

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**İNCE DİKDÖRTGEN PLAKALARIN BİR CROSSOVER TAŞITIN
AERODİNAMİK DİRENCİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zeynep Lizge EVCİN

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE DİKDÖRTGEN PLAKALARIN BİR CROSSOVER TAŞITIN
AERODİNAMİK DİRENCİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zeynep Lizge EVCİN
(171107103)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ– 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNCE DİKDÖRTGEN PLAKALARIN BİR CROSSOVER TAŞITIN
AERODİNAMİK DİRENCİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Zeynep Lizge EVCİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 09/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi
Erhan FIRAT
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi
Fırat EKİNCİ
(Adana Alparslan Türkeş
Bilim ve Tek. Üniversitesi)

ÜYE

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi
Melih YÜCESAN
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB018-13

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Daha verimli yolcu taşıma araçlarına yönelik çabalar otomotiv endüstrisinin en zorlu görevlerinden biri olmuştur. SUV ve crossover tip taşıtlar tipik olarak küt bir arka bitiş şekline sahiptirler (tasarım ve kullanılabilirlik için), fakat bu durum aerodinamik direnç açısından uygun değildir. Direnç, model arka kısmı içerisine üfleme, pasif çevri üreteçleri ve yavaşça daralma gibi bir dizi pasif ve aktif metotlarla azaltılabilir. 1:10 ölçekli bir crossover tip geometrinin direncini azaltabilmek adına, bu geometrinin arka alt ve üst kısımlarına çeşitli plakalar yerleştirilecektir. Bu tez çalışması, Munzur Üniversitesi'nin kapalı çevrim rüzgar tüneline 1:10 ölçekli crossover tip model araç kullanılarak gerçekleştirilecektir. Plaka yüksekliğinin (h), plakayı tutan destek parçasının uzunluğunun (saplama boyu, g) ve saplamanın yerden yüksekliğinin (y) belirli bir aralığının temel aerodinamik etkileri, -6° , -5° , -4° , -3° , -2° , -1° , 0° , $+1^\circ$, $+2^\circ$, $+3^\circ$, $+4^\circ$, $+5^\circ$ ve $+6^\circ$ sapma açıları (γ) için değerlendirilecektir. Bu aerodinamik etkiler, birçok konfigrasyon için direnç ölçümlerini kapsamaktadır.

Sonuç olarak arka plakalar rüzgar ortalamalı direnci %6,1 düşürebilmektedir. En uygun geometri $h=30$ mm yüksekliğindeki bir düz plakanın modelden geriye doğru 30 mm'ye ($g/l=0,5$) yerleştirilmesiyle elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direnç Kuvveti, Akış Kontrolü, Sapma Açısı, Dikdörtgen Plakalar.

ABSTRACT

The effect of thin rectangular plates on the aerodynamic drag of a crossover vehicle

Efforts towards ever more energy efficient passenger cars have become one of the largest challenges of the automotive industry. Sports Utility Vehicles (SUVs) or crossovers typically have a blunt rear end shape (for design and practicality), however this is not beneficial for aerodynamic drag. Drag can be reduced by a number of passive and active methods such as tapering, passive vortex generators and blowing into the base. In an effort to reduce the drag of a 1:10 scale crossover geometry, various plates will be introduced in the vicinity of lower and upper rear sides of this geometry. This thesis will be conducted in the Munzur University's closed circuit wind tunnel with the 1:10 scale crossover model. The basic aerodynamic effect of a range of plate heights (h), support lengths (g), and vertical distance between the ground and support (y) will be assessed for -6° , -5° , -4° , -3° , -2° , -1° , 0° , $+1^\circ$, $+2^\circ$, $+3^\circ$, $+4^\circ$, $+5^\circ$ ve $+6^\circ$ yaws (γ). This includes drag measurements for most configurations.

The conclusion is that rear plates could reduce wind averaged drag up to 6.1%. The optimum geometry comprises a flat plate with a height of $h=30$ mm placed 30 mm downstream ($g/l=0.5$) of the model.

Keywords: Drag Force, Flow Control, Yaw Angle, Rectangular Plates.

TEŞEKKÜRLER

Çalışma kapsamında yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT'a ve desteklerini her zaman üzerimde hissettiğim, her daim bana destek olan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Zeynep Lizge EVCİN
TUNCELİ – 2019

<u>İÇİNDEKİLER</u>	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜRLER.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLOLAR LİSTESİ.....	VI
RESİMLER LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	VIII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Kapsamı.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. MATERYAL VE METOT.....	12
2.1. Rüzgar Tüneli.....	12
2.2. Kızgın-Tel Anemometresi.....	13
2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı.....	14
2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi.....	15
2.5. Test Modeli ve Parametreler.....	17
2.6. Belirsizlik Analizi.....	21
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
3.1. Direnç Ölçümleri.....	24
4. SONUÇLAR.....	30
5. ÖNERİLER.....	31
KAYNAKLAR.....	32
ÖZGEÇMİŞ.....	34

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Basitleştirilmiş araçlardan Ahmed modeli (üstte) ve deneylerde test edilen arka eğim açıları (Ahmed ve ark., 1984).....	4
Şekil 1.2. Basitleştirilmiş araçlardan Windsor modeli (Kabanov ve ark., 2016)	5
Şekil 1.3. Araç arka kısmına yerleştirilen sarı renkli uzantı parçaları (Urquhart ve ark., 2018).....	6
Şekil 1.4. Araç arka difüzörünün çıkıntı yapmış hali (Kang ve ark., 2012).....	7
Şekil 1.5. Windsor modeli üst yüzeyinin firar kenarına monte edilmiş üfleme yapan aktif akış kontrol cihazı (Littlewood and Passmore, 2012).....	9
Şekil 1.6. Üfleme ve emme işlemini ardı sıra yapabilen sistemin bir periyodunun, Ahmed modeli üst yüzeyinin firar kenarı üzerindeki akışa etkisi (Brunn ve Nitsche, 2006).....	9
Şekil 1.7. Bir SUV'nin arka kısmına ince plaka yerleştirilmesi sonucu oluşan görüntü (Rohatgi, 2012).....	11
Şekil 2.1. Crossover taşıtın arka kısmına yerleştirilmesi planlanan plakalara ait geometrik parametreler.....	18
Şekil 3.1. Arka alt kısma konumlandırılmış h=30 mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.....	25
Şekil 3.2. Arka alt kısma konumlandırılmış h=50 mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.....	25
Şekil 3.3. Arka alt kısma konumlandırılmış h=70 mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.....	26
Şekil 3.4. Sapmasız durum için farklı plakaların farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ile taşıt arka alt kısımlarına konumlandırıldıkları durumlarda model taşıta etkiyen direnç katsayılarının değişimi.....	26
Şekil 3.5. Farklı plakaların farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ile taşıt arka alt kısımlarına konumlandırıldıkları durumlarda model taşıta etkiyen yaklaşık rüzgar ortalamalı direnç katsayılarının değişimi.....	27
Şekil 3.6. Arka üst kısma konumlandırılmış h=30 mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.....	28

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Deneylerde kullanılacak parametrelere ait değerler.....	18
--	----



RESİMLER LİSTESİ

Sayfa No

Resim 1.1. Porsche'nin Panamera modeline ait açılır-kapanır arka kanat mekanizması (URL-1, 2018).....	3
Resim 1.2. Volvo S60 ve V60 modelleri için tasarlanmış arka difüzör (URL-2, 2018).....	3
Resim 1.3. Ahmed modeli arka kısmına monte edilmiş dikey plaka (Gilliéron ve Kourta, 2010).....	8
Resim 1.4. Mikrojet dizisinin koordinatları ve boşluk mesafeleri (Auburn ve ark., 2011).....	10
Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tüneli.....	12
Resim 2.2. Test bölgesinde kızgın-tel anemometresi ile serbest-akım hızı ölçümü.....	13
Resim 2.3. Üç-boyutlu yazıcının bir görünümü.....	14
Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcıda basılan bazı parçalar.....	14
Resim 2.5. Kuvvet ölçüm sisteminde kullanılan yük hücresi.....	15
Resim 2.6. Veri toplama kartı ve yük hücresinin ona bağlantısı.....	16
Resim 2.7. Veri toplama yazılımı.....	16
Resim 2.8. Sapma açısı ayar aparatı.....	16
Resim 2.9. Test bölgesi dış alt yüzeyine monte edilen açı ayarlı direnç ölçüm sistemi bileşenleri.....	17
Resim 2.10. Plakalar ve çeşitli uzunluklardaki saplamalar.....	20
Resim 2.11. Üç-boyutlu yazıcı ile iki parça halinde basılmış 1:10 ölçekli crossover taşıt modeli.....	20
Resim 2.12. Döner tablaya dört adet silindirik bacak ile sabitlenen crossover taşıt modeli.....	21
Resim 3.1. Arka alt kısma konumlandırılmış h=30 mm'lik plaka.....	24
Resim 3.2. Arka üst kısma konumlandırılmış h=30 mm'lik plaka.....	24

SEMBOLLER LİSTESİ

NACA: The National Advisory Committee for Aeronautics

PLA : Polilaktik Asit

SUV : Sport Utility Vehicle

A_F : Sapma açısız durumdaki ön görünüş alanı

C_D : Direnç katsayısı

C_{D_Rüz} : Rüzgar ortalamalı direnç katsayısı

F_D : Direnç kuvveti

g : Saplama boyu

g/l : Boyutsuz saplama boyu

h : Kontrol plakası yüksekliği

i : Anlık veri numarası

l : Kontrol plakası uzunluğu

L_C : Karakteristik uzunluk

n : Anlık veri bitiş numarası

N : Alınan toplam veri sayısı

Re : Reynolds Sayısı

t : Kontrol plakası kalınlığı

u : Belirsizlik

U_∞ : Serbest-akım hızı

y : Saplamanın yerden yüksekliği

α : Yerleştirme açısı

γ : Sapma açısı

μ : Havanın viskozitesi

ρ : Havanın yoğunluğu

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Kapsamı

Akış kontrolü, akış alanı içerisindeki herhangi bir bölgede istenilen veya istenilene yakın etkiyi yaratabilmek için akışın karakterini veya düzenini değiştirme girişimidir. Akışın, içerisinde yer alan cisimler üzerindeki istenmeyen etkilerini ortadan kaldırmak ya da azaltmak için akış kontrol tekniklerini kullanmak kaçınılmaz bir durumdur. Akış kontrol teknikleri birçok kişi tarafından farklı şekillerde sınıflandırılmıştır fakat bunlar arasında en uygun olanı enerji tüketimi yapıp yapmamasına göre olandır (Gad-El-Hak, 2000). Bu sınıflandırma kısaca aktif ve pasif teknikler olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif teknikler akışın kontrol edilmesi esnasında enerji tüketimi yapan sistemleri içermektedir. Pasif teknikler ise herhangi bir enerji tüketiminin gerek olmadığı, kontrolün sadece şekil modifikasyonu ile gerçekleştirilebildiği tekniklerdir. Ayırıcı plaka, ayırık plaka, eksenal yarık veya delik, akış bozucu (sendeletici) tel, çıkıntı veya yarık, köşe yuvarlatma veya kesme, yüzey pürüzlülüğü, kontrol silindiri veya plakası bu pasif teknikler içerisinde yer alan modifikasyonlardır.

Bu tez kapsamında test edilmek üzere tasarlanan ayırık plakalar, crossover taşıt modeli üzerindeki akışı kontrol etmek için enerji harcamadığından pasif kontrol tekniği içerisinde yer alıyormuş gibi görünse de pratikte, taşıt arkasından geriye doğru çıkıntı yapan bir parça olarak tasarlanacağı için aktif kontrol tekniği içerisinde yer alacaktır. Bu projenin konusu, genel hali ile bakıldığında, akışkanlar mekaniği içerisinde yer alan akış kontrolü alt konusu içerisinde yer almaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tezin ana amacı, tam ölçekli bir crossover üzerine etkiyen direnç kuvvetini azaltabilmek için plakalar gibi dışa yerleştirilebilen parçaları taşıt arka kısmında kullanmanın uygulanabilirliğini kontrol etmektir. Tezin sağlıklı bir şekilde tamamlanması sonucu danışmanım tarafından kazanacağıma dair öngörülen tecrübeler ise aşağıda sıralanmıştır.

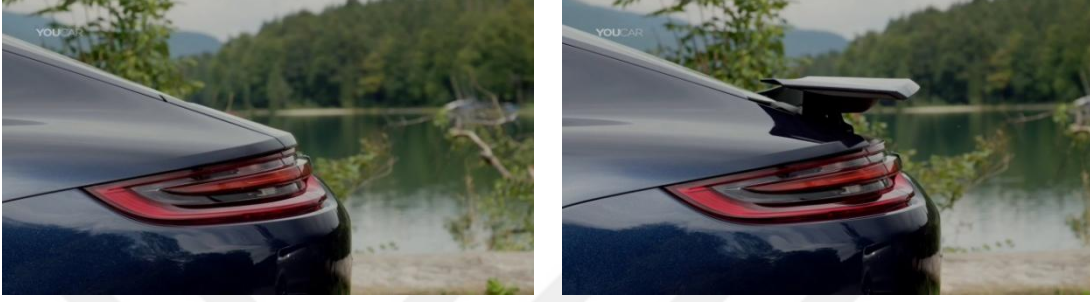
- 1- Mühendislik uygulamalarında aerodinamik direnci azaltmak adına taşıt arka kısmında ne tarz tekniklerin kullanıldığını kavraması.
- 2- Bir cisim ya da çoklu cisimler üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetleri (direnç, kaldırma ve yan) direkt olarak ölçebileceği bir sistem tasarlayabilme ve kurabilme becerisini kazanması.
- 3- Bir cisim ya da çoklu cisimler üzerine etkiyen direnç kuvvetinde, rüzgarın esme doğrultusu ile araç hareket doğrultusu arasındaki açının (sapma açısı) değişmesi durumunda ne tarz değişimler olduğunu kavraması.
- 4- Kurulması planlanan kuvvet sisteminin kalibrasyonun nasıl yapılması gerektiğini ve kalibrasyon esnasında nelere dikkat etmesi gerektiğini kavraması.
- 5- Kurulması planlanan kuvvet sisteminin doğru ölçümler yapıp yapamadığını tespit edebilme becerisini kazanması.
- 6- Bir deneysel çalışma çıktılarını, akademik bir dille yazıya dökebilme becerisini kazanması.
- 7- Satın almaya karar verilen ürünler için, firmalara, resmi dille “fiyat teklif formu” hazırlama becerisini kazanması.

1.3. Literatür Taraması

Aerodinamikte cisimler, şekillerine göre, küt veya akım çizgili olarak sınıflandırılırlar. Bir cismin etrafından akan akış, onun yüzeylerini yalayarak geçiyorsa, bu cisim akım çizgili olarak adlandırılır. Düşük hücum açılı uçak kanatları, akım çizgili cisimlere örnek olarak verilebilir. Diğer yandan aynı akış, cisim yüzeylerinden akarken ayrılmaya maruz kalıyorsa, bu cisim de küt olarak adlandırılır. Otobüsler veya binalar, küt cisimlere örnek olarak verilebilir.

Aerodinamik bakımdan değerlendirildiklerinde, akım çizgili cisimlere etkiyen direnç (yani, akış doğrultusuna ters yönde etkiyen aerodinamik kuvvet) kütlere göre çok daha düşüktür. Bu da, akım çizgili cisimlerin, bir akışkan içerisinde bir noktadan bir noktaya, kütlere göre daha az enerji harcayarak varmaları demektir. Pratik açıdan değerlendirildiklerinde, birçok cisim küttür ve bu cisimlere etkiyen direnç kuvvetini akım çizgililerinkine yaklaştırmak için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklere akış kontrol teknikleri denilmekte ve teknikler enerji tüketimi açısından değerlendirildiklerinde, kabaca, iki gruba ayrılmaktadırlar (Gad-el-Hak, 2000). Şayet, bir cisim etrafındaki akışı

kontrol etmek için kullanılan tekniğin uygulanmasını sağlayan cihaz ya da ekipman, kontrol esnasında enerjiye gereksinim duyuyorsa, bu tekniğe aktif akış kontrol tekniği denir. Resim 1.1’de, yüksek hızda giden araca etkiyen basma kuvvetini (yani, yol düzlemine normal ve içine doğru etkiyen aerodinamik kuvvet) arttırmak adına yüksek hızlarda kullanılan bir aktif akış kontrol tekniği görülmektedir.

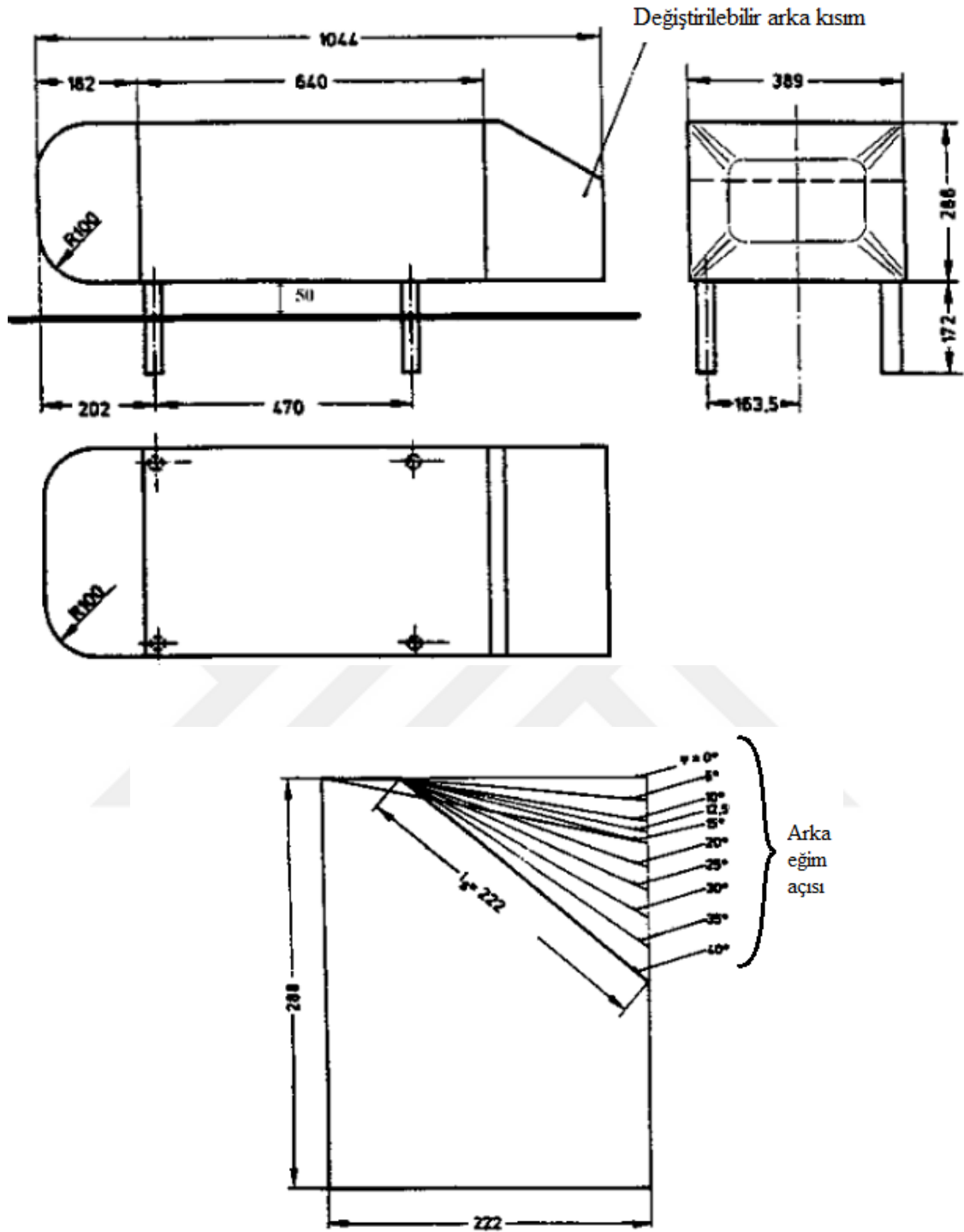


Resim 1.1. Porsche’nin Panamera modeline ait açılır-kapanır arka kanat mekanizması (URL-1, 2018).

Şayet, bir cisim etrafındaki akışı kontrol etmek için kullanılan tekniğin uygulanmasını sağlayan cihaz ya da ekipman, kontrol esnasında enerjiye gereksinim duymuyorsa, bu tekniğe de pasif akış kontrol tekniği denir. Resim 1.2’de, iki egzoz arasında görülen, araç altından gelen akışı araç arkasına yönlendirerek, araç arka kısmında yer alan düşük basınç seviyesini biraz arttırarak direnci düşürmek adına kullanılan bir pasif akış kontrol tekniği görülmektedir.



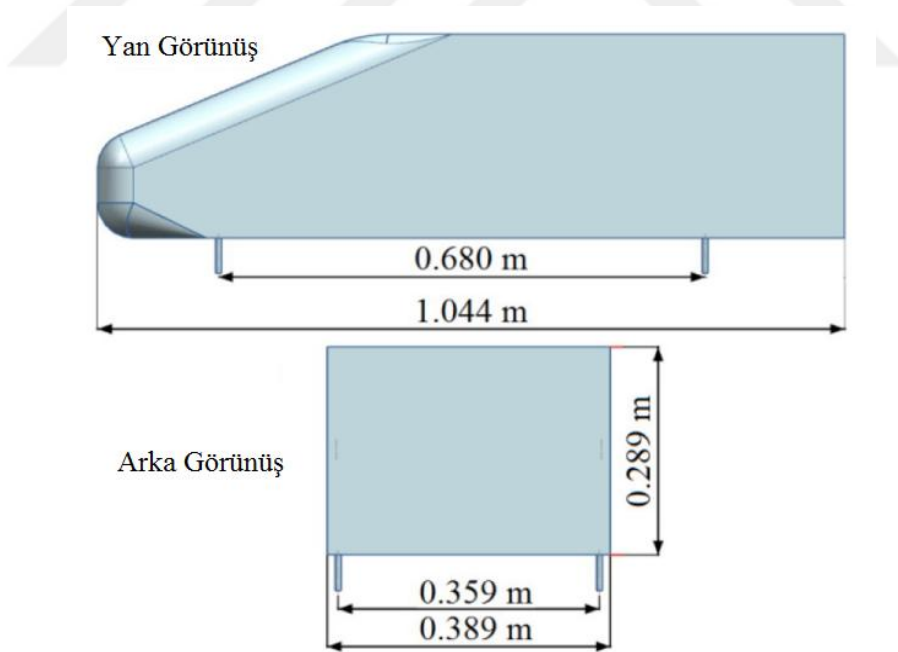
Resim 1.2. Volvo S60 ve V60 modelleri için tasarlanmış arka difüzör (URL-2, 2018).



Şekil 1.1. Basitleştirilmiş araçlardan Ahmed modeli (üstte) ve deneylerde test edilen arka eğim açıları (Ahmed ve ark., 1984).

Spor amaçlı taşıtlar (Sport Utility Vehicles, SUV) ve araba ile spor amaçlı taşıt arasındaki geçişi temsil eden crossover taşıtlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Bu ikili arasındaki genel fark şasi tipidir. Spor amaçlı taşıtlarda merdiven şasi (body-on-frame)

kullanılırken, crossoverlerde yekpare/monokok şasi (unibody) kullanılır. Bu taşıtların arka kısımları, kullanım kolaylığı açısından, normal arabalara göre daha küt bir yapıya sahiptir. İster araba olsun, ister crossover, ister spor amaçlı taşıt, arka kısımda yer alan küt yapı, araç arka yüzeyinde düşük basınç seviyesine sahip geniş bir bölge oluşumuna sebep olmaktadır. Bu da taşıta etkiyen direnç kuvvetinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu yüksek direnç değerlerini düşürebilmek adına araştırmacılar çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Ahmed ve ark. (1984), 1:4 ölçekli, basitleştirilmiş araç olarak bilinen Ahmed modeline etkiyen direncin, arka eğim açılarına (araç üst düzlemi ile araç arka yüzeyinden araç üst düzlemine olan düzlem arasındaki açı) bağlı değişimlerini incelemişlerdir (Şekil 1.1). Çalışmalarında, arka eğim açısının 10-12° olduğu durumda modele etkiyen direncin minimuma düştüğü, bu açı değerinden 30°'ye kadar direncin artış gösterdiği ve 30°'den sonra ise direncin, eriştiği maksimum değerinden ani bir düşüş yaptığını belirtmişlerdir. Arka eğim açısının direnç kuvveti üzerindeki etkisini gösteren bu basitleştirilmiş çalışmanın sonuçları, birçok araç firması tarafından beğeni toplamış ve araç tasarımı esnasında, göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1.2. Basitleştirilmiş araçlardan Windsor modeli (Kabanovs ve ark., 2016).

Littlewood ve Passmore (2010), benzeri bir çalışmayı basitleştirilmiş bir başka araç olarak bilinen Windsor modeli üzerinde çalışmışlardır (Şekil 1.2). Çalışmalarında kullandıkları Windsor modeli de 1:4 ölçeklidir. Araç arka kısmında kırılan sabit uzunluğa

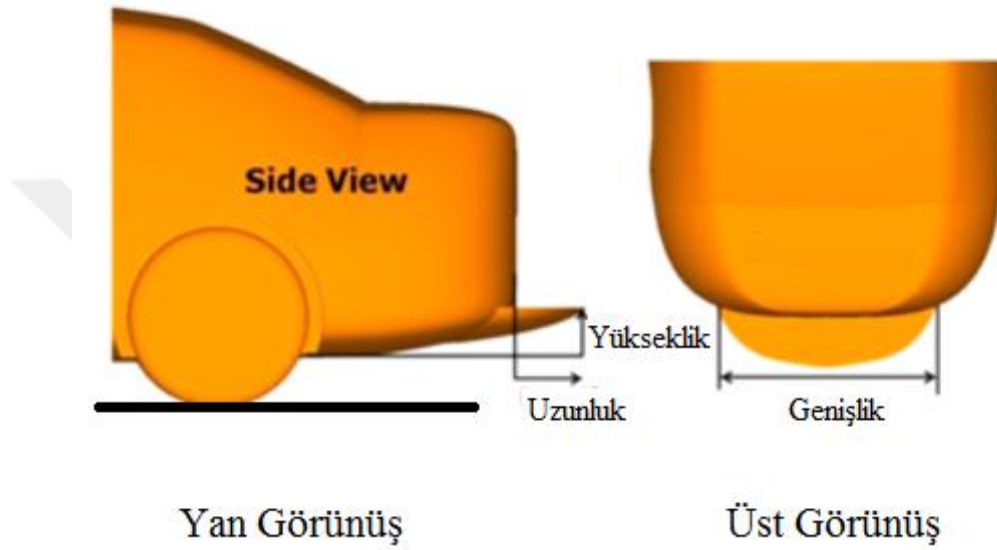
sahip pahlı, 0°den 20°ye değişen arka eğim aıllarında aerodinamik testlere tabi tutmuşlar ve direnç üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. alışmalarında, arka eğim açısının 12° olduğu durumda dirençte %4,4'lk bir düşüşün sağlandığını belirtmişlerdir. Sterken ve ark. (2015), tam ölçekli, n ızgaraları kapatılmış bir Volvo XC60'ın arka kısmına çeşitli boyutlarda uzantı parçaları yerleştirmişler ve bunların, bu crossover araç arka kısmında yer alan iz bölgesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu parçaların direnç kuvvetinde çok ciddi bir düşüş oluşturmadıklarını göstermişlerdir. Araştırmacılar, bu uzantı parçalarının direnç düşürmedeki etkinliklerinin, sapma açısının (araç hareket doğrultusu ile rüzgar yönü arasındaki fark açısı) -8° ile 8° arasında değişmesi ile çok bir değişim sergilemediğini göstermişlerdir. Benzeri bir çalışma, sayısal olarak, Urquhart ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir (şekil 1.3). Onlar da, bu tarz parçalar kullanıldığında, aracın direnç katsayısının sapma açısından daha az etkilendiğini göstermişlerdir.



şekil 1.3. Araç arka kısmına yerleştirilen sarı renkli uzantı parçaları (Urquhart ve ark., 2018).

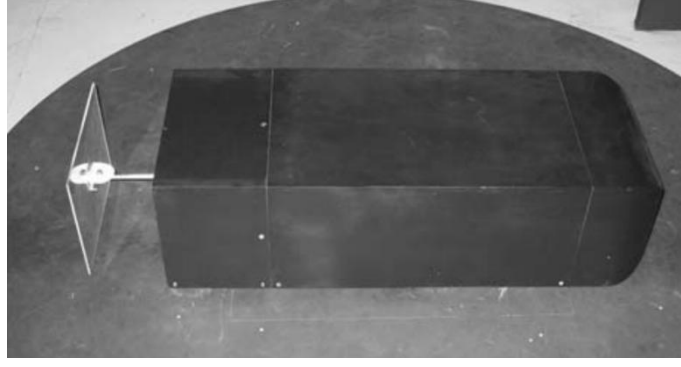
Huminic ve Huminic (2012), yaptıkları sayısal çalışma ile hem basitleştirilmiş araçlardan Ahmed modeline teker ekleyerek, tekerlerin olduğu ve olmadığı durumlar arasındaki farkı incelemişler hem de tekerlekli modele etkiyen direnç katsayısının, araç arka difzrne bağlı değişimlerini incelemişlerdir. alışmaları sonucunda, difzor açısının 6°'den düşük olduğu durumlar için, difzor uzunluğunun artması ile tekerlekli modele etkiyen direncin düştüğünü belirtmişlerdir. Bu açı değerinden sonra, araç yan kısmından araç alt kısmına yönelen akıştan dolayı meydana gelen çevri yapıları çoğalarak direncin artmasına sebep olmuşlardır. Kang ve ark. (2012) ise, bir aktif akış kontrol ekipmanı olan arka difüzörlerin çıkıntı yaparak araç hareket yönüne ters yönde uzamasının,

araç arka kısmında (iz bölgesi) ve araca etkiyen direnç kuvvetinde ne gibi bir değişim yarattığını, sayısal olarak incelemişlerdir (Şekil 1.4). Çıkıntı yapan difüzörün şekli aynı kalmak şartıyla, yedi farklı uzunluk, genişlik ve yüksekliğe sahip çıkıntı durumu için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, araca etkiyen ortalama direncin %4'ten fazla düşürüldüğünü ve bu düşüşün, 70 km/sa'dan yüksek hızlar için, sabit hızla giden araç yakıt sarfiyatında %2'lik bir iyileşme sağladığı belirtilmiştir.



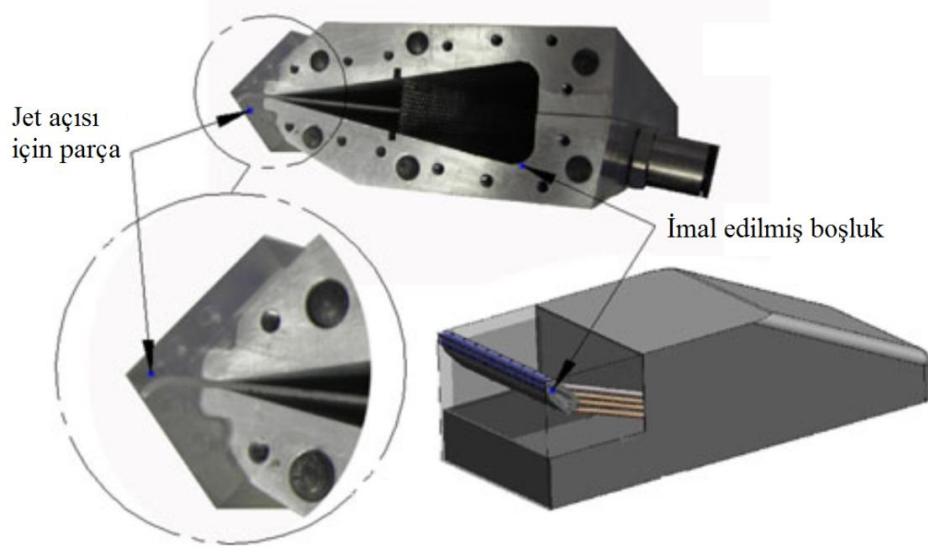
Şekil 1.4. Araç arka difüzörünün çıkıntı yapmış hali (Kang ve ark., 2012).

Yukarıdaki literatürde incelenen akış kontrol elemanları, günlük hayatta kullandığımız kara taşıtlarına direkt olarak uygulanabilir türden cihaz ya da ekipmanları içermektedir. Şu anlık kara taşıtlarına direkt olarak uygulanamasa da ilerleyen teknoloji ile birlikte kendine uygulama alanı yaratacağını düşündüğümüz akış kontrol elemanları da bulunmaktadır. Mesela, Gilliéron ve Kourta (2010), birçok parametreye dayalı olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, bir dikey levhanın Ahmed modeli üzerine etkiyen direnç kuvvetini nasıl etkileyeceğini araştırmışlardır (Resim 1.3). Sonuç olarak, bir pasif akış kontrol ekipmanı olarak kullandıkları ve model araç arka kısımlarına yerleştirdikleri dikey levhalar ile birlikte araca etkiyen direnç katsayısında %28'lere varan düşüşler sağladıklarını bildirmişlerdir.



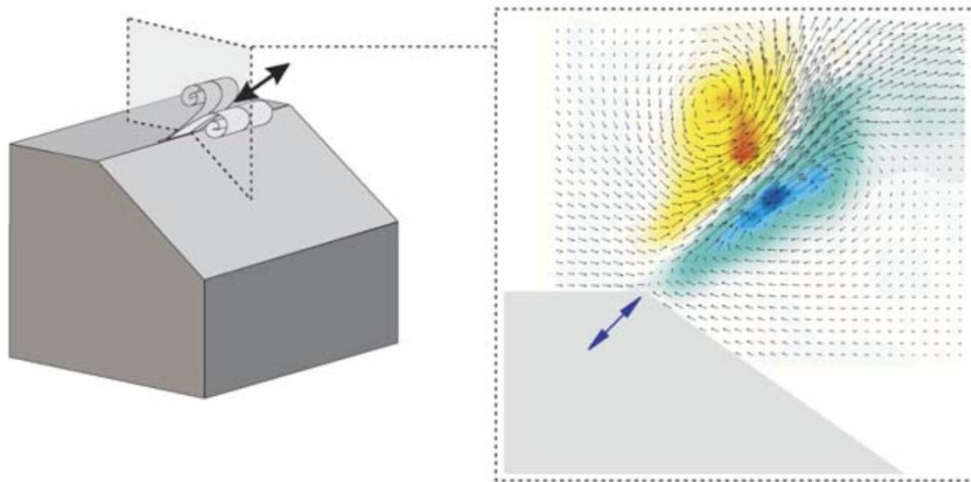
Resim 1.3. Ahmed modeli arka kısmına monte edilmiş dikey plaka (Gilliéron ve Kourta, 2010).

Aider ve ark. (2010), deneysel çalışmaları sonucunda, model bir aracın arka kısmının farklı yerlerine yerleştirerek ve farklı tipler kullanarak test etmiş oldukları pasif çevri üreteçlerinin, araç direnç kuvvetinde %12'lere varan düşüşler sağladığını bildirmişlerdir. Beaudoin ve Aider (2008), model bir aracın arka kısmında belirli bölgelere sabitledikleri kanatçık çiftleri yardımı ile araç arkasındaki akışı kontrol etmişler ve bu sayede direnç kuvvetinde %25'e kadar düşüş sağladıklarını belirtmişlerdir. Rouméas ve ark. (2009), bir basitleştirilmiş araç modelini sayısal olarak modellemişler ve arabanın üst kısmı ile arka camı arasında kalan kısmında açmış oldukları bir açıklıktan emme yaparak direnç katsayısını düşürmeye çalışmışlardır. Daimi emiş hızının serbest akım hızının 0,6'sı olduğu durumda direnç kuvvetinde %17'ye yakın bir düşüş elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bu emme hızı oranının altında, direnç kuvvetinde hızlı bir artışın gerçekleştiği, üstünde ise direnç kuvvetinde hafif azalmaların olduğunu belirtmişlerdir. Littlewood ve Passmore (2012), Windsor modeli üzerinde gerçekleştirmiş oldukları deneysel çalışmalarında, araç üst kısmı firar kenarından farklı açılarda yapılan üflemenin, araç direnç katsayısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Şekil 1.5). Üfleme işleminin, kompresör, borulama sistemi hatta hava depolama tankı gibi ekipmanlar gerektirdiğini, bu ekipmanların belirli bir yer kapladığını ve ağırlıklarının olduğunu ayrıca, kompresör veriminin de hesaba katılması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda, pratikte direnç kuvvetini azaltmak adına kullanışlı bir teknik olmadığından bahsetmişlerdir.



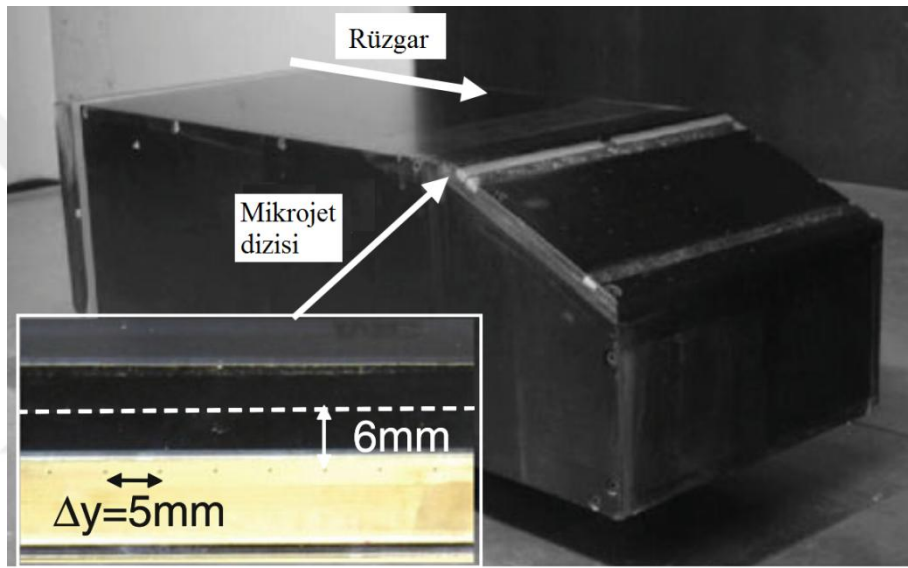
Şekil 1.5. Windsor modeli üst yüzeyinin firar kenarına monte edilmiş üfleme yapan aktif akış kontrol cihazı (Littlewood ve Passmore, 2012).

Brunn ve Nitsche (2006) ise üfleme ve emme hareketini periyodik olarak yapabilmek için kendi tasarlamış oldukları mekanik sistemlerini kullanmışlar ve basitleştirilmiş araç modeli üzerinde denedikleri bu tekniğin direnç kuvveti üzerindeki etkilerine bakmışlardır (Şekil 1.6). Modele araç üst firar kenarından yatayla 45° açıyla yerleştirilen açıklık ile belirli üfleme-emme frekanslarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda direnç kuvvetinde yaklaşık %20'lik bir düşüş sağladıklarını belirtmişlerdir.



Şekil 1.6. Üfleme ve emme işlemini ardı sıra yapabilen sistemin bir periyodunun, Ahmed modeli üst yüzeyinin firar kenarı üzerindeki akışa etkisi (Brunn ve Nitsche, 2006).

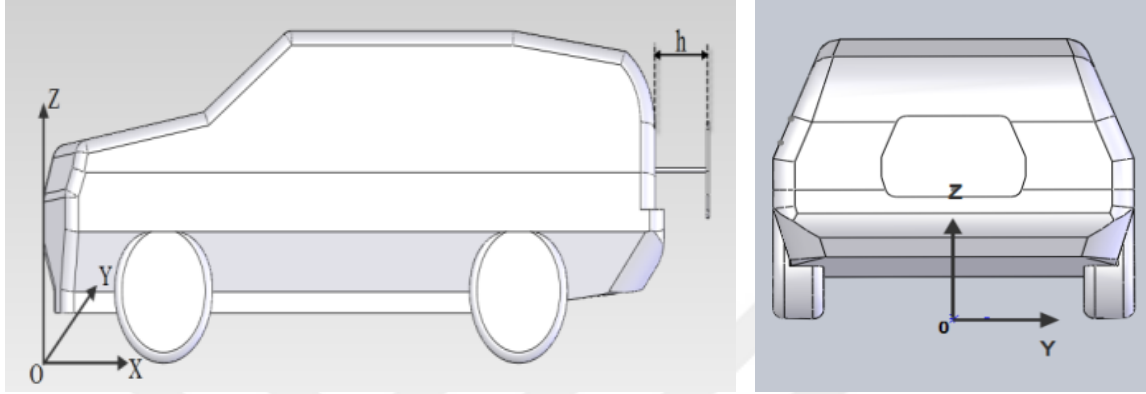
Aubrun ve ark. (2011), Ahmed modelinin eğimli arka yüzeyi üzerinde meydana gelen üç-boyutlu ayrılma kabarcığının boyutunu azaltma ya da tamamen yok etme yoluyla araca etkiyen aerodinamik direnci azaltmak için, daimi üfleme yapan mikro-jetleri kullanmışlardır (Resim 1.4). Mikrojetler, belirli aralıklarla, araç üst yüzeyi ile eğimli arka yüzeyi arasındaki ayrılma çizgisinin 6 mm arka kısmına ve 25° eğimli yüzey üzerine yerleştirilmişlerdir. Mikrojet dizisinin daimi üfleme işlemi aktif hale getirildiğinde, Reynolds sayısına bağlı olarak, direnç katsayısının %9 ile %14 arasında azaltılabildiğini, kaldırma katsayısında ise %42'lere varan azalmalar sağlanabildiği belirtilmiştir.



Resim 1.4. Mikrojet dizisinin koordinatları ve boşluk mesafeleri (Aubrun ve ark., 2011).

Kim ve ark. (2016) kuşun yere inişi esnasında, yüksek hücum açısına sahip kanatların üst yüzeylerinden şiddetli akış ayrılmalarının meydana geldiğini ve bu akış ayrılmalarından kaynaklanan kaldırma kuvvetindeki düşüşü azaltmak için, kuşların bir anda ikincil tüylerini ortaya çıkardığını görmüşlerdir. Bu ikincil tüylerin hareketinden esinlenen araştırmacılar, otomatik hareket eden yansıtıcı adını verdikleri bir tasarım ortaya çıkarmışlar ve bunu da Ahmed modeli üzerine etkiyen direnç kuvvetini düşürmek maksatlı test etmişlerdir çünkü Ahmed modelinin arka firar kenarından da şiddetli ayrılmaların olduğunu bilmektedirler. Arka eğim açısının 25° ve sabit olduğu bir Ahmed modeline adapte edilen farklı boyutlardaki yansıtıcılar ile araca etki eden direncin %19 düşürülebildiği belirtilmiştir. Bu tez çalışması ile direkt alakalı tespit edilen tek çalışma Rohatgi (2012) tarafından gerçekleştirmiştir ve bu tezin gerçekleştirilmesine ilham kaynağı

olmuştur (Şekil 1.7). Spor amaçlı taşıt ile arka kısma yerleştirilen plakanın farklı mesafelerinde taşıta etkiyen direnç katsayıları, çeşitli sapma açıları için deneysel olarak test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, bu plakalar sayesinde taşıta etkiyen direnç katsayısının %6,5 civarında düşürülebildiği belirtilmiştir.



Şekil 1.7. Bir SUV'nin arka kısmına ince plaka yerleştirilmesi sonucu oluşan görüntü (Rohatgi, 2012).

Yukarıdaki literatür taramasından da görüleceği üzere, çeşitli akış kontrol teknikleri, taşıtlar üzerine etkiyen direnci düşürebilmek adına onları temsil eden bazı basitleştirilmiş model taşıtlar üzerinde test edilmiş ve verimlilikleri ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmanın ortaya çıkmasına sebep olan ilk güdü, test edilmesi planlanan pasif akış kontrol yönteminin, ilerleyen zamanlarda crossover ya da SUV gibi taşıtlar için bir direnç düşürme sistemi olarak kullanılma olasılığının yüksekliğine olan inancımızdır. Yukarıda test edilen akış kontrol tekniklerin çoğu, basit model taşıtlar üzerinde denenmiştir. Tam ölçekli bir crossover ya da SUV gibi taşıtlarla ilgili aerodinamik problemlere uygun çözümler getirebilmek, bu tip modeller kullanıldığında sağlıklı bir yöntem olarak durmamaktadır. Bu çalışmanın ikinci güdüsü ise, crossover veya SUV tip taşıtların bazı temel şekilsel özelliklerini üzerinde barındıran standart bir model taşıtı literatüre kazandırmadır. Böylelikle, bu tip taşıtlar üzerinde test edilen akış kontrol yöntemlerinin verimlilikleri açısından gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesi olanaklı hale gelecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Rüzgar Tüneli

Kapalı çevrim olarak çalışan bu tünel Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yer almaktadır (Resim 2.1). Tünele ait test bölgesinin yan ve üst kısımlarında pencereli sistem olması hem test modellerine erişime hem de dışarıdan gerçekleştirilmesi planlanan işlemlere (video çekimi, lazer gönderimi, vb.) olanak sağlamaktadır. Test bölgesi 1000 mm genişliğe ve 1000 mm yüksekliğe sahiptir. Tünel içi serbest akım hızının değeri 15 kW gücündeki bir eksenel fan ve bu fanın devir sayısını istenilen değere ayarlayabilen bir değişken frekans sürücüsü ile ayarlanabilmektedir (Mitsubishi Electric Co., FR-F740-00380-EC).



Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tüneli.

Rüzgar tünelinin kanalının düz kısımları içerisinde akışı daha düzenli hale getirmek için metalik bal petekleri, dönemeçli kısımlara da aynı amaçla kullanılmak üzere yerleştirilmiş eğrisel kanatçıklar yer almaktadır. Bu deneysel çalışmalar öncesinde

gerçekleştirilen hız ölçümleri sonucunda, test bölgesindeki güvenli azami hızın 8 m/s olduğu belirlenmiştir.

2.2. Kızgın-Tel Anemometresi

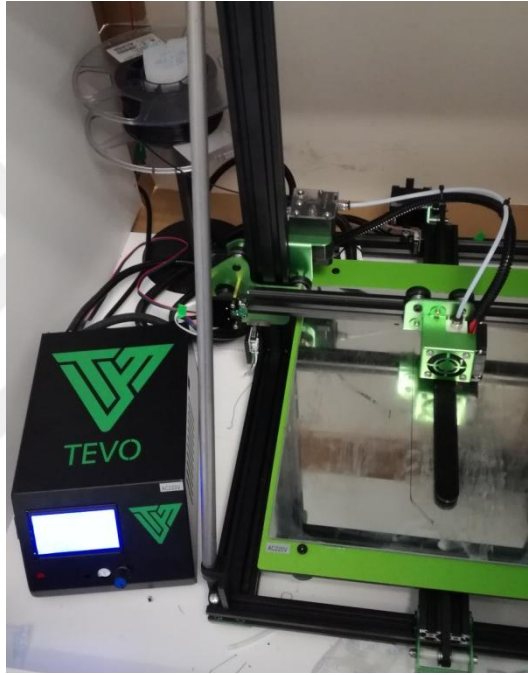
Burada, test bölgesi içindeki serbest akım hızını (U_{∞}) ölçmek için kullanılacak olan kızgın-tel ya da diğer bir adıyla sıcak-tel anemometresi 25 m/s'ye kadar ölçüm yapabilmektedir (PCE Instruments, PCE-423). Bu cihaz, el tipi bir cihazdır ve yazılımı sayesinde herhangi bir noktadan ölçülen hız değerlerini zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedebilmektedir (Resim 2.2). Cihazın bir diğer özelliği de, düşük bir belirsizlikle, ortam sıcaklığını ölçebilmesidir ve bu özelliği sayesinde test bölgesindeki akışa ait sıcaklık değerleri de tespit edilecektir.



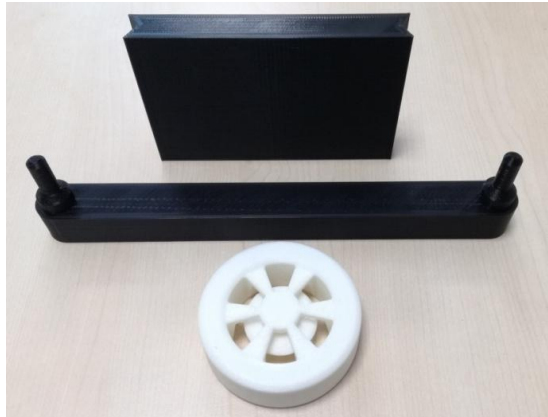
Resim 2.2. Test bölgesinde kızgın-tel anemometresi ile serbest-akım hızı ölçümü.

2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı

Bu deneysel çalışmada kullanılacak olan tüm modeller üç-boyutlu yazıcı ile basılmıştır (Resim 2.3). Danışmana ait olan yazıcının baskı hacmi 300 mm uzunluk, 300 mm genişlik ve 400 mm yükseklik şeklindedir (TEVO 3D Electronic Technology Co.,Ltd., Tornado). Baskı malzemesi olarak $1,75\pm0,05$ mm çapa sahip bir tür iyileştirilmiş polilaktik asit malzeme olan PLA+ tercih edilmiştir (Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd., PLA+). Bu sarf malzemenin kullanıcı açısından zararlı bir etkisi şu ana kadar tespit edilmemiştir.



Resim 2.3. Üç-boyutlu yazıcının bir görünümü.



Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcıda basılan bazı parçalar.

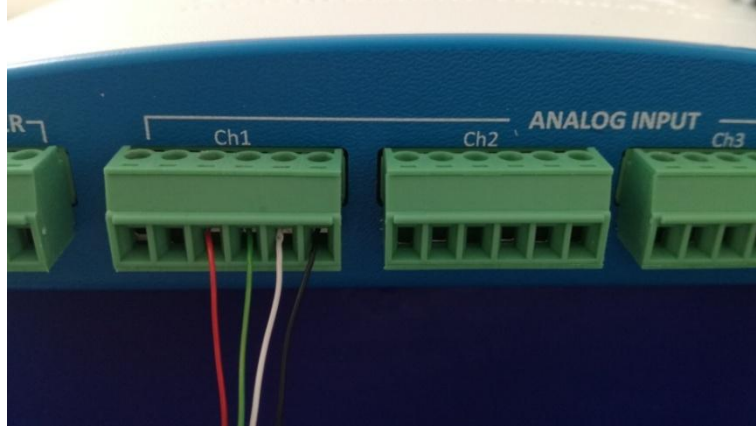
Yazıcıda basılması planlanan her parça, yazıcının baskı hacmi içerisinde yer almamaktadır. Bu sebeple, bazı parçalar iki veya daha fazla parça halinde basılmışlar, sonrasında ise yapıştırılarak nihai parçayı meydana getirmişlerdir. Yazıcıda, tek seferde basılan parçalardan bazıları Resim 2.4 içerisinde verilmiştir.

2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Plakaların, crossover taşıt modeline etkiyen direnci düşürebilme kabiliyetlerini test etmek için bir aerodinamik kuvvet ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarım, aerodinamik kuvvetlerden yalnızca bir tanesini (direnç kuvveti) anlık olarak elde etmeye imkan verecek tarzdadır. Sistem, bir adet veri toplama kartı ve yazılımından (Marmatek Mesurement Technologies, VTA-1704), bir adet ± 5 N ölçüm kapasitesine sahip, lama tipi, mini boy, düşük belirsizliğe sahip bir yük hücresinden (ME-Meßsysteme GmbH, KD60), tek-eksenli kuvvet ölçümü için tasarlanan mekanizmadan, sapma açısını ayarlamaya olanak sağlayan bir açı ayar aparatından ve modelin üzerine yerleştirildiği bir döner tablanın uygun şekilde birleşiminden meydana gelmektedir (Resim 2.5, 2.6., 2.7., 2.8. ve 2.9.).



Resim 2.5. Kuvvet ölçüm sisteminde kullanılan yük hücresi.



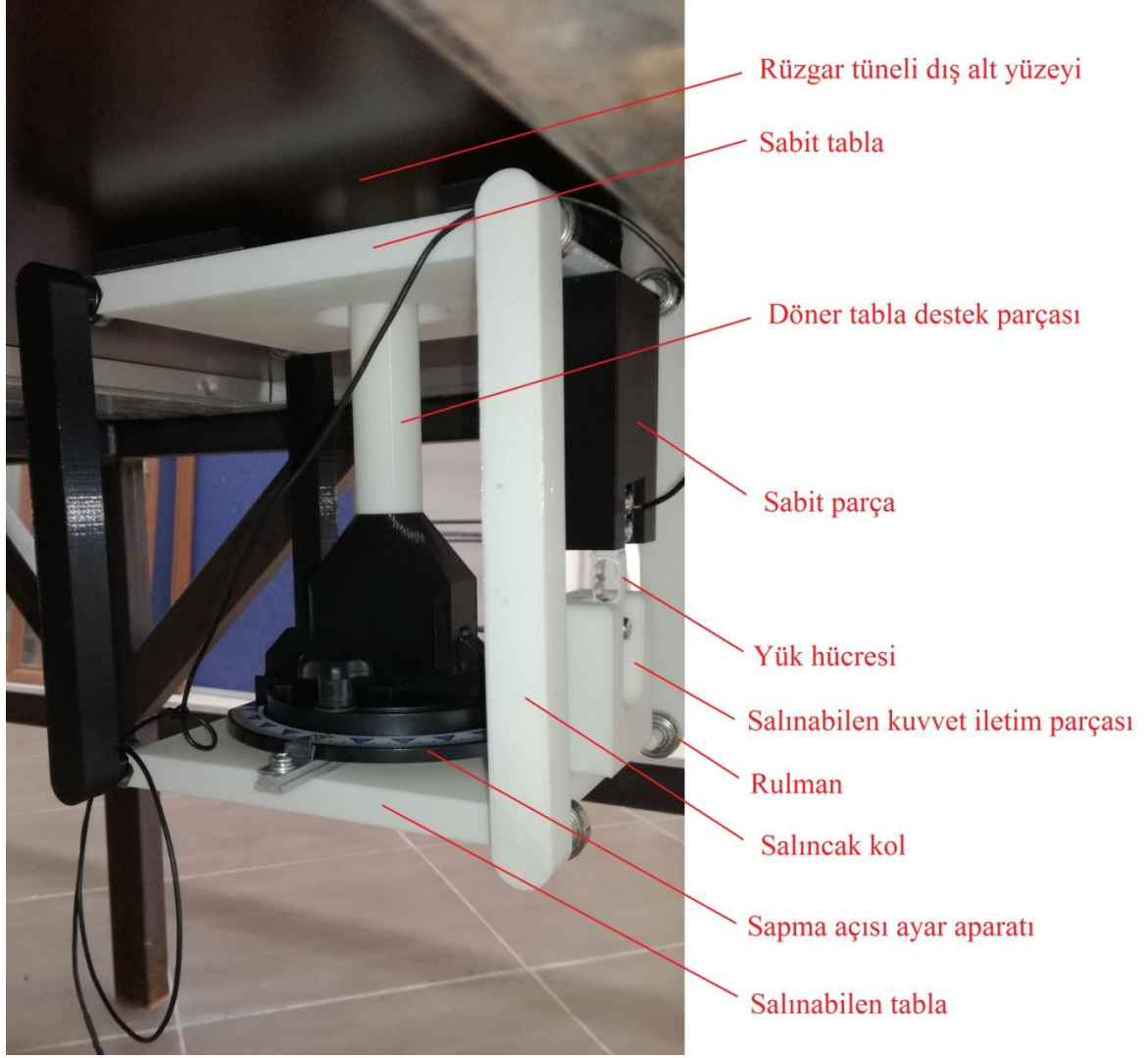
Resim 2.6. Veri toplama kartı ve yük hücresinin ona bağlantısı.



Resim 2.7. Veri toplama yazılımı.



Resim 2.8. Sapma açısı ayar aparatı.



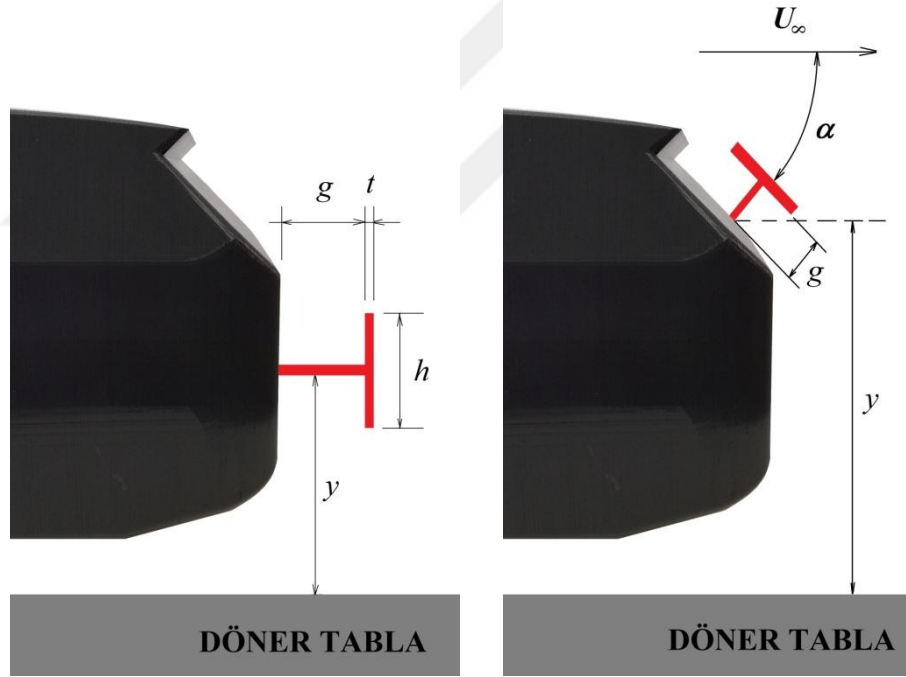
Resim 2.9. Test bölgesi dış alt yüzeyine monte edilen açı ayarlı direnç ölçüm sistemi bileşenleri.

2.5. Test Modeli ve Parametreler

Deneylerde test edilecek olan parametreler aşağıda sunulmuştur (Tablo 2.1). Bu parametrelerin görsel tarifleri ise Şekil 2.1’de verilmiştir. Burada, plakayı crossover taşıt modeline sabitleyecek olan saplamaların hepsi, dış çapı 10 mm ve et kalınlığı 1,2 mm olan silindirlerden meydana gelmektedir. Her bir saplama boyu için bir adet saplama, plakayı model taşıta sabitlemek için kullanılacaktır. Test edilecek olan plakalar ve çeşitli uzunluklardaki saplamalar Resim 2.10 içerisinde verilmiştir.

Tablo 2.1. Deneyde kullanılacak parametrelere ait değerler.

Parametre adı ve sembolü	Değeri/Değer aralığı
Crossover modeli	1 adet
Reynolds sayısı (Re)	176000 olarak 1 adet
Kontrol plakası uzunluğu (l)	60 mm olarak 1 adet
Kontrol plakası yüksekliği (h)	30, 50 ve 70 mm olarak 3 adet
Kontrol plakası kalınlığı (t)	2 mm olarak 1 adet
Yerleştirme açısı (α)	45° olarak 1 adet
Sapma açısı (γ)	-6°, -5°, -4°, -3°, -2°, -1°, 0°, 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6° olarak 13 adet
Saplama boyu (g)	10, 20, 30, 40 ve 50 mm olarak 5 adet
Saplamanın yerden yüksekliği (y)	72,9 mm ve 125,8 mm olarak 2 adet



Şekil 2.1. Crossover taşıtın arka kısmına yerleştirilmesi planlanan plakalara ait geometrik parametreler.

Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak bilinen Reynolds sayısı (Re) Denklem 2.1 ile hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L_C}{\mu} \quad (2.1)$$

Formülde yer alan U_{∞} (m/s) test bölgesi içerisindeki serbest-akım hızını, L_C (m) ise karakteristik uzunluğu temsil etmektedir ve burada 1:10 ölçekli model taşıtın uzunluğuna tekabül etmektedir (0,425 m). Formülde yer alan μ (kg/m/s) havanın dinamik viskozitesi, ρ (kg/m³) ise yoğunluğudur. Rakımı 940 m olan Tunceli'deki açık hava basıncına ve 24°C tünel içi sıcaklığa maruz kalan havanın viskozitesinin değeri 0,0000182 kg/m/s ve yoğunluğunun değeri 1,06 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Test bölgesinden ölçülen serbest akıma ait ortalama hız değeri bize direkt Re 'yi bulmamızı sağlayacaktır.

Crossover taşıt modellerine akış doğrultusunda hava tarafından etkiyen net kuvvetin boyutsuzlaştırılmış hali olan direnç katsayısı Denklem 2.2 ile hesaplanır.

$$c_D = \frac{F_D}{0,5 \cdot \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot A_F} \quad (2.2)$$

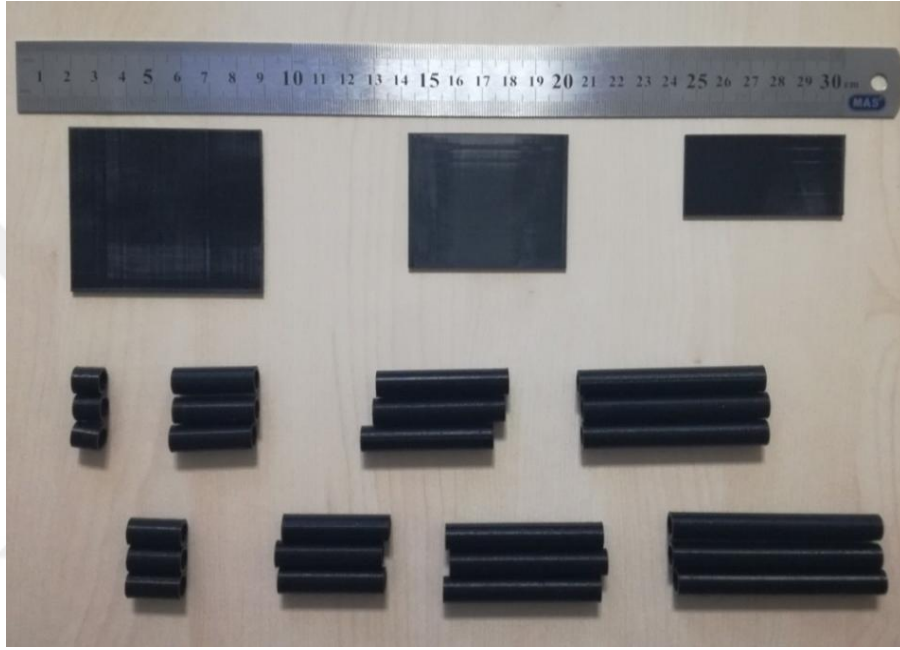
Formülde yer alan F_D (N) test bölgesi içerisindeki taşıt modeline etkiyen ortalama direnç kuvvetini, A_F (m) ise taşıtın sapma açısız durumdaki ön görünüş alanını temsil etmektedir ve aracı tabladan ayıran iki adet bacak da dahil olmak üzere, değeri 0,023924 m²'dir. Bir parametreye ait zaman-ortalamalı değer Denklem 2.3 ile hesaplanmıştır.

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.3)$$

Formülde yer alan $\langle \dots \rangle$ şeklindeki ayraç, içerisindeki sembolün zaman-ortalamalı olduğunu, N alınan toplam veri sayısını, i anlık veri numarasını ve n ise anlık veri bitiş numarasını göstermektedir. Direnç ölçüm sistemi ile saniyede 200 adet veri (her 0,005 s'de bir veri) alınmış ve 1 set verinin tamamlaması 20 s sürmüştür. Bu da, bir set için toplamda 4000 adet verinin alındığını ifade etmektedir. Farklı sapma açıları için elde edilen ortalama direnç katsayılarının da ortalaması kabaca bir rüzgar ortalamalı direnç katsayısını elde etmemize olanak sağlamaktadır. Bu katsayı ise Denklem 2.4 ile hesaplanmıştır.

$$\langle C_{D_Rüz} \rangle = \frac{1}{13} \sum_{\gamma=-6}^{+6} \langle C_D \rangle (\gamma) \quad (2.4)$$

Kendi tasarımıımız olan crossover taşıt modelinin genel görünümü Resim 2.11 içerisinde sunulmuştur. Taşıt, döner tablaya direkt olarak değil, tabla ile taşıt arası $23,8 \pm 0,2$ mm'lik bir yükseklik sağlayan 8 mm çaplı, tablaya düşey yerleştirilen dört adet silindirik bacakla birlikte sabitlenmiştir (Resim 2.12). Bu silindirlerin merkezleri, model taşıt ön ve arka yüzeylerinden 86 mm, yan yüzeylerden ise 40 mm içeride olacak şekilde modele yapıştırılmıştır.



Resim 2.10. Plakalar ve çeşitli uzunluklardaki saplamalar.



Resim 2.11. Üç-boyutlu yazıcı ile iki parça halinde basılmış 1:10 ölçekli crossover taşıt modeli.



Resim 2.12. Döner tablaya dört adet silindirik bacak ile sabitlenen crossover taşıt modeli.

Döner tabla, döner tabla destek parçası ile sapma açısı ayar aparatına bağlantılı hale getirilmiştir. Döner tablanın tabanı, test bölgesi iç alt yüzeyine paraleldir. Döner tabla gibi test bölgesi iç alt yüzeyine paralel olan diğer bir parça da sabit tabladır. Sabit tabla, veteri ve yüksekliği 100 mm olan dört adet NACA 0010 uçak kanat profili ile tünel iç alt yüzeyine sabitlenmiştir. Sabit tabla ile döner tabla üst yüzeyleri aynı seviyededir, birbirlerine temas etmemektedirler ve aralarında 2 mm'lik bir boşluk bulunmaktadır. Sapma açısı, açı ayar aparatı ile bu boşluk sayesinde rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Döner tablanın çapı 400 mm'dir ve tabla, model araca ait dört adet bacağı içerisinde ihtiva edecek büyüklüktedir.

2.6. Belirsizlik Analizi

Ölçüm cihazı ile ilgili kısıtlamalar, ölçüm esnasında değişmeyen bazı hatalar, cihazı kullanan kişi tarafından yapılabilecek yanlışlıklar, deney ortamındaki ufak çaplı değişimler gibi birtakım parametrelerin çeşitli kombinasyonları, teorik olarak kusursuz bir ölçümün alınmasına muhakkak engel olurlar. Bundan dolayı, hiçbir cihaz, bir fiziksel büyüklüğe (basınç, sıcaklık, hız, vb.) ait büyüklüğün (5 Pa, 20 °C, 3 m/s, vb.) gerçek değerini bizlere veremez. Bunu belirlemek için belirsizlik analizinden faydalanılır. Belirsizlik analizi ölçümümüzün kalitesi hakkında da bize bir şeyler anlatır. Bir ölçümün belirsizliği, o ölçümün sonucunda elde edilen değerdeki miktarlandırılmış şüphe payıdır. Örneğin, 1 mm bölüntüye sahip bir çelik cetvel ile yapılan her ölçüme ait belirsizlik en az $\pm 0,5$ mm'dir.

Belirsizliği belirlenmek istenilen fiziksel büyüklük bir bağımlı değişken ise (mesela z) önce bu fonksiyonu meydana getiren her bir bağımsız değişkene (mesela a ve b) ait belirsizlikler belirlenir. Sonrasında ise Denklem 2.5 kullanılarak bağımlı değişkene ait belirsizlik değeri hesaplanır.

$$u_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \cdot (u_a)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 \cdot (u_b)^2} \quad (2.5)$$

Bu denklem kullanılarak bu deneysel çalışmada yer alan parametrelerden Reynolds sayısı (Re), direnç katsayısı (c_D), boyutsuzlaştırılmış saplama boyu (g/l) için oluşturulan belirsizlik ifadeleri, sırasıyla, aşağıdaki gibi olur.

$$u_{Re} = \sqrt{\left(\frac{\partial Re}{\partial \rho}\right)^2 \cdot (u_\rho)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial U_\infty}\right)^2 \cdot (u_{U_\infty})^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial L_c}\right)^2 \cdot (u_{L_c})^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \mu}\right)^2 \cdot (u_\mu)^2} \quad (2.6)$$

$$u_{c_D} = \sqrt{\left(\frac{\partial c_D}{\partial F_D}\right)^2 \cdot (u_{F_D})^2 + \left(\frac{\partial c_D}{\partial \rho}\right)^2 \cdot (u_\rho)^2 + \left(\frac{\partial c_D}{\partial U_\infty}\right)^2 \cdot (u_{U_\infty})^2 + \left(\frac{\partial c_D}{\partial A_F}\right)^2 \cdot (u_{A_F})^2} \quad (2.7)$$

$$u_{g/l} = \sqrt{\left(\frac{\partial g'}{\partial g}\right)^2 \cdot (u_g)^2 + \left(\frac{\partial g'}{\partial l}\right)^2 \cdot (u_l)^2} \quad (2.8)$$

Kuvvet ve hız ölçüm deneyleri tünel içi sıcaklığının 24 ± 1 °C ve yerel atmosfer basıncının $90,6 \pm 1$ kPa olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında elde edilen yoğunluk ve dinamik viskozite, onlara ait belirsizlik değeriyle birlikte, sırasıyla, $1,06 \pm 1,5$ ve $1,84 \times 10^{-5} \pm 0,3$ kg/m-s'dir. Kızgın-tel anemometresinin hız ölçümüne ait belirsizlik değeri $7,1 \pm 0,4$ m/s'dir. Tek parça olarak basılan tüm cisimlerin boyutlarına (mesela g , h , t ve l gibi) belirsizlik değeri $\pm 0,2$ mm'dir. Boşluk mesafelerine ait (mesela y gibi) belirsizlik değeri $\pm 0,5$ mm'dir. Çok parça olarak basılan tüm cisimlerin boyutlarına (mesela L_c gibi) belirsizlik değeri ± 1 mm'dir. Sapma açısındaki belirsizlik $\pm 1^\circ$ 'dir. Yük

hücresinin kuvvet ölçümüne ait belirsizlik değeri ölçülen değerin $\pm\%3$ 'ü kadardır. Crossover model taşıtın ön görünüş alanına ait belirsizlik değeri $\pm\%0,2$ kadardır. Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak Re , c_D ve g/l için yüzdelik belirsizlikler, sırasıyla, $\pm\%5,2$, $\pm\%10$ ve $\pm\%0,8$ olarak hesaplanmıştır.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Direnç Ölçümleri

Resimlerde, sırasıyla, plakaların arka alt ve arka üst yüzeylere konumlandırılmış durumları gösterilmiştir.

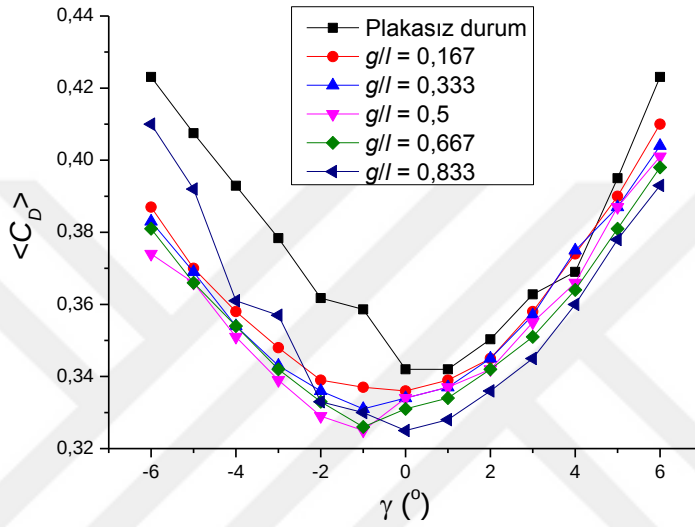


Resim 3.1. Arka alt kısma konumlandırılmış $h=30$ mm'lik plaka.

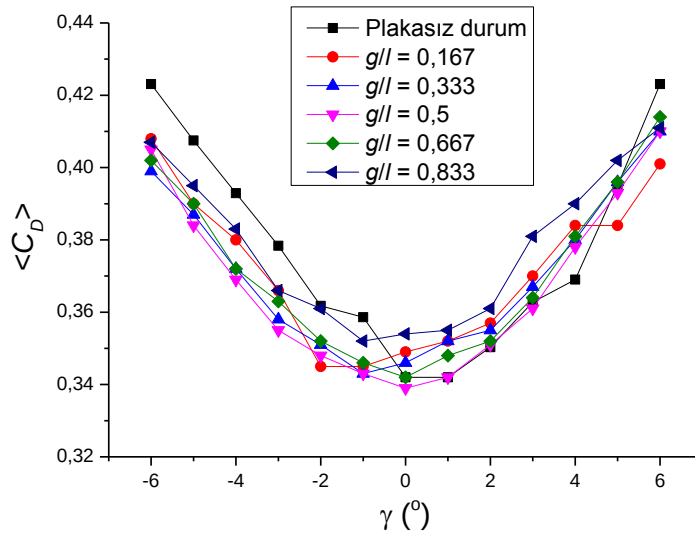


Resim 3.2. Arka üst kısma konumlandırılmış $h=30$ mm'lik plaka.

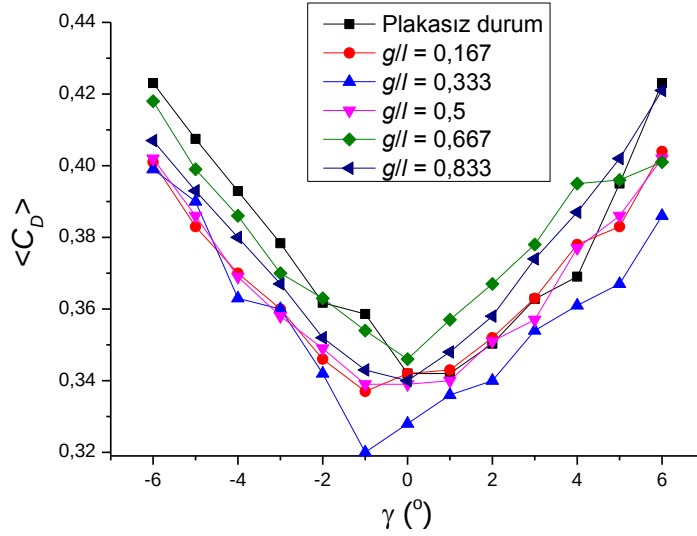
Model taşıta etkiyen direnç, içerisinde model taşıtın bulunduğu tüm sisteme etkiyen dirençten içerisinde model taşıtın bulunmadığı sisteme etkiyen direncin çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Rüzgar tüneli test bölgesi içerisinde gerçekleştirilen ilk deneyler farklı sapma açıları için plakasız ve arka alt ile arka üst yüzeye yerleştirilen genişlikleri sabit ($l=60$ mm) fakat yükseklikleri birbirinden farklı üç adet plakalı ($h=30$ mm, 50 mm ve 70 mm) model taşıta etkiyen direnç katsayılarını, farklı boyutsuz saplama boyları için ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1. Arka alt kısma konumlandırılmış $h=30$ mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.

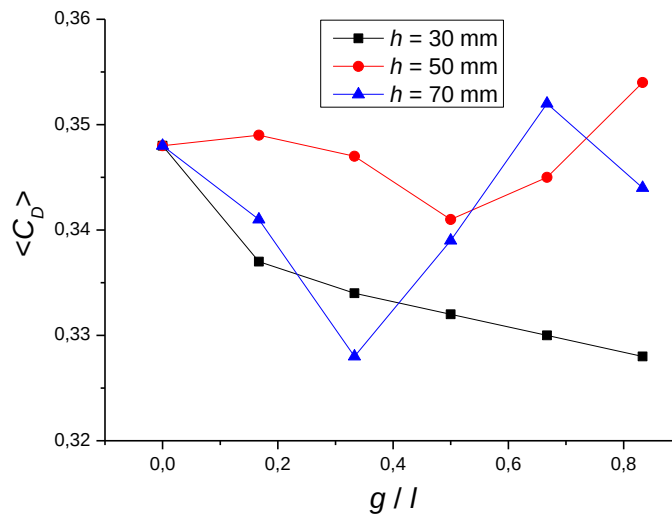


Şekil 3.2. Arka alt kısma konumlandırılmış $h=50$ mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.



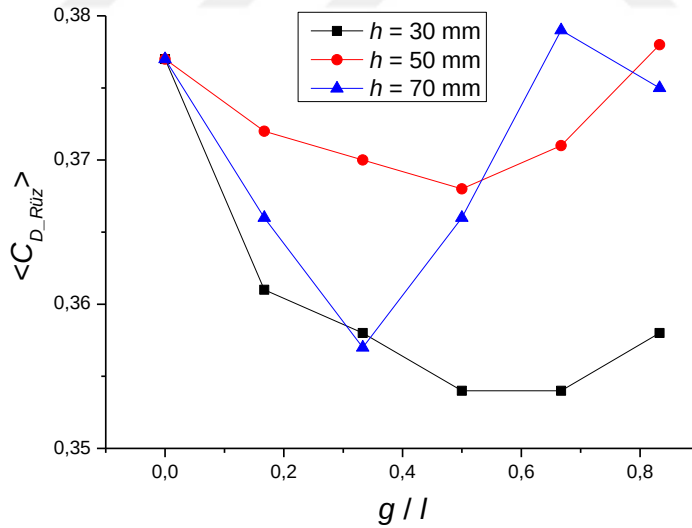
Şekil 3.3. Arka alt kısma konumlandırılmış $h=70$ mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.

Şekillerden ilk göze çarpan durum, model taşıtın saat yönünde (+ yön) çevrilmesi sonucu elde edilen direnç katsayısı değerlerinin, saatin tersi yönde (- yön) çevrilmesi sonucu elde edilen ile asimetriklik göstermesidir. Bu durum genellikle literatürde bu şekildedir. Bu sebeple bu durum deneylerle ilgili herhangi bir hatadan kaynaklı değildir. Bir diğer durum, plaka yüksekliği ne olursa olsun, model taşıt direnç katsayısında kayda değer derecede bir düşüş oluşturamadığı gerçeğidir. Böyle olmasına karşın, plakasız durumla karşılaştırıldığında, sıfırdan farklı sapma açıları iyi sonuçlar sergilediği açıktır.



Şekil 3.4. Sapmasız durum için farklı plakaların farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ile taşıt arka alt kısımlarına konumlandırıldıkları durumlarda model taşıta etkiyen direnç katsayılarının değişimi.

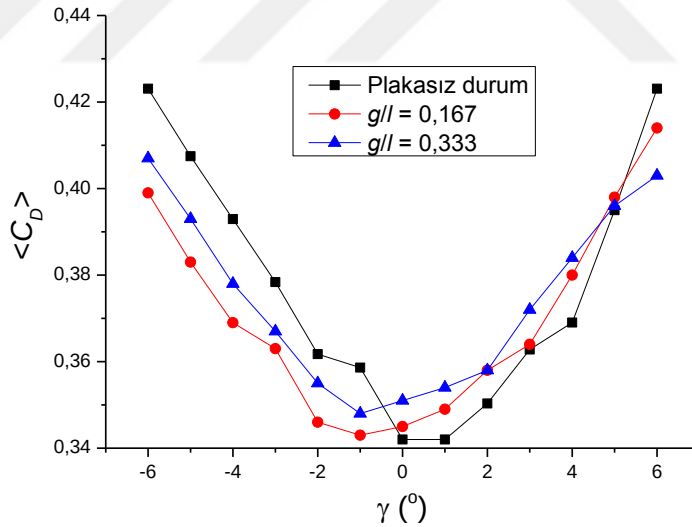
Şimdi, sapmasız durumda plakaların direnç düşürebilme kabiliyetlerini gösteren Şekil 3.4'e bakalım. Şekil, daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek adına $\gamma = -1^\circ$, 0° ve $+1^\circ$ durumlarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Plakasız durum, şekil içerisinde $g/l=0$ olarak gösterilmiştir. Şekilden, diğerlerine kıyasla, en kötü direnç düşürme performansına $h=50$ mm'lik plakanın sahip olduğu direkt görülmektedir. Diğer yandan $h=30$ mm'lik plakaya bakıldığında, model taşıta etkiyen direnci düşürebilme performansı, boyutsuz saplama boyu arttıkça, artmıştır. Bu plaka, boyutsuz saplama boyunun $g/l=0,833$ olduğu durumda, direnç katsayısında %5,7'lik bir düşüş sağlamıştır. Diğer yandan, aynı düşüşü, $h=70$ mm'lik plaka daha düşük bir boyutsuz saplama boyunda sağlamıştır ($g/l=0,333$). Genel olarak, bununla alakalı gerçek bir sistem tasarlanırken taşıt ile plaka arası mesafenin olabildiğince az olması istenilen bir durumdur çünkü daha basit bir mekanizma gerektirir. Boyutsuz saplama boyunun $g/l=0,333$ 'ten daha büyük olduğu durumlarda, $h=70$ mm'lik plaka için, direnç bir daha bu kadarlık bir seviyeye düşürülememiştir. Bunun altında yatan temel sebebin, her ne kadar elde nitel veya nicel bir kanıt bulunmasa da, model taşıt üst ve alt yüzeylerinden ayrılan akışın biraz yüksek olan plakanın ön yüzeyine tutunması sonucu oluşan fazladan direnç olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.5. Farklı plakaların farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ile taşıt arka alt kısımlarına konumlandırıldıkları durumlarda model taşıta etkiyen yaklaşık rüzgar ortalama direnç katsayılarının değişimi.

Windsor (2014), yapmış olduğu bir deneysel çalışmada, taşıtlara etkiyen direnç katsayısını doğru bir şekilde yakalayabilmemiz için gerçek dünyanın çevresel şartlarını göz

önünde bulundurmamız gerektiğine değinmiştir. Bu çevresel şartlar içerisinde yer alan temel parametreyi sapma açısı olarak göstermiştir. Gerçek dünyada havanın durağan olmadığını ve taşıtla, genellikle onunla aynı yönde etkimeğini belirtmiştir. Bu sebeple, sapma açısını hesaba katan farklı yöntemleri kullanarak çeşitli taşıtlara etkiyen rüzgar ortalama direnç katsayılarını belirlemiştir. Bu tez kapsamında, bu yöntemlerden bir tanesini kullanarak model taşıta etkiyen rüzgar ortalama direnç katsayısı belirlenmek istense de, mevcut cihaz ve ekipmanlarla bunun mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple Tüm sapma açılarında elde edilen direnç katsayılarının ortalamasını alarak elde edilen katsayı ile rüzgar ortalama direnç katsayısına bir yaklaşım sergilenmiştir (Şekil 3.5). Dikkatlice bakıldığında, kullanılan tüm plakaların bir şekilde direnci düşürebilme kabiliyetlerinin olduğu görülebilmektedir. Şekilden, en fazla düşüşün $h=30$ mm'lik plaka ile boyutsuz saplama boyunun $g/l=0,5$ ve $0,667$ olduğu durumlarda elde edildiği ve değerinin %6,1 olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan $h=70$ mm'lik plaka ile boyutsuz saplama boyunun $g/l=0,333$ olduğu durumda rüzgar ortalama direnç katsayısında %5,3'lik bir düşüş sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Arka üst kısma konumlandırılmış $h=30$ mm'lik plakanın farklı boyutsuz saplama boyları (g/l) ve sapma açıları (γ) durumlarında model taşıta etkiyen direnç katsayılarına etkisi.

Arka alt kısmın dışında arka üst kısımda da birtakım deneyler gerçekleştirilmiştir fakat bu deneyler sadece $h=30$ mm'lik plaka kullanılarak ve sadece $g/l=0,167$ ve $0,333$ boyutsuz saplama boylarında gerçekleştirilmiştir. Bunun temel sebebi, plaka yüksekliği ve boyutsuz saplama boyunun artması durumlarında, plakaların haddinden fazla olacak

şekilde uzamaları sonrasında ön görünüş alanlarını artırmalarıdır. Şekil 3.6 içerisinde, arka üst kısma eklenen plakaların çok da direnç düşürme etkinliklerinin bulunmadığı görülmektedir. Bu plakaların, rüzgar ortalama direnç katsayılarında, $g/l=0,167$ durumunda %1,9'luk ve $g/l=0,333$ durumunda %0,8'lik bir düşüş sağladığı belirlenmiştir. Arka üst kısımda, artan g/l 'nin rüzgar ortalama direnç katsayısı üzerinde negatif bir etkisi olduğu görülmüştür.



4. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında crossover tip taşıtlar üzerine etkiyen direnci düşürmek adına, tasarımı danışmanıma ait olan 1:10 ölçekli bir model arka yüzeyine farklı yüksekliklere sahip plakalar, farklı mesafelere yerleştirilerek farklı sapma açılarında test edilmiştir. Deneysel çalışma esnasında direnç ölçüm sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ve testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma, henüz kullanımda olmayan fakat ilerisi için kullanım alanı bulabilecek bir potansiyele sahip olan bir sistemin direnç düşürebilme performansını temsil etmektedir. Ülkemizde, halihazırda, crossover veya SUV tip taşıt üreten firmalar bulunmamasından dolayı bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlardan yurtdışı firmaların faydalanacağı düşünülmektedir.

Model arka alt kısmına yerleştirilen plakaların, genel olarak, model taşıta etkiyen direnç katsayısını düşürmede etkili olduğu fakat düşüşün yeterli mertebelerde olmadığı belirlenmiştir. Rüzgar ortalama direnç katsayısı açısından değerlendirildiklerinde $h=30$ ve 70 mm'lik plakaların %5'in üzerinde düşüşe olanak sağladıkları gösterilmiştir. Bunun dışında, taşıt arka alt kısmına plaka yerleştirmek, genellikle sıfırdan farklı sapma açılarında da etkinlik sağlamıştır.

Diğer yandan model arka üst kısmına yerleştirilen plakaların direnç düşürebilme performanslarının, arka alt kısımdakiler kadar olmadığı belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışması içerisinde sadece üç adet, ince, dikdörtgen plakalar test edilmiştir. Farklı geometrik şekillerin direnç üzerindeki etkisi hala araştırılmamıştır. Bunun dışında, düzlemsel bir plaka yerine, model taşıtın arka kısmındaki bir parçanın (arka tampon gibi) da dışarı doğru uzatılması sonucu dirençteki değişimler yine araştırılmayı bekleyen bir diğer konudur.

Bu çalışmada aerodinamik kuvvetlerden sadece direnç ölçülebilmiştir. Bu durum eldeki imkanların kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan bu plakaların, model taşıta etkiyen kaldırma kuvveti üzerindeki etkileri de henüz araştırılmamıştır. Bilindiği üzere, kaldırma kuvvetinde meydana gelebilecek artışlar, taşıtların, yüksek hızlarda yola tutunma kabiliyetlerinde kayıplara sebebiyet verebilmektedir. Diğer yandan, model taşıt etrafındaki akış yapıları ve bu yapıların direnç ve diğer parametreler üzerindeki etkilerini inceleyebilmek adına akış görselleştirme deneylerinden faydalanılabilir. Akış görselleştirme, özellikle işin fiziğini açıklamak için kullanılan elzem bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, S.R., Ramm, R., Faltin, G.,** 1984. Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake. *SAE Technical Paper Series*, 840300:1-31.
- Aider, J.-L., Beaudoin, J.-F., Wesfreid, J.E.,** 2010. Drag and lift reduction of a 3D bluff-body using active vortex generators. *Experiments in Fluids*, 48:771-789.
- Aubrun, S., McNally, J., Alvi, F., Kourta, A.,** 2011. Separation flow control on a generic ground vehicle using steady microjet arrays. *Experiments in Fluids*, 51:1177-1187.
- Beaudoin, J.-F., Aider, J.-L.,** 2008. Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps. *Experiments in Fluids*, 44:491-501.
- Brunn, A., Nitsche, W.,** 2006. Active control of turbulent separated flows over slanted surfaces. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 27:748-755.
- Gad-El-Hak, M.,** 2000. Flow Control: Passive, Active and Reactive Flow Management. Cambridge University Press, New York, 441s.
- Gillieron, P., Kourta, A.,** 2010. Aerodynamic drag reduction by vertical splitter plates. *Experiments in Fluids*, 48:1-16.
- Huminic, A., Huminic, G.,** 2012. Numerical flow simulation for a generic vehicle body on Wheels with Variable Underbody diffuser. *SAE Technical Paper*, 2012-01-0172:1-9.
- Kabanovs, A., Varney, M., Garmory, A., Passmore, M., Gaylard, A.,** 2016. Experimental and computational study of vehicle surface contamination on a generic bluff body. *SAE Technical Paper*, 2016-01-1604:1-14.
- Kang, S.O., Jun, S.O., Park, H.I., Song, K.S., Kee, J.D., Kim, K.H., Lee, D.H.,** 2012. Actively translating a rear diffuser device for the aerodynamic drag reduction of a passenger car. *International Journal of Automotive Technology*, 13:583-592.
- Kim, D., Lee, H., Yi, W., Choi, H.,** 2016. A bio-inspired device for drag reduction on a three-dimensional model vehicle. *Bioinspiration & Biomimetics*, 11:1-13.
- Littlewood, R.P., Passmore, M.A.,** 2010. The optimization of roof trailing edge geometry of a simple square-back. *SAE Technical Paper*, 2010-01-0510:1-10.
- Littlewood, R.P., Passmore, M.A.,** 2012. Aerodynamic drag reduction of a simplified squareback using steady blowing. *Experiments in Fluids*, 53:519-529.

- Rouméas, M., Gilliéron, P., Kourta, A.,** 2009. Drag reduction by flow separation control on a car after body. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 60:1222-1240.
- Sirenko, V., Pavlovsky, R., Rohatgi, U.S.,** 2013. Methods of reducing vehicle aerodynamic drag. *ASME 2012 Summer Heat Transfer Conference*, Puerto Rico, USA, July 8-12, 97-102.
- Sterken, L., Sebben, S., Lofdahl, L., Walker, T., Wölken, T.,** 2015. Wake and unsteady surface-pressure measurements on an SUV with rear-end extensions. *SAE Technical Paper*, 2015-01-1545:1-12.
- URL-1,** 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=3E77FG46TWUBMW>, Porsche Panamera (2017) Retractable Rear Spoilers, 11 Kasım 2018.
- URL-2,** 2018. <http://www.vivaperformance.com/r-design-rear-diffuser-s60-v60/>, R-Design Rear Diffuser, S60/V60, 11 Kasım 2018.
- Windsor, S.,** 2014. Real World Drag Coefficient – Is it wind averaged drag? 20th *International transport and Air Pollution Conference*, Graz, Austria, September 18-19.

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Lizge EVCİN 1991 yılında Tunceli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tunceli’de tamamladı. Tunceli Anadolu Öğretmen Lisesi’ni 2009 yılında bitirdi. Mersin Üniversitesi’nden 2016 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında 2017 yılında yüksek lisans eğitime başladı. Şu an kendi işini sürdürmekte ve aynı zamanda da Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansına devam etmektedir.

