

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇEKİCİ RÖMORKE ETKİ EDEN AERODİNAMİK KUVVETLER ÜZERİNE**  
**DOĞADAN ESİNLENEREK GELİŞTİRİLEN PASİF AKIŞ KONTROL**  
**PARÇALARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Tuğçe Merve KESAT**

**HAZİRAN 2019**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇEKİCİ RÖMORKE ETKİ EDEN AERODİNAMİK KUVVETLER ÜZERİNE  
DOĞADAN ESİNLENEREK GELİŞTİRİLEN PASİF AKIŞ KONTROL  
PARÇALARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tuğçe Merve KESAT**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2019  
Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2019**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa SARIOĞLU**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Tuğçe Merve KESAT Tarafından Hazırlanan**

**ÇEKİCİ RÖMORKE ETKİ EDEN AERODİNAMİK KUVVETLER ÜZERİNE DOĞADAN  
ESİNLENEREK GELİŞTİRİLEN PASİF AKIŞ KONTROL PARÇALARININ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**




**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU**

**Üye : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU**

**Üye : Doç. Dr. Mustafa SARIOĞLU**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Teknolojinin gelişmesi ile güncelliğini yitirmeyen alanlardan biri de araç aerodinamiğidir. Araç aerodinamiğinin iyileştirilmesi ile araçların yakıt sarfiyatı azaltılabilir. Bu sebeple özellikle ağır vasıtaların sürüklenme katsayılarında yapılan aerodinamik iyileştirmeler ömürlerinin çoğunu seyir halinde geçirmelerinden dolayı önem kazanır.

Yüksek Lisans tezi kapsamında bir çekici römork araca etki eden sürüklenme katsayısı, doğadan esinlenen pasif akış kontrol ekipmanları ile azaltılmaya çalışılmıştır.

Deneyselimi gerçekleştirdiğim Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne katkılarından dolayı teşekkür ederim. Yüksek lisans tezim boyunca görüş ve destekleri ile beni yönlendiren saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Mustafa SARIOĞLU'na şükranlarımı arz ederim. Yüksek lisans tezim için yapılan deneysel çalışmalarda bana ev sahipliği yapan, orada bulunduğum süre boyunca hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan çok değerli hocam Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU'ya teşekkürlerimi borç bilirim. Yüksek lisansa başladığım ilk günden bu yana yardım, bilgi ve tecrübeleri ile başım sıkıştığında bana yol gösteren değerli hocam Arş. Gör. Mehmet SEYHAN'a teşekkür ederim. Tez yazım aşamasında bana sabırla destek olan başta proje arkadaşım Mehmet Yusuf BAYAT'a ve diğer yüksek lisans arkadaşşıma teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen her koşulda yanımda olan Mertcan DAYSALILAR'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca en büyük desteği ve sevgiyi vererek, her zaman yanımda olan canım anneme ve babama en derin saygılarımı sunar, sonsuz teşekkür ederim.

Tuğçe Merve KESAT  
Trabzon, 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çekici Römörke Etki Eden Aerodinamik Kuvvetler Üzerine Doğadan Esinlenerek Geliştirilen Pasif Akış Kontrol Parçalarının Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım ?’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2019

Tuğçe Merve KESAT

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı .....	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Deney Düzenegi.....	11
2.1.1. Rüzgâr Tüneli .....	11
2.1.2. Yük Hücresi Ölçümleri.....	12
2.1.3. Mikro-manometre .....	14
2.1.4. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı.....	15
2.1.5. Fotoğraf Makinası.....	15
2.2. Pasif Akış Kontrolü İçin Geliştirilmiş Modeller .....	16
2.2.1. Adlandırma .....	16
2.2.2. Modeller.....	17
2.2.2.1. Temel Model.....	17
2.2.2.2. Geliştirilmiş Rüzgârlık (Spoiler) Modelleri .....	18
2.2.2.3. Geliştirilmiş Yarım Uçak Kanat Profili Modelleri .....	20
2.2.2.4. Geliştirilmiş Konik Kuyruk Modelleri .....	21
2.3. Deneysel Çalışmada Yöntem.....	23
2.4. Benzerlik.....	24
2.4.1. Geometrik Benzerlik.....	24
2.4.2. Kinematik Benzerlik.....	24
2.4.3. Dinamik Benzerlik.....	24
2.4.3.1. Reynolds Sayısı Bağımsızlığı.....	25

2.5.	Hesaplamalar .....	28
2.5.1.	Deneyde Kullanılan Hesaplamalar .....	28
2.5.2.	Geliştirilmiş Geometrilere İçin Türetilmiş Hesaplamalar .....	29
2.5.2.1.	Sinüzoidal Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı .....	30
2.5.2.2.	Üçgen Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı.....	31
2.5.2.3.	Kare Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı .....	31
2.6.	Temel Konfigürasyonlar .....	32
2.7.	Akış Görüntüleme.....	33
3.	BULGULAR.....	34
3.1.	Temel Model (BM) ve 48 Farklı Konik Kuyruk .....	34
3.1.1.	Sabit Uzunluk $C_D$ Katsayısı - Açık Değişimi .....	34
3.1.2.	Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi .....	36
3.2.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1) ve 48 Farklı Konik Kuyruk .....	38
3.2.1.	Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açık Değişimi .....	38
3.2.2.	Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi .....	39
3.3.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1), Yarım Uçak Kanadı NACA0009 (N9) ve 48 Farklı Konik Kuyruk.....	40
3.3.1.	Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açık Değişimi .....	41
3.3.2.	Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi .....	42
3.4.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 1, Yarım NACA0012 (N12) ve 48 Farklı Konik Kuyruk.....	43
3.4.1.	Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açık Değişimi .....	44
3.4.2.	Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk - Değişimi.....	45
3.5.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1), Yarım NACA0015 Kanat Profili (N15) ve 48 Farklı Konik Kuyruk.....	46
3.5.1.	Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açık Değişimi .....	46
3.5.2.	Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi .....	47
3.6.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2)ve 16 Farklı Konik Kuyruk .....	48
3.7.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	49
3.8.	Temel Model (BM), rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	50
3.9.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0015 kanat profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk .....	50
3.10.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3) ve 16 Farklı Konik Kuyruk .....	51
3.11.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	52

3.12.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	52
3.13.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0015 Kanat Profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	53
3.14.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4) ve 16 Farklı Konik Kuyruk .....	54
3.15.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9)ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	54
3.16.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA00012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk.....	55
3.17.	Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA00015 Kanat Profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk Kombinasyonları .....	56
3.18.	Temel Model'e Yalnızca NACA Tasarımlarının Eklenmesi ile Oluşan Kombinasyonlar.....	56
3.19.	Temel Modele 4 Farklı Rüzgârlık ve 3 Farklı NACA Tasarımlarının Eklenmesi .....	57
3.20.	Tüm Konfigürasyonlar.....	58
3.21.	Bütün Rüzgârlık ve NACA Tasarımlarına Ek En İyi Konfigürasyonlarının Kıyaslanması .....	61
3.22.	Duman Tel Akış Görüntüleme.....	61
4.	TARTIŞMA.....	64
5.	SONUÇLAR.....	66
6.	ÖNERİLER.....	67
7.	KAYNAKLAR .....	68
8.	EKLER .....	72
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

ÇEKİCİ RÖMORKE ETKİ EDEN AERODİNAMİK KUVVETLER ÜZERİNE DOĞADAN  
ESİNLENEREK GELİŞTİRİLEN PASİF AKIŞ KONTROL PARÇALARININ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ

Tuğçe Merve KESAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Mustafa SARIOĞLU  
2019, 71 Sayfa, 3 Sayfa Ek

Bu çalışmada, bir çekici römork araca, doğadan esinlenilerek geliştirilen pasif akış kontrol ekipmanlarının eklenmesi ile aracın aerodinamik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Üç farklı bölge için çeşitli pasif akış kontrol ekipmanları geliştirilmiştir. Pasif akış kontrol ekipmanlarından biri olan rüzgârlık tasarımları, kanarya geometrisinden esinlenilen dört farklı tasarım olmuştur. İkinci pasif akış kontrol ekipmanları Römorkun üst kısmı için tasarlanan, NACA 0009, NACA 0012 ve NACA 0015 yarım uçak kanadı geometrilerinden geliştirilen üç farklı tasarımdan meydana gelmiştir. Sonucu tasarımlar ise; düz, sinüzoidal, üçgen ve kare geometrilere, 15, 20, 25 ve 30 mm uzunluğa ve 13 °, 25 ° ve 30 ° açılara sahip 48 farklı konik kuyruk tasarımlarından oluşmuştur. Çalışmada çekici römorkun temel ve kombinasyonlarının yük hücresi yardımıyla sürüklenme kuvveti ölçümleri rüzgâr tüneline yapılarak kıyaslanmıştır. Reynolds sayısının bağımsızlığı  $1.6 \times 10^5$ - $6.5 \times 10^5$  aralığında sağlanarak tüm deneyler  $5.6 \times 10^5$  Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca en iyi aerodinamik iyileştirmeyi oluşturan kombinasyon için duman-tel akış görüntülemesi yapılmış ve akış görüntüleme deneyleri  $Re=2.4 \times 10^5$  gerçekleştirilmiştir. Çekici römork araca önerilen Rüzgârlık ilave edildiğinde sürüklenmede maksimum % 17.8'lik azalma meydana gelmektedir. Bu etki Rüzgârlık tasarımına ek olarak yarım NACA uçak kanadı eklendiğinde % 27.5 olmakta ve ayrıca bu kombinasyona konik kuyruk ilave edildiğinde ise sürüklenme kuvvetindeki iyileşme %28.5'e yükselmektedir. Bulunan bu sonuçların akış görüntüleme deney sonuçları ile uyum içerisinde. Pasif akış kontrol ekipmanlarının büyük etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çekici römork araç, sürüklenme kuvveti, pasif akış kontrolü, rüzgârlık, rüzgâr tüneli.

Master Thesis

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PASSIVE FLOW CONTROL DEVICES  
IMPROVED BY BIO-INSPIRED ON AERODYNAMIC DRAG FORCE FOR TRUCK  
TRAILER

Tuğçe Merve KESAT

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa SARIOĞLU  
2019, 71 Pages, 3 Pages Appendix

In this study, the variation of the aerodynamic properties of truck and trailer was investigated by addition of passive flow control (PFC) equipments which were developed by inspiration from nature. Various passive flow control equipment has been developed for three different regions. Spoiler designs which one of the passive flow control equipment have been four different designs inspired by canary geometry. The second one designed for the top of trailer, the three different designs have developed, that have half of NACA 0009, NACA 0012 and NACA 0015 airfoil models. The last one is 48 different boat tail designs improved that have straight, sinusoidal, triangular and square geometries, 15, 20, 25 and 30 mm length and the angles of 13°, 25° and 30°. In the study, drag force measurements of the basic model and PFC equipments and configurations of the truck trailer were performed by using load cell in the wind tunnel and compared. All experiments were performed at  $Re=5.6 \times 10^5$  by providing Reynolds number independence between  $1.6 \times 10^5$  and  $6.5 \times 10^5$ . Also smoke wire flow visualization experiments were performed for the combination that creates the best aerodynamic improvement and the experiments were performed  $Re = 2.4 \times 10^5$ . A maximum drag reduction of 17.8% is achieved using the proposed spoiler design. This reduction ratio raise approximately 27.5% when half of NACA airfoil is added to spoiler design. Moreover, the drag force reach to 28.5% when boat tail is added to this system. These results were found to be in harmony with the flow visualization. Passive flow control equipment has been shown to have major impact..

**Key Words:** Truck-trailer vehicle, drag force, passive flow control, spoiler, wind tunnel.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çeşitli sınıflardaki taşıtların aerodinamik direnç katsayıları.....	2
Şekil 1.2. Ağır vasıtalarındaki direnç bölgeleri.....	6
Şekil 2.1. Deney test düzeneğinin şematik görüntüsü.....	11
Şekil 2.2. Deneyde kullanılan rüzgâr tüneli test düzeneğinin görüntüsü.....	12
Şekil 2.3. Deneyde kullanılan yük hücresi sistemi görüntüsü.....	13
Şekil 2.4. a) $F_{araba+plaka}$ , b) $F_{plaka}$ (yalnız plaka) c) $F_{plaka2}$ (yalnız plaka bouncy etkisi göz önüne alınarak) için kuvvet ölçümü şematik görünümü.....	14
Şekil 2.5. Mikro-manometrenin görüntüsü.....	15
Şekil 2.6. Deney boyunca kullanılan parçaların konfigürasyonları için adlandırılmanın şematik görüntüsü.....	16
Şekil 2.7. Örnek adlandırma BM-SP3-N12-K15A13.....	17
Şekil 2.8. 1/32 ölçekli temel modelin (BM) görüntüsü.....	18
Şekil 2.9. Serin kuşunun a)yandan ve b)üstten şematik görüntüsü.....	19
Şekil 2.10. Solidworks programında Serin kuşundan esinlenilmiş rüzgârlıkların tasarım aşamasının görüntüsü.....	19
Şekil 2.11. Kanarya gaga geometrisinden esinlenilmiş a) Rüzgârlık 1 (SP1), b) Rüzgârlık 2 (SP2), c) Rüzgârlık (SP3) ve d) Rüzgârlık 4 (SP4)'ün 3 boyutlu tasarımı ve şematiği.....	20
Şekil 2.12. Köşeleri 10 mm yuvarlatılmış a) NACA0009, b) NACA0012 ve c) NACA0015 yarım uçak kanadı 3 boyutlu tasarımı.....	21
Şekil 2.13. Geliştirilmiş konik kuyruk tasarımlarının 3 boyutlu görüntüleri.....	22
Şekil 2.14. Mevcut çalışmadaki temel ve geliştirilmiş modelin (BM-SP3-N9-D15A13) 12 farklı Reynolds sayısına karşılık gelen sürüklenme katsayıları değişimi ile literatürde var olan Reynolds sayısı–Sürüklenme katsayısı değişimleri verilerinin kıyaslanması.....	25
Şekil 2.15. Temel model ve 6 farklı model konfigürasyonları için Reynolds sayısı bağımsızlığı grafiği.....	28
Şekil 2.16. S30A30 sinüzoidal konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü.....	30
Şekil 2.17. U30A30 üçgen konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü.....	31
Şekil 2.18. K30A30 kare konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü.....	32
Şekil 2.19. Mevcut çalışmadaki a) Temel model, b)temel modele ek rüzgârlık, c)temel modele ek konik kuyruk, d) temel modele ek yarım kanat	

	profili, e)temel modele ek rüzgârlık ve yarım kanat profili, f)temel modele ek rüzgârlık ve konik kuyruk, g) temel modele ek rüzgârlık, yarım kanat profili ve konik kuyruk görüntüleri .....	32
Şekil 2.20.	Duman tel akış görüntüleme deney düzeneği şematik görüntüsü .....	33
Şekil 3.1.	Basit modele eklenmiş a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Açı değişimi grafiği .....	36
Şekil 3.2.	Basit modele eklenmiş a) 13° ,b) 25°, ve c) 30° açısına sahip olan konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği .....	37
Şekil 3.3.	BM-SP1 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Açı değişimi grafiği .....	39
Şekil 3.4.	BM-SP1 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği.....	40
Şekil 3.5.	BM-SP1-N9 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Açı değişimi grafiği .....	41
Şekil 3.6.	BM-SP1-N9 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği .....	43
Şekil 3.7.	BM-SP1-N12 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Açı değişimi grafiği.....	44
Şekil 3.8.	BM-SP1-N12 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği .....	45
Şekil 3.9.	BM-SP1-N15 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Açı değişimi grafiği.....	46
Şekil 3.10.	BM-SP1-N15 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği .....	47
Şekil 3.11.	BM-SP2 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	49
Şekil 3.12.	BM-SP2-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	49
Şekil 3.13.	BM-SP2-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	50
Şekil 3.14.	BM-SP2-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	51
Şekil 3.15.	BM-SP3 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	51

Şekil 3.16.	BM-SP3-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	52
Şekil 3.17.	BM-SP3-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	53
Şekil 3.18.	BM-SP3-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	53
Şekil 3.19.	BM-SP4 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	54
Şekil 3.20.	BM-SP4-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	55
Şekil 3.21.	BM-SP4-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	55
Şekil 3.22.	BM-SP4-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi .....	56
Şekil 3.23.	a) BM-SP1, b) BM-SP2, c) BM-SP3 ve d) BM-SP4 kombinasyonlarına eklenen NACA tasarımlarının sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) değişimleri.....	58
Şekil 3.24.	a) BM-SP1, b) BM-SP2, c) BM-SP3 ve d) BM-SP4 kombinasyonlarına NACA ve 16 konik kuyruk tasarımlarının eklenmesi ile $C_D$ katsayısının değişimi .....	60
Şekil 3.25.	Temel modele ilave edilen a)SP1, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı, b) SP2, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı, c) SP3, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı ve d) SP4, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı kıyaslanması .....	61
Şekil 3.26.	a) BM, b) BM-SP3-N9-D15A13, c) BM-SP3-N12-D15A13 ve d)BM-SP3-N15-D15A13 için duman tel akış görüntülemesi .....	62
Şekil 4.1.	Mevcut (BM-SP3-N9-D15A13) tasarımı ile Akansu vd. 2016 çalışmasının $C_D$ -Reynolds sayısı grafiği .....	65

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ahmet body geometrisinin pasif akış kontrolü için literatür araştırması .....	4
Tablo 1.2. Ağır vasıtaların aerodinamik yapısını pasif akış kontrol ekipmanları literatür araştırmaları .....	5
Tablo 1.3. Ağır vasıtaların aerodinamik yapısında yapılan pasif akış kontrollerin sürüklenme kuvvetinde ki iyileştirmeleri literatür araştırmaları .....	9
Tablo 2.1. Reynolds sayısı bağımsızlık tablosu .....	27
Tablo 3 1. Temel modele yarım NACA tasarımlarının eklenmesi ile hesap edilmiş $C_D$ katsayıları .....	57
Tablo 4.1. Mevcut çalışma ile Sarioğlu vd. 2018 çalışmasının $C_D$ katsayıları.....	64

## SEMBOLLER DİZİNİ

<b>A<sub>f</sub></b>	: Araç ön yüzeyi iz düşümü alanı [m <sup>2</sup> ]
<b>C<sub>D</sub></b>	: Sürüklenme kuvvet katsayısı
<b>F<sub>D</sub></b>	: Sürüklenme kuvveti [N]
<b>U<sub>∞</sub></b>	: Serbest akış hızı [m/s]
<b>Re</b>	: Reynolds sayısı
<b>ν</b>	: Kinematik viskozite [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
<b>ρ</b>	: Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>φ</b>	: Ahmet modeli arka eğim açısı [°]
<b>A</b>	: Eğim Açısı [°]
<b>SP</b>	: Spoiler
<b>N</b>	: NACA
<b>D</b>	: Düz
<b>K</b>	: Kare
<b>S</b>	: Sinüzoidal
<b>U</b>	: Üçgen

## 1. GENEL BİLGİLER

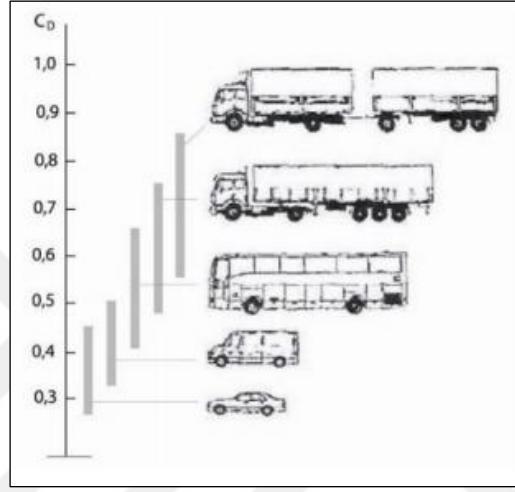
Günümüzde otomotiv endüstrisinde yakıt fiyatlarındaki artış ve kullanılan yakıtın yenilebilir olmaması bizleri yakıt tüketim miktarını azaltma yöntemleri geliştirmeye zorlamaktadır. Yakıt tüketim miktarını azaltma yöntemlerinden biri taşıta seyir halinde etki eden aerodinamik kuvvetlerin azaltılmasıdır. Bu yöntem yüzyıllardır çalışılmakta olup teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle güncelliğini korumaya devam etmektedir. Hareket halindeki kütlelerin hava ile etkileşimini inceleyen bilim dalına Aerodinamik adı verilir (Çengel ve Cimbala, 2008). Taşıta etkiyen aerodinamik kuvvetin üç bileşeni vardır bunlar akışa paralel ve zıt yönlü etkiyen kuvvete direnç (sürüklenme, drag), akışa dik yönde etkiyen kuvvete aerodinamik kaldırma (lift) ve sürüklenme ile kaldırma kuvvetlerinin düzlemine dik etkiyen kuvvete yanal (lateral) kuvvet adı verilir. Ortalama 100 km/h hızda hareket eden bir binek otomobil, gücünün % 50-70'ini aerodinamik sürüklenme kuvvetlerini yenmek için harcar (Modi vd. 1995 ve Çakmak, 2000). Buradan çıkarımla, hareket halindeki kara taşıtları için direnç kuvveti son derece önemlidir. Direnç kuvveti, formülünde de açık olarak görüldüğü üzere, hızın karesiyle doğru orantılıdır. Bu kuvvetin olumsuz etkilerini azaltmak için aracı çevreleyen akışın kontrol altına alınması gerekir ki bu da sürüklenme (drag) katsayısı karakteristiğiyle belirlenir.

Geçmişten günümüze kadar yakıt tasarrufu sağlamak amacı ile farklı akış kontrol yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler aktif ve pasif akış kontrolü olarak iki ana gruba ayrılır. Aralarındaki en temel fark akış kontrolü esnasında enerji kullanılıp kullanılmamasıdır. Akış kontrol edilirken enerji harcanması söz konusu ise aktif, değilse pasif akış kontrolü olarak sınıflandırılır. Pasif akış kontrol yöntemlerinde cisme dışarıda bir enerji verilmezken kontrol cismin geometrisinin yeniden düzenlemesiyle veya akış kontrolünü sağlayacak elemanlar eklenmesi ile gerçekleştirilmektedir (Şanlısoy, 2013).

Akış kontrol yöntemleriyle akışın yapısındaki iyileştirmeleri anlamak için deneysel veya sayısal çalışmalar yürütülmektedir. Deneysel çalışmalar yol deneyleri ve rüzgâr tüneli deneyleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Rüzgâr tüneli deneylerinde, aerodinamik karakteristikler ölçülürken, taşıt sabit tutularak hava hareket ettirilir. Bu durum hem daha ekonomik hem de kolay uygulanabilir (Demircioğlu, 2007).

Şahin 2008 yılında çeşitli kara taşıtlarının aerodinamik yapılarını incelemiş ve bu çalışmalarını Şekil:1.1.'de görüldüğü gibi özetlemiştir. Bu tabloda yola çıkarak çekici

römork araçların gövdeleri diğer araç geometrilerine kıyasla küt cisme daha fazla benzemesi sebebiyle sürüklenme katsayısının daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Küt cisimleri çevreleyen akış incelendiğinde basınç kuvvetleri sürüklenme kuvvetlerini yenmekte ve akış ayrılması meydana gelmektedir ayrıca cismin arka kısmında girdaplar meydana getirmektedir (Oğuz,2016). Çekici Römork gibi ağır taşıtlarda bu girdap bölgelerini azaltmak yani yakıt verimliliğini artırmak için birçok çalışma yapılmaktadır.



Şekil 1.1. Çeşitli sınıflardaki taşıtların aerodinamik direnç katsayıları (Şahin, 2008).

### 1.1. Literatür Araştırması

Aerodinamik özellikleri belirlemek için deneysel veya sayısal çalışmalar yapılırken karşılaşılan bazı zorluklardan ötürü, aerodinamik çalışmalarda kolaylık sağlaması adına yaygın olarak kullanılan referans taşıt modelleri geliştirilmiştir.

Ahmed vd. (1984), referans taşıt modellerinden “Ahmed Body” modelini geliştirmişler ve geliştirilen model için arka kısmına farklı eğim açıları vererek aerodinamik özellikleri nasıl etkilediğini saptamaya çalışmışlardır.  $\phi = 5^\circ, 12.5^\circ$  ve  $30^\circ$ ye karşılık gelen sürüklenme kuvvetlerini bulmak için rüzgâr tüneli deneyler yapmışlardır. Test ettikleri açılar dışındaki açılar içinde ekstrapolasyon yöntemi kullanılarak sürüklenme katsayılarını tespit etmişlerdir. Açı  $12^\circ$ ’den az olacak şekilde konumlandırıldığında akışın eğimli yüzey üzerinde kaldığını ve  $30^\circ$ ’yi geçtikten sonra ise akışın tamamen eğik bölgeden ayrıldığı sonucuna varılarak optimum açının  $12^\circ$ - $30^\circ$  arasında olduğunu

vurgulamışlardır. Bu çalışma basitleştirilmiş model olduğundan birçok çalışmaya yön vermiştir.

Aider vd. (2009), Ahmet modelini kullanmış ve aracın arka kısmındaki akış yapısını incelemişlerdir. Çalışmada sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerini azaltmak amacı ile aracın arka kısmına özgün olarak tasarladıkları yamuğu andıran aparat geliştirmiş ve çalışmalarını rüzgâr tüneli deneylerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu özgün tasarımların Ahmet modelin eklenmesi ile sürüklenme kuvvetinde %12 kaldırma kuvvetinde ise % 60 azaltma iyileşme sağlamışlardır.

Pınarbaşı vd. (2010), arka eğim açısı  $25^\circ$  olan Ahmet modeli çevresindeki akış yapısını incelenmişlerdir ve bu çalışma BEB (Büyük Eddy Benzetimi) türbülans tekniğiyle yapılmıştır. Ahmet modeli üzerinde daha önce deneysel olarak izlenen akış görüntülerini sayısal olarak incelemiş ve karşılaştırmışlardır.

Altay vd. (2014), basitleştirilmiş bir model olan MAN TGX serisi kamyon gövdesi üzerinde çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Çalışmalarını sayısal olarak gerçekleştirmişlerdir. Akışı kontrol etmek için modelin arka kısmına kuyruk plakalar geliştirmiş ve geometrilerini eliptik, üçgen ve kare olacak şekilde tasarlamışlardır. Delikli kanatların sürüklenme azalması üzerindeki etkisi araştırılmış ve eliptik kanat dikdörtgen ve üçgen kanatlar ile karşılaştırıldığında daha iyi sürüklenme azaltma kabiliyeti gösterdiğini söylemişlerdir. Eliptik kanat durumunda %11.1'lik bir azami sürüklenme azalması ile çalışmalarını sonlandırmışlardır.

İpçi vd. (2015), Ahmet modeli üzerindeki akış yapısını incelemişler ve bu çalışmada sayısal akışkanlar dinamiği yöntemi kullanmışlardır. Modelleme için  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  olmak üzere iki ayrı model kullanılmışlardır. Bu çalışmada bulunan sonuçları daha önceki deneysel çalışmalarla kıyaslamışlar ve sonuçlarla birbirine yaklaştığını görmüş fakat RNG  $k-\varepsilon$  modelinin girdap bölgelerinde ve hız profillerinde deneysel verilere daha çok yaklaştığı sonucuna varmışlardır.

Zafer vd. (2016), Ahmed cismine ait  $\varphi = 25^\circ$  ve  $35^\circ$  eğim açıları kullanarak ve  $k-\varepsilon$  türbülans modeli kullanılarak incelenmişlerdir. Bu çalışma sonucunda aracın arka bölümünde birbirine ters yönde dönen iki girdap yapısının oluştuğu sonucuna varmışlardır. Yapılan çalışmayı daha önceki deneysel çalışmalarla kıyaslamışlar ve birbirine yakın sonuçlar bulunduğundan dolayı çalışmanın doğruluğunu gözler önüne sermişlerdir.

Tablo 1.1. Ahmet body geometrisinin pasif akış kontrolü için literatür araştırması

Yıl	Yazar	Yöntem	Türbülans Modellemesi
1984	Ahmed vd.	Deneysel	-
2009	Aider vd.	Deneysel	-
2010	Pınarbaşı vd.	Sayısal	LES
2014	Altaf vd.	Sayısal	K-Omega
2015	İpçi vd.	Sayısal	k-ε ve RNG k-ε
2016	Zafer vd.	Sayısal	k-ε

Ağır vasıtaların aerodinamik yapısını etkin bir şekilde kontrol edip sürüklenme direnç katsayısını azaltmak için çeşitli pasif akış kontrol ekipmanlarının geliştirildiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Cooper vd. (2003), ağır vasıtalar için tasarlanan ekipmanları başlıca tavan üstü yönlendirici (spoiler), çekici-römork arası kaplama, şasi eteği ve konik kuyruk olarak tanımlamışlardır.

Håkansson ve Lenngren (2010), çalışmalarında CFD kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Akış kontrolünü sağlamak amacıyla farklı geometriler geliştirmişlerdir. Bu modeller çekici römork aralığındaki boşluğu da kapsayacak şekilde tasarlanmış tavan üstü yönlendiriciler, çeşitli plakalar (çekici römork arasına geliştirilmiş dikey konumlandırılan iki plaka, römorkün ön kısmının çerçevesine tasarlanmış iki dikey plaka ve iki yatak plaka ile bu tasarımların kombinasyonu) şasi etekleri (kısa, kapsamlı ve aracın tüm tabanını kaplayacak şekilde konumlanmış), römork üzerine tasarlanmış yarım gözyaşı profili (teardrop) ve konik kuyruk olarak tanımlanmışlardır. Tüm konfigürasyon durumunda %22 sürüklenme azalması elde etmişlerdir. Bu iyileştirmelerin yakıt tasarrufuna ne derece yansıdığını tartışmışlardır.

Waltzer vd. (2015), çekici römork üzerinde aerodinamik özellikleri iyileştirmek için kabinle gövde arasına yapılan doldurucu parça, şasi eteği ve konik kuyruk gibi iyileştirmelere gitmişlerdir. Akışı kontrol etmişler ve tüm parçaların konfigürasyonunda %25.2'lik bir aerodinamik iyileşme sağlamışlardır.

Hwang vd. (2016), ağır vasıtaların altından geçen havanın akışının tekerlek yuvarlanmalarıyla önemli sürtünme oluşturduğunu vurgulamışlar ve azaltıcı cihazlara örnek olarak gövdenin alt kısmı için farklı konumlandığı şasi etekleri tasarlamışlardır.

Bayındırlı (2017) yapmış olduğu çalışmada ağır vasıta araçlar için rüzgârlık (spoiler) tasarımları geliştirmiştir. Rüzgârlık tasarımlarının akışın aerodinamik yapısını iyileştirmede en etkili parametre olduğunu vurgulamıştır.

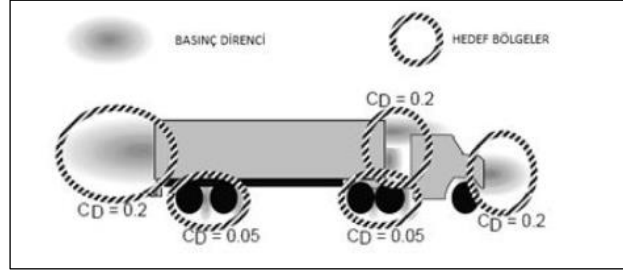
Desai vd. (2017), Çalışmalarında, esas olarak araç gövdesinin arka ucundaki akış ayrımını geciktirmek için kullanılan yöntemlere odaklanmışlardır. Bu yöntemlerin rüzgârlık kuyruk plakası, girdap jeneratörü ve arka kuyruk açısının değiştirilmesi gibi çeşitli teknikler olabileceğini açıklamışlardır.

Tablo 1.2. Ağır vasıtaların aerodinamik yapısını pasif akış kontrol ekipmanları literatür araştırmaları

Yıl	Yazar	İyileştirme Tasarımları
2003	Cooper vd.	Çekici-römork arası kaplama, şasi eteği, konik kuyruk
2010	Håkansson ve Lenngren	Rüzgârlık, çeşitli konumlandırılmış plakalar, konik kuyruk, şasi eteği ve yarım gözyaşı profili
2015	Waltzer vd.	Doldurucu parça, şasi eteği ve konik kuyruk
2016	Hwang vd.	Şasi eteği
2017	Bayındırlı vd.	Rüzgârlık (spoiler)
2017	Desai vd.	Rüzgârlık, kuyruk plakası, girdap jeneratörü ve arka kuyruk eğimi

Literatürde yapılan birçok çalışmada iyileştirmelerde ki amaç sürüklenme (direnç) kuvvetini azaltmak yönünde olmuştur. Buradan yola çıkarak yapılan iyileştirmelerde, direnç kuvvetleri hesap edilmiş, bu sürüklenme kuvvetleri başlangıçtaki kuvvetlerle olan yüzde iyileştirmelerini gözler önüne serilmiş ve değerlendirilmiştir.

Wood ve Bauer (2003), bir çekici römork araçta aerodinamik direnç oluşturan bölgeleri bulmak için çalışmalarını yürütmüş ve sonuçlarını Şekil 1.2’de görüldüğü üzere vermişlerdir. Burada direnç oluşturan bölgeler için aracın ön yüzeyinde, tekerleklerinde, çekici ve römork arasındaki boşlukta ve taşıtın arkasında oluştuğunu gözler önüne sermişlerdir



Şekil 1.2. Ağır vasıtalarındaki direnç bölgeleri (Wood ve Bauer,2003).

Modi vd. (1995), çekici römork arasına 4 kenarlı bir çita modeli geliştirerek yaptığı tasarımı, gerçek yolda deneyerek ve rüzgâr tüneline de testlerini gerçekleştirerek aerodinamik direnç ölçümlerini hesaplamışlardır. Rüzgâr tüneline verileri, tam ölçekli kapalı kasa kamyon modeliyle yapılan deneysel testleri doğrulamıştır. 1/6 ölçeğinde bir tır modeli ile yapılan rüzgâr tüneline deneyinde aerodinamik direncin % 31.4 azaldığı, yol testinde ise %16.6 bir azalma olduğunu gözler önüne serilmiştir.

Landman vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yedi adet pasif sürüklenme azaltma aygıtı (temel, pratik şasi eteği, kapsamlı şasi eteği, tüm şasi eteği, çekici-romork arası kaplama, konik kuyruk eklemesi, tüm ekipmanların konfigürasyonu), modern bir traktör römorkunda sürüklemeye yönelik pratik sınırları anlama amacıyla ağır kamyon modelinde deneysel olarak incelenmiştir. Rüzgâr tüneline deney sonuçlarına göre sürüklenme kuvveti yaklaşık %31 azalmıştır.

Miralbes (2012), aerodinamik hesaplamalarını CFD kullanarak yapmıştır. Üç farklı tasarım geliştirmiş olup bunlar konik kuyruk, ön kısım konisi ve şasi eteği olarak isimlendirilebilir. Her bir konfigürasyon tek tek ve tüm konfigürasyonların tümü birlikte analiz edilerek tüm konfigürasyon durumunda %23 sürüklenme azalması elde edilmiştir.

Salari vd. (2012), NASA Ames 80'x120' NFAC tam ölçekli rüzgâr tüneline tesisinde ulaştırmada yakıt ekonomisini izleme testi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada çekici römork arası kaplama ve şasi eteği iyileştirmeleri sabit tutularak farklı boyut ve ölçülerde konik kuyruk tasarımları ile 24 farklı model üzerinde çalışmışlardır. Deneylerde  $C_D$  katsayıları hesaplanarak tasarımlar değerlendirilmiştir. Tasarımlar içerisindeki en iyi sonucun "boşluk kaplama + şasi eteği + 32inç konik kuyruk" olduğu belirtilmiş ve bunun sürüklenme kuvvetini %26.1 azalttığı kanısına varmışlardır.

Khosravivd. (2015), yapmış oldukları çalışmada temel olarak rüzgârların önemine vurgu yapmışlardır. Aerodinamik yapıyı geliştirmek amacıyla araç gövde yapısına çeşitli

tamamlayıcı rüzgârlık ön kanat, çekici römork arası iyileştirme, şasi eteği, römork ön kısım kaplama, römork arka kısım yönlendirici ve konik kuyruk gibi tasarımlar geliştirmişlerdir. Bu amaçla, araç gövde yapısı çeşitli ek parçalar ile modellenerek hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) kullanılarak incelenmiştir. Yapılan sayısal hesaplama sonucunda aerodinamik yapıyı iyileştirmedeki en etkili parçanın rüzgârlık olduğunu ve aerodinamik direnç katsayısını tek başına bile %20 oranında azalttığını, tüm tasarımların konfigürasyonunda ise % 41'lik azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Bayındırlı vd. (2015), yaptıkları çalışmada çekici römork üzerinde oluşan aerodinamik yapıları sayısal olarak Fluent paket programında incelemişlerdir. Toplam sürüklenme kuvvetinin % 94.2'sinin basınç % 5.8'inin sürtünme kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir.

Sarıoğlu vd. (2016), yaptıkları çalışmada yapay bir sinir ağı kullanarak, çekici römork bir araca ilave edilen rüzgârlığı farklı konumlandırarak sürüklenme kuvvetlerini incelemişlerdir. ANN modelleri, römork ön köşesine sıfır seviyesine sahip olan rüzgârlığın pozisyonlarının, -2 mm, -4.5 mm, -9 mm, +4.5 mm ve +9 mm olmak üzere 5 farklı rüzgârlığı, rüzgârlık içermeyen kamyonun sürüklenme katsayıları ile kıyaslanmışlardır. En iyi sonucu veren rüzgârlığın -2mm de konumlandırılan rüzgârlık pozisyonu için sürüklemadaki azalmayı % 22.6 olarak elde etmişlerdir.

Norouzil vd. (2016) yaptıkları bir çalışmada, kamyonlarının sürüklenme katsayıları üzerindeki etkileri üzerine sayısal bir çalışma yürütmüşlerdir. Sayısal simülasyonlar FLUENT kullanılarak gerçekleştirilmiş. Çalışmanın sonucunda, iyileştirme tasarımlarından biri olan römork üzeri dışbükey çatının kayda değer sürüklenme azaltımının %25 olduğunu vurgulamışlardır.

Akansu vd. (2016), çalışmalarında rüzgâr tüneline 1/32 ölçekli bir ağır vasıta aracın üzerinde Reynolds sayısı bağımsızlığını kullanarak üç farklı modelin kombinasyonunun aerodinamik direnç katsayılarını deneysel olarak incelemişlerdir. Model 1 rüzgârlık yapısı, Model 2 rüzgârlığa ek olarak geliştirilen pasif akış kanalı kullanılmasıyla model 3 rüzgârlık, pasif akış kanalı ve aracın arkasına geliştirdikleri bir yönlendirici kullanılarak sırasıyla sürüklenme kuvvet katsayıları hesaplanmıştır ve aerodinamik iyileştirme oranlarını sırasıyla % 15.71, % 22.46 ve % 25.58 olarak elde etmişlerdir.

L. Salati vd. (2017), 1/10 ölçekli bir model üzerinde çekici-römork arası ve römork arkasına tasarımlar geliştirmişlerdir. Deneyler hem sayısal hem de deneysel olarak

yürütülmüştür. Eklenen parçalar ile sürüklenme kuvvetinde maksimum % 9.5 azalma gözlemlenmiştir.

Bayındırlı (2017), rüzgâr tüneline yer alan kamyon ve treylerden oluşan ağır vasıta modelinde 6 farklı serbest akış hızında yüzey basıncı ve sürtünme kuvveti ölçümü yapılmıştır. Kamyonun 3 farklı konfigürasyonunun da aerodinamik direnç katsayıları belirlenmiştir. Bu modeller basit model, standart rüzgârlık ve yeni tasarım rüzgârlıklardan oluşturulmuştur. Bu çalışmada, rüzgârlık ile yapılan çalışma % 11.37'lik bir aerodinamik iyileştirme ile sonuçlanmıştır.

Kim vd. (2017a), toplam sürüklemenin yüzde ellisinin bir aracın çekici kısmının üzerinde ve traktör ile römork arasında boşlukta oluştuğunu vurgulamışlardır. Daha sonra kamyonun üç farklı geometride rüzgârlık geliştirmişlerdir. Bunlar temel, kenarları değişken açılarla yuvarlatılmış ve gelişmiş yuvarlatmalara sahip tavan üstü yönlendiriciler olmuştur. Çalışmalarında rüzgâr tüneli testleriyle, hem deneysel hem de sayısal benzetim (LES) yoluyla niceliksel olarak incelemişlerdir. Akış karakteristiklerini ölçmek için PIV ölçüm tekniği kullanmışlardır. Bu incelemeler, 15 tonluk bir kamyonun 1/8 oranında küçültülerek Reynolds sayısı bağımsızlığından yararlanılarak yapılmıştır. En iyi sonuç olan geliştirilmiş yuvarlatmaya sahip olan tavan üstü yönlendiricinin aerodinamik direnci %18.6 azalttığını görmüşlerdir.

Kim vd. (2017b), daha önceki makalelerinde tasarlamış oldukları tavan üstü yönlendirici ekipmanlara çekici-römork arası boşluğu kapatacak şekilde ilave iki tasarım geliştirmişlerdir. Çalışmalarını rüzgâr tüneline PIV kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda bu iyileştirmelerin sürtünme katsayısını yaklaşık % 11.1 ve % 17.5 oranında azalttığını tespit etmişlerdir.

Bayındırlı vd. (2018), 1/64 ölçekli bir otobüs üzerinde enerji harcanmadan akış kontrol edilmiş olup, aerodinamik direnç katsayısı bulunması için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi kullanılmışlardır. Reynolds sayısı 173000-346000 aralığında alınmıştır. Akışı kontrol etmek için 15mm çapında eşkenar üçgen şeklinde bir model geliştirilmiştir ve tamponun ön kısmına monte edilmiştir. Sürüklenme katsayısını yaklaşık %5.27 oranında iyileştirme ile çalışmalarını sonlandırmışlardır.

Tablo 1.3. Ağır vasıtaların aerodinamik yapısında yapılan pasif akış kontrollerin sürüklenme kuvvetinde ki iyileştirmeleri literatür araştırmaları

Yıl	Yazar	Pasif Akış Kontrol Ekipmanları	Sürüklenme Kuvveti İyileştirme [%]
1995	Modi vd.	Çekici-römork arasına çıta	31.4-16.6
2010	Landman vd.	Şasi eteği, çekici-römork arası kaplama ve konik kuyruk	32
2012	Mirables	Konik kuyruk, ön kısım konisi ve şasi eteği	23
2012	Salari vd.	Çekici-römork arası kaplama, şasi eteği ve konik kuyruk	26.1
2015	Khosravi vd.	Ön kanat, çekici römork arası iyileştirme, şasi eteği, römork ön kısım kaplama, yönlendirici ve konik kuyruk	41
2016	Sarioğlu vd.	Rüzgârlık	22,6
2016	Norouzi vd.	Römork üzeri dışbükey çatı	25
2016	Akansu vd.	Rüzgârlık, pasif akış kanalı ve yönlendirici	25.58
2017	Salati vd.	Çekici-römork arası ve römork arkasına kütük	-
2017	Bayındırlı	Rüzgârlık	11.37
2017	Bayındırlı	Rüzgârlık	20,9
2017a	Kim vd.	Rüzgârlık	18.6
2017b	Kim vd.	Çekici-römork arasını kaplayacak şekilde rüzgârlık	17.5
2017c	Bayındırlı vd.	Tamponun ön kısmına monte edilen eşkenar üçgen tasarımı	23

Doğa yaşam boyunca mühendislere teknik zorlukları çözmeye ilham kaynağı olmuştur. Bu bağlamda çalışmalarını yürütmüş olan birçok araştırmacı bulunmaktadır.

Kim vd. (2017c) yaptıkları çalışmada, Deniz Aslanından esinlenilmişler ve rüzgârlık tasarımları geliştirilerek sürüklenme katsayısındaki değişimleri sayısal olarak incelemiştir. CRF'li (deniz aslanından esinlenilmiş tasarım) ve CRF'siz ölçekli araç modellerinin (15 ton 1:8, 5 ton 1:6 ve 15 ton 1:15) etrafındaki akış karakteristikleri (örneğin, ortalama hız alanı ve türbülans kinetik enerjisi) parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi kullanılarak sonuçları değerlendirmişlerdir. Bu deneylerden, gelişmiş doğadan esinlenilmiş CRF, 15 ton ve 5 ton ağır araç modellerinin sürüklenme katsayısı sırasıyla yaklaşık %20 ve %23 oranında düşürülmüştür.

Hedenström ve Liechti (2001), göç esnasında bazı göçmen kuşların radar ile ses dalgalarını incelemiştir. Bu radar verilerini göz önüne alarak, kuşların iniş esnasında ses

dalgası yaymadığını söylemişlerdir. Daha sonra radarda aldıkları yolu, iniş açılarını ve süreleri ölçerek kayıt altına almış ve bu veriler ışığında hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Sürüklenme katsayıları hesap edilerek tablo haline dönüştürülmüştür. Bazı kuş türlerinin (örn: kanarya, sinekkapan) geometrilerinden dolayı sürüklenme katsayılarının oldukça düşük olduğu saptanmıştır. (örn: kanarya:0.21 sinekkapan:0.19).

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı, literatürde var olan iyileştirici tasarımlardan farklı olarak özgün geometrilerde tasarımlar geliştirilerek akış içerisinde çekici römorkların aerodinamik yapısını incelemektir. Bu çalışmada çekici römorkların tercih edilme sebeplerinden bazıları; sürüklenme kuvvetlerinin yüksek olması ve yakıt maliyetinin yüksek olmasıdır. Araç çevresindeki akışı pasif şekilde kontrol etmek için; doğadan esinlenilmiş rüzgârlık, yarım uçak kanadı profili tasarımları ve çeşitli geometrilerde farklı ölçeklendirilmiş konik kuyruklar tasarlanmış aerodinamik direnci iyileştirerek yakıt tasarrufuna katkı sağlanması hedeflenmiştir.

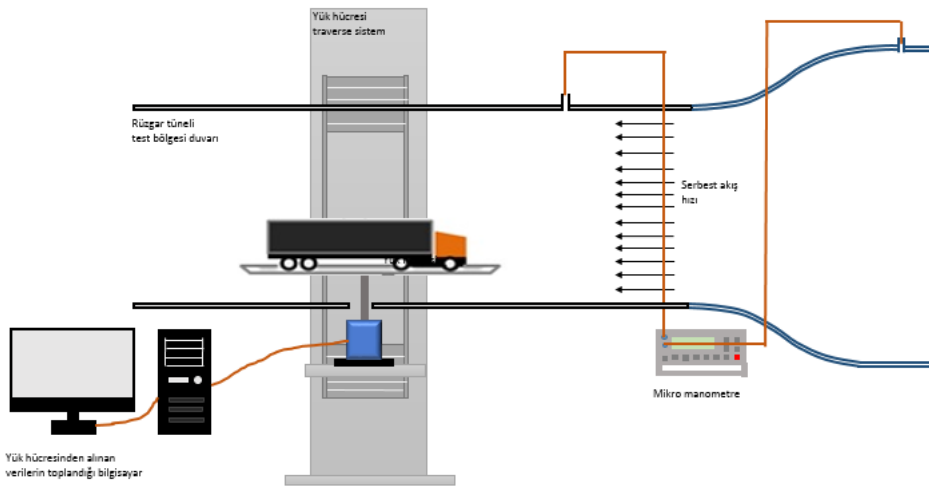
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deney Düzenegi

Deney düzenegi rüzgâr tüneli, taşıt modelleri, yük hücresi ve veri toplama sistemi, mikro-manometre ve pitot statik tüpü, üç boyutlu yazıcı, duman üretici sistem ve fotoğraf makinesinden oluşmakta ve her biri alt başlıklar halinde detaylı şekilde anlatılmaktadır.

#### 2.1.1. Rüzgâr Tüneli

Deneyler Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Aerodinamik Akış Kontrol Laboratuvarında bulunan açık çevrim emmeli tip rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr tüneli şekil 2.1.'da görüldüğü gibidir. Rüzgâr tüneli test alanı ölçüleri 40 cm x 40 cm x 100 cm'dir. Deneyde 5 m/s ve 25 m/s arasında 12 farklı serbest akış hızında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma hızlarının elde edilmesi için ise 0-50 Hz aralığında ve 0,1 Hz adıma sahip frekans inverter kullanılmıştır. Tünel içerisindeki akışı sağlamak için ise 4 kW gücünde ve 700mm çapında aksel fan bulunmaktadır. Ayrıca türbülans şiddeti % 1'den daha küçüktür.



Şekil 2.1. Deney test düzeneginin şematik görüntüsü

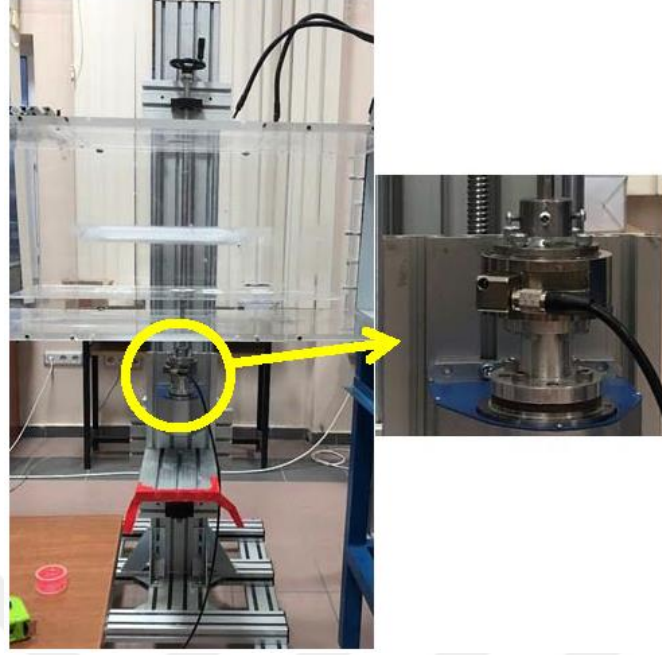


Şekil 2.2. Deneyde kullanılan rüzgâr tüneli test düzeneğinin görüntüsü

### 2.1.2. Yük Hücresi Ölçümleri

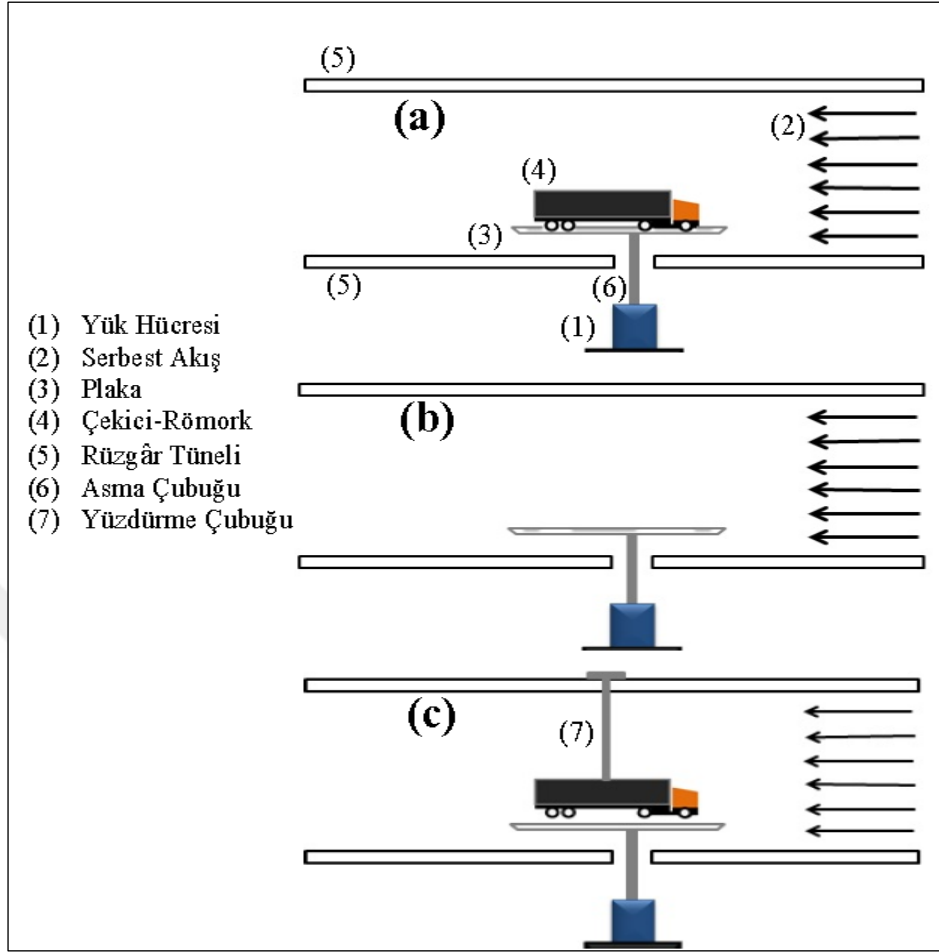
Akış içerisindeki katı cismin, yüzeyine dik yönde etki eden basınç kuvvetleri ve ayrıca yüzeyine paralel yönde etki eden kayma kuvvetleri mevcuttur. Bu iki kuvvetin bileşkesine sürükleme kuvveti denir ve sürükleme kuvveti basınç ile sürtünmelerden kaynaklanır. Taşıtların sürükleme kuvvetinin büyük bir bölümü basınç kuvvetinden meydana gelmektedir. Bu sürükleme kuvveti ise yoğunluk, hız ve yüzey alanına bağlı olup boyutsuz ifadesi direnç katsayısı olarak tanımlanır (Akansu, 2016).

Mevcut çalışmada direnç kuvvet katsayısının bulunması için kuvvet değerlerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu kuvvet değeri ise ATI yük hücresi kullanılarak bulunmuştur. Deneyde kullanılan bu yük hücresi altı bileşenli GAMA model olup  $F_x$  ve  $F_y$  yönlerinde ki kuvvetleri  $\pm 32N$ 'a,  $F_z$  kuvvetini ise  $\pm 100N$ 'a kadar ölçebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca 3 yönde de moment kuvvetleri ise ( $M_x$ ,  $M_y$  ve  $M_z$ )  $\pm 2.5Nm$  aralığında ölçüm alınabilmektedir. Yük hücresinin deney düzeneğine bağlandığı konumuyla birlikte Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Deneyde kullanılan yük hücresi sistemi görüntüsü

Araç dikdörtgen bir plaka üzerine monte edilerek rüzgâr tüneline yerleştirilmiş ve bu sayede  $F_{\text{araba+plaka}}$  kuvveti yük hücresi vasıtası ile ölçülmüştür. Daha sonra araç etki eden  $F_{\text{net}}$  kuvvetinin bulunması için plaka kuvvetine ihtiyaç duyulmuştur. Bu kuvvet bulunurken yalnız plakanın kuvveti ( $F_{\text{plaka}}$ ) ölçülmüştür. Daha sonra arabanın çevresinde oluşan interference (aracın plakaya etkisi) etkisinin plaka kuvvetini etkilediği düşünülmüş, araba plakaya değmeyecek şekilde asılarak interference etkisine sahip plakanın kuvveti ( $F_{\text{plaka2}}$ ) bulunmuştur. Interference etkisi göz önüne alındığında araç plakaya 1 mm mesafede asma çubuğu vasıtasıyla asılarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 2.4. a)  $F_{\text{araba+plaka}}$ , b)  $F_{\text{plaka}}$  (yalnız plaka) c)  $F_{\text{plaka2}}$  (yalnız plaka bouncy etkisi göz önüne alınarak) için kuvvet ölçümü şematik görünümü

### 2.1.3. Mikro-manometre

Çalışma esnasında sıcaklık, atmosfer basıncı ve dinamik basınç ölçümleri için ManoAir500, mikro-manometresi kullanılmıştır. Pitot tüpü rüzgâr tünelinin üst bölümünden akışa paralel olacak şekilde yerleştirilmiş hortumlar ile dijital mikro-manometre'ye bağlanmıştır.



Şekil 2.5. Mikro-manometrenin görüntüsü

#### 2.1.4. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı

3D yazıcılar katmanlı üretim diye adlandırılan çalışma presibine sahiptir ve bu üretim esnasında sert plastik diye bilinen filament malzemesi kullanır (URL-1). Tasarımlar ABS filament kullanılarak MY Z35 3D yazıcısında basılmıştır.

Bilgisayar ortamında Solidworks paket programında tasarımları tamamlanan parçalar kayıt esnasında “.stl” (Stereolithography) uzantısına dönüştürülerek Cura paket programı aracılığı ile MY Z35 3D yazıcısına aktarılmış ve üretimleri gerçekleştirilmiştir. Yazıcıda üretilmiş olan parçaların yüzey kalitelerini artırmak amacı ile macun malzemesi kullanılarak boşlukları doldurulmuş daha sonra kuruması beklenmiştir. Sonraki aşamada, yüzeyleri pürüzsüz hale getirmek için zımparalanmış ve yüzey nemli bir bezle tozlardan arındırılarak Polisan mat siyah sprey boyası ile 3 kat boyanmıştır.

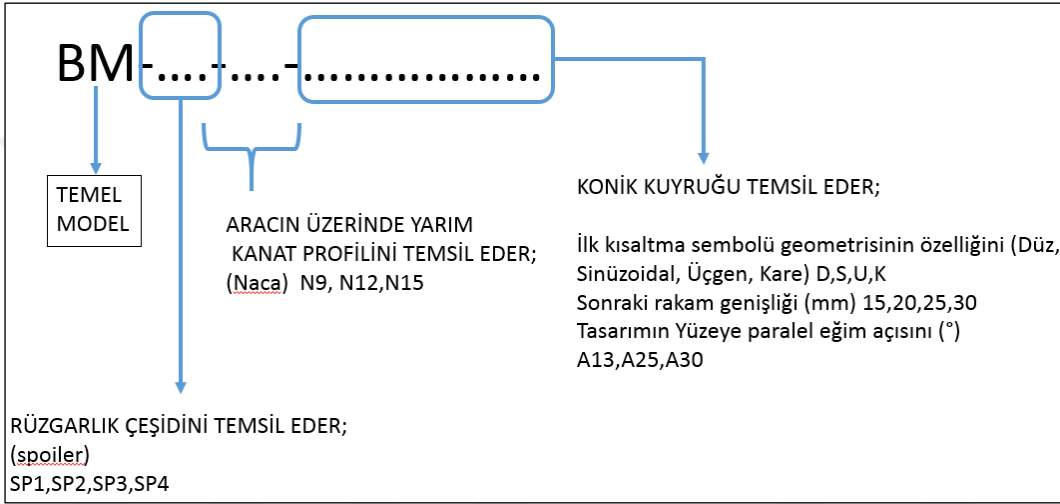
#### 2.1.5. Fotoğraf Makinası

Akış görüntüleme deneyleri esnasında kullanılan fotoğraf makinası Fujifilm Finepix Hs20exr'dır.

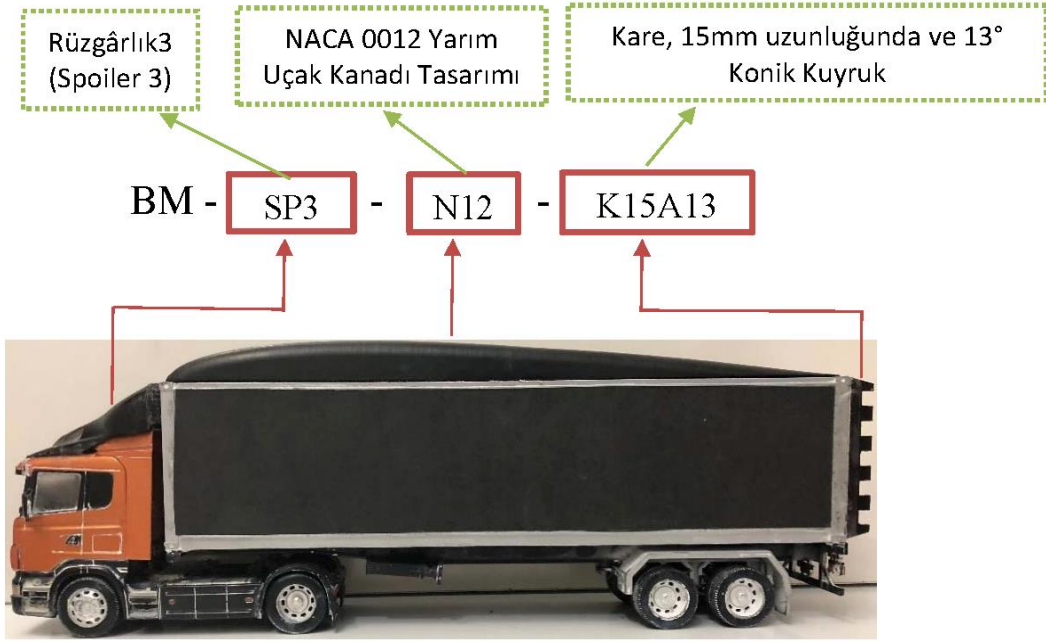
## 2.2. Pasif Akış Kontrolü İçin Geliştirilmiş Modeller

### 2.2.1. Adlandırma

Deneylere başlamadan önce kolaylık sağlaması açısından tasarımlara montajlandıkları bölgeler göz önüne alınarak sırasıyla kısaltmalar yapılmıştır. Burada BM temel modeli ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Deney boyunca kullanılan parçaların konfigürasyonları için adlandırılmanın şematik görüntüsü



Şekil 2.7. Örnek adlandırma BM-SP3-N12-K15A13

## 2.2.2. Modeller

Bu bölümde, temel ve geliştirilmiş modeller, araca konumlandırıldığı bölgeleri ile birlikte açıklanmaktadır.

### 2.2.2.1. Temel Model

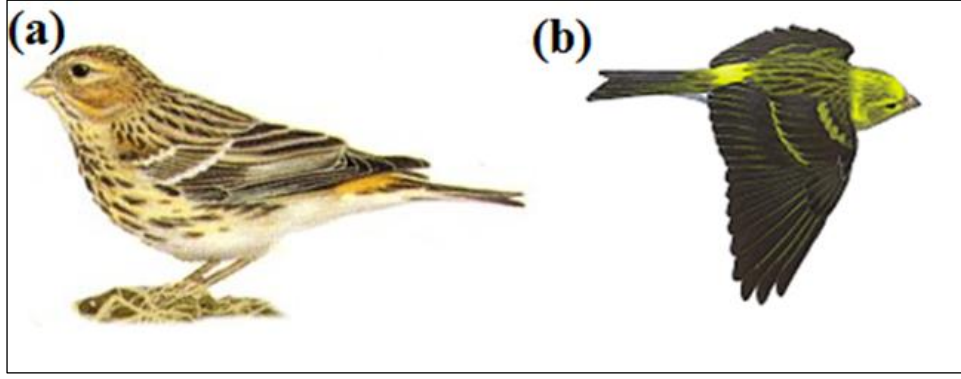
Deneyde çekici römork olarak Şekil 2. 7.'de görülen SCANIA marka aracın 1/32 boyutunda küçültülmüş lisanslı ürünü kullanılmıştır. Aracın boyutları 8,3cm x 13,3cm x 47,1cm'dir. Deneylere emmeli tip rüzgâr tüneline temel modelin sürüklenme kuvveti bulunarak başlanmıştır. Bu çalışmada araç üzerine geliştirilen rüzgârlıklar, geliştirilmiş kanat modelleri ve konik kuyruklar kullanılarak pasif akış kontrolü sağlanmıştır. Bu konfigürasyonların sürüklenme kuvvetleri bulunarak temel modelle kıyaslanmıştır.



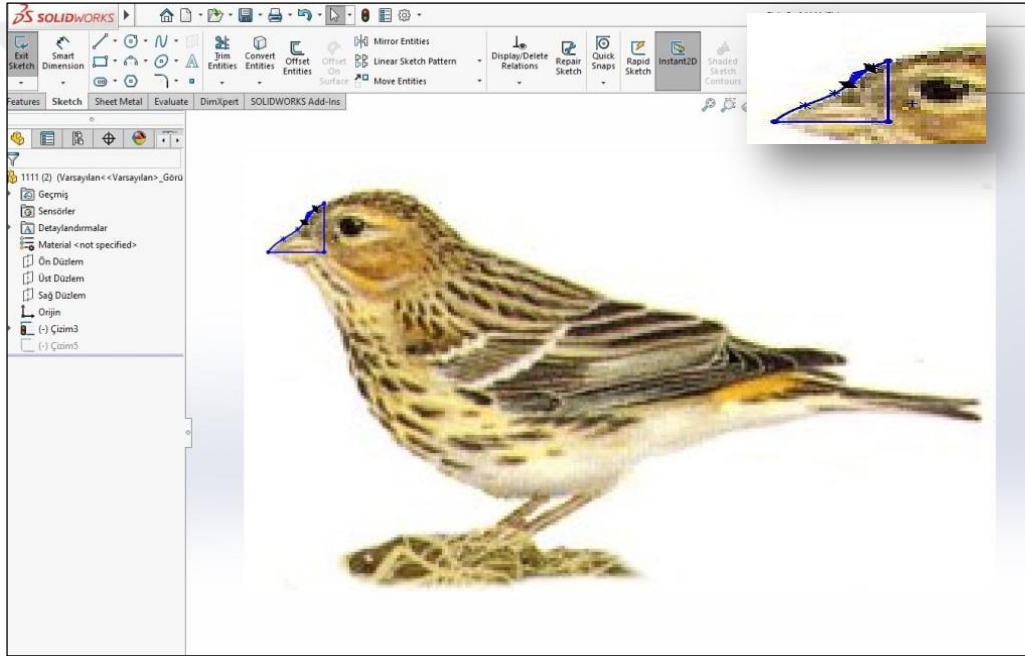
Şekil 2.8. 1/32 ölçekli temel modelin (BM) görüntüsü

### 2.2.2.2. Geliştirilmiş Rüzgârlık (Spoiler) Modelleri

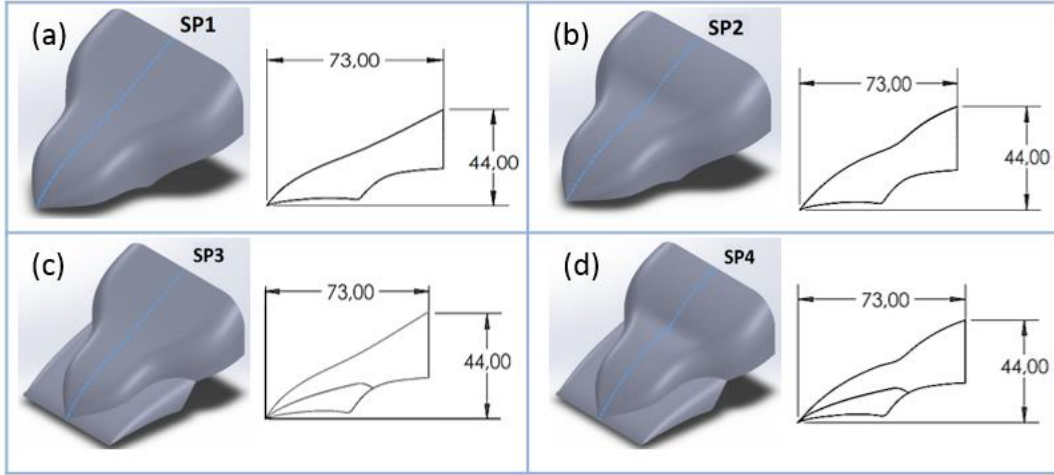
Bu çalışmada dört farklı rüzgârlık tasarımı geliştirilmiştir. Rüzgârlık tasarımları çekici üzerine konumlandırılmış ve bu sayede pasif akış kontrol elemanı görevi görmesi sağlanmıştır. Geçmişten günümüze kadar doğadan esinlenilerek tasarlanan birçok tasarım hayatımızı kolaylaştırmıştır (Kim vd. 2017). Bu sebeple doğadan esinlenilerek rüzgârlık tasarımı yapılması hedeflenmiştir. Hedenström vd. 2001 yılında yapmış oldukları çalışmada göçmen kuşların göç esnasında sürüklenme kuvvetlerini ölçmüş ve bunun sonucunda serin geometrisinin sürüklenme kuvvetinin oldukça düşük olduğunu bulmuşlardır. Rüzgârlık geliştirirken bu makaleden esinlenilerek tasarımlar yapılmıştır. Tasarıma başlamadan önce göç halindeki serin kuşu detaylı olarak incelenmiş Şekil 2.8’de verilen kuşun şematik resimleri Solidworks ortamına aktarılarak, çekicinin geometrisine uygun ölçüde rüzgârlık tasarlanmıştır. Geliştirilen diğer tasarımda burun kısmının kavisi azaltılarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Mevcut iki tasarımın çekici üzerini tamamen kaplamamasından dolayı köşe kısımlarında oluşabilecek girdaplar düşünülerek tasarımlar tüm çekicinin üst bölgesini kaplayacak şekilde uzatılmıştır. Bu sayede dört farklı tasarım geliştirilmiştir.



Şekil 2.9. Serin kuşunun a) yandan ve b) üstten şematik görüntüsü



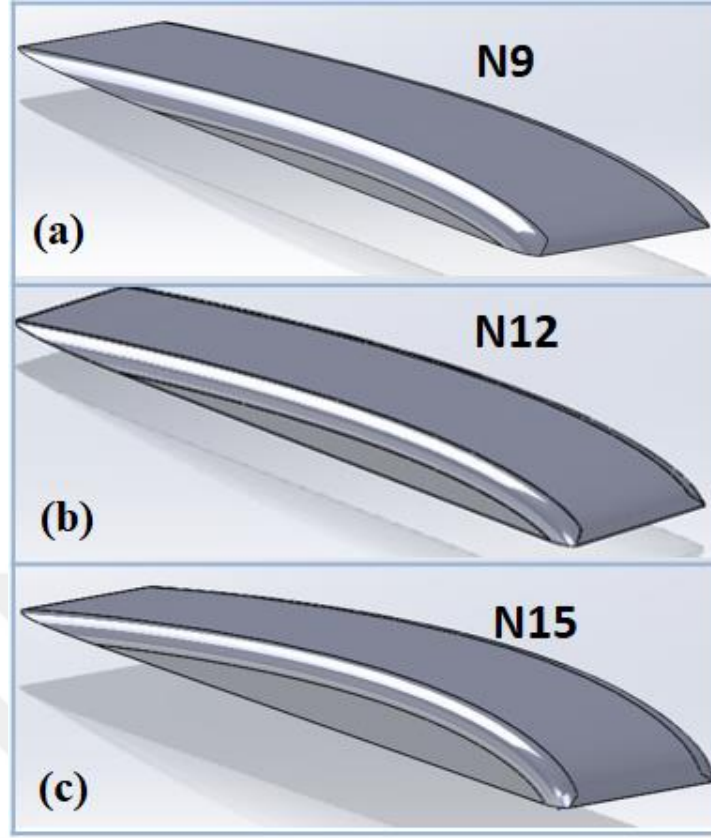
Şekil 2.10. Solidworks programında Serin kuşundan esinlenilmiş rüzgârlıkların tasarım aşamasının görüntüsü



Şekil 2.11. Kanarya gaga geometrisinden esinlenilmiş a) Rüzgârlık 1 (SP1), b) Rüzgârlık 2 (SP2), c) Rüzgârlık (SP3) ve d) Rüzgârlık 4 (SP4)'ün 3 boyutlu tasarımı ve şematığı

### 2.2.2.3. Geliştirilmiş Yarım Uçak Kanat Profili Modelleri

Mevcut çalışmada römork aracın üst yüzeyinde kullanmak üzere üç farklı pasif akış kontrol aparatı geliştirilmiştir. Bu aparatlar yarım uçak kanat modellerinin geliştirilmesi ile tasarlanmıştır. Yapılan bu tasarımlarda M. Sarıoğlu (2018) ve Kim vd. (2017a) çalışmalarından esinlenilmiştir. M. Sarıoğlu (2018), çalışmasında römork üzerine yarım uçak kanat profillerini NACA 0006, NACA 0009, NACA 0012, NACA 0015 ve NACA 0018 olmak üzere beş farklı yarım uçak kanadı profilini römork üzerinde kullanarak aerodinamik yapıları incelemiştir. Çalışmalarında en iyi sonucu yarım kanat NACA0012 kanat profilinde elde etmişlerdir. Ayrıca Kim vd. (2017a), çalışmalarında keskin kenara sahip rüzgârlıkların kenarlarına çeşitli ölçülerde yuvarlatmalar yapmış ve optimum yuvarlatmayı 10 mm yuvarlatılmış rüzgârlıkların verdiğini göstermiştir. Sarıoğlu (2018), çalışmasından esinlenilerek NACA0012 tasarımı (en iyi aerodinamik sonucu veren tasarım) ile buna ilaveten bir önceki tasarım NACA0009 ve bir sonraki tasarım NACA0015 kullanılmaya karar verilmiştir. Mevcut çalışma daha önceki çalışmadan farkı olarak bu yarım uçak kanadı tasarımların keskin köşeleri 10mm çapında yuvarlatılmıştır. Bu da çalışmanın özgün yanını oluşturmaktadır. Burada amaç yarım kanat profilleri sayesinde akışın araç üzerine tutunmasını sağlamak ve aerodinamik özelliklerini iyileştirmektir.



















































Şekil 2.12. Köşeleri 10 mm yuvarlatılmış a) NACA0009, b) NACA0012 ve c) NACA0015 yarım uçak kanadı 3 boyutlu tasarımı

#### 2.2.2.4. Geliştirilmiş Konik Kuyruk Modelleri

Bu çalışmada konik kuyruk etkisinin incelenmesi için 48 adet konik kuyruk tasarlanmıştır. Bu tasarımlar yapılırken değişken parametreler olarak konik kuyruk uzunluğu, römork ile kaç derece açı yaptığı ve konik kuyruk uç kısmı şekilleri göz önüne alınmıştır. Konik kuyruk tasarlanırken akışın römorku terk edeceği uç kısımda tek yönlü, iki bölgede, üç bölgede veya dört bölgesini içine alacak şekilde saran farklı konik kuyruk tasarımları mevcuttur. Aerodinamik özellikler incelendiğinde çekici-römork araca etki eden sürüklemeyi en etkili şekilde azaltmaya yardımcı konik kuyruğun dört bölgesini içine alan tasarım olduğu sonucuna varılmıştır (Salari vd. 2012). Bu ifadeden yola çıkılarak dört bölgeyi saran konik kuyruk tasarımları gerçekleştirmişlerdir. Optimum açılarının  $12^{\circ}$ - $30^{\circ}$  (.R. Ahmed vd. 1984),  $25^{\circ}$  (Khosravi vd. 2015) ve  $13^{\circ}$  (Håkansson Vd.2010) olduğu daha önceki çalışmalarda görülmüştür. Bu sebeple römorkla konik kuyruk arasındaki açı  $13^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  ve  $30^{\circ}$  olarak seçilmiştir. Konik kuyruk uzantılarının boyutları için Håkansson

vd.2010' da yapmış oldukları çalışmada şasi eteğinin konik kuyruk uzantısının römorkun genişliğinin  $\frac{1}{4}$  ü kadar olması gerektiği sonucuna varmışlardır. Landman vd. 2010 yılında yaptıkları başka bir çalışmalarında ise 15 mm olması gerektiğini vurgulamıştır. Bu sebeple konik kuyruk boyutlarını 15mm, 20mm, 25mm ve 30mm olmak üzere dört farklı boyutta seçilmiştir. Hasheminejad vd. 2017 yılında düz plakaların üzerine sinüzoidal, üçgen ve uç çıkıntıları tasarlayarak akış yapılarının iyileştiği sonucuna varmasından esinlenilerek tasarlanan konik kuyrukların uç kısımlarının geometrileri değiştirilmiştir. Bu değişiklikler sinüzoidal, üçgen ve kare olmuştur.

Tasarımlarda üç farklı açıda, dört farklı uzunluk ölçüsünde, dört farklı geometri çalışılmış olup toplamda 48 adet konik kuyruk tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlar Solidworks paket programında çizilmiştir. Şekil.2.12.'de bütün bu konik kuyruk tasarımları tablo haline getirilmiştir.

	30mmA30	30mmA25	30mmA13	25mmA30	25mmA25	25mmA13	20mmA30	20mmA25	20mmA13	15mmA30	15mmA25	15mmA13
DÜZ												
SİNÜZİDAL												
ÜÇGEN												
KARE												

Şekil 2.13. Geliştirilmiş konik kuyruk tasarımlarının 3 boyutlu görüntüleri

### 2.3. Deneysel Çalışmada Yöntem

Deneyde tasarlanmış olan 4 dört farklı rüzgârlık, 3 farkı yarım uçak kanadı ve 48 adet konik kuyruk tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlar ile her birinin tek başına, ikili ve üçlü kombinasyonlu 979 olarak bulunmuştur. Bu durum 979 kez montaj yapıp deney sonucu almamız anlamına gelmekteydi. Bu sebeple çalışmada parametrik yöntem kullanılarak bazı konfigürasyonlar deneyin ilerleyen aşamalarında elenmiştir. Böylece deney sayısı 467'e düşürülmüştür. Çalışmada araç çevresindeki akışı pasif olarak kontrolü için geliştirilmiş ekipmanların iyileştirme yüzdeleri değerlendirilmiştir. Araca monte edilen bazı pasif akış kontrol ekipmanlarının (örneğin: D15A30, D20A25) aracın aerodinamik özelliğini olumsuz yönde etkilediği veya aerodinamik özelliği katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple deneyin ilerleyen aşamalarında bu ekipmanların kullanıldığı konfigürasyonlarda bir sadeleştirmeye gidilmiştir.

Deneyin başlangıcında tekli tüm kombinasyonlar denenmiştir. Daha sonra deneylere devam edilirken tasarlanmış olan rüzgârlık 1'in tüm konfigürasyonları için sürüklenme kuvveti yük hücresi yardımı ile ölçülerek aerodinamik direnç katsayıları hesap edilmiştir. Bu kombinasyonların aerodinamik iyileştirmeleri değerlendirilmiş ve değerlendirmeler sonucu elenen parçalar rüzgârlık 2, rüzgârlık 3 ve rüzgârlık 4 ile yapılan konfigürasyonlara katılmamıştır.

Ayrıca  $F_{net}$  kuvveti bulunurken deneyde plaka ile aracın birlikte yük hücresinden ölçülen değerlerinden ( $F_{araba+plaka}$ ) aracın plakaya değmeyecek şekilde asılı konumunda yalnız plaka ( $F_{plaka2}$ ) değerleri çıkartılarak hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra yalnızca plaka ( $F_{plaka}$ ) değeri çıkarılarak hesap edilen sürüklenme iyileşme yüzdesi hesap edilmiş ve kıyaslama yapılmıştır.

Burada sürüklenme kuvveti bulunurken " $F_{araba+plaka} - F_{plaka2}$ " ve " $F_{araba+plaka} - F_{plaka}$ " formüllerinden kullanılarak en iyi kombinasyon için sürüklenme katsayıları hesap edilmiştir. Buradan " $F_{araba+plaka} - F_{plaka2}$ " formülünden elde edilen sürüklenme kuvvet katsayısı iyileşmesi %28.5 olmuşken, " $F_{araba+plaka} - F_{plaka}$ " formülünden hesap edilen sürüklenme kuvvet katsayısı iyileşmesi %29.5 olmuştur. Buradan yola çıkılarak aracın plakaya (interference) etkisinin sürüklenme kuvvetini etkilediği görülmüş ve çalışmanın devamında  $F_{NET}$  kuvveti bulunurken " $F_{araba+plaka} - F_{plaka2}$ " kullanılmıştır.

## **2.4. Benzerlik**

Araçların aerodinamik özelliklerini belirlemek için yol deneylerine göre maliyeti daha az olan aracın belirli ölçülerde küçültülmüş modelleri kullanılır. Bu durumda gerçek aerodinamik özelliklerin doğru belirlenebilmesi için bazı benzerlik şartlarının sağlanması gerekmektedir (Akansu, 2016).

### **2.4.1. Geometrik Benzerlik**

Aracın bire bir ölçeklendirilmiş 1/32 lisanslı ürünü kullanılarak geometrik benzerlik şartı büyük ölçüde sağlanmıştır. Radyatör delikleri, çamurluklar ve detay oluklarından kaynaklanan etkiler ihmal edilmiştir.

### **2.4.2. Kinematik Benzerlik**

Kinematik benzerlik şartı sağlanırken blokaj oranı terimi önem kazanır. Blokaj oranı teriminin tanımı incelendiğinde bu oran modelin önden bakış kesit alanının, rüzgâr tünelinin (lülenin çıkış) kesit alanına oranı olarak ifade edilir (Demircioğlu, 2007). Aracın ön kesit alanını hesap etmek için, aracın ve tünelin ön bakışındaki görüntüsü fotoğraf makinesi ile görüntülenmiştir. Çekim esnasında yakınlaştırma (zoom) yapılarak fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiş bu sayede derinlik hatası en aza indirilmiştir. Alınan görüntü SolidWorks paket programına alınmış burada çizildikten sonra gerçek boyutlara getirilmiş ve programın bünyesinde alan hesabı yapılmıştır. Tünelin kesit alanı  $1600\text{cm}^2$ , aracın ön kesit alanı  $117.3399\text{ cm}^2$  olup blokaj oranı %7,33 olarak hesaplanmıştır. Çengel ve Cimbalı, (2008) tarafından blokaj oranının %7.5'den daha düşük olmasını önerildiğinden kinematik benzerlik şartı büyük ölçüde sağlanmıştır.

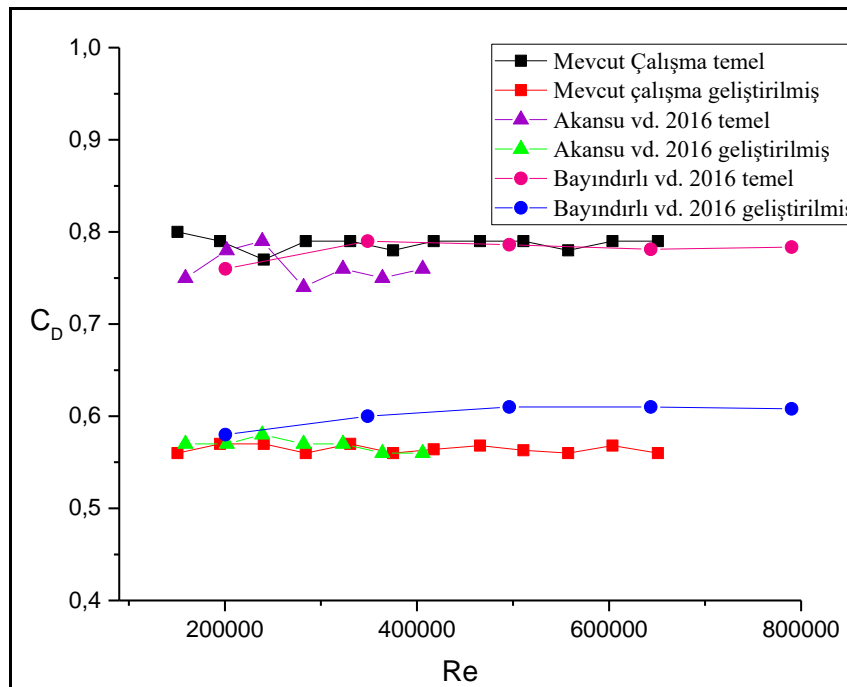
### **2.4.3. Dinamik Benzerlik**

Deneyde dinamik benzerlik şartının sağlanması için Reynolds sayısı bağımsızlığı kullanılmaktadır. Bu sebeple deneyler Reynolds sayısının bağımsız olduğu aralıkta gerçekleştirilmiştir.

### 2.4.3.1. Reynolds Sayısı Bağımsızlığı

Rüzgâr tüneli deneyleri  $U=5.2 - 24.4$  m/s arasında değişen 12 farklı serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir. Bu hızlara karşılık gelen Reynolds sayıları hesap edilmiş ve  $1.5 \times 10^5 - 6.5 \times 10^5$  aralığında değiştiği görülmüştür. Mevcut çalışmadaki temel modelin ve geliştirilmiş modelin (BM-SP3-N9-D15A13) 12 farklı Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme katsayıları değişimi ile literatürde var olan Reynolds sayısı–Sürüklenme katsayısı değişimi verilerinin kıyaslanması Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

Mevcut çalışmada çekici römork aracın temel modelinin sürüklenme katsayısı Reynolds sayısındaki artışla birlikte hafifçe azalmış,  $Re=2.5 \times 10^5$  değerinden sonra ise neredeyse sabit kalmıştır. Aerodinamik direnç katsayısı Reynolds sayısının belirli bir eşik değerinden sonra akış yapısı değişmediğinden sabitlenmektedir. Bu durum Reynolds sayısı bağımsızlığı olarak bilinmektedir (Çengel,2008 ve White,2010). Bu sebeple yüksek Reynolds sayılarında sürüklenme katsayısı bağımsız olarak kabul edilebilir. Bu bilgi, sürüklenme katsayısının  $Re > 2.5 \times 10^5$ ’deki  $Re$ ’den bağımsız olduğunu gösteren önceki sonuçlarla uyum içerisindedir (Akansu,2016; Bayındırlı,2017).



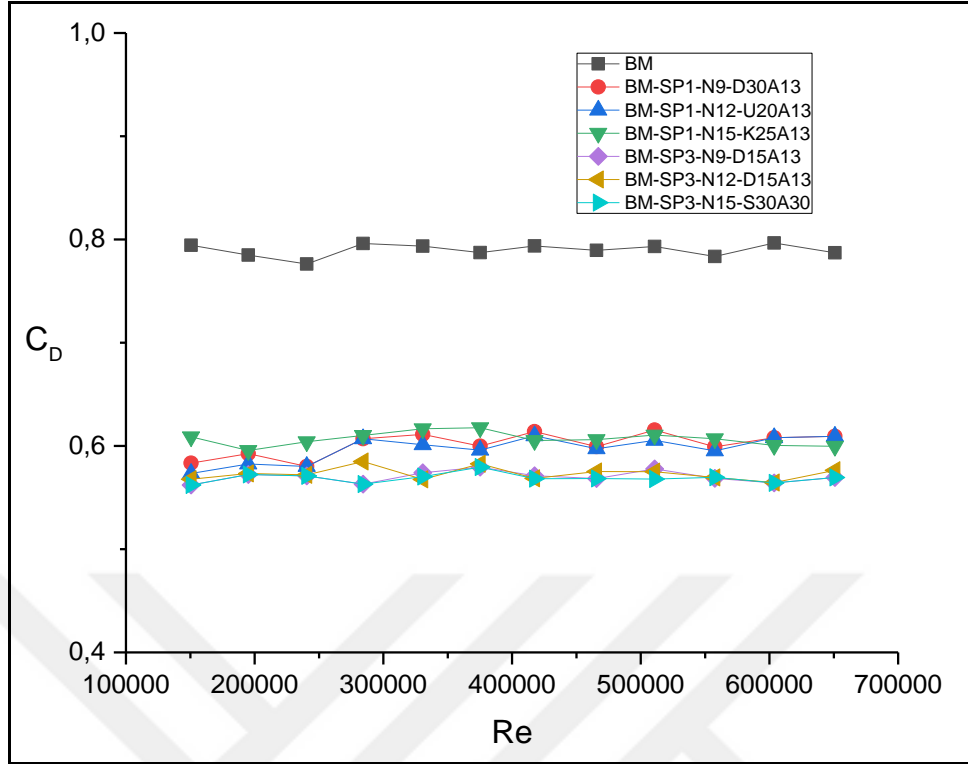
Şekil 2.14. Mevcut çalışmadaki temel ve geliştirilmiş modelin (BM-SP3-N9-D15A13) 12 farklı Reynolds sayısına karşılık gelen sürüklenme katsayıları değişimi ile literatürde var olan Reynolds sayısı–Sürüklenme katsayısı değişimleri verilerinin kıyaslanması

Ayrıca çalışmada ortalama sürüklenme katsayısı 0.78 olarak bulunmuştur. Şahin (2008), çalışmasında çekici-römork araçların sürüklenme kuvvet katsayılarını hesap etmiş ve 0.7-0.8 arasında olması gerektiği söylemiştir. Buradan yola çıkarak mevcut çalışmanın literatür ile uyum içerisinde olduğu sonucuna varılabilir.

Seçilen Reynolds sayısı aralığı çekici-römork araca eklenen tasarımların kombinasyonları için incelendiğinde ise yine temel modelin gösterdiğine benzer sonuç göstererek  $Re=2.5 \times 10^5$  değerinden sonra sürüklenme katsayısının yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür. Bu duruma göre, ele alınan tüm konfigürasyonlarda aynı durum tekrar edilmiş olup, böylece çalışmada  $Re=2.5 \times 10^5$  değerinden sonra seçilen herhangi bir Reynolds sayısında Reynolds sayısı bağımsız olarak kabul edilebilir. Bu sebeple mevcut çalışma boyunca sürüklenme katsayıları ölçümleri esnasında  $Re=5.6 \times 10^5$  olarak seçilmiştir.

Tablo 2.1. Reynolds sayısı bağımsızlık tablosu

$Re$	$C_{D(BM)}$	$C_{D(BM-SP1-N9-D30A13)}$	$C_{D(BM-SP1-N12-U20A13)}$	$C_{D(BM-SP1-N15-K25A13)}$	$C_{D(BM-SP3-N9-D15A13)}$	$C_{D(BM-SP3-N12-D30A13)}$	$C_{D(BM-SP3-N9-DS30A13)}$
$1.5 \times 10^5$	0.80	0.58	0.57	0.60	0.56	0.56	0.56
$2. \times 10^5$	0.79	0.59	0.58	0.60	0.57	0.57	0.57
$2.4 \times 10^5$	0.77	0.58	0.58	0.59	0.57	0.57	0.57
$2.8 \times 10^5$	0.79	0.61	0.61	0.61	0.56	0.58	0.56
$3.3 \times 10^5$	0.79	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57
$3.8 \times 10^5$	0.78	0.60	0.60	0.60	0.56	0.58	0.56
$4.2 \times 10^5$	0.79	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57
$4.7 \times 10^5$	0.79	0.60	0.60	0.60	0.57	0.58	0.57
$5.1 \times 10^5$	0.79	0.61	0.61	0.61	0.57	0.58	0.57
$5.6 \times 10^5$	0.78	0.60	0.60	0.61	0.56	0.57	0.57
$6. \times 10^5$	0.79	0.61	0.61	0.60	0.57	0.58	0.56
$6.5 \times 10^5$	0.79	0.60	0.61	0.60	0.56	0.57	0.57



Şekil 2.15. Temel model ve 6 farklı model konfigürasyonları için Reynolds sayısı bağımsızlığı grafiği

## 2.5. Hesaplamalar

### 2.5.1. Deneyde Kullanılan Hesaplamalar

Çalışma esnasında dinamik benzerliği sağlamak adına Reynolds sayısının bağımsızlığı uygulanmış ve bu sebeple Reynolds sayısının formülü kullanılmıştır. Burada Reynolds sayısının hesabı için  $Re$ ;

$$Re = \frac{\rho \times V \times L}{\mu} \quad (2.1)$$

Şeklinde ifade edilen boyutsuz Reynolds sayısı formülü kullanılmıştır. Formül 3.1’de kullanılan sembollerden  $\rho$  ve  $V$  sırasıyla deney esnasında kullanılan havanın yoğunluğunu ve hızını ifade ederken  $L$  aracın uzunluğunu ve  $\mu$  ise kinematik viskoziteyi temsil etmektedir. Yoğunluk birimi  $kg/m^3$ , hız birimi  $m/s$ , uzunluk birimi  $m$  ve kinematik viskozite birimi ise  $Pa.s$  olarak tanımlanır. Burada yoğunluk  $\rho$  ;

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R \times T} \quad (2.2)$$

Şeklinde, formülden hesaplanmakta olup bu denklemde  $P_{atm}$ ,  $R$  ve  $T$  sırasıyla açık hava basıncını [ $kPa$ ], ideal gaz sabitini  $0.287$  [ $kJ/kgK$ ] ve sıcaklığı [ $K$ ] göstermektedir.

Yapılan çalışmada aerodinamik özellikleri belirlemek için sürüklenme kuvvet katsayısı hesap edilmiş ve iyileştirmeler bu katsayı değerleri kıyaslanarak bulunmuştur. Sürüklenme katsayısı  $C_D$ ;

$$C_D = \frac{F_{NET}}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A} \quad (2.3)$$

Eşitliğinden faydalanılarak hesap edilmiştir. Bu denklemde  $A_f$  aracın ön kesit alanını [ $m^2$ ] ve  $F_{NET}$  ise araca etki eden net sürüklenme kuvvetini [ $N$ ] temsil etmektedir. Aracın ön kesit alanı, daha önce Solidworks hesaplatılmış ve  $0.0117399$  [ $m^2$ ] bulunmuştur. Aparatların araca etki eden sürüklenme kuvveti üzerinde ki iyileştirmeyi ortaya koyabilmek için bütün durumlarda temel modele ait alan kullanılmıştır. (3.3) denkleminde yola çıkılarak sürüklenme kuvvetinin hesabı için  $F_{NET}$ ;

$$F_{NET} = F_{ARAC+PLAKA} - F_{PLAKA} \quad (2.4)$$

olarak elde edilmiştir.  $F_{ARAC+PALAKA}$  deney esnasında yük hücresinden ölçülen araç ile plakanın birlikte sürüklenme kuvvetini [ $N$ ] ve  $F_{PLAKA}$  ise yük hücresinden ölçülen yalnızca plaka ( $F_{plaka}$  ve  $F_{plaka2}$ )'ye ait olan sürüklenme kuvvetini [ $N$ ] temsil etmektedir.

### 2.5.2. Geliştirilmiş Geometriler İçin Türetilmiş Hesaplamalar

Konik kuyrukların uç kısmı için tasarlanmış olan sinüzoidal, üçgen ve kare profillerinin belirli bir düzen içinde olması için bazı denklemler geliştirilmiştir.

### 2.5.2.1. Sinüzoidal Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı

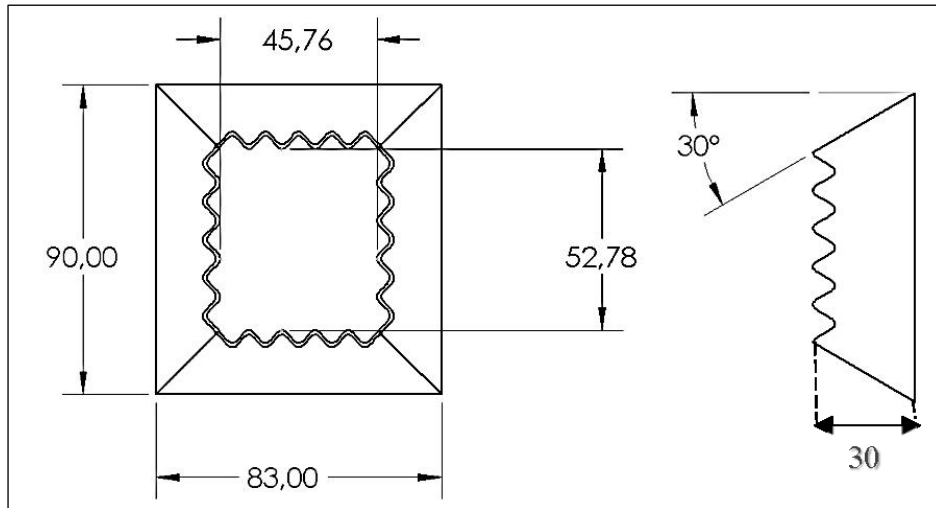
Sinüzoidal geometri tasarlanırken sinüs fonksiyonu formülünden yararlanılmıştır. Bu formül  $f(x)$ ;

$$f(x) = \text{Genlik} \times \sin \frac{2\pi}{\text{periyod} \times x} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmıştır. Eşitlikte genlik ve periyodların belirlenmesi için Hasheminejad vd. (2017) çalışmasından faydalanılmıştır. Hasheminejad, vd. (2017) plakalara sinüzoidal geometri tasarlariken tasarımlarının genliğini 3.75'te sabit tutmuştur. Bu sebeple çalışmada genlik 3.75 olarak tüm geometriler için ortak tutulmuştur. Periyod hesap edilirken ise uç kısmın kenar uzunlukları boyunca sabit sayıda tepeler oluşması adına;

$$\text{Periyod} = \text{kenar uzunluğu} / 5 \quad (2.6)$$

formülü geliştirilmiştir. Buradaki kenar uzunluğu, geometrinin oluşturulacağı yani konik kuyruğun uç kısmındaki uzunluktur. Şekil 2.15'te S30A30 geometrinin şematik görüntüsü verilmiş olup oluşturulan uç kenar geometrisi görülmektedir.



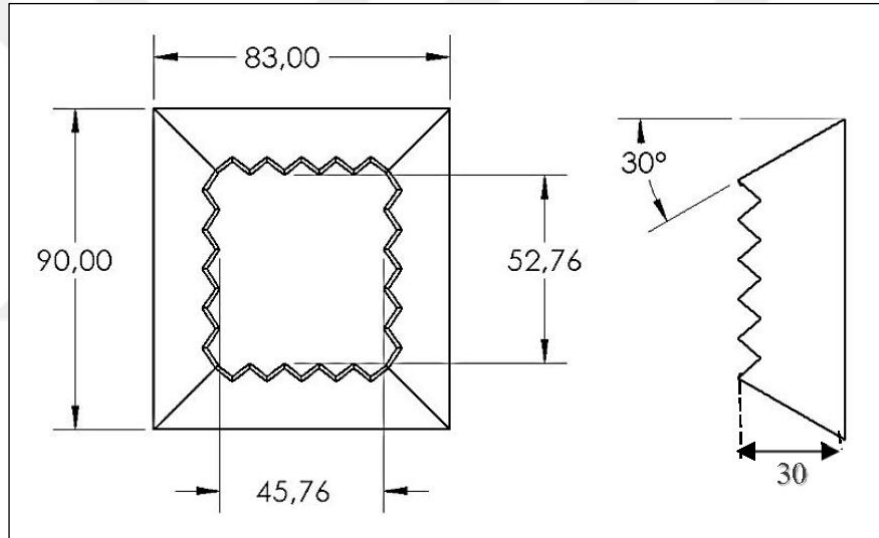
Şekil 2.16. S30A30 sinüzoidal konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü

### 2.5.2.2. Üçgen Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı

Konik kuyruğun uç kısmındaki üçgen geometriler oluşturulurken sinüzoidal geometrinin genişliği üçgenin yüksekliği olarak belirlenmiştir. Bütün üçgenlerin uç kenarından olan yükseklikleri 3.75 seçilmiştir. Üçgenler oluşturulurken ise;

$$\text{küçük bir üçgenin uzun kenarı} = \text{kenar uzunluğu} / 5 \quad (2.7)$$

formülü geliştirilmiştir. U30A30 geometrinin uç kısmındaki geometrisi şekil 2.16'de verilmiştir.



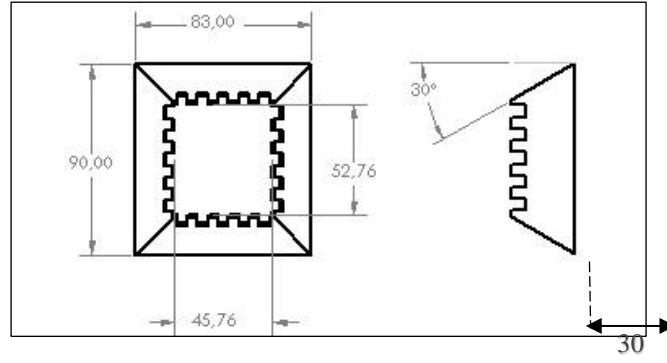
Şekil 2.17. U30A30 üçgen konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü

### 2.5.2.3. Kare Konik Kuyruk Geometrisi Hesabı

Kare geometri oluşturulurken ise;

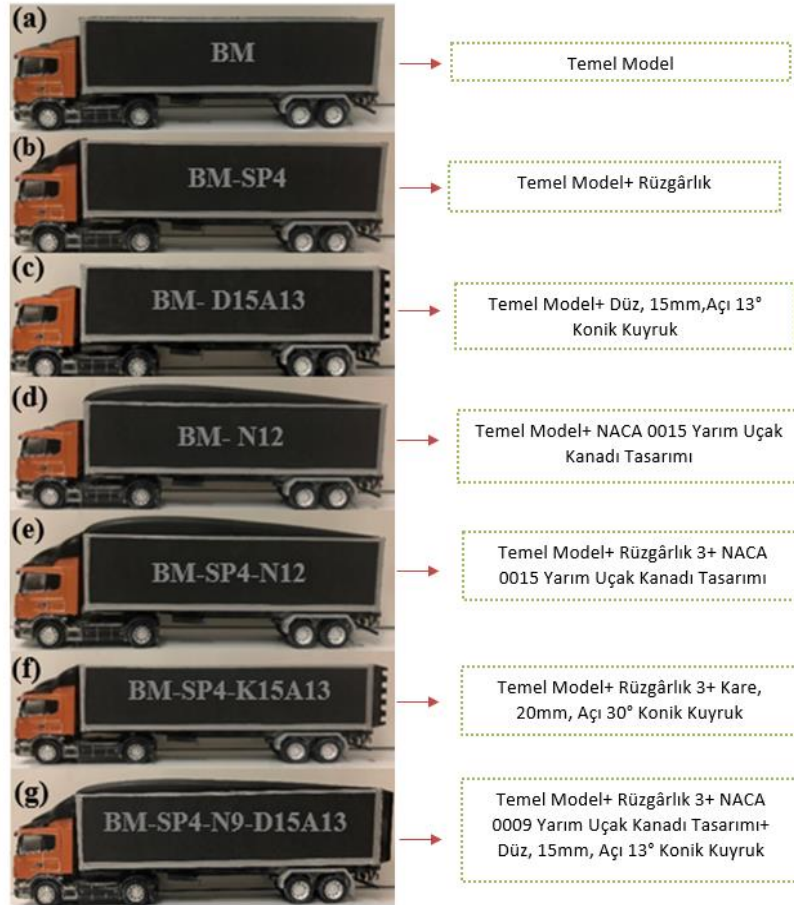
$$\text{Küçük karenin bir kenarı} = \text{kenar uzunluğu} / 10 \quad (2.7)$$

formülü kullanılmış olup uç kısımdaki kareler oluşturulmuştur. Şekil 2.17'de kare geometrinin konik kuyruk üzerindeki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.18. K30A30 kare konik kuyruk tasarımlarının ölçülendirmesi ve şematik görüntüsü

## 2.6. Temel Konfigürasyonlar

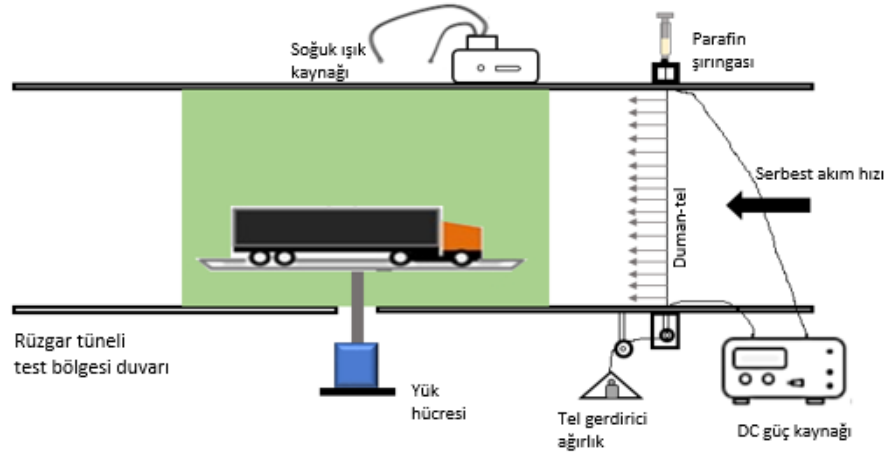


Şekil 2.19. Mevcut çalışmadaki a) Temel model, b) temel modele ek rüzgârlık, c) temel modele ek konik kuyruk, d) temel modele ek yarım kanat profili, e) temel modele ek rüzgârlık ve yarım kanat profili, f) temel modele ek rüzgârlık ve konik kuyruk, g) temel modele ek rüzgârlık, yarım kanat profili ve konik kuyruk görüntüleri

## 2.7. Akış Görüntüleme

Akış görselleştirme, modelin aerodinamik yapısı hakkında bize görsel olarak bilgi sunar. Rüzgâr tünellerinde yapılan akış görselleştirme yöntemlerinden biri duman-tel akış görselleştirmedir (Seyhan,2018).

Mevcut çalışmada test modeli etrafındaki akış yapısını anlamak için duman tel akış görüntülemesi  $Re= 2.4 \times 10^5$  sayısında gerçekleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce tüm tünel yansımalarından kaçınmak adına siyah mat karton ile kaplanmıştır ve tünele yalnızca ışık kaynağının geçişi için üst ve alt bölümden 1cm'lik boşluk bırakılmıştır. Ayrıca aracın akışın fotoğraflanacağı kısımda kasası da yansımaması için siyah mat karton kâğıt ile kaplanmıştır. Ayrıca tünelin tam karşısına görüntüleme için fotoğraf makinesi konumlandırılmıştır. Sistem oluşturulduktan sonra görüntülenecek kombinasyonlarla birlikte araç rüzgâr tüneline yerleştirilmiştir. Test bölgesine enjektör yardımıyla belirli aralıklarla parafin damlatarak direnç teli üzerinde tutunması sağlanmıştır. Daha sonra sırasıyla rüzgâr tüneli çalıştırılmış, DC güç kaynağından elektrik verilerek parafinin buharlaşarak hareket etmesi sağlanmış ve tam o saniyelerde fotoğrafıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Akış görselleştirme deneyi yapılırken akışın oluşturduğu serbest akım çizgilerini daha iyi anlayabilmek için yoğun ışık kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 2.20. Duman tel akış görüntüleme deney düzeneği şematik görüntüsü

### 3. BULGULAR

Bu çalışmada çekici-römork araç üzerine etki eden sürüklenme kuvveti; rüzgârlık, römork üzeri yarım uçak kanadı ve konik kuyruk tasarımları olmak üzere üç pasif akış kontrol aparatının kullanılması ile iyileştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma boyunca temel model ile aracın tüm kombinasyonları için sürüklenme kuvvet katsayıları hesap edilmiş ve grafiklerde sunulmuştur. Kuvvet ölçüm deneyleri  $Re = 5.6 \times 10^5$  değerinde yapılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sürüklenme katsayıları sonuçları alt başlıklarda verilmiştir. Bulunan sürüklenme katsayıları kıyaslanmış ve aerodinamik iyileştirme yüzdeleri hesap edilmiştir.

#### 3.1. Temel Model (BM) ve 48 Farklı Konik Kuyruk

Bu çalışmada amaç, konik kuyruk tasarımları yapılarak aracın arkasında akışın tutunmasını sağlayarak sürüklenme kuvvetini azaltmaktır. Temel modele daha önce bahsedilen 48 konik kuyruk tasarımı eklenerek sürüklenme katsayılarının temel modele kıyasla, değişimi incelenmiştir. Grafikler oluşturulurken 48 konik kuyruktan uzunlukları sabit olup açıları farklılık gösteren konik kuyruklar bir araya getirilerek açının değişimine karşılık sürüklenme kuvvet katsayısı değişimleri 4 farklı grafik yapılarak incelenmiştir. Daha sonra konik kuyruklardan sabit açıda fakat uzunlukları farklı olanlar bir araya getirilerek uzunlukların değişimine karşılık gelen sürüklenme kuvvet katsayılarının değişimi 3 farklı grafikte incelenmiştir.

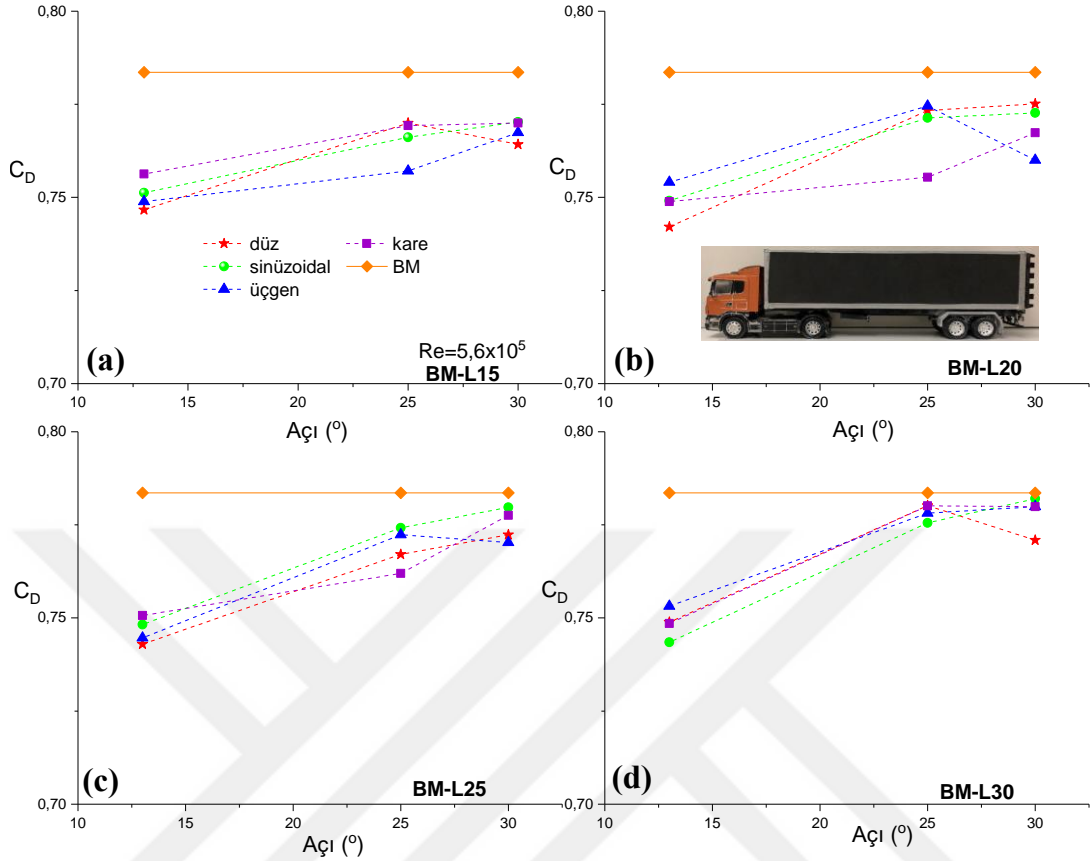
##### 3.1.1. Sabit Uzunluk $C_D$ Katsayısı - Açı Değişimi

Şekil 3.1(a)'da temel modele ilave edilen konik kuyrukların hepsinin uzunlukları 15 mm olup bu grafikte konik kuyruk açısının değişiminin sürüklenme kuvvet katsayısını ( $C_D$ ) nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Şekil 3.1(a)'da temel modelin  $C_D$ 'sinin konik kuyruklar eklendiğinde azaldığı söylenebilir. Ayrıca  $C_D$  katsayıları değişimi incelendiğinde  $13^\circ$ 'ye sahip konik kuyruğun dört farklı geometride 0.74-0.76 arasında seyir ediyorken, açı  $25^\circ$  olduğunda 0.76- 0.77 arasında ve  $30^\circ$  olduğunda ise 0.76-0.77 arasında seyir ettiği

görülmektedir. Buradan çıkarımla bu koşullarda  $13^\circ$ 'ye sahip konik kuyruğun aerodinamik özellikleri diğerlerine nazaran daha iyi sonuç vermiştir. Aynı özellikteki konik kuyrukların uç kısımlarında sahip oldukları dört farklı geometriye göre  $C_D$  katsayıları değişimini incelemek için ilk olarak  $13^\circ$  açığa sahip konik kuyruk ele alındığında düz olan geometrinin  $0.74 C_D$  katsayısı ile en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Daha sonra  $25^\circ$  açığa sahip ve  $30^\circ$  açığa sahip geometriler incelendiğinde sırasıyla en iyi  $C_D$  katsayısına sahip olan  $0.75$  ile üçgen ve  $0.76$  ile düz geometri olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 3.1(b)'de Şekil 3.1(a)'dan farklı olarak uzunluklarının  $20$  mm olan konik kuyruklar bir araya getirilerek bir grafikte verilmiştir. Şekil 3.1(b)'de sürüklenme katsayısı değişimi incelendiğinde  $13^\circ$  açığa sahip konik kuyruk tasarımlarının en iyi sonucu gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.1(c) ve Şekil 3.1(d) incelendiğinde ise daha önce incelenen grafiklere benzer durum söz konusu olmuştur.

$25^\circ$  ve  $30^\circ$ 'ye sahip konik geometrileri incelendiğinde  $13^\circ$ 'ye sahip olanların iyi bir iyileştirme gösterdiği anlaşılmaktadır. Daha sonra aynı uzunluk ve açığa sahip konik kuyrukların yalnızca uç kenar geometrilerinin değişiklikleri incelendiğinde ise bu uç geometrilerinin (düz, sinüzoidal, üçgen ve kare) aerodinamik özelliğe katkısı birbirinden farklı sonuçlar göstermiştir. İncelemeler sonucunda Şekil 3.1(a)'da  $13^\circ$  de en iyi uç kısım geometrisi düz olmuştur ve bu durum Şekil 3.1(b) ve Şekil 3.1(c)'de değişmemişken Şekil 3.1(d)'de en iyi geometri bunlardan farklılık göstererek sinüzoidal geometri olmuştur. Aynı şekilde  $25^\circ$ 'de Şekil 3.1 incelendiğinde ise Şekil 3.1(a)'da üçgen geometri Şekil 3.1(b) ve Şekil 3.1(c)'de kare geometri Şekil 3.1(d)'de ise sinüzoidal geometri en iyi aerodinamik özellik göstermiştir.  $30^\circ$  ise 4 farklı grafiğe alfabetik sırasıyla bakıldığında düz, üçgen, üçgen ve düz geometrinin daha iyi sürüklenme azaltması ile sonuçlandığı görülmüştür. Ayrıca temel modele eklenen tüm konik kuyrukların en iyisinin  $20$ mm uzunluğa  $13^\circ$ 'ye sahip düz geometri olduğu görülmüş ve bu iyileştirme %5.5 olarak hesap edilmiştir.

Şekil 3.1'den yola çıkılarak konik kuyrukların  $13^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  parametrelerinde değişen özelliklerinde  $13^\circ$  açısına sahip konik kuyruk eklentisinin diğer açılara sahip olanlara nazaran aerodinamik özelliği daha iyi olmuştur denilebilir. Fakat uç kısım geometri hakkında en iyi geometri için ortak bir kanıya varılamamıştır. Burada  $13^\circ$  açığa sahip konik kuyrukların sürüklenme kuvvetlerinin diğer tasarımlara nazaran daha düşük olması, aracın arka bölümündeki akışın daha iyi tutunmasını sağlayarak akış ayrılmasını geciktirmesi ve bu sayede iz bölgesini daraltmasına bağlanabilir.



Şekil 3.1. Basit modele eklenmiş a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Açı değişimi grafiği

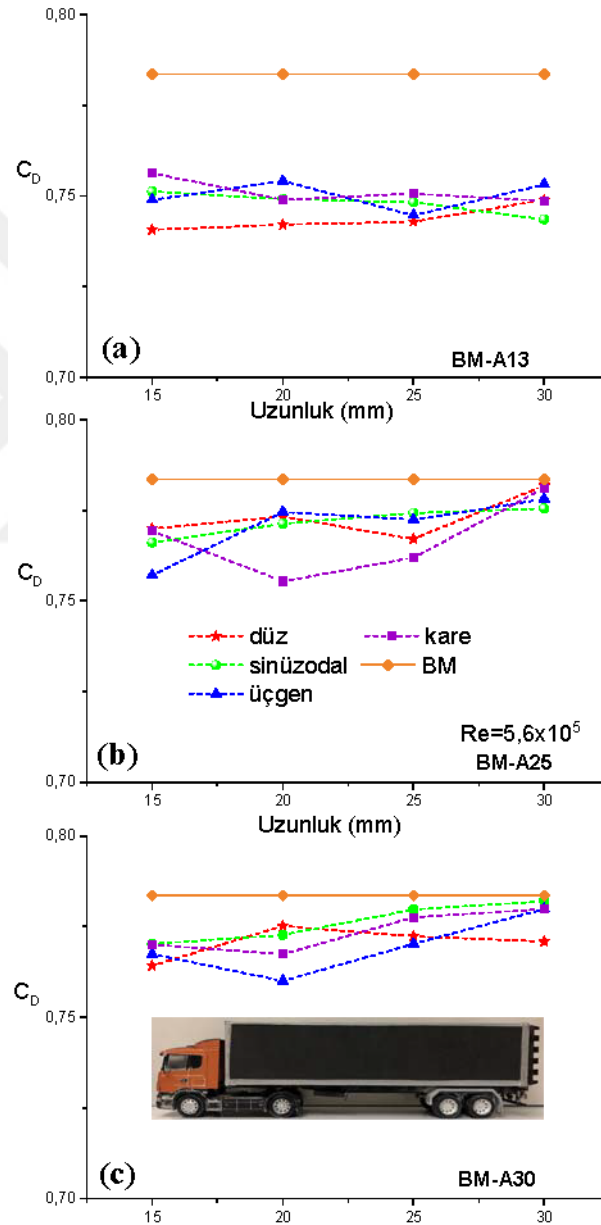
### 3.1.2. Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi

Burada grafikler oluşturulurken açıları aynı olan konik kuyruklar bir araya toplanarak konik kuyruk uzunluğunun aracın aerodinamiğini nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil 3.2 (a)'ya bakıldığında  $13^\circ$  açılıya sahip olan geometrilerin Şekil 3.2 (a)  $25^\circ$  ve Şekil 3.2 (b)  $30^\circ$  açılıya sahip geometrilere göre sürüklenme katsayısının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da bir kez daha  $13^\circ$ 'ye sahip olan konik kuyrukların aerodinamik iyileştirme etkisinin diğer açılara sahip konik kuyruklardan daha iyi olduğunu gözler önüne sermiştir.

Şekil 3.2 (a)'da 15mm, 20mm, 25mm ve 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk eklentisinin  $C_D$  katsayıları üzerindeki etkisi incelendiğinde en iyi sürüklenme ve geometriler sırasıyla 0.74 ile düz, 0.74 ile düz, 0.74 ile düz ve 0.75 ile sinüzoidal olmuştur. Şekil 3.2 (b) incelendiğinde en iyi sürüklenme iyileşmelerinin 0.76 ile üçgen, 0.77 ile kare 0.76 ile

kare ve 0.78 sinüzoidal geometri olduğu görülmüştür. Şekil 3.2 (c)'de ise bu durumu düz geometri 0.76, üçgen geometri 0.76, üçgen geometri 0.77 ve düz geometri 0.77 sürüklenme katsayısı ile izlemiştir.

Konik kuyruk uzunluk değişimlerinin aerodinamik özelliklerdeki iyileştirmeleri kıyaslanarak her biri için geçerli optimum uzunluğun bulunması istenmiştir. Fakat uzunluk değişimleri ile sürüklenme etkilerine dair optimum bir kaniya varılamamıştır.



Şekil 3.2. Basit modele eklenmiş a) 13°, b) 25°, ve c) 30° açısına sahip olan konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği

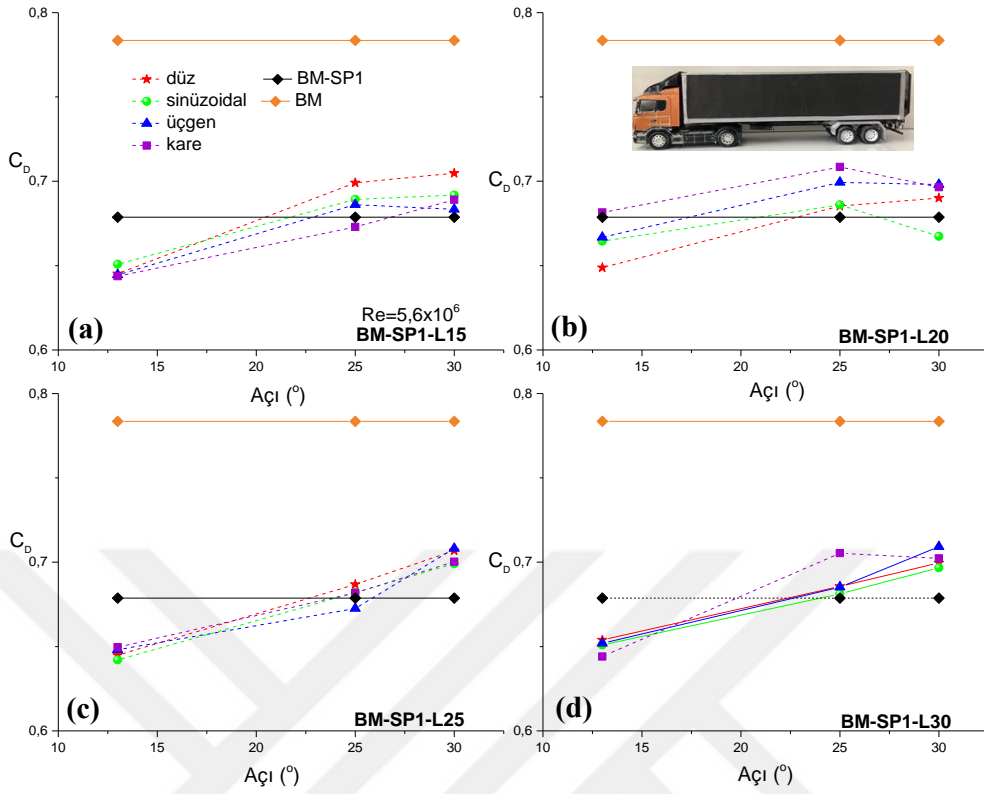
### 3.2. Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1) ve 48 Farklı Konik Kuyruk

Bu çalışmada daha önce de bahsedildiği üzere 4 farklı rüzgârlık tasarlanmış olup bu bölümde rüzgârlık 1'in aracın aerodinamik özelliğine katkısı incelenmiştir. Daha sonraki bölümlerde sırası ile rüzgârlık 2, rüzgârlık 3 ve rüzgârlık 4 tasarımlarının aerodinamik özellikleri incelenecektir. Ayrıca temel modelin üzerine monte edilen rüzgârlık 1 ve 48 konik kuyruk tasarımlarının sürüklenme üzerine etkileri incelenmiştir.

#### 3.2.1. Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açılı Değişimi

Şekil 3.3'de görüldüğü üzere temel modelin sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) yaklaşık 0.78 iken temel modele ilave edilen rüzgârlık 1 ile sürüklenme katsayısı yaklaşık 0.68 olarak hesap edilmiştir. Bu da temel modele yalnızca rüzgârlık 1'in eklenmesi ile edilen aerodinamik iyileşme oranı % 13.4 olmuştur. Rüzgârlığa ek olarak 48 konik kuyruk eklenerek etkileri incelendiğinde ise Şekil 3.3 (a)'da görüldüğü üzere  $13^\circ$  açılı geometrilere sahip konik kuyrukların etkisi net bir şekilde görülürken  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  ye sahip geometrilerin sürüklenme katsayısını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 3.3'deki diğer grafiklerde de aynı şekilde gözlemlenmiştir.

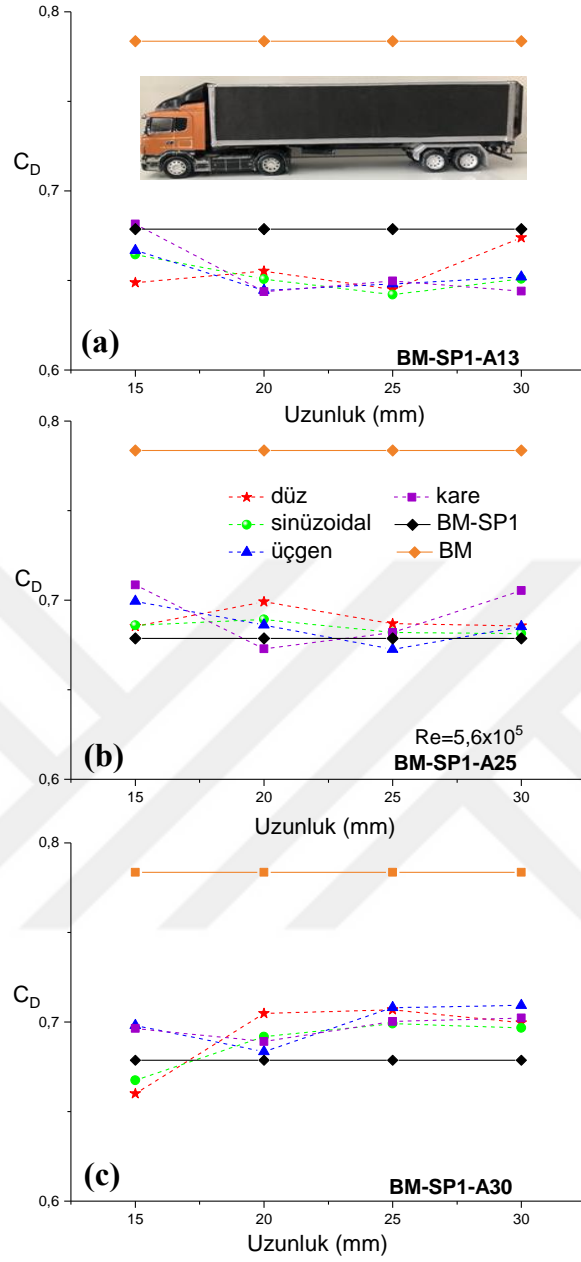
Buradan yola çıkarak  $13^\circ$  açısına sahip konik kuyruk eklentilerinin sürüklenme katsayılarını azalttığı sonucuna varılabilir.



Şekil 3.3. BM-SP1 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Açı değişimi grafiği

### 3.2.2. Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi

Şekil 3.4, temel modele ve rüzgârlığa ek olarak eklenen konik kuyrukların uzunluklarının etkisini incelemek adına  $C_D$ -Uzunluk grafikleri çizilmiştir. Buradan yola çıkarak 15mm, 20mm, 25mm ve 30mm uzunlukları değerlendirildiğinde Şekil 3.4 (a)'da en iyi aerodinamik iyileştirmeyi 20mm de kare, Şekil 3.4 (b)' de 25mm de üçgen ve Şekil 3.4(c)'de ise 15mm ile düz geometriye sahip konik kuyruk vermiştir. Konik kuyruk uzunlukları değişimine karşılık gelen sürükleme kuvvetleri etkileri incelendiğinde uzunlukları için ortak bir kaniya varılamamıştır. Bu sebeple konik kuyruk tasarımları için optimum bir uzunluk bulunamamıştır.



Şekil 3.4. BM-SP1 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği

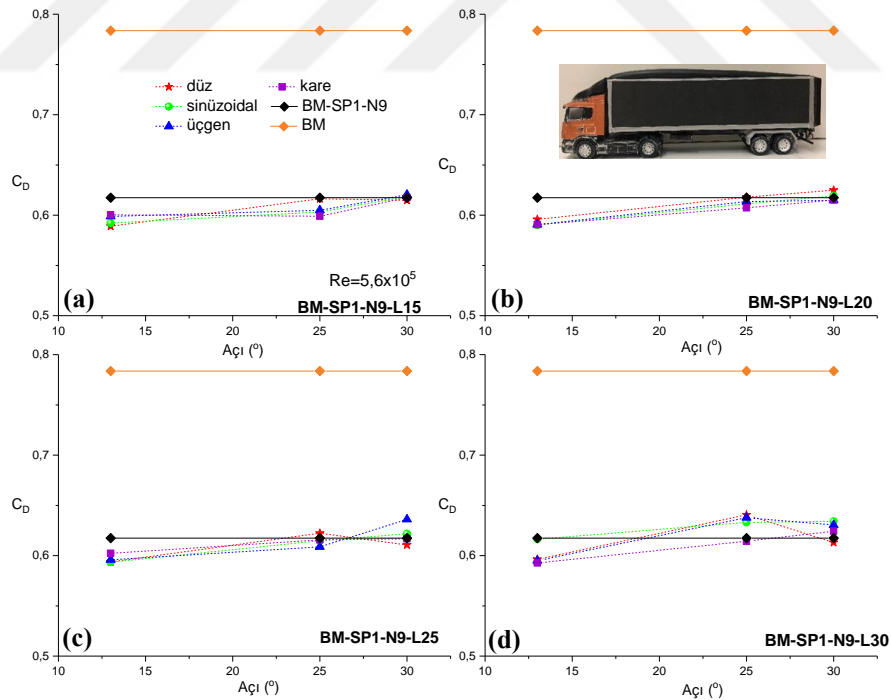
### 3.3. Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1), Yarım Uçak Kanadı NACA0009 (N9) ve 48 Farklı Konik Kuyruk

Temel modele ilave edilen rüzgârlık ile akışın römorkun üst bölümüne aktarılması sağlanmıştır. Römork üzerindeki bu akışın arka bölüme yönlendirilmesini sağlayarak iz bölgesini daraltması adına yarım uçak kanadı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde

NACA0009'un daha önceki konfigürasyona eklenmesi ile olan aerodinamik iyileştirmeleri incelenmiştir. Daha sonraki bölümlerde ise sırası ile NACA0012 ve NACA0015 tasarımlarının etkileri incelenecektir. Ayrıca temel modele rüzgârlık 1 ve yarım uçak kanadı NACA0009'dan geliştirilen römork üstü iyileştirici ekipman eklenmiştir. Buna ek olarak 48 konik kuyruk tasarım kombinasyonlarının aerodinamik etkileri incelenmiştir.

### 3.3.1. Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açılı Değişimi

Temel modele ilave edilen rüzgârlık ve yarım kanat profilinin % 21.2'lik bir sürüklenme azalması gerçekleştirdiği görülmüştür (Şekil 3.5). Öncelikle  $C_D$ -Açılı grafikleri incelenerek konik kuyruk profillerinin açılılarının sürüklemeye etkisi değerlendirilmiştir. 4 grafik incelendiğinde de  $13^\circ$  açılı konik kuyrukların etkisinin diğer açılılara göre daha iyi olduğu görülmüştür.  $30^\circ$  açılıya sahip konik kuyruk tasarımların rüzgârlık ve yarım kanat profili kombinasyonuna eklenmesi sürüklemeyi olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

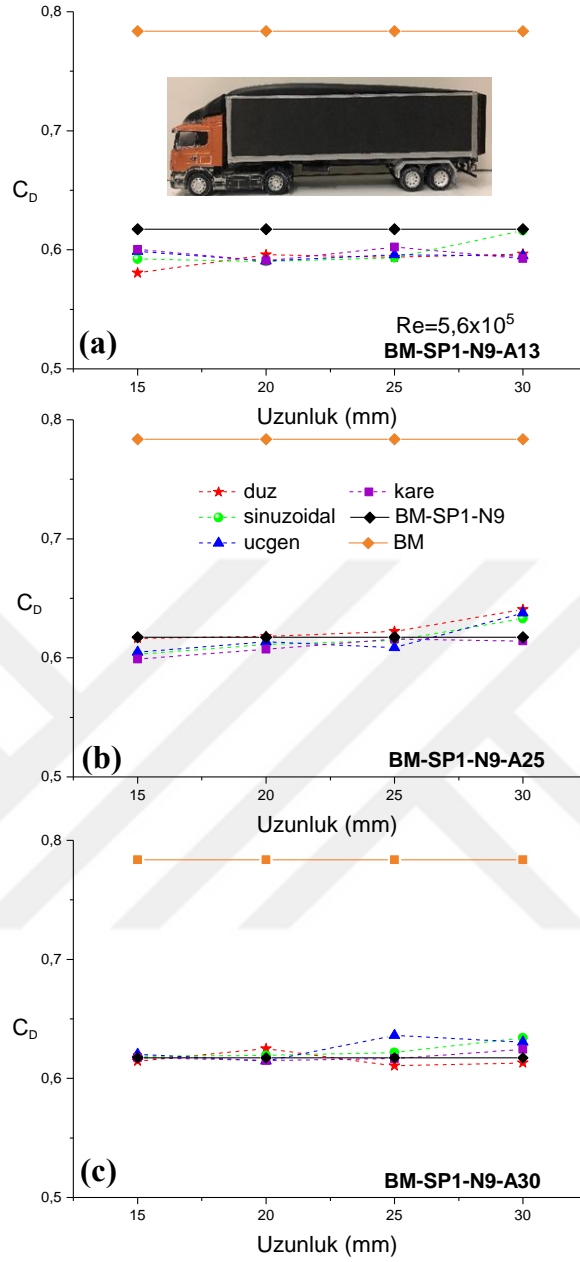


Şekil 3.5. BM-SP1-N9 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Açılı değişimi grafiği

### 3.3.2. Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi

Aynı kombinasyonları konik kuyruk uzunluklarının etkilerini incelemek için yeniden gruplandırarak Şekil 3.6 oluşturulmuştur. Grafikler açılara göre gruplandığında Şekil 3.6(a)'nın yani açının  $13^\circ$  olduğundaki sürüklenme etkisinin açının  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  olduğu durumlardan daha iyi sonuçlar verdiği bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Konik kuyrukların uzunluklarının etkisini incelemek adına Şekil 3.6(a) ve Şekil 3.6(b)'ye bakıldığında en iyi sonucu 15mm verirken, Şekil 3.6.(c)'de ise en iyi etkiyi 25mm uzunluğuna sahip konik kuyruk vermiştir.

Ayrıca aynı ölçülere sahip farklı geometrideki konik kuyruklar incelendiğinde ise  $13^\circ$  deki grafiklerde  $C_D$  açısından, sırasıyla 0.59 ile düz, 0.60 ile sinüzoidal, 0.61 ile üçgen ve 0.60 değerleri ile kare geometriler en iyi sonucu vermiştir. Açı  $25^\circ$  olduğunda 0.60 kare, 0.61 kare, 0.61 üçgen ve 0.61 ile kare profil sürüklenme katsayısında en düşük değerleri vermiştir.  $30^\circ$ 'lik açığa ait en iyi sonuçlar ise düz, üçgen, düz ve düz profillerdir. Buradan yola çıkarak, arka konik kuyrukların en ucuna tasarlanmış olan geometrilerle alakalı optimum uzunluğun hangisi olduğu konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır.



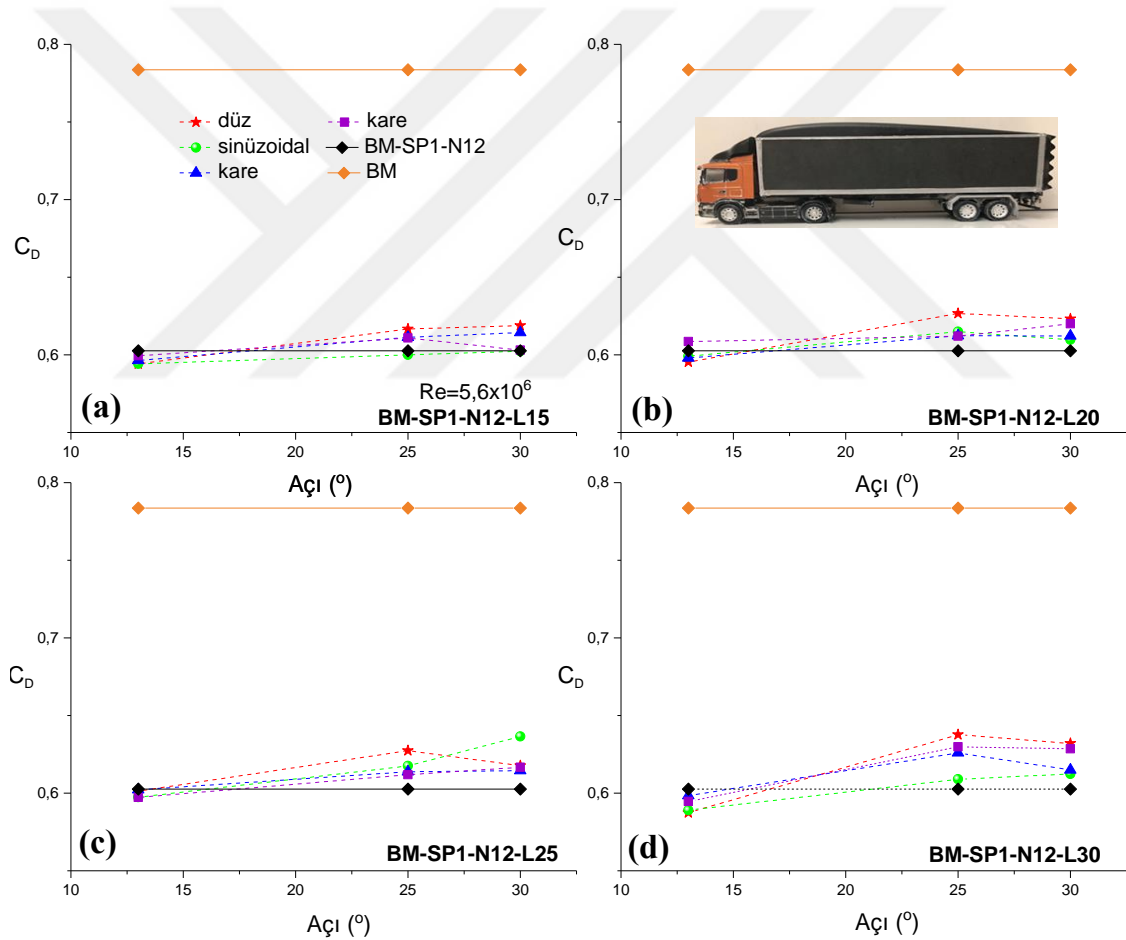
Şekil 3.6. BM-SP1-N9 konfigürasyonuna eklenen a) 13°, b) 25° ve c) 30° açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği

### 3.4. Temel Model (BM), Rüzgârlık 1, Yarım NACA0012 (N12) ve 48 Farklı Konik Kuyruk

Bir önceki çalışmaların devamında yarım kanat profili NACA0012 olan profil kullanılarak devam edilmiştir. Yalnızca temel modele rüzgârlık 1 ve yarım NACA0012 profili eklenmesi ile %23 lük bir sürükleme iyileştirmesi elde edilmiştir.

### 3.4.1. Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açı Değişimi

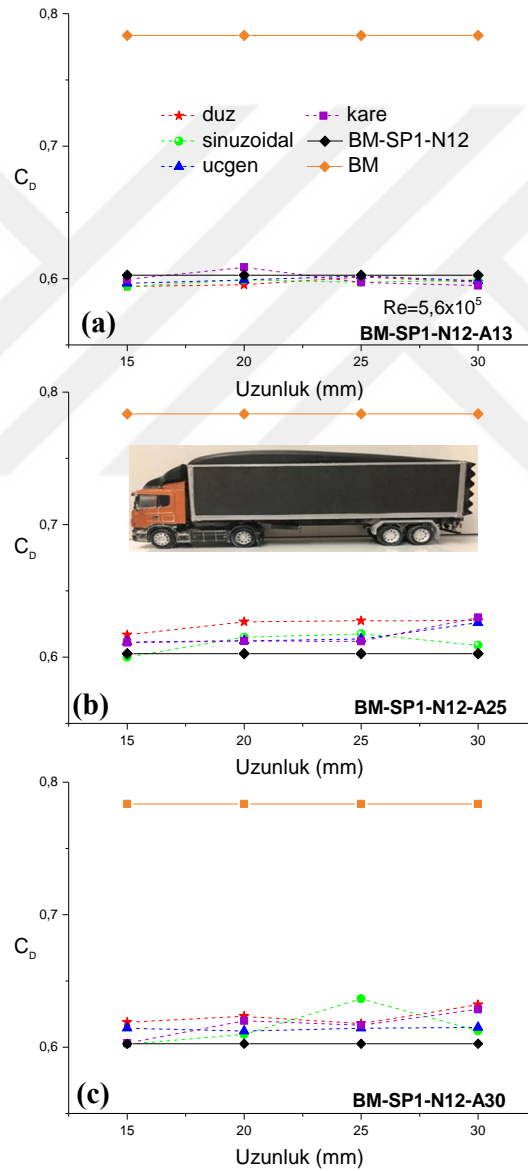
Şekil 3.7, eklenen konik kuyrukların açıları incelendiğinde yine daha önce var olan sonuçlara benzer olarak  $13^\circ$  ye sahip olan geometrideki konik kuyruk iyileştirmesinin  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  ye kıyasla daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Hatta ve hatta  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  sahip konik kuyrukların NACA ve rüzgârlığa eklenmesi ile ilk duruma kıyasla aerodinamik iyileştirmeden daha yüksek bir sürükleme katsayısına denk geldiği görülmüştür. Aerodinamik açıdan bu konik kuyrukların hiçbir etkisi olmadığı gibi akışı kötüleştirmesi gözler önüne sermiştir.



Şekil 3.7. BM-SP1-N12 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Açı değişimi grafiği

### 3.4.2. Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk - Değişimi

Şekil 0.8 BM-SP1-N12 konfigürasyonuna eklenen  $13^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği verilmiştir. Burada konik kuyruk uzunluklarının değişiminin aracın aerodinamik özelliğine katkısı incelenmiştir. Şekil 3.8'den sonuçla 15mm, 20mm, 25mm ve 30mm uzunluğundaki konik kuyruk geometrilerinin en iyisinin hangisi olduğu konusunda ortak bir nokta bulunamamıştır.



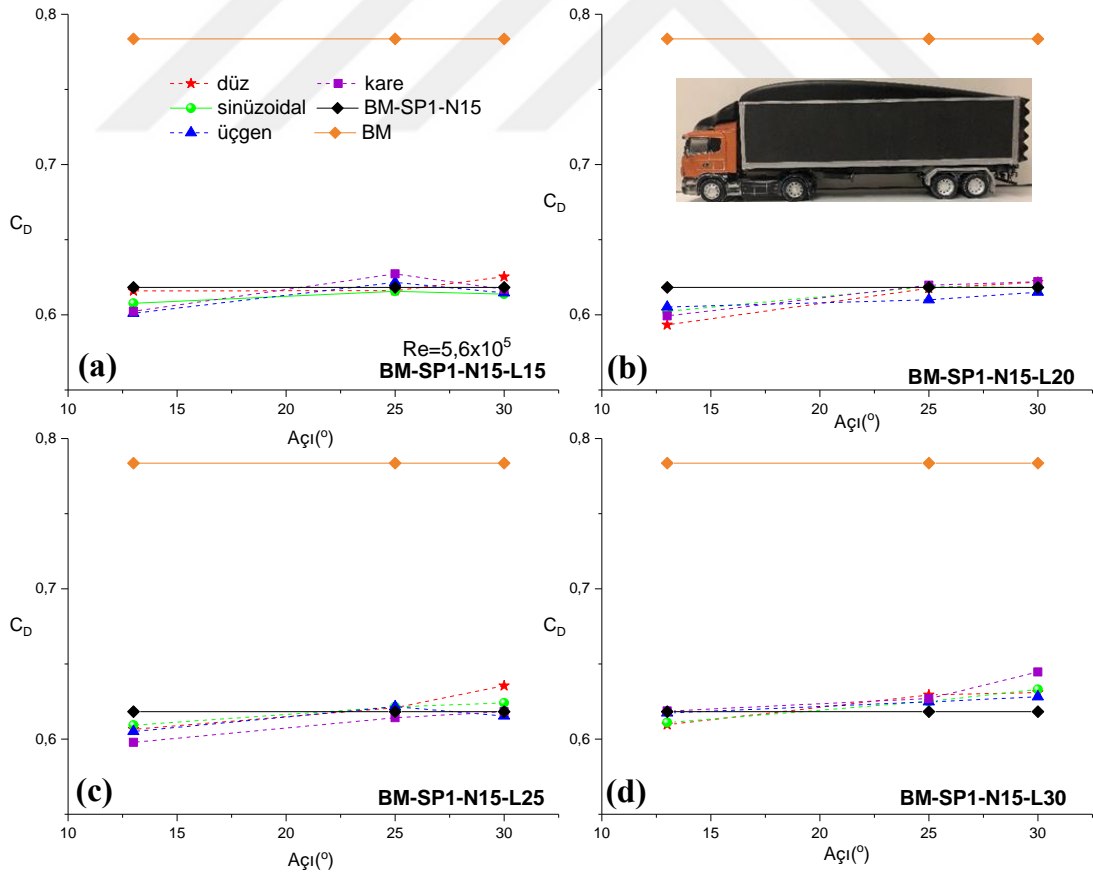
Şekil 3.8. BM-SP1-N12 konfigürasyonuna eklenen a)  $13^\circ$ , b)  $25^\circ$  ve c)  $30^\circ$  açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği

### 3.5. Temel Model (BM), Rüzgârlık 1 (SP1), Yarım NACA0015 Kanat Profili (N15) ve 48 Farklı Konik Kuyruk

Pasif akış kontrol tasarımlarından bu sefer de rüzgârlık 1'e ek olarak NACA0015 kanat modeli baz alınarak tasarlanmış köşeleri yuvarlatılmış yarım kanat modeli montajı yapılarak deneylere devam edilmiştir. Temel modele rüzgârlık 1 ve NACA0015 kombinasyonu aerodinamik iyileşme oranı % 21 olmuştur.

#### 3.5.1. Sabit Uzunlukta $C_D$ Katsayısı - Açılı Değişimi

Şekil 3.9'da verilen grafiklerde daha önceki çalışmalara benzer olarak  $13^\circ$  açılıya sahip konik kuyruk eklentilerinin sürüklenme katsayısına etkisi görülürken yine  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  açılıya sahip konik kuyrukların etkisinin  $13^\circ$ 'ye göre daha az olduğu anlaşılmıştır.

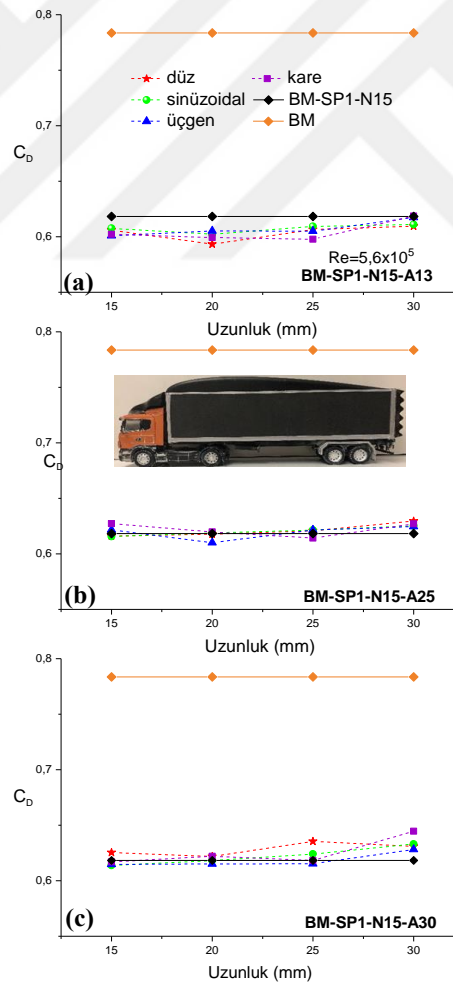


Şekil 3.9. BM-SP1-N15 konfigürasyonuna eklenen a) 15mm, b) 20mm, c) 25mm ve d) 30mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Açılı değişimi grafiği

### 3.5.2. Sabit Açıda $C_D$ Katsayısı - Uzunluk Değişimi

Şekil 3.10'a göre  $13^\circ$  açısına sahip konik kuyruğun sürüklenme katsayısı üzerine etkisinin diğer açılardan daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca uzunlukların etkisi incelendiğinde  $13^\circ$  için 20mm,  $25^\circ$  için de 20mm ve  $30^\circ$  ise 15mm uzunluğuna sahip konik kuyruk tasarımlarının optimum olduğu görülmüştür. Bu durumda daha önceden olduğu gibi ortak bir kanıya varılamamıştır.

Konik kuyruk uçunda bulunan geometriler için ise Şekil 3.10 incelendiğinde 15mm için en iyi geometrinin üçgen, 20mm için en iyi geometrinin düz, 25mm için ise kare ve ayrıca 30mm için ise düz uç kısmına sahip olan konik kuyruğun daha iyi sürüklenme iyileştirmesi yaptığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.10. BM-SP1-N15 konfigürasyonuna eklenen a)  $13^\circ$ , b)  $25^\circ$  ve c)  $30^\circ$  açılara sahip konik kuyruk tasarımlarının  $C_D$ -Uzunluk değişimi grafiği

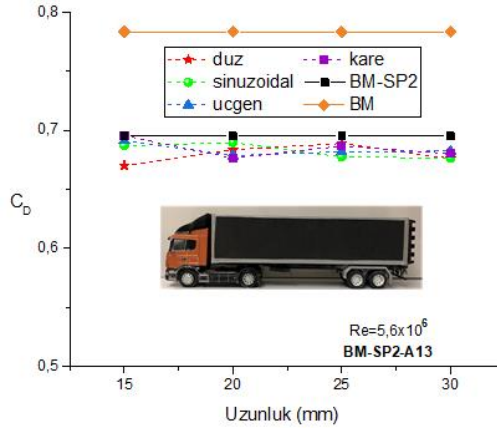
Bu kısma kadar olan bölümde yalnızca konik kuyruk eklentisi, rüzgârlık 1 ile bütün 48 arka konik kuyruk ve rüzgârlık 1'e ilave edilen yarım uçak kanadı profillerine ek 48 konik kuyruk tasarımları açı ve uzunluk açısından incelenmiştir. Buradan yola çıkarak grafiklerde, 13° konik kuyruk eklentisinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüş, 25 ve 30° konik kuyrukların ise sürüklemeyi etkilemediği ve hatta bazı durumlarda olumsuz olarak sürüklenme kuvvet katsayısını artırdığı görülmüştür.

Ayrıca konik kuyruk uzunlukları kıyaslandığında 15mm, 20mm, 25mm ve 30mm uzunluğa sahip konik kuyrukların değişik kombinasyonlarda farklı davrandıkları görülmüştür. Konik kuyruk uç kısım geometrileri düşünülürse geometrilerin her birinin kendi aralarında farklı farklı iyileştirmeler yaptığı gözlemlenmiştir.

Buradan yola çıkılarak bundan sonraki deneylerde 25° ve 30° açılı konik kuyruklarda elemeye gidilmiştir. Bu bölümden sonraki çalışmalarda 48 konik kuyruk yerine yalnızca 13° açılıya sahip 4 farklı uzunlukta 4 farklı geometride olan 16 farklı konik kuyruk ile deneyler yapılmıştır.

### **3.6. Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2) ve 16 Farklı Konik Kuyruk**

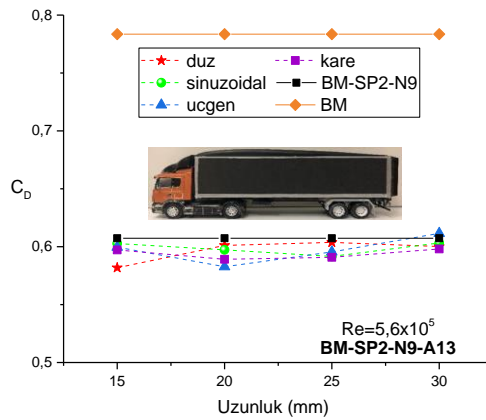
Şekil 3.11, temel modele ilave olarak rüzgârlık 2 ve 16 farklı konik kuyruk kullanılmıştır. Temel modele yalnızca rüzgârlık 2 eklenmesi ile aerodinamik iyileştirme %11.3 olmuştur. 15mm uzunluğunda konik kuyruk eklendiğinde ortaya çıkan geometrilere bakıldığında, düz geometri 0.67'lik bir  $C_D$  katsayısına sahipken, sinüzoidal ve üçgen geometride 0.68  $C_D$  katsayısına sahip ve kare geometride ise 0.69'luk sürüklenme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu durumda, en iyi aerodinamik iyileşme oranının %14.6 ile 15 mm, düz olan konik kuyrukta olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11. BM-SP2 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.7. Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

Temel model, rüzgârlık 2 ve konik kuyruk kombinasyonlarına ek olarak bu sefer yarım NACA0009 eklenmişti. Bu kombinasyonlar sonucu oluşan sürüklenme kuvvetleri Şekil 3.12'de verilmiştir. Temel modele rüzgârlık 2 ve NACA009 eklendiğinde aerodinamik özellikte % 22.5 iyileştirme olmuştur. Konik kuyruk eklentileriyle değerlendirildiğinde en iyi sürüklenme azalmasının düz olan 15mm uzunluğa sahip olan düz geometri olduğu görülmektedir. Bu da  $C_D$  katsayısının 0.58'lik bir değerine tekabül etmektedir.

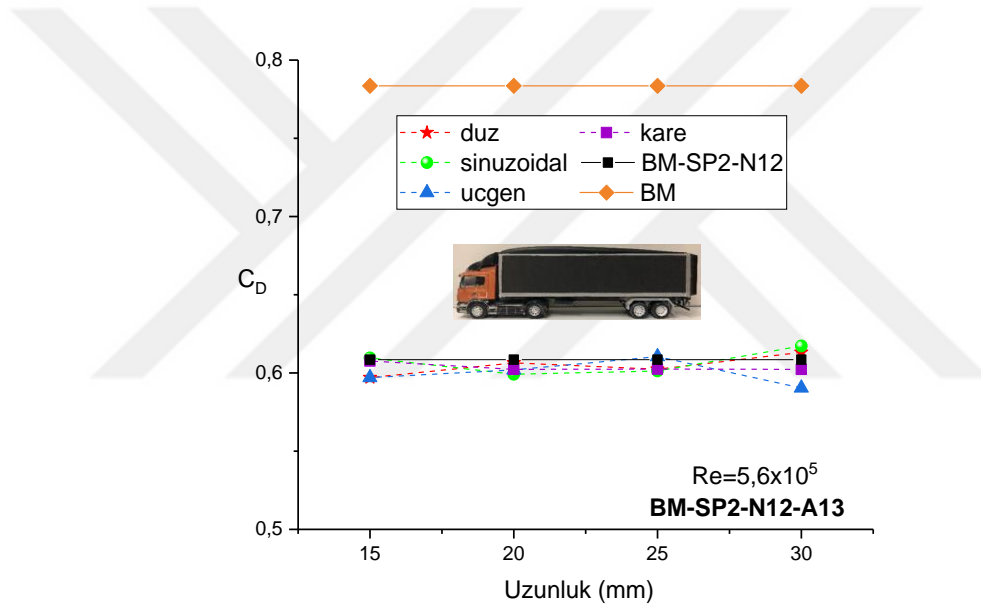


Şekil 3.12. BM-SP2-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.8. Temel Model (BM), rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

Bir önceki deneyden farklı olarak yarım kanat profili değiştirilmiş NACA0012 profiline sahip yarım kanat kullanılmıştır. Hesaplanan sürüklenme kuvvet katsayıları Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Burada temel modele ek rüzgârlık 2 ve yarım kanat profilinin aerodinamik özellikler üzerinde etkisi % 22.4 olmuştur.

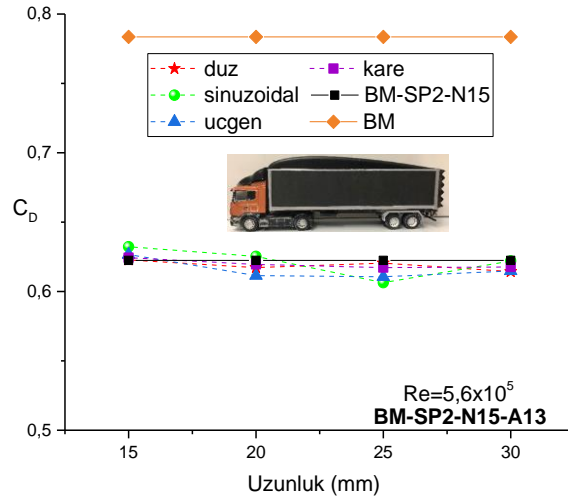
Oluşturulan modele 16 farklı geometri ve uzunluktaki konik kuyruklar eklendiğinde en iyi aerodinamik sürüklenme azalması 30mm ye sahip üçgen geometrisine sahip konik kuyruk olduğu görülmüştür.



Şekil 3.13. BM-SP2-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.9. Temel Model (BM), Rüzgârlık 2 (SP2), Yarım NACA0015 kanat profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

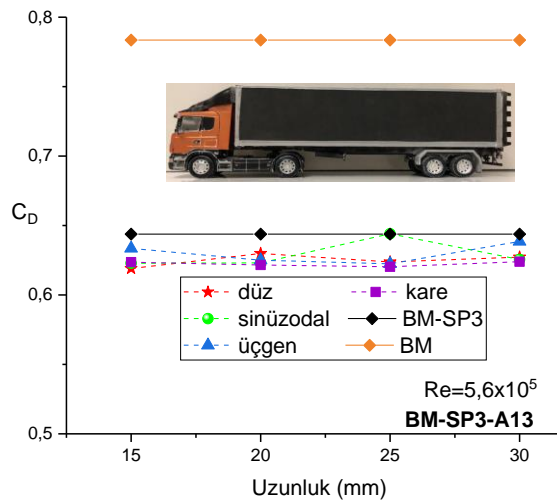
BM-SP2-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi Şekil 3.14’de gösterilmiştir. BM-SP2-N15 kombinasyonunda sürüklenme katsayısı hesaplandığında sürüklenme katsayısında % 20.6’lık bir iyileşmeye ulaşılmıştır. Konik kuyruk eklentilerini kendi aralarında değerlendirdiğimizde, bu sefer en iyi konik kuyruk tasarımının 25mm uzunluğa sahip sinüzoidal geometri olduğu görülmüştür.



Şekil 3.14. BM-SP2-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.10. Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

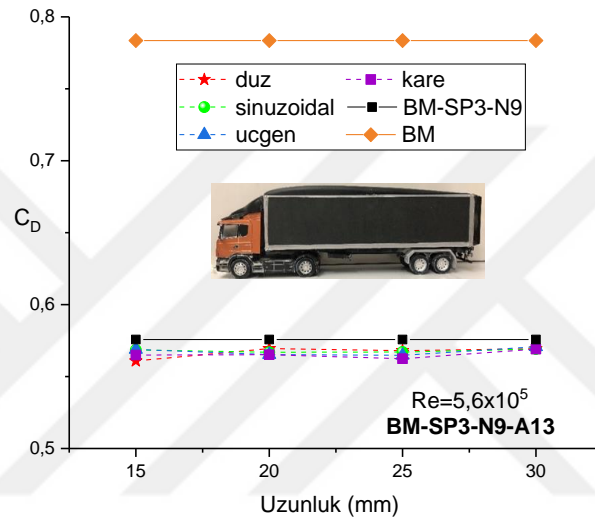
Şekil 3.15’de temel model, rüzgârlık 3 ve 16 konik kuyruktan oluşan pasif akış kontrol elemanları sürüklenme kuvvet katsayıları verilmiştir. Burada çekici-römörke ilave edilen rüzgârlık 3’ün tek başına sürüklemeyi % 17,8 iyileştirdiği görülmüştür. Bu çalışmaya ilave olarak konik kuyruklar incelendiğinde ise düz 15mm geometrinin en iyi sürüklenme azalması sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.15. BM-SP3 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.11. Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

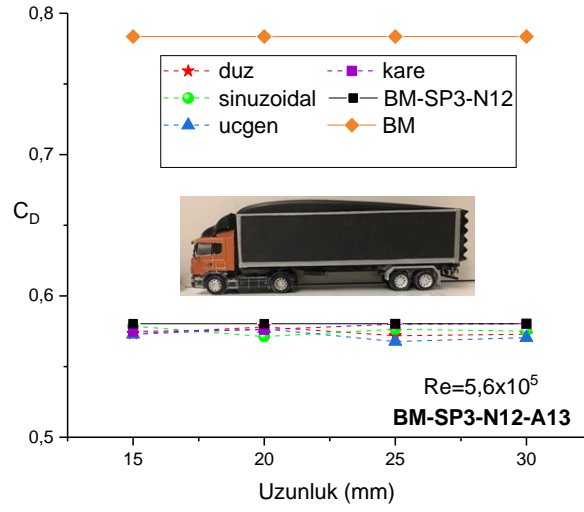
Temel modele ilave edilen rüzgârlık 3 ve NACA0009 yarım kanat profili sonrasında aerodinamik özelliklerin % 26.5 iyileştiği görülmüştür. 16 parça konik kuyruk eklentisinde ise en iyi olanının 0.56'lık bir  $C_D$  katsayısı değeri ile düz olan 15mm uzunluğa sahip geometrinin olduğu görülmüştür (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. BM-SP3-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.12. Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

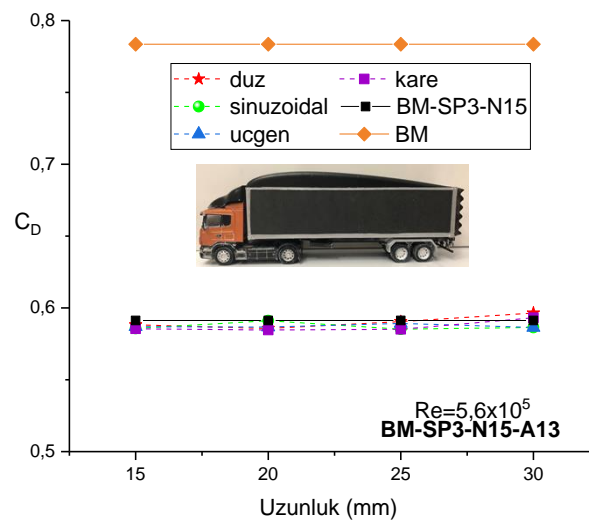
Şekil 3.17 BM-SP3-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi gösterilmiştir. Aynı şartlarda yarım kanat profili NACA0012 seçildiğinde yalnızca rüzgârlık 3 ve NACA0012 kanat profilinin aerodinamik iyileştirmesi % 26 olmuştur. Konik kuyruklar değerlendirildiğinde ise  $C_D$  katsayısı en iyi olan tasarımın üçgen 30mm uzunluğundaki konik kuyruk olduğu görülmüş  $C_D$  katsayısı değeri 0.57 olarak okunmuştur.



Şekil 3.17. BM-SP3-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.13. Temel Model (BM), Rüzgârlık 3 (SP3), Yarım NACA0015 Kanat Profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

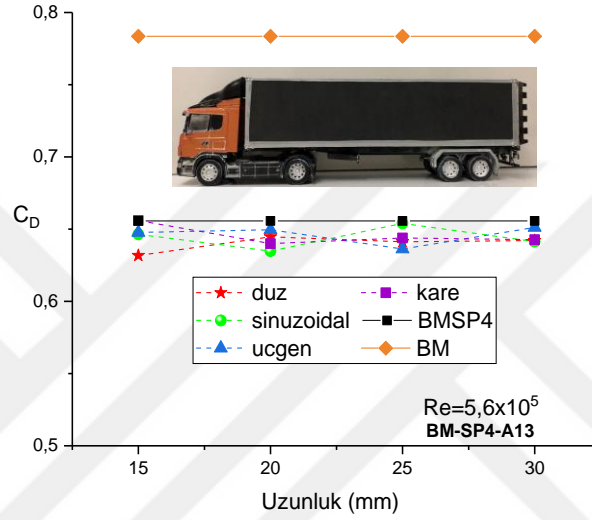
Yarım kanat NACA0015 ve rüzgârlık 3 kombinasyonunun aerodinamik özellikleri iyileştirmesi ise %24.5 olarak bulunmuştur. Konik kuyruklar değerlendirildiğinde ise 20mm uzunluklu kare profilin en iyi olduğu ve sürüklenme katsayısının 0.585 olduğu görülmüştür (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. BM-SP3-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.14. Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

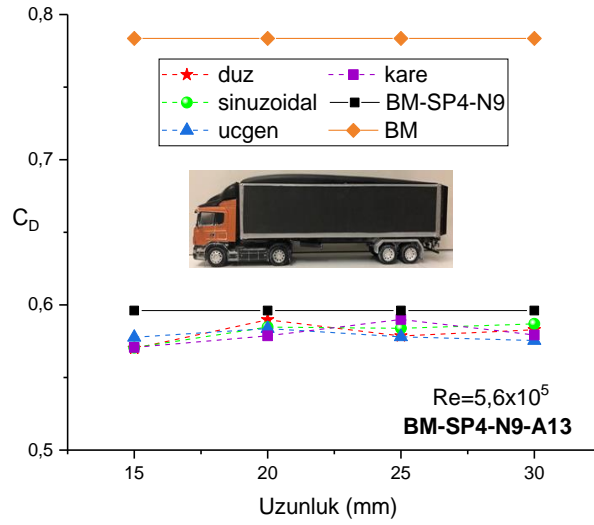
Temel model rüzgârlık 4 tasarımı ile birleştirildiğinde sürüklenme katsayısı üzerinde % 16.3'lük bir azalma olarak hesap edilmiştir. Konik kuyruklar değerlendirildiğinde ise 15mm'ye sahip düz geometrili ekipmanın en iyi sonuç verdiği gözlemlenmiş ve  $C_D$  katsayısı 0.78'den 0.66 ya düşmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. BM-SP4 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.15. Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA0009 Kanat Profili (N9) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

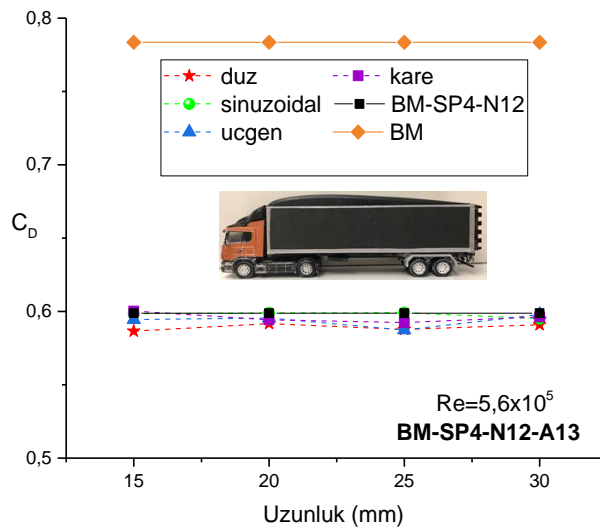
Rüzgârlık 4 ve NACA0009 yarım kanat geometrisinin temel modele eklenmesi ile %25'lik bir aerodinamik iyileştirme gözlemlenmiştir. Ayrıca bu kombinasyona ek deneylerin gerçekleştirdiği 16 konik kuyruk için ise 15mm uzunluğuna sahip düz geometrinin 0.57'lik bir  $C_D$  katsayısı değerine düşerek en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. BM-SP4-N9 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.16. Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA0012 Kanat Profili (N12) ve 16 Farklı Konik Kuyruk

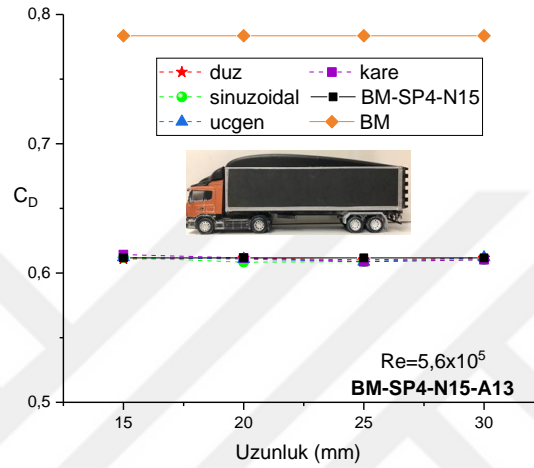
Temel modele rüzgârlık 4 ve NACA0012 kanat profilinden yola çıkılarak tasarlanan yarım kanat profili eklentisiyle aracın aerodinamik özelliğindeki iyileşme %24 olarak bulunmuştur. Konik kuyruk değerlendirmelerinde ise 15mm düz geometrinin 0.586 ile en iyi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. BM-SP4-N12 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.17. Temel Model (BM), Rüzgârlık 4 (SP4), Yarım NACA00015 Kanat Profili (N15) ve 16 Farklı Konik Kuyruk Kombinasyonları

Araca eklenen rüzgârlık 4 ve NACA015 yarım kanat profilinin aerodinamik özelliğindeki iyileşme % 21.9 olarak bulunmuştur. Konik kuyruk değerlendirmelerinde ise 0.61 ile 25mm düz geometri olduğu görülmüştür (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. BM-SP4-N15 konfigürasyonuna eklenen 16 farklı konik kuyruk tasarımının sürüklenme katsayısının ( $C_D$ ) değişimi

### 3.18. Temel Model'e Yalnızca NACA Tasarımlarının Eklenmesi ile Oluşan Kombinasyonlar

Tüm konfigürasyonlar Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Buradan yola çıkılarak temel modele eklenen geliştirilmiş NACA0009 modeli ile sürüklenme kuvvetinde %11.8'lik iyileştirme olurken, temel modele geliştirilmiş NACA0012 eklendiğinde %10.8'lik ve temel modele NACA0015 eklendiğinde ise %7.6'lık bir aerodinamik iyileşme gözlemlenmiştir.

Tablo 3 1. Temel modele yarım NACA tasarımlarının eklenmesi ile hesap edilmiş  $C_D$  katsayıları

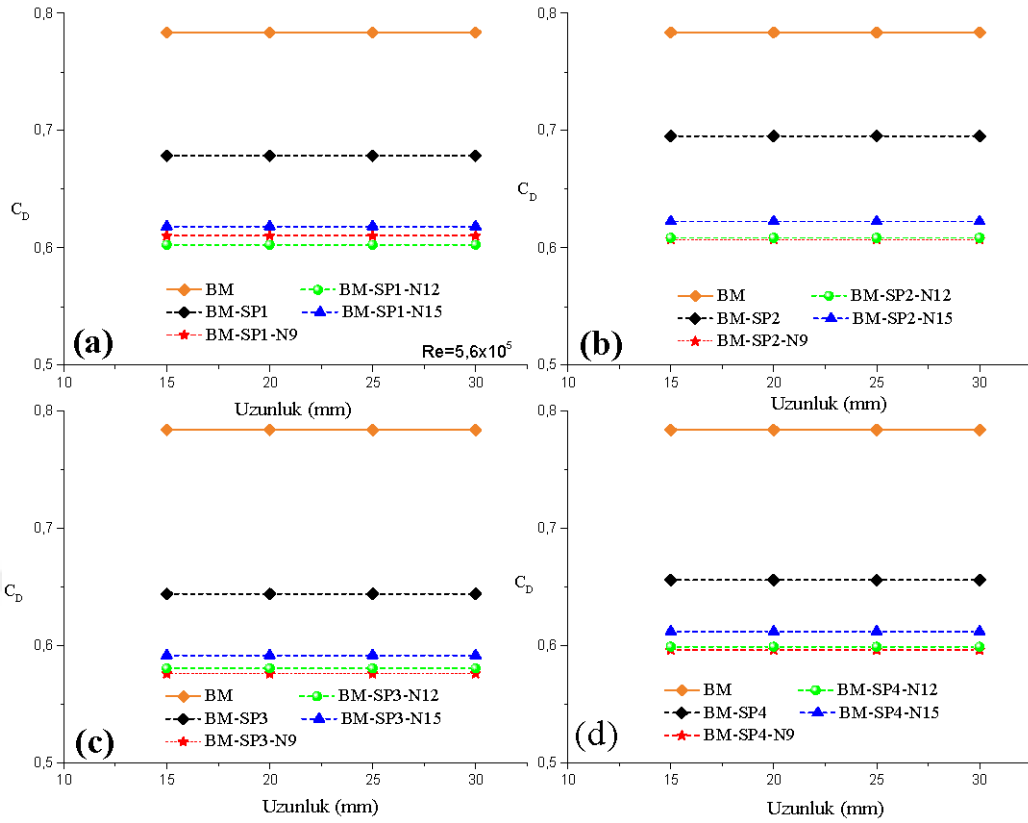
	$C_D$
<b>BM-N9</b>	0.69
<b>BM-N12</b>	0.70
<b>BM-N15</b>	0.72

### 3.19. Temel Modele 4 Farklı Rüzgârlık ve 3 Farklı NACA Tasarımlarının Eklenmesi

Bu bölümde temel modele ek olarak geliştirilmiş olan dört farklı rüzgârlık ve standart NACA'lardan tasarlanmış yarım uçak kanat geometrisinden oluşan römork üzeri akış kontrol ekipmanların oluşturduğu üç farklı geometrinin konfigürasyonları karşılaştırılmıştır. Daha önce bu kombinasyonları yüzde iyileştirmeleri tek tek anlatılmış olup bu bölümde birbirleriyle kıyaslama amaçlanmıştır.

Temel modele eklenen 4 farklı rüzgârlık geometrisi mevcuttur ve bu rüzgârlık tasarımların karşılık geldiği sürükleme katsayıları grafiklerden okunarak aerodinamik iyileştirme oranları hesaplanmıştır. Böylelikle SP1 (Rüzgârlık 1) %13.4, SP2 (Rüzgârlık 2) %11.3, SP3 (Rüzgârlık 3) %17.8 ve SP4 (Rüzgârlık 4) %16.3'lük bir aerodinamik iyileştirme sağlamıştır. Buradan yola çıkılarak en iyi rüzgârlık geometrisinin SP3 olduğu sonucuna varılabilir (Şekil 3.23).

Temel modele ve rüzgârlık geometrilerine ek olarak geliştirilmiş römork üzeri akış kontrol cihazları ele alınarak aerodinamik özellikleri kıyaslanmıştır. Grafikler incelendiğinde SP1 sabit tutulduğuna en iyi kombinasyonun %23'lük bir aerodinamik iyileşme ile BM-SP1-N12 olduğu, SP2 sabit tutulduğundan en iyi kombinasyonun %22.5 ile BM-SP2-N9 olduğu, SP3 sabit tutulduğunda %26.2 iyileştirme ile BM-SP3-N9 ve SP4 sabit tutulduğunda ise en iyi aerodinamik özelliğin %25 ile BM-SP4-N9 kombinasyonunun olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.23. a) BM-SP1, b) BM-SP2, c) BM-SP3 ve d) BM-SP4 kombinasyonlarına eklenen NACA tasarımlarının sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) değişimleri

### 3.20. Tüm Konfigürasyonlar

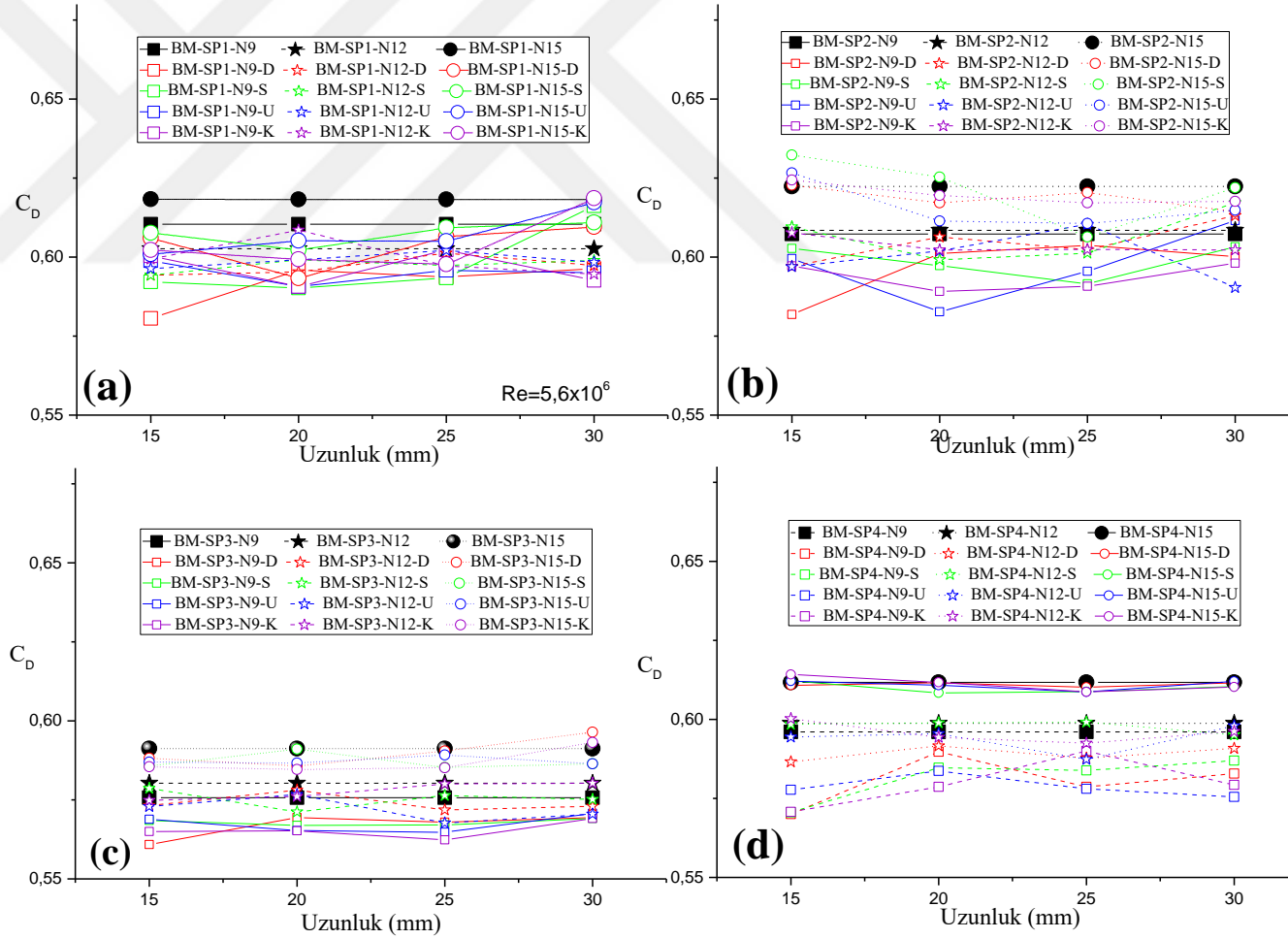
Rüzgârlıklar sabit tutularak diğer tüm kombinasyonlara ait değerlerin hesaplaması ve aynı grafikte verilerek temel modele göre en iyi aerodinamik özelliğin elde edildiği konfigürasyonun tespit edilmesi istenmiştir (Şekil 3.24).

Grafik Şekil 3.24(a)'ya bakıldığında rüzgârlık 1'e ek olarak geliştirilen tüm kombinasyon değerleri incelenmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda aerodinamik özellikleri en iyi olan sonucu BM-SP1-N9-D15A13 kombinasyonu olduğu görülmüştür. Grafik(b)'ye bakıldığından rüzgârlık 2 montajı sabit tutularak geriye kalan tüm kombinasyonlar kıyaslanmış en iyi aerodinamik özelliğe sahip olan kombinasyonun BM-SP2-N9-D15A13 olduğu sonucuna varılmıştır. Grafik (c)'de benzer olarak rüzgârlık 3 sabit tutulmuş ve tüm kombinasyonlarla kıyaslandığında BM-SP3-N9-D15A13 konfigürasyonunun en iyi aerodinamik özellik gösterdiği görülmüştür. Son olarak ta

Grafik(d)'ye bakıldığından rüzgârlık 4'ün kombinasyonlarındaki en iyi iyileştirmenin BM-SP4-N9-D15A13 olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada, çekici römork aracın önüne hızla gelen akış tasarlanmış olan rüzgârlıklar sayesinde akış römork üzerine yönlendirilmiştir. Aracın römorku üzerine tasarlanan yarım uçak kanadı profilleri sayesinde akışın yüzeye tutunması sağlayarak sürüklenme kuvvetini azaltmıştır. Ayrıca çekici römork aracın arka kısmı için dizayn edilmiş olan konik kuyruk tasarımları aracın arkasındaki akışın konik kuyruğa tutunmasını sağlayarak aerodinamik özellikler iyileştirilmiştir. Tüm bu konfigürasyonlar sayesinde aracın aerodinamik yapısında iyileşmeler gözlemlenmiştir.

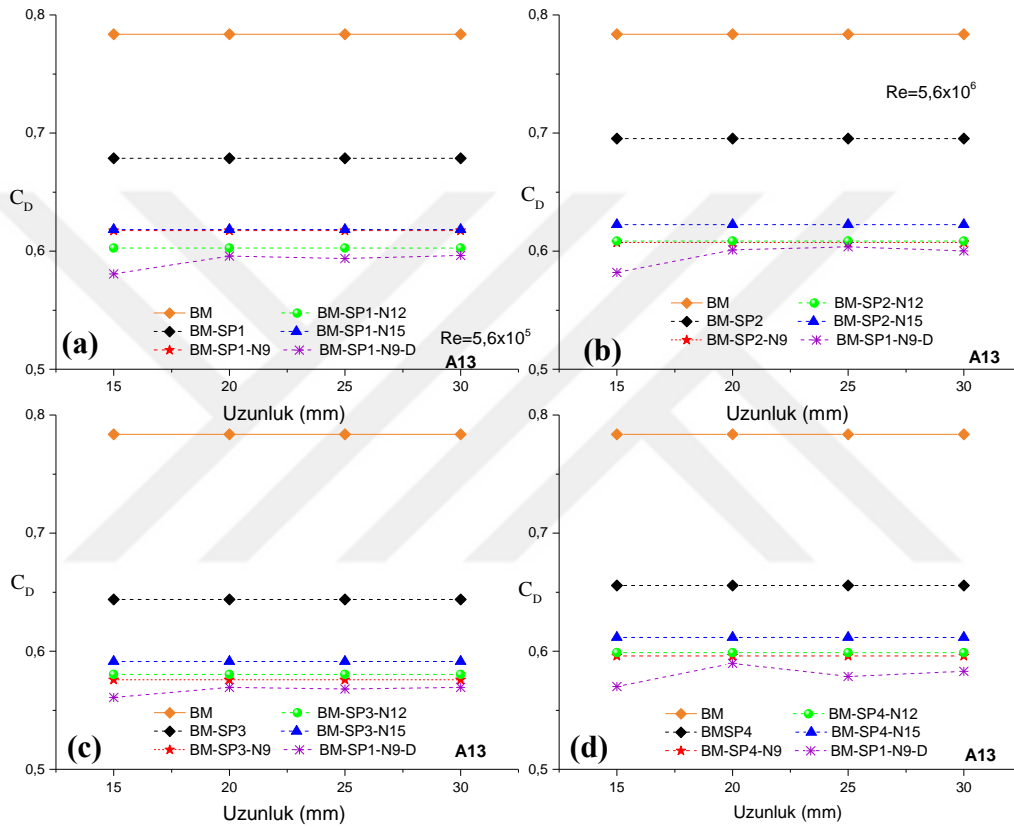




Şekil 3.24. a) BM-SP1, b) BM-SP2, c) BM-SP3 ve d) BM-SP4 kombinasyonlarına NACA ve 16 konik kuyruk tasarımlarının eklenmesi ile  $C_D$  katsayısının değişimi

### 3.21. Bütün Rüzgârlık ve NACA Tasarımlarına Ek En İyi Konfigurasyonlarının Kıyaslanması

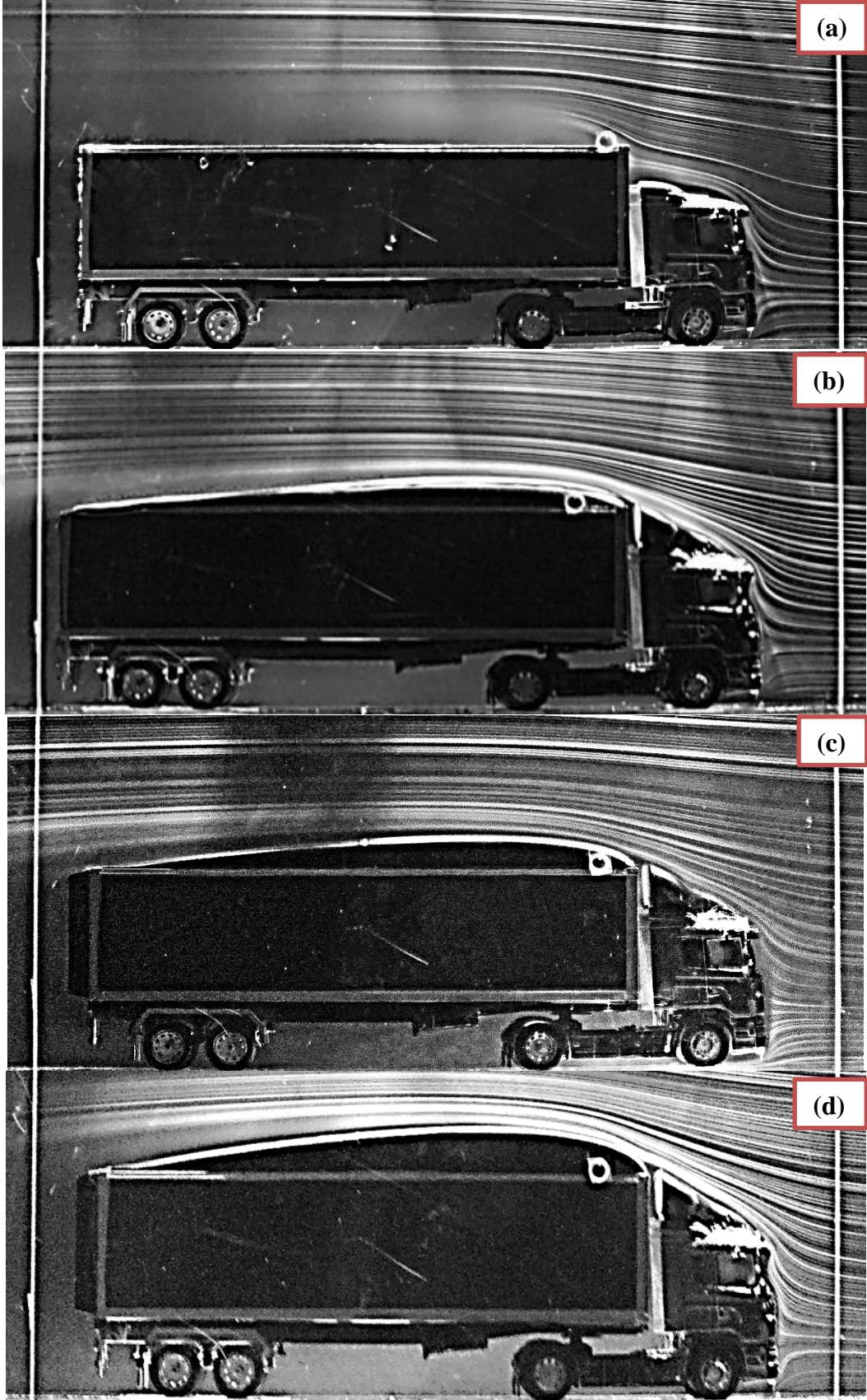
Bu bölümde Şekil 3.25'e ek olarak en iyi kombinasyonu içinde barındıran kombinasyonlar aynı grafikte verilmiştir. Bu grafik Şekil 3.25.'te verilmiş ve burada en iyi kombinasyonun BM-SP3-N9-D15A13 olduğu görülmüştür ( Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Temel modele ilave edilen a)SP1, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı, b) SP2, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı, c) SP3, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı ve d) SP4, 3 farklı NACA ve en iyi konik kuyruk tasarımı kıyaslanması

### 3.22. Duman Tel Akış Görüntüleme

Akışın görüntülenmesi için aerodinamik özelliği en iyi olan rüzgârlık 3 tasarımı seçilmiştir. Bu kombinasyonun diğer kombinasyonlar ile karşılaştırılması amacı ile değişik yarı NACA kanat profilleri kullanılarak  $Re= 2.4 \times 10^5$  değerinde akış görüntülenmesi yapılmıştır.



Şekil 3.26. a) BM, b) BM-SP3-N9-D15A13, c) BM-SP3-N12-D15A13 ve d) BM-SP3-N15-D15A13 için duman tel akış görüntülemesi

Şekil 3.26(a)'da aracın çekicisi üzerinde hareketlenen akış römork ön kısmına çarparak burada bir basınç artışına sebep olmuş ve römorkun uç kısmına çarparak akış ayrılmaları meydana getirmiştir. Şekil 3.26(b)'ye gelindiğinde çekici römork araca ilave edilen SP3, N9 ve D15A13 konfigürasyonunda, akış çekici römork üzerindeki rüzgârlık yüzeyine tutunmuş daha sonra yarım uçak kanat profilini yüzeyinde devam etmiştir. Sonrasında yarım uçak kanadı bölgesinden ayrılan akış konik kuyruk tasarımının sayesinde yeniden tutunması sağlanmıştır. Bu durumda akış ayrılması gecikmiş olup, iz bölgesini önemli ölçüde daralma meydana gelmiştir. Şekil 3.26 (c) ve Şekil 3.26 (d)'de de benzer durumlar söz konusudur. Fakat Şekil 0.26'daki akış görüntüleme fotoğraflarına bakıldığında BM-N9-D15A13 tasarımında diğer iki tasarıma göre akış ayrılması daha geride olmuştur ve aracın arkasında yeniden tutunmalar mevcuttur bu da aerodinamik özelliğini diğer iki tasarıma göre daha güçlü kılabilir. Bu çıkarım daha önce yük hücresi deneyiyle de en iyi sonucu veren kombinasyonu doğrular niteliktedir.

#### 4. TARTIŞMA

Çekici römork bir araçta römorkun yüksekliği çekicinin yüksekliğinden büyük olduğundan seyahat halinde gelen rüzgâr aracın römorkuna dik açı ile çarpar ve bu durumda ters yönde direnç meydana gelmesine sebep olur. Ters yönde direnç meydana gelmesi de aracın yakıt tüketimini önemli ölçüde etkiler. Yalnızca çekici üzerine dizayn edilen rüzgârlık tasarımı bu olumsuz etkiyi ciddi ölçüde azaltır. Rüzgârlık tasarımı tek başına aerodinamik özelliklere %10 - %20 arasında bir iyileştirme sağlar (Bayındırlı, vd. 2013).

Mevcut çalışmada yalnızca serin kuşunun gaga yapısından esinlenilerek tasarlanmış olan rüzgârlık ile sürüklenme kuvvet katsayısında %17.8'lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu oran %10 - %20 arasında olduğundan literatürle uyum içerisinde olduğu sonucuna varılabilir.

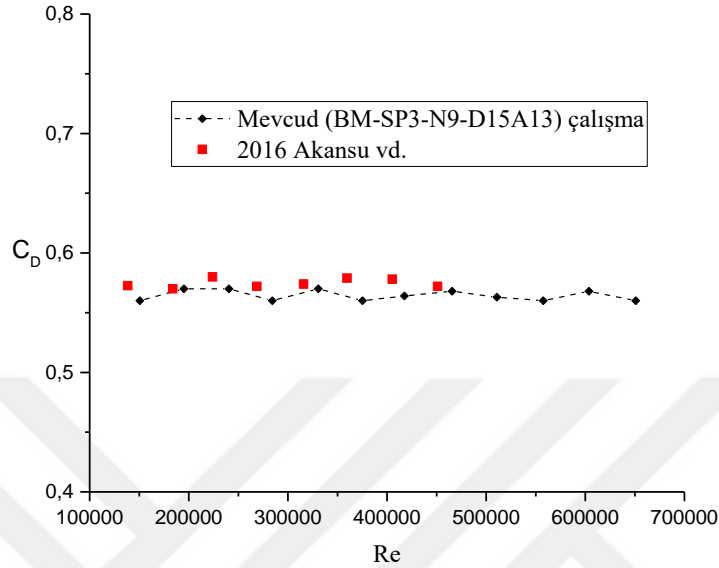
Tablo 4.1'de daha önce Sarioğlu vd. (2018) yapmış oldukları NACA kanat profili tasarımları ile elde ettiği sonuçlarla, mevcut çalışmadaki NACA kanat profillerinin (N9, N12 ve N15) sürüklenme kuvveti üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buradan yola çıkılarak, mevcut çalışmada yapılan 10 mm kenar yuvarlatmalarının, keskin kenarlı eski tasarıma göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tablo 4.1. Mevcut çalışma ile Sarioğlu vd. 2018 çalışmasının  $C_D$  katsayıları

	$\Delta C_D$ (%) NACA0009	$\Delta C_D$ (%) NACA0012	$\Delta C_D$ (%) NACA0015
Sarioğlu vd. 2018	8	10.5	5.5
Mevcut çalışma	11.8	10.8	7.6

Akansu vd. (2016) yapmış oldukları bir ağır vasıtaya etki eden sürüklenme kuvvetine çeşitli ekipmanların kombinasyonu ile elde edilmiş olan sürüklenme kuvvetinin Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Ayrıca mevcut çalışmanın en iyi konfigürasyonunun sürüklenme katsayısı değişimi de bu şeklin üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere mevcut çalışma, daha önceki çalışma ile iyi bir uyum içindedir. Deney süreci ve çalışmaların farklı Reynolds sayıları arasında

gerçekleşmesinden dolayı bazı farklılıklar görülse de mevcut çalışmanın literatürle uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1. Mevcut (BM-SP3-N9-D15A13) tasarımı ile Akansu vd. 2016 çalışmasının  $C_D$ -Reynolds sayısı grafiği

Konik kuyruk tasarımı temel modele eklenen rüzgârlık ve NACA konfigürasyonlarına ek olduğu zaman % 2.3'lük aerodinamik iyileştirme göstermiş olmasına rağmen temel modele yalnızca konik kuyruk tasarımlarının eklenmesi ile aerodinamik incelemeler yapıldığında bu iyileştirmenin %5.5'e kadar çıkabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu iyileştirme literatür ile de desteklenmiştir. Khosravi vd. (2015), Schoon vd. (2007), Cooper vd. (2003) ve Landman vd. (2010) çekici römork'e yalnızca konik kuyruk tasarımı eklenmesi ile aerodinamik özellikte olan iyileştirmeleri sırası ile %5, %8.5 %6 ve %9.2 olarak bulmuşlardır. Ayrıca Miralbes vd. (2012) konik kuyruk olarak tasarladıkları römorkü 3 cepheden saran plakalar ve yuvarlatılmış tasarımları için çalışmalarını yürütmüş ve aerodinamik özelliklerin %4 ve %5 iyileştiğini vurgulamıştır. Bu çalışmalar ışığında çekici römorkü yalnızca konik kuyruk tasarımı ilavesinin aerodinamik özelliği yaklaşık %4 - %9 arasında iyileştirdiği sonucuna varılabilir. Bu sonuç mevcut çalışmamızın literatür ile uyum içinde olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir çekici-römorkun aerodinamik özelliğini iyileştirmek amacı ile farklı pasif akış kontrol ekipmanları tasarlanmıştır. Bu tasarımlar; serin kuşundan ilham alınarak tasarlanan dört farklı tipte rüzgârlık geometrisi, yarım uçak kanadından referans alınarak tasarlanan üç farklı tipte römork üzeri yönlendirici ve farklı uzunluk, geometrik şekil ve açıdan meydana gelen 48 özgün konik kuyruk tasarımından oluşmaktadır. Deneylede Reynolds sayısı bağımsızlığı için  $Re=1.6 \times 10^5 - 6.5 \times 10^5$  aralığında bulunan 12 farklı Reynolds sayısında hesap edilmiş ve daha sonra tüm deneyler Reynolds sayısının bağımsız olduğu  $Re=5.6 \times 10^5$  da gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken temel model ve kombinasyonların sürüklenme katsayıları ile ilgili rüzgâr tüneli deneyleri yük hücresi yardımı ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmada bulunan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekici römork kombinasyonuna eklenmiş olan en iyi rüzgârlık tasarımlarını SP3 tasarımına ait  $C_D$  katsayısı değeri 0.64 olarak elde edilmiş ve buna karşılık gelen aerodinamik iyileştirme oranı %17.8 olarak bulunmuştur.1
2. Çekici römork kombinasyonuna çekici üzerine monte edilen rüzgârlık ve römork üzerine monte edilmiş olan yarım kanat modelleri ile birlikte en iyi aerodinamik iyileşme BM-SP3-N9 geometrisi sayesinde elde edilmiştir. Bu kombinasyonun  $C_D$  katsayısı değeri 0.57 olarak tespit edilmiş olup bu da %26.2'lik bir iyileştirmeye karşılık gelmektedir.
3. Basit model araç rüzgârlık, yarım kanat tasarımı ve konik kuyrukların eklenip kıyaslanması ile en iyi tasarımın BM-SP3-N9-D15A13 kombinasyonunun olduğu sonucuna varılmış ve bu kombinasyonun  $C_D$  katsayısı değeri 0.56 olarak bulunmuş ve aerodinamik etkisinin ise %28.5 olduğu görülmüştür.
4. Duman tel akış görüntüleme sonuçlarına göre geliştirilmiş tasarımların araç üzerine monte edilmesi ile akış ayrılma noktalarının gecikmesi sağlanmış ve bu da iz bölgesinde daralmalar meydana getirmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada literatüre uygun olarak çekici-römork tasarımına çeşitli aerodinamik iyileştirmeler sağlanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen konik kuyruk geometrilerinin aerodinamik özelliklerinin incelenmesinde sınırlı sonuçlar elde edilmiştir. Konik kuyruk geometrilerinin aerodinamik özellikleri iyileştirme noktasındaki başarısı net bir şekilde ortaya koyulamamıştır. Bu sebeple gelecek çalışmalarda geliştirilen konik kuyruk tasarımlarının çekici römork üzerindeki iyileştirmelerini incelemek için yağ akış görüntüleme, PIV akış görüntüleme ve Lazer Doppler ile akışın karakteristik yapısının incelenmesi daha etkili bir yöntem olabilir.

Ayrıca çekici römork gibi ağır vasıta araçlarda doğadan esinlenilmiş tasarımların araç aerodinamiğini olumlu yönde geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Bu sebepten dolayı doğada var olan canlıların aerodinamik özellikleri detaylı şekilde araştırılabilir. Böylece araç çevresindeki akışı kontrol etmek için farklı tasarımlarda konik kuyruklar veya farklı pasif akış kontrol parçaları tasarlanarak sürüklenme kuvveti azaltma çalışmaları yürütülebilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Ahmed, S. R., Ramm G., ve Faltin G., 1984. Some Salient Features of the Time –Averaged Ground Vehicle Wake, SAE International 473-503.
- Aider, J. L., Beaudoin, J. F., ve Wesfreid, J. E., 2010. Drag and lift reduction of a 3D bluff-body using active vortex generators, Springer, 48, 5, 771-789.
- Akansu, Y. E., Bayındırlı, C. ve Seyhan M., 2016. Bir Çekici Römork Aracında Sürüklenme Kuvvetinin Pasif Akış Kontrol Yöntemleri İle İyileştirilmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 36, 1, 133-141.
- Altaf, A., Omar, A. ve Asrar, W., 2014. Passive drag reduction of square back road vehicles. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 134.
- Arslan, M. Ö., 2005. Ticari Taşıt Aerodinamiğinin Temelleri Ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayındırlı, C., Akansu, Y.E. ve Salman, M.S. 2016. The Determination of Aerodynamic Drag Coefficient of Truck and Trailer Model By Wind Tunnel Tests, Int. J. Automot. Eng. Technol., 5,53.
- Bayındırlı, C., 2017. The Experimental Investigation of the Effects of Spoiler Design on Aerodynamic Drag Coefficient on Truck Trailer Combinations. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 5, 2, 53.
- Bayındırlı, C., Akansu, Y. E., Salman, M. ve Çolak, D. 2015. The Numerical Investigation of Aerodynamic Structures of Truck and Trailer Combinations. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 4, 3, 139.
- Bayındırlı, C., Çelik, M. ve Demiralp, M. 2018. Bir Otobüs Modeli Etrafındaki Akış Yapısının CFD Yöntemi ile İncelenmesi ve Sürüklenme Kuvvetinin Pasif Akış Kontrol Yöntemi ile İyileştirilmesi. Journal of Polytechnic.
- Cooper, K. R., 2003, Truck Aerodynamics Reborn-Lessons from the Past, Sae Technical Paper Series., 2003-01-3376.
- Çakmak, M.A. 2000. Kara taşıtlarının aerodinamik bakımdan incelenmesi. Mühendis ve Makina, 1, 489, 35-41.
- Çengel, Y.A., ve Cimbala, J.M., 2008. “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları” (çev. Engin. T, Öz. H.R, Küçük. H, ve Çeşmeci. Ş.), Güven Bilimsel Yayınları, 562-599.

- Demircioğlu, T. K., 2007. Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Desai. D. M. ve Molvi. İ., 2017. Effect Of Various Aerodynamic Drag Reduction Methods On Vehicle- A Review, International Journal of Advance Engineering and Research Development, 2348-6406.
- Håkansson, C. ve Lenngren M.J., 2010. CFD Analysis of Aerodynamic Trailer Devices For Drag Reduction of Heavy Duty Trucks. Master's Thesis in the Master's Programme of Automotive Engineering., Göteborg, Sweden.
- Hasheminejad, S., Mitsudharmadi, H. ve Winoto, S., 2014. Effect of Flat Plate Leading Edge Pattern on Structure of Stream wise Vortices Generated in Its Boundary Layer. Journal of Flow Control, Measurement& Visualization, 02, 01, 18-23.
- Hasheminejad, S., Mitsudharmadi, H., Winoto, S., Low, H. ve Lua, K., 2017. Development of stream wise counter-rotating vortices in flat plate boundary layer pre-set by leading edge patterns. Experimental Thermal and Fluid Science, 86, pp.168-179.
- Hedenström, A. ve Liechti. F., 2001. Field Estimates of Body Drag Coefficient on The Basis of Dives in Passerine Birds. The Journal of Experimental Biology, 204, 1167–1175.
- Hwang, B., Lee, S., Lee, E., Kim, J., Kim, M., You, D. ve Lee, S., 2016. Reduction of drag in heavy vehicles with two different types of advanced side skirts. Journal of Wind Engineering and Industria Aerodynamics, 155, 36-46.
- İçingür, Y. ve Solmaz, H., 2011. Düşük Hızlı Bir Rüzgâr Tünelinde Değişik Otomobil Modellerinin Aerodinamik Direnç Katsayılarının Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26, 2, 455-460.
- İpçi, D., Yılmaz, E., Aysal, F. E. ve Solmaz, H. 2015. Bir kara taşıt modeli etrafındaki akış yapısının sayısal olarak incelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 12, 2, 51-64.
- Khosravi, M., Mosaddeghi, F., Oveisi, M. ve Khodayari-b, A., 2015. Aerodynamic drag reduction of heavy vehicles using append devices by CFD analysis. Journal of Central South University, 22, 12, 4645-4652.
- Kim, J., Hong, J. ve Lee, S. 2017c. Bio-inspired cab-roof fairing of heavy vehicles for enhancing drag reduction and driving stability. International Journal of Mechanical Sciences, 131-132, 868-879.
- Kim, J., Kim, J. ve Lee, S., 2017b. Substantial drag reduction of a tractor-trailer vehicle using gap fairings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 171, 93-100.

- Kim, J., Lee, S., Kim, M., You, D. ve Lee, S., 2017a. Salient drag reduction of a heavy vehicle using modified cab-roof fairings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 164, 138-151.
- Landman, D., Wood, R., Seay, W. ve Bledsoe, J., 2010. Understanding Practical Limits to Heavy Truck Drag Reduction. SAE International Journal of Commercial Vehicles, 4970 (2010) 183–190. doi:10.4271/2009-01-2890.
- Miralbes, R., 2012. Aerodynamic analysis of some vortex generator improvements for heavy vehicles. International Journal of Heavy Vehicle Systems, 19, 4, 355.
- Modi, V., Hill, S. ve Yokomizo, T., 1995. Drag reduction of trucks through boundary-layer control. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 54-55, 583-594.
- Norouzi, M., Pooladi, M. ve Mahmoudi, M., 2016. Numerical investigation of drag reduction in a Class 5 medium duty truck. Journal of mechanical engineering and sciences, 10,3, 2387-2400.
- Oğuz, B., Akar, M., Pınar, E., Akıllı, H. ve Şahin, B., 2016. Control of flow structure in the wake region of circular cylinder with me shy wire in deep water. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 22, 4, 280-284.
- Pinarbaşı, A., Güleren , K. M., Gürlek C., Temel Ü. N. ve Ağır A., 2010. Ahmed Modeli Üzerindeki Akış Yapısının İncelenmesi, Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, A.Ü., Eskişehir.
- Salari, K., 2012. DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations, DOE Annual Merit Review, Project ID, VSS006 May 14-18.
- Salati, L., Schito, P. ve Cheli, F., 2017. Wind tunnel experiment on a heavy truck equipped with front-rear trailer device. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 171, 101-109.
- Sarıoğlu, M., Seyhan, M. ve Akansu, Y., 2016. Aerodynamic Drag Force Estimation of a Truck Trailer Model Using Artificial Neural Network. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 5, 4, 168-175.
- Sarıoğlu, M., 2018. Taşıtlara etki eden sürüklenme kuvvetinin akış kontrol yöntemleriyle azaltılması. Bilimsel araştırma projeleri koordinasyon birimi temel araştırma projesi (bap01) K.T.Ü., Trabzon.
- Schoon, R. ve Fongloon, P. P., 2007. "Practical Devices for Heavy Truck Aerodynamic Drag Reduction," SAE Paper, 01-1781.

Seyhan, M., Sarıoğlu, M. ve Akansu, Y. 2018. Ayırıcı Plakalı Bir Kare Prizma Etrafındaki Akışta Hücüm Açısının Etkisi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 23, 2, 233-240.

Şahin,C., 2008. Ağır Yük Taşıtlarının Aerodinamik Şekil Direnç Katsayılarının Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği Yöntemi İle Analiz, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şanlısoy A., Plazma Aktüatörün Naca2415 Model Uçak Kanadı Etrafındaki Akış Kontrolü Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

URL-1 <https://maker.robotistan.com/3d-yazici-printer/>.12 Şubat 2019

White, M.F., 2004. “Akışkanlar Mekaniği”, McGraw Hill, London, 210-220.



## 8. EKLER

### Ek 1. Belirsizlik Analizi

Bu çalışmada, hem ölçülen hem de hesaplanan parametrelere ait belirsizlik değerlerini elde etmek için Yeşilıdağ (2013) tarafından önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Deneysel parametreleri (E.1)'de verilmiştir.

$$r = kX_1^a X_2^b X_3^c \dots \quad (\text{E.1})$$

Bu formdaki fonksiyonun belirsizlik ifadesi (E.2)'de ifade edilmiştir.

$$u_r = \frac{w_r}{r} = \left[ a^2(u_{x_1})^2 + b^2(u_{x_2})^2 + c^2(u_{x_3})^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (\text{E.2})$$

Bu çalışma kapsamında deneysel olarak hız, kuvvet, yoğunluk, sıcaklık vb. parametreler ölçülmüş olup bu ölçüm sonuçları kullanılarak Reynolds sayısı ve sürüklenme kuvveti katsayısı hesap edilmiştir.

Deneyde kullanılan parametrelerin belirsizliğinin tespiti

Bu çalışmada deneyde kullanılmış olduğumuz değişkenlerin, atmosfer basıncı ( $P_{atm}$ ), sıcaklık (T),

karakteristik uzunluk (H), model karakteristik uzunluğu (L), model karakteristik genişlik (D), sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ), dinamik viskozite ( $\mu$ ), belirsizlik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında tüm bu ölçüm cihazları için yapılan deneylerde ayrı ayrı belirsizlik analizi yapılmıştır.

•85kPa atmosfer basıncının ölçümünde 1kPa hata oluşabilmektedir. Bu durumda atmosfer basıncının belirsizliği % 1.1 olarak hesap edilmiştir.

$$\left( u_{P_{atm}} = \frac{w_{P_{atm}}}{P_{atm}} \cong \frac{1000}{85000} = 0.011 = \%1.1 \right)$$

•Sıcaklık ölçümünde ölçüm sisteminden kaynaklanan veya deney süresince sıcaklık değişimine bağlı olarak 2°C hata oluşmaktadır. Bu durumda 26°C'deki sıcaklığın ölçümünde, sıcaklığa ait belirsizlik % 0.67 olarak bulunmuştur.

$$\left( u_T = \frac{w_T}{T} \cong \frac{2}{299} = 0.0067 = \%0.67 \right)$$

•471 mm karakteristik uzunluğun ölçümünde oluşan 0.5mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik % 0.103 olmuştur.

$$\left( u_H = \frac{w_H}{L} \cong \frac{0.5}{471} = 0.00106 = \%0.106 \right)$$

Ek'in devamı

- 13.3 mm aracın yüksekliği ölçümünde oluşan 0.05mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik % 0.376 olarak bulunmuştur.  $(u_L = \frac{w_L}{L} = 0.00376 = \%0.376)$
- 8.3 aracın genişliği ölçümünde oluşan 0.05mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik % 0.6'dır.  $(u_D = \frac{w_D}{D} = 0.006 = \%0.6)$
- 26°C sıcaklığındaki havanın 2°C değişimi ile dinamik viskozitesindeki oluşan belirsizlik, % 5.4'tir.

Yoğunluğun belirsizliğinin hesaplanması

$\rho = \frac{P_{atm}}{R \times T}$  olarak tanımlanan yoğunluk için belirsizlik değeri, atmosfer basıncı ve sıcaklık değerine bağlı olarak değişmektedir. Yoğunluk için belirsizlik denklemi,

$$u_\rho = \frac{w_\rho}{\rho} = \left[ (1)^2 \left( \frac{w_{P_{atm}}}{P_{atm}} \right)^2 + (-1)^2 \left( \frac{w_T}{T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E.3)$$

olarak bulunur. Denklem (E.3)'de atmosfer basıncının ve sıcaklığın belirsizliğinin değerlerinin yazılması ile yoğunluğun belirsizliği %1.28 olarak elde edilir.

Ön bakış alanının belirsizliğinin hesaplanması

$A_{\text{ÖN}} = L \times D$  olarak tanımlanan ön bakış alanı değeri model karakteristik uzunluk ve model karakteristik genişliğine bağlı olarak değişmektedir. Ön bakış alanının belirsizliği denklem (E.4)'de verilmiştir.

$$u_{A_f} = \frac{w_{A_f}}{A_f} = \left[ \left( \frac{w_D}{D} \right)^2 + \left( \frac{w_L}{L} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E.4)$$

Denklem E.4'den bakış alanının belirsizliği veya % 0.7 olarak elde edilir.

Sürükleme kuvvetinin ölçümünde oluşan belirsizlikler

Ek1'in devamı

Sürüklenme kuvvet katsayısına etki eden belirsizlik değerleri  $U=22,16$  m/s ( $Re=5.6 \times 10^5$ ) değeri için elde edilmiştir.

X<sub>1</sub>)Yük hücrecini eksenin ayarlanmasında 1°'lik hata nedeni ile kuvvet ölçümünde oluşan belirsizlik % 0,6'dir

X<sub>2</sub>)Veri toplama kartı çözünürlüğü nedeni ile oluşan belirsizlik % 0.34'dür.

X<sub>3</sub>) Yük hücresinin kalibrasyon sonuçlarına göre hata payı  $\pm 0,01N$ 'dur. Kalibrasyon işleminde 1.74N'luk kuvvet için oluşan belirsizlik % 0, 57'dir.

Bu belirsizlikler dikkate alınarak sürüklenme kuvveti ölçümünde oluşan toplam belirsizlik;

$$\frac{w_{FD}}{F_D} = \left[ \left( \frac{w_{X_1}}{X_1} \right)^2 + \left( \frac{w_{X_2}}{X_2} \right)^2 + \left( \frac{w_{X_3}}{X_3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{FD} = \frac{w_{FD}}{F_D} = [(0.006)^2 + (0.0034)^2 + (0.0057)^2]^{1/2} \cong 0.0089$$

% 0.89 olarak elde edilir.

Akış hızının ölçümündeki belirsizlik

230Pa basıncın ölçümünde oluşan 2Pa'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik % 0.86'dir

Buna bağlı olarak serbest akış hızının ölçümündeki toplam belirsizlik;

$$u_x = \left[ (0.5)^2 (u_{\Delta P})^2 + (-0.5)^2 (u_\rho)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_x = \left[ 0.25 (u_{\Delta P})^2 + 0.25 (u_\rho)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_x = [0.25(0.0086)^2 + 0.25(0.0128)^2]^{1/2}$$

Ek1'in devamı

Akış hızının ölçümündeki belirsizlik  $u_x \cong 0.0043$  veya % 0.43 olarak elde edilir.

Reynolds sayısının belirsizlik değerinin hesaplanması

$Re = \frac{\rho u_x H}{\mu}$  şeklinde tanımlanan Re sayısı için belirsizlik değeri,  $\rho$ ,  $u$ ,  $H$  ve  $\mu$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Re sayısının oluşan toplam belirsizlik değeri;

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = \left[ (u_\rho)^2 + (u_x)^2 + (u_H)^2 + (u_\mu)^2 \right]^{1/2} \quad (E.6)$$

Reynolds sayısının belirsizlik değeri, daha önce yukarıda tespit edilen; yoğunluk, hız, karakteristik uzunluğun ve dinamik viskozitenin belirsizliğinin denklem (E.6)'de yerine yazılması ile hesaplanmaktadır.

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = [(0.0128)^2 + (0.0043)^2 + (0.00106)^2 + (0.054)^2]^{1/2} = 0.055 = \%5.5$$

Aerodinamik direnç katsayısının ( $C_D$ ) belirsizlik değerinin hesaplanması

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}(\rho) \cdot (u_x)^2 \cdot (A_f)} \quad \text{denklemi ile hesaplanan sürüklenme kuvveti katsayısının}$$

belirsizliğini belirlemek için benzer şekilde Eş. 7 kullanılmaktadır.

$$u_{C_D} = \frac{w_{C_D}}{C_D} = \left[ (u_{F_D})^2 + (u_\rho)^2 + 4(u_x)^2 + (u_{A_f})^2 \right]^{1/2} \quad (E.7)$$

$$u_{C_D} = \frac{w_{C_D}}{C_D} = [(0.0089)^2 + (0.0128)^2 + 4(0.0043)^2 + (0.0071)^2]^{1/2} = 0.019$$

Sürüklenme kuvveti katsayısının belirsizliğinin değeri, Reynolds sayısının  $5.6 \times 10^5$  değeri için hesaplanmış olup % 1.9 olarak hesaplanmıştır.

## ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe Merve KESAT, 1992 yılında Trabzon'da doğdu. Lise eğitimini Trabzon Yunus Emre Lisesinde tamamladıktan sonra Eğitim hayatına Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümde devam etti. 2015 senesinde Makine Mühendisliği programını tamamladı. Lisans eğitimi sonrasında memleketi olan Trabzon'a dönerek Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya başladı.

