri, aşağı akımın uzağında, yukarı akım hızına göre azalmış hız biçiminde hissedilir. Cismin hız üzerindeki etkilerinin hissedildiği cismin ardında uzayan akış bölgesine art iz bölgesi denir. İki akış tekrar birleştiğinde ayrılma bölgesi de sona erer. Dolayısıyla ayrılmış bölge kapalı bir hacimdir. Ancak art izi cismin arkasında büyümeye devam eder. Bu büyüme, art izi bölgesindeki akışkan kendi hızını kazanıncaya ve hız profili neredeyse düz oluncaya kadar devam eder. Viskoz ve dönel etkiler; sınır tabakada, ayrılmış bölgede ve art izinde büyük önem taşır.

2.2. Kaldırma Kuvveti ve Yunuslama Momenti

Otomobilin özellikle alt ve üst yüzeylerindeki basınç ve sürtünmeden kaynaklanan taşıma kuvveti ve yunuslama momenti, otomobilin simetri düzleminde meydana gelir. Otomobilin alt yüzeyi ile yol arasında kalan bölge bir kanal gibi çalışır. Otomobilin arkasına doğru kanal daralırsa akım geriye doğru hızlanır ve basınç düşer. Genişleyen kanal halinde ise akım yavaşlar ve basınç artar. Bu durum kaldırma kuvvetinin ön ve arka tekerleklerle dağılımı üzerinde önemli ölçüde etki edebilir. Kaldırma kuvveti ve yunuslama momenti otomobilin kontrol ve stabilitesi açısından da oldukça önemlidir [4].

2.3. Yanlama Kuvveti, Yanlama Momenti ve Yuvarlanma Momenti

Otomobilin herhangi bir yan rüzgarın etkisinde olması veya hareket doğrultusunun simetri düzlemi içinde olmaması durumunda, otomobile diğer kuvvet ve momentlerden başka yanlama kuvveti ve momentleriyle birlikte yuvarlanma momenti de etkir. Bu durumda hız doğrultusuyla simetri düzlemi arasındaki yanlama açısı önemli bir parametre olmaktadır. Yanlama kuvveti, yanlama momenti ve yuvarlanma momenti otomobilin iki yüzeyi etrafındaki akım alanının farklı olduğu, iki aracın yan yana hareketli veya birbirini geçmesi hallerinde de meydana gelebilir [4].

3. AERODİNAMİK ETKİLERİN HESAPLAMALARI

Bir cisim üzerine etki eden aerodinamik etkilerin hesabı sayısal analiz yöntemiyle (paket programlar yardımıyla) ve deneysel olarak (rüzgar tüneli kullanarak) hesaplanabilir ve üretici firmaların vermiş olduğu değerlerle kıyaslanabilir.

3.1. Sayısal Analiz Yöntemi

3.1.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği günümüzde özellikle akışkan ile ilgili olan ürünlerin analizlerinin yapılmasına ve performanslarının sınanmasında kullanılmaktadır. Bu programlar kullanılarak süreklilik, momentum ve enerji denklemleri bilgisayar ortamında sayısal olarak çözülmekte ve akış ile ilgili bazı parametrelerin dağılımlarının elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde bu alanda profesyonel olarak çalışan ve değişik akışkanların çözümünü elde eden uzmanlara ulaşmak zor değildir [5].

3.1.2. Gambit

Gambit hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve sonlu elemanlar analizlerinde kullanılabilen genel amaçlı bir ön işlemcidir [5].

Diğer ön işlemcilerin aksine Gambit, sahip olduğu katı modelleme araçları sayesinde hem orta derecede karmaşık geometrilerin oluşturulmasına hem de gelişmiş geometri alım kapasitesi sayesinde UNIGRAPHICS, I-DEAS, Pro/ENGINEER, CATIA, SOLIDWORKS gibi profesyonel katı modelleme programlarından model alımına olanak tanıyarak kullanıcıya büyük bir esneklik sağlar.

3.1.3. Fluent

Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. 1983'ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki HAD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari HAD yazılımı olarak kullanıcıların en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır [5].

Fluent genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbo makine (fanlar kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcıya birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olasılığı sağlar.

3.2. Deneysel Yöntemler

Otomobil ve diğer kara taşıtlarına etkiyen aerodinamik kuvvet sistemi, taşıtın etrafındaki akım alanı yapısına bağlıdır. Akım alanıyla ilgili hava tünellerinde gerçek otomobil boyutlarındaki modeller üzerinde deneyler yapılması bir zarurettir [4]. Kara taşıtları için Schlichting [6]'in iplik yöntemi, Ahmet [7]'in yağ yöntemi ve duman yöntemi gibi yöntemler kullanılmakla birlikte su tünelleri de kullanılabilir.

Otomobil gibi kara taşıtları etrafındaki akım alanı üç boyutlu olup, oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Hava tüneli deneylerinde blokaj etkisi önemli olduğundan açık deney odalı olanları daha çok tercih edilirler [8].

Otomobil sanayisinin ülkemizde gelişebilmesi için hava tüneli deneyleri yapılmalıdır [9]. İTÜ Aerodinamik Laboratuvarındaki Hava Tünelleri, ODTÜ Hava Tüneli, TÜBİTAK SAGE ve Ankara Rüzgar Tünelleri bu maksatla kullanılabilir [9].

3.2.1. Benzerlik

Deneysel çalışmaların gerçek prototipler üzerinde yapılması, prototipin boyutlarının büyüklüğü, deney teçhizatının maliyeti vs. gibi nedenlerle genellikle çok güç olduğundan, model kullanımı zaruri hale gelir. Sonuçların prototip üzerindeki uygunluğunun sağlanması için modelin belirli özelliklerinin prototipin özellikleri ile aynı veya yakın değerlerde olması şarttır. Akışkanlar dinamiği deneylerinde prototip ve model arasında üç farklı benzerlik şartı aranır. Bunlar geometrik benzerlik, kinematik benzerlik ve dinamik benzerliktir.

3.2.1.1. Geometrik benzerlik

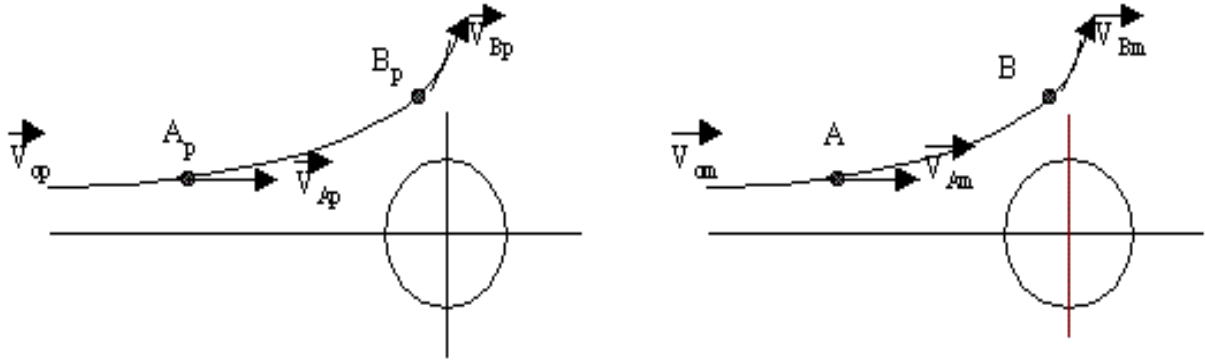
Geometrik benzerliğin sağlanması için modelin boyutsal ölçülerinin, prototipin boyutsal ölçüleri ile orantılı olması gerekir.

3.2.1.2. Kinematik benzerlik

Kinematik benzerlik şartının sağlanması için prototip ve model üzerindeki hız vektörleri paralel ve mutlak değerlerinin oranlarının sabit olması gerekir.

$$V_{Ap} / V_{Am} = V_{Bp} / V_{Bm} = V_{op} / V_{om} = C = \text{sabit} \quad (3.1)$$

$$a_{Ap} / a_{Am} = a_{Bp} / a_{Bm} = a_{op} / a_{om} = C = \text{sabit} \quad (3.2)$$



Şekil 3. Kinematik benzer akışlar [10].

Aerodinamik deneylerde kinematik benzerlik şartının sağlanması, akım çizgilerinin model ve prototip için aynı olduğu anlamına gelir. Rüzgar tüneli deneylerinde kinematik benzerliğin sağlanması blokaj etkisine de bağlıdır. Gerçekte durağan halden hareketli hale geçen otomobil çevresinde oluşan hava hareketi, aracın dış yüzeyinde bir sınır tabaka oluşmasına neden olur. Akışkanın sınır tabaka içindeki hızı plaka yüzeyinden yukarı doğru parabolik bir oranla artar, plaka yüzeyinden itibaren belirli bir δ yükseklikte hız serbest akış hızına eşit olur. Prandtl, δ yüksekliğini "sınır tabakası kalınlığı" olarak adlandırmıştır.

Model, tünel kesit alanı içerisinde büyük bir alanı işgal ederse model ile tünel duvarı arasında kalan alan daralır ve akışkan hızını koruyarak bu dar alandan akıp geçmeden bloke olur ve sınır tabakanın üzerinde akış hızı serbest akış hızına eşit olamaz, akış düzeni bozularak blokaj hataları oluşur. Bunun sonucu olarak akım çizgilerinin gerçekte prototip üzerinde oluşan akım çizgileriyle paralellik şartı sağlanamaz. Ölçülen serbest akış değeri doğru olamayacağından deneylerde elde edilen sonuçlar da gerçeği yansıtamaz. Blokaj oranı model kesit alanının rüzgar tüneli deney odasının kesit alanına oranı olarak tanımlanır. Literatürde rüzgar tüneli deneylerinde blokaj etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olabilmesi için blokaj oranının %10 sınırının altında olması tavsiye edilir [10].

$$\text{Blokaj oranı} = \text{Model Kesit Alanı} / \text{Deney Odası Kesit Alanı}$$

3.2.1.3. Dinamik benzerlik

Geometrik ve kinematik olarak benzer sistemlerde dinamik benzerliğin de sağlanması için, geometrik olarak benzer konumlardaki kuvvet vektörleri paralel ve mutlak değerleri orantılı olmalıdır.

$$(F_p/F_v)_m = (F_p/F_v)_p = \text{sabit ve } (F_p/F_g)_m = (F_p/F_g)_p = \text{sabit olmalıdır.} \quad (3.3)$$

F_p = basınç kuvveti, F_v = kesme kuvveti, F_g = yerçekimi kuvveti,

Akışkan hareketi sırasında atalet, viskozite, basınç, yerçekimi, yüzey gerilimi ve sıkıştırılabilirlik kuvvetleri ile karşılaşılır. Herhangi iki kuvvetin birbirine oranı boyutsuz

olacaktır. Aslında dinamik benzerlik için analiz sonucunda elde edilen boyutsuz katsayıların model ve prototip için aynı olması gerekir. Geometrik benzer akışlar için ise sadece bir boyutsuz katsayının eşit olması yeterlidir. Otomobil üzerindeki akışın incelendiği bu çalışma için etkin kuvvetler atalet ve viskoz kuvvetlerdir.

$$Re = \text{Atalet kuvveti} / \text{Viskoz kuvvet} = (V^2 L^2) / (VL\mu) = (\rho VL) / \mu = VL / \nu \quad (3.4)$$

Atalet ve viskoz kuvvetin etkin kuvvet olduğu örneklerde tam dinamik benzerliğin sağlanması için Re sayılarının model ve prototip için aynı olmaları gerekir. Ancak model ve prototip aynı boyutlarda olmadığı sürece, Re sayılarında eşitliğin sağlanması çok güçtür. Ancak ölçülen büyüklükleri ifade eden boyutsuz katsayılar belirli bir hız değerinin üzerinde Reynolds sayısından etkilenmiyor ve Re sayısı arttıkça değişmiyorsa dinamik benzerlik sağlanmış demektir [10].

3.2.1.4. II Teoremi (Buckingham Teoremi) yardımı ile otomobil üzerindeki akışın boyut analizi

Boyut analizinde deneysel ölçümlerde bağımlı ve bağımsız deney değişkenler arasındaki karmaşık ifadeleri belirlemede kullanılan bir teoremdir. Deneylerde ölçülen fiziksel büyüklükler bir boyut ve bu boyutun standart birimi türünden ifade edilen bir şiddete sahiptirler. Temel boyutlar kütle, uzunluk ve zaman, olup bunlar sırasıyla M, L, T harfleriyle gösterilmektedir. Bunlar dışında diğer tüm fiziksel büyüklükler bu temel boyutlar cinsinden ifade edilebilmektedirler.

Her araç için farklı büyüklüklerde kuvvet ve momentler oluşacağından taşıt üzerindeki aerodinamik kuvvet ve momentler kuvvet birimleri cinsinden ifade edildiğinde karşılaştırma yapmak güçtür. Bu büyüklüklerin boyutsuz hale getirilmesi için akışkanlar dinamiğinde incelenen parametreler üzerinde boyutsal analiz yöntemleri uygulanır. Buckingham Pi teoremi kullanılarak, bağımlı bir değişkene etki eden bağımsız değişkenler boyutsuz sayılar olarak birleştirilerek analiz için gerekli olan değişken sayısı azaltılır [14].

Otomobil üzerine etki eden sürüklenme kuvveti, F_D ; L (karakteristik uzunluk), V (serbest akış hızı), ρ (akışkanın yoğunluğu), μ akışkanın viskozitesine bağlıdır.

$F_D = f(V, L, \rho, \mu)$ şeklinde ifade edilebilir.

Tablo 2. Temel mühendislik büyüklüklerinin bir kısmının temel boyutlar cinsinden ifadesi [14].

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Boyut
Uzunluk	L	L
Alan	A	L ²
Kütle	M	M
Zaman	T	T
Yoğunluk	ρ	ML ⁻³
Dinamik viskozite	μ	ML ⁻¹ T ⁻¹
Kinematik viskozite	ν	L ² T ⁻¹
Hız	V	LT ⁻¹
İvme	a	LT ⁻²
Basınç	P	ML ⁻¹ T ⁻²
Hacimsel debi	Q	L ³ T ⁻¹
Kuvvet	F	MLT ⁻²
İş	W	ML ² T ⁻²

F_D , V, L, ρ , μ ve buna göre fiziksel büyüklük sayısı = n = 5 olur. Bütün değişkenler temel boyutlar cinsinden ifade edilir. Ana boyut sayısı = m = 3, bunlar M,L,T dir. ρ , V, L değişkenleri tekrarlanan değişkenler olarak seçilir. Geriye kalan parametreler (F, μ), tekrarlanan parametreler ile gruplanır. Boyutsuz grup sayısı n-m = 5-3 = 2 olarak bulunur ve aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\pi_1 = f_1(\rho, V, L, F_D) , \pi_2 = f_2(\rho, V, L, F_D) \text{ ve } \pi_1 = f_3(\pi_2) \text{ olur. } \pi_1 = \rho^{x_1} \cdot V^{y_1} \cdot L^{z_1} \cdot F_D \text{ ve } \pi_2 = \rho^{x_2} \cdot V^{y_2} \cdot L^{z_2} \cdot \mu$$

şeklinde yazılabilir.

Denklemler düzenlenirse;

$$\pi_1 = (ML^{-3})^{x_1} \cdot (LT^{-1})^{y_1} \cdot (L)^{z_1} \cdot (M \cdot L \cdot T^{-2}), \\ \pi_2 = (ML^{-3})^{x_2} \cdot (LT^{-1})^{y_2} \cdot (L)^{z_2} \cdot (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}) \text{ haline getirilebilir.}$$

π_1 için;

$$M: x_1 + 1 = 0 \text{ ise } x_1 = -1$$

$$T: -y_1 - 2 = 0 \text{ ise } y_1 = -2$$

$$L: -3x_1 - y_1 + z_1 + 1 = 0 \text{ ise } z_1 = -2 \text{ bulunur.}$$

Sonuç olarak;

$$\pi_1 = f_1(\rho, V, L, F_D) = \frac{F_D}{\rho V^2 L^2} \text{ elde edilir.} \quad (3.5)$$

π_2 için;

M: $x_2 + 1 = 0$ ise $x_2 = -1$

T: $-y_2 - 1 = 0$ ise $y_2 = -2$

L: $-3x_2 - y_2 + z_2 - 1 = 0$ ise $z_2 = -1$ bulunur.

Sonuç olarak;

$$\pi_2 = f_2(\rho, V, L, F_D) = \frac{\mu}{\rho V L} \text{ elde edilir.} \quad (3.6)$$

Bu değer ise $\frac{1}{Re}$ değerine eşittir.

π_1 ve π_2 arasında;

$$\pi_1 = f_3(\pi_2) \text{ veya } \frac{F_D}{\rho V^2 L^2} = f_3\left(\frac{1}{Re}\right) = f_4 Re \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de L^2 yerine otomobilin karakteristik alanını (A) yazıp, 1/2 gibi bir katsayı ile çarparsak;

$$\pi_1 = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} = f_5(Re) = C_D \quad (3.8)$$

Bu denklemde C_D sürüklenme direnci katsayısıdır. Denklemden de anlaşılacağı gibi C_D sürüklenme direnci katsayısı Re sayısı ile ilişkilendirilebilir.

3.2.2. Deneysel yöntem türleri

3.2.2.1. Kuvvet ve basınç ölçümü yardımı ile yapılan hesaplamalar

Böyle bir deneysel çalışmada kullanılan kuvvet ölçme sistemi yük hücreleri (load-cell) kullanılarak tasarlanmış bir düzenek ve ona bağlı bir elektronik gösterge ve komutatörden oluşur. Böyle bir çalışmada C_D sürüklenme direnci katsayısını yüksek doğrulukla belirlemek amaçlandığından sadece buna yönelik bir sistem tasarlanmıştır.

Genel olarak deneyler iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada basınç dağılımını belirlemek üzere model üzerinde açılan yüzeye dik deliklerden farklı serbest akış hızlarında basınç ölçümleri yapılır. İkinci aşamada serbest akış hızı küçükten büyüğe değiştirilerek sürüklenme kuvvetleri ölçülür. Son olarak (3.9) denkleminde C_D katsayısı hesaplanır.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (3.9)$$

Deneyisel çalışmalarda bir binek otomobil modelinin aerodinamik karakteristiği, rüzgar tüneline çeşitli serbest akış hızlarına karşılık, model üzerindeki çeşitli noktalarda basınç, sürüklenme direnci kuvveti, kaldırma kuvvetleri ölçülerek belirlenmeye çalışıldığından yapılan ölçümler akış hızı ölçümü, basınç ölçümü ve kuvvet ölçümleridir

Rüzgar tüneli: Deney odasına modelin yerleştirilebildiği ve akış hızının değiştirilerek istenilen şartların oluşturulduğu deney ortamıdır.

Fark basınç ölçer: Araç üzerindeki basınç dağılımı ölçümlerinde ve rüzgar tüneli içerisindeki serbest akış hızının ölçümünde pitot tüpü ile birlikte kullanılır.

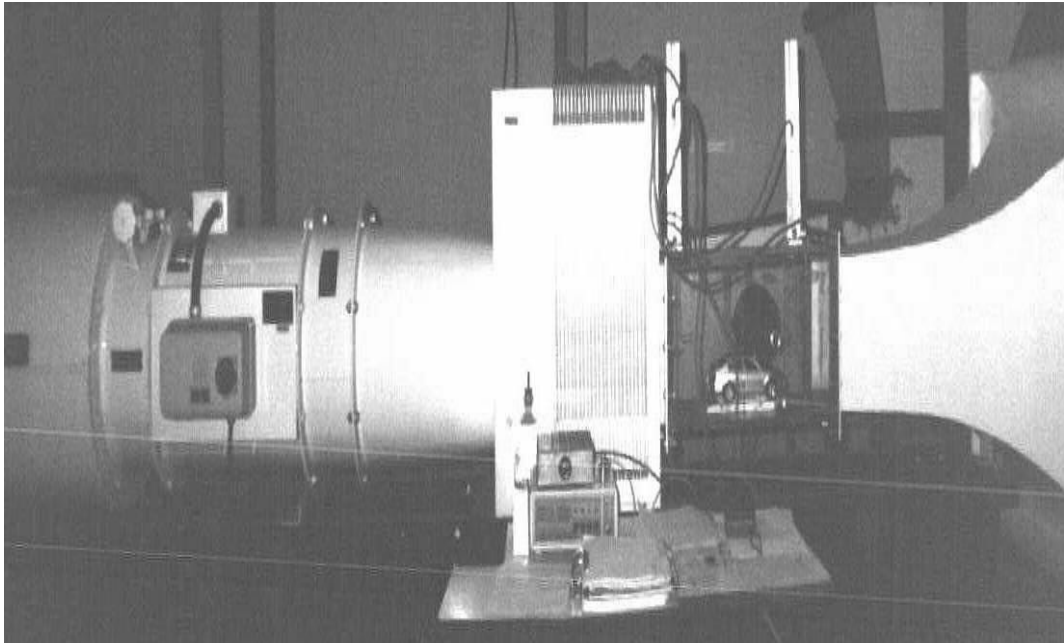
Kuvvet ölçüm düzeneği: Üç adet yük hücresi kullanılarak bu çalışma için tasarlanmış özel düzeneştir. Sürüklenme direnci ve kaldırma kuvvetlerinin ölçümünde kullanılır.

Elektronik gösterge: Kuvvet ölçüm düzeneğine bağlanarak her bir yük hücresine düşen yükün ölçümünde gösterge olarak kullanılır.

Sıcaklık ve nem ölçer: Deneylerin yapıldığı laboratuvarın ortam koşullarının belirlenmesi amacıyla kullanılır.

Kalibrasyon ağırlıkları: Kuvvet ölçüm düzeneğinin kalibrasyonu amacıyla kullanılan ağırlık etalonlarıdır.

Böyle bir deneyisel çalışma H. Y. Aka tarafından yüksek lisans tezi için yapılmıştır [10]. Yapmış olduğu çalışmada boyutları 4127 mm x 1100 mm x 1600 mm ve deney odası kesit alanı 300 x 300 mm olan bir rüzgar tüneli kullanmıştır.



Şekil 4. Deneylerin yapıldığı rüzgar tünelinin fotoğrafı [10].

Kullanılan model araç piyasada kullanılan BMW 3 serisi bir binek otomobilin 1/16 ölçeğinde küçültülmüş ve aşağıdaki özelliklere sahip bir örneğidir [10].

Malzeme: Plastik

Ağırlık: 339.4 gr

Yükseklik: 89 mm

Genişlik: 110 mm

Karakteristik Alan (A): 0.0095 m²

Uzunluk (L): 280 mm

Akslar Arası Uzaklık (l): 168 mm



Şekil 5. Deneylerde kullanılan model aracın fotoğrafı [10].

Deney sonucunda modelin sürüklenme direnci katsayısını $C_D = 0,355$ olarak bulmuştur. Bu değer ise günümüz binek otomobilleri için belirtilen değerlere yakındır. Ancak prototip imalatçısı aynı model binek otomobilleri için C_D değerini 0,31 mertebesinde açıklamaktadır.

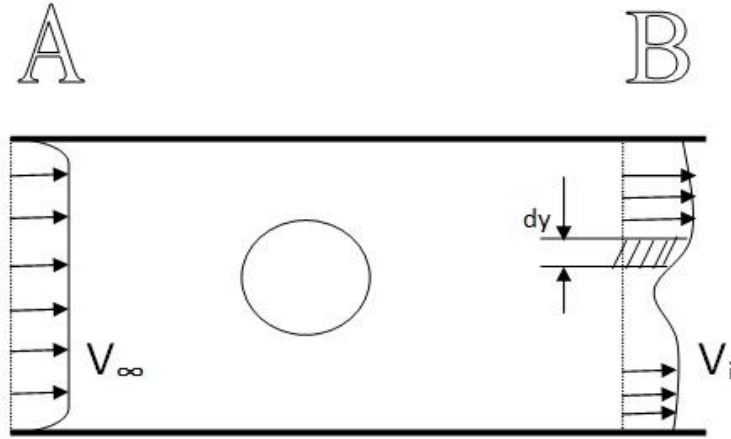
Sonuç olarak aradaki farkın nedenlerini ise modelin geometrik benzerliğinde %100 benzerliğin sağlanmamış olma ihtimali, blokaj etkileri, model dış yüzeyinin prototipe oranla bir miktar pürüzlü olması, ve gerçek koşulların simülasyonu için modelin üzerinde duracağı bir hareketli bandın olmaması (Durağan haldeki model alt yüzeyi ve yol arasında oluşan blokaj etkileri gerçekte olduğundan daha büyük olacaktır.) gibi durumlardan kaynaklana bileceğini söylemiştir [10].

Yakup İçingür ve Hamit Solmaz düşük hızlı bir rüzgar tüneline değişik otomobil modellerinin aerodinamik direnç katsayılarını hesaplamıştır. Üç adet model otomobilin

direnç katsayılarını 5-27 m/s hızları arasında % 14, % 12.5 ve % 7.8 hata oranı ile bulmuşlardır [27].

3.2.2.2. İz tarama metodu (momentum kaybı) ile yapılan hesaplamalar

Hava tüneli deney akışı içersine yerleştirilmiş bir silindir düşünelim. Çapı ‘D’ uzunluğu ‘b’ olsun. Başta üniform kabul ettiğimiz hız dağılımı cismin iz akış bölgesinde değişecektir (Şekil 6) A ve B bölgeleri arasındaki momentum kaybı cisme etkiyen dirence (F_D) eşit olacaktır. Hızlar dy aralığında bir pitot tüpü yardımı ile tespit edilebilir.



Şekil 6. Hava tüneli deneyi, akış içersine yerleştirilmiş silindir üzerindeki hız dağılımı.

$$\text{Birim elemandan geçen debi} = d\dot{m} = \rho \cdot V_i \cdot dy \cdot b \quad (3.10)$$

A ve B arasındaki momentum kaybından yola çıkacağız.

$$\text{A kesitinin momentumu (birim elemana karşılık gelen)} = \rho \cdot V_i \cdot dy \cdot b \cdot V_\infty \quad (3.11)$$

$$\text{B kesitinin momentumu (birim elemana karşılık gelen)} = \rho \cdot V_i \cdot dy \cdot b \cdot V_i \quad (3.12)$$

İkisinin farkı (kesit boyunca) F_D sürüklenme direnç kuvvetini verir.

$$F_D = b \int_{-\infty}^{\infty} (\rho \cdot V_i \cdot V_\infty - \rho \cdot V_i \cdot V_i) dy \quad (3.13)$$

$$F_D = b \cdot \rho \int_{-\infty}^{\infty} V_i (V_\infty - V_i) dy \quad (3.14)$$

V_∞ ve V_i hızları bir pitot statik tüpü yardımıyla tespit edilebilir.

A kesitinde;

$$P_T = P_\infty + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_\infty^2 \quad (3.15)$$

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_T - P_{\infty})} \quad (3.16)$$

B kesitinde;

$$P_{T_i} = P_i + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_i^2 \quad (3.17)$$

$$V_i = \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{T_i} - P_i)} \quad (3.18)$$

F_D ’ de yerine yazılırsa;

$$F_D = b \cdot \rho \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{\frac{2}{\rho} (P_T - P_{\infty})} - \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{T_i} - P_i)} \right] dy \quad (3.19)$$

düzenlenirse;

$$F_D = 2 \cdot b \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy \quad (3.20)$$

elde edilir. Direnç katsayısı ise;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho \cdot V_{\infty}^2 A} = \frac{F_D}{(P_T - P_{\infty})(D \cdot b)} \quad (3.21)$$

olduğundan;

$$C_D = \frac{2}{(P_T - P_{\infty})D} \sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy \quad (3.22)$$

A_f alanı farklı olduğundan denklem tekrar düzenlenirse;

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_{\infty})A_f} \sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy \quad (3.23)$$

Buradaki ‘dy’ ölçüm noktaları arasındaki mesafedir.

4. AERODİNAMİK YAPININ OTOMOBİL PERFORMANSINA ETKİLERİ

4.1. Yakıt Ekonomisi

Otomobillerin aerodinamik yapıları yakıt sarfiyatını önemli ölçüde etkilemektedir. C_D direnç katsayısını etkileyen otomobillerin ön kısmındaki köşelerin düzeltilmesi gibi hususlar ile A_f projeksiyon alanı ve aracın sürüş hızı gibi parametreler sürtünme gücünü, dolayısıyla yakıt tüketimini direkt olarak etkilemektedirler.

Önden arkaya doğru düzgün bir hava akışına sahip bir otomobilin yapımı oldukça zor ve trafikte kullanımı da uygun değildir. Bu nedenle dış biçim, taşıtın arka tarafındaki girdap alanını (taban kesiti) mümkün olduğu kadar küçük tutacak yapıda olmalıdır. Ön taraftaki akış koşulları (düzgün geometrik biçimde olmayan ön uç kısmı, hava giriş açıklıkları vb.) ve düzgün taban biçimleri de aynı zamanda önemli etkenlerdir. S.Canbazoğlu, 2000 yılında yayımladığı makalede, binek otomobillerde büyüklüğe göre yakıt sarfiyatının hıza bağlı olarak değişimini ayrıntılı olarak incelemiştir. Aynı makalede bazı araçların 90 km/h sabit hızda 100 km deki yakıt tüketimi değerleri direnç katsayısı ve projeksiyon alanlarına bağlı olarak verilmiştir (Tablo 3.) [9].

Tablo 3. Bazı araçların 90 km/h sabit hızda 100 km deki yakıt tüketimi değerleri [9].

MARKA/MODEL	GÜÇ [PS]	C_D	$A_f [m^2]$	Yakıt sarf.
1.4 lt ARAÇLAR				
OPEL CORSA	90	0.35	1.83	5.3
OPEL ASTRA	90	0.29	1.95	5.7
FİAT TİPO	89	0.3	1.98	5.2
RENAULT BROADWAY	84	0.36	1.88	6.2
FİAT UNO S	72	0.3	1.78	5.3
1.6 lt ARAÇLAR				
TOYOTA COROLLA	110	0.3	1.87	5.9
OPEL ASTRA	100	0.31	1.95	5.9
OPEL VECTRA	100	0.28	1.95	5.6
OPEL ZAFİRA	100	0.32	2.35	6.8
PEUGEOT 306	90	0.3	1.8	4.3
FİAT TİPO	104	0.3	1.98	5.3
FORD ESCORT	90	0.32	1.99	5.7
1.8 lt ARAÇLAR				
OPEL VECTRA	115	0.28	1.95	5.6
OPEL ZAFİRA	115	0.32	2.35	6.8
RENAULT LAGUNA	120	0.3	2.01	5.6
2.0 lt ARAÇLAR				
OPEL ASTRA	136	0.31	1.95	6.6
OPEL VECTRA	136	0.28	1.95	6.2
PEUGEOT 406 SV	135	0.32	1.97	6.1
RENAULT SAFRANE	138	0.3	2.10	6.3
RENAULT LAGUNA	140	0.3	2.01	6.1

Tablo 3’de verilen yakıt tüketimleri incelendiğinde düşük direnç katsayısı (C_D) ve düşük projeksiyon alanı (A_f) değerlerinin yakıt tüketimine olumlu etkileri gözükmemektedir.



Şekil 7. Rüzgarlıkları tanıtan bir şirketin reklam fotoğrafı [22].

Volvo Kamyon'daki aerodinamik uzmanı Linus Hjelm'e göre bugüne kadar uygulanan en etkili yardımcı donanım tavana monte edilen rüzgarlıklardır. Bu sayede hava akımının araç tavanı üzerinden geçerek araçtan daha yüksekte olan römork duvarına direkt olarak çarpması engellenir ve şoför mahalli üzerinden geçen hava römork tavanına düzgün bir şekilde akarak ulaşır. Tavana monte edilen rüzgarlık değişik römork tiplerinin yüksekliklerine uyum sağlayabilecek ve aynı zamanda çekici ve römork arasındaki boşluğu mümkün olduğunca kapatabilecek şekilde ayarlanabilme olanağına sahiptir. Tavan rüzgarlığının etkisini daha da geliştirmek için bu rüzgarlık çok dikleştirilir ise aradaki boşluğu kapatmak için arada ikinci bir rüzgarlık daha konabilir .

Aracınızın ağırlığı, yakıt sarfıyatı nedenlerinden biridir. Bu bağlamda yakıttan tasarruf için tasarım ve üretim de dikkat edilmesi gereken bir husustur. Araçta kullanılan malzeme hafif ve sağlam seçilmelidir. Ayrıca aracın maksimum yük kapasitesine göre motor seçilmelidir ve tüketicilere bildirilmelidir. Aracın sabit, standart ağırlığının dışında araçta ne kadar fazla yük varsa araç o oranda benzin ya da mazot harcayacaktır. Aracın içerisinde gereksiz yük ve eşya bulundurmamak gerekir. Bu konuda yapılan en büyük hata uzun yollarda, uzun seyahatlerde olmaktadır [23].

4.2. Yakıt Tüketimine Etki Eden Diğer Faktörler ve Önlemler

Lastik basıncının düşük olması yakıt tüketimini artırır. Lastiklerin basıncının hangi aralıkta olması gerektiği sürücü kapısının içindeki bir plakanın üzerinde yazmaktadır. Lastik basıncının burada belirtilen asgari değer altında olmamasına dikkat edilmelidir. Tercihen bu değerler mümkün olduğunca üst değere yakın olmalıdır. Lastik basıncının yükseltilmesi sürüş konforunu biraz azaltabilir.

Klima çalıştığında 100 km'de benzin tüketimi 1-2 litre artmaktadır, araç güneşte kaldığı zaman aracı çalıştırmadan önce camları açarak aşırı ısınmış havayı dışarı atılmalı, ayrıca klima çalışırken camları kapalı tutulmalıdır[24].

Yaz aylarında akşam-gece-sabah saatlerinde benzin satın alınmalı. Böylece daha yoğun/daha ağır benzin almış olunur. Depoyu ağzına kadar yakıtla doldurulmamalıdır.

Aracınızı 30 saniyeden fazla rölantide çalıştırılmamalı. Kışın hareket etmeden önce motorun ısınması için 1-2 dakika rölanti yeterli olmaktadır. Dururken ısıtmak yerine ölçülü kullanarak yolda ısıtılmalı. Bir araç bir saat rölantide çalışırsa 1 litre ekstra benzin tüketmektedir .

Şehir içi bölgelerde ekonomik ve ideal taşıt hızı 45-75 km/saattir. Gaz pedalını devamlı nazıkçe kullanıp ani kalkışlardan ve duruşlardan kaçınılmalı. Olması gereken vitesten düşük viteslerde aracı kullanmak yüzde 45'e varan daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Aracı ani olarak çalıştırıp hızlandırmak normal seyir esnasındaki değerden yüzde 60 daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Araç düz ve sarsıntısız sürülmelidir. Düz ve sarsıntısız sürme ekonomik yakıt tüketimine sebep olmaktadır.

Açık camlar, 100 km/saat hızda yüzde 4 ekstra yakıt sarfiyatına yol açmaktadır.

Aracı 90 km/saat yerine 110 km/saat hızla sürüldüğünde yüzde 20 daha fazla benzin tüketilmektedir. Aracı 20 km/saat ve daha düşük hızla sürüldüğünde yüzde 50 daha fazla benzin tüketilmektedir.

Motoru durdurmadan önce vitesi boşa alınmalıdır. Aksi durumda atık yakıt atılmasına sebep olunur.

Kirli hava filtresi yüzde 15 daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır [24].

Yolculuk esnasında araç fazla yükü yüklenilmemelidir. İstiap haddinin üzerindeki her 45 kg. ek yük, yüzde 7 ekstra yakıt tüketimine neden olmaktadır .

Bujiler benzin sarfiyatını azaltan en önemli motor ekipmanlarından birisidir, her 10.000 kilometrede bujilerin değiştirilmesi önemlidir.

Benzin sarfiyatının azalmasını sağlayacak bir diğer etken tam şarjlı aküdür. Tam şarjlı aküler voltaj regülatörü şarj dinamosunun verdiği elektriği en aza indirerek şarj dinamosunun emdiği beygir gücünü azaltarak morun çekişini artırır. Ayrıca tam doluyken silindirlerde tam yanmayı da sağlayan akünün bakımı da önemlidir.

Motor bakımı ise sarfiyat azaltan bir diğer sebeptir, aşınmış segmanlar motorun kompresyon oranını düşürürken yağ sarfiyatını artırır, kompresyon basıncı düşen motorun çekişi azalır ve yakıt sarfiyatı artar.

Aracın egzoz sisteminde tıkanıklık olmamasına dikkat etmeniz gerekmektedir, egzozda olabilecek tıkanıklıklar karşı basıncı yükselteceğinden motorda çekiş düşmesine sebebiyet verir.

Motora takılı kayışların gerginliği iyi ayarlanmalıdır, fazla sıkı olan kayış ayarı motora fazla yük bindireceğinden motor yükü taşıyabilmek için daha fazla yakıt tüketir.

Manuel şanzımanlarda benzin sarfiyatını arttıran etken kaçırın debriyajdır. Debriyaj tamamen yerine oturmadığı için motorun ürettiği gücü tam olarak transfer edemeyerek yakılan yakıtın boşa gitmesine sebebiyet verir. Ayrıca aracın rot ayarı bozursa benzininizin bir kısmı aracın bu bozukluklardan oluşan sürtünme ve sürüklemelerini engellemek için harcanır.

Aracın kaportasında yapılacak modifikasyonlara dikkat edilmelidir, aracın aerodinamik yapısını bozacak değişiklikler ile yakıt sarfiyatı arttırmaktadır

Bagajda lüzumsuz ağırlık yapan nesnelerden sakınılmalıdır, aracın havaya karşı göstereceği direnç azaldıkça gidilen yol artacağından aracın dış yüzeyinde yapıyı bozacak değişiklikler yapmaktan kaçınılmalıdır.

Yol bilgisayarı herhangi bir andaki yakıt tüketimini gösterir. Yol bilgisayarcının yardımıyla motor devrini ve vites seçimini en düşük tüketime göre ayarlamak mümkündür. Yol bilgisayarı yakıt tüketiminin azaltılmasında çok faydalı bir cihazdır [24].

4.3. Kontrol ve Stabilite

Otomobiller için kontrol ve stabilitenin ne kadar önemli olduğunu trafik kazaları göstermektedir. Aerodinamik yapıyla yakından ilgisi olan bu konuda taşıma kuvveti, yunuslama momenti ve yuvarlanma momentine ilave olarak, özellikle yanlama kuvveti ve yanlama momentinin ayrı bir önemi vardır. Taşıma kuvveti, otomobilin ağırlığını aşarsa aracın kontrolü imkansız hale gelir. Örneğin ön tekerleklere etki eden taşıma kuvvetinin, bu tekerlere etkiyen ağırlıktan fazla olması halinde, aracın yön kontrolü, direksiyonda bağımsız hale gelir. Bu nedenle yarış otomobillerinde kontrol ve stabilizeyi arttırmak için aracın ön ve arkasına, taşıma kuvvetini ters yöne(negatif) çevirecek yüzeyler konulmaktadır [9].

Yanlama açısının artmasıyla oluşan yanlama momenti, yanlama açısını daha çok artmaya zorluyorsa araç kararsız, aksi halde kararludur (stabil). Ayrıca yanlama kuvvetinin aerodinamik merkezinin, aracın ağırlık merkezinden geride olması halinde de kararluluk şartı sağlanmış olur.

Aracı özellikle virajlarda kaymasını engellemek için değişik sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri ESP dir. ESP Bosch tarafından geliştirilmiş, otomobillerde kullanılan bir sürüş destek birimidir. Açılımı Electronic Stability Program (Elektronik Denge Programı) olan sistemi ilk defa Mercedes firması 1995 yılında CL modellerine opsiyonel olarak sunmaya başlamıştır.

Farklı firmalarda farklı isimlerle anılan bu sistemin mantığı genel olarak şöyledir;

Bir merkezi kontrol ünitesi, direksiyon açısı sensörlerinden, moment sensörlerinden, ABS fren sisteminin sensörlerinden gelen verileri değerlendirerek, aracın kayıp kaymadığını hesaplar. Buna göre gerekli tekerlere fren yaptırarak ve motor gücüne müdahale ederek aracı tekrar izine döndürmeye çalışır. Örneğin araç önden kayarsa viraj içinde kalan arka tekerlek, arkadan kayarsa viraj dışında kalan ön tekerlek bağımsız olarak frenlenir. Böylece araç tekrar doğru ize döndürölmeye çalışılır [26].

4.4. Havalandırma ve Gürültü

Otomobillerde konforun ilk şartı havalandırmanın iyiliği ve gürültünün azlığıdır. Bu şartlar yolcunun rahatlığını sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Özellikle yüksek hızlarda, araçtaki keskin kenar ve çıkıntılar(yağmur olukları, silecek, dış dikiz aynaları, portbagaj, sunroof, vs.) hava akımında küçük bozukluklara, dolayısıyla rüzgar gürültüsüne sebep olacaktır.

5. DENEYİN YAPILIŞI

Bu çalışmada, model araçlar hava tüneline yerleştirilip pitot tüpü yardımıyla basınç ölçümleri yapılmış oluşacak momentum kaybından araçların yaklaşık olarak C_D aerodinamik sürüklenme katsayısı iz tarama metodu ile bulunmuştur. Deneylerde 1/18, 1/14, 1/14 ölçekli üç adet model araç kullanıldı. Bunlar sırasıyla Audi R8, Mini Cooper S ve BMW X6 binek otomobilleridir.

İlk deneyler Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarındaki hava tüneline yapıldı. Deneylerde yalnızca P_{T_i} değeri okunabildi $P_{T_i} - P_i$ (dinamik basınç) değeri okunamadığı için C_D aerodinamik sürüklenme katsayısını hesaplamak mümkün olmamıştır. Ayrıca pitot tüpleri aynı hazneye bağlı olmasından dolayı birbirlerini etkilediklerinden ölçümlerden hassas sonuçlar elde edilemedi.

Bu sebeplerden dolayı çalışma Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yürütüldü.

İlk olarak araçları deney odasının yatayında ve düşeyinde, deney odasının tam merkezine yerleştirmek amacıyla model aracın tekerleklerinin altına ahşap ayaklar koyarak ölçümler yapıldı. Fakat yapılan hesaplamalardan ölçümlerin hatalı olduğu görüldü. Çünkü ahşap malzeme akışın geçişini bozmaktaydı. İkinci adımda havanın akışını engellemeyecek şekilde misinadan köprüler yapıldı. Model araç yatayda ve düşeyde tam olarak deney odasının merkezine yerleştirildi ve hassas ölçümler yapılabilirdi.

Giriş kesitinde (aracın ön kısmında) $P_T - P_\infty$ değerini tespit etmek için pitot tüpü yardımıyla, deney odası tabanından tavanına kadar olan mesafede ölçümler yapıldı ve ortalama bir $P_T - P_\infty$ değeri elde edildi. Ölçümler de herhangi bir hatanın olmaması için bu işlem doğru ölçümler alana kadar tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçlarında $P_T - P_\infty$ değerinde herhangi bir sapma görülmemiştir.

Çıkış kesitinde (aracın arka kısmında) $P_{T_i} - P_i$ değerlerini tespit etmek için pitot tüpü yardımıyla, deney odası tabanından tavanına kadar olan mesafede 1cm aralıklarla 31 tane ölçüm yapılmıştır. Ölçümler de herhangi bir hatanın olmaması için bu işlem birçok kez tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçlarında $P_{T_i} - P_i$ değerlerinde herhangi bir sapma görülmemiştir. Deneyler sonucunda $(P_{T_0} - P_0) \dots (P_{T_{30}} - P_{30})$ olmak üzere 31 tane ölçüm değeri elde edildi. Giriş ve çıkış arasında oluşan momentum kaybından yararlanılarak, denklem (3.23)'den C_D aerodinamik sürüklenme katsayısı elde edilmiştir.

5.1. Deney Düzeneği



Şekil 8. Deney düzeneğinin fotoğrafı.

Şekil 8’de deney düzeneğine ait bir fotoğraf görölmektedir. Hava tünelinin deney odası ölçüleri 30 cm x 30 cm x 60 cm dir.

Deneye başlamadan önce deney düzeneği çalıştırılıp kontrol edildi. Deney odası ile deney düzeneğinin birleşme yerleri arasına conta lastiği yerleştirilip silikon malzeme ile yapıştırıldı. Hava kaçağı olan bölgeler onarılıp sızdırmazlık sağlandı. Deney düzeneğinin temizliği ve bakımı yapıldı ve deney düzeneği deneyler için hazır hale getirildi. Hassas değerkler almak ve herhangi bir hatanın olmaması amacıyla tüm deneylerde deney düzeneği sürekli olarak kontrol edildi.

Deneylerde basınç ölçümü için bir adet statik pitot tüpü, U tipi manometre ve havanın hızını ölçmek için bir adet dijital anemometre kullanılmıştır.

İz yönteminde $P_{T_i} - P_i$ ve $P_T - P_\infty$ değerklerinden yararlanarak havanın hızı, denklem (3.16) ve (3.18)’den hesaplandı. Deney sonuçlarının doğruluğunu kontrol amacıyla dijital anemometre ile de hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak hesaplanan değerklerle anemometreden alınan değerklerin yaklaşık olarak aynı olduğu görölmüştür.

U tipi manometre ile yapılan ölçümlerde sıvı olarak ispirto kullanılmıştır. Ölçümler de kontrol amacıyla iki ayrı U tipi manometre kullanıldı. Kullanılan manometrelerde alınan ölçüm değerklerinin aynı olduğu tespit edildi.



Şekil 9. Deneylerde dijital anemometre ile yapılan hız ölçümü.

5.2. Hesaplamalar

5.2.1 Mini Cooper S



Şekil 10. Mini Cooper S marka otomobilin fotoğrafı [15].

1959 yılında İngiltere' de Sir Alec Issigonis tarafından kurulmuştur. Uzun yıllar bazı ufak değişiklikler dışında aynı model olarak üretilmiştir [16].

Mini bugün BMW grubunun bir markasıdır. Mini, ilk defa 1959'da ortaya çıkan klasik Mini'nin devamıdır. MINI One ve MINI Cooper 2001'de pazara sunulmuş, ardından 2002 ve 2004'te sırasıyla MINI Cooper S ve MINI Cabrio modelleri takip etmiştir. Yenilenmiş bir tasarıma ve çok sayıda yeni özelliklere sahip 2. nesil MINI Cooper ve MINI Cooper S, 2006 sonbaharında pazara sunulmuştur [16].

Mini Cooper S uzun yıllar dış tasarımında değişikliğe gitmemiştir. Motor kapağı üzerindeki karakteristik hava deliği, 16 inç hafif metal alaşımlı sportif jantlar ve merkezi olarak yerleştirilmiş çift egzoz borusu ile şık bir görünüme sahip spor bir otomobildir.

Yüksüz ağırlık (EU) : 1215 kg

Boyutlar (L x b x D) : 3.729x1.683x1.40 m

Sürüklenme katsayısı (C_D) : 0.36 [15]

5.2.1.1. Model Mini Cooper S' in özellikleri

Kullanılan model otomobil piyasada kullanılan Mini Cooper S serisi bir binek otomobilin 1/14 ölçeğinde küçültülmüş ve aşağıdaki özelliklere sahip bir örneğidir.

Malzeme: Plastik

Ağırlık : 415 gr

Yükseklik (D) : 10 cm

Genişlik (b) : 11.7 cm

Karakteristik Alan (A_f): $0.8 \times b \times D = 0.8 \times 10 \times 11.7 : 93.6 \text{ cm}^2$

Uzunluk (L) : 27 cm

Akslar Arası Uzaklık (l) : 18 cm

Üretici Firma: Rastar (HK) Industrial Company Limited.



Şekil 11. Deneyde kullanılan Mini Cooper S model aracının fotoğrafı.

5.2.1.2. Mini Cooper S hesaplamaları

5.2.1.3. Sürüklenme katsayısının hesaplanması;

Tablo 4. Deneyler sonucunda Mini Cooper S model aracından elde edilen basınç değerleri.

X=[cm]	P _T -P _i =[cm ispirto sütunu]	P _T -P _∞ =[cm ispirto sütunu]
0	0.8	1.1
1	1	
2	1.2	
3	1.2	
4	1.1	
5	1	
6	1	
7	0.7	
8	0.5	
9	0.3	
10	0.3	
11	0.2	
12	0.2	
13	0.5	
14	0.7	
15	1	
16	1.1	
17	1.1	
18	1.3	
19	1.3	
20	1.3	
21	1.3	
22	1.2	
23	1.2	
24	1.2	
25	1.2	
26	1.2	
27	1.1	
28	1.1	
29	1	
30	0.8	

Denklem (3.20)'den;

$$F_D = 2 \cdot b \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

Denklem (3.23)'den;

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 0 için;

$$P_{T_0} - P_0 = 0.8 \text{ cm ispirito sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \right]$$

$$\sqrt{(0.8)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.8)}] = 0.13827 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 1 için;

$$P_{T_1} - P_1 = 1 \text{ cm ispirito sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \right]$$

$$\sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 2 için;

$$P_{T_2} - P_2 = 1.2 \text{ cm ispirito sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \right]$$

$$\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 3 için;

$$P_{T_3} - P_3 = 1.2 \text{ cm ispirito sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \right]$$

$$\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 4 için;

$$P_{T_4} - P_4 = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 5 için;

$$P_{T_5} - P_5 = 1 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 6 için;

$$P_{T_6} - P_6 = 1 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 [\text{cm ispirito sütunu}]$$

X = 7 için;

$$P_{T_7} - P_7 = 0.7 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \right] \\ \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 8 için;

$$P_{T_8} - P_8 = 0.5 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \right] \\ \sqrt{(0.5)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.5)}] = 0.242 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 9 için;

$$P_{T_9} - P_9 = 0.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \right] \\ \sqrt{(0.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.3)}] = 0.275 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 10 için;

$$P_{T_{10}} - P_{10} = 0.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10})} \right] \\ \sqrt{(0.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.3)}] = 0.275 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 11 için;

$P_{T_{11}} - P_{11} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \right] \\ \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 12 için;

$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \right] \\ \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 13 için;

$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \right] \\ \sqrt{(0.5)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.5)}] = 0.242 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 14 için;

$P_{T_{14}} - P_{14} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \right] \\ \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 15 için;

$P_{T_{15}} - P_{15} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 16 için;

$P_{T_{16}} - P_{16} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 17 için;

$P_{T_{17}} - P_{17} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirto sütünu}$$

X = 18 için;

$$P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ [cm ispirto sütünu]}$$

X = 19 için;

$$P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirto sütünu]}$$

X = 20 için;

$$P_{T20} - P_{20} = 1.3 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirto sütünu}$$

X = 21 için;

$$P_{T21} - P_{21} = 1.3 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirto sütünu}$$

X = 22 için;

$$P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütünu}$$

X = 23 için;

$$P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirto sütünu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu} \\ \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütünu}$$

X = 24 için;

$P_{T_{24}} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 25 için;

$P_{T_{25}} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 26 için;

$P_{T_{26}} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 27 için;

$P_{T_{27}} - P_{27} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 28 için;

$P_{T_{28}} - P_{28} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 29 için;

$P_{T_{29}} - P_{29} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 30 için;

$P_{T_{30}} - P_{30} = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \\ \sqrt{(0.8)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.8)}] = 0.13827 \text{ cm ispirto sütünu}$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy \\ \sum_{i=0}^{30} \left[\sqrt{(P_{T0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T0} - P_0)} \right] \dots \dots \right. \\ \left. + \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \right] dy \\ = 1.67454 \text{ cm ispirto sütünu}$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

Yükseklik (D) : 10 cm

Genişlik (b) : 11.7 cm

Karakteristik Alan (A_f): $0.8 \times b \times D = 0.8 \times 10 \times 11.7 : 93.6 \text{ cm}^2$

$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütünu}$

değerler yerine yazılırsa;

$$C_D = \frac{2(11.7)}{(1.1)93.6} (1.67454) = 0.38058$$

C_D boyutsuz sayısı bulunur.

Denklem (3.16)'dan;

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

14.5 °C de

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini , $Pa = \text{kg/m.s}^2$ olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 [\text{m/s}] = 12 \times 3.6 = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklem (3.9)'dan;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A}$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A_f C_D$$

$$F_D = \frac{1}{2} (1.227) (12^2) (93.6 \times 10^{-4}) (0.38058) = 0.3147 \text{ N}$$

Sürüklenme gücü P ise denklem (2.3)'den ;

$$P = F_D \cdot V = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 C_D A_f, \text{ kW}$$

$$P = F_D \cdot V = 0.3147 \times 12 = 3.7764 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

$$\text{Blokaj oranı} = \text{Model Kesit Alanı} / \text{Deney Odası Kesit Alanı} = \frac{93.6}{30 \times 30} = 0.104 = \%10.4$$

5.2.1.4. Hızların hesaplanması;

Denklem (3.16)'dan;

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini , $Pa = \text{kg/m.s}^2$ olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklen (3.18)'den;

$$V_i = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_i} - P_i)}$$

X = 0 için;

$$P_{T_0} - P_0 = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)}$$

$$P_{T_0} - P_0 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(8 \times 10^{-3}) = 64.2751 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (64.2751)} = 10.2356 \text{ m/s}$$

$$= (10.2356)(3.6) = 36.848 \text{ km/h}$$

X = 1 için;

$$P_{T_1} - P_1 = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)}$$

$$P_{T_1} - P_1 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 2 için;

$$P_{T_2} - P_2 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)}$$

$$P_{T_2} - P_2 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 3 için;

$$P_{T_3} - P_3 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)}$$

$$P_{T_3} - P_3 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 4 için;

$$P_{T_4} - P_4 = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)}$$

$$P_{T_4} - P_4 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 5 için;

$$P_{T_5} - P_5 = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)}$$

$$P_{T_5} - P_5 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$
$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 6 için;

$$P_{T_6} - P_6 = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)}$$

$$P_{T_6} - P_6 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$
$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 7 için;

$$P_{T_7} - P_7 = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)}$$

$$P_{T_7} - P_7 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 8 için;

$$P_{T_8} - P_8 = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)}$$

$$P_{T_8} - P_8 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.5 \times 10^{-2}) = 40.172 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (40.172)} = 8.092 \text{ m/s} = (8.092)(3.6) = 29.13 \text{ km/h}$$

X = 9 için;

$$P_{T_9} - P_9 = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)}$$

$$P_{T_9} - P_9 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.3 \times 10^{-2}) = 24.103 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (24.103)} = 6.268 \text{ m/s} = (6.268)(3.6) = 22.565 \text{ km/h}$$

X = 10 için;

$$P_{T_{10}} - P_{10} = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})}$$

$$P_{T_{10}} - P_{10} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.3 \times 10^{-2}) = 24.103 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2]$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (24.103)} = 6.268 \text{ m/s} = (6.268)(3.6) = 22.565 \text{ km/h}$$

X = 11 için;

$$P_{T_{11}} - P_{11} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})}$$

$$P_{T_{11}} - P_{11} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X = 12 için;

$$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})}$$

$$P_{T_{12}} - P_{12} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X = 13 için;

$$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})}$$

$$P_{T_{13}} - P_{13} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.5 \times 10^{-2}) = 40.172 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (40.172)} = 8.092 \text{ m/s} = (8.092)(3.6) = 29.13 \text{ km/h}$$

X = 14 için;

$$P_{T14} - P_{14} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T14} - P_{14})}$$

$$P_{T14} - P_{14} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T14} - P_{14})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 15 için;

$$P_{T15} - P_{15} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})}$$

$$P_{T15} - P_{15} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 16 için;

$$P_{T16} - P_{16} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})}$$

$$P_{T16} - P_{16} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 17 için;

$$P_{T17} - P_{17} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})}$$

$$P_{T17} - P_{17} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X=18 için;

$$P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})}$$

$$P_{T18} - P_{18} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 19 için;

$$P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})}$$

$$P_{T19} - P_{19} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$
$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 20 için;

$$P_{T20} - P_{20} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})}$$

$$P_{T20} - P_{20} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$
$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 21 için;

$$P_{T21} - P_{21} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})}$$

$$P_{T21} - P_{21} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$
$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 22 için;

$$P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})}$$

$$P_{T22} - P_{22} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$
$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 23 için;

$$P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T23} - P_{23})}$$

$$P_{T23} - P_{23} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{23}} - P_{23})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 24 için;

$$P_{T_{24}} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{24}} - P_{24})}$$

$$P_{T_{24}} - P_{24} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{24}} - P_{24})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 25 için;

$$P_{T_{25}} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{25}} - P_{25})}$$

$$P_{T_{25}} - P_{25} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{25}} - P_{25})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 26 için;

$$P_{T_{26}} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{26}} - P_{26})}$$

$$P_{T_{26}} - P_{26} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{26}} - P_{26})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 27 için;

$$P_{T_{27}} - P_{27} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{27}} - P_{27})}$$

$$P_{T_{27}} - P_{27} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{27}} - P_{27})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 28 için;

$$P_{T28} - P_{28} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T28} - P_{28})}$$

$$P_{T28} - P_{28} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T28} - P_{28})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 29 için;

$$P_{T29} - P_{29} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T29} - P_{29})}$$

$$P_{T29} - P_{29} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T29} - P_{29})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$
$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 30 için;

$$P_{T30} - P_{30} = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T30} - P_{30})}$$

$$P_{T30} - P_{30} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(8 \times 10^{-3}) = 64.2751 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T30} - P_{30})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (64.2751)} = 10.2356 \text{ m/s}$$
$$= (10.2356)(3.6) = 36.848 \text{ km/h}$$

Sistemden akan havanın Re değerini hesaplarsak ;

$$Re = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}} \quad (5.1)$$

$$D_h = \frac{4A}{\text{Islak Çevre}} \quad (5.2)$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{hava} = 1.78 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

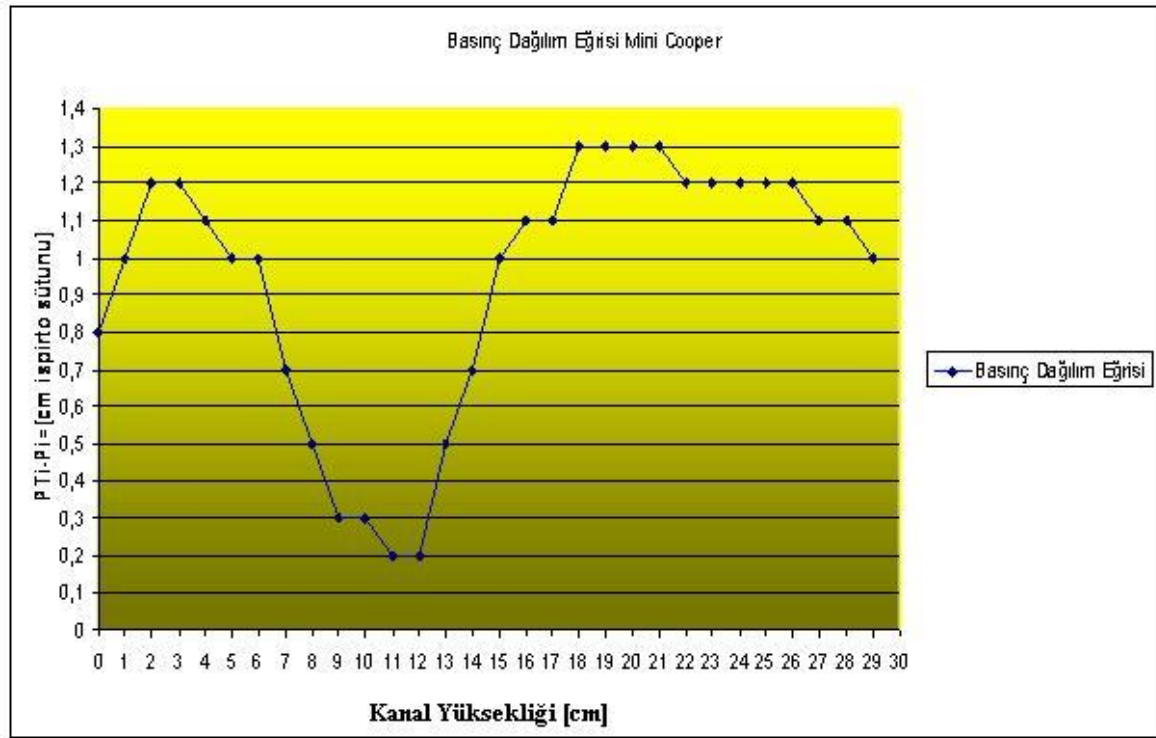
$$D_h = \frac{4 \times 30 \times 30 \times 10^{-4}}{4 \times 30 \times 10^{-2}} = 0.3 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}} = \frac{(1.227)(12)(0.3)}{1.78 \times 10^{-5}} = 248.157 \times 10^3$$

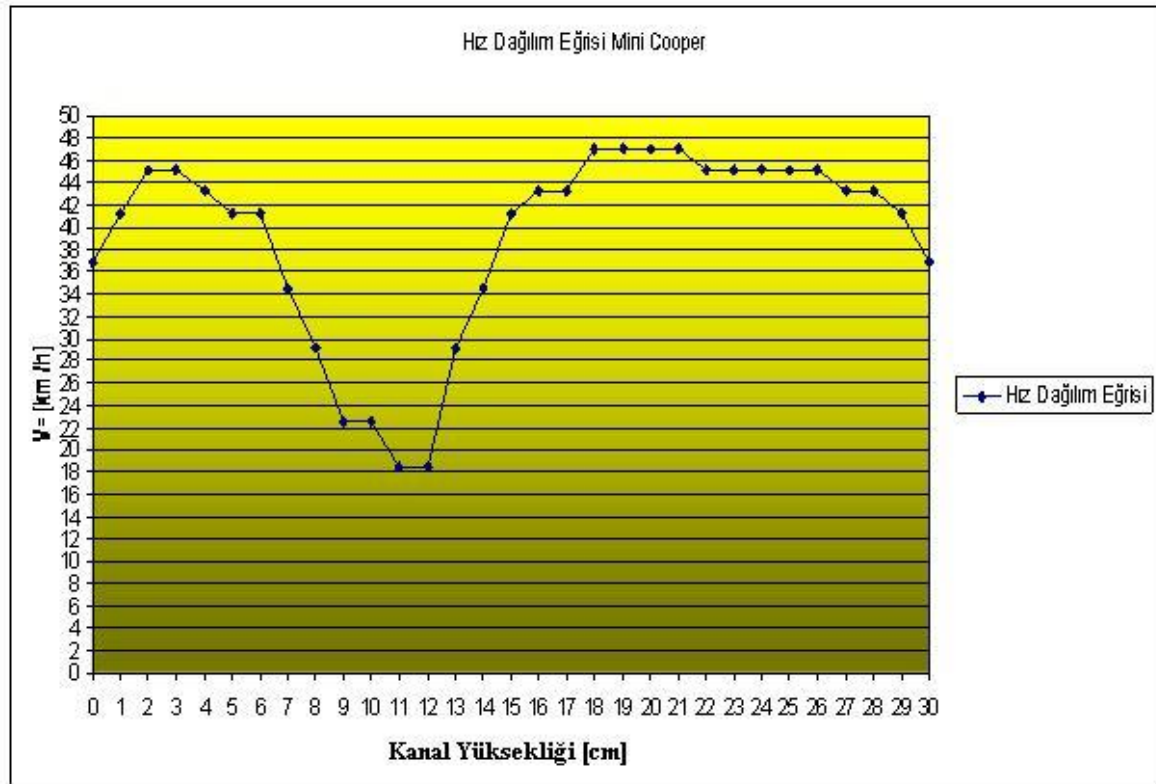
değerleri bulunur.

Tablo 5. Deneyler sonucunda Mini Cooper S model aracından elde edilen hız değerleri.

$X = [\text{cm}]$	$V_i [\text{km/h}]$	$V_\infty [\text{km/h}]$
0	36.848	43.2
1	41.1984	43.2
2	45.1296	43.2
3	45.1296	43.2
4	43.2	43.2
5	41.1984	43.2
6	41.1984	43.2
7	34.47	43.2
8	29.13	43.2
9	22.565	43.2
10	22.565	43.2
11	18.42	43.2
12	18.42	43.2
13	29.13	43.2
14	34.47	43.2
15	41.1984	43.2
16	43.2	43.2
17	43.2	43.2
18	46.97	43.2
19	46.97	43.2
20	46.97	43.2
21	46.97	43.2
22	45.1296	43.2
23	45.1296	43.2
24	45.1296	43.2
25	45.1296	43.2
26	45.1296	43.2
27	43.2	43.2
28	43.2	43.2
29	41.1984	43.2
30	36.848	43.2



Şekil 12. Mini Cooper S model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.



Şekil 13. Mini Cooper S model aracından elde edilen hız değişim grafiği.

Şekil 12’de $P_{T_i} - P_i$ dinamik basınç farkının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 13’de V_i hızının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 12 ve 13 incelendiğinde 11 ve 12’ci noktalar da hız ve dinamik basınç minimum değerlerde olduğu ve bu noktalarda momentum kaybının maksimum değere ulaştığı görülmektedir. 18, 19, 20 ve 21’ci noktalarda ise havanın dinamik basıncı ve hızları artmaktadır.

5.2.2. BMW X6



Şekil 14. BMW X6 marka otomobilin fotoğrafı [17].

BMW (Bayerische Motoren Werke AG'nin kısaltması, Türkçe: Bavyera Motor Fabrikası A.Ş.), Alman otomobil ve motosiklet üreticisi. BMW ayrıca, Mini, Rolls-Royce ve Land Rover otomobil şirketlerinin sahibidir.

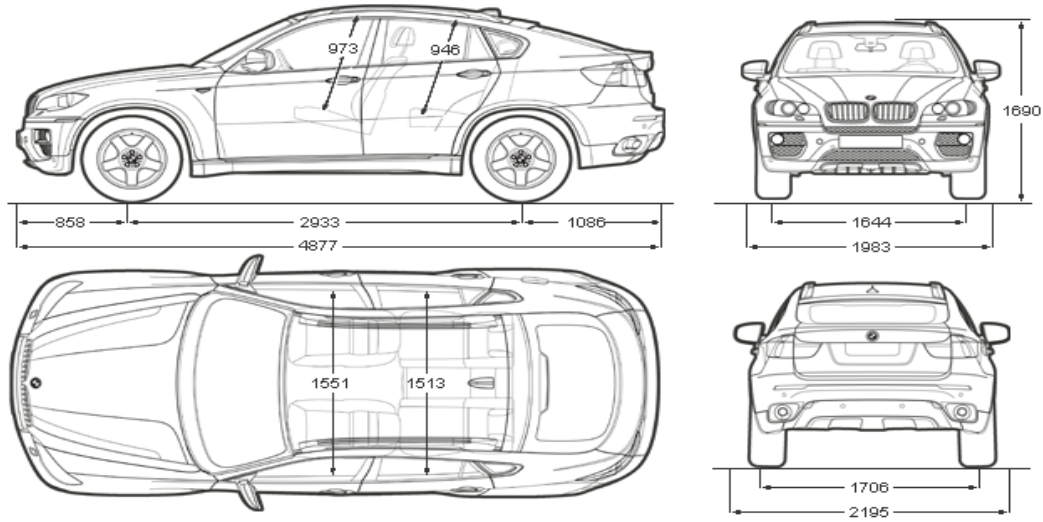
Şirketin sloganı ve resmi kurumsal dili İngilizcedir. Sloganı 'The Ultimate Driving Machine' yani 'En Gelişmiş Sürülebilen Makine'. Bu sloganla, ünlü Alman teknolojisini ve AR-GE'deki kendine güveni vurguluyor.

Şirket, 1913 yılında Karl Friedrich Rapp tarafından Almanya'nın Münih kentinde kurulmuştur ve mimari olarak meşhur merkezi halen oradadır. İlk zamanlarda sadece uçak motoru üreten şirket, 1928 yılında satın aldığı Fahrzeugtechnik Eisenach A.G. otomobil şirketinden sonra otomobil üretimine girmiştir.

BMW ilk otomobil seri üretimini 1929'da 3/15 PS isimindeki otomobil ile başlamıştır.

BMW ilk olarak uçak motoru üretimi yapan bir firmaydı. Bu yüzden parçalı amblemin mavi kısmı gökyüzünü beyaz kısmı da uçak pervanesini temsil etmektedir [18].

BMW X6, Alman otomobil üreticisi BMW tarafından üretilen lüks spor arazi aracıdır. 2008'in ikinci çeyreğinde piyasaya sürülmüştür. Suv özellikleri ile coupe duruşunu birleştiren bir otomobildir.



Şekil 15. BMW X6 marka aracın gerçek ölçüleri [17].

Sürüklenme katsayısı (C_D) : 0.36 [19]

5.2.2.1. Model BMW X6'nın özellikleri

Kullanılan model otomobil piyasada kullanılan BMW X6 serisi bir binek otomobilin 1/14 ölçeğinde küçültülmüş ve aşağıdaki özelliklere sahip bir örneğidir.

Malzeme: Plastik

Ağırlık: 675 gr

Yükseklik (D) : 12 cm

Genişlik (b) : 13.5 cm

Karakteristik Alan (A_f) : $0.8 \times b \times D = 0.8 \times 12 \times 13.5 = 129.6 \text{ cm}^2$

Uzunluk (L) : 35 cm

Akslar Arası Uzaklık (l) : 22 cm

Üretici Firma: Rastar (HK) Industrial Company Limited.



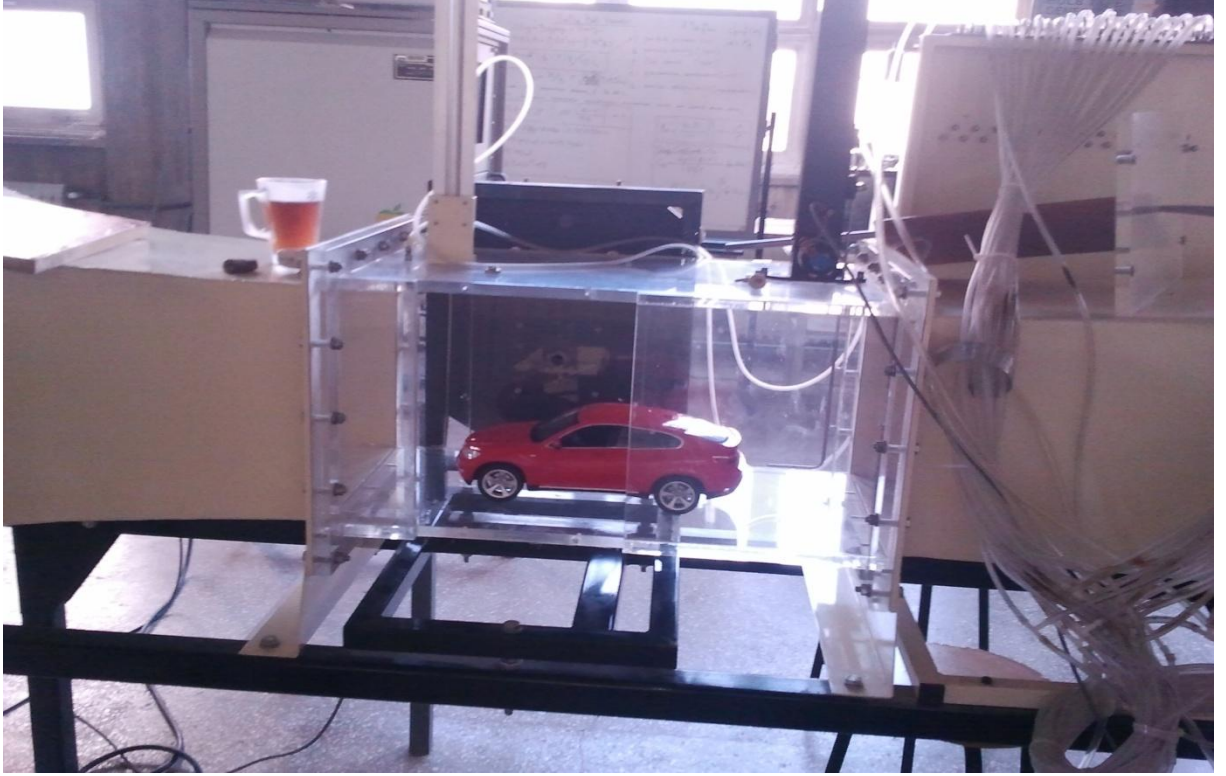
Şekil 16. Deneyde kullanılan BMW X6 model aracının fotoğrafı.

Deneyde kullanılan aracın ön camları açığı camlarını pürüzsüz yüzeyli bantlarla kapatarak bu sonuçları elde edilmiştir.

Gaziantep Üniversitesinde BMW X6 model aracın ön camları açık halde iken de deneyleri yapıldı. Fakat çok küçük hızlarda basınç değerleri okunmasına rağmen yüksek hızlarda ise basınç değerlerinde sürekli olarak değişim görüldü. Yani sabit bir basınç değeri okunamadı. Aracın camlarının kapalı ve açık olması halinde yapılan farklı hızlardaki deney sonuçları Tablo 6. da görülmektedir.

Tablo 6. BMW X6 aracının camları açık ve kapalı olarak yapılan deneyin sonuçlarının incelenmesi.

	Camlar açık iken	Camlar kapalı iken
Hız değerleri	$P_{Ti}-P_i$ =[cm ispirto sütunu]	$P_{Ti}-P_i$ =[cm ispirto sütunu]
Frekans 15	0.4	0.3
Frekans 20	0.6	0.6
Frekans 25	0.9	1
Frekans 30	1.5	1.3
Frekans 35	1.8	2.4



Şekil 17. Gaziantep Üniversitesinde yapılan deneylerde BMW X6 model aracın fotoğrafı.

Şekil 17’de Gaziantep Üniversitesinde hava tüneline yapılan deneylerde BMW X6 model aracın fotoğrafı görülmektedir.

5.2.2.2. BMW X6 hesaplamaları

5.2.2.3. Sürüklenme katsayısının hesaplanması;

Tablo 7. Deneyler sonucunda BMW X6 model aracından elde edilen basınç değerleri.

X = [cm]	P _{Ti} -P _i = [cm ispirto sütunu]	P _T -P _∞ = [cm ispirto sütunu]
0	0.7	1.1
1	1	
2	1.1	
3	1.2	
4	1.2	
5	1.2	
6	0.7	
7	0.3	
8	0.3	
9	0.2	
10	0.2	
11	0.2	
12	0.2	
13	0.3	
14	0.5	
15	0.7	
16	1	
17	1.1	
18	1.3	
19	1.3	
20	1.3	
21	1.3	
22	1.2	
23	1.2	
24	1.2	
25	1.2	
26	1.2	
27	1.2	
28	1.1	
29	1	
30	0.7	

Denklem (3.20)'den;

$$F_D = 2 \cdot b \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} [\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)}] dy$$

Denklem (3.23)'den;

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 0 için;

$$P_{T_0} - P_0 = 0.7 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \right]$$

$$\sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 1 için;

$$P_{T_1} - P_1 = 1 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \right]$$

$$\sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 2 için;

$$P_{T_2} - P_2 = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \right]$$

$$\sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 3 için;

$$P_{T_3} - P_3 = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \right]$$

$$\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X=4 için;

$$P_{T_4} - P_4 = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu}$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 5 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_5} - P_5 = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X=6 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_6} - P_6 = 0.7 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \right] \\ & \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 7 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_7} - P_7 = 0.3 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \right] \\ & \sqrt{(0.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.3)}] = 0.275 \text{ [cm ispirito sütunu]} \end{aligned}$$

X = 8 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_8} - P_8 = 0.3 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \right] \\ & \sqrt{(0.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.3)}] = 0.275 \text{ [cm ispirito sütunu]} \end{aligned}$$

X = 9 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_9} - P_9 = 0.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \right] \\ & \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 10 için;

$$\begin{aligned} & P_{T_{10}} - P_{10} = 0.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10})} \right] \\ & \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 11 için;

$$P_{T_{11}} - P_{11} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \right] \\ \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 12 için;

$$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \right] \\ \sqrt{(0.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.2)}] = 0.269 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 13 için;

$$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \right] \\ \sqrt{(0.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.3)}] = 0.275 \text{ [cm ispirto sütunu]}$$

X = 14 için;

$$P_{T_{14}} - P_{14} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \right] \\ \sqrt{(0.5)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.5)}] = 0.242 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 15 için;

$$P_{T_{15}} - P_{15} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \right] \\ \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 16 için;

$$P_{T_{16}} - P_{16} = 1 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 17 için;

$$P_{T_{17}} - P_{17} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X=18 için;

$$P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 19 için;

$$P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 20 için;

$$P_{T20} - P_{20} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 21 için;

$$P_{T21} - P_{21} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \right] \\ \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 22 için;

$$P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 23 için;

$$P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X = 24 için;

$$P_{T_{24}} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 25 için;

$$P_{T_{25}} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 26 için;

$$P_{T_{26}} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 27 için;

$$P_{T_{27}} - P_{27} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 28 için;

$$P_{T_{28}} - P_{28} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 29 için;

$$P_{T_{29}} - P_{29} = 1 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \right] \\ \sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 30 için;

$$P_{T_{30}} - P_{30} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \\ \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^{30} \left[\sqrt{(P_{T0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T0} - P_0)} \right] \dots \dots \right. \\ \left. + \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \right] dy = 2.123 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

Yükseklik (D) : 12 cm

Genişlik (b) : 13.5 cm

Karakteristik Alan (A_f) = 0.8 x b x D= 0.8x13.5x12= 129.6 cm²

$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

değerler yerine yazılırsa ;

$$C_D = \frac{2(13.5)}{(1.1)129.6} (2.123) = 0.40208$$

C_D boyutsuz sayısı bulunur.

Denklem (3.16)'dan;

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini , Pa = kg/m.s² olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = 12 \times 3.6 = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklem (3.9)'dan;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A}$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A_f C_D$$

$$F_D = \frac{1}{2} (1.227) (12^2) (129.6 \times 10^{-4}) (0.40208) = 0.46036 \text{ N}$$

Sürüklenme gücü P ise denklem (2.3)'den;

$$P = F_D \cdot V = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 C_D A_f, \text{ kW}$$

$$P = F_D \cdot V = 0.46036 \times 12 = 5.52432 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

$$\text{Blokaj oranı} = \text{Model Kesit Alanı} / \text{Deney Odası Kesit Alanı} = \frac{129.6}{30 \times 30} = 0.144 = \% 14.4$$

5.2.2.4. Hızların hesaplanması;

Denklem (3.16)'dan;

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini, $\text{Pa} = \text{kg/m.s}^2$ olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklen (3.18)'den;

$$V_i = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_i} - P_i)}$$

X = 0 için;

$$P_{T_0} - P_0 = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)}$$

$$P_{T_0} - P_0 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 1 için;

$$P_{T_1} - P_1 = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)}$$

$$P_{T_1} - P_1 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$
$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 2 için;

$$P_{T_2} - P_2 = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)}$$

$$P_{T_2} - P_2 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 3 için;

$$P_{T_3} - P_3 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)}$$

$$P_{T_3} - P_3 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 4 için;

$$P_{T_4} - P_4 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)}$$

$$P_{T_4} - P_4 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 5 için;

$$P_{T_5} - P_5 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)}$$

$$P_{T_5} - P_5 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 6 için;

$$P_{T_6} - P_6 = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)}$$

$$P_{T_6} - P_6 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 7 için;

$$P_{T_7} - P_7 = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)}$$

$$P_{T_7} - P_7 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.3 \times 10^{-2}) = 24.103 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (24.103)} = 6.68 \text{ m/s} = (6.268)(3.6) = 22.565 \text{ km/h}$$

X = 8 için;

$$P_{T_8} - P_8 = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)}$$

$$P_{T_8} - P_8 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.3 \times 10^{-2}) = 24.103 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (24.103)} = 6.68 \text{ m/s} = (6.268)(3.6) = 22.565 \text{ km/h}$$

X = 9 için;

$$P_{T_9} - P_9 = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)}$$

$$P_{T_9} - P_9 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X = 10 için;

$$P_{T_{10}} - P_{10} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})}$$

$$P_{T_{10}} - P_{10} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X=11 için;

$$P_{T_{11}} - P_{11} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})}$$

$$P_{T_{11}} - P_{11} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X = 12 için;

$$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})}$$

$$P_{T_{12}} - P_{12} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.2 \times 10^{-2}) = 16.069 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (16.069)} = 5.1178 \text{ m/s} = (5.1178)(3.6) = 18.42 \text{ km/h}$$

X = 13 için;

$$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})}$$

$$P_{T_{13}} - P_{13} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.3 \times 10^{-2}) = 24.103 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (24.103)} = 6.268 \text{ m/s} = (6.268)(3.6) = 22.565 \text{ km/h}$$

X = 14 için;

$$P_{T_{14}} - P_{14} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{14}} - P_{14})}$$

$$P_{T_{14}} - P_{14} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.5 \times 10^{-2}) = 40.172 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T14} - P_{14})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (40.172)} = 8.092 \text{ m/s} = (8.092)(3.6) = 29.13 \text{ km/h}$$

X = 15 için;

$$P_{T15} - P_{15} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})}$$

$$P_{T15} - P_{15} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 16 için;

$$P_{T16} - P_{16} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})}$$

$$P_{T16} - P_{16} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 17 için;

$$P_{T17} - P_{17} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})}$$

$$P_{T17} - P_{17} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 18 için;

$$P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})}$$

$$P_{T18} - P_{18} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 19 için;

$$P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})}$$

$$P_{T19} - P_{19} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 20 için;

$$P_{T20} - P_{20} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})}$$

$$P_{T20} - P_{20} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 21 için;

$$P_{T21} - P_{21} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})}$$

$$P_{T21} - P_{21} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 22 için;

$$P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})}$$

$$P_{T22} - P_{22} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 23 için;

$$P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T23} - P_{23})}$$

$$P_{T23} - P_{23} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T23} - P_{23})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 24 için;

$$P_{T24} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T24} - P_{24})}$$

$$P_{T24} - P_{24} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T24} - P_{24})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 25 için;

$$P_{T25} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T25} - P_{25})}$$

$$P_{T25} - P_{25} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T25} - P_{25})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 26 için;

$$P_{T26} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T26} - P_{26})}$$

$$P_{T26} - P_{26} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T26} - P_{26})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 27 için;

$$P_{T27} - P_{27} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T27} - P_{27})}$$

$$P_{T27} - P_{27} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T27} - P_{27})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 28 için;

$$P_{T28} - P_{28} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T28} - P_{28})}$$

$$P_{T28} - P_{28} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T28} - P_{28})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 29 için;

$$P_{T29} - P_{29} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T29} - P_{29})}$$

$$P_{T29} - P_{29} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T29} - P_{29})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 30 için;

$$P_{T30} - P_{30} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T30} - P_{30})}$$

$$P_{T30} - P_{30} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T30} - P_{30})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

Sistemden akan havanın Re değerini hesaplırsak;

Denklem (5.1)'den;

$$Re = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}}$$

Denklem (5.2)'den;

$$D_h = \frac{4A}{\text{Islak Çevre}}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{hava} = 1.78 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

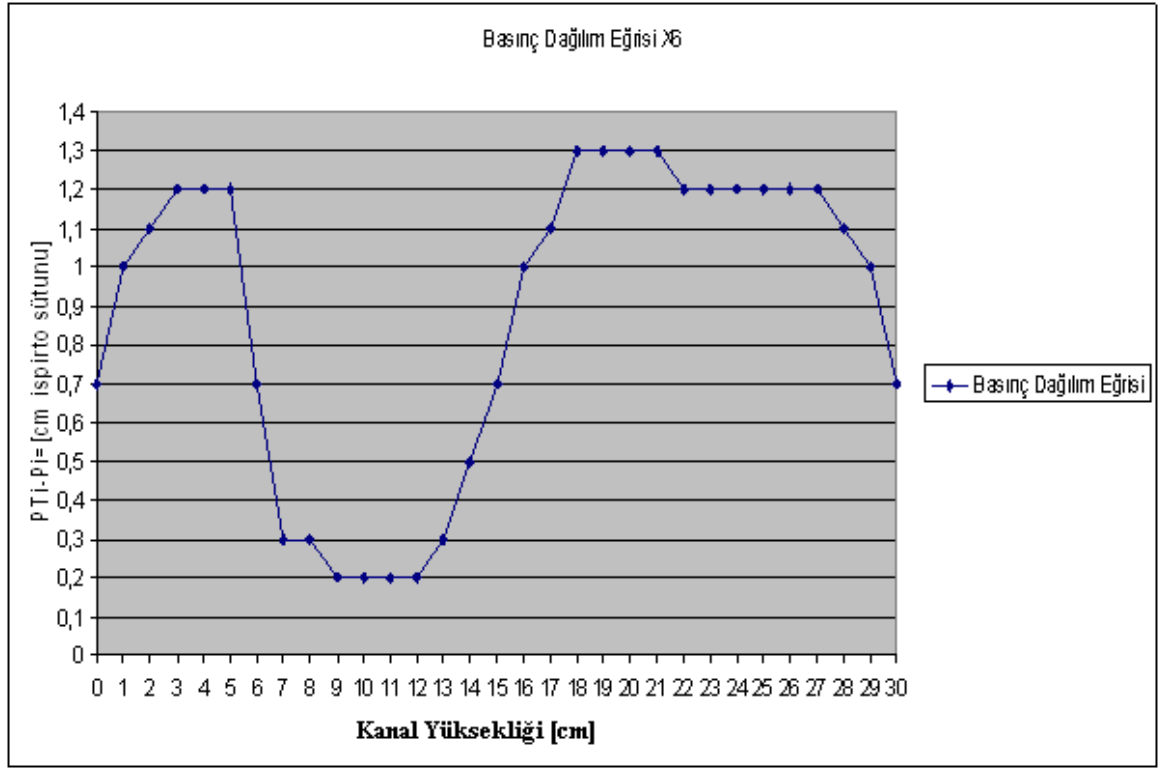
$$D_h = \frac{4 \times 30 \times 30 \times 10^{-4}}{4 \times 30 \times 10^{-2}} = 0.3 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}} = \frac{(1.227)(12)(0.3)}{1.78 \times 10^{-5}} = 248.157 \times 10^3$$

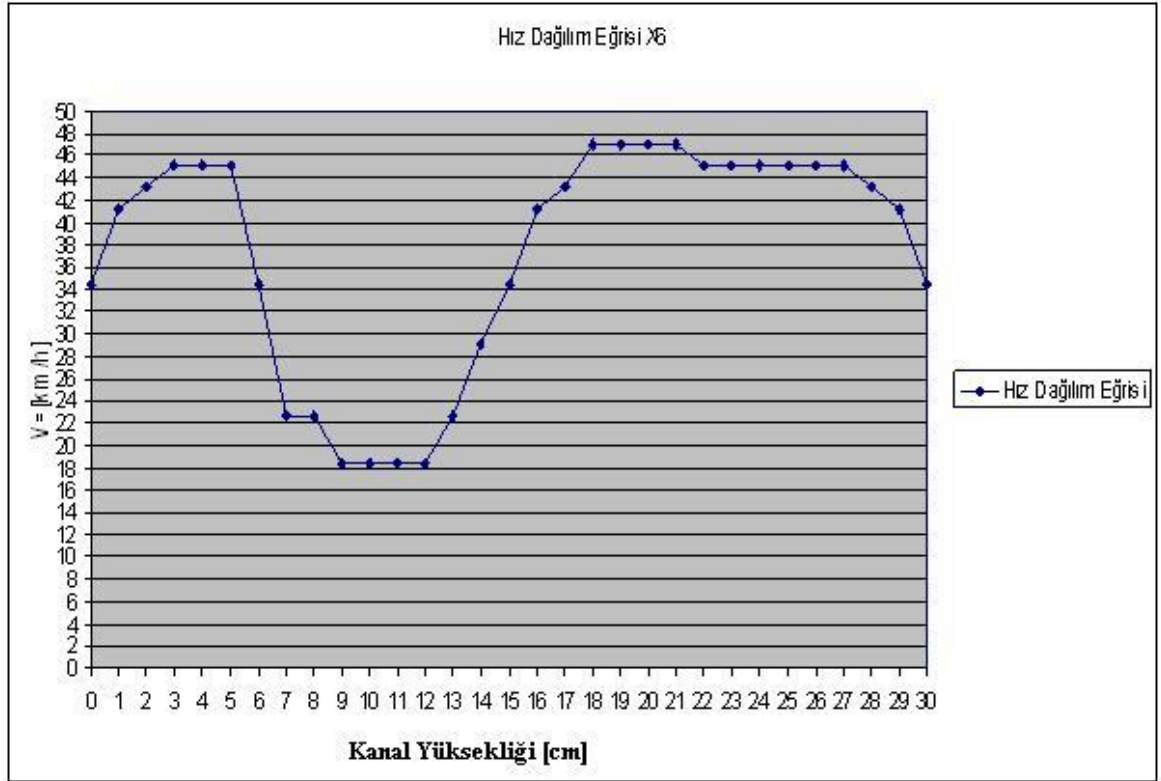
değerleri bulunur.

Tablo 8. Deneyler sonucunda BMW X6 model aracından elde edilen hız değerleri.

X =[cm]	V _i [km/h]	V _∞ [km/h]
0	34.47	43.2
1	41.1984	43.2
2	43.2	43.2
3	45.1296	43.2
4	45.1296	43.2
5	45.1296	43.2
6	34.47	43.2
7	22.565	43.2
8	22.565	43.2
9	18.42	43.2
10	18.42	43.2
11	18.42	43.2
12	18.42	43.2
13	22.565	43.2
14	29.13	43.2
15	34.47	43.2
16	41.1984	43.2
17	43.2	43.2
18	46.972	43.2
19	46.972	43.2
20	46.972	43.2
21	46.972	43.2
22	45.1296	43.2
23	45.1296	43.2
24	45.1296	43.2
25	45.1296	43.2
26	45.1296	43.2
27	45.1296	43.2
28	43.2	43.2
29	41.1984	43.2
30	34.47	43.2



Şekil 18. BMW X6 model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.



Şekil 19. BMW X6 model aracından elde edilen hız değişim grafiği.

Şekil 18’de $P_{T_i} - P_i$ dinamik basınç farkının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 19’da V_i hızının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 18 ve 19 incelendiğinde 9, 10, 11 ve 12’ci noktalarda hız ve dinamik basınç minimum değerlerde olduğu ve bu noktalarda momentum kaybının maksimum değere ulaştığı görülmektedir. 18, 19, 20 ve 21’ci noktalarda ise havanın dinamik basıncı ve hızları artmaktadır.

5.2.3. Audi R8

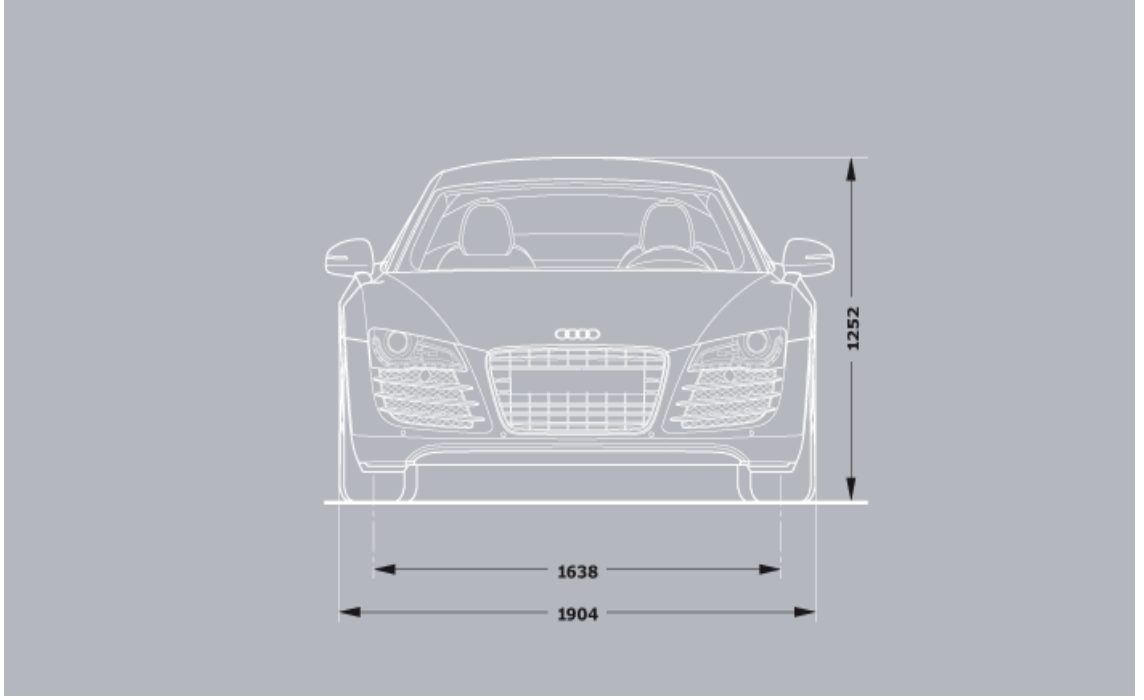


Şekil 20. Audi R8 marka otomobilin fotoğrafı [20].

August Horch 1899 yılında Köln’de kendi küçük motorlu araç tamirhanesini açtı ve 1901 yılında ilk otomobilini üretti. 1902 yılında firmasını Almanya’nın Vogtland bölgesindeki Reichenbach’a taşıdı ve iki yıl sonra da Horch Werke firması Zwickau’daki nihai yerine taşındı [21].

August Horch 1909 yılında fikir ayrılıkları yüzünden kendi firmasından ayrıldı. Yalnızca birkaç hafta sonra ikinci otomobil fabrikasını kurdu. 1910’da kurulan bu fabrikanın adı kendi isminin Latince karşılığı olan Audi olarak belirlendi [21].

Audi R8, Alman otomobil üreticisi Audi tarafından üretilen ortadan motorlu spor otomobil. Audi 2005 yılında başarılı yarış modeli Audi R8’in adını taşıyan bir modelin piyasaya sunulacağını açıklamış, 2003 Cenova Otomobil Fuarı’nda sergilediği Audi Le Mans Quattro konsept modelinden geliştirilen R8’i 2006’da satışa sunmuştur [21].



Şekil 21. Audi R8 marka otomobilin gerçek ölçüleri[20]

Uzunluk (L) : 443.1 cm

Akslar Arası Uzaklık (l) : 265 cm

Sürüklenme katsayısı (C_D) : 0.34 [20]

5.2.3.1. Model Audi R8'in özellikleri

Kullanılan model otomobil piyasada kullanılan Audi R8 serisi bir binek otomobilin 1/18 ölçeğinde küçültülmüş ve aşağıdaki özelliklere sahip bir örneğidir.

Malzeme: Plastik

Ağırlık: 285 gr

Yükseklik (D) : 7 cm

Genişlik (b) : 10.5 cm

Karakteristik Alan (A_f) : $0.8 \times b \times D = 0.8 \times 10.5 \times 7 = 58.8 \text{ cm}^2$

Uzunluk (L) : 24.5 cm

Akslar Arası Uzaklık (l) : 15 cm

Üretici Firma: XIN YU ART TOYS CO., LTD (X.Q TOYS)



Şekil 22. Deneyde kullanılan Audi R8 model aracın fotoğrafı.

5.2.3.2. Audi R8 hesaplamaları

5.2.3.3. Sürüklenme katsayısının hesaplanması;

Tablo 9. Deneyler sonucunda Audi R8 model aracından elde edilen basınç değerleri.

X = [cm]	P _{Ti} -P _i = [cm ispirto sütunu]	P _T -P _∞ = [cm ispirto sütunu]
0	0.7	1.1
1	0.8	
2	1	
3	1.1	
4	1.2	
5	1.2	
6	1.2	
7	1.1	
8	0.9	
9	0.7	
10	0.5	
11	0.5	
12	0.6	
13	0.6	
14	1	
15	1.1	
16	1.1	
17	1.3	
18	1.3	
19	1.3	
20	1.2	
21	1.2	
22	1.2	
23	1.2	
24	1.2	
25	1.2	
26	1.2	
27	1.1	
28	1	
29	0.8	
30	0.7	

Denklem (3.20)'ten;

$$F_D = 2 \cdot b \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} [\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)}] dy$$

Denklem (3.23)'den;

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty)A_f} \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^n \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_i} - P_i)} \right] dy$$

$$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 0 için;

$$P_{T_0} - P_0 = 0.7 \text{ cm ispirito sütünu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_0} - P_0)} \right]$$

$$\sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 1 için;

$$P_{T_1} - P_1 = 0.8 \text{ cm ispirito sütünu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_1} - P_1)} \right]$$

$$\sqrt{(0.8)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.8)}] = 0.13827 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 2 için;

$$P_{T_2} - P_2 = 1 \text{ cm ispirito sütünu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_2} - P_2)} \right]$$

$$\sqrt{(1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)}] = 0.049 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 3 için;

$$P_{T_3} - P_3 = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_3} - P_3)} \right]$$

$$\sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}] = 0 \text{ cm ispirito sütünu}$$

X = 4 için;

$$P_{T_4} - P_4 = 1.2 \text{ cm ispirito sütünu} , P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütünu}$$

$$\frac{\sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_4} - P_4)} \right]}{\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}]} = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu}$$

X=5 için;

$$\begin{aligned} P_{T_5} - P_5 &= 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_5} - P_5)} \right]}{\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}]} &= -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 6 için;

$$\begin{aligned} P_{T_6} - P_6 &= 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_6} - P_6)} \right]}{\sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}]} &= -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 7 için;

$$\begin{aligned} P_{T_7} - P_7 &= 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_7} - P_7)} \right]}{\sqrt{(1.1)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)}]} &= 0 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 8 için;

$$\begin{aligned} P_{T_8} - P_8 &= 0.9 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_8} - P_8)} \right]}{\sqrt{(0.9)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.9)}]} &= 0.0952 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 9 için;

$$\begin{aligned} P_{T_9} - P_9 &= 0.7 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_9} - P_9)} \right]}{\sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}]} &= 0.177 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 10 için;

$$\begin{aligned} P_{T_{10}} - P_{10} &= 0.5 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ \frac{\sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10}}) \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T_{10}} - P_{10})} \right]}{\sqrt{(0.5)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.5)}]} &= 0.242 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X=11 için;

$P_{T_{10}} - P_{10} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{11}} - P_{11})} \right] \\ \sqrt{(0.5)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.5)} \right] = 0.242 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 12 için;

$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.6 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{12}} - P_{12})} \right] \\ \sqrt{(0.6)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.6)} \right] = 0.2126 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 13 için;

$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.6 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{13}} - P_{13})} \right] \\ \sqrt{(0.6)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.6)} \right] = 0.2126 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 14 için;

$P_{T_{14}} - P_{14} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{14}} - P_{14})} \right] \\ \sqrt{(1)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)} \right] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 15 için;

$P_{T_{15}} - P_{15} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{15}} - P_{15})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)} \right] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 16 için;

$P_{T_{16}} - P_{16} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{16}} - P_{16})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)} \right] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X=17 için;

$P_{T_{17}} - P_{17} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$, $P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T17} - P_{17})} \right] \\ & \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 18 için;

$$\begin{aligned} & P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T18} - P_{18})} \right] \\ & \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 19 için;

$$\begin{aligned} & P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T19} - P_{19})} \right] \\ & \sqrt{(1.3)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.3)}] = -0.104 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X=20 için;

$$\begin{aligned} & P_{T20} - P_{20} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T20} - P_{20})} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 21 için;

$$\begin{aligned} & P_{T21} - P_{21} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T21} - P_{21})} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 22 için;

$$\begin{aligned} & P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T22} - P_{22})} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 23 için;

$$\begin{aligned} & P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirito sütunu} \quad , \quad P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirito sütunu} \\ & \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T23} - P_{23})} \right] \\ & \sqrt{(1.2)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)}] = -0.051 \text{ cm ispirito sütunu} \end{aligned}$$

X = 24 için;

$$P_{T_{24}} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{24}} - P_{24})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)} \right] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X=25 için;

$$P_{T_{25}} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{25}} - P_{25})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)} \right] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X=26 için;

$$P_{T_{26}} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{26}} - P_{26})} \right] \\ \sqrt{(1.2)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.2)} \right] = -0.051 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 27 için;

$$P_{T_{27}} - P_{27} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{27}} - P_{27})} \right] \\ \sqrt{(1.1)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1.1)} \right] = 0 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 28 için;

$$P_{T_{28}} - P_{28} = 1 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{28}} - P_{28})} \right] \\ \sqrt{(1)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(1)} \right] = 0.049 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 29 için;

$$P_{T_{29}} - P_{29} = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \left[\sqrt{(P_T - P_{\infty})} - \sqrt{(P_{T_{29}} - P_{29})} \right] \\ \sqrt{(0.8)} \left[\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.8)} \right] = 0.13827 \text{ cm ispirto sütunu}$$

X = 30 için;

$$P_{T_{30}} - P_{30} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu} , P_T - P_{\infty} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \\ \sqrt{(0.7)} [\sqrt{(1.1)} - \sqrt{(0.7)}] = 0.177 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$\sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

$$\sum_{i=0}^{30} \left[\sqrt{(P_{T0} - P_0)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T0} - P_0)} \right] \dots \dots \right. \\ \left. + \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{T30} - P_{30})} \right] \right] dy \\ = 1.13694 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty) A_f} \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

$$C_D = \frac{2b}{(P_T - P_\infty) A_f} \sum_{i=0}^{30} \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \left[\sqrt{(P_T - P_\infty)} - \sqrt{(P_{Ti} - P_i)} \right] dy$$

Yükseklik (D) : 7 cm

Genişlik (b) : 10.5 cm

Karakteristik Alan (A_f) : 0.8 x b x D= 0.8x10.5x7= 58.8 cm²

$P_T - P_\infty = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

Değerler yerine yazılırsa;

$$C_D = \frac{2(10.5)}{(1.1)58.8} (1.13694) = 0.36914$$

C_D sayısı bulunur.

Denklem (3.16)'dan;

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini , $Pa = \text{kg/m.s}^2$ olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = 12 \times 3.6 = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklen (3.9)'dan;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A}$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{hava} \cdot V_\infty^2 A_f C_D$$

$$F_D = \frac{1}{2} (1.227) (12^2) (58.8 \times 10^{-4}) (0.36914) = 0.19175 \text{ N}$$

Sürüklenme gücü P ise denklem (2.3)'den;

$$P = F_D \cdot V = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 C_D A_f, \text{ kW}$$

$$P = F_D \cdot V = 0.19175 \times 12 = 2.301 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

$$\text{Blokaj oranı} = \text{Model Kesit Alanı} / \text{Deney Odası Kesit Alanı} = \frac{58.8}{30 \times 30} = 0.06533 = \%6.533$$

5.2.3.4. Hızların hesaplanması;

Denklen (3.16)'den

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ispirto} = 819 \text{ kg/m}^3$$

$(P_T - P_\infty)$ değerini , $\text{Pa} = \text{kg/m.s}^2$ olarak hesaplarsak;

$$P_T - P_\infty = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_T - P_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

Denklen (3.18)'den;

$$V_i = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_i} - P_i)}$$

X = 0 için;

$P_{T_0} - P_0 = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)}$$

$$P_{T_0} - P_0 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_0} - P_0)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 1 için;

$P_{T_1} - P_1 = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)}$$

$$P_{T_1} - P_1 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(8 \times 10^{-3}) = 64.2751 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_1} - P_1)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (64.2751)} = 10.2356 \text{ m/s}$$
$$= (10.2356)(3.6) = 36.848 \text{ km/h}$$

X = 2 için;

$P_{T_2} - P_2 = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)}$$

$$P_{T_2} - P_2 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_2} - P_2)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$
$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 3 için;

$P_{T_3} - P_3 = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)}$$

$$P_{T_3} - P_3 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_3} - P_3)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 4 için;

$P_{T_4} - P_4 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)}$$

$$P_{T_4} - P_4 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_4} - P_4)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 5 için;

$$P_{T_5} - P_5 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)}$$

$$P_{T_5} - P_5 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_5} - P_5)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 6 için;

$$P_{T_6} - P_6 = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)}$$

$$P_{T_6} - P_6 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_6 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_6} - P_6)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s} = (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 7 için;

$$P_{T_7} - P_7 = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)}$$

$$P_{T_7} - P_7 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_7 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_7} - P_7)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X=8 için;

$$P_{T_8} - P_8 = 0.9 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)}$$

$$P_{T_8} - P_8 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.9 \times 10^{-2}) = 72.309 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_8 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_8} - P_8)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (72.309)} = 10.856 \text{ m/s} = (10.856)(3.6) = 39.082 \text{ km/h}$$

X = 9 için;

$$P_{T_9} - P_9 = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)}$$

$$P_{T_9} - P_9 = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_9 = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_9} - P_9)} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

X = 10 için;

$$P_{T_{10}} - P_{10} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})}$$

$$P_{T_{10}} - P_{10} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.5 \times 10^{-2}) = 40.172 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{10} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{10}} - P_{10})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (40.172)} = 8.092 \text{ m/s} = (8.092)(3.6) = 29.13 \text{ km/h}$$

X = 11 için;

$$P_{T_{11}} - P_{11} = 0.5 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})}$$

$$P_{T_{11}} - P_{11} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.5 \times 10^{-2}) = 40.172 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{11} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{11}} - P_{11})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (40.172)} = 8.092 \text{ m/s} = (8.092)(3.6) = 29.13 \text{ km/h}$$

X = 12 için;

$$P_{T_{12}} - P_{12} = 0.6 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})}$$

$$P_{T_{12}} - P_{12} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.6 \times 10^{-2}) = 48.2063 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{12} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{12}} - P_{12})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (48.2063)} = 8.8643 \text{ m/s}$$

$$= (8.8643)(3.6) = 31.911 \text{ km/h}$$

X = 13 için;

$$P_{T_{13}} - P_{13} = 0.6 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})}$$

$$P_{T_{13}} - P_{13} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.6 \times 10^{-2}) = 48.2063 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{13} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{13}} - P_{13})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (48.2063)} = 8.8643 \text{ m/s}$$

$$= (8.8643)(3.6) = 31.911 \text{ km/h}$$

X = 14 için;

$$P_{T14} - P_{14} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T14} - P_{14})}$$

$$P_{T14} - P_{14} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{14} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T14} - P_{14})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 15 için;

$$P_{T15} - P_{15} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})}$$

$$P_{T15} - P_{15} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{15} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T15} - P_{15})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 16 için;

$$P_{T16} - P_{16} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})}$$

$$P_{T16} - P_{16} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{16} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T16} - P_{16})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X=17 için;

$$P_{T17} - P_{17} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})}$$

$$P_{T17} - P_{17} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{17} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T17} - P_{17})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 18 için;

$$P_{T18} - P_{18} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})}$$

$$P_{T18} - P_{18} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{18} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T18} - P_{18})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 19 için;

$$P_{T19} - P_{19} = 1.3 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})}$$

$$P_{T19} - P_{19} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.3 \times 10^{-2}) = 104.447 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T19} - P_{19})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (104.447)} = 13.048 \text{ m/s}$$

$$= (13.048)(3.6) \text{ km/h} = 46.97 \text{ km/h}$$

X = 20 için;

$$P_{T20} - P_{20} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})}$$

$$P_{T20} - P_{20} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{20} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T20} - P_{20})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 21 için;

$$P_{T21} - P_{21} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})}$$

$$P_{T21} - P_{21} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{21} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T21} - P_{21})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 22 için;

$$P_{T22} - P_{22} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})}$$

$$P_{T22} - P_{22} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{22} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T22} - P_{22})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 23 için;

$$P_{T23} - P_{23} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T23} - P_{23})}$$

$$P_{T23} - P_{23} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{23} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T23} - P_{23})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 24 için;

$$P_{T24} - P_{24} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T24} - P_{24})}$$

$$P_{T24} - P_{24} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{24} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T24} - P_{24})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 25 için;

$$P_{T25} - P_{25} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T25} - P_{25})}$$

$$P_{T25} - P_{25} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{25} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T25} - P_{25})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 26 için;

$$P_{T26} - P_{26} = 1.2 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T26} - P_{26})}$$

$$P_{T26} - P_{26} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1.2 \times 10^{-2}) = 94.4127 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{26} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T26} - P_{26})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (94.4127)} = 12.536 \text{ m/s}$$

$$= (12.536)(3.6) = 45.1296 \text{ km/h}$$

X = 27 için;

$$P_{T27} - P_{27} = 1.1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T27} - P_{27})}$$

$$P_{T27} - P_{27} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.011) = 88.3793 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{27} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{27}} - P_{27})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (88.3793)} = 12 \text{ m/s} = (12)(3.6) \text{ km/h} = 43.2 \text{ km/h}$$

X = 28 için;

$$P_{T_{28}} - P_{28} = 1 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{28}} - P_{28})}$$

$$P_{T_{28}} - P_{28} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(1 \times 10^{-2}) = 80.3439 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{28} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{28}} - P_{28})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (80.3439)} = 11.444 \text{ m/s}$$

$$= (11.444)(3.6) = 41.1984 \text{ km/h}$$

X = 29 için;

$$P_{T_{29}} - P_{29} = 0.8 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{29}} - P_{29})}$$

$$P_{T_{29}} - P_{29} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(8 \times 10^{-3}) = 64.2751 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{29} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{29}} - P_{29})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (64.2751)} = 10.2356 \text{ m/s}$$

$$= (10.2356)(3.6) = 36.848 \text{ km/h}$$

X = 30 için;

$$P_{T_{30}} - P_{30} = 0.7 \text{ cm ispirto sütunu}$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{30}} - P_{30})}$$

$$P_{T_{30}} - P_{30} = (\rho_{ispirto})(g)(h) = (819)(9.81)(0.7 \times 10^{-2}) = 56.241 \text{ Pa} = \text{kg/m.s}^2$$

$$V_{30} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{hava}} (P_{T_{30}} - P_{30})} = \sqrt{\frac{2}{1.227} (56.241)} = 9.575 \text{ m/s} = (9.575)(3.6) = 34.47 \text{ km/h}$$

Sistemden akan havanın Re değerini hesaplırsak;

Denklem (5.1)'den;

$$R_e = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}}$$

Denklem (5.2)'den;

$$D_h = \frac{4A}{\text{Islak Çevre}}$$

$$\rho_{hava} = 1.227 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{hava} = 1.78 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

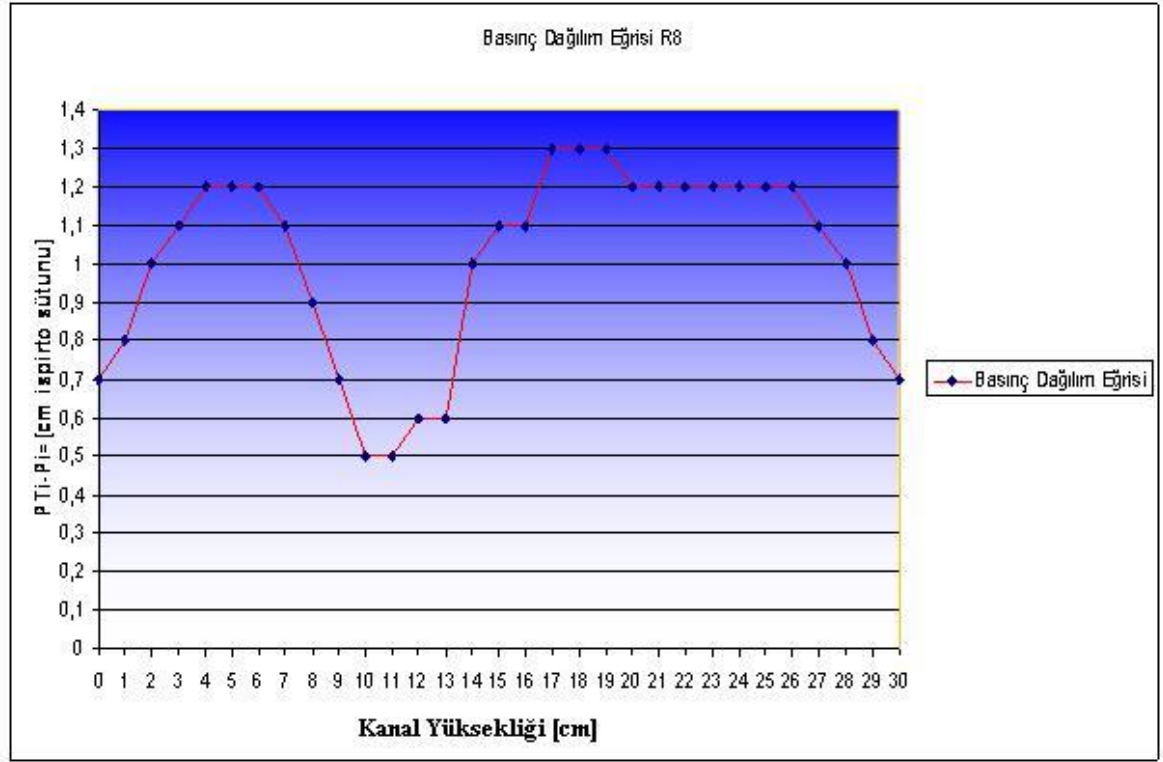
$$D_h = \frac{4x30x30x10^{-4}}{4x30x10^{-2}} = 0.3 \text{ m}$$

$$R_e = \frac{\rho_{hava} v_{\infty} D_h}{\mu_{hava}} = \frac{(1.227)(12)(0.3)}{1.78x10^{-5}} = 248.157x10^3$$

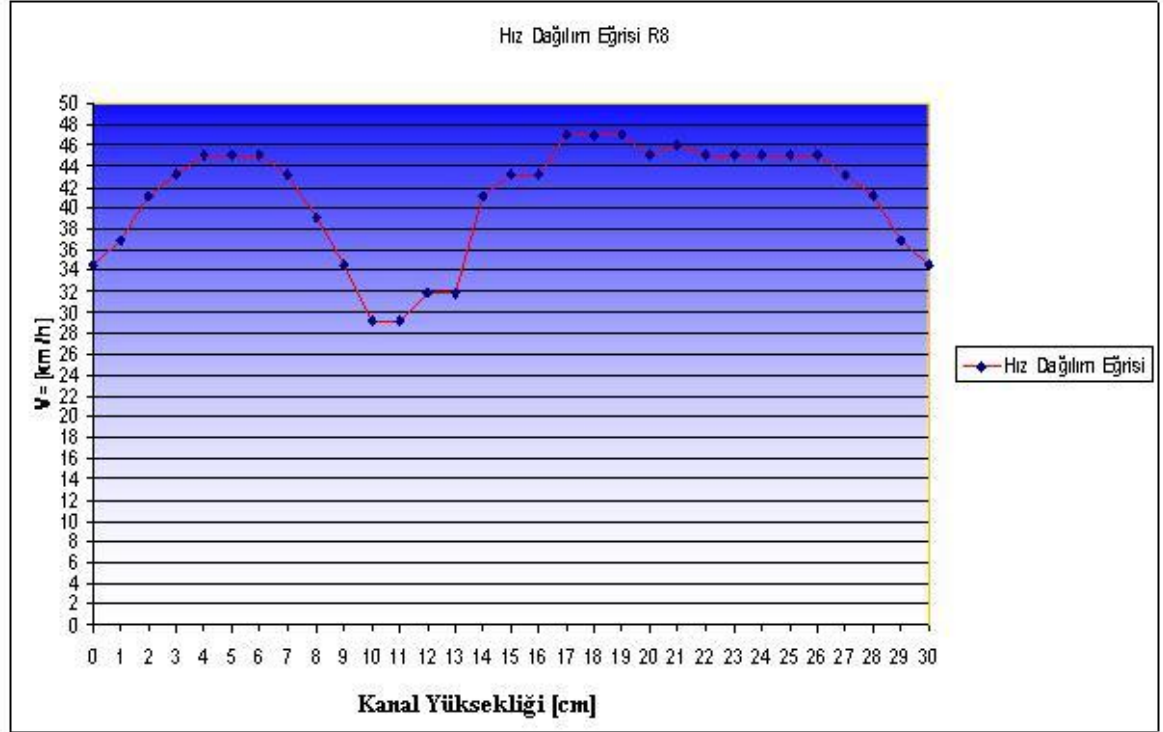
değerleri bulunur.

Tablo 10. Deneyler sonucunda Audi R8 model aracından elde edilen hız değerleri.

$X = [\text{cm}]$	$V_i [\text{km/h}]$	$V_\infty [\text{km/h}]$
0	34.47	43.2
1	36.848	43.2
2	41.1984	43.2
3	43.2	43.2
4	45.1296	43.2
5	45.1296	43.2
6	45.1296	43.2
7	43.2	43.2
8	39.0834	43.2
9	34.47	43.2
10	29.13	43.2
11	29.13	43.2
12	31.911	43.2
13	31.911	43.2
14	41.1984	43.2
15	43.2	43.2
16	43.2	43.2
17	46.972	43.2
18	46.972	43.2
19	46.972	43.2
20	45.1296	43.2
21	46.1296	43.2
22	45.1296	43.2
23	45.1296	43.2
24	45.1296	43.2
25	45.1296	43.2
26	45.1296	43.2
27	43.2	43.2
28	41.1984	43.2
29	36.848	43.2
30	34.47	43.2



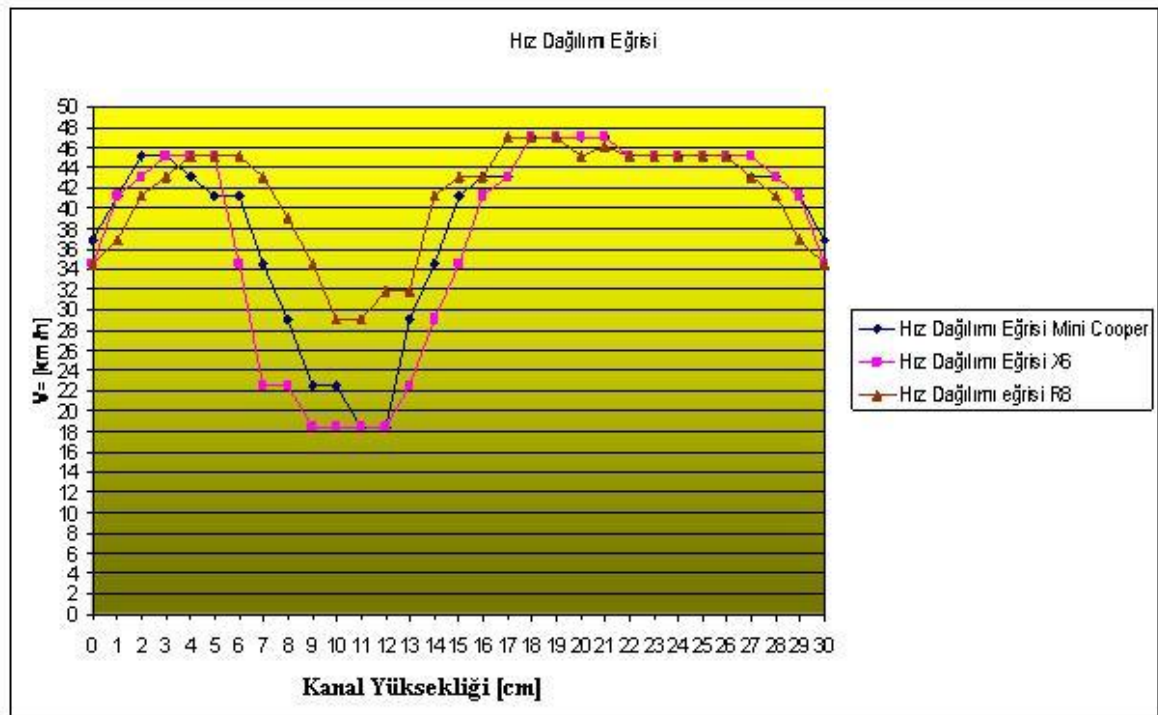
Şekil 23. Audi R8 model aracından elde edilen basınç değişim grafiği.



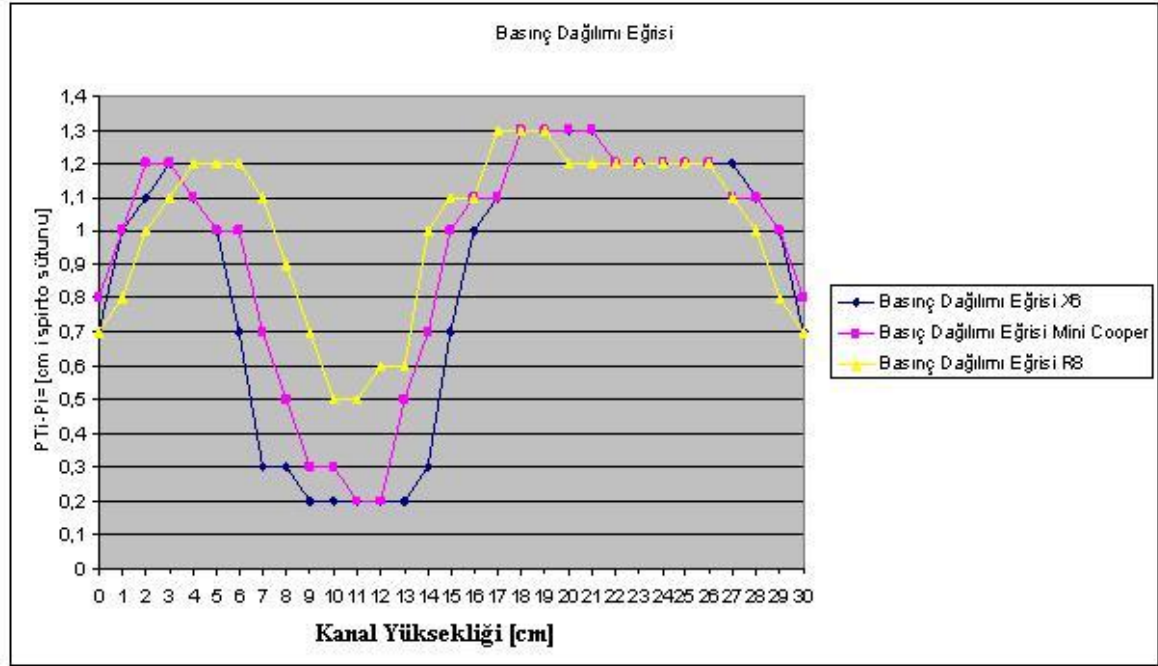
Şekil 24. Audi R8 model aracından elde edilen hız değişim grafiği.

Şekil 23’de $P_{Ti} - P_i$ dinamik basınç farkının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 24’de V_i hızının ölçüm noktalarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 23 ve 24 incelendiğinde 10 ve 11’ci noktalarda hız ve dinamik basınç minimum değerlerde olduğu ve bu noktalarda momentum kaybının maksimum değere ulaştığı görülmektedir. 17, 18 ve 19’cu noktalarda ise havanın dinamik basıncı ve hızları artmaktadır.

5.2.4. Grafiklerin Ortak Gösterimi ve Hata Oranlarının Hesaplanması



Şekil 25. Deneylerde kullanılan üç model araçtan elde edilen hız değişim grafiği.



Şekil 26. Deneylerde kullanılan üç model araçtan elde edilen basınç değişim grafiği.

Şekil 25 ve 26'da deneyleri yapılan üç model araç arasındaki basit aerodinamik farkın hız ve basınç dağılımına olan etkisini görülmektedir. Şekil 25'te deneylerde kullanılan üç farklı tip araçların modellerine ait ölçüm noktalarındaki hız değerlerinin grafiği gösterilmiştir. Bu grafiklerden Audi R8 modelinde hız kaybının diğer modellere göre daha az olduğu gözükmemektedir. BMW X6 modeli için hızdaki azalmanın daha geniş bir alana yayıldığı gözükmemektedir.

Şekil 26'da ise deneylerde kullanılan üç farklı tip araçların modellerine ait ölçüm noktalarındaki dinamik basınç değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir. Basınç grafiği içinde hız grafiğinde belirtilen benzer ifadeler kullanılabilir.

5.2.5. Bağlı Hataların Hesaplanması

$$\text{Hata Oranı}[\%] = \frac{|\text{Gerçek}_{\text{değer}} - \text{Hesaplanan}_{\text{değer}}|}{\text{Gerçek}_{\text{değer}}} \times 100$$

Mini Cooper S için;

$$\text{Hata Oranı} = \frac{|0.36 - 0.38058|}{0.36} \times 100 = \% 5.717$$

BMW X6 için;

$$\text{Hata Oranı} = \frac{|0.36 - 0.40208|}{0.36} \times 100 = \% 11.689$$

Audi R8 için;

$$\text{Hata Oranı} = \frac{|0.34 - 0.36914|}{0.34} \times 100 = \% 8.571$$

5.3. Deney Sonuçlarının Yorumlanması

Tablo 11’de model araçlara ait deney sonuçlarına göre hesaplanan değerler görülmektedir. Bu modeller; maksimum serbest akış hızı 43.2 km/h olan bir rüzgar tüneline test edilmiştir. Aerodinamik direnç katsayıları Mini Cooper S, BMW X6 ve Audi R8 için sırasıyla % 5.717 , % 11.689 , % 8.571 hata oranıyla bulunmuştur.

Tablo 11. Hesaplanan deney sonuçları.

Araç	Hesaplanan C_D	Firmaya ait C_D	F_D [N]	P[kw]	Re	Blokaj oranı [%]	Hata Oranları [%]
Mini Cooper S	0.38058	0.36	0.3147	3.7764	248.157×10^3	10.4	5.717
BMW X6	0.40208	0.36	0.46036	5.52432	248.157×10^3	14.4	11.689
Audi R8	0.36914	0.34	0.19175	2.301	248.157×10^3	6.533	8.571

Tablo 11’deki verilerden yola çıkarak hesaplanan C_D ile firmaya ait C_D arasındaki farkın nedenlerini ise modelin geometrik benzerliğinde %100 benzerliğin sağlanmamış olması, blokaj etkileri, model dış yüzeyinin prototipe oranla bir miktar pürüzlü olması gibi durumlardan kaynaklına bilir.

Literatürde rüzgar tüneli deneylerinde blokaj etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olabilmesi için blokaj oranının %10 sınırının altında olması tavsiye edilmektedir. Elde ettiğimiz verileri incelediğimizde BMW X6 model aracının blokaj oranını %14.4 olduğu görülmektedir, diğer model araçlara göre de en fazla değere sahiptir ve hata oranı da % 11.689 değerindedir. Blokaj oranında %10 sınırını aştığımızda hata payının arttığı görülmektedir.

Model araçların aerodinamik sürüklenme katsayıları farklı deneysel yöntemlerle de hesaplanabilir. Rüzgar tüneline sabit duran aracın üzerine değişik hızlarda hava akışı gönderilerek araç üzerindeki etkileri araştırılabilir. Düşük Reynolds değerlerinde sürüklenme katsayısı (C_D) Reynolds sayısına bağlı iken, belirli bir Reynolds değerinden sonra sabitlenir ve değişmemektedir. Sürüklenme katsayısı Reynolds sayısının belirli bir eşik değerinden sonra sabitlenmektedir. Bu durum Reynolds sayısının bağımsızlığı olarak bilinmekte ve Reynolds benzerliği dikkate alınmamaktadır.

6. SONUÇLAR ve İRDELEME

Deneyler sonucunda araçların aerodinamik sürüklenme katsayıları belirli bir hata oranlarıyla bulunmuştur.

Hata oranlarının küçültülebilmesi amacıyla;

- Çok yüksek hızlı rüzgar tüneli kullanılması ya da daha büyük model kullanılması
- Hava tüneli deneylerinde blokaj oranı (Model Kesit Alanı / Deney Odası Kesit Alanı) %10 sınırını aşılmaması
- Deneylerde kullanılacak modelin geometrik benzerliğinde %100 benzerliğin sağlanmış olması
- Model dış yüzeyinin pürüzlülüğünün prototiple aynı olması
- Firmalara ait C_D katsayılarının hangi şartlar altında hesaplandığının bilinmesi (deney odası özellikleri)
- Yüksek doğruluklu ölçü aletlerinin imal edilmesi
- Okuma hatalarının giderilmesi gibi çözümler üretilebilir.

Belirtilen bu çözümlerle yapılacak deneylerde hata oranı minimum düzeye indirilebilir. Firmaların vermiş olduğu değerlere daha yakın değerler elde edebiliriz.

Araçların aerodinamik yapıları yakıt tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük direnç katsayısı (C_D) ve düşük projeksiyon alanı (A_f) değerlerinin yakıt tüketimine olumlu etkileri bulunmaktadır. Düşük direnç katsayısı (C_D) ve düşük projeksiyon alanı (A_f) değerleri elde etmek amacıyla araçların üretim aşamasında veya araçlara sonradan uygulanabilecek çeşitli çözümler bulunmaktadır.

Aracın kaportası çevresinde akan havanın mümkün olduğunca kesintisiz ve pürüzsüz bir yüzey etrafında akması sağlanarak direnç katsayısı daha da düşürülebilmektedir. Bu amaca yönelik araçlarda kapı camlarının ve farların kaporta ile bir yüzeyde dizayn edilmesi, ön ve arka camların daha yatık dizayn edilmesi, yan aynaların formunun aerodinamik özellik taşıması, lastik oyuklarının genişletilmiş çamurluklarla örtülmesi, ön ve arka tekerlekler arasına etekler yerleştirilmesi, ön panel altına hava kesiciler (airdam) yerleştirilmesi, jant kapaklarının mümkün olduğunca aerodinamik yapıda imal edilmeleri, aracın altındaki düzgünsüzlükleri alt kaplama takviyesi ile kamufle edilmesi gibi önlemlere rastlanmaktadır. Günümüzde yukarıda bahsettiğimiz önlemler sayesinde direnç katsayısı;

- Binek araçlarında 0.25'e
- Otobüslerde 0.5'e
- Motosikletlerde 0.4'e

- ◆ Kamyonlarda ise 0.65'e

dek düşürülebilmıştır.

Hava akımı içinde akım yönüne dik olarak tutulan bir levha için bu değer 1.28, paraşütte 1.70, tabanca mermisinde 0.3, futbol topunda 0.29, yolcu uçaklarında 0.25, bomba ve yedek yakıt tankı taşımayan savaş uçaklarında 0.20 civarındadır.

Açık bir pencere, bagajdaki fazla yük veya kullanılan lastiklerin daha kalın olanlarıyla değiştirilmesi gibi hallerde direnç katsayısı değeri %10-12 artış gösterir. Küçük gibi görünen bu artışın ise yakıt sarfiyatının %5 yükselmesine neden olduğu tespit edilmiştir.

Aracın altındaki düzgünsüzlüklerin alt kaplama ile kamufle edilmesi halinde C_D değeri 0.045 düşüş gösterir. Ön ve arka camların eğik dizayn edilmesi, aracın iç kısmını etkileyen güneş ışığı miktarının artmasına neden olur. Bunun doğuracağı yüksek sıcaklık problemine çözüm olarak cam imalatçı firmalar renksiz iki ince cam tabakası arasına altın veya gümüş metalden mikron mertebesinde film sıvayarak güneşin görünür dalga boyundaki ışınlarını geçiren fakat enfraruj ışınlarını yansıtan camlar geliştirmişlerdir. Bunun maliyeti ise normal cam maliyetinin % 50 üzerindedir [25].

C_D değerini azaltma çalışmalarının sonucu olarak şu söylenebilir: Geliştirilen farklı önlemler sayesinde direnç kaybı oldukça düşürülebilmıştır ve hatta daha da düşürülebilir. Bu gelişim bireysel olarak tüketicilerin yakıt harcamalarını olumlu yönde etkilemekle birlikte azalan enerji kaynaklarını tutumlu kullanma yönünden tüm dünyaya katkı sağlamaktadır.

Otomobil sanayisinin ülkemizde gelişebilmesi için hava tüneli deneyleri yapılmalıdır . İTÜ Aerodinamik Laboratuvarındaki Hava Tünelleri, ODTÜ Hava Tüneli, TÜBİTAK SAGE ve Ankara Rüzgar Tünelleri bu maksatla kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] akmak M. A. , "Kara Taşıtlarının Aerodinamik Bakımdan İncelenmesi", Mühendis Makina, ISSN 1300-3402: 35-41 (Ekim-2000).
- [2] White R.G.S. , "A Method of estimating automobile drag coefficients", International Automotive Engineering Congress, Detroit Mich., 13-17, 1969.
- [3] Geropp D. , Odenthal, H. J., "Drag reduction of motor vehicles by active control using the Coanda effect", Experiments in Fluids, 28: 74-85, 2000.
- [4] Atılı V. , "Kara vasıtaları aerodinamiğı", I. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, TMMOB Yayın No.117, Kasım, 1985.
- [5] <http://www.gokhanturkyilmaz.com/yayin/proje.htm>, 2009.
- [6] H. Schlichting, "Aerodynamic problems of motor cars", Report No 60/24 of The Institute of fluid Mechanics, Technical University Braunschweig, Prepared for meeting of AGAED Fluid Dynamics Panel on "Industrial Use of Wind Tunnels" , İstanbul, 3rd-4th October,1960.
- [7] S.R.Ahmet, "İnfluence of base slant on the wake structure and drag of road vehicles", Journal of Fluids Engineering, Transaction of ASME, vol.105, december, 1983
- [8] V. Atılı, "Kara vasıtaları aerodinamiğı incelemelerinde kullanılan hava tünelleri", I. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, TMMOB, Yayın No.117, Kasım, 1985.
- [9] S.Canbazoğlu, "Aerodinamik Yapının Otomobil Performansına Etkileri", Kayseri III. Havacılık Sempozyumu, 10-12 Mayıs 2000.
- [10] <http://www.metrolojiokulu.com/tez/tez.htm>, Eylül 2003.
- [11] <http://www.belgeler.com/blg/175q/gtd-model-idari-hizmet-pikap-aracinin-aerodinamik-analizi-aerodynamic-analysis-of-gtd-model-administrative-service-vehicle#>, 2007
- [12] A.Gilhaus, "The Influence of cab shape on air drag of trucks" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 9:77-87 (1981).
- [13] <http://web.itu.edu.tr/~yükselen/Uck351/02-%20Aerodinamik%20kuvvet%20ve%20momentler.pdf>, 2007
- [14] <http://193.255.184.20/tezpdf/26313.pdf>, 2007

- [15] <http://www.mini.co.uk/model-range/hatch/mini-cooper-s/>
- [16] <http://www.aracbilgisi.com/otomobil-tarihi/844-mini-cooperin-tarihcesi.html>
- [17] <http://www.bmw.com.my/com/en/newvehicles/x6/x6/2012/showroom/efficiency/aerodynamics.html>
- [18] <http://www.aracbilgisi.com/otomobil-tarihi/otomobil-tarihi/871-bmw-nin-tarihi.html.html>
- [19] <http://translate.google.com/translate?depth=1&hl=tr&langpair=en|tr&rurl=translate.google.com.tr&u=http://rc.opelgt.org/indexcw.php>
- [20] <http://models.audiusa.com/r8-gt/detailed-specifications>
- [21] http://www.audi.com.tr/tr/brand/tr/experience/audi_history/personalities/august_horch.html
- [22] <http://www.dogancayotomotiv.com/>
- [23] <http://mag.volvotrucks.com/global/global/?id=>
- [24] <http://www.dermanoto.com/yakit-tuketimini-azaltmanin-yollari/>
- [25] http://tr.wikipedia.org/wiki/Aerodinamik_%28otomobil%29
- [26] http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektronik_Denge_Program%C4%B1
- [27] http://www.mmfdergi.gazi.edu.tr/2011_2/455-460.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Göksel Gökçeğöz 16.05.1986 tarihinde Malatya’da doğdu. Malatya Turgut Özal Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında 2. olarak mezun oldu. 2011 Anadolu Enerji Sempozyumunda Yrd.Doç.Dr. Aydın Çıtlak ile birlikte hazırlamış olduğu ‘Değişken Devirli Pompalarda Enerji Tasarrufu’ adlı bildirisi yayınlandı. Temel ilgi alanları, otomobil aerodinamiği ve robotik sistemlerdir.