

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK HIZLI ARAÇLAR İÇİN SİLECEK SİSTEMİNİN AERODİNAMİK
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜLEYMAN EMRE AK

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK HIZLI ARAÇLAR İÇİN SİLECEK SİSTEMİNİN AERODİNAMİK
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SÜLEYMAN EMRE AK
(503131129)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan GÜNEŞ

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131129 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Süleyman Emre AK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜKSEK HIZLI ARARÇLAR İÇİN SİLECEK SİSTEMİNİN AERODİNAMİK OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hasan Güneş**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Sertaç Çadırcı**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Oktay Yılmaz
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **24 Aralık 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca her konuda destek sağlayan tez danışmanım ve hocam Prof. Dr. Hasan Güneş'e teşekkür ederim.

Proje süresince bilgi ve deneyimlerini paylaşan Yrd. Doç. Dr. Sertaç Çadırcı, Arş. Gör. Mustafa Özsipahi, Arş. Gör. Umut Can Coşkun ve Arş. Gör. Abdussamet Subaşı'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince destek ve katkısı için Yük. Mak. Müh. Buğra Selenbaş ve Teklas A.Ş.'ye teşekkür ederim.

SANTEZ-0278-2013-2, 'Silecek Sistemlerinin Yüksek Hızlarda Aerodinamik Performanslarını Artıracak Yeni Spoiler Tasarımı ve Prototip Üretimi' projesini destekleyen T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür sunarım.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi desteği benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Aralık 2015

Süleyman Emre Ak
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tarihçe	1
1.2 Silecek Malzemeleri	2
1.3 Silecek Silme Alanları	3
1.4 Silecek Tipleri	4
1.4.1 Geleneksel tip silecekler	4
1.4.2 Muz tipi silecekler	5
1.5 Silecek Sistemlerinin Yönetmelikleri.....	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1 Literatürdeki Çalışmalar	9
3. SAYISAL İNCELEME.....	21
3.1 Matematiksel Model.....	21
3.1.1 Yöneten denklemler.....	22
3.1.2 Aerodinamik kuvvetlerin hesaplanması	22
3.1.3 λ_2 Vorteks tanımlama yöntemi	23
3.2 Orijinal Silecek Geometrisinin Basitleştirilmiş Modelde Sayısal Olarak İncelenmesi.....	24
3.2.1 Akış hacmi ve sınır şartları	24
3.2.2 Üç boyutlu hesaplama ağının oluşturulması	25
3.2.3 Analiz sonuçları	26
3.3 Orijinal Silecek Geometrisinin Araç Modeli Üzerindeki Analizleri.....	27
3.3.1 Akış hacmi ve sınır şartları	28
3.3.2 Analiz sonuçları	31
4. YENİ SİLECEK GEOMETRİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ	35
4.1 Rüzgârlık Profilinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi.....	35
4.2 Silecek Yüksekliğinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi	39
4.3 Bağlantı Tipinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi	42
4.4 İncelenen Özelliklerin Birleştirilmesiyle Yeni Silecek Modellerinin Oluşturulması.....	46
5. YENİ OLUŞTURULAN SİLECEK GEOMETRİLERİNİN DETAYLI ANALİZLERİ.....	51

5.1 Hız Değişiminin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi.....	51
5.2 Silecek Açısının Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi.....	55
5.2.1 Akış hacmi ve sınır koşulları	55
5.2.2 Çözüm ağının oluşturulması	56
5.2.3 Analiz sonuçları	57
5.3 Yeni Oluşturulan Silecek Modellerinin Araç Üzerinde Yapılan Analizleri	65
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	73
6.1 Cam Üzerinde Silecek Baskı Kuvveti Dağılımlarının Bulunması	73
6.2 Rüzgâr Tüneli Testleri.....	76
6.2.1 Rüzgâr tüneli teknik özellikleri	76
6.2.2 Test sonuçları.....	78
6.2.2.1 Silecekler alt konumdayken alınan görüntüler	79
6.2.2.2 Silecekler üst konumdayken alınan görüntüler.....	81
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFD	: Computational Fluid Dynamics
FKFS	: Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart

SEMBOLLER

α	: Cam açısı [$^{\circ}$]
C_1	: Türbülans sabiti
C_D	: Direnç katsayısı
C_L	: Kaldırma katsayısı
ε	: Türbülans yitim hızı [m^2/s^3]
F_D	: Direnç kuvveti [N]
F_L	: Kaldırma kuvveti [N]
F_x	: x yönündeki kuvvet [N]
F_y	: y yönündeki kuvvet [N]
G_b	: Ortalama hız gradyenine bağlı kinetik enerji üretimi [kg/ms^2]
G_k	: Kaldırma kuvvetine bağlı kinetik enerji üretimi [kg/ms^2]
k	: Türbülans kinetik enerjisi [m^2/s^2]
μ	: dinamik vizkozite [kg/ms]
P	: Basınç [Pa]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
S	: Kaynak terimi
u	: Hızın x yönündeki bileşeni [m/s]
$\vec{v}$	: Hız vektörü [m/s]
v	: Hızın y yönündeki bileşeni [m/s]
w	: Hızın z yönündeki bileşeni [m/s]
Y_m	: Genleşme yitimi [kg/ms^2]
τ	: Kayma gerilmesi [Pa]

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Farklı Sayıdaki Elemanlı Çözüm Ağlarına Göre Silecek Üstüne Etkiyen Kuvvetler.....	25
Çizelge 3.2 : Orijinal geometri için araç üstünde analiz sonuçları.	32
Çizelge 4.1 : Farklı rüzgârlık profilleri için analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.2 : En iyi performansa sahip rüzgârlık profillerinin analiz sonuçları.	37
Çizelge 4.3 : Çeşitli yükseklikte silecekler için analiz sonuçları.....	40
Çizelge 4.4 : Farklı bağlantı tiplerine sahip sileceklerin analiz sonuçları.....	43
Çizelge 4.5 : 19 mm yükseklik için farklı silecek profillerinin analiz sonuçları.	46
Çizelge 4.6 : Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3 analiz sonuçları.....	47
Çizelge 5.1 : Orijinal silecek geometrisine farklı hızlarda etkiyen kuvvetler.	52
Çizelge 5.2 : Silecek 3_5_1'e farklı hızlarda etkiyen kuvvetler.....	52
Çizelge 5.3 : Orijinal silecek geometrisine farklı açılarda etkiyen kuvvetler.....	57
Çizelge 5.4 : Silecek 9_1_1'e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.....	57
Çizelge 5.5 : Silecek 3_5_1'e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.....	58
Çizelge 5.6 : Silecek 3_5_3'e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.....	58
Çizelge 5.7 : 240 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.	66
Çizelge 5.8 : 200 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.	66
Çizelge 5.9 : 160 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.	67
Çizelge 6.1 : Rüzgâr tünelinin teknik özellikleri.	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Mary Anderson'ın silecek patenti	2
Şekil 1.2 : Silecek modelleri ve malzemelerinin tarihsel gelişimi.	3
Şekil 1.3 : Sık kullanılan silme alanları.	4
Şekil 1.4 : Geleneksel tip silecek.	5
Şekil 1.5 : Muz tipi silecek ve kesiti.	6
Şekil 1.6 : Muz tipi silecek sistemi	6
Şekil 1.7 : Amerikan federal motorlu taşıtlar güvenlik standartlarına göre silinmesi zorunlu olan araç ön cam bölgeleri	7
Şekil 2.1 : Su tüneli test düzeneği	9
Şekil 2.2 : Yapılan testlerde kullanılan iki farklı araç	10
Şekil 2.3 : Dikdörtgen kanalda düz cam üzerinde silme testi.	11
Şekil 2.4 : Yarım araç test sistemi.	11
Şekil 2.5 : Yarım araç modeli üzerinde silme testi.	12
Şekil 2.6 : 3/8 model için 120 km/h hız için akış görselleştirmesi.	12
Şekil 2.7 : Araç yüzeyindeki basınç katsayısı cinsinden basınç dağılımları	13
Şekil 2.8 : Dawley'nin silecek etrafında oluşan akış çizimi.	13
Şekil 2.9 : Farklı kanat açıları için sileceğe etkiyen kaldırma kuvvetleri.	14
Şekil 2.10 : Çalışmada kullanılan geleneksel tip silecek sistemi, (sol taraf: rüzgârlıksız), (sağ taraf: rüzgârlıklı).	14
Şekil 2.11 : Sayısal sonuçları doğrulamak için kurulan deneysel test sistemi.	15
Şekil 2.12 : Araç modeline monte edilmiş geleneksel tip silecek sistemi.	12
Şekil 2.13 : Geleneksel ve muz tipi silecek sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi için oluşturulan modelleri.	16
Şekil 2.14 : Geleneksel ve muz tipi silecek sistemlerinin yüzey baskı kuvveti dağılımları.	16
Şekil 2.15 : Rüzgâr tüneli testinde ön cam yüzeyinde akış görselleştirmesi.	17
Şekil 2.16 : Sayısal çalışma sonucu ön cam üstünde akım çizgileri.	17
Şekil 2.17 : Sayısal çalışma sonucu silecek sisteminden geçen akım çizgileri.	18
Şekil 2.18 : Sayısal çalışma sonucu silecek sisteminde oluşan λ_2 yöntemiyle oluşturulmuş vorteks yapıları.	18
Şekil 2.19 : Farklı silme açıları için basınç katsayılarına göre renklendirilmiş akım çizgileri.	19
Şekil 2.20 : Farklı silme açılarında ve hızlarda silecek sistemine etkiyen direnç ve kaldırma kuvvetleri.	19
Şekil 2.21 : Farklı silme açıları için akım çizgileri.	20
Şekil 2.22 : Farklı silme açıları ve hızlar için silecek sistemindeki direnç ve kaldırma katsayıları.	20
Şekil 3.1 : Kullanılan orijinal silecek geometrisi.	21
Şekil 3.2 : Kullanılan orijinal silecek geometrisi kesiti.	21

Şekil 3.3 : Silecek geometrisine etkiyen aerodinamik kuvvetler.....	23
Şekil 3.4 : Akış hacmi ve tanımlanmış sınır şartları.....	25
Şekil 3.5 : 13,8 milyon eleman sayılı çözüm ağı.....	26
Şekil 3.6 : 13,8 milyon eleman sayılı çözüm ağı (yakın görüntü).....	26
Şekil 3.7 : Analiz sonucu elde edilen çeşitli özelliklerin dağılımları, (a) Orta kesitten basınç dağılımı [Pa], (b) Orta kesitten hız dağılımı ve akım çizgileri [m/s], (c) Orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2], (d) Silecek yüzeyindeki basınç dağılımı [Pa].....	27
Şekil 3.8 : Analizlerde kullanılan yarım araç modeli.....	28
Şekil 3.9 : Silecek sistemi.....	28
Şekil 3.10 : Silecek geometrisi (a) Sürücü tarafı, (b) Yolcu tarafı.....	29
Şekil 3.11 : Akış hacmi ve tanımlanan sınır şartları.....	29
Şekil 3.12 : Akış hacmi ve çözüm ağı kesit görüntüsü.....	30
Şekil 3.13 : Çözüm ağı kesit görüntüsü.....	30
Şekil 3.14 : Çözüm ağı kesit görüntüsü (silecek kesit düzlemi-yakınlaştırılmış).....	31
Şekil 3.15 : Silecek etrafındaki çözüm ağı kesit görüntüsü (a) Sürücü tarafı, (b) Yolcu tarafı.....	31
Şekil 3.16 : Orijinal geometri için orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Sürücü tarafı), (Sağ sütun: Yolcu tarafı).....	32
Şekil 3.17 : Farklı geometriler için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Sürücü tarafı), (Sağ sütun: Yolcu tarafı).....	33
Şekil 3.18 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri.....	33
Şekil 4.1 : Rüzgârlık profilinde yapılan değişiklikler.....	36
Şekil 4.2 : En iyi performansa sahip rüzgârlık profiller.....	37
Şekil 4.3 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Orijinal, (b) Silecek 4_1_1, (c) Silecek 9_1_1.....	38
Şekil 4.4 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Orijinal, (b) Silecek 4_1_1, (c) Silecek 9_1_1.....	39
Şekil 4.5 : Yükseklik analizleri için kullanılan geometriler.....	40
Şekil 4.6 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Silecek 1_2_1, (b) Orijinal, (c) Silecek 1_5_1.....	41
Şekil 4.7 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Silecek 1_2_1, (b) Orijinal, (c) Silecek 1_5_1.....	42
Şekil 4.8 : Bağlantı tipi analizlerinde kullanılan geometriler (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.....	43
Şekil 4.9 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.....	44
Şekil 4.10 : Farklı geometriler için orta kesitten akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.....	44
Şekil 4.11 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.....	45
Şekil 4.12 : 19 mm yükseklikte silecek için farklı rüzgârlık profilleri.....	46
Şekil 4.13 : 19 mm'lik silecekler arasında en iyi performansa sahip olan Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3.....	47
Şekil 4.14 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Silecek 1_5_1, (b) Silecek 3_5_1, (c) Silecek 3_5_3.....	48

Şekil 4.15 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m ² /s ²] (a) Silecek 1_5_1, (b) Silecek 3_5_1, (c) Silecek 3_5_3.....	49
Şekil 5.1 : Hız değişimi analizlerinde kullanılan geometriler.....	51
Şekil 5.2 : Farklı silecek geometrileri ve farklı giriş hızları için basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Orijinal geometri), (Sağ sütun: Silecek 3_5_1), (a) 240 km/h, (b) 200 km/h, (c) 160 km/h.	53
Şekil 5.3 : Farklı silecek geometrileri ve farklı giriş hızları için hız dağılımları [m/s] ve akım çizgileri (Sol sütun: Orijinal geometri), (Sağ sütun: Silecek 3_5_1), (a) 240 km/h, (b) 200 km/h, (c) 160 km/h.....	54
Şekil 5.4 : Açı değişimi analizlerinde kullanılan geometriler	55
Şekil 5.5 : Akış hacmi ve tanımlanmış sınır şartları.	56
Şekil 5.6 : 20 Derecelik analiz için oluşturulan çözüm ağının kesit görüntüsü.....	56
Şekil 5.7 : Farklı silecek modellerinin açığa göre direnç katsayısı değişimi.....	58
Şekil 5.8 : Farklı silecek modellerinin açığa göre kaldırma katsayısı değişimi.....	59
Şekil 5.9 : Orijinal geometri için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b)10°, (c)20°, (d)30°, (e)40°, (f)50°.	60
Şekil 5.10 : Orijinal geometri için 1/4 kesitten alınmış türbülans kinetik enerjisi dağılımları [m ² /s ²], yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b)10°, (c)20°, (d)30°, (e)40°, (f)50°.	61
Şekil 5.11 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2 = 0,001$ eş-yüzeylerindeki hız dağılımları, yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b) 10°, (c) 20°, (d)30°, (e) 40° ve (f) 50°.	62
Şekil 5.12 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2 = 0,001$ eş-yüzeylerindeki hız dağılımları ve 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları, yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b) 10°, (c) 20°, (d)30°, (e) 40° ve (f) 50°.	63
Şekil 5.13 : Farklı silecek geometrilerinin 30° için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal silecek, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	64
Şekil 5.14 : Farklı silecek geometrilerinin 30° için 1/4 kesitten alınmış türbülans kinetik enerjisi dağılımları [m ² /s ²], (a) Orijinal silecek, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	64
Şekil 5.15 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için sürücü tarafı orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	62
Şekil 5.16 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için yolcu tarafı orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	68
Şekil 5.17 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için sürücü tarafı 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	69
Şekil 5.18 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için yolcu tarafı 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	69
Şekil 5.19 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.....	70
Şekil 5.20 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri, (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3, (e) Orijinal sürücü tarafı, (f) Orijinal yolcu tarafı.....	71
Şekil 6.1 : X-sensör donanımı.....	74
Şekil 6.2 : X-sensör test görüntüsü.....	74

Şekil 6.3 : Farklı silecek açılarına göre silecek baskı kuvveti dağılımları.....	75
Şekil 6.4 : FKFS'deki termal rüzgâr tünelinin teknik resmi.	76
Şekil 6.5 : Test yapılan araç ve rüzgâr tüneli.	77
Şekil 6.6 : Hava çıkış yeri ve su lüleleri.....	77
Şekil 6.7 : Test yapılan araç ve rüzgâr tüneli.	78
Şekil 6.8 : Deney Görüntüsü.	78
Şekil 6.9 : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (a) 180 km/h, (b) 200 km/h, (c) 210 km/h, (d) 220 km/h, (e) 230 km/h, (f) 240 km/h.....	79
Şekil 6.10 : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin üst konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (a) 180 km/h, (b) 200 km/h, (c) 210 km/h, (d) 220 km/h, (e) 230 km/h, (f) 240 km/h.....	74
Şekil A.1 : 190 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	88
Şekil A.2 : 200 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	89
Şekil A.3 : 210 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	90
Şekil A.4 : 220 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	91
Şekil A.5 : 230 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	92
Şekil A.6 : 240 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).	93

YÜKSEK HIZLI ARAÇLAR İÇİN SİLECEK SİSTEMİNİN AERODİNAMİK OPTİMİZASYONU

ÖZET

Araç silecek sistemi kötü hava şartlarında sürücünün görüşünü arttırmak için geliştirilmiş önemli bir güvenlik ekipmanıdır. Silme işleminin gerçekleşebilmesi için silecek kolunun cama doğru belirli bir kuvvetle bastırılması gerekir. Artan araç hızıyla bu baskı kuvveti, ters yönde oluşan aerodinamik kaldırma kuvveti yüzünden azalır ve silme işlemi bozulmaya başlar. Aerodinamik kaldırma kuvvetlerini yenmek için silecek geometrisinde değişiklikler yapılmıştır. Günümüzdeki standart silecek sistemleri 160 km/h araç hızına kadar çalışabilmektedir. Bu projede Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri yardımıyla 240 km/h araç hızına kadar güvenli çalışabilecek bir silecek prototipi geliştirilmiştir.

Üç boyutlu orijinal silecek geometrisi Teklas A.Ş.'den alınmıştır. Yapılan analizler Ansys-Fluent ticari yazılımı ile türbülanslı, sıkıştırılamaz ve zamandan bağımsız Şekilde modellenmiştir. Yapılan analizlerin daha kısa sürede tamamlanması için basitleştirilmiş bir akış hacmi yaratılmıştır. Bu akış hacminde aracın kaputunu ve ön camını temsil eden iki eğimli plaka ve silecek süpürgesi yer almaktadır. Sayısal sonuçların çözüm açısından bağımsız hale getirmek için farklı eleman sayılı çözüm ağları denenmiştir ve uygun olan çözüm ağı ile analizler yapılmıştır.

Yarım araç modeli kullanılarak sürücü ve yolcu tarafındaki silecek süpürgesi ve silecek kolu performansı incelenmiştir. Yapılan analizlerde silecek sistemine etkiyen kaldırma kuvvetinin silecek kollarından geldiği görülmüştür, dolayısıyla silecek süpürgelerindeki baskı kuvvetini artırarak silecek sisteminin toplam kaldırma kuvvetinin azaltılmasına çalışılmıştır.

Yeni silecek modelleri elde etmek için silecek geometrisinin üç parçası incelenmiştir. Bunlar silecek rüzgârlığının profili, silecek yüksekliği ve silecek rüzgârlığı ile metal parça arasında kalan bağlantı yeridir. Silecek rüzgârlığının profili değiştirilirken rüzgârlık üzerinde oluşan vorteks yapısını azaltarak basıncın artırılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte rüzgârlık üzerinde maksimum basınç noktasının silecek süpürgesini bastırmak için daha iyi bir yere çekilmesi amaçlanmıştır. Bunları sağlayan profil bulunduktan sonra silecek rüzgârlığının arka kısmı geriye çekilerek daha fazla rüzgârlık alanı oluşturulmuş ve kaldırma kuvveti daha da azaltılmıştır. İncelenen ikinci geometrik parametre silecek yüksekliğidir. Bu analizlerde toplam yüksekliği 16 ile 19 mm arasında değişen silecek geometrileri test edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda silecek yüksekliğinin artması kaldırma kuvvetini azaltmış ve 18 mm yükseklikteki silecektekenden itibaren baskı kuvveti görülmüştür.

Yapılan üçüncü inceleme bağlantı şeklidir. Burada silecek rüzgârlığı ile metal parça arasına bir bağlantı yapılması ile kaldırma kuvvetinin azalması sağlanmıştır. Rüzgârlık ile metal parça arasında yapılan bu bağlantı rüzgârlık üzerindeki vorteks yapısını azaltarak basıncı arttırmıştır. Yapılan üç geometrik analizden sonra en iyi performansı

gösteren özellikler birleştirilerek yeni silecek prototipleri oluşturulmuştur. İlk olarak 19 mm yüksekliğe sahip silecek geometrisinin profili değiştirilmiştir. Sonra bu yeni elde edilen silecek geometrisi üçüncü tip bağlantı şekliyle birleştirilmiştir.

Yeni elde edilen silecek geometrileri detaylı analizlerde incelenmiştir. İlk olarak orijinal geometri ve bir tane modifiye edilmiş geometri hızın değişiminin aerodinamik kuvvetlere olan etkisini incelemek için kullanılmıştır. Bu analizlerde beklenildiği üzere hız arttıkça direnç ve kaldırma kuvvetlerinin arttığı görülmüştür.

Yapılan ikinci analiz basitleştirilmiş modelde silecek süpürgesine açı verilerek yapılmıştır. Bu analizlerde orijinal geometri ve elde edilen üç farklı modifiye edilmiş geometri kullanılmıştır. Bu analizlerde modifiye edilmiş geometrilerin tüm silecek açıları için orijinal geometriden daha iyi performans verdiği görülmüştür. Son olarak modifiye edilmiş geometriler yarım araç modeli üzerinde analiz edilmiştir. En iyi silecek geometrisi için sürücü tarafında 4,8 N iyileştirme yapılarak silecek sisteminde 1,1 N baskı kuvveti yaratılmıştır.

Modifiye edilmiş geometrilerin analizinden sonra iyi performans gösteren silecek geometrisi kalıba uygun hale getirilerek üretilmiştir. Yeni üretilen silecek geometrisi için ön cam üzerinde X-sensör ekipmanı ile yüzey baskı kuvveti dağılımı bulunmuştur. Burada farklı açılar için silecek süpürgesinin yüzey baskı kuvvetleri ölçülmüştür. Bu testlerden sonra yeni silecek geometrisi Almanya'da Stuttgart Üniversitesi FKFS'de bulunan (Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart) termal rüzgâr tüneline silme testlerinden geçirilmiştir. Testler sonucunda, yeni silecek geometrisi orijinal geometriye göre çok daha iyi sonuçlar göstermiştir ve yapılan sayısal analizler görsel olarak doğrulanmıştır.

AERODYNAMIC OPTIMISATION OF WIPER SYSTEM FOR HIGH SPEED VEHICLES

SUMMARY

Windshield wipers are developed to improve visibility during inclement weather and belong to standard safety equipments. A conventional wiping system of a vehicle consists of three components, namely motor and mechanism, wiper arm and wiper blade. The wiper arm transfers the movement to the wiper blade and cleaning is achieved by wiping water and dirt from the windscreen by a blade rubber. In order to wipe water and dirt from the windshield, the wiper blade should be forced onto the windshield with a specified force. The necessary force is obtained by a spring mechanism within the arm. As the velocity of the vehicle increases, the pressing force decreases due to the controverse aerodynamic forces occurring on the wiper arm and blade. As the lift force increases, the necessary force cannot be created to wipe the windshield. In order to minimize the aerodynamic lift force, an alternative force in the opposite direction of the lift force is needed. To beat the aerodynamic lift force acting on the wiper system, new wiper geometries are designed. Current standard products are capable of keeping the wiper performance around 160 km/h but for high-class vehicles, the manufacturers require 240 km/h or more on rainy days. In this project a new wiper prototype which can operate at around 240 km/h vehicle speed is developed with help of Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis.

3D original wiper geometry is acquired from TEKLAS A.Ş. The flow over the windshield wiper and spoiler is simulated by a commercial flow solver (ANSYS-Fluent). Flow is modeled by the finite-volume based, incompressible, turbulent, steady flow solver. The flow is assumed to be still incompressible as the local Mach number is around 0.2, thus compressibility effects are ignored. Realizable k- ϵ turbulence model is used with enhanced wall functions as already used by many researchers in their studies. To reduce the computational cost a simplified geometry is used. The hood and windshield of the car is assumed as two slightly curved surfaces and only wiper blades are taken into account. To obtain reliable numerical results, several meshes with different number of elements are tested to show mesh-independence.

After analysis on simplified model, original wiper geometry is taken to analysis on a half car model. The 3D computational domain consists of a half car model, wiper blades and wiper arms for both driver and passenger sides. The driver side wiper blade has a length of 600 mm and angle of 30° with the horizontal. Passenger side wiper blade has a length of 450 mm and angle of 45° with the horizontal. In this analysis it is observed that the lift force acting on the wiper system is caused by the wiper arms. For this reason increasing the down force on the wiper blades is decided to eliminate total lift force acting on the wiper system.

To create a new wiper model, wiper geometry is investigated in three sections, which are spoiler profile, height of the wiper and connection between metal part and spoiler

of the wiper. While modifying the spoiler curvature increasing the pressure above spoiler is aimed. To do that vortex structure above the spoiler should be reduced. Also another matter is having the maximum pressure point in a more desired position to press wiper blade down. The best profile tried here reduced lift force by almost one third compared with the original profile. Then a further design is proposed where the spoiler is slightly swept back which increases the frontal surface of the spoiler leading to a considerable reduced lift force. The second property investigated is height of the wiper blade. In this analysis wiper heights varying from 16 mm to 19 mm are investigated. It is seen that increasing the wiper height helps to decrease the lift force. Even in the analysis of the wipers with 18 and 19 mm of height, down force is acquired. A new approximation in preventing the vortex structure occurring between the metal part of the wiper and spoiler is changing the connection type between them. Three connection types are suggested. All of the modifications are found to be useful in preventing the vortex structure between the metal part and the spoiler. However the third connection type is the most effective case since it not only prevents the vortex occurring on the connection location but it also eliminates the main vortex structure on the top of the spoiler. As a result this modification provides pressing force.

Original geometry has 16.6 mm height and the connection type between metal part and the spoiler is designed in a way that the metal part has sharp edges. Wiper 9_1_1 has a larger spoiler curvature than original geometry but their heights and connection types are the same. Wiper 3_5_1 has a height of 19 mm. Its spoiler curvature and connection type are identical to Wiper 9_1_1. Wiper 3_5_3 has same height and spoiler curvature as Wiper 3_5_1. The only difference between Wiper 3_5_1 and 3_5_3 is the connection type. In Wiper 3_5_3, the metal part and the spoiler are connected in a way that the metal part becomes a blunt body.

The new acquired wiper geometries are investigated in further analysis. First of them is effect of the velocity on the aerodynamic forces. Original geometry and one new geometry (Wiper 3_5_1) are taken to this analysis. Five different inlet velocities are tried varying from 160 km/h to 240 km/h with an interval of 20 km/h. It is seen that reducing the inlet velocity reduces both drag and lift forces. Second analysis done in this section is effect of the angle on the aerodynamic forces. Five different blade angles are investigated varying for 10° to 50° with an interval of 10°. Original geometry and three new modified geometries are used in this analysis. For all four wiper profiles, it is observed that the variation of the drag coefficient with respect to blade angle displays the same characteristics. Drag coefficients decrease gradually by the increase of the angle. Lift coefficients reveal same variation characteristics up to the angle of 50°. At 20° angle minimum lift coefficients are obtained for all four wiper models. At 40° angle maximum lift coefficient is obtained for the wiper models with a height of 16.6 mm and finally at 50° angle maximum lift coefficient is achieved for 19 mm high wipers. For all blade angles the modified wiper geometries have lower lift coefficients than the lift coefficient of the original wiper geometry. Lastly the modified wiper geometries are investigated on the half car model. Three different inlet velocities are used which are 160, 200 and 240 km/h. At 240 km/h inlet velocity there is 3.7 N of lift at the driver side for the original geometry. Wiper 9_1_1 decreases lift force to 2.3 N at the driver side. Wipers with 19 mm height cause down force on the wiper system. A down force of 1.1 N for the Wiper 3_5_3 and a down force of 0.7 N for Wiper 3_5_1 are calculated.

After numerical investigations a new wiper model is created which is suitable for molding. After the production pressing force distribution of the new geometry is

obtained with X-sensor equipment for different blade angles. Wiper prototype is tested in Stuttgart, FKFS institute's thermal wind tunnel to reveal its performance. Soiling tests are performed. Water droplets with fluorescent agent are added to the air flow and made visible using UV- light. Experiments are done at wind-tunnel velocities varying between 160 and 240 km/h. Satisfactory results are achieved with the wind tunnel tests and the numerical solutions are validated qualitatively.

1. GİRİŞ

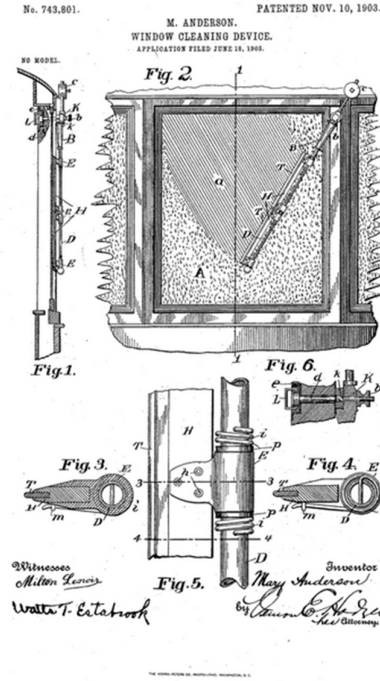
Araç silecekleri kötü hava şartlarında sürücünün görüşünü arttırmak için geliştirilmiş standart bir güvenlik ekipmanıdır. Geleneksel bir silecek sistemi silecek motoru, silecek süpürgesi ve silecek kolu olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Silecek kolu motordan gelen hareketi silecek süpürgesine iletir. Silecek süpürgesi ise kauçuk sayesinde silmeyi gerçekleştirir. Yağmuru ve çamuru araç camından silebilmek için silecek süpürgesi cama doğru belli bir kuvvetle bastırılmalıdır. Bu kuvvet silecek kolu içerisindeki yayla sağlanır. Araç hareket halindeyken silecek koluna ve silecek süpürgesine baskı kuvvetinin tersinde etkiyen aerodinamik kaldırma kuvveti oluşur. Bu kuvvet araç hızının artmasıyla artmaktadır ve baskı kuvvetini silme performansını düşürecek oranda azaltmaktadır. Silme performansının düşmesiyle cam üzerinde silinmeyen bölgeler kalmakta ve sürücünün görüşü azalmaktadır. Günümüzdeki standart ürünler 160 km/h hıza kadar yeterli performans göstermektedir. Yüksek performanslı araçlar için üreticiler 240 km/h hızda yeterli performans gösterecek yeni bir silecek geometrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla silecek sistemine etkiyen kaldırma kuvvetlerini azaltmak için silecek süpürgesinde yer alan rüzgârlık geometrisi değiştirilerek yeni silecek geometrileri oluşturulacaktır.

1.1 Tarihçe

1903 yılında ön cam temizleme sistemleri konusunda Mary Anderson, Robert Douglass ve John Apjohn'un yakın tarihlerde üç farklı patenti bulunmaktadır. Bunlardan patentini ilk alan Mary Anderson popüler olarak silecek sistemlerinin ilk mucidi olarak görülmektedir. Mary Anderson'ın Şekil 1.1'de görülebilecek patentinde ön camın silinmesi araç içindeki bir kol sayesinde gerçekleşmektedir. 1916 yılında Mary Anderson'ın patenti Amerikan araçlarında standart haline gelmiştir. [1]

1919 yılında William Folberth ilk otomatik silecek mekanizmasını geliştirdi. Geliştirdiği silecek sistemi vakumla çalışıyordu. Sileceklerin hızının araç hızına bağlı olması gibi olumsuz bir yönü olmasına rağmen bu tip silecekler 1960 yılına kadar kullanılmıştır.

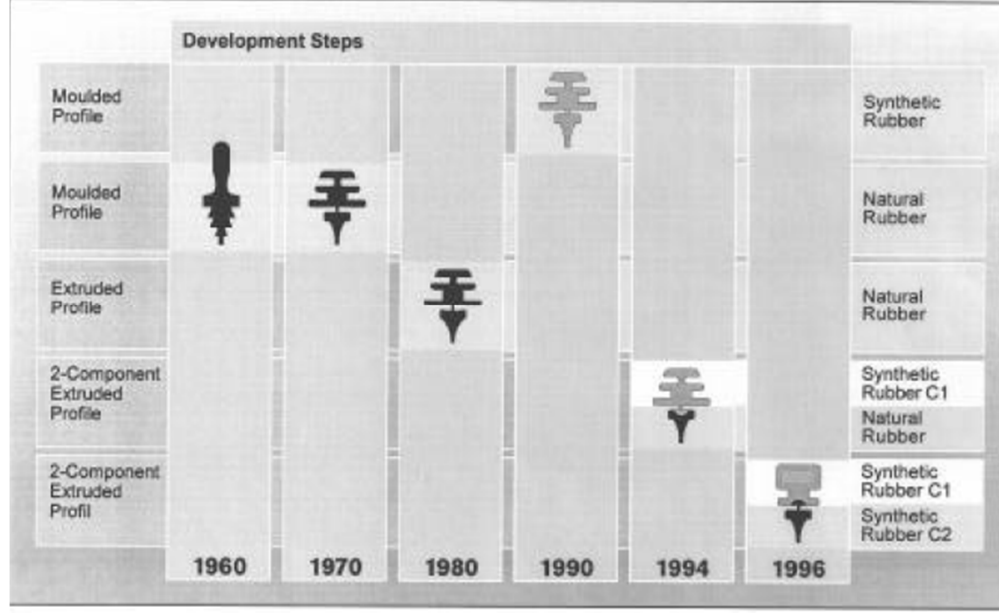
1923 yılında Raymond Anderson ilk elektrik motoruyla çalışan silecek sistemini icat etti. İcadının bir önemli noktası ise sileceklerin aralıklarla çalışmasıydı. Daha önceden silecek sistemi çalıştırıldığında hiç durmadan silme yapıyordu ve bu da silecek kauçuğunun daha hızlı aşınmasını sağlıyordu. Bunun yüzünden silecek sistemini sürücünün kendisi çalıştırıp kapatması gerekiyordu. Raymond Anderson'ın icadıyla bu problem ortadan kalktı. [2]



Şekil 1.1 : Mary Anderson'ın silecek patenti [1].

1.2 Silecek Malzemeleri

Silecek sistemlerinde ilk olarak doğal kauçuk kullanılmıştır. Daha sonra sentetik kauçuk kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yılından sonra doğal-sentetik veya sentetik-sentetik olmak üzere kauçuk karışımları kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ve silecek geometrileri Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Kauçuk özellikleri farklı sıcaklıklarda silme yapmak için önemlidir. Örneğin düşük sıcaklıklarda kauçuk sertleştiği için silme performansı azalmaktadır. Yapılan testler doğal kauçuğun düşük sıcaklıklarda daha iyi çalıştığını göstermektedir. [2]

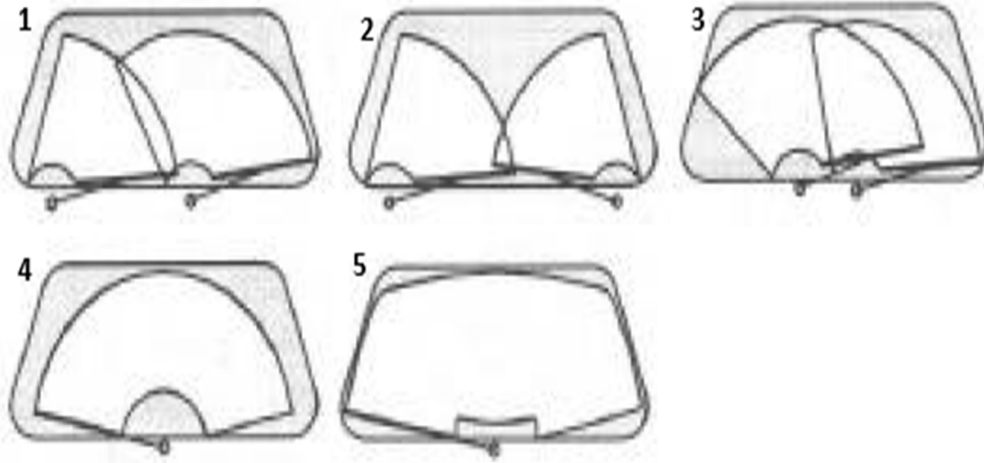


Şekil 1.2 : Silecek modelleri ve malzemelerinin tarihsel gelişimi [2].

1.3 Silecek Silme Alanları

Şekil 1.3’de çeşitli silecek silme alanları gösterilmiştir.

1. **Tandem Sistem:** En yaygın olarak kullanılan sistemdir. Silecekler birbirlerine paralel çalışır.
2. **Karşı Hareketli:** Tandem sistemden daha karmaşık bir mekanizması vardır. Sürücünün sağda oturduğu araçlarda da bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
3. **Aerodinamik Karakteristikli Tandem Sistem:** Tandem sistemin aerodinamik olarak geliştirilmiş halidir
4. **Tek Silecek Kolu-Kontrolsüz:** Genellikle araçların arka camında kullanılır.
5. **Tek silecek Kolu-Kontrollü:** Eksantrik bir kavisle silmeyi gerçekleştirir.

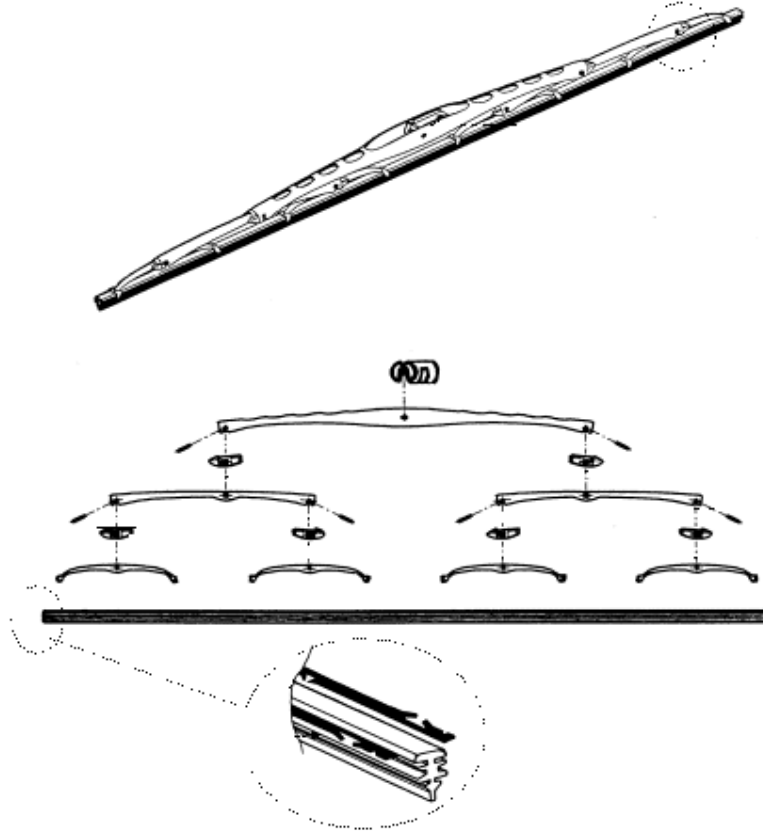


Şekil 1.3 : Sık kullanılan silme alanları [2].

1.4 Silecek Tipleri

1.4.1 Geleneksel tip silecekler

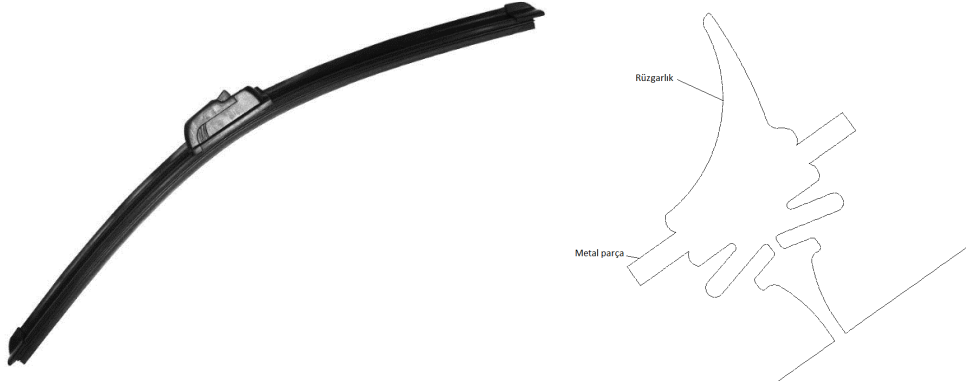
Geleneksel tipteki silecekler Şekil 1.4’de görülebileceği üzere iki kısımdan oluşmaktadır. İlki camla temasta olan ve silmeyi gerçekleştiren kauçuk parça ve ikincisi kauçuk parçanın cama baskısını sağlayan metal parçalardır. Silecek kauçuğu sileceğin boyu arttıkça sayısı artan baskı kollarıyla cama baskısı sağlanır. Geleneksel tipteki sileceklerin uzunlukları 25-70 cm arasında değişmektedir. Geleneksel tipteki sileceklerin en büyük olumsuz özelliği, cama uygulanması gereken baskı kuvvetini baskı kollarıyla belirli noktalardan verdiği için bu noktalarda cama yüksek bir baskı kuvveti uygulanır ama baskı kollarının arasında kalan bölgelerde baskı kuvveti düşmektedir. Geleneksel tipteki sileceklerin aerodinamik kaldırma kuvveti karşısında silme performansını koruması için rüzgârlıklı modelleri bulunmaktadır.



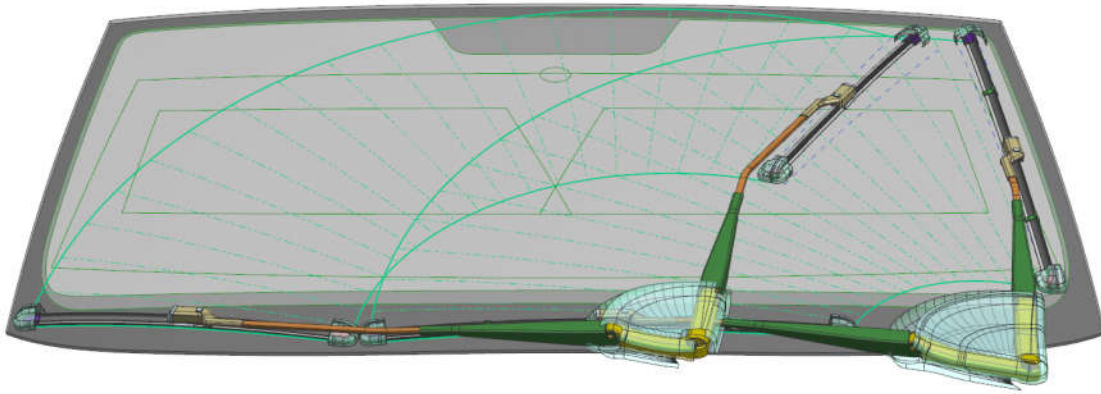
Şekil 1.4 : Geleneksel tip silecek.

1.4.2 Muz tipi silecekler

90'lı yılların sonunda muz tipi (flat blade, beam blade) silecek modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel tipteki sileceklerin düzgün olmayan baskı kuvvetlerini gidermek için, silecek kauçuğu eğimli bir metalle desteklenmektedir. Silecek modelinin eğimi ve kesit görüntüsü Şekil 1.5'de görülebilir. Böylece silecek modeli cama bastırıldığında camın eğimine uygun hale gelip, sileceğin ortasından iletilen baskı yükünü daha eşit bir şekilde cama iletmektedir. Muz tipi silecekler standart olarak kauçuktan oluşmuş bir rüzgârlık içermektedir. Bu tezde üstünde çalışılmış olan silecek tipidir. Muz tipi silecek modeli araç üzerinde Şekil 1.6'daki gibi çalışmaktadır.



Şekil 1.5 : Muz tipi silecek ve kesiti.



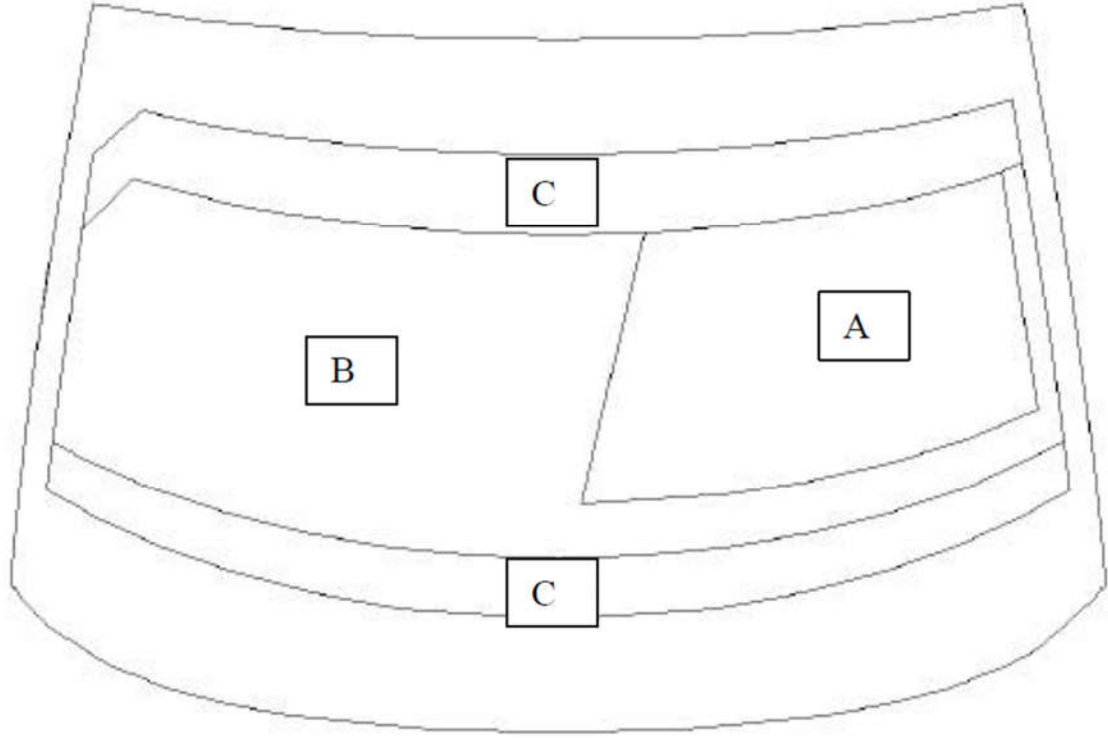
Şekil 1.6 : Muz tipi silecek sistemi [2].

1.5 Silecek Sistemlerinin Yönetmelikleri

Bir silecek sistemi satılabilmesi için aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

- Suyu ve karı silebilmesi
- Tozu silebilmesi
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi (60 °C ve -30 °C arası)
- Asitlere, bazlara ve tuza karşı aşınma dayanıklılığı olması
- 1,5 milyon silme döngüsü ömrünün olması
- Ön camdaki bölgeleri belirlenen oranlarda temizleyebilmesi

Şekil 1.7’de gösterilen Amerikan federal motorlu taşıtlar güvenlik standartlarına göre araç ön camını üç farklı bölgeye ayırmaktadır. Bu bölgelerden A bölgesi %99, B bölgesi %94 ve C bölgesi %80 oranında temizlenmelidir. [2]



Şekil 1.7 : Amerikan federal motorlu taşıtlar güvenlik standartlarına göre silinmesi zorunlu olan araç ön cam bölgeleri [2].

Tez çalışmasının ikinci bölümünde literatürdeki sileceklerin aerodinamik kaldırma kuvvetinin incelendiği yayınlar araştırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde silecek sistemi basitleştirilmiş ve araç üzerinde sayısal olarak modellenmiştir. Basitleştirilmiş model yeni silecek geometrileri oluşturulduktan sonra test etmek amaçlı kullanılmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde silecek geometrisinin farklı özellikleri değiştirilerek kaldırma kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Bu bölümde bu incelenen özelliklerden yararlanılarak üç farklı yeni silecek geometrisi oluşturulmuştur. Beşinci bölümde önceki bölümde oluşturulan yeni silecek geometrileri farklı analizlerde test edilmiştir. Önce hız ve açı değişiminin direnç ve kaldırma kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Daha sonra elde edilen silecek geometrileri araç modeli üzerinde test edilmiştir.

Altıncı bölümde deneysel çalışmalar yer almaktadır. Geometrik analizde yapılan analizlere göre kalıba uygun yeni bir silecek modeli oluşturulmuş ve imal edilmiştir. Yeni silecek modelinin X-sensör ekipmanı yardımıyla farklı açılarda yüzey baskı kuvveti dağılımları bulunmuştur. Bu testlerden sonra Almanya-Stuttgart Üniversitesi FKFS Enstitüsünde rüzgâr tüneline yeni ve eski silecek modellerinin silme testleri gerçekleştirilmiştir.

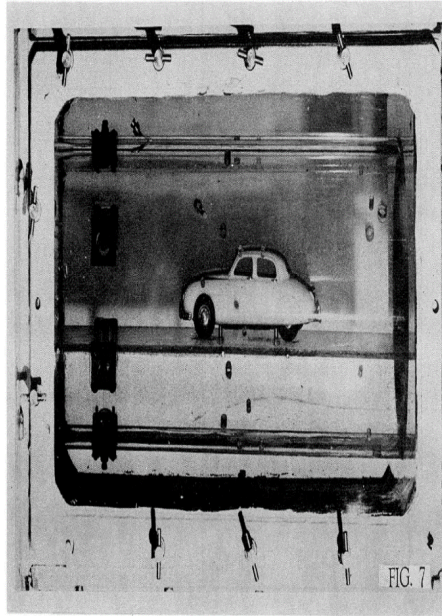
Son bölümde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

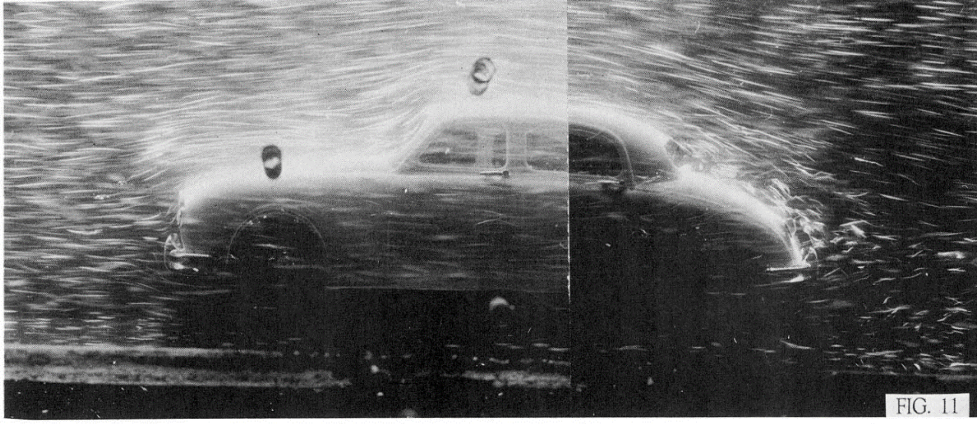
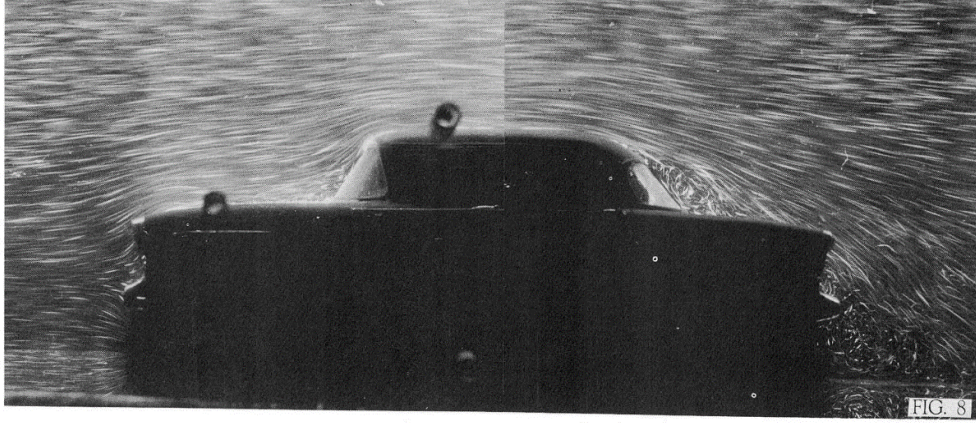
2.1 Literatürdeki Çalışmalar

Clarke ve Lumley (1960) silecek sistemlerinin yüksek hızlarda performansının düşmesinden bahseden ilk yayınlardan birini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar üç bölümden oluşur.

1) Su tüneli testleri: Şekil 2.1’de görüleceği üzere 1/20 oranda dört farklı araç için su tüneli testleri yapılmıştır. Akış görselleştirmesi oluşan hava kabarcıklarına ışık verilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde ön camın ortasından pitot tüpüyle hız dağılımları bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucu elde edilen iki farklı araç etrafındaki akış Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Su tüneli test düzeneği [3].

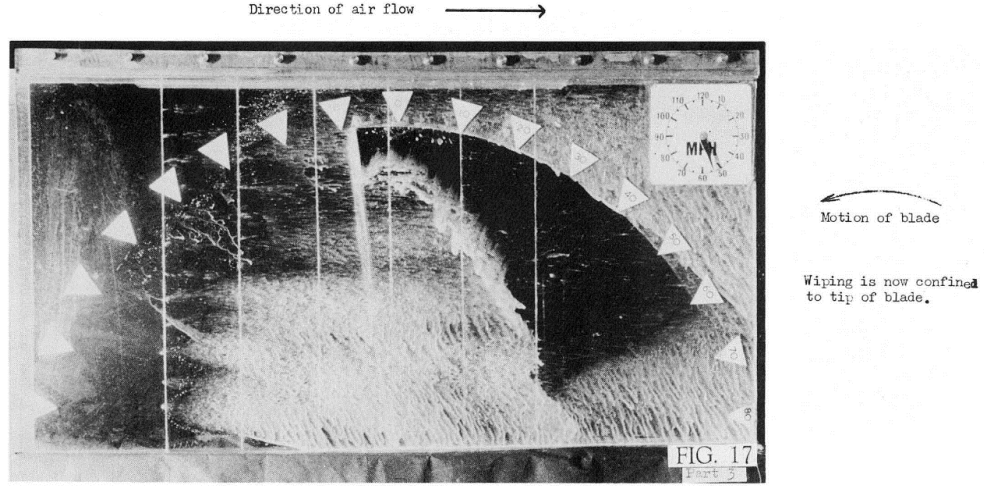


Şekil 2.2 : Yapılan testlerde kullanılan iki farklı araç [3].

2) Dikdörtgen kanalda aerodinamik testler: Bu testlerde iki farklı yaklaşım gerçekleştirilmiştir.

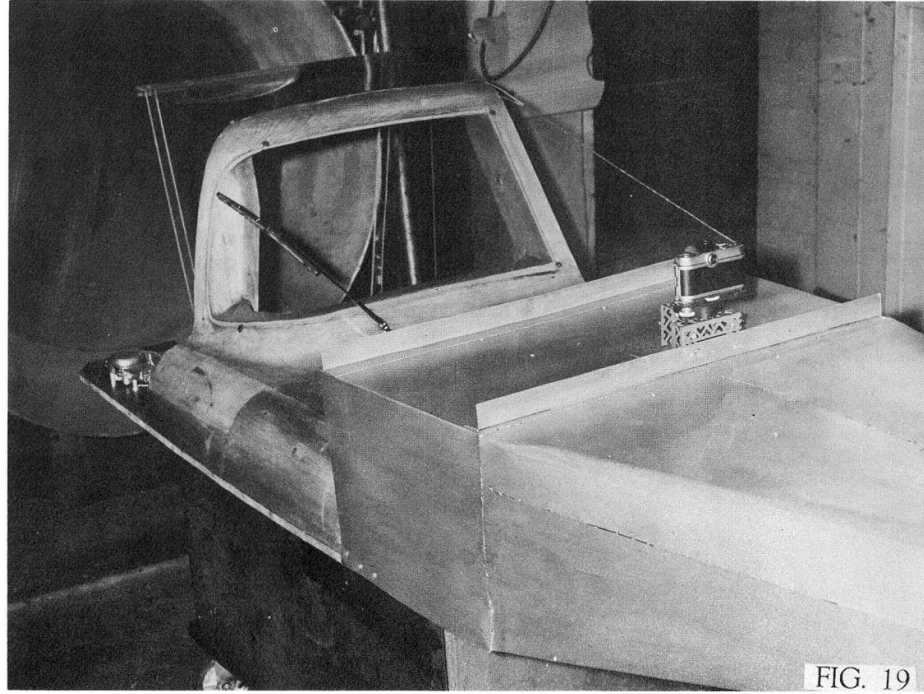
Birincisi durgun sileceğin altına kağıt parçaları koyularak, sileceğe dik olan hava akışı devamlı olarak arttırılmış ve sileceğin camla temasının kesildiği yerler ve bunun hangi hızlarda olduğu gözlemlenmiştir.

İkinci test ise bu sistemde gerçekleştirilen silme testleridir. Şekil 2.3’de 85 km/h hız için sileceğin kalkmasından kaynaklanan silme bozulması görülebilir. Şekilde görüleceği üzere silecek camla temasını büyük oranda kaybetmiştir.

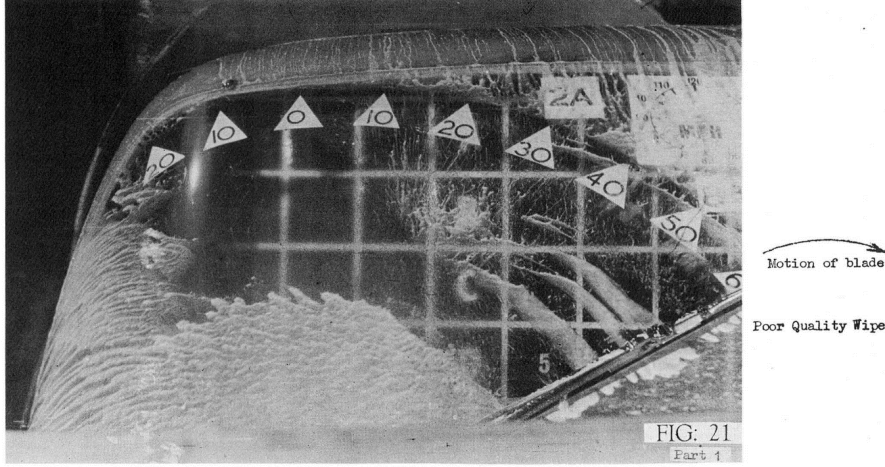


Şekil 2.3 : Dikdörtgen kanalda düz cam üzerinde silme testi [3].

3) Yaptıkları bir diğer çalışmada yarım araç modelinde hava akışına karşılık silme testi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.4’de test sistemi, Şekil 2.5’de 95 km/h hava hızı için sileceğin kalkmasından oluşan silme kaybı görülebilir.



Şekil 2.4 : Yarım araç test sistemi [3].



Şekil 2.5 : Yarım araç modeli üzerinde silme testi [3].

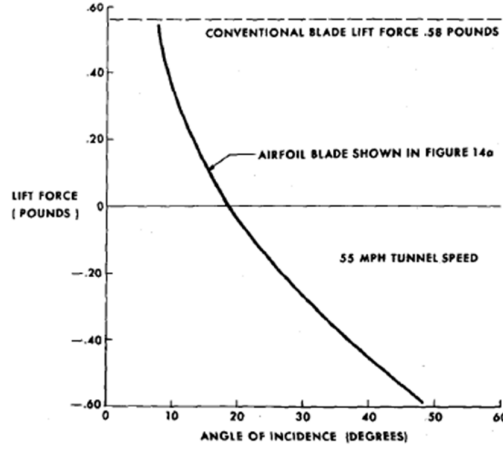
Dawley (1965) otomotiv parçaları üstündeki aerodinamik etkileri incelemiştir. İncelediği konular arasında motor soğutma havası giriş ve çıkışı, fren soğutması, egzoz gazının yayılması, sileceklere etkiyen kaldırma kuvveti, rüzgâr sesi ve havalandırma giriş ve çıkışları vardır.

İlk olarak yapılan çalışmalarda Şekil 2.6'da gösterilen parafin boyasıyla araç boyanarak akış görselleştirmesi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte Şekil 2.7'de araç üzerindeki basınç dağılımları basınç katsayıları cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 2.6 : 3/8 model için 120 km/h hız için akış görselleştirmesi [4].

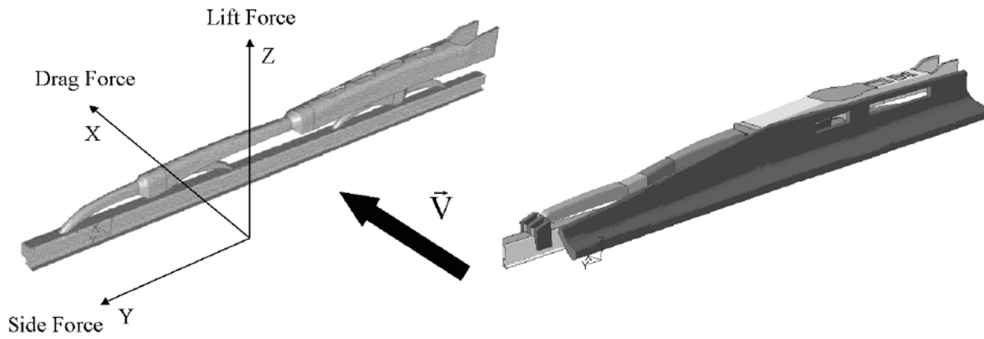
Dawley yukarıdaki Şekilde görülen silecek sistemini 90 km/h hız ile rüzgâr tüneline test etmiş ve farklı kanat açıları için silecek sistemine etkiyen kuvvetleri hesaplamıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucu oluşan grafik Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Farklı kanat açıları için sileceğe etkiyen kaldırma kuvvetleri [4].

Yukarıdaki grafiğe göre kanat açısını arttırarak kaldırma kuvvetinde bir düşüş görülmekte, 20 dereceden sonra ise bir baskı kuvveti elde edilmektedir.

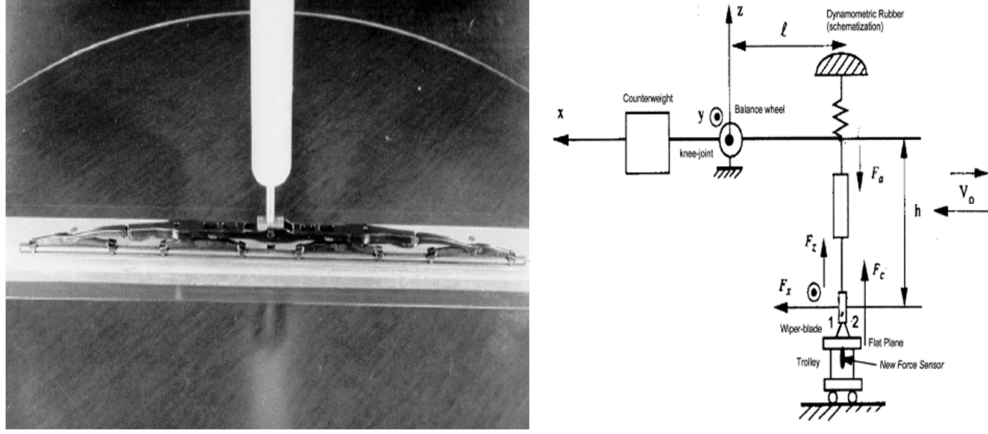
Jallet ve dig. (2001) geleneksel tip silecek sistemleri için sayısal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmalarını düz bir levha üstünde, Şekil 2.10'da görülen rüzgârlıklı ve rüzgârlıksız olmak üzere yarım silecek modelleri üzerinde yapmışlardır.



Şekil 2.10 : Çalışmada kullanılan geleneksel tip silecek sistemi, (sol taraf: rüzgârlıksız), (sağ taraf: rüzgârlıklı) [5].

Yaptıkları çalışmalar sonucunda 145 km/h hava giriş hızı için rüzgârlıksız silecek sistemine 4,4 N kaldırma kuvveti, rüzgârlıklı sisteme ise 4 N baskı kuvveti etki ettiği görülmektedir.

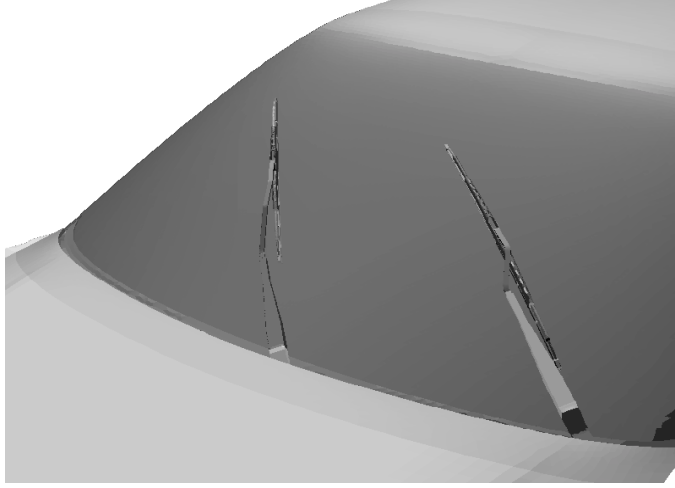
Sayısal çalışmaları doğrulamak için Şekil 2.11’de gösterilen deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel sonuçlar sonucunda rüzgârlıksız sileceğe 4,2 N kaldırma kuvveti, rüzgârlıklı sileceğe ise 4,5 N baskı kuvveti etki ettiği ölçülmüştür.



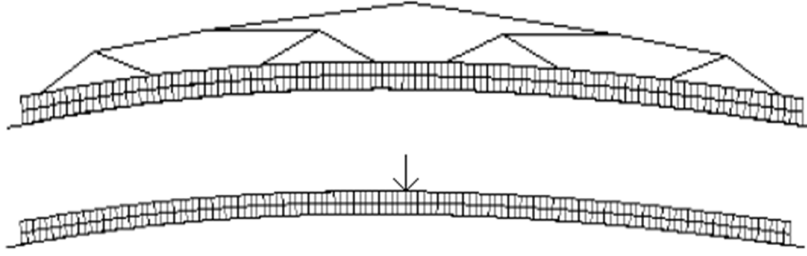
Şekil 2.11 : Sayısal sonuçları doğrulamak için kurulan deneysel test sistemi [5].

Billot ve diğ. (2001) Jallet’nin [5] çalışmasını iletmiştir ve Şekil 2.12’de gözüken orta silme açısında araç üstünde sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizlerinde rüzgârlıklı ve rüzgârlıksız olmak üzere geleneksel tipte silecekleri ve yeni muz tipi silecek sistemlerini kullanmıştır. 160 km/h hız için rüzgârlıksız sileceğe 9,8 N, rüzgârlıklı sileceğe ise 7,4 N kuvvet etkimektedir. Yeni muz tipi silecek modeline ise 4,9 N kaldırma kuvveti etkimektedir. Aerodinamik analizler sonucunda bulunan basınç kuvvetleri Şekil 2.13’de görülen sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak silecek lastiğinin cama uyguladığı kuvvet hesaplanmıştır. Analizler sonucu oluşan kuvvet dağılımları Şekil 2.14’de görülebilir.

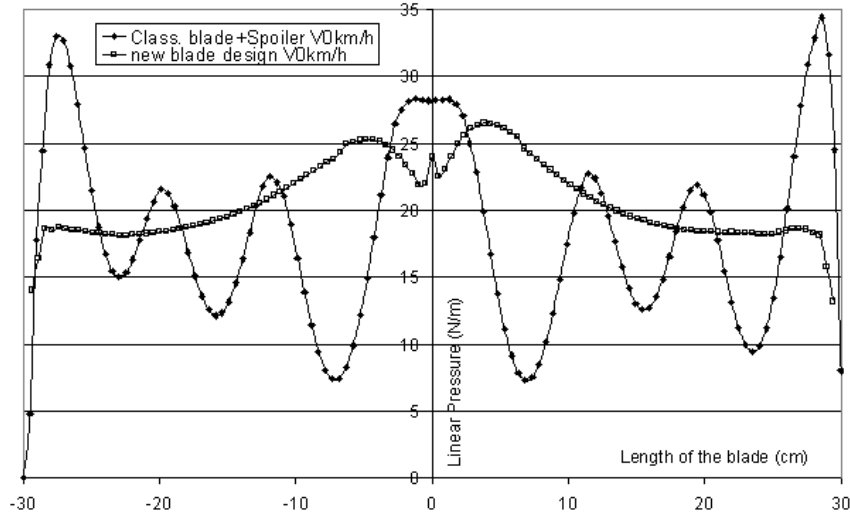
Şekil 2.14’teki grafiğe göre muz tipi silecek sistemiyle daha eşit dağılımlı bir yüzey baskı kuvveti alınabilmektedir. Geleneksel tip silecek sisteminde ise baskı yerlerinde yüksek kuvvet diğer yerlerde düşük kuvvet gözlenmektedir.



Şekil 2.12 : Araç modeline monte edilmiş geleneksel tip silecek sistemi [6].



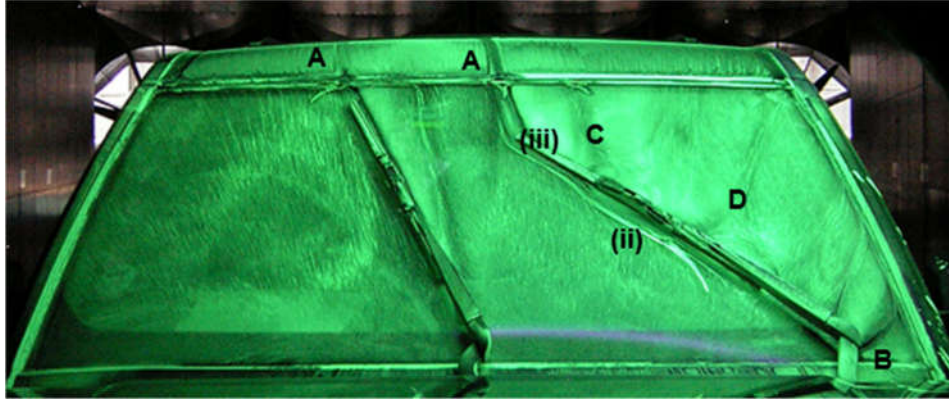
Şekil 2.13 : Geleneksel ve muz tipi silecek sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi için oluşturulan modelleri [6].



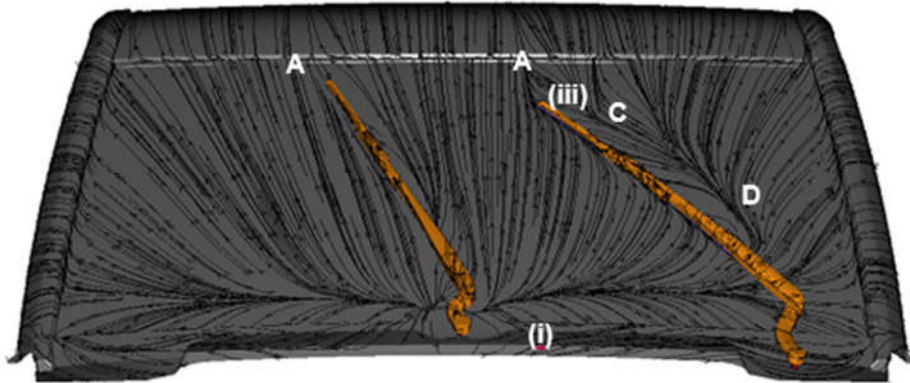
Şekil 2.14 : Geleneksel ve muz tipi silecek sistemlerinin yüzey baskı kuvveti dağılımları [6].

Gaylard ve diğ. (2006) sportif arazi aracı üzerinde muz tipi silecek modelinin farklı silme açılarında 130 km/h hız için akış özelliklerini ve vorteks yapılarını incelemiştir. Hem sayısal hem de deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Rüzgâr tüneline akış görselleştirmesi için floresan boya kullanılmıştır. CFD çalışmalarında vortekslerin tanımlanması için λ_2 yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2.15 deneysel, Şekil 2.16-2.18 sayısal analizlerin çıktılarıdır.

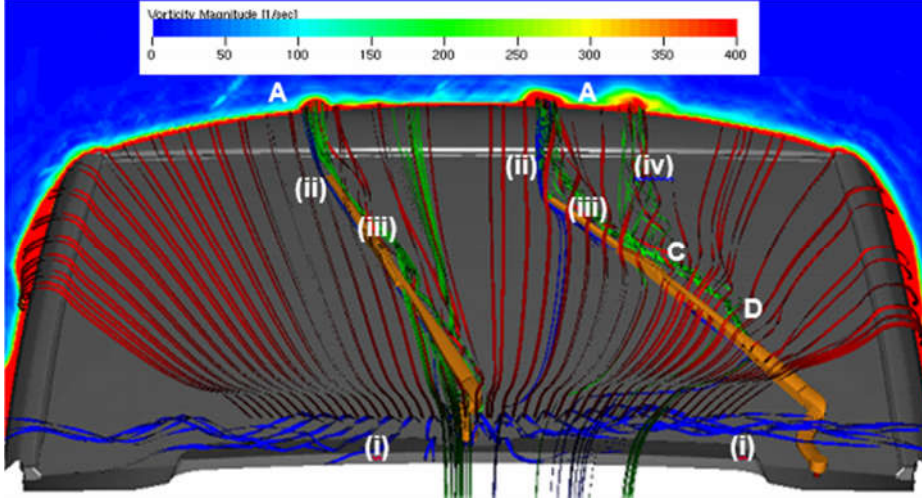
Aşağıdaki Şekillerde bazı vorteks ve akış yapıları gösterilmiştir. 'A' ön camdan gelen akışın tavana geçtiği yerleri, 'B' Kaput ve silecek kolu arasındaki akışı, 'C' Sileceğin bağlantı yeri yüzünden oluşan akışı, 'D' silecek süpürgesi ve silecek kolu arasındaki boşluktan geçen akışı göstermektedir. Vorteks yapıları ise (i) ile kaputta oluşan vorteks, (ii) ile akış öncesindeki vorteksler, (iii) ile akıştan sonraki vorteksler gösterilmektedir.



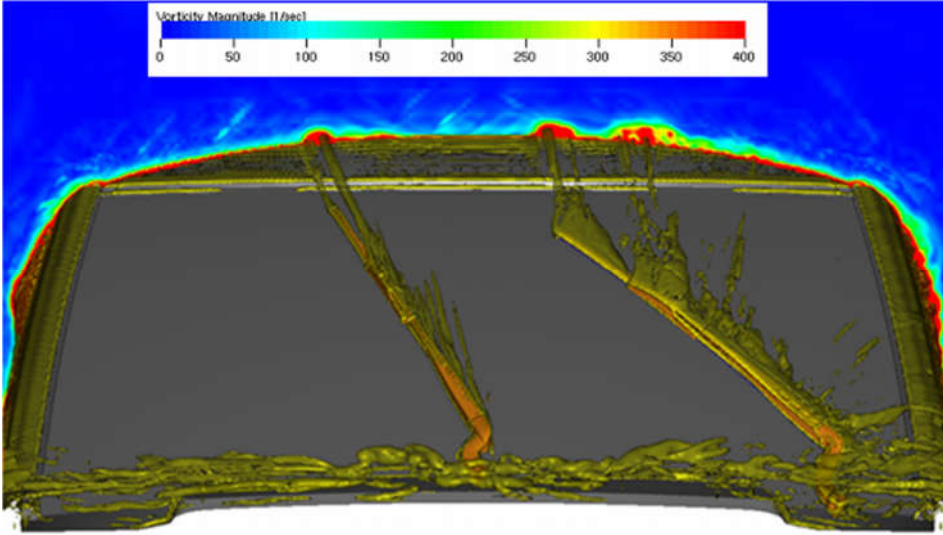
Şekil 2.15 : Rüzgâr tüneline testinde ön cam yüzeyinde akış görselleştirmesi [7].



Şekil 2.16 : Sayısal çalışma sonucu ön cam üstünde akım çizgileri [7].



Şekil 2.17 : Sayısal çalışma sonucu silecek sisteminden geçen akım çizgileri [7].

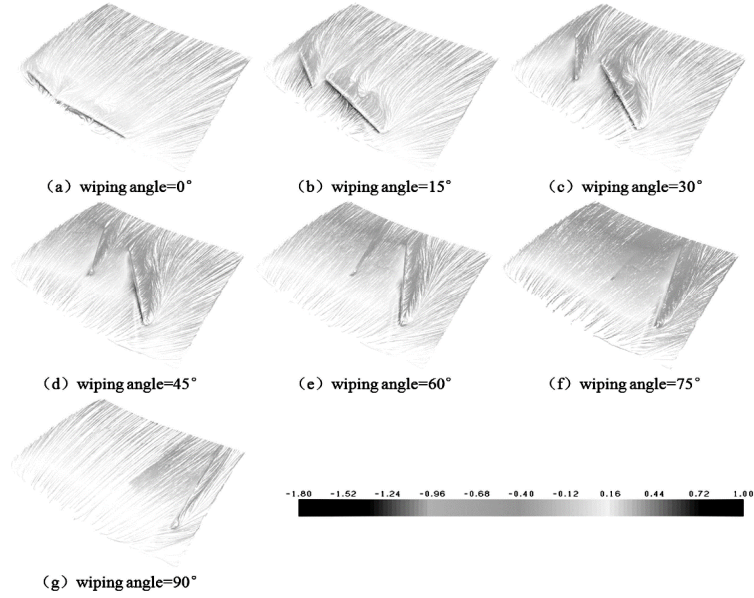


Şekil 2.18 : Sayısal çalışma sonucu silecek sisteminde oluşan λ_2 yöntemiyle oluşturulmuş vorteks yapıları [7].

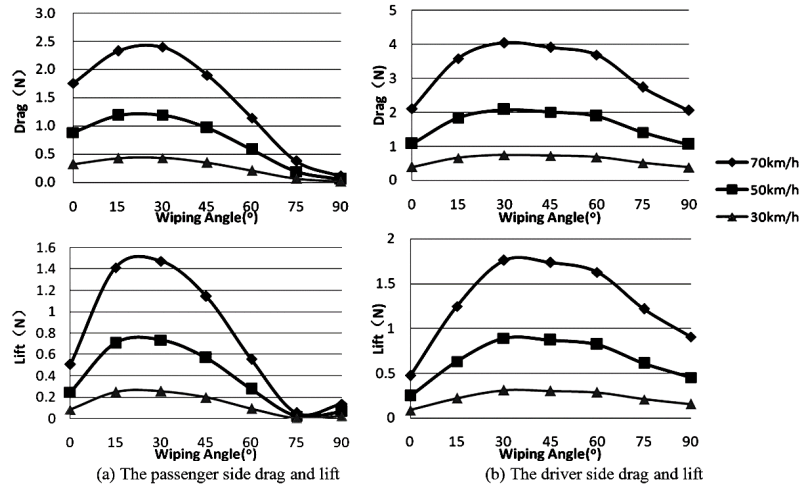
Yang ve diğ. (2011) geleneksel tip silecek sistemi için araç üzerinde farklı silme açıları için kaldırma kuvvetini sayısal olarak hesaplamıştır. Kullandığı silme açıları 15 derece aralıkla 0'dan 90 dereceye 7 adettir. Analizlerinde 30, 50, 70 km/h olmak üzere 3 farklı hava giriş hızı kullanmışlardır. Analizler sonucunda sürücü ve yolcu tarafındaki silecek sistemine etkileyen kaldırma ve direnç kuvvetlerini hesaplamışlardır.

Şekil 2.26'da 70 km/h hava giriş hızına sahip analizler için farklı açılardaki akış çizgileri görülmektedir. Şekil 2.20'de görüleceği üzere sürücü tarafındaki kaldırma kuvvetinin en fazla olduğu açı 30 derecedir. 15 derecelik analizde silecek sisteminin akışa daha dik olduğu Şekil 2.19'da görülebilir ama kaldırma kuvveti olarak 30

derecelik analizden daha az bir kuvvete maruz kalmıştır. Bunun nedeni 15 derecelik analizde silecek sisteminin akışın daha yavaş olduğu bölümde durmasıdır. 45 derecelik analizde ise 30 dereceye göre daha hızlı bir akış etkimesine rağmen akışa daha az dik olduğu için kaldırma kuvveti 30 derecelik analizden daha düşüktür.



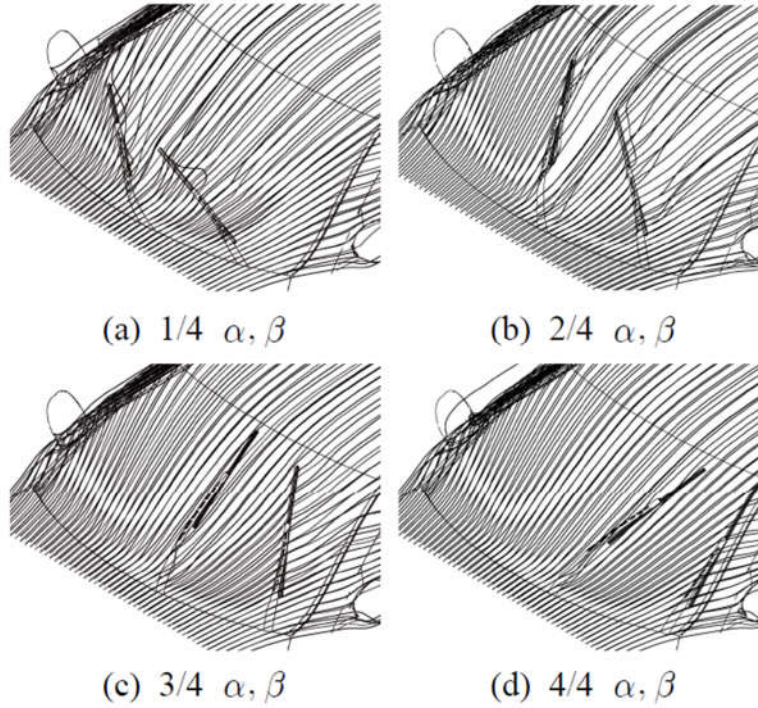
Şekil 2.19 : Farklı silme açıları için basınç katsayılarına göre renklendirilmiş akım çizgileri [8].



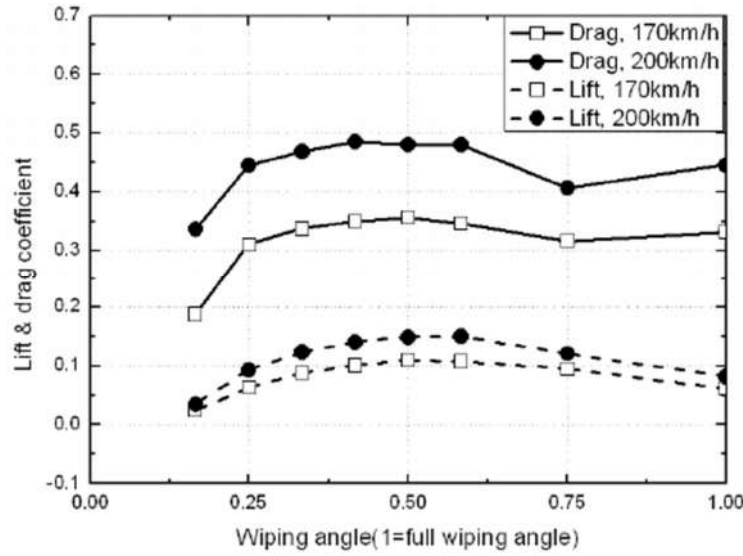
Şekil 2.20 : Farklı silme açılarında ve hızlarda silecek sistemine etkileyen direnç ve kaldırma kuvvetleri [8].

Lee ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada yeni muz tipi silecek sistemini Şekil 2.21’de görülen araç üstünde farklı açılarda sayısal olarak test etmiştir. Direnç ve kaldırma kuvvetini 4 farklı silecek açısı ve 170 ve 200 km/h olmak üzere 2 farklı hava giriş hızı

için hesaplamışlardır. Analizde kullanılan silme açıları park pozisyonuyla en son silme noktasının arasında 3 eşit aralık alınarak oluşturulmuştur. Yapılan analizler sonucunda sürücü tarafındaki sileceğe etkiyen en fazla kuvvetin 1/2 silme açısında olduğu Şekil 2.22’da görülebilir.



Şekil 2.21 : Farklı silme açıları için akım çizgileri [9].



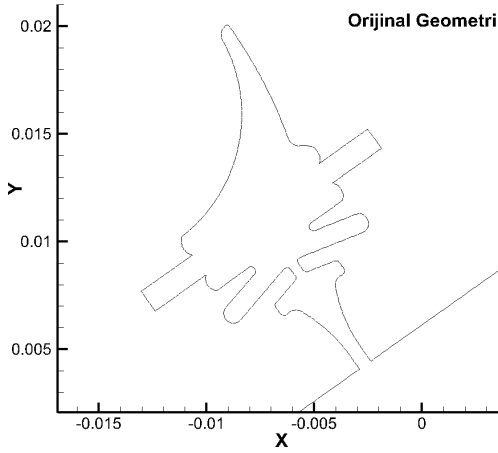
Şekil 2.22 : Farklı silme açıları ve hızlar için silecek sistemindeki direnç ve kaldırma katsayıları [9].

3. SAYISAL İNCELEME

Bu bölümde üç boyutlu orijinal silecek geometrisi basitleştirilmiş model ve yarım araç modeli üstünde olmak üzere iki bölümde incelenmiştir. Üç boyutlu geometri Teklas A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Şekil 3.1’de kullanılan silecek geometrisi ve Şekil 3.2’de silecek geometrisinin kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kullanılan orijinal silecek geometrisi.



Şekil 3.2 : Kullanılan orijinal silecek geometrisi kesiti.

3.1 Matematiksel Model

Silecek etrafındaki akış Ansys-Fluent yazılımıyla modellenmiştir. Akış sıkıştırılamaz, türbülanslı ve zamandan bağımsız Şekilde modellenmiştir. Hava hızının en yüksek

olduğu yerlerde Mach sayısı 0.3'ün altında olduğundan akış sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Türbülans modeli olarak Realizable k-ε modeli seçilmiştir. Silecek etrafındaki akış için Jallet ve diğ. [6] k-ε modelini kullanarak gerçeğe yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Akış ayrılmalarını daha iyi modellediği için realizable opsiyonu kullanılmıştır. Basınç için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Momentum, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans yitim hızı denklemleri ikinci dereceden ayrıştırılarak çözdürülmüştür. Türbülans uzunluk ölçeği silecek uzunluğuna bağlı olarak 0,016-0,019 m arasındadır, türbülans yoğunluğu ise %3 olarak alınmıştır. Havanın yoğunluğu sabit $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ dinamik vizkozitesi ise $\mu=1,79 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ alınmıştır.

3.1.1 Yöneten denklemler

Analizler aşağıdaki denklemlerin çözülmesiyle yapılmıştır. [10]

Kartezyen koordinatlarda sıkıştırılmaz, türbülanslı üç boyutlu akışlar için:

Kütlenin korunumu:

$$\nabla(\vec{v}) = 0 \quad (3.1)$$

Momentumun korunumu:

$$\rho \nabla(\vec{v}\vec{v}) = -\nabla P + \nabla(\bar{\tau}) \quad (3.2)$$

$$\bar{\tau} = \mu[(\nabla\vec{v} + \nabla\vec{v}^T)] \quad (3.3)$$

Realizable k- ε türbülans modeli:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (3.5)$$

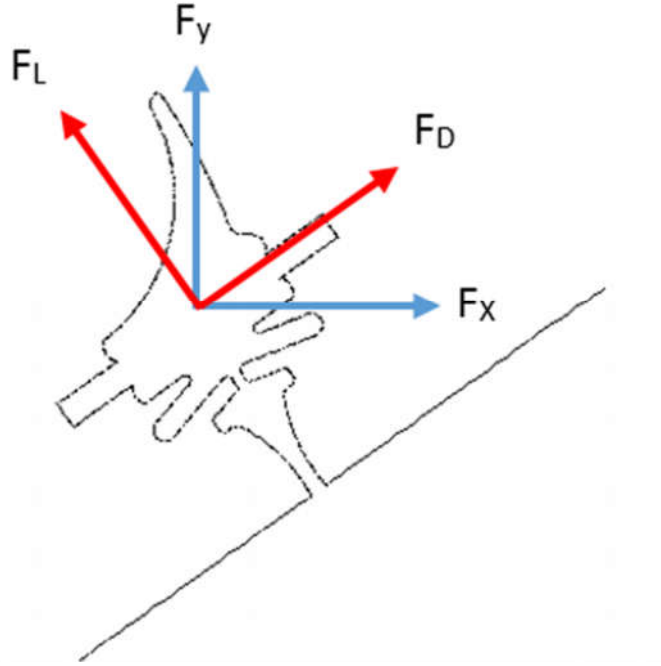
$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3.6)$$

Model sabitleri $C_{1\varepsilon} = 1.44, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.2$

3.1.2 Aerodinamik kuvvetlerin hesaplanması

Bir akışa maruz kalan silecek geometrisine etkiyen kuvvetler Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Denklem 3.7'de analiz sonucunda silecek geometrisine etkiyen direnç (F_D) ve kaldırma (F_L) kuvvetlerinin bulunmasında kullanılır. F_x ve F_y sayısal analizden

elde edilmektedir ve ön camın eğim açısına göre direnç ve kaldırma kuvvetleri bulunur. Denklem 3.8 ile analizi yapılmış geometrinin ilişkili direnç (C_D) ve kaldırma (C_L) katsayıları bulunur. Denklemdaki A_p ilgili geometrinin izdüşüm alanıdır.



Şekil 3.3 : Silecek geometrisine etkiyen aerodinamik kuvvetler.

$$\begin{aligned} F_L &= F_Y \cos \alpha - F_x \sin \alpha \\ F_D &= F_Y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A_p} ; C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A_p} \quad (3.8)$$

3.1.3 λ_2 Vorteks tanımlama yöntemi

Tez kapsamında akış hacmindeki vorteks yapılarının bulunması için λ_2 algoritması kullanılmıştır. λ_2 yöntemi akış içinde düzensiz gerilmeleri ve viskoz etkilerini göz ardı ederek vorteks içindeki minimum basınç noktalarını arar. Düzensiz gerilmeler vorteks olmadığı halde akış içinde minimum basınç noktası oluşturabilir. Viskoz etkiler de vorteks içindeki minimum basıncı yok edebilir.

λ_2 yöntemi birkaç adımdan oluşur. İlk olarak hızın gradyeninin tensörü **J** tanımlanır.

$$\mathbf{J} = \nabla \vec{v} = \begin{bmatrix} \partial_x u_x & \partial_y u_x & \partial_z u_x \\ \partial_x u_y & \partial_y u_y & \partial_z u_y \\ \partial_x u_z & \partial_y u_z & \partial_z u_z \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$\vec{v}$ akış hacmindeki hız alanıdır. Sonra $\mathbf{J}$ simetrik ve antisimetrik parçalarına ayrılır.

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{J} + \mathbf{J}^T}{2} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{\Omega} = \frac{\mathbf{J} - \mathbf{J}^T}{2} \quad (3.11)$$

$\mathbf{S}$ ve $\mathbf{\Omega}$ ifadeleri oluşturulur. Sonra $\mathbf{S}^2 + \mathbf{\Omega}^2$ ifadesinin 3 özdeğeri λ_1 , λ_2 ve λ_3 olmak üzere bulunur. $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ olmak üzere sıralanır. Bir akış alanında iki özdeğeri sıfırdan küçük olan noktalar vorteks merkezidir. Bir diğer ifadeyle $\lambda_2 < 0$ olan noktalar vorteks merkezleridir. [11]

3.2 Orijinal Silecek Geometrisinin Basitleştirilmiş Modelde Sayısal Olarak İncelenmesi

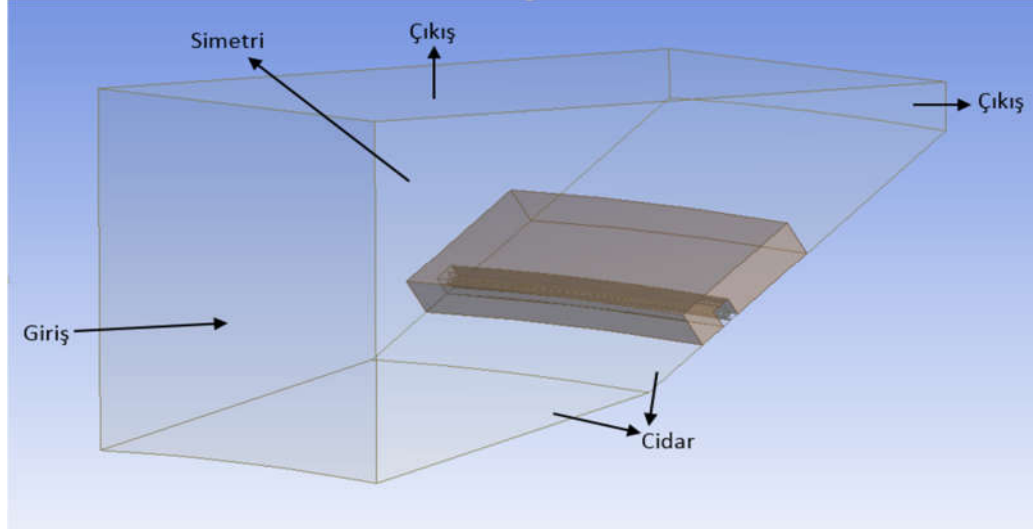
Bu kısımda orijinal silecek geometrisi basitleştirilmiş geometride analiz edilmiştir. Analizleri araç üstünde ve bütün silecek sistemini alarak analiz yapmak büyük zaman almaktadır. Farklı silecek modellerini birbirleriyle karşılaştırmak için sadece silecek süpürgesinin yer aldığı basitleştirilmiş bir akış modeli oluşturulmuştur.

3.2.1 Akış hacmi ve sınır şartları

Üç boyutlu basitleştirilmiş hesaplama hacmi silecek süpürgesini, basitleştirilmiş olarak aracın kaputunu ve ön camını içermektedir. Aracın kaputu ve ön camı çözümü kolaylaştırmak için hafif eğimli iki plaka olarak modellenmiştir. Aracın ön camı normalle 35,34° eğime sahiptir. Aracın ön camıyla, kaput arasındaki açıda 158° olarak belirlenmiştir. Silecek geometrisi girişten 415 mm uzakta konumlandırılmıştır. Akışın silecek üstünden geçtikten sonra düzelebilmesi için akış hacminin çıkışı yeteri uzaklıkta verilmiştir.

Şekil 3.4'te hesaplama alanı ve üzerindeki sınır şartları görülebilir. Silecek geometrisinin akışa göre yukarısında bulunan dikey yüzey giriş sınır koşulu, giriş sınır koşulunun akış yönünde aşağısında kalan dikey yüzey ve akış hacminin üst yüzeyi

çıkış sınır koşulu olarak belirlenmiştir. Silecek yüzeyleri, aracın kaputu ve ön camı duvar sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Geriye kalan akış hacminde sileceğin yanlarında bulunan yüzeylere ise simetri sınır koşulu tanımlanmıştır. Giriş sınır koşulunda 240 km/h hava giriş hızı verilmiştir. Giriş ve çıkış koşullarında %3 türbülans yoğunluğu ve 0,016 m türbülans uzunluk ölçeği kullanılmıştır.



Şekil 3.4 : Akış hacmi ve tanımlanmış sınır şartları.

3.2.2 Üç boyutlu hesaplama ağının oluşturulması

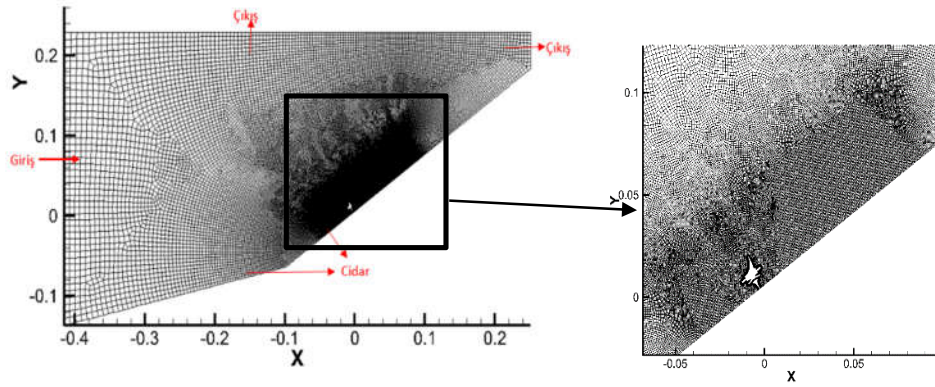
Çözüm ağlarını oluşturmak için ANSYS-Meshing programı kullanılmıştır. HAD analizlerinden elde edilen sonuçların, çözüm ağından bağımsızlığını göstermek için farklı sıklıkta ağlar oluşturulmuştur. Özellikle tez kapsamında incelenmesi gereken aerodinamik kuvvetlerin silecek üzerindeki etkisi (kaldırma ve direnç kuvvetleri vb.) farklı yoğunluktaki ağlar için hesaplatılmıştır. Çizelge 3.1’de farklı sayıda eleman içeren hesaplama ağları kullanılarak yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Farklı Sayıdaki Elemanlı Çözüm Ağlarına Göre Silecek Üstüne Etkiyen Kuvvetler.

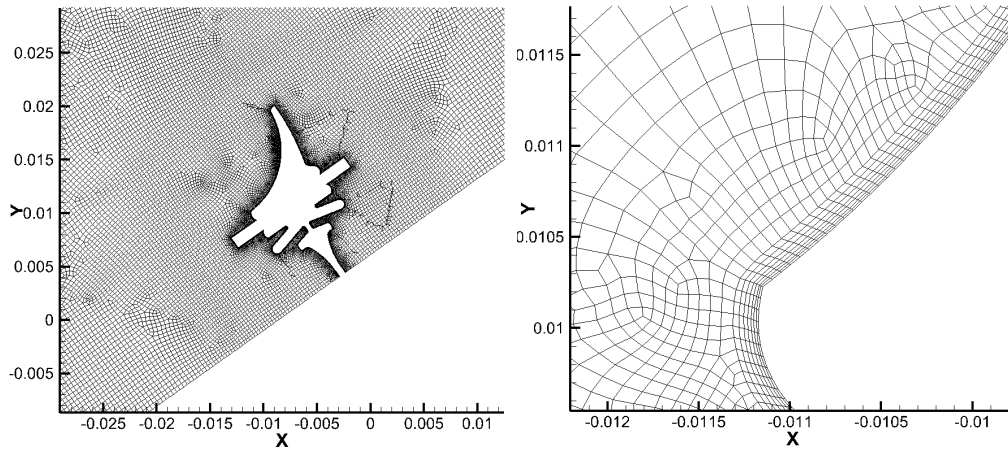
Çözüm Ağı [milyon]	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
5.3	32.44	30.26	43.96	5.91	2.232	0.3
7.7	34.12	29.05	44.63	3.96	2.266	0.201
10.2	32.94	30.61	44.57	5.91	2.263	0.300
13.8	35	28.91	45.27	3.33	2.298	0.169
16	35.59	28.71	45.63	2.83	2.317	0.143

Çizelge 3.1’den elde edilen sonuçlara göre 13,8 milyon eleman sayılı çözüm ağı kullanılacaktır.

Üç boyutlu analizlerde kullanılacak çözüm ağı Şekil 3.5 ve 3.6’da gösterilmiştir. Kullanılan çözüm ağında silecek yüzeylerine yedi eleman sınır tabaka katmanı eklenmiştir. Silecek ve rüzgârlık etrafındaki alana daha sık çözüm ağı elemanı oluşturulmuştur. Ayrıca bu bölgenin belli bir miktarda ön, üst ve arkasında oluşacak ard izini kapsayacak Şekilde bir sıklaştırma yapılmıştır.



Şekil 3.5 : 13,8 milyon eleman sayılı çözüm ağı.

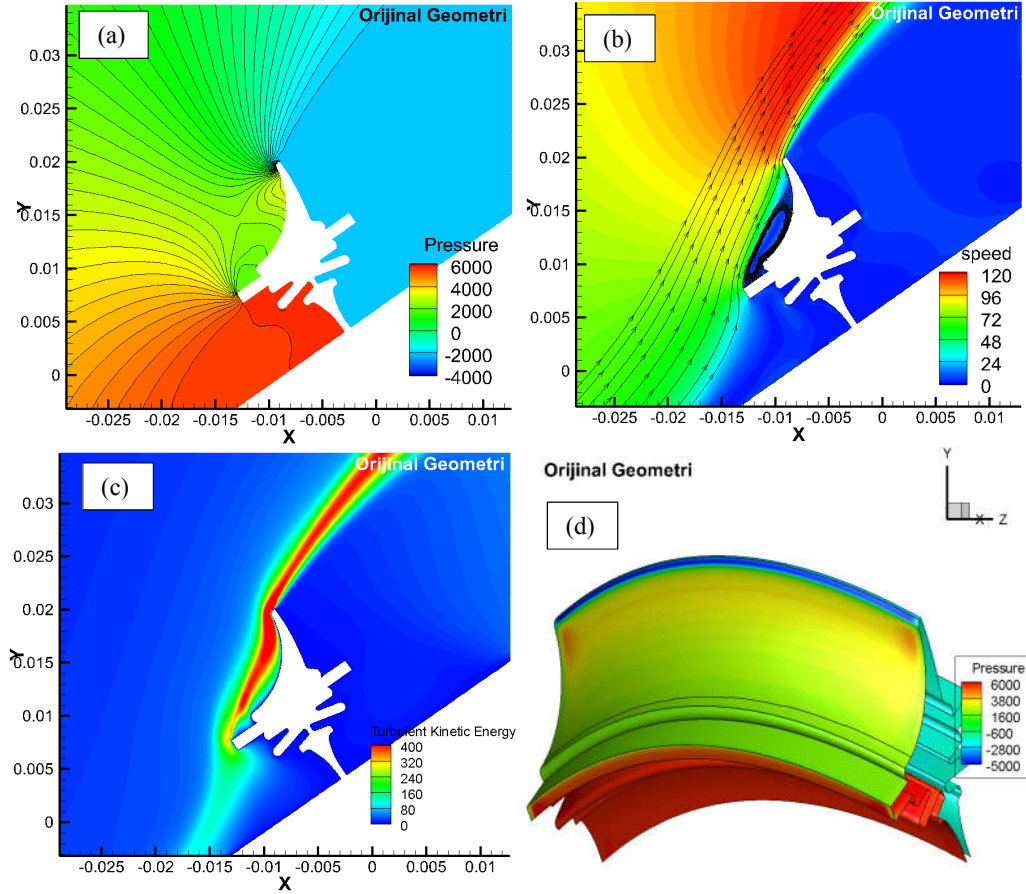


Şekil 3.6 : 13,8 milyon eleman sayılı çözüm ağı (yakın görüntü).

3.2.3 Analiz sonuçları

Analiz sonuçlarında basitleştirilmiş akış hacminde ve 240 km/h giriş hızı için orijinal geometriye 45,27 N direnç kuvveti, 3,33 N kaldırma kuvveti etki ettiği görülmüştür. Şekil 3.7’de hız dağılımından görüleceği üzere rüzgârlık üzerinde bir vorteks oluşmaktadır. Bu vorteks rüzgârlık üzerindeki basıncın azalmasına neden olmaktadır.

Silecek geometrisini cama doğru bastırabilmek için rüzgârlık üzerindeki bu basıncın yüksek olması istenmektedir. Basınç dağılımında maksimum basınç bölgesinin rüzgârlığın üst bölgesinde olduğu görülebilir. Bu bölgede olduğu için baskı kuvvetine olan katkısı çok azdır.



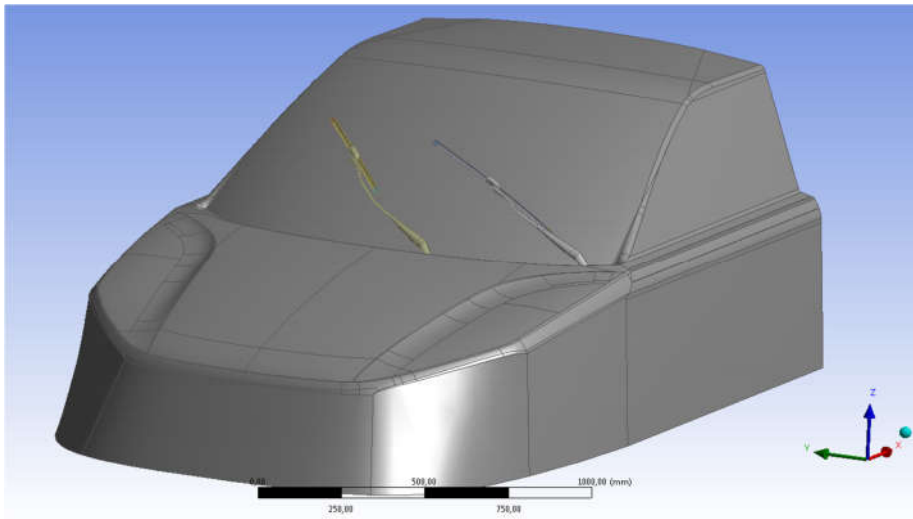
Şekil 3.7 : Analiz sonucu elde edilen çeşitli özelliklerin dağılımları, (a) Orta kesitten basınç dağılımı [Pa], (b) Orta kesitten hız dağılımı ve akım çizgileri [m/s], (c) Orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m²/s²], (d) Silecek yüzeyindeki basınç dağılımı [Pa].

3.3 Orijinal Silecek Geometrisinin Araç Modeli Üzerindeki Analizleri

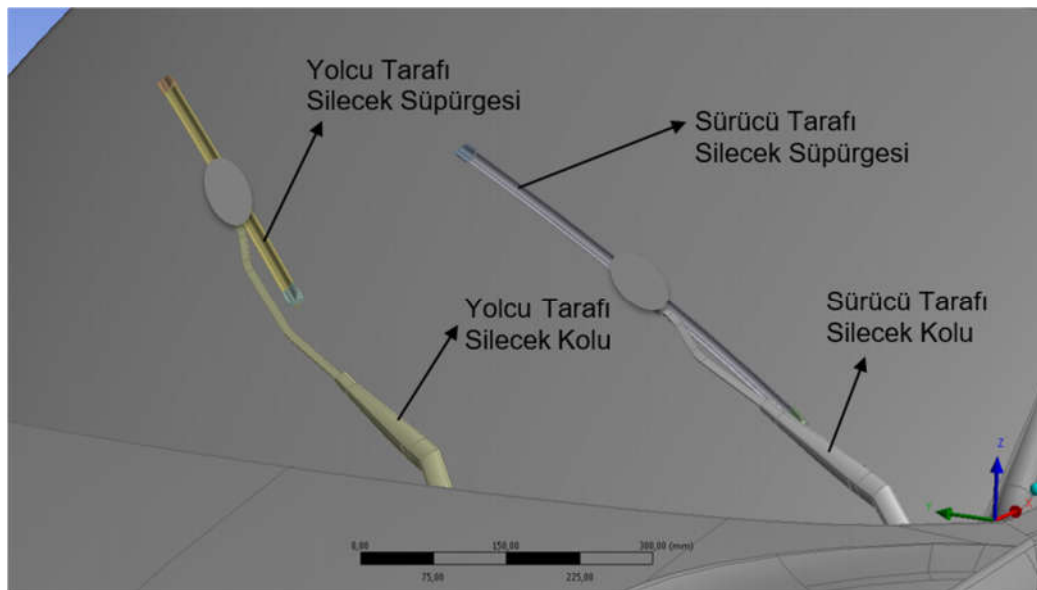
Basitleştirilmiş geometrideki analizlerden sonra silecek sistemi yarım araç modeli üzerinde test edilmiştir. Bu testlerde sürücü ve yolcu tarafı olmak üzere her iki tarafta silecek kolu ve silecek süpürgesi analize dahil edilmiştir.

3.3.1 Akış hacmi ve sınır şartları

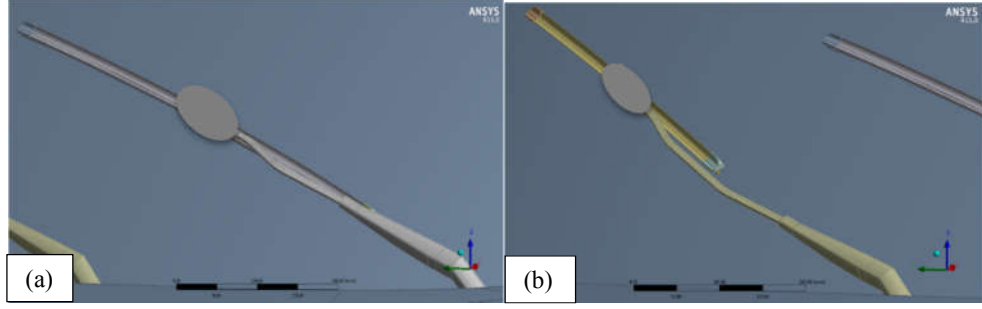
Üç boyutlu akış hacmi silecek kolları, silecek süpürgeleri ve yarım araç modelinden oluşmaktadır. Sürücü tarafındaki silecek süpürgesi 600 mm uzunluğa ve yatayla 30° açıya sahiptir. Yolcu tarafındaki silecek süpürgesi ise 450 mm uzunluğa ve yatayla 45° açıya sahiptir. Sileceklerin konumlandırıldığı silecek açısı silecek sisteminin en fazla kaldırma kuvvetinden etkilendiği pozisyonudur. Araç geometrisi Şekil 3.8’de görülebilir. Şekil 3.9 ve 3.10’da silecek sisteminin parçaları görülebilir. Akış hacminin genişliği her iki yana doğru arabanın genişliğinin iki katı, yüksekliği arabanın yüksekliğinin beş katı, uzunluğu ise arabanın uzunluğunun beş katıdır.



Şekil 3.8 : Analizlerde kullanılan yarım araç modeli.

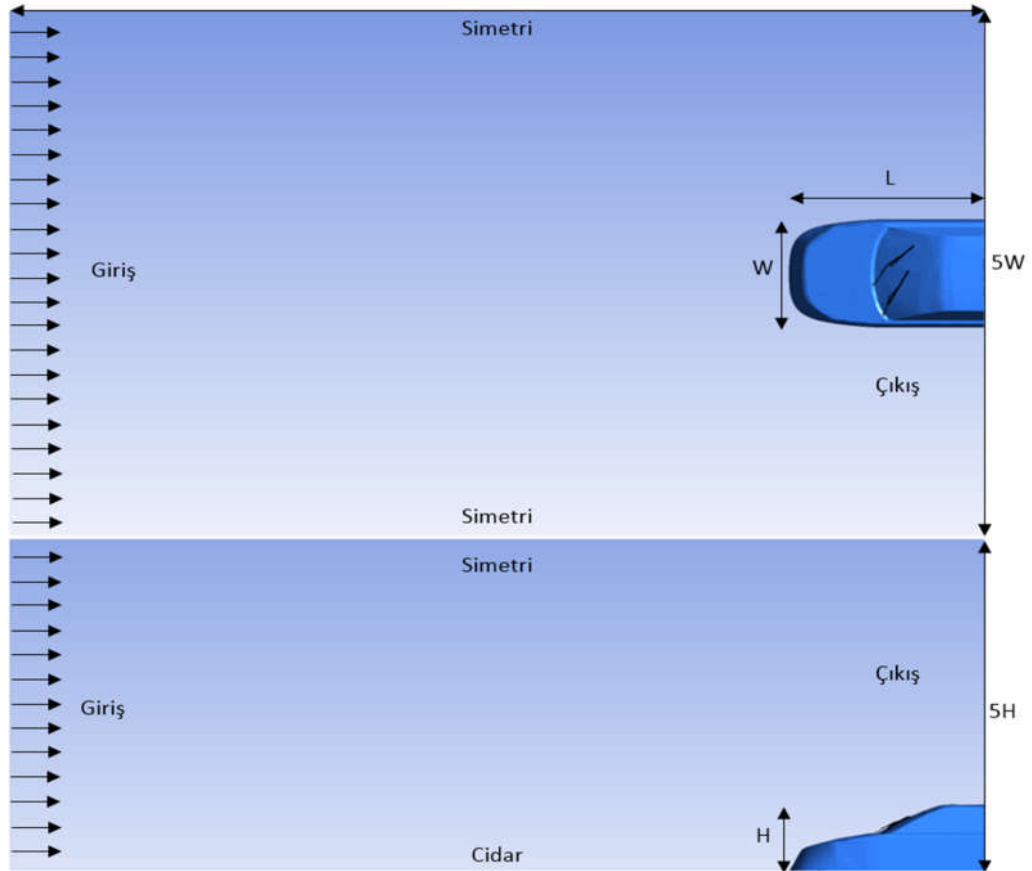


Şekil 3.9 : Silecek sistemi.



Şekil 3.10 : Silecek geometrisi (a) Sürücü tarafı, (b) Yolcu tarafı.

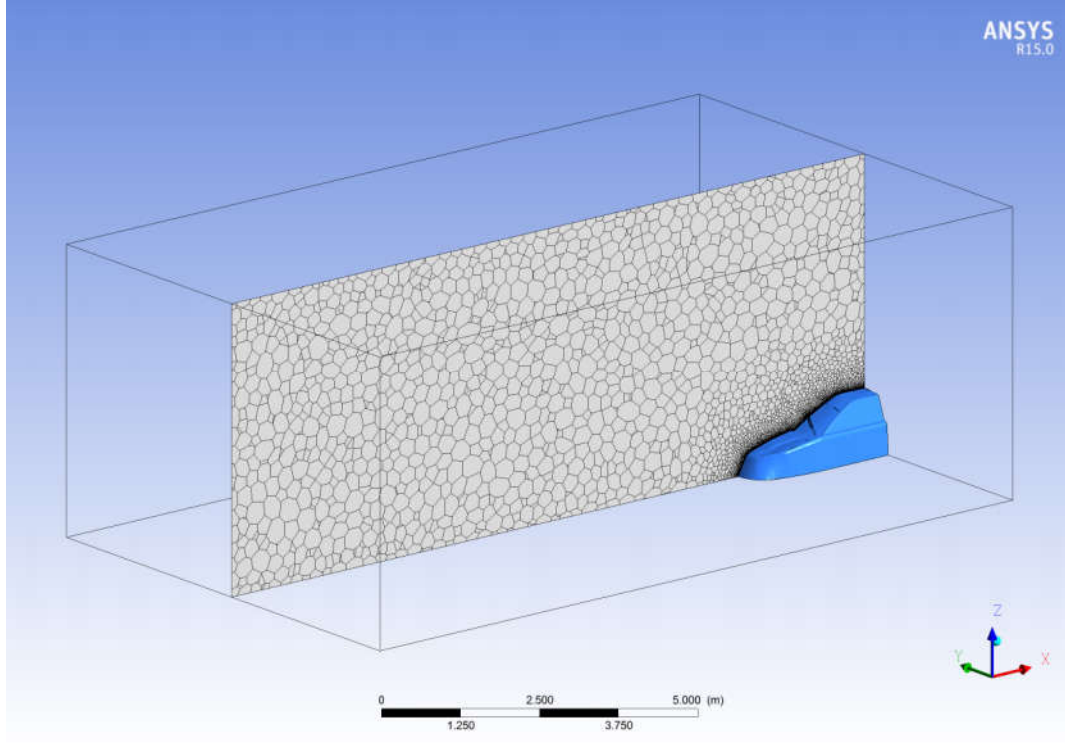
Şekil 3.11’de ise akış hacmi ile sınır koşulları görülmektedir. Araç geometrisinin akışa göre yukarıda kalan yüzey giriş sınır koşulu, giriş sınır koşulunun karşısında kalan yüzey ise basınç çıkış sınır koşulu olarak belirlenmiştir. Aracın kendisi, silecek sistemi ve aracın altında kalan yatay yüzey cidar sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Geriye kalan akış hacminin üst ve yan yüzeyleri simetri koşulu olarak tanımlanmıştır.



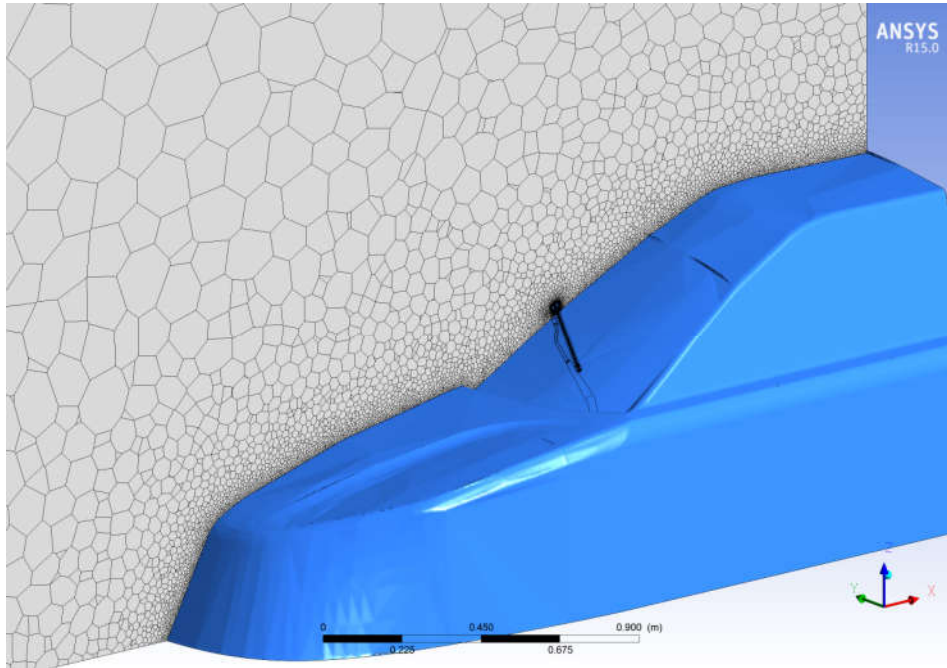
Şekil 3.11 : Akış hacmi ve tanımlanan sınır şartları.

Çözüm ağı oluşturulurken arabanın, sileceklerin ve silecek kollarının yüzeyleri etrafında sıkılaştırma yapılmıştır. Çözüm ağı önce Ansys-Meshing programında

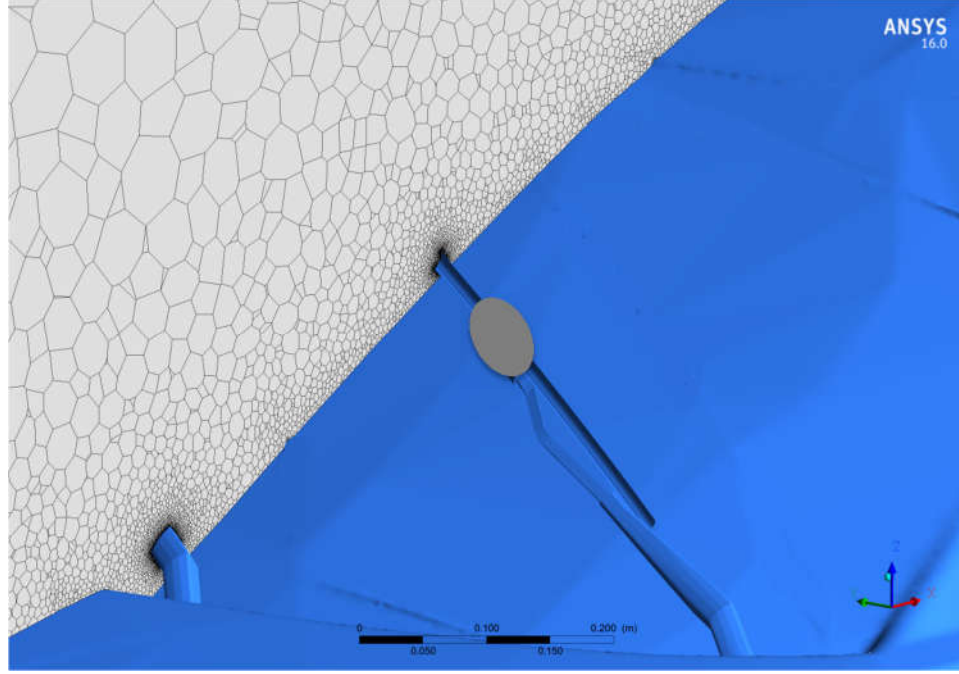
altıyüzlü elemanlarla oluşturulmuştur. Sonra çözüm ağındaki eleman sayısını azaltmak için Ansys-Fluent programında çokyüzlü elemanlara dönüştürülmüştür. Oluşturulan çözüm ağı Şekil 3.12-3.15'te görülebilir.



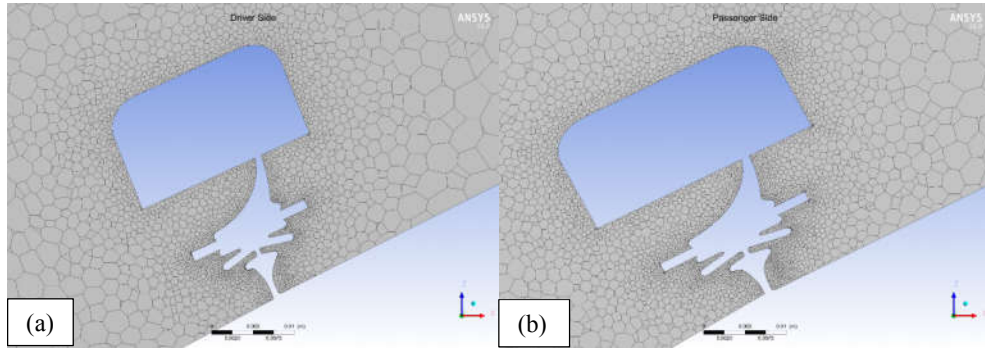
Şekil 3.12 : Akış hacmi ve çözüm ağı kesit görüntüsü.



Şekil 3.13 : Çözüm ağı kesit görüntüsü.



Şekil 3.14 : Çözüm ağı kesit görüntüsü (silecek kesit düzlemi-yakınlaştırılmış).



Şekil 3.15 : Silecek etrafındaki çözüm ağı kesit görüntüsü (a) Sürücü tarafı, (b) Yolcu tarafı.

3.3.2 Analiz sonuçları

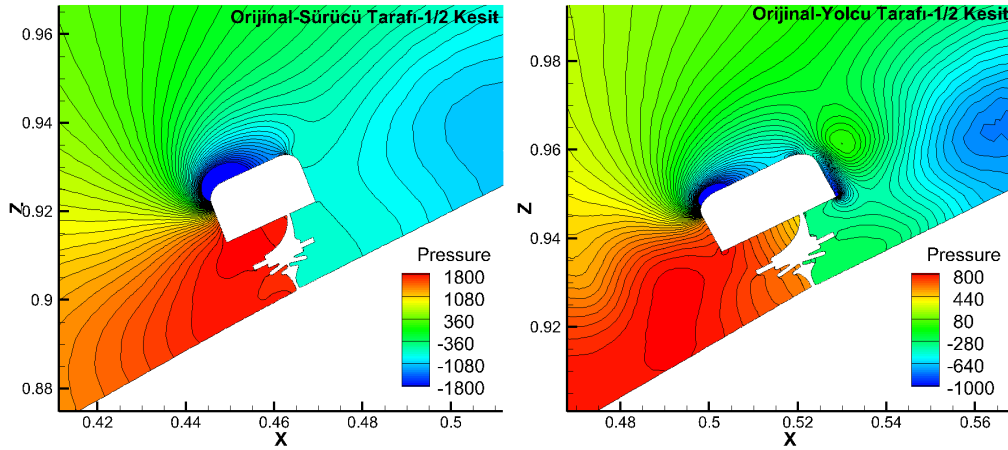
Çizelge 3.2’de görüleceği üzere yarım araç modeli üzerine monte edilmiş orijinal geometride silecek süpürgesi ve silecek koluna etkiyen toplam kaldırma kuvveti sürücü tarafında 3,7 N, yolcu tarafında 0,1 N’dur. Silecek sistemine etkiyen kaldırma kuvveti silecek kollarından kaynaklanmaktadır. Silecek sistemine etkiyen toplam kaldırma kuvvetini düşürmek için silecek süpürgelerinde baskı kuvveti oluşturulması kararlaştırılmıştır.

Çizelge 3.2 : Orijinal geometri için araç üstünde analiz sonuçları.

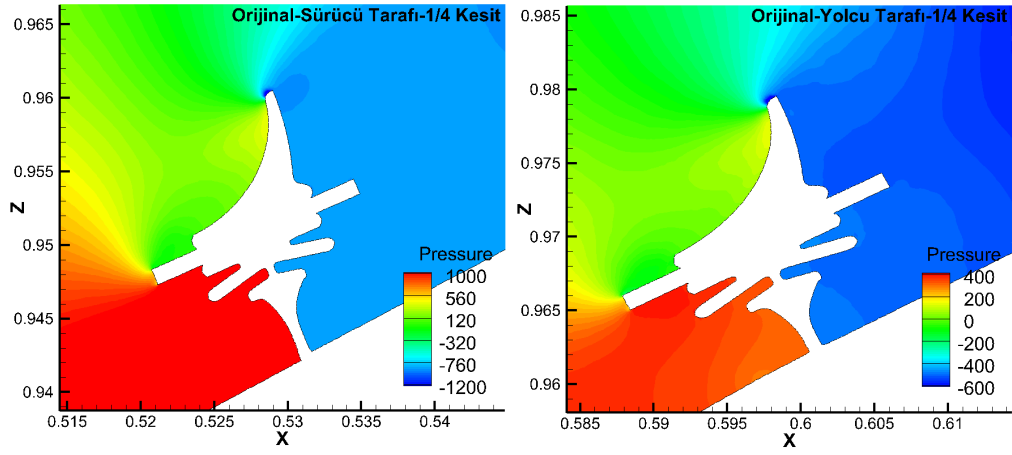
Model	Taraf	Parça	F_x [N]	F_z [N]	F_D [N]	F_L [N]	F_L [N]	C_D	C_L
Orijinal	Sürücü	Süpürge	12.85	7.8	15.0	-1.1	3.7	0.580	-0.041
		Kol	5.98	10.06	10.7	4.7		0.471	0.209
	Yolcu	Süpürge	4.59	2.93	5.4	-0.26	0.1	0.363	-0.018
		Kol	2.96	2.56	3.9	0.38		0.173	0.017

Basınç dağılımlarını göstermek için akış hacminden iki boyutlu kesitler alınmıştır. Birincisi silecek kolunu içeren sileceğin orta kesitinden, ikincisi ise sileceğin yukarı doğru olan 1/4 kesitinden alınmıştır. Şekil 3.16'da orta kesitten alınmış basınç dağılımları, Şekil 3.17'de 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları görülebilir.

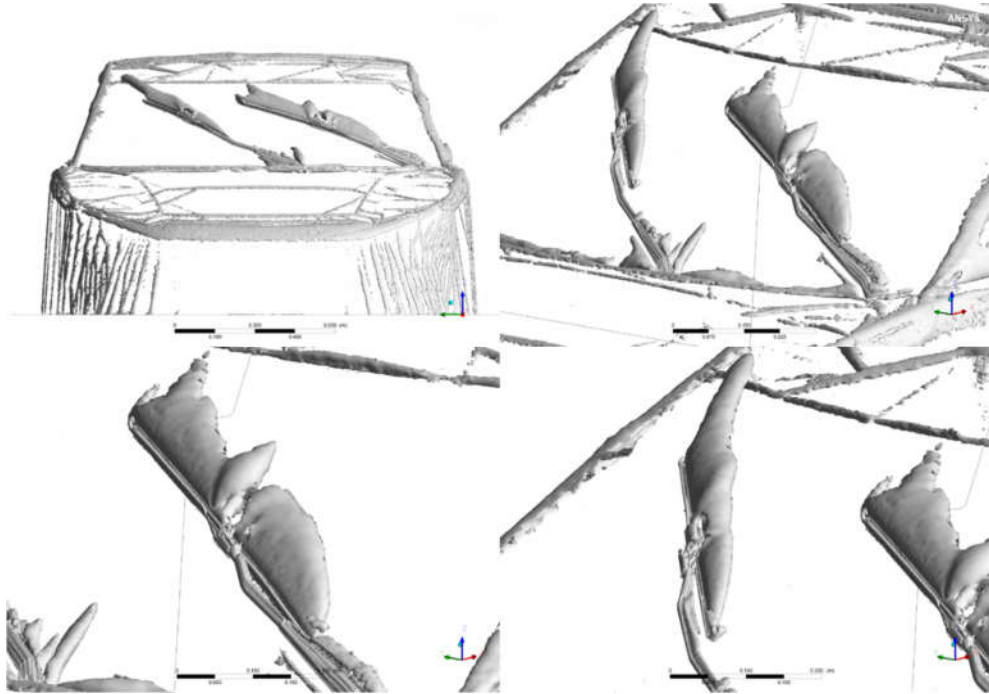
Şekil 3.18'de vortekslerin görüntülenmesi için $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri oluşturulmuştur. Sürücü tarafında oluşan vorteksler sileceğin hemen arkasında bitmiş, yolcu tarafındakiler ise sileceğin üst ucundan daha ileride sonlanmıştır.



Şekil 3.16 : Orijinal geometri için orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Sürücü tarafı), (Sağ sütun: Yolcu tarafı).



Şekil 3.17 : Farklı geometriler için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Sürücü tarafı), (Sağ sütun: Yolcu tarafı).



Şekil 3.18 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri.

4. YENİ SİLECEK GEOMETRİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Önceki bölümde araç üzerinde yapılan analizden görüleceği üzere silecek sisteminde kaldırma kuvveti silecek kollarından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden toplam kaldırma kuvvetini azaltmak için silecek süpürgelerinde bir baskı kuvveti yaratılması gerekmektedir.

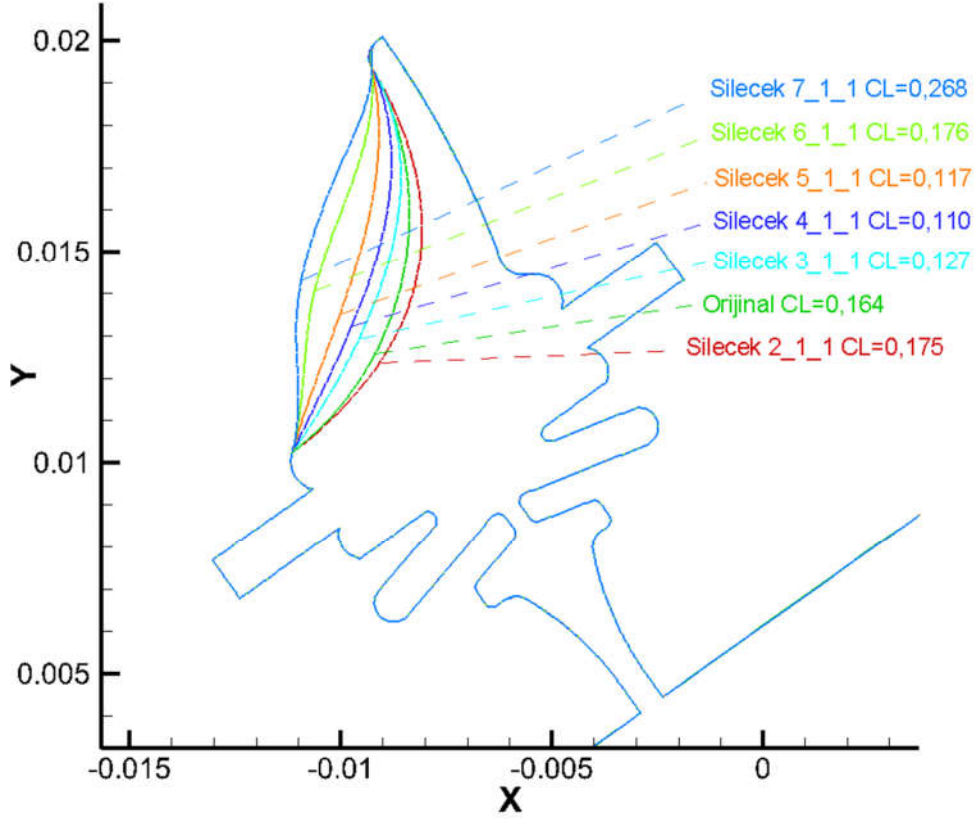
Tezin bu bölümünde silecek geometrisinin farklı özellikleri parametrik olarak incelenmiştir. Sırasıyla rüzgârlık profili, silecek yüksekliği ve sileceğin metal ve rüzgârlık arasındaki bağlantısı test edilmiştir. Buradaki amaç rüzgârlık üstündeki basıncı arttırmak ve maksimum basınç noktasını daha istenen bir yere getirmektir.

Oluşturulan yeni modeller Silecek_A_B_C şeklinde adlandırılmıştır. A rüzgârlık profilindeki değişimi, B silecek yüksekliğindeki değişimi, C ise bağlantı tipindeki değişimi göstermektedir. İsimlendirmedeki '1' numara orijinal geometriye ait özellikleri göstermektedir.

4.1 Rüzgârlık Profilinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi

Rüzgârlık profilinin değiştirilmesiyle silecek üzerine etkiyen kaldırma kuvveti azaltılabilir. Bu değişiklik ile rüzgârlık üzerindeki vorteksin azaltılarak basıncın arttırılması ve maksimum basınç noktasının sileceği bastırmak için daha iyi bir pozisyona çekilmesi amaçlanmaktadır. Analizleri yapılan farklı rüzgârlık geometrileri Şekil 4.1'de görülebilir. Çizelge 4.1'deki sonuçlara göre 4 numaralı profil orijinal profile göre kaldırma kuvvetini 1/3 oranında azaltmaktadır.

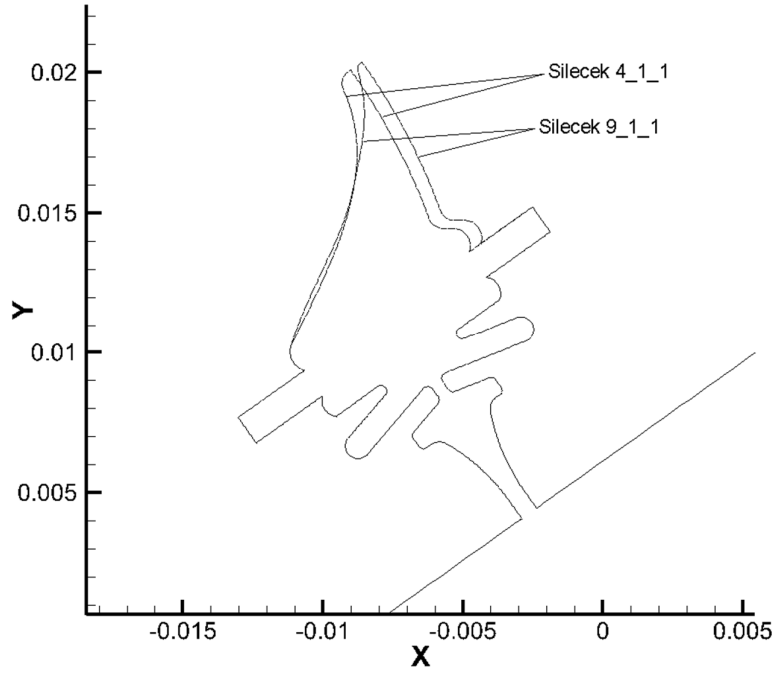
4 numaralı profili daha fazla geliştirmek için sileceğin arka tarafı geriye çekilip, rüzgârlık alanı arttırılarak Şekil 4.2'de görülen Silecek 9_1_1 oluşturulmuştur. Elde edilen fazladan alan ile basınçta büyük bir fark olmamasına rağmen kaldırma kuvvetinde büyük bir iyileştirme elde edilmiştir.



Şekil 4.1 : Rüzgârlık profilinde yapılan değişiklikler.

Çizelge 4.1 : Farklı rüzgârlık profilleri için analiz sonuçları.

Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
Orijinal	35	28.91	45.273	3.338	2.227	0.164
2_1_1	34.93	29.13	45.343	3.558	2.230	0.175
3_1_1	35.83	28.58	45.759	2.589	2.251	0.127
4_1_1	36.17	28.4	45.932	2.245	2.259	0.110
5_1_1	35.71	28.23	45.459	2.373	2.236	0.117
6_1_1	33.96	28.46	44.164	3.572	2.172	0.176
7_1_1	31.72	29.16	42.742	5.439	2.102	0.268
8_1_1	31.61	28.95	42.531	5.331	2.092	0.262

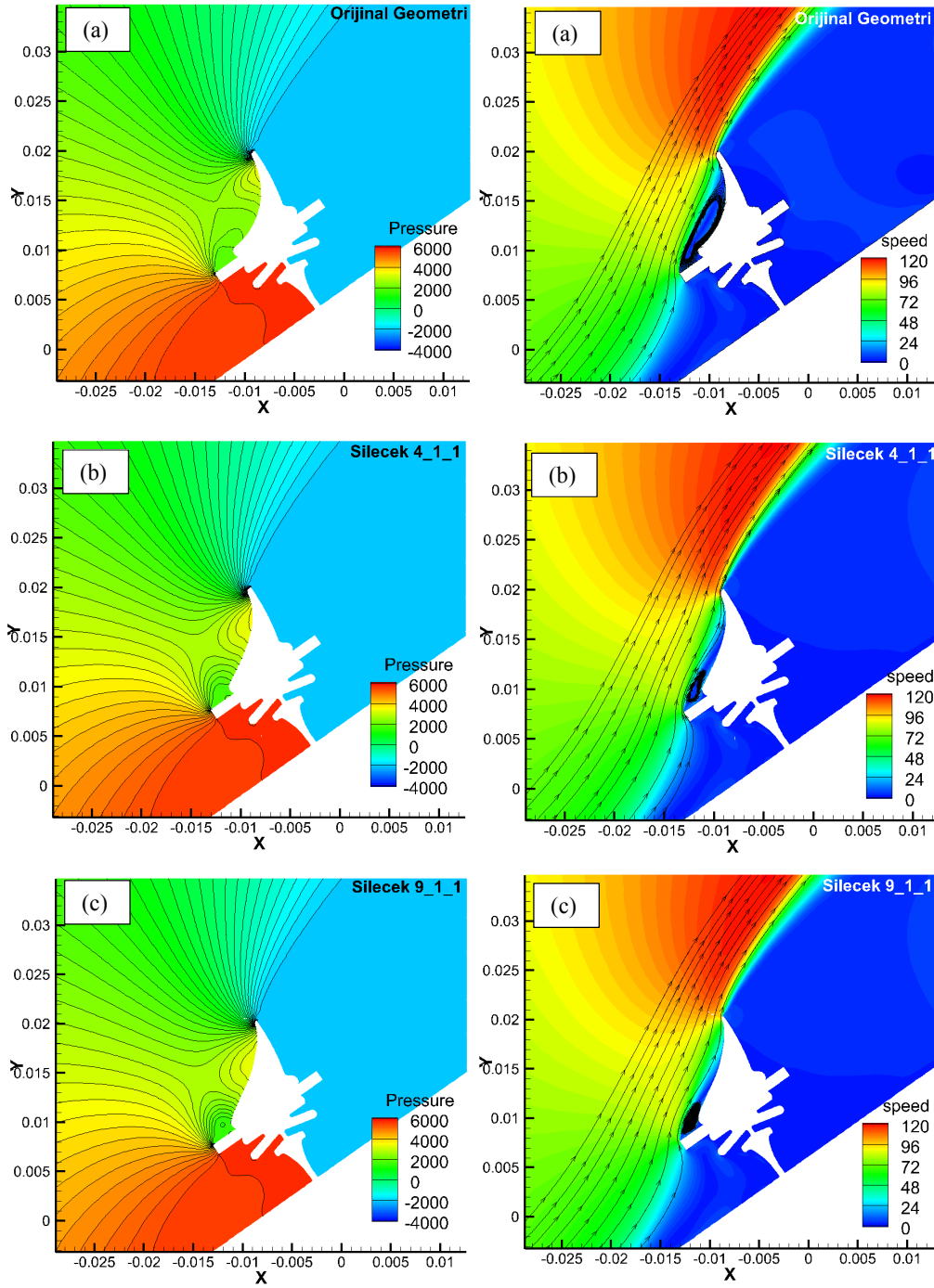


Şekil 4.2 : En iyi performansa sahip rüzgârlık profilleri.

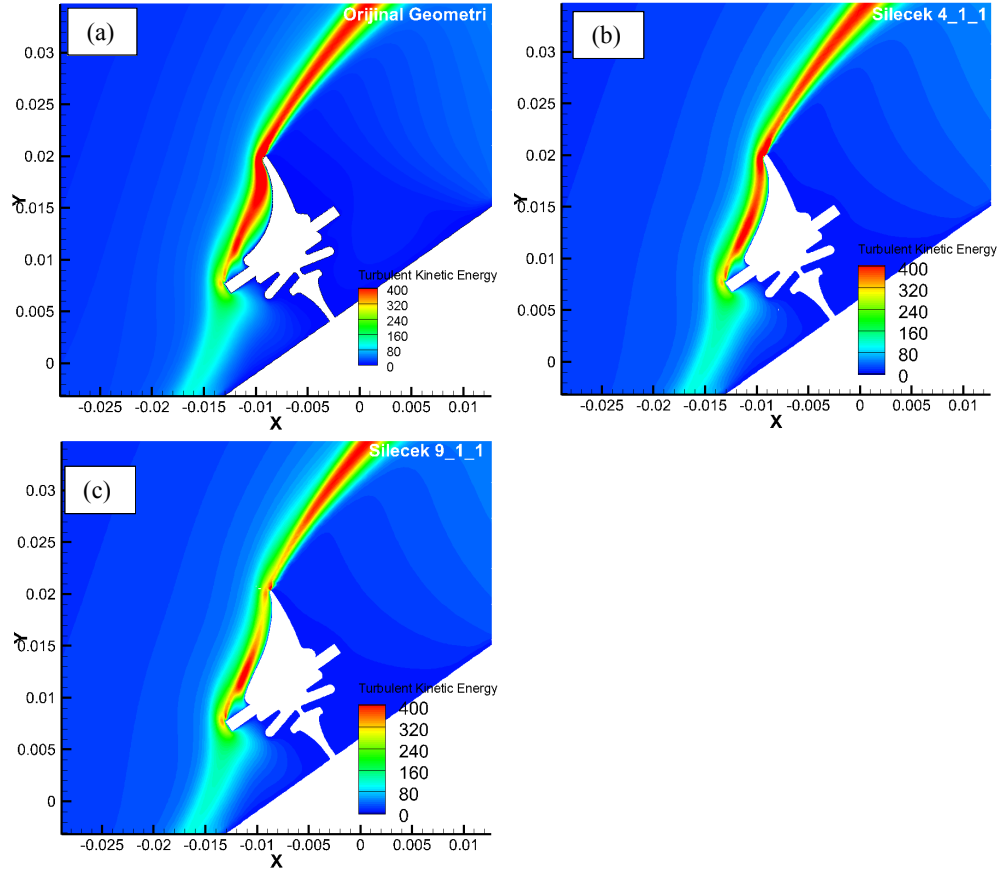
Çizelge 4.2 : En iyi performansa sahip rüzgârlık profillerinin analiz sonuçları.

Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
Orijinal	35	28.91	45.273	3.338	2.227	0.164
4_1_1	36.17	28.4	45.932	2.245	2.259	0.110
9_1_1	37.37	27.13	46.177	0.515	2.271	0.025

Şekil 4.3'te orijinal ve modifiye edilmiş geometriler için basınç ve hız dağılımları görülebilir. Hız dağılımlarından görüleceği üzere modifiye edilmiş geometrilerde rüzgârlık üzerinde oluşan vorteks yapısı azaltılmıştır. Basınç dağılımlarından görüleceği üzere modifiye edilmiş geometrilerde rüzgârlık üzerinde daha yüksek bir basınç vardır. Ayrıca maksimum basınç noktası sileceği cama doğru baskılamak için daha iyi bir yerededir. Şekil 4.4'te türbülans kinetik enerjisi dağılımları görülebilir. Rüzgârlık üzerindeki vorteks yapısının azalmasıyla enerjide düşüş görülmüştür.



Şekil 4.3 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Orijinal, (b) Silecek 4_1_1, (c) Silecek 9_1_1.

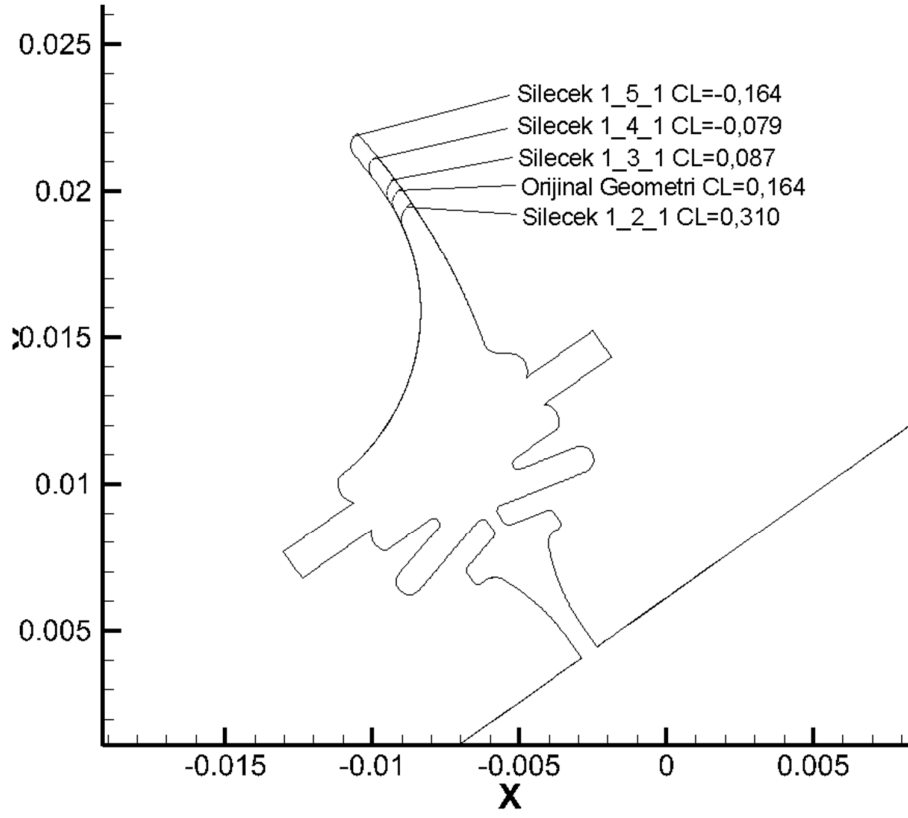


Şekil 4.4 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Orijinal, (b) Silecek 4_1_1, (c) Silecek 9_1_1.

4.2 Silecek Yüksekliğinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi

Kaldırma kuvvetini azaltmanın bir başka yolu da silecek yüksekliğinin değiştirilmesidir. 16 mm ve 19 mm arasında değişen dört yeni silecek geometrisi analiz edilmiştir. Analiz edilen geometriler Şekil 4.5’de görülebilir. Analizlerde orijinal geometriden farklı dört silecek yüksekliği denenmiştir. Çizelge 4.3’te görüleceği üzere silecek yüksekliğinin arttırılmasıyla kaldırma kuvveti azaltılmış hatta bir noktadan sonra baskı kuvveti elde edilmiştir. Silecek yüksekliğini düşürmek ise beklenildiği gibi kaldırma kuvvetini arttırmıştır. Bununla birlikte silecek yüksekliğini arttırmak direnç kuvvetini de arttırmıştır.

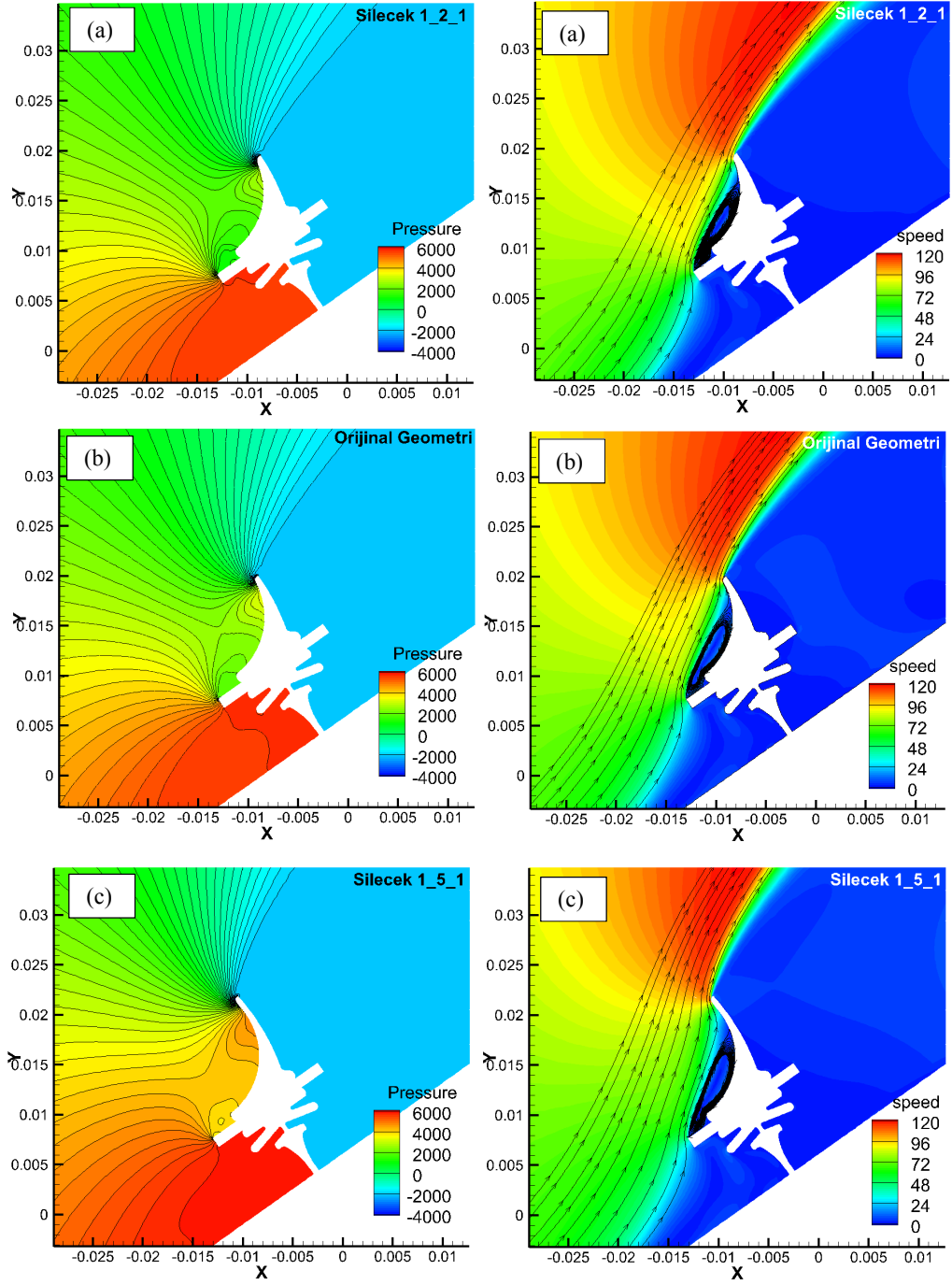
Şekil 4.6’de görüleceği üzere silecek yüksekliğinin arttırılması rüzgârlık üzerindeki basıncın artmasıyla sonuçlanmıştır. Bu da kaldırma kuvvetinin yenilmesini sağlamıştır. Silecek yüksekliğinin arttırılması rüzgârlık üzerinde oluşan vorteksin büyümesine yol açmıştır.



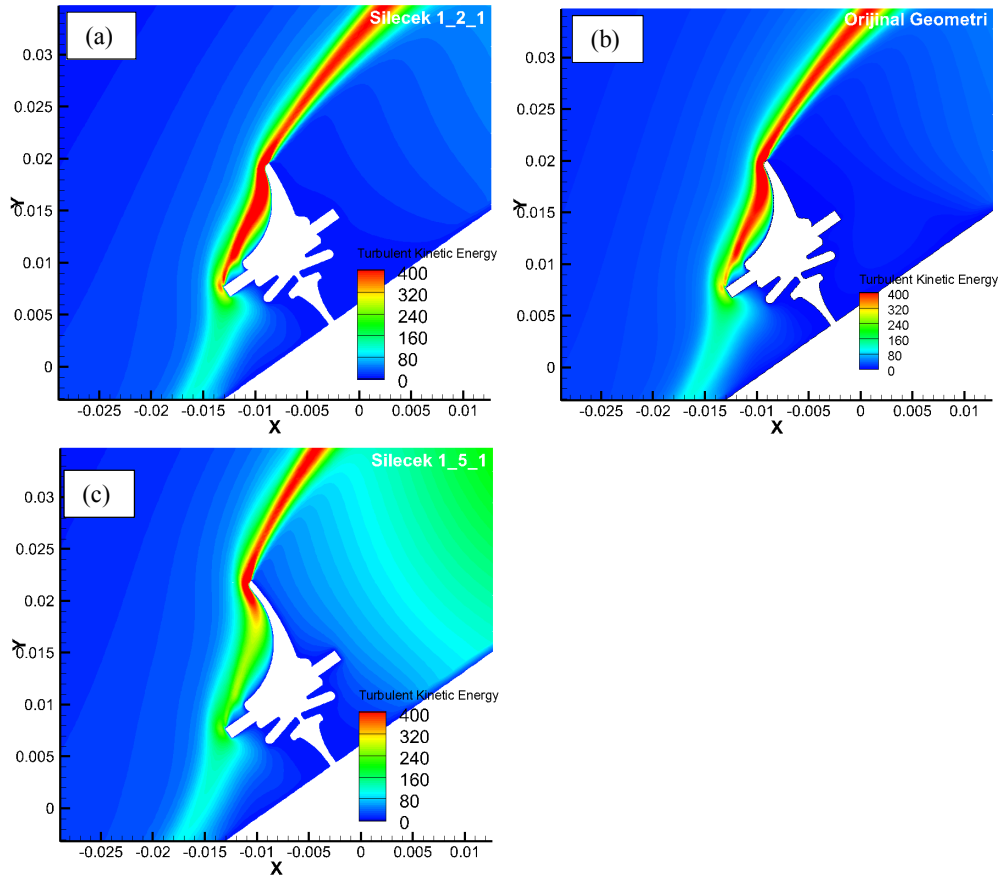
Şekil 4.5 : Yükseklik analizleri için kullanılan geometriler.

Çizelge 4.3 : Çeşitli yükseklikte silecekler için analiz sonuçları.

Model	Yükseklik [mm]	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_{Lift} [N]	C_D	C_L
1_2_1	16	30.43	29.03	41.615	6.079	2.125	0.310
Orijinal	16.6	35	28.91	45.273	3.338	2.227	0.164
1_3_1	17	37.67	28.94	47.468	1.818	2.281	0.087
1_4_1	18	44.95	29.73	53.864	-1.749	2.445	-0.079
1_5_1	19	50.15	30.88	58.771	-3.818	2.57	-0.164



Şekil 4.6 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Silecek 1_2_1, (b) Orijinal, (c) Silecek 1_5_1.

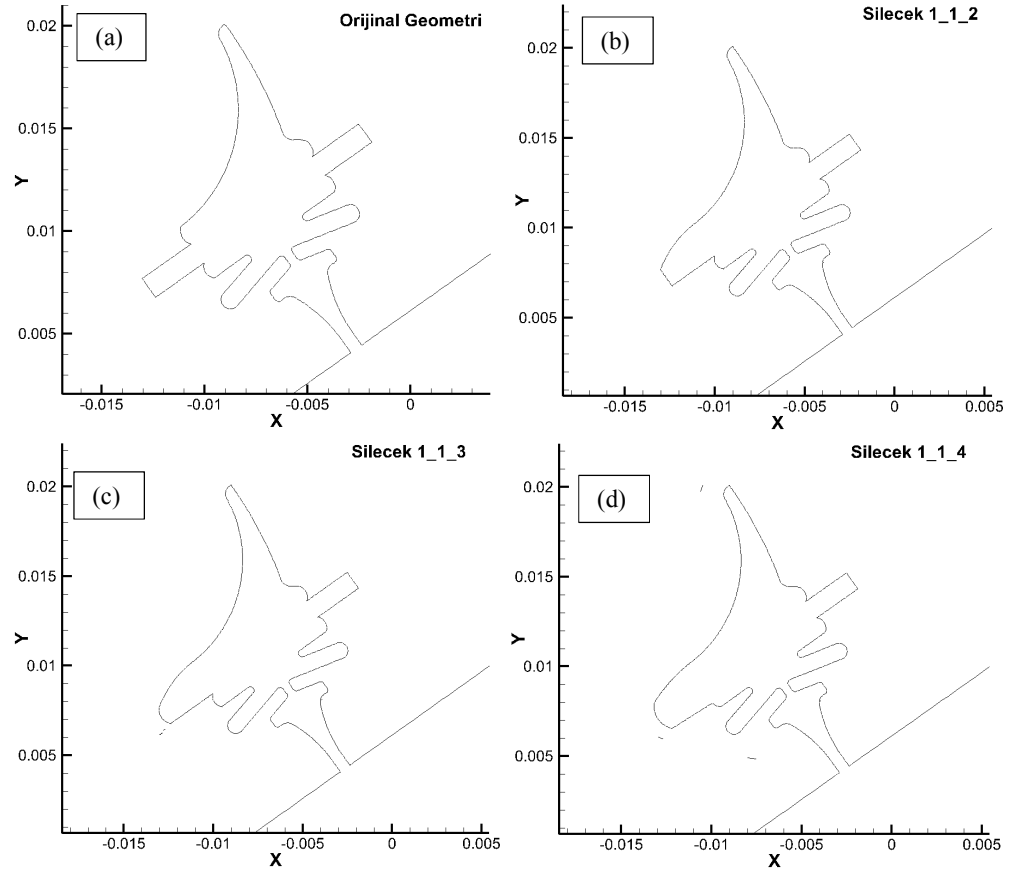


Şekil 4.7 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Silecek 1_2_1, (b) Orijinal, (c) Silecek 1_5_1.

4.3 Bağlantı Tipinin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi

Sileceğin metali ve rüzgârlığı arasındaki vorteks yapısından kurtulmak için silecek metalinin ucundan rüzgârlığa bir bağlantı yapılmıştır. Bu çalışmada Şekil 4.8’de görülebilecek üç farklı bağlantı şekli kullanılmıştır. Çizelge 4.4’te görülebilecek analiz sonuçlarına göre üç numaralı bağlantı en iyi sonucu vermiştir. Üç numaralı bağlantı hem bağlantı yerindeki vorteksi hem de rüzgârlık üzerindeki vorteksi azaltmıştır.

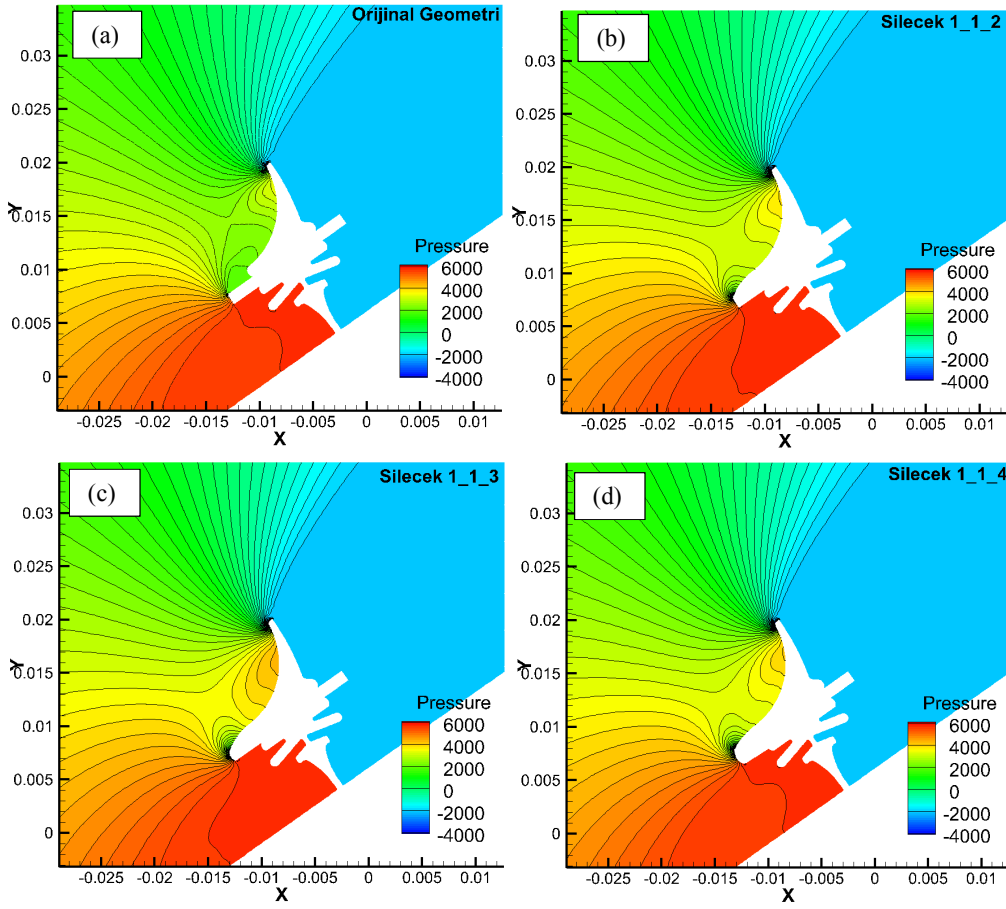
Şekil 4.9 ve 4.10’da orta kesitten alınmış basınç ve hız dağılımları görülebilir. Hız dağılımlarından görüleceği üzere modifiye edilmiş geometrilerde silecek üzerindeki vorteks yapıları azaltılmış, 3 numaralı bağlantı da ise tamamen giderilmiştir. Bunun sayesinde silecek rüzgârlığı üzerindeki basınç arttırılmıştır. Şekil 4.11’de görülebilecek türbülans kinetik enerjisi dağılımında ise 3 numaralı bağlantıda rüzgârlık üzerindeki enerjinin en az olduğu görülebilir.



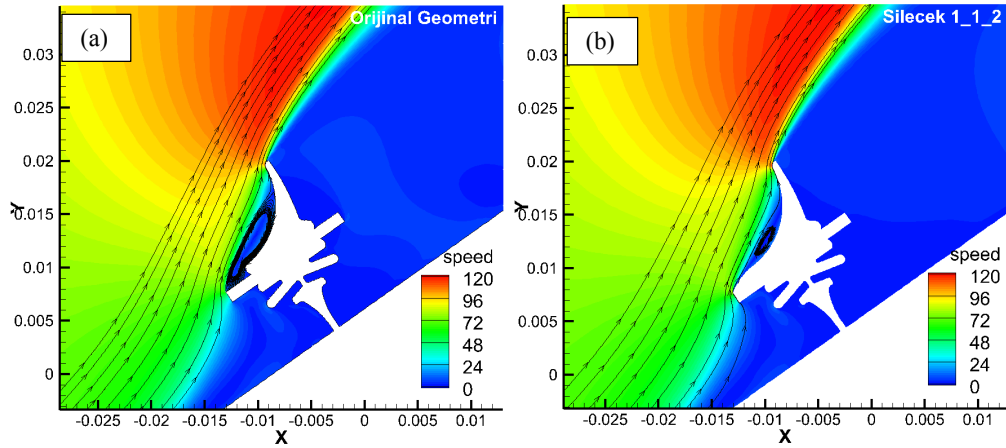
Şekil 4.8 : Bağlantı tipi analizlerinde kullanılan geometriler (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.

Çizelge 4.4 : Farklı bağlantı tiplerine sahip sileceklerin analiz sonuçları.

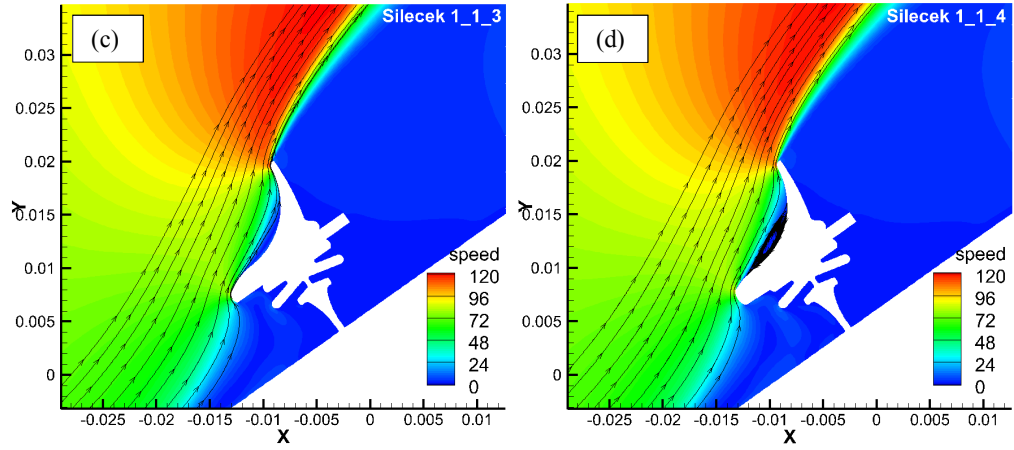
Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_{Lift} [N]	C_D	C_L
Orijinal	35	28.91	45.273	3.338	2.227	0.164
1_1_2	38.01	27.51	46.919	0.455	2.308	0.022
1_1_3	39.95	26.67	48.015	-1.353	2.362	-0.067
1_1_4	38.4	27.4	47.173	0.140	0.268	0.007



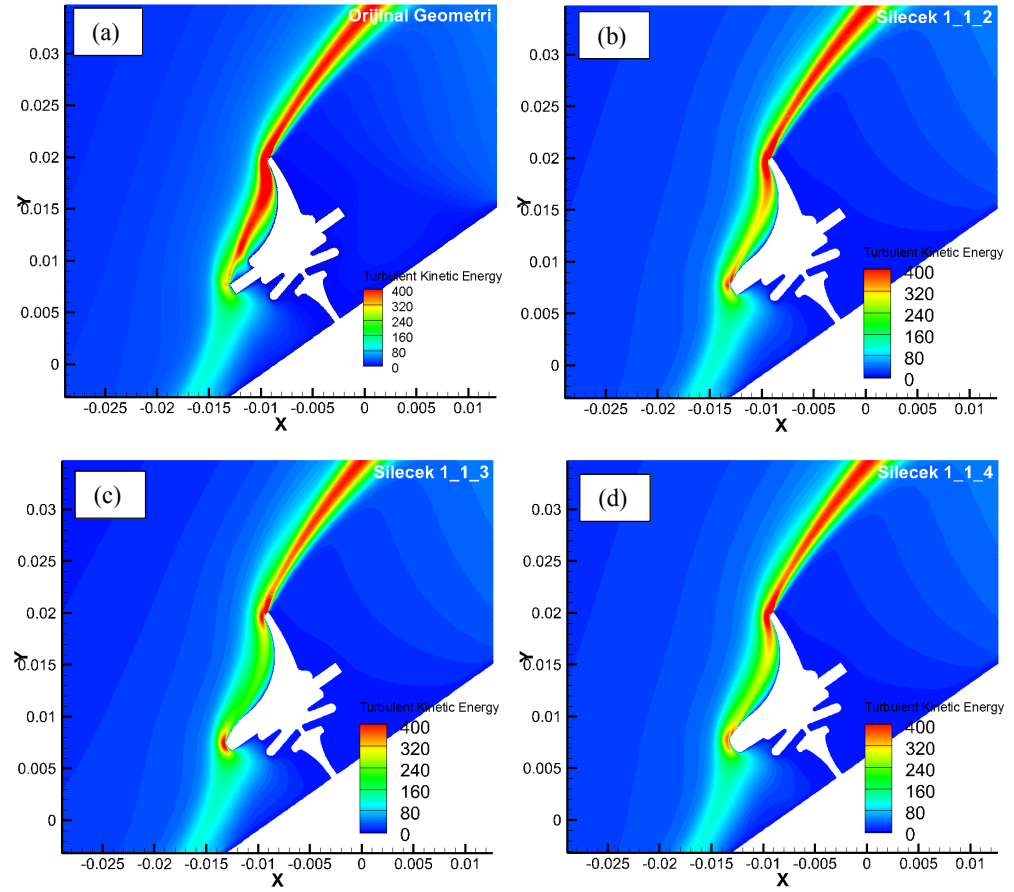
Şekil 4.9 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.



Şekil 4.10 : Farklı geometriler için orta kesitten akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2.



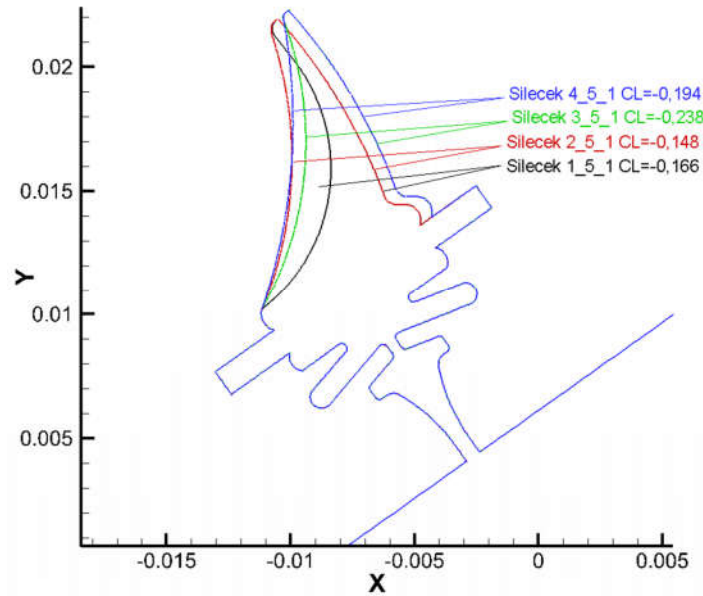
Şekil 4.10 (devam) : Farklı geometriler için orta kesitten akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.



Şekil 4.11 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı [m^2/s^2] (a) Orijinal, (b) Silecek 1_1_2, (c) Silecek 1_1_3, (d) Silecek 1_1_4.

4.4 İncelenen Özelliklerin Birleştirilmesiyle Yeni Silecek Modellerinin Oluşturulması

Yüksekliği 19 mm olan sileceğin rüzgârlığının üstündeki vorteks yapısını azaltmak için daha önce iyi sonuç veren profillere benzer Şekil 4.12’de görülen üç farklı yeni profil denenmiştir. Çizelge 4.5’deki sonuçlara göre Silecek 3_5_1 en iyi sonucu vermektedir.

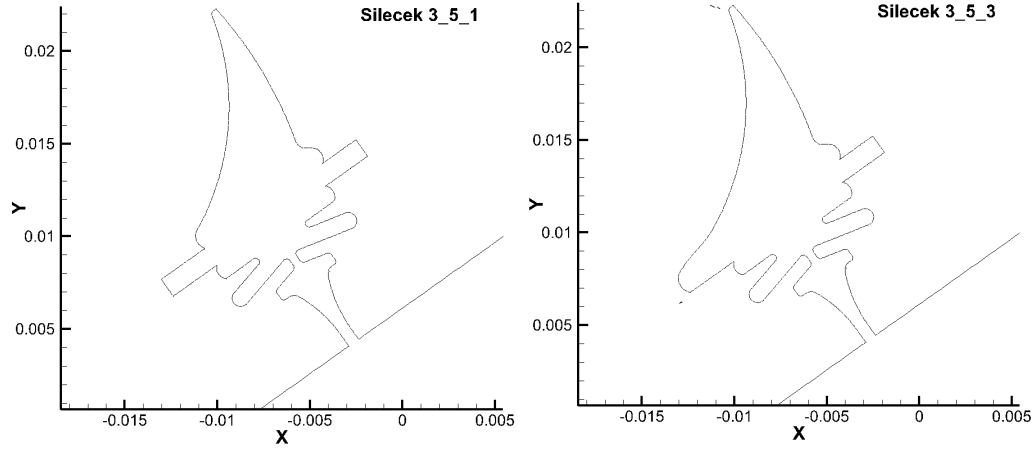


Şekil 4.12 : 19 mm yükseklikte silecek için farklı rüzgârlık profilleri.

Çizelge 4.5 : 19 mm yükseklik için farklı silecek profillerinin analiz sonuçları.

Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_{Lift} [N]	C_D	C_L
1_5_1	50,62	31,17	59,322	-3,854	2,551	-0,166
2_5_1	49,1	30,6	57,752	-3,439	2,483	-0,148
3_5_1	51,37	29,63	59,043	-5,544	2,539	-0,238
4_5_1	49,4	29,5	57,361	-4,510	2,466	-0,194

En iyi performansı veren Silecek 3_5_1, 3 numaralı bağlantı ile modifiye edilerek Silecek 3_5_3 oluşturulmuştur. Şekil 4.13’de oluşturulan iki yeni geometri görülebilir. Çizelge 4.6’da görüleceği üzere Silecek 3_5_3, Silecek 3_5_1’e göre 2 N daha fazla baskı kuvveti yaratmaktadır.

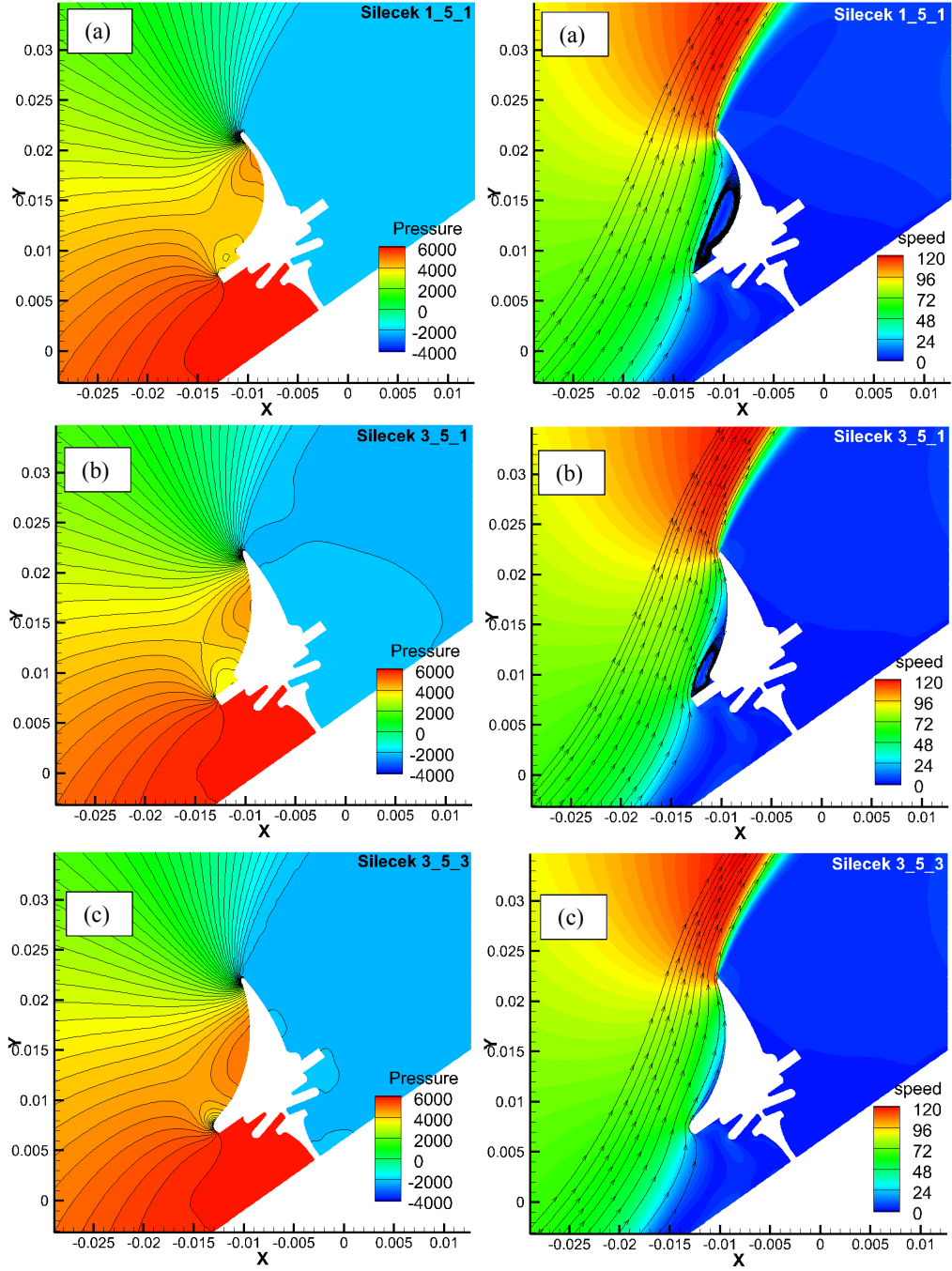


Şekil 4.13 : 19 mm'lik silecekler arasında en iyi performansa sahip olan Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3.

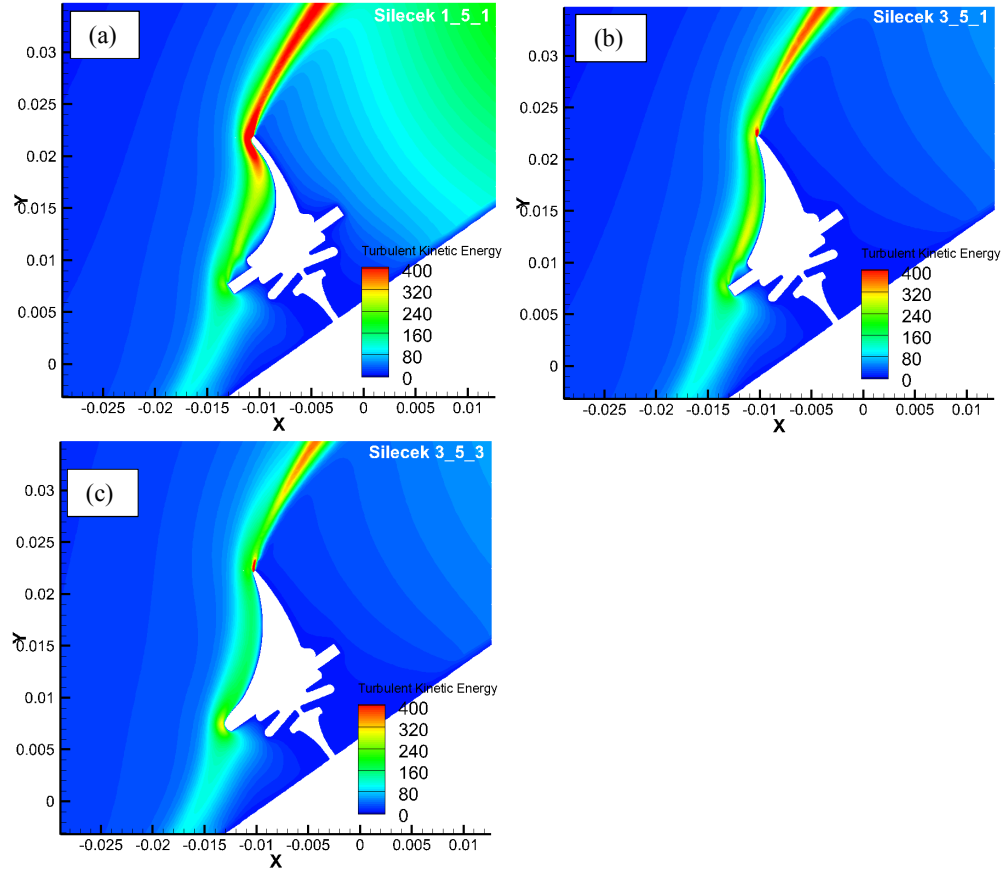
Çizelge 4.6 : Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3 analiz sonuçları.

Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
1_5_1	50,62	31,17	59,322	-3,854	2,551	-0,166
3_5_1	51,37	29,63	59,043	-5,544	2,539	-0,238
3_5_3	53,61	28,75	60,361	-7,557	2,595	-0,325

Yapılan analizler sonucunda oluşan basınç ve hız dağılımları Şekil 4.14'te görülebilir. Silecek 1_5_1'in profilini değiştirerek yapılan analizde rüzgârlık üzerinde oluşan vorteks yok edilmiştir. Bunun sayesinde rüzgârlık üzerindeki basınç artmıştır ama hız dağılımından görülebileceği üzere Silecek 3_5_1'de rüzgârlık ve metal parça arasında hala bir vorteks oluşumu vardır. Bu vorteks de Silecek 3_5_1, 3 numaralı bağlantıyla modifiye edilerek giderilmiştir. Şekil 4.14'de (c) şıkında akışın düzeltildiği görülebilir. Silecek 3_5_3'te diğer modellere göre rüzgârlık üzerinde hem daha fazla bir basınç vardır, hem de maksimum basınç noktası sileceği bastırmak için daha iyi bir yerde oluşmuştur. Şekil 4.15'de görülebilecek türbülans kinetik enerjisi dağılımından görülebileceği üzere rüzgârlık üzerindeki enerji azaldıkça silecek modelinin performansı artmaktadır.



Şekil 4.14 : Farklı geometriler için orta kesitten basınç dağılımı [Pa] (sol sütun) ve akım çizgileriyle hız dağılımları [m/s] (sağ sütun) (a) Silecek 1_5_1, (b) Silecek 3_5_1, (c) Silecek 3_5_3.



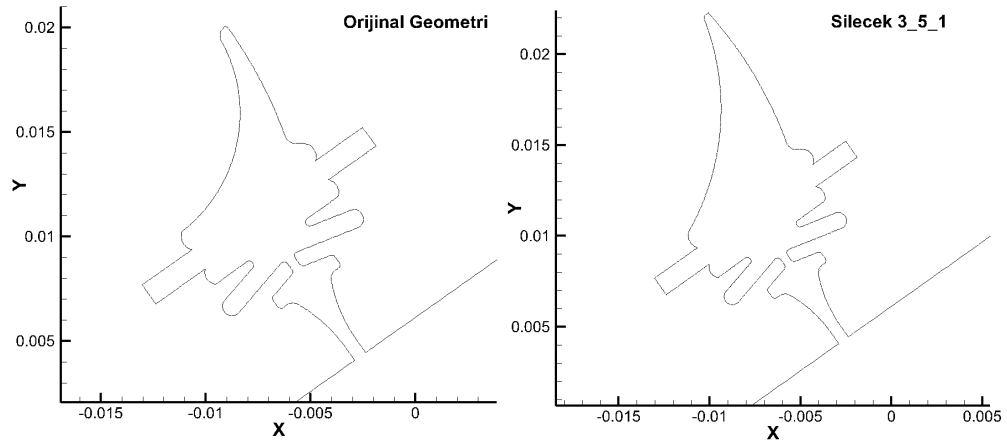
Şekil 4.15 : Farklı geometriler için orta kesitten türbülans kinetik enerjisi dağılımı
 $[\text{m}^2/\text{s}^2]$ (a) Silecek 1_5_1, (b) Silecek 3_5_1, (c) Silecek 3_5_3.

5. YENİ OLUŞTURULAN SİLECEK GEOMETRİLERİNİN DETAYLI ANALİZLERİ

Bu bölümde önceki bölümde oluşturulan Silecek 9_1_1, Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3'ün detaylı analizleri yapılmıştır.

5.1 Hız Değişiminin Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi

Bu bölümde iki farklı silecek geometrisinde giriş hızının direnç ve kaldırma kuvvetlerine olan etkisi incelenmiştir. Analizler için orijinal geometri ve geometrik analizinden elde edilen Silecek 3_5_1 kullanılmıştır. Yapılan analizlerde basitleştirilmiş akış hacmi kullanılmıştır. Sınır koşulları hava giriş hızı hariç önceki analizlerle aynıdır. Analizlerde 20 km/h artımlarla 160 km/h hızdan 240 km/h hıza kadar 5 farklı hava giriş hızı kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Hız değişimi analizlerinde kullanılan geometriler.

Çizelge 5.1 ve 5.2'de gösterilen analiz sonuçlarına göre hızın artmasıyla her iki silecek geometrisi için direnç ve kaldırma kuvvetleri artmaktadır. Direnç katsayısı her iki model için hız değişimiyle dikkate değer bir değişim göstermemektedir. Kaldırma katsayısı ise her iki model için hızın artmasıyla artmaktadır.

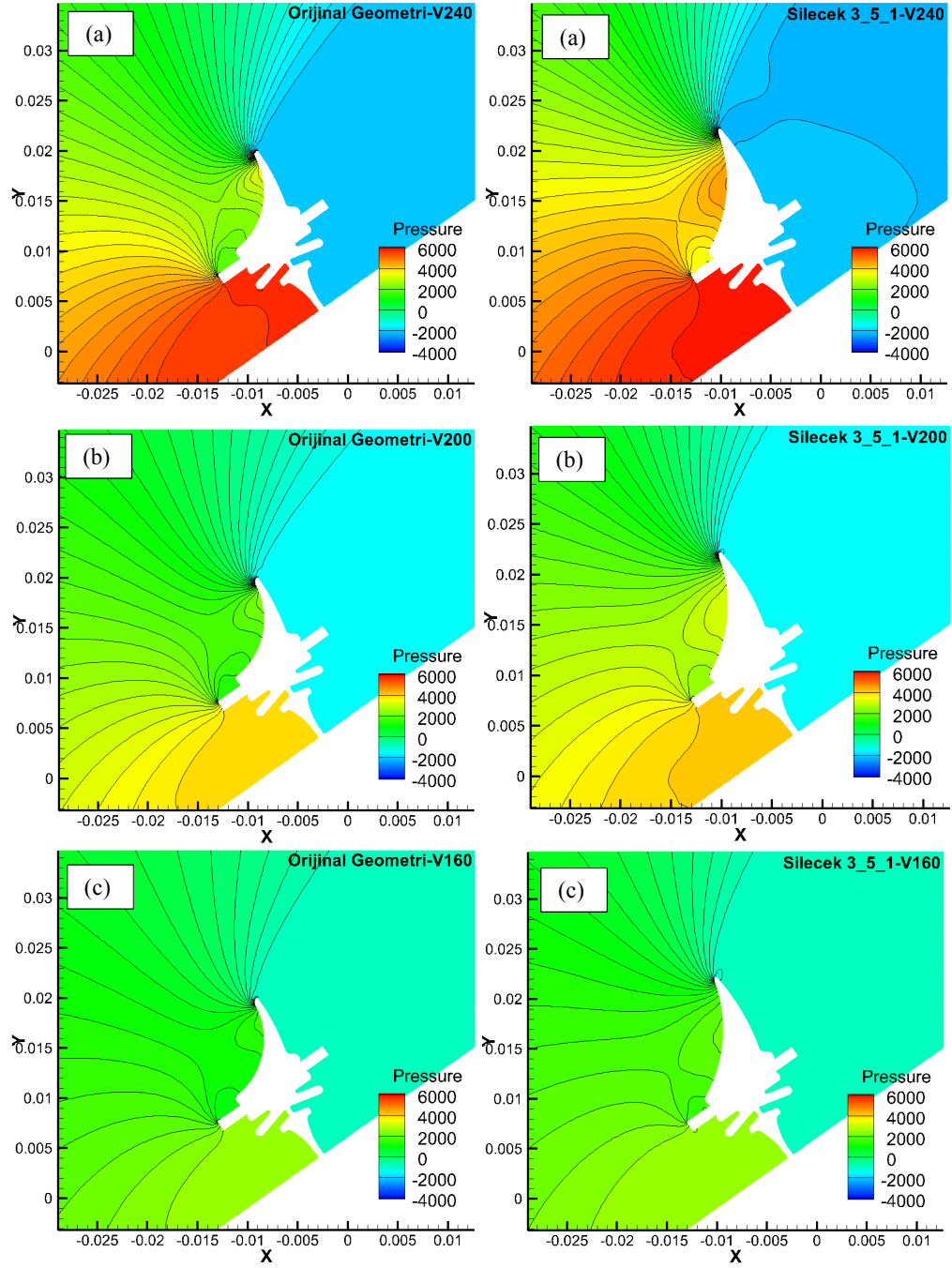
Çizelge 5.1 : Orijinal silecek geometrisine farklı hızlarda etkiyen kuvvetler.

Hız [km/h]	Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
240	Orijinal	35	28.91	45.3	3.3	2.227	0.164
220	Orijinal	29.52	24.16	38.1	2.6	2.228	0.154
200	Orijinal	24.52	19.84	31.5	2.0	2.230	0.142
180	Orijinal	19.99	16.04	25.6	1.5	2.237	0.133
160	Orijinal	15.9	12.66	20.3	1.1	2.246	0.125

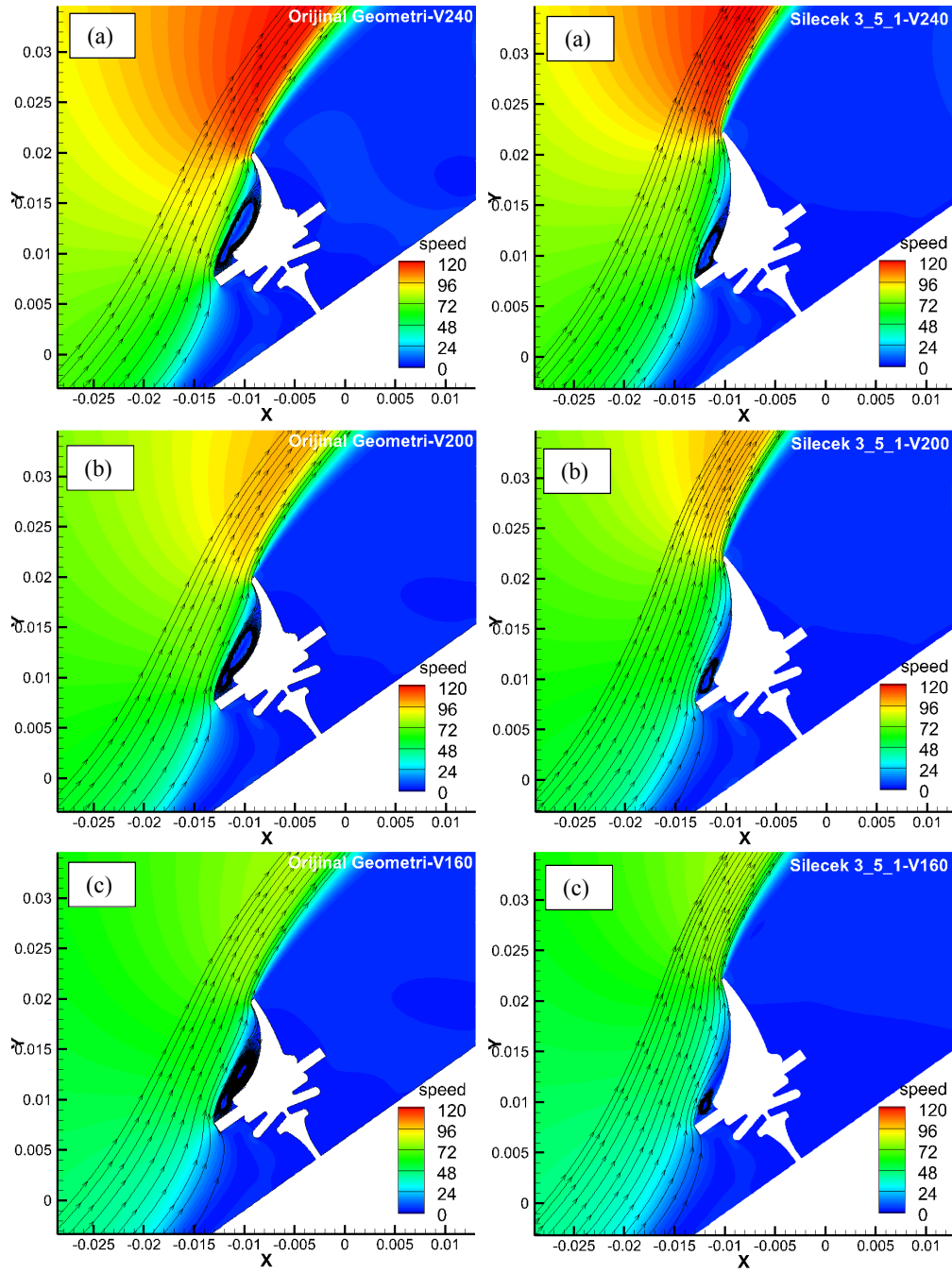
Çizelge 5.2 : Silecek 3_5_1'e farklı hızlarda etkiyen kuvvetler.

Hız [km/h]	Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
240	3_5_1	51.37	29.63	59.0	-5.5	2.539	-0.238
220	3_5_1	43.13	24.74	49.5	-4.8	2.533	-0.244
200	3_5_1	35.87	20.56	41.2	-4.0	2.549	-0.246
180	3_5_1	28.96	16.53	33.2	-3.3	2.537	-0.250
160	3_5_1	22.88	13.01	26.2	-2.6	2.534	-0.254

Şekil 5.2’de görülen basınç dağılımlarından hızın düşmesiyle her iki model için silecek etrafında oluşan basıncın azaldığı görülmektedir. Şekil 5.3’deki hız dağılımlarından hızın değişmesiyle silecek etrafında oluşan akış yapısının aynı kaldığı görülmektedir.



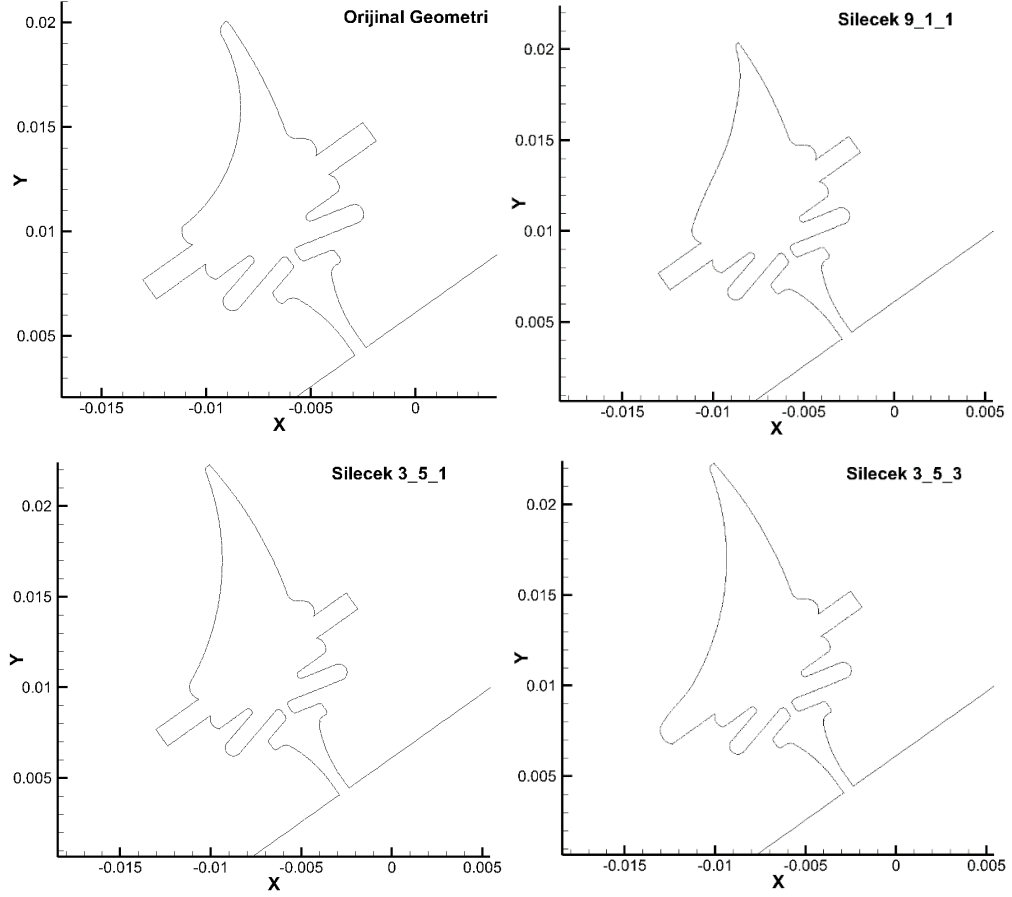
Şekil 5.2 : Farklı silecek geometrileri ve farklı giriş hızları için basınç dağılımları [Pa] (Sol sütun: Orijinal geometri), (Sağ sütun: Silecek 3_5_1), (a) 240 km/h, (b) 200 km/h, (c) 160 km/h.



Şekil 5.3 : Farklı silecek geometrileri ve farklı giriş hızları için hız dağılımları [m/s] ve akım çizgileri (Sol sütun: Orijinal geometri), (Sağ sütun: Silecek 3_5_1), (a) 240 km/h, (b) 200 km/h, (c) 160 km/h.

5.2 Silecek Açısının Aerodinamik Kuvvetlere Etkisi

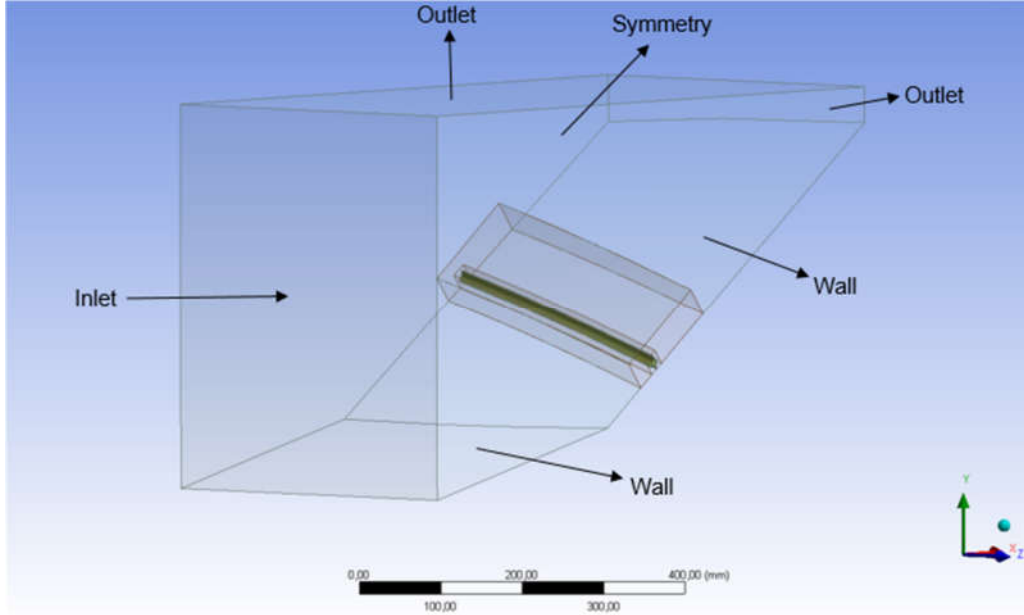
Silecek geometrisine verilen açı, sileceğin alt noktasındaki noktadan çizilen yatay eksenle sileceğin yaptığı açı olarak tanımlanmıştır. Yapılan analizlerde Şekil 5.4'te gösterilen orijinal geometri ve geometrik analizde oluşturulan Silecek 9_1_1, Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3 kullanılmıştır. Silecek süpürgesine açı vermek için kullanılan montaj geometrisi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Açı değişimi analizlerinde kullanılan geometriler.

5.2.1 Akış hacmi ve sınır koşulları

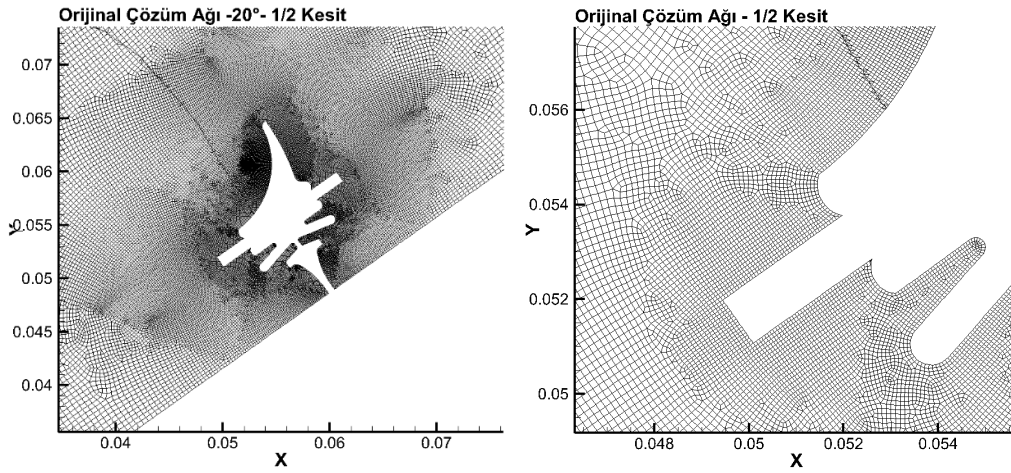
Şekil 5.5'da akış hacmi ve sınır koşulları görülebilir. Verilen sınır koşulları düz durumdaki sileceklerin analizleriyle aynıdır. Hava giriş hızı bütün analizlerde 240 km/h olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.5 : Akış hacmi ve tanımlanmış sınır şartları.

5.2.2 Çözüm ağının oluşturulması

Şekil 5.6'da görülebilecek çözüm ağları düz sileceklerin analizlerinde kullanılan kriterlerle oluşturulmuştur. Sadece sileceğin açısından dolayı düz sileceklerde yer alan sınır tabaka elemanları oluşturulamamış, bunun yerine silecek çevresinde çok sık bir ağ örülmüştür.



Şekil 5.6 : 20 Derecelik analiz için oluşturulan çözüm ağının kesit görüntüsü.

5.2.3 Analiz sonuçları

Farklı modeller için analiz sonuçları Çizelge 5.3-5.6 arasında görülebilir. Farklı silecek modelleri için açı değişimiyle oluşan direnç katsayıları Şekil 5.7’de, kaldırma katsayıları Şekil 5.8’de çizdirilmiştir. Her dört silecek geometrisi için direnç katsayısı benzer olarak açılar arttıkça azalan davranış göstermektedir. Analizlerde bütün açılar için yüksekliği 19 mm olan sileceklerin direnç katsayıları diğer iki silecekten daha fazla çıkmıştır. Silecek 3_5_3 bütün modeller arasında direnç katsayısı en fazla değere sahiptir.

Kaldırma katsayısında ise 40°’den 50°’ye geçiş haricinde bütün silecek modelleri için benzer davranış görülmektedir. Bütün modeller için düz analizden 20°’ye kadar kaldırma katsayıları nispeten azalmıştır. 20°’lik analizden sonra kaldırma katsayıları yükselişe geçmektedir. Bu yükseliş orijinal silecek için 40°’de son bulmuş ve 50°’lik analizde kaldırma katsayısı düşüş göstermiştir. Modifiye edilmiş silecekler için ise 20°’den 50°’ye kaldırma katsayıları artış göstermektedir. Genel olarak incelediğimizde modifiye edilmiş silecek geometrileri bütün açılar için orijinal silecek geometrisinden kaldırma katsayısı bakımından daha iyi performans göstermiştir, çünkü kaldırma kuvvetleri ya azaltılabilmiş ya da baskı kuvvetine dönüştürülebilmıştır.

Çizelge 5.3 : Orijinal silecek geometrisine farklı açılarda etkiyen kuvvetler.

Açı [°]	Model	F _x [N]	F _y [N]	F _D [N]	F _L [N]	C _D	C _L
0	Orijinal	35	28.91	45.3	3.3	2.227	0.164
10	Orijinal	34.33	28.14	44.3	3.1	2.216	0.155
20	Orijinal	33.18	26.89	42.6	2.7	2.144	0.138
30	Orijinal	28.32	25.09	37.6	4.1	1.905	0.207
40	Orijinal	21.25	20.98	29.5	4.8	1.522	0.249
50	Orijinal	14.07	15.43	20.4	4.4	1.066	0.232

Çizelge 5.4 : Silecek 9_1_1’e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.

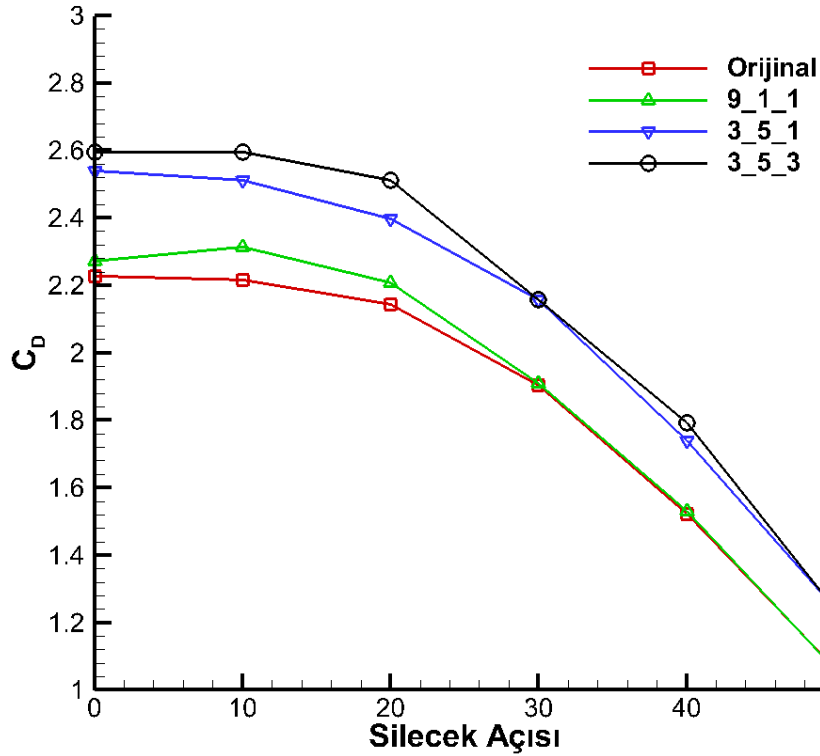
Açı [°]	Model	F _x [N]	F _y [N]	F _D [N]	F _L [N]	C _D	C _L
0	9_1_1	37.37	27.13	46.2	0.5	2.271	0.025
10	9_1_1	37.72	26.72	46.2	0.0	2.313	-0.001
20	9_1_1	35.95	25.2	43.9	-0.2	2.208	-0.012
30	9_1_1	30.03	22.86	37.7	1.3	1.910	0.065
40	9_1_1	22.77	19.16	29.7	2.5	1.531	0.127
50	9_1_1	15.12	13.85	20.3	2.6	1.063	0.133

Çizelge 5.5 : Silecek 3_5_1'e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.

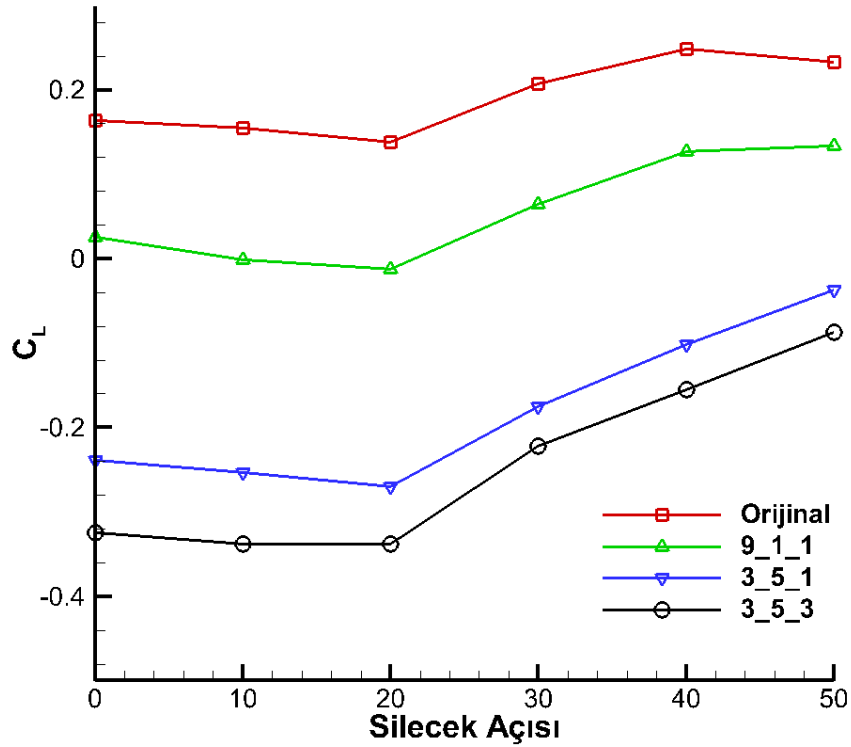
Açı [°]	Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
0	3_5_1	51.37	29.63	59.0	-5.5	2.904	-0.273
10	3_5_1	50.17	28.49	57.4	-5.8	2.873	-0.289
20	3_5_1	48.02	26.52	54.5	-6.1	2.742	-0.309
30	3_5_1	42.02	24.95	48.7	-4.0	2.467	-0.200
40	3_5_1	32.74	20.46	38.5	-2.2	1.990	-0.116
50	3_5_1	22.7	15.1	27.3	-0.8	1.424	-0.042

Çizelge 5.6 : Silecek 3_5_3'e farklı açılarda etkiyen kuvvetler.

Açı [°]	Model	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	C_D	C_L
0	3_5_3	53.61	28.75	60.4	-7.6	2.969	-0.372
10	3_5_3	52.84	28	59.3	-7.7	2.968	-0.387
20	3_5_3	51.04	26.76	57.1	-7.7	2.873	-0.387
30	3_5_3	42.64	24.09	48.7	-5.0	2.467	-0.254
40	3_5_3	34.41	20.19	39.7	-3.4	2.052	-0.177
50	3_5_3	23.25	14.16	27.2	-1.9	1.419	-0.099

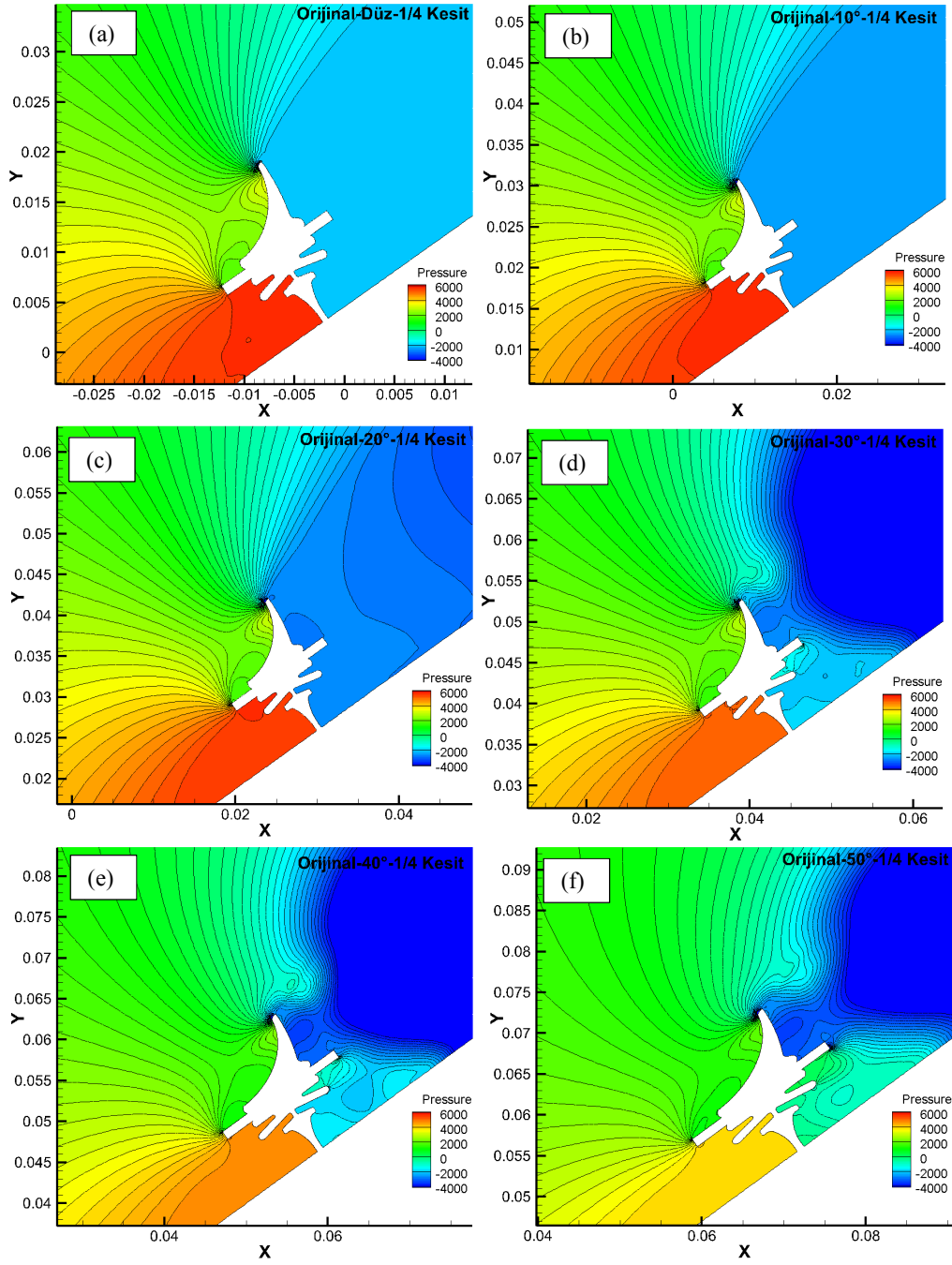


Şekil 5.7 : Farklı silecek modellerinin açıya göre direnç katsayısı değişimi.

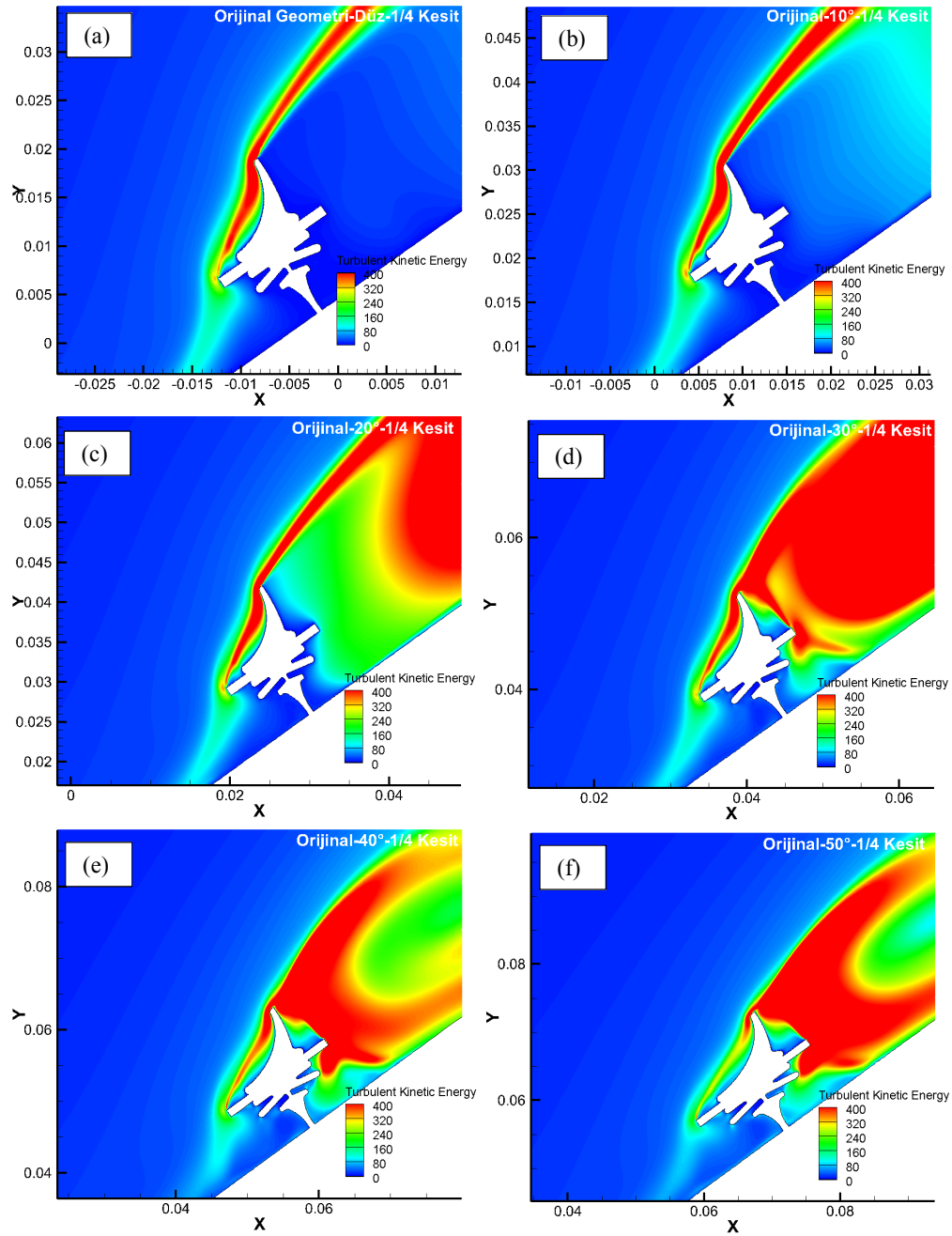


Şekil 5.8 : Farklı silecek modellerinin açıya göre kaldırma katsayısı değişimi.

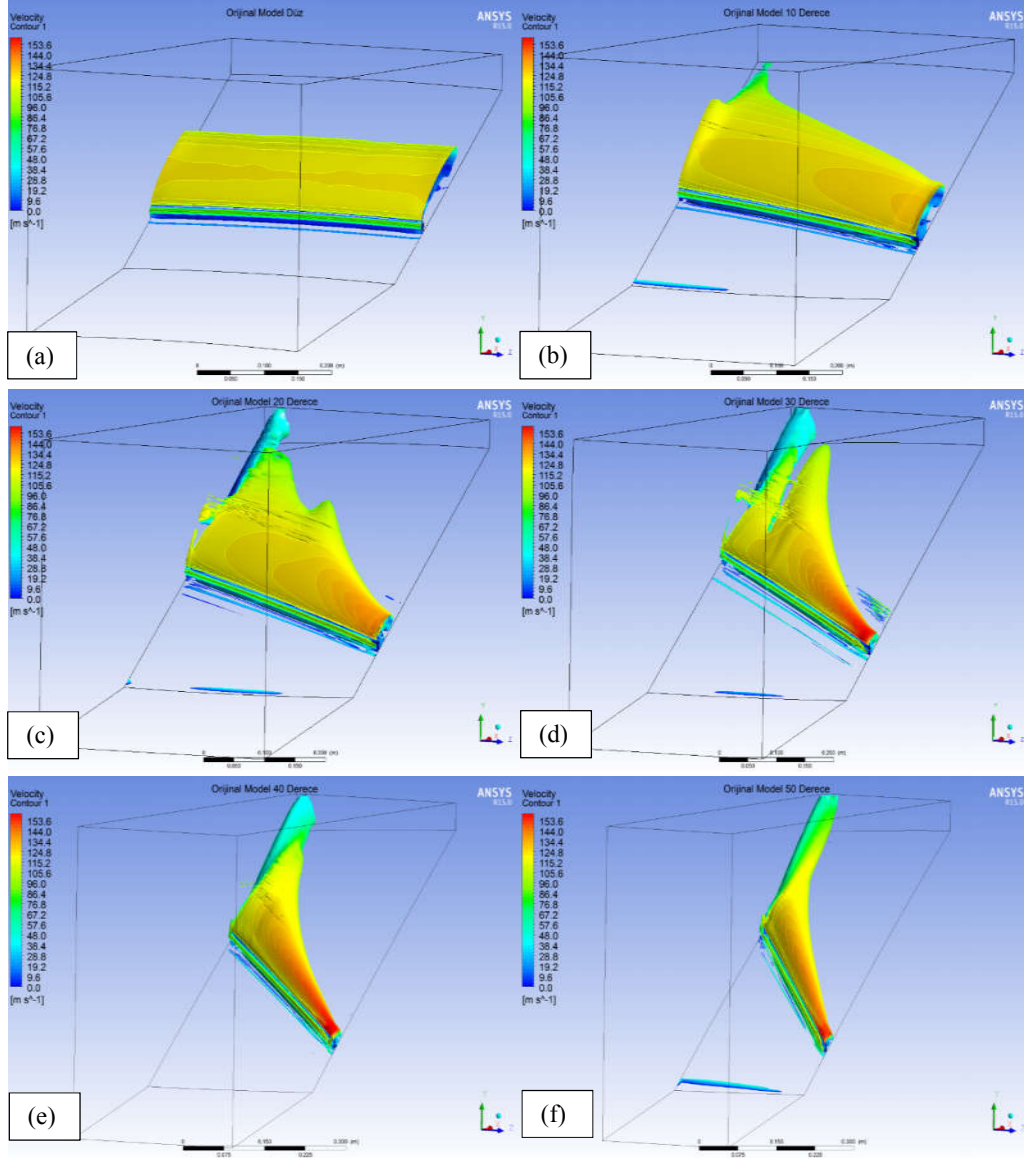
Basınç dağılımlarını göstermek için akış hacminde sileceğin alt noktasından akış hacminin 1/4 boyutu ilerisinden bir kesit alınmıştır. Şekil 5.9’da orijinal geometri için farklı açılarda basınç dağılımları görülebilir. Basınç dağılımlarından açı arttıkça sileceğin hem altındaki hem de üstündeki basıncın azaldığı görülebilir. Sileceğin aşağısındaki basıncın azalması yukarı doğru olan kuvvetleri, sileceğin üstündeki basıncın azalması da baskı kuvvetini azaltmaktadır. Bu iki basıncın farklı değişim oranları kaldırma kuvvetinin artmasına veya azalmasına neden olmaktadır. Şekil 5.10’da orijinal geometride oluşan farklı açılar için türbülans kinetik enerjisi dağılımları gösterilmiştir. 30 derecelik analizde ve sonraki analizlerde sileceğin arkasında oluşan negatif bir basınç alanı gözlenmektedir. Bu negatif basınç alanı sileceğin arkasında oluşan vorteks yapısıyla açıklanabilir. Akış hacmindeki vorteksler Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Vorteksler yüzünden oluşan basınç farklılıkları Şekil 5.12’de görülebilir.



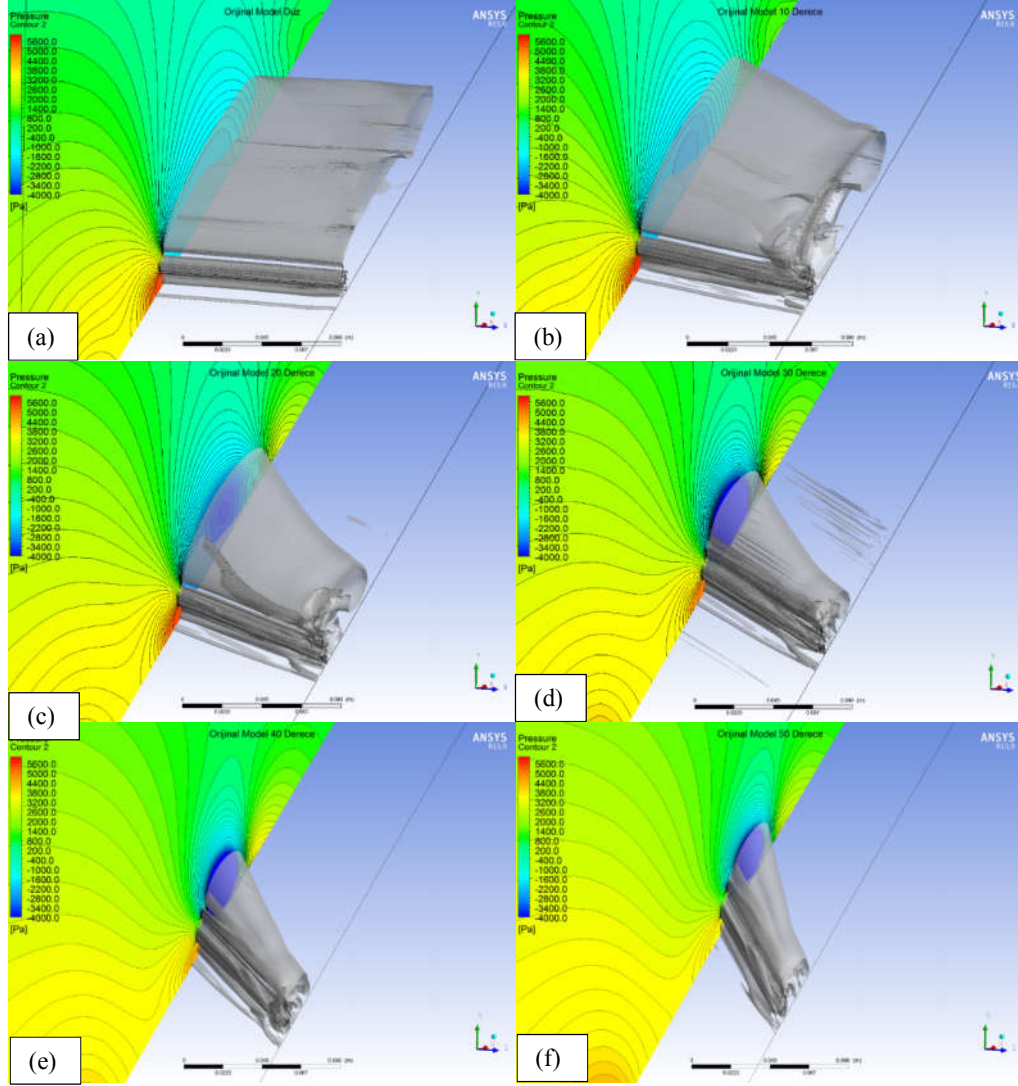
Şekil 5.9 : Orijinal geometri için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], yatayla yapılan açiya göre (a) düz, (b)10°, (c)20°, (d)30°, (e)40°, (f)50°.



Şekil 5.10 : Orijinal geometri için 1/4 kesitten alınmış türbülans kinetik enerjisi dağılımları [m^2/s^2], yatayla yapılan açıya göre (a) düz, (b)10°, (c)20°, (d)30°, (e)40°, (f)50°.

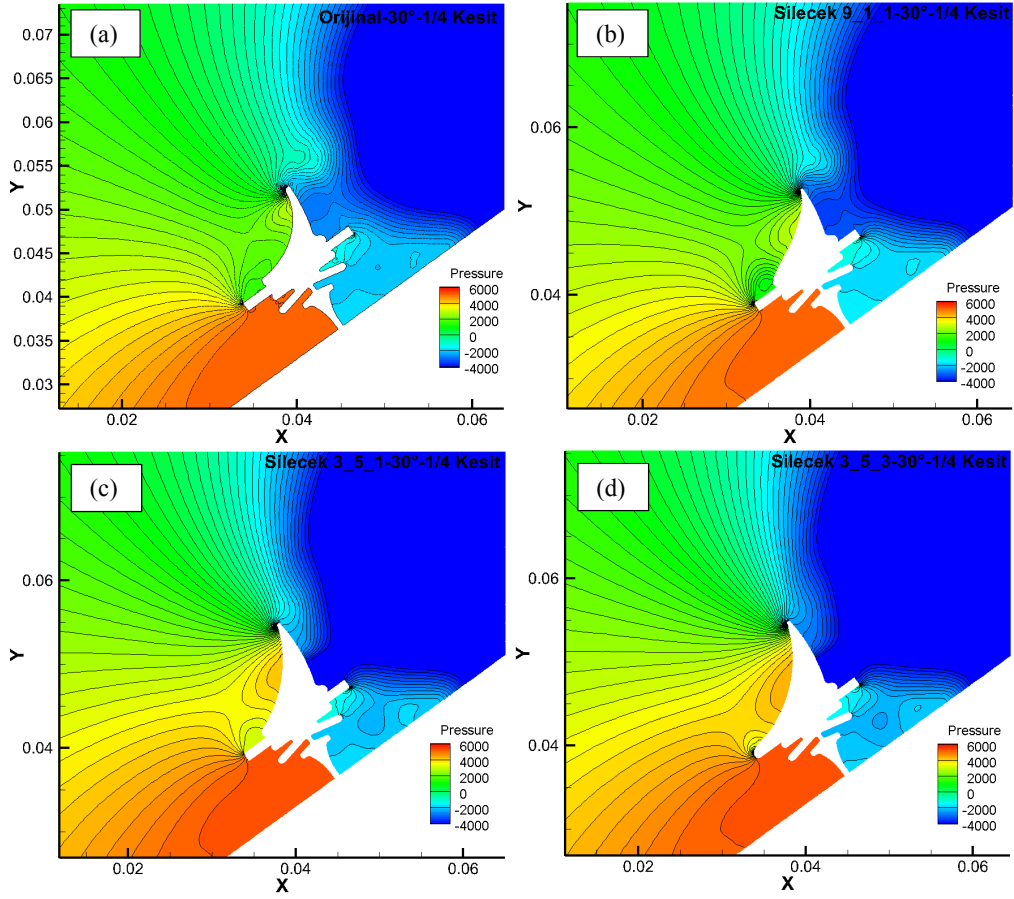


Şekil 5.11 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2 = 0,001$ eş-
yüzeylerindeki hız dağılımları, yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b) 10°, (c)
20°, (d) 30°, (e) 40° ve (f) 50°.

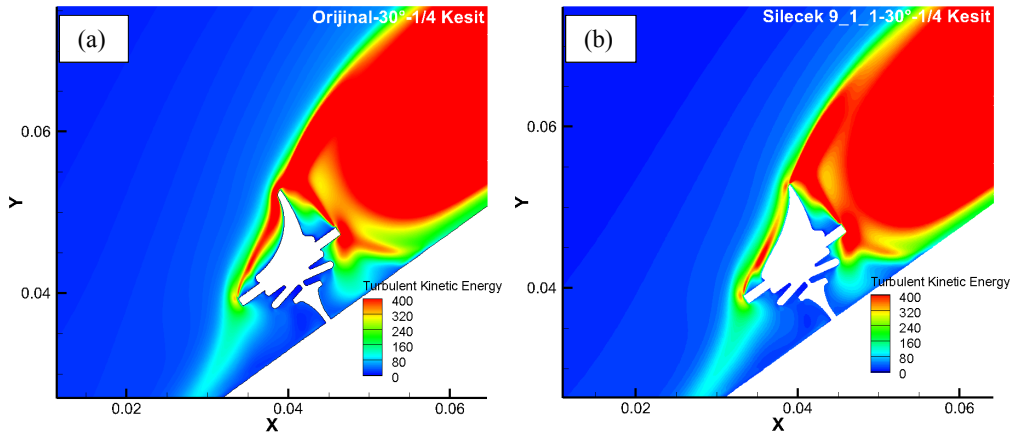


Şekil 5.12 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2 = 0,001$ eş-yüzeylerindeki hız dağılımları ve 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları, yatayla yapılan açığa göre (a) düz, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40° ve (f) 50°.

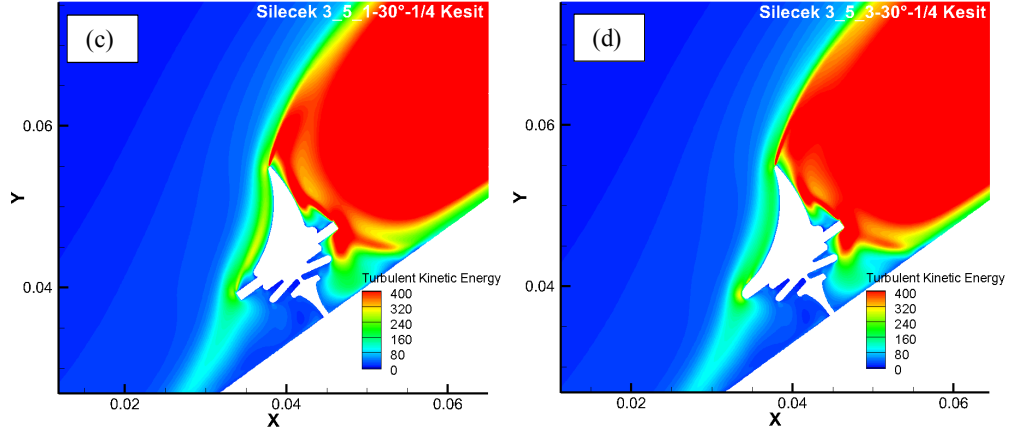
30 derecelik analiz için farklı silecek geometrilerinde oluşan basınç dağılımları Şekil 5.13’de, türbülans kinetik enerjisi dağılımları Şekil 5.14’de görülebilir. Burada 19 mm yüksekliğe sahip silecek geometrilerinin rüzgârlıklarının üstünde daha fazla basınç ve daha az enerji vardır.



Şekil 5.13 : Farklı silecek geometrilerinin 30° için 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal silecek, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.



Şekil 5.14 : Farklı silecek geometrilerinin 30° için 1/4 kesitten alınmış türbülans kinetik enerjisi dağılımları [m^2/s^2], (a) Orijinal silecek, (b) Silecek 9_1_1



Şekil 5.14 (devam) : Farklı silecek geometrilerinin 30° için 1/4 kesitten alınmış türbülans kinetik enerjisi dağılımları [m^2/s^2], (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.

5.3 Yeni Oluşturulan Silecek Modellerinin Araç Üzerinde Yapılan Analizleri

Geometri analizinden elde edilen Silecek 9_1_1, Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3 araç üzerinde ve 240, 200 ve 160 km/h giriş hızıyla analiz edilmiştir.

Çizelge 5.7’de görüleceği üzere 240 km/h hava giriş hızında yarı araç modeli üzerine monte edilmiş orijinal geometride silecek süpürgesi ve silecek koluna etkiyen toplam kaldırma kuvveti sürücü tarafında 3,7 N, yolcu tarafında 0,1 N’dur. Daha önceki analizlerde de görüldüğü gibi Silecek 3_5_1 ve Silecek 3_5_3 kaldırma kuvvetini azaltmada başarılı olmaktadır. Yarım araç modelinde de silecek 3_5_1 sürücü tarafında 0,7 N, yolcu tarafında 0,9 N baskı kuvveti, silecek 3_5_3 sürücü tarafında 1,1 N, yolcu tarafında ise 1 N baskı kuvveti oluşturmaktadır. Silecek 9_1_1 kaldırma kuvvetini azaltmış olmasına rağmen baskı kuvveti elde edememiştir. Sürücü tarafı için 2,3 N, yolcu tarafı için 0,5 N baskı kuvveti bulunmaktadır. Modifiye edilmiş geometriler sayesinde 240 km/h giriş hızı ve sürücü tarafında Silecek 9_1_1 için 1,4 N, Silecek 3_5_1 için 4,4 N, Silecek 3_5_3 için 4,8 N iyileştirme gerçekleştirilmiştir. 200 ve 160 km/h hava giriş hızıyla yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 5.8 ve 5.9’da görülebilir.

Çizelge 5.7 : 240 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.

Model	Taraf	Parça	F _x [N]	F _y [N]	F _D [N]	F _L [N]	F _L [N]	C _D	C _L
Orijinal	Sürücü	Süpürge	12.85	7.8	15.0	-1.1	3.7	0.580	-0.041
		Kol	5.98	10.06	10.7	4.7		0.471	0.209
	Yolcu	Süpürge	4.59	2.93	5.4	-0.26	0.1	0.363	-0.018
		Kol	2.96	2.56	3.9	0.38		0.173	0.017
9_1_1	Sürücü	Süpürge	13.4	6.8	14.9	-2.2	2.3	0.575	-0.085
		Kol	6.05	9.86	10.6	4.5		0.468	0.200
	Yolcu	Süpürge	4.74	3.12	5.7	-0.20	0.2	0.379	-0.013
		Kol	2.86	2.57	3.8	0.44		0.170	0.020
3_5_1	Sürücü	Süpürge	17.88	6.39	18.3	-5.1	-0.7	0.708	-0.199
		Kol	5.97	9.69	10.5	4.5		0.461	0.196
	Yolcu	Süpürge	6.2	2.82	6.7	-1.29	-0.9	0.447	-0.086
		Kol	2.78	2.39	3.7	0.34		0.162	0.015
3_5_3	Sürücü	Süpürge	18.68	6.07	18.7	-5.9	-1.1	0.726	-0.227
		Kol	5.88	9.98	10.6	4.74		0.465	0.209
	Yolcu	Süpürge	6.26	2.66	6.6	-1.45	-1.0	0.444	-0.097
		Kol	2.72	2.53	3.7	0.49		0.164	0.022

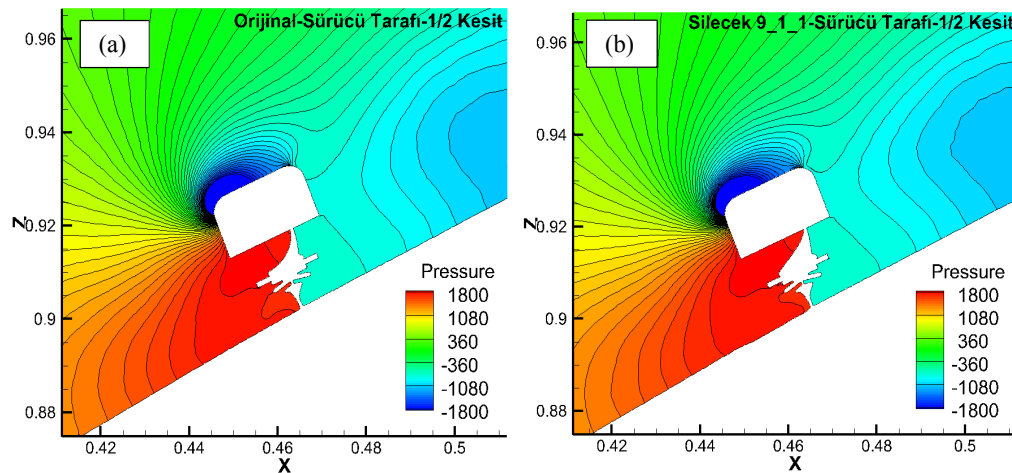
Çizelge 5.8 : 200 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.

Model	Taraf	Parça	F _x [N]	F _y [N]	F _D [N]	F _L [N]	F _L [N]	C _D	C _L
Orijinal	Sürücü	Süpürge	8.88	5.33	10.3	-0.8	2.1	0.400	-0.031
		Kol	4.41	6.71	7.5	2.9		0.329	0.129
	Yolcu	Süpürge	3.18	2.01	3.8	-0.20	0.0	0.251	-0.013
		Kol	2.05	1.67	2.6	0.18		0.117	0.008
9_1_1	Sürücü	Süpürge	9.24	4.68	10.2	-1.5	1.4	0.397	-0.059
		Kol	4.27	6.66	7.3	3.0		0.323	0.130
	Yolcu	Süpürge	3.29	1.9	3.8	-0.35	-0.2	0.253	-0.024
		Kol	1.92	1.59	2.5	0.19		0.110	0.008
3_5_1	Sürücü	Süpürge	12.37	4.35	12.6	-3.6	-0.7	0.488	-0.140
		Kol	4.24	6.61	7.3	2.9		0.320	0.129
	Yolcu	Süpürge	4.3	1.93	4.6	-0.91	-0.7	0.309	-0.061
		Kol	1.92	1.57	2.5	0.17		0.110	0.008
3_5_3	Sürücü	Süpürge	12.94	4.16	13.0	-4.1	-1.0	0.502	-0.158
		Kol	4.15	6.78	7.3	3.13		0.321	0.138
	Yolcu	Süpürge	4.34	1.83	4.6	-1.02	-0.8	0.307	-0.068
		Kol	1.89	1.6	2.5	0.21		0.110	0.009

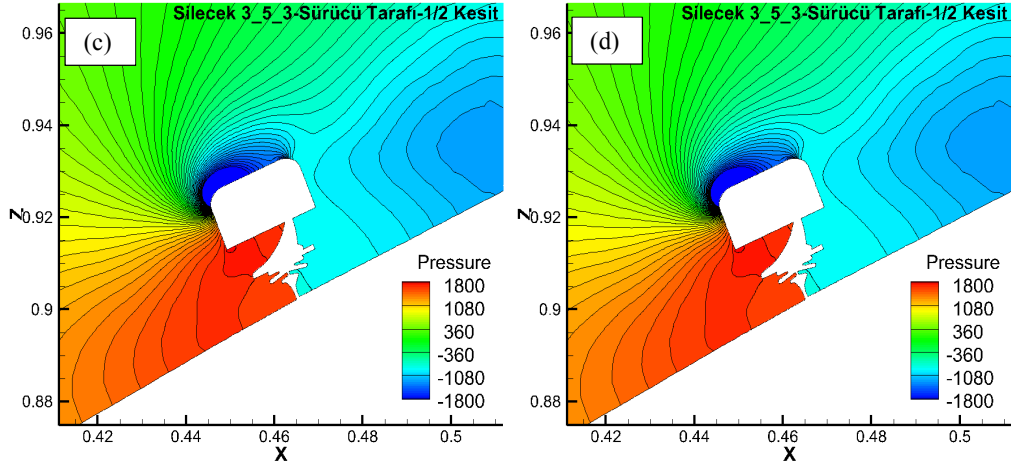
Çizelge 5.9 : 160 km/h giriş hızı ve farklı geometriler için silecek sistemi parçalarına etkiyen kuvvetler.

Model	Taraf	Parça	F_x [N]	F_y [N]	F_D [N]	F_L [N]	F_L [N]	C_D	C_L
Orijinal	Sürücü	Süpürge	5.67	3.37	6.6	-0.5	1.3	0.254	-0.021
		Kol	2.8	4.17	4.7	1.8		0.207	0.078
	Yolcu	Süpürge	2.04	1.27	2.4	-0.14	0.0	0.160	-0.010
		Kol	1.27	1.05	1.6	0.12		0.073	0.005
9_1_1	Sürücü	Süpürge	5.88	2.94	6.5	-1.0	0.7	0.251	-0.039
		Kol	2.8	4.12	4.7	1.7		0.205	0.077
	Yolcu	Süpürge	2.1	1.2	2.4	-0.24	-0.1	0.161	-0.016
		Kol	1.25	1.02	1.6	0.11		0.071	0.005
3_5_1	Sürücü	Süpürge	7.85	2.69	8.0	-2.3	-0.6	0.308	-0.091
		Kol	2.8	4.08	4.6	1.7		0.204	0.075
	Yolcu	Süpürge	2.75	1.22	2.9	-0.60	-0.5	0.197	-0.040
		Kol	1.26	0.97	1.6	0.06		0.071	0.003
3_5_3	Sürücü	Süpürge	8.25	2.62	8.2	-2.6	-0.8	0.319	-0.102
		Kol	2.73	4.2	4.7	1.85		0.205	0.081
	Yolcu	Süpürge	2.78	1.15	2.9	-0.67	-0.6	0.196	-0.045
		Kol	1.31	0.97	1.6	0.03		0.072	0.001

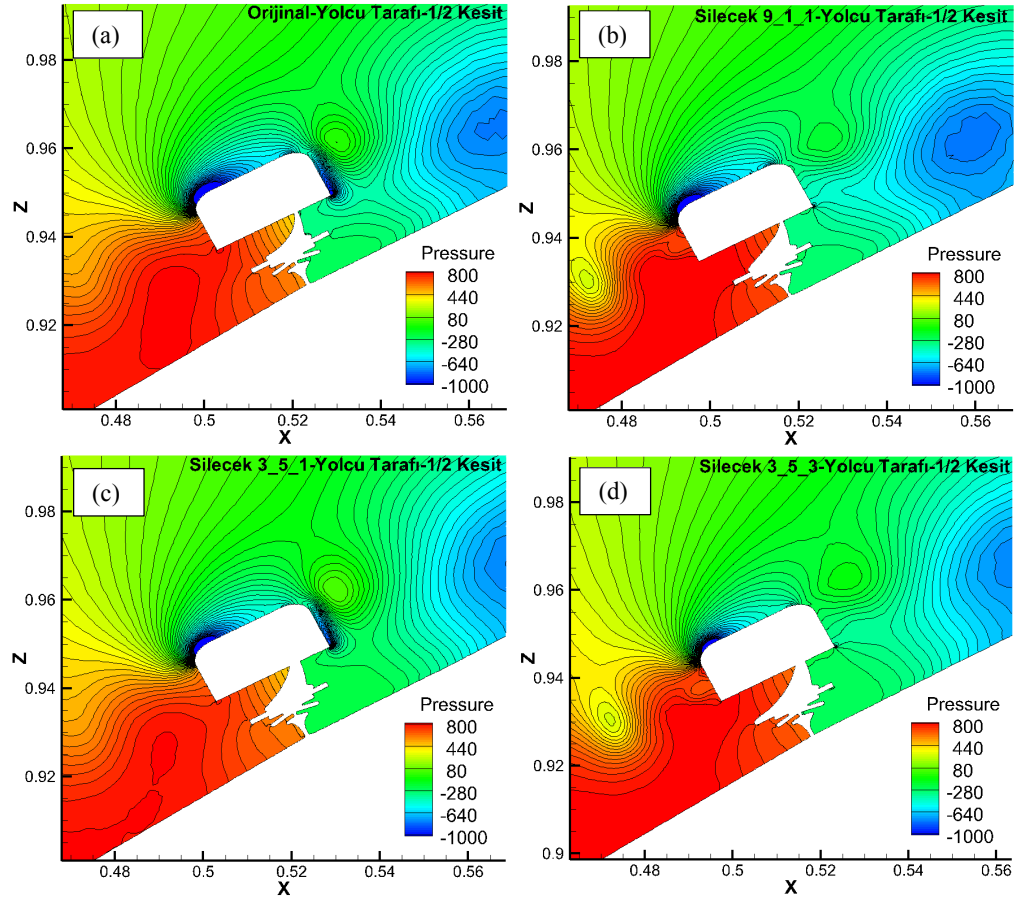
Basınç dağılımlarını göstermek için akış hacminden iki boyutlu kesitler alınmıştır. Birincisi silecek kolunu içeren sileceğin orta kesitinden, ikincisi ise sileceğin yukarı doğru olan 1/4 kesitinden alınmıştır. Silecek rüzgârlıklarında oluşan basınç farklılıklarını karşılaştırmada bu kesit daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 5.15 ve 5.16'de orta kesitten, Şekil 5.17 ve 5.18'de 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları görülebilir. Modifiye edilmiş modellerde orijinal geometriye kıyasla rüzgârlık üzerinde basınç artışı gerçekleşmiştir.



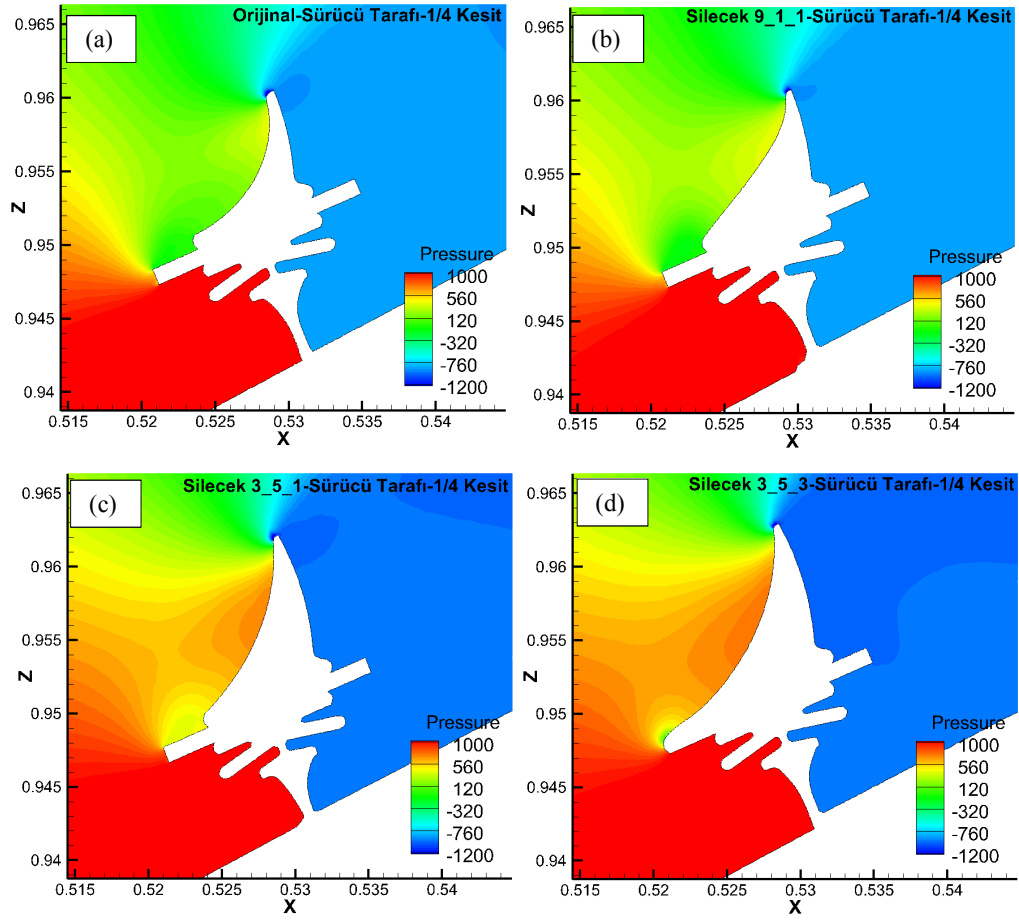
Şekil 5.15 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için sürücü tarafı orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1.



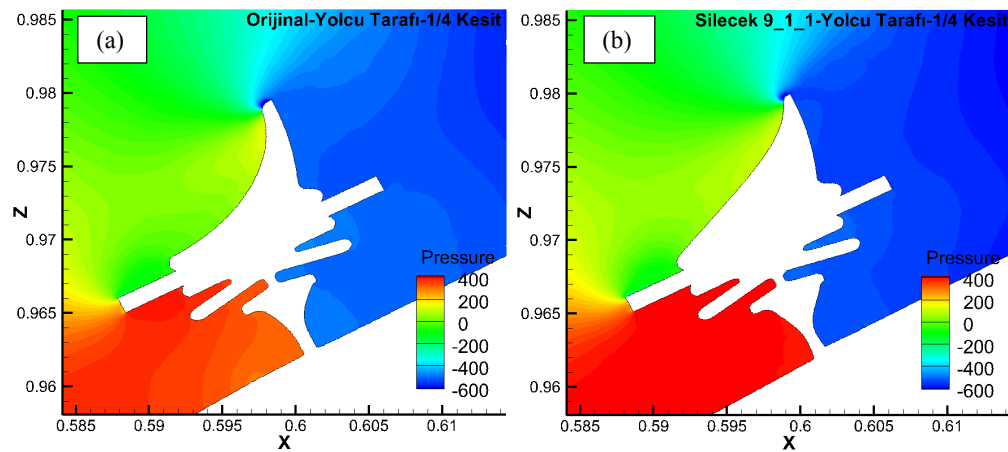
Şekil 5.15 (devam) : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için sürücü tarafı orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.



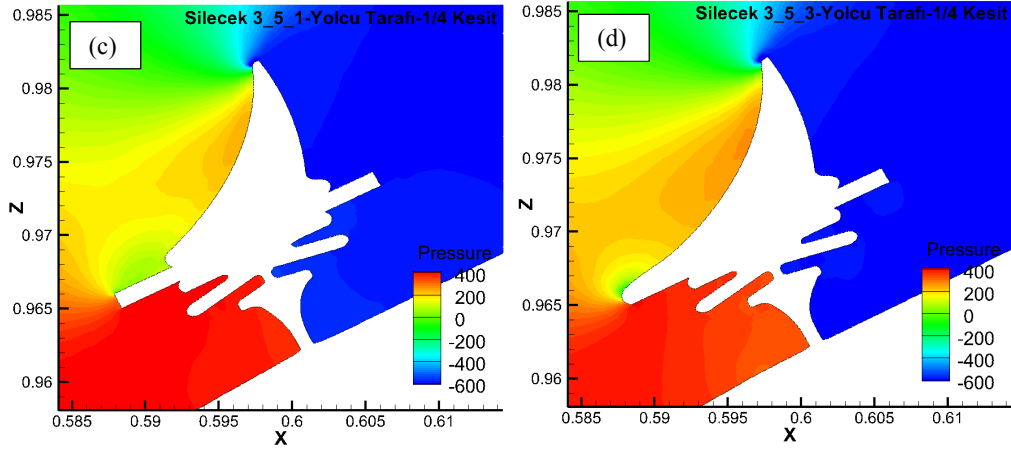
Şekil 5.16 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için yolcu tarafı orta kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.



Şekil 5.17 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için sürücü tarafı 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.

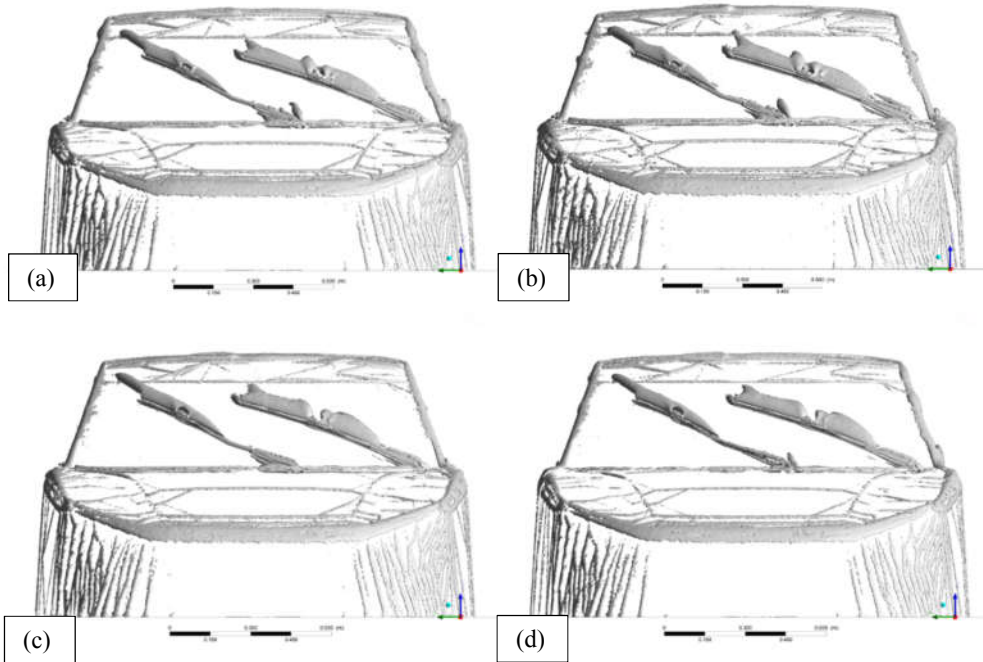


Şekil 5.18 : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için yolcu tarafı 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1.

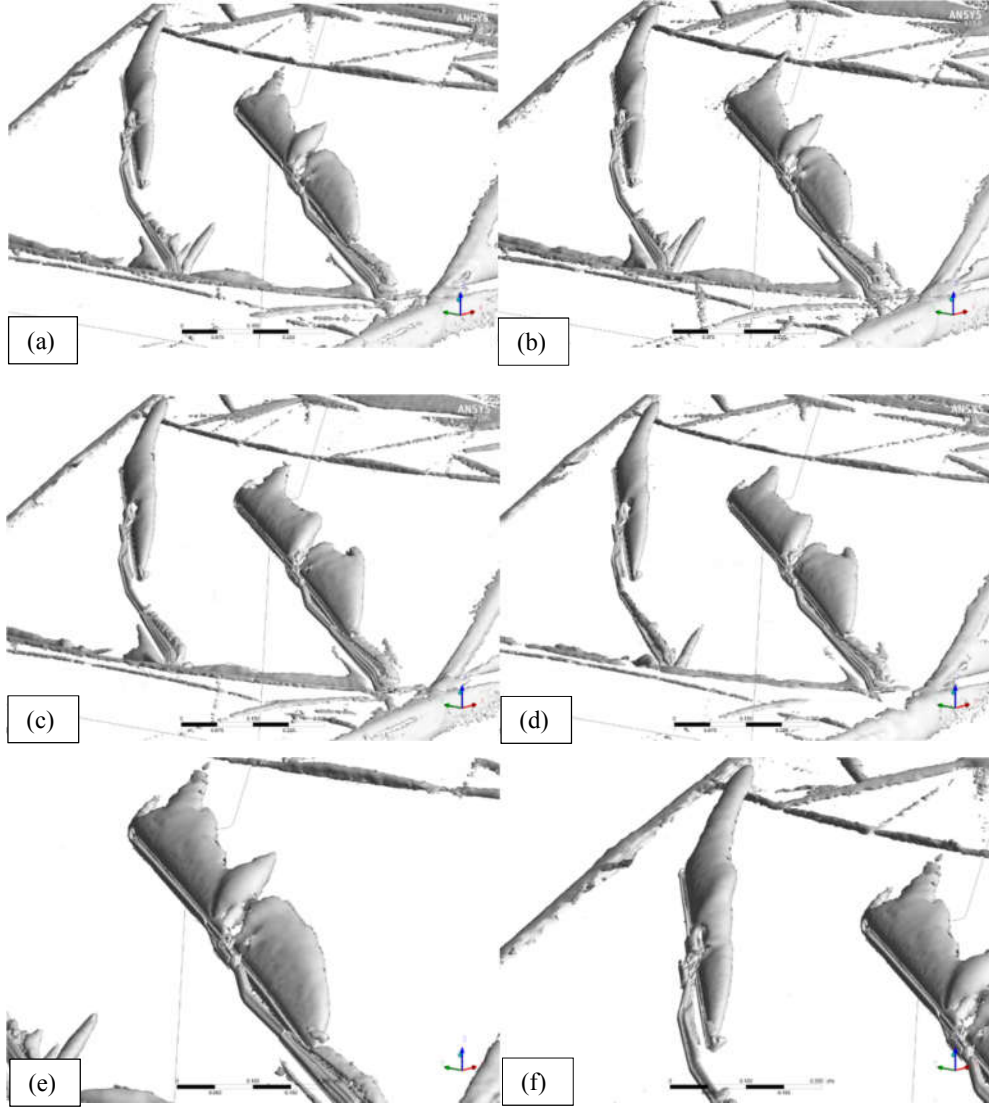


Şekil 5.18 (devam) : Farklı geometriler ve 240 km/h hava giriş hızı için yolcu tarafı 1/4 kesitten alınmış basınç dağılımları [Pa], (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.

Şekil 5.19 ve 5.20’de vortekslerin görüntülenmesi için $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri oluşturulmuştur. Silecek yükseklikleri daha fazla olan silecek modellerinin arkasında oluşan vorteks yapıları daha uzağa gitmiştir. Sürücü tarafında oluşan vorteksler sileceğin hemen arkasında bitmiş, yolcu tarafındakiler ise sileceğin üst ucundan daha ileride sonlanmıştır.



Şekil 5.19 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3.



Şekil 5.20 : Vorteks oluşumunda kriter olarak belirlenen $\lambda_2=0,001$ eş-yüzeyleri, (a) Orijinal, (b) Silecek 9_1_1, (c) Silecek 3_5_1, (d) Silecek 3_5_3, (e) Orijinal sürücü tarafı, (f) Orijinal yolcu tarafı.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sayısal çalışmalardan araç üzerinde iyi performans veren Silecek 3_5_1 kalıba uygun hale getirilmiştir. Yeni silecek geometrisi prototip halinde üretildikten sonra araç camı üzerinde yüzey baskı kuvveti dağılımları bulunmuştur. Bu testlerde X-sensör donanımı kullanılmıştır. Almanya Stuttgart FKFS enstitüsünde rüzgâr tüneline silme testleri gerçekleştirilmiştir.

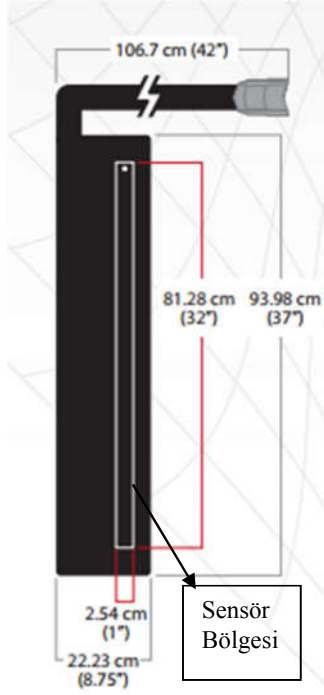
6.1 Cam Üzerinde Silecek Baskı Kuvveti Dağılımlarının Bulunması

Kuvvet dağılımlarının belirlenmesi silecek sistemlerinin tasarımında önemli bir parçadır. Kuvvet dağılımlarıyla farklı silecek açıları için silecek sisteminin zayıf noktaları belirlenebilir ve kritik bölgelere daha fazla kuvvet verilmesi sağlanabilir.

Geleneksel sistemlerde kuvvet dağılımı baskı çubuklarının altında çok, diğer bölgelerde az olarak gözükmektedir. Yeni muz tipi silecek sistemlerinde ise daha eşit dağılımlı bir kuvvet dağılımı bulunmaktadır.

X-sensör donanımının boyutları Şekil 6.1'deki gibidir. Sensör bölgesinde 1600 ölçme noktası bulunur. Basınç sensöründen alınan veriler, veri toplama ünitesinden bilgisayardaki x-sensör programına aktarılır ve işlenir. Deney düzeneği Şekil 6.2'de görülebilir. Sürücü tarafındaki silecek için 10°'den 70°'ye kadar ölçümler alınmıştır.

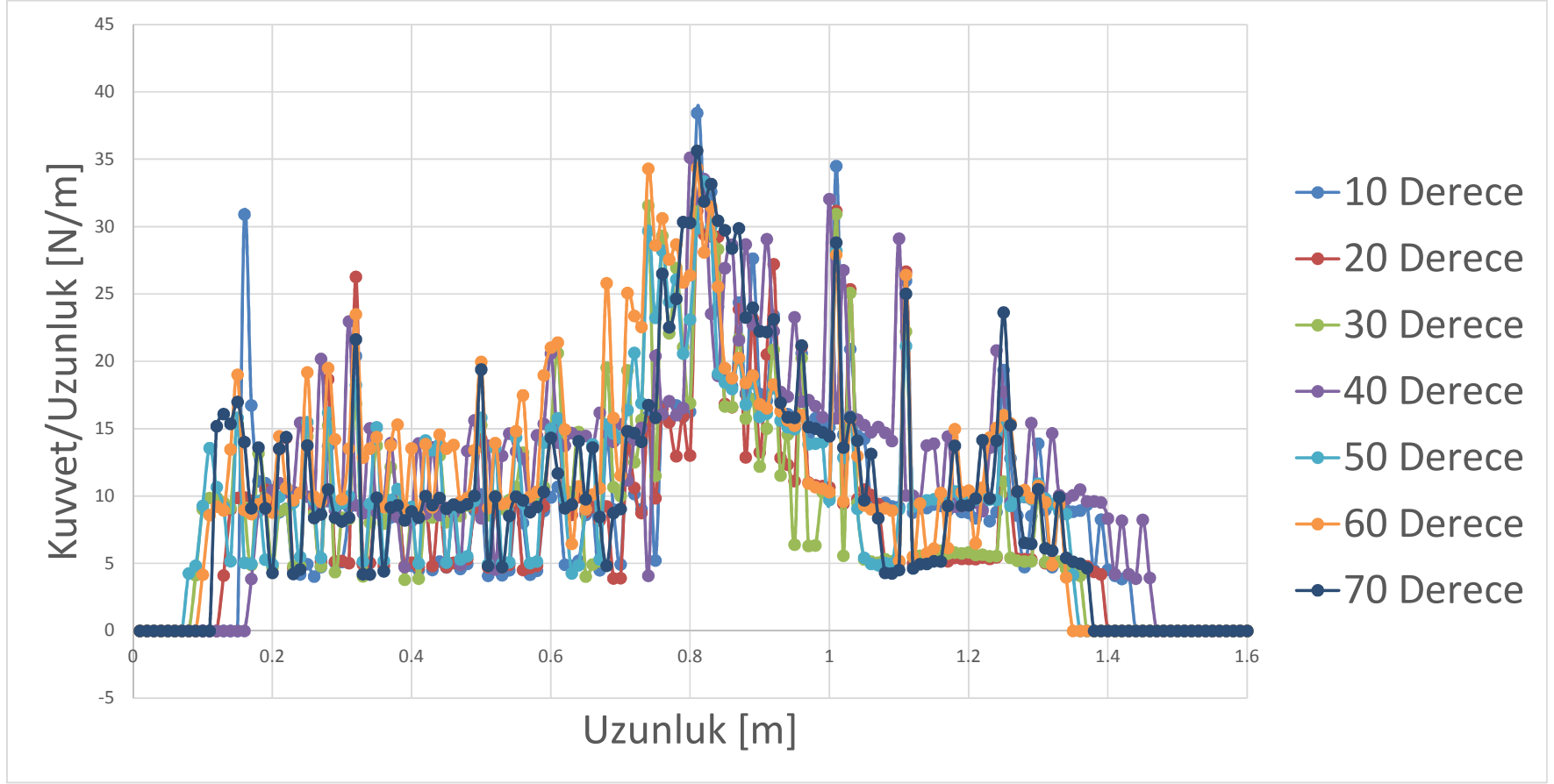
Ölçüm sonuçları Şekil 6.3'de görülebilir. Bütün silecek açıları için kol yükünün verildiği sileceğin orta kısmında daha fazla bir kuvvet bulunmaktadır. Ölçümler sonucunda bütün silme açıları için sileceğin her kısmında yeterli baskı kuvveti uygulandığı görülmüştür.



Şekil 6.1 : X-sensör donanımı.



Şekil 6.2 : X-sensör test görüntüsü.



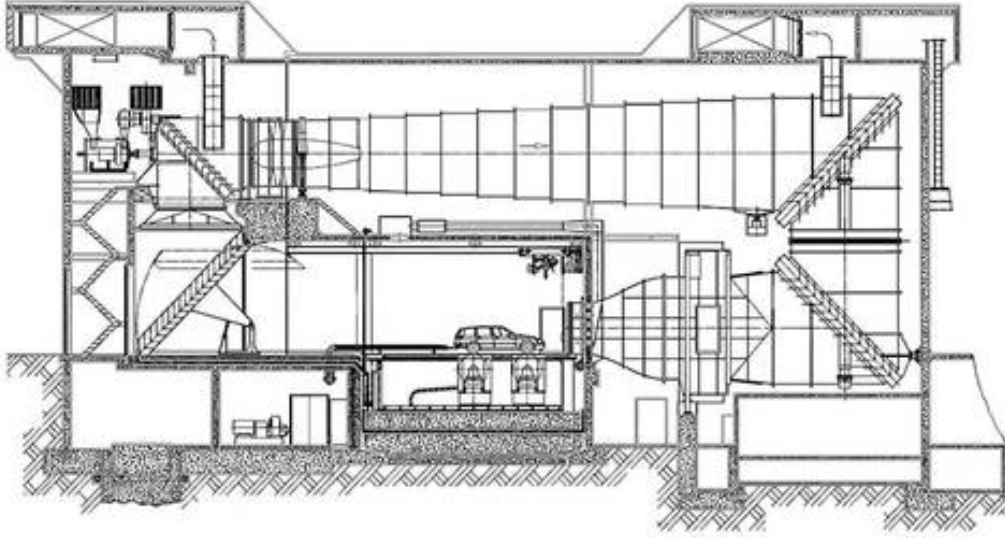
Şekil 6.3 : Farklı silecek açılarına göre silecek baskı kuvveti dağılımları.

6.2 Rüzgâr Tüneli Testleri

Rüzgâr tüneline yüksek hızda havaya karşı silecek sisteminin silme analizi yapılmıştır. Yağmuru simule etmek için Şekil 6.6'da görülen lülelerden hava akışının ters yönünde özel boya içeren su püskürtülmektedir. Bu yöntem araca gelen suyun bağıl hızının etkisini ortadan kaldırmaktadır. Testlerde kullanılan suyun içinde floresan madde vardır ve mor ötesi ışık altında görselleştirilmektedir.

6.2.1 Rüzgâr tüneli teknik özellikleri

Deneylerin yapıldığı rüzgâr tüneline teknik resmi Şekil 6.4'de, özellikleri Çizelge 6.1'de yer almaktadır.



Şekil 6.4 : FKFS'deki termal rüzgâr tüneline teknik resmi.

Rüzgâr tüneline uzunluğu 15,8 m, genişliği 6,8 m ve yüksekliği 5,5 m'dir. Rüzgâr tüneline genişliği 2,9 m ve yüksekliği 4 m olan araçlar giriş yapabilir. Büyük jet ile maksimum 210 km/h, küçük jet ile maksimum 240 km/h hava giriş hızı desteklenmektedir.

Çizelge 6.1 : Rüzgâr tünelinin teknik özellikleri.

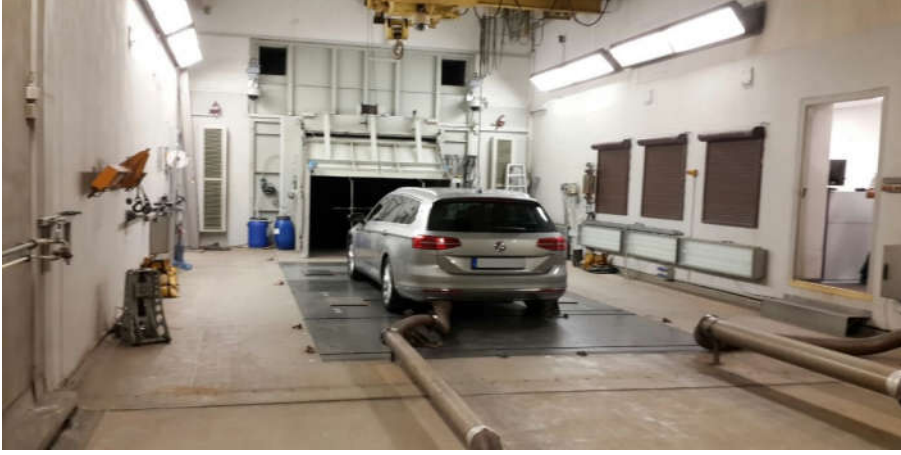
Boyutlar		
Test alanı (uzunluk x genişlik x yükseklik)	15.8 m x 6.8 m x 5.5 m	
Araç giriş alanı (genişlik x yükseklik)	2.9 m x 4.0 m	
Hava	Büyük Jet	Küçük Jet
Hava giriş hızı	max. 210 km/h	max. 240 km/h
Jet alanı	6 m ²	4 m ²
	(2.45 m x 2.45 m)	(2.45 m x 1.60 m)
Çalışma Sıcaklığı	20 °C ve 50 °C	



Şekil 6.5 : Test yapılan araç ve rüzgâr tüneli.



Şekil 6.6 : Hava çıkış yeri ve su lüleleri.



Şekil 6.7 : Test yapılan araç ve rüzgâr tüneli.

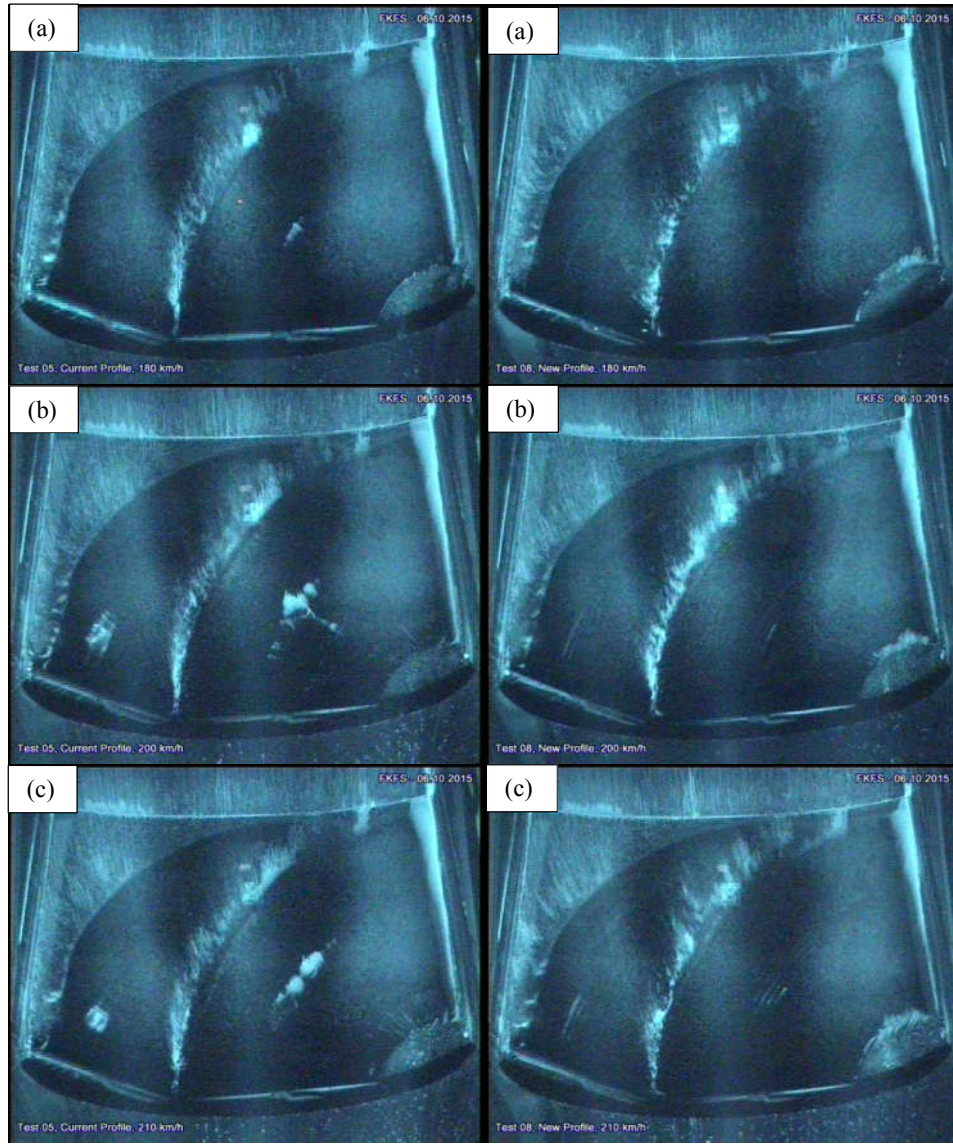
6.2.2 Test sonuçları

Şekil 9 ve 10’da alınan görüntüler sileceklerin silme döngüsünde en alt ve en üst konuma geldiklerinde alınmıştır. Yapılan testler sonucunda aşağıya doğru silme yaparken orijinal model için silme performansı ilk olarak 180 km/h hava hızında bozulmaya başlamıştır. Yeni silecek modeli için ise 200 km/h hızda sileceğin orta yerinde çizgi şeklinde bir alan silemediği görülmektedir ama bu bütün silme döngüleri için geçerli değildir. Yeni model silecek 200 km/h hız için yüksek oranda ön camı tamamen silerek geçirmektedir. 220 km/h ve üstündeki hızlardaki analizlerde orijinal geometri cam üzerinde bölgesel olarak silinmemiş alanlar bırakmaya başlamıştır. Yeni silecek modeli içinse bu daha çok çizgi halinde silinmeyen yerler bırakmaktadır. Yukarıya doğru silme yaparken ise silecekleri performansı ilk olarak 220 km/h hızda bozulmaktadır. 220 km/h hızda yukarıya doğru silme yaparken orijinal sileceğin performansının yeni silecek modelinden daha iyi olduğu görülmektedir. 230 km/h hızda performanslarının yakın, 240 km/h hızda yeni profilin performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

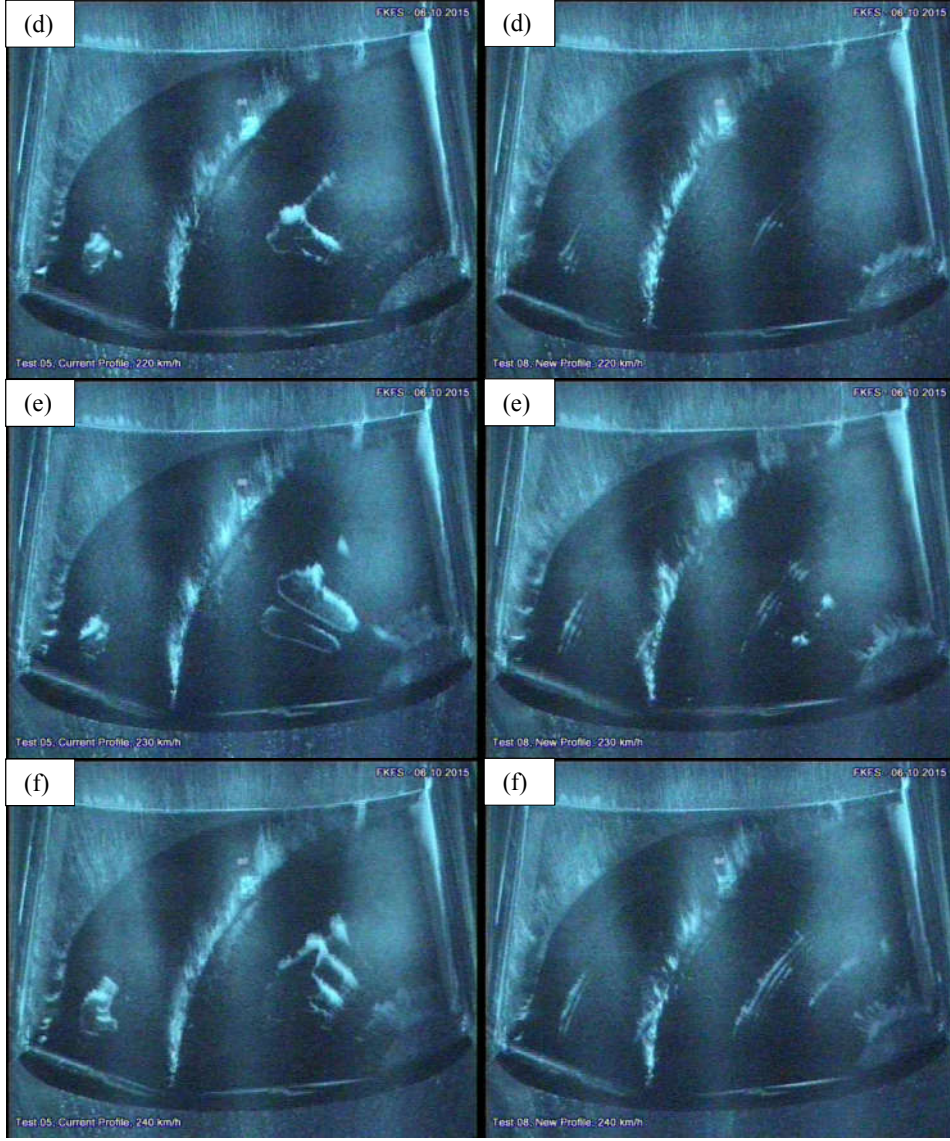


Şekil 6.8 : Deney Görüntüsü.

6.2.2.1 Silecekler alt konumdayken alınan görüntüler

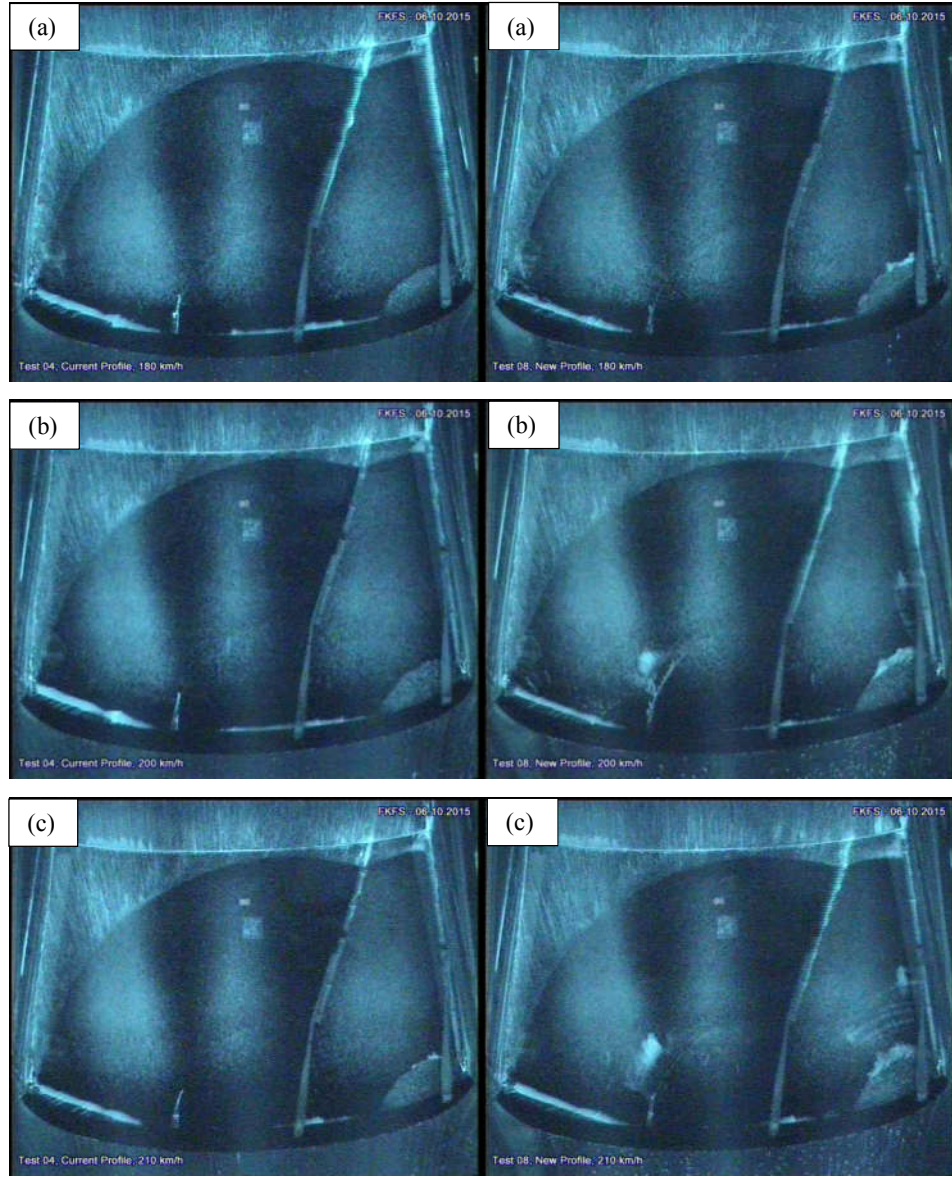


Şekil 6.9 : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (a) 180 km/h, (b) 200 km/h, (c) 210 km/h.

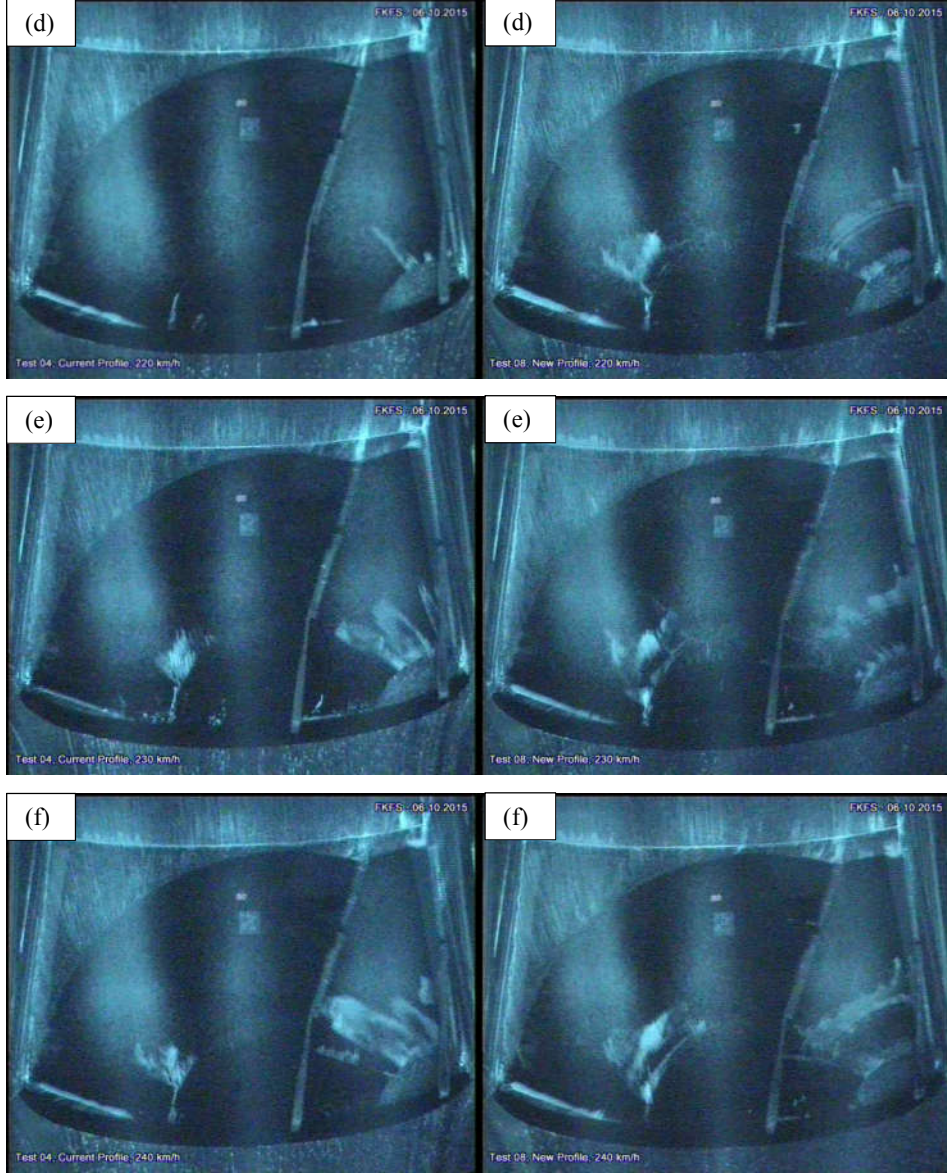


Şekil 6.9 (devam) : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (d) 220 km/h, (e) 230 km/h, (f) 240 km/h.

6.2.2.2 Silecekler üst konumdayken alınan görüntüler



Şekil 6.10 : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin üst konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (a) 180 km/h, (b) 200 km/h, (c) 210 km/h.



Şekil 6.10 (devam) : Farklı hava giriş hızları için sileceklerin üst konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil), (d) 220 km/h, (e) 230 km/h, (f) 240 km/h.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yüksek hızlı araçlar için silecek sistemi sayısal olarak modellenmiştir. Araç üzerinde orijinal geometriyle yapılan sayısal çalışmalar sonucunda silecek sistemine etkiyen kaldırma kuvvetinin büyük bir bölümü silecek kollarından kaynaklandığı görülmüştür.

Yeni silecek profilleri oluşturmak için silecek geometrisi üç bölümde incelenmiştir. Bunlardan birincisi silecek rüzgârlığının profilinin değiştirilmesidir. Burada yapılan çalışmalar sonucunda silecek rüzgârlığı üzerindeki vorteks yapısı azaltılmış ve bunun sayesinde rüzgârlık üzerindeki basınç artırılmıştır. Yapılan ikinci geometri analizi sonucu silecek yüksekliği arttıkça silecek üzerindeki kaldırma kuvvetinin azaldığı ve 18 mm yükseklikten sonra baskı kuvveti elde edildiği görülmüştür. Son olarak rüzgârlık ile metal parça arasında kalan bölge incelenmiştir. En iyi sonuç veren bağlantı tipi ile rüzgârlık üzerindeki vorteks yapısı yok edilmiş ve baskı kuvveti yaratılmıştır. Kaldırma kuvvetini düşürme bağlamında iyi sonuç veren üç geometrik özellik birleştirilerek yeni silecek prototipi oluşturulmuştur.

Yapılan ikinci analiz açı değişiminin etkisidir. Analizler sonucunda modifiye edilmiş geometrilerin bütün silecek açılarında orijinal silecek geometrisinden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Son olarak yeni elde edilen geometriler yarım araç modeli üzerinde analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda sürücü tarafında Silecek 3_5_3 ile 1.1 N, silecek 3_5_1 ile 0.7 N baskı kuvveti elde edilmiştir.

Sayısal analizlerden yola çıkılarak kalıba uygun yeni bir silecek profili üretilmiştir. Silecek profili üretildikten sonra X-sensör ekipmanı ile farklı silecek açıları için yüzey baskı kuvveti dağılımları bulunmuştur. Almanya Stuttgart FKFS enstitüsünde termal rüzgâr tüneline silme testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda yeni silecek profili orijinal silecek geometrisine oranla yüksek hızlarda çok daha iyi bir silme performansı göstermiştir.

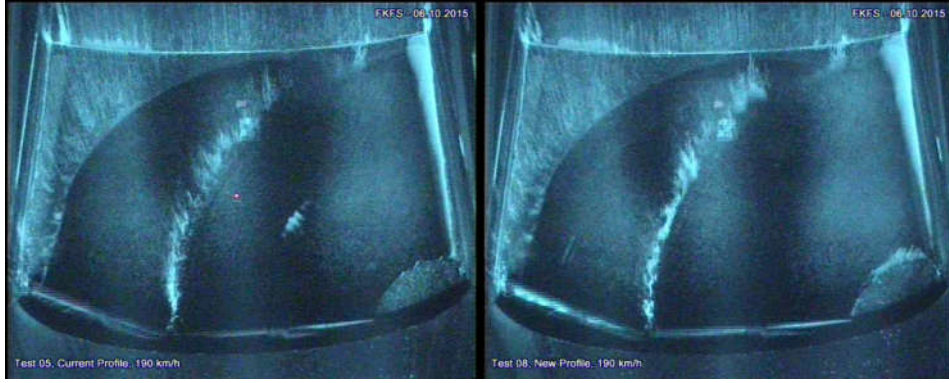
KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://web.archive.org/web/20101202140916/http://web.mit.edu/invent/iow/Anderson.html>>.
- [2] **Fagervall, M., Nyman M.** (2000). Optimal Windshield Cleaning Performance, Yüksek Lisans Tezi, Lulea University of Technology.
- [3] **Clarke, J., Lumley, R.** (1960). Problems Associated with Windscreen Wiping, SAE Technical Paper 600134, doi:10.4271/600134.
- [4] **Dawley, M.** (1965). Aerodynamic Effects on Automotive Components, SAE Technical Paper 650134, doi:10.4271/650134.
- [5] **Jallet, S., Devos, S., Maubray, D., Sortais, J., Marmonier, F., Dreher, T.** (2001). Numerical Simulation of Wiper System Aerodynamic Behavior, SAE Technical Paper 2001-01-0036, doi:10.4271/2001-01-0036.
- [6] **Billot, P., Jallet, S., Marmonier, F.** (2001). Simulation of Aerodynamic Uplift Consequences on Pressure Repartition – Application on an Innovative Wiper Blade Design, SAE Technical Paper 2001-01-1043, doi:10.4271/2001-01-1043.
- [7] **Gaylard, A. P., Wilson, A. C., Bambrook, G. S. J.** (2006). A Quasi-Unsteady Description of Windscreen Wiper Induced Flow Structures, 6th MIRA International Vehicle Aerodynamics Conference, October 2006, Nuneaton: MIRA Ltd.
- [8] **Yang, Z. G., Ju, X. M., Li, Q. L.** (2011). Numerical Analysis on Aerodynamic Forces on Wiper System, Proceedings of the Sixth International Conference on Fluid Mechanics, AIP Conf. Proc. Vol 1376, 213-217.
- [9] **Lee, S. H., Lee, S. W., Lee, S. H., Hur, N., Choi, W., Sul, J.** (2009). (Korece) A Numerical Study on the Aerodynamic Lift of the Windshield Wiper of High-speed Passenger Vehicles, The Proceedings of Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow 2009, Vol.3, pp.185-190, Jeju (Oct. 2009)
- [10] **Ansys Inc.** (2013). Ansys Fluent Theory Guide, Release 15, November 2013.
- [11] **Jeong, J., Hussiein, F.** (1995). On the identification of a vortex, Journal of Fluid Mechanics, 285, pp.69-94.

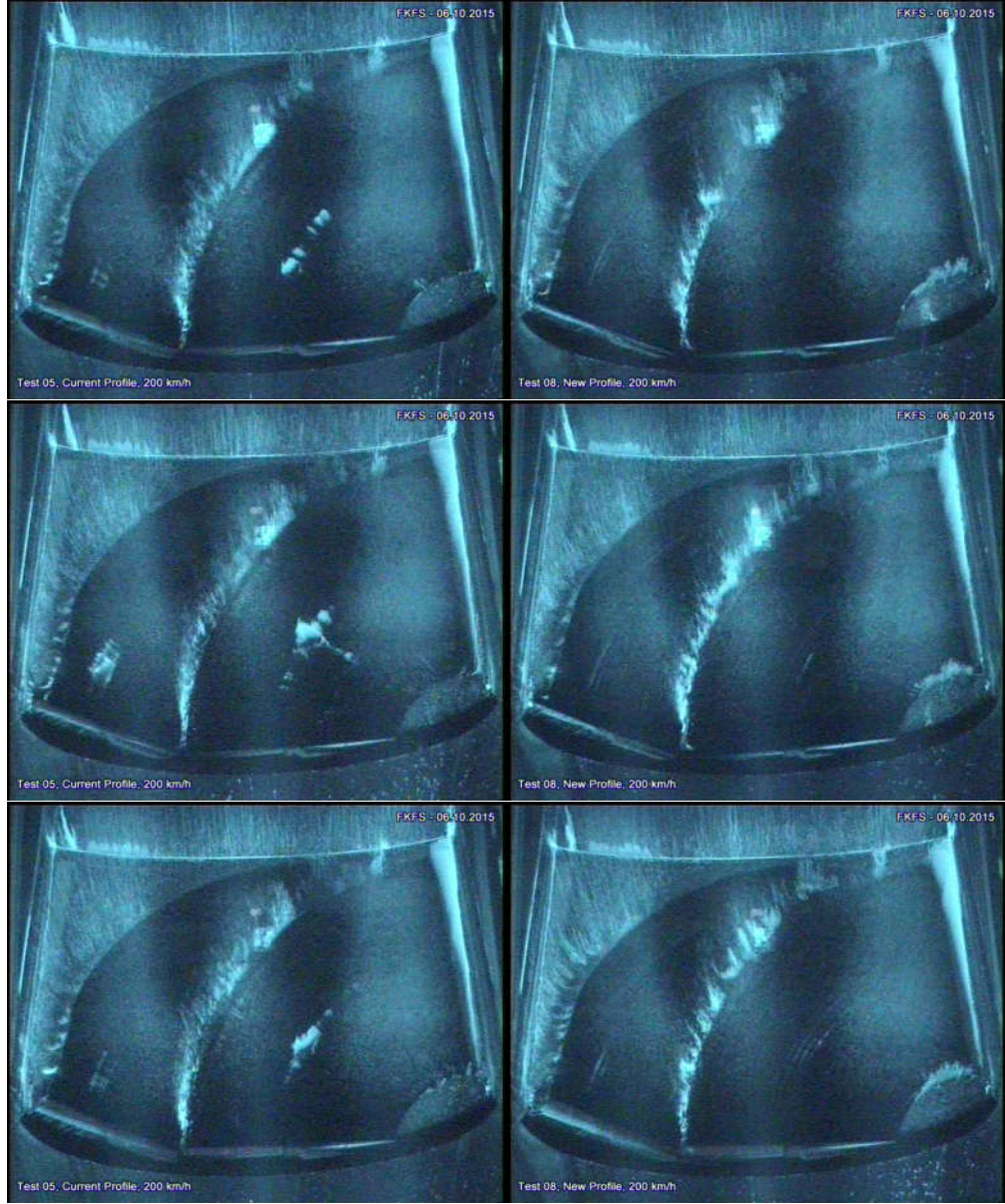
EKLER

EK A: Silecekler alt konumdayken alınan diğ er silme testi görüntüleri

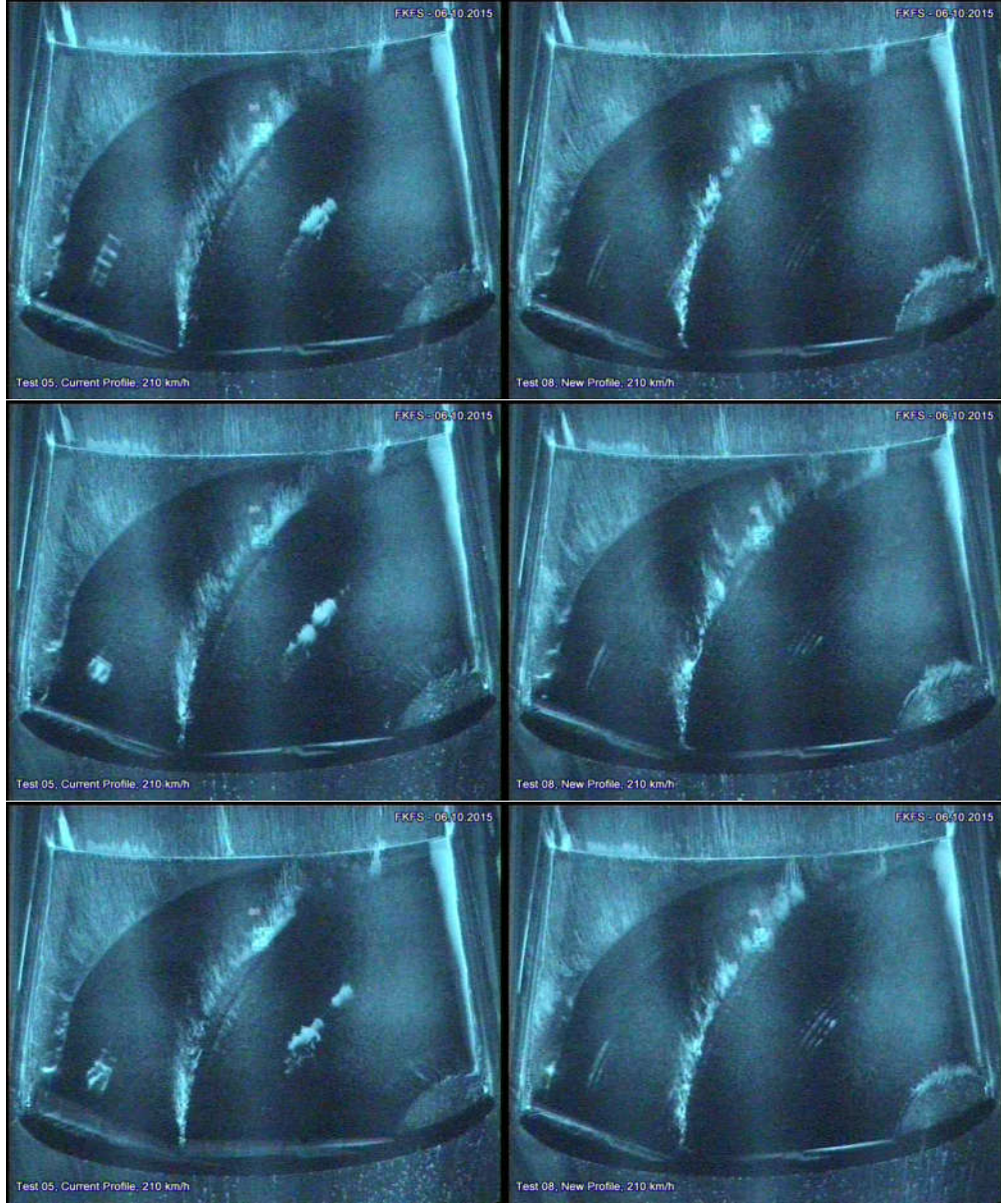
EK A



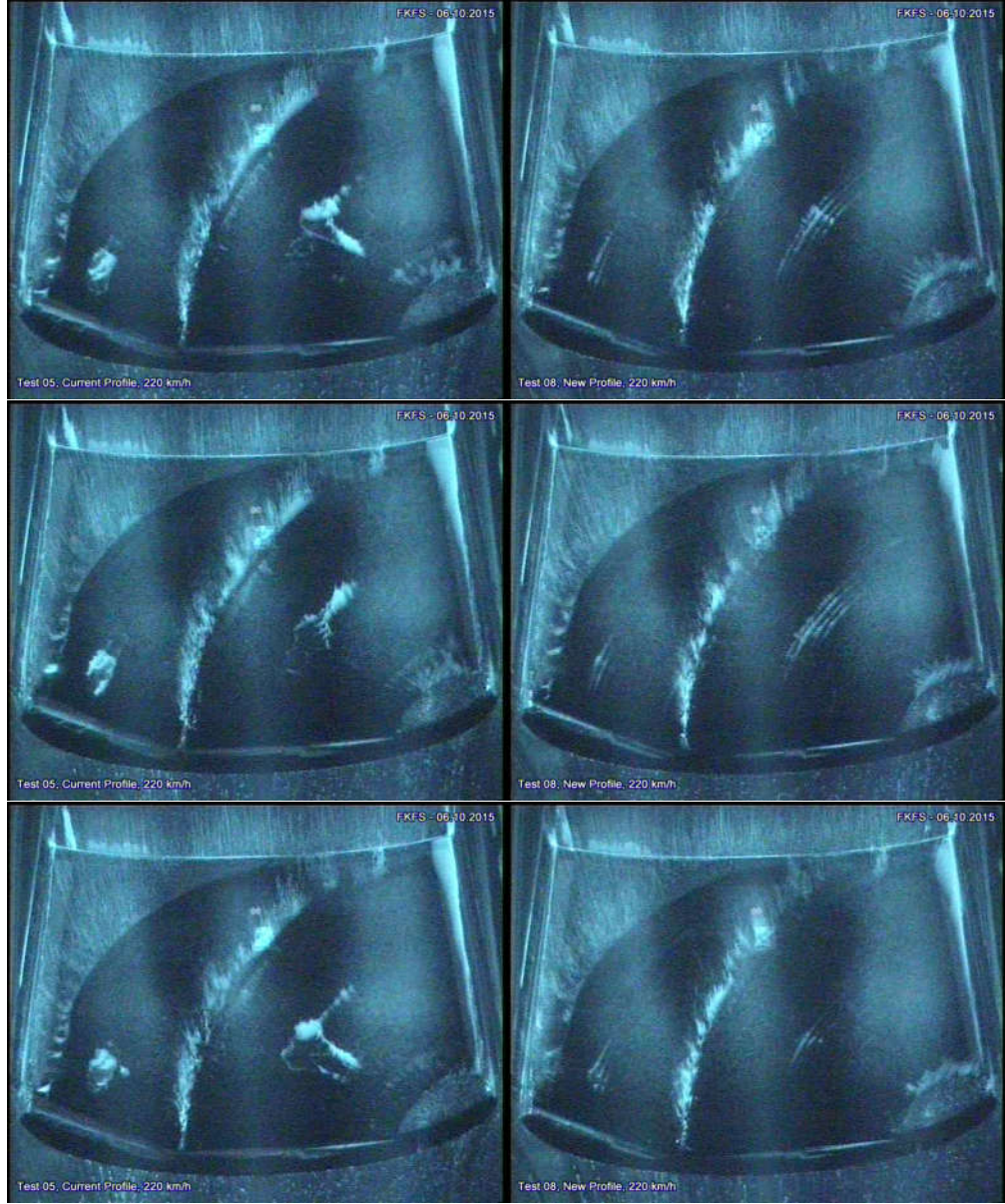
Şekil A.1 : 190 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).



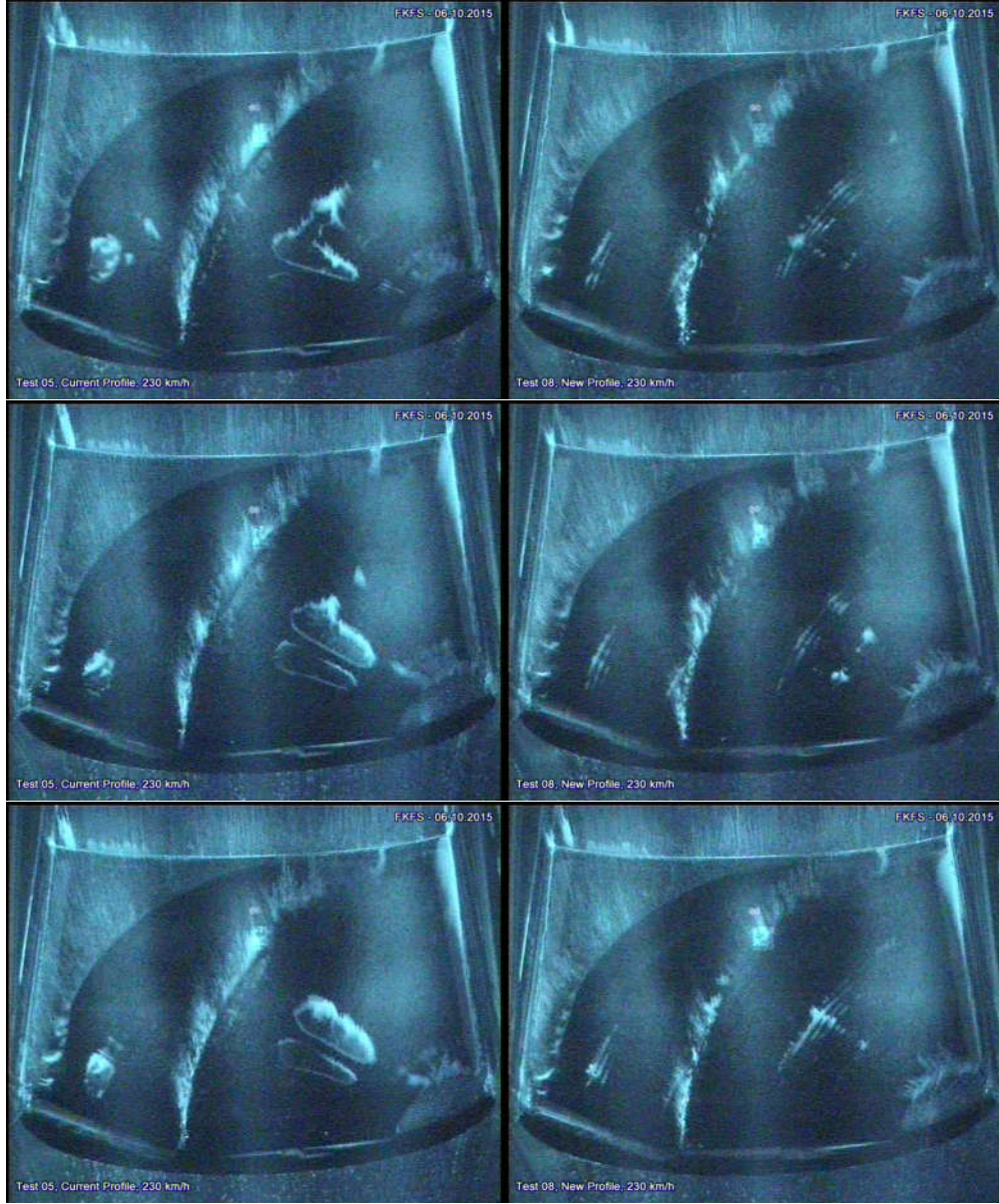
Şekil A.2 : 200 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).



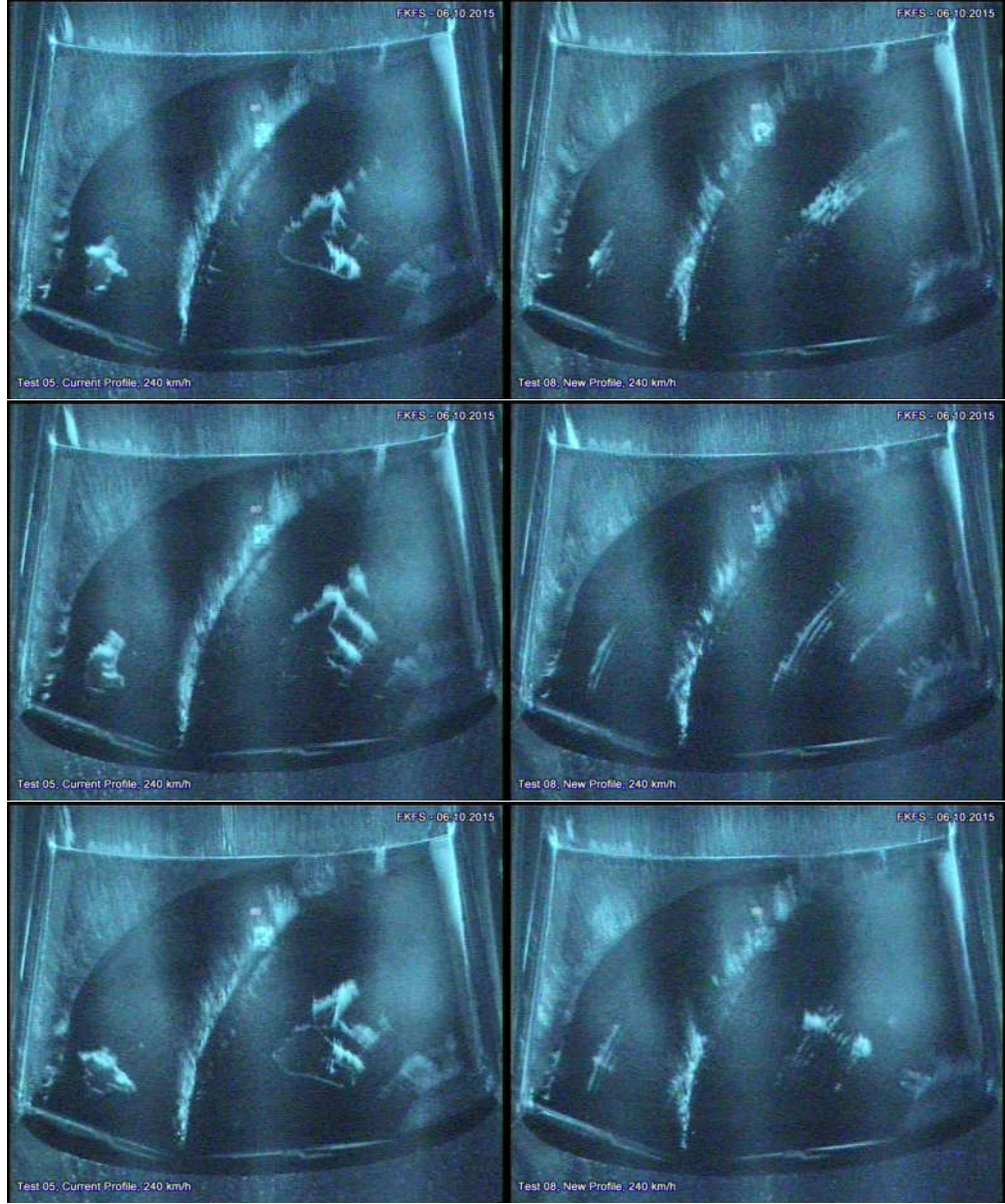
Şekil A.3 : 210 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).



Şekil A.4 : 220 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).



Şekil A.5 : 230 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).



Şekil A.6 : 240 km/h hava giriş hızı için sileceklerin alt konumdayken alınan silme testi görüntüleri (sol: mevcut profil, sağ: yeni profil).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Süleyman Emre Ak
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.08.1990 İzmir
E-posta : emreak90@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği