

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

OTOBÜS DİRENCİNİ DÜŞÜRMEK İÇİN BİR YÖNTEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Seval YİĞİT

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOBÜS DİRENCİNİ DÜŞÜRMEK İÇİN BİR YÖNTEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Seval YİĞİT
(171107102)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ– 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOBÜS DİRENCİNİ DÜŞÜRMEK İÇİN BİR YÖNTEM

Seval YİĞİT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi
Erhan FIRAT
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:

Doç. Dr.
Selahattin ÇELİK
(Niğde Ömer Halisdemir
Üniversitesi)

ÜYE

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi
Melih YÜCESAN
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

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

Doç. Dr. Olcay KAPLAN İNCE
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

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

Proje No: YLMUB018-21

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

Enerji tasarrufu, günümüzde insanoğlunun başlıca zorlu görevlerinden birisi olmuştur. Enerji tüketenler içerisinde, ulaşım, özellikle de kara ulaşımı, önemli bir kısmı temsil etmektedir. Akış kontrolü, direnci düşürerek yakıt tüketimini azaltmak için en iyi yoldur. Mevcut tezde, ince, otobüse göre akışa ters yönde yerleştirilen ince düz plakanın uygulanmaya başlamasıyla, yaklaşık olarak 1:25 ölçekli otobüs modellerinin direncini azaltan bir yöntem incelenmiştir. Araştırma, Munzur Üniversitesi'nin kapalı çevrim rüzgar tüneli içerisinde gerçekleştirilmiştir. Plaka uzunluğunun belirli bir aralığı (l), otobüs ile plaka arasındaki boşluğun belirli bir aralığı (g) ve Reynolds sayısının belirli bir aralığının temel aerodinamik etkileri, sapmanın olmadığı durum için değerlendirilmiştir. Otobüs modellerini ve plakaları inşa etmek için birleştirmeli yığma modelleme (BYM) teknolojisinden faydalanan bir üç-boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Plakalar ve otobüs modelleri arasındaki akışın detayları, duman-tel akış görselleştirme tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Tünel, tek-eksenli bir kuvvet ölçüm sistemi ile donatılmış ve bu sistem direncin doğrudan ölçümü için kullanılmıştır. Bu tezin temel amacı, tam ölçekli bir otobüs üzerine etkileyen direnç kuvvetini azaltabilmek için bu tarz dışa yerleştirilebilen parçaları kullanmanın uygulanabilirliğini kontrol etmektir.

Otobüs modellerinin direnç katsayılarında maksimum düşüş elde edebilmek için, boyutsuz plaka uzunluğu $l^*=0,7$ olan düz plakanın otobüsün $g^*=0,1$ olacak şekilde ön tarafına yerleştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Model-1 için, $Re=200000$ 'de, bu metot sadece Model-1'e etkileyen direncin %84,1'i kadarlık bir sistem direnci üretmiştir. Model-2 için, $Re=200000$ 'de, bu metot sadece Model-2'ye etkileyen direncin %98,9'u kadarlık bir sistem direnci üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otobüs Direnç Düşürme, Akış Kontrolü, Kontrol Plakaları, Akış Görselleştirme.

ABSTRACT

A method for the reduction of bus drag

Saving energy has become one of the main challenges of human beings today. Among energy consumers, transportation represents a significant part, especially ground transportation. Flow control is the best way to reduce the fuel consumption by reducing drag. In the present thesis, a method of reducing the drag of an approximately 1:25 scale bus models by the introduction of thin upstream-placed flat plate was investigated. The investigation was carried out in the Munzur University's closed circuit wind tunnel. The basic aerodynamic effects of a range of plate lengths (l), a range of gaps between plate and bus (g), and a range of Reynolds numbers (Re) were assessed for 0° yaw. A three-dimensional printer that utilizes the fused deposition modeling (FDM) technology was used to construct the bus models and plates. Details of the flow between the bus models and plates were obtained using the smoke-wire flow visualization. The tunnel was equipped with an external one-component force balance and this was used for direct measurement of drag. The main purpose of this thesis is to check the feasibility of using such external devices for reducing drag on the full scale buses.

It was found that to reach a maximum reduction of the drag coefficients of the bus models, flat plate with a dimensionless plate length of $l^*=0.7$ must be placed $g^*=0.1$ upstream of the buses. For Model-1, this method produces a system drag that is 84.1% that of the Model-1 alone, at $Re=200000$. However, for Model-2, this method produces a system drag that is 98.9% that of the Model-2 alone, at $Re=200000$.

Keywords: Bus Drag Reduction, Flow Control, Control Plates, Flow Visualization.

TEŞEKKÜRLER

Tez sürecimde karşılaştığım sorunları çözebilmek ve tezimi sağlıklı bir şekilde tamamlayabilmek adına hiçbir yardımı benden esirgemeyen Değerli Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT’a çok teşekkür ederim. Girişimde bulunduğum diğer alanlarda olduğu gibi lisansüstü öğrenimim boyunca da desteklerini üzerimden hiç eksik etmeyen çok değerli aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seval YİĞİT
TUNCELİ – 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜRLER.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLOLAR LİSTESİ.....	VI
RESİMLER LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VIII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Kapsamı.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. MATERYAL VE METOT.....	8
2.1. Kapalı Çevrim Rüzgar Tüneli.....	8
2.2. Kızgın-Tel Anemometresi.....	9
2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı.....	10
2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi.....	13
2.5. Akış Görselleştirme Sistemi.....	14
2.6. Test Modeli ve Parametreler.....	19
2.7. Belirsizlik Analizi.....	25
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
3.1. Plakasız Durumda Direnç Verileri.....	27
3.2. Plakalı Durumda Direnç Verileri.....	28
3.3. Akış Görselleştirme.....	32
4. SONUÇLAR.....	36
5. ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	40

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Modellere ait şematik (Prasad ve Williamson, 1997).....	4
Şekil 1.2. Farklı tip otobüs modelleri (Bhave ve Taherian, 2014).....	5
Şekil 1.3. Model otobüs arkasına yerleştirilen silindirlerin görünüşleri (Shao ve ark., 2017).....	6
Şekil 1.4. Model otobüs arka alt kısmına yerleştirilen üç adet kanatçığın görünüşleri (Sucipto ve Widodo, 2017).....	6
Şekil 1.5. Model otobüs arka kısmına yerleştirilen pasif ve aktif akış kontrol elemanlarının görünüşleri (Schmidt ve ark., 2015).....	7
Şekil 2.1. Fan frekansı (f_{fan}) ile Reynolds sayısı (Re) arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.2. Otobüs ön kısmına yerleştirilmesi planlanan plakalara ait geometrik parametreler.....	20
Şekil 2.3. Ölçeği yaklaşık 1:25 olan model otobüslerin ana boyutları.....	21
Şekil 2.4. Ön kısmı düz olan otobüs modeli (Model-1).....	23
Şekil 2.5. Ön kısmının üst tarafında pah kırılmış (45°) olan otobüs modeli (Model-2).....	23
Şekil 2.6. Otobüs modellerinin ön (tek) ve arka (çift) tekerleklerinin ön ve izometrik görünüşleri.....	24
Şekil 3.1. Farklı modellere etkileyen zaman-ortalama direnç katsayılarının Re ile değişimleri.....	27
Şekil 3.2. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,1$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	28
Şekil 3.3. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,3$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	28
Şekil 3.4. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,5$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	29
Şekil 3.5. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,7$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	29
Şekil 3.6. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,1$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	30
Şekil 3.7. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,3$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	30
Şekil 3.8. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,5$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	31
Şekil 3.9. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,7$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri.....	31

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Deneyde kullanılacak olan parametreler.....	20
--	----



RESİMLER LİSTESİ

Sayfa No

Resim 1.1. Modellere ait akış görselleştirme fotoğrafı (Lee ve ark., 2004).....	3
Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tüneli test bölgesinden bir görüntü.....	8
Resim 2.2. El tipi kızgın-tel anemometresi.....	10
Resim 2.3. Üç-boyutlu yazıcı ve filament.....	11
Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcıda bir bütün halinde basılan tekerlekler.....	12
Resim 2.5. Üç-boyutlu yazıcıda beş bileşenli şekilde basılan otobüslerin ilk iki bileşeni.....	12
Resim 2.6. Üç-boyutlu yazıcıda basılan bir parçanın destek elemanlı (solda) ve destek elemanı çıkarılmış durumları. Destek elemanı çıkarılan kısma arka tekerlek takılmıştır.....	13
Resim 2.7. Nihai otobüs modelinin bir görüntüsü (Model-1).....	13
Resim 2.8. Veri toplama kartı ve yük hücresi.....	14
Resim 2.9. Uçak modeli etrafındaki akışı görselleştirmek için kullanılan lazer tabakalı akış görselleştirme tekniği (URL-1, 2011).....	15
Resim 2.10. Sis makinesi.....	15
Resim 2.11. Sis likidi.....	16
Resim 2.12. Düzlemsel hizalama lazeri.....	16
Resim 2.13. Video kamera.....	17
Resim 2.14. Yüzey-yağ akış görselleştirmesine ait bir fotoğraf (URL-2, 2012).....	17
Resim 2.15. Yüzey-yağ akış görselleştirme tekniğinde kullanılan kimyasallar..	18
Resim 2.16. Duman-tel yöntemi ile bir kanat profili etrafındaki akışın görselleştirilmesi (URL-3, 2007).....	18
Resim 2.17. Ayarlanabilir güç kaynağı.....	19
Resim 2.18. Likit parafin.....	19
Resim 2.19. Çeşitli uzunluklardaki plakalar ve model otobüse sabitlenmeleri..	24
Resim 3.1. Plakasız durumda Model-2'nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri.....	32
Resim 3.2. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda Model-2'nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri.....	33
Resim 3.3. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda plaka ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri.....	34
Resim 3.4. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda, plaka alt kısmından geçerek tabla ile model arası boşluğa yönelen çıkış çizgisi.....	34
Resim 3.5. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,4$) durumda Model-2'nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri.....	34
Resim 3.6. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,4$) durumda, model plaka arası gözlemlenen çıkış çizgileri.....	35

SEMBOLLER LİSTESİ

BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BYM	: Birleştirmeli Yığma Modelleme
CO₂	: Karbon Dioksit
EC	: European Commission
FDM	: Fused Deposition Modeling
LDA	: Lazer Doppler Anemometresi
NO_x	: Azot Oksitler
PGH	: Parçacık Görüntülemeli Hızölçer
PLA+	: İyileştirilmiş Polilaktik Asit
A_F	: Model otobüs ön görünüş alanı
C_D	: Yalnızca otobüsün direnç katsayısı
C_L	: Kaldırma katsayısı
F_D	: Yalnızca otobüse etkiyen direnç kuvveti
F_{Ddest}	: Tünel içi sisteme otobüs yokken etkiyen toplam direnç
F_{ger}	: Otobüsün tablaya yerleştirilmesiyle oluşan ön gerilme
F_{top}	: Tünel içi sisteme etkiyen toplam direnç
f_{fan}	: Fan devir frekansı
g	: Otobüs ile plaka arası mesafe
g*	: Otobüs ile plaka arası boyutsuz mesafe
H	: Model otobüs yüksekliği
h	: Kontrol plakası yüksekliği
i	: Anlık direnç veri numarası
L	: Model otobüs uzunluğu
L_C	: Karakteristik uzunluk
l	: Kontrol plakası uzunluğu
l*	: Boyutsuz kontrol plakası uzunluğu
N	: Alınan toplam direnç verisi sayısı
n	: Anlık direnç veri bitiş numarası
Re	: Reynolds sayısı
t	: Kontrol plakası kalınlığı
U_∞	: Serbest-akım hızı

- u** : Belirsizlik
W : Model otobüs genişliği
y : Plakanın yerden yüksekliği
 μ : Havanın viskozitesi
 ρ : Havanın yoğunluğu



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Kapsamı

Burada değinilecek olan esas konu akış kontrolüdür. 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 tekniklerinden uygun olan en az birini kullanmak gerekmektedir. 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 sınıflandırmada teknikler, kabaca, aktif ve pasif 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. Aktif akış kontrol tekniklerin en cazip iki yönü, genellikle gerektiği zaman aktif hale geçirilebilmeleri ve sadece aktif halde iken enerji tüketimi gerektirmeleridir. Pasif yöntemlerin en cazip iki yönü ise karmaşık bileşen içermemeleri ve herhangi bir şekilde enerji tüketimi gerektirmemeleridir.

Bu tez kapsamında test edilmek üzere tasarlanan ve otobüs modellerinin ön kısmına monte edilecek olan ince düz dikdörtgen plakalar da otobüs modelleri üzerindeki akışı kontrol etmek için enerji tüketmediğinden pasif kontrol tekniği içerisinde yer almaktadır. Bu projenin konusu, genel hali ile bakıldığında, akışkanlar mekaniği içerisinde yer alan akış kontrolü alt konusu içerisinde yer almaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Tezin esas amacı, tam ölçekli bir otobüs üzerine etkiyen direnç kuvvetini azaltabilmek için ince düz dikdörtgen plakalar gibi dışa yerleştirilebilen pasif akış kontrol parçalarını taşıt ön kısmında kullanmanın model otobüsler üzerinde istenilen derecede direnci düşürüp düşüremediğini ortaya çıkarmaktır. Şayet böyle bir durum varsa, ileride değerlendirmeye hazır bir potansiyel olduğunu ortaya çıkarmak tezin kalitesi açısından

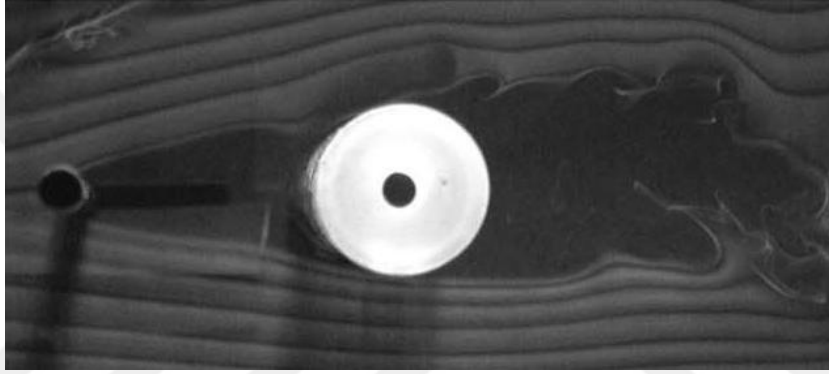
büyük öneme sahiptir. Tezin sağlıklı bir şekilde tamamlanması sonucu danışmanım tarafından kazanacağıma dair öngörülen tecrübeler ise aşağıda verilmiştir.

- Mühendislik uygulamalarında, aerodinamik direnci azaltmak adına modellerin ön kısımları için ne tarz tekniklerin kullanıldığının kavranması.
- Deneylerde kullanılacak olan kuvvet sisteminin doğru ölçümler yapıp yapamadığını tespit edebilme kabiliyetinin kazanılması.
- Lazer tabakalı akış görselleştirme tekniğinden faydalanarak, akış alanının farklı kesitlerindeki akış yapılarını yorumlama ve akış görselleştirme çıktılarını direnç çıktıları ile ilişkilendirme kabiliyetlerinin kazanılması.
- Parametrik çalışma kabiliyetinin kazanılması.
- Bir deneysel çalışma çıktılarını, akademik bir dille yazıya dökebilme kabiliyetinin kazanılması.

1.3. Literatür Taraması

Aerodinamikte, cisimler, şekillerine göre, akım çizgili ve küt olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Şayet akış, bir cismin yüzeyini yalayarak geçiyorsa bu cisim akım çizgili sınıfına dahil edilir. Mesela, düşük hücum açılı uçak kanadı tipleri bunlara örnektir. Şayet akış, cisim yüzeyinde ayrılmalar yapıyor ve cisim art izinde büyük ölçekli çevrilere dökülüyorsa, bu cisim de küt sınıfına dahil edilir. Arabalar, insan bedeni, uçaklar, trenler, otobüsler, binalar, fabrikalar, silindirler, prizmalar ve benzeri şekle sahip yapılar buna örnektir. Küt cisimler, akım çizgili olanlara nazaran daha büyük direnç katsayılarına sahiptirler ve bu onlar için, çoğu zaman, bir problem olmaktadır. Mesela, bu cisimler, bir akış içerisinde hareket etmek için, akım çizgililere nazaran, çok daha fazla enerji tüketirler. Bu sebeple, bu enerji tüketimini olabildiğince azaltma işi, ulaşım endüstrisinin başlıca uğraş alanlarından birisi haline gelmiştir. Büyük ölçekli sistemlerin bire bir analizleri çok büyük masraflar gerektirir. Hem küçük ölçekli hem de basitleştirilmiş yüzeye sahip modeller kullanmak, en azından aerodinamik verimlilik açısından test edilen parça (veya teknik) hakkında ön bilgi elde edilmesi bakımından araştırmacıya avantaj sağlamaktadır. Bundan dolayı dairesel silindirler ya da kare prizmalar, araştırmacıların gerçekleştireceği ön deneyler için ana cismi temsil eden oldukça elverişli, basit ve çabuk erişilebilir türden cisimlerdir.

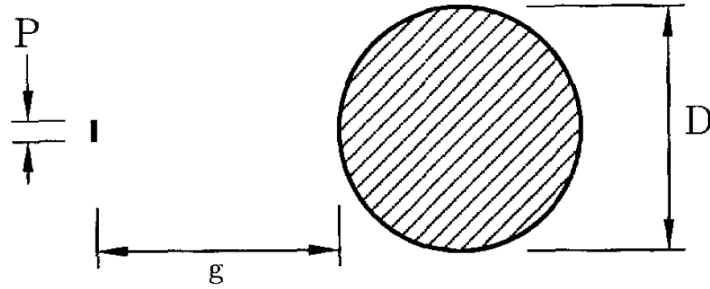
Bir pasif akış kontrol tekniği olarak, ana cismin ön kısmına yerleştirilen ve boyut olarak ana cisimden daha küçük boyutlara sahip parçaların, sisteme etkiyen direnci düşürme bakımından iyi bir performans sergiledikleri görülmüştür. Mesela, Lee ve ark. (2004), ana cisim ön kısmına yerleştirilen ve boyut olarak ana cisimden daha küçük olan akış kontrol elemanını aerodinamik açıdan test etmişlerdir. Onlar, ana cisim olarak dairesel silindir ve kontrol elemanı olarak daha küçük çaplı (çap oranı 0,233) bir silindir kullanmışlardır ve iki cisim merkezleri arasındaki mesafeyi ana silindir çapının 1,833 katı yaptıklarında, toplam sisteme etkiyen direnç katsayısının tek silindirinkinden yaklaşık %25 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.



Resim 1.1. Modellerde ait akış görselleştirme fotoğrafı (Lee ve ark., 2004).

Benzeri bir durumu, Fırat ve ark. (2015) hücum açısının etkisini de işin içine katarak incelemişlerdir. Bu çalışmada ise ana cisim kare prizma, ana cisim ön kısmına boşluklu olarak yerleştirilen cisim ise çapı ana cisim kenar uzunluğunun dörtte biri olan dairesel silindirdir. Sayısal olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, cisim merkezleri arasındaki mesafe ana cisim kenar uzunluğunun üç katı olduğunda ve hücum açısız durumda, toplam sisteme etkiyen direnç kuvvetinin tek kare prizmaya etkiyeninkinden %26 daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Hücum açısının, sistem direnç katsayısı üzerinde, genellikle, negatif etki oluşturduğunu da vurgulamışlardır. Igarashi ve Terachi (2002) ise geniş yüzeyine rüzgar çarpan kalın bir dikdörtgen levhanın ve onun ön kısmına yerleştirdikleri dairesel silindirin meydana getirdiği sistemi, aerodinamik açıdan test etmişlerdir. Deneylerinde, çapları 2 ile 20 mm arasında değişen çubuklar kullanmışlardır. Sonuç olarak, testleri gerçekleştirdikleri Reynolds sayısı aralığı için, silindir çapının levhanın uzun kenar uzunluğuna oranının 0,4 ve levha ile silindir merkezleri arası mesafenin levhanın uzun kenar uzunluğuna oranının 2,0 olduğu durumda elde edilen

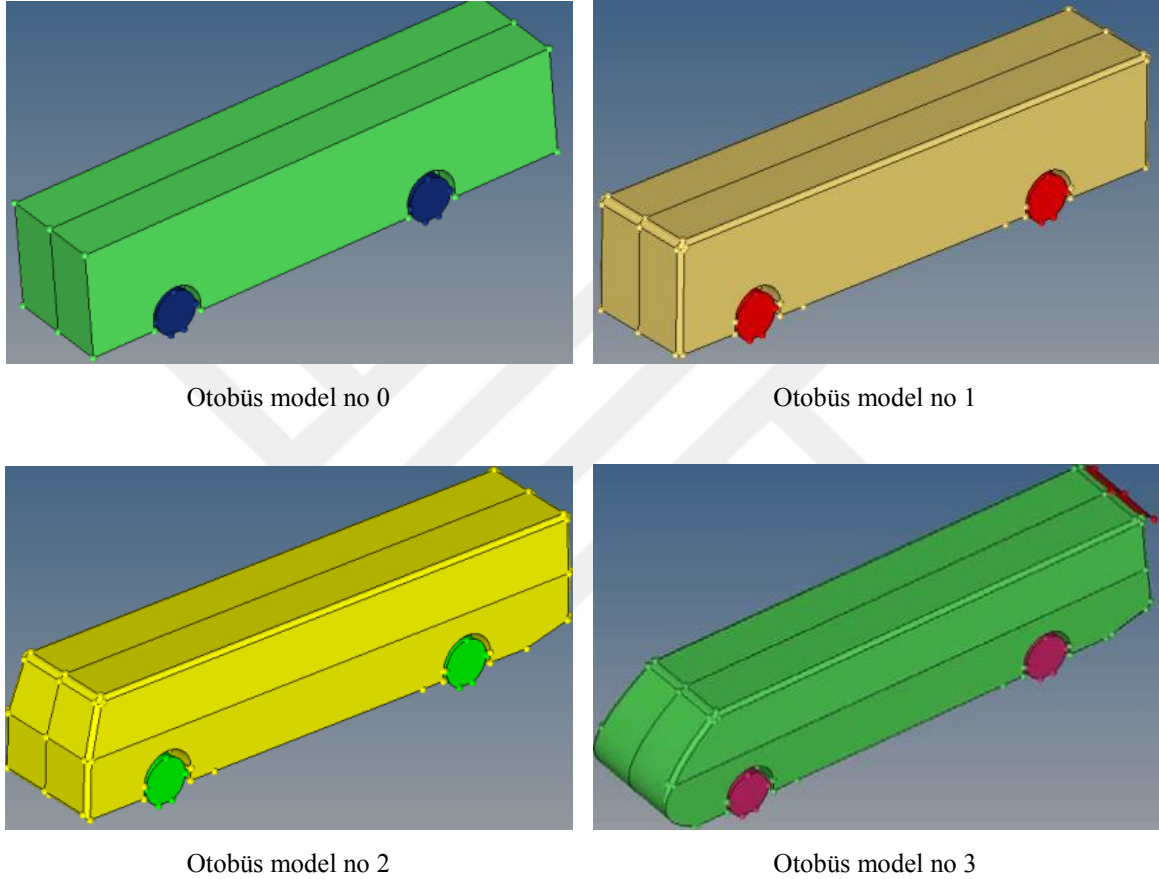
toplam direnç katsayısının, tek levhaya etkiyen direnç katsayısından %20-30 mertebelerinde daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Prasad ve Williamson (1997) ise, küt cisim ön kısmına boşluklu olarak yerleştirilen farklı yüksekliklere sahip ince ve düz plakaların aerodinamik direnci düşürme bakımından elverişliliğini test etmek için ana model olarak bir silindirden faydalanmışlardır. Yaptıkları çalışma, silindir çapının üçte biri yüksekliğe sahip bir plakayı 1,5 çap mesafe boşlukla silindirin ön kısmına yerleştirme sonucu elde edilen, hem silindir hem de plakayı içeren sistemin direnç katsayısının, tek silindirinkinin yalnızca %38'i kadar olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, bu tez için ilham kaynağı olmuştur çünkü direnç katsayısındaki düşme oranı çok yüksektir ve pratikteki sistemler üzerinde ne tarz bir etki yaratacağını düşünmek bile heyecan vericidir. Malekzadeh ve Sohankar (2012) ise yine kontrol parçası olarak bir plakadan faydalanarak ve kare prizma ile plakanın oluşturduğu sistemi akış ve ısı transferi açısından sayısal olarak incelemişlerdir. Düşük Reynolds sayılarında gerçekleştirdikleri sayısal çalışmaları sonucunda, plaka yüksekliğinin kare prizma kenar uzunluğunun yarısı ve cisimler arası yatay mesafenin kare prizma kenar uzunluğunun üç katı olduğu durumda plaka-kare prizma sistemine etkiyen direncin tek kareninkinden %37 daha az olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 1.1. Modelleri ait şematik (Prasad ve Williamson, 1997).

Buraya kadar verilen literatür özeti, bir küt cismin ön kısmına (ana cisim), boyut olarak ondan daha küçük olan başka bir cisim (kontrol cismi) yerleştirilmesi durumunda, küt cisme etkiyen direnç katsayısında azalmalar sağlanacağını açıkça belirtmektedir. Benzeri birçok çalışma bulunmaktadır (Igarashi, 1997; Zhang ve ark., 2005; Alam ve ark., 2006). Diğer yandan, otobüs modelleri üzerinde direnci düşürmek maksatlı denenilen bir takım tekniklerin verildiği çalışmalar, sayıları az olsa da, mevcuttur. Mesela, Bhave ve Taherian (2014) ön kısım tasarımları birbirlerinden farklı dört farklı otobüs üzerine etkiyen

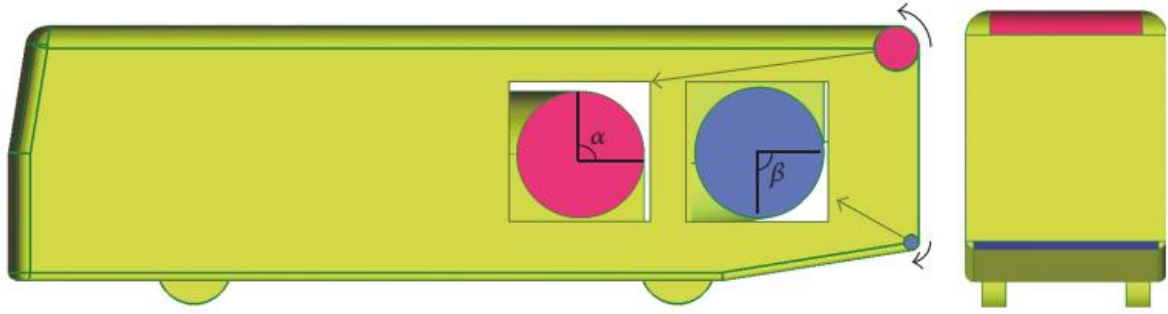
direnci sayısal çalışma ile ortaya koymuşlardır (Şekil 1.2). Bu çalışma sonucunda ön yüzeydeki keskin kenarların yuvarlatılmasının ve düz yüzey yerine eğrisel yüzey tasarımlarının otobüs direncini düşürmeye katkı sağladığını göstermişlerdir. Üç farklı hızda (60, 80 ve 100 km/sa) sayısal benzetimi yapılan otobüs modelleri içerisinde en iyi performansı eğrisel yüzeye sahip modelin gösterdiğini bildirmişlerdir.



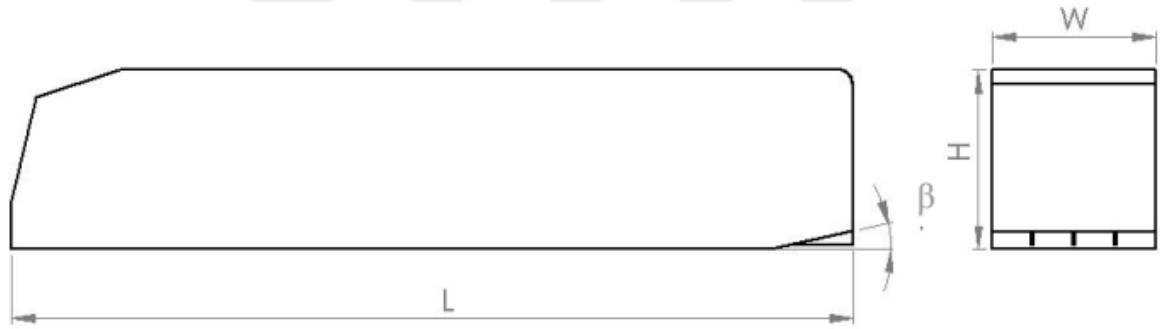
Şekil 1.2. Farklı tip otobüs modelleri (Bhave ve Taherian, 2014).

Shao ve ark. (2017), otobüse etkiyen direnci düşürmek için onun arka kısmına yerleştirilen, farklı çaplara ve farklı dönme yönlerine sahip silindirleri kullanmayı önermişlerdir (Şekil 1.3). Sayısal çalışmalarını 126 km/sa'lık hızda gerçekleştirmişler ve direnç katsayısının %25 civarında düşürülebildiğini belirtmişlerdir. Bu düşük direnç kuvvetine, alt silindirin 293 rad/s, üst silindirin ise 1241 rad/s'lik dönüşü ile erişilebildiğini belirtmişler ve yapmış oldukları hesaba göre bu dönüşü oluşturabilmek için fazladan 1,6 kW'lık güce ihtiyaç olduğunu hesaplarında göstermişlerdir. Çalışmalarında, aktif akış kontrol verimliliği ile ilgili herhangi bir bilgidenden bahsetmemişlerdir. Bu sebeple direnci düşürerek otobüs üzerinden eksiltilecek güç, silindirleri döndürmek için gerekli güçten fazla

mı yoksa eksik mi olduğu kısmı hakkında bir bilgi edinilememiştir. Sucipto ve Widodo (2017) ise gerçekleştirmiş oldukları sayısal benzetim çalışmasında otobüs arka kısmına yerleştirilen kanatçık sayısının otobüs aerodinamiği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Şekil 1.4). Çalışmaları sonucunda, kanatçık sayısına bakılmaksızın, kanatçık kullanmanın otobüs direnç katsayısında %0,5 civarında bir düşüş sağladığını belirtmişlerdir.

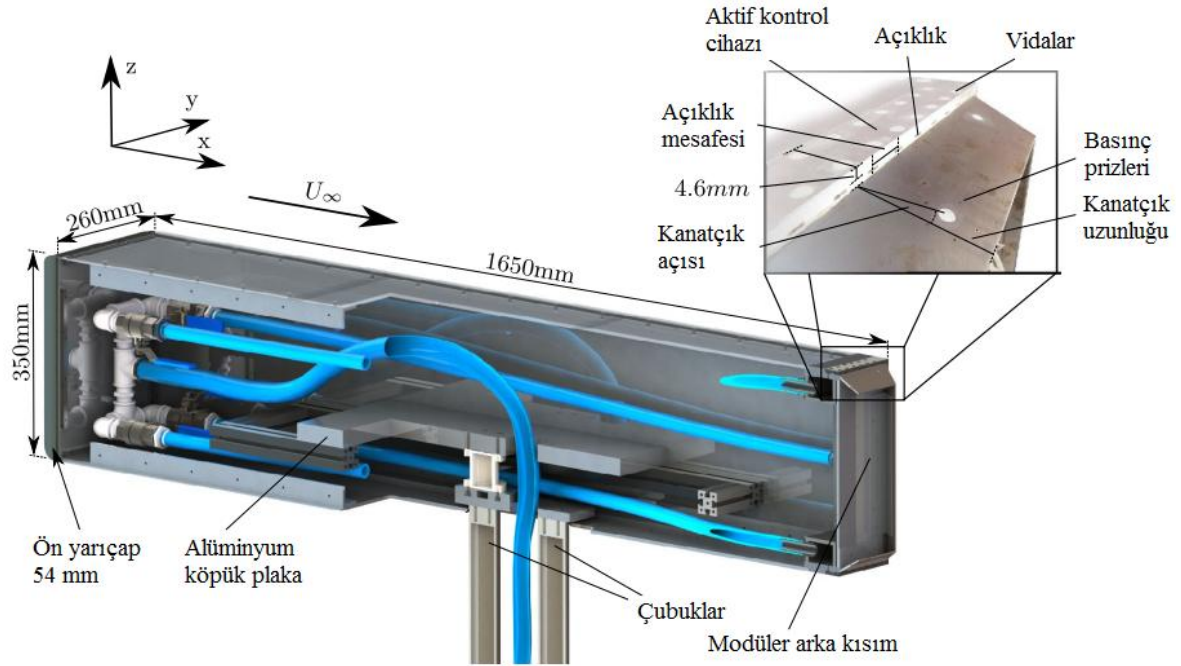


Şekil 1.3. Model otobüs arkasına yerleştirilen silindirlerin görünümü (Shao ve ark., 2017).



Şekil 1.4. Model otobüs arka alt kısmına yerleştirilen üç adet kanatçığın görünümü (Sucipto ve Widodo, 2017).

Schmidt ve ark. (2015), bir dikdörtgenler prizması şeklindeki küt cismin arka kısmına hem kanatçık yerleştirerek hem de yine arka kısma açılan açıklıklardan salınan jet oluşturarak, ona etkiyen direnç kuvvetini düşürmeye çalışmışlardır (Şekil 1.5). Hem pasif hem de aktif akış kontrol bileşenlerini kullandıkları çalışmalarında kanatçık uzunluğunun, kanatçık yerleştirme açısının, jet momentum katsayısının ve farklı açıklık mesafelerinin direnç üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kanatçık açısının 20° ve jet hızının serbest-akım hızına oranının 4,5 olduğu durumda, aktif akış kontrol cihazına harcanan enerji de işin içerisine katıldığında, %7'lik bir iyileştirme sağlanabildiği belirtilmiştir.



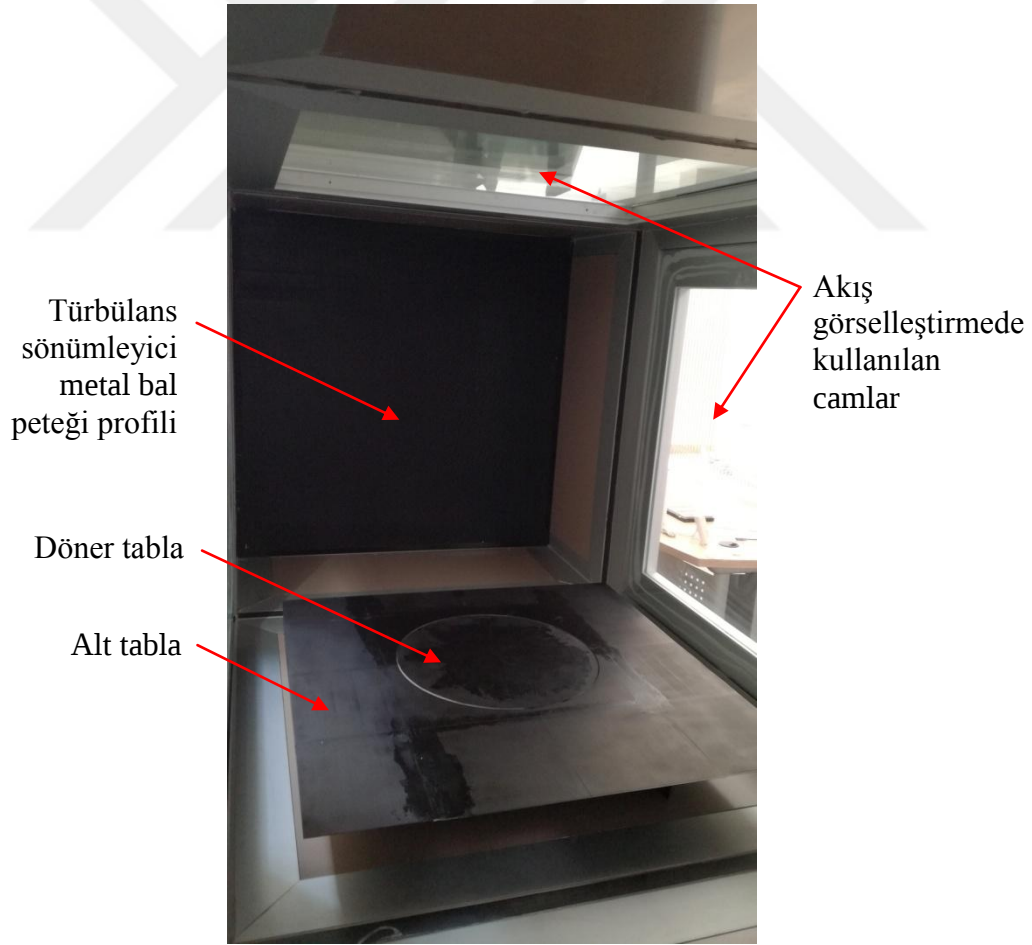
Şekil 1.5. Model otobüs arka kısmına yerleştirilen pasif ve aktif akış kontrol elemanlarının görünüşleri (Schmidt ve ark., 2015).

Bu tezde ise ana cisim olarak, ayrıntıları ile birlikte gerçek bir şehirlerarası otobüs şekline yakın ve dikdörtgen prizmasını andıran, yaklaşık 1:25 ölçekli ön yüzeyleri farklılık gösteren otobüs modelleri kullanılacaktır. Kontrol cismi olarak, bu modellerin ön kısmına boşluklu olarak yerleştirilerek test edilecek olan, ince düz dikdörtgen plakalar kullanılacaktır. Bu şekilde, plakaların, farklı tip otobüs modellerine etkiyen direnç katsayısını düşürebilme kabiliyeti ortaya konulacaktır. Bu tezin gerçekleşmesine zemin hazırlayan esas güdü, sera gazları salınımından kaynaklanan küresel ısınma problemini azaltma çabasıdır. Bu problem, günümüz dünyasındaki en sıcak politik münazara konusudur. Karbondioksitin (CO_2), azot oksitlerin (NO_x) ve partikül maddenin, taşıtların egzozundan havaya salınarak çevreyi kirleten ve küresel ısınmaya sebep olan gazlar olduğu aşikardır. Avrupa Komisyonunun ulaşım ile ilgili stratejiler üzerine belirlediği yol haritasını sunduğu resmi raporda yer alan hedeflerden biri de şudur: İklim değişikliğini 2°C 'de kısıtlayabilme hedefi ile sera gazı emisyonlarını ciddi oranda düşürmeye ihtiyaç vardır. Her şey hesaba katılarak, 2050'li yıllara kadar bu amaca erişebilmek için Avrupa Birliği, emisyonları 1990 seviyelerinin %80-90 altına düşürmelidir (EC, 2011).

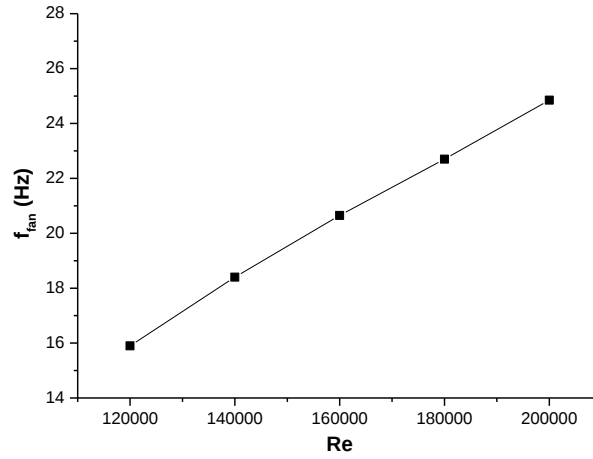
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kapalı Çevrim Rüzgar Tüneli

Bu tünelin test bölgesi Resim 2.1 içerisinde verilmiştir. Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yer alan bu tünelin test bölgesinin enine kesit alanı $1000\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ 'dir. Tünel içerisindeki hava akışı 15 kW gücündeki bir eksenel fan sistemi ile sağlanmaktadır. Bu sistemde yer alan elektrik motorunun devir sayısı bir değişken frekans sürücüsü tarafından ayarlanabilmektedir (Mitsubishi Electric Co., FR-F740-00380-EC). Böylelikle, test bölgesi içerisinde istenilen serbest-akım hızlarına erişilebilmektedir.



Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tüneli test bölgesinden bir görüntü



Şekil 2.1. Fan frekansı (f_{fan}) ile Reynolds sayısı (Re) arasındaki ilişki

Elektrik motoruna ve dolayısıyla onunla eş zamanlı dönen fana ait devir sayısı (f_{fan}) ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki Şekil 2.1 içerisinde verilmiştir. İki parametrenin neredeyse doğru orantılı değişim sergilediği açıktır. Test edilen en düşük Re’de ($Re=120000$) serbest-akım hız değeri 4,09 m/s değerini alırken, en yüksek Re’de ($Re=200000$) bu hız değeri 6,82 m/s olmaktadır.

Tünel içerisindeki akışın türbülans şiddetini düşürmek için, tünelin belirli kısımlarına metalden imal edilmiş, yeterince uzun, bal peteği desenli akış düzenleyici elemanlar yerleştirilmiştir. Dönemeçlerin olduğu kısımlarda da yine aynı amaçla kullanılan yönlendirici eğrisel plakalar yer almaktadır. Rüzgar tüneli içerisinde erişilebilen güvenli azami hız 8 m/s’dir ve bu hız değerine kadar serbest-akım yönündeki türbülans şiddetinin değeri %1’den düşüktür.

2.2. Kızgın-Tel Anemometresi

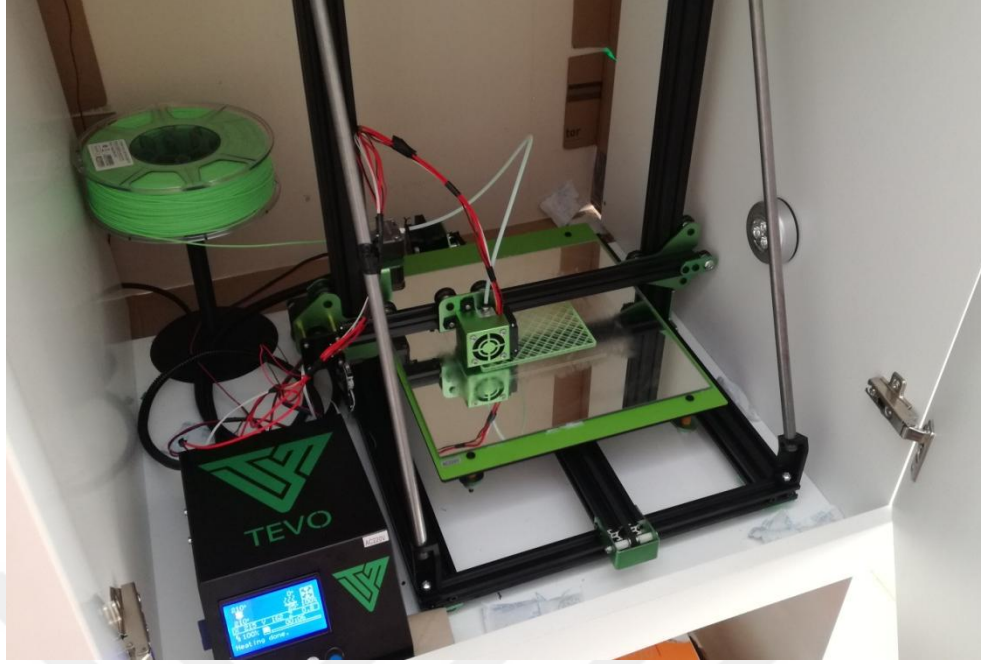
Bu el tipi hızölçer, herhangi bir hava akışı içerisindeki yerel hızı zamanın bir fonksiyonu olarak ölçebilmektedir (PCE Instruments, PCE-423). Bu cihaz 0,1 m/s ile 25 m/s aralığındaki akış hızlarını ölçebilmektedir. Deneylerde, test bölgesi içerisindeki serbest-akım hızını (U_{∞}) belirlemek için kullanılacaktır (Resim 2.2). Cihaz aynı zamanda sıcaklık ölçümü de yapabildiğinden test bölgesindeki akışın sıcaklığında değişimler varsa, bunları tespit etmede de kullanılacaktır.



Resim 2.2. El tipi kızgın-tel anemometresi

2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı

Üç-boyutlu yazıcılar, tasarlanmış herhangi bir parçayı yeterince düşük boyutsal belirsizlikler içerisinde imal etmek için çokça kullanılan cihazlardır. Günümüzde, çok çeşitli mekanik özelliklere sahip baskı malzemeleri (filament) mevcuttur. Bu yazıcılarla baskı alabilmek için genel olarak şu üç adım izlenir. İlk olarak, basılması planlanan parça bir bilgisayar destekli tasarım (BDT) programı kullanılarak çizilir. İkinci olarak, çizilen bu parça bir dilimleme programına atılır ve gerekli parametreler girilerek yazıcının bu parçayı basması için gerekli, .gcode uzantılı komut dosyası oluşturulur. Bu komut dosyası, üç-boyutlu yazıcıya, onun itici kafasının (hotend) nerelere hareket etmesi gerektiğini ve bu hareketi esnasında ne kadarlık bir baskı malzemesini ne kadarlık bir sıcaklıkta uçtan (nozzle) dışarı çıkarması gerektiğini gösterir. Son olarak, bu komut dosyası üç-boyutlu yazıcıya aktarılır ve baskı işlemi başlatılır. Bu tez çalışması kapsamında, yukarıda belirtilen basamaklar sırasıyla uygulanarak parçalar basılmıştır.



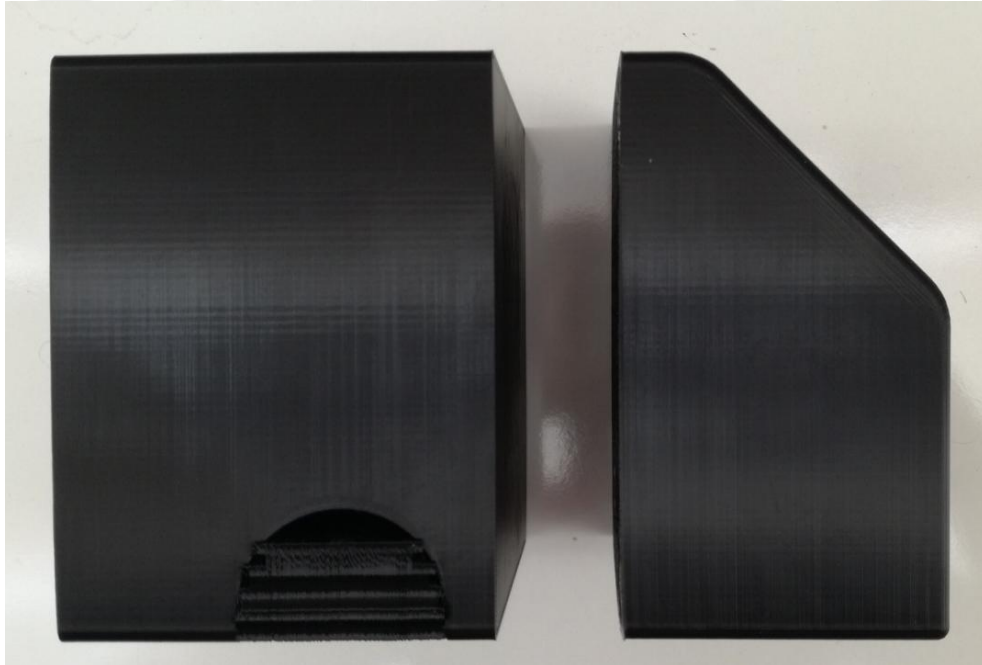
Resim 2.3. Üç-boyutlu yazıcı ve filament

Danışmanıma ait olan bu yazıcının baskı alanı 300 mm × 300 mm, baskı yüksekliği ise 400 mm'dir (Resim 2.3). Basılması planlanan bazı parçalar tek bileşenli yani bir bütün halinde, bazı parçalar ise çok bileşenli şekilde basılmıştır ve sonrasında da yapıştırılmıştır (Resim 2.4 ve 2.5). Yapıştırma öncesinde, özellikle otobüse ait davlumbaz kısmında kullanılan destek parçaları ana modelden çıkartılmıştır (Resim 2.6). Parçalar hizalı şekilde yapıştırıldıktan hemen sonra parçalar arasında basım esnasında meydana gelen hafif şekil değişiklikleri kaynaklı boşluklar, polyester macun çekilerek doldurulmuştur. Polyester macun kuruduktan sonra macun sürülen birleşme kısımları, sırasıyla, 120'lik, 400'lük ve 600'lük zımparalar kullanılarak pürüzsüz hale getirilmiştir. Otobüs ön kısımlarından bir tanesine ait testler bitirildikten sonra, o ön kısım yapıştırma yerlerinden kırılarak diğer ön kısım onun yerine yapıştırılmış ve yine polyester macun çekilerek zımparalama işlemine tabi tutulmuştur (Resim 2.7).

Bu yazıcı eriyik yığıma modelleme (fused deposition modeling, FDM) teknolojisini kullanarak baskı yapmaktadır (TEVO 3D Electronic Technology Co.,Ltd., Tornado). Basılan tüm parçalarda, filament olarak, 1,75 mm anma çapına sahip iyileştirilmiş polilaktik asit türü olan PLA+ kullanılmıştır (Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd., PLA+).



Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcıda bir bütün halinde basılan tekerlekler



Resim 2.5. Üç-boyutlu yazıcıda beş bileşenli şekilde basılan otobüslerin ilk iki bileşeni



Resim 2.6. Üç-boyutlu yazıcıda basılan bir parçanın destek elemanlı (solda) ve destek elemanı çıkarılmış durumları. Destek elemanı çıkarılan kısma arka tekerlek takılmıştır



Resim 2.7. Nihai otobüs modelinin bir görüntüsü (Model-1)

2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Plakaların, otobüs modellerine etkiyen direnci düşürebilme kabiliyetlerini test etmek için kişisel olarak tasarlanan bir direnç ölçüm sisteminden faydalanılmıştır. Bu sistem, bir adet ± 5 N ölçüm kapasitesine sahip, lama tipi, mini boy bir yük hücresinden (ME-Meßsysteme GmbH, KD60), bir adet veri toplama kartı ve yazılımından (Marmatek

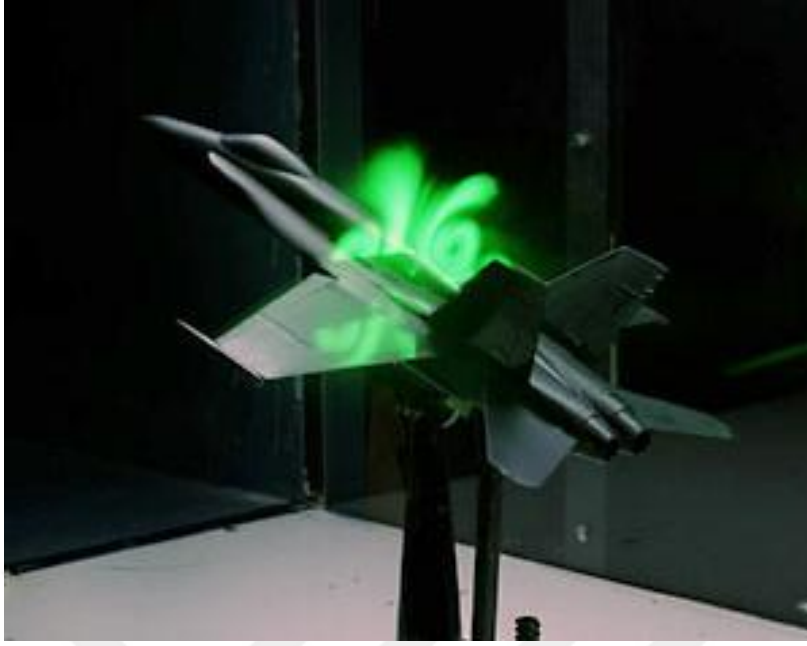
Mesurement Technologies, VTA-1704), tek-eksenli kuvvet ölçümü için tasarlanıp üç-boyutlu yazıcıda basılan mekanizmadan, açılı ayar aparatından ve üç-boyutlu yazıcıda basılan modelin yerleştirildiği döner tabladan meydana gelmektedir (Resim 2.8).



Resim 2.8. Veri toplama kartı ve yük hücresi

2.5. Akış Görselleştirme Sistemi

Aerodinamikçiler ya da hidrodinamikçiler, genellikle, herhangi bir akışa ait desenlerin bu akış üzerindeki etkilerini nitel olarak kavrayabilmek adına çeşitli akış görselleştirme tekniklerinden faydalanırlar. Burada da, çeşitli otobüs modellerinin ön kısmında yer alan plakalar ile otobüs arasındaki akışın yapısı ve bu yapının otobüse etkileyen direnç üzerinde nasıl bir etki yarattığı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak lazer tabakalı akış görselleştirme tekniğinden faydalanılmıştır (Resim 2.9). Bu tekniği oluşturan sistem elemanları sis makinesi (Üretici belirsiz, F-90), sis makinesi likidi (ADJ Products, LLC, Fog Juice-3), düzlemsel hizalama lazeri (DeWALT Industrial Tool Co., DW088CG) ve video kameradan (Sony Co., HDR-CX405) meydana gelmektedir (Resim 2.10, 2.11, 2.12 ve 2.13). Sis makinesine doldurulan likit, bu makineden duman olarak çıkmakta ve bu duman da rüzgar tüneli içerisine metal bir Pitot-tüpü sayesinde aktarılmaktadır. İstenilen düzlem 2,5 mm kalınlığındaki yeşil lazer tabakası ile aydınlatılmakta ve lazer düzlemi içerisinden geçen dumanın oluşturduğu akış desenleri ortaya çıkarılmaktadır. Bu lazer düzlemine dik olarak yerleştirilen video kamera da yüksek çözünürlüklü video kaydı yapmaktadır.



Resim 2.9. Uçak modeli etrafındaki akışı görselleştirmek için kullanılan lazer tabakalı akış görselleştirme tekniği (URL-1, 2011).



Resim 2.10. Sis makinesi



Resim 2.11. Sis likidi

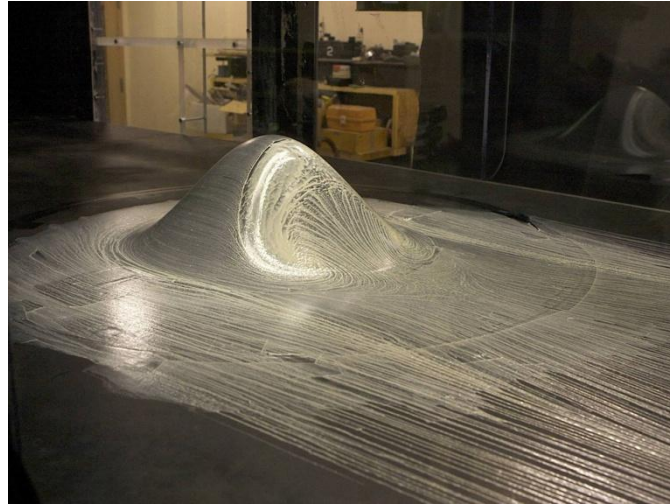


Resim 2.12. Düzlemsel hizalama lazeri



Resim 2.13. Video kamera

Tez çalışmasında kullanılan ikinci teknik yüzey-yağ akış görselleştirme tekniğidir (Resim 2.14). Bu teknik kullanılmadan önce otobüs yüzeyi ile yüzey boyar madde arasında zıt renkler oluşturmak adına, otobüs bir spreyci boya ile siyaha boyanmıştır. Boyar madde olarak titanyum dioksit (ZAG Kimya, TiO_2), yağ olarak gazyağı ve karışım topaklanmasını önlemek adına da birkaç damla oleik asitten (ZAG Kimya, Oleik asit) faydalanılarak karışım hazırlanmıştır (Resim 2.15). Karışımı meydana getiren boyar madde ile yağ için, sırasıyla, üç farklı oran belirlenmiş (%20-%80, %30-%70 ve %40-%60) ve bu oranlar için elde edilen karışım, sırayla, otobüs modeli ön kısmına sürülmüştür. Hava akışının bu karışım ile etkileşimi sonucu karışımın modeli tebeşir gibi çizmesi ile oluşması beklenen yüzey akım çizgileri ile yerel akış hakkında detaylar elde edilebilecektir.

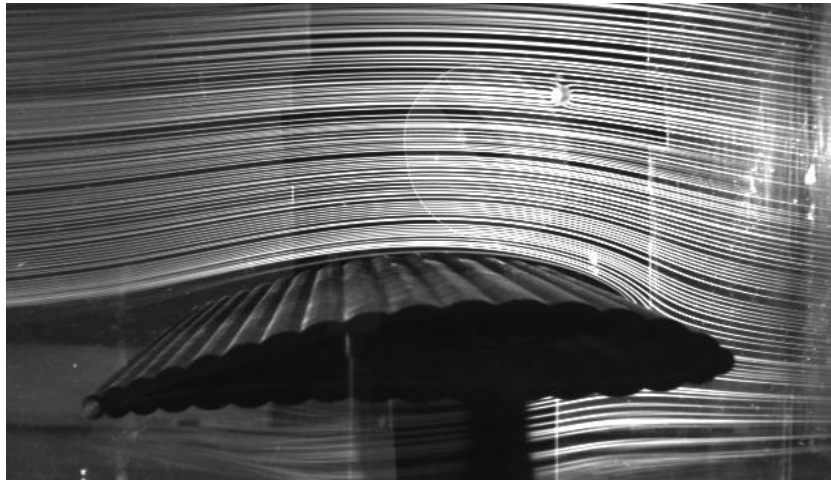


Resim 2.14. Yüzey-yağ akış görselleştirmesine ait bir fotoğraf (URL-2, 2012).

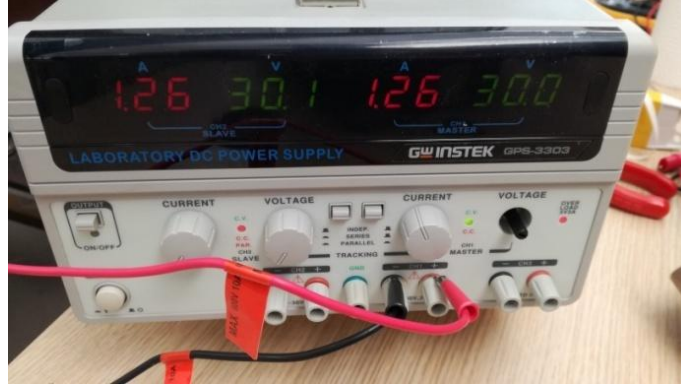


Resim 2.15. Yüzey-yağ akış görselleştirme tekniğinde kullanılan kimyasallar

Tez çalışmasında kullanılan son teknik ise duman-tel akış görselleştirme tekniğidir (Resim 2.16). Bu teknik, ayarlanabilir bir güç kaynağı (GW Instek, GPS-3303), buharı iyi bir görsellik sunabilen bir sıvı (Akbel Kimya, Likit Parafin) ve ince iletken telden (çapı 0,2 mm olan krom-nikel tel) meydana gelmektedir (Resim 2.17 ve 2.18). Ayarlanan voltaj ve akım değerleri tel üzerinden geçirildiğinde, tel üzerine sıvanmış olan sıvı buharlaşarak akışı takip etmekte ve istenilen düzlemsel bölge bu şekilde görselleştirilmektedir.



Resim 2.16. Duman-tel yöntemi ile bir kanat profili etrafındaki akışın görselleştirilmesi (URL-3, 2007).



Resim 2.17. Ayarlanabilir güç kaynağı



Resim 2.18. Likit parafin

2.6. Test Modeli ve Parametreler

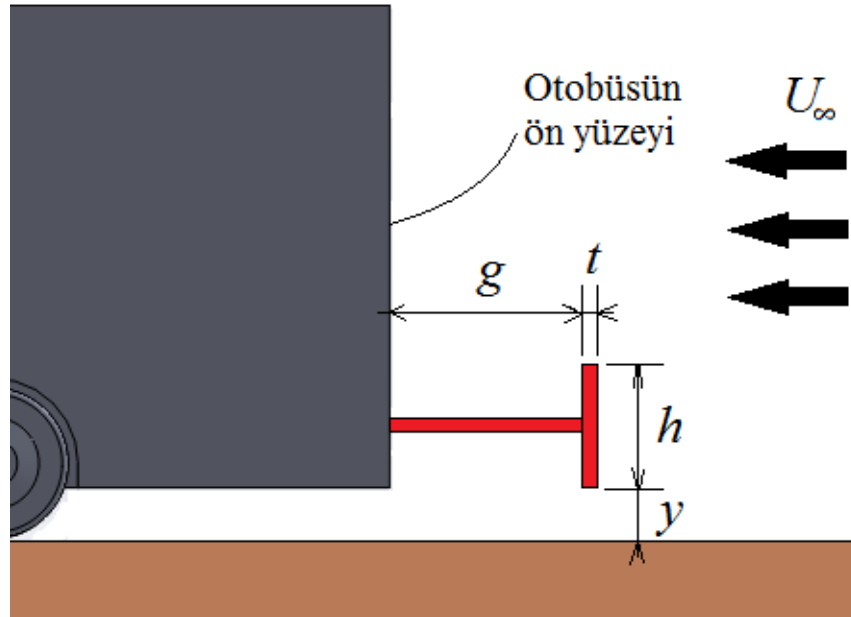
Deneylerde test edilecek olan parametreler aşağıda sunulmuştur (Tablo 2.1). Bu parametrelerin görsel tarifleri ise Şekil 2.2’de verilmiştir. Model otobüslerin detayları dışında sahip oldukları standart uzunluk (L), yükseklik (H) ve genişlik (W) değerleri ise Şekil 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.1 içerisinde verilen Reynolds sayısı (Re), atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak bilinir, kimi zaman boyutsuz hız olarak düşünülebilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

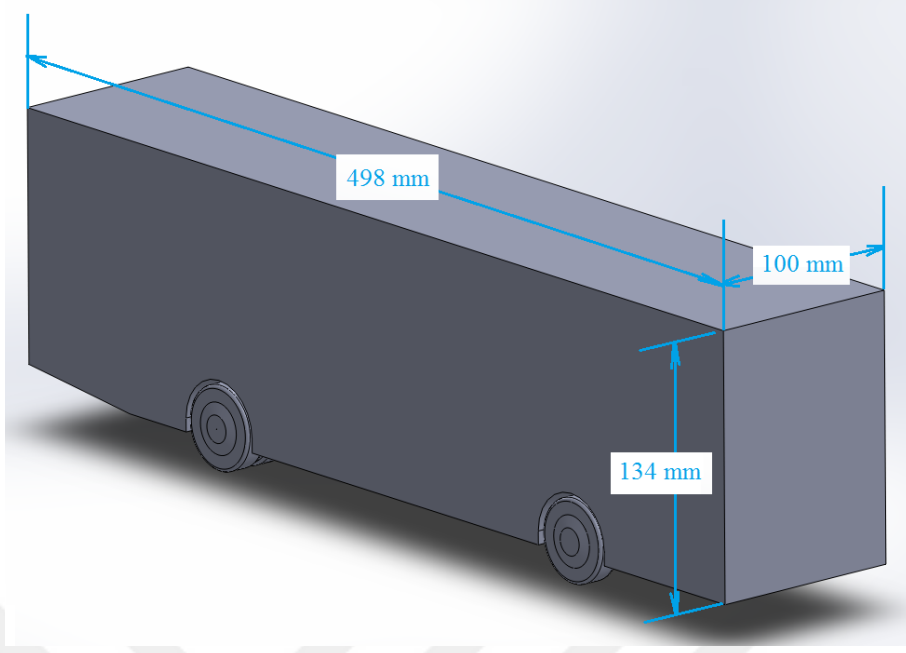
$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L_C}{\mu} \quad (2.1)$$

Tablo 2.1. Deneyde kullanılacak olan parametreler

Parametre adı ve sembolü	Değeri/Değerleri
Otobüs modeli	Farklı ön kısma sahip 2 adet
Reynolds sayısı (Re)	120000, 140000, 160000, 180000 ve 200000 olarak 5 adet
Kontrol plakası uzunluğu (l)	10, 30, 50 ve 70 mm olarak 4 adet
Boyutsuz kontrol plakası uzunluğu ($l^*=l/W$)	0,1, 0,3, 0,5 ve 0,7 olarak 4 adet
Kontrol plakası yüksekliği (h)	30 mm olarak 1 adet
Kontrol plakası kalınlığı (t)	3 mm olarak 1 adet
Otobüs ile plaka arası mesafe (g)	10, 20, 30, 40, 50 ve 60 mm olarak 6 adet
Otobüs ile plaka arası boyutsuz mesafe ($g^*=g/W$)	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 ve 0,6 olarak 6 adet
Plakanın yerden yüksekliği (y)	25 mm olarak 1 adet



Şekil 2.2. Otobüs ön kısmına yerleştirilmesi planlanan plakalara ait geometrik parametreler



Şekil 2.3. Ölçeği yaklaşık 1:25 olan model otobüslerin ana boyutları

Formülde yer alan U_{∞} (m/s) test bölgesi içerisindeki serbest-akım hızını, L_C (m) ise karakteristik uzunluğu temsil etmektedir ve burada model otobüsün uzunluğuna tekabül etmektedir (yani $L_C=L$). Otobüs modelleri, gerçek boyutlu bir otobüsün 1:25 ölçekli halini temsil etmektedir ve tasarlanan otobüs modelleri için karakteristik uzunluk $L_C=0,498$ m'dir. 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 20 °C sıcaklığa maruz kalan havanın viskozitesinin değeri 0,00001825 kg/m/s ve yoğunluğunun değeri 1,08 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Test bölgesinden ölçülen serbest akıma ait ortalama hız değeri bize direkt Re 'yi bulmamızı sağlayacaktır.

Otobüs modellerine akış doğrultusunda hava tarafından etkiyen net kuvvetin boyutsuzlaştırılmış hali olan direnç katsayısının zaman-ortalamalı değeri, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

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

Formülde yer alan F_D (N) test bölgesi içerisindeki otobüs modeline etkiyen direnç kuvvetini, A_F (m) ise plakalı otobüsün ön görünüş alanını temsil etmektedir. Formülde yer alan açılı parantez şeklindeki işleç, parantez içerisinde kalan parametrenin zaman-ortalamalı cinsten değerini temsil etmektedir. Direnç kuvvetine ait zaman-ortalamalı değer Denklem 2.3 ile hesaplanmıştır.

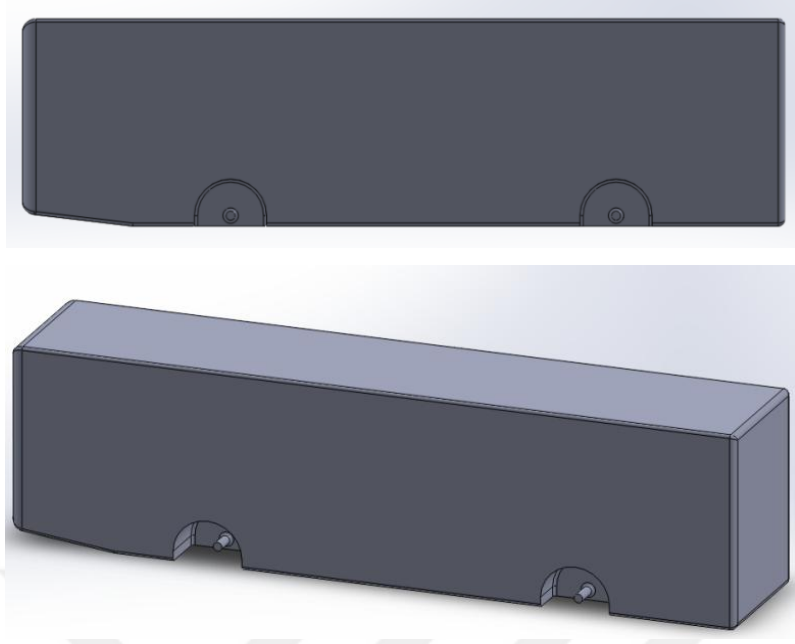
$$\langle F_D \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.3)$$

Formülde yer alan N sembolü alınan toplam veri sayısını, i sembolü 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 30 s sürmüştür. Bu da, bir setin ortalamasını bulmak için toplamda 6000 adet verinin alındığını ifade etmektedir.

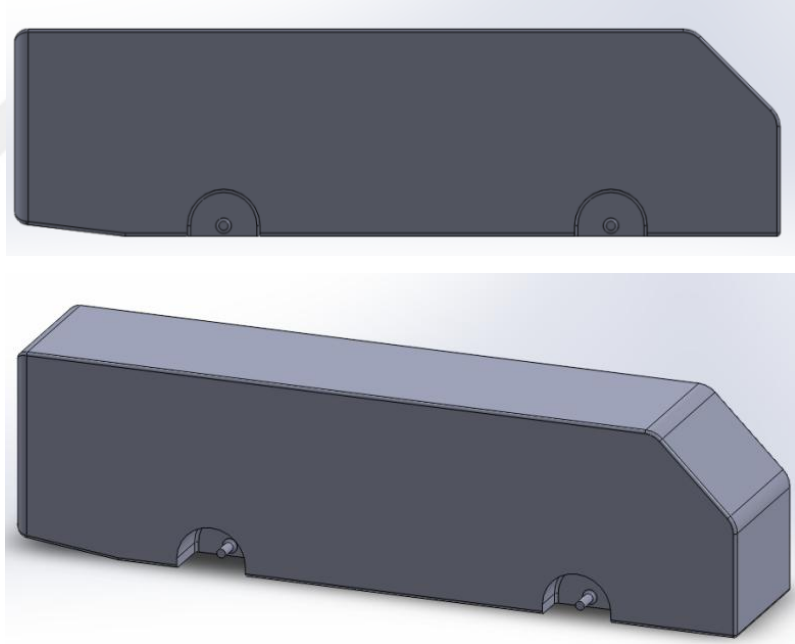
Direnç ölçüm sistemi, yalnızca otobüse etkiyen direncin (F_D), model otobüsün üzerinde durduğu sistemin tünel içerisinde kalan kısmına (döner tabla ve döner tabla destek çubuğu) etkiyen direncin (F_{Ddest}) ve model otobüsün döner tablaya teması sonucu oluşan ön gerilme kaynaklı kuvvetin (F_{ger}) toplamını (F_{top}) ölçmektedir. Yalnızca otobüse etkiyen direnci tespit edebilmek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\langle F_D \rangle = \langle F_{top} \rangle - \langle F_{ger} \rangle - \langle F_{Ddest} \rangle \quad (2.4)$$

Burada yer alan F_{ger} ’e ait değer, otobüsün tablaya uygun şekilde oturtulması sonucu oluşan referans kuvvet değerinden olan farka eşittir. F_{Ddest} ’e ait değer ise, her Re için, otobüsün olmadığı durumda tünel içi sisteme etkiyen dirence eşittir. F_{top} ise kuvvet sisteminden her bir set test için elde edilen değere eşittir. Bu değerler, Denklem 2.4’te yerine koyulduğunda F_D ’nin zaman-ortalamalı değeri elde edilmiştir. Sonrasında ise, $\langle F_D \rangle$ ’yi Denklem 2.2’de yerine koyarak, direnç katsayısının zaman-ortalamalı değeri elde edilmiştir.



Şekil 2.4. Ön kısmı düz olan otobüs modeli (Model-1)



Şekil 2.5. Ön kısmının üst tarafında pah kırılmış (45°) olan otobüs modeli (Model-2)



Şekil 2.6. Otobüs modellerinin ön (tek) ve arka (çift) tekerleklerinin ön ve izometrik görünüşleri



Resim 2.19. Çeşitli uzunluklardaki plakalar ve model otobüse sabitlenmeleri

Tasarlanan iki farklı otobüs modeli için ön görünüş alanı, tekerlekler de buna dahil olmak üzere, sabittir ve değeri $A_F=0,014141 \text{ m}^2$ 'dir (Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6). Otobüs modelleri ile tabla arası mesafe 14,1 mm'dir. Plakalar, 8 mm çaplı bir silindirik saplamaya

yapıştırılmışlar ve model otobüs ön kısmında yer alan deliklerden içeri sokulmuşlardır (Resim 2.19). Plaka ile model otobüs arası mesafe el ile müdahale edilerek dikkatli bir şekilde ayarlanmıştır. Otobüse saplanan plaka ile otobüs ön yüzeyi arası mesafe ayarlandıktan hemen sonra doğruluğu gayet iyi (1 mm/1 m) bir su terazisi kullanılarak, plakanın döner tabla yüzeyine paralel olarak konumlanması sağlanmıştır.

Otobüs modellerinin ön kısım tasarımlarına ve plakalı/plakasız olmalarına bakmaksızın, tünel içerisindeki blokaj oranları %1,34'tür. Blokaj oranına model otobüs, sabit tabla, sabit tabla destek ayakları ve döner tabla destek ayağı dahil edilmiştir. Bu oranın yeterince düşük (<%5) olmasından dolayı direnç katsayısında herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmamıştır.

2.7. Belirsizlik Analizi

Deneyisel çalışma içerisinde kullanılan bazı önemli parametrelere ait yüzdelik belirsizliklerin (u) tahmini de gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı (Re), direnç katsayısı (C_D) ve otobüs ile plaka arası boyutsuz mesafe ($g^*=g/W$) için oluşturulan yüzdelik belirsizlik ifadeleri, sırasıyla, aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$u_{Re} = \sqrt{(u_\rho)^2 + (u_{U_\infty})^2 + (u_{L_c})^2 + (-1 \cdot u_\mu)^2} \quad (2.5)$$

$$u_{C_D} = \sqrt{(u_{F_D})^2 + (-1 \cdot u_\rho)^2 + (-2 \cdot u_{U_\infty})^2 + (-1 \cdot u_{A_F})^2} \quad (2.6)$$

$$u_{g^*} = \sqrt{(u_g)^2 + (-1 \cdot u_W)^2} \quad (2.7)$$

Tüm deneyler, yerel atmosfer basıncının $90,6 \pm 1$ kPa ve tünel içi sıcaklığının 20 ± 1 °C olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında elde edilen yoğunluk ve dinamik viskozite, onlara ait belirsizlik değeriyle birlikte, sırasıyla, $1,08 \pm 0,1,5$ ve $1,825 \times 10^{-5} \pm 0,3$ kg/m-s'dir. Kızgın-tel anemometresinin hız ölçümüne ait belirsizlik değeri $\pm 0,5$ m/s'dir. Bir bütün olarak basılan tüm cisimlerin boyutlarına (mesela W, H, t ve l gibi veya lastik çapı gibi) belirsizlik değeri $\pm 0,3$ mm'dir. Model otobüs ile plaka arası boşluk mesafesine (g) ait belirsizlik değeri $\pm 0,5$ mm'dir (cetvel bölüntüsünün yarısı). Beş bileşen

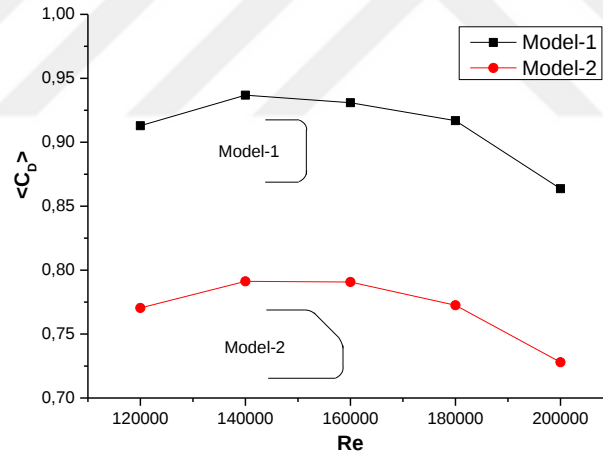
olarak basılan ve yapıştırılarak oluşturulan otobüsün uzunluğuna (L_C) ait belirsizlik değeri $\pm 0,7$ mm'dir. Yük hücresinin kuvvet ölçümüne ait belirsizlik değeri ölçülen değerin $\pm \%3$ 'ü kadardır. Otobüs modellerinin ön görünüş alanına (A_F) ait belirsizlik değeri $\pm \%0,1$ kadardır. Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak Re , C_D ve g^* için yüzdelik belirsizlikler, sırasıyla, $\pm \%5,2$, $\pm \%10,5$ ve $\pm \%1,7$ olarak hesaplanmıştır. Direnç katsayısına ait yüzdelik belirsizliğin bu denli yüksek çıkması, serbest-akım hızının ölçümünde kullanılan kızgın-tel anemometresine ait belirsizliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan, sapma açısına (taşıtın ön yüzeyinin içe doğru olan normali ile serbest-akım hız vektörü arasındaki açı) ait belirsizlik değeri $\pm 1^\circ$ olarak tahmin edilmesine rağmen bunun C_D üzerindeki etkisi yukarıdaki işlemlerde hesaba katılmamıştır.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Plakasız Durumda Direnç Verileri

Test edilen iki farklı otobüs modeline etkiyen dirençler, plakasız durum için, Şekil 3.1’de kıyaslanmıştır. Şekil, bize, Model-1’e etkiyen direncin Model-2’ye kıyasla, Reynolds sayısına (Re) bakılmaksızın fazla olduğunu göstermiştir. Bu beklendik bir durumdur çünkü Model-1’in ön yüzeyi Model-2’ye göre daha küt yapıdadır. Bu da, Model-1’in ön kısmında daha büyük bir basınç alanı oluşturmakta, dolayısıyla direnci de arttırmaktadır. Aynı durum, ön kısım tasarımları birbirlerinden farklı dört farklı otobüs modeli üzerine etkiyen direnci sayısal çalışma ile ortaya koyan Bhave ve Taherian’ın (2014) çalışmalarında da gözlemlenmiştir. Bunun dışında, otobüslerin farklı Re ’ler için sergiledikleri direnç katsayısı eğilimleri olcukça benzerdir.

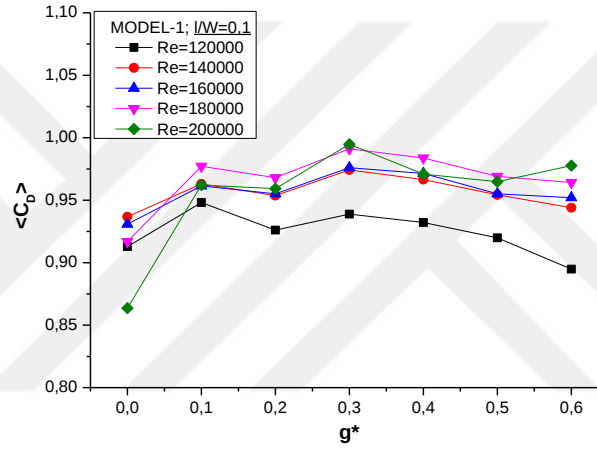


Şekil 3.1. Farklı modellere etkiyen zaman-ortalamalı direnç katsayılarının Re ile değişimleri

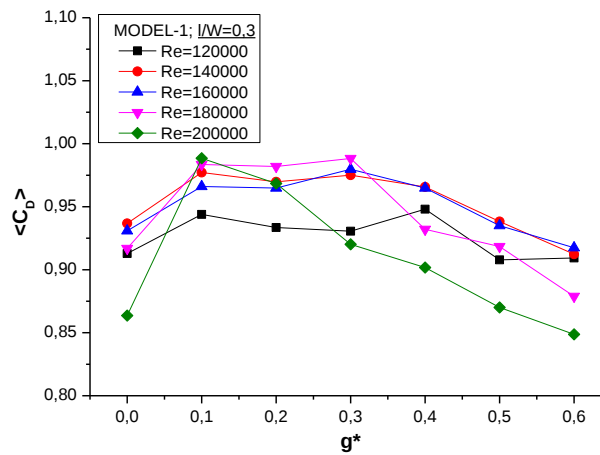
Şekil 3.1’de görünen bir diğer bulgu da model otobüslere ait zaman-ortalamalı direnç katsayılarının, $\langle C_D \rangle$, testlerin yapıldığı Re aralığı için Re ’den bağımsız hale gelemedikleridir. Durum, teknik sebeplerden dolayı böyledir. Re ’den bağımsızlığın tam olarak sağlanamamış olması, dikdörtgen plakaların gerçek boyutlu bir otobüs modeline etkiyen $\langle C_D \rangle$ üzerindeki etkisini tam olarak yakalayamayacağımız anlamına gelmektedir. Bu sebeple, test edilen otobüs modellerine ait $\langle C_D \rangle$ ’ler, gerçek bir otobüs modeline ait $\langle C_D \rangle$ ’nin yaklaşık bir değerini temsil edeceklerdir. Plakaların, bu $\langle C_D \rangle$ ’ler üzerindeki etkileri de yine yaklaşık değerlerle ifade edilecektir.

3.2. Plakalı Durumda Direnç Verileri

Plakalı durumda elde edilen zaman-ortalamalı dirençlerin değişimleri, her bir Re için, model ile plaka arası boyutsuz mesafeye, $g^*=g/W$, bağlı olarak verilecektir. Plakaların $\langle C_D \rangle$ düşürebilme açısından etkinliklerini sağlıklı bir şekilde ortaya koyabilmek adına, her bir grafik içerisine, plakasız durumda elde edilen $\langle C_D \rangle$ 'ler de eklenmiştir ve bunlar $g^*=0$ değerinde verilmişlerdir. Şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5, sırasıyla, boyutsuz uzunluğu, $l^*=l/W=0,1, 0,3, 0,5$ ve $0,7$ olan plakaların yalnızca Model-1'in direnci üzerine etkilerini göstermektedir.



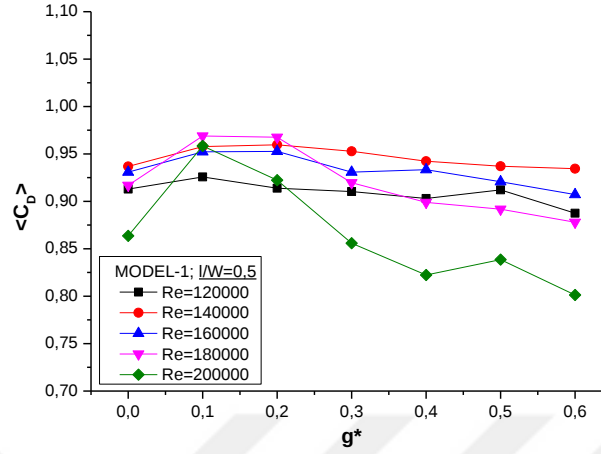
Şekil 3.2. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,1$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri



Şekil 3.3. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,3$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

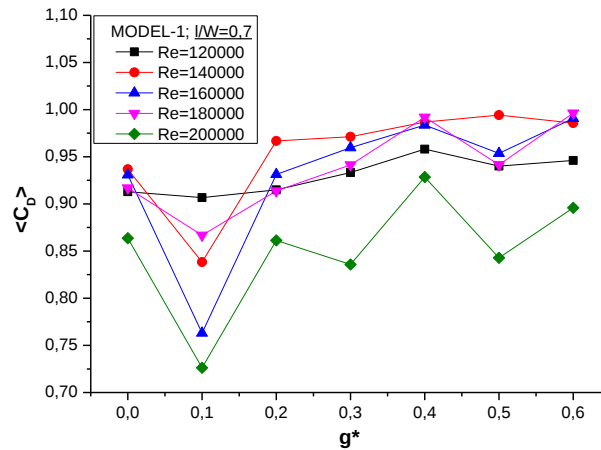
Şekil 3.2'ye bakıldığında, boyutsuz uzunluğu $l^*=0,1$ olan plakanın Model-1 üzerine etkileyen ortalama direnci düşürmede, en düşük Re hariç, hiç etkili olamadığı görülmektedir.

Şekil 3.3'te ise, $\langle C_D \rangle$ 'deki hafif düşüşün, Re 'den bağımsız olarak, yalnızca test edilen en yüksek boyutsuz mesafe değerinde, $g^*=0,6$, elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.4. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,5$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

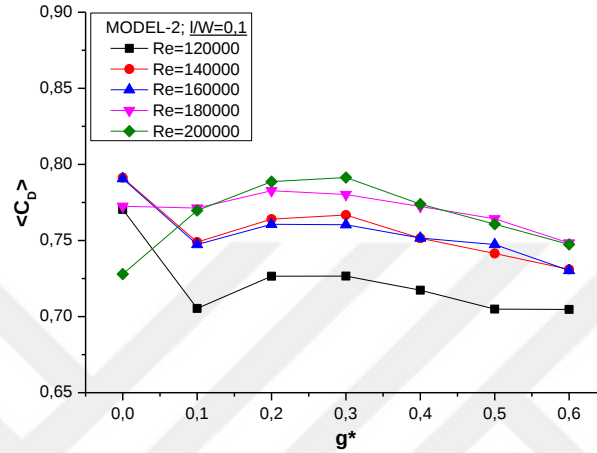
Şekil 3.4, $l^*=0,5$ olduğu yani plaka uzunluğunun model otobüs genişliğinin yarısına eriştiği durumda, plakanın, otobüs direncini düşürmedeki etkinliğini bizlere daha belirgin bir şekilde göstermektedir. Özellikle, test edilen en yüksek Re için bakıldığında, $g^*=0,4$, $0,5$ ve $0,6$ olduğu durumda bu model otobüsün $\langle C_D \rangle$ 'sindeki düşüşler, plakasız duruma kıyasla, sırasıyla, %4,8, %2,9 ve %7,2 olmaktadır.



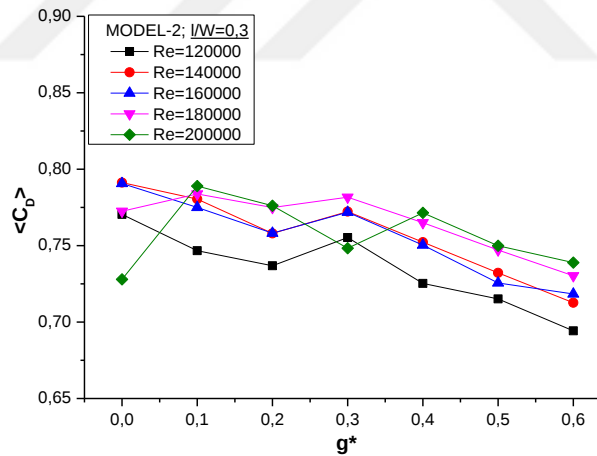
Şekil 3.5. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,7$ olan plakanın Model-1'in $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

Şekil 3.5, $g^*=0,1$ durumunda Model-1'e etkiyen zaman-ortalamalı direncin, test edilen en düşük Re hariç olmak üzere, ona plakasız durumda etkiyen dirence kıyasla çok daha düşük olduğunu bizlere göstermektedir. Azalma oranları, $Re=140000$, 160000 , 180000 ve 200000 için sırasıyla, %10,5, %18, %5,5 ve %15,9 olmaktadır. Bu, önemli bir

gelişmedir çünkü pratikte bu tarz bir sistemin imal edilmesi durumunda, plakaların otobüse olabildiğince yakın tasarlanmaları istendik bir durumdur. Otobüs ile plaka arası mesafenin kısa tutulmasının en büyük avantajı, şoförün görüş alanının olabildiğince az kısıtlanmış olmasıdır. Bu noktayı, Model-2'ye ait $\langle C_D \rangle$ 'lerin değişimleri üzerine de konuştuğuktan sonra yeniden dönülecektir.



Şekil 3.6. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,1$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

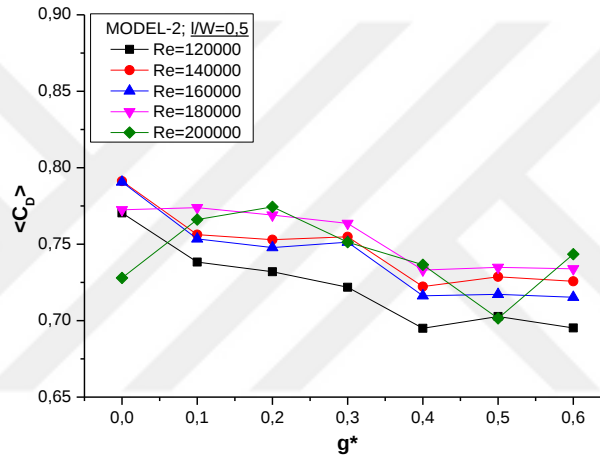


Şekil 3.7. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,3$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

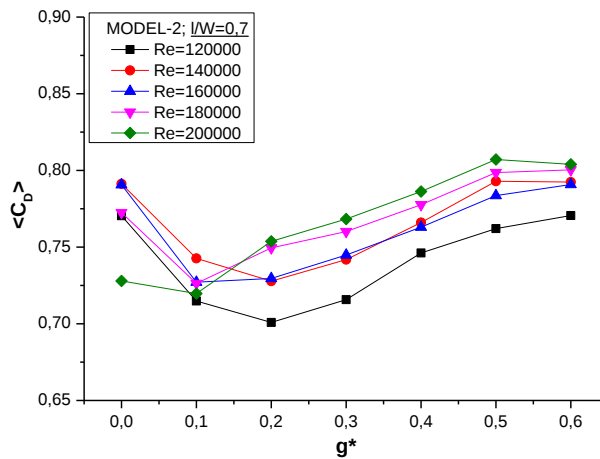
Şekil 3.6'da, düşük ve orta değerli Re'lerde, boyutsuz mesafenin $g^*=0,1$ olduğu durum yine plakasız Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'sine kıyasla daha düşük değerlerin elde edildiği durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum yüksek Re'ler için tersine dönmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, $g^*>0,1$ durumlarında, Re'lere bakılmaksızın $\langle C_D \rangle$ 'lerdeki yönelimler aynıdır. Şekil 3.7'de ise $Re \leq 160000$ durumlarında, $l^*=0,3$ 'lük plakalı Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'lerindeki yönelimler tamamen aynıdır. $Re=200000$ için, $g^*=0,1$ 'den $0,4$ 'e ve $g^*=0,4$ 'ten $0,6$ 'ya $\langle C_D \rangle$ 'deki düşüşler açıkça görülmektedir. Bu

düşüşlere rağmen plakasız $\langle C_D \rangle$ 'ye ait değerin altına düşülemediği için, en yüksek Re'de, plakanın otobüse etkileyen direnç üzerinde bir etkinliğinin olmadığı söylenebilir.

Şekil 3.8, $l^*=0,5$ 'lik plakanın, $l^*=0,1$ ve $0,3$ 'lük plakalara göre Model-2'ye etkileyen direnci daha etkin bir şekilde düşürebildiğini bizlere göstermektedir. Re=200000'de, g^* 'ın $0,1$ 'den $0,2$ 'ye yükselmesi sonucu $\langle C_D \rangle$ 'de hafif bir artış, $0,22$ 'den $0,5$ 'e artması sonucu ise ciddi bir düşüş olmuştur. Boyutsuz boşluğun $g^*=0,5$ olduğu durumda, Model-2 ve plakanın olduğu sisteme etkileyen direnç, plakasız Model-2'ye etkileyen dirençten %3,6 daha düşüktür. Sonrasında, yani $g^*=0,6$ olduğu durumda, $\langle C_D \rangle$ 'de ciddi bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,5$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri



Şekil 3.9. Boyutsuz uzunluğu $l^*=0,7$ olan plakanın Model-2'nin $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkileri

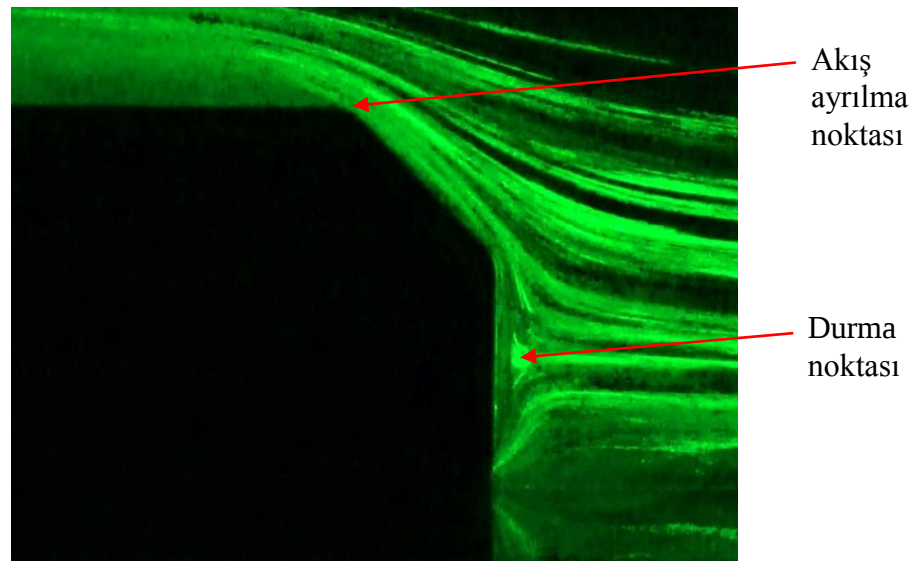
Şekil 3.9'dan da görüleceği üzere, en düşük $\langle C_D \rangle$ değerine, Re=120000 ve 140000 için $g^*=0,2$ 'de erişilmişken Re=160000, 180000 ve 200000 için $g^*=0,1$ 'de erişilmiştir. Bundan daha önemli olan durum ise şudur; boyutsuz uzunluğu $l^*=0,7$ olan plakanın

Model-1 üzerine etkiyen dirençte olduğu gibi, Model-2 üzerine etkiyen dirençte de, düşük boşluk oranlarında etkinliği gözlemlenmiştir. Bu düşük g^* değerleri için her iki otobüs modelinin $\langle C_D \rangle$ 'sinde gözlemlenen düşüşün altında yatan fiziksel olayın aynı olduğu ve akış görselleştirme yöntemlerinden faydalanarak incelenmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

3.3. Akış Görselleştirme

Bu kısımda ilk adım olarak, üç farklı akış görselleştirme tekniği arasından (lazer tabakalı, yüzey-yağ ve duman-tel) en iyi görselliği sunacak metot araştırılmıştır. İlk olarak, lazer tabakalı akış görselleştirme tekniğinden faydalanılmıştır. Bu tekniğin gereği, sis makinesinin oluşturduğu duman tünel içerisine verilmiştir fakat kapalı çevrim tünelin iç kısmı tamamen duman dolduğundan herhangi bir görüntü elde edilememiştir. İkinci teknik olarak yüzey-yağ tekniğinden faydalanılmıştır. Bu teknik sisteme uygulandığında, karışımı hareket ettirmek için gerekli rüzgar hızına erişim sağlanamadığı gözlemlenmiştir ve bu sebeple bu teknik kullanılarak yine akış desenlerine ait bir görüntü alınamamıştır. Son olarak denenen duman-tel yöntemi ise, Reynolds sayısı 60000'e düşürüldüğünde sağlıklı görsel sonuçlar vermeye başlamıştır. Bu sebeple, görsel resimler sadece duman-tel yöntemi kullanılarak $Re=60000$ 'den elde edilen çalışmalara aittir.

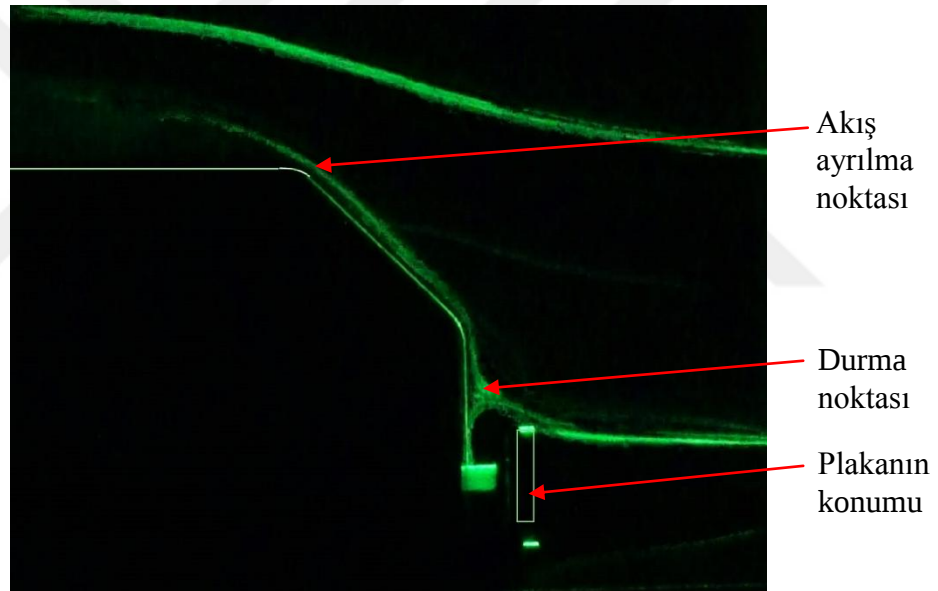
İkinci adım olarak, modeller içerisinden Model-2 seçilmiş, plakasız ve $l^*=0,7$ 'lik plakanın $g^*=0,1$ ve $0,4$ 'e yerleştirilmesi durumunda $Re=60000$ için ortaya çıkan akış desenleri şekiller içerisinde sunulmuştur.



Resim 3.1. Plakasız durumda Model-2'nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri

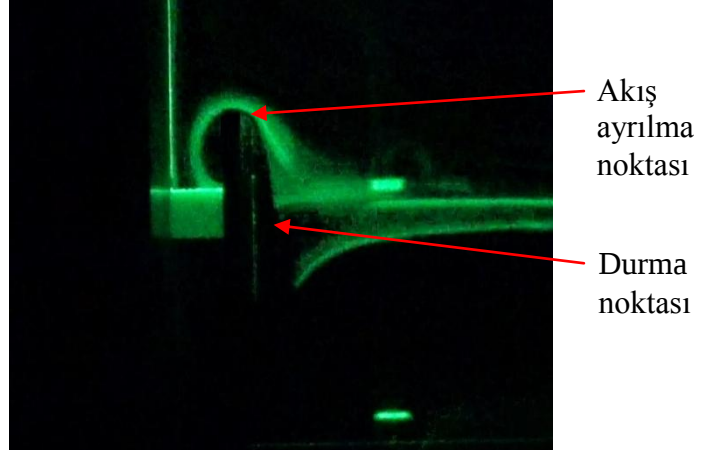
Resim 3.1’den de görüleceği üzere, teldeki sıvının buharlaşması sonucu meydana gelen çıkış çizgileri, model ön kısım alt yüzeyinin neredeyse tam ortasında ikiye ayrılmışlardır. Aşağı doğru giden kısım, Model-2’nin ön kısım alt yüzeyini yalayarak alt tarafına doğru yönelmiştir. Bu yönelim ile ilgili, lazer tabakası model otobüsün alt kısmını da eş zamanlı aydınlatamadığı için, daha fazla bilgi sunulamamıştır. Yukarı doğru giden kısım ise ön kısım üst yüzeyi ile üst yüzey arasındaki kenardan ayrılmış ve daha geride bir yerde yeniden üst yüzeye tutunmuştur.

Resim 3.2’de, model otobüs ön kısmına $g^*=0,1$ boşluğuyla yerleştirilen plaka, model otobüs ön kısım alt yüzeyi üzerindeki durma noktasının yukarıya kaymasına sebep olmuştur. Yine plakasız durumda olduğu gibi, ön kısım üst yüzeyi ile üst yüzey arasındaki kenardan akış ayrılması meydana gelmiştir.

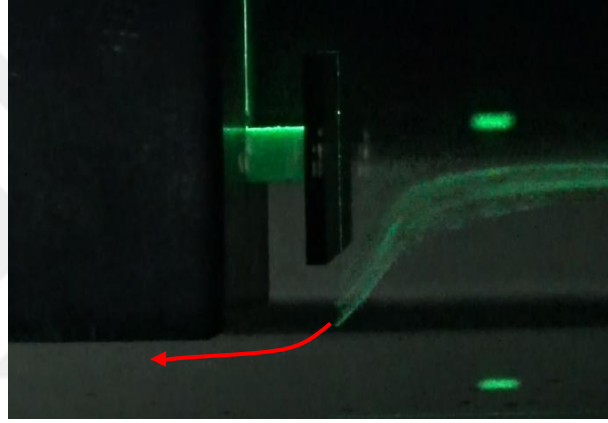


Resim 3.2. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda Model-2’nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri

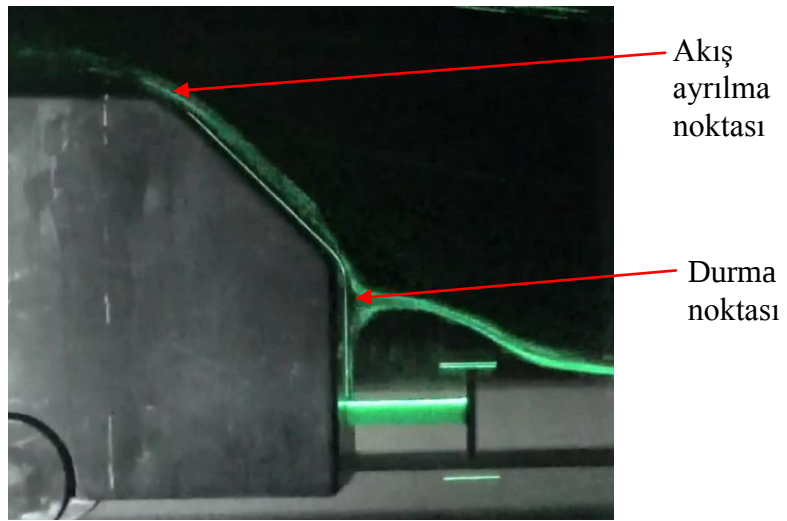
Tam olarak görselleştirme resmi içerisinde fark edilemese de, plaka üzerinde de bir durma noktası mevcuttur (Resim 3.3). Bu durma noktasından yukarı doğru giderek ayrılan akış, hemen plaka arka kısmında, çevri dökülmesi meydana getiremeden akışa ters yönde bükülmüştür. Aşağı doğru giden kısım ise Resim 3.4’ten de öngörüleceği üzere, model otobüs ön kısım alt yüzeyi ile herhangi bir temasta bulunmadan otobüs ile tabla arası boşluğa doğru yönelmiştir. Bu yönelim sonucu model yüzeyinde fazladan bir basınç oluşumu engellenmiştir. Bu da model otobüse etkiyen direnç kuvvetinde belirli bir düşüşe sebep olacaktır.



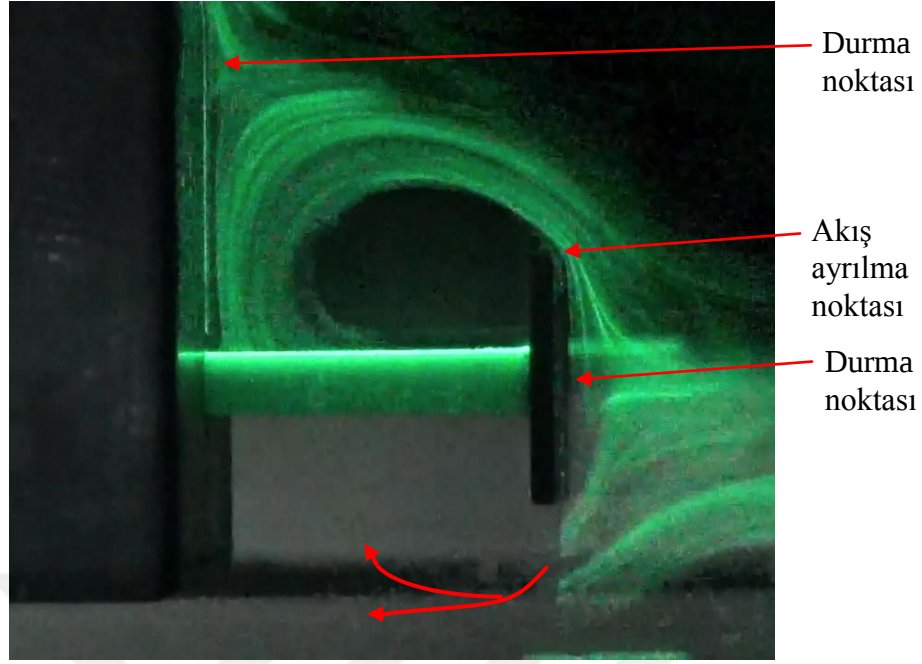
Resim 3.3. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda plaka ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri



Resim 3.4. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,1$) durumda, plaka alt kısmından geçerek tabla ile model arası boşluğa yönelen çıkış çizgisi



Resim 3.5. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,4$) durumda Model-2'nin ön kısmında gözlemlenen akış fenomenleri



Resim 3.6. Plakalı ($l^*=0,7$ ve $g^*=0,4$) durumda, model plaka arası gözlemlenen çıkış çizgileri

Resim 3.5'ten de görüleceği üzere, model ön kısmı üst yüzeyi ile üst yüzey arasında akış ayrılması bu boşluk oranında da mevcuttur ve model üzerindeki durma noktası $g^*=0,1$ durumuna göre daha da yukarıya kaymıştır. Yine $g^*=0,1$ durumunda olduğu gibi, plaka üst kısmından ayrılan akış, hemen plaka arka kısmında, çevri dökülmesi meydana getiremeden akışa ters yönde bükülmüştür. Lazer tabakası, silindirik saplama parçasından dolayı bu boşluk oranında da model otobüs ile plaka arası boşluğun alt kısmını aydınlatamamıştır ve $g^*=0,4$ 'te model otobüse etkiyen direncin $g^*=0,1$ 'dekine göre fazla çıkmasının, bu kısımdaki akış yapısı ile direkt alakalı olduğu düşünülmektedir. Çünkü, $g^*=0,1$ 'de, plaka alt kısmında ayrılan akış çok büyük ihtimalle model otobüs üzerinde direnç kuvvetinde artışa sebep olacak bir yüksek basınç bölgesi oluşturamadan model alt yüzeyine yönlendirilmişken, $g^*=0,4$ 'te, plaka alt kısmında ayrılan akışın yeniden model yüzeyine temas ettiği ve burada bir yüksek basınç bölgesi oluşturarak model otobüs direncinde belirli bir artışa sebep olduğu öngörülmektedir.

4. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu tez çalışması, günlük hayatımızda özellikle kara ulaşımında çokça tercih edilen otobüslerdeki yakıt sarfiyatını azaltmak adına test edilen bir pasif akış kontrol yönteminin verimliliğini araştırmayı içermektedir. İlk olarak 1:18 ölçekli olarak tasarlanan fakat daha sonra 1:25 ölçeğe düşürülen, ön kısımları birbirinden farklı iki tip (Model-1 ve Model-2) otobüs üzerine etkiyen hava direncini düşürebilmek için, bu otobüslerin ön kısımlarına bir silindirik saplama ile monte edilen farklı uzunluklara sahip plakalar, farklı mesafelere yerleştirilerek parametrik olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi olmaktadır.

- Çalışma esnasında, mevcut rüzgar tünelinin sağlıklı çalışabilmesi için çıkılabilen en yüksek hız değeri test edilen otobüs modelleri için Reynolds sayısını (Re) en fazla 200000 değerine çıkarabildiğinden ve bu Re 'den bağımsızlık sağlanamamıştır. Buna rağmen elde edilen değerler, gerçek değerlerin eğilimleri hakkında bilgiler sunabilmektedir.
- $Re=200000$ için bakıldığında, en uzun plakanın ($l^*=0,7$) en iyi direnç düşürme kabiliyetine sahip olduğu saptanmıştır. Bu plakanın $g^*=0,1$ boyutsuz mesafesine yerleştirilmesi sonucu Model-1 ve plakadan oluşan sisteme etkiyen zaman-ortalama direnç katsayısının, $\langle C_D \rangle$, sadece Model-1'e etkiyene nazaran %15,9 düşük olduğu belirlenmiştir. Bu düşüş, Model-2 için %1,1 değerine kalmaktadır. Boyutsuz mesafenin kısa olması oldukça istendik bir durumdur ve pratikte metodun kullanılma potansiyelini arttırmaktadır.
- Hem Model-1 hem de Model-2 için, $Re=200000$ ve $l^*=0,7$ değerlerinde, boyutsuz mesafenin artmasıyla birlikte $\langle C_D \rangle$ 'de genellikle bir artış gözlemlenmektedir. Bu artış, plaka alt yüzeyinden ayrılan akışın, henüz otobüs alt kısmına yönelemeden otobüs ön yüzeyine yönelerek bir basınç artışı sağlamasına dayandırılmıştır.
- Kapalı çevrim rüzgar tünelleri için lazer tabakalı akış görselleştirme yönteminin uygun bir yöntem olmadığı, bunun temel sebebinin ise, akışı görsel hale getirmesi için tünel içerisine bırakılan dumanın tüm tüneli kısa sürede doldurması olduğu belirlenmiştir.
- Serbest akım hızı 8 m/s'den düşük olan rüzgar tünelleri için yüzey-yağ akış görselleştirme metodunun tamamen verimsiz olduğu belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Tez çalışması içerisinde, plakaya ait belirli parametrelerin zaman-ortalama direnç katsayısı, $\langle C_D \rangle$, üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hareket halinde olan araçlar genellikle durgun bir ortam içerisinde hareket etmezler yani hareketleri esnasında onlara hareket doğrultuları ile farklı bir doğrultuda etki eden rüzgar vardır. Rüzgarın etkisini hesaba katan parametre sapma açısıdır ve yapılan bu deneysel çalışma içerisinde sapma açısının $\langle C_D \rangle$ üzerindeki etkileri incelenmemiştir.

Zeminde gelişen sınır tabakanın, model otobüsün $\langle C_D \rangle$ 'si üzerindeki etkisi önemli olabilir. Bu manada, incelemeye açık olan bir parametre, model otobüs ile zemin arası boşluktur. Plakanın zeminden olan yerleştirilme konumu da, plakadan ayrılan akışın sınır tabaka ile etkileşime girmesine ve karakterini değiştirmesine sebep olabilecek diğer bir parametredir. Bu parametrelerin etkisini iyi bir şekilde ortaya koyabilmek için parçacık görüntülemeli hızölçer (PGH) veya lazer doppler anemometresi (LDA) gibi ileri düzey hızölçerlerin kullanımı şarttır.

Dikkat edilirse, çalışma içerisinde sadece $\langle C_D \rangle$ ölçülebilmiştir. Bu durum kısıtlı imkanlardan dolayıdır. Bilindiği üzere, plakaların, model otobüslerin $\langle C_D \rangle$ 'sini düşürme üzerine, belirli parametreler için, pozitif bir etkisi olmasına karşın bir diğer önemli aerodinamik kuvvet olan zaman-ortalama kaldırma katsayısı, $\langle C_L \rangle$, üzerinde istenmedik bir etki oluşturabilir. Bu durum da araştırılabilir.

İncelenen otobüs modelleri, tasarım olarak biraz kaba kalmaktadır. Test edilecek parçaların, daha ince ayrıntılara sahip (yan aynalar, üste takılan klima sistemi, yüzeysel ayrıntılar, döner tekerler, vb.) modellerin üzerinde test edilmesi, daha gerçekçi çıktılar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Alam, M.M., Sakamoto, H., Zhou, Y.,** 2006. Effect of a T-shaped plate on reduction in fluid forces on two tandem cylinders in a cross-flow. *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, 94:525-551.
- Bhave, A., Taherian, H.,** 2014. Aerodynamics of intercity bus and its impact on CO₂ reductions. *Proceedings of the Fourteenth Annual Early Career Technical Conference*, Alabama, USA, November 1–2, 165-172.
- European Comission,** Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system, Brussels, Belgium, 2011.
- Firat, E., Akansu, Y.E., Akilli, H,** 2015. Flow past a square prism with an upstream control rod at incidence to uniform stream. *Ocean Eng.*, 108:504-518.
- Gad-El-Hak, M.,** 2000. Flow Control: Passive, Active and Reactive Flow Management. Cambridge University Press, New York, 441s.
- Igarashi, T.,** 1997. Drag reduction of a square prism by flow control using a small rod. *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, 69-71:141-153.
- Igarashi, T., Terachi, N.,** 2002. Drag reduction of flat plate normal to airstream by flow control using a rod. *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, 90:359–376.
- Lee, S.-J., Lee, S.-I., Park, C.-W.,** 2004. Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod. *Fluid Dyn. Res.*, 34:233-250.
- Malekzadeh, S., Sohankar, A.,** 2012. Reduction of fluid forces and heat transfer on a square cylinder in a laminar flow regime using a control plate. *Int. J. Heat Fluid Fl.*, 34:15–27.
- Prasad, A., Williamson, C.H.K.,** 1997. A method for the reduction of bluff body drag. *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, 69-71:155-167.
- Schmidt, H.-J., Woszidlo, R., Nayeri, C.N., Paschereit, C.O.,** 2015. Drag reduction on a rectangular bluff body with base flaps and fluidic oscillators, *Exp. Fluids*, 56:151.
- Shao, N., Yao, G., Zhang, C., Wang, M.,** 2017. A new method to optimize the Wake flow of a vehicle: The leading edge rotating cylinder. *Math. Probl. Eng.*, 5781038.
- Sucipto, A.S., Widodo, W.A.,** 2017. Numerical Study of Multiple-Channel Diffusers on The Rear Bus Body. *AIP Conference Proceedings*, 1788:030094.
- URL-1,** 2011. <https://fineartamerica.com/featured/flow-visualization-above-an-fa-18-model-stocktrek-images.html>, Flow Visualization Above An Fa-18 Model, 22 Nisan 2019.

URL-2, 2012. https://www.nasa.gov/centers/ames/multimedia/images/2012/iotw/FAITH_hill.html, FAITH Hill, 22 Nisan 2019.

URL-3, 2007. <https://infovis-wiki.net/wiki/File:E398-inflatable.jpg>, Smoke wire flow visualization of flow over an inflatable Eppler 398 at $Re=50000$, $\alpha=4$, 22 Nisan 2019.

Zhang, P.F., Wang, J.J., Lu, S.F., Mi, J., 2005. Aerodynamic characteristics of a square cylinder with a rod in a staggered arrangement. *Exp. Fluids*, 38:494-502.



ÖZGEÇMİŞ

Seval Yiğit 1994 yılında Diyarbakır Merkez’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Soğanlı İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini ise 2012 yılında Nafiye Ömer Şevki Cizrelioğlu Lisesinde tamamladı. Lisans öğrenimine 2012 yılında Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladı ve 2016 yılında başarılı bir şekilde mezun oldu. Mezun olduktan sonra yaklaşık 1,5 yıl otomotiv sektöründe çalıştı. Daha sonra, bir başka ortak ile birlikte ECS Mühendislik’i kurdular ve şu an bu firmada kendi işine devam etmektedir.

