

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖRNEK BİR TAŞIT İÇİN HAVALI
SÜSPANSİYON SİSTEMİ TASARIMI**

MEHMET EMRE KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE TEORİSİ VE KONTROL PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERDEM UZUNSOY**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRNEK BİR TAŞIT İÇİN HAVALI SÜSPANSİYON SİSTEMİ TASARIMI

Mehmet Emre KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 11.10.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan YAVAŞLIOL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EREKE

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda desteklerini benden esirgemeyen, beni yönlendiren, en zor ve sıkışık anlarda dahi benim için zaman yaratabilen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu süreçte farkında olarak veya olmayarak bana destek veren aileme, dostlarıma, arkadaşlarıma varlıklarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ağustos, 2012

Mehmet Emre KILIÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 Giriş.....	1
1.1.2 Hava Yayları	2
1.1.2.1 Sabit Hacim Prosesi.....	2
1.1.2.2 Sabit Basınç Prosesi.....	2
1.1.2.3 Sabit Sıcaklık Prosesi	2
1.1.2.4 Tersinir Adyabatik Proses.....	2
1.1.2.5 Politropik Proses	3
1.1.2.6 Hava Yayı Çeşitleri ve Efektif Alan Kavramı.....	4
1.1.2.7 Hava Yayı Hacim Kavramı.....	7
1.1.2.8 Doğal Frekans ve Katılık Kavramları.....	8
1.1.2.9 Taşıma Kuvveti ve Basınç Kavramları.....	9
1.1.3 Lastik Karakteristikleri	10
1.1.3.1 Statik ve Yuvarlanan Lastik Karakteristikleri	10
1.1.3.2 Viraj Sertliği Kavramı	11
1.1.4 Sıklıkla Kullanılan Lastik Modelleri	13
1.1.4.1 Fiala Lastik Modeli.....	13
1.1.4.2 Magic Formül Lastik Modeli.....	13
1.1.4.3 Dugoff Lastik Modeli	14
1.1.4.4 Allen Lastik Modeli.....	14

1.2	Tezin Amacı.....	14
1.3	Bulgular.....	15
BÖLÜM 2.....		16
HAVA YAYI MODELİ.....		16
2.1	Hava Yayının Modellenmesi	16
BÖLÜM 3.....		20
LASTİK ve TAŞIT DİNAMIĞI MODELİ.....		20
3.1	Taşıt Dinamiği	20
3.1.1	Performans	20
3.1.2	Seyir Dinamiği	20
3.1.3	Sürüş Dinamiği	21
3.2	Taşıt Sürüş Dinamiği Modeli	21
3.2.1	Lastik Modellemesi	22
3.2.2	Taşıt Hareket Denklemleri.....	26
3.2.3	Taşıt Özellikleri	29
BÖLÜM 4.....		30
MATLAB-SİMULİNK ve SİMÜLASYONLAR.....		30
4.1	Giriş	30
4.2	Simülasyonlar	31
4.2.1	Hava Yayı Tasarım Modları.....	31
4.2.1.1	Konfor Modu	31
4.2.1.2	Normal Mod	32
4.2.1.3	Sürüş Modu	32
4.2.2	Sabit Direksiyon Açısında Dönüş Simülasyonu.....	33
4.2.3	Çift Şerit Değişirme Manevrası Simülasyonu.....	36
BÖLÜM 5.....		43
SONUÇLAR.....		43
KAYNAKLAR.....		45
EK-A.....		47
EK-B.....		48
ÖZGEÇMİŞ.....		49

SİMGE LİSTESİ

A	Maksimum efektif alan
A_{ef}	Efektif alan
A_{ort}	Efektif alan değışimi
A_o	Minimum efektif alan
a	Ağırlık merkezinin ön akstan uzaklığı
a_p	Lastik temas yüzey genişliği
b	Ağırlık merkezinin arka akstan uzaklığı
c_f	Ön sönüm katsayısı
c_r	Arka sönüm katsayısı
c_p	Sabit basınç altındaki özgül ısı
c_v	Sabit hacim altındaki özgül ısı
D_E	Efektif çap
D_c	Silindir duvar çapı
d_{art}	Artış miktarı
d_{max}	Maksimum efektif çap
d_{min}	Minimum efektif çap
d_{ort}	Efektif çap değışimi
F	Taşıma kuvveti
F_{xr}	x yönündeki toplam kuvvet
F_y	Yanal lastik kuvveti
f	Frekans
g	Yer çekim ivmesi
h	Hava yayı yüksekliği değışimi
h_{r0}	Hava yayının yerden maksimum yüksekliği
h_c	Hava yayının tam sıkışmış durumdaki yüksekliği
H_{cg}	Ağırlık merkezi yüksekliği
I_{xx}	o-x eksenindeki gövde atalet momenti
I_{yy}	o-y eksenindeki gövde atalet momenti
I_{zz}	o-z eksenindeki gövde atalet momenti
I_{xy}	Gövde atalet çarpım momenti $f_{xy}.dm$
I_{yz}	Gövde atalet çarpım momenti $f_{yz}.dm$
I_{zx}	Gövde atalet çarpım momenti $f_{zx}.dm'$ dir.
k	Adyabatik üs

k	Katılık
K_a	Lastik temas yüzey katsayısı
K_μ	Geçiş parametresi
m	Kütle
n	Politropik üs
P_1	İlk basınç
P_z	Son basınç
P_g	Üst basınç
P_{atm}	Atmosfer basıncı
ρ	Yalpa açısal hızı
q	Y eksenini etrafındaki açısal hız
r	Taşıttın yanal sapma hızı
R	Kıvrılabilir hava yayı körüğünde oluşan yarım çember yarıçapı
S	Doğrusal kayma
T_1	İlk sıcaklık
T_2	Son sıcaklık
T_p	Lastik basıncı
T_w	Diş genişliği
t	Kıvrılabilir hava yayı körüğünün körük kalınlığı
t_f	Ön iz genişliği
t_r	Arka iz genişliği
U	Taşıttın doğrusal hızı
V	Taşıttın yanal hızı
V_1	İlk hacim
V_2	Son hacim
V	Hacim değişimi
w	Açısal hız
α	Kayma açısı
δ	Ön tekerleklerin yönlendirme açısı
σ	Kompozit kayma
μ_0	Lastik yol sürtünme katsayısı pik değeri
μ_{nom}	Nominal sürtünme katsayısı
ϕ	Yalpa açısı
γ	Lastik kamber açısı
θ	Kafa vurma açısı
$\dot{\theta}$	Kafa vurma hızı
$\ddot{\theta}$	Kafa vurma ivmesi
ΣF_x	X eksenini yönünde gövdeye uygulanan anlık bileşke dış kuvvet
ΣF_y	Y eksenini yönünde gövdeye uygulanan anlık bileşke dış kuvvet
ΣF_z	Z eksenini yönünde gövdeye uygulanan anlık bileşke dış kuvvet
ΣM_x	X ekseninde gövdeye uygulanan bileşke dış moment
ΣM_y	Y ekseninde gövdeye uygulanan bileşke dış moment
ΣM_z	Z ekseninde gövdeye uygulanan bileşke dış moment

KISALTMA LİSTESİ

ISO	International Organisation for Standardisation
SAE	Society of Automotive Engineers
MATLAB	Matrix Laboratory

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1	Katlanabilir körüklü hava yayı [3].....	4
Şekil 1. 2	Çift katlı körüklü hava yayı [3].....	4
Şekil 1. 3	Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın gösterilişi [3]	5
Şekil 1. 4	Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın değişimi [4]..	5
Şekil 1. 5	Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alan değişiminin taşıma kuvvetine etkisi [4]	5
Şekil 1. 6	Kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın belirlenmesi [2]	6
Şekil 1. 7	Çeşitli hava yayı tiplerinde hacim gösterimi [3].....	7
Şekil 1. 8	Yük değişimlerine göre farklı yayların katılık ve doğal frekans karşılaştırması [1].....	8
Şekil 1. 9	Hava yayı şematik diyagramı [1]	9
Şekil 1. 10	Basınç şematik gösterimi	10
Şekil 1. 11	Kayma açısı oluşumu [8]	11
Şekil 1. 12	Yuvarlanan lastikte yanal kuvvet altında oluşan deformasyon [8]	11
Şekil 1. 13	Ön lastik hız bileşenleri, yönlendirme açısı ve kayma açısı [8].....	12
Şekil 1. 14	Arka lastik hız bileşenleri ve kayma açısı [8]	12
Şekil 1. 15	Yanal lastik kuvveti ile kayma açısı ilişkisi.....	12
Şekil 2. 1	Modellemede kullanılan hava yaylarının şematik gösterimi	16
Şekil 2. 2	Hava yayı yüksekliğine karşılık mutlak basınç değişim grafiği.....	18
Şekil 2. 3	Hava yayı yüksekliğine karşılık taşıma kuvveti değişim grafiği	18
Şekil 2. 4	Sabit basınç altında hava yayı yüksekliğine karşılık taşıma kuvveti grafiği ..	19
Şekil 2. 5	Taşıma kuvvetine karşılık katılık değişim grafiği	19
Şekil 3. 1	İnsan vücudu ve taşıt salınım frekansları [1].....	21
Şekil 3. 2	SAE eksen takımı [8].....	22
Şekil 3. 3	ISO eksen takımı [8].....	22
Şekil 3. 4	Temel lastik değişkenleri	23
Şekil 3. 5	Bir taşıta etki eden kuvvetler [8].....	27
Şekil 3. 6	Bir taşıtın yandan şematik görünüşü.....	28
Şekil 4. 1	Konfor modunda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri.....	31
Şekil 4. 2	Normal modda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri.....	32
Şekil 4. 3	Sürüş modunda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri.....	32
Şekil 4. 4	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda farklı yaylara sahip taşıtın izlediği yörüngeler	33
Şekil 4. 5	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda ön lastik kayma açıları.....	34
Şekil 4. 6	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda arka lastik kayma açıları.....	34

Şekil 4. 7	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda farklı yaylara sahip taşıtın yalpa açıları	35
Şekil 4. 8	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda ön teker yükleri	35
Şekil 4. 9	Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda arka teker yükleri	36
Şekil 4. 10	Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda taşıtın izlediği yörüngeler	37
Şekil 4. 11	Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda taşıtın izlediği yörüngeler	38
Şekil 4. 12	Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yanal sapma açısı karşılaştırması	38
Şekil 4. 13	Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yanal sapma açısı karşılaştırması.....	39
Şekil 4. 14	Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yalpa ivmesi karşılaştırması	39
Şekil 4. 15	Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yanal sapma hızı karşılaştırması	40
Şekil 4. 16	Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yanal sapma hızı karşılaştırması	41
Şekil 4. 17	Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yalpa açısı karşılaştırması	42
Şekil 4. 18	Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yalpa açısı karşılaştırması	42

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Farklı lastik tipleri için model değişkenleri	24
Çizelge 3. 2 P185/70 R 13 için Allen lastik model parametreleri [11].....	26

ÖRNEK BİR TAŞIT İÇİN HAVALI SÜSPANSİYON SİSTEMİ TASARIMI

Mehmet Emre KILIÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Erdem UZUNSOY

Karayolu taşıtlarında kullanılan süspansiyon sistemleri, genel olarak aynı sistem tabanlı olsalar bile, gün geçtikçe gelişme göstermektedir. Havalı süspansiyon sistemi yıllardır özellikle ticari taşıtlarda ve otobüslerde yükten bağımsız olarak taşıt yüksekliğini muhafaza etmek ve taşıt konfor özelliklerini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Havalı yay modeli, klasik yaylardan farklı olarak çalışma esnasında körük içerisinde bulunan havanın termal değişimi ve esnek malzeme yapısından dolayı geometriksel değişim göstermesi bakımından termal proses ve geometrik değişim olmak üzere genel manada iki konu ele alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada, oluşturulan havalı yay modelinin bir binek taşıt sürüş dinamiği modeline adapte edilerek taşıtın farklı koşullarda göstermiş olduğu performans incelenmiştir. Bu tezde, havalı süspansiyonun konfor etkileri haricinde, ayrıntılı olarak, oluşturulan havalı süspansiyon modeli, klasik model ile arasındaki farkları ortaya koymak ve sürüş dinamiği etkilerini gözlemlemek amacıyla farklı tasarım yüksekliklerinde analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havalı süspansiyon, hava yayı, taşıt sürüş dinamiği

AIR SUSPENSION SYSTEM DESIGN FOR A MODEL OF VEHICLE

Mehmet Emre KILIÇ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assistant Prof. Dr. Erdem UZUNSOY

Suspension systems utilized on road vehicles, even though they are on the similar system base in general, are improved day by day. In order to preserve vehicle height and increase vehicle comfort properties, air suspension system has been used as independent from load for years, in particular at commercial vehicles and buses.

Air spring model was formed mainly in two topics such as thermal change and geometric change unlike conventional springs, regarding thermal change of air, existing in bellow and geometric change because of its flexible material structure during working. In this study, vehicle performance at various conditions was analysed by adapting a developed air spring model using on a passenger car handling dynamics model. In this thesis, rather than examining the effects of air suspension on vehicle ride comfort, in detail, the developed air spring model was analysed at different design heights to observe the effects on handling dynamics and differences between the vehicle models with air spring and conventional spring.

Key words: Air suspension, air spring, vehicle handling

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Giriş

Süspansiyon gelişim tarihi, daha önceden tek modül olarak gerçekleştirilen fonksiyonların ayrılması ile yakından ilişkilidir. Bunlardan bazıları:

- Gövde ile şasinin ayrılması
- Asılı kütle ile asılı olmayan kütlelerin ayrılması
- Yay ve sönümlleme fonksiyonlarının ayrılması
- Tekerlek ve aksın birbirinden ayrılması (bağımsız süspansiyon)
- Süspansiyon ve şasi bağlantısının altçerçeve ile ayrılması (Heißing ve Ersoy [1])

Tarihsel dizgide ilk yüzyıla rastlayan en önemli buluş ve geliştirmeler ise şu şekilde sıralanabilir; radyal lastik, helisel ve havalı yay, hidrolik sönümleyici, küresel mafsal, kauçuk burç, diskli fren, bağımsız süspansiyon, dört tekerden tahrik ve elektronik sistemlerdir. (ABS,ASR,ESP vs.) (Heißing ve Ersoy [1])

Hava yayları 1845 yılına kadar at arabalarında kullanılmıştır. Amerikalı Westinghouse, 1920'li yıllarda binek araçlar için hava yayı geliştirmiştir. (Heißing ve Ersoy [1])

1930'lu yıllarda, ticari araçlarda hava yayı kullanılma olasılığı araştırılmaya başlandı. Amerika'da, yedi yılı aşkın bir deneyim sonrasında, özellikle uzun mesafe yolcu otobüsleri için hava yayları geliştirilmiştir. (Sainsbury [2])

1.1.2 Hava Yayları

Havalı yaylar, kapalı hacimdeki gazların elastik davranışının yay olarak kullanılmasıdır. Hava yayları progresif yay karakteristiğine sahiptir. Hava basıncının değişmesi ile yaylanma yüküne göre ayarlanır. (Kuralay [3]). Hava basıncı termal proseslere göre değişmektedir.

1.1.2.1 Sabit Hacim Prosesi

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1.1)$$

Hava yayının esnek yapısından dolayı ulaşılamayan bir prosesdir. Fakat statik durumda sıcaklık değişimine bağlı olarak basınç değeri hesaplanabilir. (Firestone [4])

1.1.2.2 Sabit Basınç Prosesi

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1.2)$$

Dinamik olarak, basıncı sabit tutmanın tek yolu sonsuz hacim ile mümkün olmaktadır. Hava yayı sonsuz hacimde olamayacağından dolayı kullanışsızdır. (Firestone [4])

1.1.2.3 Sabit Sıcaklık Prosesi

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1.3)$$

Bu proses düşük frekanslı hareketler gerektirir. (Firestone [4]) Hava yayları içindeki hava yüksek frekanslarda sıcaklık değişimine maruz kalır. Bu yüzden yüksek frekanslı uyarımlarda uygun olmayan bir prosesdir.

1.1.2.4 Tersinir Adyabatik Proses

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \text{ ve } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1/k} \quad (1.4)$$

Bu proses, akışkandan çevreye veya çevreden akışkana ısı transferi olmadığı kabulüne dayanmaktadır. Hava yayları ile ulaşılamayan teorik bir proses olmasına rağmen yüksek frekanslı salınımlarda oldukça yakınsamaktadır. (hava için $k=1.404$)

$$k = \frac{C_p}{C_v} \text{(Presthus [5])} \quad (1.5)$$

1.1.2.5 Politropik Proses

$$PV^n = \text{sabit} \quad (1.6)$$

Bu proses genellikle farklı basınç değerleri için gerçek sıkıştırma ve genişleme eğrilerini temsil eder.

$$n=1 \quad ; \quad PV = \text{sabit (sabit sıcaklık prosesi)}$$

$$n=k \quad ; \quad PV^k = \text{sabit (tersinir adyabatik proses)}$$

$$n=0 \quad ; \quad P = \text{sabit (sabit basınç prosesi)}$$

$$n= \infty \quad ; \quad V = \text{sabit (sabit hacim prosesi)}$$

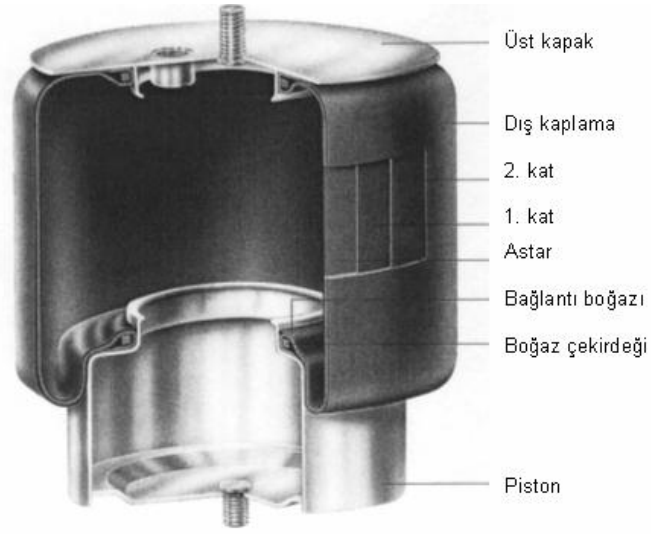
$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad (1.7)$$

Hava yayı dinamik davranışı esnasında basınç, hacim ve sıcaklık anlık olarak değişim göstermektedir. Bunun sonucu olarak hava yayı $1 < n < k$ aralığında çalışmaktadır. Taşıt uygulamalarında genel olarak kabul edilen değer $n=1.38$ dir. (Firestone [4])

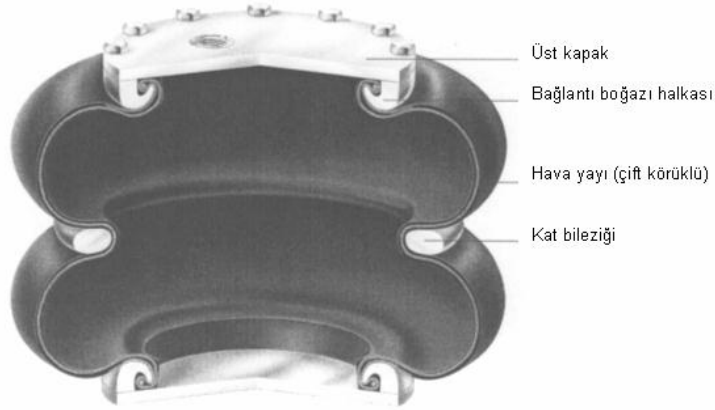
Presthus'a göre; süspansiyon sıkışması boyunca, sıkıştırma hızına bağlı olarak hava yayında çok küçük ısı kayıpları olur ve kauçuk yalıtım katmanı havayı hapseder. Aynı şekilde genişleme boyunca aynı nedenden dolayı ihmal edilebilir derecede ısı hava yayına girer.

Politropik üssün hava için 1.404 yerine 1.38 alınması bahsi geçen ısı kayıplarını da hesaba katmak anlamını taşımaktadır.

1.1.2.6 Hava Yayı Çeşitleri ve Efektif Alan Kavramı

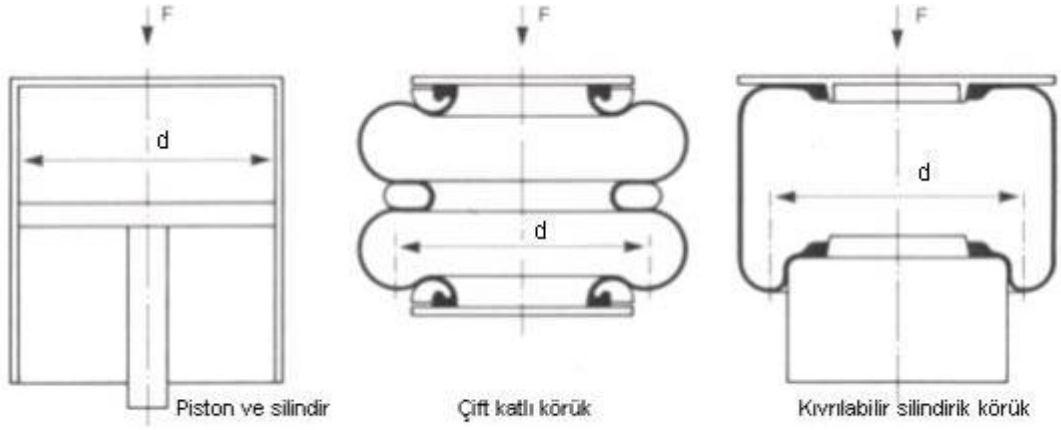


Şekil 1. 1 Katlanabilir körüklü hava yayı [3]

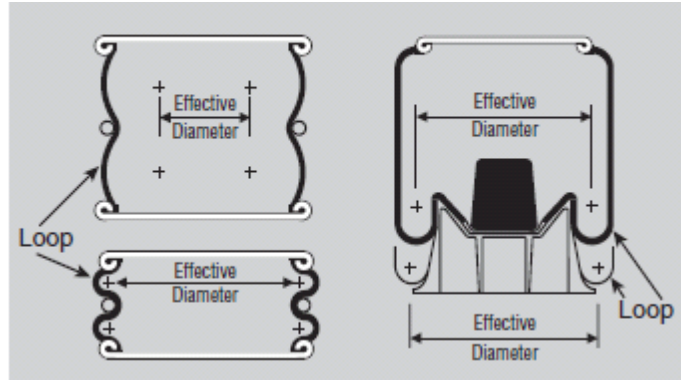


Şekil 1. 2 Çift katlı körüklü hava yayı [3]

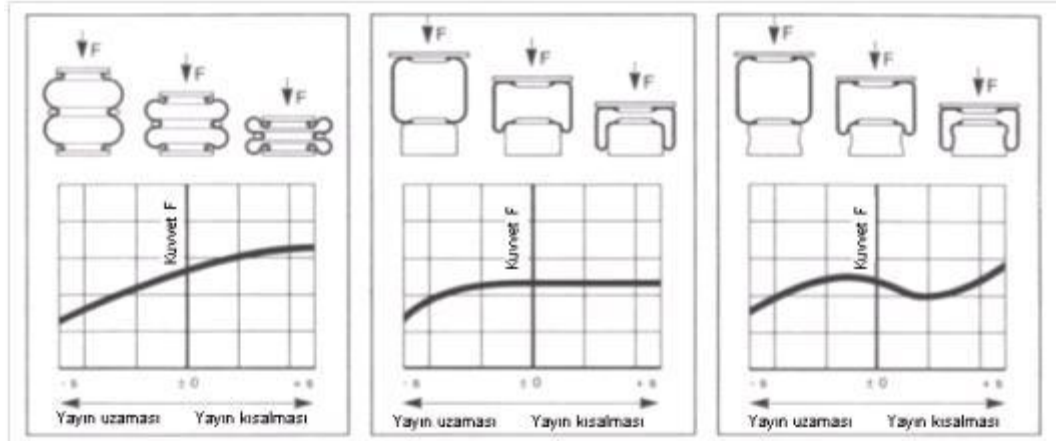
Hava yayı körükleri kloropren tabanlı, mukavemet artırıcı vulkanize edilmiş kord dokuma gibi lastik karışımlarından meydana gelmektedir. Körüğün cidarı çok ince ve esnek olduğundan aracın boyuna ve enine yönde etkiyen kuvvetlerin taşınmasında bir rolü yoktur. Düşey yük, dokuma tabakaları yönündeki taşıyıcı lifler tarafından karşılanır. Körük duvarındaki teğette ve yay kuvveti yönüne dik yerlerde kuvvet bileşenleri yay kuvveti yönünde ve yük taşıyıcısı üzerinde kaybolmaktadır (Kuralay [3]).



Şekil 1.3 Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın gösterilişi [3]



Şekil 1.4 Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın değişimi [4]

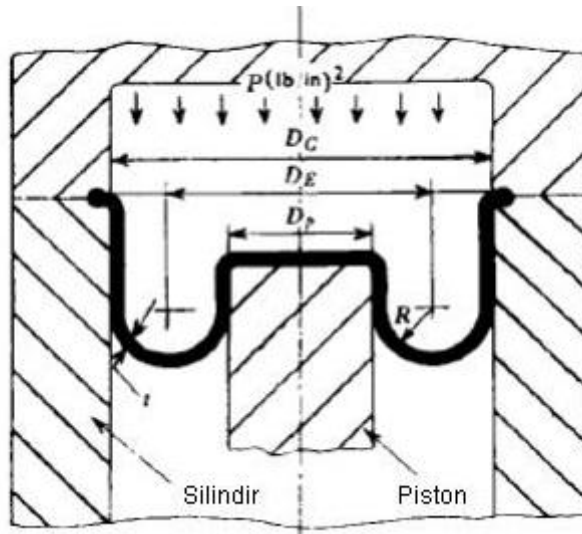


Şekil 1.5 Çift katlı ve kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alan değişiminin taşıma kuvvetine etkisi [4]

Hava yaylarının çalışma prensibi şekil 1.3'te görüldüğü gibi piston silindir şeklinde düşünülebilir. Piston silindir mekanizmasındaki piston yüzey alanı hava yaylarında

efektif alan olarak kullanılmaktadır. Hava yaylarının esnek yapılarından dolayı efektif alan şekil 1.4’te görüldüğü gibi çalışma esnasında değişim göstermektedir.

Şekil 1.5’ te efektif alanın taşıma kuvvetine etkisi gösterilmektedir. Çift katlı hava yaylarında deplasman değişiminde kuvvet lineere yakın bir şekilde değişmektedir. Kıvrılabilir silindirik hava yaylarında piston yan duvarları düz ise efektif alan değişimi yok denecek kadar azdır ve bu değişim ihmal edilebilmektedir. Kıvrılabilir silindirik hava yaylarında piston yan duvarları düz değil ise efektif alan değişimi şekilde görüldüğü gibi değişim göstermektedir.



Şekil 1. 6 Kıvrılabilir silindirik hava yaylarında efektif alanın belirlenmesi [2]

Sainsbury’ ye göre şekil 1.6’da gösterildiği gibi efektif çap ve efektif alan ;

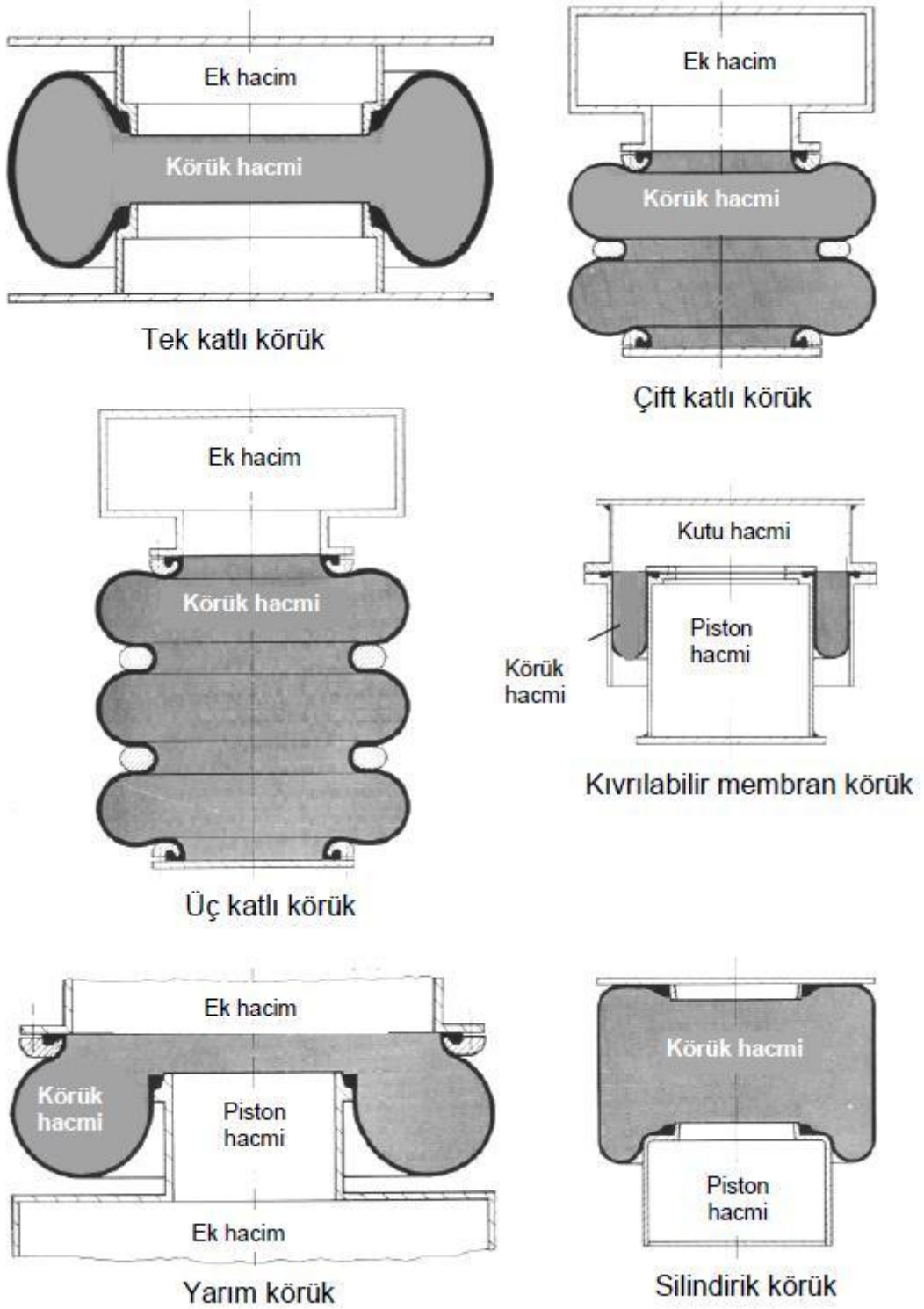
$$D_E = (D_C - 2R - 2t)^2 \quad (1.8)$$

$$A_{ef} = \frac{\pi}{4} [(D_C - 2R - 2t)^2] \quad (1.9)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Efektif alan için efektif çapa ihtiyaç duyulmaktadır. Efektif çap burada hava yayı körüğünün kıvrılabilir kısmında oluşan yarım çemberlerin yarıçapına ve hava yayı körüğünün kalınlığına bağlı olarak tanımlanmıştır.

Efektif alan genel olarak deneysel veriler neticesinde elde edilmektedir. Efektif alan deneysel datalar ile hesaplanmıştır. (Chang ve Lu [6])

1.1.2.7 Hava Yayı Hacim Kavramı



Şekil 1. 7 Çeşitli hava yayı tiplerinde hacim gösterimi [3]

Hava yayı hacimleri istenilen doğal frekans değerine göre tespit edilir. Hava yayı hacmi sadece körük hacminden oluşabildiği gibi körük hacmiyle birlikte ek ve piston hacmi de

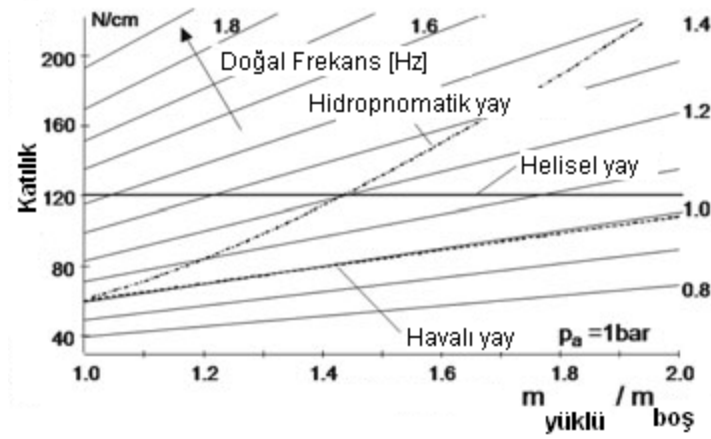
kullanılabilir. Körük hacmine ilave edilen ek hacim ve piston hacmi basınç artışı azaltılabilir.

1.1.2.8 Doğal Frekans ve Katılık Kavramları

Hava yayının önemli yanlarından birisi, artan yük ile körüğün artan iç basıncı neticesinde yay katsayısının artması ve azalan işletme basıncında ise uygun bir şekilde azalmasıdır. Araç konforunun bir ölçüsü olarak yay tekniğinde genelde doğal frekans kullanılır. Bu ise yay katsayısı ve yaylanan kütle arasındaki;

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ [Hz]} \text{ veya } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k \cdot g}{F}} \text{ [Hz]} \quad (1.10)$$

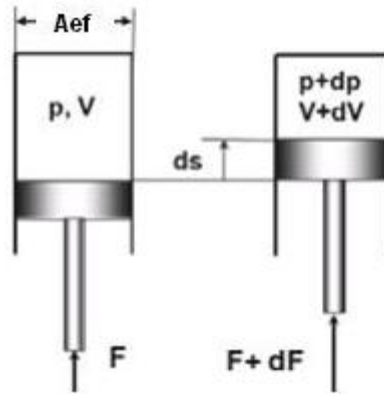
denklemleri ile ifade edilmektedir ve havalı yay için hemen hemen sabittir (Kuralay [3]).



Şekil 1. 8 Yük değişimlerine göre farklı yayların katılık ve doğal frekans karşılaştırması [1]

Şekil 1.8'e göre helisel yaylar yüklemeye bağımsız olarak sabit katılığa sahipken hidro pnomatik yaylar ve hava yayları yük arttıkça artan değişken katılığa sahip yaylardır. Helisel yaylarda yüklemeye arttıkça katılık sabit kaldığı için doğal frekans düşmektedir. Hava yaylarında yüklemeye bağı katılık değeri lineere yakın bir değişim göstermektedir. Bunun sonucu olarak da doğal frekans değişimi ihmal edilecek kadar düşüktür. Hidro pnomatik yaylarda da yüklemeye bağı katılık değeri değişimi söz konusudur. Fakat bu tip yaylardaki yüklemeye bağı katılık değişimi doğrusal olmayan

bir karakterdedir. Bu yüzden yükleme arttıkça hem katılık hem doğal frekansta artış olmaktadır.



Şekil 1. 9 Hava yayı şematik diyagramı [1]

Hava yayı katılığı (1.6) fonksiyonunun değişimine eşittir. Bu değişim eşitliğin her iki tarafının türevi alınarak hesaplanabilir. (Heiβing ve Ersoy [1])

$$V^n dP + nPV^{n-1}dV = 0 \quad (1.11)$$

$$\frac{dP}{dV} = - \frac{nPV^{n-1}}{V^n} = - \frac{nP}{V} \quad (1.12)$$

Eğer;

$$dP = dF/A_{ef} \quad (1.13)$$

$$dV = -A_{ef} \cdot ds \quad (1.14)$$

$$dF = k \cdot ds \quad (1.15)$$

ise katılık;

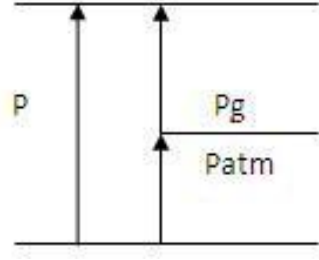
$$k = \frac{dF}{ds} = \frac{nPA_{ef}^2}{V} \quad (1.16)$$

1.1.2.9 Taşıma Kuvveti ve Basınç Kavramları

Hava yayı taşıma kuvveti, üst basınç ile efektif alan çarpımına eşittir (Presthus [5]).

$$F = P_g \cdot A_{ef} \quad (1.17)$$

$$P = P_g + P_{atm} \quad (1.18)$$



Şekil 1. 10 Basınç şematik gösterimi

Üst basınç, denklem (1.7)'den hesaplanmaktadır. Bu basınç değeri efektif alan ile çarpıldığında taşıma kuvveti, atmosfer basıncı ile toplandığında da mutlak basınç değeri elde edilmiş olur.

1.1.3 Lastik Karakteristikleri

Hava yaylarının çalışma sırasındaki durumunun simüle edilebilmesi için taşıt dinamiği modeline ihtiyaç vardır. Bölüm 3'te taşıt sürüş dinamiği modeli anlatılacaktır. Taşıt dinamiği modeli için de yeterli koşulları sağlayabilecek bir lastik modeli gerekmektedir. Bu kısımda lastik modeli ile ilgili ön bilgiler verilecektir.

1.1.3.1 Statik ve Yuvarlanan Lastik Karakteristikleri

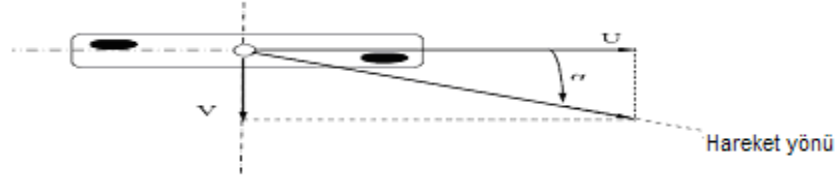
Yanal ve doğrusal kuvvetlere maruz kalan lastikteki deformasyonları belirlemek için lastik statik testleri uygulanır. Bu testler esnasında lastik karakteristiği şişirme basıncının bir fonksiyonu olup lineer özelliğe sahiptir. Oluşturulan maksimum yanal lastik kuvvetler lastiğin kayması ile sınırlıdır.

Yanal kuvvet ile dikey kuvvet aynı anda uygulandığında dikey deformasyon az miktarda artar. Bu deformasyon artışı, virajlarda taşıtın seyir ve sürüş cevabının birbirine bağlı olduğunu gösterir (Olatunbosun [7]).

Yuvarlanan lastik özellikleri ile yanal kuvvet karakteristikleri geliştirilmiştir. Lastiğe gelen yanal kuvvetler viraj sertliği kavramını ortaya çıkartmaktadır.

1.1.3.2 Viraj Sertliği Kavramı

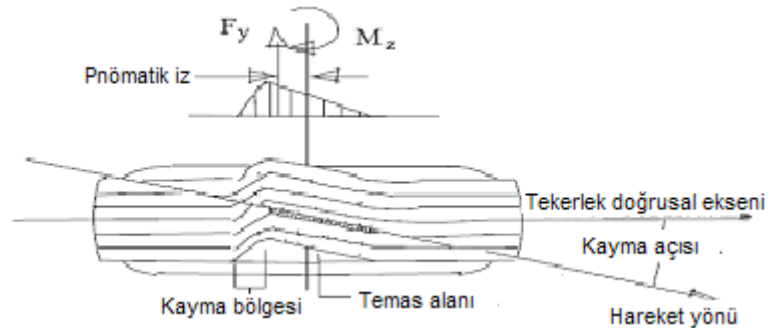
Viraj alma sırasında tekerleklere verilen yönlendirme hareketi, şekil 1.11’de gösterildiği gibi yuvarlanan lastiğin doğrusal yönü ile hareket yönü arasında bir açığa sebep olur.



Şekil 1. 11 Kayma açısı oluşumu [8]

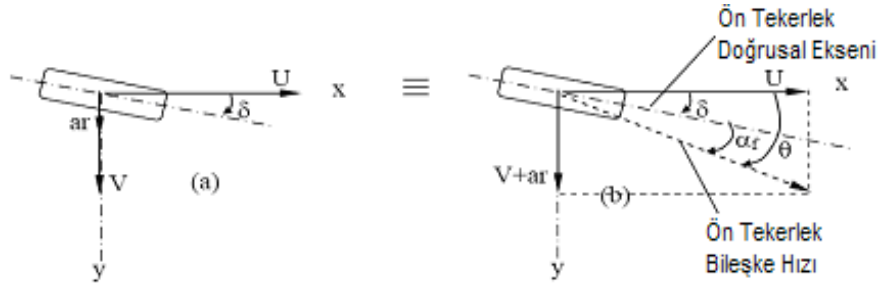
Yönlendirme hareketi şekil 1.12’de görüleceği üzere, yol yüzeyi üzerinde lastiğin temas alanı boyunca lastik üzerinde bir deformasyon meydana getirir. Bu deformasyon, yol ile lastik arasında doğrusal eksene dik oluşan kuvvetlerin, deforme olmuş yüzey boyunca dağıtılmış şekilde var olmasına sebep olur. Yanal lastik kuvveti (F_y) olarak bilinen bu kuvvetler bileşkesi genellikle yönlendirme ekseninin arkasındaki bir noktaya uygulanır. Yanal lastik kuvveti (F_y), yönlendirme eksenine doğru, hareket yönünde tekerleğe yeniden hizalanma eğilimi sağlayacak bir moment üretir. Bu yüzden oluşan bu moment kendiliğinden hizalama momenti olarak adlandırılır.

Yönlendirme arttıkça yanal kuvvet de artış göstermektedir. Yanal kuvvetin maksimum değerine ulaşıldığında lastik yol üzerinde kaymaya başlayacaktır. Kayma esnasında lastik doğrusal eksenini ile hareket yönü arasında oluşan bu açığa kayma açısı adı verilmektedir. Genellikle 5 dereceye kadar olan kayma ifadesi, lastiğin malzemesinden kaynaklı deformasyonunu ifade etmektedir (Olatunbosun [7]).



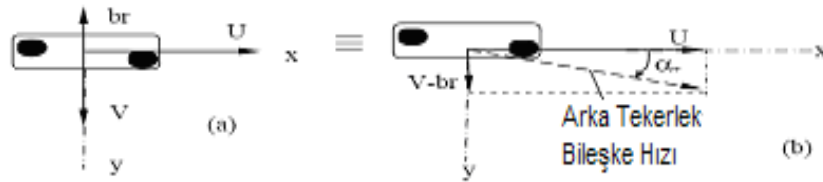
Şekil 1. 12 Yuvarlanan lastikte yanal kuvvet altında oluşan deformasyon [8]

Ön tekerleklerden yönlendirmeye sahip taşıtın ön ve arka lastiklerinde oluşan kayma açısı ifadeleri şekil 1.13 ve şekil 1.14'te gösterilmektedir.



Şekil 1.13 Ön lastik hız bileşenleri, yönlendirme açısı ve kayma açısı [8]

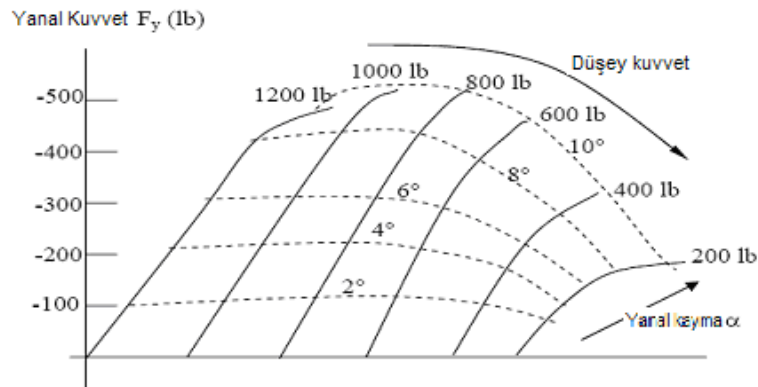
$$\alpha_f = \frac{V+ar}{U} - \delta \quad (1.19)$$



Şekil 1.14 Arka lastik hız bileşenleri ve kayma açısı [8]

$$\alpha_r = \frac{V-br}{U} \quad (1.20)$$

Yanal lastik kuvveti (F_y) ile farklı lastik kayma açıları (α) arasındaki ilişki şekil 1.15'te görüldüğü gibidir. Şekilden de görüleceği gibi dikey lastik kuvveti de bu ilişkiye dahildir. Küçük kayma açılarında, herhangi bir dikey kuvvet altında yanal kuvvet ile kayma açısı arasındaki ilişki lineerdir. Kayma açısı taşıtlarda dönüş esnasında nadiren 5 dereceyi aşar. Bu nedenle yanal lastik kuvveti ile kayma açısı arasında lineer bir ilişki olduğu kabulü yapılabilir. Bu lineer ilişkiden hareketle grafiğin başlangıç eğimi viraj sertliği (C) olarak tanımlanır.



Şekil 1.15 Yanal lastik kuvveti ile kayma açısı ilişkisi

1.1.4 Sıklıkla Kullanılan Lastik Modelleri

1.1.4.1 Fiala Lastik Modeli

Fiala lastik modeli, fren dinamiği özellikleri ile ilgili teorik açıklamaları içermektedir. Kolay ve hızlı bir model olmasına rağmen pnomatik iz kavramını içermemesinden dolayı doğruluk bakımından kesindir denemez.

Pnömatik iz, serbest yuvarlanma ve viraj manevralarında önemli değerlere sahip olduğu için göz ardı etmek doğru değildir.

Basıncın düzgün dağılımı, temas noktasında oluşan merkezde toplanan kuvvet fikri ile uyuşmamaktadır. Dalga merkezi, temas noktası merkezinde olur ve bu yüzden pnömatik iz yoktur. Ancak temel düzeyde taşıt analizleri için kolay kullanılan bir model olması yerine göre avantaj sağlamaktadır (Uzunsoy [8]).

1.1.4.2 Magic Formül Lastik Modeli

Günümüzde temel lastik tanımlamasında en çok ilerleme kaydeden model Magic formül lastik modelidir.

Modelin temeli aşağıda verilen ilişki ile tanımlanabilir. Yoldan gelen hareketli kuvvet ve momentlerin boyuna, yatay ve kamber kayma koşulları eş zamanlı dahi olarak matematiksel formül ile açıklanabilir. Temel formül (Kusaka [9]):

$$F_y = D \cdot \sin(C \cdot \tan^{-1}(B \cdot x - E \cdot (B \cdot x - \tan^{-1}(B \cdot x)))) + S_{vy} \quad (1.21)$$

$$x = \alpha + S_{hy} \quad (1.22)$$

Burada;

B: Katılık faktörü

C: Biçim faktörü

D: En yüksek değer

E: Eğrilik faktörü

S_h : Yatay değişme

S_v : Dikey değişme

α : Kayma açısıdır.

Magic formülü 80'in üzerinde katsayısı belirlemek için önemli miktarda deneysel veriye ihtiyaç duyar. Bulunan formül ile elde edilen eğriler, ölçülen verilerin oluşturacağı eğrilerden daha etkilidir (Uzunsoy, [8]).

1.1.4.3 Dugoff Lastik Modeli

Dugoff'un modeli, bileşik yanal ve doğrusal lastik kuvveti üretimi altındaki kuvvetlerin hesaplanmasını hesaba katar. Lastik temas alanı üzerinde üniform bir dikey basınç dağılımı olduğunu varsayar. Bununla beraber, lastik sertliği için yanal ve doğrusal yönlerde bağımsız değerlere müsaade etmesi ile model önemli bir avantaja sahiptir. Çünkü lastik içinde doğrusal sertlik yanal sertlikten oldukça farklı olabilmektedir.

Magic Formula lastik modeli ile karşılaştırıldığında kuvvet denge hesaplamalarından analitik olarak türetilmiş bir model olması Dugoff'un modelinin avantajıdır.

1.1.4.4 Allen Lastik Modeli

Model yapısı ve matematiksel ifadeler, Allen lastik modelinin bu çalışmada kullanılacak olması sebebiyle Bölüm 3'te detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

1.2 Tezin Amacı

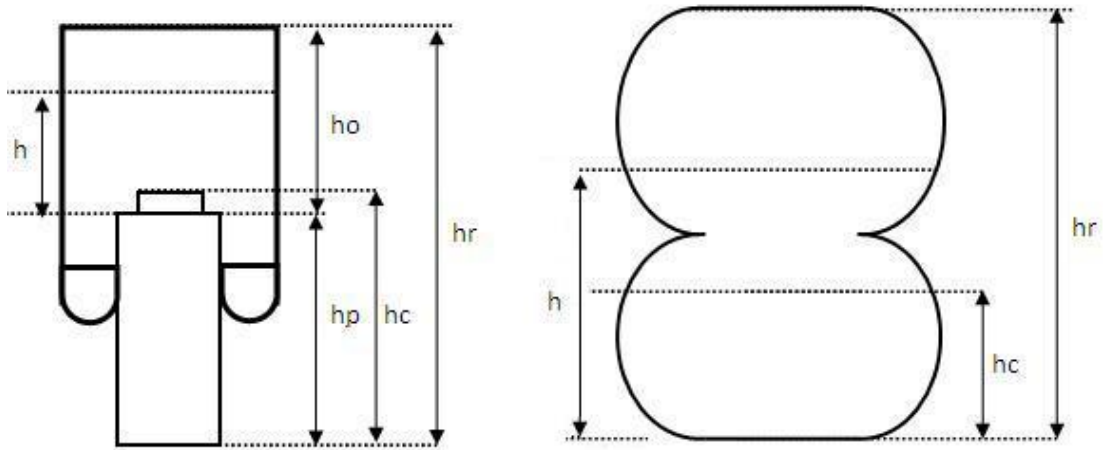
Helisel yaylar doğrusal karaktere sahip süspansiyon elemanlarıdır. Helisel yayların katılıkları tasarım aşamasında bir defaya mahsus olarak ayarlanır ve çalışma esnasında sabit katılığa sahiptirler. Hava yaylarının katılığı ise çalışma sırasında değişmektedir. Bu tezin amacı, bir hava yayı modelini ele almak suretiyle, hava yaylarının değişken katılık karakterini kullanarak, aynı hava yayları taşıt üzerinde sabit kalmak koşuluyla, hava yaylarının statik durumdaki seviyelerini değiştirerek, aktif kontrol dışında klasik olarak taşıtın sürüş dinamiğine olan etkilerini gözlemlemektir.

1.3 Bulgular

Hava yayı modeli hava yayı içindeki havanın moleküler değişiminden dolayı termal proses ve esnek malzeme yapısından dolayı geometriksel değişim olmak üzere iki konu baz alınarak oluşturulmalıdır.

Değişken katılık özellikleriyle hava yayları farklı tasarım yüksekliklerinde ayarlanarak taşıtın sürüş özelliklerini herhangi bir donanımsal çalışma gerektirmeksizin değiştirme esnekliğine sahiptir.

2.1 Hava Yayının Modellenmesi



Şekil 2. 1 Modellemede kullanılan hava yaylarının şematik gösterimi

Havalı yaylar doğrusal olmayan kuvvet-çökme davranışına sahiptir. Bu davranış büyük ölçüde parça geometrisine bağlıdır ve sadece üretici verileri mevcut ise hesaplanabilir. (Chondros vd. [10]).

Hava yaylarının çalışması esnasında efektif alan değişkenlik göstermektedir. Efektif alan değişimi kıvrılabilir silindirik hava yaylarında çok küçük olduğundan bu tip hava yayı modelinde efektif alan sabit kabul edilmektedir. Çok katlı hava yaylarında efektif çapın teknik resimde belirtilen maksimum ve minimum efektif çaplar arasında belirli aralıklarla değiştiği kabul edilip her bir efektif çapa karşılık gelen efektif alanlar

hesaplanmaktadır. Bu çalışmada üç katlı hava yayı kullanılmıştır. Model parametreleri Ek-A' da verilmiştir. Minimum, maksimum ve efektif alan değişim denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$A_0 = \pi \frac{d_{\min}^2}{4} \quad (2.1)$$

$$A = \pi \frac{d_{\max}^2}{4} \quad (2.2)$$

$$A_{\text{ort}} = \pi \frac{d_{\text{ort}}^2}{4} \quad (2.3)$$

$$d_{\text{art}} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{h_{r0} - h_c - 1} \quad (2.4)$$

$$d_{\text{ort}} = [d_{\min} : d_{\text{art}} : d_{\max}] \quad (2.5)$$

Sistem piston silindir mekanizması şeklinde düşünüldüğünde hacim, efektif alan ile hava yayı yüksekliği çarpımından elde edilir.

$$V = A_{\text{ort}} * h \quad (2.6)$$

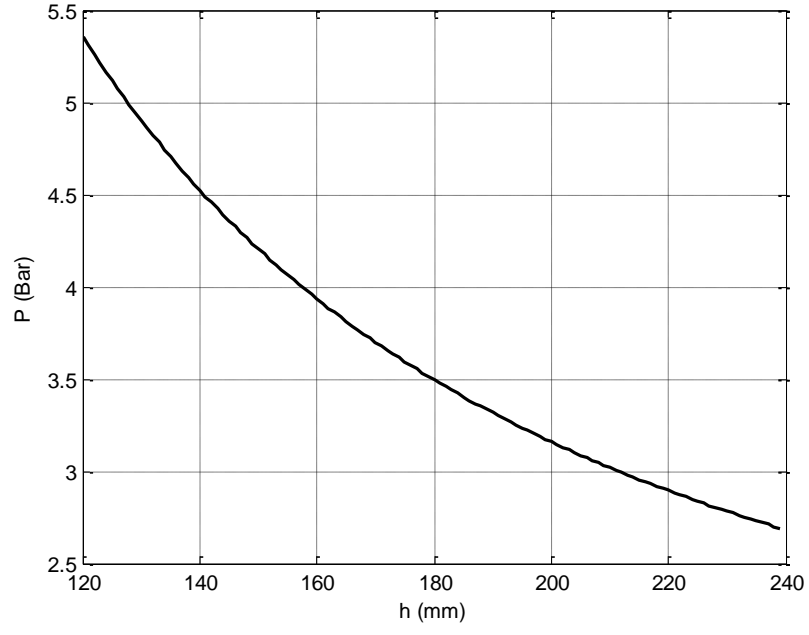
Üst basınç değeri denklem (1.7) 'den;

$$P_g = \frac{P_0 V_0}{V} \quad (2.7)$$

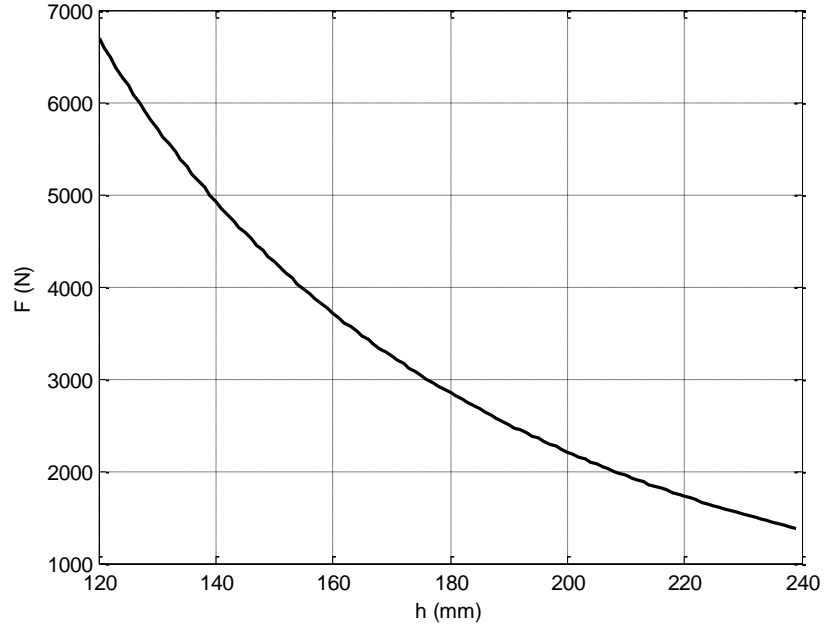
olarak hesaplanır.

Mutlak basınç değeri için denklem (1.18) ve taşıma kuvveti değeri için de denklem (1.17) kullanılmıştır.

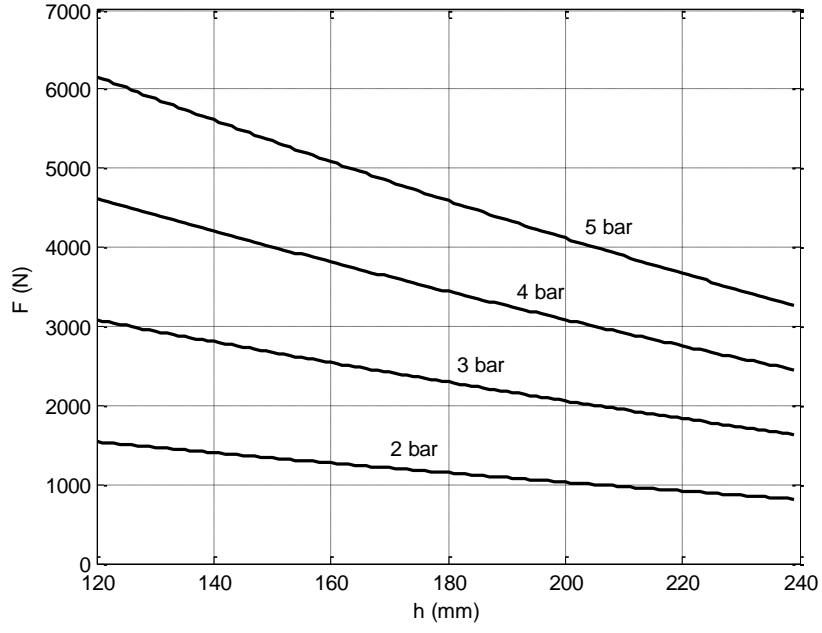
Mutlak basınç ve taşıma kuvvetinin hava yayı yüksekliğine bağlı değişim grafikleri şekil 2.2 ve şekil 2.3'te görüldüğü gibidir. Bu grafikler politropik prosese göre çizdirilmiş olup politropik üs olarak $n=1.38$ değeri kullanılmıştır. Şekil 2.4'te de sabit basınç altında taşıma kuvveti grafiği görülmektedir. Bu grafik politropik prosese göre çizdirilmiş olup $n=1$ değeri kullanılmıştır.



Şekil 2. 2 Hava yayı yüksekliğine karşılık mutlak basınç değişim grafiği



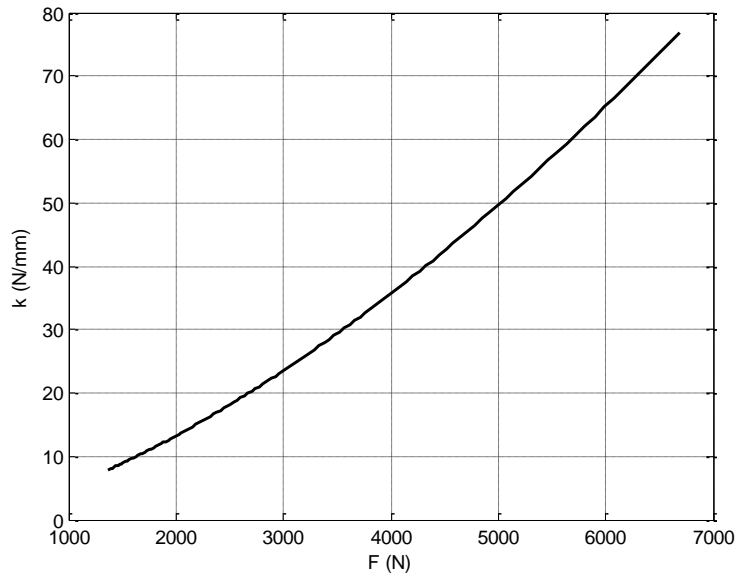
Şekil 2. 3 Hava yayı yüksekliğine karşılık taşıma kuvveti değişim grafiği



Şekil 2. 4 Sabit basınç altında hava yayı yüksekliğine karşılık taşıma kuvveti grafiği

Şekil 1.5'te katlı körüklerde efektif alanın taşıma kuvvetine etkisinden bahsedilmişti. Şekil 2.4'teki grafikte, kuvvetteki değişim efektif alan değişiminden kaynaklanmaktadır ve bahsi edilen konuyu desteklemektedir.

Hava yayı katılığı denklem (1.16)'dan hesaplanmıştır. Şekil 2.5'te yük artışına göre hava yayı katılığı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 2. 5 Taşıma kuvvetine karşılık katılık değişim grafiği

LASTİK ve TAŞIT DİNAMIĞI MODELİ

3.1 Taşıt Dinamiği

Taşıt dinamiği genel kapsamda üç kısımda incelenmektedir.

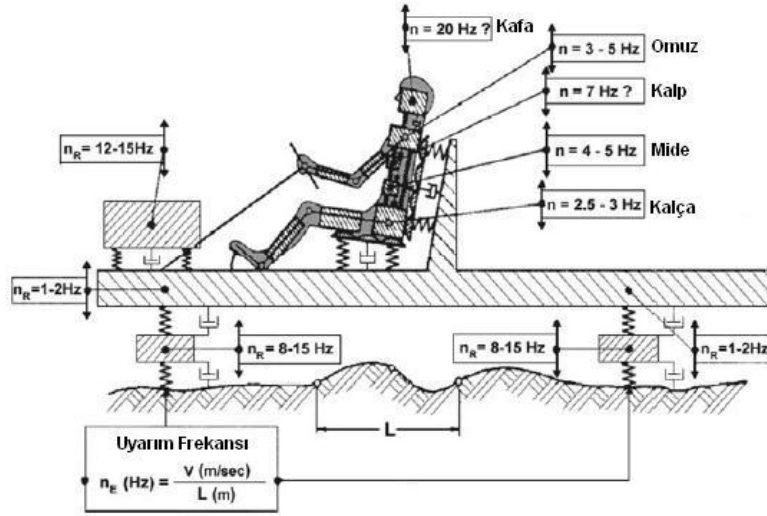
- Performans
- Seyir dinamiği
- Sürüş dinamiği

3.1.1 Performans

Performans, taşıtın güç ünitesinden başlamak üzere güç aktarma organlarıyla hareketin tekerleklere aktarılmasını ve bunun sonucunda yol ile lastik arasında oluşan kuvvet ve moment ilişkisini inceler. Taşıtın yokuş çıkabilme, ivmelenme ve frenleme gibi kabiliyetleri taşıt dinamiğinin performans kısmında yer alır.

3.1.2 Seyir Dinamiği

Temel olarak yoldan gelen düşey girdiler neticesinde asılı kütle ile asılı olmayan kütle arasındaki ilişkiyi inceler. Konfor parametresi seyir dinamiğinin temelini oluşturmaktadır. Konfor parametresinde amaç, asılı kütle için yoldan gelen girdilere hızlı cevap vererek asılı olmayan kütle için yol girdisinin minimum seviyede iletilmesini sağlamaktır. Seyir dinamiğinde taşıt içerisinde seyahat eden insanların organlarının salınım frekansları önem arz etmektedir.



Şekil 3. 1 İnsan vücudu ve taşıt salınım frekansları [1]

3.1.3 Sürüş Dinamiği

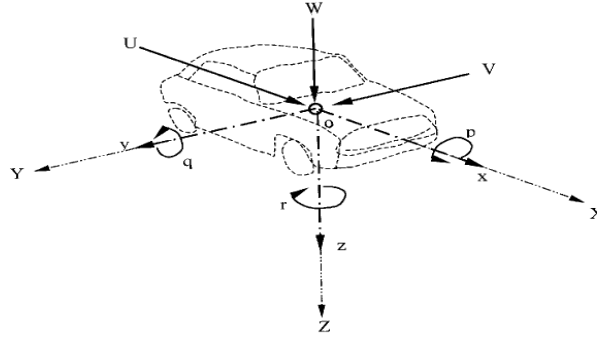
Sürüş dinamiği, taşıtın farklı yol koşullarında ve yanal ivmelerde göstermiş olduğu performansı inceler. Sürücü tarafından verilen girdilere taşıtın hızlı cevap verebilmesi güvenli bir sürüş dinamiği karakterinin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında yaygın yaklaşımın dışında, hava yayı kullanılan bir taşıtın sürüş dinamiği karakteristikleri ön planda tutularak karşılaştırmalı bir modelleme çalışması yapılmıştır.

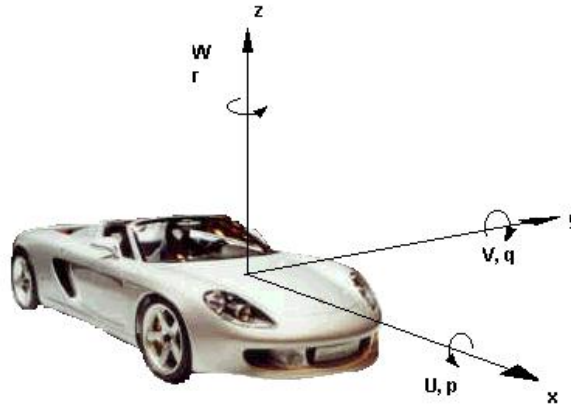
Kısım 3.2'de seçilen lastik modeli, taşıtın genel dinamik denklemleri ve taşıt özellikleri hakkında bilgi verilecektir. Model temel altı serbestlik derecesine ve her bir tekerleğin de serbestliği göz önünde bulundurularak toplamda on serbestlik derecesine sahip olacaktır.

3.2 Taşıt Sürüş Dinamiği Modeli

Sistem modellemesi için öncelikle eksen takımının belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde SAE ve ISO olmak üzere temel anlamda iki eksen takımı bulunmaktadır. Şekil 3.2 ve şekil 3.3 bu eksen takımlarını göstermektedir. Taşıt sürüş dinamiği modeli ISO eksen takımı kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 3. 2 SAE eksen takımı [8]

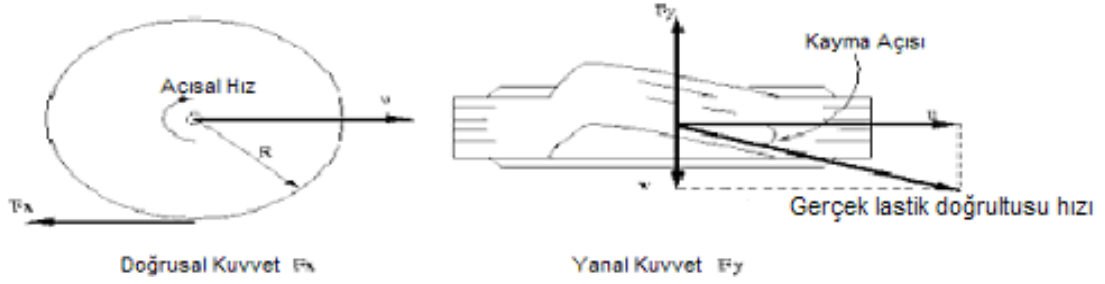


Şekil 3. 3 ISO eksen takımı [8]

3.2.1 Lastik Modellemesi

Sürüş esnasındaki tahrik ve frenleme ana kuvvetleri, sürücü girdisinin bir fonksiyonu olarak lastiklerden elde edilir (Allen [11]). Yeterli bir lastik modeli taşıtın dinamik cevabında kesin bir etkiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında hızlanma, frenleme, yönlendirme ve sürüş gibi durumlar söz konusu olduğu için doğrusal ve yanal kuvvetlerin etkileşimini içeren lastik kuvvetlerinin modellenebilmesi önem arz etmektedir. Bu kuvvet etkileşimlerini Allen lastik modelinin karşılayacağı düşünülerek çalışma kapsamında bu lastik modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Lastik kuvvet ve momentleri oluşturulan sürüş dinamiği taşıt modeline entegre edilmiştir. Bu noktadan itibaren oluşturulan lastik modeli denklemlerine yer verilecektir.

Yanal ve doğrusal kuvvetler, lastiğin yola göre olan kayma açısının ve doğrusal kaymasının bir fonksiyonudur.



Şekil 3. 4 Temel lastik değişkenleri

Lastiğin doğrusal kayması, lastik teğetsel hızı ile yola göre tekerler merkez hızı arasındaki fark olarak tanımlanır ve aşağıdaki denklemler ile gösterilir:

$$S = (u - R\omega) / u \quad (\text{eğer } u > R\omega \text{ ise}) \quad (3.1)$$

$$S = (R\omega - u) / u \quad (\text{eğer } u < R\omega \text{ ise}) \quad (3.2)$$

Burada, S doğrusal kayma, R tekerlek yarıçapı, ω açısal hız ve u tekerlek merkez hızıdır. Doğrusal kayma değeri, $|S| \leq 1$ olarak sınırlanır. Frenleme durumunda, ω sıfır olduğunda doğrusal kaymanın 1 olması için paydada tekerlek merkez hızı bulunur. Çekiş kuvveti üretilirken ise kayma ters işarete sahip olur.

Lastik, yanal kuvvet oluştuğunda bu yanal kuvvete karşı bir yanal kayma hızı üretecektir. Kayma açısı bu yanal kayma hızının bir fonksiyonudur. Kayma açısı şu şekilde tanımlanır:

$$\alpha = \tan^{-1} (v / u) \quad (3.3)$$

Burada, v yanal kayma hızı ve u tekerlek merkez hızıdır. Kayma açısının değeri $|\alpha| \leq 90^\circ$ olarak sınırlanır (Allen [12]).

Allen lastik modelinde; Kompozit bir kaymanın fonksiyonu olarak karmaşık ve yüksek derecede nonlinear bir kompozit kuvvet ortaya çıkar. Her normal yük ve sürtünme katsayısı değeri ile kompozit bir kuvvet elde etmek için denklem 3.4'te gösterildiği gibi bir doyma fonksiyonu $f(\sigma)$ tanımlamak uygundur (Allen [12]):

$$f(\sigma) = \frac{F_c}{\mu F_z} \quad (3.4)$$

Doyma fonksiyonun polinomal sunumu, kompozit kayma σ ve deneysel katsayıların bir fonksiyonudur ve şu şekilde verilir (Şahin [13]):

$$f(\sigma) = \frac{F_c}{\mu F_z} = \frac{C_1 \sigma^3 + C_2 \sigma^2 + (4/\pi) \sigma}{C_1 \sigma^3 + C_3 \sigma^2 + C_4 \sigma + 1} \quad (3.5)$$

C_1, C_2, C_3 ve C_4 katsayıları lastik yapısına göre farklılık gösterir. Çizelge 3.1, üç farklı tip lastik için bu parametreleri göstermektedir.

Lastik temas yüzey genişliği normal yüke bağlı olarak değişmektedir. Lastik temas yüzey genişliği a_p , şu şekilde hesaplanır (Allen [12]):

$$a_{p0} = \frac{0.0768\sqrt{F_z F_{zT}}}{T_w(T_p+5)} \quad (3.6)$$

$$a_p = a_{p0}\left(1 - K_a \frac{F_x}{F_z}\right) \quad (3.7)$$

Burada K_a lastik temas yüzey katsayısı, T_p lastik basıncı, T_w diş genişliği ve F_{zT} tasarlanan lastik yüküdür.

Çizelge 3. 1 Farklı lastik tipleri için model değişkenleri

Parametre	RWD radyal	RWD çapraz katlı	FWD radyal
Lastik Numarası	155SR13	P155/80D13	P185/70R13
T_w	6	6	7.3
T_p	24	24	24
F_{zT}	810	900	980
C_1	1.0	0.535	1.0
C_2	0.34	1.05	0.34
C_3	0.57	1.15	0.57
C_4	0.32	0.8	0.32
A_0	914.02	1817	1068
A_1	12.9	7.48	11.3
A_2	2028.24	2455	2442.73
A_3	1.19	1.857	0.31
A_4	-1019.2	3643	-1877
K_a	0.05	0.2	0.05
K_1	-0.0000122	-0.000257	0.000008
CS/FZ	18.7	15.22	17.91
μ_0	0.85	0.85	0.85

Yanal ve doğrusal sertlik katsayıları aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilir (Allen [12]):

$$K_s = \frac{2}{a^2 p_0} \left(A_0 + A_1 F_z - \frac{A_1}{A_2} F_z^2 \right) \quad (3.8)$$

$$K_c = \frac{2}{a^2 p_0} F_z (CS/FZ) \quad (3.9)$$

Kompozit kayma ifadesi ise şu şekildedir (Allen [12]):

$$\sigma = \frac{\pi a_p^2}{8\mu_0 F_z} \sqrt{K_s^2 \tan^2 \alpha + K_c^2 \left(\frac{S}{1-S} \right)^2} \quad (3.10)$$

Lastik kuvvetlerinin hesaplanmasında doğrusal sertlik katsayısının düzenlenmiş bir formu kullanılır (Şahin [13]):

$$K'_c = K_c + (K_s - K_c)\sqrt{\sin^2\alpha + S^2\cos^2\alpha} \quad (3.11)$$

Polinomal doyma fonksiyonu, yanal ve doğrusal sertliklerin de katılmasıyla, düzenlendiğinde aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\frac{F_y}{\mu F_z} = \frac{f(\sigma)K_s \tan\alpha}{\sqrt{K_s^2 \tan^2\alpha + K_c'^2 S^2}} + Y_\gamma \quad (3.12)$$

$$\frac{F_x}{\mu F_z} = \frac{f(\sigma)K_c' S}{\sqrt{K_s^2 \tan^2\alpha + K_c'^2 S^2}} \quad (3.13)$$

Yanal kuvvet, γ lastik kamber açısı nedeniyle ek bir bileşene sahiptir.

Büyük yanal ve doğrusal kayma oluşturan dönüş koşulları altında kuvvet, genel bir kayma sürtünmesi değerine yakınsar. Doğrusal sertlik katsayısı K_μ ile ifade edilen sürtünme katsayısı parametresinde olduğu gibi, yüksek kaymalarda yanal sertlik katsayısına geçiş için tekrar düzenlenir (Allen [12]).

$$\mu = \mu_0 [1 - K_\mu \sqrt{\sin^2\alpha + S^2\cos^2\alpha}] \quad (3.14)$$

μ denklem 3.14'te görüleceği üzere μ_0 ve K_μ 'nın bir fonksiyonudur. Lastik yol sürtünme katsayısı pik değeri olan μ_0 aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\mu_0 = 1.176\mu_{nom}(B_1 F_z + B_3 + B_4 F_z^2) \quad (3.15)$$

Geçiş parametresi K_μ ise şu şekilde hesaplanır:

$$K_\mu = \frac{1}{11} V^{1/4} \quad (3.16)$$

Nominal sürtünme katsayısı μ_{nom} normal yol koşulları için 0.85, ıslak yol koşulları için 0.3 ve buzlu yol koşulları için de 0.1 değerlerine sahip olabilmektedir (Allen [12]).

Yukarıda ayrıntıları verilen Allen lastik modeli ile taşıt dinamiği modeli için gerekli olan doğrusal ve yanal kuvvetler seçilen lastik özelliklerine göre hesaplanabilir hale gelmiştir. Bu çalışmada taşıt için kullanılan lastiğin standart gösterimi P185/70 R 13'tür. Bu lastiğe ait veriler Çizelge 3.2 'de gösterilmiştir. Bu veriler ışığında hesaplanan değerler taşıt dinamiği modelinde kullanılacaktır.

Çizelge 3. 2 P185/70 R 13 için Allen lastik model parametreleri [11]

μ_0	0.85	B_1, B_3, B_4	-0.000169, 1.04, 1.69×10^{-8}
K_a	0.05	T_p	24 psi
K_1	0.000008	T_w	7.3 in
C_1, C_2, C_3, C_4	1, 0.34, 0.57, 0.32	$A_0, A_1, A_2, A_3,$	1068, 11.3, 2442.73, 0.31, -1877
CS/FZ	17.91	F_{zT}	980 lbs

3.2.2 Taşıt Hareket Denklemleri

Taşıt hareket denklemleri Newton-Euler yaklaşımı esas alınarak oluşturulmuştur. Newton-Euler yaklaşımında uygulanan kuvvet ve momentlerin her biri için x, y ve z yönlerinde üç eşitlik yazılabilir.

x, y ve z yönlerinde gövdeye uygulanan kuvvetler;

$$\sum F_x = m(\dot{U} - rV + qW) \quad (3.17)$$

$$\sum F_y = m(\dot{V} - pW + rU) \quad (3.18)$$

$$\sum F_z = m(\dot{W} - qU + pV) \quad (3.19)$$

x, y ve z yönlerinde gövdeye uygulanan momentler;

$$\sum M_x = I_{xx} \dot{p} - (I_{yy} - I_{zz})qr + I_{yz}(r^2 - q^2) - I_{zx}(qp + \dot{r}) + I_{xy}(pr - \dot{q}) \quad (3.20)$$

$$\sum M_y = I_{yy} \dot{q} - (I_{zz} - I_{xx})rp + I_{zx}(p^2 - r^2) - I_{xy}(rq + \dot{p}) + I_{yz}(qp - \dot{r}) \quad (3.21)$$

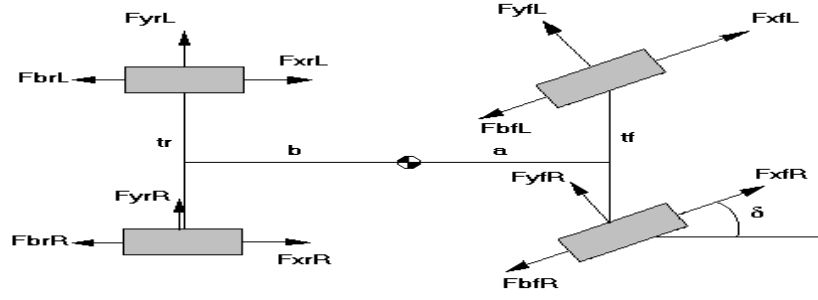
$$\sum M_z = I_{zz} \dot{r} - (I_{xx} - I_{yy})pq + I_{xy}(q^2 - p^2) - I_{yz}(pr + \dot{q}) + I_{zx}(rq - \dot{p}) \quad (3.22)$$

Hareket denklemlerinin hareketli kısımlara ilişkin koordinat sistemlerine göre yazılması durumunda hareketli koordinatlar gövde ile birlikte yer değiştirecek ve dönecektir. Gövdeye bağlı eksen sistemi kullanıldığında koordinat sistemi ile gövdenin temel eksenleri çakışacak ve I_{xy} , I_{xz} ve I_{yz} atalet çarpım momentlerinin her biri sıfır olacaktır. Bu durumda, yeni moment denklemleri (Olatunbosun [7]) ;

$$\sum M_x = I_{xx} \dot{p} - (I_{yy} - I_{zz})qr \quad (3.23)$$

$$\sum M_y = I_{yy} \dot{q} - (I_{zz} - I_{xx})rp \quad (3.24)$$

$$\sum M_z = I_{zz} \dot{r} - (I_{xx} - I_{yy})pq \quad (3.25)$$



Şekil 3.5 Bir taşıta etki eden kuvvetler [8]

Şekil 3.5'te F_x tahrik kuvvetini, F_y yanal kuvveti, a ağırlık merkezinin ön akstan uzaklığını, b ağırlık merkezinin arka akstan uzaklığını, t_f ön tekerlek izini, t_r arka tekerlek izini, R sağ, L sol ve δ da yönlendirme açısını temsil etmektedir.

Şekil 3.5'te belirtilen kuvvetlere göre dört serbestlik dereceli hareket denklemleri şu şekilde türetilebilir;

$$\sum F_x = (F_{xrL} + F_{xrR} + (F_{xfL} + F_{xfR})\cos\delta - F_{brL} - F_{brR} - (F_{bfL} + F_{bfR})\cos\delta - (F_{yfL} + F_{yfR})\sin\delta) \quad (3.26)$$

$$\sum F_y = (F_{yrL} + F_{yrR} + (F_{yfL} + F_{yfR})\cos\delta + (F_{xfL} + F_{xfR})\sin\delta - (F_{bfL} + F_{bfR})\sin\delta) \quad (3.27)$$

$$\sum M_x = (m_s(\dot{V} - pW + rU)d + m_s g d \Phi - C_\Phi \dot{\Phi} - K_\Phi \Phi) \quad (3.28)$$

$$\sum M_z = \left(a(F_{yfL} + F_{yfR})\cos\delta + \left(\frac{t_f}{2}\right)(F_{yfL} - F_{yfR})\sin\delta + a(F_{xfL} + F_{xfR})\sin\delta + \left(\frac{t_r}{2}\right)(F_{brL} - F_{brR} - F_{xrL} + F_{xrR}) - b(F_{yrL} + F_{yrR}) - \left(\frac{t_f}{2}\right)(F_{xfL} + F_{bfR} - F_{xfR} - F_{bfL})\cos\delta - a(F_{bfR} + F_{bfL})\sin\delta \right) \quad (3.29)$$

Denklemler düzenlendiğinde;

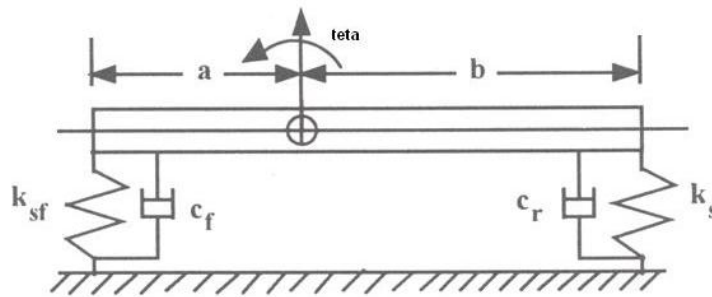
$$\dot{U} = ((F_{xfL} + F_{xfR} - F_{bfL} - F_{bfR})\cos\delta - (F_{yfL} + F_{yfR})\sin\delta + F_{xrL} + F_{xrR} - F_{brL} - F_{brR})/m + rV - qW \quad (3.30)$$

$$\dot{V} = \frac{(F_{yfL} + F_{yfR})\cos\delta + (F_{xfL} + F_{xfR} - F_{bfL} - F_{bfR})\sin\delta + F_{yrL} + F_{yrR}}{m} - rU + pW \quad (3.31)$$

$$\dot{p} = \frac{m_s(\dot{V} - pW + rU)d + m_sgd\Phi - C_\Phi\dot{\Phi} - K_\Phi\Phi + (I_{yy} - I_{zz})qr}{I_{xx}} \quad (3.32)$$

$$\dot{r} = \left((a(F_{yfL} + F_{yfR}) - \frac{t_f}{2}(F_{xfL} + F_{bfR} - F_{xfR} - F_{bfL}))\cos\delta + \left(\frac{t_f}{2}(F_{yfL} - F_{yfR}) + a(F_{xfL} + F_{xfR}) - a(F_{bfR} + F_{bfL})\right)\sin\delta + \frac{t_r}{2}(F_{brL} - F_{brR} - F_{xrL} + F_{xrR}) \right) / I_{zz} \quad (3.33)$$

denklemleri elde edilmiş olur. Yukarıdaki denklemlere sıçrama ve kafa vurma hareket serbestliklerini de içeren aşağıdaki denklemler eklendiğinde model altı serbestlik dereceli bir yapıya bürünür.



Şekil 3. 6 Bir taşıtın yandan şematik görünüşü

$$\dot{W} = \left([(ak_{sf} - bk_s)\theta] - [(k_s + k_{sf})W] \right) - [(c_f + c_r)\dot{W}] + [\dot{\theta}(c_f a - c_r b)] - [(m_s g)\theta] / m_s + \frac{F_{xr}}{m_s} + \dot{U}\dot{\theta} - (p\dot{W}) \quad (3.34)$$

$$\ddot{\theta} = \left([(ak_{sf} - bk_s)W] - [(k_s b^2 + k_{sf} a^2)\theta] + [\dot{W}(c_f a - c_r b)] - [(c_f a^2 + c_r b^2)\dot{\theta}] + [(I_{xx} - I_{zz})(\dot{r}\dot{p})] + [F_{xr}(H_{cg} + W)] \right) / I_{yy}$$

(3.35)

3.2.3 Taşıt Özellikleri

Oluşturulan hava yayı modeli ve klasik yay, hareket denklemleri elde edilmiş bir binek taşıt üzerinde 4.Bölüm’de sürüş dinamiği açısından performans karşılaştırmasına tabi tutulacaktır.

Simülasyonları gerçekleştirilecek olan 1300 kg kütleli binek taşıtın ön ve arka iz genişlikleri eşit olup 1.45 m dir. Ağırlık merkezinin ön aksa olan mesafesi 1.1 m, arka aksa olan mesafesi 1.35 m dir. Taşıt ağırlık merkezinin yerden yüksekliği klasik yaylı durumda 0.64m dir. Taşıtın sahip olduğu ön klasik yayların katılığı 40470 N/m, arka klasik yayların katılıkları ise 42850 N/m dir. Oluşturulan taşıt modelinde yayların deplasmanı göz önünde bulundurulmuş olup süspansiyon sisteminin kinematik davranışları ihmal edilmiştir. Direksiyon sisteminin çalışması esnasında iç ve dış teker açılarının eşit olduğu kabul edilmiş ve simülasyonlarda ortalama teker açısı kullanılmıştır. Yalpa merkezi yüksekliği ön ile arka süspansiyon için eşit kabul edilmiş olup yerden yüksekliği 0.37m dir ve yalpa merkezinin değişimi ihmal edilmiştir.

Taşıta hava yayı entegre edildiğinde taşıt ağırlık merkezinin yerden yüksekliği konfor modunda 0.64m, normal modda 0.624m, sürüş modunda 0.6187m dir. Hava yayı tasarım modları 4.Bölüm’de açıklanacaktır.

Taşıt özelliklerine ilişkin parametreler Ek-B’ de tablo halinde verilmiştir.

MATLAB-SİMULİNK ve SİMÜLASYONLAR

4.1 Giriş

MATLAB, teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılım geliştirme aracıdır. “Matrix Laboratory” kelimesinin kısaltması olan MATLAB, adında da anlaşılacağı üzere matrisler (matrix) yani diğer bir deyişle diziler (array) ile çalışır. Özellikle mühendislik alanındaki sistemlerin analizinde kullanılan MATLAB, görüntü işleme (image processing), yapay sinir ağları (artificial neural networks), sinyal işleme (signal processing), optimizasyon (optimization), veri elde etme (data acquisition), veritabanı (database), süzgeç tasarımı (filter design), bulanık mantık (fuzzy logic), sistem tanımlama (system identification) gibi araçlara sahip bir ortam sunar.

MATLAB’ın nasıl bir yazılım olduğunu anlamak için onu çok gelişmiş özellikleri olan, programlanabilen bir bilimsel hesap makinesine benzetebiliriz. MATLAB’de yazılan programlar, MATLAB’in kendine özgü dili kullanılarak yazılır ve MATLAB içinden çalıştırılır. Ayrıca yazılan programlar DLL ve EXE olarak oluşturulduğu gibi C/C++ kodlarına da çevrilebilir.

Problemler, MATLAB’de komut satırında çalışan programlar yazılarak çözülebildiği gibi MATLAB GUI geliştirme aracını kullanarak, formlar ve butonlar gibi nesnelere oluşan görsel yazılımlar ile de geliştirilebilir.

Simulink, Matlab programının grafiksel tasarım, simülasyon ve dinamik sistemlerin analizini yapan bir uzantısıdır. Bu uzantı sürekli zamanda, ayrık zamanda veya her ikisinin kombinasyonunda modellenmiş doğrusal ve doğrusal olmayan sistemleri

destekler. Kullanıcıya tıklama ve sürükleme gibi basit fare işlemleri ile modelleri blok şemaları şeklinde kurabilmesi için bir grafik arayüzü sağlar. Simulink geniş bir blok kütüphanesine sahiptir.

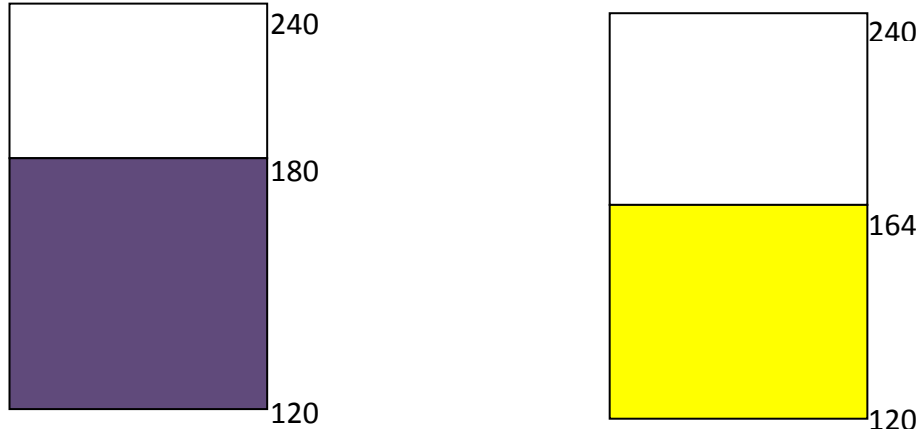
4.2 Simülasyonlar

Klasik hava yayı ve modeli oluşturulan hava yayı, taşıtın ön ve arka süspansiyonlarında üç farklı tasarım yüksekliğinde kullanılarak taşıt modeli ile sabit direksiyon açısında dönüş ve çift şerit değiştirme manevrası simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Hava Yayı Tasarım Modları

Kullanılan hava yayı, tam açıldığında üst noktasının yerden yüksekliği 240 mm, tam kapandığında ise 120 mm olmaktadır.

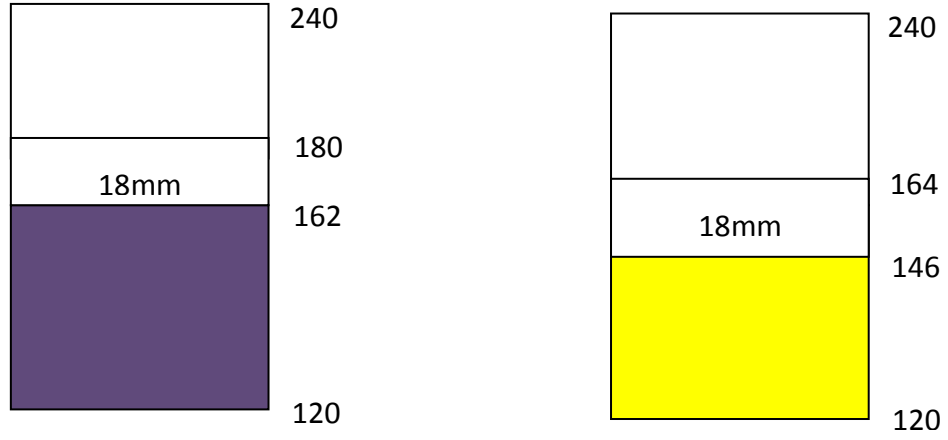
4.2.1.1 Konfor Modu



Şekil 4. 1 Konfor modunda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri

Konfor modunda tasarım yüksekliği ön için 180 mm arka için 164 mm olarak ayarlanmıştır.

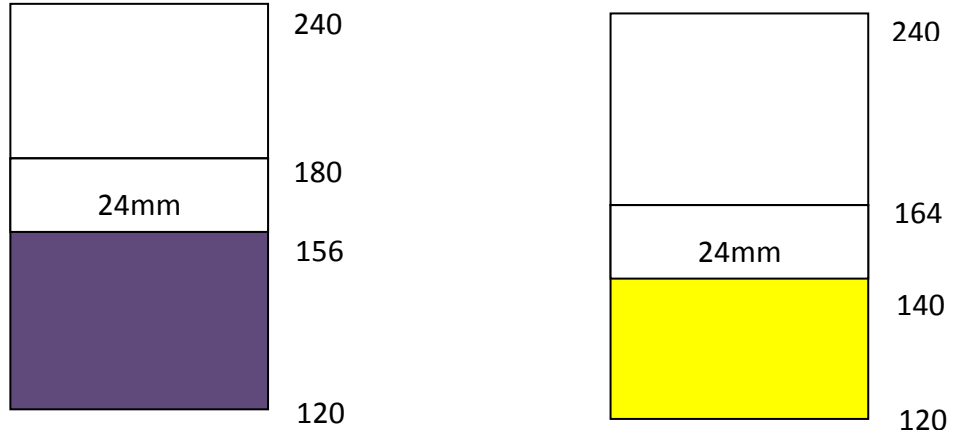
4.2.1.2 Normal Mod



Şekil 4. 2 Normal modda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri

Normal modda tasarım yüksekliği ön için 162 mm arka için 146 mm olarak ayarlanmıştır.

4.2.1.3 Sürüş Modu



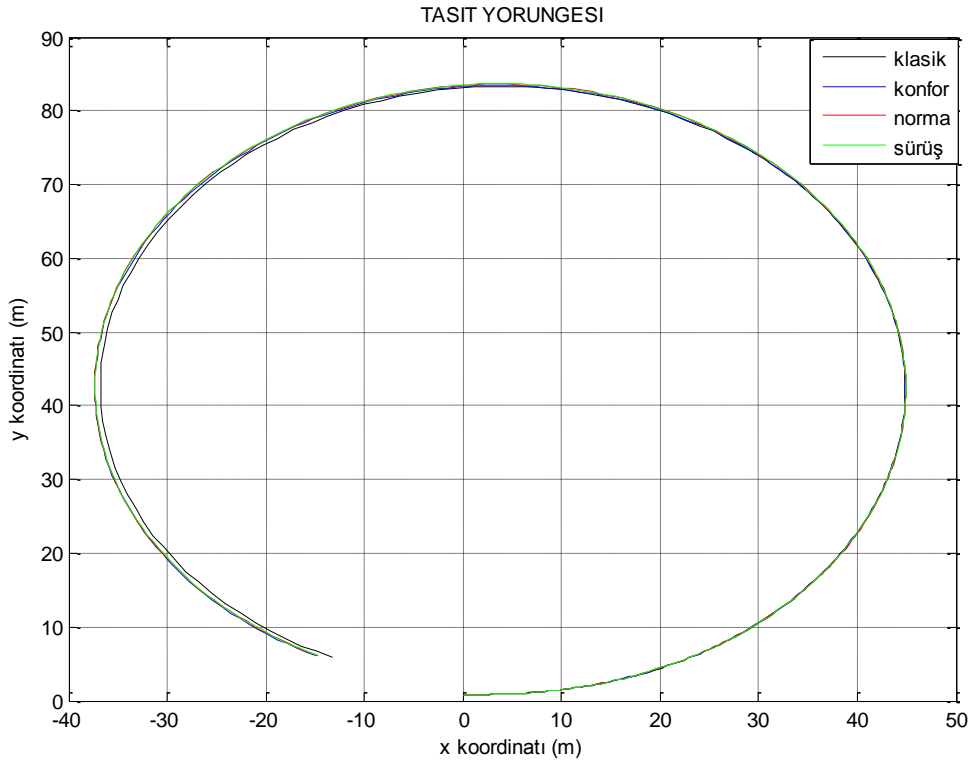
Şekil 4. 3 Sürüş modunda ön ve arka hava yayı tasarım yükseklikleri

Sürüş modunda tasarım yüksekliği ön için 156 mm arka için 140 mm olarak ayarlanmıştır.

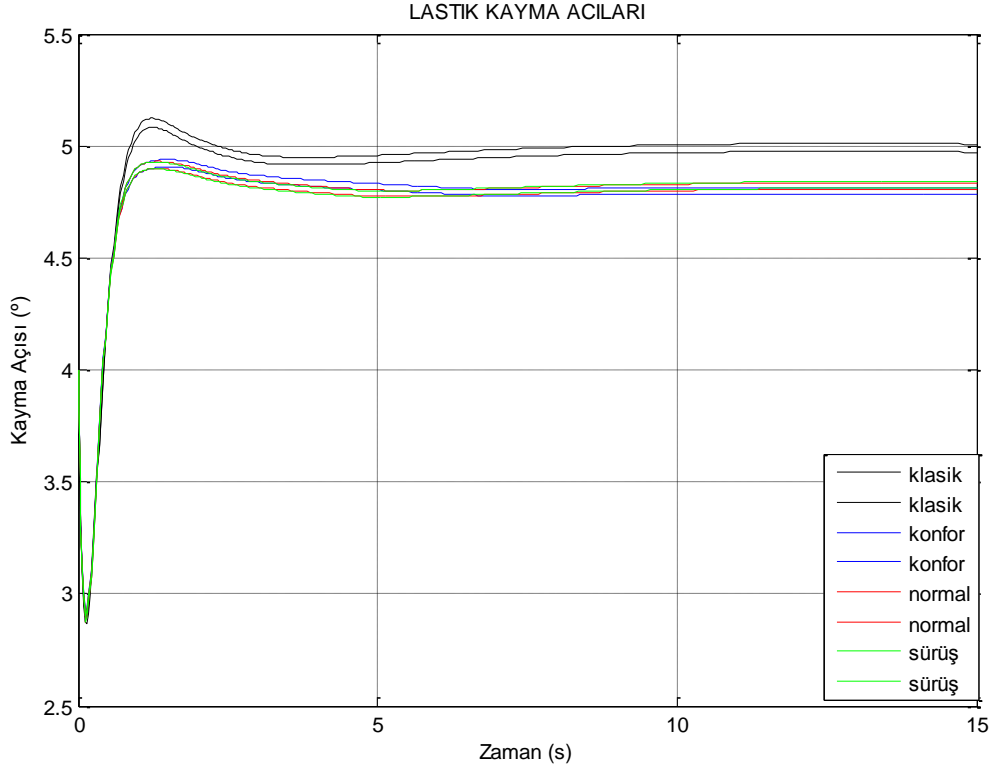
4.2.2 Sabit Direksiyon Açısında Dönüş Simülasyonu

Bu analizde 4 derece sabit teker açısında 60 km/h hızda klasik yaya ve bir önceki kısımda bahsedilen üç farklı seviyedeki havalı yaya sahip taşıt sürüş dinamiği modeli ile dönüş simülasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

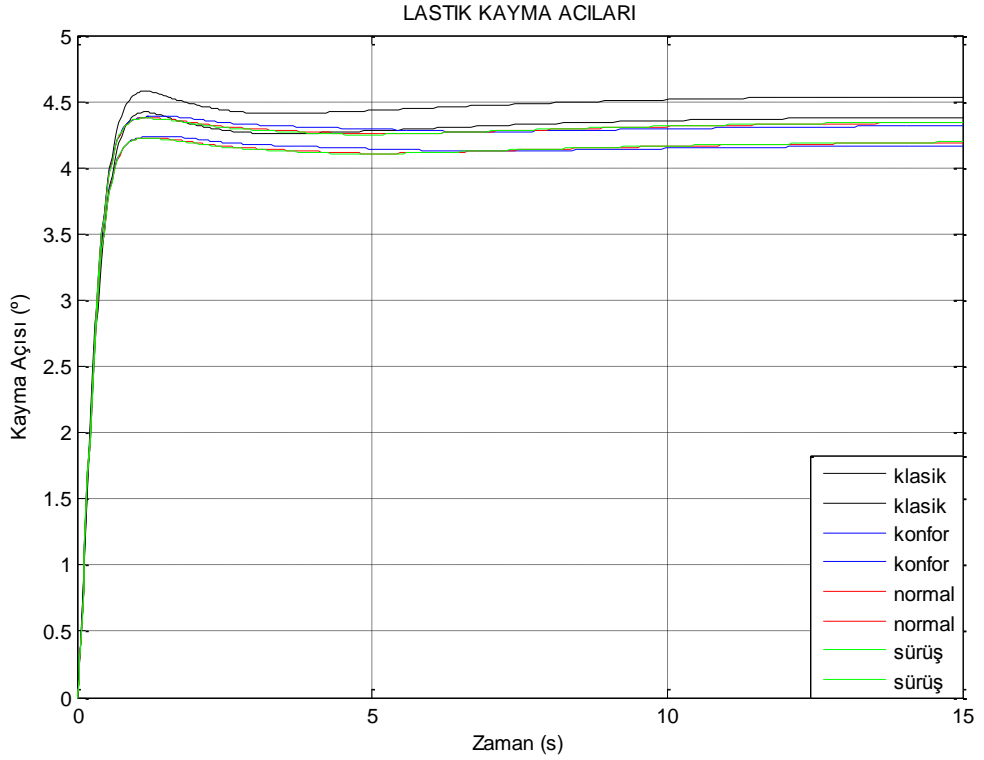
Farklı yaylara sahip taşıtın izlemiş olduğu yörüngeler şekil 4.4'te görülmektedir. Şekillerden anlaşılacağı üzere farklı yay kombinasyonları taşıtın yörüngesinde önemli bir değişikliğe neden olmamaktadır. Şekil 4.5 ve şekil 4.6'da görüldüğü üzere klasik yay lastik kayma açıları havalı yay kombinasyonlarına göre daha fazladır. Kayma açısındaki bu fark klasik yaylı taşıtta daha fazla önden kayma eğilimi göstermiştir. Şekil 4.7'da ise taşıt yalpa açıları karşılaştırılmıştır. Grafiklere göre konfor modundan sürüş moduna doğru yalpa açısında azalma olmaktadır. Klasik yay ile karşılaştırıldığında sürüş modunda hava yayı yüksek yalpa açısına sahip gibi görünse de merteye bakımından makul seviyede olduğu söylenebilir. Daha uygun bir hava yayı seçimi ve uygun denge çubuğu kullanımı ile yalpa açısının azaltılması mümkündür. Burada üzerinde durulan husus konfor modundan sürüş moduna doğru azalan yalpa açısı karakteristiğidir.



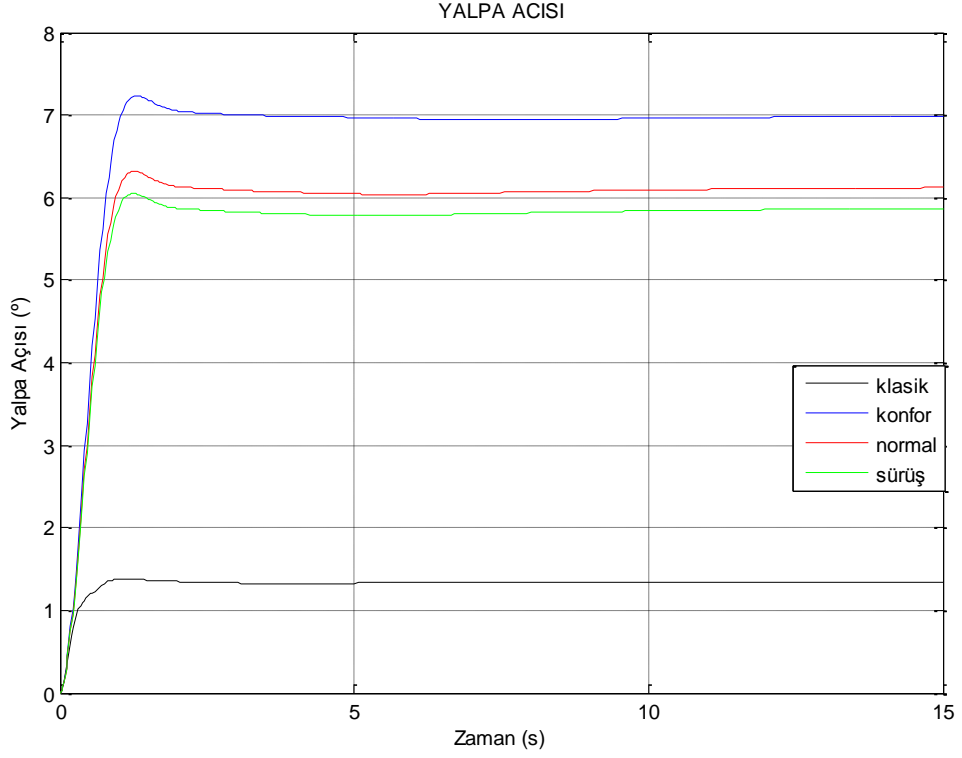
Şekil 4. 4 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda farklı yaylara sahip taşıtın izlediği yörüngeler



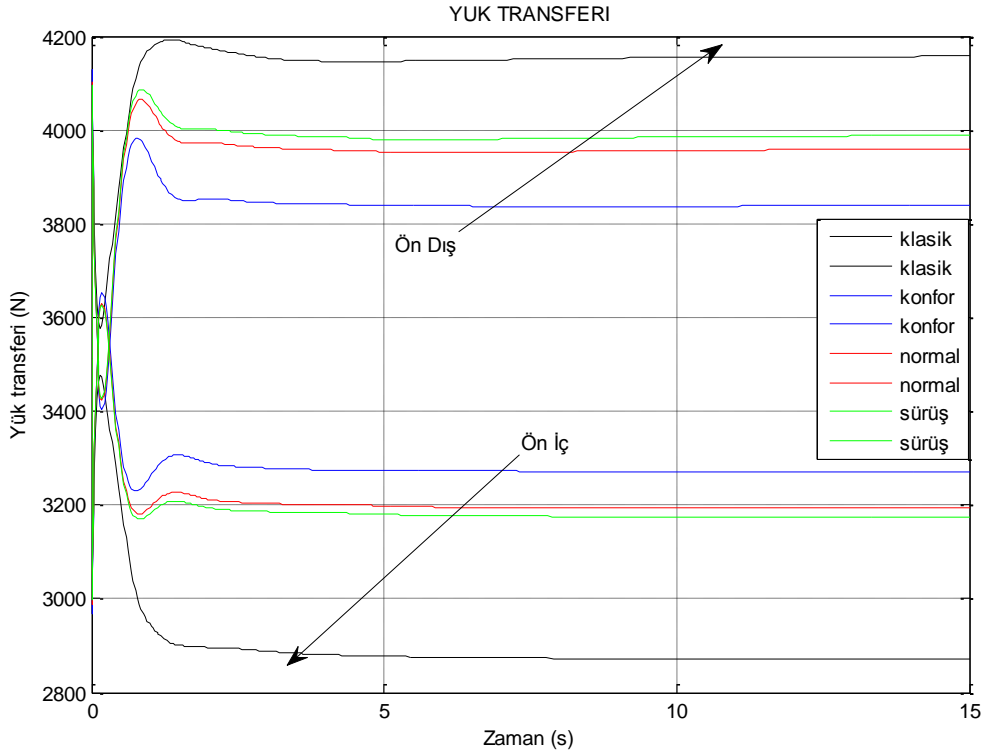
Şekil 4. 5 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda ön lastik kayma açıları



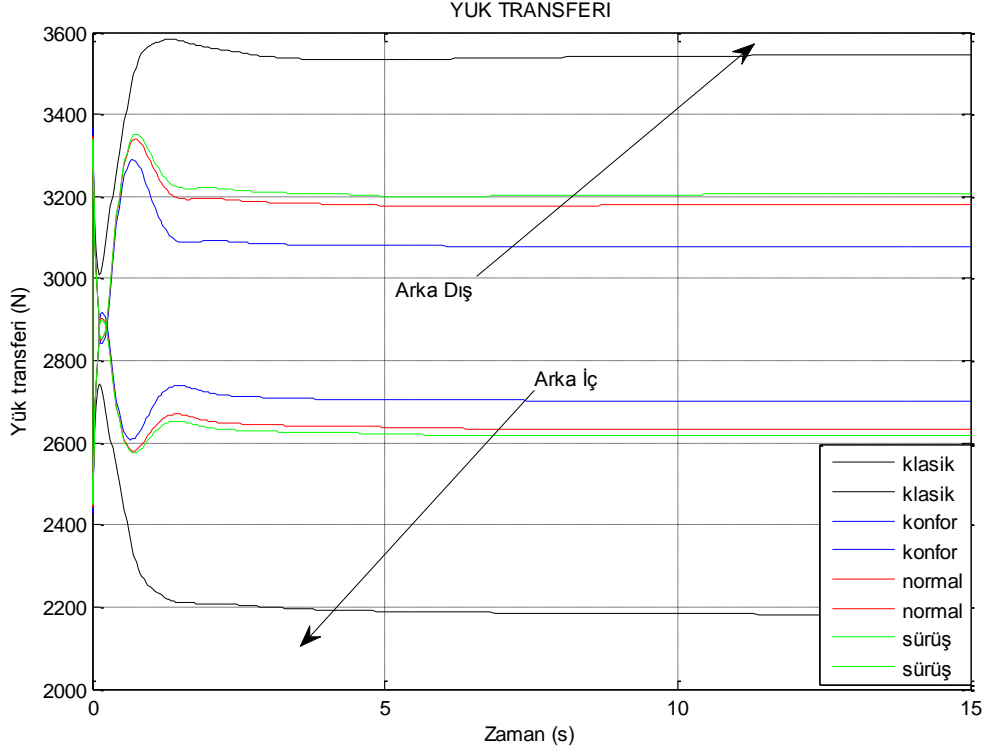
Şekil 4. 6 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda arka lastik kayma açıları



Şekil 4. 7 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda farklı yaylara sahip taşıtın yalpa açıları



Şekil 4. 8 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda ön teker yükleri



Şekil 4. 9 Sabit 4 derece teker açısında 60 km/h hızda arka teker yükleri

Şekil 4.8’de 60 km/h hızda ön tekerlere gelen Şekil 4.9’da arka tekerlere gelen yükler gösterilmiştir.

4.2.3 Çift Şerit Değişirme Manevrası Simülasyonu

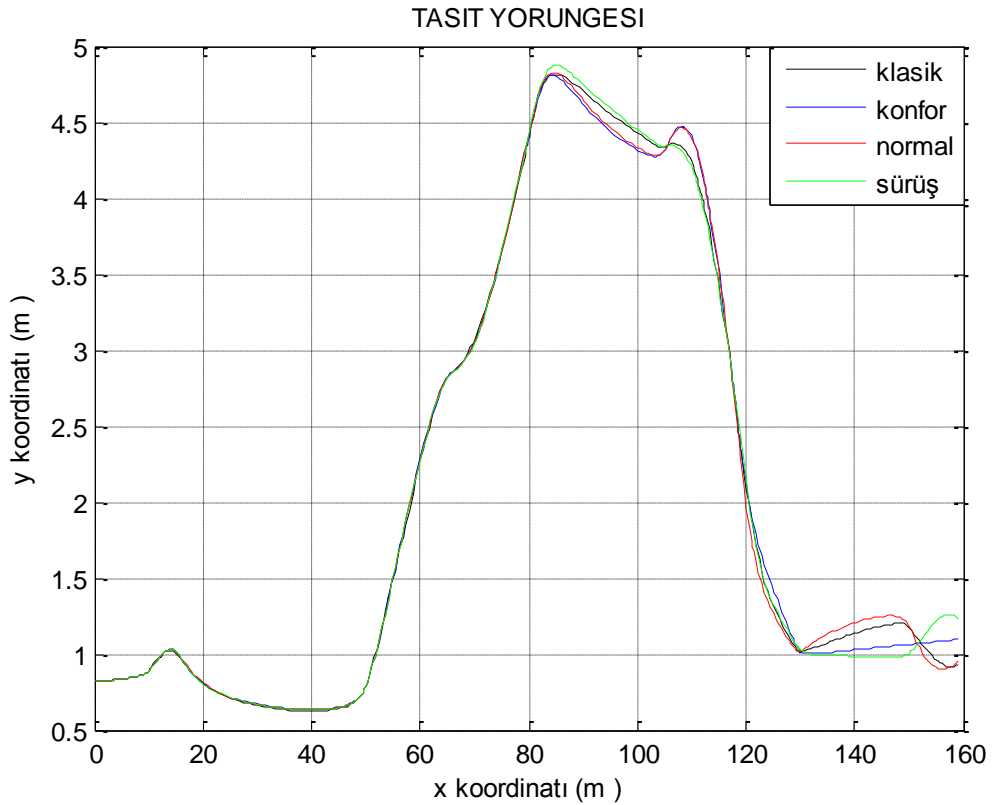
Bu analizde 30 km/h ve 40 km/h hızlarda klasik yaya ve yukarıda bahsedilen üç farklı seviyedeki havalı yaya sahip taşıt sürüş dinamiği modeli ile çift şerit değişirme simülasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Farklı yaylara sahip taşıtın izlemiş olduğu yörüngeler şekil 4.10 ve şekil 4.11’de görülmektedir. 30km/h hızda ilk şerit değişirme alanında taşıt yörüngesinde farklılık görülmemesine rağmen ikinci şerit değişirme alanında sürüş modunda taşıtın diğer durumlara göre daha emniyetli bir geçiş yaptığı görülmektedir. 40 km/h hızda ilk şerit değişirme alanında klasik yay ile hava yayı arasında kabul edilebilir bir farklılık olmakla birlikte ikinci şerit değişirme alanında normal ve sürüş modlarında taşıt daha emniyetli bir geçiş gerçekleştirmektedir.

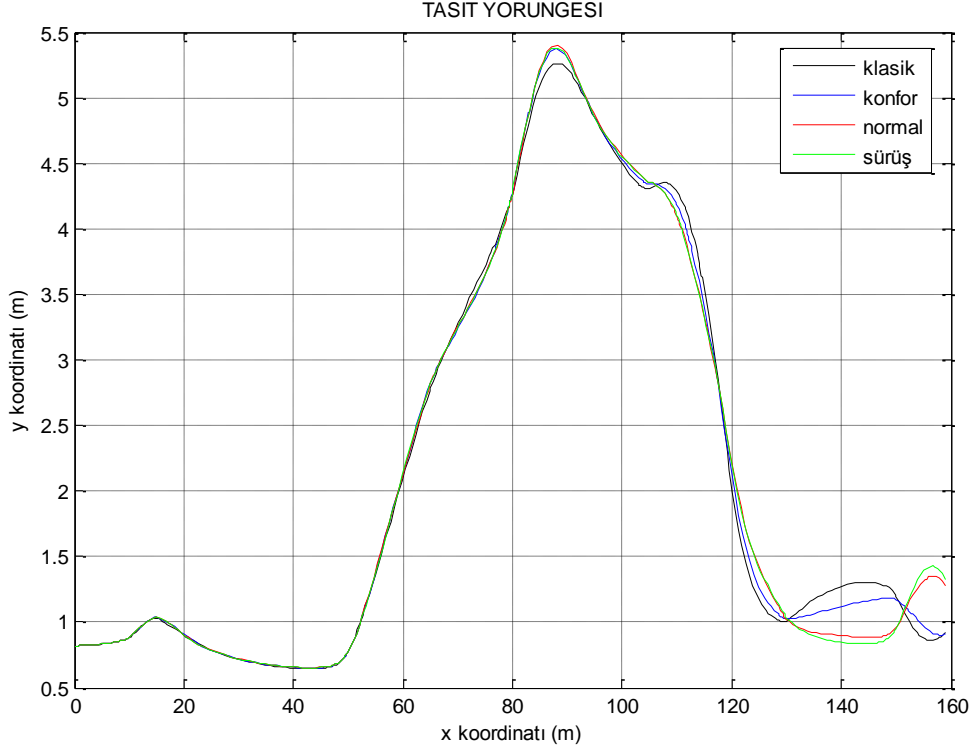
Yanal sapma açısı grafiklerinde bir numara ile gösterilen bölgede (ikinci şerit değiştirme bölgesi) aşma olmaması yukarıda bahsedilen emniyetli geçiş kavramını desteklemektedir. Yanal sapma hızı grafiklerinden görüleceği üzere sürüş modu klasik yay karakteristiğine yakın bir davranış sergilemekle birlikte bazı kısımlarda daha düşük seviyelerde kalarak taşıtın daha iyi bir sürüş gerçekleştirdiğini ortaya koymaktadır.

Yalpa açısı grafiklerinde klasik yayın daha az yalpa yaptığı görülmektedir. Hava yaylarında ise konfor modundan sürüş moduna doğru yalpa açısında azalma olduğu göze çarpmaktadır.

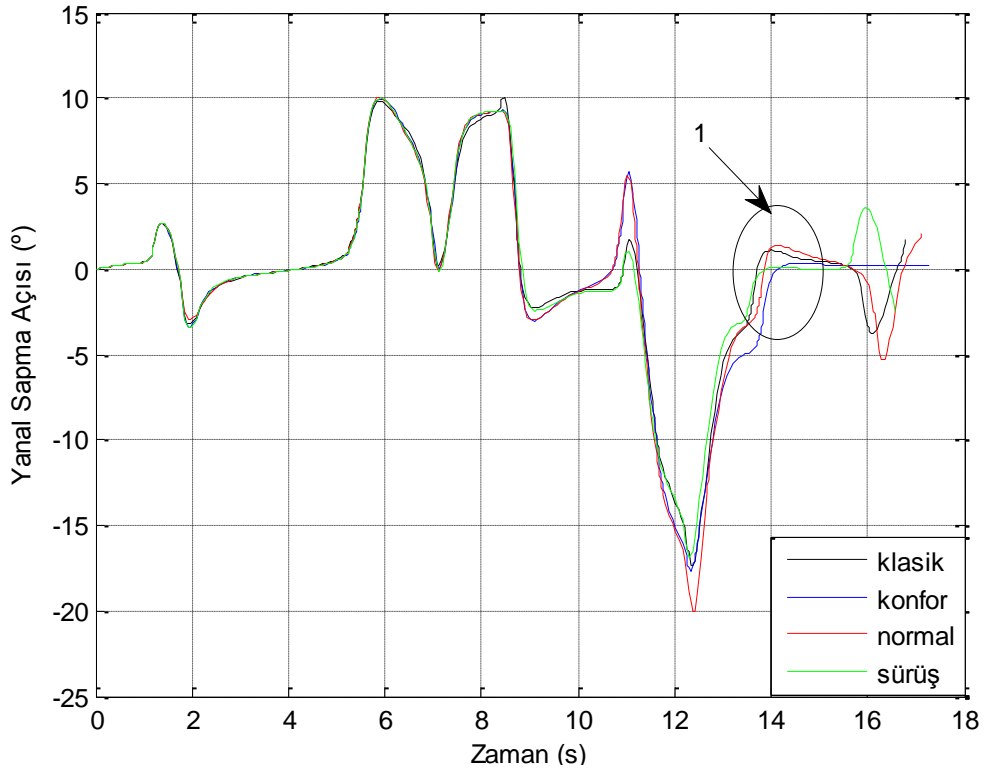
Yalpa ivmelerine bakıldığında klasik yayın hava yayı modlarına göre daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Klasik yayın yalpa ivmesinin yüksek olması geçici, kısa süreli manevralarda yalpa tepkisinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Hava yaylı taşıtta, yalpa hareketi daha uzun sürede gerçekleşmekte dolayısıyla yalpaya cevabı daha geç olmaktadır.



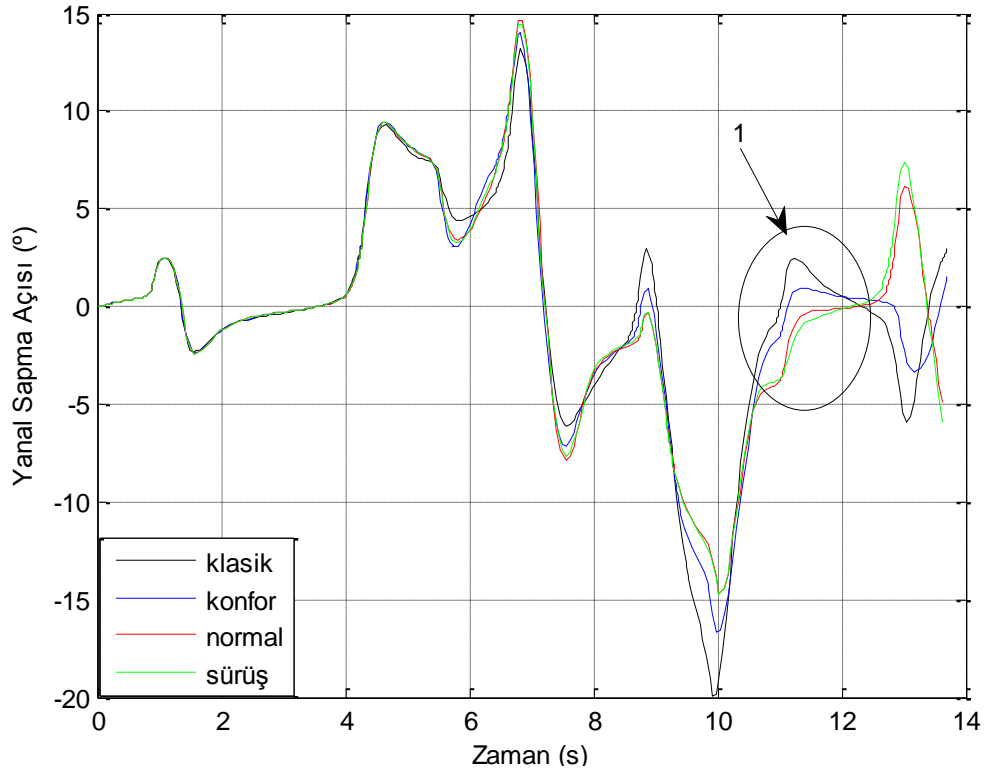
Şekil 4. 10 Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda taşıtın izlediği yörüngeler



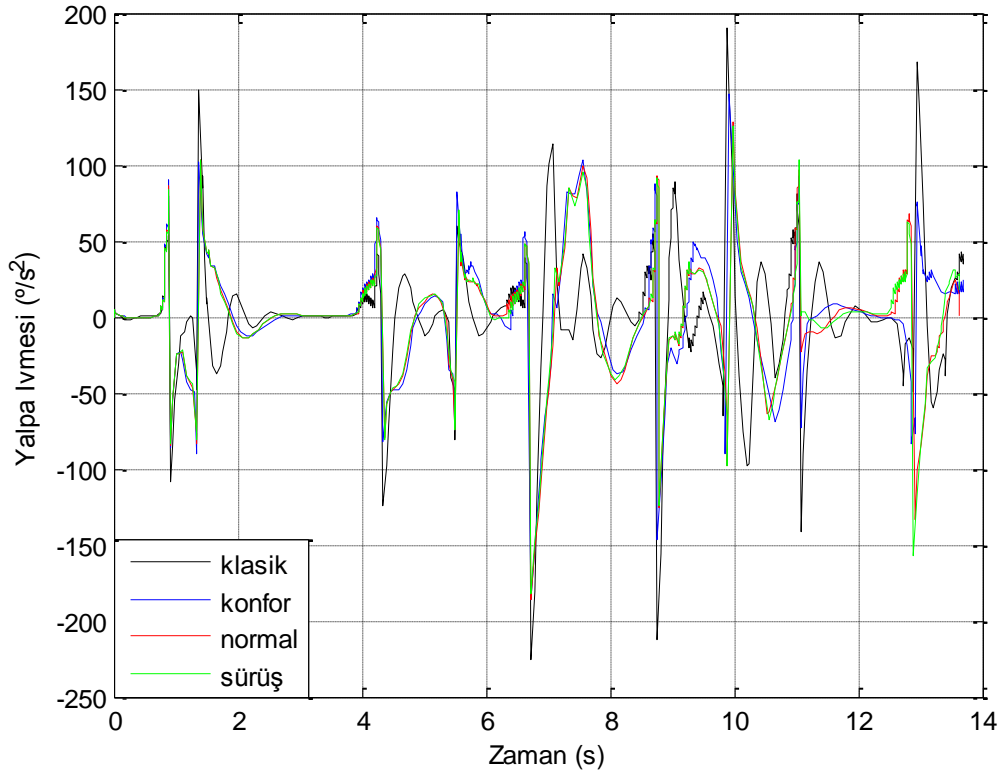
Şekil 4. 11 Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda tahtın izlediği yörüngeler



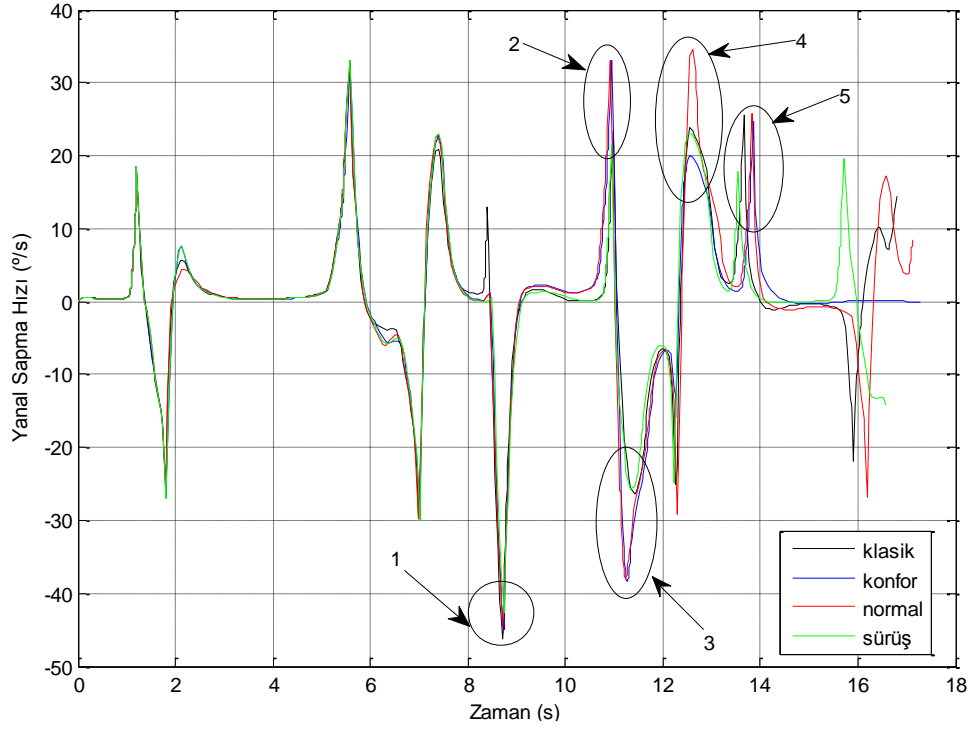
Şekil 4. 12 Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yanal sapma açısı karşılaştırması



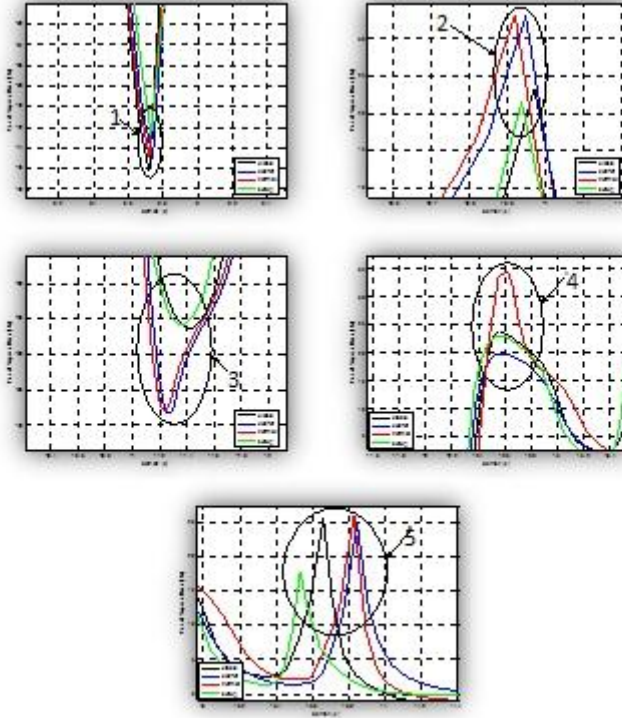
Şekil 4. 13 Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yanıl sapma açısı karşılaştırması

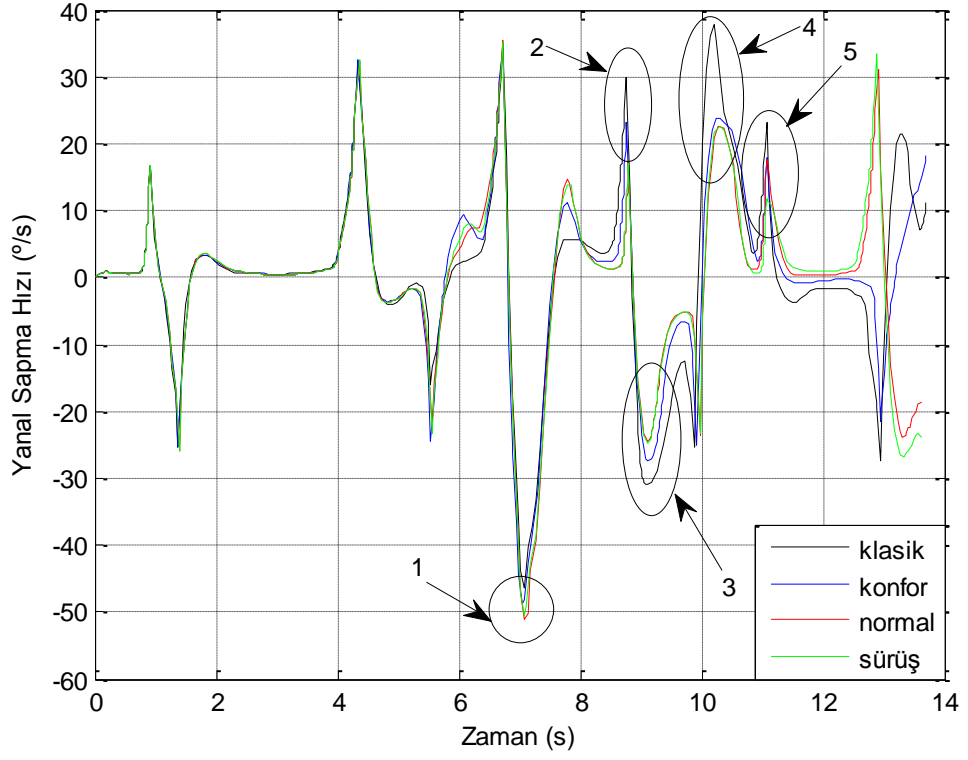


Şekil 4. 14 Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yalpa ivmesi karşılaştırması

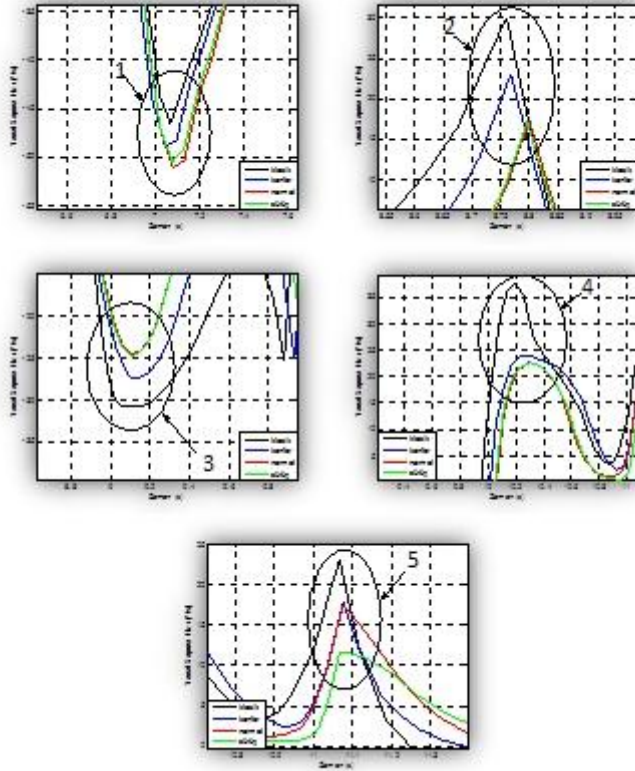


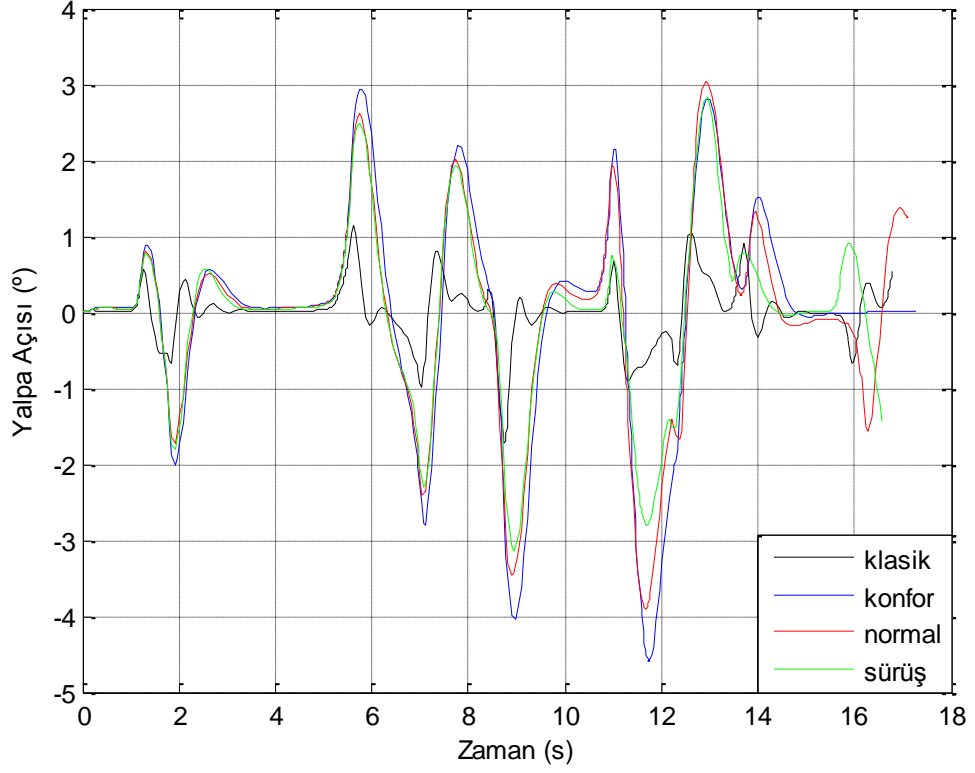
Şekil 4. 15 Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yanal sapma hızı karşılaştırması



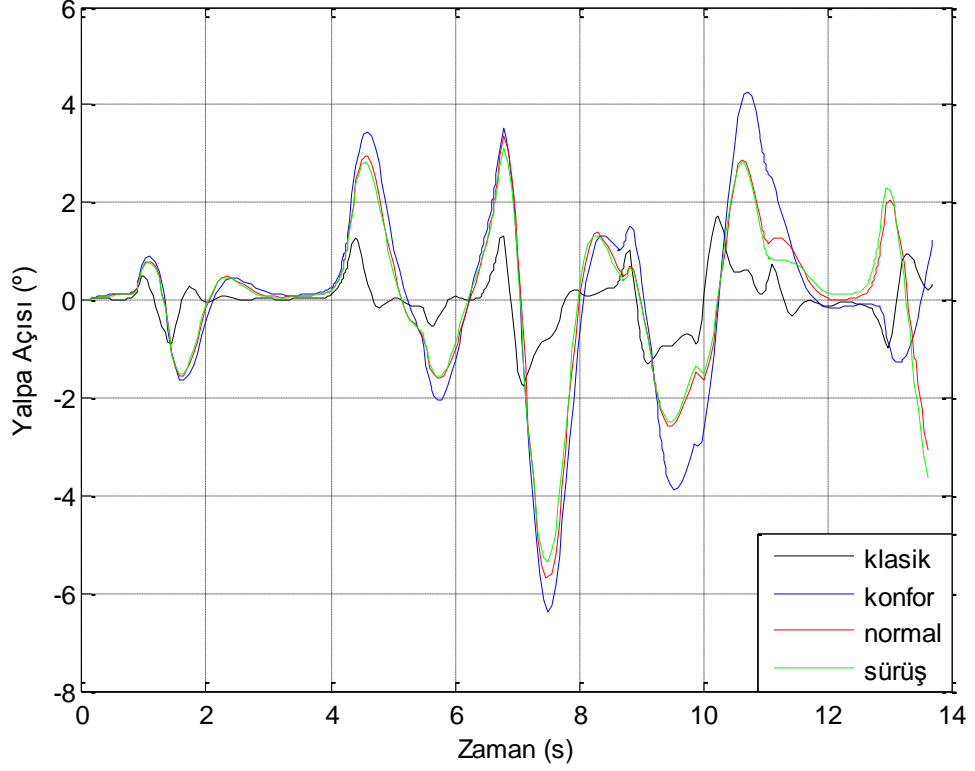


Şekil 4. 16 Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yanal sapma hızı karşılaştırması





Şekil 4. 17 Çift şerit değiştirme manevrasında 30km/h hızda yalpa açısı karşılaştırması



Şekil 4. 18 Çift şerit değiştirme manevrasında 40km/h hızda yalpa açısı karşılaştırması

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar ve oluşturulan hava yayı modeline bakılacak olursa bir hava yayı modellenirken modeli iki kısımda incelemek gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Hava yayının çalışması esnasında içinde bulunan hava, moleküler değişiklik göstermektedir. Bu bakımdan incelenmesi gereken ilk husus termal proses olmalıdır. Termal prosesler arasında hava yayı içindeki havanın moleküler değişikliğine en yakın prosesin ısı alışverişinin olmadığı kabulüne dayanan adyabatik proses olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalar neticesinde taşıtlarda kullanılan hava yaylarında ısı alışverişinin de bir nebze olsun hesaba katıldığı fark edilmiş ve bu çalışmada adyabatik s $k=1.404$ yerine $n=1.38$ alınarak politropik proses kullanılmıştır.

Hava yayı modellemesinde incelenmesi gereken ikinci husus hava yayının esnek yapısından dolayı çalışma sırasında göstermiş olduğu geometriksel değişimdir. Hava basıncının etkidiği efektif alan ve buna bağlı efektif hacim değişimi incelenmesi gereken geometriksel hususlardır.

Modellemenin geometriksel boyutunda, farklı tipte hava yaylarının aynı model ile modellenebilmesi için teknik resimlerdeki ortak noktaların tespit edilerek model esnek hale getirilmelidir. Bu çalışmada hazırlanan modelde bu hususa dikkat edilmiştir.

Araştırmalar esnasında sabit basınç altında efektif alan değişiminin taşıma kuvvetine etkisi gözlemlenmiş ve bu çalışmada bu etkinin varlığı ortaya konmuştur. Aynı şekilde araştırmalarda karşılaşılan yüke bağlı değişken katılık kavramı çalışmada ortaya çıkmış ve bu nokta vurgulanmıştır.

Klasik yay bilindiği üzere y¼ke bağlı olmaksızın sabit katılığa sahiptir. Bir önceki paragrafta belirtildiği gibi hava yayı y¼ke bağlı değişken katılığa sahiptir. Bu çalışmada hava yayının değişken katılığından yola çıkılarak hava yayının taşıt üzerindeki statik konumunda değişiklikler yapılarak farklı modlar elde edilebileceği d¼ř¼n¼lm¼řt¼r. B¼ylece konfor, normal ve s¼r¼ř adı altında ¼ç farklı mod elde edilmiştir. Bu modlara sahip hava yayı ve klasik yay, sabit direksiyon açısında d¼n¼ř ve çift şerit değiştirme manevrası sim¼lasyonlarında performans karşılaştırmasına tabi tutulmuşlardır. Sim¼lasyon sonuçlarına g¼re yalpa açısı konusunda her iki sim¼lasyonda da klasik yaya sahip taşıtın daha iyi performans sergilediği g¼r¼lm¼řt¼r. Buna karşılık s¼r¼ř moduna sahip hava yayının çift şerit değiştirme manevrasında daha emniyetli bir davranış sergilediği g¼zlemlenmiřtir.

Klasik yay ve hava yayı karşılaştırmasında asıl üzerinde durulması gereken nokta hava yayının taşıt ¼zerindeyken s¼r¼c¼ye farklı mod imkanı sağlamasıdır. Klasik yay bir defaya mahsus olarak tasarlanır ve araca monte edilir. Fakat değişken katılığı sayesinde hava yayı, taşıt ¼zerindeyken istenilen s¼r¼ř ¼zelliklerine g¼re ayarlanabilme esnekliğine sahiptir. Eğer s¼r¼c¼ tek başına seyahat ediyorsa, konfor kendisi için o an ¼nemli değilse ve s¼r¼ř ¼zelliklerinin g¼çl¼ olması isteniyorsa s¼r¼ř modu kullanılabilir. Eğer taşıt içerisinde birden fazla kişi varsa ve konfor ¼n planda ise konfor moduna geçilerek s¼r¼ř ¼zelliklerinden taviz verilip herhangi donanımsal değişiklik yapılmadan o şekilde kullanılabilir. Klasik yay kullanımında ise b¼yle bir esneklik s¼z konusu değildir.

Kısaca ¼zetlemek gerekirse bu çalışma hava yayı modeli oluşturma esaslarını içermekte ve hava yayının karakteristik ¼zellikleri kullanılarak neler yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Heiing, B. ve Ersoy, M., (2011). Chassis Handbook, First Edition, Vieweg +Teubner Verlag, Berlin.
- [2] Sainsbury, J. H., (1957) ."Air Suspension for Road Vehicles", Proc Instn Mech Engrs, Auto Div., 3:75-101.
- [3] Kuralay, N.S., (2008). Motorlu Taıtlar Temel ve Tasarım Esasları, Yapı Elemanları, Cilt-1, MMO, İzmir.
- [4] Firestone Air Ride Design Guide, <http://www.firestoneindustrial.com/site-resources/fsip/literature/pdf/AirideDG.pdf>, 12.03.2012
- [5] Presthus, M., (2002). Derivation of Air Spring Model Parameters for Train Simulation, Master Thesis, Lulea University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering Division of Fluid Mechanics, Vasteras.
- [6] Chang, F.ve Lu, Z., H.,(2008) "Dynamic model of an air spring and integration into a vehicle dynamics model", Proc. IMechE, 222:1813-1825.
- [7] Olatunbosun, O.A., (2003), Vehicle Engineering II, Lecture 6: Vehicle Handling, University of Birmingham, Birmingham.
- [8] Uzunsoy, E., (2003), Application of Fuzzy Control in Vehicle Handling Simulation and Path Planning, Phd. Thesis, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, The University of Birmingham, Birmingham.
- [9] Kusaka, K., (1995), Transient Tire Model for Handling Analysis and Prediction.
- [10] Chondros, T.G., Michalos, G., Michaelides, P., ve Fainekos, E., (2007) "An approximate method for the evaluation of the roll stiffness of road tankers ", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Automobile Engineering, 221: 1499-1512
- [11] Allen, R.W., Rosenthal, T.J. ve Szostak, H.T., (1988a), "Steady State and Transient Analysis of Ground Vehicle Handling", SAE Paper No: 870495.
- [12] Allen, R.W., Rosenthal, T.J. ve Szostak, H.T., (1988b), "Analytical Modelling of Driver Response in Crash Avoidance Maneuvering Volume II: An Interactive

Model for Driver/Vehicle Simulation”, U.S. Department of Transportation Report, (SAE).

- [13] Şahin, M., (2007), Design and Simulation of an ABS for an Integrated Active Safety System for Road Vehicles, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

HAVA YAYI MODEL PARAMETRELERİ

h_r	240 mm	h_c	120 mm
d_{min}	102 mm	d_{max}	140 mm
Patm	0.1013 N/mm ²	n	1.38

TAŞIT PARAMETRELERİ

m	1300 kg	L	2.45 m
a	1.1 m	b	1.35 m
I_x	750 kgm ²	I_y	400 kgm ²
I_z	2500 kgm ²	t_f	1.4 m
t_r	1.4 m	C_f	2700 Ns/m
H_{rc}	0.37 m	C_r	3000 Ns/m

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Emre KILIÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1987/İslahiye
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emrekilic87@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2009
Lise	Fen-Matematik	Eskişehir Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	Hexagon Studio	Tasarım Mühendisi
2009	Turkcell	Part Time Satış Elemanı
2008	Ford Otosan İnönü	Stajyer

2008	Mercedes-Benz İstanbul	Stajyer
2007	TÜLOMSAŞ	Stajyer

YAYINLARI

Makale

2009	Performance Comparison of Matlab and Neuro Solution Software on Estimation of Fuel Economy by Using Artificial Neural Network
------	--

Proje

2007	Hidrocartal - Hidromobil 2007 Hidrojen Enerjili Araç Projesi
------	---

ÖDÜLLERİ

2007	Hidromobil 2007 Anok Kupası 2.liği
------	---