

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR KAMYON GEOMETRİSİNİN VE AKSESUARLARININ
AERODİNAMİK TASARIM VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Buğra ŞELENBAŞ**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Isı Akışkan

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan GÜNEŞ

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR KAMYON GEOMETRİSİNİN VE AKSESUARLARININ
AERODİNAMİK TASARIM VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Buğra ŞELENBAŞ
(503081107)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan GÜNEŞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Okşan Çetiner (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Levent Kavurmacıoğlu
(İTÜ)**

OCAK 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans programına katıldığım ilk günlerden itibaren desteğini hiç eksik etmeyen, her türlü teknik imkanı kullanımına sunan ve benim için çok değerli olan bilgi ve becerilerini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Hasan GÜNEŞ' e saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilmekteyim.

Çalışmalarında hem bilgi hem de teknik gereçler olarak her türlü olanağı kullanımına sunan Temsa-Global AR-GE çalışanlarına, özellikle de analiz grubu ekip lideri Sn. Bertan BAYRAM'a desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca analizlerimde kullandığım 3 boyutlu kamyon geometrisini elektronik ortamda sağlayan tasarım grubuna da teşekkür ederim. Çalışmamın başından sonuna kadar benim için çok önemli olan bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, sıkılmadan zamanının çoğunu benimle geçirerek bana tezim boyunca yararlanmam gereken araçları kullanmayı öğreten Temsa-Global AR-GE Proje Mühendisi Sn. Makine Yüksek Mühendisi Kenan GÖÇMEN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin önemli bir parçasını oluşturan, yaptığım çalışmaları doğrulamama yardımcı olan rüzgar tüneli testleri esnasında bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Okşan ÇETİNER ve Yrd. Doç. Dr. Hayri ACAR' a teşekkür ederim. Ayrıca testler sırasında rüzgar tüneli deneylerine katılma imkanını sağlayan TÜBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Merkezi (SAGE) aerodinamik birimi ekibine teşekkür ederim.

Varlıklarıyla her zaman bana güç veren, her şeyi yapabileceğime beni inandıran, eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği sağlayan ve beni her durumda destekleyen o eşsiz insanlara, AİLEME sonsuz teşekkür ediyorum. Kararsızlığa kapıldığım her an elimden tutup beni sakinleştirerek hayata daha kararlı devam etmemi sağlayan, zorlukları benimle paylaşan, bugüne kadar tanıdığım en sabırlı insana, SEVGİLİ NİŞANLIMA sonsuz sevgilerimi sunuyorum.

Ayrıca burada isimlerini sayamadığım, tezimi hazırlamamda yakından ya da uzaktan desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür ediyorum.

Aralık 2010

Buğra Şelenbaş
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
2. RÜZGAR TÜNELİ TESTİ ÖNCESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.1 Amaç	5
2.1.1 Reynolds benzeşimi	6
2.2 Sayısal Modelleme	6
2.3 Geometri ve Çözüm Ağı	7
2.4 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	9
2.4.1 Akış parametreleri.....	9
2.4.2 Analiz sonuçları	10
2.4.3 Deney öncesi CFD ön çalışmasının değerlendirilmesi	26
3. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ VE CFD İLE KARŞILAŞTIRILMASI	27
3.1 Amaç	27
3.2 Model Hazırlama Aşaması	27
3.3 Deney Koşullarında CFD Sonuçlarının İncelenmesi	30
3.3.1 Akış modelinin seçimi	30
3.3.1.1 Akış parametreleri	30
3.3.1.2 Case-1 ve Case-2 durumlarının karşılaştırılması	31
3.3.1.3 Akış karakteristiklerinin tespiti	33
3.3.2 Deney verilerinin CFD analizleri ile karşılaştırılması	41
3.3.2.1 Sürüklenme katsayısının karşılaştırılması	41
3.3.2.2 Akış karakteristiğinin karşılaştırılması	42
3.3.2.3 Basınç farklarının karşılaştırılması	47
4. KAMYON VE AKSESUARLARININ AERODİNAMİK OPTİMİZASYONU, GEOMETRİK ÖNERİLER.....	53
4.1 Deflektör Optimizasyon Çalışmaları ve Geometrik Öneriler.....	53
4.1.1 Jenerik model üzerinde deflektör çalışması	54
4.1.1.1 Jenerik deflektör modelleri	55
4.1.1.2 Jenerik model akış parametreleri ve sınır şartları	57
4.1.1.3 Jenerik model akış analizi	58
4.1.1.4 Jenerik model sonuç ve öneriler	72

4.1.2 Deflektör için geometrik öneriler	73
4.2 Farklı Ayna Tasarımlarının İncelenmesi: Ayna Optimizasyon Çalışmaları	77
4.2.1 Mevcut ayna geometrisi ve yeni tasarımlar.....	78
4.2.2 Ayna geometrileri analiz sonuçlarının incelenmesi	80
4.2.2.1 35° açılı akışta ayna geometrilerinin incelenmesi (normal koşullardaki akışta)	81
4.2.2.2 25° açılı akışta ayna geometrilerinin incelenmesi (10° dışarıya döndürülmüş ayna konumunda)	83
4.2.3 Ayna geometrisi analizleri, sonuç ve öneriler	85
4.3 Güneşlik Aksesuarının Optimizasyon Çalışmasının Yapılması.....	86
4.3.1 Güneşlik bölgesi analiz sonuçlarının incelenmesi	87
4.4 Alt Deflektör (Bumper) Açık ve Kapalı Durumlarının İncelenmesi.....	89
4.4.1 Akış parametreleri	90
4.4.2 Alt deflektör değerlendirmesi sonuç ve öneriler	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
5.1 Sürüklenme Katsayısı Ve Basınç Ölçümleri	97
5.2 Geometrik İyileştirmeler	97
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	101

KISALTMALAR

ART	: Ankara Rüzgar Tüneli
CFD	: Computational Fluid Dynamics
Cd	: Sürüklenme katsayısı
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
TDO	: Türbülans Dissipasyon Oranı
TDR	: Turbulent Dissipation Rate

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Case-1 ve Case-2 çözümlerinde kullanılan denklemlerin ayrıklaştırılması.	31
Çizelge 3.2 : Case 1 ve Case 2 'nin sürüklenme katsayılarının karşılaştırılması	31
Çizelge 3.3 : Third order- second order ve $P=101325$ Pa - $P=89631$ Pa basınç için karşılaştırmalar, $V = 60$ m / s.....	32
Çizelge 3.4 : Deney esnasında ölçülen havanın ortam koşulları (toplam basınç, yoğunluk, hız)..	48
Çizelge 3.5 : CFD' de hava için kullanılan ortam parametreleri	48
Çizelge 3.6 : CFD ve deney basınç değerleri, hata analizi.	51
Çizelge 4.1 : Deflektör modellerinin sınıflandırılması, case numaraları.	56
Çizelge 4.2 : Farklı deflektör modelleri için deflektörden geçen debi ve sürtünme katsayısına etkileri	71
Çizelge 4.3 : 35° akış açısıyla (bkz. Şekil 4.37) farklı ayna geometrilerinin hız ve kuvvet karşılaştırması	83
Çizelge 4.4 : Farklı açılarda mevcut geometri ile alttan ve üstten yuvarlatılmış geometride ayna yüzeyine gelen sürüklenme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	85
Çizelge 4.5 : Alt deflektör kapalı ve açık durumlarında C_d sürüklenme katsayısı değerleri..	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Bir araca etki eden kuvvetlerin taşıt hızına bağlı değişimi, [15].	1
Şekil 2.1 : Kamyon CAD geometrisi	7
Şekil 2.2 : Rüzgar tünelinin CFD modeli ve sınır şartları	8
Şekil 2.3 : Kabin üzerinde kartezyen olmayan yüzey çözüm ağı	8
Şekil 2.4 : $y=0$ kesitinde çözüm ağının gösterilmesi	9
Şekil 2.5 : Farklı “yz” düzlemlerinde statik basınç dağılımları [Pa], $V = 16$ m/s (a) $x=0$ düzleminde kesit görünümü (b) Aynalar üzerinden alınan kesit.	10
Şekil 2.6 : Kamyon geometrisi üzerinde statik basınç dağılımı [Pa], $V = 16$ m/s (a) Kabin önü, yüksek basınç bölgesi (b) Kabin arkası, düşük basınç.	11
Şekil 2.7 : Sağ ayna üzerindeki statik basınç dağılımı [Pa]	12
Şekil 2.8 : Ayna üzerinde yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]	12
Şekil 2.9 : XY kesitinde hız vektörleri [m/s], ayna kesiti, üstten görünüş	13
Şekil 2.10 : Yan ayna üzerinde statik basınç dağılımı [Pa], farklı açılardan görünüş	13
Şekil 2.11 : XY düzleminde hız vektörleri [m/s]	14
Şekil 2.12 : Yan deflektörler ön ve arka bölgelerde statik basınç dağılımları [Pa]	14
Şekil 2.13 : Yatay düzlemde hız vektörleri (a) Deflektör kesitinde hız vektörleri [m/s] (b) Deflektör kesit detayı, üstten görünüş [m/s]	15
Şekil 2.14 : Bve C kesit detayları, XY düzleminde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş, 180° döndürülmüş	16
Şekil 2.15 : Kabin yüzeyinden 10mm dışarıda hız vektörleri [m/s]	16
Şekil 2.16 : Deflektörden geçen akım çizgileri	17
Şekil 2.17 : XY düzleminde hız konturları [m/s] (a) Deflektör dışında yatay kesit (b) Deflektör içerisinde yatay kesit.	18
Şekil 2.18 : Kabin etrafında akım çizgileri	18
Şekil 2.19 : Kabin etrafındaki akım çizgileri	19
Şekil 2.20 : Güneşliğin üst kısmında yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]	19
Şekil 2.21 : Güneşliği kesen yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]	20
Şekil 2.22 : Yatay düzlemde hız konturları [m/s] (a) Güneşliği kesmeyen yatay düzlem (b) Güneşliği kesen yatay düzlem.	20
Şekil 2.23 : Kamyon yüzeyinden 5mm dışarıda hız vektörlerinin dağılımı [m/s]	21
Şekil 2.24 : Kamyon yüzeyinden 5mm dışarıda hız vektörlerinin dağılımı [m/s]	21
Şekil 2.25 : Yatay düzlemde hız vektörleri [m/s], far ve kapı altı bölgesi	22
Şekil 2.26 : XY düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], alt deflektör (bumper) kapalı.	22
Şekil 2.27 : XY düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], üstten görünüş	23
Şekil 2.28 : XZ düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], yandan görünüş	23
Şekil 2.29 : XZ düzleminde hız vektörlerinin dağılımı (m/s), yandan görünüş	24
Şekil 2.30 : XZ düzleminde hız vektörleri [m/s], güneşlik detayı	24
Şekil 2.31 : XZ düzleminde statik basınç dağılımı [Pa]	25
Şekil 2.32 : XZ düzleminde statik basınç dağılımı [Pa], acil çıkış detayı, yandan görünüş.	25
Şekil 3.1 : Kamyon deney modeli (1:5 ölçek) ankara rüzgar tüneli'nde	28

Şekil 3.2 : (a) CFD kamyon modeli (b) Akış hacmi (rüzgar tüneli).....	29
Şekil 3.3 : Case-1 ve Case-2 için Cd değerlerinin araç hızı ile değişimi.....	32
Şekil 3.4 : V=60 m/s hızda case 1 (TDR: first order) için xy düzleminde hız konturları [m/s], üstten görünüş	33
Şekil 3.5 : V=60m/s hızda case 2 (TDR: second order) için xy düzleminde hız konturları [m/s], üstten görünüş	34
Şekil 3.6 : V = 60 m/s hızda Case 1 (TDR: first order) için yz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa]	34
Şekil 3.7 : V = 60 m/s hızda Case 2 (TDR: second order) için yz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa].....	35
Şekil 3.8 : Kamyon ön yüzeyindeki statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order).....	36
Şekil 3.9 : Kamyon arka yüzeyindeki statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order).....	36
Şekil 3.10 : xz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order)	37
Şekil 3.11 : A detayı statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order)	37
Şekil 3.12 : V = 60 m/s için kabin etrafında hız vektörleri [m/s], 2 mm off-set, case 2 (TDR: second order).....	38
Şekil 3.13 : V = 60 m/s hız için kabin etrafında hız vektörleri [m/s], 2 mm ofset, case2 (TDR: second order).....	38
Şekil 3.14 : V = 60 m/s hız için deflektörden geçen akım çizgileri, case 2 (TDR: second order)	39
Şekil 3.15 : V = 60 m/s hız için deflektörden geçen akım çizgileri, case 2 (TDR: second order).....	39
Şekil 3.16 : V = 60 m/s hız için xy düzleminde hız konturları [m/s], case 2 (TDR: second order).....	40
Şekil 3.17 : V = 60m/s hız için xy kesitinde hız vektörleri [m/s] "E detayı", case 2 (TDR: second order).....	40
Şekil 3.18 : ART deneyleri ortalama C_d değerleri ile CFD (Second Order) C_d değerlerinin karşılaştırılması	41
Şekil 3.19 : Kabin yüzeyi üzerindeki hız vektörleri.	42
Şekil 3.20 : Yağ testi deneyi, deflektör bölgesi ve tekerlek görüntüleri.....	42
Şekil 3.21 : Kabin yüzeyinde hız vektörleri [m/s].	43
Şekil 3.22 : İplikçik testi, kabin ön yüzeyi ve yan yüzeylerinde iplikçik testi görüntüleri.....	44
Şekil 3.23 : Deflektörden geçen akım çizgileri.....	44
Şekil 3.24 : Yağ testi, deflektör bölgesi akım görüntüleri.	45
Şekil 3.25 : Kabinin etrafındaki akım çizgileri.....	45
Şekil 3.26 : Duman testi, kabin etrafında duman testi ile akım görüntüleme.....	46
Şekil 3.27 : Kabin etrafında hız vektörleri [m/s], basamak içinde oluşan vorteks. ...	46
Şekil 3.28 : Yağ testi, basamak içinde oluşan vorteksin görüntülenmesi.....	47
Şekil 3.29 : Deneyde kullanılan kamyon modeli üzerinde basınç prizlerinin konumları ve numaralandırma	49
Şekil 3.30 : I. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.	49
Şekil 3.31 : II. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.	50
Şekil 3.32 : III. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	50

Şekil 3.33 : Dikey priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması..	50
Şekil 4.1 : Jenerik kamyon modeli.....	54
Şekil 4.2 : Jenerik kamyon modeli, simetrik akış hacmi (rüzgar tüneli)	54
Şekil 4.3 : Jenerik model üstten görünüş	55
Şekil 4.4 : Deflektör kesit detayları, xy kesiti; deflektör konumları, önden görünüş	55
Şekil 4.5 : Polyhedral çözüm ağı	57
Şekil 4.6 : Yan deflektörden geçen hava akışı, [9].....	58
Şekil 4.7 : Geniş deflektör modeli hız vektörleri dağılımı (yüzeyden 10 mm ofsetli), [m/s]	59
Şekil 4.8 : Deflektörün kabine yakın oluşturduğu hava perdesi, hız konturları [m/s] (10 mm dışarıda) (a) Deflektörlü durum (geniş deflektör) (b) Deflektörsüz durum	59
Şekil 4.9 : Dar deflektör modelinde kabin yüzeyinde akım çizgileri (Case 2).....	60
Şekil 4.10 : Deflektör içinden geçen akım çizgilerinin karşılaştırılması (a) Case-2 (50 mm - 35 mm) (b) Case-3 (50 mm - 35 mm) (c) Case-4 (50 mm - 50 mm) (d) Case-5 (50 mm - 50 mm) (e) Case-6 (50 mm - 25 mm, eğimli) (f) Case-7 (50 mm - 25 mm, eğimli)	61
Şekil 4.11 : Deflektör içinden geçen akım çizgilerinin karşılaştırılması (a) Case-8 (50 mm - 35 mm, uzantılı) (b) Case-9 (50 mm - 35 mm uzantılı) (c) Case-10 (70 mm - 50 mm) (d) Case-11 (70 mm - 50 mm) (e) Case-12 (70 mm - 35 mm) (f) Case-13 (70 mm - 35 mm)..	62
Şekil 4.12 : xy kesitinde hız konturları [m/s], “case-2, dar deflektör, 50 mm-35 mm”, üstten görünüş .	64
Şekil 4.13 : xy kesitinde hız konturları, “case-1, deflektör yok”, üstten görünüş	64
Şekil 4.14 : xy kesitinde hız konturları [m/s], “case-3, geniş deflektör, 50 mm-35 mm”	65
Şekil 4.15 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case4, dar deflektör, 50 mm-50mm”.....	65
Şekil 4.16 : xy düzleminde hız konturlarının dağılımı [m/s], “case5, geniş deflektör, 50 mm-50 mm” ..	66
Şekil 4.17 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case6, dar deflektör, eğimli daralan, 50mm-25mm, eğimli daralan”. .	67
Şekil 4.18 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case7, geniş deflektör, 50mm-25mm, eğimli daralan”	67
Şekil 4.19 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case8, dar deflektör, 50mm-35mm, çıkış sabit kesitte 10cm uzatılmış”	68
Şekil 4.20 : xy düzleminde hız konturları, “case9, geniş deflektör, 50-35mm, çıkış sabit kesitte 10cm uzatılmış”.....	68
Şekil 4.21 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case10, dar deflektör, 75mm-50mm”	69
Şekil 4.22 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case11, geniş deflektör, 75mm-50mm”	69
Şekil 4.23 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case 12, dar deflektör, 70mm-35mm”	70
Şekil 4.24 : xy düzleminde hız konturları ve hız vektörleri [m/s], A Detayı akış ayrılma olayı “case 12 , 70mm-35mm” ..	70
Şekil 4.25 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case 13, geniş deflektör, 70mm-35mm” ..	71

Şekil 4.26 : Deflektör bölgesi, yüzeyden 2 mm dışarıda hız vektörleri [m/s], 1:5 ölçek, 60 m/s.....	73
Şekil 4.27 : Deflektör, yandan görünüş.	73
Şekil 4.28 : Deflektör üzerinde yapılacak değişiklikler, yandan görünüş.	74
Şekil 4.29 : Deflektör alt ve üst bölgelerindeki geometrik değişiklikler.	74
Şekil 4.30 : Deflektör ön bölgesinin ve kanatların kabin önüne doğru uzatılması....	75
Şekil 4.31 : Deflektörden geçen akım çizgileri, $V = 60$ m/s girişte oluşan ölü bölge.	76
Şekil 4.32 : $V= 60$ m/s hız için xy kesitinde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş.....	76
Şekil 4.33 : Deflektörün giriş ve çıkış genişlikleri, üstten görünüş (ortalama değerler).....	77
Şekil 4.34 : Mevcut ayna geometrisi ve XY düzleminde 2 boyutlu ayna kesiti.	78
Şekil 4.35 : Mevcut geometri üzerinde yapılan iyileştirmeler (a) Case 0 (Mevcut geometri) (b) Case 1 (üst köşe yarım yuvarlatılmış) ABC boyunca yuvarlama (c) Case 0 (Mevcut geometri) (d) Case 2 (üst köşe tam yuvarlatılmış) ADB boyunca yuvarlama.....	79
Şekil 4.36 : Mevcut ayna geometrisi üzerinde yapılan iyileştirmeler (a) Case 0 (Mevcut geometri) (b) Case 3 (yukarıdan ve aşağıdan yuvarlatılmış, ABCDE boyunca kesilmiş).....	79
Şekil 4.37 : Üç boyutlu kamyon modeli analiz sonuçlarından alınmış mevcut ayna modelinin xy kesitinde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş.	80
Şekil 4.38 : Case 0, Mevcut geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s], 2-boyutlu akış.	81
Şekil 4.39 : Case 1, Üst köşesi yarı yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].....	81
Şekil 4.40 : Case 2, Üst köşesi tam yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].....	82
Şekil 4.41 : Case 3, Alt ve üst köşeleri tamamen yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].	82
Şekil 4.42 : Case 0, 25° akışta, mevcut geometrinin " 10° " dışa doğru (saat yönünün tersine) döndürülmüş hali.	84
Şekil 4.43 : Case 3, 25° akış açısında, üst ve alt köşelerinin yuvarlatılmış aynanın geometrinin " 10° " dışa doğru (saat yönünün tersine) döndürülmüş hali	84
Şekil 4.44 : Kamyon geometrisi ve güneşlik.	86
Şekil 4.45 : Güneşlikte ve güneşliğin üst bölgesinde oluşturulan kesitler (a) Güneşliği kesen yatay düzlem (b) Güneşliğin dışından kesen yatay düzlem	87
Şekil 4.46 : Güneşlik kesitinde (bkz. Şekil 4.45-a) hız konturları [m/s], kabin üstten görünüş.	87
Şekil 4.47 : Güneşlik üstü kesitinde hız konturları [m/s], kabin üstten görünüş	88
Şekil 4.48 : Güneşlik üzerinde kısaltılacak parça (mavi ile renklendirilmiş), kabin üstten görünüş.	89
Şekil 4.49 : CFD akış modeli.....	90
Şekil 4.50 : Alt deflektör (bumper) kapalı durumda akım çizgileri, (case 1)	91
Şekil 4.51 : Alt deflektör (bumper) açık durumda akım çizgileri (case 2)	91
Şekil 4.52 : xy düzleminde, alt deflektör kapalı durumda, basamak kesitinde statik basınç konturları [Pa], $z=-625.5$ mm, (case 1).	92
Şekil 4.53 : xy düzleminde, alt deflektör açık durumda, basamak kesitinde statik basınç konturları [Pa], $z=-625.5$ mm, (case 2)	92

Şekil 4.54 : Basamak yüzeyinde alt deflektör kapalı durumda statik basınç konturları [Pa], (Case 1).....	93
Şekil 4.55 : Basamak yüzeyinde alt deflektör açık durumda statik basınç konturları [Pa], (Case 2).....	93
Şekil 4.56 : Alt deflektör açık durumda deflektörden geçen havanın basamak boşluğundaki hareketi, akım çizgileri, (Case 2).....	94
Şekil 4.57 : Alt deflektör içinden geçen havanın tekerleğe doğru yönelmesi	94

AĞIR KAMYON GEOMETRİSİNİN VE AKSESUARLARININ AERODİNAMİK TASARIM VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Günümüzde, teknoloji çağının faydalarının yanında zararlarını da yoğun bir şekilde hissetmeye başladık. Hemen hemen üretim olan her alanda doğaya verdiğimiz zarar gözle görülür bir hal almış olup acil önlemler alınması gerekmektedir. Bununla beraber, azalan dünya kaynakları yakıt ekonomisi konusunda da önemli adımlar atılması gerektiğini açıkça belirtmektedir.

Bütün bunlara dayanarak, özellikle ağır taşıtlarda (kamyon, otobüs vb.) yakıt ekonomisi ve atık gazların azaltılması önem kazanmaktadır. Ayrıca, performans açısından da araçların iyileştirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu noktada, aerodinamik kuvvetlerin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, sıfırdan tasarlanan gerçek bir ağır kamyon geometrisinin ve aksesuarlarının kabin üzerindeki sürüklenme kuvvetini azaltma amacıyla aerodinamik tasarım ve optimizasyonu yapılmıştır.

Bir ağır kamyon geometrisinde, aerodinamik kuvvetlerin büyük bir bölümünü basınç kuvvetleri oluşturmakta olup viskoz kuvvetlerin bu basınç kuvvetlerinin yanında çok küçük kaldığı görülmektedir. Bu sebepten dolayı, çözüm ağı oluşturulurken sınır tabaka çözüm ağı oluşturulmamış, basınç kuvvetlerini yakalamak amacıyla yüzey ve hacim çözüm ağı değişik sıklıklarda oluşturularak çözüm ağı yakınsaması sağlanmıştır.

Yapı aerodinamiğine benzer olarak ağır kamyon dış aerodinamik yapısında basınç kuvvetlerini azaltıcı yönde şekil optimizasyonları yapılmıştır. Kamyon kabininin ön üst kısmı ve yan kısımlar ve alt kısım da dahil olmak üzere bu bölgelerde akış karakteristikleri incelenmiş olup yapılabilecek iyileştirmeler gözlemlenmiştir. Genel gövdenin incelenmesinin yanında kabin aksesuarları (aynalar, yan deflektörler, alt deflektör, güneşlik vb.) parçalar detaylı bir şekilde incelenerek bu parçaların iyileştirme çalışmalarında jenerik ve iki boyutlu modellerden yararlanılmıştır.

Kabin aksesuarları optimizasyon çalışmalarında ise özellikle yan deflektörler, aynalar ve güneşlik parçaları üzerinde çalışılmış ve sürüklenme kuvvetini azaltıcı yönde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Deflektörler bu çalışmanın büyük bir bölümünü oluşturmakta olup deflektör iyileştirme çalışmalarında jenerik kamyon modelinden faydalanılmıştır. Daha sonra elde edilen en iyi sonuçlar gerçek modele yaklaşık olarak uyarlanmıştır. Çalışmalar bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı ile yapılmış olup sayısal sonuçları doğrulamak amacıyla rüzgar tüneli testleri yapılmıştır. Testlerde 1/5 ölçekli kamyon modeli kullanılmış olup farklı tünel hızlarında sırasıyla aerodinamik kuvvet ölçümleri, basınç ölçümleri ve akış görüntüleme testleri (duman testi, iplikçik testi ve yağ testi) yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile CFD sonuçları karşılaştırılarak temel akım karakteristikleri (akım ayrılmaları, statik basınç ölçümleri, sürüklenme katsayısı) incelenmiştir.

Gerçek kamyon modeli ile yapılan CFD çalışmalarına ek olarak kabin aksesuarlarının (yan deflektörler, aynalar vb.) optimizasyonu için bir jenerik kamyon modeli oluşturulmuş ve çok sayıda analiz yapılarak bu aksesuarların optimizasyonu yapılmıştır. Jenerik model üzerinde yapılan bu çalışmalardan elde edilen optimum deflektör geometrisi gerçek kamyon modeline uyarlanarak yeniden analizler yapılmış ve iyileşmeler incelenmiştir. Bununla beraber, ayna optimizasyonu için iki boyutlu kesit analizleri yapılmış ve optimum ayna kesitleri elde edilmiştir.

AERODYNAMIC DESIGN AND OPTIMIZATION OF AN HEAVY TRUCK GEOMETRY AND IT'S ACCESSORIES

SUMMARY

In recent days, beside the advantage of technology age, we feel intensively the disadvantages of the coming technology. Almost at all fields where there is production, it's highlighted that the environment has been damaged. That's so clear if we look around in a big city. However, people are getting wise to the danger day by day. And looking for new solutions for both environment and decreasing the fuel consumption.

Today, a lot of companies (the departments of research and development) working on drag reduction in order to reduce fuel consumption to prevent contamination and save the sources of the world. In addition to these, in order to obtain high performance drive on the road, it's also important to reduce aerodynamic drag.

An other advantage of technology age is that, we have a lot of possibilities for simulation of the big problems like the aerodynamic of heavy vehicles. In this thesis, a computational fluid dynamics (CFD) study was carried out in an effort to design and optimize the cabin geometry and its various parts for drag reduction that include the side deflectors, the mirrors and the sun visor.

As known well, for a bluff body, while calculating the aerodynamic forces, the pressure forces have more importance than viscous forces do. So, this situation lets us to keep mesh coarser than the mesh finer necessary over a blade. Because, for the streamline geometries like blades, the boundary layer mesh is needed in order to calculate viscous forces. Also, we meshed the truck geometry (for both two dimensional and three dimensional) for different sizes and checked when it would converge. And finally we saw that the pressure values that we have specified before and the drag coefficient does not change after twenty two million volume elements. So, we used about twenty two million unstructured volume elements for calculations.

In this study, for the first stage, we made simulations for 1/1 scaled real truck model which will help us to predict the important regions that we will examine in both wind tunnel tests and computational fluid dynamic studies after the experiment. We used Gambit as mesh generator and used Fluent as solver. In the base of the literature, we use k-epsilon realizable model for turbulence requirements. Like the aerodynamics of buildings, shape optimizations were done over the truck body in order to decrease pressure forces. We checked the construction of the cab, corners of the front of the cabin geometry to see if it's convenient as aerodynamics.

For the second stage of this study, for the validation of the computational results, an experimental investigation using a 1/5 scale truck model has been carried out in a

wind tunnel (Ankara Wind Tunnel). To eliminate the effect of boundary layer, a boundary layer plate was used which is 0.11 m above the ground (that's already modelled in CFD simulations). By using a vane with 63 probes, the pressure point measurements were done. We used 62 probes for surface pressure points because we used one of the probes in order to measure atmospheric pressure. The measurements for pressure were done at speed 20, 30, 40, 50, 60 and 70 m/s velocity values. Three test were done in order to see hsyterisis.

The aerodynamic force as well as the surface-pressure point measurements carried out at selected wind speeds. Aerodynamic drag coefficients for different velocities (20, 30, 40, 50, 60 and 70 m/s) were calculated. The force measurements were taken by using force arms with strain gages.

The flow visualizations using smoke, oil and nylon threads were also performed. For the smoke visualizations, the maximum speed of the wind tunnel was 20 m/s (because someone was in the tunnel and we had to keep him in safety). However, we see that the cab geometry is good as aerodynamically and needs no changes. On the other hand, in the tests with threads, we saw captured the stagnation region on the front surface of the cabin geometry of truck. For the oil tests, we could focus on the detailed fields like side deflectors, mirrors and cab geometries. We captured some unsteady flows in and at the outlet of the side deflectors. For the experimental model, the deflector at the bottom were closed. So, we couldn't see the effects of the bottom deflector. And again with the oil tests, we captured the stagnation region on the front of the cabin geometry.

With the experimental results, the basic characteristics of flow over the cabin geometry (including the flow separation locations) are compared with the CFD results. All the measurements were compared with CFD results individually. First, the aerodynamic force measurements were compared. We compared drag coefficients by means of graphics. The Root Mean Square error analysis were done for the measurements. Then, we compared pressure measurements with the computational fluid dynamics solutions. We participated all the pressure points over the CFD model. We grouped the pressure points as horizontal lines and vertical lines. There are one vertical line and three horizontal lines over the cabin (first, second and third horizontal lines). This is an easy way to examine the measurements from the pressure probes in the logic of flow.

In addition to CFD simulations involving the actual (real) truck cabin geometry, for the optimization of the specific cabin accessories, (e.g., side deflectors and mirrors), a generic truck model is also used for CFD analyses. A wide research was done for the side deflectors especially. A generic truck model for with the outline of the real truck geometry was designed and over this geometry, various side deflector models were performed. We especially focused on if the deflector prevents the slurry which comes from the wheels towards mirrors and door handle. We used two kind of deflector (mainly). One of these is wide deflector and the other is narrow deflector. We made a tabular data that indicates the flow quantities and various deflector types for comparision. We checked if the flow is good or disturbed because of the side deflectors. This optimization study allowed us to predict which kind of deflectors prevents the slurry splashing. So, we tried to apply these results to the real geometry approximately.

Secondly, we used two dimensional sections geometry for the mirror geometry. We cutted the real mirror geometry on the horizontal plane and we first participated the flow direction on the horizontal plane by means of the computational studies before the experimental studies. Then, we made the mirror section more smooth in order to see the effects. Beside these, we checked if the angle of the mirror effects to the aerodynamic drag forces. So, finally we obtained an optimized mirror geometry by abiding by the general commercial shape of the truck geometry (As known, a truck must represent a powerfull man or woman).

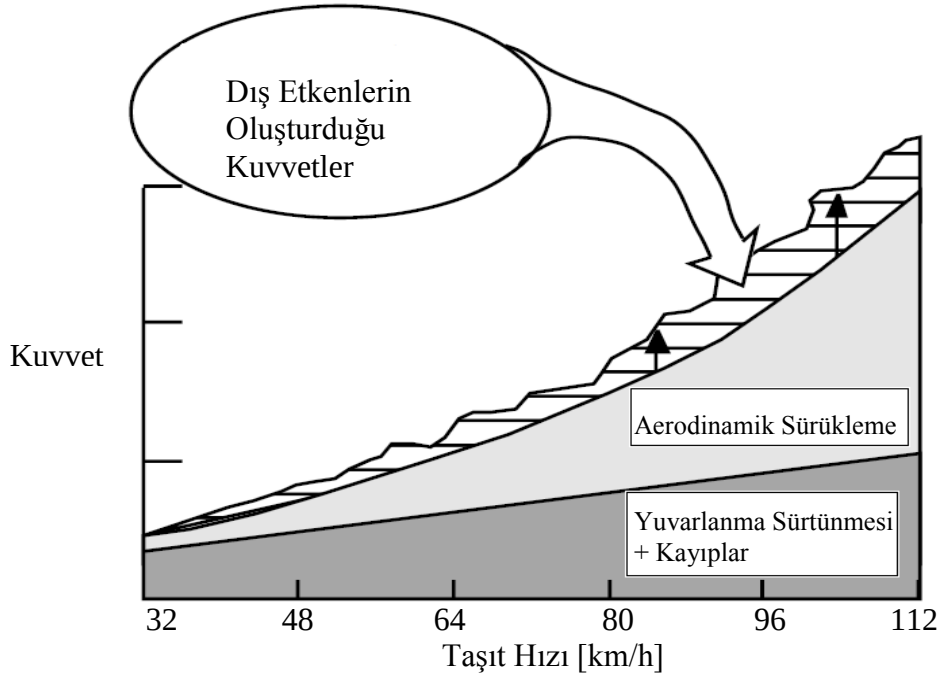
However, we also checked the other parts of the truck. One of these parts is the sunvisor. The sunvisor overflows the sides of the cabin and this causes a disturbed flow by following the sunvisor. We corrected the sunvisor too but we know that the effect of the sunvisor to the aerodynamic forces is very small and this is in the interval of error for a numeric simulation.

The optimized side deflector geometry (e.g., the ratio of the air inlet and outlet area), and the optimum form of the mirrors for drag reduction have been realized by numerical investigations and adapted to the real truck geometry. In addition to this, for mirror optimization, two dimensional simulations were done and optimum mirror geometry were obtained. Then, the optimized mirror geometry was adapted to the three-dimensional truck body.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda enerji kaynaklarının giderek azalması ve çevre kirliliğinin giderek artmasıyla özellikle sanayi alanında yeni çözümler aranmaya başlanmıştır. Uzmanlar dünya petrol kaynaklarının önümüzdeki 40 yıl içinde hızla azalacağını söylemekte ve acil çözümler üretilmesi gerektiğini bildirmektedirler.

İşte bu noktada yakıt ekonomisi büyük önem kazanmaktadır. Taşıtlarda yakıt tüketimi sırasıyla hareket, yuvarlanma sürtünmesi ve aerodinamik sürüklenme kuvveti tarafından meydana gelmektedir. Araştırmalar özellikle kamyon ve çekici gibi ağır yük araçlarında hız arttıkça aerodinamik sürüklenme kuvvetinin diğer iki dirence göre baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.1 : Bir araca etki eden kuvvetlerin taşıt hızına bağlı değişimi, [15].

Sürüklenme kuvvetinin azaltılmasının yanında özellikle kamyon ve çekicilerde çamur sıçraması müşteri memnuniyeti açısından önem kazanmaktadır. Tekerleklerden sıçrayan çamur kapı kollarını, yan cam ve aynaları kirlletmektedir. Bu durum özellikle yan cam ve aynalarda görüşü engelleyebilmektedir. Bunu önlemek için kabinin iki yanında çamur sıçramasını engelleyecek deflektörler kullanılmaktadır.

Bunların yanında kabinin diğer dış aksesuarları da (aynalar, güneşlik, vb.) aerodinamik sürüklenme kuvveti açısından önemlidir ve bu elemanların optimum tasarımı gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Araçlarda yakıt tüketimini azaltıcı yönde yapılan çalışmalarda, aerodinamik sürüklenme kuvvetlerinin azaltılması en önemli unsurlardan biri olmaktadır. Araç hızı arttıkça aerodinamik kuvvetlerin diğer kuvvetlerden (yuvarlanma sürtünmeleri, kayıplar vb.) daha baskın olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, özellikle de ağır ticari araçlarda kabin ve kabin etrafındaki aksesuarlarının optimize edilmesi yakıt ekonomisi açısından büyük önem kazanmaktadır. Aerodinamik sürüklenme kuvvetlerinin azaltılması (drag reduction) çalışmalarına ek olarak, kamyonlarda yan deflektörlerin aerodinamik tasarımı gibi özel çalışmalar da müşteri memnuniyeti açısından büyük önem kazanmaktadır. Yan deflektörler yardımıyla kapılara, kapı kollarına, yan camlara ve aynalara çamur sıçramasını önleyici yönde çalışmalar yapılmaktadır. Bütün bu çalışmalar çağın gerekleriyle birlikte giderek daha da önemli hale gelmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Ağır taşıtların aerodinamiği ile ilgili birçok sayısal ve deneysel çalışma yapılmış olup halen yoğun bir şekilde bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Englar [1], kabin ile römork arasındaki boşluğun aerodinamik sürüklenme katsayısına etkisini incelemiştir. Englar rüzgar tüneli deneylerinde bir jenerik kamyon modeli kullanmıştır. Paschkewitz [2], tekerlek aerodinamiği, çamurluk etkisi ve tekerleklerden sıçarayan çamuru incelemiştir. Bayraktar [3], doktora tezi olarak ağır kara taşıtlarının dış aerodinamiği ile ilgili sayısal çalışmalar yapmış ve jenerik modeller ile rüzgar tüneli testleri yapmıştır. Bayraktar, yüzey basınç dağılımlarını inceleyerek kabin ile römork arasındaki boşluğun yüksek basınç kayıplarına neden olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, tekerleklerin çıkıntılarının da önemli derecede etkisinin olduğunu göstermiştir. Tekerleklerin ve aynaların toplam sürüklemedeki paylarının sırasıyla %12.5 ve %4.6 olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Bayraktar, Baysal ve Bayraktar [8] birlikte bir kamyon dış aerodinamiğini sayısal olarak modellemişlerdir. RNG k-epsilon türbülans modelini belirleyerek araç etrafındaki akışın simülasyonunu

yapmayı amaçlamışlardır. Mohammed ve Al-Garni [5], kamyonet aerodinamiği üzerinde durmuştur. Jenerik bir kamyonet modeli ve daha basit olan ve oldukça bilindik bir model olan Square Back (SB) modelini kullanarak deneysel veriler elde etmişlerdir. Hız ölçümlerinde PIV (Partical Image Velocimetry) kullanılmış olup zamana bağımlı analizler yapılmıştır. Burada temel amaç kamyonet üzerindeki akışın kararsızlığını anlamaktır. Lafreniere [6], bilinen bir referans model olan Ahmed Body üzerinde çeşitli araştırmalar yapmıştır. Ahmed Body etrafındaki kararsız akışı zamana bağımlı olarak incelemiş ve bunun için 5 m uzunluğunda bir dikey rüzgar tüneline kullanmıştır. Farklı açılarda kuvvet ölçümleri almıştır. Model üzerine gelen aerodinamik kuvvetlerin türünü belirlemek için çeşitli kuvvet ölçümleri yapmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, 2 m x 3 m boyutlarında bir tünelde basınç nokta ölçümleri almıştır. Marcel [7], daha farklı bir konu olan kanat aerodinamiği ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. Bilindiği üzere kanat aerodinamiğinde viskoz sürtünmeler önem kazanmakta, bu sebeplerden dolayı da sınır tabakaya yoğunlaşmaktadır. Marcel'de kanat uçlarında oluşan aerodinamik, aero akustik etkileşimleri incelemiştir.

2. RÜZGAR TÜNELİ TESTİ ÖNCESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Amaç

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) grubu olarak deney esnasında daha iyi sonuç almak ve belirli yerlere odaklanmak açısından mevcut modelimiz üzerinde ön akış simülasyonu yapılmıştır. Temsa'dan IGES formatında alınan kamyon taslak geometrisi Fluent CFD yazılımının geometri oluşturma/düzenleme ve çözüm ağı üretmek için kullanılan bir alt programı olan Gambit yazılımı ortamına alınmış ve geometride gerekli düzenlemeler yapılarak akış modeli oluşturulmuştur. Modelimiz birebir (1/1) ölçekli hazırlanmıştır. Akış modeli oluşturulurken önce ayrı geometri birleştirilmiş, bozuk veriler düzeltilmiş ve çözüm ağı (mesh) oluşturulacak hale getirilmiştir. Çözüm ağı yakınsamasını elde edebilmek için farklı yüzey çözüm ağı ve hacim çözüm ağları oluşturularak sonucun yakınsadığı çözüm ağı kullanılmıştır. Oldukça sık bir çözüm ağı oluşturulmuş olup yaklaşık 22 milyon (tetrahedral) hacim elemanından oluşan çözüm ağı, Fluent ortamında kısmen Polyhedral tip hacim elemanlarına dönüştürülerek çözüm ağı yaklaşık 9 milyona indirilmiştir.

Akış parametreleri belirlendikten sonra akış analizleri 16Gb/32Gb hafızaya sahip 2 işlemcili (8 çekirdekli) güçlü bir iş istasyonu ile Fluent yazılımı paralel çalıştırılarak gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Bu ön çalışmada amaç deney öncesi fikir edinmektir. Yapılan analize ait geometri ve oluşturulan çözüm ağına ait kesitler aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Akış hızı, deneylerin gerçekleştirileceği Ankara Rüzgar Tüneli'nin çıkabileceği maksimum hız olan 80 m/s hız göz önüne alınarak Reynolds Benzeşimi'nden faydalanılarak belirlenmiştir. Reynolds sayısının sabit kalmasıyla akış karakteristiğinin sabit tutulması amaçlanmıştır.

Aşağıda Reynolds benzeşiminin ne olduğu açıklanmış ve Reynolds benzeşimine dayanarak 1/5 ölçekteki bir modelde 1/1 ölçekteki bir modele göre hızın nasıl değişeceği incelenmiştir. Denklem (2.1)'de Re eşitliği görülmektedir.

2.1.1 Reynolds benzeşimi

Ölçekli akış analizlerinde akış karakteristiklerini sabit tutmak amacıyla Reynolds sayısı sabit tutulur. Bu durumda ölçeğin büyüklüğünün değişimiyle ters orantılı olarak ortam hızı da değişir. Denklem (2.1)'de Re sayısı görülmektedir.

$$Re = \frac{V_{RT} \times L_{RT}}{\nu} = \frac{V_G \times L_G}{\nu} \quad (2.1)$$

Reynolds benzeşimine göre 1:5 ölçekli kamyon modeli için rüzgar tüneli hızının gerçek koşullardaki 1:1 ölçekli kamyon hızının 5 katı daha büyük olması gerektiği görülmektedir.

2.2 Sayısal Modelleme

Sayısal çözümlerlerde ticari bir program olan fluent programı kullanılmıştır. 2'inci ve 3'üncü derece doğrulukta, zamana bağımlı ve zamandan bağımsız, sonlu elemanlar ayrıklaştırma metoduna dayalı Navier Stokes denklemleri çözümlenmiştir. Fluent'in çözdüğü temel süreklilik ve momentum denklemleri sırasıyla denklem (2.2) ve (2.3)'te verilmiştir [4]. Süreklilik denklemi olan denklem (2.2)'de “ S_m ” sürekli bir sisteme dışarıdan giren kütleleri belirtir. Bu kütleler kullanıcı tanımlı fonksiyon da olabilir [4]. Bir kamyon geometrisinin aerodinamik sürüklenme katsayısı özellikle basınç kuvvetleri tarafından oluşmakta, vizkoz kuvvetler ihmal edilebilir derecede küçük olmakta ve k-ε realizable modelinin bu çözümlerde oldukça iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. İleri konularda deney ile CFD sonuçlarının karşılaştırılması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Standart k-ε türbülans modeline ek olarak k-ε realizable modeli türbülanslı akışların fiziği ile ilgili olan normal gerilmeler üzerinde bazı matematiksel kısıtlamalar üzerine yoğunlaşır [4]. Denklem (2.4), (2.5) ve (2.6) eşitliklerinde k-ε realizable türbülans modeli için genelleştirilmiş taşınım denklemleri görülmektedir [4].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial (\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \\ &+ C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, \quad S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (2.6)$$

Bu denklemlerde, “k” türbülans kinetik enerjisi ve “ε” disipasyon oranıdır. “ G_k ” ortalama hız gradyanlarından dolayı üretilen türbülans kinetik enerjiyi temsil etmektedir. “ G_b ” kaldırma kuvvetleri ile ilgili olarak üretilen türbülans kinetik enerjisini vermektedir. “ C_2 ” ve “ $C_{1\varepsilon}$ ” model sabitleri olup “ σ_k ” ve “ σ_ε ” sırasıyla “k” ve “ε” için “Prandtl” sayılarını temsil etmektedirler. “ S_k ” ve “ S_ε ” kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir.

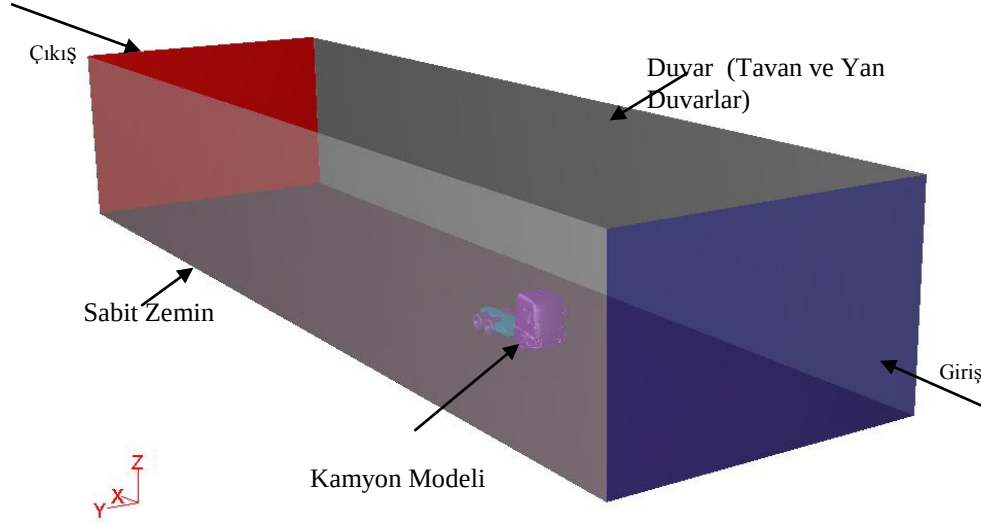
2.3 Geometri ve Çözüm Ağı

Tasarım ekibi tarafından hazırlanan 3 boyutlu kamyon geometrisi IGES formatında Gambit programına alınarak öncelikle geometri temizleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra kapalı bir hacim oluşturularak yüzey çözüm ağı örülmüştür. Yüzeyde özellikle akım ayrılmalarının olabileceğini öngördüğümüz keskin hatlara sahip bölgelerde sık çözüm ağı oluşturulmuştur. Son olarak da yüzeyden hacime genişleyen bir hacim çözüm ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan hacim çözüm ağı yaklaşık 22 milyon tetrahedral elemandan oluşmakta ve polyhedral çözüme dönüştürülerek bu değer 9 milyona indirilmiştir.



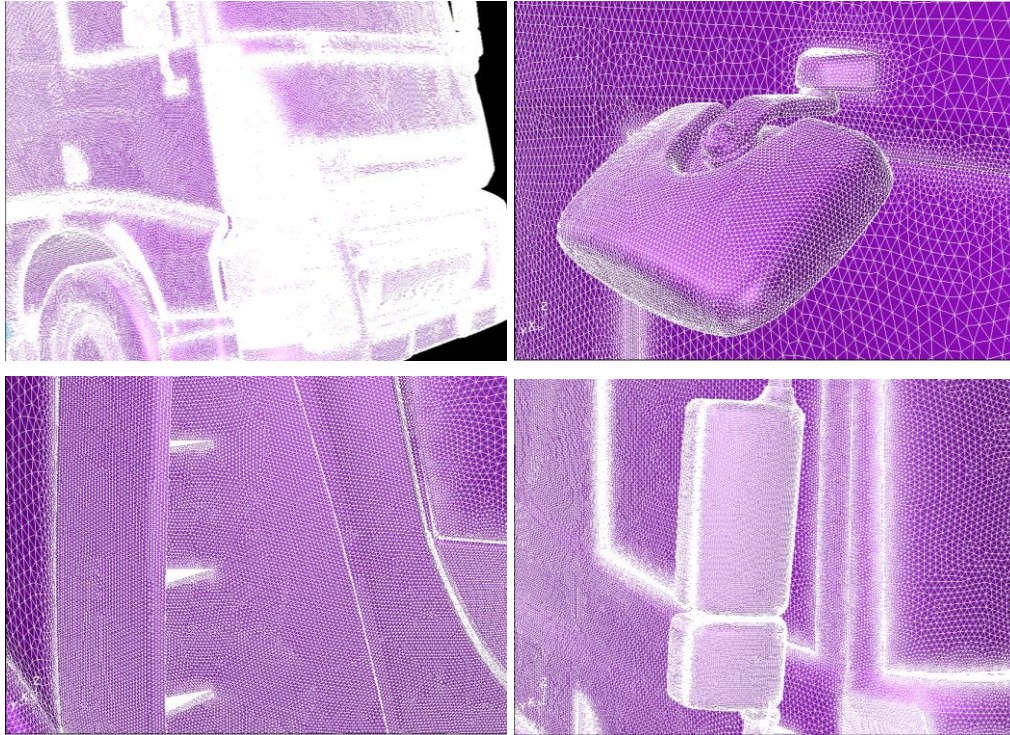
Şekil 2.1 : Kamyon CAD geometrisi

Şekil 2.1’ de 3 boyutlu kamyon CAD geometrisi görülmektedir. Şekil 2.2’ de ise kamyonun rüzgar tüneli içerisine yerleştirilmiş hali ve rüzgar tünelinin (CFD) geometrik büyüklükleri görülmektedir.



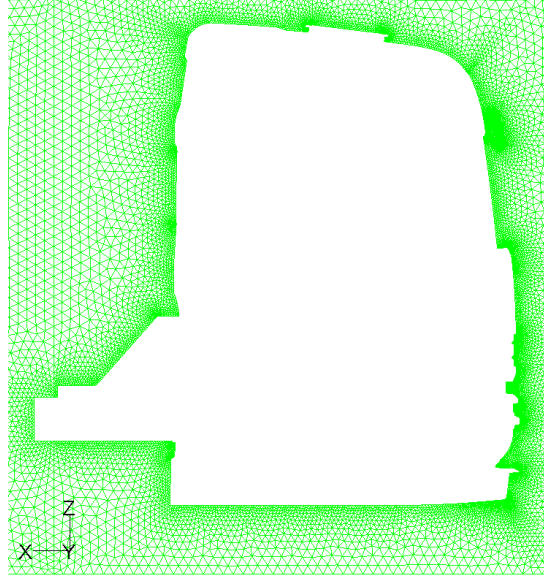
Şekil 2.2 : Rüzgar tünelinin CFD modeli ve sınır şartları

Şekil 2.3’ te kabinin belirli bölgelerinde yüzey çözüm ağları (yüzey mesh) görülmektedir. Akım ayrılması olması öngörülen bölgelerde daha sık çözüm ağı oluşturulmuştur.



Şekil 2.3 : Kabin üzerinde kartezyen olmayan yüzey çözüm ağı

Şekil 2.4'te yüzey çözüm ağının kamyon yüzeyinden hacime doğru bir boyut fonksiyonu “size function” (gambit içinde bulunan bir alt fonksiyon) ile genişletilmesi görülmektedir. Şekilde tipik bir kartezyen olmayan (unstructured) çözüm ağı yapısı görülmekte olup yüzeydeki en küçük eleman boyutu 0.5mm olup en dış hacimde 200 mm ye kadar genişlemektedir.



Şekil 2.4 : y=0 kesitinde çözüm ağının gösterilmesi

2.4 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

2.4.1 Akış parametreleri

Simülasyonlarda aşağıdaki yöntem, model, akış ve akışkan özellikleri ve sınır şartları kullanılmıştır:

Çözüm: Pressure Based, 3d, Steady, Least Squares Cell Based

Model: K-Epsilon, Realizable, Non-Equilibrium Wall Functions

Akışkan: Hava

Yoğunluk: 1.225 kg/m³

Sınır Şartları: Girişte Sabit Hız (Velocity Inlet) $V = 16 \text{ m/s}$; 57.6 km/h),

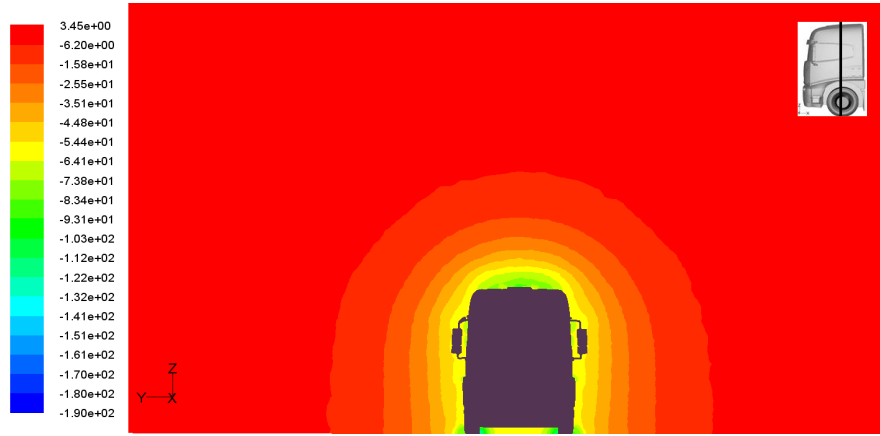
Çıkışta Basınç Sınır Şartı (Pressure Outlet).

Çıkış Basıncı: Atmosfer Basıncı (101325 Pa)

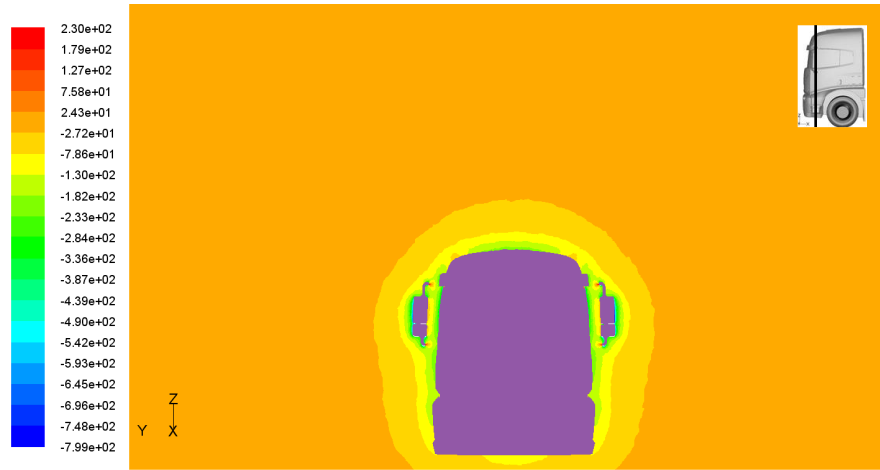
Akış Doğrultusu: “x” doğrultusu, kamyon yüksekliği: “z” doğrultusu, kamyon eni: “y” doğrultusu.

2.4.2 Analiz sonuçları

Şekil 2.5’te rüzgar tüneli içerisinde kamyon etrafında atmosfer altı basınçların oluştuğu ve basıncın tünel duvarlarına gelmeden atmosfer basıncına ulaştığı görülmektedir. Bu durum CFD ile modellenen rüzgar tüneli kesit alanının analiz için yeterli büyüklükte olduğunu göstermektedir (blokaj oranı sağlanmaktadır). Yukarıda belirtilen tünel boyutları gerçek rüzgar tüneli boyutlarından daha büyük seçilmiştir. Deney koşulları Bölüm 3’te ayrıntılı olarak incelenmiştir.



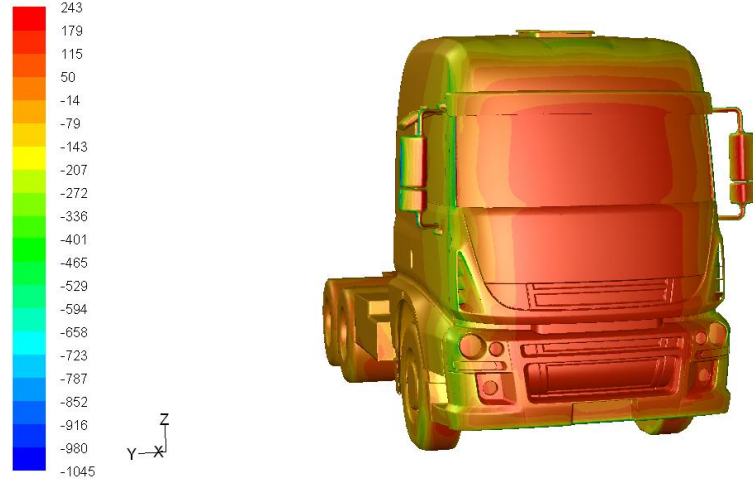
(a)



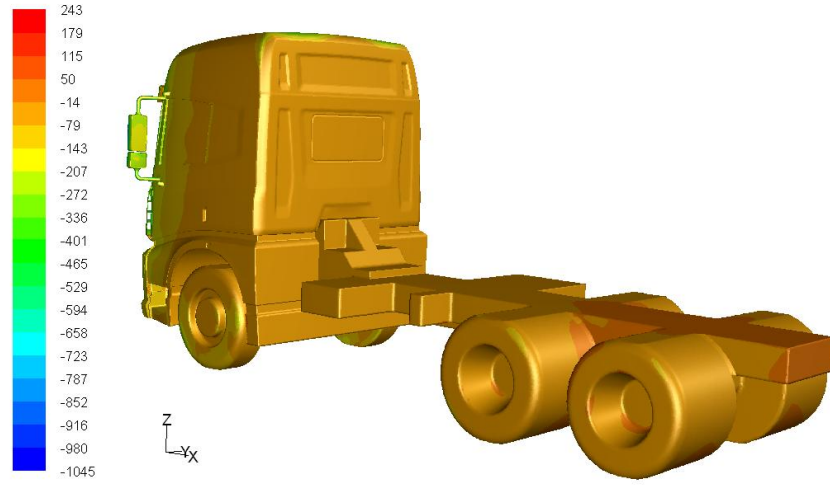
(b)

Şekil 2.5 : Farklı “yz” düzlemlerinde statik basınç dağılımları [Pa], $V = 16 \text{ m/s}$ (a) $x=0$ düzleminde kesit görünümü (b) Aynalar üzerinden alınan kesit.

Şekil 2.5 (b)'de (a) resmine göre daha yüksek statik basınç değerlerinin olduğu görülmektedir. Kabinin ön kısmında özellikle akışın yön değiştirdiği keskin bölgelerde ve ayna üzerinde şekilde çok az yer kaplayan yüksek basınç bölgeleri oluşmuştur.



(a)

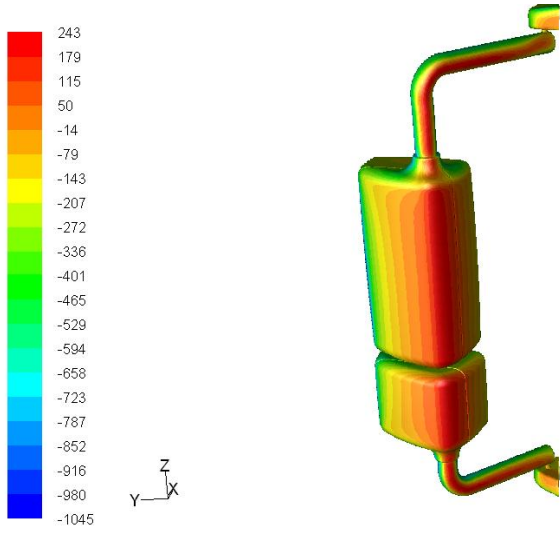


(b)

Şekil 2.6 : Kamyon geometrisi üzerinde statik basınç dağılımı [Pa], $V = 16 \text{ m/s}$ (a) Kabin önü, yüksek basınç bölgesi (b) Kabin arkası, düşük basınç.

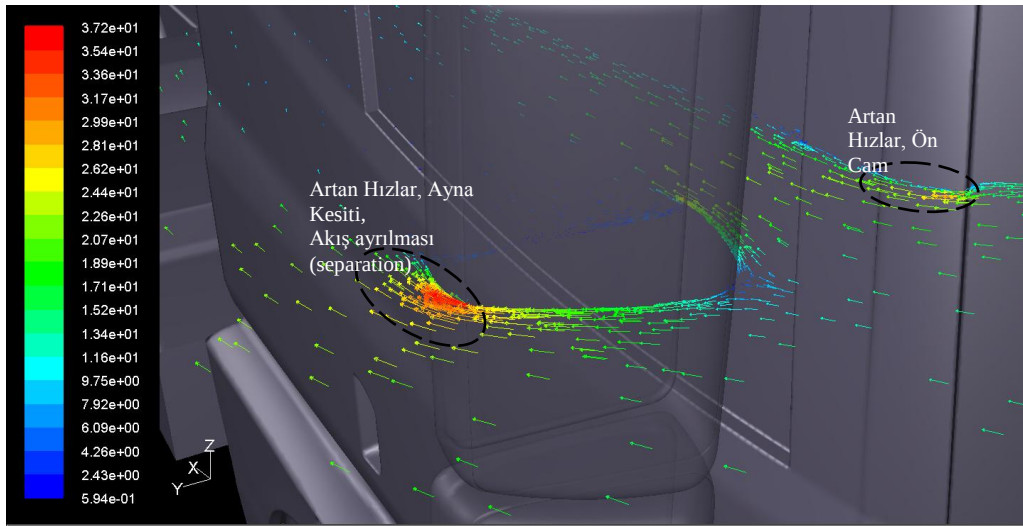
Şekil 2.6'da kamyon ön yüzeyinde efektif basıncın maksimum olduğu bölgeler, kamyonun arka yüzeylerinde ise vakum etkisinin olduğu görülmektedir. Kamyon ön ve arka yüzey arasındaki bu basınç farkı kamyon hareketine karşı sürüklenme kuvvetini oluşturan temel unsurdur. Kamyon yüzeyi üzerinde, Bölüm 3' te detaylarıyla bahsedilecek olan deneyler için gerekli *basınç priz koordinatları* deney

grubu tarafından yukarıdaki basınç dağılımı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.



Şekil 2.7 : Sağ ayna üzerindeki statik basınç dağılımı [Pa]

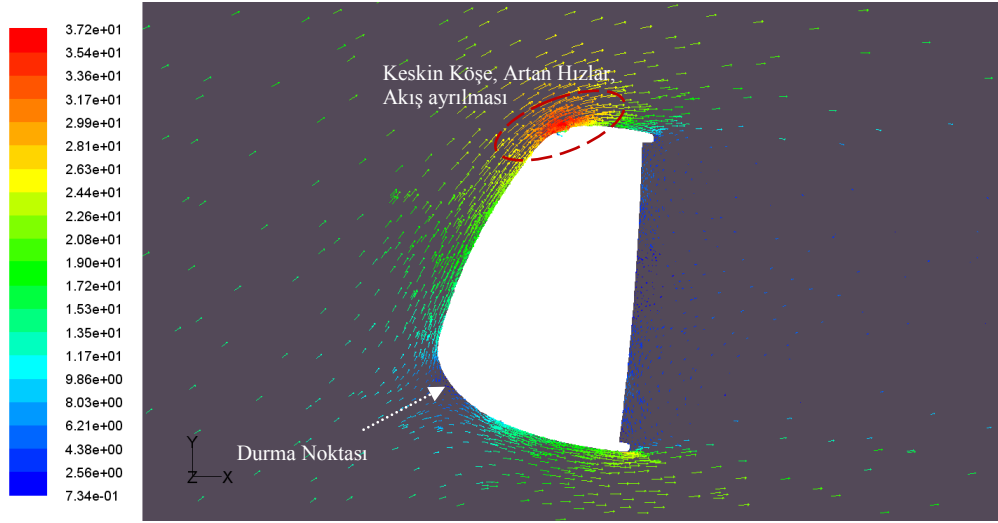
Şekil 2.7’de ayna yüzeyindeki basınç dağılımı görülmektedir. Ayna üzerinde zorunlu bir durma noktasının olması ve yüksek basınçların olması nedeniyle ayna geometrisine ait optimizasyon çalışmalarının yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Şekil 2.8’de ayna üzerinde XY kesitinde hız vektörleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Ayna üzerinde yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]

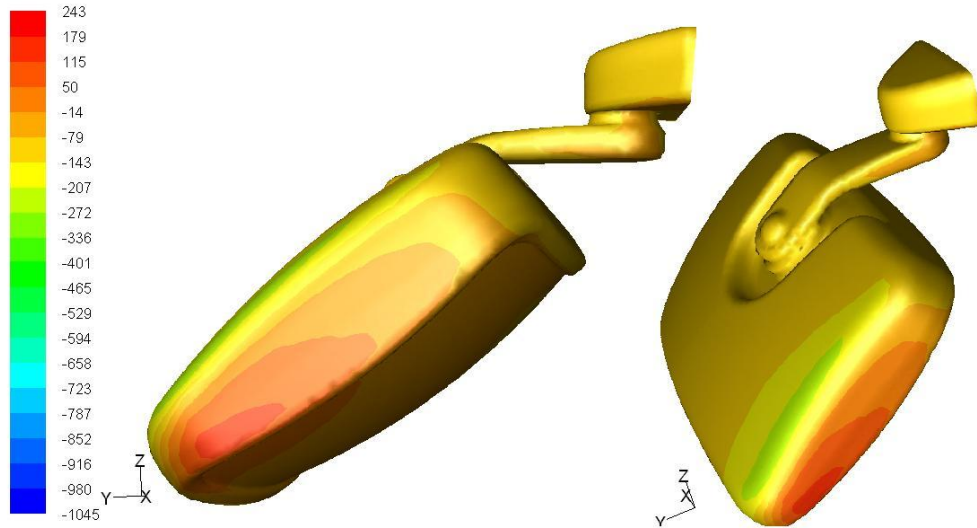
Şekil 2.8’de aynadaki keskin köşeden dolayı hızların arttığını ve akışın çeperden ayrıldığı görülmektedir. Bu durum sürüklemeye katsayısını arttıracaktır. Ayrıca, ön camın yanında keskin köşelerden dolayı hız artışı ve akış ayrılması görülmektedir. Bu durum da sürüklemeye katsayısını arttıracaktır. Sızdırmazlık elemanlarının bu

hızlanmayı azaltacağı öngörülmektedir. Artan hızların ayna kesitindeki detayı Şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2.9 : XY kesitinde hız vektörleri [m/s], ayna kesiti, üstten görünüş

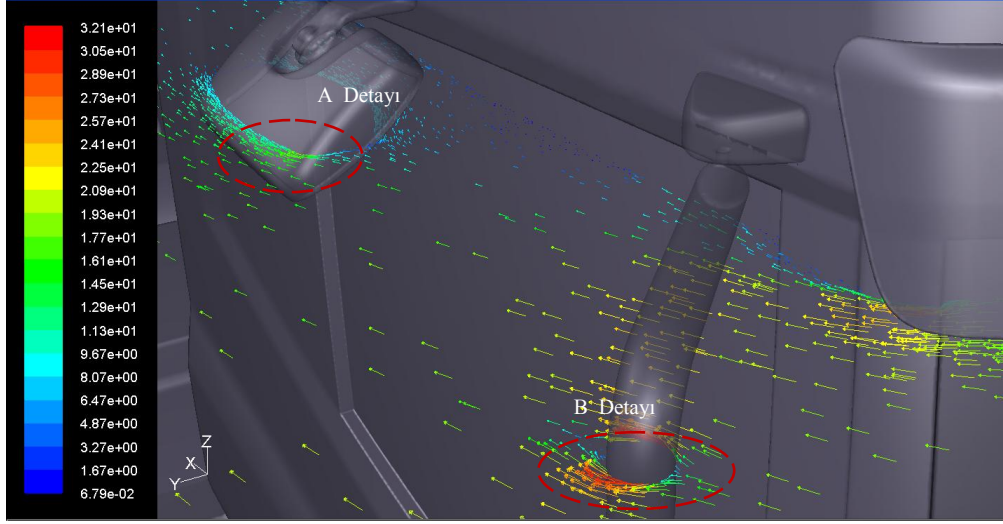
Şekil 2.9’da durma çizgisinin konumu görülmektedir. Yüksek hız artışı ve çeperden ayrılmayı azaltmaya yönelik ayna geometrisi ve aynanın kamyon akış yönüne göre konumu sürüklemeye katsayısında önemli rol oynayacaktır. Burada ortaya çıkan durumu en aza indirmek üzere, ayna geometrisine ait farklı tasarımlar ve bu geometrilere ait simülasyon sonuçları Bölüm 4’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 2.10 : Yan ayna üzerinde statik basınç dağılımı [Pa], farklı açılardan görünüş

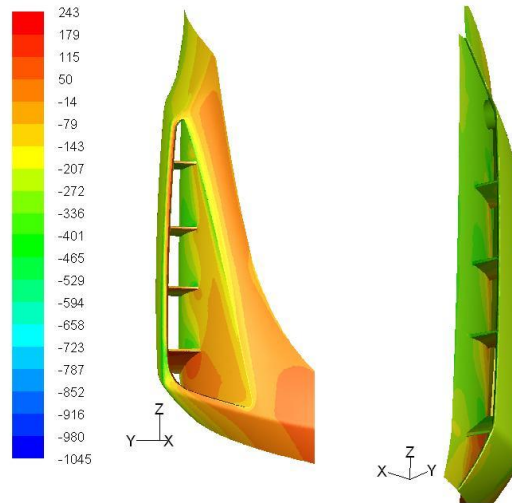
Şekil 2.10’da yan ayna (küçük ayna) üzerindeki basınç dağılımı ve maksimum basıncın etkidiği bölge görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi yan aynaya yüksek basınçların etki ettiği yüzey oldukça küçüktür, dolayısıyla yan ayna hareket yönüne

pratik olarak paralel bir konumda olduğu için, sürüklenme kuvvetine önemli bir katkısının olmayacağı, bu nedenle yan ayna için herhangi bir optimizasyon çalışmasının gerekli olmadığı anlaşılmaktadır. Genel olarak yan aynanın akışa karşı konumu uygundur.



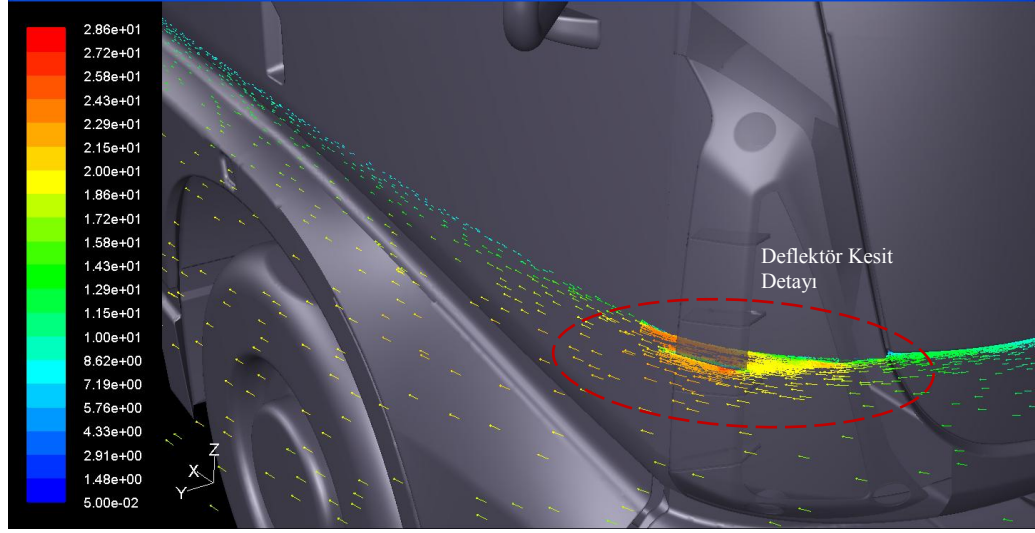
Şekil 2.11 : XY düzleminde hız vektörleri [m/s]

Şekil 2.11 “A” detayı incelendiğinde küçük aynada keskin hızlanmaların ve çeperden ayrılımların olmadığı görülmektedir. Öte yandan, “B” detayında, büyük aynanın bağlantı kollarında hızlanma ve çeperden ayrılımlar görülmektedir. Ancak, bağlantı kolunun kesit alanı küçük olduğu için bu durumun toplam sürüklenme kuvvetine çok az bir katkı yapacağı öngörülmektedir.

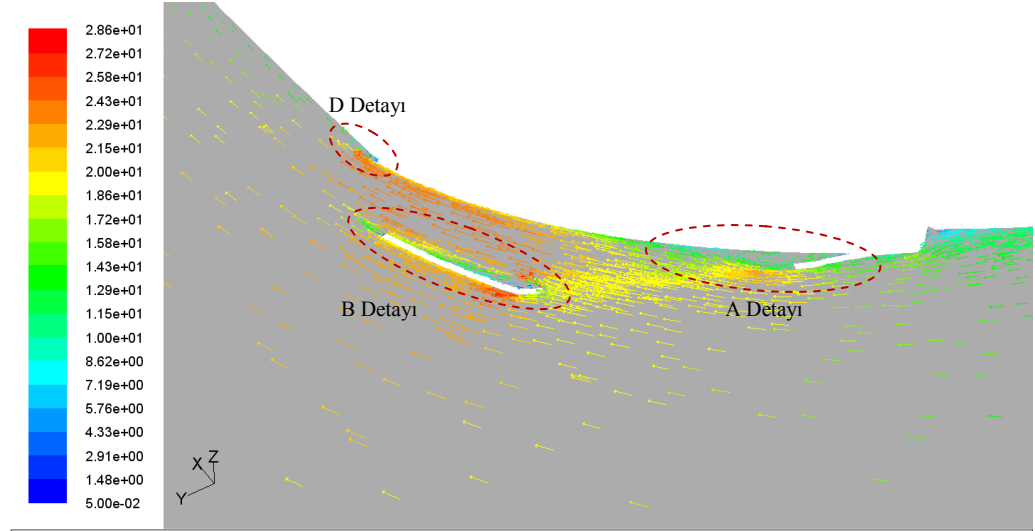


Şekil 2.12 : Yan deflektörler ön ve arka bölgelerde statik basınç dağılımları [Pa]

Şekil 2.12’de deflektörün ön ve arka yüzüne gelen statik basınç dağılımları gösterilmektedir. Uygun deflektör geometrisinin belirlenmesi ve analizi projenin hedeflerinden bir tanesi olması dolayısıyla, deflektör optimizasyonuna yardımcı olması nedeniyle kaba boyutlarıyla basit bir jenerik kamyon modeli oluşturularak üzerinde çeşitli deflektör tasarımlarının analizi yapılmış ve Bölüm 4’te ayrıntılı olarak incelenmiştir.



(a)

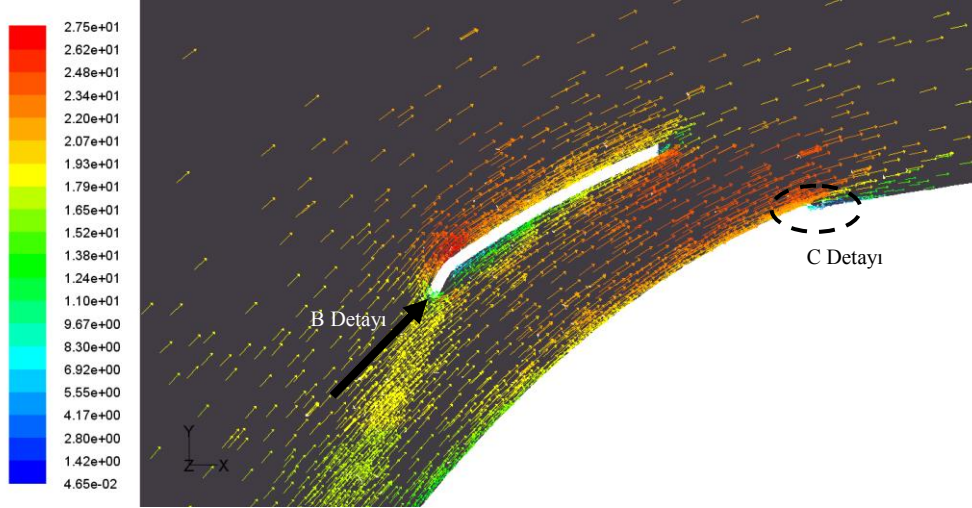


(b)

Şekil 2.13 : Yatay düzlemde hız vektörleri **(a)** Deflektör kesitinde hız vektörleri [m/s] **(b)** Deflektör kesit detayı, üstten görünüş [m/s].

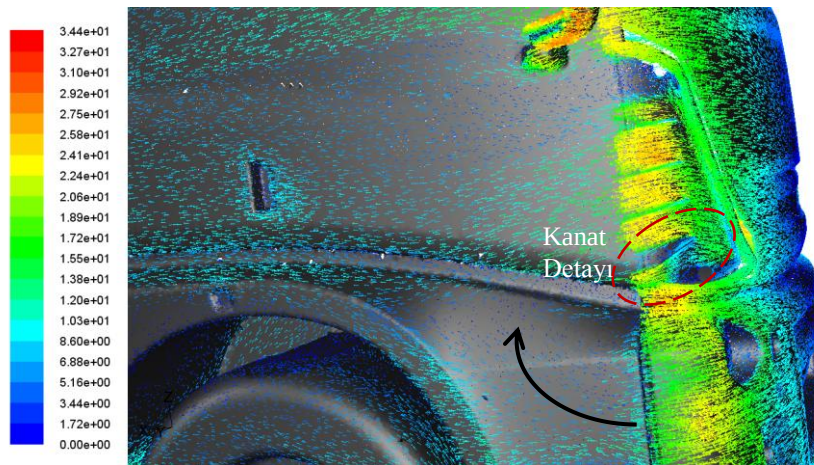
Şekil 2.13 (b)’de “A” detayı incelendiğinde, hava deflektöre girerken deflektör bağlantısının girişte yüzeyle aç yapması bu noktada bir ayrılmanın olmasına sebep olmaktadır. Bu durum deflektördeki akışın kararlılığını ve dolayısıyla deflektörden

beklediğimiz performansı olumsuz yönde etkilemektedir. B ve C detayları Şekil 2.14'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Daha sonra yapılan Deney-CFD karşılaştırmalarında da özellikle A detayındaki düzensizlik ayrıntılı olarak incelenmiştir.



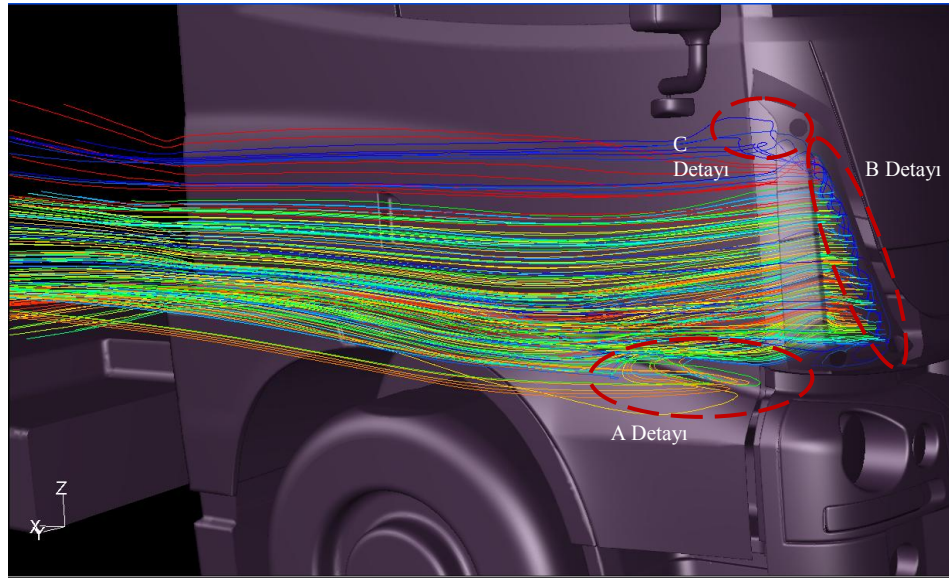
Şekil 2.14 : Bve C kesit detayları, XY düzleminde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş, 180° döndürülmüş.

Şekil 2.14'de “B” detayı incelendiğinde okla gösterilen akış yönünde deflektör girişinin geometrik hücum açısının akış doğrultusunda olmadığı, bunun sonucu olarak deflektör içinde akış ayrılması, deflektör dışında ise hızlanmalar olduğu görülmektedir. Bu durum hem deflektör performansını etkileyecek hem de sürüklenme kuvvetini az da olsa arttıracaktır. Ayrıca keskin köşeler akışı olumsuz etkilemektedir. “C” detayında ise deflektör bağlantısının yüzeye sıfır olmayışından dolayı yüzeyden istenmeyen bir akım ayrılmasının olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.15 : Kabin yüzeyinden 10mm dışarıda hız vektörleri [m/s]

Şekil 2.15’de verilen kanat detayında kanadın aşağı doğru yönlendirilmiş olması kanat altında hızlanmayı sağlamıştır. Buradaki hızlanmanın, kapı altından yukarı doğru yönelen ve deflektör altındaki oluktan gelen havayı engelleyebilecek konumda olduğu görülmektedir. Bu durum kanadın istenilen görevi yerine getirdiğini göstermektedir. Ancak kanadın üst tarafında hücum açısından dolayı ayrılma olduğu görülmektedir. Ayrılma deflektör içindeki akışın kararlılığını bozmakta ve sürüklenme kuvvetini de arttırmaktadır. Deflektör içinde akışın mümkün olduğunca düzgün olması için kanat sayısı ve açısı önemlidir.

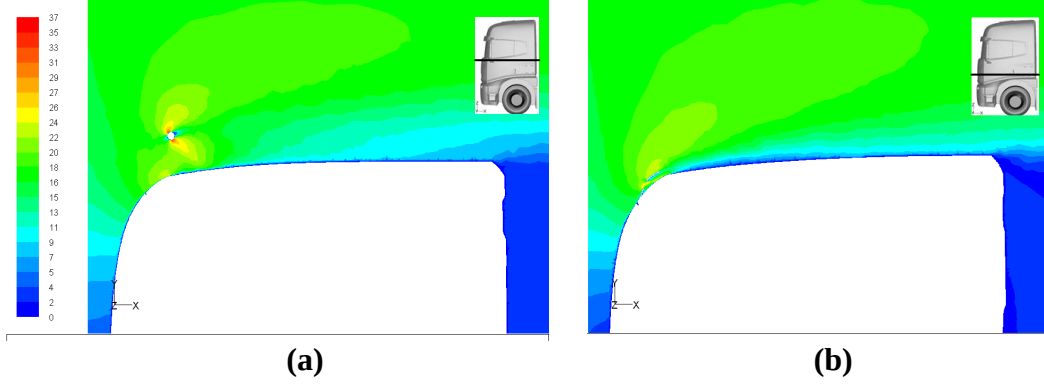


Şekil 2.16 : Deflektörden geçen akım çizgileri

Şekil 2.16’da görülen “A” ve “B” detayları yukarıda bahsettiğimiz durumları doğrulamaktadır. “A” detayında deflektörden gelen hava aşağıya doğru yönelen aşağıdan gelen akımı engellemektedir. “B” detayında deflektör girişi yüzeyde sıfır devam etmediği için yüzeyden ayrılma yaparak deflektör içindeki akışın kararlılığı bozulmaktadır. Burada ölü hacim oluşmaktadır. “C” detayında deflektör bağlantı elemanından kaynaklanan ölü hacim görülmektedir. Bu durum da akışı olumsuz etkilemektedir.

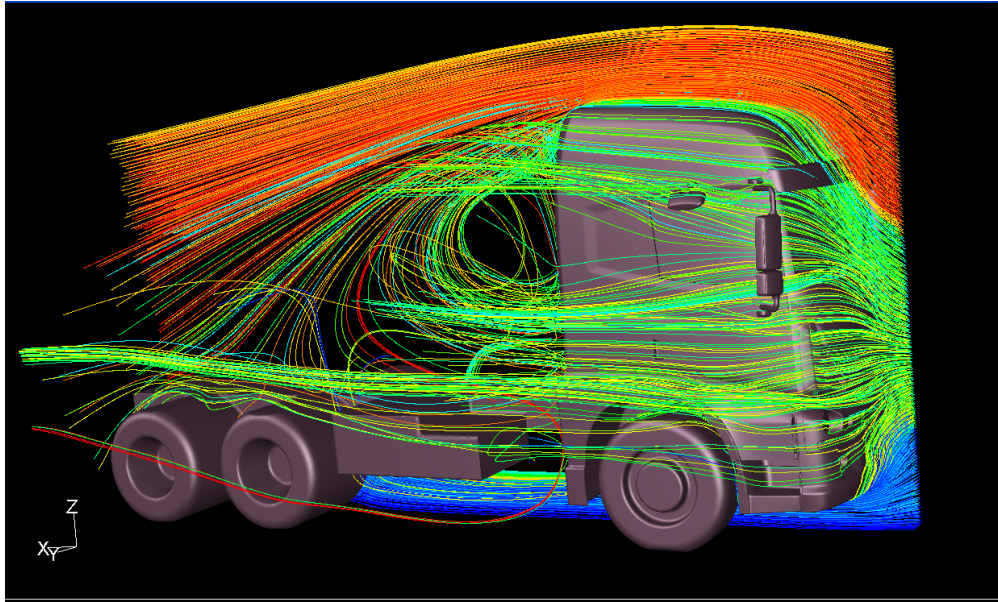
Bilindiği gibi sınır tabaka dolayısıyla, hız profili kabin yüzeyinden dışarıya doğru yaklaşık olarak parabolik bir artış göstermektedir. Şekil 2.17 (a)’da deflektör dışında kabinden XY düzleminde alınan kesitte hız gradyanı görülmektedir. Şekil 2.17 (b)’de ise deflektörün içinden XY düzleminde alınan kesitte hız gradyanı görülmektedir. Deflektör içerisinde fazladan bir hızlanma görülmemekle birlikte deflektörün yüzeyden ayrılmayı engellediği şekillerden açıkça görülmektedir. Deflektörden çıkan

hızlı hava akımının kabin yüzeyine daha yakın ve kararlı bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Bu durum deflektörün, tekerlekten kapı ve camlara doğru gelen çamuru engelleyecek hava perdesini oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, yüzeyden ayrılma engellendiği için deflektör kullanılması sürüklenme katsayısını da azaltıcı bir etki yapacaktır.



Şekil 2.17 : XY düzleminde hız konturları [m/s] **(a)** Deflektör dışında yatay kesit **(b)** Deflektör içerisinde yatay kesit.

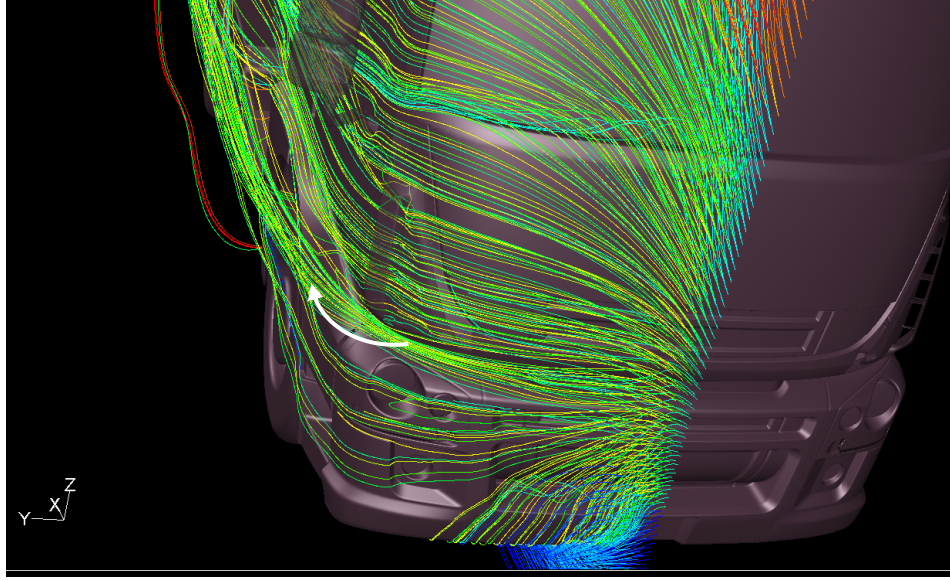
Şekil 2.18 incelendiğinde, akım çizgilerinin doğrultusu deflektör için daha önce bahsedilen öngörülerimizi doğrulamaktadır. Deflektör doğrultusu boyunca yüzeyden ayrılmanın engellendiği şekilden görülmektedir.



Şekil 2.18 : Kabin etrafında akım çizgileri

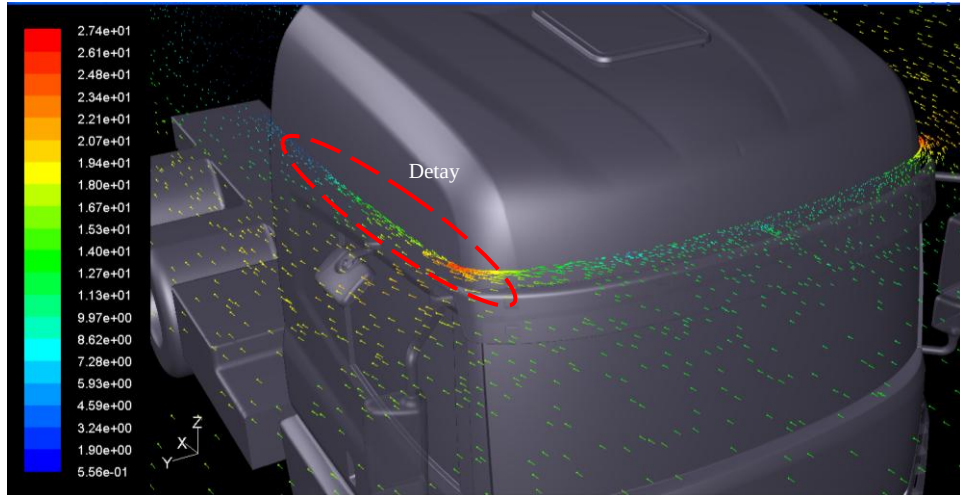
Şekil 2.19 incelendiği zaman, okla gösterilen yönde deflektörün alt oluğundan gelen havanın yüzeyden ayrılma yaptığı gözlemlenmiştir. Deflektör içinden gelen akımın ise kabin yüzeyine yakın seyrettiği gözlemlenmektedir. Ayrıca deflektör ve altındaki

oluk dışındaki yerlerde de akım çizgilerinin yüzeyden ayrılma gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu durum da deflektörün hava perdesi oluşturduğunu doğrulamaktadır.



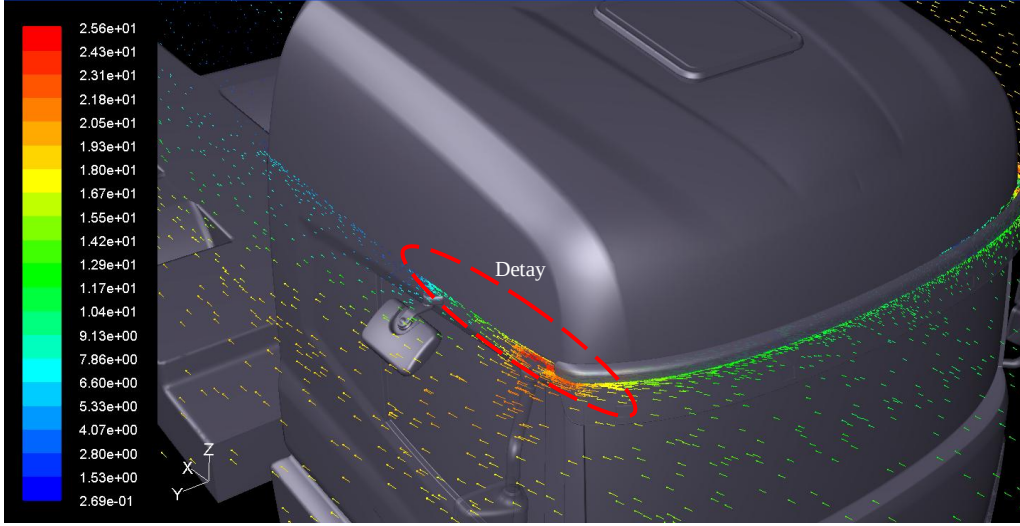
Şekil 2.19 : Kabin etrafındaki akım çizgileri

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’ de güneşliğin üzerinden alınan kesitte ve güneşlik kesitinde hız vektörleri görülmektedir. Detaylarda güneşlik yokken hız profilinin yüzeye yakın, güneşlik olan kesitte ise kabin yüzeyinden ayrılma ve düzensizlikler olduğu görülmektedir. Aşağıda Şekil 2.22’ de güneşlikte ve güneşliğin hemen üstünde alınan kesitlerin üstten görüşlerinde hız profilleri detaylı olarak incelenmiştir.



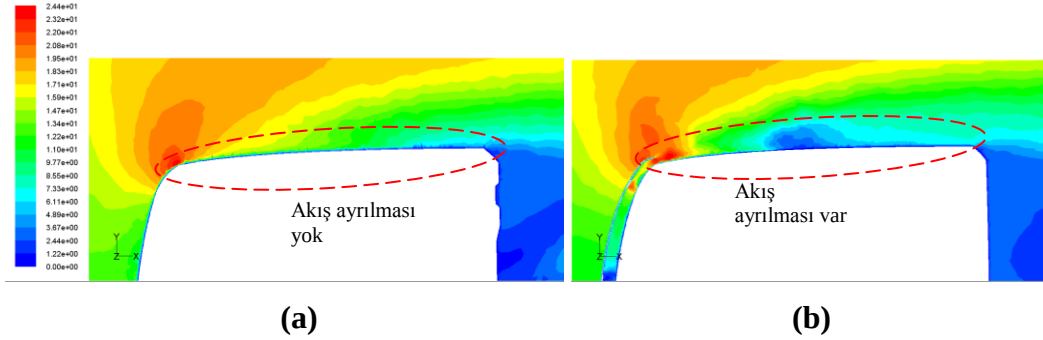
Şekil 2.20 : Güneşliğin üst kısmında yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]

Şekil 2.20’deki hız vektörlerinde hızın kararlı olup olmadığı net anlaşılmamakta, Şekil 2.22’deki yatay düzlemlerde daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 2.21 : Güneşliği kesen yatay düzlemde hız vektörleri [m/s]

Şekil 2.22’ de yukarıdaki şekillerde belirtilen yatay düzlemlerin üstten görünüşünde hız konturları verilmiştir. Hız konturları incelendiğinde güneşlik çıkıntısının akışı bozduğu görülmektedir.

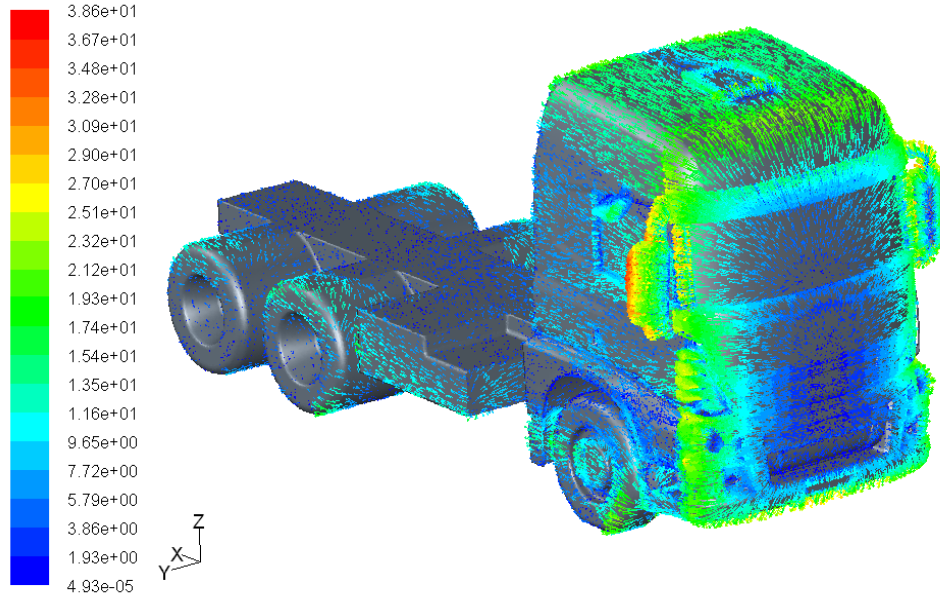


Şekil 2.22 : Yatay düzlemde hız konturları [m/s] **(a)** Güneşliği kesmeyen yatay düzlem **(b)** Güneşliği kesen yatay düzlem.

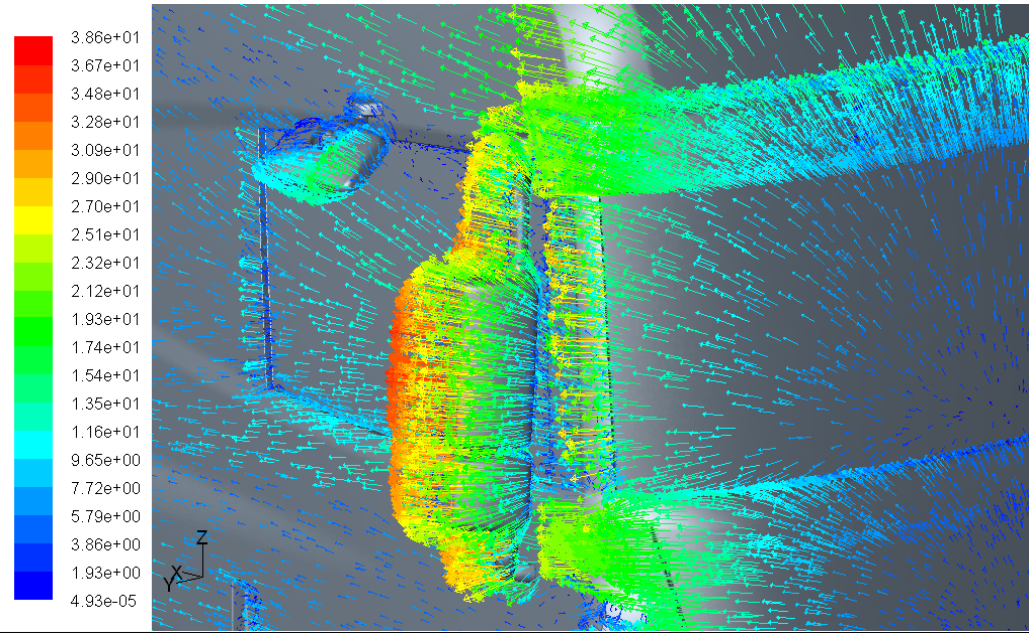
Şekil 2.22 (b)’de güneşlik olduğu zaman önemli oranda bir akış ayrılması olduğu ve Şekil 2.22 (a)’da güneşlik yokken bu ayrılmanın olmadığı, daha kararlı bir sınır tabaka akışı olduğu ortaya çıkmaktadır. Güneşlik kesitindeki akış ayrılması, sürüklenme kuvvetini arttırıcı yönde etki yapacaktır.

Öte yandan, güneşlik kullanımının zorunlu olduğu düşünüldüğünde, uygun bir tasarımla güneşliğin olumsuz etkisinin en aza indirilmesi mümkündür.

Güneşlik tasarımı ile ilgili ayrıntılı çalışmada (Bölüm 4) güneşliğin çıkıntıları üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılmış olup bunlar gerçek modelde uygulanmıştır.

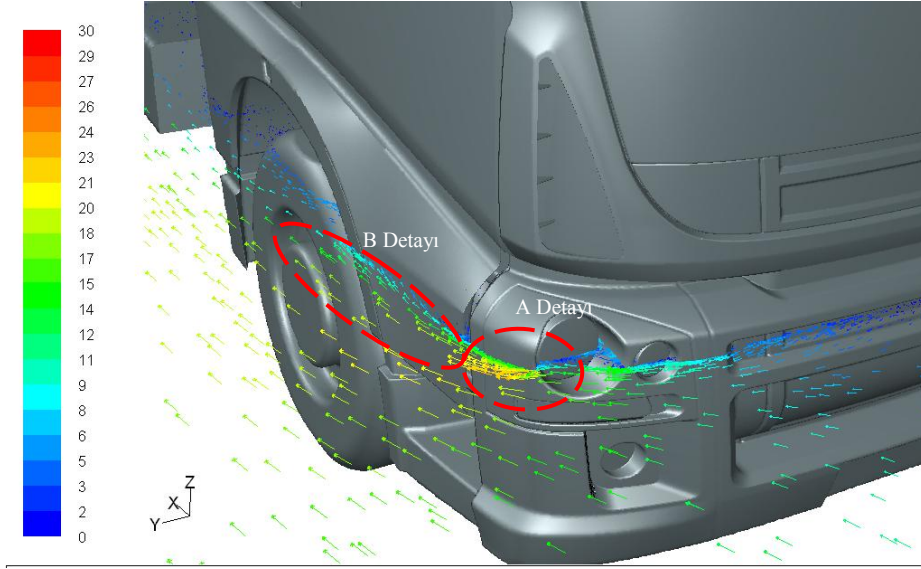


Şekil 2.23 : Kamyon yüzeyinden 5mm dışarıda hız vektörlerinin dağılımı [m/s]



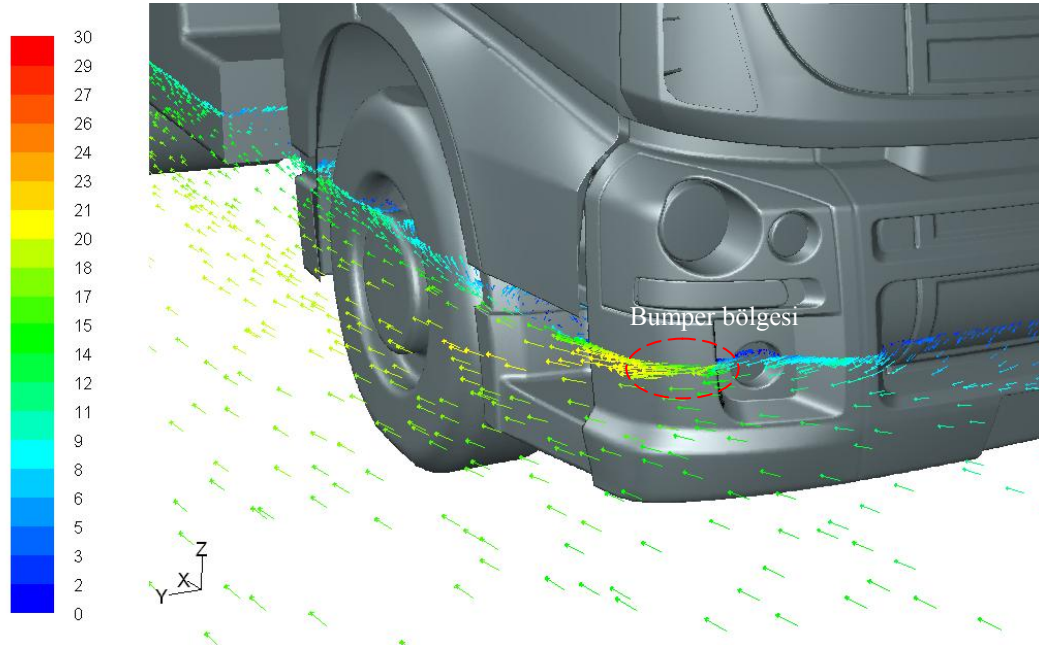
Şekil 2.24 : Kamyon yüzeyinden 5mm dışarıda hız vektörlerinin dağılımı [m/s]

Şekil 2.23 ve Şekil 2.24 incelendiğinde yüzeyden 5 mm dışarıda hız vektörlerinin dağılımı görülmektedir. Kamyon modelimiz kasasız olduğu için kabin arkasındaki ölü akış bölgesi, düşük hızlar net olarak görülebilmektedir. Bununla beraber Şekil 2.24 incelendiğinde ayna geometrisinden dolayı keskin hızlanmaların olduğu gözlemlenmektedir. Ayna ile ilgili optimizasyon çalışması Bölüm 4’ te ayrıntılı olarak incelenmiştir.



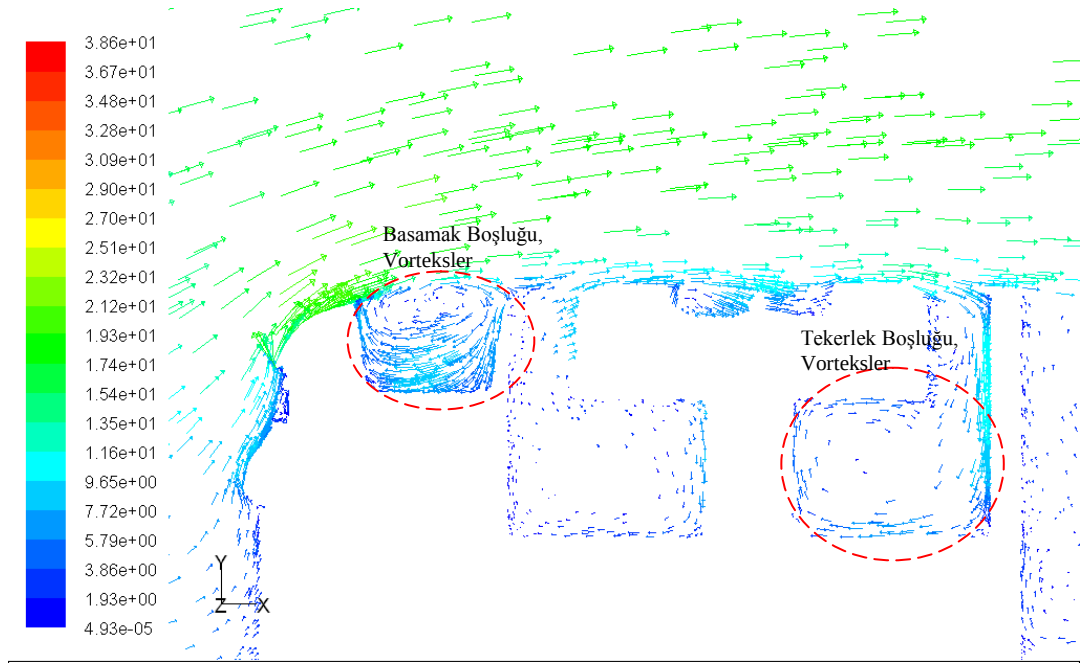
Şekil 2.25 : Yatay düzlemde hız vektörleri [m/s], far ve kapı altı bölgesi

Şekil 2.25’de “A” detayı incelendiğinde farların keskin köşelerinden dolayı hızlanmaların ve yüzeyden akış ayrılmasının meydana geldiği görülmektedir. Bu durum sürüklenme kuvvetini arttıracaktır. “B” detayında ise kapı altında merdiveni örten uzantının yüzeyden ayrılmayı önlediği ve akışı kararlı hale getirdiği görülmektedir. Bu durum sürüklenme kuvvetini azaltıcı etki yapacaktır.



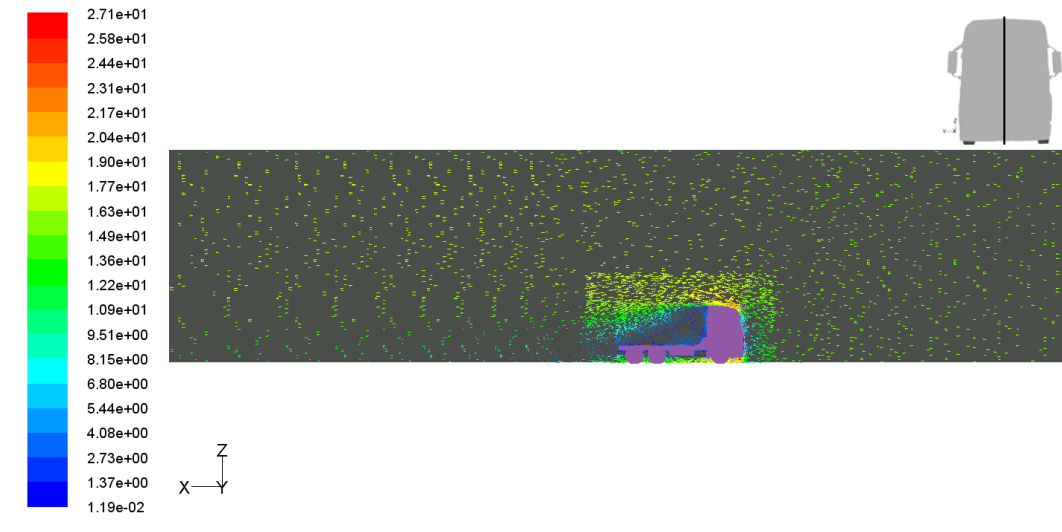
Şekil 2.26 : XY düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], alt deflektör (bumper) kapalı.

Şekil 2.27’de yatay düzlemde hız vektörleri incelenmektedir. Bumper aksesuarının yararlı olup olmadığı kararına varabilmek için bu bölgede detaylı çalışma yapılmıştır.

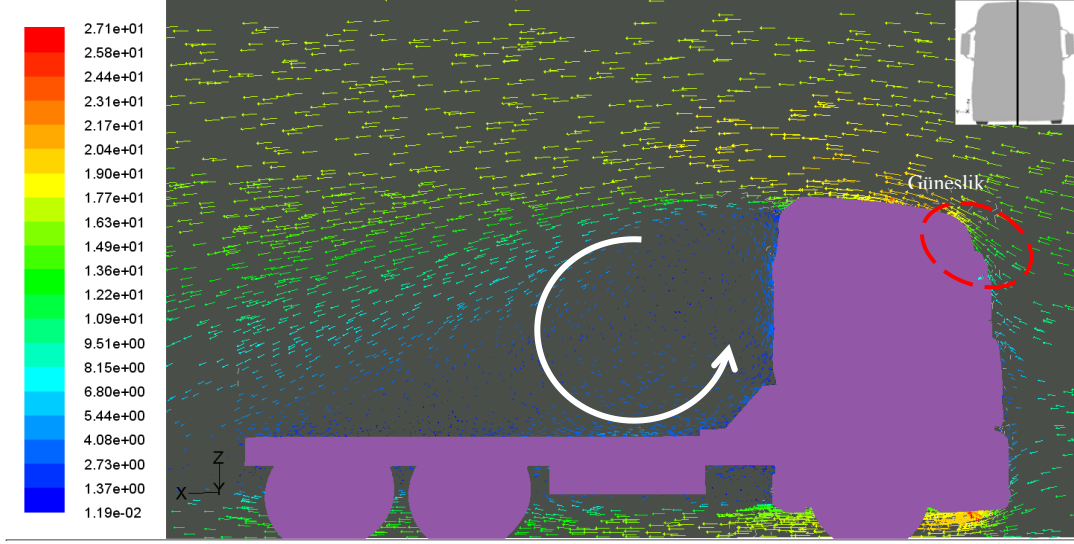


Şekil 2.27 : XY düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], üstten görünüş

Bu çalışmada analizi yapılan model, deneylerde kullanılacak modele uygun olarak alt deflektör (bumper) kapalı olarak incelenmiştir. Şekil 2.26 ve Şekil 2.27’de, alt deflektör (bumper) detayında keskin köşeden dolayı ölü bir bölge oluştuğu ancak yüzeyden akış ayrılması oluşmadığı gözlemlenmektedir. Basamak boşluğunda ise girdap/vortekslerin oluştuğu görülmektedir. sürüklenme katsayısının azaltılması için, tekerlek ile kabin arasındaki açıklık mümkün olduğunca kapalı tasarlanmalıdır.

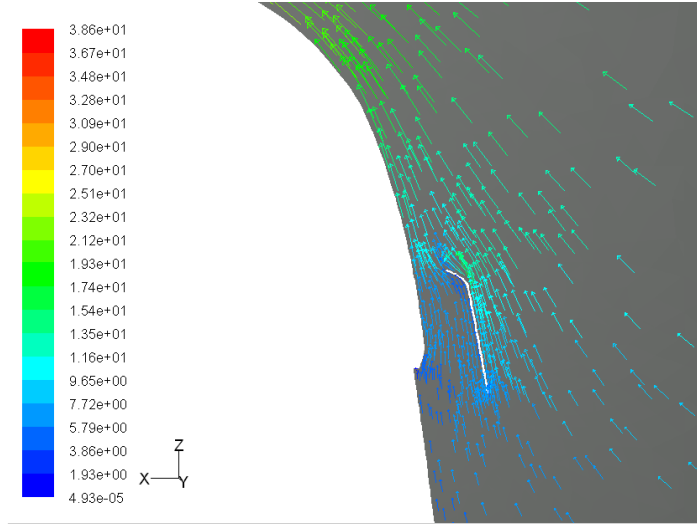


Şekil 2.28 : XZ düzleminde hız vektörlerinin dağılımı [m/s], yandan görünüş



Şekil 2.29 : XZ düzleminde hız vektörlerinin dağılımı (m/s), yandan görünüş

Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da kamyon orta kesitindeki XZ düzleminde ($y=0$ düzleminde) hız vektörleri görülmektedir. Şekil 2.29'da kabinin arkasında oluşan büyük girdap/vorteksler ok ile gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan modelde kasa olmadığı için bu çalışma da sadece kabin ve şase ile yapılmıştır. Kasalı kamyon modelinin analizleri son şekli verilmiş geometri ile ilerideki çalışmalarda yapılması planlanmıştır.



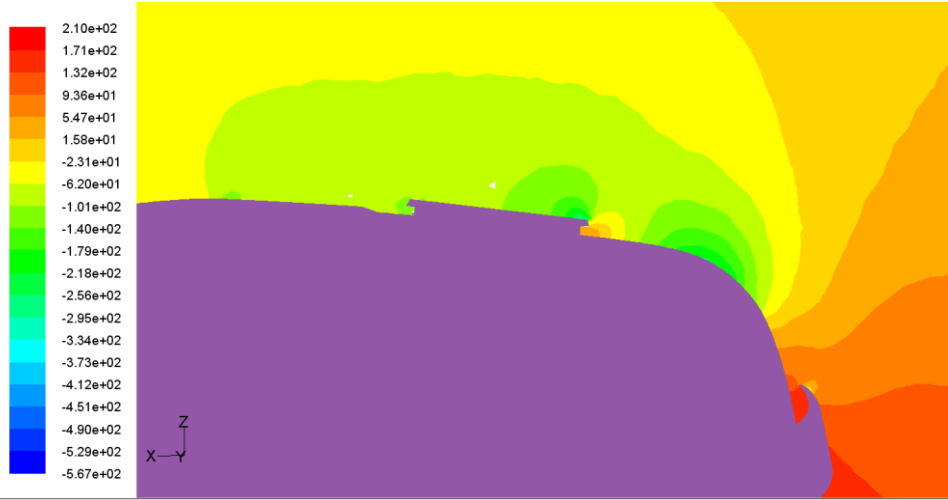
Şekil 2.30 : XZ düzleminde hız vektörleri [m/s], güneşlik detayı

Şekil 2.30'da güneşlik içinden ve dışından geçen akımın olumsuz bir hızlanma ve akış ayrılmasına neden olmadığı görülmektedir. Bu durum XZ kesitinde güneşliğin akışa karşı geometrisinin uygun olduğunu göstermektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere, güneşlik uçlarında oluşan akış ayrılmasının en aza indirilmesi çalışmaları ise Bölüm 4'de incelenmiştir.



Şekil 2.31 : XZ düzleminde statik basınç dağılımı [Pa]

Şekil 2.31’de kabinin önünde statik basıncın arttığı, arkasında ise vakum basıncı olduğu görülmektedir. Bu basınç farkının sürüklenme kuvvetinin en temel nedeni olduğu aşıkardır. Kasalı kamyon durumunda basınç kuvvetlerinde değişme olacağı, kasadaki aerodinamik iyileştirmelerle (özellikle kabin arkası bölgelerindeki iyileştirmeler ve kasa ile kabin arasındaki boşlukta yapılan çalışmalarla) sürüklenme katsayısının büyük oranda azaltılacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.32 : XZ düzleminde statik basınç dağılımı [Pa], acil çıkış detayı, yandan görünüş.

Şekil 2.32’de acil çıkışın ön kısmında statik basıncın arttığı, arkalarında ise vakum oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu durum sürüklenme kuvvetini arttırmaktadır. Buradaki keskin köşelerin mümkün olduğu kadar giderilmesi gerekmektedir. Burada önemli bir nokta da kamyonun ana hatlarına bağlı kalmaktır.

2.4.3 Deney öncesi CFD ön çalışmasının değerlendirilmesi

Yukarıda analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde incelenen CFD ön çalışması, deney öncesi öngörü oluşturma amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma sayesinde, kamyon etrafında temel akış karakteristiği elde edilmiş, dış aksesuarlara ait ayrıntılı incelemeler ile, “sorunlu”, bir başka ifadeyle mevcut duruma göre iyileştirme yapılabilecek noktalar belirlenmiştir. Ayrıca, Ankara Rüzgar Tüneli’nde yapılacak deneyler esnasında özellikle hangi bölgelere odaklanmamız gerektiği de belirlenmiştir.

Kabin ana geometrisinin akış aerodinamiği açısından “sorunlu” olmaması ve kabin ana geometrisi üzerinde değişiklik konusunda fazla inisiyatifimizin olmaması nedeniyle özellikle iyileştirme yapılabilecek yerlere önem verilmiştir. Bunlar sırasıyla deflektörler, alt deflektör (bumper), aynalar, güneşlik ve diğer dış aksesuarlardır.

Deflektör, alt deflektör (bumper), ayna ve güneşlik bölgelerinde beklenen akış karakteristikleri raporun bu bölümünde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Deneylerde, kuvvet ölçümü (C_d), basınç ölçümü ve akış görüntüleme yöntemleri (duman testi, iplikçik testi, yağ testi) kullanılacağı kararlaştırılmıştır. Yukarıdaki çalışmada akış görüntüleme yöntemleri açısından öngörü oluşturacak görüntüler incelenmiştir. Kuvvet ölçümleri ve basınç ölçümleri için ise deneyle birebir koşullara sahip CFD analizinin incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, Ankara Rüzgar Tüneli ve deneydeki akış/akışkan şartları ve kamyon geometrisinin birebir CFD modeli oluşturulmuş ve Bölüm 3' te deney sonuçları ile karşılaştırılarak ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ VE CFD İLE KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 Amaç

CFD sonuçlarını doğrulamak amacıyla Ankara Rüzgar Tüneli'nde 1:5 ölçekli bir kamyon modeli ile rüzgar tüneli testleri yapılmıştır. Rüzgar tünelinin test odasının boyutları 3.05 x 2.44 x 6.1 m' dir. Rüzgar tünelinde sağlanan koşulların aynısı CFD ile modellenerek analizler yapılmış ve bu analizler rüzgar tüneli testleri ile birebir karşılaştırılmıştır. Bunu elde edebilmek için kuvvet ve basınç ölçümlerinden hemen sonra akım görüntüleme testleri yapılmıştır.

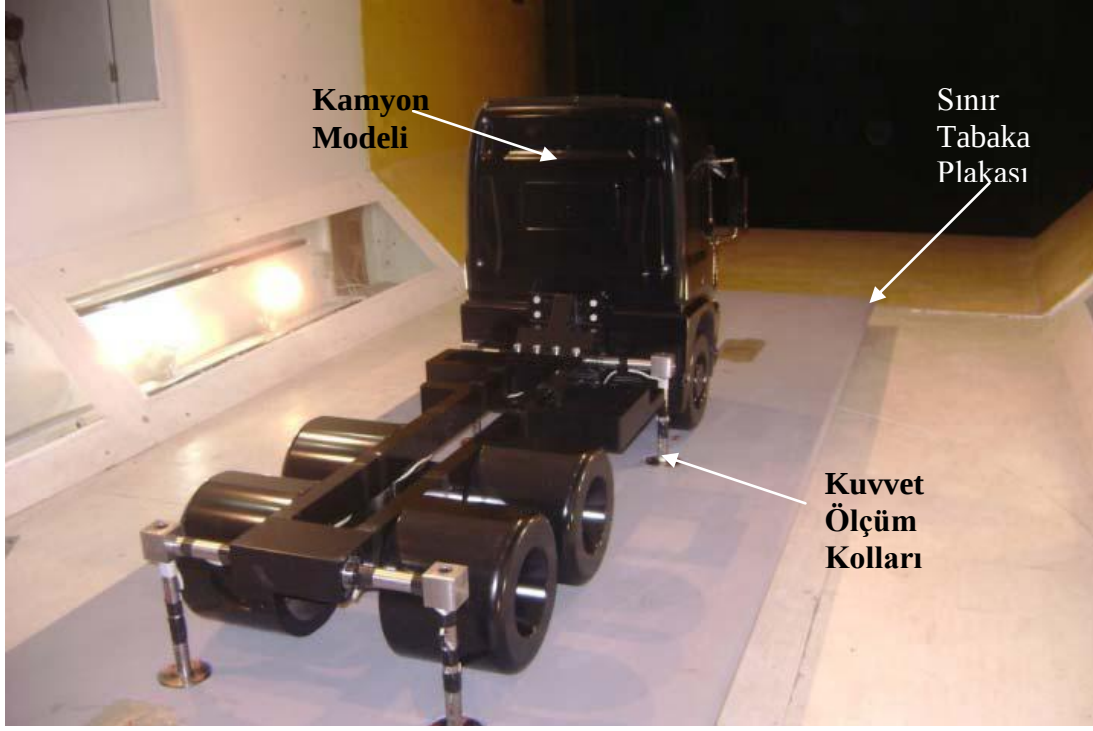
Özellikle sürüklenme kuvvetini azaltıcı yönde akım karakteristiklerini (akım ayrılmaları, vorteksler vb.) doğru olarak analiz edebilmek amacıyla bazı akım görüntüleme testleri yapılmıştır. Kuvvet ve basınç ölçümleri yapıldıktan sonra sırasıyla duman testi, yağ testi ve iplikçik testi yapılmıştır.

Testler değişik hızlarda yapılmış olup tünelde ulaşılan maksimum hız 70 m/s' dir ve sırasıyla 20, 30, 40, 50, 60 ve 70m/s hızlarda ölçümler alınmıştır. Sonuçlarda tutarlılığı sağlamak için testlerde 3'er ölçüm alınmıştır.

Basınç ölçümlerinde kamyon modelinin belirli noktalarına uyarlanmış olan 63 problu vana kullanılmıştır. Problardan bir tanesi ortam basıncını ölçmek için serbest bırakılmıştır.

3.2 Model Hazırlama Aşaması

Ankara Rüzgar Tüneli'nin birebir CFD modelinin hazırlanması deneylerden sonra yapılmıştır. Rüzgar tünelinde deneyler esnasında deney modeli ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve CFD analizi için CFD grubu tarafından modellenmiştir. CFD modelinde, deney modelinin balans kollarından kaynaklanan yerden yükseklik, sınır tabaka oluşumunu önlemek için kullanılan alt plaka dahil olmak üzere, tünelin birebir boyutları modellenmiştir. Aşağıdaki şekillerde deney ve CFD modellerinin resimleri görülmektedir.



Şekil 3.1 : Kamyon deney modeli (1:5 ölçek) ankara rüzgar tüneli'nde.

Şekil 3.1'de kamyon deney modelinin Ankara Rüzgar Tüneli'ne yerleştirilmiş hali görülmektedir. Modelin altında görülen plaka sınır tabaka gelişimini azaltmak için konulmuştur. Yerden yüksekliği yaklaşık 11 cm' dir. Kuvvet ölçüm kolları ise üzerine strain gage elemanları yerleştirilmiş ufak balans sistemleridir. Kuvvet kollarından dolayı da modelimiz plakaya göre yaklaşık 2 cm yukarıda kalmıştır. Ayrıca tünelde ışıklandırma için kullanılan köşeler, tünelin gerçek uzunluğu, plakanın genişlik ve uzunluğu da CFD analizi için modellenmiştir. Birebir tünel şartlarında CFD modelimiz hazırlanırken yukarıda bahsettiğimiz bütün geometrik özellikler göz önüne alınmıştır.

Şekil 3.2'de a ve b resimlerinde, üç boyutlu kamyon geometrisinin detaylı görünümü ve rüzgar tüneli modeli görülmektedir.

Rüzgar tünelinin köşeleri dahil olmak üzere tünel yaklaşık olarak modellenmiştir.

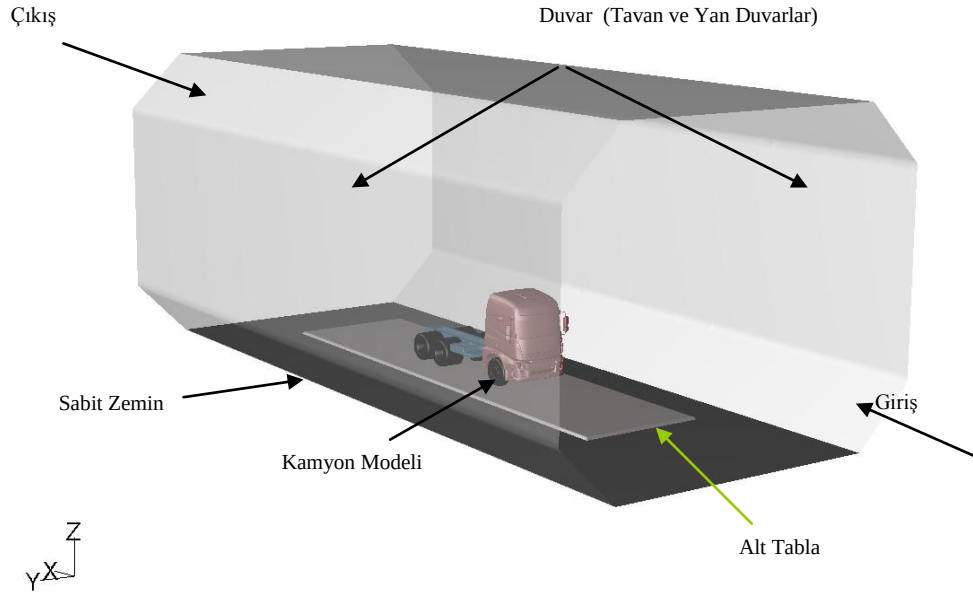
Ayrıca kabinin altına yerleştirilen sınır tabaka plakası da modellenmiştir.

Rüzgar tüneli kamyon modeli 1/5 ölçekte imal edilmiş olup analizler de 1/5 ölçekte yapılmıştır.

Kuvvet ölçüm kolları CFD'de modellenmemiş olup kabin dışında olmasından dolayı sürüklenme kuvvetine etkisi ihmal edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.2 : (a) CFD kamyon modeli (b) Akış hacmi (rüzgar tüneli)

Şekil 3.2’de Ankara Rüzgar Tüneli ve kamyon modelimizle birebir hazırlanmış CFD akış modelimiz görülmektedir. Modelin geometrik boyutları deney modelinin boyutlarıyla aynıdır. Kamyon modelimizin yüzey çözüm ağı deney öncesi yapılan CFD çalışmasındaki yüzey çözüm ağı ile aynıdır (bkz. Şekil 2.3 ve 2.4). Gambit ortamında oluşturulan yaklaşık 22 milyon tetrahedral hacim çözüm ağı elemanı Fluent ortamında Polyhedral tip hacim elemanına dönüştürülerek yaklaşık 9 milyon hacim elemanından oluşan bir çözüm ağı elde edilmiştir.

3.3 Deney Koşullarında CFD Sonuçlarının İncelenmesi

Rüzgar tüneli deneylerinde kuvvet ölçümleri 3 ayrı test şeklinde yapılmıştır. Test 1 ve Test 2' de 20, 30, 40, 50 ve 60 m/s hızlarında, Test 3' te ise 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 m/s hızlarında kuvvet ve basınç ölçümleri alınmıştır. CFD çalışmaları bu hızlar göz önüne alınarak 6 farklı hızda yapılmıştır.

CFD çalışmalarında dış aerodinamik akışlar için yaygın olarak kullanılan Realizable k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Ayırıklaştırma işlemlerinde, birinci, ikinci ve üçüncü mertebe çözüm yöntemleri kullanılarak çözüme olan etkileri incelenmiştir. Birinci ve ikinci mertebe çözümlerde ortaya çıkan farklılıklar, ikinci ve üçüncü mertebe çözümlerde ortadan kalkmıştır. Aşağıda kullanılan akış/akışkan modeline ait ayrıntılar verilmiştir.

3.3.1 Akış modelinin seçimi

Aşağıda farklı kullanılan çözüm yöntemi ve akış parametreleri verilmiştir. Öncelikle, birinci ve ikinci mertebe çözümler karşılaştırılmıştır.

3.3.1.1 Akış parametreleri

Çözüm: Pressure Based, 3d, Steady, Least Squares Cell Based

Model: k- ϵ , Realizable, Non-Equilibrium Wall Functions

Akışkan: Hava

Yoğunluk: 1.225 kg/m³

Sınır Şartları: Girişte Hız (Velocity Inlet), Çıkışta Basınç Sınır Şartı (Pressure Outlet).

Çıkış Basıncı: Atmosfer Basıncı (101325 Pa)

*Ölçek:*1/5

Yukarıda verilen akış parametreleri hem Case-1 hem de Case-2 durumu için geçerlidir. Case-1 ile Case-2 arasındaki fark yukarıdaki akış parametrelerinin sabit kalması koşuluyla sadece ayırıklaştırma yönteminde Türbülans Disipasyon denklemindeki ayırıklaştırmanın birinci ve ikinci mertebe olmasıdır. Aşağıda Case-1 ve Case-2 için her bir denklem için kullanılan ayırıklaştırma mertebesi verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Case-1 ve Case-2 çözümlerinde kullanılan denklemlerin ayrıklaştırılması.

	Basınç	Momentum	TKE	TDO
Case-1	Standart	Second Order	Second Order	<u>First Order</u>
Case-2	Standart	Second Order	Second Order	<u>Second Order</u>

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi Case-1’de türbülans disipasyon denklemi birinci mertebeden ayrıklaştırma, Case-2’ de ise ikinci mertebeden ayrıklaştırma yapılarak çözülmektedir.

3.3.1.2 Case-1 ve Case-2 durumlarının karşılaştırılması

Yukarıda belirtilen iki durum incelendiğinde analizi yapılan 7 farklı hız değeri için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

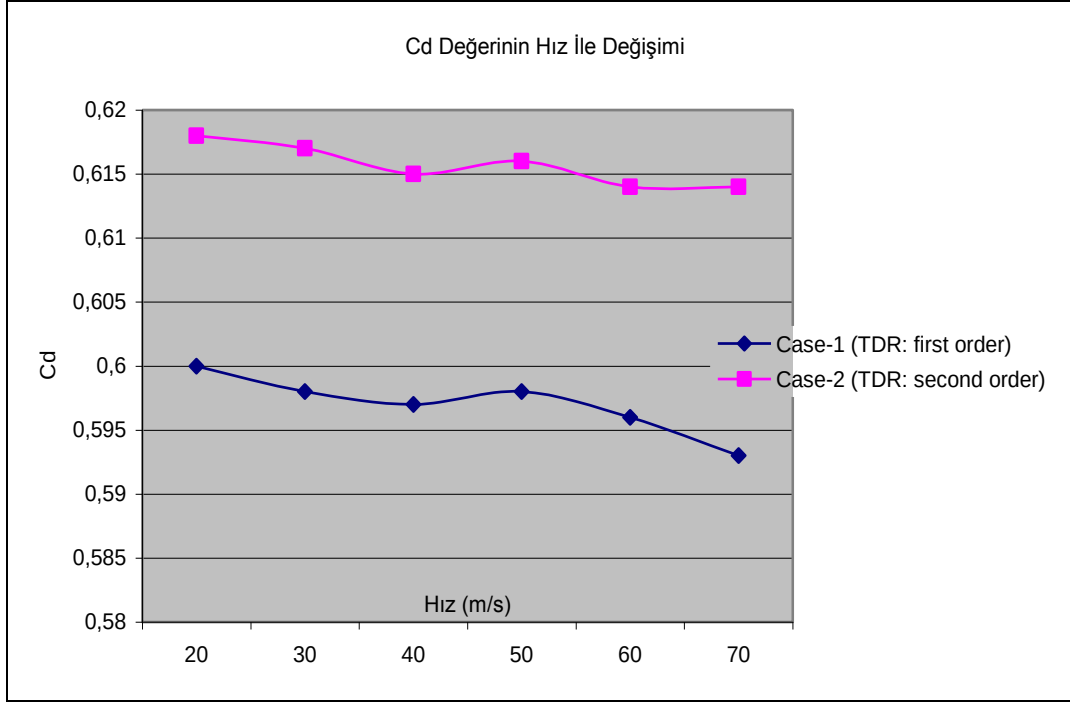
$$C_d = \frac{F_t}{\left(\frac{1}{2} \rho V^2 A\right)} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2 : Case 1 ve Case 2 'nin sürükleme katsayılarının karşılaştırılması

V [m/s]	CASE 1 (TDO: <i>First Order</i>)				CASE 2 (TDO: <i>Second Order</i>)			
	Fv (N)	Fp (N)	Ft (N)	C _d	Fv (N)	Fp (N)	Ft (N)	C _d
20	1.316	46.791	48.108	0.600	1.500	48.100	49.604	0.618
30	2.708	105.161	107.869	0.598	3.100	108.280	111.380	0.617
40	4.530	187.160	191.690	0.597	5.198	192.450	197.649	0.615
50	6.760	293.490	300.262	0.598	7.780	301.160	308.940	0.616
60	9.380	421.210	430.590	0.596	10.79	432.999	443.797	0.614
70	12.410	571.360	583.770	0.593	14.281	589.932	604.213	0.614
140	43.640	2287.283	2330.878	0.593	50.334	2358.036	2408.370	0.612

Çizelge 3.2’de tünel şartlarını birebir içeren modellerde "TDO-Türbülans Disipasyon Oranı"nın case 1 için "birinci mertebe (first order)", case 2 için ise "ikinci mertebe (second order)" alınması durumlarında C_d katsayısındaki değişim gösterilmiştir. Şekil 3.3’deki grafikte bu değişim görülmektedir. Ayrıca, fan gücünün yetersiz kalması nedeniyle deney şartlarında test edilemeyen, ancak gerçek yol şartlarına uygun bir hız olması itibarıyla, yukarıda 140 m/s hız için yapılan CFD analiz sonuçları da gösterilmiştir. Ölçekli modelde olduğu gibi, 140 m/s analizi ile gerçek

koşullarda da (1/1 ölçek için, Reynolds Benzeşimi ile, 100 km/h) C_d 'nin önemli bir değişim göstermediği belirlenmiştir.



Şekil 3.3 : Case-1 ve Case-2 için C_d değerlerinin araç hızı ile değişimi

Şekil 3.3'deki grafikte Case-1 ve Case-2 durumları arasında ortalama %2.9 luk bir sapma görülmektedir. Yapılan bu çalışmanın yeterli olmadığını düşünerek birkaç farklı durum için daha analiz yapıp sonuçları incelenmiştir. Aşağıda, çözülen denklemler, bir üst mertebe doğruluk olan “üçüncü mertebe-third order” doğrulukta ayırıklaştırma yapılarak çözümler elde edilmiştir. Ayrıca, yukarıdaki analizlerde, deney ortam basıncı ile CFD analizlerinde göz önüne alınan ortam basınçları arasında çok küçük farklılıklar vardır. Bunun olası etkisini incelemek için, Case-4'de CFD ortam basıncı tam olarak deney ortam basıncına ($p = 89632$ Pa) eşit alınmış ve sonuçlar Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Third order- second order ve $P=101325$ Pa - $P=89631$ Pa basınç için karşılaştırmalar, $V = 60$ m / s.

	Fv[N]	Fp[N]	Ft[N]	C_d
Case 2 (Second Order, $P=101325$ Pa)	10.8	432.9	443.8	0.614
Case 3 (Third Order, $P=101325$ Pa)	11.1	430.6	441.6	0.611
Case 4 (Second Order, $P=89631$ Pa)	10.8	432.9	443.7	0.614

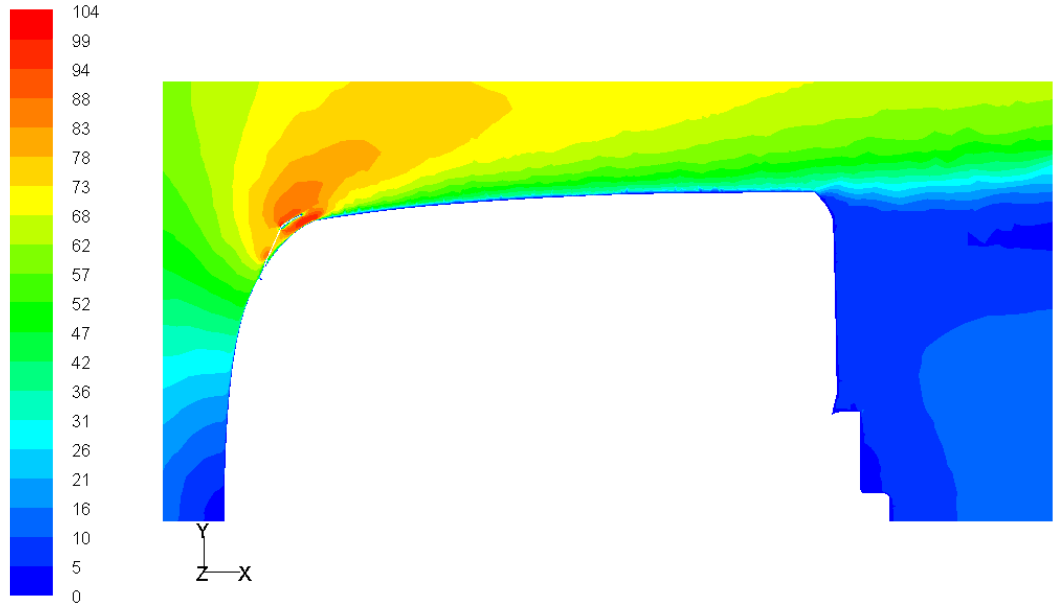
Çizelge 3.3'de ikinci mertebe (second order) ile üçüncü mertebe (third order) doğruluk arasında kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. Yani çözümün yakınsadığını söyleyebiliriz. Bu durumda, analizlerin ikinci mertebe

doğrulukta yapılmasının gerekli ve yeterli olacağı ortaya çıkmıştır. Deney esnasında ortam basıncı yaklaşık 6.89 kPa olarak ölçülmüştür. Ancak, analizini yaptığımız ilk 3 case standart 1 atm yani yaklaşık 101 kPa ortam basıncında yapılmıştır. Case-4 analizinin sonucu incelendiğinde, küçük ortam basıncı değişikliğinin sürüklenme katsayısı C_d değerinde bir değişime yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Sürüklenme katsayısı C_d değerlerinin yanında akış karakteristiğinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Kamyon etrafındaki akışın karakteristiğinin göz önüne alınan hız aralığında fazla değişmeyeceği öngörülmektedir.

Aşağıdaki bölümde akış karakteristikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.3.1.3 Akış karakteristiklerinin tespiti

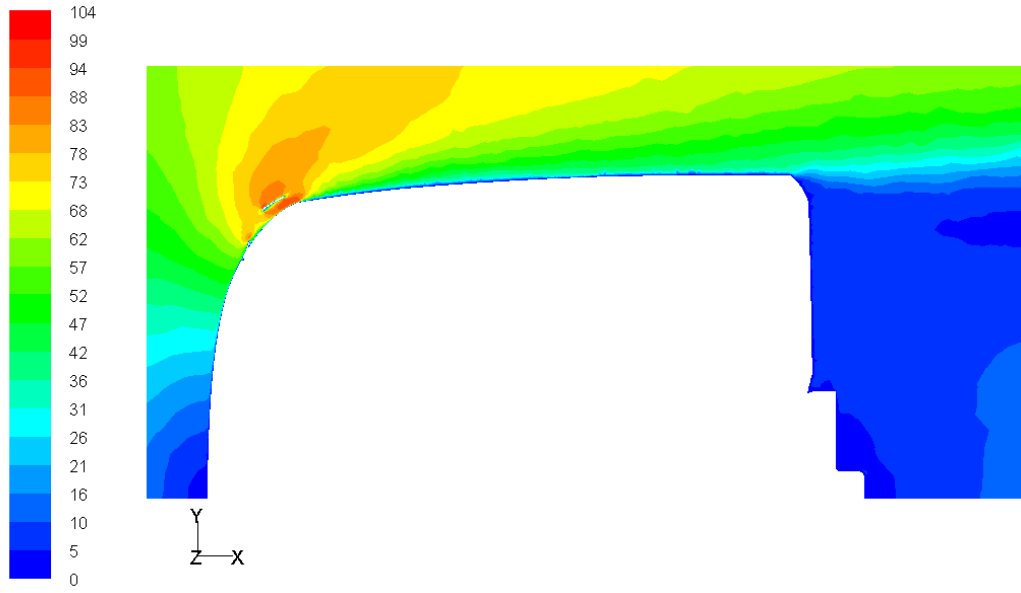


Şekil 3.4 : V=60 m/s hızda case 1 (TDR: first order) için xy düzleminde hız konturları [m/s], üstten görünüş.

Bu çalışmadaki en önemli hedeflerimizden birisi de deflektör aksesuarının görevini yerine getirmesini en iyi şekilde sağlayabilmektir. Bu sebeple, özellikle deflektör bölgesine yoğunlaşmıştır.

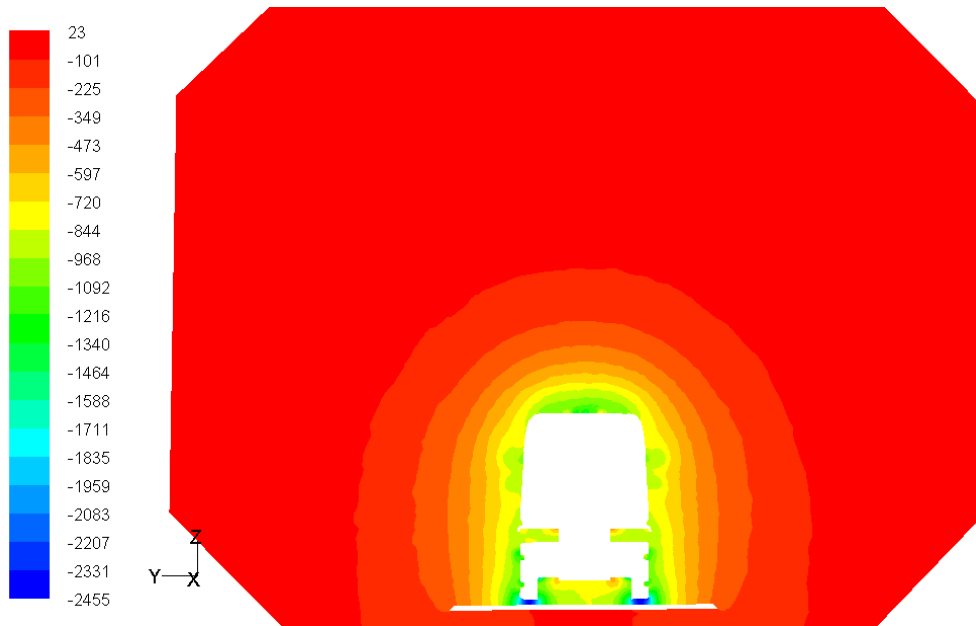
Şekil 3.4'te 60 m/s hızda case 1 için xy düzleminde hız dağılımları görülmektedir. Aşağıda Şekil 3.5'de ise 60 m/s hızda case 2 için xy düzleminde hız dağılımları görülmektedir.

Bu çalışmada farklı deflektör düzlemlerinde (yatay düzlemlerde) kesitler alınarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



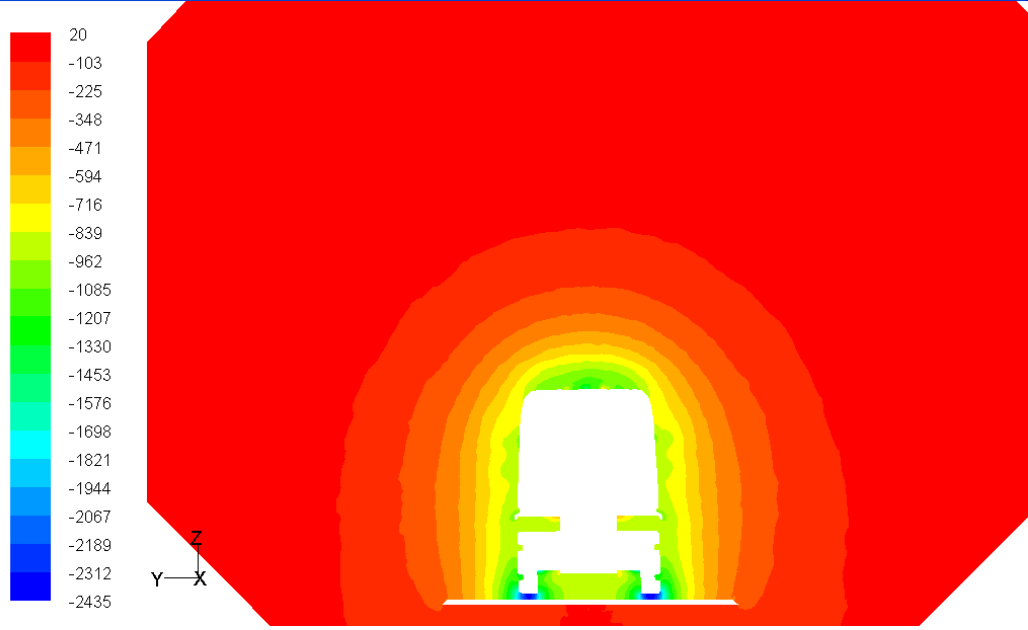
Şekil 3.5 : $V=60\text{m/s}$ hızda case 2 (TDR: second order) için xy düzleminde hız konturları [m/s], üstten görünüş.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 incelendiğinde hız konturlarının büyük oranda aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.6 : $V = 60 \text{ m/s}$ hızda Case 1 (TDR: first order) için yz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa].

Şekil 3.6'da yz düzleminde case 1 için (TDR: first order) statik basınç konturları verilmiştir. Şekil 3.7'de ise case 2 için (TDR: second order) aynı x koordinatında yz düzleminde statik basınç dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.7 : $V = 60$ m/s hızda Case 2 (TDR: second order) için yz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa].

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 karşılaştırıldığında kamyon modeli etrafındaki statik basınç dağılımında farklılık oluşmadığı gözlemlenmektedir. Yukarıdaki şekiller incelendiğinde Case 1 (TDR: first order) ve Case 2 (TDR: second order) durumları için akış karakteristiğinde bir farklılık olmadığı gözlemlenmektedir. Ayrıca second order ayrıklaştırma yönteminin (case 2) daha doğru sonuç vereceği bilinmektedir. Bu iki sonuç göz önüne alındığında bu raporda sadece case 2 (TDR: second order) ayrıntılı sonuçları incelenecektir.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de basınç dağılımları incelendiğinde tünelin boyutlarının analiz için yeterli olduğu görülmektedir. Aşağıda kamyonun tüneldeki blokaj oranı hesaplanmıştır.

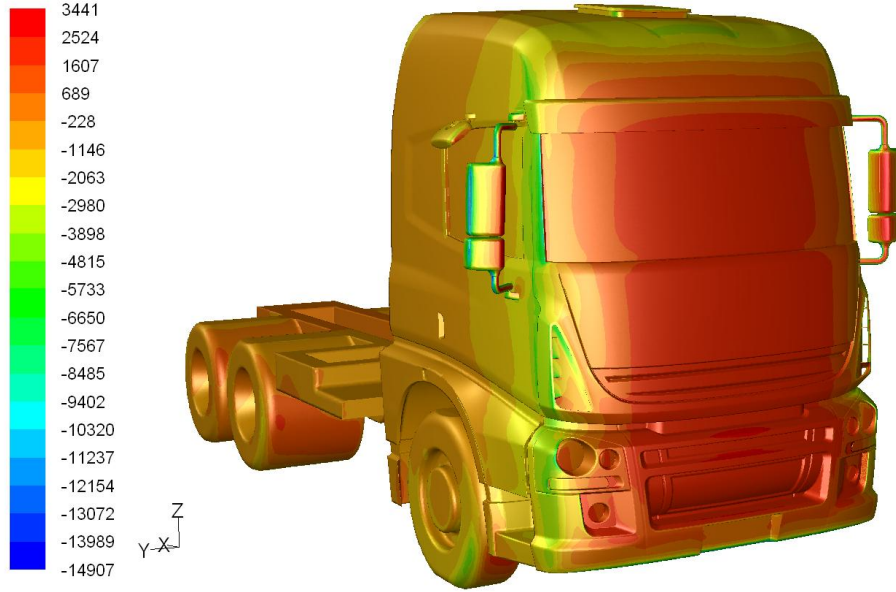
Blokaj Oranı:

A: Kamyonun akış doğrultusuna dik projeksiyon alanı (0.32748 m^2)

A_t : Tünelin akış doğrultusuna dik kesit alanı (7.037 m^2)

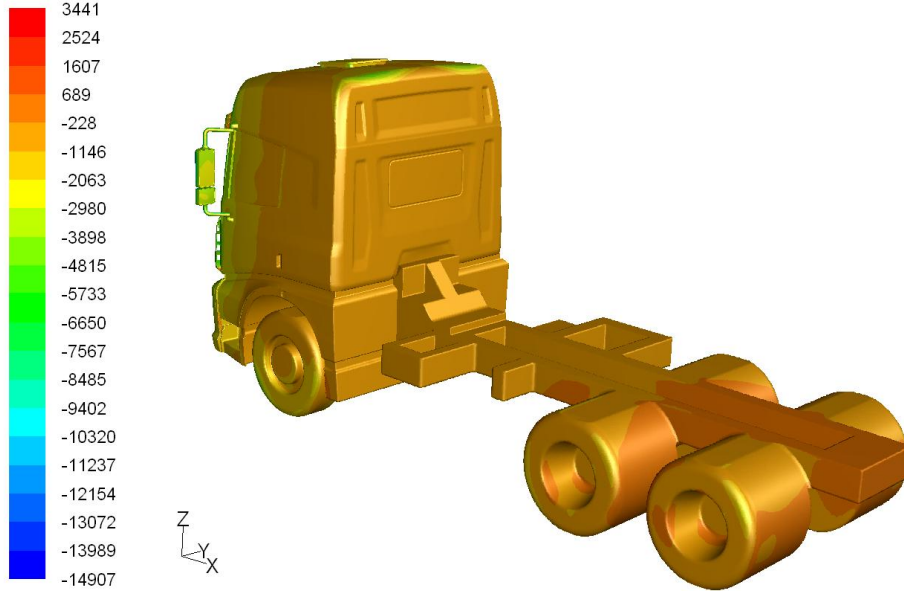
ϕ : Blokaj oranı

$$\phi = \frac{A}{A_t} \times 100 = \%4.65 \quad (3.2)$$



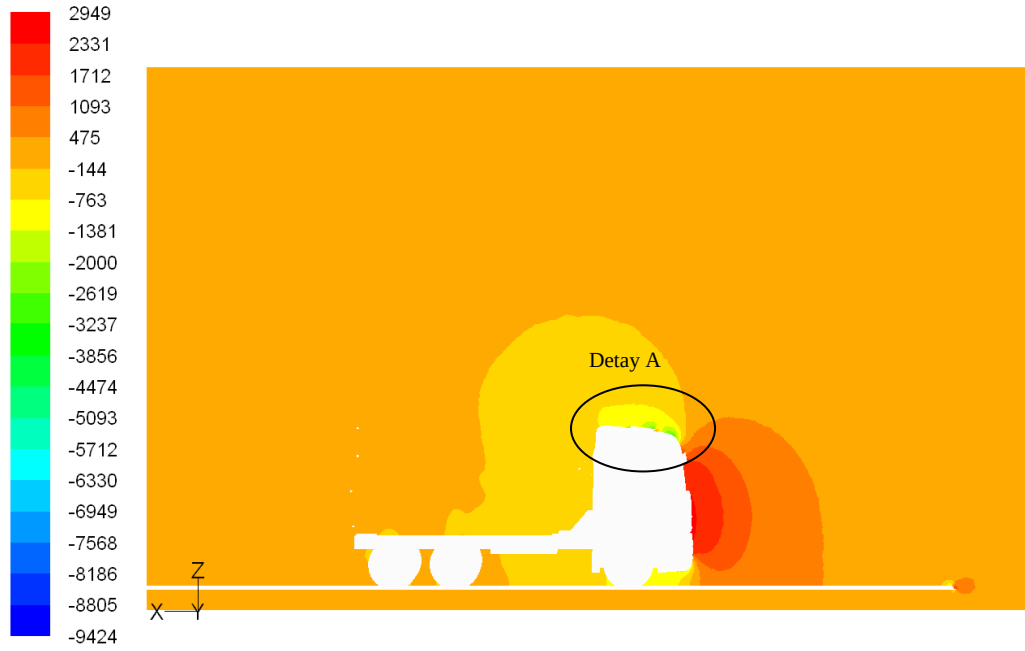
Şekil 3.8 : Kamyon ön yüzeyindeki statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order).

Şekil 3.8’de kamyon yüzeyindeki statik basınç dağılımı görülmektedir. Kabinin ön tarafındaki yüksek basınç ile Şekil 3.9’da görülen kabinin arka tarafındaki alçak basıncın farkı akışa karşı bir sürüklenme kuvvetine neden olmaktadır.



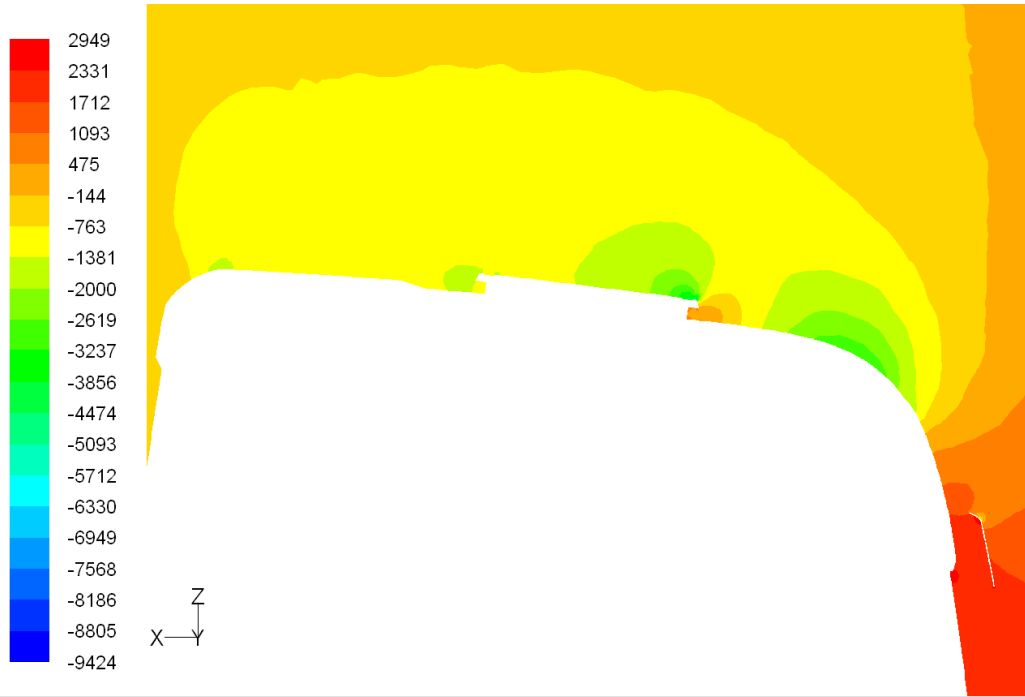
Şekil 3.9 : Kamyon arka yüzeyindeki statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order).

Yukarıda açıklanan durum aerodinamik sürüklenme kuvvetinin temel sebeplerinden birisidir. Kamyon geometrisi gibi basınç kuvvetlerinin büyük olduğu bir yapıda vizkoz kuvvetler ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

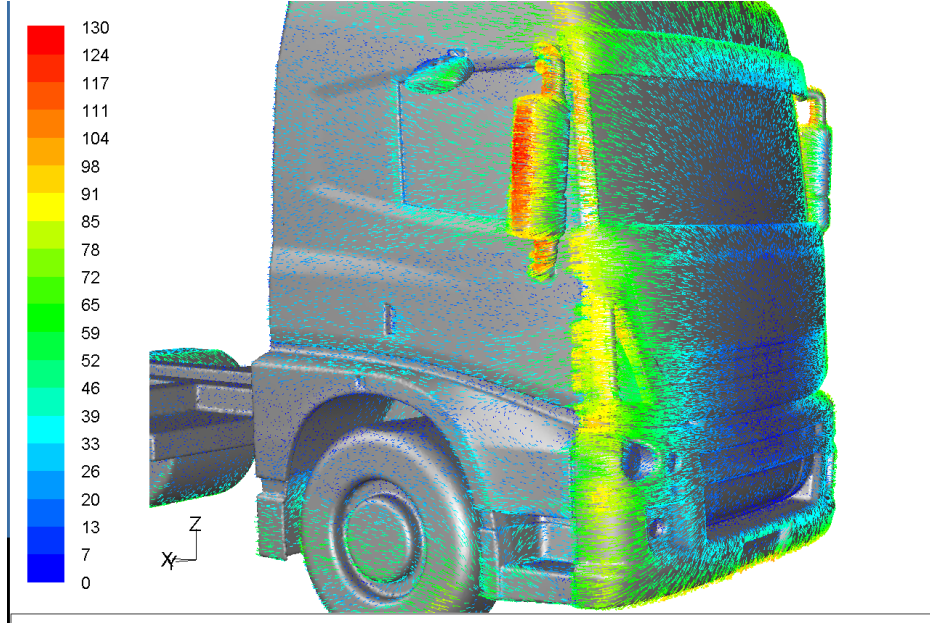


Şekil 3.10 : xz düzleminde statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order)

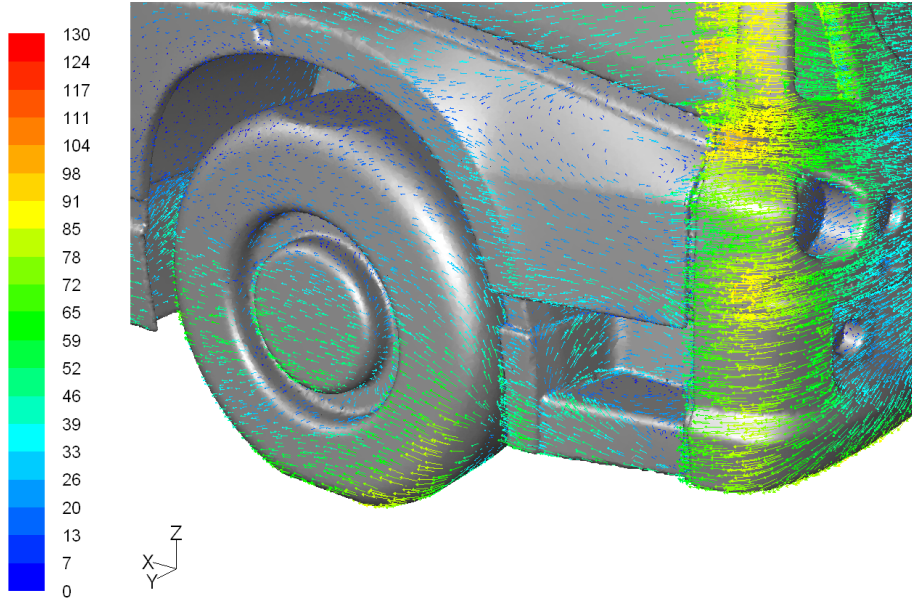
Şekil 3.10’da xz düzleminde kamyon etrafındaki statik basınç dağılımı görülmektedir. Şekildeki “A” detayı incelendiğinde (bkz. Şekil 3.11) acil çıkış etrafındaki statik basınç dağılımı görülmektedir. Acil çıkışın oluşturduğu çıkıntının akışı bozduğu, bu olayın sürüklenme kuvvetini azaltıcı yönde etki edeceği öngörülmektedir.



Şekil 3.11 : A detayı statik basınç dağılımı [Pa], case 2 (TDR: second order)



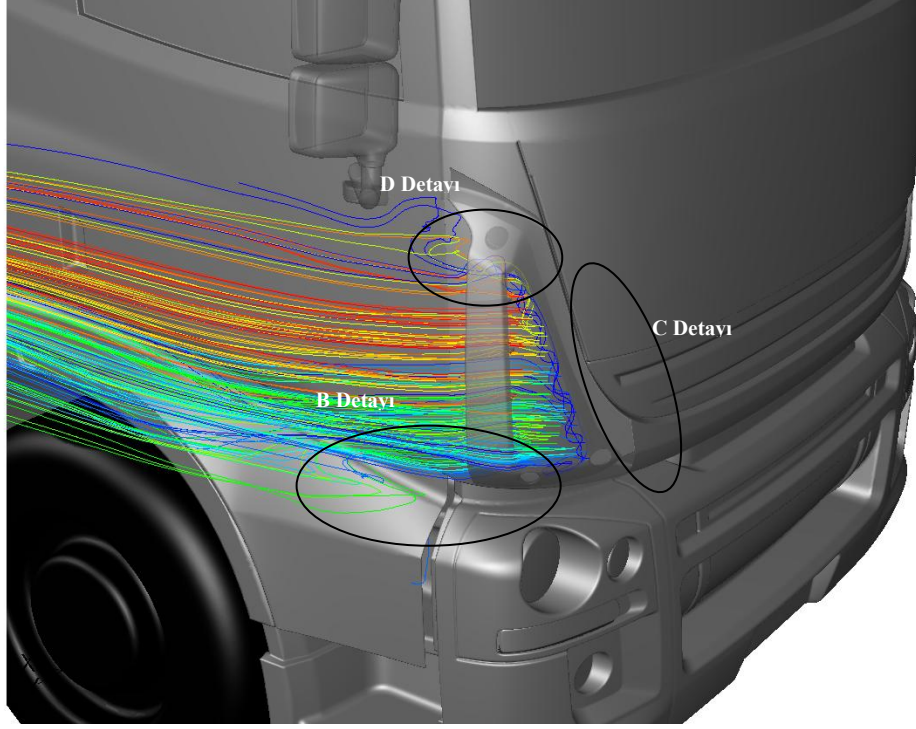
Şekil 3.12 : $V = 60$ m/s için kabin etrafında hız vektörleri [m/s], 2 mm off-set, case 2 (TDR: second order).



Şekil 3.13 : $V = 60$ m/s hız için kabin etrafında hız vektörleri [m/s], 2 mm ofset, case2 (TDR: second order).

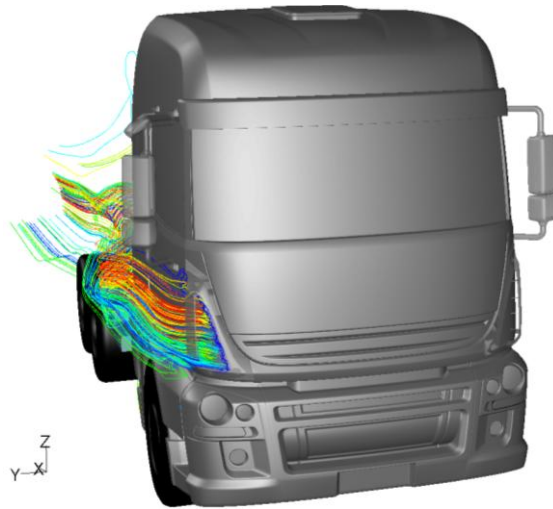
Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de kabin yüzeyinden 2 mm dışarıda (1/5 ölçekli model) hız vektörleri görülmektedir. Deflektörün akımı aşağı doğru yönlendirdiği ve aşağıdan yukarıya doğru gelen hava akımını engellediği görülmektedir. Yani çamurun hava ile yukarıya taşınması engellenmektedir. Ayrıca basamak boşluğunda girdap/vortekslerin oluştuğu görülmektedir.

Alt deflektörler bu durumu engellemek için tasarlanmıştır ancak bu deflektörlerin girdapları arttırdığı görülmüştür.



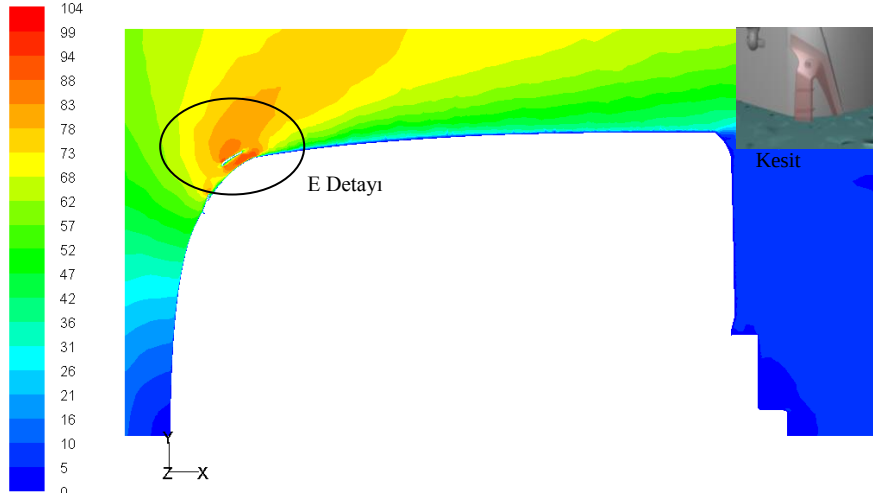
Şekil 3.14 : $V = 60$ m/s hız için deflektörden geçen akım çizgileri, case 2 (TDR: second order).

Şekil 3.14 "B detayı" incelendiğinde Şekil 3.13'de belirttiğimiz deflektörden çıkan havanın aşağıya doğru bir miktar yönlendiği görülmektedir. Bununla birlikte deflektörden geçen hava perdesi genel olarak incelendiğinde hava perdesinin tekerleğe doğru yönlendirildiği görülmektedir. Şekil 3.15'te deflektörden çıkan hava perdesinin doğrultusu bir başka açıdan görülmektedir. Deflektörden çıkan akışın kabin yüzeyini takip ettiği, akış ayrılmasının olmadığı görülmektedir.

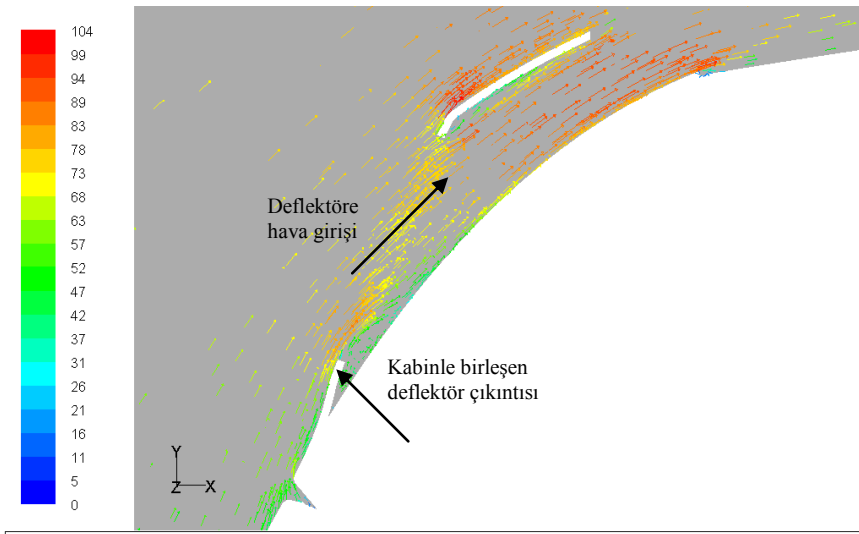


Şekil 3.15 : $V = 60$ m/s hız için deflektörden geçen akım çizgileri, case 2 (TDR: second order).

Şekil 3.14’de "C detayı" incelendiğinde deflektörün kabine monte edildiği giriş kısmında oluşan düzensiz akış gözlemlenmektedir. Aşağıda xy düzleminde deflektörden geçen yüzey üzerinde hız vektörleri detaylı olarak incelendiğinde bunun sebebi anlaşılmaktadır.



Şekil 3.16 : $V = 60$ m/s hız için xy düzleminde hız konturları [m/s], case 2 (TDR: second order).



Şekil 3.17 : $V = 60$ m/s hız için xy kesitinde hız vektörleri [m/s] "E detayı", case 2 (TDR: second order).

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de görüldüğü üzere deflektör girişinin kabine bağlandığı yerdeki çıkıntıdan dolayı düzensiz akış meydana gelmektedir. Bu düzensiz akış deflektörün olumlu etkisini azaltmaktadır.

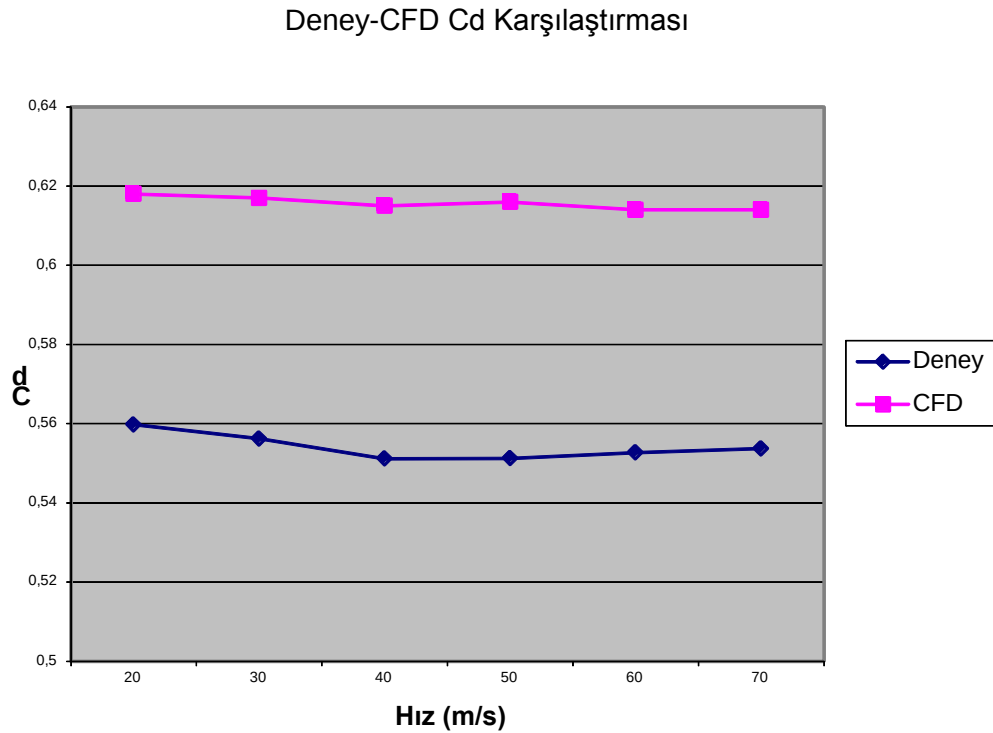
Burada oluşan düzensizlik deneylerde de özellikle yağ testi esnasında net olarak görülmüştür.

Yukarıdaki karşılaştırmalarda akış karakteristiğinin aynı kalması sadece bir hız değerinde ($V = 60\text{m/s}$, her test için en yüksek hız belirlendi.) deney ve CFD karşılaştırmalarının yapabileceğini göstermektedir.

3.3.2 Deney verilerinin CFD analizleri ile karşılaştırılması

3.3.2.1 Sürüklenme katsayısının karşılaştırılması

Ankara Rüzgar Tüneli (ART)'nden aldığımız veriler incelenmiş olup CFD analizleriyle elde ettiğimiz veriler ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda deneylerden elde edilen Hız- C_d grafiği ve CFD analizlerinden elde edilen Hız- C_d grafikleri görülmektedir.



Şekil 3.18 : ART deneyleri ortalama C_d değerleri ile CFD (Second Order) C_d değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.18'deki grafiği incelediğimiz zaman CFD ile elde edilen C_d eğrisinin deneylerden elde edilen C_d eğrisi ile benzer olduğu görülmektedir. Bu durum CFD ile yaptığımız hesapların gerçeği karakteristik olarak sağladığını göstermektedir (Birinci mertebeye ait CFD analiz sonuçları deneysel verilere daha uygun sonuçlar vermektedir, ancak sayısal açıdan bakıldığında ikinci mertebeye değerlerin doğruluğu daha yüksek olduğu için bu sonuçlar esas alınmıştır). Ancak verilere baktığımız

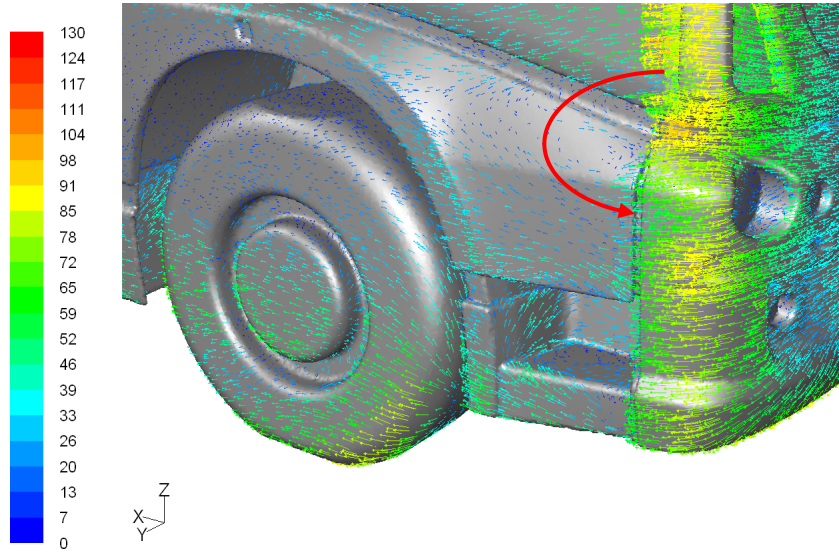
zaman sapmanın önemli miktarda olduğu gözlemlenmiştir. 1/5 ölçekte üretilen modelde, gerçek modelde olan keskin köşeler hassas olarak işlenemediği için deneyde C_d değerinin CFD analizlerine göre daha düşük çıkması beklenen bir olaydır. Dolayısıyla çok daha hassas işlenen bir deney modelinde C_d değerinin yükseleceği öngörülmektedir.

Sapma:

$$\%hata = \frac{Cd_{deney} - Cd_{CFD}}{Cd_{deney}} = \%9.9 \quad (3.3)$$

Sapmanın %9.9 olduğu görülmektedir. Ancak akış karakteristiği incelendiğinde karakteristik özelliklerin CFD ile yakalandığı görülmüştür. Aşağıda deney verileri ile CFD verileri karşılaştırılmıştır.

3.3.2.2 Akış karakteristiğinin karşılaştırılması



Şekil 3.19 : Kabin yüzeyi üzerindeki hız vektörleri.

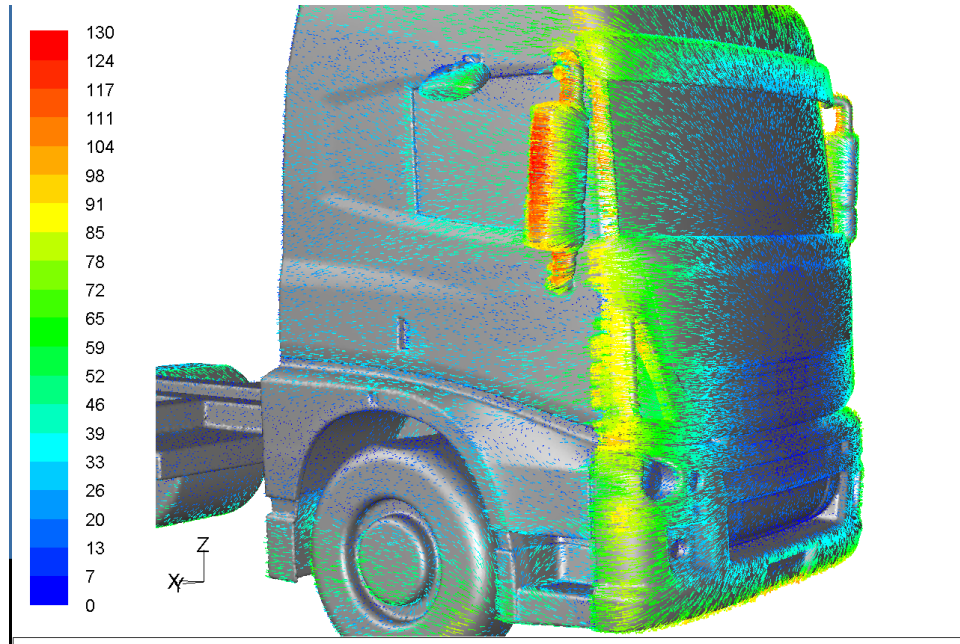


Şekil 3.20 : Yağ testi deneyi, deflektör bölgesi ve tekerlek görüntüleri.

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 dikkatlice incelendiğinde yağ testinde deflektörden çıkan havanın aşağıya doğru yönlendiği ve aşağıdan gelen havayı keserek arkaya doğru bir yönelme görülmektedir. Şekil 3.19’de CFD ile elde edilen hız vektörleri görülmektedir. Kabinin üzerindeki hız vektörleri incelendiğinde aynı akışın gerçekleştiği görülmüştür.

Bunun yanında Şekil 3.20’de ikinci resim incelendiğinde tekerlek üzerinde çizgiyle kesilmiş ölü bölge görülmektedir. Gerçek yol koşullarında tekerlek hareketli olacağından bu durum oluşmayacaktır. Burada tekerlek sabit olduğundan dolayı bu şekilde incelenecektir. Tekerleğin üzerinde oluşan ölü bölgede yağ hareketi görülmemektedir. Hız vektörleri incelendiğinde ise tekerleğin üst bölgesinin düşük hızlarda ölü bölge olduğu görülmektedir.

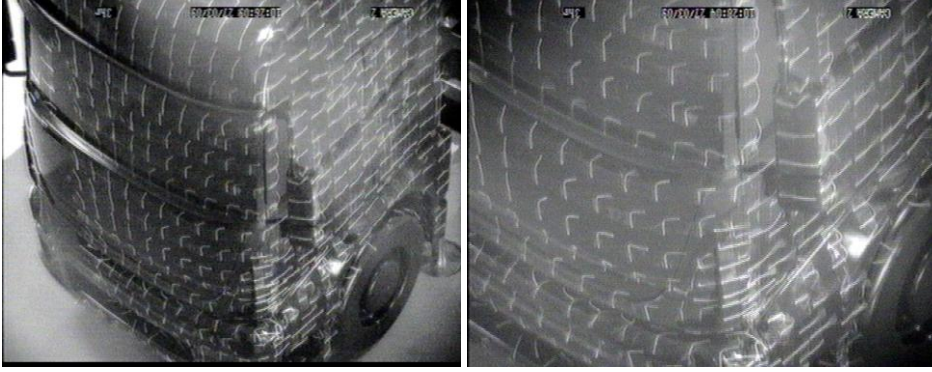
Yukarıdaki iki durum da CFD’nin deney sonuçlarına oldukça yaklaştığını göstermektedir. Deney videolarından yağ testi incelendiğinde yukarıdaki akış durumları daha net görülmektedir.



Şekil 3.21 : Kabin yüzeyinde hız vektörleri [m/s].

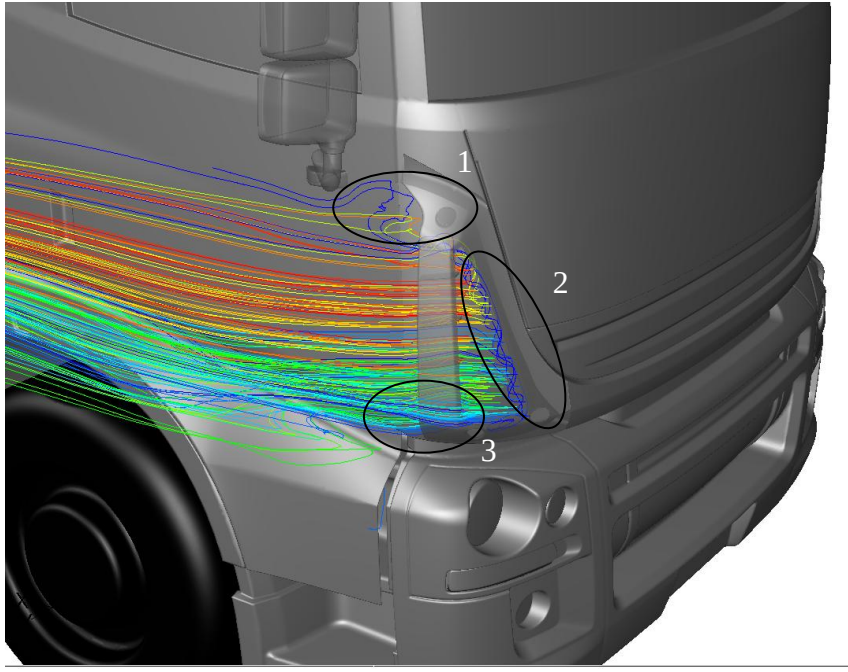
Kabin yüzeyindeki hız vektörleri (Şekil 3.21) incelendiğinde, maksimum basınç bölgesinin (akış doğrultusunda hızın sıfır olduğu bölge) deney verileriyle de örtüştüğü görülmektedir.

Aşağıda Şekil 3.22’de iplikçik testinden bazı görüntüler verilmiştir.



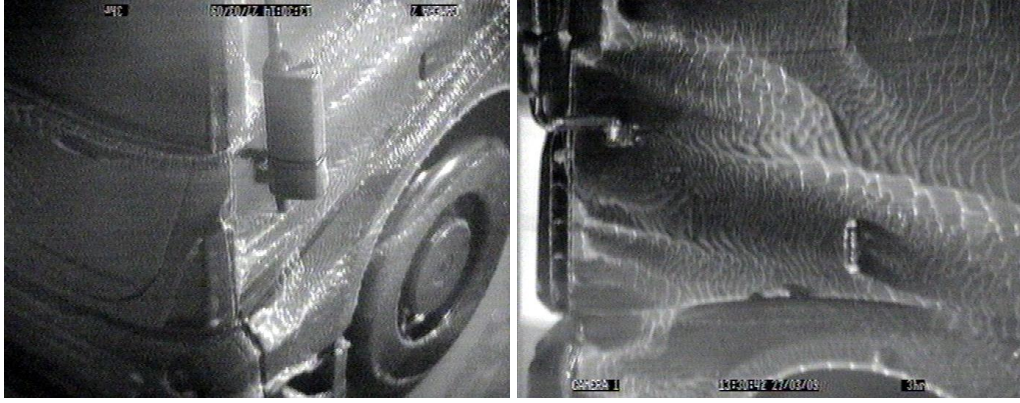
Şekil 3.22 : İplikçik testi, kabin ön yüzeyi ve yan yüzeylerinde iplikçik testi görüntüleri.

Şekil 3.21 incelendiğinde kabinin ön yüzünde akışın durma noktası koyu mavi renkteki düşük hızlı vektörlerle temsil edilmiştir. CFD ile elde ettiğimiz bu verileri deney ile karşılaştırdığımızda durma noktasını yakaladığımızı görmekteyiz. Şekil-3.22 incelendiğinde iplikçiklerin yönlerinin CFD ile elde edilen vektörlerin yönleriyle aynı olduğunu görmekteyiz. Ayrıca CFD testinde elde edilen durma noktası iplikçik testinde de aynı yerde oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.23 : Deflektörden geçen akım çizgileri.

Deflektörden çıkan akım çizgilerine bakıldığında (Şekil 3.23), 2 detayında akım düzensizliklerinin olduğu görülmektedir.

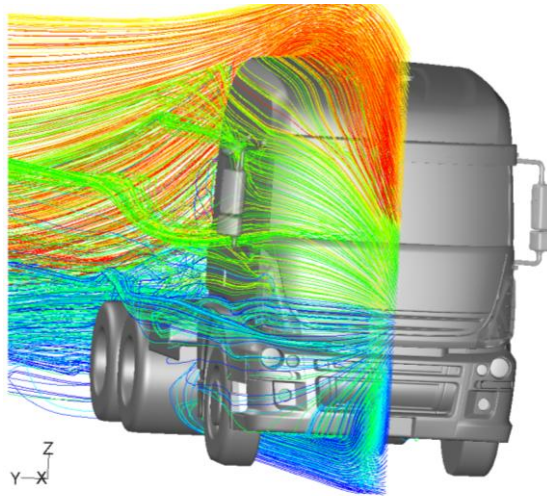


Şekil 3.24 : Yağ testi, deflektör bölgesi akım görüntüleri.

Şekil 3.23’de CFD ile elde edilen, deflektörden geçen akım çizgileri görülmektedir. Şekil üzerinde detay “2” incelendiğinde akışın bu bölgede (mavi renkteki akım çizgileri) düzensizleştiği ve deflektör içinde yukarıya doğru sirkülasyon oluştuğu gözlemlenmiştir. Deney verileri incelendiğinde bu düzensiz akış Şekil 3.24’de çıplak gözle ve videolarda görülebilmektedir. Ancak resim üzerinde net olarak belirli değildir.

Detay “1” ve “2” incelendiğinde ise deflektör çıkışının üst ve altındaki boşluklarda düzensiz akış oluştuğu görülmektedir. Buradaki sirkülasyon deney ile de doğrulanmıştır. Yağ görüntüleme videoları incelendiğinde buradaki düzensiz akış net olarak görülebilmektedir.

Ayrıca akım çizgileri incelendiğinde deflektörden çıkan havanın aşağıya doğru yönlendiğini ve aşağıdan gelen akımla ters bir hareket yaparak geri akım oluştuğu da görülmektedir.

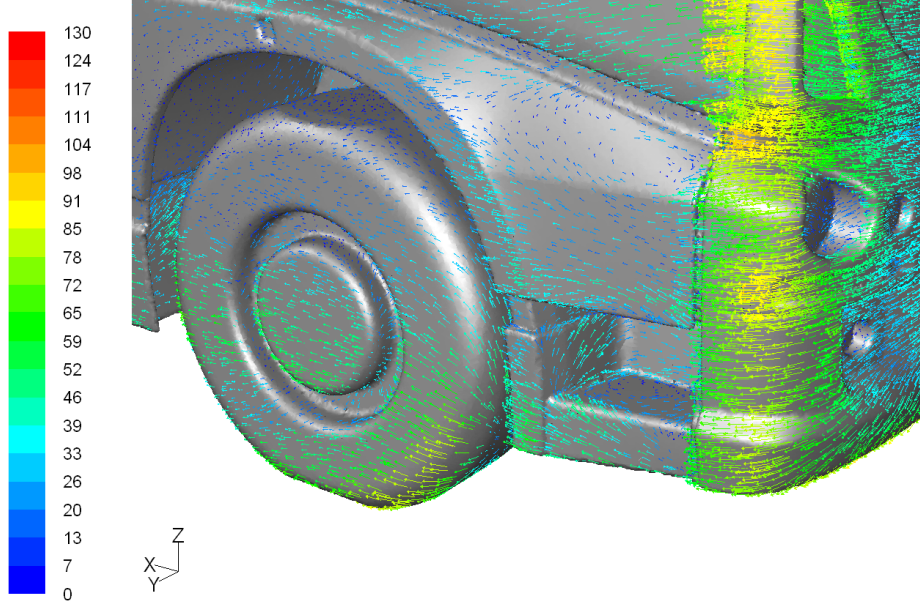


Şekil 3.25 : Kabinin etrafındaki akım çizgileri.



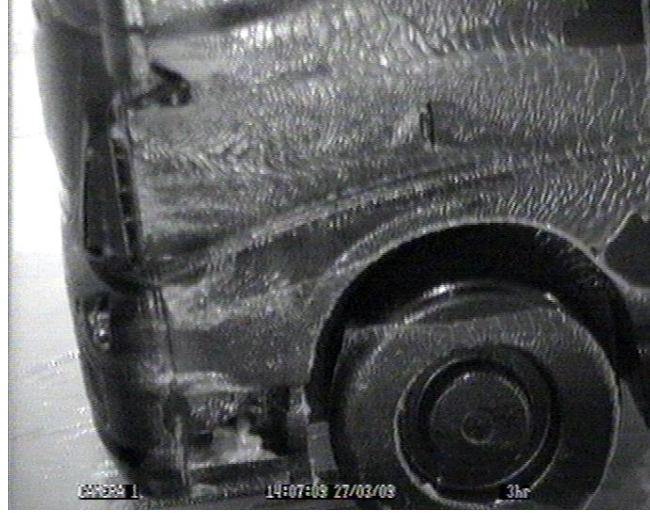
Şekil 3.26 : Duman testi, kabin etrafında duman testi ile akım görüntüleme.

Kabinin üst kısmındaki akışın düzenli ve iyi olduğu duman testi ile anlaşılmıştır (bkz. Şekil 3.26). Şekil 3.25'te ise kabin etrafındaki CFD ile elde edilen akım çizgilerini görmekteyiz. Akım çizgilerinin duman testi ile uyumlu olduğu ve akımın aynı karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.27 : Kabin etrafında hız vektörleri [m/s], basamak içinde oluşan vorteks.

Basamak boşluğunda oluşan girdaplar hem sayısal analizlerde hem de deneylerde net olarak görülmektedir. Bu durumun aerodinamik dirence etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.28 : Yağ testi, basamak içinde oluşan vorteksin görüntülenmesi.

Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de kabinin basamak kısımları incelendiğinde basamak içinde vorteks oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.27’de CFD ile elde ettiğimiz hız vektörleri ve basamak içinde oluşan vorteks görülmektedir. Şekil 3.28 incelendiğinde ise yağ testi ile basamak içinde vorteks oluştuğu görülmektedir. Yağ testi görüntüleri incelendiğinde basamak içerisinde oluşan vorteks net bir şekilde görülebilmektedir.

Basamak içinde oluşan vorteksin basamakta çamur birikmesine sebep olacağı öngörülmektedir. Ancak basamağın ızgara şeklinde delikli olarak üretileceği, dolayısıyla üzerinde çamur birikmeyeceği düşünülmektedir. Alt deflektör (bumper) kullanılmasının bunu önleyip önlemeyeceği konusunda CFD çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma Bölüm 4’te geometrik öneriler bölümünde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.3.2.3 Basınç farklarının karşılaştırılması

Tubitak SAGE tarafından Ankara Rüzgar Tüneli’nde gerçekleştirilen deneyin sonuçları incelenmiş ve basınç prizlerinin koordinatları model üzerinde tekrar doğrulanarak CFD üzerinde de basınç değerleri elde edilmiştir.

Deney ve CFD ile elde edilen basınç değerleri aşağıda grafiklerle karşılaştırılmıştır. CFD analizlerinde kullanılan ve deneyde ölçülen ortam şartları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Bu koşullar incelendiğinde, sayısal analizle her iki ortam koşulunda da incelenmiştir. Aşağıda Çizelge 3.4’te deney esnasında ölçülen havanın ortam koşulları verilmiştir. Bunlar hız, yoğunluk ve toplam basınç değerleridir. Ayrıca Çizelge 3.5’te sayısal modelde baz alınan ortam koşulları görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Deney esnasında ölçülen havanın ortam koşulları (toplam basınç, yoğunluk, hız).

	Patm (kPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Hız (m/s)
Test 1	90.997	1.1111	60.05
Test 2	90.990	1.1114	60.02
Test 3	91.024	1.1117	59.99
Ortalama	91.004	1.1114	60.02

Çizelge 3.5 : CFD’ de hava için kullanılan ortam parametreleri

	Patm (kPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Hız (m/s)
CFD, p-case1	91.004	1.1114	60m/s
CFD, p-case2	101.325	1.225	60 m/s

Yukarıda Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de CFD ve deneydeki ortam parametreleri görülmektedir. CFD analizine hazırlık kısmında havanın yoğunluk ve basınç gibi fiziksel parametreleri p-case1’de deney ile aynı tutulup, p-case2’de default olarak bırakılmış ve analizler bu şekilde yapılmıştır.

Basınç değerlerini karşılaştıracığımız analizin geometrik modeli tünel şartları ve boyutlarıyla birebir örtüşecek şekilde hazırlanmıştır. Basınç priz koordinatları Fluent yazılımında tek tek belirlenmiş ve bu noktalarda hesaplamalar yapılmıştır. Ölçüm hatalarından kaynaklanan bazı sapmalar basınç karşılaştırmalarında ele alınarak detaylandırılmıştır.

Deneyde Test 1 ve Test 2’de 6 farklı hızda, Test 3’ de ise 7 farklı hızda basınç ölçümleri yapılmıştır. CFD ile karşılaştırma yukarıdaki tablolardan da anlaşılacağı üzere sadece 60 m/s hızda 1/5 ölçekte yapılmıştır.

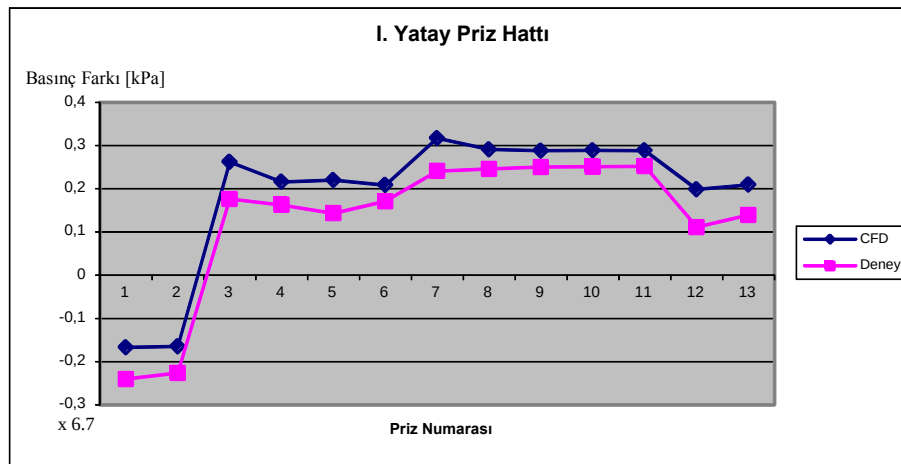
Şekil 3.26’da basınç prizleri görülmektedir. 62 adet basınç prizinden yapılan ölçümler tablolar halinde CFD’de hesaplanan ölçümlerle karşılaştırılmış ve aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

Normalde vanada 63 adet ölçüm noktası vardır ancak bu prizlerden bir tanesi atmosfer basıncını ölçmek amacıyla serbest bırakılmış, diğer 62 nokta kabin üzerine monte edilmiştir.

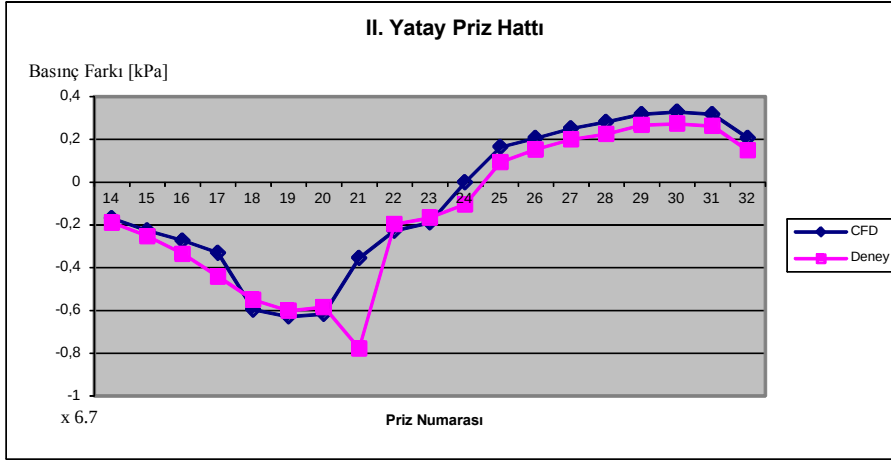
Çizelge 3.4’te ölçülen ortam basınçları ve ortalaması görülmektedir.



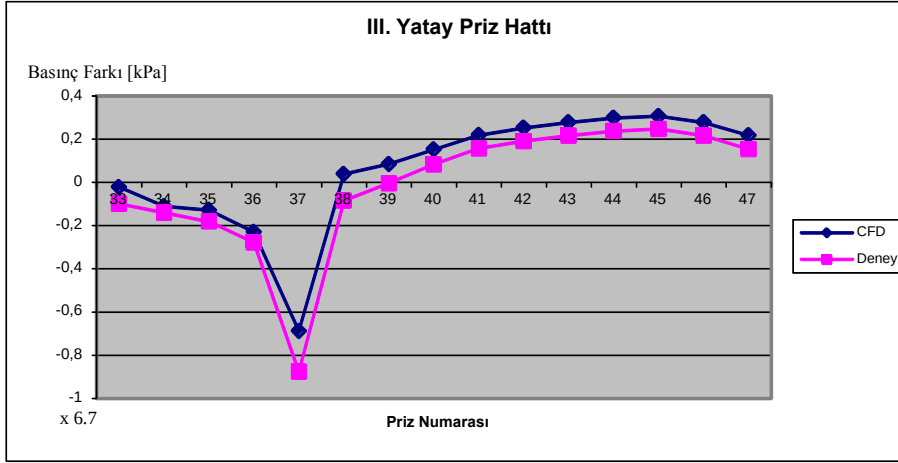
Şekil 3.29 : Deneyde kullanılan kamyon modeli üzerinde basınç prizlerinin konumları ve numaralandırma.



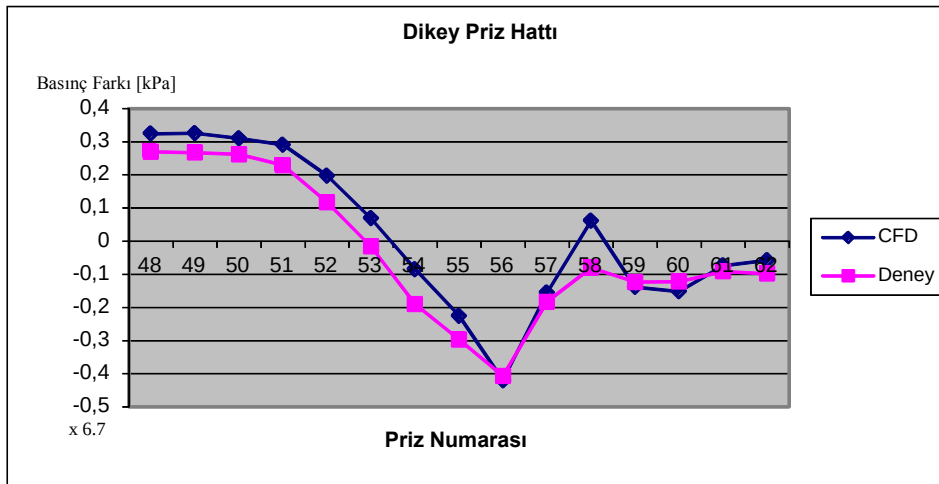
Şekil 3.30 : I. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.31 : II. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.32 : III. Yatay priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.33 : Dikey priz hattında CFD ve deneyden alınan statik basınç değerlerinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, CFD ile elde edilen basınç farkı eğrilerinin deney ile elde edilen basınç farkı eğrilerine oldukça yakın sonuçlar verdikleri görülmektedir.

Şekil 3.31’de 21 nolu prizde deney verisinde (eğri gidiş hattına göre) bir sıçrama görülmektedir. Bu durumun deliğin hassas delinmemesinden, deliğin dışarı bakan kısmında çapak/çıkıntılar olabileceğinden veya yüzeye tam dik olmayışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunların yanında, CFD analizinde kullanılan delik koordinatları yaklaşık olarak alındığı için ve 21 nolu prizin kritik bir noktada olmasından dolayı sapmanın olabileceği öngörülmektedir (bkz. Şekil 3.29). Bu prizin olduğu bölgede yüksek basınç gradyanlarının olması da sapmanın olmasına sebep gösterilebilir. Diğer prizlerin karakteristik olarak deney eğrilerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Yukarıda incelenen p-case1 tamamen deney koşullarını kapsadığı için (basınç, yoğunluk deney ile aynı) değerlerin deney verilerine daha yakın çıktığı görülmüştür. Bu sebepten dolayı hata analizi p-case1 durumu için yapılacaktır.

Basınç değerleri için hata analizi (*root mean square –RMS*)

RMS hata analizi:

$E(rms)$: *RMS hata tanımı*

n : Hatlardaki toplam nokta sayısı (I. Yatay Priz Hattı 1-13, $n=13$)

$$E(rms) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{deney} - p_{CFD})^2} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.6 : CFD ve deney basınç değerleri, hata analizi.

	Mutlak Hata Oranı
I. Yatay Priz Hattı	0.06
II. Yatay Priz Hattı	0.11
III. Yatay Priz Hattı	0.08
Dikey Priz Hattı	0.07

Yukarıdaki hata oranları (Şekil 3.30, 3.31, 3.32 ve 3.33’de de görülebileceği gibi) deney sonuçlarına oldukça yaklaştığımızı göstermektedir. Her bir basınç hattı için eğri karakteristiklerinin deney sonuçlarıyla uyumlu olması CFD analizlerinin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Çizelge 3.6 incelendiğinde II. Yatay Priz Hattı’nda hata oranının diğer hatlara göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu hattın deflektör bölgesine denk gelmesi ve oldukça değişken basınç gradyanlarına sahip olması sebebiyle ve yukarıda 21 nolu priz için belirtilen sebeplerden dolayı II. Yatay Priz Hattı’nda hata oranının yüksek çıkması beklenen bir durum olup öngörülerimizle uyumludur.

Genel olarak deney verilerini CFD verileri ile karşılaştırdığımızda C_d ve basınç değerleri için karakteristik eğrileri doğrulamış bulunmaktayız. Bu durum CFD’nin yüksek doğrulukta deney sonuçlarına yaklaştığını göstermektedir. Ayrıca akış karakteristiği olarak da akış görüntüleme yöntemleri ile elde edilen görüntülerle CFD ile elde edilen görüntülerin yakalandığı da yukarıda ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bütün bu doğrulamalar, CFD analizlerinin kamyon dış aerodinamik tasarım optimizasyon çalışmalarında güvenle kullanabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda, bir sonraki bölümde, deneyler ile yapılması çok uzun, masraflı ve zahmetli olan, ancak CFD analizleri ile etkin bir şekilde gerçekleştirilebilen ayrıntılı optimizasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

4. KAMYON VE AKSESUARLARININ AERODİNAMİK OPTİMİZASYONU, GEOMETRİK ÖNERİLER

Yukarıda ayrıntılı olarak incelenen deney öncesi CFD çalışması ve deney verilerinin CFD ile karşılaştırılması çalışmaları ile genel olarak CFD ile elde edilen akış karakteristiği, kuvvet ve basınç değerleri incelenmiş ve deney sonuçları ile doğrulaması yapılmıştır. Buna dayanarak aşağıdaki çalışmalarda, mevcut kamyon gövde tasarımı üzerinde aerodinamik açıdan geometrik öneriler sunulmuştur.

Bu aşamada, geometri üzerinde başta deflektör bölgesi olmak üzere aynalar, güneşlik ve alt deflektör (bumper) için geometrik optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

4.1 Deflektör Optimizasyon Çalışmaları ve Geometrik Öneriler

Kamyon modelimizin karmaşıklığından dolayı değişik deflektör tasarımlarının akış modelini hazırlamak uzun bir süreç gerektirdiği için kaba kamyon boyutlarıyla jenerik bir model oluşturularak bu model üzerinde değişik deflektör tasarımları denenmiştir.

Burada amaç genel anlamda deflektörün giriş ve çıkış kesitlerinin ve akış doğrultusundaki uzunluğunun belirlenmesi ve en uygun giriş ve çıkış kesit boyutlarında optimum performansı elde etmektir.

Oluşturduğumuz deflektör modellerinde kullanılan kamyon modelleri literatürdeki jenerik kamyon modellerine benzer olarak tasarlanmıştır.

Deflektör bölgesinde özellikle deflektörün kabine yakın hava perdesi oluşturmasını, ve tekerleklerle doğru yönelmesini istiyoruz.

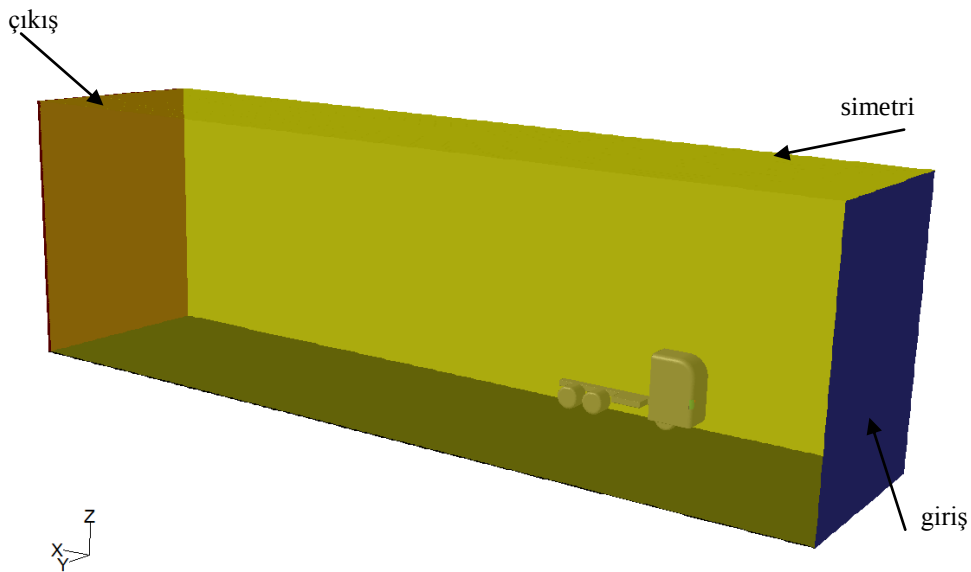
Çoğu durumda yatay düzlemlerde kesitler alınarak bu düzlemler üzerinde akışın karakteristiği incelenmiş ve akış düzenli hale getirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tekerleklerle yönlendirilmesi için bazı iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda deflektör bölgesi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

4.1.1 Jenerik model üzerinde deflektör çalışması



Şekil 4.1 : Jenerik kamyon modeli

Şekil 4.1’de Fluent yazılımının alt programı olan Gambit programında tasarlanan jenerik modelin geometrisi görülmektedir. Şase mevcut modelimizle birebir tasarlanmış, kabin ise kamyon modelimizin kaba boyutları ile tasarlanmıştır (genişlik, yükseklik, uzunluk). Modelde aynalar vb... diğer aksesuarların bulunmaması sebebiyle model simetriktir ve çözüm simetrik olarak yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde CFD akış hesaplama bölgesi (rüzgar tüneli) görülmektedir.



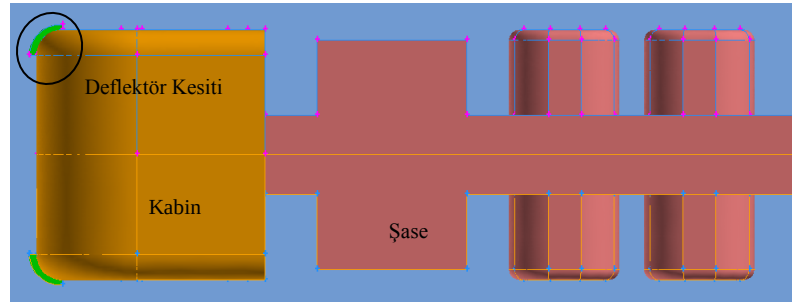
Şekil 4.2 : Jenerik kamyon modeli, simetrik akış hacmi (rüzgar tüneli)

Tünel boyutları yeteri kadar geniş tutularak ortam koşulları sağlanmıştır. Ayrıca tavan ve yan duvarlar serbest akım olarak koşullandırılarak sınır tabaka ortadan kaldırılmış gerçek ortam koşulları sağlanmaya çalışılmıştır.

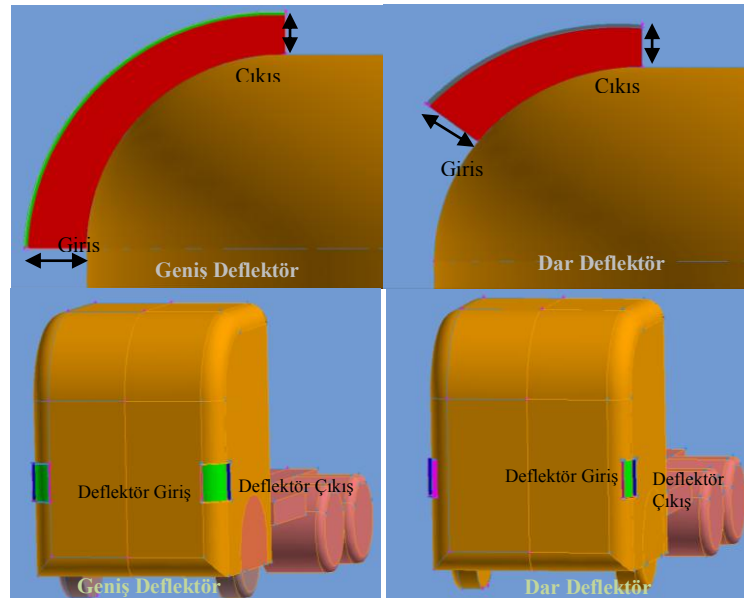
Aşağıda tasarlanan deflektör modelleri jenerik kamyon modeli üzerinde analiz edilerek sonuçlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. 12 ayrı deflektör modeli birbirleriyle karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve deflektörsüz model de dahil olmak üzere bu çalışmada toplam 13 farklı modelin analiz sonuçları irdelenmiştir.

4.1.1.1 Jenerik deflektör modelleri

13 farklı deflektör modeli ayrı ayrı “Gambit” programıyla jenerik kamyon modeline entegre edilerek “Fluent” yazılımında analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de deflektör geometrileri, kabine göre konumları ve birbirlerinden farkları gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Jenerik model üstten görünüş



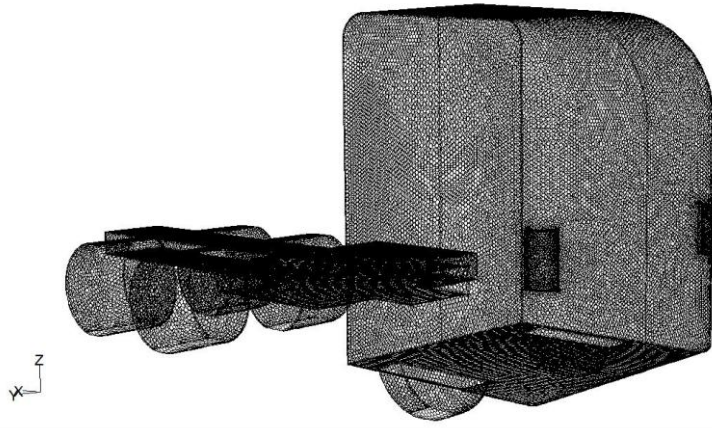
Şekil 4.4 : Deflektör kesit detayları, xy kesiti; deflektör konumları, önden görünüş

Çizelge 4.1 : Deflektör modellerinin sınıflandırılması, case numaraları.

Case	Model	Giriş Genişliği [mm]	Giriş Yüksekliği [mm]	Çıkış Genişliği [mm]	Çıkış Yüksekliği [mm]	Kesit Daralma Oranı ($A_{\text{çıkış}}/A_{\text{giriş}}$)
1	Deflektörsüz	----	----	----	----	----
2	Dar Deflektör	50	455	35	455	0.70
3	Geniş Deflektör	50	455	35	455	0.70
4	Dar Deflektör	50	455	50	455	1.00
5	Geniş Deflektör	50	455	50	455	1.00
6	Dar Deflektör	50	455	25	404	0.44
7	Geniş Deflektör	50	455	25	404	0.44
8	Dar Deflektör, Uzatılmış	50	455	35	455	0.70
9	Geniş Deflektör, Uzatılmış	50	455	35	455	0.70
10	Dar Deflektör	75	455	50	455	0.66
11	Geniş Deflektör	75	455	50	455	0.66
12	Dar Deflektör	75	455	35	455	0.47
13	Geniş Deflektör	75	455	35	455	0.47

Çözüm ağı:

Yukarıda geometrik boyutları verilen 13 deflektör modeline ayrı ayrı çözüm ağı oluşturulmuştur. Tüm modeller birbirlerine oldukça yakın geometriye sahip olduklarından oluşan çözüm ağı ortalama 2 milyon tetrahedral hacim elemana sahip olup tamamı “Fluent” ortamında “Polyhedral” hacim elemanına dönüştürülerek eleman sayısı yaklaşık 500,000’a indirgenmiştir.



Şekil 4.5 : Polyhedral çözüm ağı

4.1.1.2 Jenerik model akış parametreleri ve sınır şartları

Çözüm: Pressure Based, 3d, Steady, Least Squares Cell Based

Model: K-Epsilon, Realizable, Non-Equilibrium Wall Functions

Akışkan: Hava

Yoğunluk: 1.225 kg/m³

Sınır Şartları: Girişte Hız (Velocity Inlet), Çıkışta Basınç Sınır Şartı (Pressure Outlet).

Araç Hızı: 90 km/h

Giriş Hızı: 25 m/s

Çıkış Basıncı: Atmosfer Basıncı (101325 Pa)

Akış Doğrultusu: “x” doğrultusu

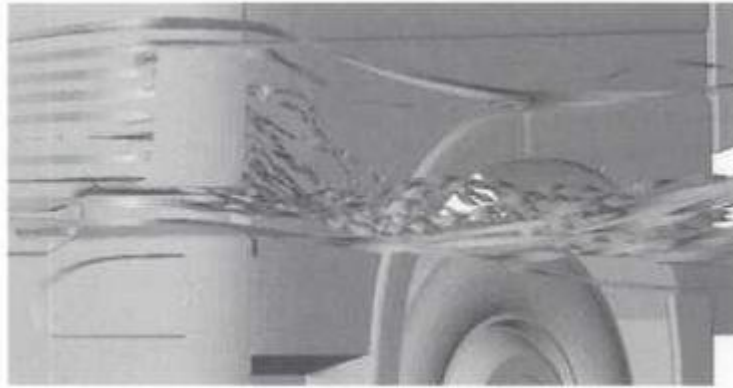
4.1.1.3 Jenerik model akış analizi

Gambit ile oluşturulan modeller ayrı ayrı Fluent ortamına alınarak yukarıda belirtilen akış parametrelerinin girilmesiyle analiz edilmişlerdir.

Analiz sonuçlarını incelerken deflektör etkileri üzerinde durulmuştur. Deflektör ve çevresinin hız dağılımı (deflektörün etki alanı), farklı modellerin sürüklenme katsayısı C_d ye etkileri ve deflektörlerden geçen debiler ayrı ayrı incelenerek aşağıda raporlanmıştır.

Deflektör kullanımındaki amaç; köşe bölgesinde akış ayrılmasının önlenmesi, deflektör çıkışında bir jet akışı meydana getirilmesi, bunun kabin yan yüzeyine doğru, uygun deflektör kanatları ile yönlendirilmesidir. Bu sayede;

- i) yüzeyden akış ayrılması önlenerek kamyon toplam sürüklenme katsayısının düşürülmesi,
- ii) oluşan jetin ortam hızından büyük bir hızda tekerleğin üst bölgesine yönlendirilmesiyle, tekerleğin sıçrattığı çamurun kabin yan yüzeyine (ör. kapı kolları, yan camlar) gelmesini engellemek veya asgari düzeyde tutmaktır. Aşağıda verilen çalışmalarda bu durum ele alınmıştır. Deflektörle ilgili literatürde yapılan bir çalışmaya bir örnek Şekil 4.6'da verilmiştir.

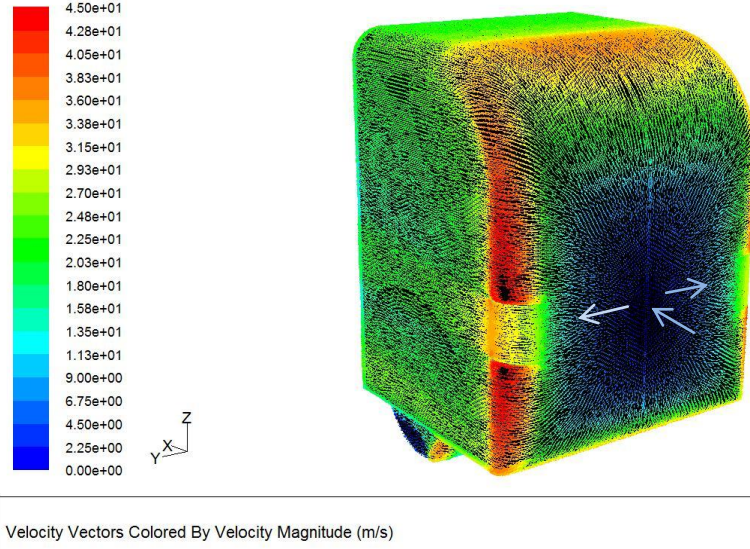


Şekil 4.6 : Yan deflektörden geçen hava akışı, [9]

Şekil 4.6'da deflektörden geçen havanın tekerlek üzerine yönlendiğini ve oluşturduğu hava perdesini görebilmekteyiz. Oluşan hava perdesi tekerlekten gelen çamurun kapı koluna ve camlara gelmesini engelleyecektir.

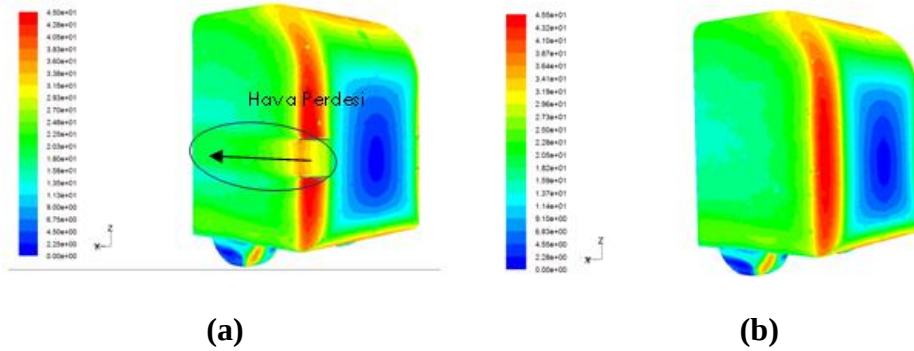
Burada, deflektördeki temel amacın tekerleklerden gelen çamuru önlemek olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.7'de genel olarak hız vektörlerinin kabin üzerinde dağılımları görülmektedir. Havanın kabine çarparak durma noktasından deflektörlere doğru taşındığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.7 : Geniş deflektör modeli hız vektörleri dağılımı (yüzeyden 10 mm ofsetli), [m/s].

Aşağıda deflektörlü ve deflektörsüz durumda kabin etrafındaki hız konturları verilmiştir.

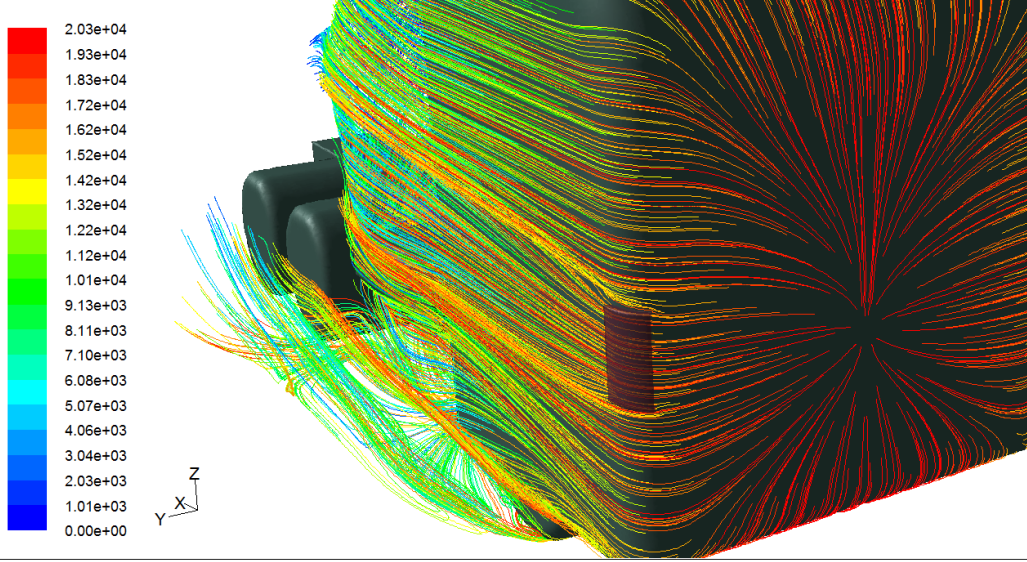


Şekil 4.8 : Deflektörün kabine yakın oluşturduğu hava perdesi, hız konturları [m/s] (10 mm dışarıda) **(a)** Deflektörlü durum (geniş deflektör) **(b)** Deflektörsüz durum.

Şekil 4.8 (a)'da deflektörlü durumda kabin üzerinde hava perdesi olduğu görülebilmektedir. Bu durum deflektör kullanılmasının gerekli olduğunu doğrulamaktadır.

Deflektör kullanmadığımız taktirde Şekil 4.8 (b)'de görüldüğü gibi, kabin yüzeyine yakın yerlerde düşük hızlar olduğu ve çamur sıçramasına karşı etkisiz kalacağı

görülebilmektedir. Düşük hızdaki bölgelerin çamur sıçramasına karşı etkili olamayacağı açıktır. Şekilde kabinin arka taraflarında doğru hızın düştüğü gözlemlense de gerçek bir modelde karmaşık geometriden dolayı ayna bölgelerinde, camlarda, kapı kolu taraflarında da vortekslerden dolayı ölü bölgelerin oluşacağı aşıkardır. Dolayısıyla deflektörün tekerlerden sıçrayan çamuru önlemedeki görevi oldukça önemlidir.



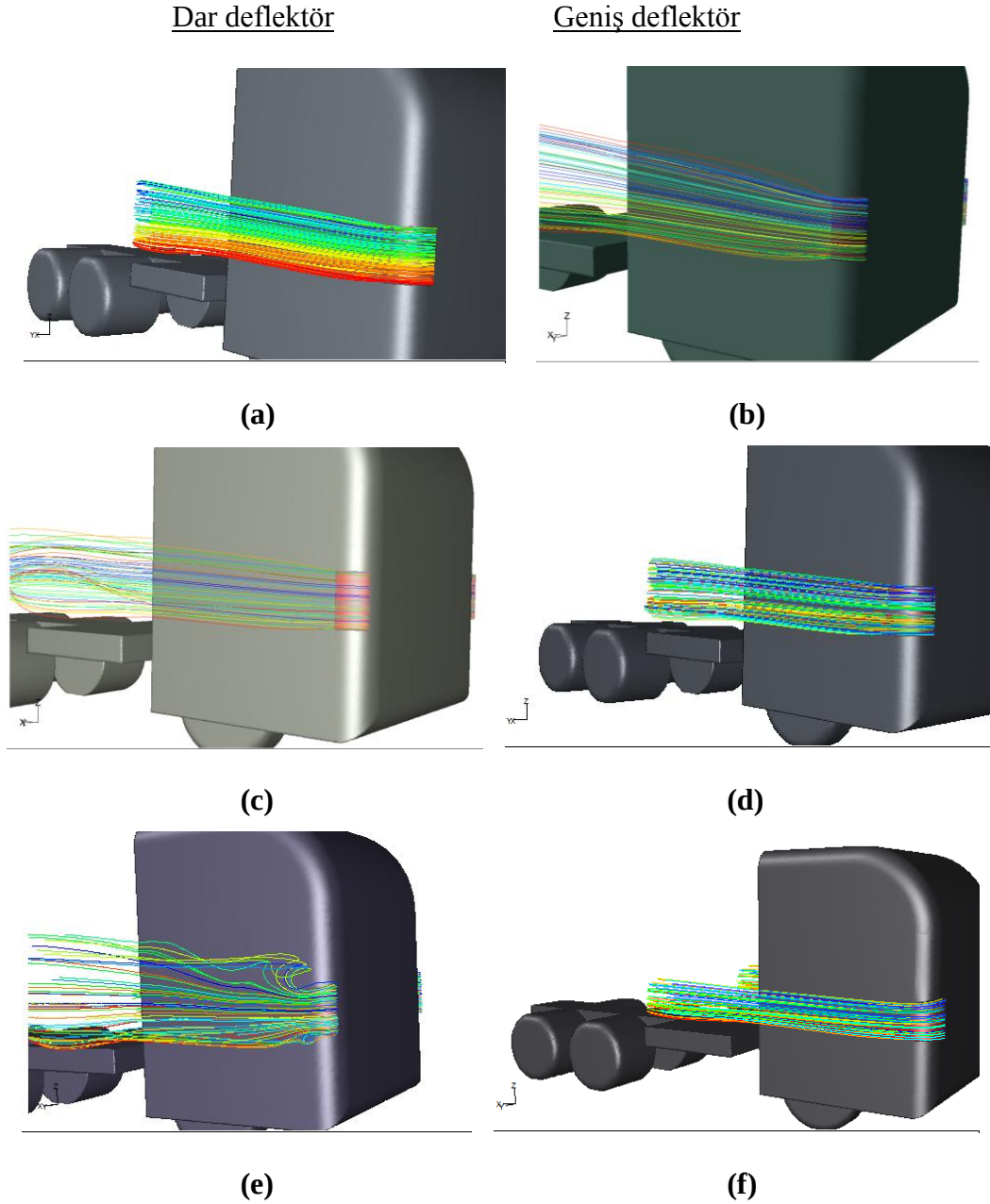
Şekil 4.9 : Dar deflektör modelinde kabin yüzeyinde akım çizgileri (Case 2)

Şekil 4.9'da kabin etrafındaki akım çizgileri görülmektedir. Dikkatle bakıldığında deflektörden geçen akım çizgilerinin kabin yüzeyine daha yakın geçtiği görülebilmektedir. Bu da akış ayrılmasını engellediği ve deflektörün hava perdesi oluşturmada etkili olduğunu doğrulamaktadır.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de deflektör modellerinden geçen akım çizgileri karşılaştırılmıştır.

Farklı deflektörlerdeki akım çizgileri incelendiğinde, bazılarının giriş ve çıkış kesit alanlarına bağlı olarak akışı bozduğu görülmektedir. Deflektör çıkışının uzatılması gibi bazı çalışmaların da akışı daha stabil hale getirdiği görülmüştür.

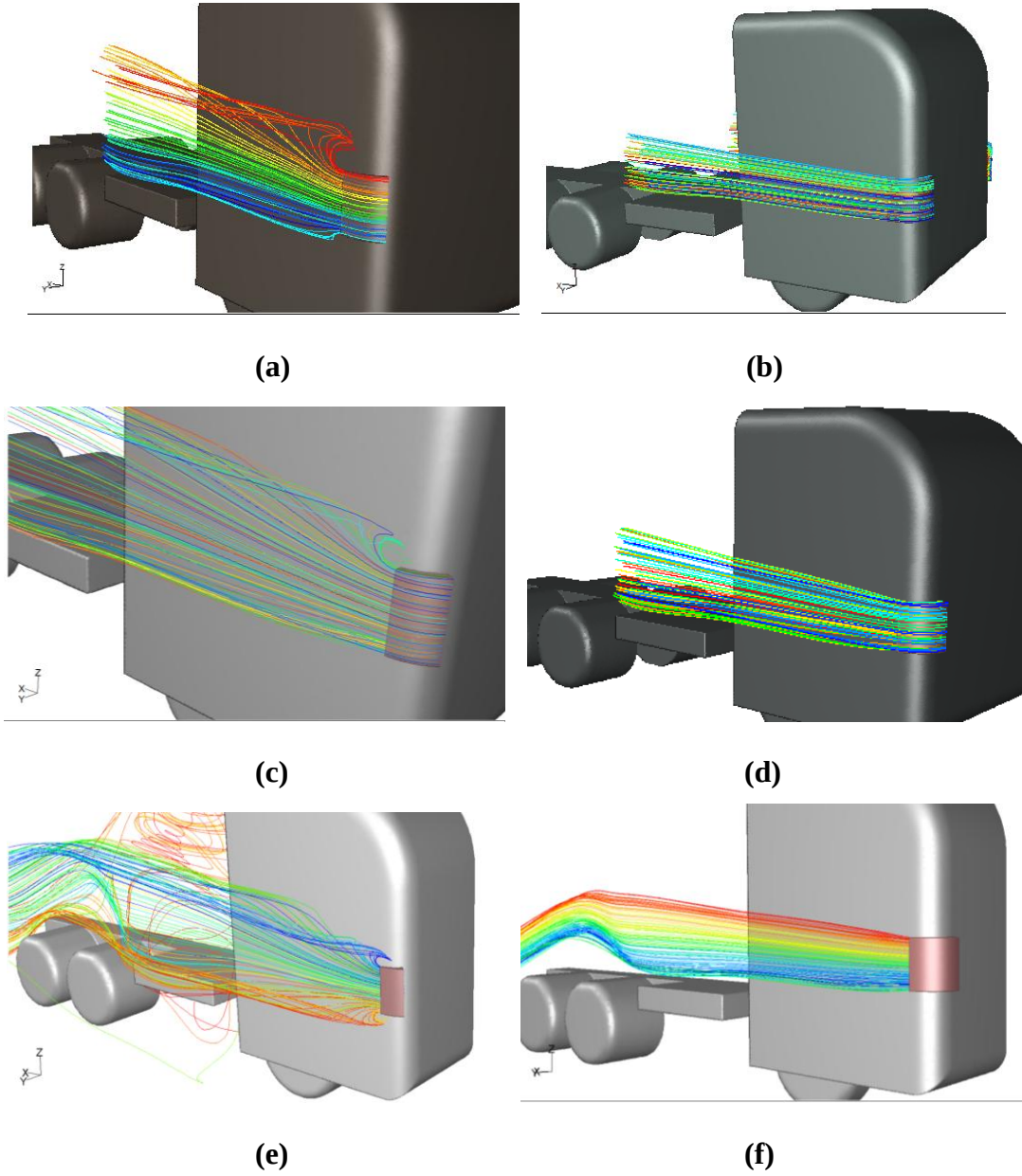
Bununla beraber, deflektörün girişinden çıkışına kadar olan daralma eğim açısı da (alt ve üstten) akışı oldukça etkilemektedir. Aşağıda, jenerik kamyon modeli üzerinde oluşturulmuş farklı deflektör modelleri ve analiz sonuçları incelenerek karşılaştırılmıştır. Sonuçlar çizelgeler halinde detaylandırılmıştır.



Şekil 4.10 : Deflektör içinden geçen akım çizgilerinin karşılaştırılması **(a)** Case-2 (50 mm - 35 mm) **(b)** Case-3 (50 mm - 35 mm) **(c)** Case-4 (50 mm - 50 mm) **(d)** Case-5 (50 mm - 50 mm) **(e)** Case-6 (50 mm - 25 mm, eğimli) **(f)** Case-7 (50 mm - 25 mm, eğimli).

Şekil 4.10'da görülen ilk 4 “case” incelendiğinde (case-2,3,4,5) hem geniş deflektör hem de dar deflektör için akışın kararlılığını bozan bir durum gözlemlenmemektedir. Ancak case-6 ve case-7 incelendiğinde akışta düzensizlikler olduğu gözlemlenmektedir. Burada kesit, Çizelge 4.1'den anlaşılabilceği üzere hem enine hem de boyuna daralmaktadır. Dolayısıyla deflektör akışa karşı eğim oluşturmaktadır.

Case-6 da, dar deflektör modelinde eğimden dolayı deflektör çıkışında düzensizlikler olduğu görülmekte; case-7 de ise geniş deflektör modelinde, akışı yalayan yüzeyin daha geniş olmasından dolayı akış çıkışta düzenli olmaktadır. Buna dayanarak case-7 de deflektör yüzeyinin genişlemesinin akışı olumlu etkilediği, deflektörü iyileştirdiği söylenebilir.



Şekil 4.11 : Deflektör içinden geçen akım çizgilerinin karşılaştırılması (a) Case-8 (50 mm - 35 mm, uzantılı) (b) Case-9 (50 mm - 35 mm uzantılı) (c) Case-10 (70 mm - 50 mm) (d) Case-11 (70 mm - 50 mm) (e) Case-12 (70 mm - 35 mm) (f) Case-13 (70 mm - 35 mm).

Şekil 4.11'de case-8 ve case-9 incelendiğinde deflektörlerin giriş ve çıkış boyutları case-2 ve case-3 ile aynı ancak çıkışları sabit kesitte 10'ar cm uzatılmıştır. Uzatılma geniş deflektör modelinde akış kararlılığında bir değişikliğe neden olmamış ancak dar deflektör modelinde (case-2 & case-8) akışın bozulduğu gözlemlenmektedir. Buna dayanarak, deflektörün çıkışını (kapıya doğru) uzatmak dar deflektör modelinde akış kararlılığını bozmaktadır diyebiliriz. Kesin bir öngörü için deflektörlere giren debiler ve her deflektör için ayrı ayrı C_D katsayıları incelenmelidir.

Case 10 ve case 11' in giriş ve çıkış kesitleri, case 2 ve case 3' ün giriş ve çıkış kesitlerinden daha büyüktür (bkn. Çizelge 4.1). Geniş deflektör modelinde (case 3 & case 11) akışın kararlılığının bozulmadığı ancak dar deflektör modelinde düzensizlikler olduğu gözlemlenmektedir.

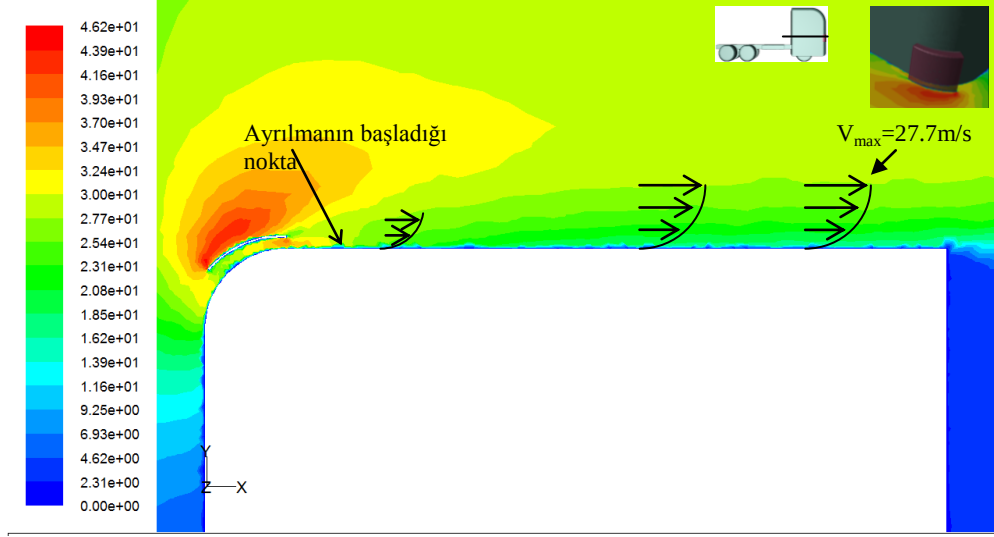
Case 12 ve case 13'ü incelediğimizde dar deflektör modelinde akışın kararlılığının bozulduğu anlaşılmaktadır. Ancak geniş deflektör modelinde bu durumun oluşmadığı görülmektedir. Bu iki case; case 2-3 ve case 10-11 ile karşılaştırıldığında kesit daralmasının daha fazla olmasından dolayı akış kararlılığının bozulduğu görülmüştür.

Ara sonuç:

Akım çizgilerinin incelenmesiyle net olarak şunu söyleyebiliriz ki geniş deflektör modeli dar deflektör modeline göre daha kararlı bir akış sağlamaktadır. Dolayısıyla akışın yaladığı yüzeyi geniş tutmak akışı olumlu etkileyecektir.

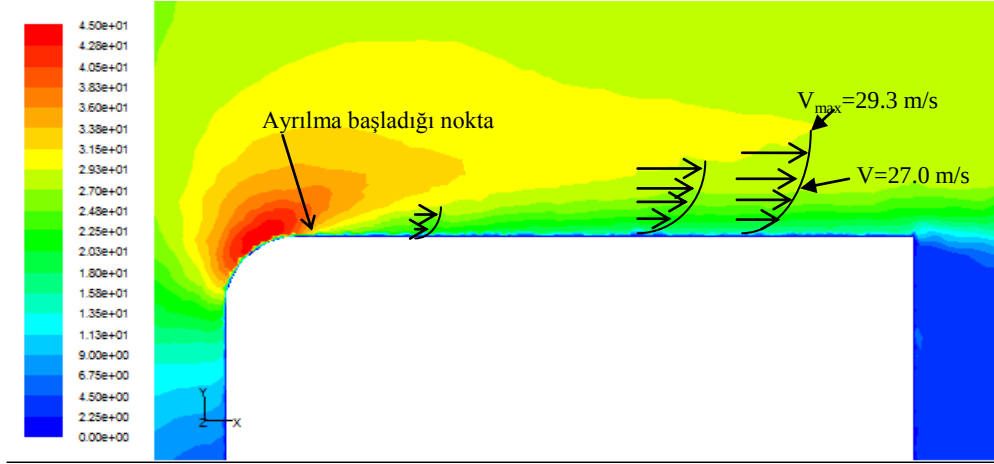
Aşağıda deflektör seviyesinden yere paralel alınan kesitlerde hız profilleri incelenmiş ve deflektör modelleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Daha önceden açıklandığı gibi, deflektördeki temel amaç, yüksek hızlardaki havanın mümkün olduğunca kabinin yan yüzeyinden ayrılmadan (kabine yakın) akmasıdır.

Ayrılmayı önlemek için akışın düzenli olması gerekmekte, düzensiz akışın mümkün olduğunca engellenmesi gerekmektedir. Bununla beraber deflektörden çıkan havanın yüksek hız ve debide olması gerekmektedir. İleriki çalışmalarda parçacık analizlerini de akış analizlerine katarak tekerlerden gelen çamuru analiz etmek gerekmektedir. Ayrıca deflektörün etkisini görmek temel amaçtır.



Şekil 4.12 : xy kesitinde hız konturları [m/s], “case-2, dar deflektör, 50 mm-35 mm”, üstten görünüş.

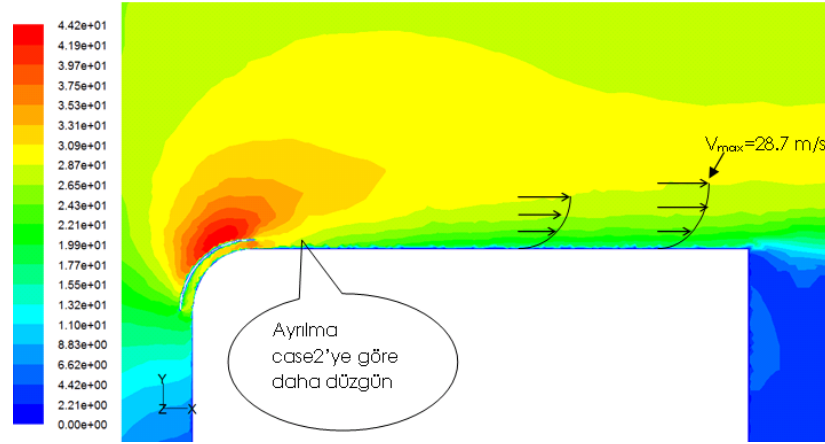
Şekil 4.12'de xy kesitinde hız konturları görülmektedir. Deflektörden çıkan yüksek hızdaki havanın kabine yaklaştığı görülmektedir. Kabin yüzeyinde mavi hız profillerinin (düşük hızlar) çok küçük olduğu, bu durumda deflektörün cidara yakın yerlerdeki hızları arttırdığı görülmektedir. Aşağıdaki şekilde deflektör olmadığı durumdaki hız gradyanları görülmektedir.



Şekil 4.13 : xy kesitinde hız konturları, “case-1, deflektör yok”, üstten görünüş

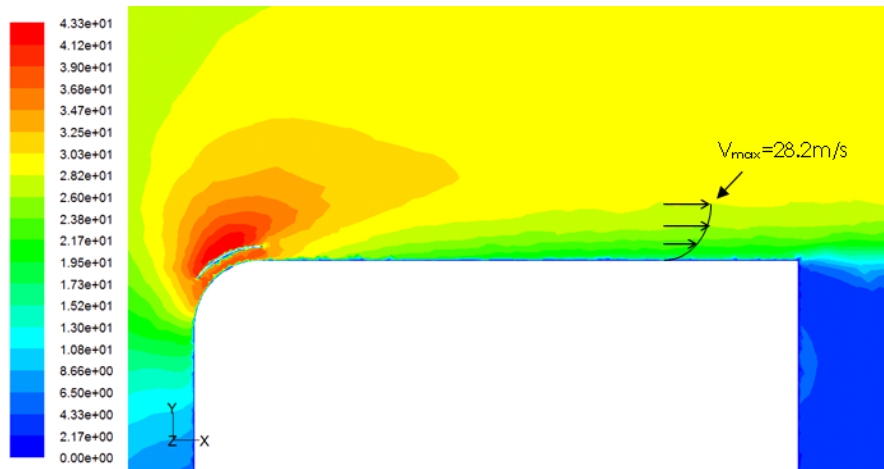
Şekil 4.13'de deflektör kullanılmayan modelde xy kesitinde hız konturları görülmektedir. Deflektör kullanılmadığı için yüksek hızlardaki hava kabine yaklaşımadan düşük hızlara ulaşmaktadır. Ayrılma çok önde başlamakta ve artarak devam etmektedir. Cidara yakın yerlerde düşük hızların daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.12'de ise case-2 durumunda ayrılmanın geciktiği ve

kabin yüzeyine yakın yerde sabit bir gradyanda devam ettiği gözlemlenmiştir. Bu durum case-2 modelimizin hava perdesi oluşturmada etkili olduğunu göstermektedir.



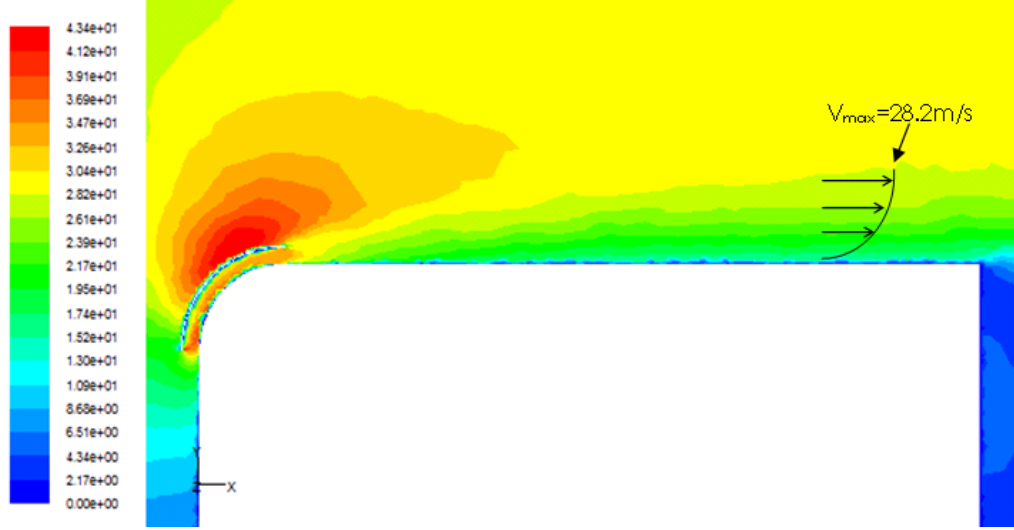
Şekil 4.14 : xy kesitinde hız konturları [m/s], “case-3, geniş deflektör, 50 mm-35 mm”.

Şekil 4.14'de case-2' nin alternatifi olan aynı giriş ve çıkış genişliklerinde geniş deflektör modeli görülmektedir. Görüldüğü üzere sarı renkteki 28.7 ila 30.9 m/s hız aralığında olan yüksek hızlı hava kabinin arkalarına kadar ilerlemektedir. Şekil 4.12' de case-2 de ise bu hızların daha düşük olduğu ve yüksek hızların daha çabuk ortam hızına ulaştığı gözlemlenmişti. Hız profillerinin case-2 ile hemen hemen aynı olmasıyla beraber profilde gözlemlenen maksimum hız yaklaşık 1 m/s daha yüksektir. Geniş deflektör modelinin dar deflektör modeline göre daha kararlı bir akış oluşturduğu akım çizgilerini incelerken belirtilmiş idi.. Buradan da geniş deflektörün dar deflektör modeline göre daha etkili hava perdesi oluşturduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 4.15 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case4, dar deflektör, 50 mm-50mm”.

Yukarıda Şekil 4.15'de 50-50mm giriş ve çıkış genişliklerine sahip case-4 modelinin hız konturları verilmiştir. Case-4 modelimiz case-2 modeliyle karşılaştırıldığında hız profilinin daha düzgün olduğu ve kabin yüzeyine daha yakın bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Ayrıca yüksek hızdaki hava perdesinin daha geniş bir alanda etki ettiği görülmektedir.



Şekil 4.16 : xy düzleminde hız konturlarının dağılımı [m/s], “case5, geniş deflektör, 50 mm-50 mm”.

Şekil 4.16'da sabit kesitte geniş deflektör modelinin hız dağılımları verilmiştir. Sabit kesitli dar deflektör modeliyle karşılaştırdığımız zaman hız profilinin yüzeyden daha uzak bir arada olduğu gözlemlenmiştir. Bu da case-4' e göre daha etkisiz kaldığını göstermektedir.

Kendi alternatifini olan daralan kesitli geniş deflektörle karşılaştırıldığı zaman ise hız profilinin aynı olduğu ancak daha düzgün bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir.

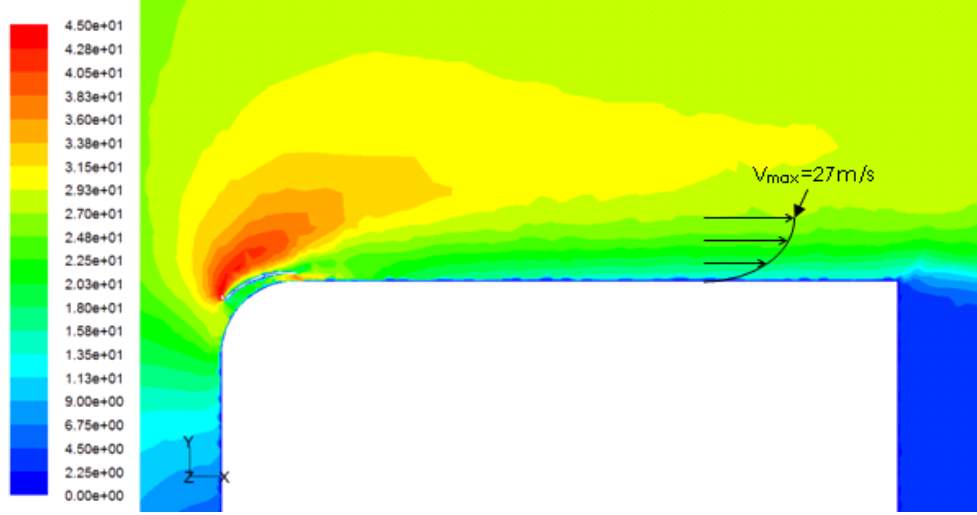
Ara sonuç:

Yukarıdaki 5 case için xy düzleminde hız dağılımları incelendiğinde şu sonuçlara varıyoruz:

Daralan kesitli modellerde (50mm-35mm) geniş deflektör modelinin dar deflektör modeline göre hava perdesi oluşturmada daha etkili olduğu,

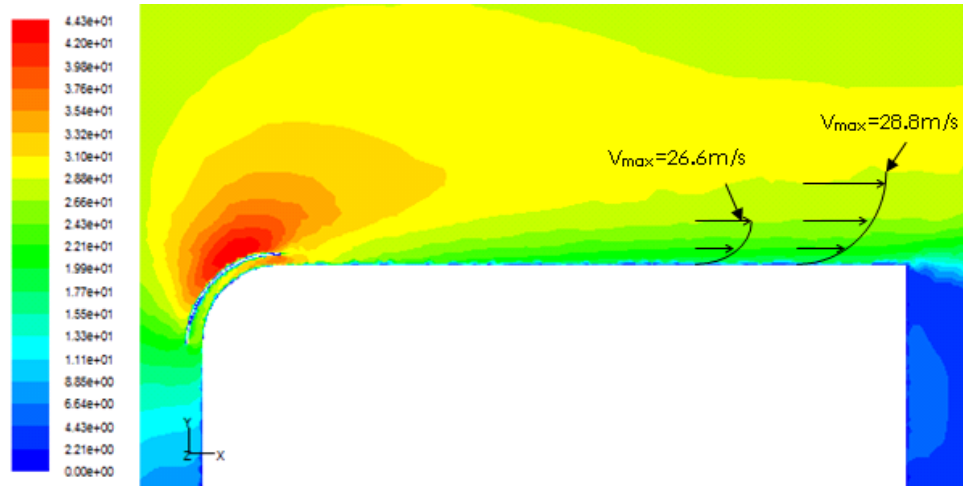
Sabit kesitli dar deflektör modelinin (50mm-50mm) daralan kesitli dar deflektör modeline göre (50mm-35mm) daha etkili hava perdesi oluşturduğu.

Sabit kesitli geniş deflektör modelinde (50mm-50mm) daralan kesitli geniş deflektör modeline göre fazla değişim gözlemlenmemiştir. Ancak sabit kesitli dar deflektör modelinin sabit kesitli geniş deflektör modeline göre daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case6, dar deflektör, eğimli daralan, 50mm-25mm, eğimli daralan”.

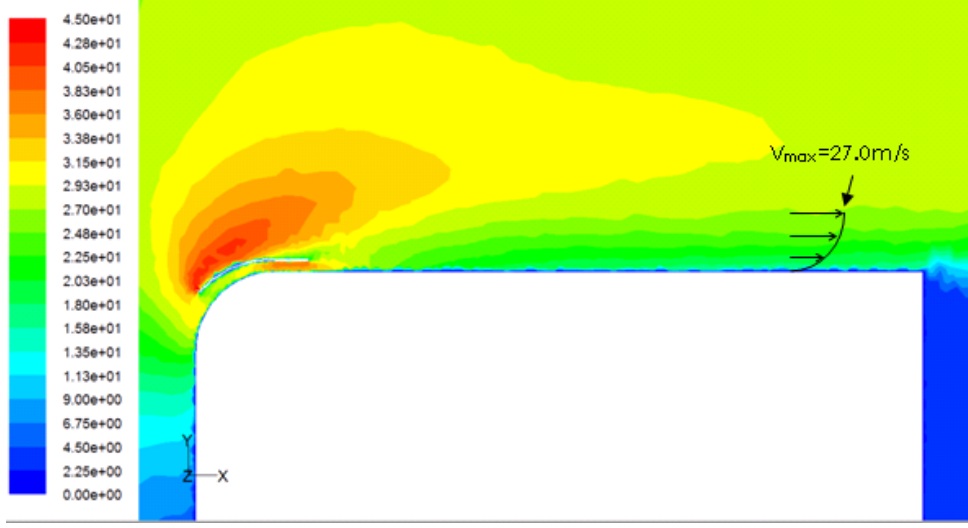
Şekil 4.17'de giriş kesitinden çıkış kesitine doğru hem enine hem boyuna daralan dar deflektör modelinin hız dağılımları görülmektedir. Diğer dar deflektör modelleri olan case2 ile karşılaştırıldığında oluşturduğu hava perdesinin kabine yakın yerlerde diğer dar deflektör modellerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case7, geniş deflektör, 50mm-25mm, eğimli daralan”.

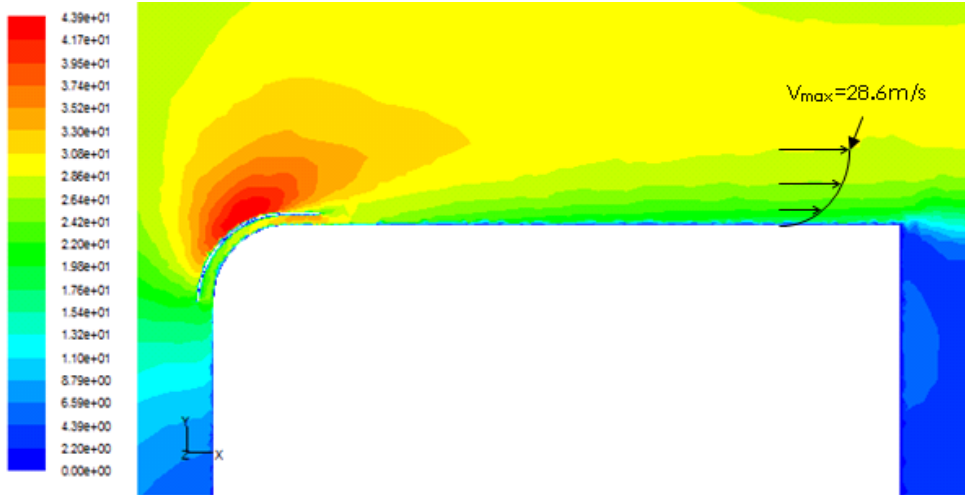
Şekil 4.18'de hem enine hem de boyuna daralan kesitli geniş deflektör diğer geniş deflektör modelleri olan case3 ile karşılaştırıldığında zaman kabine yakın yerlerde yüksek hızlı hava perdesi oluşturmada daha etkisiz kaldığı görülmektedir.

Yukarıdaki iki case incelendiğinde çıkış kesitinin daraltılmasının deflektör kabiliyetini olumsuz etkileyeceği anlaşılmaktadır.



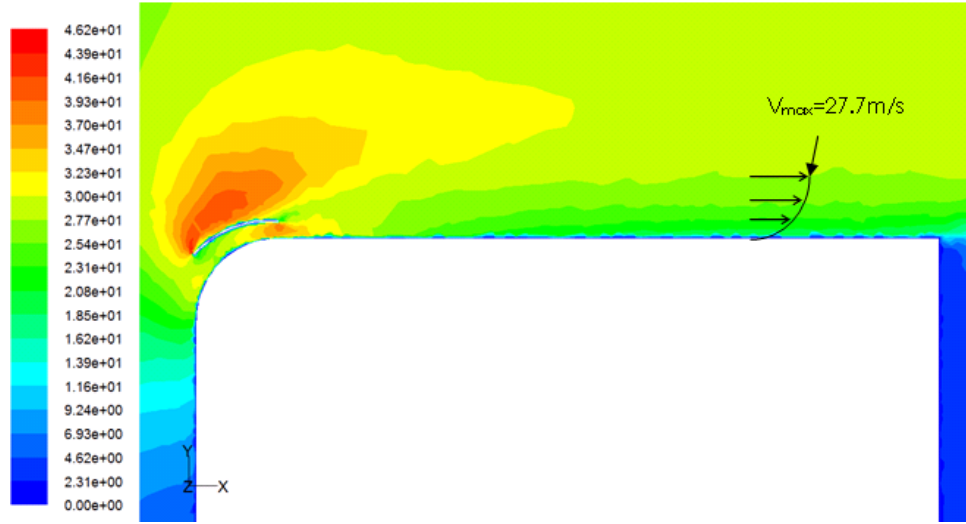
Şekil 4.19 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case8, dar deflektör, 50mm-35mm, çıkış sabit kesitte 10cm uzatılmış”.

Yukarıda Şekil 4.19 incelendiğinde dar deflektörün çıkış kesitinin uzatılmasının diğer dar deflektör modellerine göre (case2) farklı bir etkisi oluşmadığı görülmektedir.



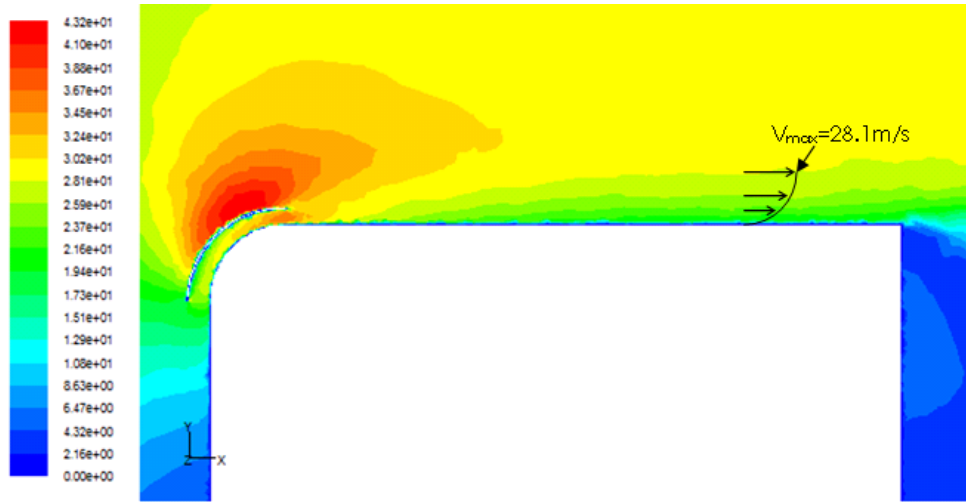
Şekil 4.20 : xy düzleminde hız konturları, “case9, geniş deflektör, 50-35mm, çıkış sabit kesitte 10cm uzatılmış”.

Şekil 4.20 de geniş deflektör modelinin çıkışının sabit kesitte uzatılmasının diğer geniş deflektör modellerine göre (case3) farklı bir etki yapmadığı görülmektedir. Bu durumda deflektörün çıkışını kapı çizgisine kadar uzatmanın yeterli olacağı öngörüsünde bulunabiliriz.



Şekil 4.21 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case10, dar deflektör, 75mm-50mm”.

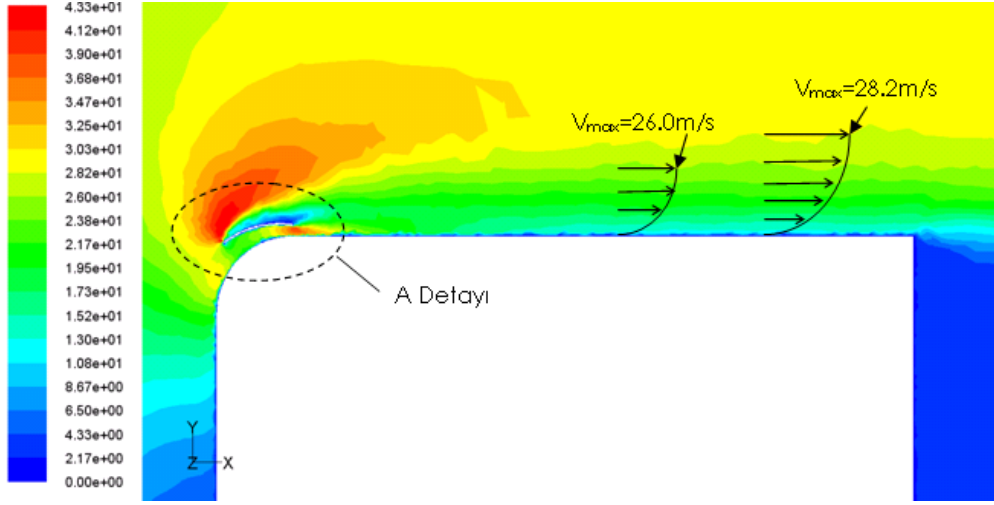
Şekil 4.21'de case2 ile kıyaslandığında dar deflektör modelinin hem giriş ağzı hem de çıkış ağzı genişletilmiştir. Hız profilleri incelendiğinde yüzeydeki hız profili case2 ile hemen hemen aynıdır ancak kabin etrafında yüksek hızlı hava perdesi daha geniş bir bölgede etki etmektedir. Bu da çamur ve benzeri maddelere karşı hava perdesi direncini arttıracaktır.



Şekil 4.22 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case11, geniş deflektör, 75mm-50mm”.

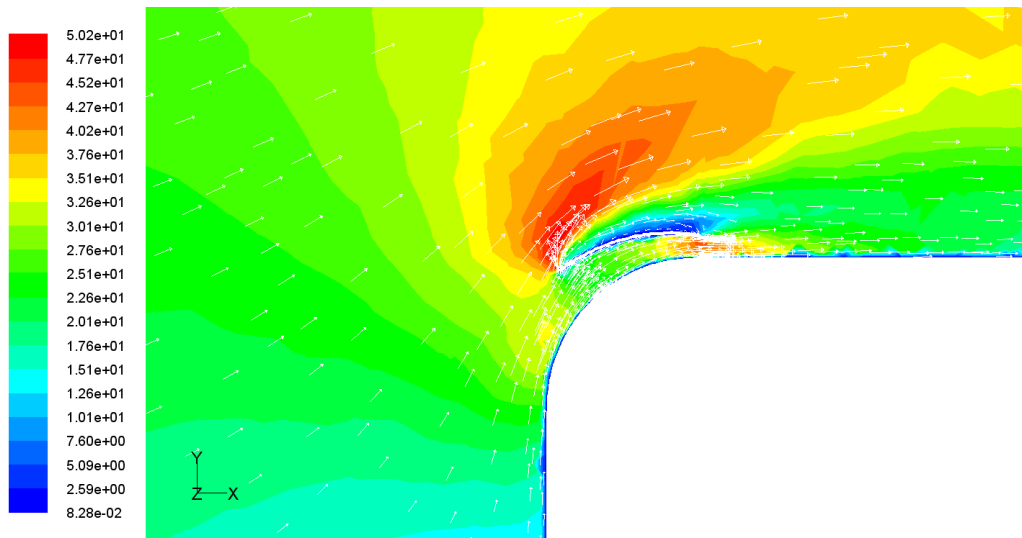
Şekil 4.22'de case11 modeli case3 modeli ile karşılaştırıldığında hem giriş hem çıkış kesiti genişletilmiştir. İki case incelendiğinde case11 de hız profillerinin kabin yüzeyine daha yakın bir aralıkta değiştiği ve yüksek hızda hava perdesinin daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Dolayısıyla hem giriş hem çıkış kesitinin

büyütülmesi dar deflektör modelinde olduğu gibi geniş deflektör modelinde de olumlu etki oluşturacağı öngörülmektedir.

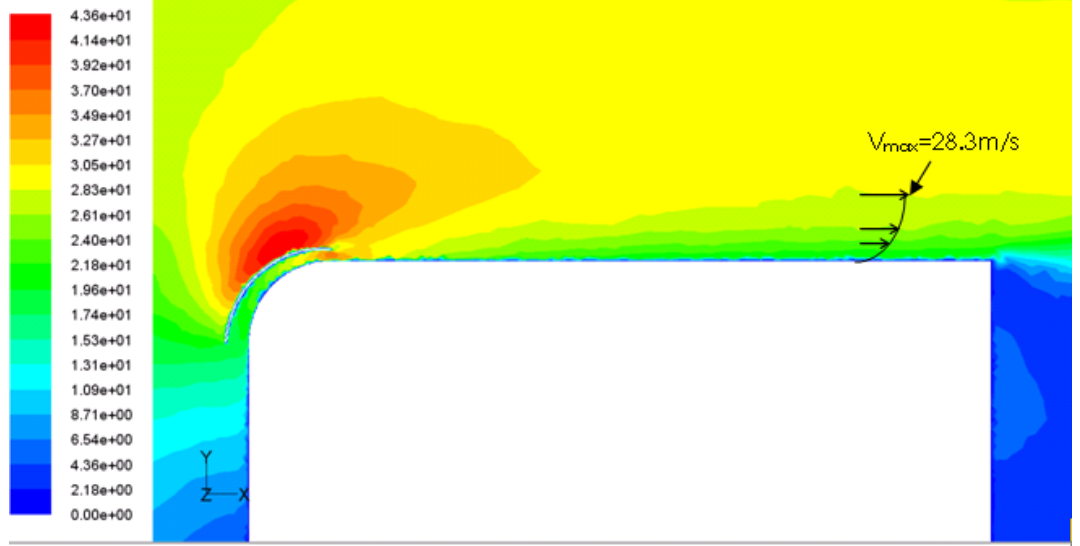


Şekil 4.23 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case 12, dar deflektör, 70mm-35mm”.

Şekil 4.23'te giriş 70mm, çıkış 35mm dar deflektör modelinin hız profilleri görülmektedir. Case 2 ile karşılaştırıldığında hız profillerinde yüksek hızların yüzeyden daha uzak bölgelerde olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca "A" detayında hücum açısından dolayı bir ayrılma gözlemlenmektedir. Hız profillerinin düşük olması kesit daralmasına ve hücum açısına bağlı kalmaktadır. Dolayısıyla sadece giriş kesitinin genişletilmesinin yukarıdaki sorunları oluşturacağı söylenebilir. Daha önce de bahsedildiği üzere kesit daralma oranının sabit tutularak giriş ve çıkış kesitlerinin genişletilmesi akışı olumlu etkileyecektir.



Şekil 4.24 : xy düzleminde hız konturları ve hız vektörleri [m/s], A Detayı akış ayrılma olayı “case 12 , 70mm-35mm”.



Şekil 4.25 : xy düzleminde hız konturları [m/s], “case 13, geniş deflektör, 70mm-35mm”.

Şekil 4.25'te geniş deflektör modeli 70 mm giriş 35 mm çıkış durumu incelenmiştir. Şekil 4.23'te dar deflektör modelinde oluşan sorunların burada oluşmadığı görülmektedir. Geniş yüzeyinden dolayı daha kararlı ve yüksek hızlar yüzeye daha yakında seyretmektedir.

Case 3 ile karşılaştırıldığında ise hız profillerinin yüzeye daha yakın olduğu görülmektedir.

Case 11 ile karşılaştırıldığında ise hız profillerinde büyük bir değişiklik gözlemlenmemektedir.

Çizelge 4.2 : Farklı deflektör modelleri için deflektörden geçen debi ve sürtünme katsayısına etkileri.

Case	Kesit Daralması (A_c/A_g)	Debi (kg/s)	Sürüklenme Katsayısı (C_d)
1	-----	-----	0.430
2	0.70	0.726	0.433
3	0.70	0.715	0.431
4	1.00	1.034	0.430
5	1.00	0.954	0.431
6	0.44	0.458	0.450
7	0.44	0.642	0.420
8	0.70	0.702	0.444
9	0.70	0.640	0.430
10	0.66	1.045	0.437
11	0.66	1.002	0.426
12	0.47	0.717	0.446
13	0.47	0.722	0.429

Çizelge 4.2 incelendiğinde geniş deflektör modellerinin dar deflektör modellerine kıyasla sürüklenme katsayısına case5 hariç her durumda olumlu etki yaptıkları gözlemlenmektedir.

4.1.1.4 Jenerik model sonuç ve öneriler

Yukarıdaki incelemeler sonucunda geniş deflektör modelinin hava perdesi oluşturmada dar deflektör modeline göre daha etkili olduğu gözlemlenmektedir. Yani deflektörden geçen havanın yaladığı yüzey ne kadar genişse o kadar etkili hava perdesi oluşmaktadır.

Deflektörün giriş kesitini sabit tutup çıkış kesitini daralttığımız zaman sanılanın aksine daha hızlı bir hava perdesi oluşmamakta ve akış kararlılığını kaybetmektedir. Dolayısıyla çıkış kesitini çok küçük tutmamak gerekmektedir. Yani kesit daralma oranı A_c/A_g çok fazla küçülmemelidir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda A_c/A_g oranının 0.6 ila 1 arasında verimli olduğu söylenilebilir.

Deflektörün hem giriş kesitini hem de çıkış kesitini orantılı bir şekilde arttırmak hem deflektörden geçen hava debisini arttırmakta hem de kabine daha yakın bir hava perdesi oluşturmaktadır. Yani, tekerlekten sıçrayan çamuru önlemede daha etkili olacağı söylenilebilir.

Burada elde ettiğimiz verileri gerçek kamyon üzerinde uygulama aşamasında optimum geometrik değerlerden yararlanılmıştır. Bu değerler yaklaşık olarak gerçek modele yansıtılmış ve tasarım ekibine sunulmuştur.

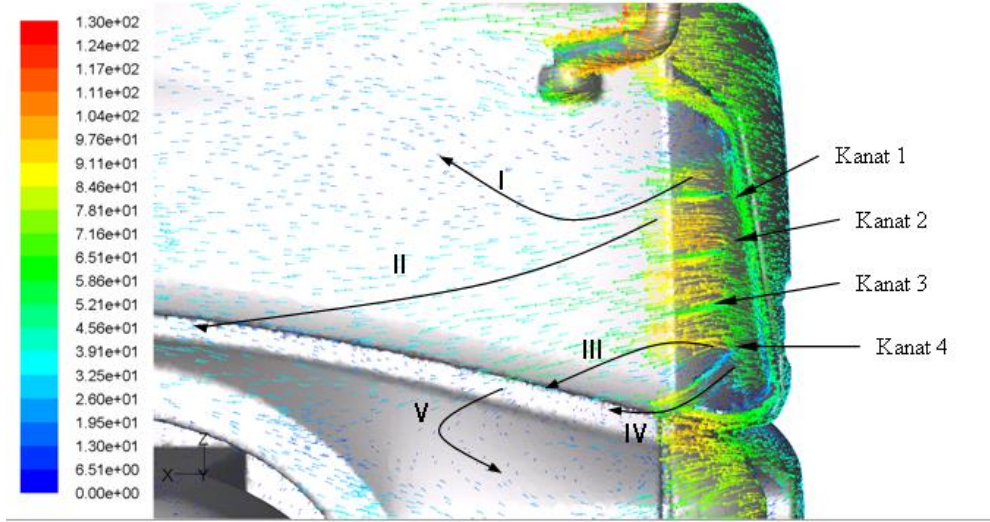
Bunun sonucunda yeni bir deflektör modeli tasarlanmış olup bu modelin kullanılması önerilmiştir.

Sonuç olarak, yukarıdaki çalışmalar arasında optimum deflektör olarak; geniş giriş ve çıkış kesitine sahip, geniş yüzeyli (havanın yalayıp geçtiği yüzey, bkz. geniş deflektör modeli) ve kesit daralma oranı $A_c/A_g=0.6\sim1.0$ arasında olan deflektör modeli olduğunu söyleyebiliriz.

Aşağıda deflektör için geometrik önerilerde bulunulmuş ve şekiller üzerinde açıklamalarla raporlanmıştır. Tasarım ekibine bu önerilere dayanan yeni defektör modeli (yukarıda bahsedilen) önerilmiştir.

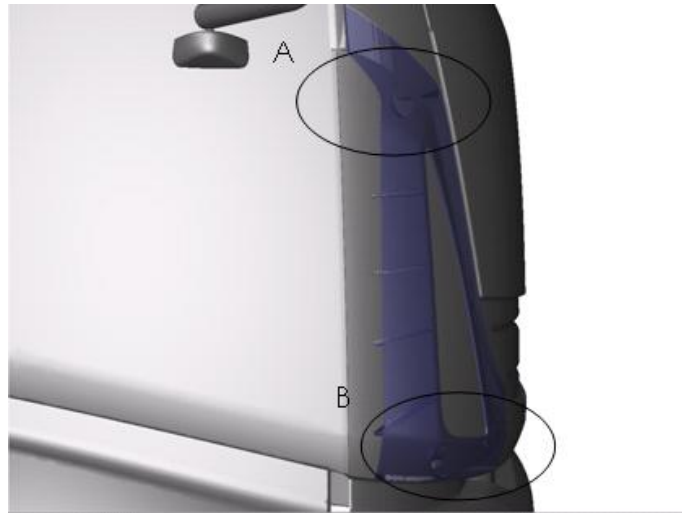
Geometrik önerilerde akışı düzenli hale getirecek ve debiyi arttıracak tasarımlar yapılmıştır.

4.1.2 Deflektör için geometrik öneriler



Şekil 4.26 : Deflektör bölgesi, yüzeyden 2 mm dışarıda hız vektörleri [m/s], 1:5 ölçek, 60 m/s.

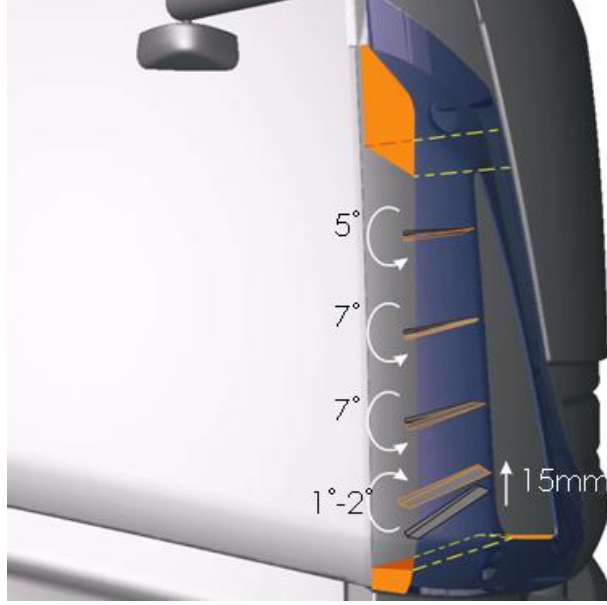
Şekil 4.26'da deflektörden geçen havanın yönü oklarla gösterilmiştir. Bölüm 2’de ve Bölüm 3’te hem deney öncesi CFD çalışmasında hem de deney-CFD karşılaştırmalarında deflektör bölgesi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada deflektör üzerinde yapılması düşünülen geometrik değişiklikler üzerinde durulacaktır.



Şekil 4.27 : Deflektör, yandan görünüş.

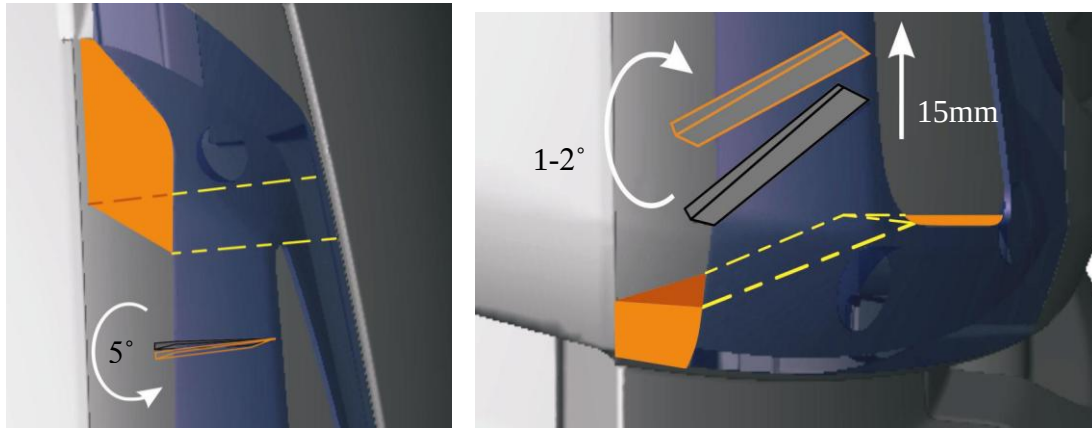
Şekil 4.26'da 1 nolu kanatın üstünde (üstten ilk kanat), Şekil 4.27'de "A" detayı ile gösterilen deflektörün kabine bağlantı yerindeki boşluktan dolayı kesitin büyümesiyle havanın hızının düştüğü ve burada ölü bir bölge oluştuğu

görülmektedir. Şekil 4.26'da 1 nolu ok buradan gelen havanın, akış kesitinin genişlemesiyle yukarı doğru yönlendiğini ve ortam hızına yaklaştığını göstermektedir. Buradaki boşluk kapatılarak hem buradaki genişleme önlenmiş olacak hem de kapatılan malzemeye (örnek: plastik parça) aşağıya doğru açı vererek havanın aşağıya yönlenmesi sağlanmış olacaktır. Aynı durum Şekil 4.27'de "B" detayında da görülmektedir. Buradaki bağlantı boşluğunun da kapatılması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde önerilen kapatma biçimi görülmektedir.



Şekil 4.28 : Deflektör üzerinde yapılacak değişiklikler, yandan görünüş.

Şekil 4.28'de deflektörün üstünde ve altındaki bağlantı boşluklarının kapatılmış hali görülmektedir. Bu parçalar hem hava hızının düşmesini engellemekte hem de şekildeki gibi kanat görevi görerek havayı aşağıya doğru yönlendirmektedir.



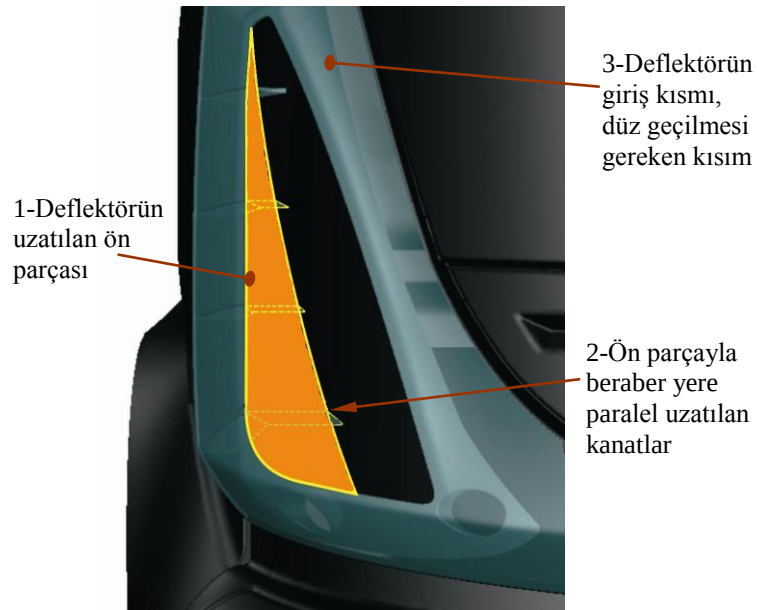
Şekil 4.29 : Deflektör alt ve üst bölgelerindeki geometrik değişiklikler.

Deflektörün üst kısmındaki dolgu parçasının aşağıya doğru 3-4° eğimli olması, alt kısımdaki dolgu parçasının ise Şekil 4.29'da görüldüğü üzere belirlenen yerden itibaren yaklaşık 20° aşağıya doğru eğimli olması önerilmektedir.

Yukarıdan aşağıya doğru ilk üç kanat incelendiğinde, ilk kanada Şekil 4.28'de oklarla belirlenen yönde (saat yönünün tersi) ilk konumuna göre 5° eğim verilmesi, diğer iki kanadın ise 7°'er derece eğim verilmesi önerilmektedir. Bu sayede akışın ayrılma olmadan daha aşağıya yönlendirilebileceği öngörülmektedir.

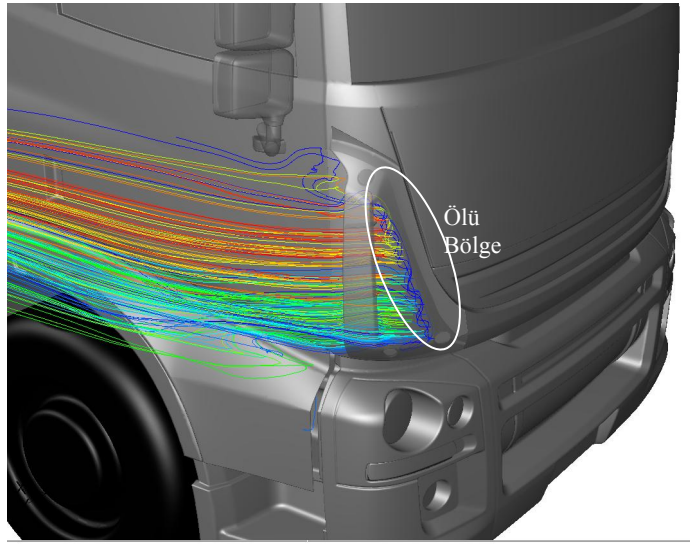
En alttaki kanat incelendiğinde ise, Şekil 4.26'da bu kanadın hücum açısından dolayı akım ayrılması görülmektedir. Bu durum deflektör performansını olumsuz etkilemektedir. Şekil 4.28 de görüldüğü gibi, saat yönünde 1-2° eğiminin azaltılması önerilmektedir. Aynı zamanda, deflektörün alt kısmını kapatacak olan dolgu parçasından dolayı en alttaki kanadın yaklaşık 15 mm yukarıya taşınması önerilmektedir.

Bölüm 4.1.1'de jenerik model sonuçları incelendiğinde, deflektör girişinin kabinin ön tarafına doğru uzatılmasının performansı arttırdığı görülmüştür. Bu durum ayrıca kanatların hücum açısından dolayı oluşan akım ayrılmasını da önleyecektir. Kanatları da deflektörün ön bölgesiyle beraber kabinin önüne doğru yatay eksene paralel bir şekilde uzattığımızda kanatlar hava akımını aşağıya yönlendireceklerdir. Bu durum akım ayrılmalarını önleyecek ve deflektör performansını arttıracaktır. Aşağıdaki şekilde deflektörün ön bölgesi için önerilen tasarım iyileştirmesi görülmektedir.

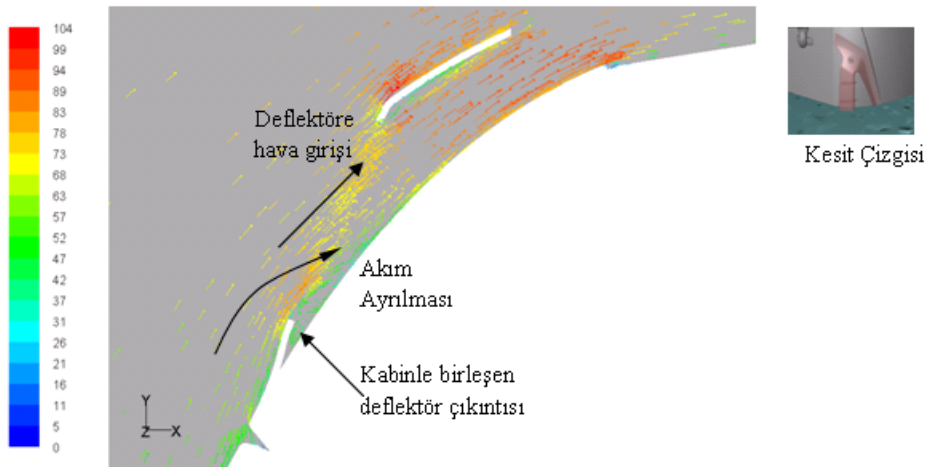


Şekil 4.30 : Deflektör ön bölgesinin ve kanatların kabin önüne doğru uzatılması.

Şekil 4.30'da deflektörün ön kısmında yapılması önerilen değişiklikler görülmektedir. Gerek jenerik modelden elde ettiğimiz sonuçlar gerekse de akış karakteristiği incelemelerinden elde ettiğimiz sonuçların yukarıdaki 1 ve 2 nolu değişiklikleri gerektirdiği öngörülmektedir. 3 nolu değişiklik önerisi hem deney öncesi CFD çalışmasında hem de deney-CFD karşılaştırmalarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Giriş kısmının deflektörün alt yüzeyiyle açığı yaparak arada boşluk kalması burada akım ayrılmasına ve içerdeki boşlukta da ölü hacmin oluşmasına sebep olmaktadır. Aşağıdaki şekillerde deflektörün ön bölgesinde oluşan ölü hacim ve akım ayrılması görülmektedir.

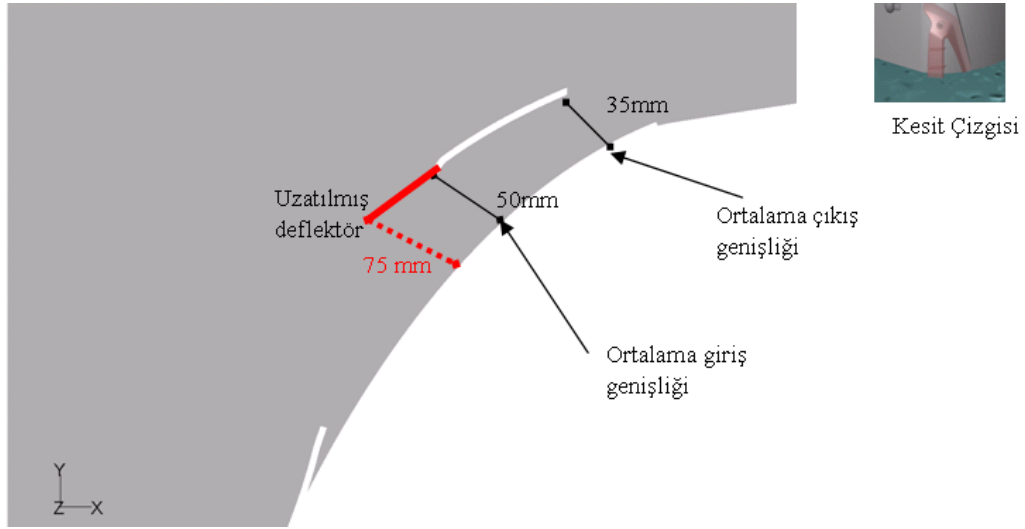


Şekil 4.31 : Deflektörden geçen akım çizgileri, $V = 60$ m/s girişte oluşan ölü bölge.



Şekil 4.32 : $V= 60$ m/s hız için xy kesitinde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş.

Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de deflektörün girişindeki çıkıntıdan dolayı oluşan akım ayrılması ve ölü hacim görülmektedir. Bu çıkıntının giderilip girişin düz yapılması uygun olacaktır.



Şekil 4.33 : Deflektörün giriş ve çıkış genişlikleri, üstten görünüş (ortalama değerler).

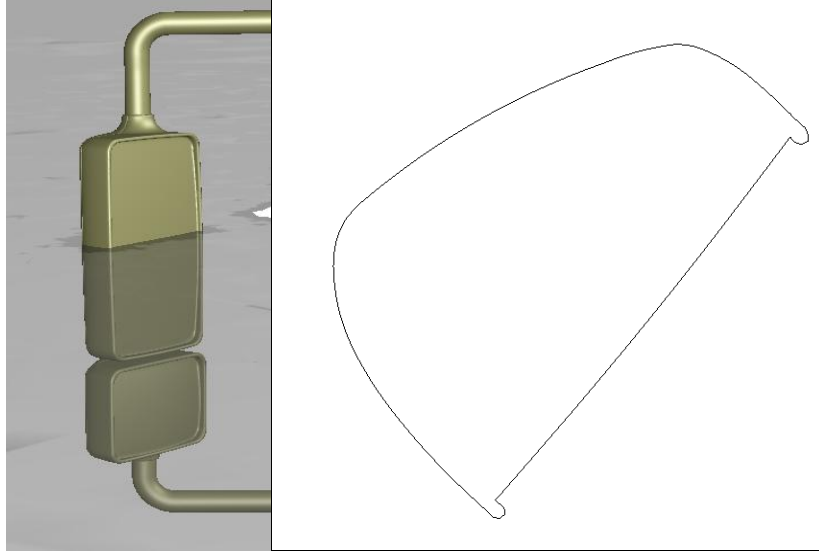
Şekil 4.33'de deflektör boyunca ortalama giriş ve çıkış genişliği verilmiştir. Yukarıdaki değerler Gambit ortamında ve yaklaşık olarak alınmış değerlerdir. Çıkış genişliğinin giriş genişliğine oranı 0.6' dır. Jenerik model çalışmaları deflektörün en verimli halinin çıkış/giriş genişliği oranının 0.6 ila 1 arasında olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla tasarımıımızın giriş ve çıkış genişliklerinin mevcut deflektör modeli için uygun olduğunu ancak yukarıdaki değişikliklerle beraber 0.6-0.7 oranı sabit tutularak kesitin büyütülmesi önerilmektedir. Jenerik modelin vermiş olduğu sonuçlar doğrultusunda, deflektör Şekil 4.30'da gösterildiği gibi uzatılmalı, tavsiye edilen giriş ve çıkış ortalama genişlikleri sırasıyla 75 mm ve 50 mm' dir. Deflektörün uzatılma miktarı kırmızı çizgi ile gösterilmiş olup, her deflektör kesitinde farklı değerler olacaktır. Uzatma miktarı deflektöre giren debi ile doğru orantılı olup, kabin gövdesinde çıkıntı vermeyecek görünüşü bozmayacak şekilde, Şekil 4.30 ve Şekil 4.33 dikkate alınarak mümkün olduğunca uzun tutulmalıdır.

4.2 Farklı Ayna Tasarımlarının İncelenmesi: Ayna Optimizasyon Çalışmaları

Ağır kamyon geometrisinde mevcut olan aynanın akış ve sürüklenme katsayısı açısından optimize edilmesi amacıyla, mevcut aynanın kesit geometrisi üzerinde

çeşitli düzenlemeler yapılarak analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda incelenmiştir.

4.2.1 Mevcut ayna geometrisi ve yeni tasarımlar



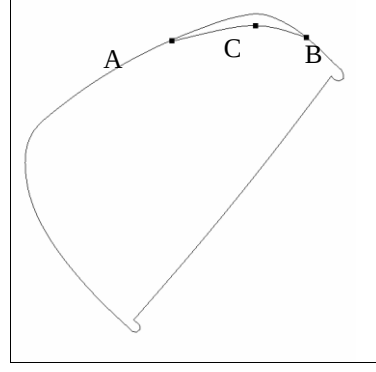
Şekil 4.34 : Mevcut ayna geometrisi ve XY düzleminde 2 boyutlu ayna kesiti.

Şekil 4.34'te mevcut ayna geometrisi ve belirtilen orta düzlemde alınan kesit profili görülmektedir. Şeklin sağındaki 2 boyutlu kesit geometrisi Gambit ortamında tekrardan oluşturularak üzerinde çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Fluent ortamında bu değişik ayna kesit profillerinin 2 boyutlu analizleri yapılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

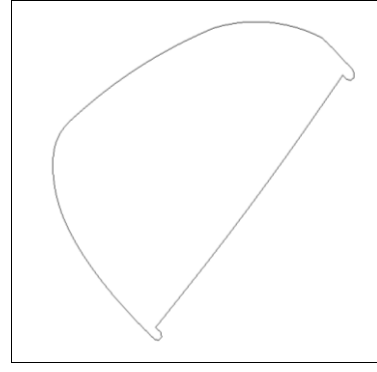
Toplamda, mevcut geometri dahil 10 farklı geometri ve farklı akış açılarında analizler yapılmıştır. Oluşturulan ayna kesit profilleri aşağıda gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde mevcut ve iyileştirme yapılmış iki boyutlu ayna geometrileri karşılaştırılmıştır.

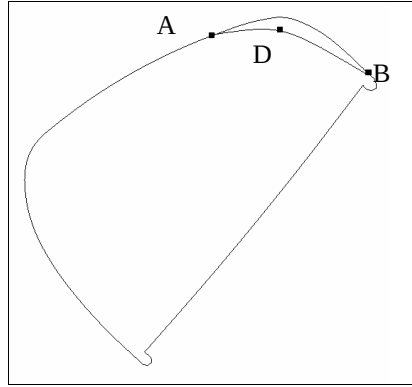
Bu iyileştirmeler yağmur damlası modeli baz alınarak yapılmıştır. Keskin hatlar giderilmeye çalışılmış ve bununla beraber hatlar yumuşak hale getirilmeye çalışılmıştır.



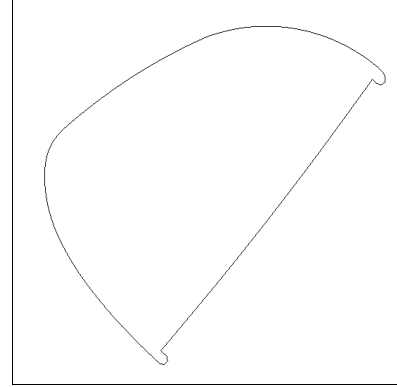
(a)



(b)



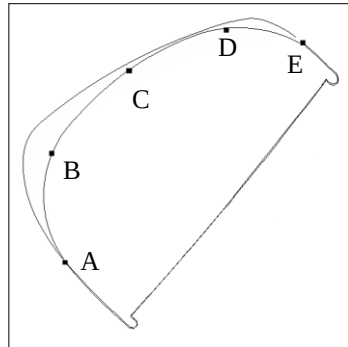
(c)



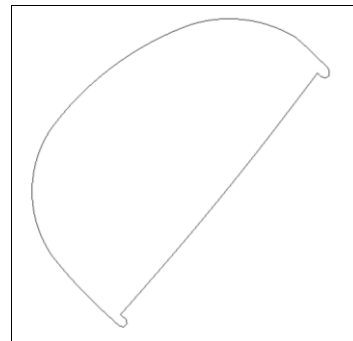
(d)

Şekil 4.35 : Mevcut geometri üzerinde yapılan iyileştirmeler **(a)** Case 0 (Mevcut geometri) **(b)** Case 1 (üst köşe yarım yuvarlatılmış) ABC boyunca yuvarlama **(c)** Case 0 (Mevcut geometri) **(d)** Case 2 (üst köşe tam yuvarlatılmış) ADB boyunca yuvarlama.

Şekil 4.35 incelendiğinde mevcut geometri üzerinde işaretlenmiş "A" ve "B" noktaları arası yuvarlatılmıştır. Yuvarlatmada referans alınan bir "C/D" noktası daha kullanılarak üç noktadan yay oluşturma tekniği kullanılmıştır.



(a)

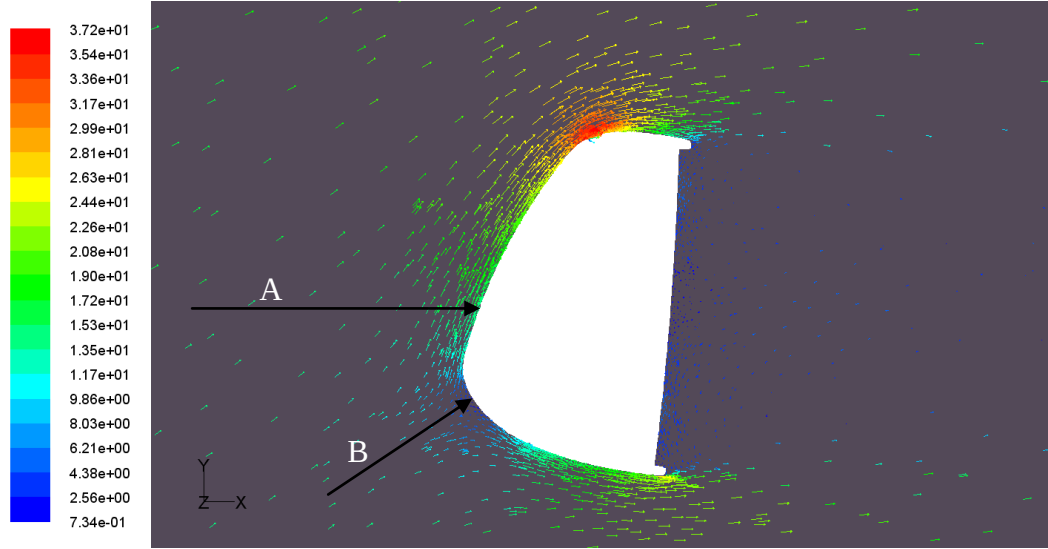


(b)

Şekil 4.36 : Mevcut ayna geometrisi üzerinde yapılan iyileştirmeler **(a)** Case 0 (Mevcut geometri) **(b)** Case 3 (yukarıdan ve aşağıdan yuvarlatılmış, ABCDE boyunca kesilmiş).

Yukarıda Şekil 4.36'da varolan geometrinin hem aşağıdan hem de yukarıdan yuvarlatılmış hali görülmektedir. Mevcut geometri üzerinde belirlenen A,B,C,D ve E noktaları kullanılarak eğriler oluşturulmuştur. Eğriler Gambit ortamında oluşturulmuştur.

4.2.2 Ayna geometrileri analiz sonuçlarının incelenmesi



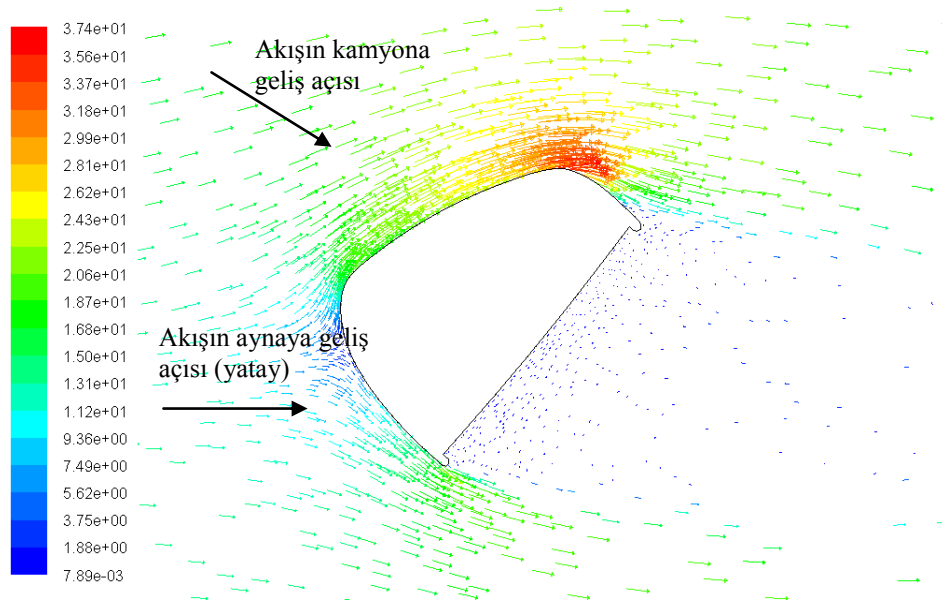
Şekil 4.37 : Üç boyutlu kamyon modeli analiz sonuçlarından alınmış mevcut ayna modelinin xy kesitinde hız vektörleri [m/s], üstten görünüş.

Şekil 4.37'de "A" oku yönü havanın kamyonu göre akış yönünü (kamyon hareket yönünün tersi) göstermektedir. "B" oku yönü ise akışkanın kabin yüzeyine çarparak ayrıldıktan sonra aynalara geliş açısını ve yönünü göstermektedir. Yani aynalara gelen hava kamyonu gelen havayla aynı doğrultuda değildir. "B" okuyla gösterilen hava akışının aynalara geliş açısı yaklaşık 35° dir.

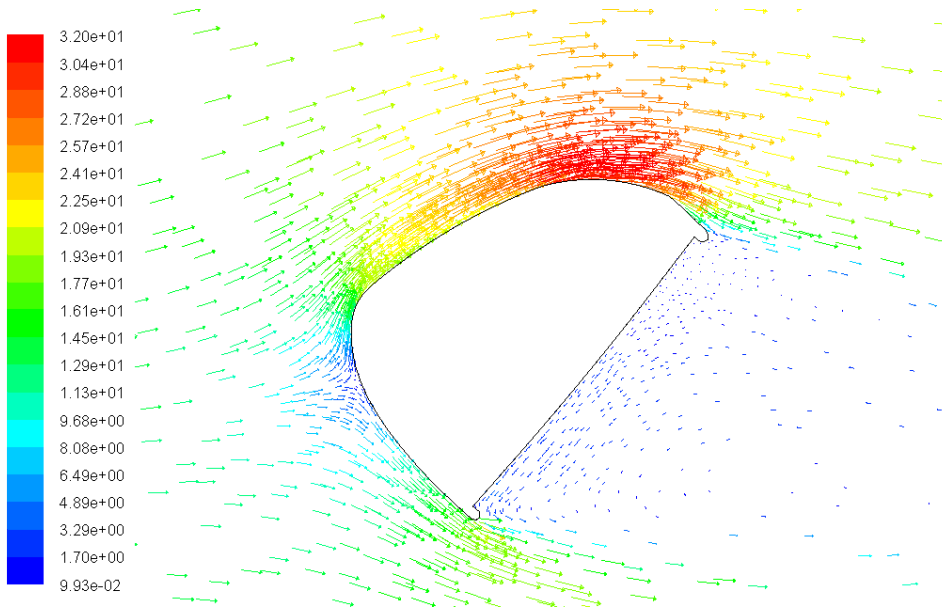
Dolayısıyla, ayna geometrisini iyileştirmek için yaptığımız analizlerde "A" ile "B" arasındaki açıyı 35° kabul edip ayna 35° derece sağa döndürülmüş ve akışkan bağlı olarak 0° açıyla gönderilmiştir. Yaptığımız bu analizlerde sadece 2 boyutlu ayna kesit profilini ele aldığımız için bu şekilde bir yaklaşım yapılmıştır.

Değişik açılarda da analizler yapılarak (kamyonu kullanan şoförün ayna açısını değiştirmesi durumunda) bu durumun sürüklenme kuvvetine etkileri incelenmiştir.

4.2.2.1 35° açılı akışta ayna geometrilerinin incelenmesi (normal koşullardaki akışta)

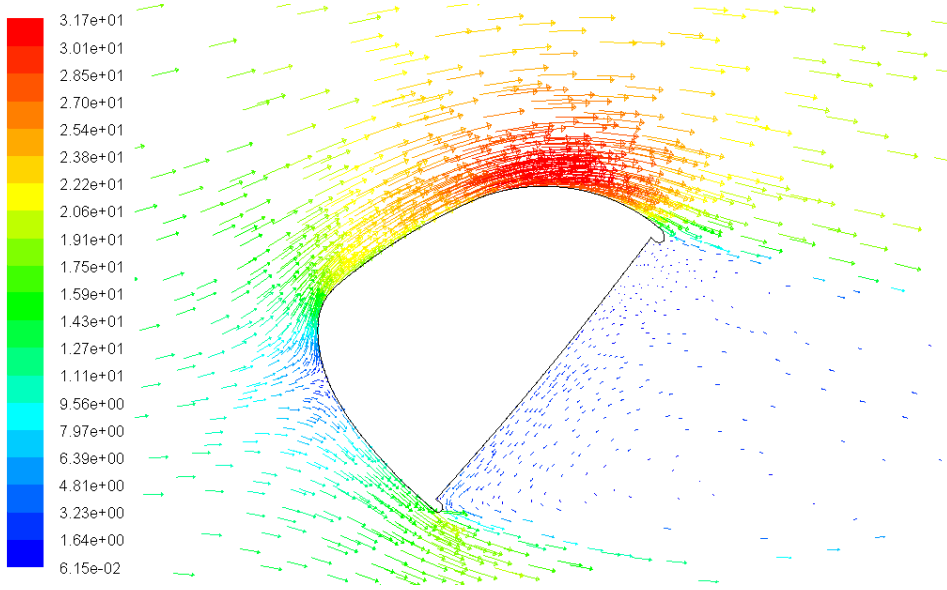


Şekil 4.38 : Case 0, Mevcut geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s], 2-boyutlu akış.



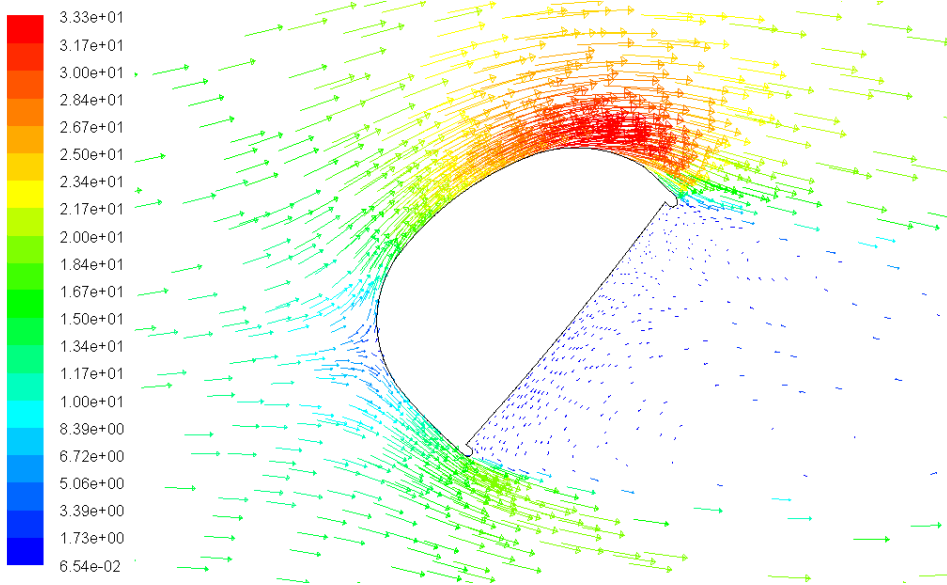
Şekil 4.39 : Case 1, Üst köşesi yarı yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].

Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da mevcut ayna profil kesiti ve üst köşesi yarı yuvarlatılmış (bkz. Şekil 4.35 a ve b) ayna profil kesiti üzerindeki hız vektörleri görülmektedir. Maksimum hızın 37.4 m/s den 32 m/s ye düştüğü görülmektedir. Aynaya gelen toplam kuvvetlerin de 18.2 N dan 16.8 N a düştüğü görülmüştür. Bu durum sürüklenme katsayısını doğal olarak azaltacaktır.



Şekil 4.40 : Case 2, Üst köşesi tam yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].

Şekil 4.40'da üst köşesi tam yuvarlatılmış (bkz. Şekil 4.35-c ve d) geometri üzerindeki hız vektörleri görülmektedir. Mevcut geometriyle kıyaslandığında (case0) maksimum hızın 37.4 m/s den 31.7 m/s ye düştüğü görülmektedir. Aynaya etki eden kuvvetlerin ise mevcut geometri ile kıyaslandığında 18.2 N dan 16.3 N a düştüğü gözlemlenmiştir. Kıyaslamayı case 1 ile (üst tarafı yarı yuvarlatılmış geometri ile) yaptığımızda hem hız hem de kuvvetin daha çok azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.41 : Case 3, Alt ve üst köşeleri tamamen yuvarlatılmış geometri üzerindeki hız vektörleri [m/s].

Yukarıda Şekil 4.41 incelendiğinde maksimum hızın 33.3 m/s olduğu, mevcut geometriden düşük olduğu ancak case1 ve case2 den daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak aynaya etki eden kuvvetlere bakıldığında Case 3 (bkz. Şekil 4.36-a ve b) için 15.9 N olduğu ve hem mevcut geometriden (case0) hem de case1 ve case 2 den daha küçük olduğu görülmüştür. Bu durum sürüklenme katsayısını azaltıcı yönde etki edecektir.

Aşağıdaki tabloda 35° açılı akışta (normal koşullarda, bkz. Şekil 4.37) mevcut ayna geometrisi ile Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da açıklanan farklı üç geometrinin maksimum hız ve kuvvet karşılaştırmaları verilmiştir.

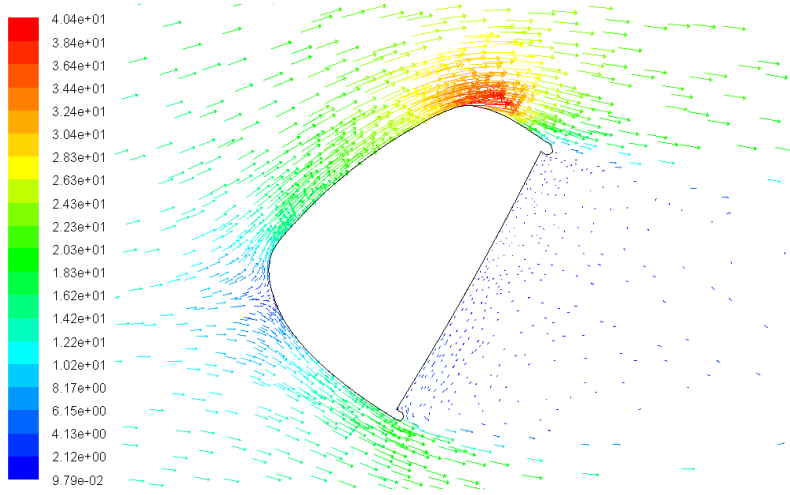
Çizelge 4.3 : 35° akış açısıyla (bkz. Şekil 4.37) farklı ayna geometrilerinin hız ve kuvvet karşılaştırması.

	Maksimum Hız [m/s]	Ayna Üzerine Gelen Toplam Kuvvet [N]
Case 0 (Mevcut geometri)	37,4	18,2
Case 1 (Şekil 2-a ve b)	32,0	16,8
Case 2 (Şekil 2-c ve d)	31,7	16,3
Case 3 (Şekil 3-a ve b)	33,3	15,9

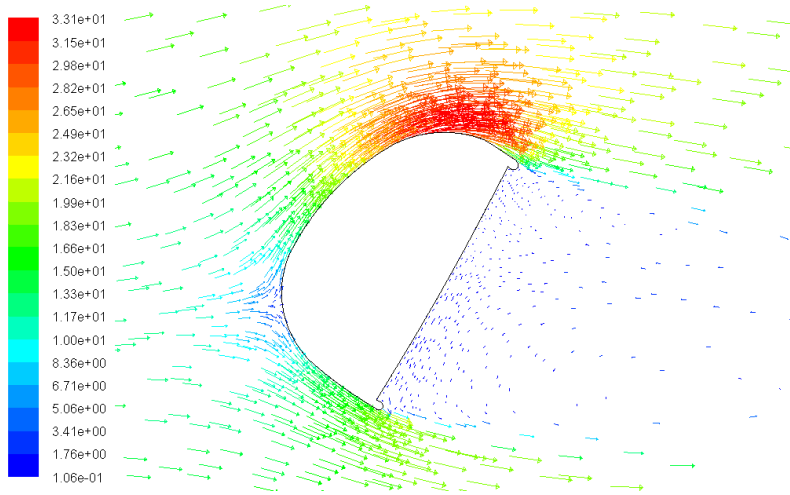
Çizelge 4.3 incelendiğinde case 0' dan case 3' e doğru gidildikçe, yani keskin köşeler azaldıkça kuvvetlerin azaldığı görülmüştür. Bu durumda case 3 ayna geometrisinin aerodinamik açıdan uygun olduğunu öngörebiliriz. Ancak, kamyon aynasının hareketli bir mekanizmaya sahip olması ve konumunun akış yönünde şoför tarafından değiştirilebilmesi nedeniyle, bu etkiyi ortaya çıkarmak için farklı açılarda analizler yapılmıştır ve ayna üzerine gelen kuvvetler bir sonraki kısımda incelenmiştir.

4.2.2.2 25° açılı akışta ayna geometrilerinin incelenmesi (10° dışarıya döndürülmüş ayna konumunda)

Açı değiştirme çalışmalarında case 3' ün (bkz. Şekil 4.36- a ve b) 35° akışta (normal koşullarda) en iyi performansı vermesinden dolayı case 3 ile case 0 (mevcut geometri) karşılaştırılacaktır.



Şekil 4.42 : Case 0, 25° akışta, mevcut geometrinin "10°" dışa doğru (saat yönünün tersine) döndürülmüş hali.



Şekil 4.43 : Case 3, 25° akış açısında, üst ve alt köşelerinin yuvarlatılmış aynanın geometrinin "10°" dışa doğru (saat yönünün tersine) döndürülmüş hali

Yukarıda Şekil 4.42 incelendiğinde mevcut geometri için köşelerdeki maksimum hızların 25° akış açısında 40.4 m/s, 35° de ise 37.4 m/s olduğu görülmüştür. Ayna yüzeyine gelen kuvvetin ise 25° de 19.4 N, 35° de ise 18.2 N olduğu görülmüştür. Mevcut ayna geometrisinde saat yönünün tersinde yapılan 10° lik açı değişimi hem hızda hem de kuvvette artışa neden olmuştur. Sürüklemeye kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Şekil 4.43 incelendiğinde ise üst ve alttan yuvarlatılmış geometride hızın artmadığı ancak ayna yüzeyine gelen kuvvetin 25° akış açısında 18.4 N, 35° de 15.9 N olduğu görülmüştür. Aynanın açısını dışa doğru (saat yönünün tersinde) 10° çevirmemiz mevcut durum (case 0) da olduğu gibi case 3 te de sürüklemeye kuvvetinin artmasına sebep olmuştur. Ancak case 0 ile case 3 i yani mevcut geometri ile üstten ve alttan

yuvarlatılmış geometriyi karşılaştırdığımızda sürüklenme kuvvetinin yuvarlatılmış geometri de yine daha az olduğu görülmüştür.

4.2.3 Ayna geometrisi analizleri, sonuç ve öneriler

Yukarıdaki incelemeler doğrultusunda sürüklenme kuvvetinin hıza bağımlı ancak maksimum hızdan bağımsız olduğunu söyleyebiliriz. Hızın azaldığı durumda bile kuvvetin artabildiği görülmüştür. Önemli husus, akış ayrılması ve bununla ortaya çıkan basınç farklarıdır. 35° ve 25° de yapılan incelemelerin yanında aşağıda 15° (saat yönünün tersine 20°) ve 45° (saat yönünde 10°) akış açılarında da incelemeler yapılmış olup ayna profillerine gelen toplam kuvvetler aşağıda Çizelge 4.4’de gösterilmiştir:

Çizelge 4.4 : Farklı açılarda mevcut geometri ile alttan ve üstten yuvarlatılmış geometride ayna yüzeyine gelen sürüklenme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Akış Açısı	Mevcut Aynaya Gelen Toplam Kuvvet [N]	Üst ve Altan Yuvarlatılmış (case 3) Aynaya Gelen Toplam Kuvvet [N]
15°	21.9	20.2
25°	19.4	18.4
35°	18.2	15.9
45°	18.1	14.7

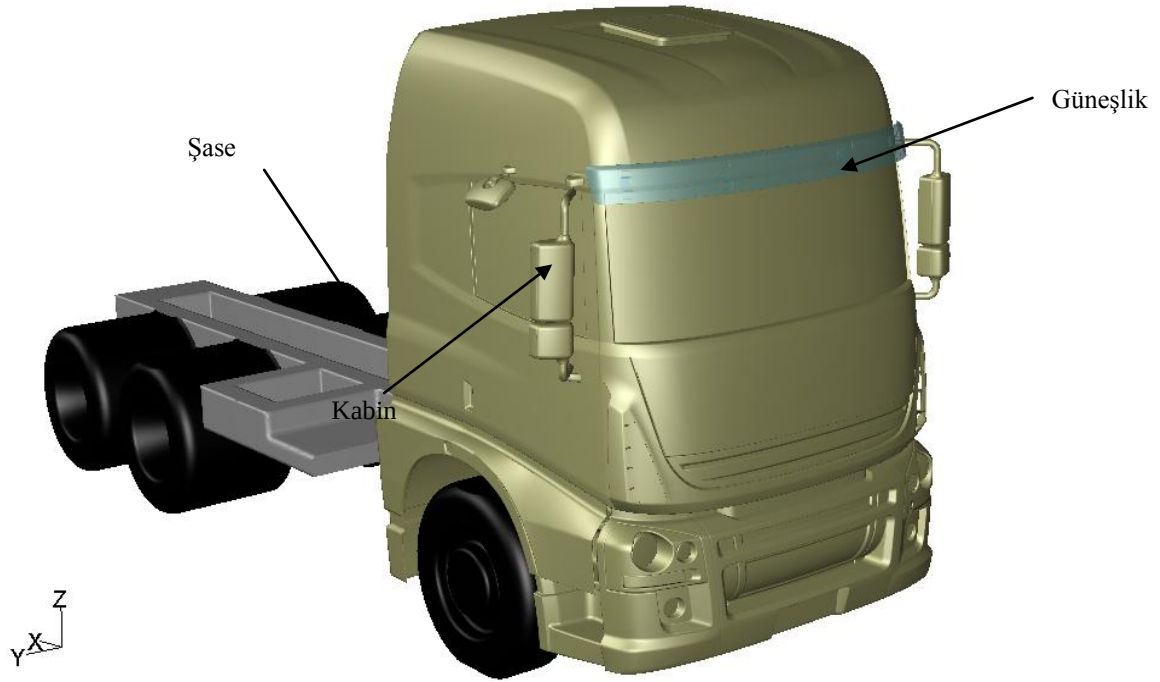
Çizelge 4.4’de farklı açılarda mevcut ayna kesit profili ile alttan ve üstten yuvarlatılmış aynı kesit profili üzerine gelen sürüklenme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Asıl 3 boyutlu modelimize uygun olan ve referans aldığımız 35° akış açısından (kamyonu 0°, aynaya kabinden yönlenerak 35° de geliyor) aynayı saat yönünün tersine doğru (sürücüye göre aynayı dışarıya doğru açmak) döndürdüğümüz zaman sürüklenme kuvvetlerinin her iki durum için de arttığı ancak yuvarlatılmış geometri üzerine gelen kuvvetlerin her ayna açısında mevcut geometriye göre daha düşük olduğu görülmüştür.

35° referans alınarak saat yönünde 10° döndürdüğümüzde ise (sürücüye göre kendine doğru çekmek) kuvvetlerin her iki durum için de azaldığı ancak yine yuvarlatılmış

geometri üzerine gelen kuvvetlerin mevcut geometriye göre daha az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak yukarıda Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da gösterilen geometrik iyileştirmelerin herbiri akışı olumlu etkileyecektir. Yukarıdaki iyileştirmeler arasında sürüklenme katsayısının azaltılmasına yönelik en olumlu etki yapan geometri Şekil 4.36'da gösterilen case 3'tür. Aynanın, şekilde görülen 2 boyutlu kesit profili üzerinde hem altta hem de üstte yuvarlatmalar yapılmasının, eğrilerin yarıçaplarının büyütülmesinin, sürüklenme katsayısını azaltıcı yönde etki edeceği anlaşılmaktadır.

4.3 Güneşlik Aksesuarının Optimizasyon Çalışmasının Yapılması

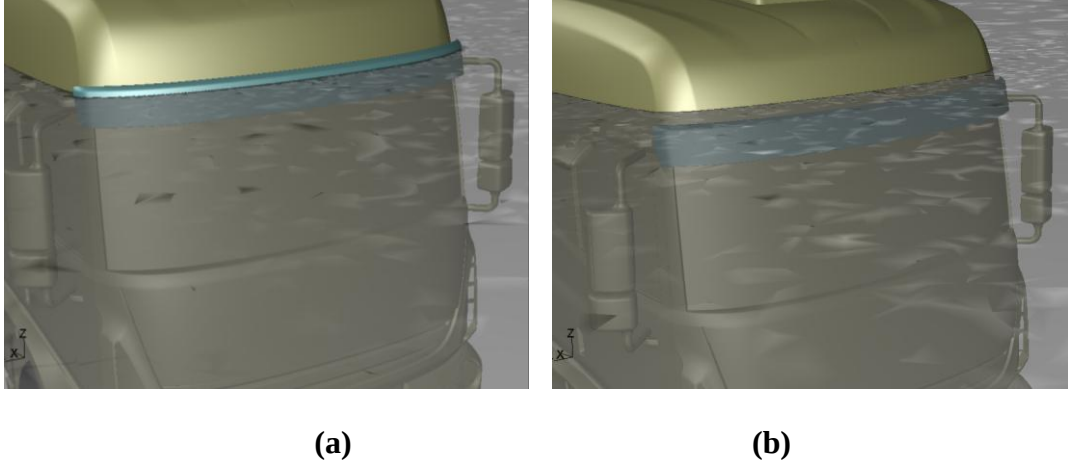


Şekil 4.44 : Kamyon geometrisi ve güneşlik.

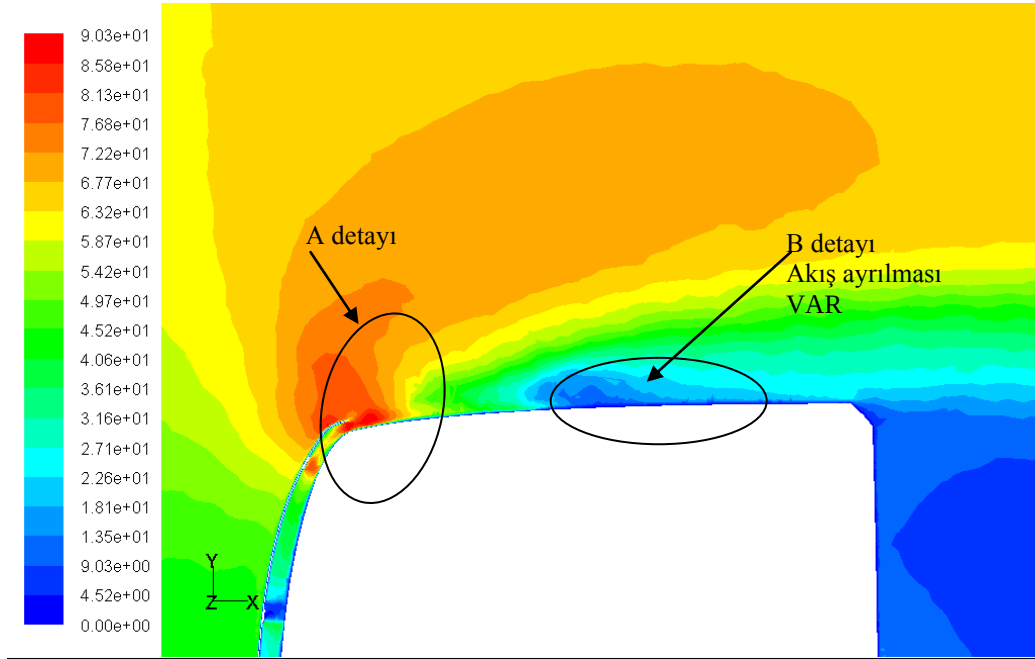
Güneşlik ile ilgili analiz sonuçları daha önce deney öncesi CFD çalışmasında incelenmiştir. Bu çalışmada ise 1/5 ölçekte birebir tünel şartlarında 60 m/s hızda yapılan analiz sonucu ayrıntılı olarak incelenecektir. Güneşlik bölgesinde yeterince ayrıntıda deney verileri alınamamıştır. Dolayısıyla, CFD çalışmalarına göre tasarım yapılmak durumunda kalınmıştır.

4.3.1 Güneşlik bölgesi analiz sonuçlarının incelenmesi

Şekil 4.45'te güneşlik civarındaki akışı ayrıntılı olarak incelemek için güneşlikte ve güneşliğin üst bölgesinde oluşturulan düzlemler gösterilmiştir.

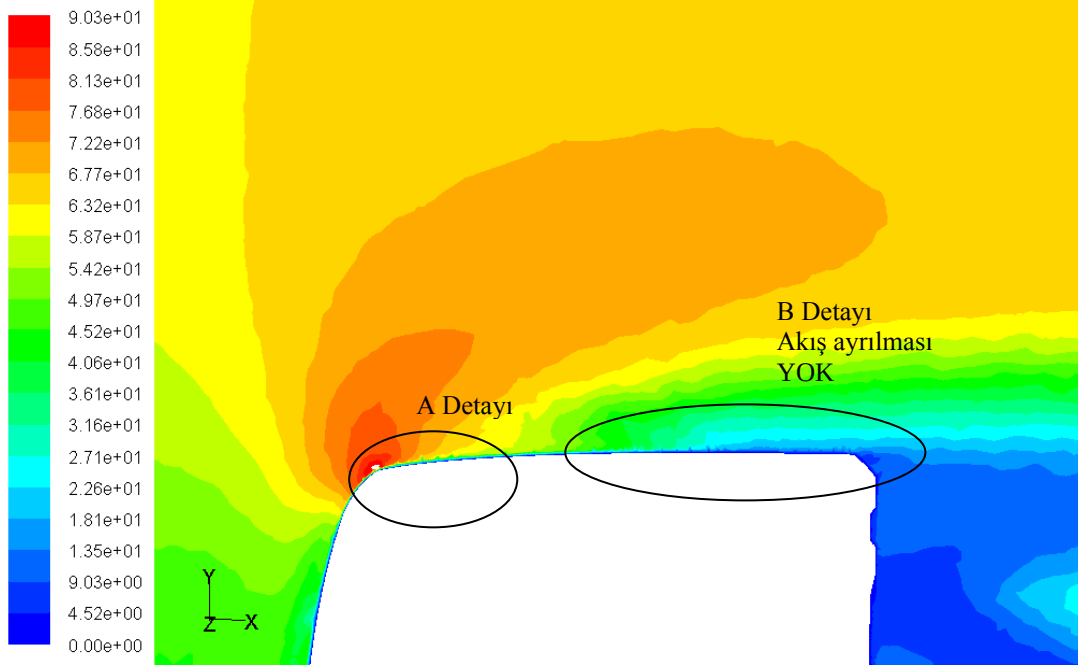


Şekil 4.45 : Güneşlikte ve güneşliğin üst bölgesinde oluşturulan kesitler **(a)** Güneşliği kesen yatay düzlem **(b)** Güneşliğin dışından kesen yatay düzlem.



Şekil 4.46 : Güneşlik kesitinde (bkz. Şekil 4.45-a) hız konturları [m/s], kabin üstten görünüş.

Şekil 4.46 incelendiğinde "A" detayında güneşlikten kaynaklanan hızlanmalar görülmektedir. Ayrıca "B" detayında hem güneşlik çıkıntısından hem de ayna bağlantılarından kaynaklanan akım ayrılması görülmektedir.



Şekil 4.47 : Güneşlik üstü kesitinde hız konturları [m/s], kabin üstten görünüş

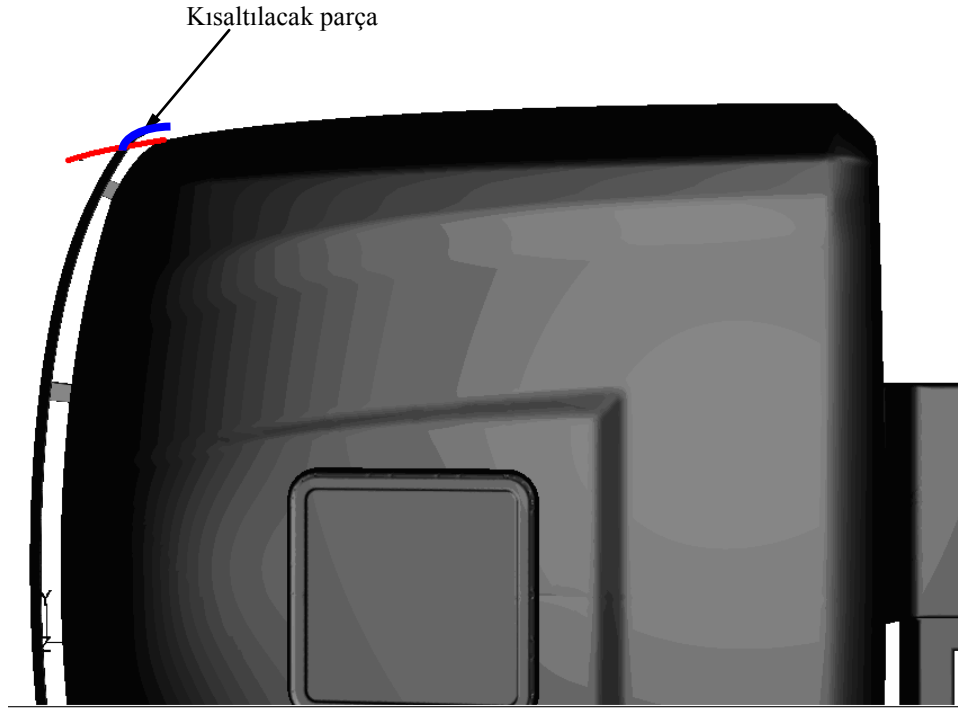
Şekil 4.47'de güneşliğin olmadığı güneşlik üstü bölgedeki (bkz. Şekil 4.45-b) hız konturları görülmektedir. Şekil 86'da incelenen A detayındaki hızlanmaların burada da olduğu ancak güneşlikten geçen akışta olduğu gibi dağınık ve düzensiz olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 4.46'da incelenen "B" detayı Şekil 4.47'de de incelenirse, hız gradyanının yüzeye daha yakın geliştiği ve akım ayrılmasının mevcut olmadığı görülmektedir.

Yukarıda belirtilen güneşliğin oluşturduğu sorunların giderilmesi için öngörülen geometri değişiklikleri aşağıda incelenmiştir. Şekil 4.48'de görüldüğü üzere ön camın üstündeki güneşliğin aynalara doğru olan uzantısı kabinin yan çizgilerinin eğrilerine sıfır olacak şekilde kısaltıldığı takdirde yukarıda bahsedilen aksaklıkların en aza indirileceğini öngörmekteyiz.

Bununla beraber, güneşliğin bu aksaklığının giderilmesinin kamyon üzerindeki aerodinamik kuvvetlere etkisinin çok küçük olacağı, yakıt ekonomisi ve çevresel faktörler açısından çok önemli olmayacağı bilinmektedir. Yine de teknik olarak iyileştirme için gerekli her durum detaylıca incelenmiştir.

Aşağıda güneşlik aksesuarının üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler üzerinde durulmuş ve şekillerle anlatılmıştır.

4.3.2.Güneşlik bölgesi geometrik öneriler



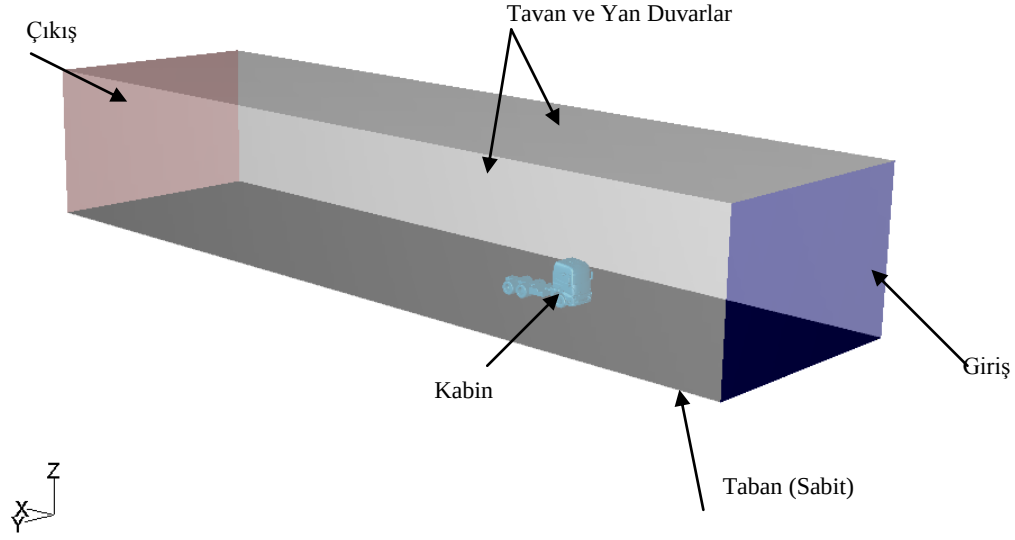
Şekil 4.48 : Güneşlik üzerinde kısaltılacak parça (mavi ile renklendirilmiş), kabin üstten görünüş.

Şekil 4.48'de mavi çizgi ile güneşliğin üzerinden çizilen eğri kabinin yan çizgisine teğet olmalıdır. Burada anlatılmak istenen güneşliğin yanlara doğru genişliğinin bu çizgi içerisinde kalarak kabinle uyumlu şekilde üzerinden akış geçmesini sağlamaktır. Mavi kesme çizgisinin üstünde okla gösterilen kısım güneşliğin kabinin yanlarından taşıdığı kısımdır. Bu taşkınlığın giderilmesinin akışı daha düzgün hale getireceği öngörülmektedir.

4.4 Alt Deflektör (Bumper) Açık ve Kapalı Durumlarının İncelenmesi

Alt deflektör (bumper) açık ve kapalı konumlarda aşağıdaki akış parametreleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Aşağıda alt deflektör açık ve kapalı durumda yapılan analiz için oluşturulan CFD hesaplama bölgesi (rüzgar tüneli) ve akış parametreleri görülmektedir.



Şekil 4.49 : CFD akış modeli.

4.4.1 Akış parametreleri

Çözüm: Pressure Based, 3d, Steady, Least Squares Cell Based

Model: K-Epsilon, Realizable, Non-Equilibrium Wall Functions

Solution: Second Order Accuracy

Akışkan: Hava

Yoğunluk: 1.225 kg/m³

Sınır Şartları: Girişte Hız (Velocity Inlet), Çıkışta Basınç Sınır Şartı (Pressure Outlet).

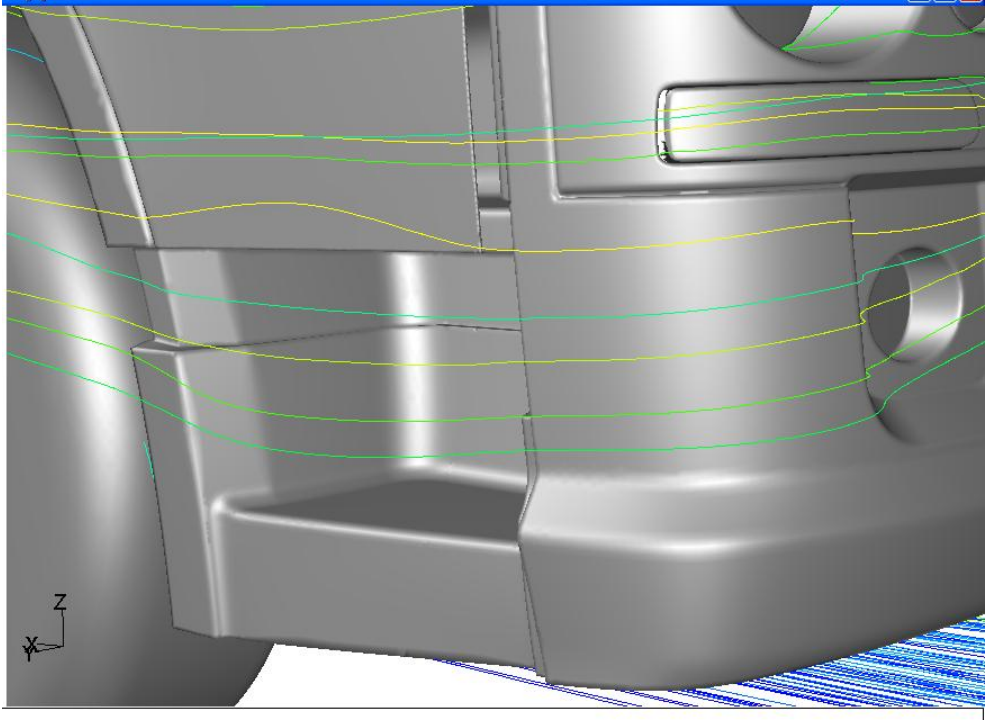
Hız: 16 m/s (57.6 km/h)

Çıkış Basıncı: Atmosfer Basıncı (101325 Pa)

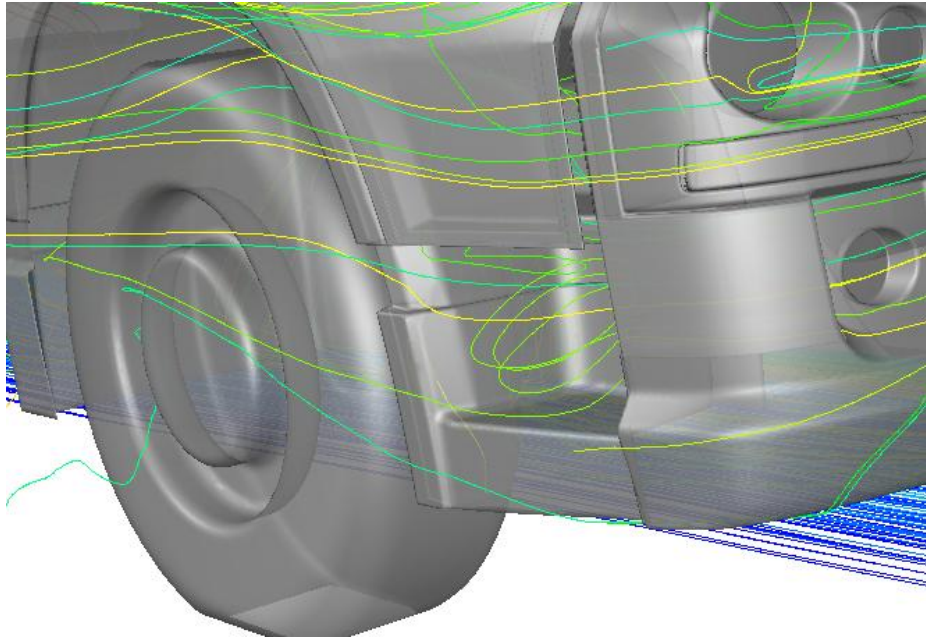
Akış Doğrultusu: “x” eksen

Case 1: Alt deflektör (Bumper) Kapalı

Case 2: Alt deflektör (Bumper) Açık

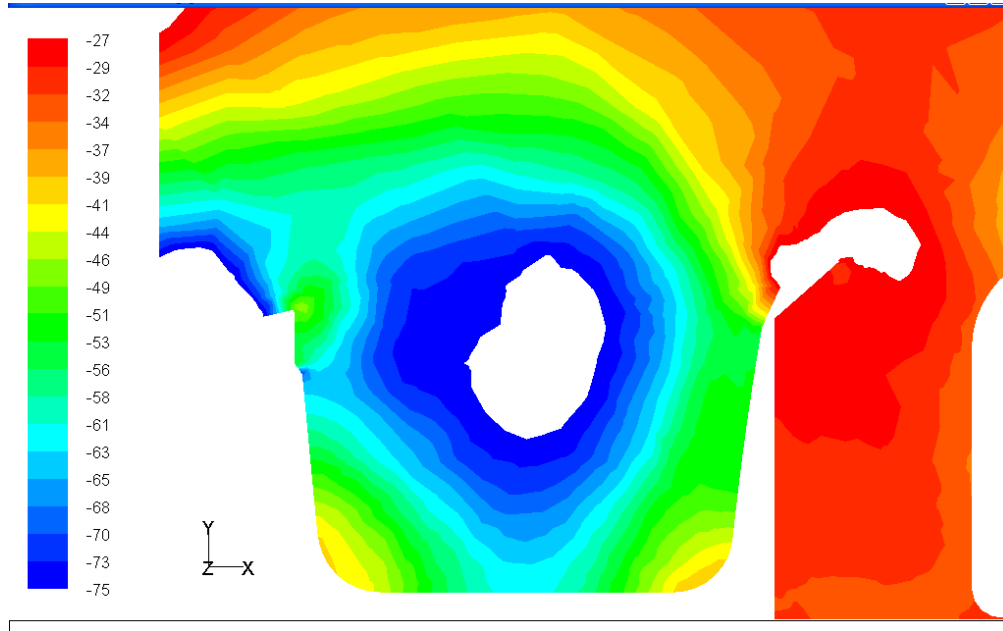


Şekil 4.50 : Alt deflektör (bumper) kapalı durumda akım çizgileri, (case 1)

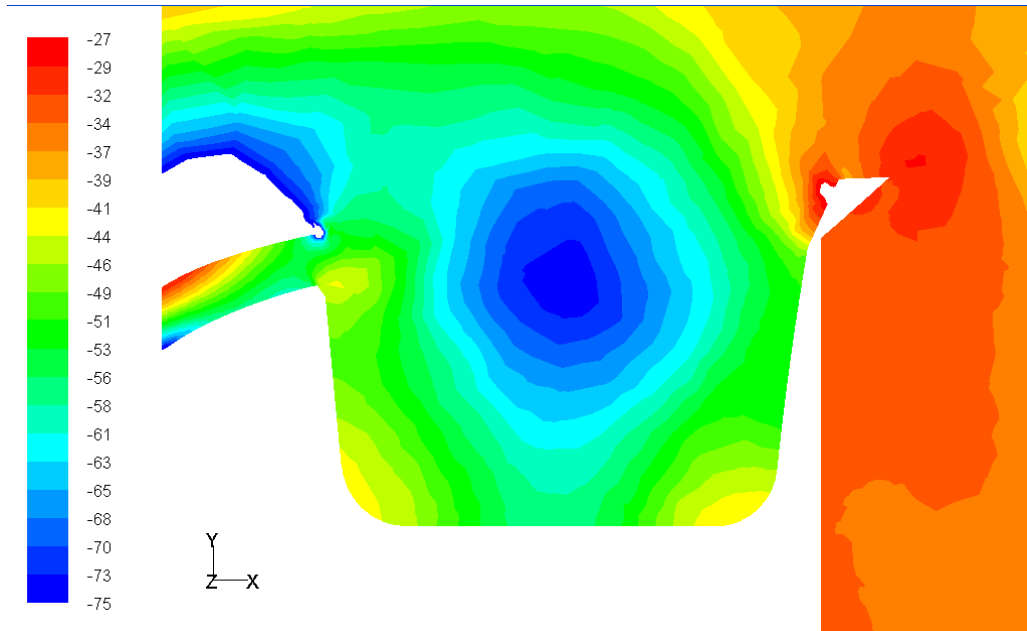


Şekil 4.51 : Alt deflektör (bumper) açık durumda akım çizgileri (case 2)

Şekil 4.50 ve 4.51 incelendiğinde alt deflektör kapalı olduğu durumda akım çizgilerinin basamak boşluğuna girmeden devam ettiği, açık olduğu durumda ise deflektör içinden geçen havanın karşı yüzeye çarparak basamak boşluğunda büyük girdap/vorteks oluşturduğu görülmektedir.

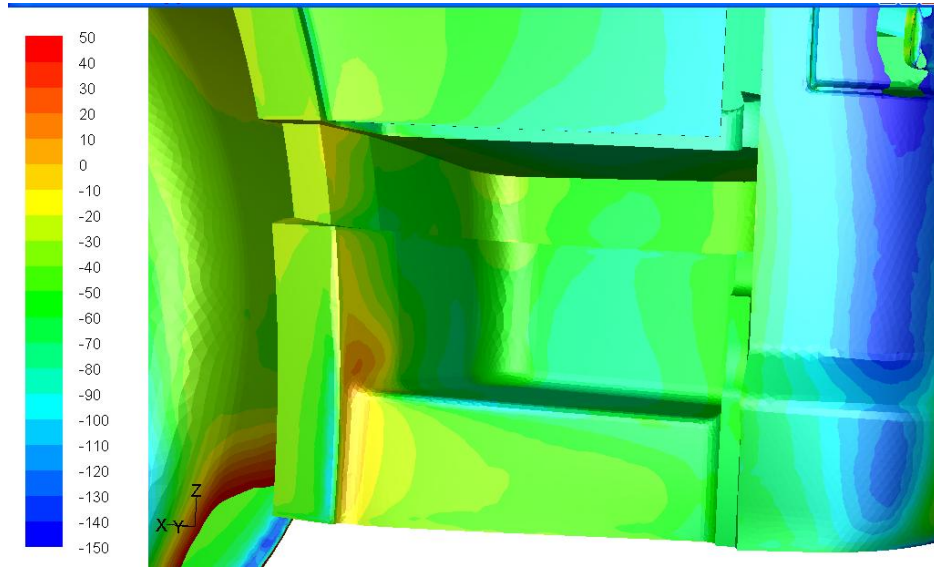


Şekil 4.52 : xy düzleminde, alt deflektör kapalı durumda, basamak kesitinde statik basınç konturları [Pa], $z=-625.5\text{mm}$, (case 1).

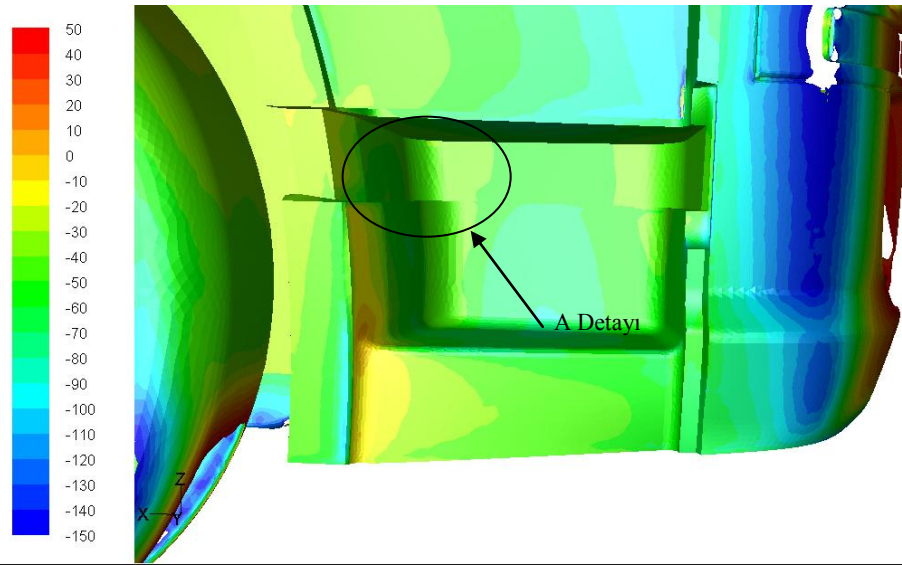


Şekil 4.53 : xy düzleminde, alt deflektör açık durumda, basamak kesitinde statik basınç konturları [Pa], $z=-625.5\text{mm}$, (case 2).

Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te alt deflektör açık durumda iken basamak içerisindeki basıncın daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sürüklenme katsayısını bir miktar arttıracakları öngörülmektedir. Sürüklenme katsayısının değişimi aşağıda incelenmiştir.



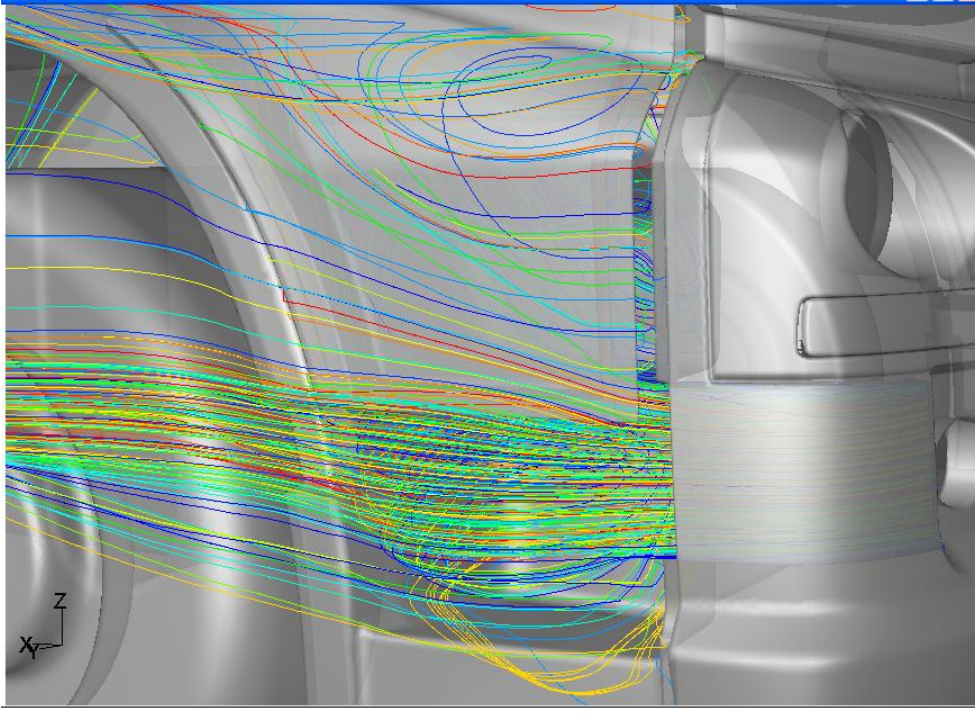
Şekil 4.54 : Basamak yüzeyinde alt deflektör kapalı durumda statik basınç konturları [Pa], (Case 1).



Şekil 4.55 : Basamak yüzeyinde alt deflektör açık durumda statik basınç konturları [Pa], (Case 2).

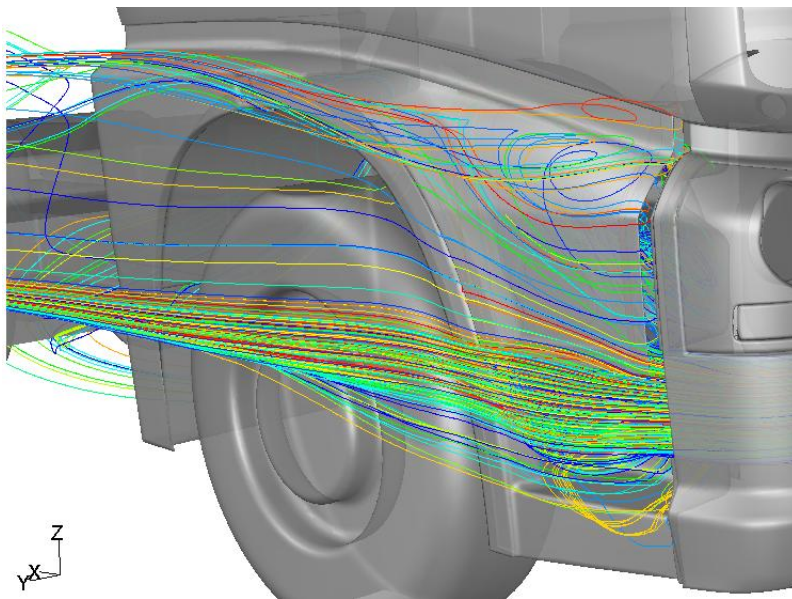
Şekil 4.54 ve Şekil 4.55 incelendiğinde, "A" detayında gösterilen köşelerde alt deflektör açık durumda bir miktar daha yüksek basınç oluştuğu gözlemlenmiştir. İçeride pozitif basınç farkı (alt deflektör kapalı duruma göre) oluşmasının direnci bir miktar arttıracakı düşünülmektedir.

Bununla birlikte alt deflektörden istenen ana deflektörlere yardımcı olmasıdır. Ancak, alt deflektörden çıkan havanın doğrudan basamak boşluğuna çarpması ve tekerlere yönelmemesi yardımcı olmasının dışında sürüklenme kuvvetini arttırabileceği görülmektedir.



Şekil 4.56 : Alt deflektör açık durumda deflektörden geçen havanın basamak boşluğundaki hareketi, akım çizgileri, (Case 2).

Şekil 4.56'da alt deflektör içinden geçen akım çizgileri görülmektedir. Deflektörden geçen havanın büyük bir kısmının karşıya çarparak basamak içinde hapsediği ve kapı altındaki boşluktan tahliye olduğu görülmektedir. Bir kısmının da basamağa girmeden devam ettiği ve tekerleğe doğru yöneldiği görülmektedir. Ancak literatürde alt deflektör, üst deflektöre yardımcı olarak yani tekerleğin üst kısmına doğru hava verecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.57 : Alt deflektör içinden geçen havanın tekerleğe doğru yönelmesi

Sürüklenme katsayısı (C_d):

Çizelge 4.5 : Alt deflektör kapalı ve açık durumlarında C_d sürüklenme katsayısı değerleri.

	Fv	Fp	Ft	Cd
Alt deflektör Kapalı	8.7	427.7	436.4	0.604
Alt deflektör Açık	8.8	430.3	439.1	0.608

Çizelge 4.5'de her iki durum için sürüklenme katsayıları karşılaştırılmıştır. Alt deflektörün açık olduğu durumda sürüklenme katsayısının çok az miktarda arttığı görülmüştür. Bu artış, alt deflektör içinden geçen havanın karşı yüzeye hızla çarpıyor olması, ve basamak içinde oluşan artı basınç farkından dolayı olduğu söylenebilirse de, bu artış pratik olarak ihmal edilebilir olup, analizlerde yapılan hesaplama hatalarının mertebesi düşünüldüğünde, çok anlamlı olmayıp, ihmal edilebilir düzeydedir.

4.4.2 Alt deflektör değerlendirmesi sonuç ve öneriler

Tasarlanan alt deflektör, asıl görevi olan ana deflektöre yardımcı olarak tekerleğe yönelme görevini yerine getirmemektedir. Buna alternatif olarak alt deflektör kullanılmasının basamak içindeki çamur birikmesini önleyip önlemeyeceği üzerinde de durulmuştur. İncelemeler sonucunda basamak içerisinde de çamuru dışarıya atıcı bir yönü bulunsa da, ayrıca basamağın tahliye delikleri olacağı da göz önüne alınarak, alt deflektör kullanılmasının ek bir maaliyet oluşturacağı ve mevcut durumdaki fonksiyonu itibarıyla gereksiz olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir ağır kamyon geometrisinin dış aerodinamik yapısının analizleri detaylı olarak yapılmış ve sonuçlar rüzgar tüneli testleri ile karşılaştırılmıştır. CFD modelinin korelasyonunun elde edilmesiyle birlikte kamyon genel yapısı ve aksesuarları üzerinde yapılması öngörülen değişiklikler her bölümün sonuç kısmında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.1 Sürüklenme Katsayısı Ve Basınç Ölçümleri

Ankara Rüzgar Tüneli'nde yapılan testlerde “strain gage” lerle donatılmış kuvvet kolları yardımıyla kuvvet ölçümleri yapılmış olup bu ölçümler Bölüm 3'te CFD'den elde edilen C_d değeriyle karşılaştırılmıştır. C_d eğrileri incelendiğinde akış karakteristiklerinin aynı olduğu, bununla beraber %10'a varan sapmaların olduğu görülmüştür. Bu farklılığın ortadan kaldırılması için ek çalışmaların yapılması, CFD modeli parametreleri üzerinde oynamalar yapılması gerekmektedir.

Basınç ölçümleri, model üzerinde açılmış 62 basınç deliğinin bir vanaya bağlanması yardımıyla ölçülmüştür. Aynı koordinatlarda CFD den alınan statik basınç değerleri deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür.

5.2 Geometrik İyileştirmeler

Kabin ve kabin aksesuarlarının analizleri detaylı olarak incelenmiş, sürüklenme katsayısını arttırıcı yönde etki eden (akım ayrılmaları vb.) keskin geometriler belirlenmiş ve bunları ortadan kaldırmak amacıyla geometride değişiklikler yapılmıştır. Bununla beraber, tekerleklerden kapı kollarına, camlara ve aynalara doğru oluşan çamur sıçramalarını önleyici yönde kullanılan deflektörlerin optimum şekilleri elde edilmiştir. Yapılan deflektör çalışmaları arasında optimum deflektör olarak; geniş giriş ve çıkış kesitine sahip, geniş yüzeyli (havanın yalayarak geçtiği yüzey, bkz. geniş deflektör modeli) ve kesit daralma oranı $A_c/A_g=0.6\sim1.0$ arasında olan deflektör modeli olduğunu söyleyebiliriz.

Güneşlik, alt deflektör ve aynalar gibi parçaların detaylı çalışmaları da yapılmış olup mevcut geometriler üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Ayna çalışmasında Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da gösterilen geometrik iyileştirmelerin herbiri akışı olumlu etkileyecektir. Yukarıdaki iyileştirmeler arasında sürüklenme katsayısının azaltılmasına yönelik en olumlu etkiyi yapan geometri Şekil 4.36'da gösterilen case 3'tür. Aynanın, şekilde görülen 2 boyutlu kesit profili üzerinde hem altta hem de üstte yuvarlatmalar yapılmasının, eğrilerin yarıçaplarının büyütülmesinin, sürüklenme katsayısını azaltıcı yönde etki edeceği anlaşılmaktadır.

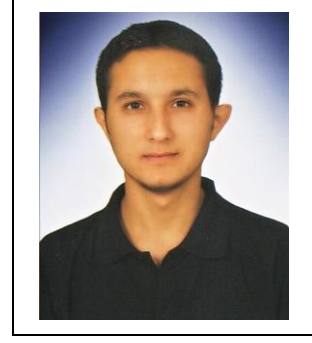
Güneşlik çalışmasında Bölüm 4.3.2.'de belirtildiği üzere: Şekil 4.48'de mavi çizgi ile güneşliğin üzerinden çizilen eğri kabinin yan çizgisine teğet olmalıdır. Burada anlatılmak istenen güneşliğin yanlara doğru genişliğinin bu çizgi içerisinde kalarak kabinle uyumlu şekilde üzerinden akış geçmesini sağlamaktır. Mavi kesme çizgisinin üstünde okla gösterilen kısım güneşliğin kabinin yanlarından taşıdığı kısımdır. Bu taşkınlığın giderilmesinin akışı daha düzgün hale getireceği öngörülmektedir.

Alt deflektörün detaylı incelemeleri sonucunda da, deflektörün oluşturacağı ekstra maliyet göz önüne alınarak ve bu deflektörün kendisinden beklenen görevi yerine getirmemesi sebebiyle deflektörün kullanılmamasının uygun olacağı öngörülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Robert, Englar**, 2001. Advanced Aerodynamic Devices to Improve the Performance, Economics, Handling and Safety of Heavy Vehicles
- [2] **John, Pschkewitz**, 2006. A computational study of tandem dual wheel aerodynamics and the effect of fenders and fairings on spray dispersion.
- [3] **Bayraktar, İlhan**, 2002. External Aerodynamics of Heavy Ground Vehicles: Computations and Wind Tunnel Testing, Ph.D. Thesis.
- [4] **Fluent 6.2 User Guide**.
- [5] **Mohammed, Abdullah and Al-Garni**, 2003. Fundamental Investigation of Road Vehicle Aerodynamics.
- [6] **Andreane, Lafreniere**, 2008. A Study on the Unsteady Aerodynamic Forces Around an Ahmed Reference Model
- [7] **Marcel, Ilie.**, 2008. Aerodynamics, Aeroacoustic and Aeroelastic Investigations of Airfoil- Vortex Interaction using Large-Eddy Simulation
- [8] **Bayraktar, İlhan, and Baysal, Oktay, and Bayraktar, Tuba**, Springer 2004. *Computational Parametric Study on External Aerodynamics of Heavy Vehicles*; The Aerodynamics of Heavy Vehicles; Trucks, Buses and Trains.
- [9] **Springer**, 2004. The Aerodynamics of Heavy Vehicles; Trucks, Buses and Trains.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Buğra Şelenbaş

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir

E-Posta: bselenbas@gmail.com

Lisans Üniversitesi: Kocaeli Üniversitesi

Yayın Listesi:

▪ **Selenbas B.**, Gunes H., Gocmen K., Bahceci U., Bayram B., 2010: An Aerodynamic Design And Optimization Of A Heavy Truck For Drag Reduction, ESDA 2010, July 12-14 2010, Istanbul, Turkey.

