

66684

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAYOLU TAŞIT AERODİNAMİĞİNİN SAYISAL YÖNTEMLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Malik TOKATLIOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Şubat 1997

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cem SORUŞBAY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali GÖKTAN
Doç. Dr. Metin ERGENEMAN

İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEZ KURULU
TEZ KURULU

ŞUBAT 1997

ÖNSÖZ

Petrol krizi, otomotiv mühendislerinin dikkatini direkt olarak seyir dirençlerini azaltmaya ve motor performansını arttırmaya yönlendirmiştir. Düşük hızlarda karayol taşıtlarında ana direnç kuvveti lastik yuvarlanma direncidir. Yuvarlanma direnci direkt olarak ağırlıktan dolayı oluşan zorlanmanın tekerlekler vasıtasıyla yere uygulanmasıyla orantılıdır. Atalet kuvvetinin üstesinden gelinerek taşıtın ivmelenmesi, yani ivme direncide ağırlıkla orantılıdır. Taşıt ağırlığı özellikle kompakt otomobillerde taşıtın kesit alanının azaltılarak aerodinamik direncin azaltılmasında çok yakın bir ilişkiye sahiptir.

Taşıt ve ekipman imalatçıları aynı zamanda yakıt tüketimini azaltmak için karbüratör, enjeksiyon sistemini, çok gelişmiş ateşleme sistemleri ve motara giriş havasının turbo yüklenmesi (aşırı doldurma) gibi teknolojik gelişmeler üzerinde çalışmışlardır. Fakat bu çalışmaların çok fazla zaman, finansman ve imalat kompleksliği getirmesi kar getirme amacından uzaklaşmaya doğru getirmiştir.

Bu tezin konusu olan taşıt aerodinamiği 1925'lerden beri üzerinde çalışılmakta olunan bir konudur. Fakat petrol krizinden sonra yakıt sarfiyatını azaltmak için çalışılan en popüler konulardan biridir. Sanayi ve üniversitelerin ortak çalışmasıyla bu konu üzerinde büyük ilerlemeler elde edilmiştir.

Tezin başlangıcında bir taşıttaki seyir dirençleri tanıtılmış ve taşıt aerodinamiği konusundaki çalışmaların kronolojik sıralaması yapılmaya çalışılmıştır.

Uygulamalar bölümünde CFD 2000/SFV olarak adlandırılan bir bilgisayar program ile k-ε türbülans modeli kullanılarak belirli taşıt modelleri üzerinde simülasyonlar yapılmıştır.

Bu tezin taşıt aerodinamiği konusu hakkında çalışan kişilere faydalı olmasını umuyorum. Tezin yapılması sırasında çalışmalarımı yönlendiren ve çeşitli dökümanları bulmamda büyük destek veren Sayın Hocam Prof. Dr Cem SORUŞBAY'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 SEYİR DİRENÇLERİ VE YAKIT EKONOMİSİ	
2.1 Giriş	2
2.2 Taşıt Tekerlek Direnci	
2.2.1 Toe-in direnci	3
2.2.2 Yatak ve ilk hareket direnci	4
2.2.3 Su öteleme direnci	5
2.2.4 Yuvarlanma direnci	
2.2.5 Diğer tekerlek dirençleri	7
2.2.6 Toplam tekerlek direnci	
2.3 Yokuş Direnci	8
2.4 İvme Direnci	9
2.5 Aerodinamik Direnç	10
2.5.1 Bağlı rüzgar hızı ve açısı, hava özgül yoğunluğu	
2.5.2 Aerodinamik direnç katsayısı	11
2.6 Karayol Taşıtlarında Yakıt Ekonomisi	12
2.6.1 Yakıt ekonomisi ile ilgili gelişmelerden örnekler	13
BÖLÜM 3 TAŞIT AERODİNAMİĞİ KRONOLOJİSİ	
3.1 Giriş	16
3.2 Aerodinamik Kuvvet Sistemi	20

3.3 Taşıt Aerodinamiği Karakteristiklerini Geliştirmek İçin Yapılan Çalışmalardan Örnekler	
3.3.1 Konvensiyonel kık şekli, deck , spoiler ve trigonal piramit	
3.3.1.1 Konvensiyonel şekil	
3.3.1.2 Kık deck şekli	22
3.3.1.3 Spoiler şekli	23
3.3.1.4 Yeni arka kık şekli (trigonal piramit)	
3.3.2 Yan hava bentleri ile taşıt aerodinamiği karakteristiklerinin geliştirilmesi	24
3.3.2.1 C_D ve C_L 'in azalmasındaki mekanizma	25
3.3.2.2 Artan kaldırma için mekanizma	26
3.3.2.3 Yan hava bentinde büyük yaw açıları için yapılan modifikasyon	27

BÖLÜM 4 TAŞIT TASARIMI VE AERODİNAMİK DİZAYN

4.1 Taşıt Özellikleri Ve Ana Parametreler	28
4.2 Genel Aerodinamik Dizayn Prensipleri	29
4.2.1 Gövde şekil parametreleri	30
4.2.1.1 Arka cam incelemesi	
4.2.1.2 Ön cam açısı	32
4.2.1.3 Koporta eğimi	
4.2.1.4 Yan kenar camları	
4.2.1.5 Tekerlek yuvaları	33
4.2.2 Gövde altı hava akışı	34
4.2.2.1 Ön valence paneli	35
4.2.2.2. Kaporta içi hava akışı	
4.2.3 Taşıt yer mesafesi	36
4.3 Temel Aerodinamik Dizayn Faktörleri	37
4.4 Rüzgar Tünelleri	
4.4.1 Benzerlik kriterleri	38
4.4.1.1 Geometrik benzerlik	40
4.4.1.2 Dinamik benzerlik	
4.4.2 Rüzgar tünellerinin genel özellikleri	41
4.4.2.1 Kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan rüzgar tünellerinin ana elemanları	42
4.4.2.1.1 Deney odası	
4.4.2.1.2 Kollektör	43
4.4.2.1.3 Difüzör	
4.4.2.1.4 Kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan mevcut bazı rüzgar tünelleri	44

BÖLÜM 5 BİLGİSAYAR PROGRAMI CFD2000/SFV TANITIMI

5.1 CFD2000/SFV Nedir?	46
5.1.1 CFD2000/SFV'in bileşenleri	47

5.1.2 CFD2000/SFV fiziksel olayları nasıl tanımlar?	48
5.1.3 CFD2000/SFV ile denklemlerin çözülmesi	
5.1.4 Sürekli akışta momentum korunumu	49
5.2 k-ε Türbülans Modeli	51
5.3 Earth’de Yöneten Denklemlerin Sonlu Hacimler Yöntemine Göre Çözümü	52
5.4 Q1 Dosyasındaki Grupların Data Yapısı	
 BÖLÜM 6 CFD2000/SFV BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE YAPILAN UYGULAMALAR	
6.1 Giriş	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	83

SEMBOL LİSTESİ

A (m^2)	: Kesit alanı
a (m/s^2)	: ivme
B_e (g/m)	: Yola bağlı yakıt tüketimi
B_r (N)	: Fren direnci
b_e (g/kWh)	: Özgül yakıt sarfiyatı
C_L -	: Aerodinamik kaldırma direnç katsayısı
C_{LF} -	: Aerodinamik ön kaldırma direnç katsayısı
C_{LR} -	: Aerodinamik arka kaldırma direnç katsayısı
C_D -	: Aerodinamik direnç katsayısı ($\tau_L = 0$)
C_X -	: Aerodinamik direnç katsayısı
E (J)	: Kaybolan enerji miktarı
f_R -	: Yuvarlanma direnci katsayısı
F_R (N)	: Yuvarlanma direnci
F_s (N)	: Sürüklenme direnci
F_{st} (N)	: Yokuş direnci
f_{vs} -	: Tekerlek kapanıklığı direnci katsayısı
F_z (N)	: Tekerlek (aks) yükü
G (N)	: Ağırlık, toplam ağırlık
g (m/s^2)	: Yer çekimi ivmesi
J_R (kgm^2)	: Tekerlek ile aynı devirde dönen elemanların atalet momenti
M_R (Nm)	: Tekerlekteki (akstaki) moment
m (kg)	: Taşıt kütlesi
p -	: Yokuş
r (m)	: Statik tekerlek yarıçapı
V_r (m/s)	: Rüzgar hücum hızı
V (m/s)	: Seyir hızı
Z (N)	: Çeki kuvveti

- $X \text{ (m/s}^2\text{)}$: Seyir yönünde ivme
- $\tau \text{ (}^\circ, \text{rad)}$: hücum açısı, yaw açısı
- $\varphi \text{ (}^\circ, \text{rad)}$: açısal yol
- $\alpha \text{ (}^\circ, \text{rad)}$: yol meyili
- η - : aktarma organlarının toplam verimi
- $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$: hava yoğunluğu
- λ - : Dönen kütlelerin ivmelenmeye etki faktörü



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 δ_v toe-in direnci sebebiyle F_y diyagonal hareket yan kuvveti ve toe-in direnci	3
Şekil 2.2 Yatak sürtünmesinden dolayı ortaya çıkan ilave tekerlek direnci	4
Şekil 2.3 Kaymalı yatakların ve rulmanların sürtünme katsayıları ve seyir hızına bağımlılıkları	5
Şekil 2.4 Lastik tabanında basınç dağılımı	6
Şekil 2.5 Bağıl rüzgar hızının tayini	11
Şekil 2.6 Zemine yakın cisimler için (uzunluk/genişlik) oranına bağlı C_D katsayıları	12
Şekil 2.7 C_DA 'nın değişik değerleri için hızın fonksiyonu olarak enerji ve yakıt tüketimi	15
Şekil 3.1' Gaston Chaseloup-Laubat tarafından kullanılan aerodinamik prensiplere başvurulmuş ilk taşıt	17
Şekil 3.2 C_D direnç katsayısında geçen zamanla elde edilen ilerlemeler	18
Şekil 3.3 Taşıt aerodinamiğindeki tarihsel gelişim	19
Şekil 3.4 Bir kara vasıtasına etki eden aerodinamik kuvvet sistemi	20
Şekil 3.5 Arka açının C_D , C_L , C_{LF} , C_{LR} üzerindeki etkisi	22
Şekil 3.6 Deckli ve decksiz arka açının C_D , C_{LF} ve C_{LR} üzerindeki etkisi	22
Şekil 3.7 Deckli ve decksiz yüzeydeki basınç dağılımı	23
Şekil 3.8 Deck ve spoilerin C_D , C_{LF} ve C_{LR} üzerindeki etkisi	23
Şekil 3.9 Trigonal piramit şeklinin C_D , C_{LF} , C_{LR} üzerindeki etkisi	24
Şekil 3.10 Hava benti şekli	25

Şekil 3.11 Arka tekerlek etrafındaki basınç dağılımı	25
Şekil 3.12 Değişik yaw açıları için taşıt altındaki hava akışı (yan hava bentli)	26
Şekil 3.13 Yan hava benti eklenerek C_L de elde edilen gelişme	27
Şekil 4.1 Arka cam açısına göre C_D seviyesindeki % değişimi	30
Şekil 4.2 Kaporta eğiminin C_D üzerindeki etkisi	31
Şekil 4.3 Hareketli ön tekerlek yuvası kapağı	33
Şekil 4.4 Tekerlek yuvası plakaları	34
Şekil 4.5 Yer değiştirebilir valence paneli	35
Şekil 4.6 Taşıt yer mesafesinin C_D üzerindeki etkisi	36
Şekil 4.7 Kapalı deney odalı ses altı açık devreli rüzgar tüneli ana elemanları	41
Şekil 4.8 Açık deney odalı ses altı açık devreli rüzgar tüneli ana elemanları	41
Şekil 6.1 VW arka cam açısı 37° olan modelin ağ sistemi	55
Şekil 6.2 VW arka cam açısı 37° olan modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.3 VW arka cam açısı 37° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	56
Şekil 6.4 VW arka cam açısı 27° olan modelin ağ sistemi	57
Şekil 6.5 VW arka cam açısı 27° olan modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.6 VW arka cam açısı 27° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	58
Şekil 6.7 VW arka cam açısı 47° olan modelin ağ sistemi	59
Şekil 6.8 VW arka cam açısı 47° olan modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.9 VW arka cam açısı 47° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	60
Şekil 6.10 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin ağ sistemi	61

Şekil 6.11 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.12 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	62
Şekil 6.13 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin ağ sistemi	63
Şekil 6.14 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.15 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	64
Şekil 6.16 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin ağ sistemi	65
Şekil 6.17 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.18 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	66
Şekil 6.19 VW taşıt yer mesafesi %50 azalmış modelin hız vektörleri dağılımı	67
Şekil 6.20 VW taşıt yer mesafesi %50 azalmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	68
Şekil 6.21 Kamyon orjinal modelin ağ sistemi	69
Şekil 6.22 Kamyon orjinal modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.23 Kamyon orjinal modelin basıncın zeminden yükseklikle değişimi	70
Şekil 6.24 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin ağ sistemi	71
Şekil 6.25 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.26 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	72
Şekil 6.27 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin ağ sistemi	73
Şekil 6.28 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin hız vektörleri dağılımı	
Şekil 6.29 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi	74
Şekil 6.30 VW modelinde taşıt arka cam açısının değişiminin C_D üzerindeki etkisi	76

Şekil 6.31 VW modelinde taşıt yer mesafesinin değişiminin C_D üzerindeki etkisi	76
Şekil 6.32 VW modelinde taşıt boyunda yapılan değişikliğin C_D üzerindeki etkisi	77
Şekil 6.33 Kamyon modelinde taşıt boyunda yapılan değişikliğin C_D üzerindeki etkisi	77



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 Yuvarlanma direnci katsayısı	7
Tablo 2.2 Yolların yokuş değerleri	9
Tablo 4.1 Tam ölçekli kara vasıtaları deneyleri için Avrupa’da kullanılan bazı rüzgar tünellerinin teknik özellikleri	45
Tablo 5.1 k-ε modelindeki sabitlerin değeri	52



ÖZET

Tezin genelinde bir taşıttaki aerodinamik direnç katsayısına etki yapan faktörlerden olan taşıtın arka cam açısı, taşıt yer mesafesi ve taşıt boyunda yapılan modifikasyonların etkisi irdelenmeye çalışılmaktadır. Bu arada aerodinamik direnci etkileyen diğer unsurlar üzerinde durulmaya çalışılmaktadır.

Tezin birinci bölümünde bir karayol taşıtını etkileyen seyir dirençleri anlatılmaktadır. Karayol taşıtlarında yakıt ekonomisini etkileyen faktörler sıralanmaktadır. Yakıt ekonomisini geliştirmek için yapılan uygulamalardan örnekler verilmektedir.

İkinci bölümde ise otomobilin başlangıcı ile günümüze kadar geçen zaman içinde taşıt aerodinamiği konusunda yapılan uygulamalardan bahsedilmeye çalışılmaktadır. Bir kara vasıtasına etki eden aerodinamik kuvvet sistemi tanıtılmaktadır.

Tezin üçüncü bölümünde taşıt özellikleri ve ana parametreleri verilmektedir ve bir taşıtta uygulanan genel aerodinamik dizayn prensipleri üzerinde durulmuştur. Düşük bir aerodinamik direnç sahip olması istenen bir taşıt için temel aerodinamik dizayn prensipleri tanıtılmıştır. Deneysel aerodinamiğin temel elemanı olan rüzgar tünelleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmaktadır.

Dördüncü bölümde yapılan uygulamalarda kullanılan paket program CFD2000/SFV tanıtılmaktadır, programın çözdüğü denklemler ve k-ε türbülans modeli hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin son bölümünde ise taşıt yer mesafesi, taşıt arka cam açısı ve taşıt boyunda yapılan uygulamalarla elde edilen taşıtın yerden yüksekliği ile oluşan basınç değişimi, hız vektörleri ve ağ sistemleri şekiller halinde verilmektedir.

INVESTIGATION OF ROAD VEHICLE AERODYNAMICS WITH NUMERICAL METHOD

SUMMARY

Vehicle aerodynamics concerns the effects arising due to the air. Its importance to road vehicles became apparent when they started to achieve higher speeds. The automobile as we know it came onto the scene in the last decade of the nineteenth century. Its beginnings roughly coincided with the advent of powered flight, and perhaps for this reason.

It became of interest to aerodynamicists right from the start. One of the first attempts to apply aerodynamics principles to road vehicles was the streamlining given to the first holder of the land speed record, a car named Jantaud driven by Gaston Chasseloup-Laubat.

The objective of this investigation is to attempt to address a number of key questions concerning road vehicle aerodynamics.

- 1) How does aerodynamics fit into the context of a practical vehicle?
- 2) How much does aerodynamics contribute to fuel consumption?
- 3) How is drag generated?
- 4) What is the current state of the art of low-drag design?
- 5) What is the future outlook for low-drag design and what is the practical lower limit of C_D for production vehicles?

The motion of road vehicle is subject to three different forces - tire rolling resistance, aerodynamics drag, and gravity - which oppose the tractive propelling the vehicle. In the simple case where the vehicle is travelling on a level road at a constant speed, only the first two forces are present. The first of them, the rolling resistance, depends on the tire construction and inflation pressure, and it is proportional to the vehicle weight. Its magnitude is fairly constant, increasing only slowly with vehicle speed as well as its shape.

The drag, by contrast depends strongly on the vehicle speed. Its magnitude is proportional to the vehicle frontal area and to the square of the air speed. At very low speed the drag is negligible compared to the rolling resistance, but at high speeds the drag rises rapidly and eventually it dominates the total resistance.

Afterbody Shaping :

Road vehicles come in a variety of body styles, ranging from sedans through fastbacks and hatchbacks to station wagons. Going from one style to another is a form of afterbody shaping, and it turns out that this shaping can have an important effect on drag.

If one looks at fastback, hatchbacks, and station wagons one observes that they mainly differ by the angle of the slant. The effect of slant angle on which the base slant was varied over the range from 90° to 20° .

The results showed that there were clearly two flow regimes. In regime 1 the drag was slowly increasing with decreasing slant angle up to a critical angle at 43° . At that angle the flow abruptly changed to regime 2 and the drag coefficient more than doubled.

Effect Of Ground Proximity :

One of the distinguishing features of road vehicles is that they travel near the ground. The typical vehicle ground clearance, expressed in terms of an 'equivalent diameter'

$$D_{eq} = (4A_f / \pi)^{1/2}$$

is on the order of $0.1D_{eq}$, which is small enough to cause significant changes in the flow field.

The presence of the ground can have the following two effects. When the lift is negative (towards the ground), then the streamline pattern produced by the image around the real body. As a result, the negative lift force will be amplified as the distance to the ground decreased. However, if the lift is positive, the streamline pattern is just the opposite, and it will produce an effective camber bowed upward. The result in this case will be a continually increasing lift force as the ground plane is approached.

Skin Friction Drag :

In addition to pressure forces air flow generates tangential frictional stresses along the body surfaces. For a bluff body skin friction drag is much less than the pressure drag. Its magnitude depends on boundary layer thickness and, through it, on the Reynolds number : it decreases with increasing Reynolds number. By contrast, the pressure drag is practically Reynolds number independent, and so the total body drag has only a weak Reynolds number dependence.

Consider a typical vehicle which is box shaped with overall dimensions of length to width to height of 3 : 1.33 : 1 . For such a shape the ratio of the total surface area parallel to the direction of travel to the frontal area is about 10. Taking a typical value of the skin friction coefficient to be 0.002 in the Reynolds number range of interest, we find that the friction drag contributes about 0.02 to the overall drag coefficient. This value is about 5% of the drag coefficient of a typical road vehicle.

Use Of Computers For Aerodynamics Design :

So far, all or almost all of the applied and basic work done in vehicle aerodynamics has been experimental, for example using wind tunnel. The reason for the predominance of experiments has been that the flow fields involved are very complex. They are three-dimensional, with many small but significant details, separated and turbulent, all of which combine to make analytical or numerical work very difficult.

Really important progress could be made if numerical simulations could be used to give support to and to guide the experiments. The attributes of numerical solutions are known : they permit parametric studies to be executed rapidly, and the detailed information they provide allows investigations of cause-and-effect relationships. The greatest problem of the simulation lies in the grid resolution.

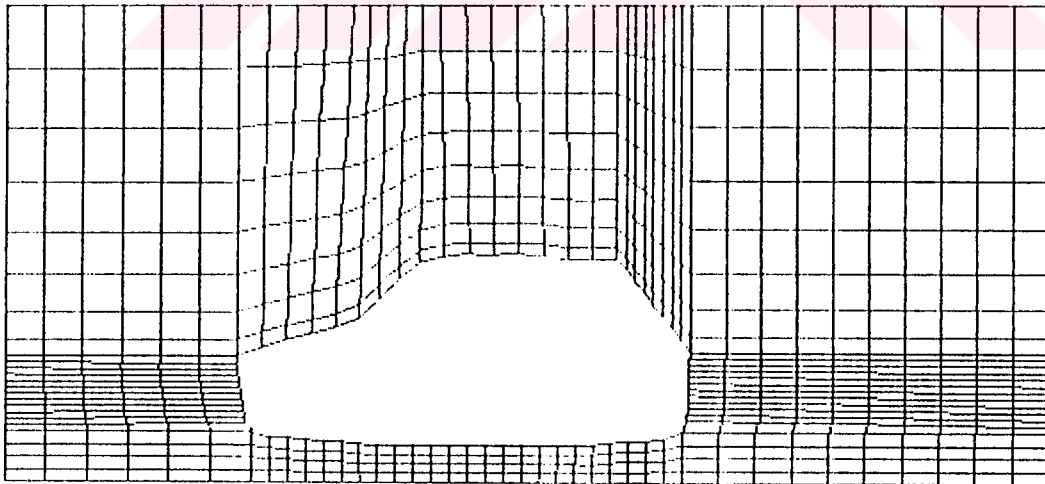


Figure 1 Grid resolution

The k-ε Model

Turbulent flows, which are of great practical importance, are three dimensional and time dependent. Computer methods of solving the differential equations of fluid dynamics are well advanced even for three-dimensional time dependent flows.

k-ε model of a practical turbulence model, that in which two differential equations are solved, the dependent variables of which are the turbulence energy k and dissipation rate of turbulence energy ϵ . A form of k-ε model was first proposed by Harlow and Nakayama.

$$k \equiv 1/2 u_i u_i$$

$$\epsilon = \nu (\partial u_i / \partial x_k) (\partial u_i / \partial x_k)$$

Basic Considerations Influencing Vehicle Shape :

Current production automobiles have drag coefficients an order of magnitude larger than tear-shaped bodies in free flight and several times larger than idealized shapes like Klemperer's. An important reason for this discrepancy is that vehicle shapes are subject to many practical constraints from the point of view of intended vehicle purpose and use, vehicle safety, maintenance, and cooling and product identity.

Taking these constraints in turn, the vehicle has to provide a reasonably spacious passenger compartment which dictates its overall size and means for convenient entry from outside, and it must also provide engine and luggage compartments. All of these combine to largely dictate the overall shape, and they also add to body details, such as door handles, which increase drag. From the safety point of view the passenger compartment must be configured to permit adequate visibility frontward, backward, and to the sides. The vehicle must provide maximum protection in accidents, which means the shape should incorporate adequate crush zones. The windshield may not be inclined below some 30° because of light refraction limits which reduce visibility. External mirrors providing rear and side view also add to overall drag.

We can be ranged advantages road vehicles which have low-drag aerodynamics coefficients ;

- 1) low fuel consumption
- 2) to supply comfort reducing formed noise due to wind at high speed
- 3) to increase vehicle stability with spoiler etc.

- 4) to provide increase of vehicle performance and manoeuvres capability
- 5) to supply cleaning headlight and wind-screen at rainy day

Aplication :

In the end of this investigation using a simulation program CFD2000/SFV, make different applications, afterbody shaping, effect of ground proximity and length of vehicle body, to observe effect of aerodynamics drag coefficient.

Grid systems are done a program as easy mesh for each models, then calculated pressure and velocity values for each grid system points by CFD2000/SFV.

Pressure and velocity values are given as a diagram for each model.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Taşıtların düşük aerodinamik direnç katsayısına sahip olmasının sağladığı avantajları şöyle sıralayabiliriz;

- 1) Düşük yakıt sarfıyatı
- 2) Yüksek hızlarda rüzgarlardan dolayı oluşan sesin azaltılarak konfor sağlanması
- 3) Taşıtların stabilitesini spoiler vs elemanlar ile arttırmak.
- 4) Taşıtların performans ve manevra kabiliyetinin artmasını sağlar.
- 5) Yağmurlu havalarda camlarda, dış aynalarda gözetlemeyi rahatsız edecek birinkitilerin olmamasını ve aydınlatma tertibatının nisbeten temiz kalmasını sağlar.

Taşıtlarda aerodinamik direnç katsayısının değişimine taşıt yer mesafesinin, arka cam açısının ve taşıt boyunun etkisinin nasıl olduğu CFD2000/SFV bilgisayar programı ile simülasyon yapılarak araştırılmıştır. Gerçek taşıt tasarımında ise böyle hesapsal yöntemlerle yapılan simülasyonlarla elde edilen sonuçların kontrolü için kullanılan rüzgar tünelleri hakkındada bilgi verilmiştir.

BÖLÜM 2

SEYİR DİRENÇLERİ VE YAKIT EKONOMİSİ

2.1 GİRİŞ

Taşıttaki seyir dirençleri tahrik tekerleklerindeki ihtiyaç duyulan moment ve güç gereksiniminin dolayısıyla yakıt sarfiyatının belirlenmesinde en önemli unsurdurlar.

Başlıca seyir dirençleri şöyle sıralanabilir;

- 1) Taşıt Tekerlek Direnci
- 2) Yokuş Direnci
- 3) İvme Direnci
- 4) *Aerodinamik Direnç*

Dolayısıyla toplam direnç;

$$Z = \sum_{j=1}^n M'_{RJ} / r_j = f_R \cdot G + C_X \cdot A \cdot \rho / 2 \cdot V_r^2 + P \cdot G + \lambda \cdot G / g \cdot X \quad (2.1)$$

bu taşıt tekniğinin en önemli denklemlerinden biridir, şimdi bu seyir direnç bileşenlerini teker teker tanıyalım;

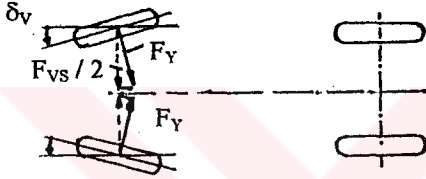
2.2 TAŞIT TEKERLEK DİRENCİ

Tekerlek yuvarlanırken, lastiğin ve zeminin deformasyonundan, yatak sürtünmelerinden, hava direncinden vs tekerlek dirençleri meydana gelir bunlar;

- 1) Yuvarlanma direnci
- 2) Su öteleme direnci
- 3) Yatak ve ilk hareket direnci
- 4) Toe-in direnci

2.2.1 Toe-in Direnci

Bir taşıtın tekerlekleri birbirine paralel durmaz (isteyerek veya istemeyerek). İsteyerek yaptırılan bu kapanık duruş, düz seyirdeki bir taşıtın ön tekerleklerindeki toe-in açısıdır.



Şekil 2.1 δ_v toe-in direnci sebebiyle F_y diyagonal hareket yan kuvveti ve toe-in direnci

ön tekerleklerin yaptıkları δ_v açıları F_y yan kuvvetlerini doğururlar. Bunların seyir istikametinin ters yönündeki iz düşümleri toe-in direncini meydana getirir.

$$F_{VS} = 2 F_y \sin \delta_v \quad (2.2)$$

F_y yan kuvveti yaklaşık olarak $F_y = C_\alpha \delta_v$; C_α : lastik diyagonal hareket katsayısı, $\sin \delta_v \cong \delta_v$ alınır (açı ufak olduğu için)

$$F_{VS} = 2 C_\alpha \delta_v^2 \quad (2.3)$$

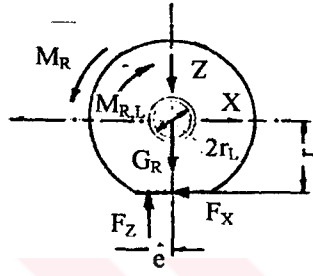
halini alır, toe-in direnç katsayısı aks yüküne bölünerek bulunur.

$$f_{VS} = (F_{VS} / 2F_Z) = (C_\alpha / F_Z) \delta v^2 \quad (2.4)$$

f_{VS} binek taşıtları için yaklaşık olarak 0.0002 civarındadır.

2.2.2 Yatak ve ilk hareket direnci

Yatak sürtünmesi yuvarlanma yönü tersine bir $M_{R,L}$ doğurur.

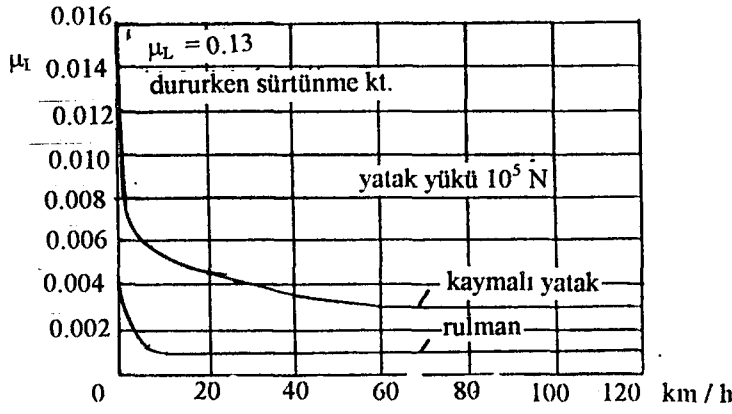


Şekil 2.2 Yatak sürtünmesinden dolayı ortaya çıkan ilave tekerlek direnci

Bu moment, yatak zorlanması $\sqrt{X^2 + Z^2}$ ile orantılı olup, yatağın sürtünme katsayısı μ_L ve yatak yarıçapı ile r_L ile ifade edilebilir. Kuru yolda toplam direnç şöyle ifade edilebilir;

$$-F_X = f_R F_Z + \mu_L (r_L / r) \sqrt{X^2 + Z^2} \quad (2.5)$$

bulunur. Genellikle her zaman, yatak direnci, yuvarlanma direnci $f_R F_Z$ ' nin yanında ihmal edilebilir. Bunun aksi kaymalı yataklarda ilk harekette ortaya çıkar. Burada yatak direnci, yuvarlanma direncinden daha büyük bir değer bile alabilir. Bu sebepten çok kalkış yapması gereken taşıtlarda uzun zamandan beri sadece bilyalı yataklar kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Kaymalı yatakların ve rulmanların sürtünme katsayıları ve seyir hızına bağımlılıkları

2.2.3 Su öteleme direnci

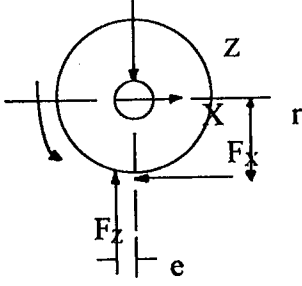
Islak yolda, tekerlek önündeki suyu sürüklemek mecburiyetindedir. Kuru zemindekine göre yuvarlanma direnci, F_s su öteleme direnci kadar artmaktadır. Bu direnç birim zaman içinde sürüklenen (ötelenen) su hacmiyle ilişkilidir. Yani, seyir hızına ve b lastik genişliği ile su filmi yüksekliğinin meydana getirdiği alan ile orantılıdır. Buna karşın, lastik yapısından, iç basıncından ve yükünden bağımsızdır.

$$F_s \cong b V^n \quad (2.6)$$

ile ifade edilir. Hız bağımlılığının n üssü, 0.5 mm su yüksekliğinden itibaren yaklaşık 1.6 değerindedir. Daha yüksek suda ve hızlarda bu direnç hızdan bağımsız kalmaktadır. Artık lastik suyu itememekte üzerinde yüzmektedir. (Aquaplaning)

2.2.4 Yuvarlanma direnci

Düz bir zeminde sabit hızda üzrinde hiçbir tahrik veya fren momenti olmadan (yatak sürtünmesi ihmal edilsin) yuvarlanan bir tekerlek için denklemler şu hali alır;



$$\alpha = 0, \ddot{X} = 0, \ddot{\psi} = 0, M_R = 0$$

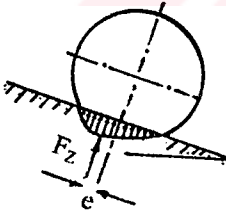
$$F_X = X$$

$$-F_X r = F_Z e \quad -F_X = F_Z e / r$$

Buradaki $-F_X$ kuvvetine yuvarlanma direnci denir ve F_R ile gösterilir. ($-F_X = F_R$)
Deneysel araştırmalar sonucu, yuvarlanma direncinin tekerlek yüküne bağlı olduğu hatta bu bağıntının yaklaşık lineer olduğu bilinmektedir.

$$F_R = f_R F_Z \quad (2.7)$$

Boyutsuz f_R katsayısına yuvarlanma direnci katsayısı adı verilir. $f_R = e / r$ olarak yuvarlanma direnci hesaplanır. Bu denklem yuvarlanma direncinin var olma sebebini gösterir. (tekerlek yükünün, lastik temas alanının ortasının biraz önünden etkimesi)



Şekil 2.4 Lastik tabanında basınç dağılımı

Tablo 2.1 Yuvarlanma direnci katsayısı

Yol Kaplaması	f_R
Pnömatik lastik	
Büyük parke taşı	0.015
Ufak parke taşı	0.015
Beton, asfalt	0.015
Çakıl, kırma taş	0.02
Stabilize	0.025
Toprak yol	0.05
Tarla zemini	0.1 0.35
Özel profilli lastik	
Tarla zemini	0.14 0.12
Zincirli lastik	
Tarla zemini	0.07 0.12
Demiryolu tekerleği	
Ray üzerinde	0.001 0.002

Lastikte ve zeminde elastik deformasyonlar ne kadar çok olursa, yuvarlanma direnci o kadar büyük olur.

2.2.5 Diğer tekerlek dirençleri

Virajda, her tekerlekte ortaya çıkan F_y yan kuvvetlerinden dolayı, F_K viraj direnci ortaya çıkar, bu direnç hızın dördüncü kuvvetiyle artar.

Pürüzlü bir zeminde hareketten dolayı tekerlek direnci oluşur. Burada taşıt salınımlarından dolayı lastiklere statik çökmenin üzerine dinamik kuvvetlerinde etkisi olur. Buda yuvarlanma direncini artırır.

2.2.6 Toplam tekerlek direnci

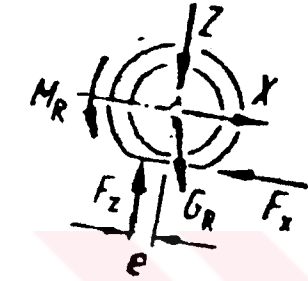
Toplam tekerlek direncini $F_{R,toplam}$ olarak adlandırırız;

$$F_{R,toplam} = F_R + F_S + \mu_L (r_L / r) \sqrt{X^2 + Y^2} + F_{VS} + F_K \quad (2.8)$$

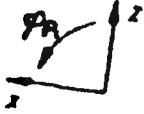
Sayısal hesaplara dayanılarak, kuru sert zeminde düz seyir halinde toplam tekerlek direnci, pratikte yuvarlanma direncine eşittir.

$$F_{R,toplam} \cong F_R = f_R F_Z = f_R G \quad (2.9)$$

2.3 YOKUŞ DİRENCİ



Tahriğin temel denklemi için römorklu bir çekicinin j. aksındaki durumu göz önüne alalım,



$$m_{R,J} \ddot{X}_{R,J} = -X_J + F_{X,J} G_{R,J} \sin \alpha \quad (2.10)$$

$$J_{R,J} \ddot{\psi}_{R,J} = M_{R,J} F_{X,J} r_J F_{Z,J} e_J \quad (2.11)$$

Burada, $G_{R,J}$ bu akstaki bütün tekerleklerin ağırlığı, $m_{R,J}$ kütleleri ve $J_{R,J}$ aks merkezi etrafındaki tekerlek atalet kuvvetlerinin toplamıdır. $F_{X,J}$, zemin temas bölgesindeki çevre kuvvetlerinin toplamı, $F_{Z,J}$ aks yükü, $M_{R,J}$ ise j. akstaki tahrik momentidir.

Açısal hareket ile ilerleme hareketi arasındaki ilişki ile $\dot{X} = V = R \dot{\psi}$; $\ddot{X} = R \ddot{\psi}$ aşağıdaki hareket denklemi elde edilir,

$$\sum_{j=1}^n (M_{R,J} / r_J) = \{ m + \sum_{j=1}^n J_{R,J} / (r_J R_J) \} \ddot{X} + G \sin \alpha + F_L + \sum_{j=1}^n F_{Z,J} (e_J / r_J) \quad (2.12)$$

Bu ifadede $G \sin \alpha$ bileşeni yokuş direncidir, ($F_{\text{st}} = G \sin \alpha$) α açısının ufak olması sebebiyle büyük bir yaklaşımla $\sin \alpha$ yerine $\tan \alpha$ veya ona eşit P değeri konulur. P yokuş olarak tanımlanır. [1]

Tablo 2.2 Yolların yokuş değerleri

1) Yerleşim bölgeleri dışındaki yollar için

Hız V(km / h)	İzin verilir yokuş P % olarak	Yol sınıflaması
40	10.0	Şehirler arası yol
60	6.5	
80	5.0	
100	4.5	-----
120	4.0	Oto yol
140	4.0	
2) Şehir içi yollar		
	6.0	İki şeritli ana yollar
	10.0	Tali yollar
3) Dağ yolları		
	max. 30.0	

Yollarda yokuş % ile verilmiştir. Örneğin %8'lik bir yokuş($P = 0.08$) ta taşıt ağırlığının %8 kadar bir dirençle karşılaşır. ($F_{\text{st}} = G.P$)

2.4 İVME DİRENCİ

Bir taşıtı ivmelendirmek için yukarıdaki çıkarılan tahriğin temel denklemindeki;

$$F_B = \left\{ m + \sum_{j=1}^n (J_{R,j} / r_j R_j) \right\} \ddot{X} \quad (2.13)$$

direnci, yani ivme direncinin yenilmesi gerekir. Bu ifade taşıt kütesinin seyir istikametinde ivmelenmesi ($X G / g$) ve de dönen elemanların dönme ivmelerinden meydana gelmiştir. Birinci terimi tespit etmek kolaydır, ancak ikinci terimdeki dönen kütlelerin(akslar, lastikler, kardan mili, diferansiyel, motor v.b) tespiti zordur. Bu zorluğu gidermek için dönen kütlelerin, toplam kütleyle ilave getirdiği direnç oranı olarak ifade edilen bir λ sayısı hesaplanır, böylece ivme direnci daha basitleştirilmiş şekilde kullanılır.

$$F_B = \lambda m \ddot{X} = \lambda G \ddot{X} / g \quad (2.14)$$

2.5 AERODİNAMİK DİRENÇ

Bir kara vasıtasının maruz kaldığı hava akışının, bir kısmı taşıtla yer arasında, bir kısmı radyatörden ve taşıt içi havalandırma kanallarından taşıt içinden geçmektedir.

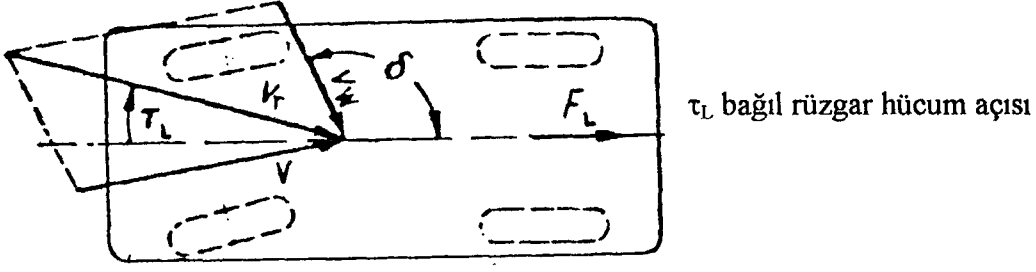
Dış akışlardan doğan kayıplar, basınç direnci ve sürtünme direncinden ortaya çıkar. Akış kayıplarının toplamı, taşıt hareket aksına ters istikamette etkiyen aerodinamik direnci meydana getirir. (F_L) Aerodinamik direnç ;

$$F_L = C_D A (\rho / 2) V_r^2 \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir. A enine kesit alanı ve C_D aerodinamik direnç katsayısı taşıtın büyüklüğüne bağlı olmayıp, şekline ve hücum açısına bağlıdır. Aerodinamik direnç, (ρ) hava özgül yoğunluğu ve (V_r) bağıl rüzgar hızı ile orantılıdır.

2.5.1 Bağıl rüzgar hızı ve açısı, hava özgül yoğunluğu

V_r bağıl rüzgar hızı, taşıt seyir hızının negatifi (V) ile rüzgar hızının (V_w) vektörel toplamıyla elde edilir.



Şekil 2.5 Bağıl rüzgar hızının tayini

$$\vec{V}_r = \vec{V} + \vec{V}_w \quad (2.16)$$

V_r bağıl rüzgar hızı ile taşıt boyuna eksenini arasındaki açı, bağıl rüzgar hücum açısıdır. (τ_L)

Rüzgara karşı veya arkadan rüzgar ile düz harekette τ_L sıfır olarak alınır. Yan rüzgar varsa τ_L sıfırdan farklı değer alır. V_w rüzgar hızı ortalama olarak $4.7 \text{ m/s} \approx 17 \text{ km/h}$ civarında alınır. ρ hava özgül yoğunluğu, basınçla ve sıcaklıkla değişir.

$$\rho = 348.7 P / (273.2 + \theta) \quad (2.17)$$

2.5.2 Aerodinamik direnç katsayısı

F_L aerodinamik direnci ve dolayısıyla aerodinamik direnç katsayısı, τ_L hücum açısına bağlıdır. Bu boyutsuz aerodinamik direnç katsayısı, taşıtın formuna çok bağlıdır.

Motorun yakıt tüketimi, konstrüktif yapısına, tipine ve çalışma prensiplerine bağlıdır. Motor imalatında ortalama basınçların ve özgül güçlerin artırılması uzun yıllar ana amaç olarak kabul edilmişse de bunun için gerekli olan; sıkıştırma oranının artırılması, karışım oluşumunun, yanma odasının ve ateşlemenin iyileştirilmesi gibi önlemler aynı zamanda özgül tüketimi de azaltmıştır.

Aktarma organlarının etkisi, bir yandan aktarma kayırları, öte yandan seçilmiş olan çevrim oranı ile motorun tüketim karakteristiğindeki çalışma noktasının yeri ile ortaya çıkmaktadır. Küçük çevrim oranları kural olarak işletme noktasını uygun tüketim bölgelerine kaydırmakta, ancak ivme yeteneğini azaltmaktadır.

Seyir dirençleri ise, ağırlığın azaltılması, *aerodinamik* özelliklerin iyileştirilmesi ve yuvarlanma direncinin ufaltılması ile küçültülebilir. Ortalama bir seri taşıtta, ağırlığın aerodinamik direncin ve yuvarlanma direncinin % 10' ar azaltılması sırasıyla; % 6, % 3 ve % 2 yakıt tüketimi azalması sağlamaktadır.

Ancak yakıt ekonomisi ile ilgili bu önlemlerin yanında taşıt ağırlıklarının artması, ivme yeteneklerinin ve maksimum hızlarının artırılması gibi değişimler gerçek toplam tüketimde önemli bir değişiklik olmamasına yol açmaktadır. 80'li yılların başlarında bir çok taşıt modelinde motor yapılarının değiştirilmesi, tahrik elemanları ile taşıtın uyumunun iyileşmesi ve seyir dirençlerinin azaltılmaya çalışılmasıyla yakıt tüketiminde % 15-20 civarında azalma sağlanmıştır. [2]

2.6.1 Yakıt ekonomisi ile ilgili gelişmelerden örnekler

A) İ.Y.M aşırı doldurma

Aşırı doldurma birim hacim ve ağırlıktan alınabilen gücü arttırıp motor boyutlarını küçültürken, diğer taraftan verimi arttırmakta ve egzoz gazındaki kirletici bileşenlerin miktarını azaltmaktadır. Aşırı doldurma sayesinde, benzin motoruna göre çok daha ekonomik çalışan dizel motoru, hızı arttırılarak ve boyutları küçültülerek, binek araçlarına uygulanabilir duruma gelmiştir.

Aşırı doldurma yapılarak ortalama efektif basıncın arttırılması, beraberinde gene çözüm gerektiren bazı problemler getirmekle beraber, bugünkü teknolojinin durumuna daha uygun bir yol olarak kendini kabul ettirmiştir. Aşırı doldurma ile silindir içine normal emme basıncının 1.5 yada 4 katı kadar basınçta hava gönderilerek birim hacimden alınan güç arttırılırken maksimum sıcaklık ve basınçlarda artmış olacağından motoru daha sağlam ve ağır yapmak ve nitelikli malzeme kullanmak gerekecektir. Ancak kazanılan güç artışı her zaman ağırlık artışının üstünde olmakta ve bir çok durumda birim güç başına maliyet kabul edilebilecek boyutlarda kalmaktadır. Örneğin, 3 L strok hacmindeki 5 silindirli bir Mercedes Benz dizel motorunda aşırı doldurma sonucu % 7'lik ağırlık artışına karşın %43'lük güç artışı elde edilmiştir. *Yakıt tüketiminde azalma* ise %6 civarındadır. [3]

B) Aramidle güçlendirilmiş lastikler

Uygun güçlendirilmiş malzemelerle, bir lastikten istenen diğer özellikler korunarak lastiğin yuvarlanma direncinde gelişmeler ve ağırlığında azaltmalar yapılabilir. Elastomerle güçlendirilmiş bir malzemeyle yapılan lastiklerde, lastiğin yuvarlanma direnci ve ağırlığına etkisi kayda değer derecede olduğu gözlenmiştir.

Bu tür güçlendirilmiş malzemelere çelik kordlarla yer değiştirmiş aramid fiberler dahil edilebilir. Günümüz tek filamentli polyester ve naylonlar ile sertliği değiştirilmiş, kauçuk kalınlığı ve ağırlığı azaltılmış çok filamentli elastomerle kaynaştırılmış kısa aramid fiberler ters koşullar altında çekimi arttıran ve yuvarlanma direncini azaltan özelliklere sahiptirler.

Yapılan testlerle aramid karsaslı lastiklerde ortalama % 9 daha düşük yuvarlanma direncine sahip olduğu ispatlanmıştır, ve günümüz güvenlik standartları ve çekimde de gelişme gözlenmiştir, artı olarak taşıt *yakıt ekonomisinde* % 1.8 civarında yükselme ölçülmüştür.[4]

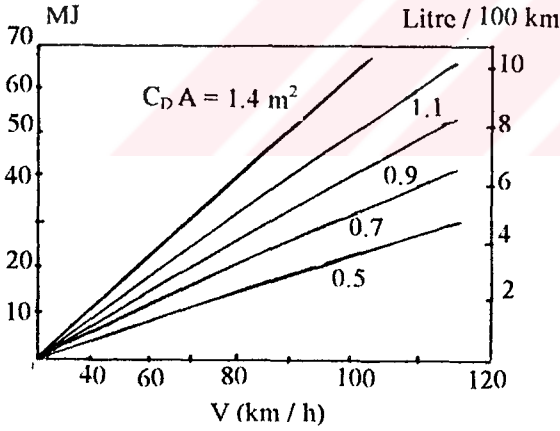
C) Aerodinamik direncin yakıt ekonomisine etkisi

Keyfi bir hızda aerodinamik direncin yakıt tüketimine etkisi, dirençten dolayı kaybolan enerji miktarının hesaplanmasıyla bulunabilir.

$$E = 1/2 \rho V^2 C_D A 10^5 \quad (2.19)$$

Yukarıdaki formülden, 100 km mesafe boyunca kaybolan enerji miktarı hesaplanarak yakıt tüketimi (litre / 100 km) cinsinden ifade edilebilir. Kaybolan enerji miktarını (J) litre / 100 km cinsine çevirebilmek için, deneysel şekilde bulunmuş bir değer olan bütün motor transmisyon verimi $\eta = 0.2$ ve benzinin ısı değeri olarakta 32.2 MJ / litre alınır. Böylece aerodinamik direnci yenmek için harcanan yakıt miktarı şu şekilde yazılabilir.

$$E / (\eta \cdot 32.2) \quad (\text{litre} / 100 \text{ km}) \quad (2.20)$$



Şekil 2.7 $C_D A$ 'nın değişik değerleri için hızın fonksiyonu olarak enerji ve yakıt tüketimi

Üsteki şekilden de görüldüğü üzere, aerodinamik direncin yakıt tüketimine etkisine sayısal bir örnek verecek olursak, cepheden alanı 2 m^2 , aerodinamik direnç katsayısı 0.45 olan bir taşıt için 100 km'lik bir mesafede aerodinamik direnci yenmek için gerekli olan enerji hesaplanırsa, şehir içi hızlarda % 17, otoyolu hızlarında % 8 yakıt tüketimi artar.[5]

BÖLÜM 3

TAŞIT AERODİNAMIĞI KRONOLOJİSİ

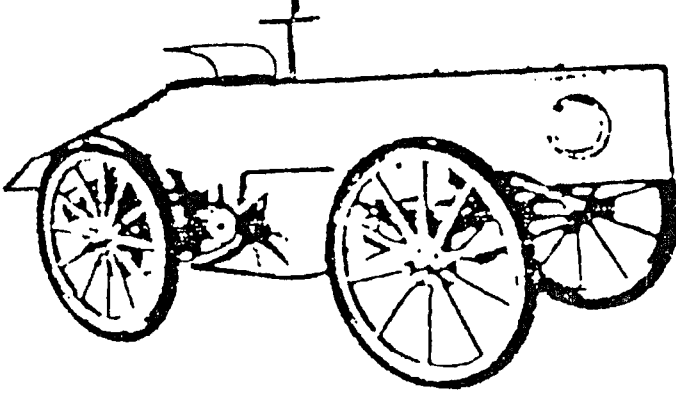
3.1 GİRİŞ

Kara vasıtaları, günümüzde en çok kullanılan taşıma vasıtalarıdır. Günlük hayatımız bir çok bakımlardan bu vasıtalara bağlı bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu vasıtaların performansı (hareket kabiliyeti, yakıt sarfıyatı, kontrolü, stabilitesi ve konforu) oldukça önemlidir. Kara vasıtalarının bu özellikleri, kara vasıtanın dış ve iç aerodinamiği ile ilgili incelemelerin büyük bir önemi vardır.

Araçların aerodinamiği araç etrafındaki hava hareketlerinden dolayı kaynaklanan etkenlerle ilgisi vardır, veya onlarla ilişkilidir. Karayol taşıtlarındaki aerodinamiğin önemi araçların daha büyük hızlara erişmeye başladıkları zaman açıkça ortaya çıkmıştır.

Otomobil bildiğimiz gibi 19. yüzyılın son on yılında sahneye çıkmıştır. Otomobilin başlangıcı aşağı yukarı güçlendirilmiş uçuş ile aynı zamana raslamaktadır. Taşıt aerodinamiğindeki 90 yıllık çalışmaya rağmen, bir çok önemli soru hala cevapsız kalmıştır, ve teknolojisi hala bilimden çok estetiğe dayanmaktadır. Bunun sebeplerinden biri, karayol taşıtlarının akış alanlarının çok kompleks olması ve analizinin zor olmasıdır. Bir çok eğilimi iyi anlaşılamamıştır, ve uygulamacılar hala bir çok beklenmeyen olaylara rastlamaktadır.

Karayol taşıtlarında aerodinamik prensiplere başvurulduğu ilk teşebbüslerden biri 'Jantaud' olarak isimlendirilmiş bir taşıttı ve sürücüsü Gaston Chaseloup - Laubat bu araçta 1899 yılında 93 km / h (58 mph) noktasına erişilmiştir.



Şekil 3.1 Gaston Chaseloup Laubat tarafından kullanılan aerodinamik prensiplere başvurulmuş ilk taşıt

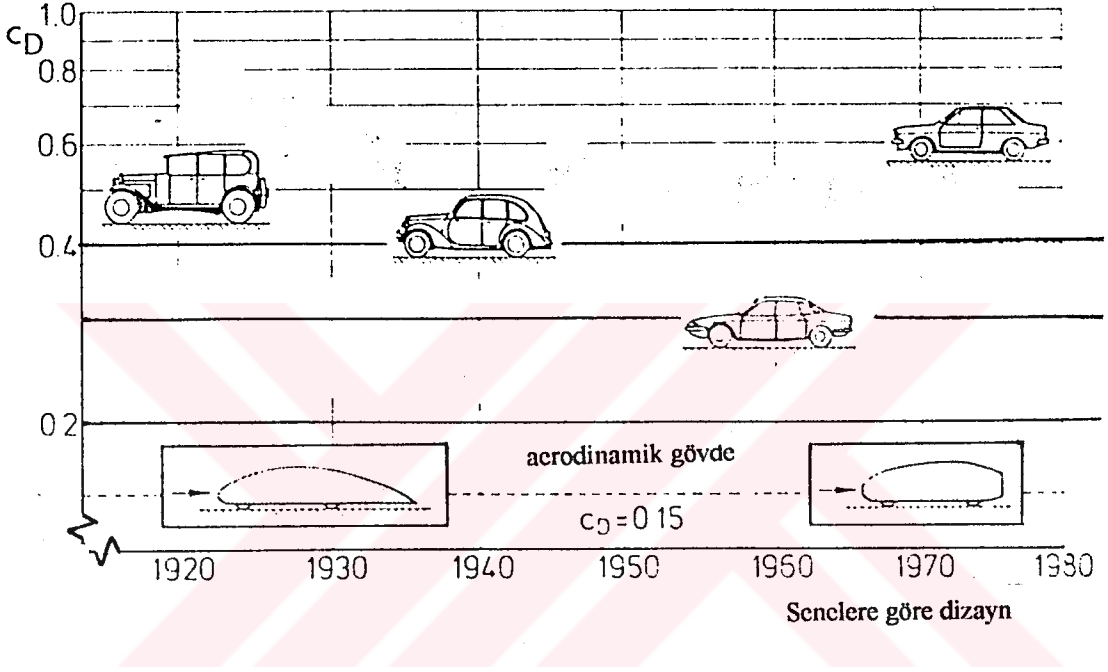
Araç direncindeki ilk ilgiyi devam ettiren ve ilk makale 1922 yılında 'Klemperer' tarafından yayınlanmıştır (bu konuda ilk açık makaledir. O zaman günümüz otomobil şekilleri ve dahi en düşük direnç modellerinden biri belirtilmiş artı olarak günümüz rüzgar tünellerinden bir kaç anlatılmıştır.

Yirminci yüzyılın ilk birkaç on yılı esnasında orijinal çalışmalara gidilmesiyle karayol taşıtlarının en üst noktadaki hıza çıkarılması için direnç azalmasına doğru gidilmiştir. Bu konu sabit gelişmeler ile ve otomobil motorlarının gücünün arttırılmasıyla ve bütün güç transfer sistemlerinin veriminin arttırılmasıyla daha az önemli olmuştur. Yakıt maliyeti asla ihmal edilemez olmasına rağmen, verimli gelişmeler basılan yayınlarla tekrar üzerinde düşünülmemiştir, sonuç olarak aerodinamikçiler sıklıkla diğer konulara boyun eğmek zorunda kalmıştır.

Aerodinamik için başlangıç gereksinimi daha yüksek hızlarda ilişkili olmuştur, yarış arabaları ile daha uzun bir konu olarak kalmıştır, hatta daha kuvvetli motor gücüne sahip olmasına rağmen.

Günümüz otomobillerinin aerodinamik direnç katsayısı oldukça yüksektir, aerodinamik direnç katsayısı için ortalama değer 0.45 civarındadır. Düşük direnç dizaynının prensipleri güncel bilgilere dayandırılırsa, pratikteki bir aracın aerodinamik

direnç katsayısı için minimum yaklaşık 0.25 civarındadır. Bu yüzden ne yapıldığı ve nasıl meydana getirileceği arasında bir büyük boşluk vardır. İyi bir aerodinamik biçim verilmiş tekerlekli araç için 0.25 hala iyidir, 0.15 civarına düşürülebileceğide gösterilmiştir. Farklılık, yolcu kompartımanının büyüklüğü, güvenlik özellikleri, motor soğutması, bakım kolaylığı, ürün kimliği gibi pratik kısıtlamalardan dolayıdır.

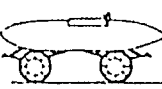
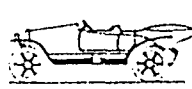
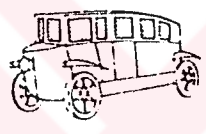
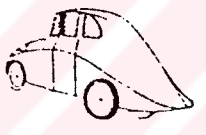
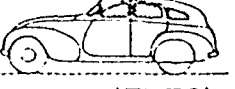
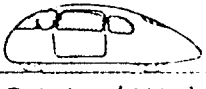
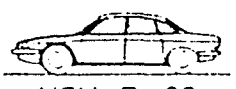
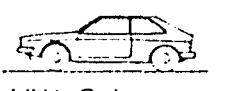
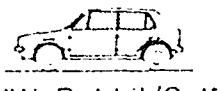


Şekil 3.2 C_D direnç katsayısında geçen zamanla elde edilen ilerlemeler

Günümüz karayol araçlarının aerodinamik uygulamalarındaki yaygın proses stilistler tarafından geliştirilen şekiller arasındaki aerodinamik uygunluktur. Bu yöntem sıklıkla düşük direnç dizayn prensiplerinin geniş bilgilerini bilerek ihmal eder, yüksek ve düşük dirençli taşıtlar arasındaki farklılıkların gözlenmesiyle deneysel olarak elde edilir. Fakat bu alandaki ilerleme basitleştirilmiş gövde şekillerindeki dikkatli deneylerden ve nümerik simülasyonlardaki gelişmelerden olacaktır.

Taşıt aerodinamiğindeki çalışmaların amacı, karayol taşıtlarının aerodinamiği ile ilgili bir kaç soruya açıklık getirmektir;

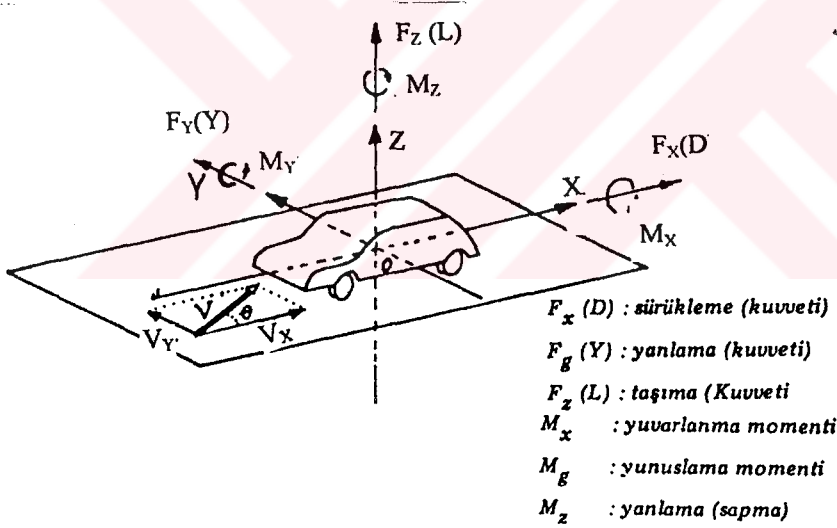
- 1) Aerodinamik prensipler pratikteki bir taşıtın koşullarına nasıl adapte edilir?
- 2) Aerodinamik tasarım ile yakıt ekonomisine ne kadar katkıda bulunabilir?
- 3) Aerodinamik direnç oluşumu nasıldır?
- 4) Düşük aerodinamik direnç dizaynındaki güncel estetik durumu nedir?
- 5) Düşük aerodinamik direnç dizaynı için gelecekteki görünüm, seri taşıt üretimi için C_D nin pratikteki daha düşük limiti nedir? [5]

temel şekiller	1900			
	1930	Torpedo	Ship's Stern	Airship
aerodinamik taşıtlar	1921			
	1923	Rumpler	Bugatti	
	1922			
	1939		Jaray	
	1934			
	1939	Kamm (FKFS)	Schlör (AVA)	
optimizasyon methodu	1955			
		CITROEN ID19	NSU Ro 80	
optimizasyon methodu	1974			
		VW Scirocco	VW Rabbit (Golf)	

Şekil 3.3 Taşıt aerodinamiğindeki tarihsel gelişim

3.2 AERODİNAMİK KUVVET SİSTEMİ

Bir kara vasıtasına etki eden aerodinamik kuvvet sistemini aşağıdaki gibi ifade edilmesi kolaylık sağlar. Burada, eksen takımının (O) orijin noktası, vasıtanın simetri düzlemi içinde herhangi bir nokta olmak üzere, x-y düzlemi yol düzlemine paralel ve x-z düzlemi simetri düzlemi olup, x eksenini simetri düzlemi içinde geriye doğrudur. Bu eksen takımında, x , y ve z eksenleri doğrultularındaki D,Y ve L aerodinamik kuvvet bileşenleri sırasıyla sürüklenme, yanlama ve taşıma kuvvetleri adlarını alırken bu eksenler etrafındaki M_x , M_y , M_z aerodinamik moment bileşenleride sırasıyla yuvarlanma, yunuslama ve yanlama (sapma) momentleri isimlerini alırlar. V hızının yol düzlemine paralel olduğu dikkate alınmış olup, V hızı ile simetri düzlemi arasındaki θ açısı yanlama açısıdır. Aerodinamik kuvvet sistemini, rüzgar tüneli deneylerinde bir balansla ölçmek mümkündür. [6]



Şekil 3.4 Bir kara vasıtasına etki eden aerodinamik kuvvet sistemi

Yaygın bir şekilde bilinen subsonic hızlarda en düşük dirençli gövde teardrop şeklinde olanlardan biridir, 'Klemperer' tarafından tekrar düşünülmüştür. Uçuşlardaki optimize edilmiş teardrop genellikle 0.04 kadar düşük direnç katsayısına sahip olduğu farzedilir, optimum teardrop' un gerçek oranları reynold sayısı ve yaw açısına bağlılığı kanıtlanmıştır.

Karayol taşıtları etrafındaki akışın rüzgar tüneli araştırmalarında kuvvet ve momentlerin ölçümlerine konsantre olunmuştur, taşıt şekillerinin kompleksliğinin önemli bir sonucu akış alanlarının sonuçlarında kompleks olmasıdır. Akışlar türbülanslı (üç boyutlu) ve çok sayıda ayrılmış akış bölgelerine sahiptir. Aracın yere yakınlığında önemli bir etkidir.

Bu kompleksliğin sonucu olarak, günümüze kadar taşıt aerodinamiği alanındaki çalışmalar iyice bir noktada toplanamadı, çalışmalar bir çok parçalara ayrılarak, sıklıkla özel araçlardaki gelişmelerle birleştirilerek bir çok paralel araştırmalar olmuştur, genel prensipler verilmiştir.

3.3 TAŞIT AERODİNAMİĞİ KAREKTERİSTİKLERİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER

3.3.1 Konvensiyonel kık şekli, deck, spoiler ve trigonal pramit

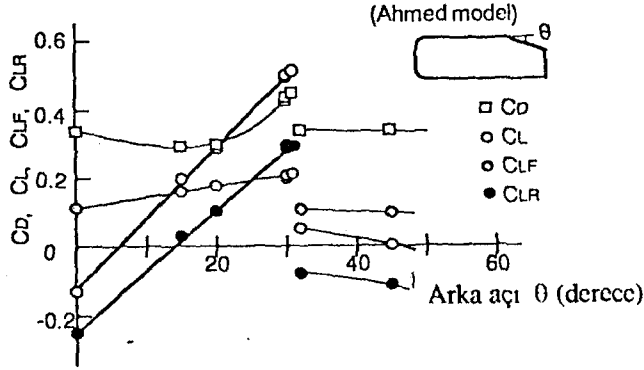
Bir taşıtın arka kık şekli aerodinamik görüş açısından en önemli kısımlardan biridir. Arka kık şekli taşıtın aerodinamik karakteristilerini yönetir, (özellikle direnç katsayısını ve arka kaldırma)

Günümüz düşük dirençli bir taşıta aerodinamik karakteristikleri geliştirmek için bir spoiler eklendiği zaman, çoğu durumlarda aerodinamik direnç ve ön kaldırma artacaktır. Bir çok bakımdan arka kık şeklinin aerodinamik etkisinin detayları henüz anlaşılamamıştır.

3.3.1.1 Konvensiyonel şekil

Konvensiyonel taşıtlarda, arkasına spoiler eklenmemiş veya bir deck'e sahip olmayan, aerodinamik karakteristikleri geliştirmek için arka kık açısının optimum bir değere konfigüre edilmesi gerekmektedir, ancak gerçek taşıt dizaynında optimum açıya

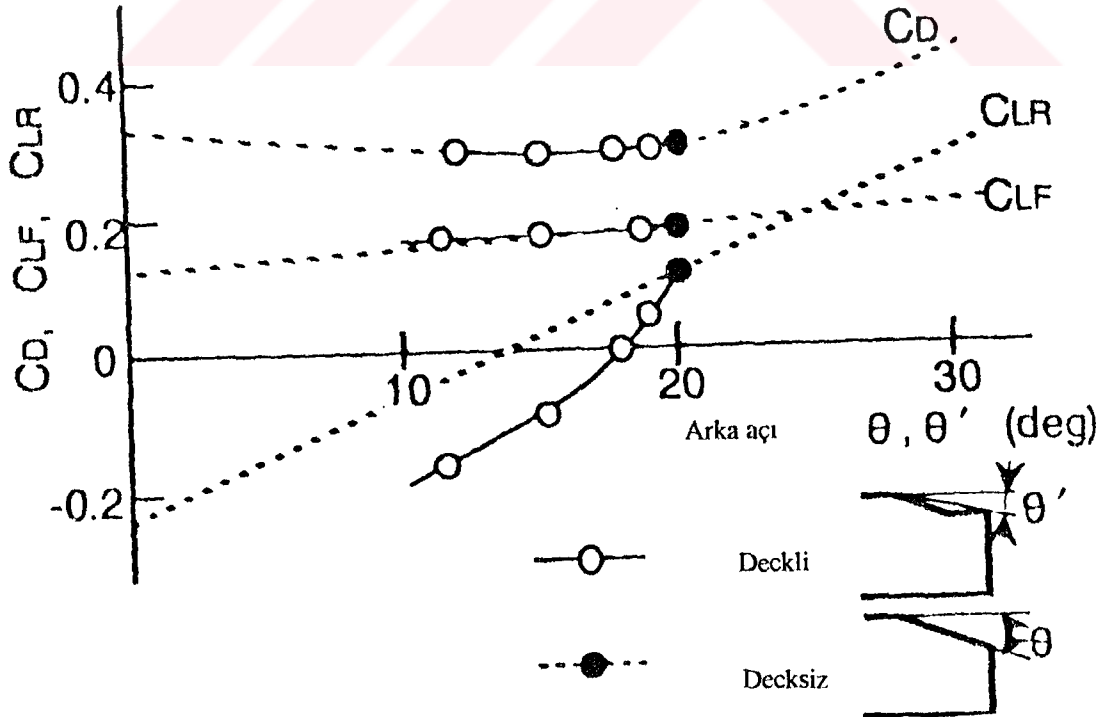
konfigüre etmek ürün fikri, dış dizayn görünümü ve packaging kısıtlamalarından dolayı zordur.



Şekil 3.5 Arka açının C_D , C_L , C_{LF} , C_{LR} üzerindeki etkisi

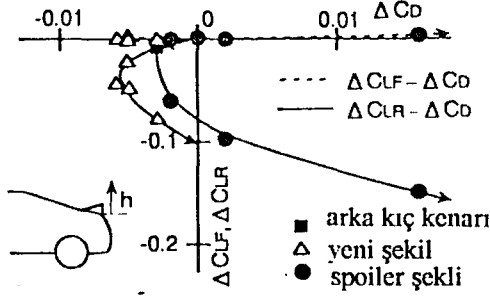
3.3.1.2 Kıç deck şekli

Arka kıçta yüksek bir deck yapma methodu aerodinamik direnç ve arka kaldırmayı azaltmak için bu zamana kadar yaygın bir şekilde uygulanmıştır.



Şekil 3.6 Deck'li ve decksiz arka açının C_D , C_{LF} ve C_{LR} üzerindeki etkisi

olan bu spoilerlerde C_D 'de azalma görülmekte, ve hatta $C_{L,R}$ ' deki azalmayla birlikte $C_{L,F}$ ' de azalma görülmektedir.

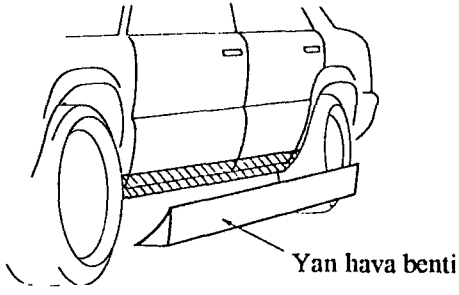


Şekil 3.9 Trigonal piramit şeklinin C_D , $C_{L,F}$, $C_{L,R}$ üzerindeki etkisi (fast back tipi)

3.3.2 Yan hava bentleri ile taşıt aerodinamiği karakteristiklerinin geliştirilmesi

C_D ve C_L ' in sıfır yaw açısında yan rüzgar bentleri ile azaltılabileceği görülmüştür. Ancak tersine, bir yan bent konfigürasyonu uygun olmadığı zaman büyük yaw açılarında C_L ' in arttığıda gözlenmiştir. Bu mekanizmalar basınç dağılımı ölçülerek ve yan hava bentlerinin eklenişi ile sebep olunan akış alanının değişiminin gözlenmesi ile araştırılmıştır.

Yan hava bentleri taşıt altı kenarları boyunca hava akışını keser, bu yüzden, yaw açısı küçük olduğu zaman taşıt altı uzunluğunca hava akışı baskındır, yan bentler akışı hızlandırır ve bu sayede C_L 'de azalma görülür. Diğer taraftan çapraz bir rüzgar akışı olduğu zaman (özellikle büyük yaw açılarında) yan bentler bu durumda taşıt altındaki hava akışını keser, bu yüzden C_L 'de artış meydana gelir. Bu sonuçların doğrultusunda, büyük yaw açıları için yan hava bent şeklinin altı optimize edilerek C_L 'de azalma elde edileceği kanıtlanmıştır. [8]

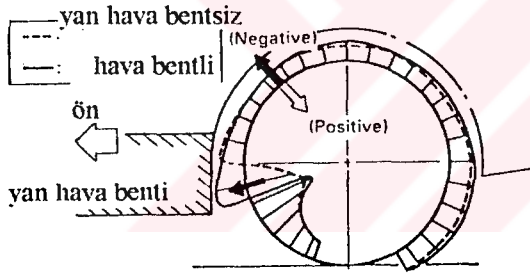


Şekil 3.10 Hava benti şekli

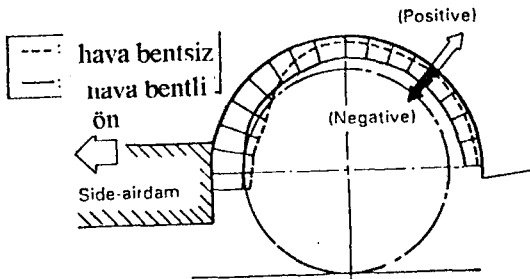
3.3.2.1 C_D ve C_L ' in azalmasındaki mekanizma

C_D ve C_L üzerinde yan hava bentlerinin etkisi aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- 1) Yan hava bentleri, arka tekerleklerin ön yüzeylerine gelen hava akışını keserek C_D ve C_L 'i azaltır.
- 2) Yan hava bentleri taşıt altındaki hava akışını hızlandırarak C_L azaltır.



a) Lastik yüzeyindeki basınç değişimi



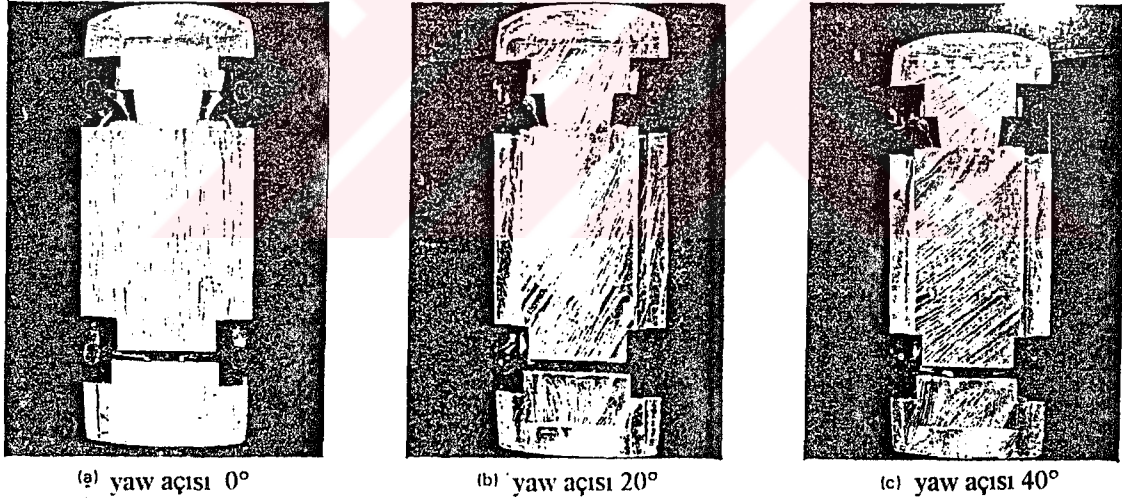
b) Tekerlek yuvası yüzeyindeki basınç değişimi

Şekil 3.11 Arka tekerlek etrafındaki basınç dağılımı

3.3.2.2 Artan kaldırma için mekanizma

Yan hava bentine sahip bir otomobil için büyük yaw açılarında C_L ' deki artışın sebepleri olarak aşağıdaki iki faktör sıralanabilir;

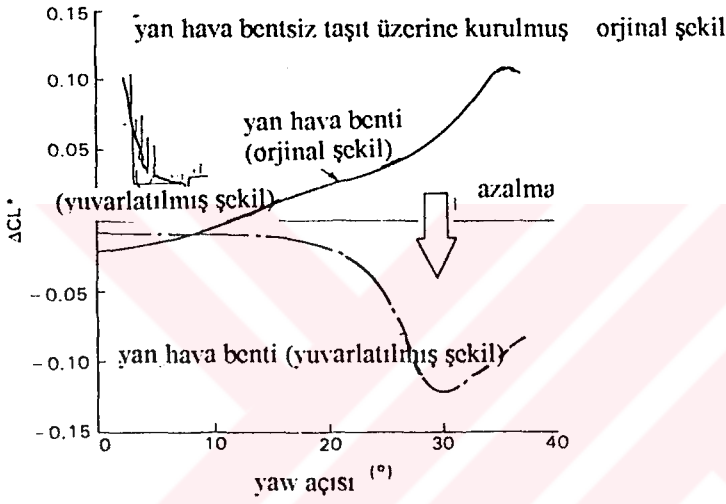
- 1) Bir taşıt çapraz bir rüzgara karşı yerleştirdiği zaman, taşıt altındaki hava akışına yan hava bentleri direnç gösterdiği için, hava hızı azalır bu durumda tabandaki basınç miktarı artar.
- 2) Taşıt altındaki direncin artması yüzünden, daha üst yüzeye transfer edilen akış miktarı artar. Bu sebepten dolayı, bu alanda havanın hızı artar ve negatif basınç meydana gelir.



Şekil 3.12 Değişik yaw açıları için taşıt altındaki hava akışı (yan hava bentli)

3.3.2.3 Yan hava bentinde büyük yaw açıları için yapılan modifikasyon

Büyük yaw açılarındaki, çapraz rüzgar karakteristiklerini geliştirmek için yukarıdaki sonuçların doğrultusunda yan hava bentinin alt tarafında modifikasyonlar yapılmalıdır. Büyük yaw açılarındaki C_L 'deki artışı kısıtlamak için hava akışı, taşıt altında, yan kenarların içi ve dışarısında yumuşak bir akış sağlanmalıdır.



Şekil 3.13 Yan hava benti eklenerek C_L 'de elde edilen gelişme

BÖLÜM 4

TAŞIT TASARIMI VE AERODİNAMİK DİZAYN

4.1 TAŞIT ÖZELLİKLERİ VE ANA PARAMETRELER

Bir taşıtın yerine getirmesi gereken fonksiyonları ve aynı zamanda sağlaması gereken çeşitli sınır şartları bulunmaktadır.

Sınır şartları genel anlamda yönetmenliklerde ve firma içi şartnamelerde bulunmaktadır. Ayrıca özel olarak söz konusu taşıt modelinin sağlaması ön görülen, bir anlamda yeni modeli karakterize edecek sınır şartları da her tasarım başlangıcında belirlenir.

Yeni taşıtın tasarlanmasında özellikle önemli olan aşama aks aralığı, dış boyutlar (*aerodinamik dizayn*), organların büyüklük ve konumları, deformasyon bölgesinin boyu ve toplam taşıt ağırlığı gibi ana taşıt parametrelerinin belirlenmesidir. Bu parametreler taşıt özelliklerinin ortaya çıkmasını sağlarlar. [2]

Başlıca önemli taşıt özellikleri, ana ve alt gruplar halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1- Transport Performansı

- a) Transport kapasitesi
- b) Seyir performansı

2- Aktif emniyet

- a) Algılama emniyeti
- b) Sürücünün konumu
- c) Seyir özellikleri

3- Konfor

- a) Seyir konforu
- b) Kumanda konforu
- c) Transport konforu
- d) İklim konforu
- e) İç gürültü konforu

4- Pasif Emniyet

- a) Dış emniyet
- b) İç emniyet
- c) Karoserin deformasyon özellikleri

5- Kullanışlık

- a) Manevra kabiliyeti

6- Çevre sağlığı

- a) Egzoz emisyonu
- b) Gürültü

7- Ekonomi

- a) Yakıt tüketimi

4.2 GENEL AERODİNAMİK DİZAYN PRENSİPLERİ

Düşük bir aerodinamik direnç katsayısına sahip binek tipi bir taşıt dizaynı yapılırken çalışmalar üç ana kategoride toplanabilir;

- 1) Gövde Şekil Parametreleri
- 2) Gövde Altı Hava Akışı
- 3) Taşıt Yer Mesafesi [9]

4.2.1 Gövde Şekil Parametreleri

4.2.1.1 Arka cam incelemesi

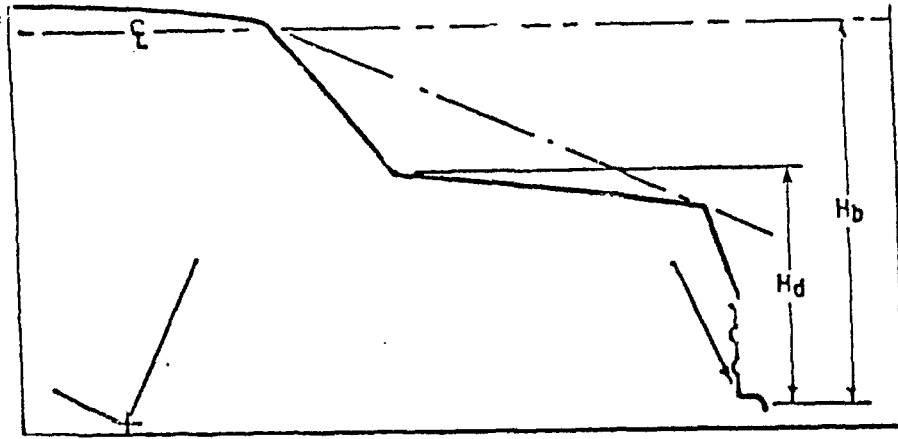
Aerodinamik kalite açısından en kritik bölgelerden biri ‘green house’ yolcu kabininin arka cam tarafı ve arka camın kaportayla birleŖme yeridir. Yolcu kabininin arka camına backlight denmektedir. Günümüzde dört arka cam tipi mevcuttur. Bunlar kammback, notchback, squareback ve fastbacktir.

Arka cam açısına göre C_D seviyesindeki % deėiŖimi, arka cam açısı büyüdükçe C_D büyüklüğünde dŖme olduğu görülmektedir.

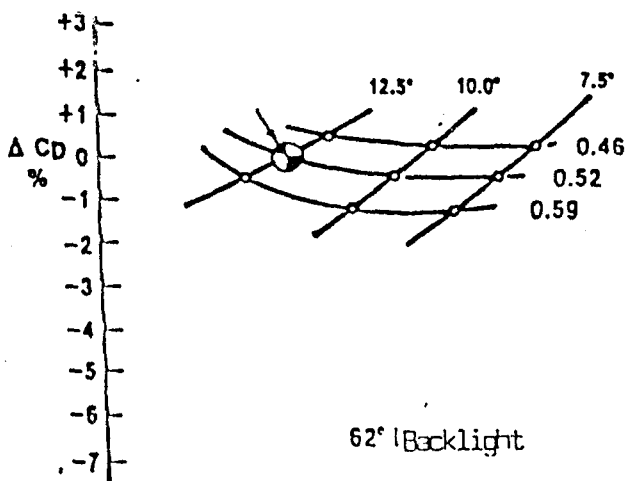
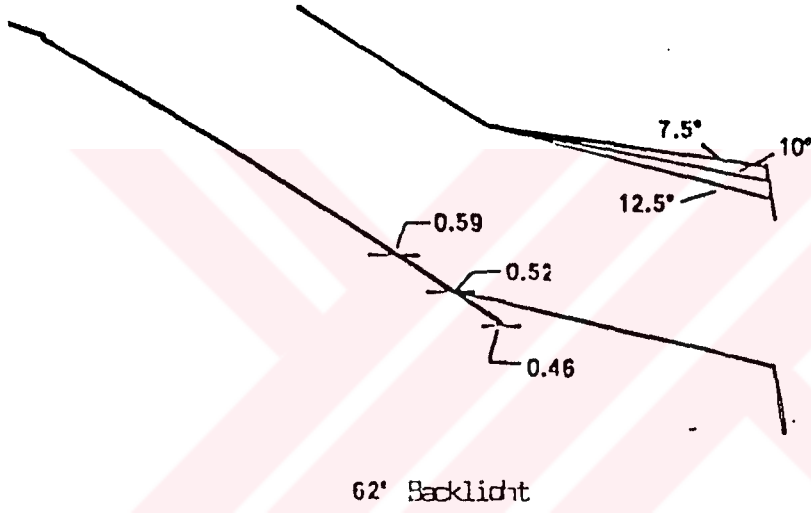


Şekil 4.1 Arka cam açısına göre C_D seviyesindeki % deėiŖimi

Sabit bir arka cam açısında kaporta yükseklik oranının ve kaporta eğiminin C_D zerindeki etkisi, kaporta eğiminin yaklaŖık yatay olduğu durumda C_D 'nin optimum bir değere ulaŖtıėı grlmŖtir.



$$H_R = \frac{h_d}{h_b}$$



Şekil 4.2 Kaporta eğiminin C_D üzerindeki etkisi

Bu bilgilerin ışığında ortaya çıkan minimum aerodinamik direnç için en iyi çözüm fastback ve notchback dizaynlarının estremleri arasında yer alan semi-fastback profilidir. Bunu sırasıyla kammback, fastback ve notchback dizaynları izlemektedir. Semi-fastback dizaynının en iyi şekilde uygulanması için taşıtın yolcu kabini kısmı tekrardan düzenlenmiştir.

Yeniden düzenlenme esnasında iki tedbir alınmıştır, taşıtın arka koltukları düzenlenerek yolcuların kafa pozisyonları alçaltılmıştır. İkinci tedbir ise arka kapanta kenarının yükseltilmesidir. [10]

4.2.1.2 Ön cam açısı

Çalışmalar sonucunda ön cam açısının yapılabildiği kadar yataya yakın yapılmasının faydalı olduğu sonucu ortaya çıkmasına rağmen, oldukça yatay bir ön cam açısının bile etkisi yeterince büyük olmamaktadır. Bununla birlikte bu açıya da büyük tutmanın bir takım kısıtlamaları vardır. Örneğin yeterli ışık alamamak ve görüntünün yeteri kadar iyi olmaması gibi nedenlerden dolayı ön cam eğim açısı maksimum 65° olmaktadır.

4.2.1.3 Kaporta eğimi

Araştırmalar sonucunda ön kaporta kenarının pratik olan en düşük seviyeye indirilmesiyle optimum aerodinamik direnç katsayısına ulaşıldığı gözlenmiştir. Pratikte ön kaput kenarı ön tamponun üst kenarına indirilebilir.

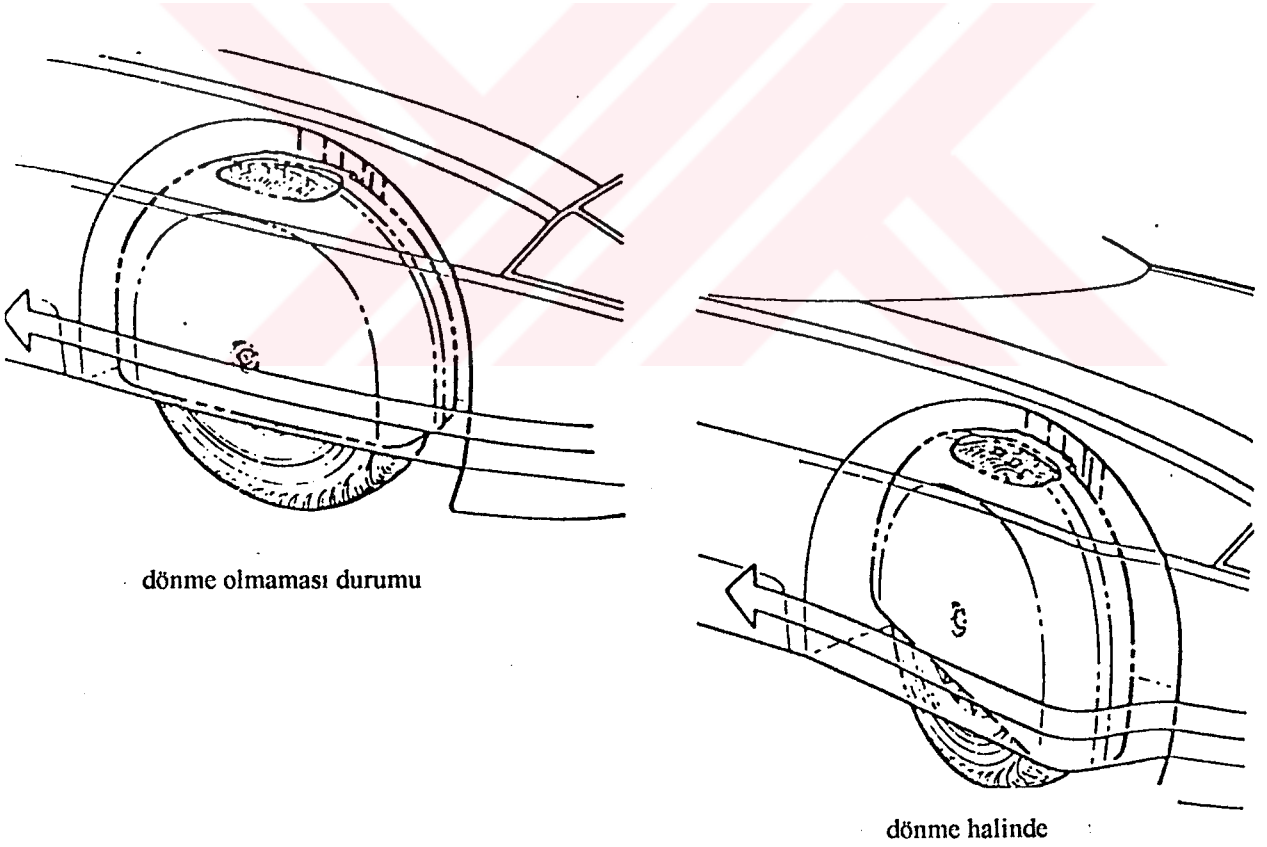
4.2.1.4 Yan kenar camları

Aerodinamik açıdan en hassas yerin ön cam ile yan camın kesişme yeri olan ‘A-pillar’ bölgesinde olduğu görülmüştür. Diğer yan cam birleşme yerlerinde (B-pillar , C-pillar) ayrı hassasiyet görülmemiştir.

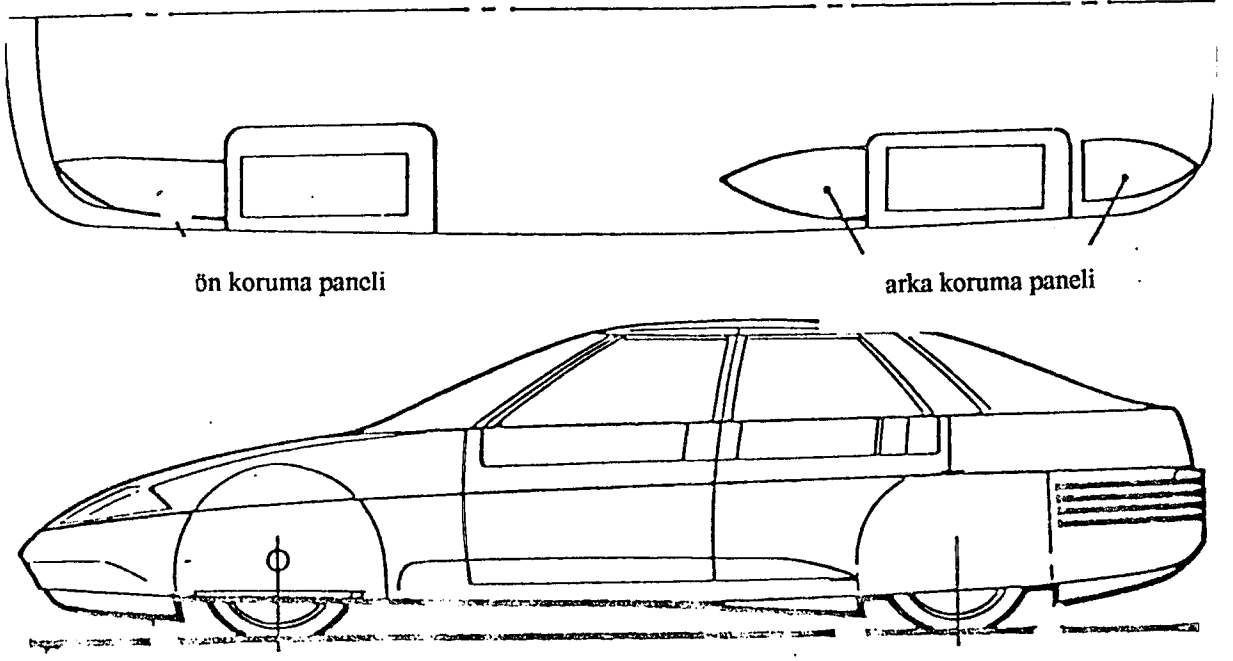
4.2.1.5 Tekerlek yuvaları

Tekerleklerin montajı ve montajın yapıldığı yer aerodinamik direncin düşürülmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu bölgedeki hava akışı olabildiğince iyi kontrol edilmelidir. Bu yapılmadığı takdirde bu bölgedeki elemanlar (lastikler, suspansiyonlar) yüksek bir aerodinamik dirence sebebiyet vermektedirler. Bu kontrolü sağlamak için şu tedbirler alınmıştır.

Kapaklı ön ve arka tekerlek yuvaları; arka tekerlek yuvaları sabit metal kapakla örtülmüştür. Fakat ön tekerleklerin manevra kabiliyetinin olması sebebiyle ön tekerlek yuva kapakları da hareketli olmak zorundadır.



Şekil 4.3 Hareketli ön tekerlek yuvası kapağı



Şekil 4.4 Tekerlek yuvası plakaları

Bu sebepten dolayı ön tekerlek çamurluğu, dönüş anında hareketli olan kapağın dış yüzeyine izin verecek şekilde dizayn edilmelidir. Bu dizayn şekli günümüzde kullanılan dizaynlara göre C_D seviyesinde %9' luk bir düşme sağlamaktadır.

4.2.2 Gövde altı hava akışı

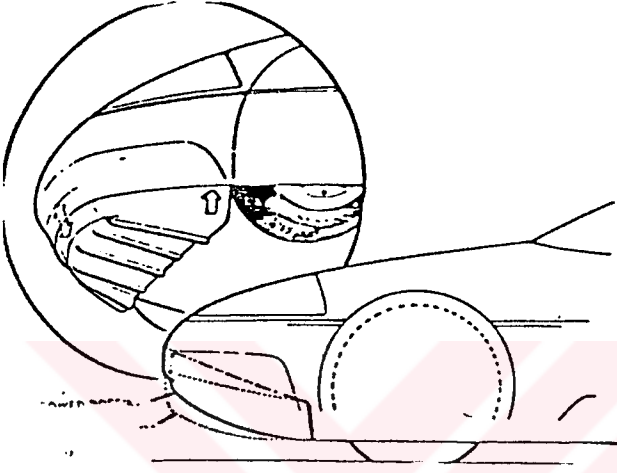
Araç alt gövdesi üç bölüme ayrılmıştır;

- a) Ön valence paneli
- b) Ana alt gövde
- c) Arka modesti paneli

Alt gövdenin aerodinamik açıdan en kritik bölgeleri ön ve arka kısımlardır. Alt ana gövde ise millerin geçtiği yerler dışında tamamen düz yapılmıştır.

4.2.2.1 Ön valance paneli

Valance paneli ile yer arasındaki mesafenin azaltılmasının C_D 'nin düşmesine sebep olduğu gözlenmiştir. Buda valance panelinin yer değiştirebilir olması gerektiğini gösterir.



Şekil 4.5 Yer değiştirebilir valance paneli

Valance panelinin amacı taşıtın altına doğru türbülansız bir hava akışı sağlamaktadır.

4.2.2.2 Kaporta içi hava akışı

Günümüzde kullanılan taşıtlardaki aerodinamik direncin artmasına sebep olan önemli kaynaklardan biride dışarıdan içeriye alınması gereken havadır. Bu havanın içeriye alınmasının nedeni kaporta altı elemanlarını, klmanın kondenserini ve radyatörü soğutmaktır. Normalde üretilen araçlarda bu soğutma havası nispeten büyük girişlerden direkt olarak ısı değiştiricisine yollanır. Bu hava girişinin büyüklüğü ve yerleşimi aerodinamik direnç seviyesini etkilemektedir.

Minimum aerodinamik direnç oluşturmak için dışarıya açılan girişin havayı yumuşakça akıtan ve türbülansel sebebiyet vermeyen bir yapıda dizayn edilmesi gereklidir. Dışarıdan hava akışını sağlayan alanın olabildiğince küçük olması gerekmekte ve bu girişin kaporta ve çamurluk yüzey alanını düşürmesine izin vermemek gereklidir. Eğer

bu şartlar yerine getirilse bile minimum direnç katsayısı artışı 0.010-0.015 arasında olmaktadır. [11]

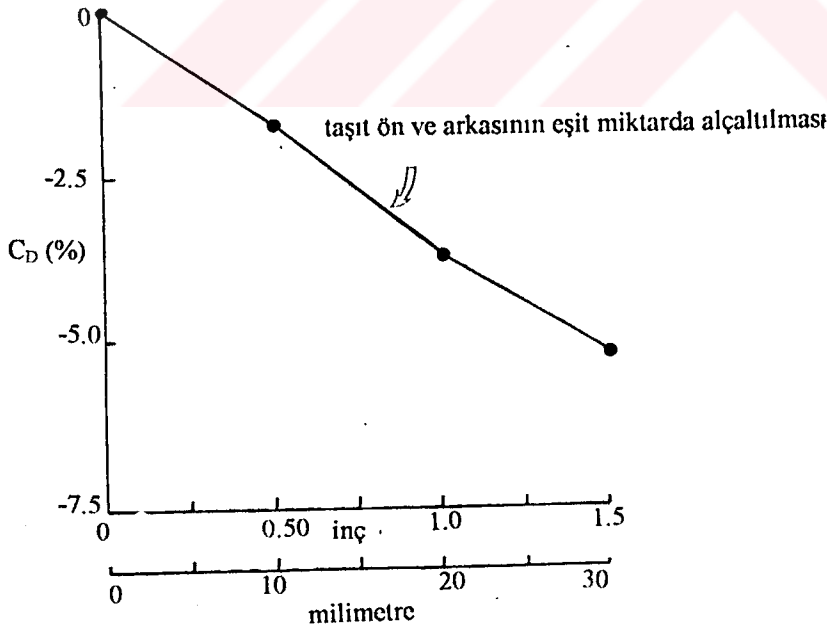
4.2.3 Taşıt yer mesafesi

Aerodinamik direnç seviyesini düşürmek için elimizde bulunan imkanlardan biride taşıt yer mesafesinde modifikasyonlar yapmaktır. Günümüzde kullanılan taşıtlarda yapılan testlerde araçların ön kısımlarının yüksekliğinin düşürülmesi ile bir avantaj elde edileceği gözlenmiştir. Aracın yerden olan yüksekliği ile aracın C_D ' si arasında yakın bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı araca hızın fonksiyonu olarak araç ile yer yüzeyi arasındaki mesafeyi otomatik olarak kontrol eden bir hissedici takılabilir. Hıza bağlı olarak tespit edilen ideal amaç yer mesafeleri şöyledir.

Araç hızı 10 mhp iken ön ve arka akslarda 6.5 inç

Araç hızı 10-40 mhp iken ön ve arka akslarda 5.5 inç

Araç hızı 40 mhp' nin üzerinde iken ön aksda 3.5 inç arka aksta 6 inç



Şekil 4.6 Taşıt-yer mesafesinin C_D üzerindeki etkisi

4.3 TEMEL AERODİNAMİK DİZAYN FAKTÖRLERİ

- 1) Maksimum ön cam açısı
- 2) Tamamen düz yan camlar
- 3) Optimize edilmiş yan aynalar
- 4) Maksimum açılı semi-fastback arka cam
- 5) Aşağı doğru eğimlendirilmiş ve ön tamponun üst kenarına kadar uzayan ön kaporta
- 6) Ön ve arka tekerlek etekleri ile tekerlek koruyucu levhaları
- 7) Valance ve modesti panelleriyle desteklenmiş tamamen düz bir şase ve alt gövde
- 8) Aracın arka tarafına kaydırılmış soğutma sistemi
- 9) Değişebilir araç yüksekliği
- 10) Tekerlek ve lastik ebatlarının küçültülmesi

4.4 RÜZGAR TÜNELLERİ

Hava içerisinde hareket eden bir cisme etki eden kuvvet ve moment sisteminin, cismin etrafındaki akışa ait özelliklerin ve dolayısıyla aerodinamik karakteristiklerin tayini aerodinamiğin en temel problemlerinden biridir

Günümüzde, artık bu çalışmalar sayısal yöntemlerle beraber yürütülmektedir. Böylece, bilgisayar ortamında yapılan çalışmalar, hem kullanılan teorilerin hemde elde edilen sonuçların doğruluğu açısından, deneysel çalışmalarla desteklenebilmektedir. Bilgisayar ortamında kullanılan sayısal yöntemlerdeki yaklaşımlardan dolayı elde edilen sonuçların hayata geçirilmesi açısından deneysel aerodinamik önemini daha uzun yıllar koruyacaktır.

Teoriler tam olarak tamamlanmadığı için deneysel çalışmalar tarafından desteklenmeye ihtiyaç duymaktadır ve bunun için rüzgar tünellerinde ölçeklenmiş bir model üzerinde deneysel çalışmalar zorunludur. Otomobil dizaynında, bu noktadan hareketle, aerodinamik deneysel teknikleri iki temel kullanıma sahiptir.

Birincisi, deneysel yöntemler dizayn aşamasında, değişik unsurların olaya etkisini ve modifikasyonların sonucunu, güvenilir, çabuk, direkt ve nispeten ucuz bir şekilde belirlenmesini sağlar. Bilindiği gibi rüzgar tünellerinde, otomobili oluşturan parçaların

modelleri her biri tek başına test edildiği gibi, prototip otomobilden alınan bileşenler direkt olarak rüzgar tüneline kullanılabılır.

İkinci kullanımı ise, teorik çalışmalarla beraber, akışkanın doğal davranışlarının temelleri hakkındaki bilgilerin tedarik edilmesi üzerinedir. Bu sayede teorilerde desteklenebilir ve geliştirilebilir. Bu tip çalışmalar genelde çok iyi planlanmak zorundadır ve son derece detaylı araştırmalar gerektirirler. Bu uzun dönem devam eden araştırma projelerinin sonuçları da, pratik olarak mühendisliğe uygulanabilir olmayabilir.

Gösterilebilir ki, cisim (model) etrafındaki akış, tamamiyle görecelidir ve cismin, durgun akışkan içerisinde hareketli olması ile, sonsuzda üniform hıza sahip bir akışkan içerisinde sabit durması arasında bir fark yoktur. Pratik de, sabit olarak duran model üzerinde ölçümler yapmak daha kolay olacağı için tercih edilmektedir. Model sabitlendiği için bitirilmiş olmaya veya kararlı olmaya ihtiyaç duymaz ve böylece modelin değişik unsurlarının aerodinamik özellikleri ayrı ayrı test edilebilir ve karşılıklı etkileşimleri tespit edilebilir. Daha fazlası, sürekli (steady) şartlar daha hızlı bir şekilde elde edilir ve daha uzun bir süre modelin herhangi bir pozisyonu için veya ayarlanabilir unsurlarının (kontrol yüzeyleri) modele göre değişik konumları için korunabilir.

4.4.1 Benzerlik Kriterleri

Rüzgar tünelleri her ne kadar gerçek seyir şartlarına yakınlştırılmaya çalıştırılsa da, hiç bir zaman model üzerinde tam anlamıyla gerçek seyir şartlarını oluşturamazlar. Bunun sebepleri arasında, tünelin yeterince büyük olmamasından dolayı küçük ölçekli modelin kullanılması, tünel içerisinde dolaşan havanın gerçek seyir hızında, gerçek hava yoğunluğunda ve sıcaklığında olmaması sayılabilir. Dolayısıyla, deneyler sonucu elde edilen bilgilerin serbest seyir hali ile uyuşması için bir takım kontroller yapılmalı ve deney öncesi bir takım şartlar sağlanmalı, gerekiyorsa sonuçlar üzerinde düzeltmeler yapılmalıdır. Aksi halde deney sonucu elde edilen boyutsuz katsayılar gerçeklerden uzak olur.

$$Re = \rho U l / \mu \quad (4.1)$$

Diğer boyutsuz parametreler de akışın karakterinin belirlenmesinde başka özellikler ön plana çıktığı zaman düşünülmelidir. Sözgelimi, ısı transferi katsayısıda Prandtl sayısına

(σ) ve Grashof sayısına (Gr) bağlıdır. Bu parametreler ise şu şekilde tanımlanırlar;

$$\sigma = \mu C_p / k \quad (4.2)$$

$$Gr = l^3 g \Delta T / \nu^2 T_0 \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanırlar. Burada C_p sabit basınçtaki spesifik ısı katsayısı, k ısı iletkenlik, ΔT ise sistemde tanımlanmış iki nokta arasındaki sıcaklık farkıdır.

Çoğu aerodinamik problemde, havanın hareketi üzerinde yerçekiminin etkisi de düşünülmeceğinden (böylece Grashof sayısı önemini yitirir) kısaca geometrik olarak benzer cisimler etrafındaki daimi akış hali için kuvvet veya momentlerin,

$$F = \rho U^2 S f \{ U l / \nu, U / a, C_p / C_v, \mu C_p / k \} \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilmesi mümkündür.

Gazların kinetik teoresine göre Prandtl sayısı, şayet C_p / C_v oranı iki sistem için de aynı olduğu taktirde otomatik olarak sağlanmaktadır. Böylece, kullanılan akışkan da daima hava olacağından dolayı, Reynolds sayısı taşıt aerodinamiği deneylerinde ve dinamik benzerlikte en önemli parametre haline gelir. Dinamik benzerlik konusunda fikir vermesi açısından diğer bir metod da, bir takım kabullerle beraber boyut analizi yapmak olabilir.

İki tane benzerlik şartı vardır ;

- 1) Geometrik benzerlik
- 2) Dinamik benzerlik

4.4.1.1 Geometrik benzerlik

Deney odasına genelde gerçek model konamayacağından dolayı, kullanılacak modelin ölçekli ve gerçeğine uygun olması gerekmektedir. Model üzerinde en küçük ayrıntıların dahi atlanmaması gerektiği gibi, özellikle sınır tabaka ve basınç dağılımı inceleniyorsa, yüzey pürüzlülüğüne de dikkat edilmelidir.

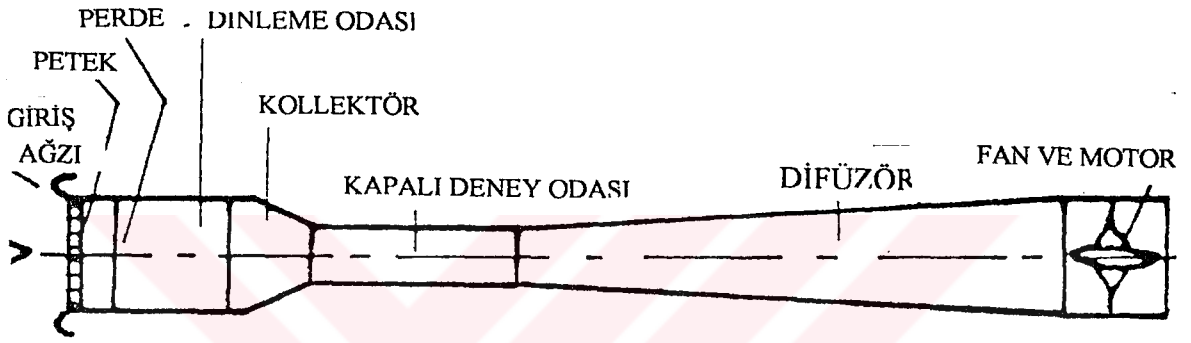
4.4.1.2 Dinamik benzerlik

Bilindiği gibi rüzgar tüneli deneylerinde temel olarak ölçülen büyüklükler aerodinamik kuvvet ve momentlerdir. Doğal olarak daha ufak bir model üzerinde farklı şartlarda oluşan bu büyüklükler bize gerçek aerodinamik kuvvet ve momentler açısından pek bir şey ifade etmezler. Bizim için anlam taşıyan büyüklüklerin boyuttan arındırılmış olması gerekmektedir ki basınç, kuvvet ve moment katsayıları böyledir. Bu boyutsuz büyüklüklerin gerçek modele ait katsayılar olarak kabul edilebilmesi için dinamik benzerliğin sağlanması gerekmektedir.

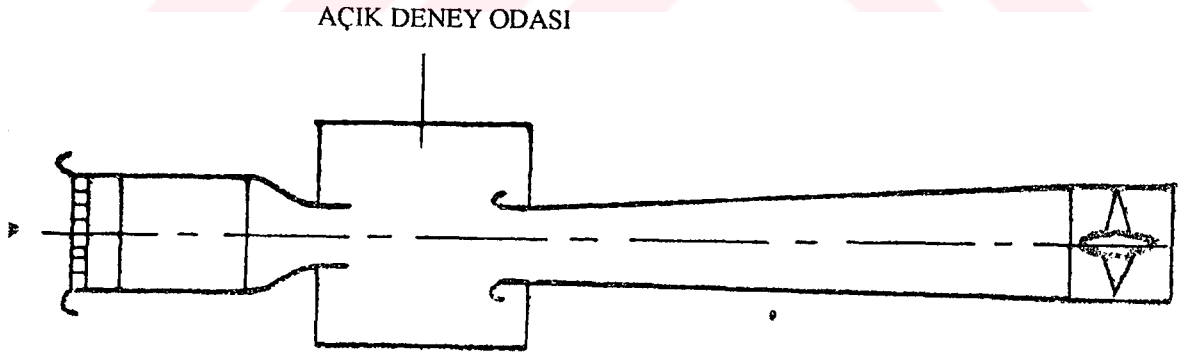
Akışkan içerisindeki bir cisme etki eden F kuvveti, temel olarak, göreceli hız U , cismin büyüklüğü l , akışkanın yoğunluğu ρ ve viskozitesi μ ile ilgilidir. Gerçekte hareket, akışkanın içerisindeki bir elementin ivmelenmesinin viskoz gerilmesinin kütlesine oranına bağlı olduğu için μ/ρ oranına ($\mu/\rho = \nu$ kinematik viskozite diye adlandırılır), μ ye ve kısmen de ρ ya bağlı olduğundan daha çok bağlıdır. Teori gösterir ki, sağlanan Ul/ν oranı aynı ise, geometrik olarak benzer olan cisimler üzerindeki, karşılık gelen akım çizgilerine göre aynı konumdaki bir noktadaki P basıncı, ρU^2 ile, F kuvveti ise $\rho U^2 l^2$ veya $\rho U^2 S$ ile orantılıdır. Buradaki S , cismin karakteristik alanıdır. Diğer bir deyişle, boyutsuz katsayılar $P/(\rho U^2)$ ve $F/(\rho U^2 S)$ sadece U/ν nün fonksiyonudur. Bu önemli parametre Reynolds sayısı (Re) olarak isimlendirilir.

4.4.2 Rüzgar tünellerinin genel özellikleri

Rüzgar tünellerinin görevi, laboratuarda deney ortamında (deney bölgesi veya deney odası), istenen belirli koşullara (hız, uniformluk, türbülans şiddeti v.s) sahip bir hava akımı elde etmektir. Rüzgar tünellerinin deney odası ve deney odası dışındaki kısımları (kollektör, difüzör v.s) deney odasında hava akımının istenen koşullara sahip olabilmesi için uygun olarak dizayn edilirler. [12]



Şekil 4.7 Kapalı deney odalı, sesaltı açık devreli rüzgar tüneli ana elemanları



Şekil 4.8 Açık deney odalı, sesaltı açık devreli rüzgar tüneli ana elemanları

Kara vasıtalarının hız aralığı nedeniyle, kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan rüzgar tünelleri, sesaltı (genellikle alçak sesaltı) hızlı rüzgar tünelleridir. Kara vasıtaları, havacılıkta kullanılan şekillerden farklı olarak, genellikle, aerodinamik

şekilli olmayıp, küt ve karmaşık geometrik şekillidirler. Bu nedenle, kara vasıtaları etrafındaki akım alanı üç boyutlu olup, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Kara vasıtaları ile rüzgar tüneline yapılan deneylerde, blokaj etkisinde ayrı bir önem kazanır. Bu nedenle, bu tip deneylerde, açık deney odalı rüzgar tünellerine daha çok yer verilir. Diğer taraftan kara vasıtaları, hava vasıtalarından farklı olarak, bir zemin (yol) üzerinde hareket ettiğinden, rüzgar tüneline kara vasıtası ile yol arasındaki etkileşimi de simüle etmek gerekir. En azından bu nedenlerle, kara vasıtaları aeodinamiği incelemelerinde kullanılan rüzgar tünelleri kendine has bazı özelliklere sahiptir.

4.4.2.1 Kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan rüzgar tünellerinin ana elemanları

4.4.2.1.1 Deney odası

Deney odası, rüzgar tüneline deneyler sırasında modelin konulduğu ve modelin maruz kalması istenen akım şartlarının meydana getirildiği bölgedir. Deney odası kapalı veya açık olabileceği gibi bu iki yöntemi birlikte uygulamakta mümkündür. Ayrıca, duvarları rijit olmayan, ayarlanabilir duvarlı rüzgar tünelleri yapılabilir. Deney odasında akımın tür bülanslı olması ve deney odasına dik düzlemlerde akımın üniformluğu deney odasının şekline bağlı olduğu gibi, kollektör, difüzör gibi tünelin diğer elemanlarına da yakından bağlıdır. Deney odasının farklı şekillerde olması, özellikle, deney odası boyunca akımın üniformluğu, blokaj etkisi ve modelin deney odasına yerleştirilmesi açılarından önemlidir.

A) Kapalı deney odası

Kapalı deney odası halinde kollektör çıkışı ile difüzör girişi rijit duvarlarla birleştirilir. Yani, deney bölgesini yanlardan rijit duvarlar sınırlar. Bu halde blokaj etkisi çok önemlidir. Blokaj düzeltilmesi yapmamak için blokaj oranı % 5' i geçmemelidir. Deney odası kesiti, daire gibi farklı şekillerde olabileceği gibi, çoğunlukla kare veya dikdörtgen şeklindedir. Deney odası duvarları boyunca akım yönünde sınır tabaka kalınlaşması deney odasının efektif dik kesit alanında akım yönünde azalma meydana

getirir. Bu nedenle, deney odasına akım yönünde uygun genişleme verilerek deney odası boyunca efektif dik kesit alanının sabit kalması sağlanır. Böylece, deney odası boyunca, statik basıncın ve dolayısıyla akım hızının sabit kalması sağlanarak, deney odası boyunca akımın üniformluğu temin edilmiş olur.

B) Açık deney odası

Deney bölgesi geniş bir oda içine alınır. Yani, kollektörü terk eden akım, deney bölgesinde serbest jet halinde genişleyerek ilerler. Bu tip deney odası halinde blokaj etkisi daha azdır. Blokaj düzeltilmesi yapmamak için blokaj oranı % 10' dan küçük olmamalıdır. Açık deney odası halinde, serbest jet genişlemesi nedeniyle, deney odası boyunca kapalı deney odasındakinin aksine, statik basınçta artma ve buna karşılık akım hızında azalma meydana gelir. Bunu önlemek için, yani deney odası boyunca akımın üniformluğunu sağlamak için, kollektörün girişi ve difüzörün çıkışı deney bölgesi içine doğru bir miktar uzatılır ve difüzörün girişine çan eğrisi şeklinde eğrilik verilir.

Bu durumda, difüzörün giriş kesiti, kollektör çıkış kesitinden geniş olmalıdır. Difüzöre ait giriş kesitinin dizayn parametreleri, deney odasının uzunluğuna bağlıdır.

4.4.2.1.2 Kollektör

Rüzgar tünelinin kollektör veya nozzle denen kısmı, deney odasından önce yer alır. Görevi, akımı hızlandırmak, üniformlaştırmak ve türbulansı azaltmaktır. Bu maksatla, uygun bir eğrilikle akım yönünde daralır. Kollektörün daralma oranı ile yüzey eğriligi, deney odasına gelen akımın üniformluğuna ve türbulanslığına direk olarak etki eder. Tünelin fazla yer kaplamaması için kollektör boyunun küçük olması istenir.

Ancak, kollektör boyunun kısa olması, yüzey eğriligine de bağlı olarak, akımın üniformluğunu ve daimiliğini bozan, akım ayrılmasına neden olabilir. Ayrıca, kollektör daralma oranının büyümesi, deney odasındaki akımın türbulansını azaltır. Bu nedenlerle, kolektörün şekline ait optimum çözüm, belirli bir daralma oranı için,

yüzeyde akım ayrılması meydana gelmiyecek şekilde uygun bir eğriliğe sahip olması ve boyunun mümkün olduğunca küçük olmasıdır.

4.4.2.1.3 Difüzör

Rüzgar tüneline difüzör kısmı, deney odasının çıkış kesitinden itibaren düzgün olarak genişleyerek hava akımının kinetik enerjisini basınç enerjisine çeviren bir kısımdır. Difüzörün performansı, yani kinetik enerjinin potansiyel enerjiye çevrilebilmesi, difüzörün genişleme açısı ve difüzörün genişleme oranı (difüzörün çıkış ve giriş kesitlerine ait alanların oranı) ile artar. Ayrıca, daha az yer kaplaması ve imalat masrafının artmaması için difüzör boyunun kısa tutulması istenir.

Ancak, difüzör genişleme açısının 7° den büyük olması halinde, difüzör yüzeyi üzerinde akım ayrılması meydana gelebilir. Bu olay, deney odasındaki akımın daimiliğini ve üniformluğunu büyük ölçüde bozabilir.

4.4.2.1.4 Kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan mevcut bazı rüzgar tünelleri

İngiltere, Fransa ve Almanya gibi Avrupa ülkeleri ile Amerika Birleşik devletleri ve Kanada gibi diğer bazı ileri ülkelerde kara vasıtaları aerodinamiği incelemelerinde kullanılan muhtelif rüzgar tünelleri mevcuttur. Bu rüzgar tünellerinden bazıları, gerçek taşıt modeli kullanılabileceği (1/1 ölçekli model) büyük rüzgar tünelleridir.

Tablo 4.1 Tam ölçekli kara vasıtaları deneyleri için Avrupa'da kullanılan bazı rüzgar tünellerinin teknik özellikleri

		VW	MIRA	DB	FIAT	St. Cyr	PININ	FORD FARINA EWT
KOLEKTÖR								
dik kesit alanı	m ²	37.5	35	32.6	30	15	11.75	11
daralma oranı	-	4	1.45	3.53	4	5	6.2	6
genişlik	m	7.5	7.9	7.4	7	5	5	3.6
yükseklik	m	5.0	4.4	4.9	4.6	3	2.9	3.1
uzunluk	m	8.0		8.6	8	6.8	10	10
DENEY ODASI								
tip	-	açık	kapalı	açık	açık	yarıklı duv.	açık	açık
uzunluk	m	10.0	15.2	10.0	10.5	10.0	9.5	9.0
GİRİŞ AĞZI								
dik kesit alanı	m ²	50		60	55	16.6	16	16.8
genişlik	m	8.2		8.2	8.5	5.2	4.3	4.5
yükseklik	m	6.5		8.0	6.5	3.2	2.6	3.8
A_{IT} / A_N		1.34		1.85	1.83	1.1	1.36	1.53
FAN								
çap	m	9	4 fans	8.5	9	2*4.6	4.6	4.5
max RPM	min ⁻¹	175		250	150	550		
max güç	kW	2600	970	4000	1865	2*258	625	1120
V_{max}	m/s	75	37	75	56	40		

BÖLÜM 5

BİLGİSAYAR PROGRAMI CFD2000/SFV TANITIMI

5.1 CFD2000/SFV NEDİR ?

CFD2000/SFV (yapılandırılmış sonlu hacim) akışkan akışı, ısı transferi, kimyasal reaksiyonlarla ilgili olayları simüle eden bir bilgisayar programıdır. Bu olaylar mühendislik elemanları, doğal çevre ve canlı organizmalarda meydana gelir. Böylece CFD2000/SFV ile yapılan simülasyonlarla mühendislik elemanlarının performansını, doğal çevrenin davranışlarını ve insan organlarının fonksiyonlarının tahmini imkanı vardır.

CFD2000/SFV kullanımının sağladığı faydalar;

- 1) Mühendisler, daha verimli ekipman ve yöntemler dizayn edebilir.
- 2) Çevre bilimciler, atmosfer ve hidrosferdeki kirlilik, hava, su, ısı akışını tahmin edebilir.
- 3) Tıp araştırmacıları için insan vücudundaki akış kimyası ve termal hidrolik gibi kompleks olayları daha iyi anlayabilir.

Akışkan akış simülasyonlarından örnekler;

a) Mühendislik ekipmanları;

- . Isı değiştiricileri dizaynında
- . Karayol taşıtlarının *aerodinamik direnç katsayısının* tahmininde
- . Yapılardaki ısı iletim olayının simülasyonunda
- . Zamanla bağlı iki fazlı olayların simülasyonunda

b) Çevrede

. Kimyasal bir platformdan çevreye, atmosfere, nehire atılan ve yayılan atıkların tahmininde

. Çevredeki bir çok olaylar çok fazlıdır. Örnek, kumun ırmak suyuyla taşınması gibi olayları simüle eder.

c) Canlı organizmalar

. Atar ve toplar damarlardaki kan akışını simüle eder

. Bitkilerden çevreye atılan nem, gaz, polen gibi olayları simüle eder.

5.1.1 CFD2000/SFV'nin bileşenleri

CFD2000/SFV iki ana computer kodu ve dört ana yardımcı koddan ibarettir. Ana kodların birincisi satellite olarak adlandırılan ön işlemcidir, ve ikinci ana kod ise earth olarak adlandırılan işlemcidir. Yardımcı kodlar photon, autoplot ve pinto olarak adlandırılan son işlemcilerdir ve bir de guide olarak adlandırılan bir kodu vardır.

Satellite bir tercümandır, kullanıcıdan aldığı talimatları earth'in anlayacağı ve uygulayacağı talimatları içeren bir dosya yaratır. Satellite kullanıcıdan talimatlarını birkaç yoldan alabilir.

- 1) Kullanıcının sağladığı Q1 olarak adlandırılan talimat dosyasını okuyarak
- 2) CFD200/SFV giriş kütüphanesinden bir talimat dosyası yükleyere v.b

Earth ana akış similasyon software içerir, earth uzay ve zamanda dağılan malzeme elementlerinin fiziksel kanunlarla ilişkileri temsil eden kod dizilerini birleştirir. Earth, satellite tarafından sağlanan data dosyalarını okur ve hazırlanmış hesaplamaları yapar daha sonra result olarak adlandırılan bir çıkış dosyası üretir. Bu dosyayı kullanıcı okuyabilir ve dahi photon, autoplot veya pinto tarafından okunabilen phida olarak adlandırılan bir sonuç dosyası yapabilir. [13]

5.1.2 CFD2000/SFV fiziksel olayları nasıl tanımlar ?

a) Bağımlı değişkenler

CFD2000/SFV ısı akışının katıldığı bir olayı veya uzay ve zamanda malzemedeki sıcaklık , hız, basınç, konsantrasyon ve diğer anlamlı fiziksel nicelikli terimlerin dağılımıyla tanımlanır bunlara ‘bağımlı değişkenler’ adı verilir.

b) Bağımsız değişkenler

Genel olarak CFD2000/SFV ile simüle edilen bir olay x, y, z koordinat sisteminde ve zamana bağlı olarak ele alınacaktır.

c) Yardımcı değişkenler

Yardımcı değişkenlere örnek olarak ;

- . ortamın moleküler özellikleri, prandtl sayısı ve laminar viskozite gibi
- . termodinamik özellikler, yoğunluk, sıcaklık gibi

d) Bağımlı değişkenleri ağ sisteminin oluşturduğu sonlu sayıdaki kontrol hacmi elemanları için hesaplamaktadır.

5.1.3 CFD2000/SFV ile denklemlerin çözülmesi

CFD2000/SFV aşağıdaki genel forma sahip kısmi diferansiyel denklemlere çözüm sağlar;

$$\partial(r_i \rho_i \phi_i) / \partial t + \text{div}(r_i \rho_i u_i \phi_i - r_i \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = r_i S_i \quad (5.1)$$

Yukarıdaki kısmi diferansiyel denklemin sol tarafında ;birinci terim zamana bağlı değişken ikinci terim konveksiyon ve difüzyon, sağ tarafta ise kaynak terimi mevcuttur.

r_i : i fazının hacimsel kesri

ρ_i : i fazının yoğunluğu

ϕ_i : i fazının herhangi bir korunan özelliği, entalpi, birim kütle başına momentum gibi

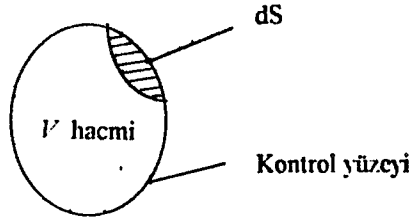
u_i : i fazının hız vektörü

Γ_{ϕ_i} : i fazında mevcut ϕ katsayısı

$S\phi_i$: ϕ_i 'nin kaynak terimi

şimdi, yukarıdaki genel diferansiyel denklemi tek fazlı hal için düşünersek;

Bir V hacmiyle çevrilmiş sabit bir S kontrol yüzeyini göz önüne alalım, S içindeki kütlenin toplamının oranı kontrol yüzeyinden geçen oranla çıkan oranın farkına eşit olmalıdır.



Kontrol yüzeyi içindeki kütlenin toplamının oranı matematiksel olarak şöyle temsil edilebilir;

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV \quad (5.2)$$

ve yüzeyden geçen net akış oranı şöyle verilebilir,

$$\int_V \rho \cdot \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} \cdot dS \quad \text{veya} \quad \int_V \rho \cdot \mathbf{u} \cdot \cos\theta \cdot dS \quad (5.3)$$

θ : yüzey normali ($\mathbf{n}$) ile hız vektörü arasındaki açıdır. Bu durumda denklemi şu şekilde yazabiliriz;

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_V \rho \cdot \mathbf{u} \cdot \cos\theta \cdot dS = 0 \quad (5.4)$$

özel bir durum olan sürekli akış için $\int_V \rho \cdot \mathbf{u} \cdot \cos\theta \cdot dS$ sıfır değerini alır. Gauss teoremine göre; yüzey integrali eşittir hacimsel integrale böylece (5.4) denklemi şu hali alır;

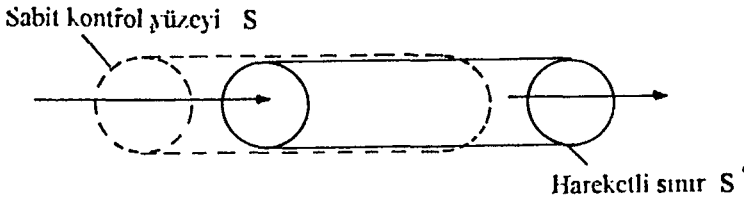
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_V \text{div}(\rho \mathbf{u}) dV = 0 \quad (5.5)$$

Küçük kontrol yüzey hacimleri için integral işareti kaldırılabilir, sürekli ve sıkıştırılmaz akış olarak düşünüldüğü zaman; (5.5) denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\text{div } \mathbf{u} = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial w / \partial z = 0 \quad (5.6)$$

5.1.4 Sürekli akışta momentum korunumu

Rijid cisimler mekanizmasında Newton'un ikinci kanunu ile açıklanan momentum prensibi belirli bir akışkan kütesinde uygulanabilir.



Hareketli sınır S' , belirli bir m akışkan kütlesi ile çevrilmiştir, ve daima aynı m kütesinin etrafını çevirmek için akışkan ile hareket eder. $t = t_0$ zamanında sabit kontrol yüzeyi S ile hareketli sınır S' nün aynı anda çakıştığı zamanı seçiyoruz, ve bir müddet sonra $t = t_0 + dt$ de hareketli sınır S' yukarıdaki diyagramda gösterildiği gibi yeni bir pozisyon alacaktır. m akışkan kütlesi S' sınır için Newton kanuna başvurduğumuz zaman; basınç ve kayma gerilmesinin tüm sınır boyunca etkisinden dolayı oluşan bileşke kuvvet, S' çevrilmiş m akışkan kütesinin momentum değişim oranına denktir; x , y ve z yönlerindeki bileşenleri

$$F_x = dM_x / dt, \quad F_y = dM_y / dt, \quad F_z = dM_z / dt \quad (5.7)$$

$(t_0 + dt$ zamanında S' hareketli sınırı ile çevrilmiş akışkanın momentum) = $(t_0$ zamanında S sabit yüzeyi ile çevrilmiş momentum) + $(dt$ zamanı içinde S sabit yüzeyinden momentum akışı) - $(dt$ zamanı içinde S sabit yüzeyi içine momentum girişi) veya; dt zamanı içinde S' ile çevrilmiş akışkandaki momentum artışı = dt zamanı içinde S sabit yüzeyinden net momentum akışına

F = kontrol yüzeyinden net momentum akış oranı

F = tüm yüzey boyunca etki eden kayma gerilmesi ve basınçtan dolayı oluşan bileşke kuvvet

$$F = K \cdot d(mV) / dt \quad (5.8)$$

şeklinde yazabiliriz, burada K orantı sabitidir. Hacim elemanı için;

$$\Sigma F = d/dt \cdot f_{k,h} \rho V dv + f_{k,y} \rho v(V.n) dA \quad (5.9)$$

$k.h$: kontrol hacmi ; $k.y$: kontrol yüzeyi ; v : hacim ; V : hız

ΣF terimi kontrol hacmi içindeki maddeye etki eden bütün kuvvetlerin vektörel toplamıdır. [14]

5.2 k-ε TÜRBÜLANS MODELİ

k-ε türbülans modeli zamana bağlı olan iki diferansiyel deklemini, türbülans enerjisi (k) ve dağılma oranı türbülans enerjisi (ϵ), çözen özel bir modeldir.

k türbülans enerjisi ;

$$k \equiv 1/2 u_i u_i \quad (5.10)$$

ϵ dağılma oranı enerjisi ;

$$\epsilon = \nu \partial u_i / \partial x_i \cdot \partial u_i / \partial x_k \quad (5.11)$$

k-ε model formunu ilk Harlow ve Nakayama tarafından önerilmiştir. Yüksek reynolds sayılarında ϵ için transport denklemi şöyle ifade edilebilir ;

$$D\epsilon/Dt = 1/\rho \cdot \partial/\partial x_k [\mu_t / \sigma_\epsilon \cdot \partial \epsilon / \partial x_k] + C_1 \mu_t / \rho \cdot \epsilon / k \{ \partial u_i / \partial x_k + \partial u_k / \partial x_i \} \partial u_i / \partial x_k - C_2 \epsilon^2 / k \quad (5.12)$$

k türbülans enerjisi için ;

$$Dk/Dt = 1/\rho . \partial/\partial x_k [\mu_t / \sigma_k . \partial k / \partial x_k] + \mu_t / \rho . \{ \partial u_i / \partial x_k + \partial u_k / \partial x_i \} . \partial u_i / \partial x_k . \epsilon \quad (5.13)$$

μ_t türbülans viskozitesi şu formülden bulunabilir ;

$$\mu_t = C_\mu . \rho . k^2 / \epsilon \quad (5.14)$$

Serbest türbülans akışları için; denklemlerdeki sabitler aşağıdaki değerler alınır. [15]

Tablo 5.1 k-ε modelindeki sabitlerin değeri

C_μ	C_1	C_2	σ_k	σ_ϵ
0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

u_i : x_i yönünde değişen hız bileşeni

U_i : x_i yönünde ortalama hız bileşeni

$C_\mu, C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\epsilon$: sabitler

k : türbülans kinetik enerjisi

ϵ : dağılma oranı türbülans enerjisi

5.3 EARTH'DE YÖNETEN DENKLEMLERİN SONLU HACİMLER YÖNTEMİNE GÖRE ÇÖZÜMÜ

CFD2000/SFV hesaplanacak bir hücrenin, sonlu hacim boyunca integre edilen sonuçları temsil eden cebirsel denklemleri çözer veya interpolasyon kabülleri yöntemi ile ortalama zaman, hacim, alan verilerinin yaklaşık sonuçlarını temsil eden cebrik denklemleri çözer.

5.4 Q1 DOSYASINDAKİ GRUPLARIN DATA YAPISI

Problem'in tanımında kullanılan Q1 dosyasında datalar 24 grupta düzenlenir.

Grup 1 : Çok sayıda koşu yapıldığında problemin koşu numarası burada tanımlanır.

Grup 2 : CFD2000/SFV kısa süreli ve sürekli durumlu olayların similasyonunu yapabilir. Buraya bir değer girilmeyebilir, aksi durumda zamana bağlı data elemanları girilmektedir.

Grup 3, 4, 5 : CFD2000/SFV olayları 1,2 ve 3 boyutlu olarak uzayda temsil edebilir. X, Y ve Z uzaklıkları metre cinsinden belirtilmektedir.

Grup 6 : CFD2000/SFV en genel şekliyle kartezyen veya silindirik polar kordinatlar kullanılır. Ancak ağ sistemi geometriye uydurulabilmektedir.

Grup 7 : CFD2000/SFV 50'den fazla bağımlı değişken ile similasyonlardaki diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için kurulmuştur. Hangi değişkenlerin yükleneceği ve nasıl çö- züleceği belirtilmelidir.

Grup 8 : CFD2000/SFV ile çözülen tipik diferansiyel denklemlerin terimleri zamana, konveksiyona, difüzyona ve kaynak terimlerine uydurulmaktadır.

Grup 9 : Bağlı değişkenlerin özelliklerine ilişkin bilgi verilmektedir.

Grup 10 : Bu grup aynı zamanda ve aynı yerde sunulan fazlar arasındaki karşılıklı etkile- şimle ilgili data parçaları için tahsis edilmiştir. Karşılıklı etkileşimlere ısı iletimi, kütle iletimi ve momentum iletimi dahil edilebilir.

Grup 13 : Bir akış olayını diğerinden farklı yapan kısmen ortam özellikleri, kısmen baş- langıç şartları ve kısmen sınır şartlarıdır.

Grup 14 : CFD2000/SFV bilinen tür akışkan akış olayını parabolik olarak simüle eder.

Grup 15 : CFD2000/SFV iterasyon yöntemi ile denklemleri çözer, bu yöntemle denklemleri gerçek bir değere yakınsanması sağlanır..

Grup 16 : CFD2000/SFV'de iki ana tür iterasyon vardır. Birincisi dış iterasyon 15. gru- bun özelliğidir. İkincisi iç iterasyonki 16. grubun özelliğidir.

Grup 17 : Yakınsamadan emin olmak için, non-lineer denklemler için iterasyon çözüm işlemleri makul ‘under-relaxation’ değerlerini ister. Diğer taraftan lineer denklem için ‘over-relaxation’ değerleri verilerek daha hızlı bir şekilde makul değerlere ulaşması sağ- lanır.

Grup 19 : Bazı bilgileri elde etmek istendiği zaman, kurulmuş data değerlerini değiştirmek veya çözüm işlemleri olarak özel çıkışlar sağlanabilmektedir.

Grup 20 - 24 : Bu gruplarda; çıktı, yazıcı kontrolü v.b işlemler yapılır.



BÖLÜM 6

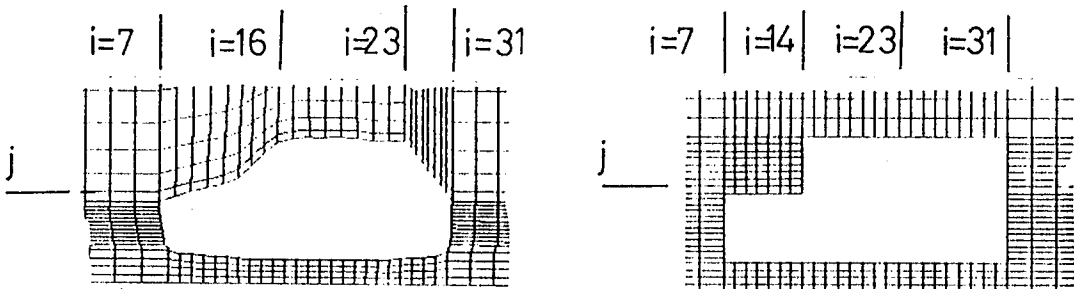
CFD2000/SFV BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE YAPILAN UYGULAMALAR

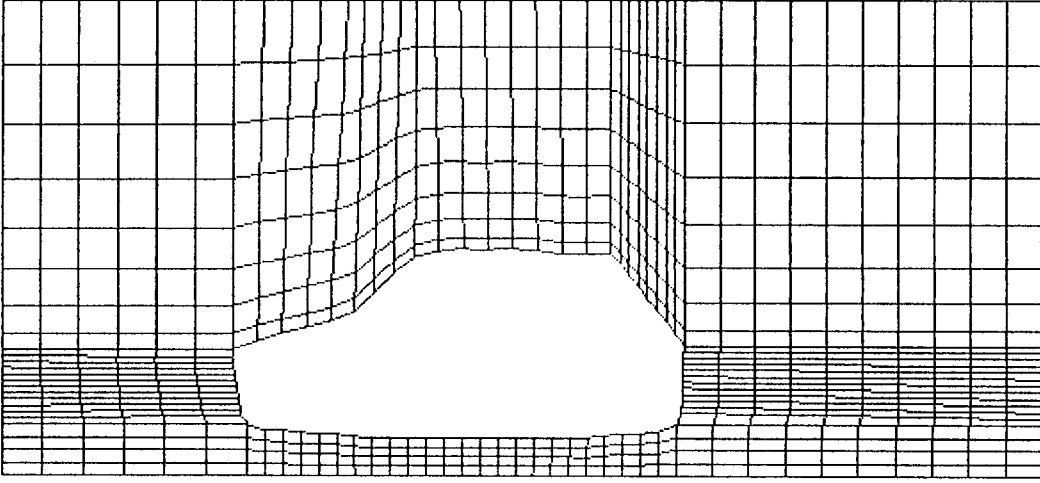
6.1 GİRİŞ

CFD2000/SFV paket programı ile yapılan uygulamalarda şu kabuller doğrultusunda işlemler yapılmıştır;

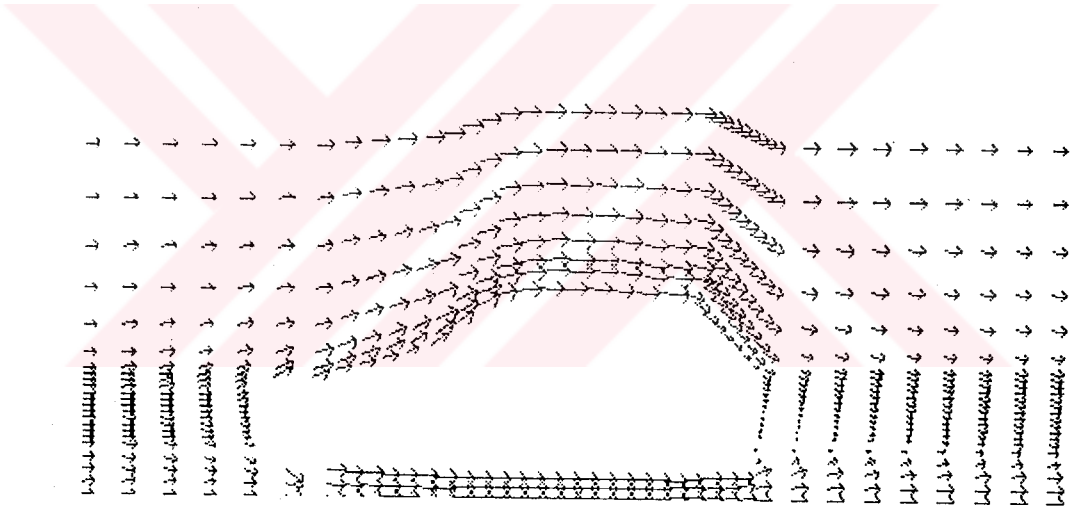
- 1) Her bir taşıt modeli iki boyutlu ve gerçek ölçüleri kullanılmıştır.
- 2) Taşıt modellerinin tekerlekleri ihmal edilmiş ve taşıtın herhangi bir yerinden taşıt içine hava akışı olmadığı kabul edilmiştir.(radyatör ve havalandırma kanallarından geçen hava akışı gibi)
- 3) Taşıtın rüzgarsız bir ortamda, sıfır hücum (yaw) açısında ve sabit 100 km/h hızda seyir ettiği kabul edilmiştir.
- 4) Ağ sistemi olarak 41*25 ve 41*33 noktalı kafes sistemlerinde çalışılmıştır.
- 5) Sürekli bir ortamda çalışıldığı kabul edilmiştir.
- 6) Süreklilik denklemi, momentum korunumu ve k-ε türbülans modelinin kullanılmasıyla taşıt etrafındaki hız ve basınç dağılımları elde edilmiştir.

Program ile elde edilen sonuçlar şöyle takdim edilmiştir ; her bir model için ağ sistemleri ve hız vektörlerinin dağılımı şekiller halinde verilmiştir. Basınç değerlerinin değişimi ise aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi belirli (i) değerleri için taşıtın yerden yüksekliği boyunca basınç değişimleri (j) grafikler halinde takdim edilmiştir.

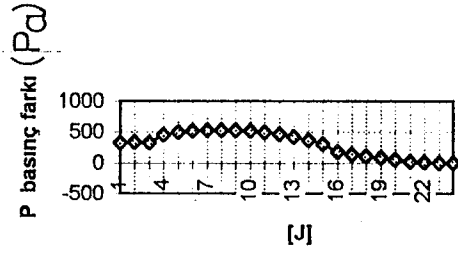




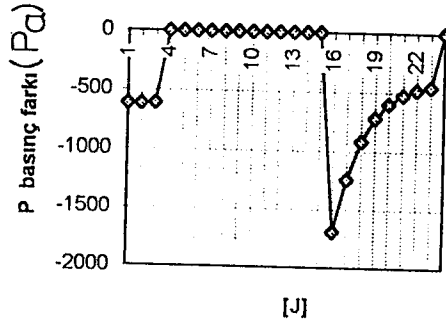
Şekil 6.1 VW arka cam açısı 37° olan modelin ağ sistemi



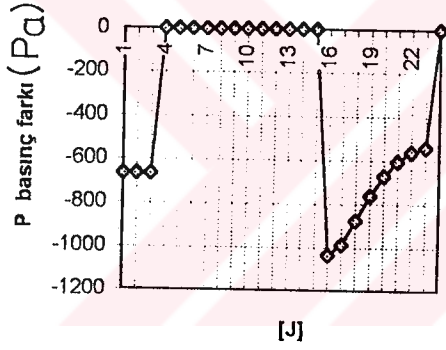
Şekil 6.2 VW arka cam açısı 37° olan modelin hız vektörleri dağılımı



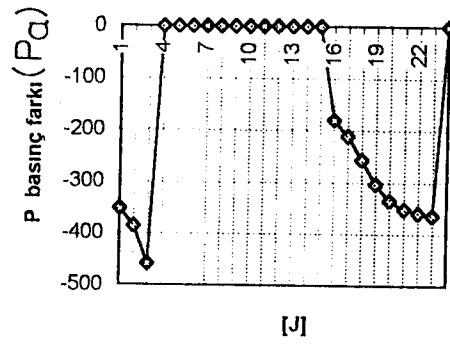
a) $i=7$



b) $i=16$

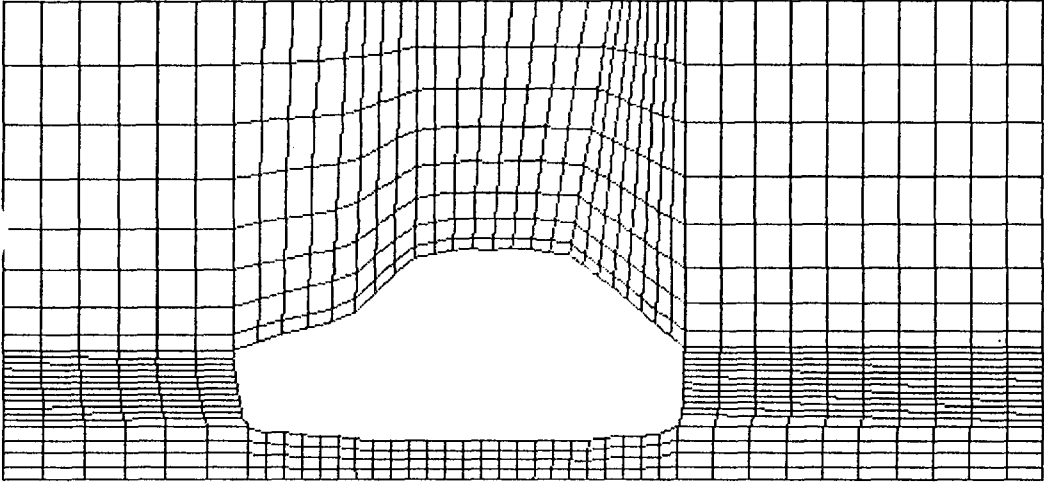


c) $i=23$

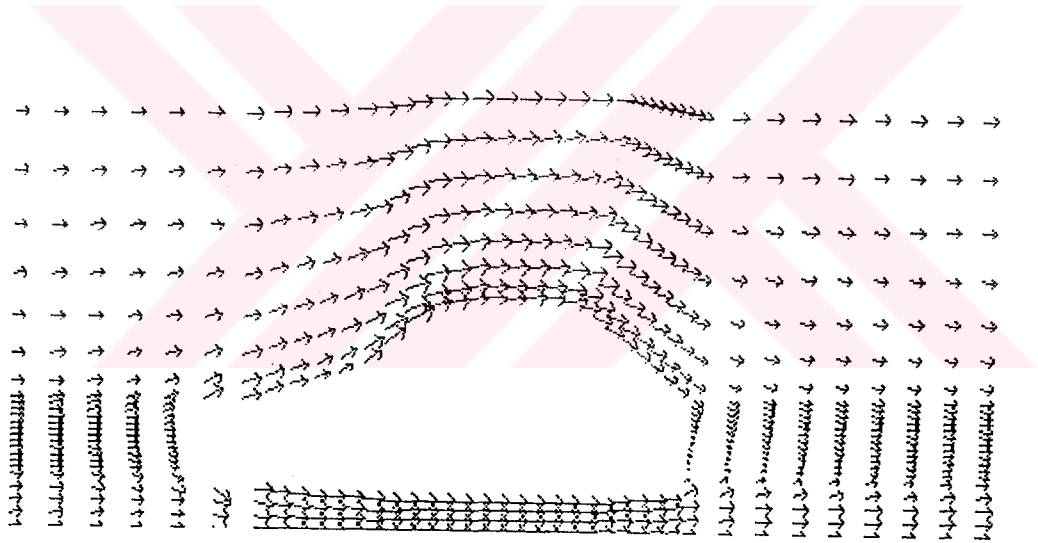


d) $i=31$

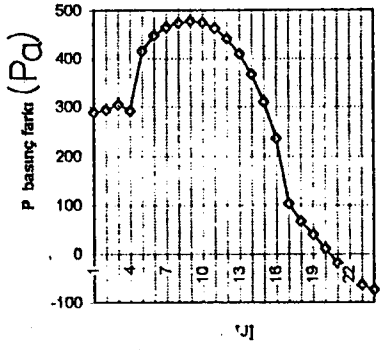
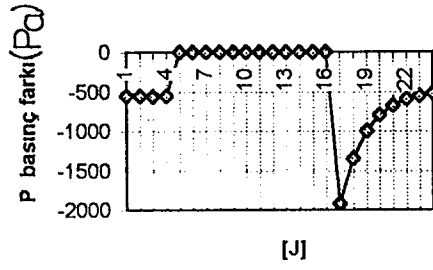
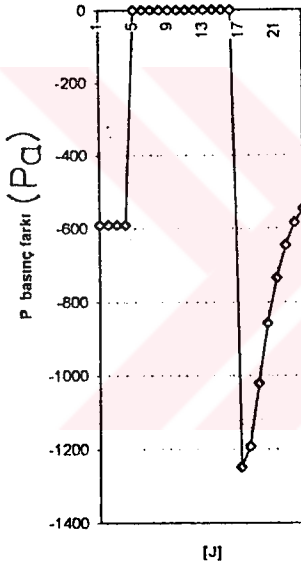
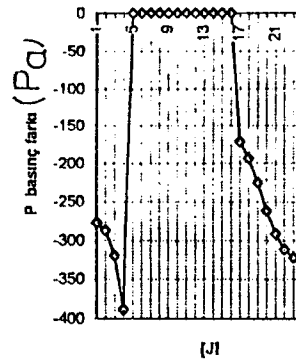
Şekil 6.3 VW arka cam açısı 37° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



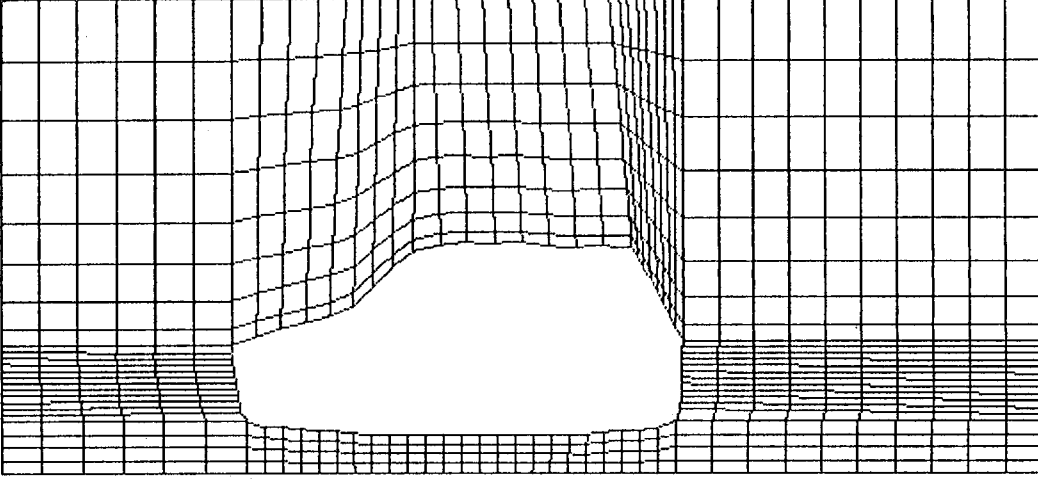
Şekil 6.4 VW arka cam açısı 27° olan modelin ağ sistemi



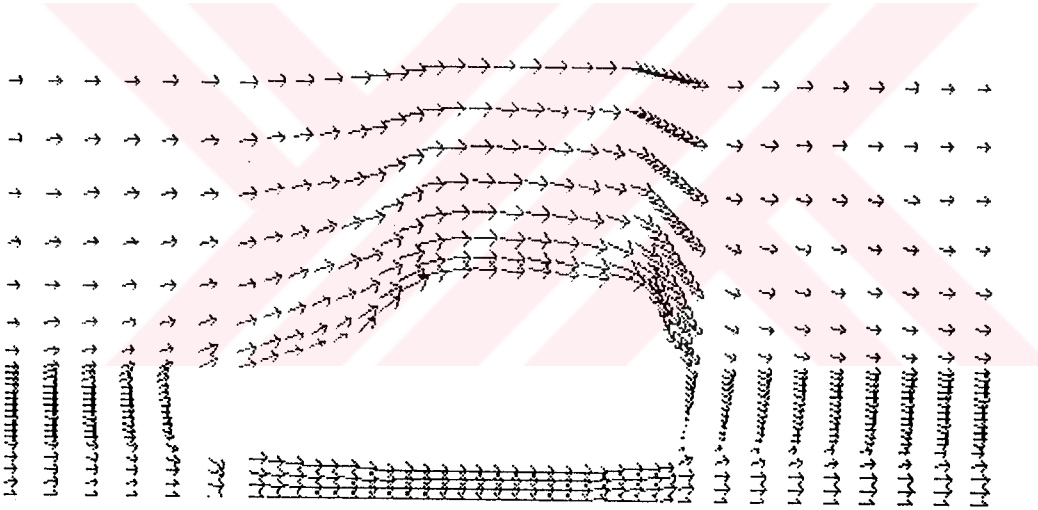
Şekil 6.5 VW arka cam açısı 27° olan modelin hız vektörleri dağılımı

a) $i=7$ b) $i=16$ c) $i=23$ d) $i=31$

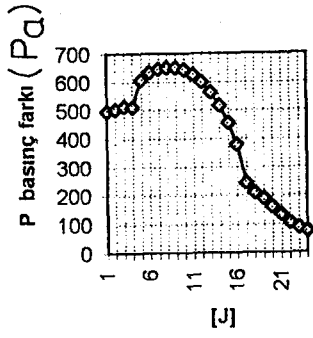
Şekil 6.6 VW arka cam açısı 27° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



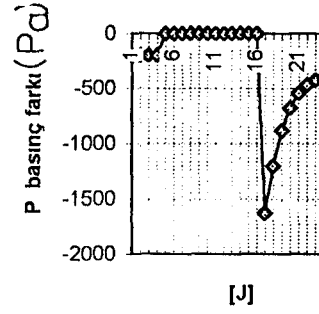
Şekil 6.7 VW arka cam açısı 47° olan modelin ağ sistemi



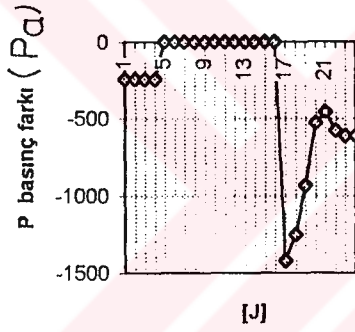
Şekil 6.8 VW arka cam açısı 47° olan modelin hız vektörleri dağılımı



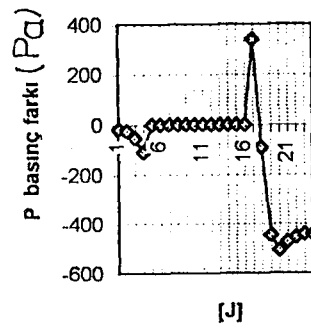
a) $i=7$



b) $i=16$

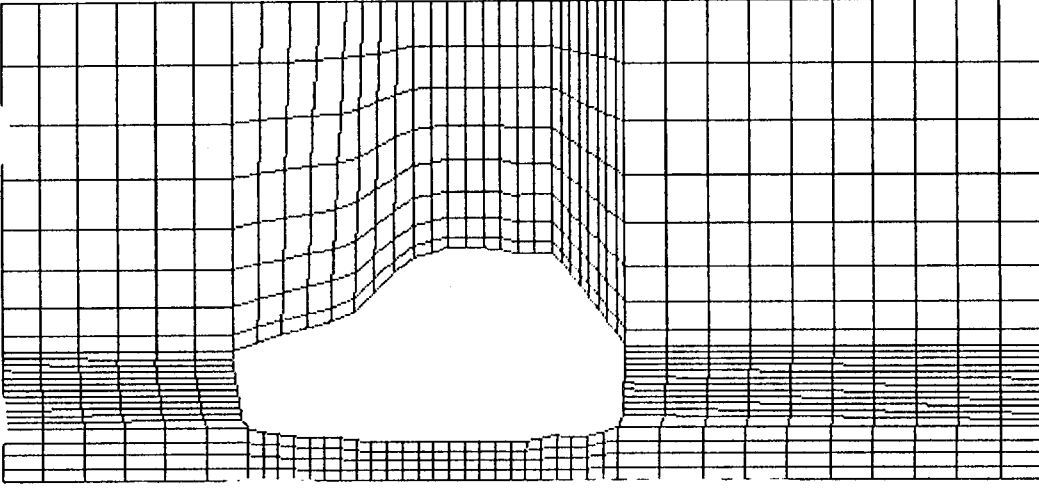


c) $i=23$

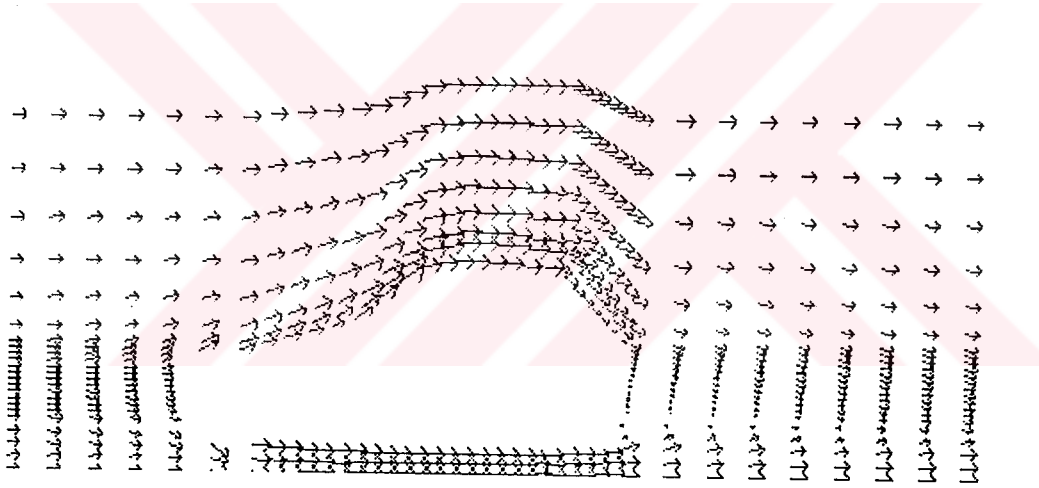


d) $i=31$

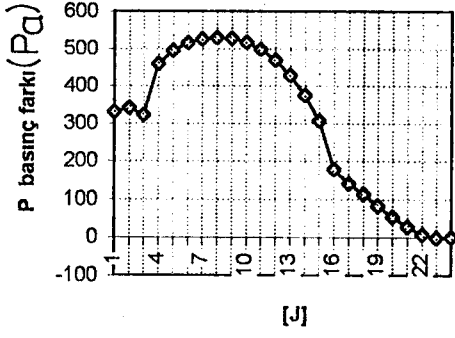
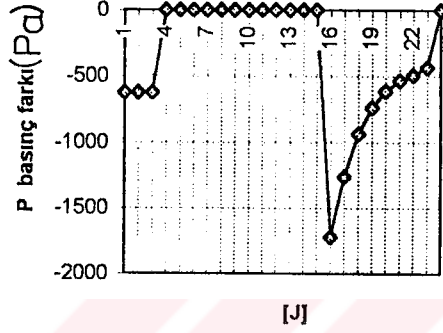
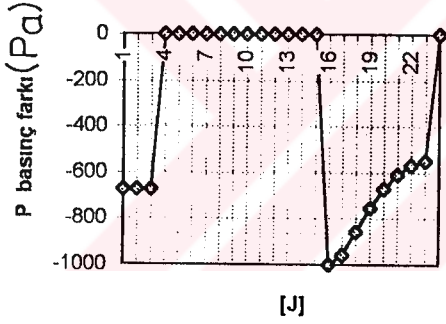
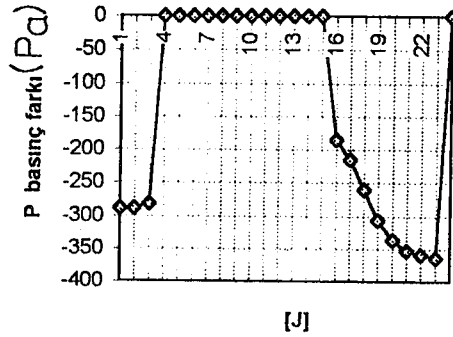
Şekil 6.9 VW arka cam açısı 47° olan modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



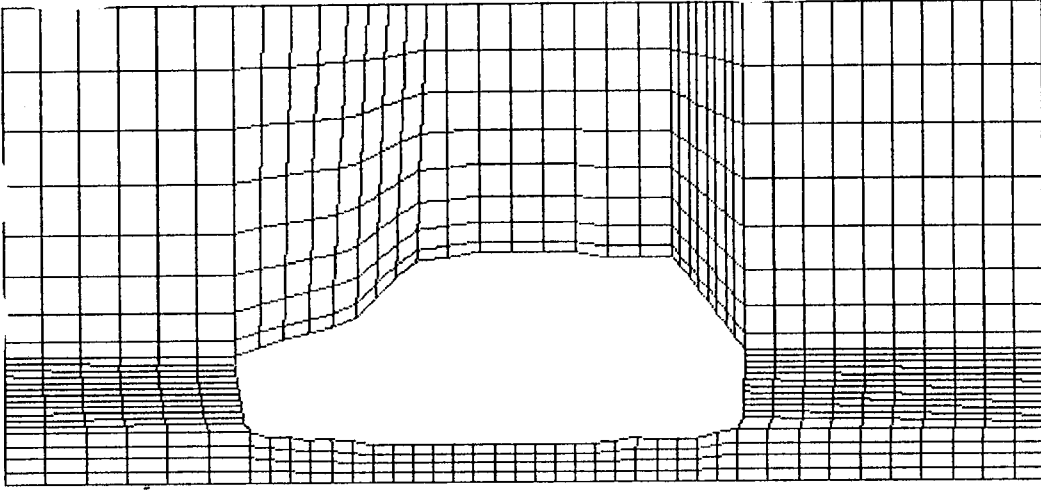
Şekil 6.10 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin ağ sistemi



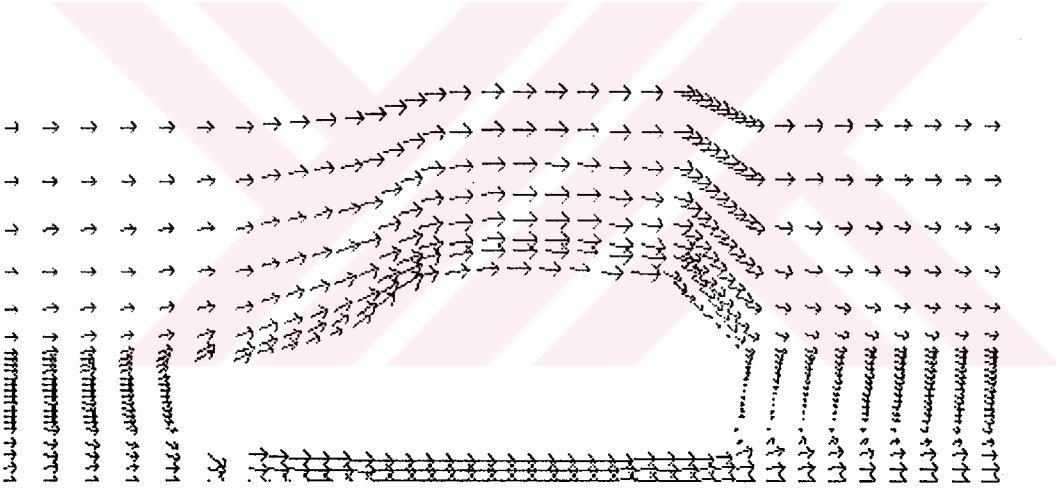
Şekil 6.11 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin hız vektörleri dağılımı

a) $i=7$ b) $i=16$ c) $i=23$ d) $i=31$

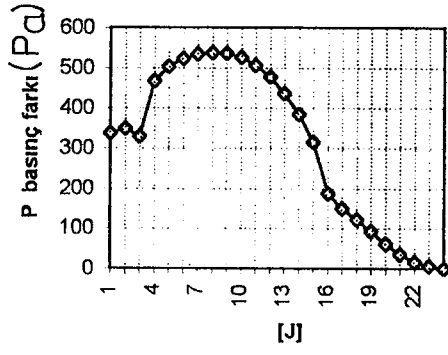
Şekil 6.12 VW taşıt boyu %30 kısaltılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



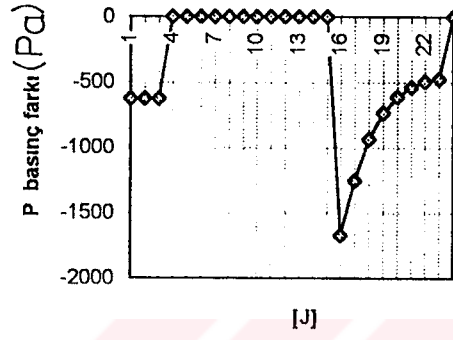
Şekil 6.13 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin ağ sistemi



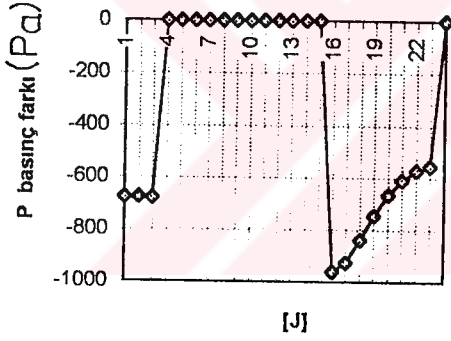
Şekil 6.14 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin hız vektörleri dağılımı



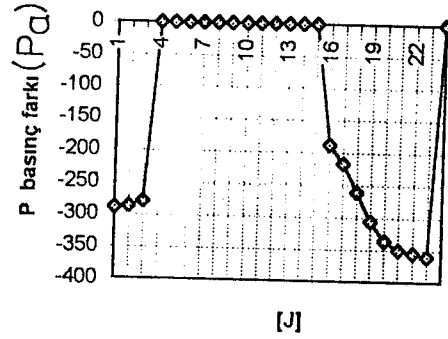
a) $i=7$



b) $i=16$

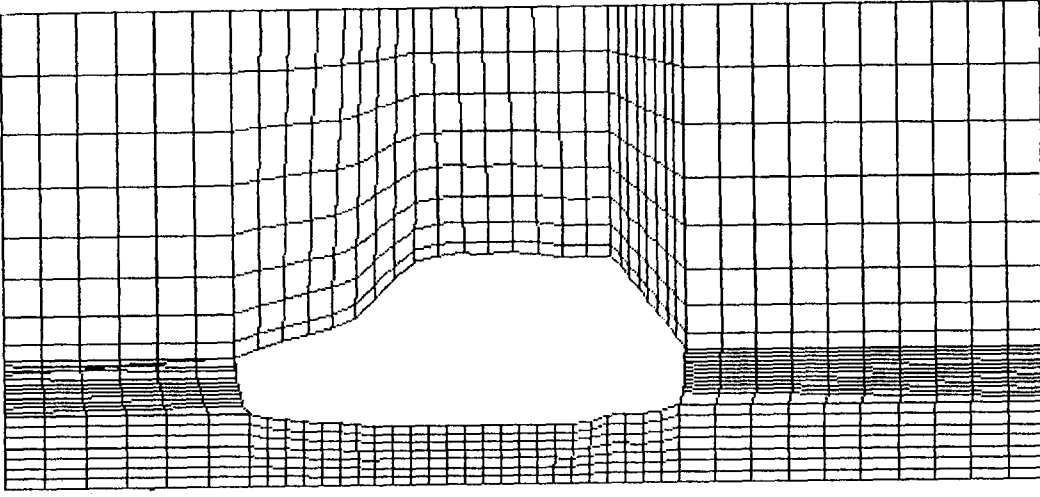


c) $i=23$

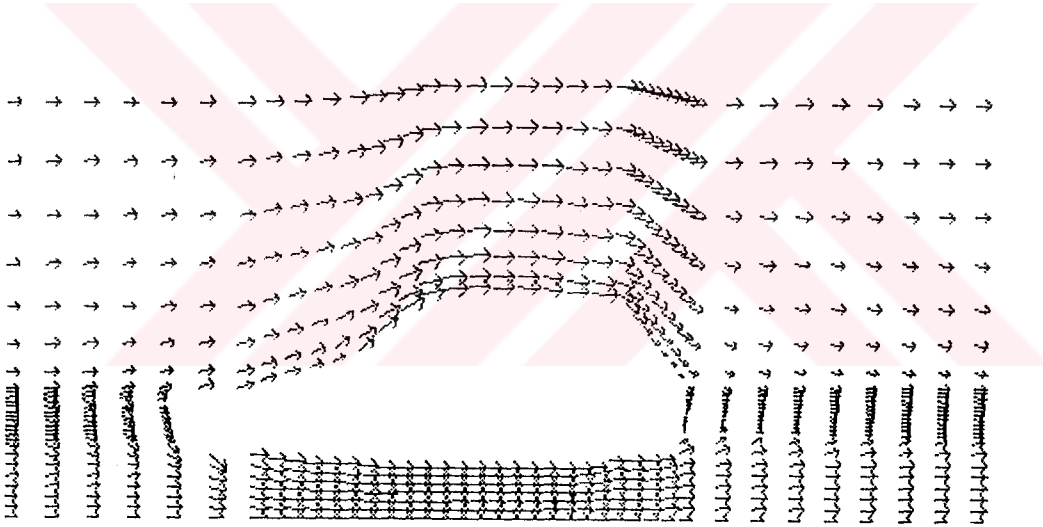


d) $i=31$

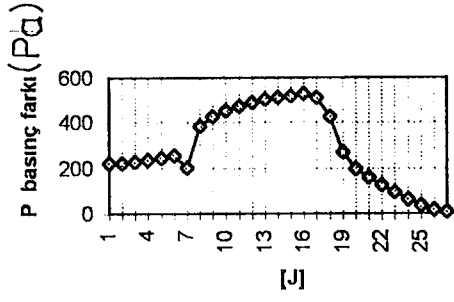
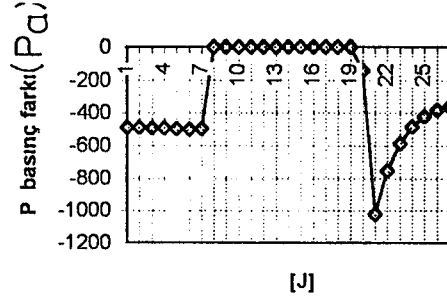
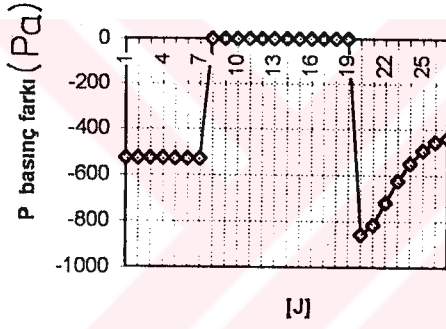
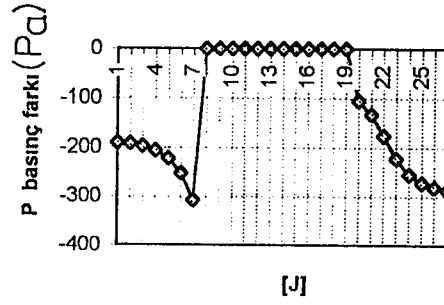
Şekil 6.15 VW taşıt boyu %30 uzatılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



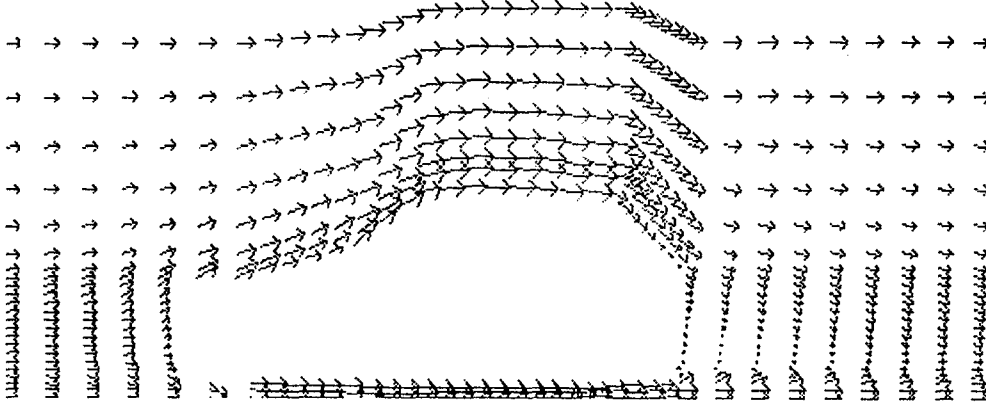
Şekil 6.16 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin ağ sistemi



Şekil 6.17 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin hız vektörleri dağılımı

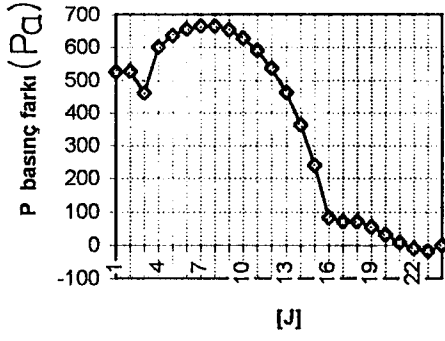
a) $i=7$ b) $i=16$ c) $i=23$ d) $i=31$

Şekil 6.18 VW taşıt yer mesafesi %40 artmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi

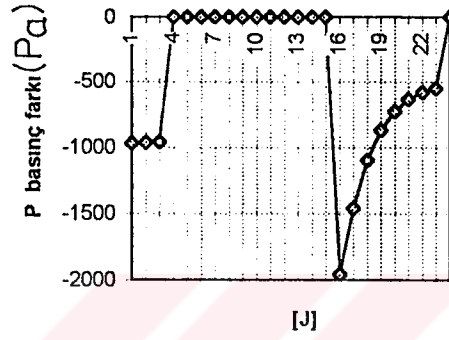


Şekil 6.19 VW taşıt yer mesafesi %50 azalmış modelin hız vektörleri dağılımı

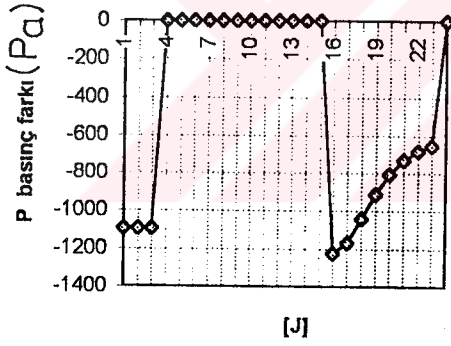




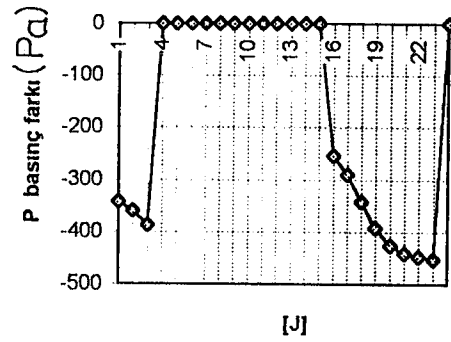
a) $i=7$



b) $i=16$

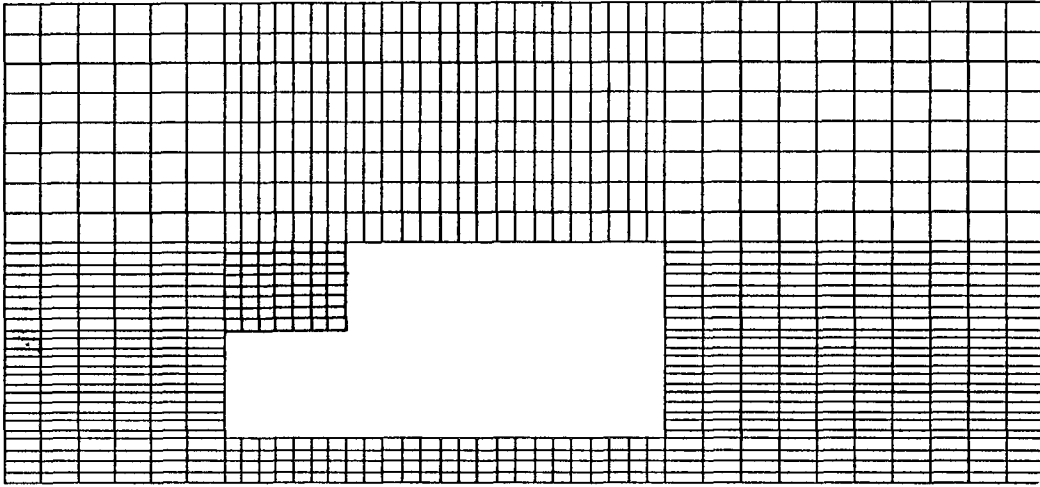


c) $i=23$

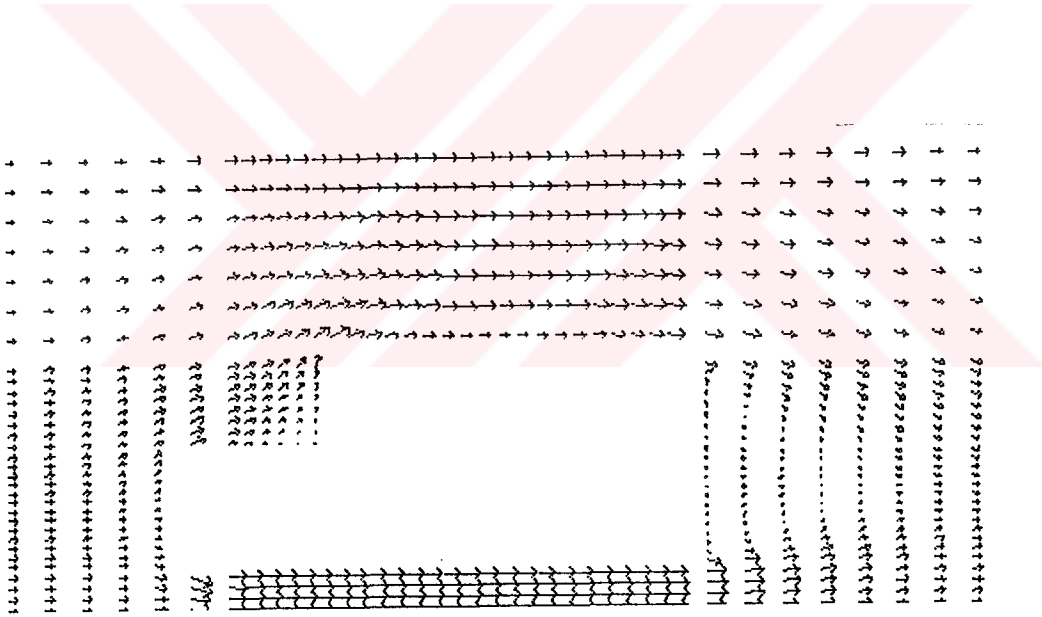


d) $i=31$

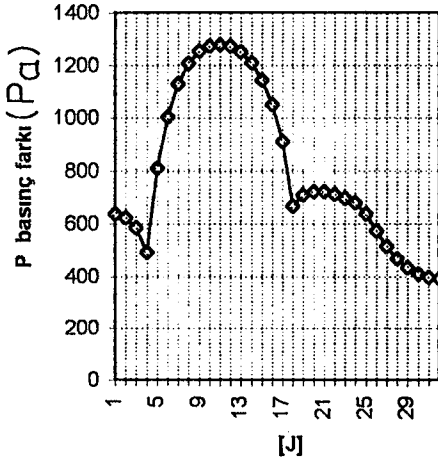
Şekil 6.20 VW taşıt yer mesafesi %50 azalmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



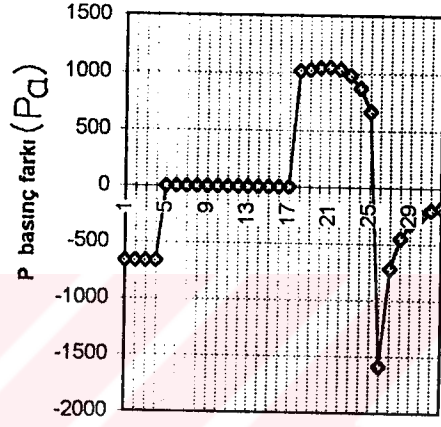
Şekil 6.21 Kamyon orjinal modelin ağ sistemi



Şekil 6.22 Kamyon orjinal modelin hız vektörleri dağılımı

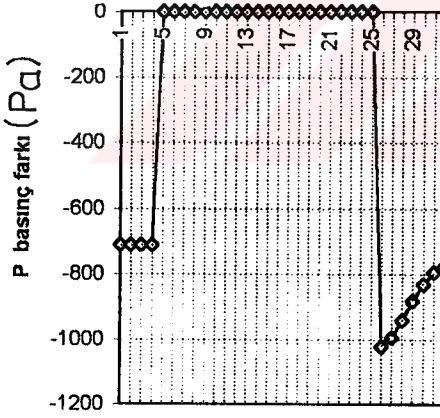


a) $i=7$



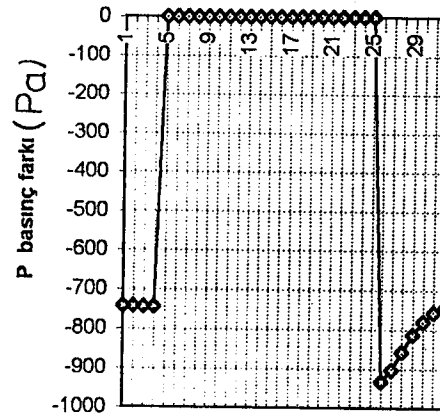
[J]

b) $i=14$



[J]

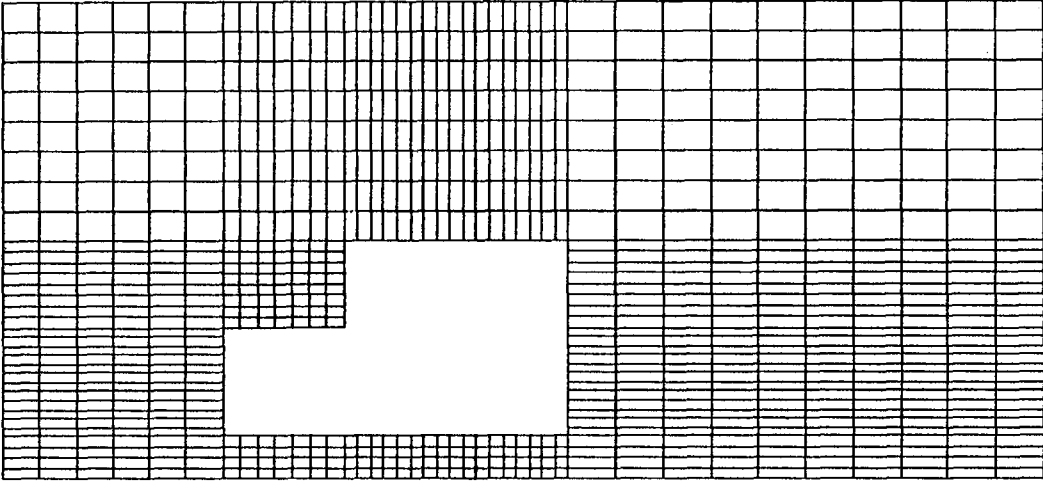
c) $i=23$



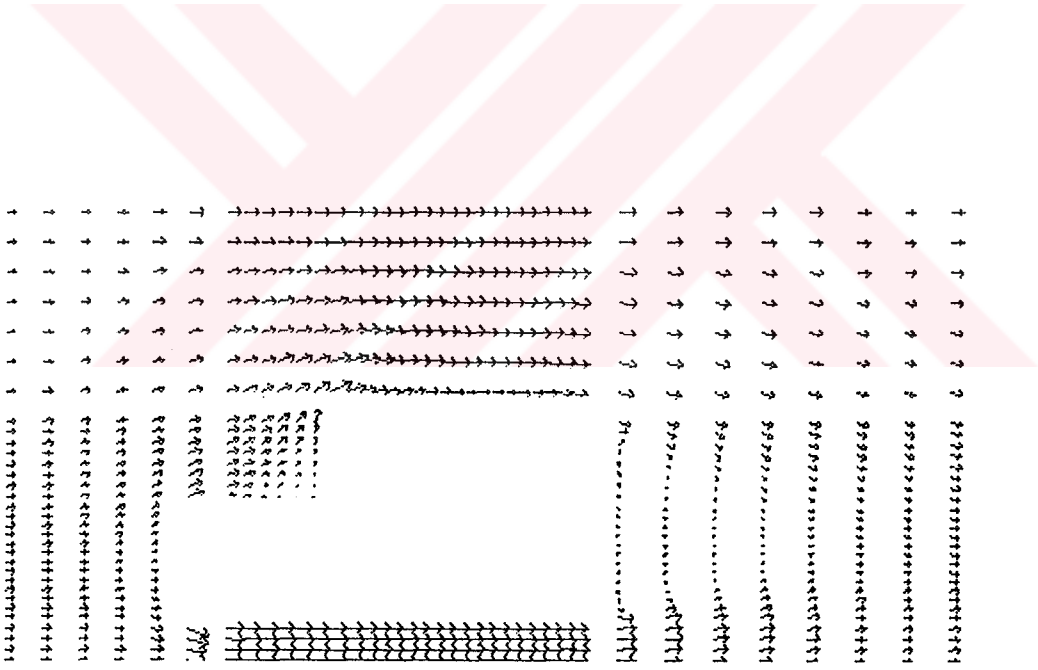
[J]

d) $i=31$

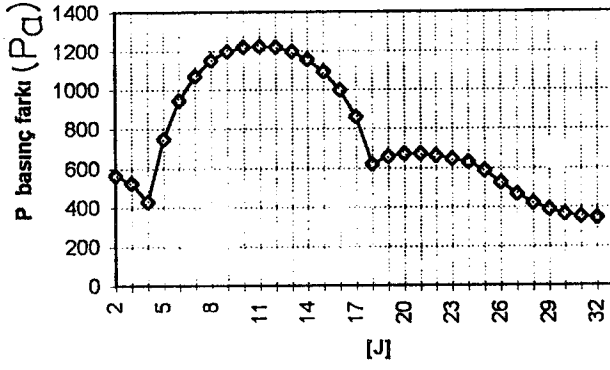
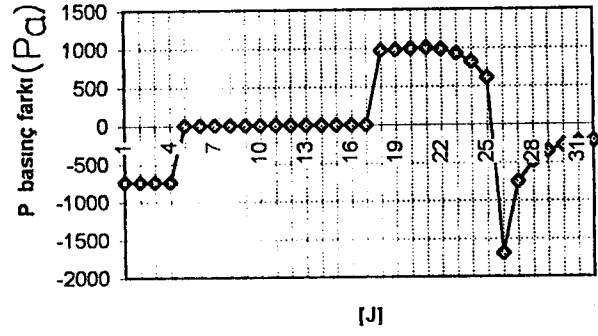
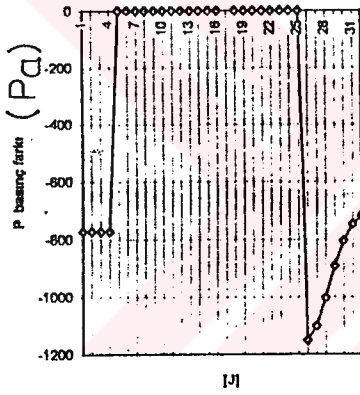
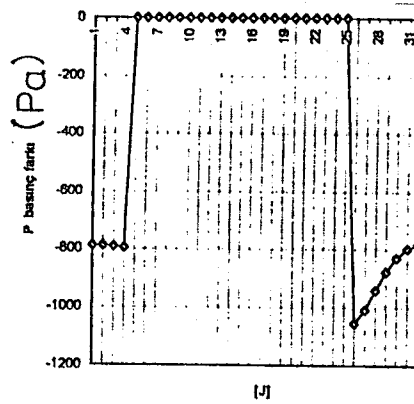
Şekil 6.23 Kamyon orjinal modelin basıncın zeminden yükseklikle değişimi



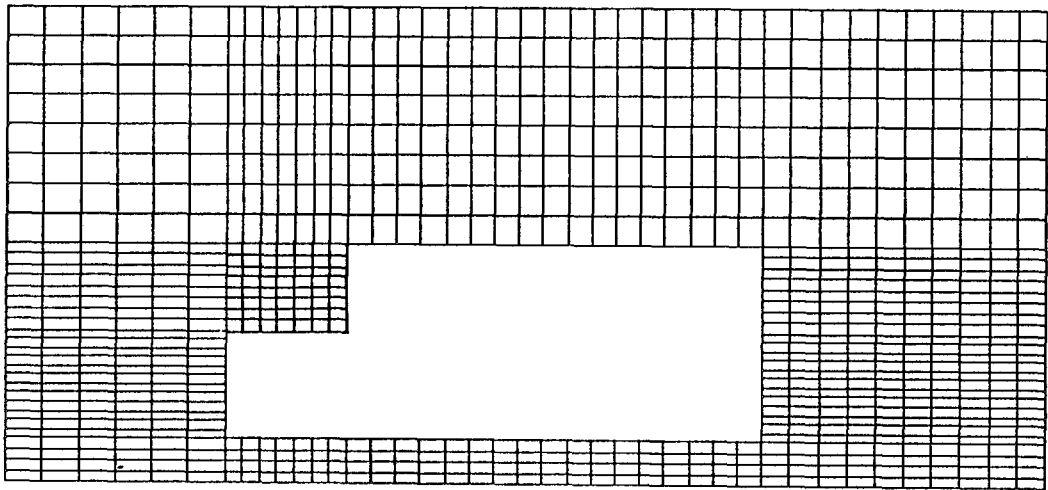
Şekil 6.24 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin ağ sistemi



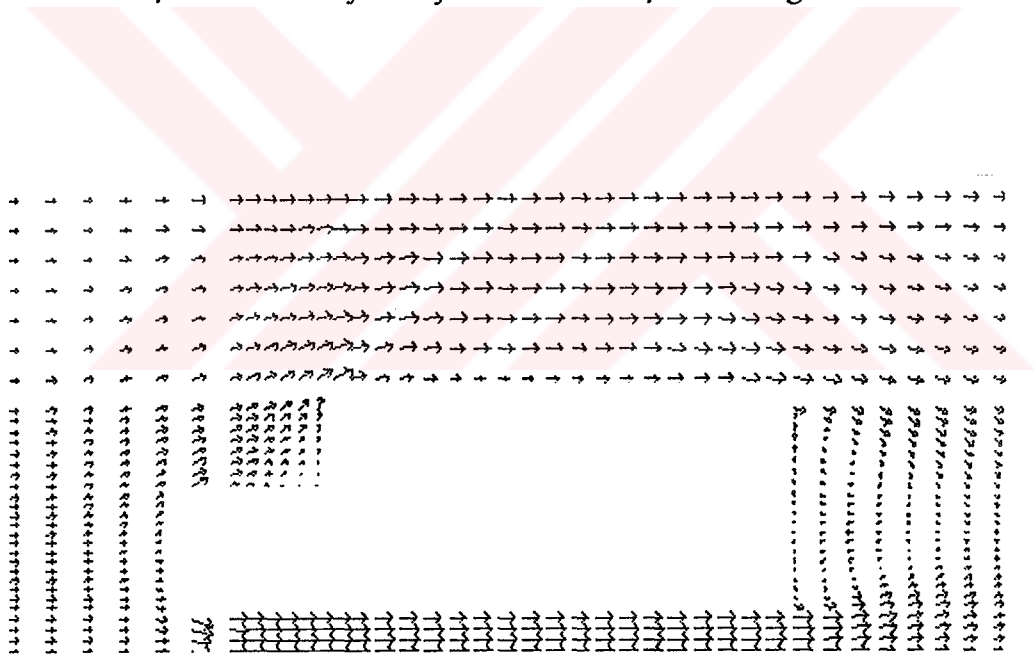
Şekil 6.25 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin hız vektörleri dağılımı

a) $i=7$ b) $i=14$ c) $i=23$ d) $i=31$

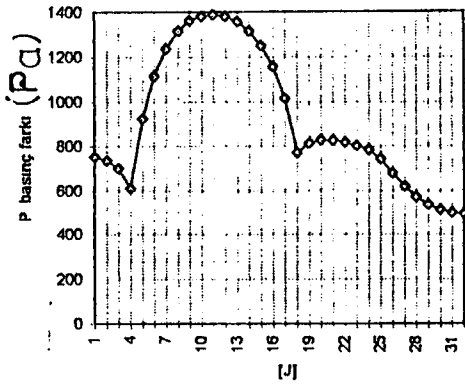
Şekil 6.26 Kamyon boyu %30 kısaltılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



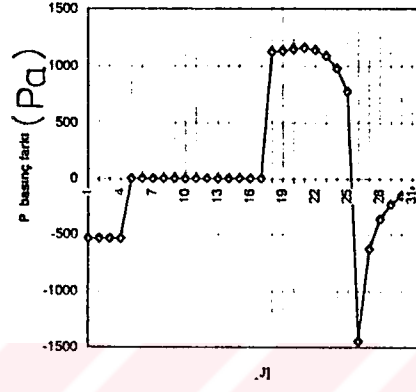
Şekil 6.27 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin ağ sistemi



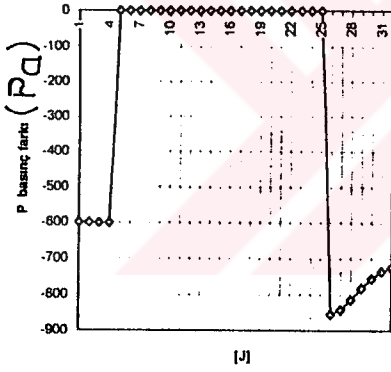
Şekil 6.28 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin hız vektörleri dağılımı



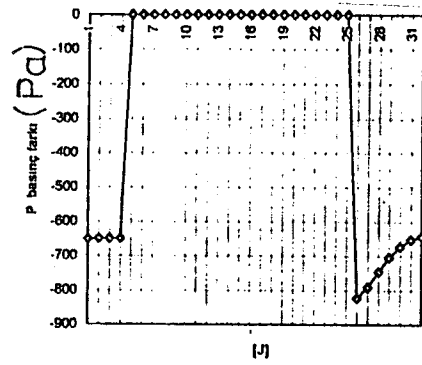
a) $i=7$



b) $i=14$

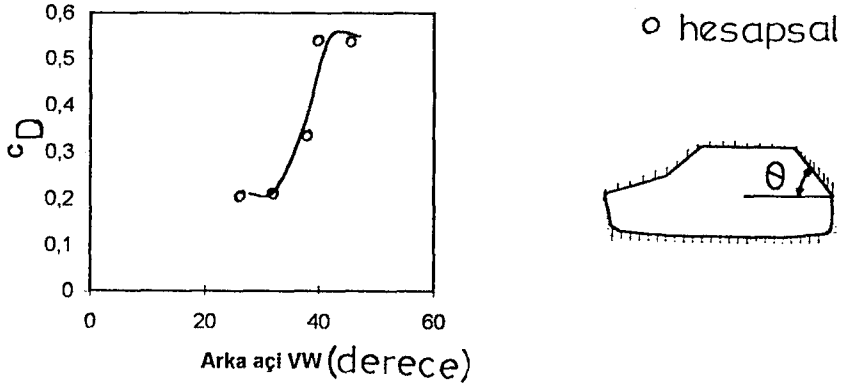


c) $i=23$

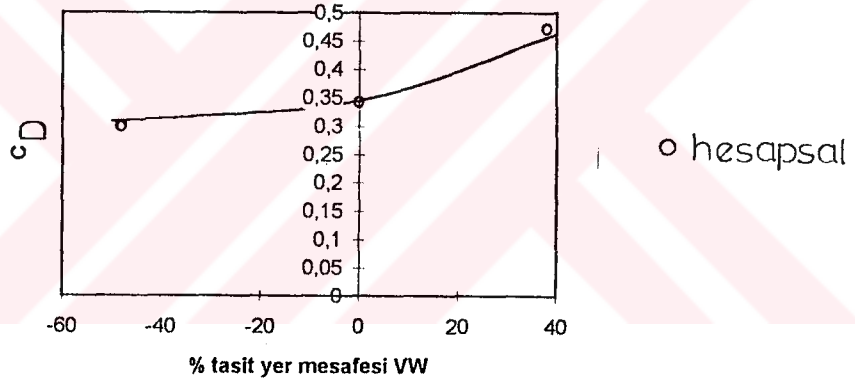


d) $i=31$

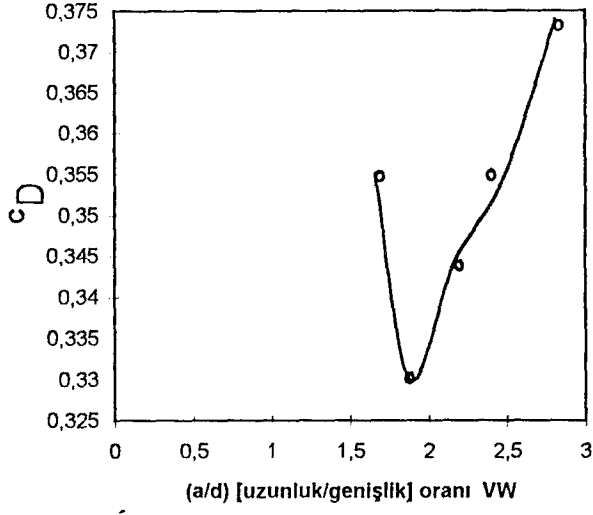
Şekil 6.29 Kamyon boyu %30 uzatılmış modelin basıncın zeminden yükseklik ile değişimi



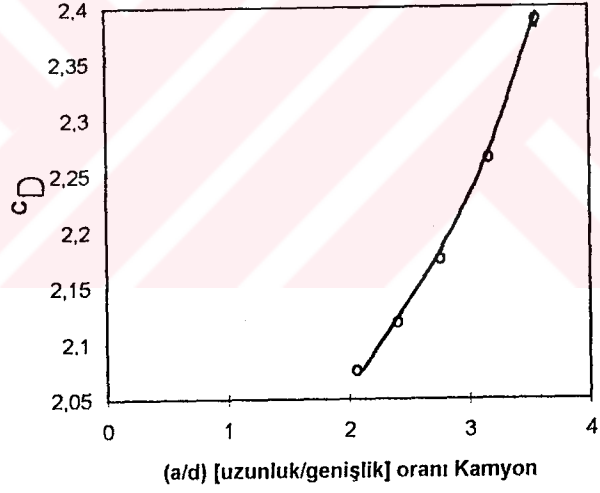
Şekil 6.30 VW modelinde taşıt arka cam açısının değişiminin C_D üzerindeki etkisi



Şekil 6.31 VW modelinde taşıt yer mesafesinin değişiminin C_D üzerindeki etkisi



Şekil 6.32 VW modelinde taşıt boyunda yapılan değişikliğin C_D üzerindeki etkisi



Şekil 6.33 Kamyon modelinde taşıt boyunda yapılan değişikliğin C_D üzerindeki etkisi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada aerodinamik direnç katsayısını etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur. Bu faktörlerden bir kaçını belirli modeller ele alınarak, sayısal yöntemle CFD2000/SFV bilgisayar programı ile uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda; aerodinamik direnç katsayısının yapılan modifikasyonlarla değişimi, her bir yapılan değişik uygulamalarda taşıt modelleri üzerindeki hız vektörleri dağılımı ve taşıt modellerinin belirli bölgelerinde, taşıt ön paneli-taşıtın ön cam ve tavan birleşim bölgesi-taşıt ortasında ve taşıt arka paneli, basıncın zeminden yükseklik ile değişimi incelendi. Buradaki basınç değerleri her bir noktada oluşan basınç ile atmosfer basıncı arasındaki farktır.

1) Taşıt arka cam açısı değişimi

Taşıt arka cam açısında yapılan uygulamalar Volkswagen modelinde 27° , 32° , 37° , 42° ve 47° açıları için incelenmiştir. Bu uygulamada taşıt arka cam açısı değişimi iki rejim bölgesine sahip olduğu anlaşılmıştır. Şekil 6.30'da görüleceği gibi, birinci rejim bölgesinde kritik açı 43° ye kadar açının artmasıyla dirençte belirgin bir oranda artış olmaktadır fakat ikinci rejim bölgesinde 43° den sonra açının artmasıyla direnç üzerinde, etkisi azalmaktadır hatta dirence olan etkisi sabit bir hal almaktadır. Literatürdeki uygulamalara bakılacak olursa Şekil 3.5'te görüleceği üzere Ahmed model olarak adlandırılan uygulamada taşıt arka cam açısı değişimi 0° ile 48° arasında incelenmiştir burada; 0° ile 15° arasında açının artmasıyla dirençte düşük bir oranda azalma görülmekte, 15° ile 32° arasında açının artmasıyla dirençte belirgin bir oranda artış olmaktadır ve 32° ile 48° arasında ise dirençte bir değişim olmamakta ve sabit bir hal almaktadır. Yapılan uygulama ile literatürdeki uygulamayı karşılaştırdığımız zaman ilk göze çarpan ana farklılık Şekil 3.5'te ve Şekil 6.30'da görülen modeller arasında alın bölgelerinin şekillendirilmesinde bir değişiklik vardır ama her iki uygulamada ortak olan açı bölgelerinde, yukarıda anlatıldığı gibi iki rejim bölgesi vardır ve direnç üzerindeki etkileri aynı özelliğe sahip olmaktadır.

Ayrıca taşıt arka cam açısının değişimi ile ilgili uygulamaların ağ sisitemleri, hız vektörleri dağılımı ve basıncın zeminden yükseklik ile değişimleri Şekil 6.1 ile Şekil 6.9 arasında verilmektedir. Bu şekillerden taşıt arka cam açısının artmasıyla taşıt arka cam bölgesinde, taşıt silueti boyunca hava akışında yığılmalar olduğu görülmektedir yani hava silueti takip ederek taşıttan ayrılmamaktadır. Basıncın zeminden yükseklik ile değişiminde ise; taşıtın ön paneli boyunca artan açı ile basınçta artan doğrultuda değişim göstermektedir, taşıt arka paneli boyunca 27° ile 37° arasında basınçta azalma görülmekte fakat 47° de ise basınçta artma görülmektedir.

2) Taşıt yer mesafesi değişimi

Taşıt yer mesafesi değişiminde yapılan uygulamalarda Volkswagen modelinde taşıt yer mesafesi %40 arttırılmış ve %50 azaltılmış durumları için incelemeler yapılmıştır. Bu uygulamada taşıt ön ve arka aksının eşit şekilde alçaltılıp taşıt zemine yaklaştıkça Şekil 6.31'de görüleceği üzere direnç katsayısında yavaş bir şekilde azalma olmaktadır, aksi durum olan taşıtın zeminden yüksekliği arttıkça direnç katsayısında yaklaşık lineer bir şekilde artma olmaktadır. Literatürdeki uygulamalarda ise; Şekil 4.6'da görüleceği üzere taşıt yer mesafesinin direnç üzerindeki etkisi taşıt yer mesafesinin azaltılması ile dirençteki azalmanın yüzde değişimi lineer bir şekilde olduğu yönündedir. Yaptığımız uygulama ile literatürdeki uygulamayı karşılaştırdığımız zaman dirençteki değişimi taşıt yer mesafesinde yaklaşık 10cm arttırarak ve 12cm azaltarak denedik fakat literatürdeki uygulamada 1'er cm aralıklar ile dirençteki değişim incelenmiştir. Tezdeki uygulamalarda ise bu kadar hassas hesap yapacak şekilde kafes sistemlerinde fazla sayıda nokta sayısı tayin edemediğimizdendir.

Ayrıca taşıt yer mesafesi değişimi ile ilgili uygulamaların ağ sistemleri, hız vektörleri dağılımı ve basıncın zeminden yükseklik ile değişimleri Şekil 6.16 ile Şekil 6.20 arasında verilmektedir. Bu şekillerden taşıt yer mesafesinin artmasıyla taşıt arka cam bölgesinde hava akışı taşıt siluetini takip eden doğrultuda ve türbülans etkisi azalan şekilde olmaktadır. Taşıt altında ise taşıt yer mesafesi arttıkça hava akışı hızı azalmaktadır. Basıncın zeminden yüksekliği ile değişiminde ise; taşıt altında artan taşıt yer mesafesi ile basınç değerleride artmaktadır.

3) Taşıt boyunun değişimi

Taşıt boyu değişimi uygulamalarında hem kamyon hemde Volkswagen modelleri üzerinde taşıt boyunun %30, %15 kısaltılmış ve %15, %30 uzatılmış durumları için incelenmiştir. Her iki modeli aerodinamik görüş açısından birbirinden ayıran en temel özellik Volkswagen'in radüslü bir alın alanına sahip olması aksine kamyonun ise köşeli bir alın alanına sahip olmasıdır. Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te görüleceği gibi; alın alanı yuvarlatılmış Volkswagen'in direnç katsayısı alın alanı köşeli olan kamyonu nazaran oldukça daha düşük bir değere sahiptir. Volkswagen modelinde taşıt boyunda uzama oldukça dirençte bir düşme görülmekte fakat bu düşme bir minimuma ulaştıktan sonra sürtünme dirençlerinin baskın bir hal alması nedeniyle direnç belirgin bir oranda artmaya başlamaktadır. Kamyon modelinde ise taşıt boyu arttıkça direnç katsayısı da yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Literatürdeki uygulamalara bakılacak olursa Şekil 2.6'da görüleceği üzere alın alanı yuvarlatılmış cisimler için direnç katsayısının taşıt boyuyla değişimi taşıt boyu arttıkça belli bir değere kadar dirençte belirgin bir düşme görülmekte daha sonra dirençte yavaş bir şekilde artış olmaktadır. Köşeli cisimler için ise aynı şekilde taşıt boyu arttıkça belli bir değere kadar dirençte azalma olmakta bu değerden sonra cisimde boyun artması dirençte yaklaşık lineer bir şekilde artışa sebep olmaktadır. Fakat yapılan uygulamalar ile literatürdeki uygulamalar arasında bazı farklılıklar görülmektedir, bunun sebebi literatürdeki uygulamada uzunluk/genişlik oranına göre dirençteki değişim verilmiştir, oysa tezdeki uygulamalarda üç boyutlu hesaplamalar yapılmadığından dirençteki değişim hassas bir şekilde hesaplanamamıştır. Kamyon modelinde ise taşıt boyu için yapılan modifikasyonlar literatüre göre dar bir aralıkta kalmıştır bu yüzden sadece taşıt boyunun artmasıyla dirençteki artış gözlenmiştir.

Ayrıca taşıt boyunun değişimi ile ilgili uygulamaların ağ sistemleri, hız vektörleri dağılımı ve basıncın zeminden yükseklik ile değişimleri Volkswagen için Şekil 6.10 ile Şekil 6.15 arasında verilmektedir. Bu şekillerden taşıt boyunun artmasıyla hız vektörleri dağılımından taşıt silüeti boyunca hava akışı silüeti daha iyi takip ettiği görülmektedir. Basıncın zeminden yükseklik ile değişiminde ise; taşıtın kış tarafında taşıt boyunun artması ve azalması durumlarının her ikisinde orjinal şekle göre basınç artışı görülmektedir.

Kamyon ile ilgili uygulamaların ağ sistemleri, hız vektörleri dağılımı ve basıncın zeminden yükseklik ile değişimi Şekil 6.21 ile Şekil 6.29 arasında verilmiştir. Bu şekillerden hız vektörleri dağılımından taşıt boyu arttıkça taşıtın arka kısmındaki hava akışında girdap oluşumunun arttığı görülmektedir. Basıncın zeminden yükseklik ile değişiminde ise; taşıt ön panelinde, orta kısmında ve arka tarafında taşıt boyu arttıkça basınçta artma olmaktadır.

Yakıt ekonomisi

Yapılan uygulamalarda; taşıt yer mesafesi değişmeyen, taşıt boyunda değişiklik yapılmayan ve taşıt arka cam açısı 37° olan Volkswagen modeli için aerodinamik direnç katsayısı yaklaşık 0.34 bulunmuştur, bu model için cepheden alan 1.9 m^2 olduğuna göre Şekil 2.7'den $C_D A = 0.34 * 1.9 = 0.646$ değeri için dirençten dolayı kaybolan enerji 100 km/h sabit hız için 30 MJ olarak bulunur bu değer 100 km başına yaklaşık 4.7 lt yakıt sarfiyatı demektir. Aynı modelde taşıt arka cam açısı 27° olarak değiştirildiğinde direnç katsayısı 0.21 olarak bulunmaktadır, yine Şekil 2.7'den bu direnç katsayısı için kaybolan enerji miktarı 19 MJ olarak bulunur bu değer 100 km başına yaklaşık 3 lt yakıt sarfiyatı demektir. Bu değişiklik ile 100 km mesafe boyunca aerodinamik direnci yenmek için harcanan yakıt miktarında 1.7 lt değerinde azalma sağlanmıştır.

Sayısal yöntemle yapılan hesapların irdelenmesi

Yapılan uygulamalarda bulunan aerodinamik direnç katsayılarının gerçek direnç katsayısı değerlerinden sapmalar olduğu görülmektedir. Bunun sebebi uygulamaların iki boyutlu olması, ağ sisteminde yeterli sayıda nokta sayısı tayin edememiz ve taşıtın simüle edildiği kontrol bölgesinde taşıt üstündeki, arkasındaki ve önündeki mesafelerin daha büyük seçilmesi ve hatta gerçek olayda olduğu gibi sonsuz olması gerekmektedir, fakat bu mesafelerin arttırılmasında hesapsal yönden kısıtlamalara sahibiz. Daha hassas hesap yapılabilmesi için denklemlerin çözümünde kullanılan iterasyon sayılarının daha yüksek değerlerde seçilmesi gerekmektedir fakat bu değeri arttırmakta bilgisayar kapasitesi ile sınırlı kalmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] GÜNEY, A. Taşıtlarda güç iletimi Yüksek lisans ders notu sy. 2-36 , 1989
- [2] GÖKTAN, A. Taşıt tasarımı sy. 18, 37-39, 62 1992
- [3] ERGENEMAN, M. I.YM. aşırı doldurma sy. 2.2
- [4] SHELLENBARGER, R.M. Automotive engineering article 23 august 1991
- [5] MOREL, T. Aerodynamics of road vehicles p.342
- [6] ATLI, V. Kara vasıtaları aerodinamiği makina sempozyumu TMMO yayını
- [7] FUKUDA, H. ve diğerleri Improvement of vehicle aerodynamics by wake control JSAE August 1994
- [8] OHNO, H. and KOHRI, I. Improvement of aerodynamics charecteristic of passenger car by side airdams JSAE July 1991
- [9] MOREL, T. Aerodynamics Drag of Bluff Body Shapes Charecteristics of Hatch-back cars SAE paper 780267 February 1978
- [10] BUÇHEİM, R. and LEIE, B. The Development of the Audi 100-A New Approach in aerodynamic passenger car design proceeding from international symposium on vehicle aerodynamics. Wolfsburg W. Germany December 1982
- [11] SAE Wind Tunnel Test Procedure for Trucks and Busses SAE 01252 August 1979
- [12] ATLI, V. Kara vasıtaları aerodinamiğinde incelemelerinde kullanılan rüzgar tünelleri makina sempozyumu TMMO yayını
- [13] Begineers CFD2000/SFV guide's book
- [14] KAY, J. M. Fluid Mechanics and Heat Transfer p. 14,35
- [15] LAUNDER, B. E. and SPALDING, D. B. The numerical computation of turbulent flows computer methods in applied mechanics and engineering August 1973

T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
TEKNOLOJİ VE YATIRIM BAKANLIĞI

ÖZGEÇMİŞ

Malik Tokatlıoğlu 1971 yılı Samsun doğumludur. Samsun 19 Mayıs Lisesini bitirdikten sonra, 1989 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümüne girmiştir. Bu bölümden 1993 yılında 'iyi' derece ile mezun olmuş ve yüksek lisans sınavını kazandıktan sonra Makina Mühendisliği Otomotiv bölümünde yüksek mühendislik öğrenimine başlamıştır. Kısa dönemler halinde ısıtma-havalandırma ve doğal gaz firmalarında çalışmıştır.



T.C. YATIRIM MENKUL
DEĞERLER A.Ş. MENKUL
DEĞERLER
YATIRIM MENKUL