

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPTİF SEYİR SİSTEMLERİ
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Emre KURAL**

Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL

HAZİRAN 2006

**ADAPTİF SEYİR SİSTEMLERİ
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Emre KURAL
(503041604)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Bilin AKSUN GÜVENÇ
Diğer Jüri Üyeleri Y.Doç.Dr. Ümit SÖNMEZ (İ.T.Ü.)
Y.Doç.Dr. Tankut ACARMAN (G.S.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Her geçen gün artan araç sayısı, karayollarının kapasitesini zorlamakta, bu durum hem kaza riskini yükseltmekte, hem de sürücülerin sürüş eforunu artırmaktadır. Yardımcı sürüş sistemleri olan Otomatik Seyir Sistemleri, gelecekte kara taşımacılığında yaygınca kullanılması düşünülen araç takip sistemleri, konvoy sistemleri ve otomatize edilmiş karayolları gibi sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Hız Sabitleyici Seyir Sistemleri, Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur-Kalk Sistemleri günümüzde ve yakın gelecekte sıkça kullanılacak konfor ve güvenlik sistemleridir. Bu tür sistemlerin tasarımında sıkça başvurulanan yöntem, tasarımın taşıt üzerine aktarılmasından önce, araç modelleri ile denenmesi ve performansının ortaya koyulmasıdır. Ayrıca, bu sistemler simülatörler üzerinde sınanarak, sürücülerin bu yeni sistemlere tepkileri değerlendirilmekte, bu şekilde tasarıma yön verilmektedir. Bu tez çalışması çerçevesinde, bu üç araç sistemi üzerine kontrol tasarımı yapılmış, ayrıca araç dinamiği modeli geliştirilerek, kontrolcülerin performansı oluşturulan simülatör ile de test edilmiştir.

Öncelikle tecrübe ve bilgisi ile, bu çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan kıymetli hocam Y.Doç.Dr. Bilin AKSUN GÜVENÇ'e şükranlarımı sunar, çalışmamın gerçekleşmesinde yapıcı eleştirileri ve yaratıcı fikirleri ile bana desteklerini esirgemeyen tüm MEKAR çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, tüm öğrenim hayatım boyunca yanımda olup beni destekleyen aileme sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2006

Emre KURAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ADAPTİF SEYİR SİSTEMLERİ	5
2.1 Günümüzde ve Gelecekte Seyir Sistemleri	5
2.2 Otomatik Otoyol Sistemleri	6
2.3 Seyir Sistemlerinin İşleyişi	9
2.3.1 Adaptif Seyir Sistemi'nin işleyişi	9
2.3.2 Dur-Kalk sistemleri	11
2.3.3 Kontrol problemi	12
2.3.3.1 Kontrol problemi olarak Seyir Sistemleri	13
2.3.3.2 Adaptif Seyir Sistemi ve Konvoy Sistemleri ile ilgili literatür taraması	18
2.3.3.3 Dur-Kalk literatür taraması	20
2.3.4 Seyir sistemlerinde kullanılan donanımlar	20
2.3.5 Adaptif Seyir Sistemi tasarımında simülasyonların yeri	24
3. ARAÇ MODELLENMESİ	35
3.1 Araç Modeli	35
3.1.1 Araç dinamiği	37
3.1.2 Tekerlek modeli	41
3.1.3 Motor modeli	44
3.1.4 Aktarma organları	46
3.1.5 Vites modeli	49
3.1.6 Direnç kuvvetleri	52
3.1.6.1 Tekerlek yuvarlanma direnci	53
3.1.6.2 Eğim direnci	54
3.1.6.3 Aerodinamik direnç	54

3.1.6.4 İvmelenme direnci	55
3.1.7 Tekerlek üzerindeki net moment	57
3.2 Araç Modelinin MATLAB/Simulink’de Modellenmesi	58
3.2.1 Araç modeli ile elde edilmiş sonuçlar	59
4. ADAPTİF SEYİR SİSTEMİ KONTROLÜ	68
4.1 Senaryolar	69
4.1.1 Senaryo 1	69
4.1.2 Senaryo 2	70
4.1.3 Senaryo 3	70
4.1.4 Senaryo 4	70
4.1.5 Senaryo 5	72
4.1.6 Senaryo 6	72
4.1.7 Senaryo 7	73
4.2 Radar Modeli	73
4.3 Kontrol Yapısı	77
4.3.1 Alt seviye kontrol	78
4.3.1.1 Hız sabitleyici kontrol	82
4.3.1.2 PD kontrol	83
4.3.1.3 Kayma kipli kontrol	86
4.3.2 Üst Seviye kontrol	89
5. DUR – KALK SEYİR SİSTEMİ KONTROLÜ	95
5.1 Senaryolar	95
5.1.1 Senaryo 1	97
5.1.2 Senaryo 2	97
5.1.3 Senaryo 3	97
5.1.4 Senaryo 4	97
5.1.5 Senaryo 5	97
5.1.6 Senaryo 6	97
5.1.7 Senaryo 7	98
5.1.8 Senaryo 8	98
5.2 Alt Seviye Kontrol	98
5.3 Üst Seviye Kontrol	99
6. SONUÇLAR	101
6.1 Adaptif Seyir Sistemi Sonuçları	101
6.1.1 Senaryo 1	101
6.1.2 Senaryo 2	106
6.1.3 Senaryo 3	108
6.1.4 Senaryo 4	109
6.1.5 Senaryo 5	110

6.1.6 Senaryo 6	110
6.1.7 Senaryo 7	112
6.2 Dur-Kalk Sistemi Simülasyon Sonuçları	113
6.3 PD Kontrol ve Kayma Kipli Kontrolün Karşılaştırılması	117
7. SİMÜLATÖR TASARIMI	120
7.1 xPC Target Yapısı ve Gerçek Zamanlı Simülasyon	121
7.2 Görsel Öğelerin Eklenmesi	124
7.3 Sürücü Girişlerinin Eklenmesi	126
7.4 Hedef Bilgisayar İle Haberleşmek İçin Yapılan Eklentiler	127
7.5 İTÜ-MEKAR Simülatörü	128
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	130
KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ	137

KISALTMALAR

ASS	: Adaptif Seyir Sistemi
ACC	: Adaptive Cruise Control
IVHS	: Intelligent Vehicle Highway System
ITS	: Intelligent Transportation System
NADS	: National Advanced Driving Simulator
NHTSA	: National Highway Traffic Safety Administration
CG	: Center of Gravity
GPS	: Global Positioning System
LIDAR	: Light Detection and Ranging
RADAR	: Radio Detection and Ranging
ISO	: International Organisation for Standardization
UDP	: User Datagram Protocol

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Tez çalışmasında kullanılan yazılım ve donanımlar	4
Tablo 2.1. Araç simülatörleri.....	34
Tablo 3.1. Eşdeğer atalet değerleri.....	49
Tablo 3.2. Vites çevrim oranları.....	51
Tablo 3.3. Döner kütle faktörü λ	57
Tablo 4.1. Adaptif Seyir Sistemi senaryoları.....	71
Tablo 5.1. Dur –Kalk Sistemi senaryoları.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Tez çalışmasında kullanılan yazılım ve donanımlar 4
Şekil 2.1	Aktif güvenlik sistemleri 7
Şekil 2.2	Otomatik konvoy sistemleri 8
Şekil 2.3	Adaptif Seyir Sistemi'nin işleyişi 10
Şekil 2.4	Adaptif Seyir Sistemi'nin karşılaştığı değişik trafik durumları 11
Şekil 2.5	Hız ve mesafe kontrolü 13
Şekil 2.6	Faz diyagramı 14
Şekil 2.7	Zaman aralığı 16
Şekil 2.8	Sistem nonlineariteleri 16
Şekil 2.9	Yanal senaryolar 17
Şekil 2.10	Boylamsal sensörler ve menzilleri 21
Şekil 2.11	Doppler etkisi 22
Şekil 2.12	Radar anten tipleri 23
Şekil 2.13	77 GHz uzun menzilli radar - 24 GHz kısa menzilli radar 23
Şekil 2.14	F1 yarış simülatörü 25
Şekil 2.15	FTM araç simülatörü 25
Şekil 2.16	Mazda araç simülatörü 26
Şekil 2.17	NADS simülatörü 26
Şekil 2.18	HYSIM simülatörü 26
Şekil 2.19	VTI sürüş similatörü 27
Şekil 2.20	VTI engelliler için yapılan joystick ile sürüş eğitimi 27
Şekil 2.21	Daimler Benz simülatörü 28
Şekil 2.22	NADS simülatörü yerleşimi 29
Şekil 2.23	15 kameralı NADS görüntü sistemi 29
Şekil 2.24	VEHIL simülatörü 30
Şekil 2.25	Renault dinamik simülatörü 31
Şekil 2.26	CADC simülatör ekranı 32
Şekil 2.27	ACCSIM simülatörü 32
Şekil 2.28	İTU - MEKAR simülatörüne ait bir görüntü 33
Şekil 3.1	Araç eksen takımı 36
Şekil 3.2	Tekerlek koordinat sistemi 36
Şekil 3.3	Tek izli araç modeli 37
Şekil 3.4	Kamm dairesi 42
Şekil 3.5	F_{xf} ve F_{yf} 'in kaymaya göre değişimi 43
Şekil 3.6	F_{xf} ve F_{yf} 'in kayma açısı ile değişimi 44
Şekil 3.7	Motor haritası 45
Şekil 3.8	Üç boyutlu motor haritası 45
Şekil 3.9	Aktarma organları 46
Şekil 3.10	Moment iletimi 48
Şekil 3.11	Vites değişim haritası 50

Şekil 3.12	Otomatik vites Simulink modeli.....	51
Şekil 3.13	Otomatik vites değıştirme lojiği.....	52
Şekil 3.14	Direnç kuvvetleri.....	53
Şekil 3.15	Tekerlekteki asimetrik yük dağılımı.....	53
Şekil 3.16	Tekerleklerdeki moment eşitlikleri.....	58
Şekil 3.17	Simulink modeli.....	59
Şekil 3.18	Gaz pedalı konumu.....	59
Şekil 3.19	Araç hızı değışimi.....	60
Şekil 3.20	Motordaki devir değışimi.....	60
Şekil 3.21	Vites değışimi.....	61
Şekil 3.22	Arka tekerleğe ait çizgisel ve dönme hızları.....	61
Şekil 3.23	Ön tekerleğe ait çizgisel ve dönme hızları.....	62
Şekil 3.24	Arka tekerleklerdeki kayma.....	62
Şekil 3.25	Ön tekerleklerdeki kayma.....	63
Şekil 3.26	Gaz girişı.....	63
Şekil 3.27	Fren momenti.....	63
Şekil 3.28	Araç hızı.....	64
Şekil 3.29	Tekerlek açısı.....	64
Şekil 3.30	Araç yörüngesi.....	65
Şekil 3.31	Araç hızı.....	65
Şekil 3.32	Savrulma açısal hızı.....	65
Şekil 3.33	Arka tekerleğe ait çizgisel ve dönme hızları.....	66
Şekil 3.34	Tekerlek açısı.....	66
Şekil 3.35	Araç yörüngesi.....	66
Şekil 3.36	Savrulma açısal hızı.....	67
Şekil 4.1	Adaptif Seyir Sistemi Simulink modeli.....	68
Şekil 4.2	Senaryo 5.....	72
Şekil 4.3	Araç koordinatları.....	75
Şekil 4.4	Radar bloğu.....	77
Şekil 4.5	Sistem nonlineeriteleri.....	77
Şekil 4.6	Ters motor modeli.....	80
Şekil 4.7	Ters motor modelinin üç boyutlu çizimi.....	80
Şekil 4.8	Kontrol çevrimi.....	81
Şekil 4.9	İstenen tork – gerçek tork.....	81
Şekil 4.10	Hız kontrolcüsü.....	83
Şekil 4.11	Hız kontrolcüsünün akış diyagramı.....	83
Şekil 4.12	PD kontrolcüsünün Simulink diyagramı.....	85
Şekil 4.13	Faz diyagramı.....	87
Şekil 4.14	Kayma yüzeyi etrafında tanımlanan sınır.....	88
Şekil 4.15	Kontrol sinyalinin kayma yüzeyi etrafında davranışı.....	89
Şekil 4.16	Chattering etkisinin giderilmesi.....	89
Şekil 4.17	Senaryo ayırımı.....	90
Şekil 4.18	Boylamsal senaryolar.....	91
Şekil 4.19	Senaryo alt yapıları.....	92
Şekil 4.20	Boylamsal kontrol akış diyagramı.....	93
Şekil 5.1	Dur-kalk senaryo ayırt etme algoritması.....	100
Şekil 5.2	Üst seviyeli kontrol algoritması.....	100
Şekil 6.1	‘Hedef yok’ altsistemi.....	101
Şekil 6.2	‘Senaryo 1’ altsistemi.....	101
Şekil 6.3	Sabitlenmiş araç hızı.....	102

Şekil 6.4	Hız sabitleyici kontrolde yapılan hata.....	102
Şekil 6.5	Gaz açıklığı.....	102
Şekil 6.6	Girilen hız profili ve araç hızı.....	103
Şekil 6.7	Gaz açıklığı.....	103
Şekil 6.8	Fren torku.....	104
Şekil 6.9	İstenen tork ve gerçek tork.....	105
Şekil 6.10	Vites geçişleri.....	105
Şekil 6.11	Araç hızları.....	106
Şekil 6.12	Araçlar arası mesafe.....	106
Şekil 6.13	Motor devri.....	107
Şekil 6.14	Senaryo 2'nin fark edildiği an.....	107
Şekil 6.15	Senaryo 2 ile ilgili altsistem.....	108
Şekil 6.16	Araçlar hızları.....	108
Şekil 6.17	Araçlar arası mesafe.....	109
Şekil 6.18	Senaryo 4 için araç hızları.....	109
Şekil 6.19	Senaryo 4 için araçlar arası mesafe.....	109
Şekil 6.20	Senaryo 5 için hız.....	110
Şekil 6.21	Senaryo 5 için mesafe.....	110
Şekil 6.22	Hedef aracın yörüngesi.....	111
Şekil 6.23	Senaryo 6 araç hızları.....	111
Şekil 6.24	Senaryo 6.....	111
Şekil 6.25	Ön ve arka araç yörüngesi.....	112
Şekil 6.26	Senaryo 7'de araç hızları.....	113
Şekil 6.27	Senaryo 7'de araçlar arası mesafe.....	113
Şekil 6.28	Dur – kalk sisteminin Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için davranışı.....	114
Şekil 6.29	Dur – kalk sisteminin Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için davranışı.....	114
Şekil 6.30	Senaryo 5 için araç hızları.....	115
Şekil 6.31	Senaryo 6 için araç hızları.....	115
Şekil 6.32	Senaryo 7 için araç hızları ve mesafeleri.....	116
Şekil 6.33	Senaryo 8 için araç hızları ve mesafeleri.....	116
Şekil 6.34	PD kontrol ve kayma kipli kontrol'ün hız sonuçlarının karşılaştırılması.....	117
Şekil 6.35	PD kontrol ve kayma kipli kontrol'ün mesafe sonuçlarının karşılaştırılması.....	118
Şekil 6.36	PD kontrol ve kayma kipli kontrol'ün faz diyagramında karşılaştırılması.....	118
Şekil 6.37	Değişken hedef araç hızı ile takip.....	119
Şekil 6.38	Değişken hedef araç hızı ile takip sırasında araçlar arası mesafe.....	119
Şekil 7.1	xPC target yapısı.....	121
Şekil 7.2	xPC target için setup ekranı.....	122
Şekil 7.3	xPC target seçim menüsü.....	123
Şekil 7.4	xPC target uzaktan kontrol ekranı.....	123
Şekil 7.5	VR sink bloğu.....	124
Şekil 7.6	Simülatörde kullanılan pist.....	125
Şekil 7.7	Araç modeli.....	125
Şekil 7.8	Simülatörde kullanılan görüntü.....	126
Şekil 7.9	Araç göstergeleri arayüzü.....	126
Şekil 7.10	Joystick girişi.....	127

Şekil 7.11	UDP blokları ile haberleşme.....	128
Şekil 7.12	İTÜ-MEKAR simülatörü.....	129

SEMBOL LİSTESİ

$V_{\text{ön}}, V_{\text{arka}}$	:Ön ve arka araç hızları
R	:Araçlar arası mesafe
R_T	:Takip mesafesi
T_H	:Takip zamanı
$R_{T,\text{istenen}}$	:İstenen takip zamanı
R_0	:Başlangıç anındaki araçlar arası mesafe
t_g	:Takip süresinde geçen zaman
p	:Yalpalama açısı
q	:Kafa vurma açısı
r	:Savrulma açısı
XOY	:Şasi eksen takımı
X_0OY_0	:Global eksen takımı
V	:Araç ağırlık merkezindeki hız
β	:Şasi yana kayma açısı
a	:Araç ivmesi
ψ	:Savrulma açısı
a_x, a_y	:x ve y doğrultularındaki araç ivmesi
m	:Araç kütlesi
F_X	:Tekerlek kuvvetlerinin şasi X eksenine üzerine izdüşümü
F_Y	:Tekerlek kuvvetlerinin şasi Y eksenine üzerine izdüşümü
M_Z	:Tekerlek kuvvetlerinin şasi Z eksenine etrafında oluşturduğu moment
I_z	:Araçın Z eksenine etrafındaki atalet momenti
F_{xf}, F_{xr}	:Tekerlek boylamsal kuvvetleri
F_{yf}, F_{yr}	:Tekerlek yanal kuvvetleri
δ_f, δ_r	:Ön ve arka tekerlek açısı
F_{DIRENC}	:Direnç kuvvetleri
l_f, l_r	:Ağırlık merkezi ile ön ve arka aks arası mesafe
M_{zd}	:Bozucu moment etkisi
V_f, V_r	:Ön ve arka tekerlek hızı
V_{fx}, V_{rx}	:Araç x eksenine indirgenmiş ön ve arka tekerlek hızları
V_{fy}, V_{ry}	:Araç y eksenine indirgenmiş ön ve arka tekerlek hızları
β_f, β_r	:Ön ve arka tekerlek hız vektörü ile şasi doğrultusundaki açı
α_f, α_r	:Ön ve arka tekerlek yana kayma açıları
V_{tf}, V_{tr}	:Ön ve arka tekerlek çizgisel hızları
R_{eff}	:Efektif tekerlek yarıçapı
ω_{tf}, ω_{tr}	:Ön ve arka tekerlek açısal hızları

S_f, S_r	:Ön ve arka tekerlek kayması
f_f, f_r	:Dugoff tekerlek kuvveti düzeltme katsayısı
C_{xf}, C_{xr}	:Ön ve arka tekerlek boylamsal sertliği
C_{yf}, C_{yr}	:Ön ve arka tekerlek yanal dönüş sertliği
F_{Rf}, F_{Rr}	:Tekerlek bileşke kuvveti
μ	:Tekerlek ile yol arasındaki sürtünme katsayısı
F_z	:Tekerlek üzerindeki dik kuvvet
g	:Yerçekimi ivmesi
θ	:Motor gaz açıklığı
ω_D	:Diferansiyel girişi açısal hızı
ω_T	:Diferansiyel çıkışı açısal hızı
ω_M	:Motor devri
θ_D	:Diferansiyel girişi açısal yer değiştirmesi
θ_T	:Diferansiyel çıkışı açısal yer değiştirmesi
$\theta_{T,\phi}, \theta_{T,A}$	:Ön ve arka tekerlek açısal yer değiştirmesi
θ_M	:Motor çıkış mili yer değiştirmesi
i_T	:Vites çevirim oranı
i_D	:Diferansiyel çevrim oranı
T_D	:Diferansiyel çıkışı momenti
T_M	:Motor çıkışı momenti
T_T	:Transmisyon çıkışı momenti
$T_{D,I}, T_{D,II}$	:Transmisyon çıkış, diferansiyel giriş momenti
$T_{M,I}, T_{M,II}$	:Motor çıkış, transmisyon giriş momenti
$T_{T,I}, T_{T,II}$	:Diferansiyel çıkış, tekerlek momenti
E	:Araç güç aktarma organları üzerindeki kinetik enerji
J_M	:Motor atalet momenti
J_D	:Diferansiyel atalet momenti
J_T	:Transmisyon atalet momenti
ω_M	:Motor devri
ω_D	:Diferansiyel çıkış devri
ω_T	:Transmisyon çıkış mili
$J_{eş}$	:Eşdeğer atalet momenti
$T_{net,motor}$	:Tekerleğe indirgenmiş net tork
η_T	:Transmisyon verimi
η_D	:Diferansiyel verimi
$F_{yuvarlanma}$	:Yuvarlanma direnç kuvveti
$C_{yuvarlanma}$	:Yuvarlanma direnci sabiti
$F_{eğim}$	:Eğim kuvveti
γ	:Yolun eğim açısı
F_{drag}	:Aerodinamik direnç kuvveti
C_{drag}	:Aerodinamik direnç katsayısı
ρ	:Hava basıncı
A	:Hava direncine maruz kalan izdüşüm alanı
F_{ivme}	:İvmelenme direnci
λ	:Dönen kütle faktörü
R_{ϕ}, R_A	:Dinamik tekerlek yarı çapı
r_{ϕ}, r_A	:Statik tekerlek yarı çapı
$J_{T,\phi}, J_{T,A}$	:Ön ve arka tekerlek ataletleri
$J_{eş,\phi}$	:Ön aks eşdeğer ataleti

$J_{eş,arka}$	:Güç aktarım organlarının arka aksa indirgenmiş eşdeğer atalet momenti
$T_{net,ön}, T_{net,arka}$	:Ön ve arka tekerlekteki net tork
T_{fren}	:Tekerleklerle etkiyen fren momenti
Δx	:x ekseninde alınan yol
Δy	:y ekseninde alınan yol
O	:Global eksen takımı orijini
O_1	:Araç eksen takımı orijini
P	:Hedef araç eksen takımı
X_{arka}, Y_{arka}	:Arka aracın global eksene göre koordinatları
$X_{ön}, Y_{ön}$	:Ön aracın global eksene göre koordinatları
R	:İki aracın koordinat sisteminin rotasyon matrisi
$X_{ön}^O$	:Ön aracın koordinat vektörü
A_{O1}^O	:Arka araç eksen takımının global eksene göre rotasyon matrisi
$X_{ön}^{O1}$	:Ön araç eksen takımının arka araç eksen takımına göre rotasyon matrisi
d, d_x	:İki araç arasındaki mesafe
$F_{istenen}$	:Takip için gerekli kuvvet
$a_{istenen}$	:Takip için gerekli ivme
$T_{istenen}$	:Takip için gerekli tekerlek torku
$T_{motor,istenen}$	:Takip için gerekli motor torku
K_v, K_D	:PD kontrol sabitleri
$d_{x,istenen}$	:İstenen takip mesafesi
e	:İstenen mesafe ve gerçek mesafe arası fark
s	:Kayma yüzeyi alanı
λ	:Faz diyagramındaki kayma yüzeyinin eğimi
Φ	:Faz diyagramındaki kayma yüzeyinin kalınlığı
sc	:Senaryoları tanımlayan değişken

ADAPTİF SEYİR SİSTEMLERİ TASARIMI

ÖZET

Bu tez çalışması, Adaptif Seyir Sistemleri için kontrolcü tasarımı, yapılan kontrolcülerin gerçekçi araç modelleri üzerinde denenerek, sonuçların simülasyonlar ile sunulması ve yapılan çalışmanın gerçek zamanlı çalışan bir simülatör ile birleştirilmesini içermektedir.

Adaptif Seyir Sistemleri, denince öncelikle önündeki hedef araca göre belirli bir mesafede hızını ayarlayabilen bir sistemin oluşturulması anlaşılmaktadır. Sürücü sadece direksiyon ile ilgilenirken aracın boylamsal kontrolü otomatik olarak sistem tarafından gerçekleştirilmektedir.

Yapılan çalışmalar, Adaptif Seyir Sistemi'nin en basit hali olan, hız sabitleyici sistem ve bunun uzantısı olan ve otomatik takibin gerçekleştiği Adaptif Seyir Sistemi ve son olarak da, daha düşük hızlarda ve şehiriçi kullanım şartlarında gerçekleşen Dur-Kalk sistemleri ile bunların kontrolcülerinin oluşturulmasını içermektedir.

Bu çerçevede, öncelikle, tek izli bir araç modeli, motor, güç aktarma organları ve tekerlek modelinden meydana gelen bir araç modeli oluşturulmuştur. Simülasyonlarda, iki farklı araç modeli ile beraber bir de sensör modeli kullanılarak, kontrolcüye girişler, gerçek bir sistemde olduğu gibi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, çeşitli seyir sistemlerine yönelik farklı kontrol yapıları oluşturulmuştur. Öncelikle, bir hız sabitleyici kontrol daha sonra, otoban hızlarında çalışan ve önündeki hedef araç ile hız ve mesafe kontrolünün yapıldığı, Adaptif Seyir Sistemi ve ilgili kontrol yapısı meydana getirilmiştir. Bu kontrol yapısı hiyerarşik bir yapıya sahip olup, alt seviyeli kontrole yönelik, PD ve Kayma Kipli Kontrol tasarımları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan kontrolcülü araç modeli daha sonra gerçekçi senaryolarla sınanmıştır. Ayrıca yapılan bir başka kontrol tasarımı ile de şehir içi trafik koşullarına yönelik Dur-Kalk sistemi, benzer bir kontrol yapısı ile meydana getirilmiştir. Oluşturulan bu dinamik sistemler, simülasyonlar ile denenmiş ve sonuçlar ortaya koyulmuştur. Son olarak da, gerçek zamanlı simülasyon yapısı

kurulmuş, buna ek olarak sürücü girişleri eklenerek, iki kullanıcılı MEKAR simülatörü oluşturulmuştur.

Tez sekiz başlık altında incelenmiştir. Öncelikle, kısa bir girişin yapıldığı birinci bölüm, ardından da Adaptif Seyir Sistemleri ve türevlerinin tanıtıldığı ikinci bölüm gelmektedir. Üçüncü bölümde, araç modellenmesi ve ilgili denklemleri verilmiştir. Dördüncü bölümde ise Adaptif Seyir Sistemleri ile ilgili kontrol yapısı ve gerçekleştirilecek senaryolar tanıtılmıştır. Beşinci bölümde ise Dur-Kalk kontrol yapısı ve ilgili senaryolar oluşturulmuş, altıncı bölümde, yapılan simülasyonlar ve sonuçları sunulmuştur. Yedinci bölümde de oluşturulan simülatör tanıtılmıştır. Tez, sonuçlar ve öneriler bölümü ile sona ermektedir.

ADAPTIVE CRUISE CONTROL SYSTEMS DESIGN

SUMMARY

This master thesis includes the design of a control structure for Adaptive Cruise Control Systems, examination of the controller performance on a realistic vehicle model and presentation of the designed system with simulations.

Adaptive Cruise Control Systems basically offers a system that regulates the vehicle speed, according to target vehicle speed within a predefined distance. The driver handles only with the steering wheel, while the longitudinal control of the vehicle is automatically adjusted by the system.

Briefly, the scope of this thesis, includes, the design of a Cruise Control System which controls the speed of the vehicle around a constant value, then the design of the Adaptive Cruise Control Systems that operates in highway speeds, finally the design of Stop & Go systems, that perform at urban traffic conditions and relatively at low speeds.

In this point of view, firstly, a vehicle model including, nonlinear single track model, driveline model, engine and tire models are created. Since, in simulations two different vehicle models are required, one of which will be used as a target vehicle, a realistic sensor model which will supply the required inputs to the controller, similar to a real system, is created. Then, different control structures are established for different Cruise Control Systems.

Firstly, a Cruise Control Systems is built which regulates the vehicle speed according to a desired speed value. Then, a hierarchical control structure is established as Adaptive Control System structure. At lower level two different control types, PD and sliding mode control are designed. Finally, this vehicle model with the controller is subjected two different realistic traffic scenarios.

A similar control structure is built for Stop & Go systems, which operates at lower speed in urban traffic conditions. Those dynamic systems are experimented with simulations and the results are presented.

At a final step, the designed control systems and vehicle models are combined on a MEKAR simulator which is a real-time driver simulator, including two driver which control different vehicle.

This thesis is formed of eight chapters: In the first chapter, brief and short introductory information is given. In the second chapter, Adaptive Cruise Control and its derivatives is presented, then in the third chapter, the vehicle model and its dynamic equations are given. In the fourth chapter, the designed control structure for Adaptive Cruise Control and the scenarios that will be subjected to the models is presented. In the fifth chapter, similarly, Stop & Go System and its control structure is given. Sixth chapter presents the simulation results, and seventh chapter describes the structure of the simulator. Finally, the thesis terminates with the suggestions and conclusion.

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki yeni eğilimler araçların daha konforlu ve daha güvenli olması üzerinedir. Bir yandan otomotiv üreticileri yasal zorunluluklarla trafik kazalarını azaltacak önlemler almaya zorlanırken, diğer yandan da piyasa rekabeti nedeni ile ürünlerini son teknolojik eklentilerle donatma yollarına gitmektedirler. Özellikle araçlardaki güvenlik sistemleri son yıllarda firmaların büyük önem verdikleri ve atılım sağladıkları alanların başında gelir.

Gerek aktüatör, gerekse sensör teknolojilerindeki gelişmeler bu sistemlerin güvenilir olarak araçlara monte edilmesine olanak sağlar. Aktif güvenlik sistemleri gerektiği durumda sürücü komutlarına müdahale edebilen ve oluşabilecek herhangi bir kazayı engellemesi için tasarlanmış sistemlerdir. Örneğin seksenlerin başında piyasaya sürülmüş ABS sistemleri ya da günümüzde birçok araçta standart olarak sunulan ESP sistemi aktif güvenlik sistemlerine örnek olarak verilebilir.

Bu aktif güvenlik sistemlerinin yanı sıra, konfora yönelik ikincil güvenlik sistemlerinden de söz edilebilir. Sürücünün yolculuk sırasında rutin hareketlerini üstlenerek, yorgunluğunu azaltan ve acil bir durumda reaksiyonlarının daha sağlıklı olmasını sağlayan bu sistemlere örnek olarak seyir sistemleri verilebilir. Seyir sistemleri aracın hızının kontrolünü sürücünden alarak sürücünün rutin gaz pedalı ve fren hareketlerini üstlenir. Bu sistemlerin en basiti, hız sabitleyici (Cruise Control) seyir sistemidir. Bu sistemde araç hızı sürücünün girdiği bir hız olarak sabitlenir ve sistem otomatik olarak aracın hızını bu değerde tutar. Sistem güvenlik açısından sürücünün fren pedalına dokunması ile otomatik olarak kendisi kapanır. Bu şekilde uzun yol şartlarında sürüşün, sürücü açısından daha konforlu olması sağlanmıştır.

Seyir sistemlerinin bir diğeri de Adaptif Seyir Sistemleri'dir. Bu sistemlerde ise hız sabitleyici sistemlere ek olarak, sistem, trafikteki diğer araçlarla, aracın önüne yerleştirilen bir sensör sayesinde etkileşim halindedir. Araç hızı, öndeki araçlara göre değiştirilir ve aradaki mesafe belirli bir değerde tutulmaya çalışılır. Bu şekilde aracın negatif ve pozitif ivmelenmesi sistem tarafından yerine getirilirken, aracın yönlendirilmesi yani direksiyon komutları sürücü tarafından girilmeye devam etmektedir. Sürüş sırasında aracın önündeki hedef aracın hızı hedef hız olarak belirlenir. Aradaki mesafe de güvenli bir değerde tutulur. Öndeki aracın şerit

değiştirmesi ya da bir şekilde hedef araç olmaktan çıkması halinde sistem hız sabitleyici seyir sistemi gibi çalışarak sürücünün girdiği sabit hıza dek hızlanır.

Adaptif Seyir Sistemleri genel anlamda bir güvenlik sisteminden çok bir konfor sistemidir. Herhangi bir çarpışma durumu söz konusu olursa, yeterli müdahaleyi yapacak yetkisi yoktur. Örneğin ani fren girişleri için sürücü müdahalesi gerekir. Zira bu sistem konfor amaçlı olduğundan, frenleme ivmeleri sınırlandırılmıştır. Bu yüzden bu sistemin çarpışma önleyici bir özelliği bulunmamaktadır.

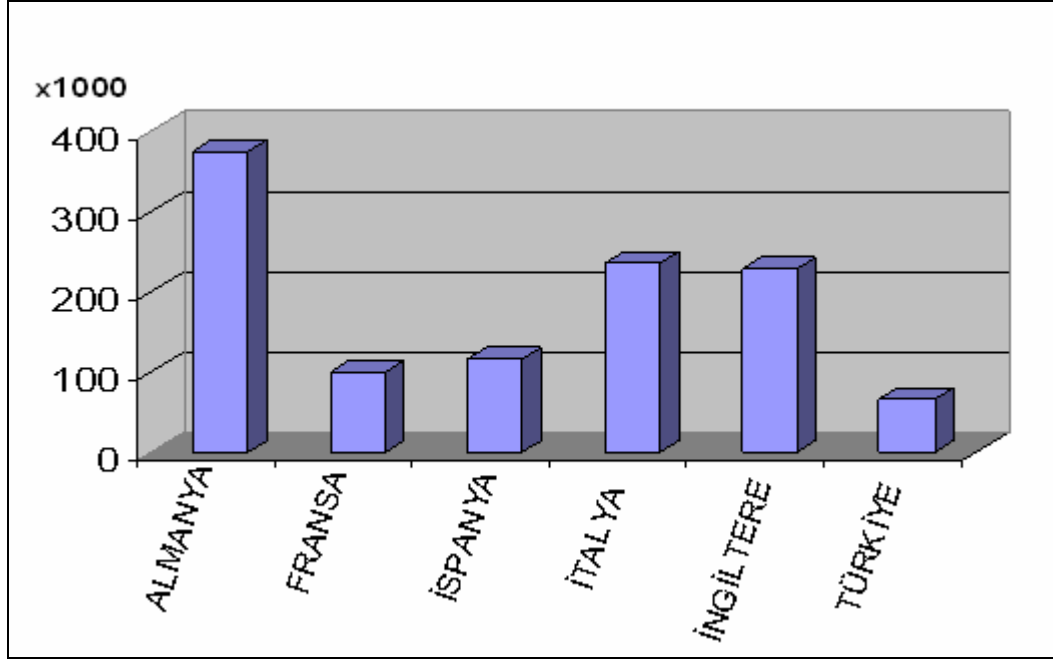
Adaptif Seyir Sistemleri'ni konfordan bir güvenlik sistemi haline getiren ve bu sistemi mevcut Çarpışma Uyarıcı Sistemler ile birleştiren, Çarpışma Engelleyici Sistemler de yakın zamanda araçlarda yerlerini alacaklardır.

Adaptif Seyir Sistemleri'nin bir uzantısı olan daha ileri sistemlerden de söz edilebilir. Adaptif Seyir Sistemlerinde aracın kontrol sistemi diğer araçlarla haberleşmemekte bu şekilde diğer araçların da ASS' ye sahip olması gerekmemektedir. Bu sistemlerin bir sonraki aşamasında araçların birbirlerine yolun, havanın veya trafiğin durumu gibi bilgiler iletebildiği otomatik otoban sistemlerinden söz edilebilir. Bu sistemlerde araçlar ikiden fazla araçtan meydana gelen konvoylar oluşturmakta ve trafiğin akışı ve yoğunluğu da bir şekilde kontrol altına alınabilmektedir. Bu konuda teorik ve pratik çalışmalar sürmektedir.

Adaptif Seyir Sistemlerinin başka bir uzantısı, belirli hızların üstünde çalışan ve şehirlerarası ile özellikle otoban trafiğine göre tasarlanmış bu sistemi, şehir içi uygulamasına taşıyan Dur-Kalk Sistemleridir (Stop & Go). Bu sistemler de benzer şekilde hız ve mesafeyi önde bulunan hedef araca göre ayarlarken Adaptif Seyir Sistemleri' nin çalışma hızlarını sifıra kadar taşımaktadırlar. Doğal olarak Dur-Kalk sistemlerini Adaptif Seyir Sistemlerinden ayıran sadece hız sınırlaması değildir. Sistem sadece önündeki araçla ilgilenmemekte, etrafındaki diğer araçların da konumlarını bilmek durumundadır. Bu yüzden sistemin sensör kapasitesi, Adaptif Seyir Sistemleri' nden daha farklı ve daha genişletilmiş durumdadır.

Aktif güvenlik konusunda üreticilerin ve araştırmacıların bu ölçüde yoğunlaşmalarının sebebi karayolunun hala birçok ülkede insan ve yük taşımacılığında birinci sırada olmasıdır. Ayrıca buna bağlı olarak, trafik kazaları sayısının oldukça fazla olması ve birçok insanın bu kazalar sonunda hayatını kaybetmiş olmasıdır. Örneğin Türkiye' de 2004 yılında olan 494,581 kazada 3,082 kişi hayatını kaybetmiş, 109,681 kişi yaralanmış ve bu da toplam 0,5 milyon dolar zarara neden olmuştur [1]. Benzer istatistikler Avrupa ülkelerinde de mevcuttur. Örneğin 2002 yılında Almanya' da 6977 kişi, Fransa' da 7,720 kişi, İngiltere' de

3,450 kişi ve İtalya’ da 6,682 kişi trafik kazaları sonucu ölmüştür [2] Ülkelerdeki trafik kazaları sayısı Şekil 1.1’ de görölmektedir [1] Amerika’ da ise bu sayı 2004 yılında 38,253’ ü bulmuştur [3].



Şekil 1.1: Trafik Kazaları İstatistikleri

Kazaların çeşitlerine bakıldığında, önemli bir kısmının çarpışma sonucu oluştuğu görölmektedir. Örneğin Amerika’ da 2004 yılında tüm kazaların %30,5’ ini oluşturan 1,886,000 kaza arkadan çarpışma ile sonuçlanmıştır [3].

Bu tez çalışması Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur-Kalk Sistemlerinin dinamik araç modelleri üzerinde denenmesi, bunlar için kontrolcü tasarımı ve tasarımların İTU-MEKAR Simülatöründe denenerek Gerçek Zamanlı İnsan İçeren Simülasyonlar (Human in the Loop) ile sınanmasıdır [4].

Yapılan çalışma sırasında araç modellemesi ve kontrolcüler MATLAB\Simulink ortamında oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı simülasyonlar için MATLAB’ in xPC Target Toolbox modülünden faydalanılmıştır. Bunun yanında algoritmik kontrolcü tasarımları için MATLAB/Stateflow modülü kullanılmıştır.

Tezde kullanılan donanım ve yazılımların özeti Tablo 1.1’ de görölmektedir.

Tablo 1.1: Tez Çalışmasında Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

Yazılım/Donanım	Versiyon/Model
MATLAB	7.01
MATLAB/Simulink	6.1
MATLAB/Simulink/Stateflow	6.1
MATLAB/Simulink/xPC Target	2.6.1
MATLAB/Simulink/Virtual Reality Toolbox	4.0.1
2 Adet Oyun Tipi Direksiyon	USB girişli
2 Adet PC	1 Adet Pentium4 3.6GHz 1 Adet Pentium3 1.6 GHz

Tezin içeriğini oluşturan bölümler şu şekildedir: Öncelikle Seyir Sistemleri'ni tanıtan, bu sistemlerin nasıl bir kontrol problemi olarak ifade edildiğini anlatan aynı zamanda bu alanda yapılmış ve yapılmakta olan çalışmaları özetleyen 2.Bölüm gelir. Bunun yanında, simülatörler hakkında bir literatür taraması da bu bölümde bulunmaktadır. 3.Bölümde araç modellemesi, kullanılan dinamik denklemler ve alt sistemler anlatılmıştır. 4. Bölüm'de Adaptif Seyir Sistemleri'ne yönelik oluşturulmuş kontrol yapısı incelenmiştir. 5.Bölüm'de ise Dur-Kalk Sistem'i kontrol yapısı anlatılmıştır. 6. Bölüm simülasyon sonuçları ve bunların tartışılmasına ayrılmıştır. 7. Bölüm'de İTÜ-MEKAR Simülatörü tanıtılmıştır. Son olarak da 8.Bölüm tartışmalar ve önerilere ayrılmıştır.

2. ADAPTİF SEYİR SİSTEMLERİ

Adaptif Seyir Sistemleri başlığı altında toplanabilecek sistemler, araçta sürücü müdahalesi olmadan aracın boylamsal yöndeki seyrine müdahale eden ve bunu yaparken de aracın gaz ile fren sistemlerini kullanan yapılardır. Adaptif Seyir Sistemi tanımına giren sistemler Hız Sabitleyici Sistemler (Cruise Control System), Adaptif Seyir Sistemi (Adaptive Cruise Control) ve Dur-Kalk Sistemleri (Stop & Go System)'dir.

Genel tanımı ile Hız Sabitleyicileri, aracın hızının ayarlanan bir değerde sabitlenmesi için kullanılırken, Adaptif Seyir Sistemi aracın hızını öndeki araca göre değiştirebilmekte ve bunla birlikte güvenli bir seyir mesafesi oluşturmaktadır. Dur-Kalk Sistemleri ise, benzer bir şekilde, öndeki araç ile mesafe ve hız kontrolünü şehir içi trafikte, durma ve kalkma durumlarının da bulunduğu koşullarda yapmaktadır. Bu sistemlerden, Hız Sabitleyiciler ve Adaptif Seyir Sistemleri günümüzde bazı üreticiler tarafından piyasaya sürülmüş sistemlerdir. Özellikle Hız Sabitleyici Sistemler bugün birçok araçta standart bir özellik olarak bulunmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesi ve aktif güvenlik sistemlerinin birer parçası olmasına yönelik birçok çalışma hem akademik olarak hem de üreticilerin araştırma ve geliştirme projeleri çerçevesinde hızla sürmektedir. Bunun yanında artan araç sayısı ile birlikte trafik işleyişini daha geniş anlamda seyir sistemleri yardımı ile kontrol etmeye yönelik çalışmalar da bulunmaktadır.

2.1 Günümüzde Ve Gelecekte Seyir Sistemleri

Araçların çevredeki araçlarla etkileşiminin sağlanması ve buna uygun komutlar verilerek sürülmesi fikri uzun yıllardır mevcuttur. Bu sistemlerin hayata geçirilmesi hem konfor, hem güvenlik açısından gereklidir. Daha önceki yıllarda, sensör altyapısı ve gerekli kontrol donanımlarının yetersizliği, bu fikrin son yıllarda hayata geçirilmesini sağlamıştır. Şu ana kadar konfor amacı ile kullanılan Adaptif Seyir Sistemleri, bu fikrin hayata geçirilen ilk basamağıdır. Önümüzdeki yıllarda yaygınlaşması beklenen çarpışma öncesi fren kontrolünün (Precrash Braking), daha sonra da şehir içinde otomatik takip sistemi anlamına gelen Dur-Kalk Sistem'leri ise (Stop & Go Systems) bu sistemin bir uzantısı niteliğindedir.

Aracın boylamsal yönde kontrolünü sağlayan bu sistemlerin yanında, yanal yöndeki seyrini kontrol altında tutan sistemler de mevcuttur. Bunlara örnek olarak, şerit takibi, uyarı ve kontrolü sistemleri verilebilir. Bu sistemlerde görüntü işleme sayesinde aracın şerit takibi kontrol edilmekte ve gerekli uyarılar sürücüye iletilmektedir. Şerit takip sistemlerinde ise, direksiyon aktüatörü sayesinde aracın şeritler arasında güvenli bir şekilde kalması hedeflenmektedir.

Gelecekte seyir sistemlerine, son olarak bahsedilen yanal kontrol sistemlerinin entegre edilmesi ile çarpışma önleyici sistemler ortaya çıkmış olacaktır. Çarpışma önleyici sistemler ile kaza öngörüsü yapılarak, fren ve/veya direksiyona müdahale edilir ve kaza engellenmeye, engellenemiyor ise etkileri azaltılmaya çalışılır. Dolaylı olarak güvenlik sistemlerinin bir parçası olarak düşünülebilecek ve aracın düşey dinamiğini kontrol edebilen aktif süspansiyon sistemleri de temelleri bugünden atılmış sistemler olarak değerlendirilebilir.

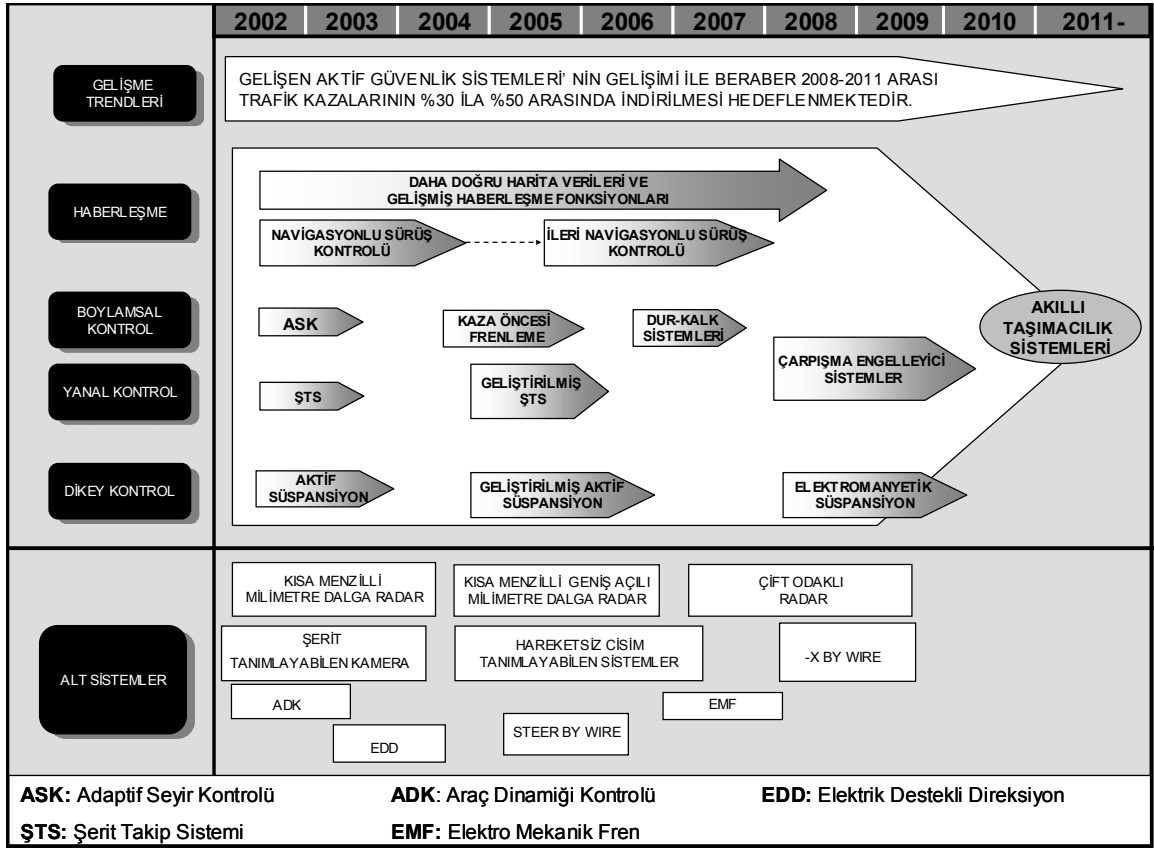
Araç teknolojisindeki atılımlara paralel olarak sensör alanında da önemli gelişmeler söz konusudur. Günümüzde seyir sistemlerinde kullanılmaya başlanan boylamsal yönde mesafe ölçen sensörler sayesinde, mesafe ve hız kontrolü yapmak mümkün olmaktadır. Adaptif Seyir Sistemleri'nin ileriki jenerasyonlarında daha gelişmiş sensör sistemlerine ihtiyaç duyulacak, gelişen GPS ve diğer yerel navigasyon sistemleri ile araçların kontrol sistemlerinde kullandıkları bilgileri birbirleri ile paylaşması mümkün olacaktır. Böylece, sensörler, haberleşme ağının bir parçası haline gelecektir.

Yukarıda sayılan ve günümüzde oluşumu hızla devam eden bu sistemlerin birbirlerine entegre edilmesi akıllı taşımacılık sistemlerinin doğmasını sağlayacaktır (bkz. Şekil 2.1) [5].

Bu alanda yapılan çalışmaların ana hedefi kaza riskini ortadan kaldıran ve sürücü ile yol hatalarının meydana getirdiği trafik kazalarının oluşumunu engelleyen, yarı-otonom araçlar üretmektir. Daha sonraki hedef, inisiyatifin tamamen araçta olduğu otonom araçların oluşturulmasıdır.

2.2 Otomatik Otoyol Sistemleri

Bir yandan yakın gelecekte kullanılmaya başlanacak güvenlik sistemleri ve bunların entegrasyonuna yönelik çalışmalar sürerken bir yandan da daha uzun vadeli ve daha makroskopik hedefler güden sistemler üzerine de yoğunlaşmaktadır. Her geçen gün artan karayolu ihtiyacını karşılamak için artık yeni otoyol yapım maliyetleri yeterince verimli olmamaktadır. Artan işçilik ve arazi maliyetleri, çevresel duyarlılık ve harcanan zaman bunun başlıca sebeplerindendir.



Şekil 2.1: Aktif Güvenlik Sistemleri [5].

Yeni yolların yapılmaması, sonuç olarak, trafik yoğunluğu artışına ve bunun getirdiği zaman kaybı ile beraber araçların verimsiz bir şekilde hareket etmesine sebep olur. Bu durum, enerji kaybı, kirlilik ve azalan verimlilik demektir. Bunun yanında trafik kazalarının artması da trafik yoğunluğu ve otoyolların verimsiz kullanımı ile yakından ilgilidir. Bu nedenle mevcut otoban sistemlerini daha verimli kılacak otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Seyir Sistemleri'nden daha uzun zamanda yaygınlaşması beklenen Otomatik Otoyol Sistemleri, bu çerçevede özellikle akademik anlamda birçok önemli araştırmanın odağı olmuştur. Dünya genelindeki Akıllı Araç-Otoyol Sistemleri (Intelligent Vehicle Highway Systems - IVHS) ya da yeni adı ile Akıllı Taşımacılık Sistemleri (Intelligent Transportation Systems - ITS) yeni teknolojiler kullanarak bugünkü taşımacılık sistemlerini daha verimli kılmayı hedefler [6]. Son yıllarda bu çalışmaların en çok yoğunlaştığı Amerika, Avrupa ve Japonya' da ulusal programlar bu konuda oldukça önemli destekler sağlamaktadır.

Amerika' da bu konuda yapılan en önemli çalışmalar 1986 yılında oluşturulan PATH – (Program on Advanced Technology for the Highway) ile başlar. California Üniversitesi ve çeşitli partnerler ile yürütülen programda birbirleri ile haberleşebilen

araç konvoyları oluşturularak, daha verimli bir trafik akışının sağlanabileceği düşünülmüştür. Kooperatif Adaptif Seyir Sistemi de denilen bu sistemlerle amaç birbirleri ile normalden daha yakın mesafede ilerleyen araç dizileri yaratmak ve bu sayede otoyol kapasitesini artırmaktır. Bunun yanında bu sistemin, güvenlik, yakıt tüketimi, emisyon yada aerodinamik avantajları da bulunmaktadır.

Otomatik Araç Kontrol Sistemleri'nin Avrupa'daki gelişimi ise oldukça eskiye, 1960' lara kadar uzanır. IVHS alanında yapılmış en önemli çalışmalar ise 1980' den sonra başlar. Avrupa komitesi tarafından oluşturulan DRIVE programı ile çarpışma önleyici sistemler ile ilgili önemli gelişmeler sağlanmıştır. Diğer yandan önemli bir proje de endüstri tarafından yürütülen PROMETHEUS programı ve buna destek veren Avrupa Komisyonu EUREKA programlarıdır. Akıllı araç teknolojilerinin Avrupa ayağında yapılan çalışmalarda daha çok, güvenlik sistemleri, akıllı seyir sistemleri ve sürücü yardım sistemleri ön plana çıkar. Bunun yanında Volkswagen AG ve PROMETHEUS' un ortak çalışması ile birbirlerini yakın mesafe ile takip eden araç konvoyları oluşturulmuştur.



Şekil 2.2: Otomatik Konvoy Sistemleri [7]

Japonya'da da Akıllı Taşımacılık alanında önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bugün bu çalışmalar Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı altında gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında, otomotiv şirketlerinin yakın geleceğe yönelik Adaptif Seyir Sistemleri, Çarpışma Önleyici Sistemler gibi atılımları bulunmaktadır.

Belkide tüm dünyada Otoyol Otomasyonu anlamında en ilgi çekici çalışmalar otomatik araç konvoyları üzerine yapılanlardır (bkz. Şekil 2.2). Bu sistemler trafiğin kapasitesini ve güvenliğini artırmayı hedeflemektedirler. Trafik kazalarının %90'ının insan hatası yüzünden meydana geldiği düşünülürse, bu oran otomatik takip sistemleri ile oldukça aşağıya çekilebilir. Ayrıca elektronik sistemler, bilgisayar ya da aktüatörler insandan daha hızlı cevap vermekte, bu da takip mesafesini oldukça indirebilmektedir. Böylece trafik kapasitesinde oldukça önemli bir artış sağlanabilecektir. Bunun yanında birbirini takip eden araçların aerodinamik etkilerinin de %50'lere varan oranlarda iyileştiği ispatlanmıştır [6]. Bu etkinin bu denli fazla olması aynı zamanda yakıt tüketimini ve dolayısı ile de çevresel faktörleri etkilemektedir. Özellikle dur-kalk sistemlerinin konvoy haline getirilmesi ile %26'lara varan yakıt tasarrufundan bahsedilmektedir [6].

2.3 Seyir Sistemlerinin İşleyişi

2.3.1 Adaptif Seyir Sistemi'nin İşleyişi

Boylamsal yönde seyir sistemlerini incelediğimizde, kontrol problemi olarak sistemin tamamını bir hız ve konum kontrolü olarak görebiliriz. En basit hali ile, önünde hedef araç olmadan sürücünün belirlediği sabit bir hızda, seyri sağlayan sistem, önüne bir aracın çıkması halinde hızını belirli bir ivme ile azaltarak, güvenli bir mesafeden öndeki aracın takip edilmesini sağlamaktadır. Öndeki aracın şerit değiştirmesi, yoldan ayrılması ya da önceden belirlenen bir hızın üstüne çıkması halinde sistem otomatik olarak belirlenen bir hıza kadar çıkar ve başka bir hedef araç çıkana kadar bu değerde kalır (bkz. Şekil 2.3). Sürüş sırasında aracın yönlendirilmesi tamamen sürücüye aittir. Yani sistemin direksiyona müdahalesi söz konusu değildir. Ancak sistem fren ve gaza müdahale ederek aracın hızlanma ve yavaşlama hareketlerini sağlar.

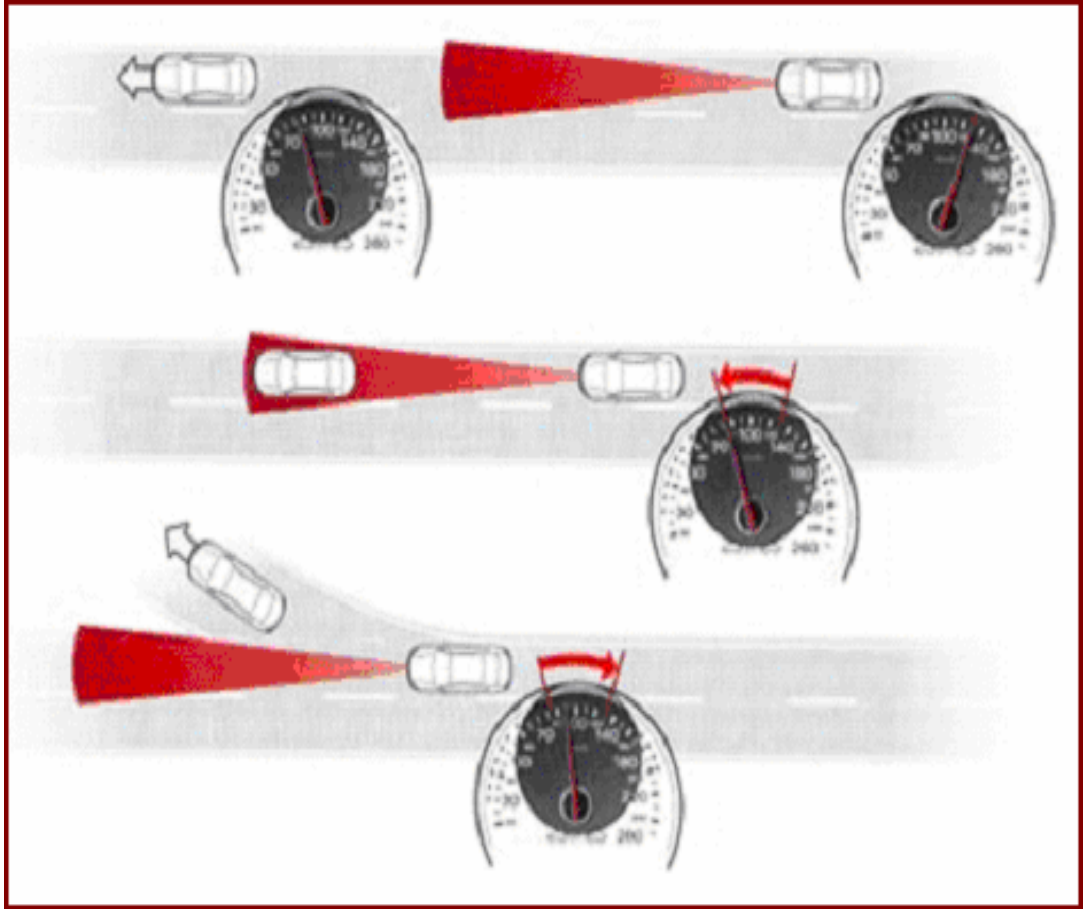
Sisteme sürücünün girdiği iki büyüklük bulunmaktadır. Bunlardan ilki hedef aracın bulunmadığı durumlarda aracın seyredeceği hız değeri, diğeri ise hedef araçlar ile arasındaki mesafedir. Aslında sürücü mesafeyi zaman aralığı olarak girmekte, böylece iki araç arasında zaman cinsinden belirlenen aralık, hızlara göre değişiklik göstermektedir.

Adaptif Seyir Sistemi'nin bir güvenlik sistemi değil, öncelikle bir konfor sistemi olduğu vurgulanmalıdır. Zira bugün kullanılan sistemlerde, sistemin aktif olduğu durumlarda sürücünün sürüş konsantrasyonunun azaltmaması gerektiği belirtilmektedir. Çünkü sistem acil bir durumda gerekli müdahaleyi yapacak kadar yetkili değildir. Örneğin duran bir cismin, yaya ya da oldukça yavaş ilerleyen bir araç

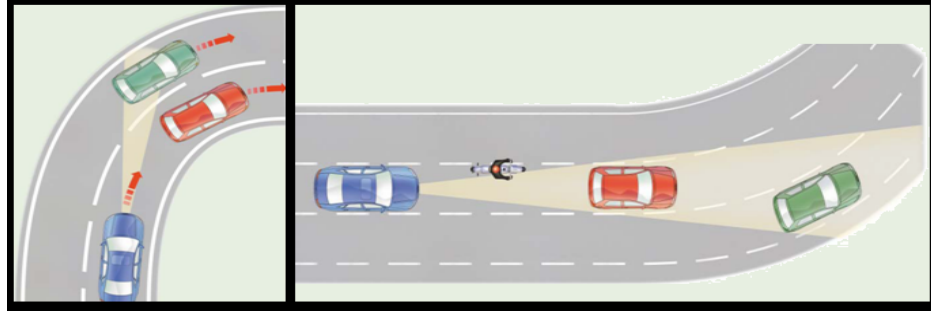
ile karşılaşılmaması durumunda sistem yeterli fren müdahalesi yapamamaktadır. Ancak bu gibi durumlarda sürücü uyarılarak sürüşü devralması sağlanmaktadır.

Adaptif Seyir Sistemi'nin bir konfor sistemi olarak nitelendirilmesinin altında yasal zorunluluklar yatmaktadır. Sistemin gaz ve frene müdahalesi belirli standartlarla sınırlandırılmıştır (ISO – 15622:2002) [8]. Bu sınırlama ile, sistem aktif iken aracın ivmesi belirli değerler arasında sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu ivme sınırlaması, yolcuları rahatsız etmeyecek mertebede olmalı, araç frenleme ve hızlanma yaparken herhangi bir ani harekette bulunmamalıdır.

Her ne kadar Adaptif Seyir Sisteminin ilgilendiği trafik koşulları hızlı, akıcı ve göreceli olarak araç sayısının az olduğu durumlardan da oluşsa, sistemin, trafik akışının durumunun farkında olması gerekmektedir. Bu sebeple, kontrolcü ve sensör donanımının, hedef araç seçimini doğru yapması ve aracın seyrini tehlikeli bir duruma sokmaması gerekmektedir. Düz yolda aynı şeritteki en yakın aracı ayırt ederek sistemin bu aracı hedef seçmesi, dönüş halindeki bir yolda ise şeridin uzantısındaki en yakın aracın seçilmesi gerekmektedir [9]. Bunun ayırt edilebilmesi için, yalnızca hedef araç değil, donanımlı araca ait büyüklükler de ölçülerek değerlendirilmelidir (bkz. Şekil 2.4).



Şekil 2.3: Adaptif Seyir Sistemi' nin İşleyişi [10]



Şekil 2.4: Adaptif Seyir Sisteminin Karşılaştığı Değişik Trafik Durumları [11]

Sistemin genel olarak aktif olabildiği belirli bir hız aralığı vardır. Bu aralığın alt sınırı sistemin yoğun trafikte kullanımını engellemek, üst sınırı ise yüksek hızda seyri teşvik etmemek içindir. Bu bağlamda Adaptif Seyir Sistemleri tipik olarak 30 ila 50 km/saat gibi hızların altında ve 180 km/saat gibi hızların üstünde çalışmamaktadır. Sistem tasarımının tamamen uzun yol amaçlı olduğu vurgulanmalıdır.

2.3.2 Dur-Kalk Sistemleri

Dur Kalk Sistemleri, Adaptif Seyir Sistemleri' nin kullanımının şehir içi trafik koşullarına genişletilmiş halidir. Bu bağlamda mesafe ve hız kontrolünün çalışma aralığı sıfır hıza kadar inmektedir.

Adaptif Seyir Sistemlerinin aksine, yüksek ivmelenme aralığında çalışan Dur-Kalk Sistemlerinin trafiğin durumu hakkında daha geniş bilgiye sahip olması gerekmektedir. Yani trafik ve sürüş davranışları ile ilgili muhtemel tüm senaryoların sistem tarafından tanınıyor olması gerekmektedir. Bu yüzden Adaptif Seyir Sistemlerine göre yeni sensör konseptlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulur. Belki de en önemlisi, toplanan ya da ölçülen fiziksel büyüklüklerin, trafiğin durumunu doğru yansıtacak bilgiye dönüştürülmesi işlemidir. Trafik durumlarını ayırt edebilecek modeller ve her durumda uygun müdahalenin yapılmasını sağlayacak hareketlerin ortaya koyulması gerekmektedir.

Genel olarak, Dur-Kalk sistemlerde, boylamsal kontrol desteği düşük hızlarda ve hız limitinin sifıra kadar indiği durumlarda gerçekleştirilmektedir. Bu destek, sürücünün, hızlanma, durma, aracı çevredeki araçlardan uygun mesafede durdurma gibi rutin hareketlerinin yerini alır. Sıkışık trafik durumlarını tanımlayacak özellikler şu maddelerle belirtilebilir [12]:

- Tüm şeritlerin araçlar ile dolu olması
- Sürüş hızının diğer araçlara bağımlı olması
- Sürüşün olduğu şeritte ve diğerlerinde küçük ya da sıfır hız değişimlerinin olması

- Maksimum hızın 40 km/h 'in altında olması
- Minimum hızın sıfır olması
- Uzun periyotlarla trafikte durma anlarının olması
- Ani kalkışlar ile kesilmiş uzun durmaların olması
- Uzun seyir sürelerinin olması

Boylamsal desteğin önemli bir özelliği, trafiğin akışı ile uyumluluğudur. Ayrıca sürücünün sisteme herhangi bir anda müdahale etmesine açık olmalıdır. Bu yüzden, sistemin, hangi hareketi neden yaptığını sürücüye ifade edebilecek, kolay anlaşılabilen uyarı mekanizmaları ve arayüzleri bulunmalıdır.

Tasarlanacak Dur-Kalk sistemlerinden beklenen başlıca özellikler şu şekilde sıralanabilir [12]:

- Öndeki araç ile güvenli bir mesafe bırakabilmeli
- Önde yavaşlayan bir araçla beraber yavaşlayabilmeli ve sonunda gerekirse durabilmeli
- Duran aracın arkasında yavaşlayıp durabilmeli
- Bir aracın arkasında durduktan sonra otonom bir şekilde harekete geçebilmeli
- Sistem başlatıldığında eğer önde araç yoksa, sistem kalk komutunu uygulayabilmeli
- Eğer hedef araç yoksa belirlenen hıza kadar hızlanmalı
- Eğimli yollarda bile durma işlemini gerçekleştirebilmeli
- Diğer araçların ani şerit değiştirmelerine karşı hazırlıklı olmalı
- Sürücünün yaptığı şerit değiştirme hareketlerini anlayabilmeli
- Düzensiz trafik akışı ile uyumlu olmalı
- Sistem limitlerine ulaşıldığında sürücüyü uyarabilmeli
- Fren pedalına dokunulduğunda sistem kapanmalı
- Ayarlanan hız limitine ulaşıldığında aracı bu hızda sabitleyebilmeli
- Sürücünün seçimine göre takip mesafesini ayarlamalı

Bunun yanında GPS gibi navigasyon sistemleri de sisteme entegre edilebilirse araç hızı ve takip mesafeleri de yol, viraj, ya da lokasyona göre otomatik olarak ayarlanabilir.

2.3.3 Kontrol Problemi

Genel olarak bakıldığında araç takibi, boylamsal yönde bir hız ve konum kontrolü problemidir. İki aracın birbirleri ile olan bağıl hızı sıfıra indirilmek istenmekte ve bu sırada araçlar arası mesafenin de belirli bir değerde kalması gerekmektedir. Belirli bu

değer takip mesafesi şeklinde tanımlanırken, güvenlik açısından belirli bir mesafenin altına inmemelidir. Araçlar arasında boylamsal yöndeki bu kontrol problemini ifade eden ve farklı çözümler getiren birçok çalışma bulunmaktadır [13-33].

Araçların boylamsal yönde kontrolünü incelerken yapılan kabullerin başında araçların düz bir yolda ilerlediği varsayımı gelir. Ancak gerçek hayatta karşılaşılan senaryolar sadece düz yolda oluşmamaktadır. Otoyol trafiği ve özellikle şehiriçi trafiği birçok aracın şerit değiştirmesi, yeni araçların takip sırasında araya girmesi, gibi senaryolarla doludur. Bunun yanında boylamsal yöndeki yol mesafesi, mevcut bir viraj nedeniyle sensörün boylamsal yönde ölçtüğü değerde olmayabilir. Bu yüzden gerçek uzaklığı sürücü girişlerinden ve hedef aracın konumundan elde edebilecek kontrol algoritmaları üzerine de çalışmalar bulunmaktadır [16,17]. Bunun yanında bir çok aracın aynı anda hedef araç olma olasılığının bulunduğu durumlarda da kontrolcünün bir şekilde karar verme yeteneğinin olması gerekmektedir.

2.3.3.1 Kontrol Problemi olarak Seyir Sistemleri

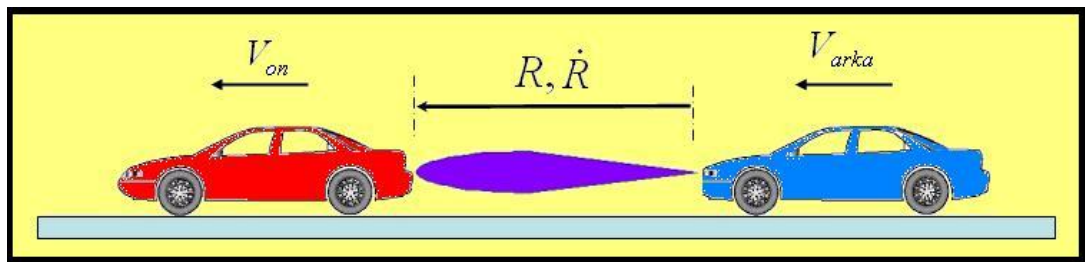
Yukarıda da belirtildiği üzere boylamsal yönde seyir kontrolü bir mesafe ve hız kontrolüdür. Kontrol sisteminin ilgilendiği büyüklükler ise şunlardır (bkz. Şekil 2.5):

V_{on} : Takip edilen araç hızı

V_{arka} : Seyir Sisteminin bulunduğu arka araç hızı

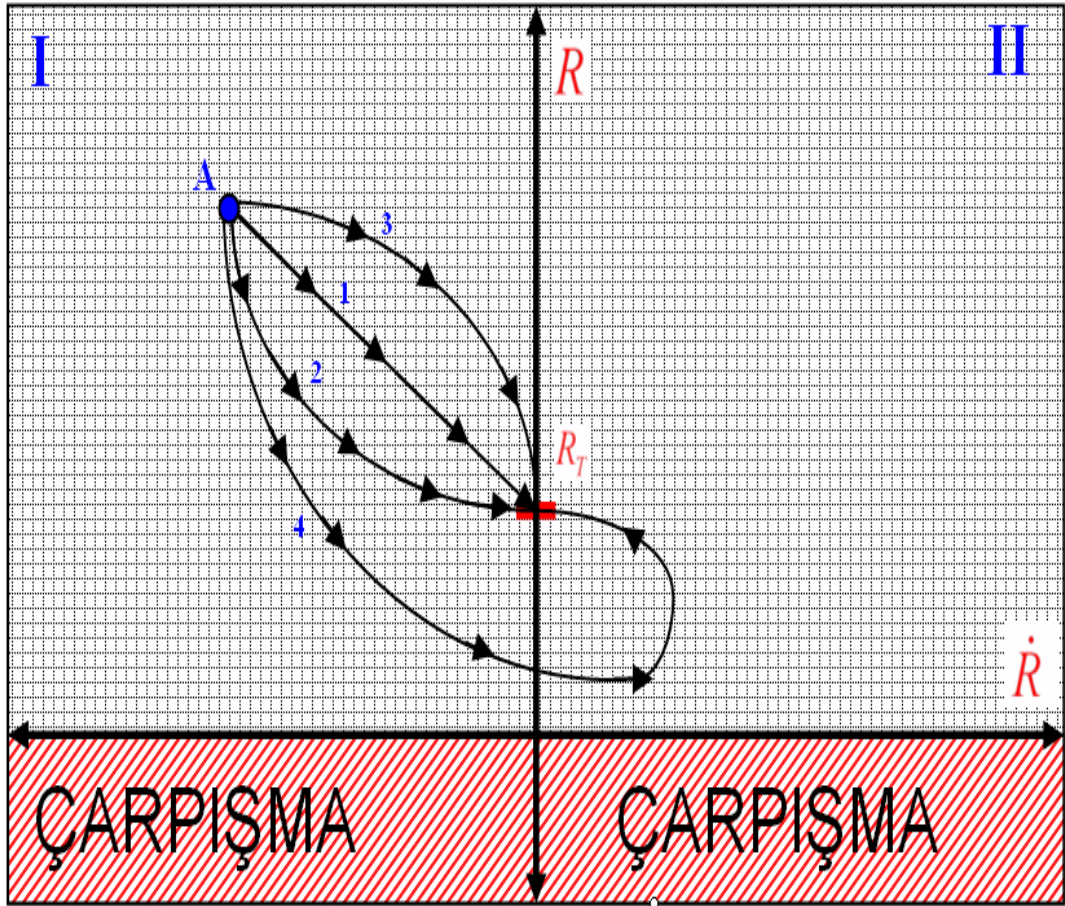
R : Bağıl Mesafe

$\dot{R}$: Bağıl Hız



Şekil 2.5: Hız ve Mesafe Kontrolü

Boylamsal yöndeki kontrol algoritması ölçülen bağıl hız ve bağıl mesafe doğrultusunda arka aracın hızını değiştirerek, bağıl hızın sıfır olmasını sağlarken bağıl mesafenin belirli bir değere sabitlenmesinde olanak verir. Bu durumun grafiksel gösterimi sistemin durumlarını oluşturan R ve $\dot{R}$ 'ın eksenleri oluşturduğu faz diyagramından kolayca görülmektedir (bkz. Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Faz Diyagramı

Diyagram, önde ve arka aracın hızından daha yavaş seyreden bir araçla karşılaşıldığı durumda I no' lu çeyrekteki herhangi bir A noktasından başlar. Daha sonra kontrol yönteminin girişleri doğrultusunda R_T noktasına ulaşılır. Bu noktada bağıl hız sıfır iken mesafe R_T 'dir. R 'nin negatif değerleri araçların çarpışma durumunu temsil etmektedir. Dolayısı ile sistemin zorunluluklarından biri R 'nin pozitif olmasıdır. Bunun yanında sistemin ulaşması gereken son değer R_T güvenli bir mesafe olmalıdır. Şekil 2.6' da görüldüğü üzere R_T ' ye ulaşan değişik yollar mevcuttur.

Bu yollar kontrolcünün izlediği yöntem ile ilişkili olup sistemin kararlı rejime geçme süresini, yani takibin başlaması ile mesafenin istenen değere gelip bağıl hızın sıfır olması arasında geçen süreyi etkilemektedir. Örneğin lineer bir şekilde R_T 'ye yaklaşan 1 eğrisi ile, parabolik şekilde yaklaşan 2 eğrisine bakıldığında, takip sırasında herhangi bir R mesafesinde 2' deki bağıl hızın 1' dekine göre mutlak değer olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da ortalamada aynı mesafenin daha yüksek hızlarla alındığını gösterir. Bu şekilde takip sırasında geçen süre 1 eğrisinde daha azdır.

Matematiksel ifade ile,

$$\dot{R} = dR / dT \quad (2.1)$$

olduğundan,

$$\int_{t_0}^t dT = \int_{R_0}^R \frac{dR}{\dot{R}} \Rightarrow t_g = t - t_0 = \int_{R_0}^R \frac{dR}{\dot{R}} \quad (2.2)$$

elde edilir.

$\dot{R}$ 'nın büyümesi integrali ve dolayısı ile geçen süreyi azaltmaktadır.

1 eğrisinin lineer denklemi,

$$R = -T \cdot \dot{R} + R_T \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir.

Bu aslında R 'nin zamana göre türevini içeren birinci dereceden bir diferansiyel denklemdir. Denklemin çözümü ise;

$$R = R_0 \cdot e^{-(t_g/T)} + R_T \cdot (1 - e^{-(t_g/T)}) \quad (2.4)$$

olarak bulunur. Burada R_0 , $t = 0$ anındaki araçlar arası mesafedir. R_T , ise sonuçta ulaşılabilecek takip mesafesidir.

Bu denklemden de görüldüğü üzere 1'nolu eğri öndeki araca yaklaşırken kullanılacak referans olarak seçildiğinde, aradaki mesafe eksponansiyel olarak azalmaktadır. Bu denklemde R_T mesafesi sabit bir değer olarak gösterilmiştir. Ancak daha sonraki bölümlerde de inceleneceği üzere bu mesafe aslında hıza bağımlı hale getirilebilir. Bu bağlamda istenen mesafe;

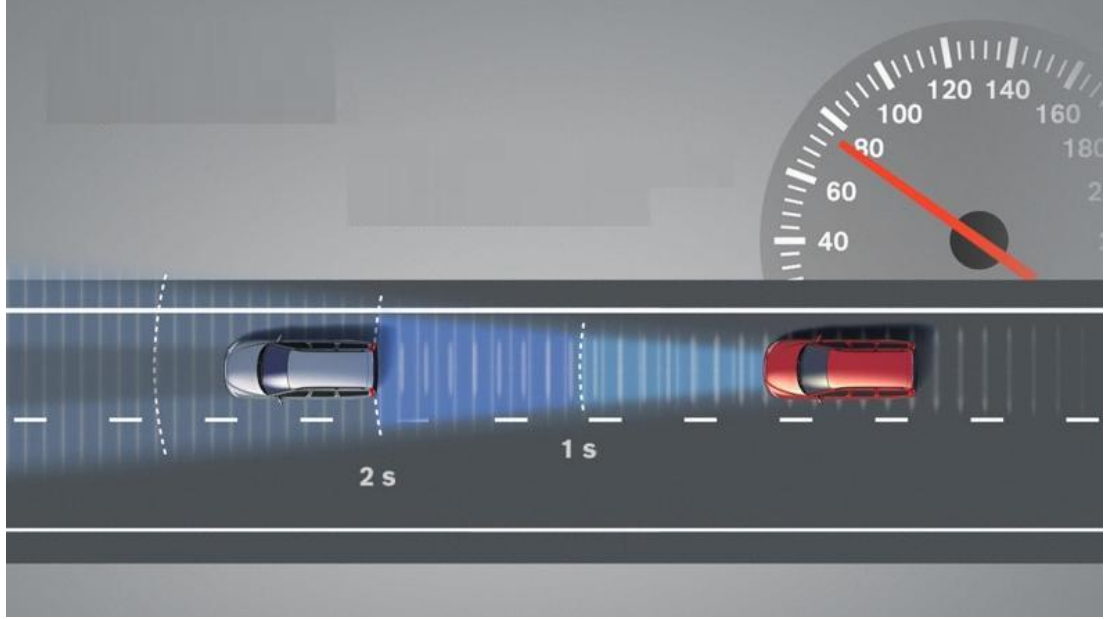
$$R_{T,istenen} = T_H \cdot V_{arka} \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Bu şekilde araçlar arası mesafe zaman aralığı olarak belirlenmektedir ve bu durumda araç hızı arttıkça istenen takip mesafesi de artmaktadır (bkz. Şekil 2.7). $R_{T,istenen}$ takip boyunca takip edilmesi istenen mesafedir.

Bu mesafe takibin sonunda yani V_{arka} ve V_{on} hızları birbirlerine eşit olduklarında takip mesafesini oluşturmaktadır. Yani $\dot{R} = 0$ olduğunda,

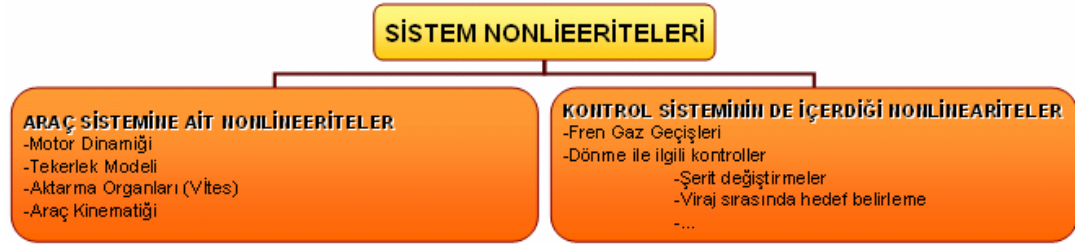
$$R_{T,istenen} = T_H \cdot V_{arka} = T_H \cdot V_{on} \quad (2.6)$$

şeklinde de yazılabilir.



Şekil 2.7: Zaman Aralığı [34]

Boylamsal yönde kontrol ile ilgili önemli bir durum da hem kontrol edilen sistemin hem de kontrol ilişkisinin lineer olmayan özellik taşımasıdır. Araçta istenilen bağıl mesafe ve bağıl hız için kontrol edilmeye çalışılan araç hızı, sistemde bir dizi nonlineer alt sistemler içermektedir. Örneğin motorun, devir, gaz açıklığı ve tork ilişkisi tamamen nonlineer bağıntılar içermektedir. Bunun yanında araç hızı da sisteme kattığı kazançların değişmesi açısından nonlineer bir yapıdır. Sisteminkilerin yanında kontrol yönteminin de içerdiği nonlineeriteler mevcuttur (bkz. Şekil 2.8).

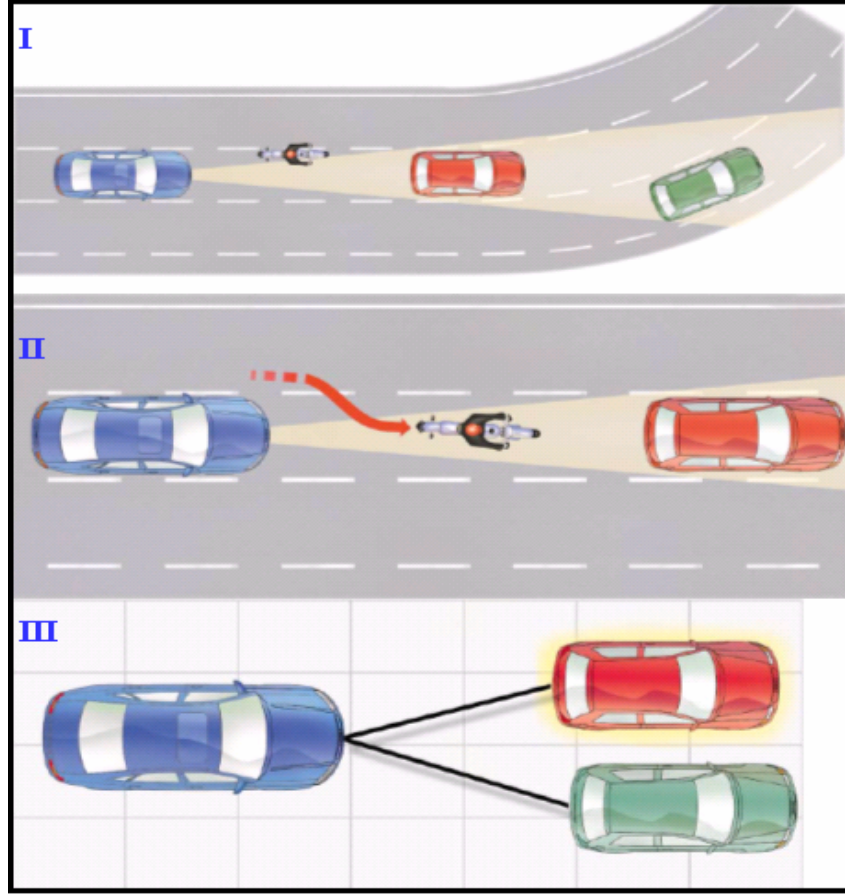


Şekil 2.8: Sistem Nonlineariteleri

Kontrol yönteminin bir yandan gaz, bir yandan da fren ile araç hızına müdahale etmesi ve bunun da fren-gaz geçişleri sırasında süreksizlik yaratması buna örnektir. Bunun yanında seçilen kontrol yöntemi de nonlineer bir yöntem olabilir. Örneğin adaptif algoritmalar ya da kayma kipli kontrol yöntemleri aracın boylamsal yönde kontrolü için literatürde kullanılan nonlineer kontrolcülerdir.

Seyir sistemleri kontrolcülerinin ilgilenmesi gereken boylamsal yöndeki kontrol sadece düz bir yolda ilerlerken çalışmak zorunda değildir. Örneğin viraj sırasında ya

da şerit değiştirme sırasında sistemin doğru hedefi belirlemesi ve buna göre kontrol sinyallerini oluşturarak aracın hızını değiştirmesi gerekmektedir (bkz. şekil 2.9).



şekil 2.9: Yanal Senaryolar [11]

şekil 2.9 ‘un I. durumunda viraja girerken aracın boylamsal sensörü yan şeritteki diğer araçları da görmektedir. Bu durumda hedef olmayan araca ait ölçümlerin göz ardı edilip doğru şeritteki aracın belirlenmesi gerekmektedir. Bu ayrımı yapmak için arka araca ait direksiyon girişi, savrulma açısı bilgilerinin de boylamsal sensör ile beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde virajı aynı şeritte takip eden araç, dönme yarı çapının aynı olması bakımından ayırt edilebilmektedir. Durum I’ de boylamsal sensör ile alınacak ölçümler aynı zamanda öndeki aracın yoldan ayrılması ya da şerit değiştirdiği durum için geçerlidir. Eğer  ndeki araç şerit değiştiriyor ise sistem yeni hedef araç belirlenene kadar hızını belirli bir değere kadar arttırmaktadır. Oysaki Durum I’ de böyle bir aksiyon yapmak yanlış olur. O halde sistemin aynı sensör ölçümleri için farklı durumları ayırt edebilmesi ve bu durumları değerlendirebilmesi gerekmektedir.

Durum II’ de olanlar ise takip araç ile araya yeni bir aracın girmesi durumudur. Bu boylamsal kontrol yönteminin halledebileceği bir durumdur. Ancak araya giren yeni araç ile mesafenin kapanması için gerekli müdahale sistemin ivme sınırlarını aşar ise,

sistem sürücüye uyarı vermek durumunda ve sürücü müdahalesini istemektedir. Durum II' de ortaya koyulan diğer bir özellik de, boylamsal sensörlerin motosiklet gibi küçük boyutlu vasıtaları da ayırt edebilmesidir.

Durum III de boylamsal yönde karşılaşılabilecek bir durumdur. İki araç da aynı şeridi işgal ederse sistem otomatik olarak en yakın aracı hedef olarak belirlemelidir. En yakın araç değişirse, kontrol aksiyonu bu araç üzerine geçirilmelidir. Ancak bu durum yan şeritteki araçlar için geçerli olmamalıdır.

2.3.3.2 Adaptif Seyir Sistemi ve Konvoy Sistemleri ile ilgili Literatür Taraması

Literatürde boylamsal kontrol üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı sadece aracın boylamsal dinamiğini göz önünde bulunduran sistemlerdir [13-15]. Bunun yanında aracın düz olmayan yollardaki performansının da incelenmesi gerekmektedir.

Ayrıca, diğer araçların yanında doğru hedefin seçilmesi de başlı başına bir kontrol problemidir. Bu probleme yönelik direksiyon girişi ve savrulma açıları ölçülerek hedef aracın konumu ve seçimi konusunda yapılan çalışmalar da bulunmaktadır [16, 17].

Kontrol yöntemleri sistematik olarak incelendiğinde, üç farklı kontrol yapısı bulunmaktadır [1]. Öncelikle boylamsal kontrol adına araçların tamamen düz bir yolda ilerlediğinin varsayıldığı ve sadece iki araç arasındaki mesafe ve hız kontrolünün yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır [18-20]. İkinci grupta ise araçların dönme manevralarının da dikkate alındığı, şerit değiştirmelerin de göz önünde bulundurulduğu çalışmalar yer alır [16,17,21]. Son olarak da araçların bir konvoy halinde ilerlediği ve PATH ya da PROMETHEUS gibi programlar çerçevesinde yürütülen çalışmalardan bahsedilebilir [13,14,22]. Bu çalışmalarda daha genelleştirilmiş araç modelleri ile çoklu-arac simülasyonları ve kontrol uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Makroskopik trafik karakteristikleri de bu çalışmalarda incelenmiştir [23,24].

Yapılan çalışmaların birçoğunda kontrol yapısı hiyerarşik bir yapıdadır [13,14,18,25]. Öncelikle, ASS kontrol yapısı, aracın gerekli takibi sağlayacak ivmelenmesini ilgili kontrol yapısına göre hesaplamakta ve fren ya da gaz için gerekli kontrol girişlerini oluşturmaktadır. Bunun yanında alt seviye kontrol yapısında bu kontrol girişlerinin aktüatörler tarafında sağlanıp sağlanmadığı ve donanımların beklenen yanıtı verip vermediği kontrol edilmektedir.

ASS sistemlerinin trafik akışı üzerine etkisi araştırılır iken üç farklı yaklaşım kullanılmıştır.

Bunlar;

- Sabit Aralık Temelli Kontrol: Bu yöntemde, araçlar birbirlerine sabit mesafe ile hareket etmektedir[26].
- Sabit Zaman Aralıklı Kontrol: Burada araçların arasındaki mesafe araç hızlarına göre değişmekte, ancak araçların birbirleri ile sabit bir zaman aralığı bulunmaktadır [27]
- Değişken Zaman Aralıklı Kontrol: Bu yöntem ile araçların arasındaki zaman aralığı, araç hızlarına bağlanmıştır [28]

Kontrol yöntemlerinin amacı, bağıl hız ve bağıl mesafe değerlerini faz diyagramının orijinine doğru yönlendirmektir. Bu amaca yönelik yapılan bir çalışmada, faz diyagramı değişik bölgelere ayrılarak, her bölgede farklı kontrol eforları geliştirilmiş ve sürücü davranışına yaklaşılmaya çalışılmıştır [18]. Burada amaç, otoyolda giden araçlara yönelik değişik kontrol yöntemleri arasında değişim yapabilen bir hibrit kontrol tasarlamaktır. Mesafe ve bağıl hız değerleri faz diyagramında uygun noktaya doğru yumuşak bir şekilde gitmeye zorlanırken, bölgeler arasında geçişteki yüksek frekanslı değişimler ve karar verme alanlarındaki ani geçişlerden kaçınılmaktadır. Bir yüksek seviyeli kontrolcü de yumuşak ve sabit bir ivmelenme ile kontrol ve lineer kontrol bölgeleri arasında geçişi düzenlemektedir.

ASS sistemlerinin gelişiminde kullanılmış olan PID temelli kontrol yapıları da bulunmaktadır. [29]'da Chien ve diğerleri, sabit zaman aralıklı kontrole dayanan PID kontrollü bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemin konvoy seyrinde kararlı bir sürüş sağladığını ayrıca sensör gürültülerinden doğan gecikmelere karşı dayanıklı olduğunu ispatlamıştır.

[30]'da ise iki farklı kontrol yapısı önerilmiş (quadratic türevli terimi olan PID ve adaptif PID) ve bunlar karşılaştırılmıştır. Lu ve Hedrick [31]'de iki seviyeli bir kontrol yapısı ağır vasıta taşıtlara uygulanmıştır.

Kazanç ayarlamalı yada adaptif kontrol yöntemleri sıkça başvurulmuş yöntemler arasındadır. [27]'de adaptif PID gaz kontrolü tasarlanmış ve sabit terimli PID kontrolcüye uyarlanmıştır. Sadece boylamsal bir dinamik ile incelenen kontrol düzeninde, önce sabit zaman aralıklı kontrol yapısı belirlenmiş ve alt kontrolcüler ile gaz ve fren kontrolü yapılmıştır. Gaz için sabit terimli bir PID kontrol ve kazanç ayarlamalı kontrol algoritmaları önerilmiştir. Süreksiz yapıyla bir fren algoritması da oluşturulmuş ve son olarak da fren gaz geçişlerindeki geçişler üzerine bir algoritma oluşturulmuştur.

PATH projesinin bir parçası olarak Hedrick' in çalışmaları da ASS ve konvoy sistemleri üzerinedir. Genelde kayma kipli kontrol üzerine çalışmaları, ASS' nin

ötesinde Kooperatif ASS ve konvoy sistemlerini de içerir [13,25,32]. Kooperatif ASS, ASS aracının hedef araçla haberleşebildiği sistemlerdir. Bu şekilde hibrit kontrol yapısı içerisinde, birçok araç birbiri ile iletişim halinde olabilmektedir [25, 32]. Yapılan çalışmalar sonunda Kooperatif ASS sayesinde, ASS' ye nazaran daha yakın takip mesafeleri elde edilmiştir [33]. Bu sayede, araçlar arasında hızla ilgili bilgilerin yanı sıra, öndeki aracın maksimum fren kapasitesi yada frenleme hızı gibi bilgiler arka araca iletilmekte böylece arka aracın sürücüsü geleneksel çarpışma uyarı sistemlerine göre daha çabuk uyarılmaktadır.

2.3.3.3 Dur-Kalk Literatür Taraması

Dur-Kalk sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar, ASS için yapılanların bir uzantısı niteliğindedir. [35]' de PATH projesi dahilinde yapılan çalışmalarda, kontrol yapısı ASS sistemininkine benzetilmiş ve takip mesafesi insan davranışını temsil eden ampirik bir ifade ile elde edilmiştir. [36]'de ise dur-kalk özelliği de olan bir ASS tasarlanmış ve şehir içi trafik şartlarına uyumlu hale getirilmiştir. 20 farklı sürücünün sürüş özellikleri dikkate alınarak tasarlanan bir kontrolcü yapısı mevcuttur. [37]' da ise mesafe ve hız kontrolü ile beraber gaz ve fren kontrollerini içeren, Lineer Quadratic optimal bir kontrol yapısı tasarlanmıştır.

2.3.4 Seyir Sistemlerinde Kullanılan Donanımlar

Adaptif Seyir Sistemi ve Dur-Kalk Sistemi, içerdikleri donanım olarak üç farklı başlıkta incelenebilir. Bunlar aktüatör donanımları, sensör donanımları ve kontrolcü donanımları. Araçta kontrolcü donanımları, aracın ABS, ESP gibi diğer alt sistemlerinin de kontrolünün yer aldığı araç kontrol ünitesinde yer aldığı gibi, sadece seyir sistemlerine ayrılmış bir kontrol merkezi de araçta bulunabilir. Bunun dışında aracın hızını kontrol etmek için temelde gaz ve fren sistemleri kullanılmaktadır. Bunun yanında gereksinim duyulan vites değişimlerinin otomatik vites tarafından gerçekleştirildiği kabul edilmektedir.

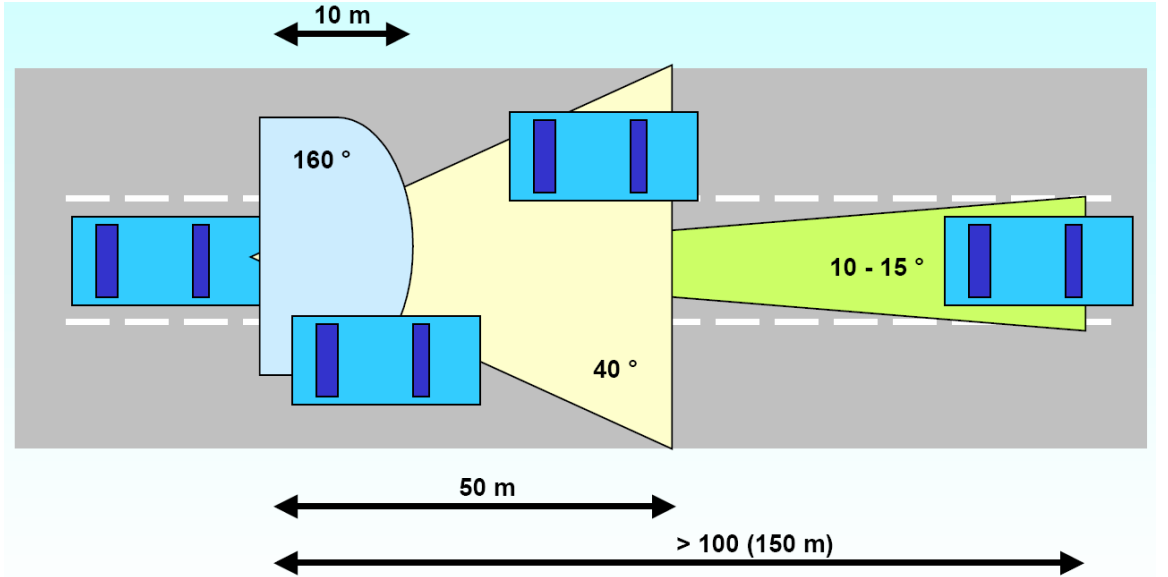
Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur-Kalk sistemlerinin ihtiyaç duyduğu ana birim, sensör altyapısıdır. Kontrol yapısının ihtiyaç duyduğu hedef araçla olan boylamsal mesafe ve boylamsal yönde bağıl hız bu sensör tarafından karşılanmaktadır. Sensörün güvenilir bir ölçüm yapması, yeterli bir menzil ve görüş açısına sahip olması gerekmektedir.

Güvenlik açısından yerleştirilecek sensörün yüksek hızlarda en azından 150 metre menzili olmalı ve $\pm 10^\circ$ derece görüş alanı olmalıdır. Görüş alanının yaptığı bu açıya aynı zamanda azimut açısı da denmektedir. Dur-kalk sistemlerinin ihtiyaç duyduğu sensör özellikleri ise menzil açısından daha düşük, görüş alanı açısından daha geniş

olmalıdır. Zira etraftaki, potansiyel hedef araç sayısı fazla olmakla beraber araçlar birbirlerine daha yakın seyretmektedir. Bu bakımdan yan şeritlerde daha geniş alanlar gözlenmek istenir. Bu açıdan, $\pm 40^\circ$ azimut açısı ve en az 40 metre menzil Dur - Kalk sistemleri için yeterli olacaktır.

Sensör boylamsal hız ve mesafenin yanı sıra hedef aracın yatay düzlemdeki konumunu da vermektedir. Bu bilgi hedef aracın azimut açısı olarak adlandırılıp, sensör ile hedef arasındaki doğrunun, düzlemde yaptığı açıdır.

Pratikte Dur - Kalk sistemlerinin ihtiyaç duyacağı ve daha küçük menzilli sensörlerde bulunmaktadır. Bunlar ses dalgaları kullanan sonar sensörler olabilir. İdeal bir seyir sisteminin sahip olması gereken boylamsal sensör altyapısı ve ilgili menzilleri Şekil 2.10' da özetlenmiştir.



Şekil 2.10: Boylamsal Sensörler ve Menzilleri [38]

Günümüzde görüntü işleme yöntemlerinin dışında araçlar için tasarlanmış iki tip boylamsal sensör bulunmaktadır. Bunlardan ilki Lidar denilen ve “Light Detection and Ranging” anlamına gelen lazer tipi sensörlerdir. Sensörün lensi, optik olarak birbiri ile bitişik lazer demetlerini gönderir ve bunları toplar. Bu sensörün en önemli avantajı fiyatı ve araca kolay yerleştirilebilmesidir [39]. Ancak gönderilen ve alınan lazer demeti çevre etkilerine son derece duyarlıdır. Bu yüzden kötü hava koşulları ya da sis gibi durumlarda ölçümleri güvenilir olmaz. Diğer bir sensör tipi ise daha yaygın olarak kullanılan radar tipi sensörlerdir.

Radar teknolojisi araçların boylamsal kontrolünde çok önemli bir rol oynamaktadır. Hem uzun hem de kısa menzilli uygulamalarda kullanımı mümkün olan radar sensörlerinin lazere göre hava koşullarından etkilenmemek gibi bir avantajı söz

konusudur. Radar sensörler, elektromanyetik dalgalar sayesinde anten ve engel arasındaki mesafeyi ölçmektedir.

Mesafe ölçümünde değerlendirilen, elektro manyetik dalga'nın hedefe çarpıp gelmesi sırasında geçen uçuş süresidir.

Bu süre ,

$$t_{uçuş} = 2 d/c \quad (2.7)$$

ile elde edilirken; d ölçülmek istenen mesafe, c' de ışık hızıdır (300000 km/s). Örneğin 100 m' lik bir mesafede uçuş süresi 0.66 µs' dir.

Bağıl hız ölçümünde kullanılan ise Doppler etkisidir. Eğer sinyali gönderen ve alan arasında bir hız farkı mevcut ise gelen sinyalde bir frekans kayması olur. Bu fark ölçülerek aradaki bağıl hız elde edilir. Şekil 2.11' de Doppler etkisi ile bağıl hız arasındaki ilişki ortaya koyulmuştur. [40].



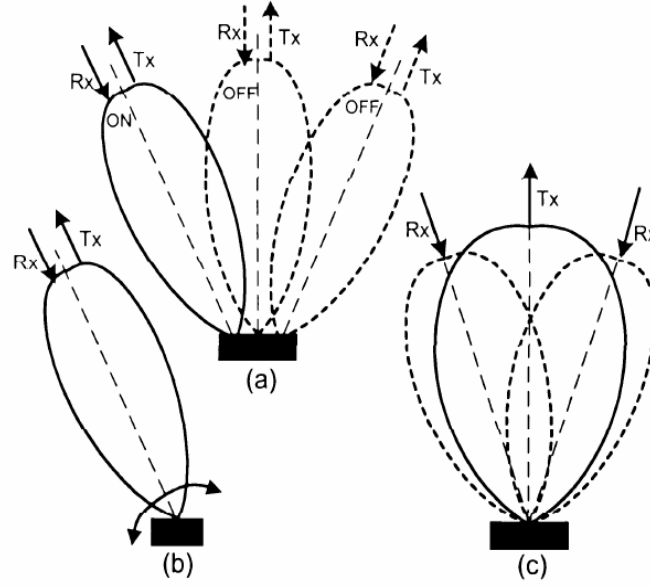
Şekil 2.11: Doppler Etkisi

Örneğin 1 m/s' lik bir bağıl hızın meydana getirdiği frekans kayması 510 Hz kadardır.

Günümüzde kara taşıtları için tasarlanmış radarlar FM – CW yani frekans modülasyonlu ve sürekli dalgalı radarlardır. Bu radarlar, frekans modülasyonunu belirli bir aralıkta değiştirir ve yansıyan sinyal ile aradaki frekans farkından hedefin hızını ve uzaklığını bulmaktadırlar.

Araçlarda kullanılan radarların değişik anten tipleri mevcuttur ve anten tipleri doğrultusunda değişen tarama yöntemleri bulunmaktadır. Örneğin Şekil 2.12' nin (a) şıkkındaki elektronik tarama yöntemi ile radar belirli aralıklarla sinyalini gönderir ve alır. Bu şekilde 3 tarama noktası ile yaklaşık 12° lik bir görüş alanı oluşturulurken cisimlerin azimut açısı da elde edilmiş olur [39]. Kullanılan dalga demetlerinin geniş olması, düşük anten kazancı ve küçük fiziksel boyut demektir. Aynı zamanda radarın

gücü de bu sayede düşmektedir. Bunun yanında diğer bir metot da (b) mekanik olarak tarama yöntemidir. Bu yöntemde radar mekanik olarak yaklaşık 12° lik bir açıyı 64 ya da 128 arasında mekanik olarak tarar. Bu durumda daha küçük dalga demetleri oluşurken güç ve fiziksel boyut da artmaktadır. Hedeflerin azimut açılarını belirlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntem de monopulse tarama yöntemidir. Burada gönderilen bir dalgaya karşılık dönen iki dalga sayesinde hedefin azimut açısı elde edilmektedir [41].



Şekil 2.12: Radar Anten Tipleri [40]

Tarama yönteminden bağımsız olarak, araç radarları genelde iki mikrodalga bölgesinde çalışmaktadır. Bunlardan ilki uzun menzilli (150m) olan ve 76-77 GHz frekanslarında çalışan ve Adaptif Seyir Sistemi için uygun olan radarlardır. Diğeri ise 24-25 GHz frekanslarında çalışan ve genellikle 40-50 metre menzilli radarlar olup Dur-Kalk Sistemleri için kullanılması düşünülmektedir (bkz. Şekil 2.13)



Şekil 2.13: 77 GHz Uzun Menzilli Radar (Sol) [42] 24 GHz Kısa Menzilli Radar (sağ) [43]

2.3.5 Adaptif Seyir Sistemi Tasarımında Simülatörlerin Yeri

Simülatör tasarımının dizayn açısından getirdiği birçok avantaj söz konusudur. Sanal ortamda yapılan bu çalışmalar sayesinde, insan-makine arayüz tasarımı ucuz, risksiz ve gerçeğe yakın sonuçlar verecek şekilde yapılabilir. Bir yandan ticari amaçla, tasarım ögesinin bölümlerinden birini oluştururken, diğer yandan değişik tipte taşıtlar için sürüş eğitimi ya da sürüş özelliklerinin araştırılması gibi farklı konularda kullanım alanları bulunur.

Otomotiv firmaları tarafından vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelen araç simülatörleri de benzer amaçlara hizmet etmektedir. Öncelikle büyük test masraflarının önüne geçerek sürücü merkezli tasarımların yapılması kolaylaşmaktadır. Bunun yanında sanal ortamda birçok kaza senaryosu test edilerek sürücü davranışlarına dair veriler elde edilebilir. Bu şekilde de, kazaya yönelik aktif güvenlik sistemlerinin tasarımı açısından gerekli parametreler elde edilebilir. Bunun yanında, prototip öncesi sistem tasarımı da sanal ortamda yapılabilir. Simülatör kullanımı sayesinde, ergonomik çalışmalar ile insan-makine arayüzlerinin tasarımı kolaylaşır. Simülatörlerin bir avantajı da, parametrelerin kolayca değiştirilebilip, farklı araçlara ya da yol ve sürüş koşulları için değiştirilebilmesidir. Son yıllarda sayılarının hızla artması ve yaygınlaşması sayesinde giderek hesaplı hale gelmektedirler.

Araç simülatörleri çeşitli alt yapılara sahiptir. Bunlar, görsellik, kuvvet geri beslemesi, ses sistemi ve araç modeli şeklinde özetlenebilir. Tüm bu alt sistemler, gerçek bir sürüş izlenimini verecek şekilde bir arada çalışmak üzere dizayn edilmelidir [44].

Sürüş sırasında sürücü, çevreden en önemli geri beslemeyi görsellik vasıtası ile alır. Bu yüzden simülatör tasarımında en önemli özellik, görsellik ögesidir. Görselliğin gerçekçilik ölçüsü görüntünün gelmesindeki gecikme, ekran büyüklüğü, çözünürlük, yineleme hızı gibi faktörlere bağlıdır. Ses sistemi de sürüş sırasında gerçekçilik hissiyatı veren önemli bir özelliktir. Kuvvet geri beslemesi, hareket etkileri ile pedal, direksiyon gibi kontrol elemanlarından gelen etkiler şeklinde iki başlıkta incelenmelidir.

Simülatörlerdeki hareket sistemleri, gerçek bir sürüşte sürücünün maruz kaldığı hareketleri oluşturmaktadır. Bu bağlamda, üç ekseninde aracın ivmelenmesini oluşturmak için hem yüksek hem de düşük frekanslarda hareket oluşturacak aktüatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek frekansları oluşturmak için titreşim tablaları yeterli olurken, düşük frekanslı hareketler için farklı çözümler bulunur. Bir simülatör platformunun düşük frekanslı hareketleri oluşturma gerekliliği kullanım amacı ile de ilgilidir [44]. 0.3 g' nin altındaki manevralar için sabit platformlar yeterli olacaktır [45]. Hareketli platformlarda hareketi oluşturma yöntemi iki şekilde

meydana getirilir. Ya hekzapod denilen altı bacaklı platform ile 6 serbestlik dereceli bir hareket sağlanır (bkz. Şekil 2.14, bkz.Şekil 2.15) ya da raylı sistem benzeri bir platformda simülatör x ve y eksenlerinde ivmelendirilir (bkz. Şekil 2.16, bkz.Şekil 2.17).

Araç simülatörlerindeki hissiyatın önemli bir bölümü pedal ve direksiyon kuvvet geri beslemelerinden ya da vitesten gelmektedir. Örneğin, bir simülatörde direksiyona ait tork geri beslemesi mutlaka yapılmalıdır [46]. Direksiyon geri beslemesini yapmanın bir yolu direksiyon kolonuna bir servomotor bağlamaktır. Aynı şekilde fren pedallarına ait hissiyatı da simülatöre katmak için donanım içerikli simülasyon kullanarak gerçek fren sistemi ile çalışmak uygun olacaktır [44].

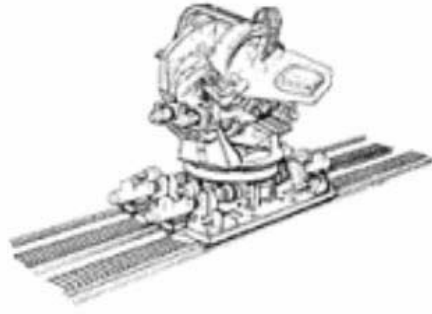


Şekil 2.14: F1 Yarış Simülatörü [47]

Araç simülatörleri ile ilgili çalışmalar, havacılık alanında 1910 yılındaki ilk çalışmalar sonunda başlamıştır [44]. Kara taşıtlarına dair ilk araç simülatörleri ise 1970' lerdeki çalışmalarla başlar [48] Bu anlamdaki ilk örnek, General Motors ve Virginia Politeknik Enstitüsü' nün ortak olarak yürüttüğü çalışma sonunda oluşturulan 16 serbestlik dereceli ve küçük bir hareketli platforma sahip VPI-SU simülatörüdür [46].



Şekil 2.15: FTM Araç Simülatörü [49]



Şekil 2.16: Mazda Araç Simülatörü [43]



Şekil 2.16: NADSSimülatörü [50]

1980' lerin başında ise HYSIM Otoyol Sürüş Simülatörü'nün çalışmaları Amerikan Federal Otoban İdaresi tarafından başlatılmıştır. Sabit Platformlu olan bu simülatör, genel olarak insan etkileri üzerine çalışmalarda kullanılmıştır [51]. Halen ikinci nesil HYSIM adı ile çalışmalarını sürdüren simülatör, akıllı araç sistemlerinin araştırılmasında da kullanılmaktadır (bkz. Şekil 2.18).



Şekil 2.18: HYSIM Simülatörü [52]

80' lerin ortasında ise İsveç Yol Ve Trafik Araştırma Enstitüsü hidrolik tahrikli ve 4 serbetlik dereceli bir platformu olan ve bir titreşim tablası bulunan VTI simulatörünü geliştirmiştir [48]. Bugün Simulator III adı altında 120 derecelik bir perdesi, 3 ekseninde de hareket edebilen bir platformu ve titreşim tablası olan simülatör, yaşlıların araç kullanım özelliklerinin araştırılmasından, engellilere

joystick ile sürüş eğitimine kadar insan sürüş davranışları üzerine sayısız çalışma için kullanılmaktadır (bkz. Şekil 2.19, bkz. Şekil 2.20).



Şekil 2.19: VTI Sürüş Similatörü [51]



Şekil 2.20: VTI Engelliler İçin Yapılan Joystick ile Sürüş Eğitimi [51]

80' li yıllar boyunca yapılan çalışmalar sonunda Daimler Benz kendi döneminin ve bugünün en güvenilir simülatörlerinden birini oluşturmuştur [46] (bkz. Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Daimler Benz Simülatörü [46]

90' ların başına gelindiğinde ise birçok araba firması kendi simülatörlerini ortaya koymaya başlamıştır. Ford ve Renault bu tarihlerde sabit platformlu düzenekler kurmuşlardır.

Günümüze gelindiğinde, simülatör tasarımı bir sektör haline gelmiş birçok firma çeşitli amaçlara yönelik değişik simülatörler kurmaktadır. Bunun yanında araştırma ve geliştirmeye yönelik çok güçlü simülatörler de bulunmaktadır.

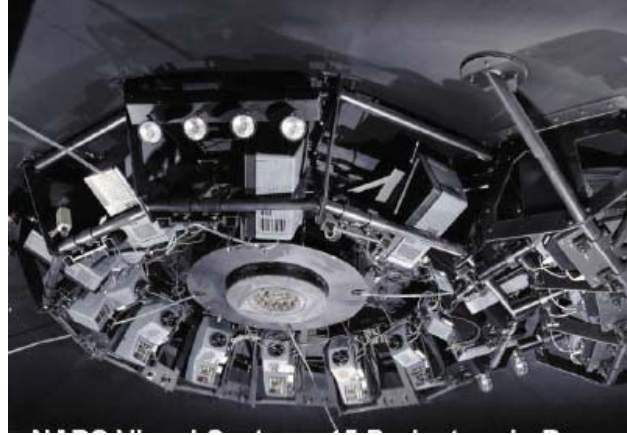
Bugün simülatörlerin çalışma amaçlarını iki grupta toplayabiliriz. Birincisi, insanların sürüş özelliklerini değişik kategoriler altında (yorgunluk, uykusuzluk, cinsiyet, yaş vs.) veya insan davranışlarını değişik trafik durumları altında (kaza riski, uzun yol vs.) incelemek adına kullanılan simülatörler; ikincisi ise araç dinamiği, araçlarda kullanılan yeni sistemler (Otomatik Otoban Sistemleri, Adaptif Seyir Sistemleri, ESP vs.) gibi tasarıma yönelik kullanılan simülatörlerdir.

Günümüzün en gelişmiş simülatörü NADS (National Advanced Driving Simulator) olup yapımına 1992 yılında başlanmış ve 2001' de tamamlanmıştır. Iowa Üniversitesi ve Amerikan Ulusal Otoyol Güvenliği Birliği (NHTSA) ortak çalışmasıdır. Simülatör, 400 m² lik bir XY hareket yüzeyi üzerindeki hegzapod üzerindeki 20 Hz' e kadar titreşim verebilen bir titreşim tablasından oluşmaktadır (bkz. Şekil 2.22). 15 kanallı bir grafik sistemi bulunan simülatörde ayrıca değiştirilebilen 4 farklı kokpit düzeneği mevcuttur (bkz. Şekil 2.23) [44].

Simulatörde çalışan yazılım, NADSdyna adı verilen ve süspansiyon, direksiyon gibi araca ait değişik alt birimlerin oluşturulmasına imkan veren kütüphanelerden oluşmaktadır. Daha sonra bu alt birimler birleştirilerek yeni araç modelleri oluşturulmakta ve simulatörün çözücü bilgisayarında ilgili denklemler çözülmektedir [50].



Şekil 2.22: NADS Simulatörü Yerleşimi [50]



Şekil 2.23: 15 Kameralı NADS Görüntü Sistemi [50]

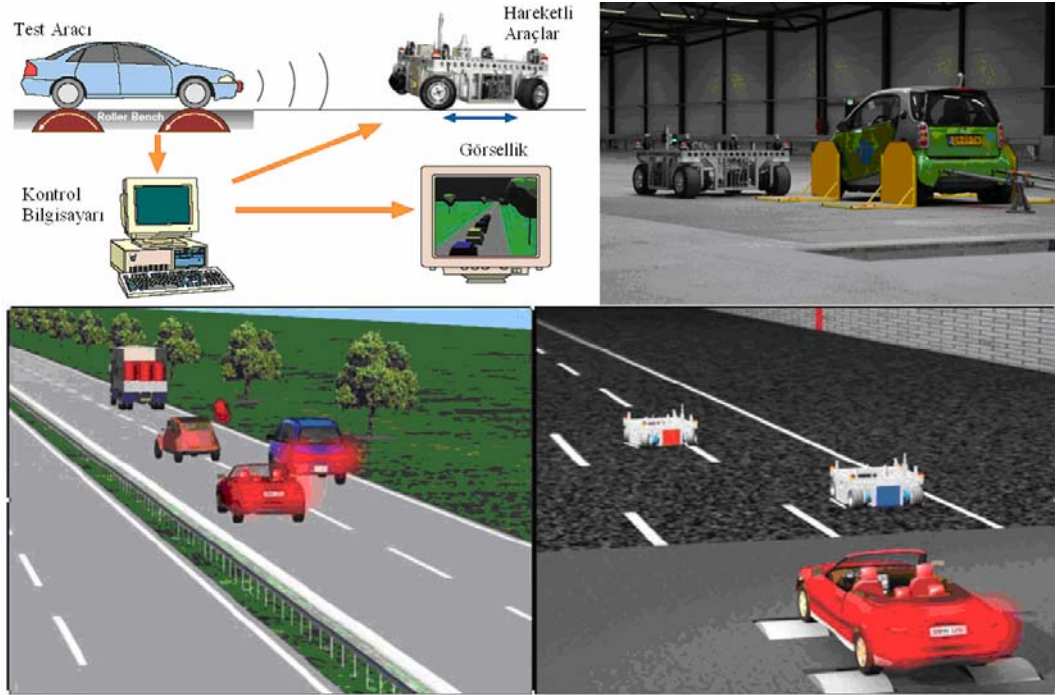
Her ne kadar sürücü davranışlarını incelemeye yönelik bir kompleks olsa da, simulatör ile yapılan çalışmalar arasında, ESP çalışmaları ya da kaza anında sürücü tutumları gibi aktif güvenlik sistemlerini ilgilendiren konular da yer almaktadır. Ancak simulatörde, Adaptif Seyir Sistemleri ya da Otomatik Otoyol Projeleri ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

Günümüzün önemli simulatör komplekslerinden biri de, 2003 yılında TNO kurumunun Hollanda’ da kurduğu VEHIL’ dir. Bahsi geçen simulatör yapılarında daha farklı olan VEHIL ile, özellikle Adaptif Seyir Sistemleri ve benzeri çarpışma önleyici sistemlerin geliştirilmesi konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Sistemin yapısını dinamometre üzerine yerleştirilmiş ve bahsi geçen sistemlerle

donanımlı sabit bir araç ile yol üzerindeki hedef araçları temsil ederek gerçek aracın görüş alanında dolaşan hareketli robotlar oluşturmaktadır. (bkz. Şekil 2.24). Bu şekilde, gerçek zamanlı olarak gerçek araçta her türlü hız kontrolü yapmak mümkün olmaktadır. Oluşturulan senaryolara daha sonra görsellik kazandırılarak gerçek durumlar sanal ortamda canlandırılmaktadır [53].

VEHİL kompleksinde araç sensör ve aktüatörleri gerçek durumlara maruz bırakılmakta ve böylece donanım içeren simülasyonlar yapılmaktadır. Simulatörde test edilip geliştirilen sistemler şunlardır [54]: Adaptif Seyir Sistemleri, Dur Kalk Sistemler, Konvoy Sistemleri, Engel Tanıma, Çarpışma Uyarıcı Sistemler vs.

Akıllı Ulaşım Sistemleri ile ilgili simülatör çalışmalarının bir diğeri de Renault tarafından yapılmıştır. Renault dinamik simülatörü adı altında yapılan sistem ile, Adaptif Seyir Sistemleri için kontrol algoritması geliştirilmektedir. Sistem 1999 yılında kurulmuş olup, gerçek bir Clio aracına ait kokpit ve hekzapod 6 serbestlik dereceli hareketli bir platformdan oluşmaktadır. Sistemin direksiyon geri beslemesi, bir elektrik motoru ile sağlanırken, fren, debriyaj ve gaz pedallarına ait geri beslemeler de mevcuttur. 3D ses sistemi ile zenginleştirilmiş sistemin, 3 kamera ile aydınlanan 150°x40°' lik bir ekranı bulunmaktadır. Ayrıca dikiz aynaları LCD ekranlar sayesinde oluşturulmuştur (bkz. Şekil 2.25).



Şekil 2.24: VEHİL Simülatörü [54]

Simülasyon yazılımı ise, 1989 yılında PROMETHEUS programı çerçevesinde oluşturulmuş ve EURAKA projesinde de kullanılan SCANer' in gelişmiş versiyonu

SCANeR II' dir. Bugün birçok araştırma enstitüsü ve simülatör firması bu yazılımı kullanmaktadır

Adaptif Seyir Sistemi kontrol stratejileri bu simülatörde ayarlanarak, araç davranışının herhangi konforsuz ya da tehlikeli bir duruma neden olması engellenmiştir. Böylece testler, insan hayatı için tehlikeli olabilecek gerçek otoyol koşullarında değil sanal bir ortamda yapılmaktadır. Bunun yanında, Adaptif Seyir Sistemlerine ait ergonomik çalışmalar da simülatör üzerinde yapılmakta ve enstrümantasyon panelleri ve açma kapama anahtarları için uygun tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir [55].

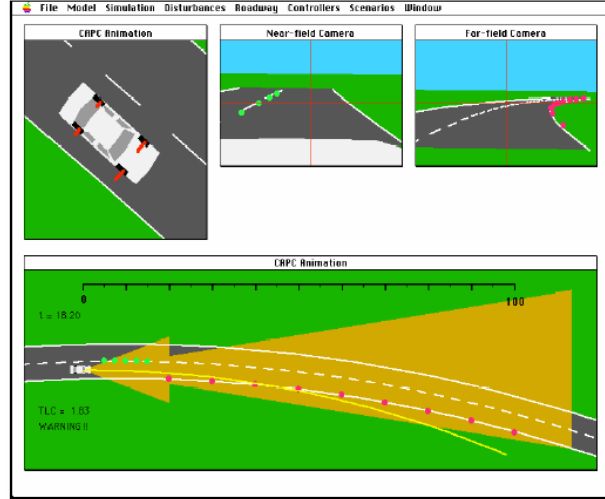


Şekil 2.25: Renault Dinamik Simülatörü [55]

Şu ana kadar bahsi geçen simülatörler çok yüksek maliyetli olup, genelde hareketli platformlara sahip kendi yazılımları ve çözümleri ile gelişmiş sistemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bunların yanında literatürde Adaptif Seyir Sistemleri' nin veya benzeri otomatik otoyol sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan PC tabanlı daha düşük maliyetli ve genelde sabit platformlu simülatörler de bulunmaktadır.

Bu tür simülatörlere verebilecek ilk örnek CADC simülatörüdür. Bu simülatör, PC ya da Macintosh bilgisayarda çalışmakta olup, virajdan çıkma kazalarını önlemek adına aktif direksiyon yardımı sistemi için geliştirilmiştir [56].

Sistem, kullanıcıya değişik araç, tekerlek, yol, sensör ve sürücü modelleri ile değişik kontrol algoritmaları seçme olanağı sağlarken, sürücü de simülasyona bizzat dahil edilebilmektedir (bkz. Şekil 2.26) [56,57].



Şekil 2.26: CADC Simülör Ekranı [56]

PC tabanlı bir başka simülör de aslında mikroskobik bir trafik simülörü olan, takip sistemlerinin, trafiğin işleyişi üzerine etkilerini araştırmada kullanılan ACCSIM simülörüdür [58]. İstatiksel verilere dayanan, araç takip, şerit değiştirme ve hız profili modelleri ile oluşturulmuş araçlar dairesel ve iki şeritli bir yolda hareket etmekte ve önemli makroskobik ve mikroskobik trafik çıktıları sunmaktadır (bkz. Şekil 2.27). Böylece Adaptif Seyir Sistemi' nin performansının trafik üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. [58]. Simülör üzerinde sürücü modelleri bulunduğundan ayrıca dışarıdan bir sürücü girişi kullanılmamaktadır.



Şekil 2.27: ACCSIM Simülör [58]

Adaptif Seyir Sistemi uygulamasına yönelik PC tabanlı bir simülör de bu tez çalışması çerçevesinde oluşturulmuştur. Detayları Bölüm 7' de incelenecek olan simülör MATLAB yazılımının bir eklentisi olan xPC target toolbox yardımı ile

geliştirilmiş iki kullanıcılı gerçek zamanlı ve ucuz maliyetli bir simülör olarak özetlenebilir (bkz. Şekil 2.28) [1,4].



Şekil 2.28: MEKAR Simülörüne Ait Bir Görüntü [1]

Yukarıda bahsi geçen günümüz simülörlerinin tümü Tablo 1.1’ de özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Araç Simülörleri

Simülör	Platform	Maliyet	Yapılış Tarihi	Seyir Sistemleri İçin Kullanımı	PC Tabanlı	İnsan İçeren Simülasyon	Yazılım
NADS	Hareketli Platform	Yüksek	2001	Direk ilgili Bir Projede Kullanılmamış	Hayır	Evet	Kendi Yazılımı Var
VEHIL	Dinamometre (Donanımlı Araç) & Hareketli (Hedef Araçlar)	Yüksek	2003	Adaptif Seyir Sistemleri Dur Kalk Sistemleri Konvoy Sistemleri Engel Tanıma Çarpışma Uyarıcı Sistemler vs	Hayır	Hayır	Kendi Yazılımı Var
Renault Dinamik Simülörü	6 DOF motion Platform	Yüksek	1999	Özellikle Adaptif Seyir Sistemleri Uygulaması	Hayır	Evet	Kendi Yazılımı Var (SCANeR II)
Prof. Galip Ulsay'ın Simülörü- CAPC	Sabit Platformlu	Düşük	-		Evet	Evet	Kendi Yazılımı Var
Peng'in simülörü UM ACCSIM	Sabit Platformlu	Düşük	2000	Adaptif Seyir Sistemleri Trafik Akışları	Evet	Hayır	Kendi Yazılımı Var
MEKAR Simülörü	Sabit Platformlu	Düşük	2004	Adaptif Seyir Sistemi ve Dur Kalk Sistemi Uygulaması	Evet	2 Sürücülü	MATLAB/Simulink xPC Target Toolbox

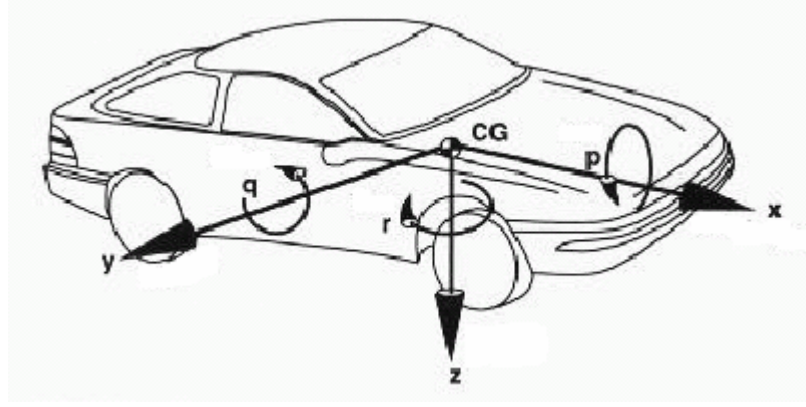
3. ARAÇ MODELLENMESİ

Adaptif Seyir Sistemlerine ait kontrolcü tasarımı ve tasarlanan sistemin simülasyonlarda denenmesi adına, araç dinamiğini, geometrisini, motor davranışını ve aktarma organlarını doğru bir şekilde temsil edecek bir araç modeli kurulması gerekmektedir. Bu araç modeli sürücünün gaz, fren, vites ve direksiyon girişleri doğrultusunda aracın gerçeğe yakın cevaplar vermesini sağlayacak denklem takımlarından oluşur. Bunun sonucunda oluşturulan ASS kontrolcüsü ya da dur-kalk sistemleri kontrolcüsü ile aracın gerekli girişlerine müdahale edecek bağlantılar temsili olarak oluşturulabilir. Bunun yanında araç modelleri, gerçek zamanlı olarak araç simülatöründe çalıştırılabilir. Bu şekilde, gerçek zamanlı olarak insan içeren simülasyonlar yapılmış olur ve aktif sürücü girişleri de araç modelinden faydalanılarak gerçek bir araç modeli üzerinde denenmiş olunur. Bu tez çalışmasında, yapılan dinamik modellemeler, MATLAB/Simulink altında oluşturulmuş ve yapılan simülasyonlar sunulmuştur.

3.1 Araç Modeli

Araç modelinin alt sistemleri, araca ait mekanik organların dinamiklerinin içermektedir. Bu sistemin alt başlıkları, aracın boylamsal ve yanal dinamiğini ifade eden araç dinamiği sistemi, bunun yanında tekerleklerle güç iletimini sağlayan aktarma organları ve vites modelleri, aracı itici gücünün oluşturulduğu motor modeli ve aracın yer ile etkileşimini sağlayan tekerlek modeli olarak belirtilebilir. Bunun yanında, aracın üzerindeki bazı direnç etkileri de modele eklenerek modelin daha gerçekçi bir hal alması sağlanmıştır. Bu çerçevede, yukarıda sayılan araç alt sistemleri alt başlıklar halinde incelenecektir.

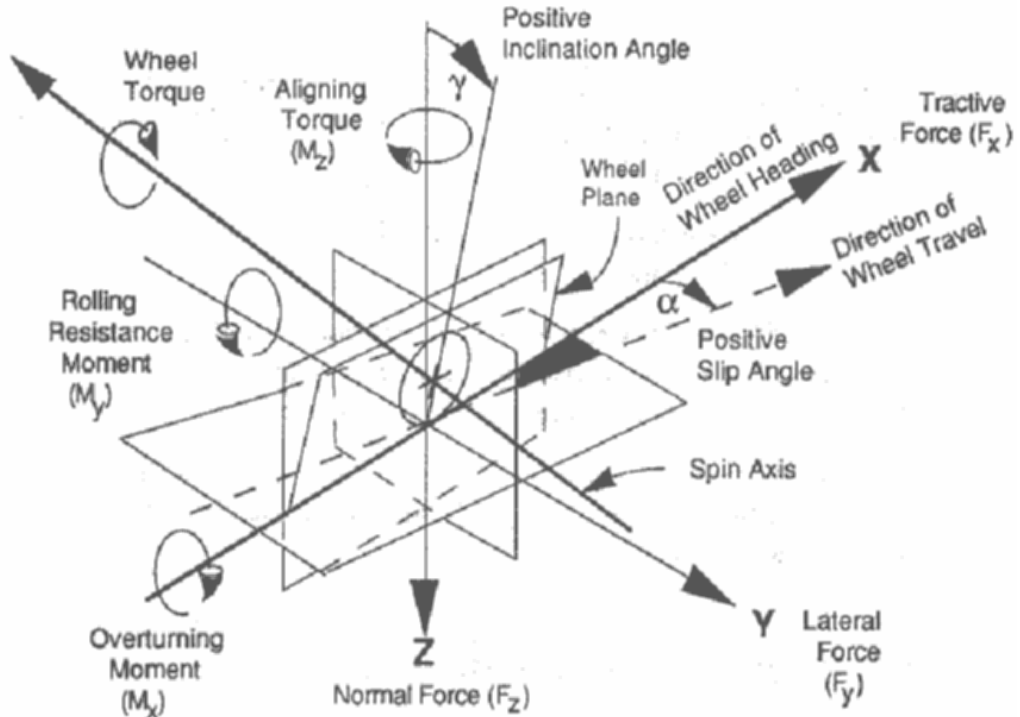
Aracın dinamik modelinin oluşturulmasından önce, araca ait bir eksen takımının seçilmesi gerekmektedir. Bu eksen takımı, aracın ağırlık merkezinde olup yere bağlı eksen takımına göre dönme ve ötelenme hareketlerinin referans olarak alındığı, üç eksenli bir koordinat sistemidir. Bu bağlamda seçilmiş eksen takımı, SAE standartları ile belirlenmiş olan eksen takımındır (bkz. Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Araç Eksen Takımı [58]

Koordinat sistemi, araca bağlı olup, araçla beraber hareket etmektedir. Eksen takımında x,y ve z sırası ile boylamsal, yanal ve düşey hareketleri ifade etmektedir. q, kafa vurma hareketini, p, aracın yalpalama açısını ve r' de aracın savrulma açısını temsil etmektedir [58].

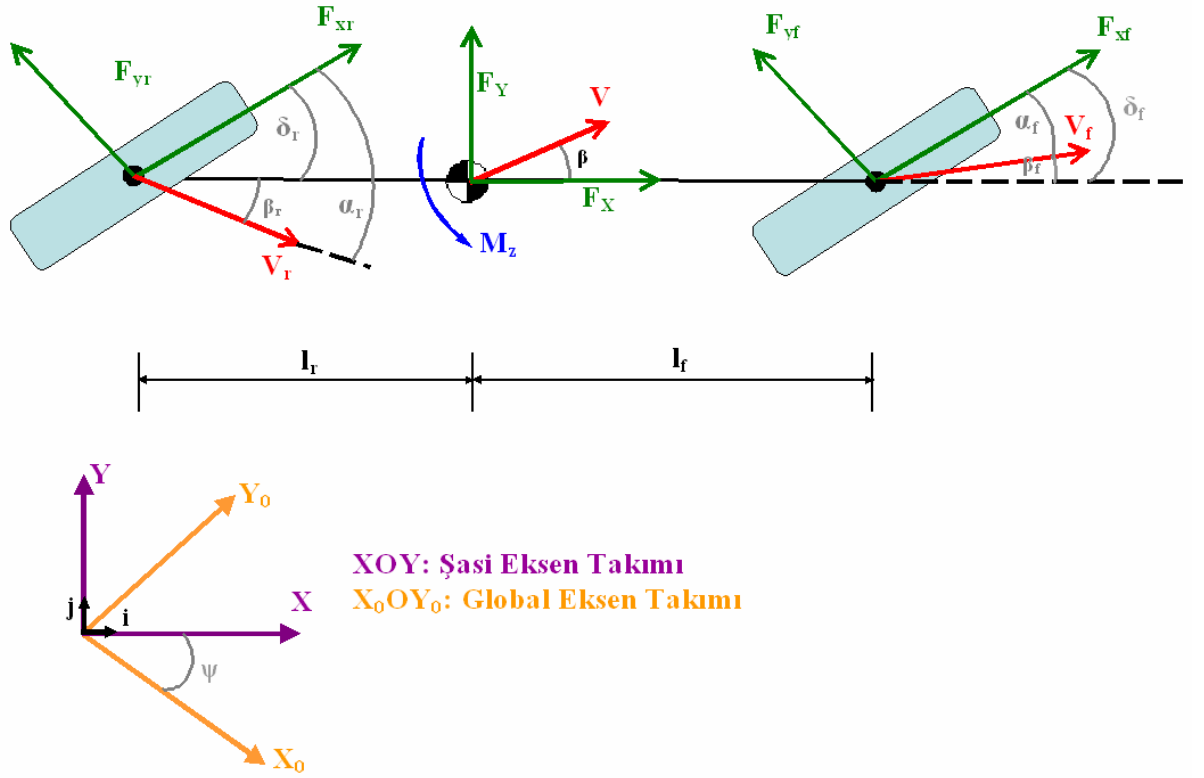
Araca bağlı koordinat sisteminin yanında, tekerleklere bağlı bir koordinat sistemi daha bulunmaktadır. Bu koordinat sistemi ile tekerleklerin şasiden bağımsız hareketleri ifade edilirken, bu hareketler daha sonra şasi eksen takımına, oradan da yere bağlı eksen takımına indirgenecektir. Şekil 3.2' de tekerlek eksen takımı görülmektedir.



Şekil 3.2 : Tekerlek Koordinat Sistemi[58]

3.1.1 Araç Dinamiği

Kurulan araç modelinin araç dinamiğini ifade eden denklemleri, tek izli araç modeli geometrisine göre oluşturulmuştur. Bisiklet modeli adı da verilen bu modelde, aracın ön ve arka tekerlekleri, aracın ağırlık merkezinden geçen tek bir eksen üzerinde önde ve arkada bulunan birer tekerleğe indirgenmiştir [59]. Şekil 3.3’ de Tek İzli Araç Modelinin genel görünümü görülmektedir.



Şekil 3.3: Tek İzli Araç Modeli

Tek İzli Araç Modeli, aracın boylamsal ve yanal dinamiğinin yanı sıra savrulma dinamiğine ait denklemleri de içerir. Bu çerçevede, şekilden de görüldüğü üzere araç modeline bağlı bulunan eksen takımı ile yer eksen takımı arasındaki ψ açısı, aracın savrulma açısını ortaya koymaktadır.

Araca ait hareket denklemleri yazılırsa, öncelikler aracın ağırlık merkezindeki V hız vektörü şu şekilde ifade edilir [59]:

$$\vec{V} = V \cdot \cos \beta \cdot \vec{i} + V \cdot \sin \beta \cdot \vec{j} \quad (3.1)$$

Bu denklemin zamana göre türevi ivme ifadesini vermektedir:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = [\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta}] \vec{i} + [\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta}] \vec{j} + V \cos \beta \frac{d\vec{i}}{dt} + V \sin \beta \frac{d\vec{j}}{dt} \quad (3.2)$$

(3.2) denklemindeki birim vektörlerin türevleri, global eksenin yere bağlı eksene göre açısal hareketini ifade etmektedir. Bu yüzden,

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \dot{\psi} \cdot \vec{k} \times \vec{i} = \dot{\psi} \cdot \vec{j} \quad (3.3.a)$$

$$\frac{d\vec{j}}{dt} = \dot{\psi} \cdot \vec{k} \times \vec{j} = -\dot{\psi} \cdot \vec{i} \quad (3.3.b)$$

yazılabilir. Bu durumda ivme ifadesi;

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = [\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta}] \cdot \vec{i} + V \cos \beta \dot{\psi} \cdot \vec{j} + [\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta}] \cdot \vec{j} - V \sin \beta \dot{\psi} \cdot \vec{i} \quad (3.4)$$

$$= \underbrace{[\dot{V} \cos \beta - V(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \sin \beta]}_{a_x} \cdot \vec{i} + \underbrace{[\dot{V} \sin \beta + V(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \cos \beta]}_{a_y} \cdot \vec{j} \quad (3.5)$$

şeklini alır.

X ve Y eksenlerine göre kuvvet denklemleri yazılırsa;

$$\sum F_x = ma_x = m[\dot{V} \cos \beta - V(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \sin \beta] \quad (3.6)$$

$$\sum F_y = ma_y = m[\dot{V} \sin \beta + V(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \cos \beta] \quad (3.7)$$

$$\sum M_z = I_z \ddot{\psi} \quad (3.8)$$

elde edilir.

Bu denklemlerde, m aracın kütlesini ifade etmektedir. β açısı ise aracın yana kayma açısıdır ve ağırlık merkezindeki hız vektörü ile araç şasi doğrultusu arasındaki açıyı ifade eder. I_z ise aracın $-z$ eksenindeki atalet momentidir.

X yönündeki net kuvvet, ön ve arka tekerleklerin yanal ve boylamsal kuvvetlerinin X eksenindeki bileşkeleri ile direnç kuvvetlerinin etkilerini içerir.

$$\sum F_X = F_{xf} \cos \delta_f - F_{yf} \sin \delta_f + F_{xr} \cos \delta_r - F_{yr} \sin \delta_r - \sum F_{DIRENC} \quad (3.9)$$

Direnç kuvvetleri ileriki bir bölümde detaylı olarak incelenecektir.

Y yönündeki kuvvet eşitliği de benzer şekilde yazılır;

$$\sum F_y = F_{yf} \cos \delta_f + F_{xf} \sin \delta_f + F_{yr} \cos \delta_r + F_{xr} \sin \delta_r \quad (3.10)$$

ve moment eşitliği şu ifade ile bulunur.

$$\sum M_z = F_{yf} \cos \delta_f l_f - F_{yr} \cos \delta_r l_r + F_{xf} \sin \delta_f l_f - F_{xr} \sin \delta_r l_r + M_{zd} \quad (3.11)$$

Burada l_f ve l_r araç ağırlık merkezlerinin sırası ile ön ve arka tekerleklerle olan uzaklığıdır. δ_f ve δ_r ise tekerlek açısıdır. M_{zd} olarak belirtilen ifade, bozucu yalpa moment etkisidir.

Tüm bu denklemleri matris olarak ifade edersek;

$$\begin{bmatrix} \sum F_x \\ \sum F_y \\ \sum M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_f & \cos \delta_r \\ \sin \delta_f & \sin \delta_r \\ l_f \sin \delta_f & -l_r \sin \delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{xf} \\ F_{xr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin \delta_f & -\sin \delta_r \\ \cos \delta_f & \cos \delta_r \\ l_f \cos \delta_f & -l_r \cos \delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{yf} \\ F_{yr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum F_{DIRENC} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_{zd} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

ve

$$\begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} mV(\dot{\beta} + r) \\ m\dot{V} \\ I_z \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

denklem takımları elde edilir [4]. r ile ifade edilen, aracın z eksenindeki açısal hızıdır, yani savrulma açısının türevine eşittir.

(3.13) denklemindeki ilk matrisin tersi kendisine eşit olduğundan aynı ifade

$$\begin{bmatrix} mV(\dot{\beta} + r) \\ m\dot{V} \\ I_z \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

şekline getirilebilir.

Aracın ağırlık merkezindeki hız vektörünün ön ve arka tekerlek merkezine indirgenmesi için aşağıdaki denklem takımları kullanılmıştır.

Öncelikle ön tekerlekteki tekerlek hız vektörü $\vec{V}_f$, şasideki hız vektörü ile savrulmadan dolayı meydana gelen hızın toplamına eşittir.

$$\vec{V}_f = \vec{V} + \dot{\psi} \vec{k} \times l_f \vec{i} = V \cos \beta \vec{i} + V \sin \beta \vec{j} + \dot{\psi} l_f \vec{j} \quad (3.15)$$

Bu ifade tekrar yazılırsa,

$$\vec{V}_f = V \cos \beta \vec{i} + (V \sin \beta + \dot{\psi} l_f) \vec{j} = V_{fx} \vec{i} + V_{fy} \vec{j} \quad (3.16)$$

araç eksen takımına indirgenmiş tekerlek hız ifadeleri bulunmuş olur. Tekerlek hızı ile şasi arasındaki açıyı veren ifade ise şu şekilde bulunur:

$$\beta_f = \tan^{-1} \left(\frac{V_{fy}}{V_{fx}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{V \sin \beta + \dot{\psi} l_f}{V \cos \beta} \right) = \tan^{-1} \left(\tan \beta + \frac{\dot{\psi} l_f}{V \cos \beta} \right) \quad (3.17)$$

Tekerleğin kendi ekseni boyunca olan çizgisel hız ifadesi ise,

$$V_{tf} = V_f \cos \alpha_f \quad (3.18)$$

olarak elde edilir.

Son olarak da tekerlek hızının skaler değeri,

$$V_f = |\vec{V}_f| = \sqrt{(V \cos \beta)^2 + (V \sin \beta + \dot{\psi} l_f)^2} \quad (3.19)$$

ifadesi ile bulunur.

Aynı denklemlerin arka tekerlekler için oluşturulmuş halleri ise şu şekildedir:

$$\vec{V}_r = \vec{V} + \dot{\psi} \vec{k} \times (-l_r \vec{i}) = V \cos \beta \vec{i} + V \sin \beta \vec{j} - \dot{\psi} l_r \vec{j} \quad (3.20)$$

$$\vec{V}_r = V \cos \beta \vec{i} + (V \sin \beta - \dot{\psi} l_r) \vec{j} = V_{rx} \vec{i} + V_{ry} \vec{j} \quad (3.21)$$

$$\beta_r = \tan^{-1} \left(\frac{V_{ry}}{V_{rx}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{V \sin \beta - \dot{\psi} l_r}{V \cos \beta} \right) = \tan^{-1} \left(\tan \beta - \frac{\dot{\psi} l_r}{V \cos \beta} \right) \quad (3.22)$$

$$V_{tr} = V_r \cos \alpha_r \quad (3.23)$$

$$V_r = |\vec{V}_r| = \sqrt{(V \cos \beta)^2 + (V \sin \beta - \dot{\psi} l_r)^2} \quad (3.24)$$

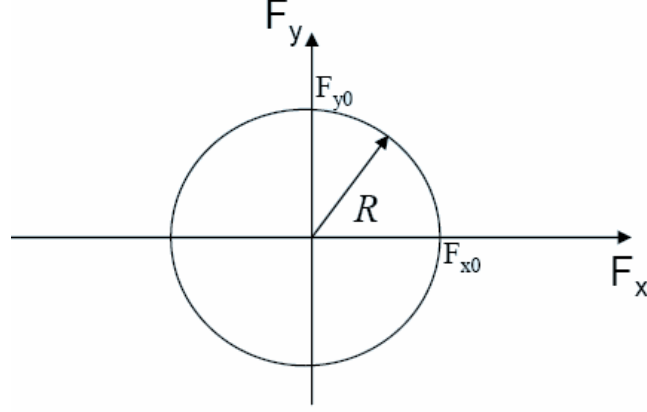
3.1.2 Tekerlek Modeli

Tekerlekler aracın dinamiğini etkileyen en önemli elemanlardan biridir. Genelde, pnömatik tekerleğin modellenmesi karmaşık ve zordur. Sonlu elemanlar yöntemleri ile yapılmış yaklaşık modeller bulunmakla beraber, bunlar çok karmaşık ve simülasyon açısından da uzun süreli işlemlerdir. Bu çerçevede gerçekleştirilecek tekerlek modeli, yaygın olarak kullanılan ve modellenmesi görece kolay olan bir modeldir.

Tekerlek dinamik kuvvetlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan iki tip tekerlek modeli bulunmaktadır. Bunlardan ilki Paceijka ya da Magic Tire Formula denilen ve ampirik denklem takımlarından oluşmuş tekerlek modelidir. Bu model, boylamsal kayma ve yana kayma açılarından istifade edilerek; tekerlek boylamsal kuvveti F_x , tekerlek yanal kuvveti F_y ve geri çevirme momenti M_z kuvvetlerini hesaplamaktadır. Tekerlek kuvvetleri ile ilgili önemli bir özellik; F_x ve F_y kuvvetlerinin birbirinden bağımsız olarak değişmemesidir. Şekil 3.4' de görülen Kamm dairesi ile bu kuvvetler birbirleri üzerindeki etkileri görülmektedir. Kamm dairesi elips şeklinde formlar alabilmesine rağmen yaklaşık olarak, bir daire ile ifade edilebilir.

Paceijka modeli ile oluşturulmuş denklemler F_x ve F_y ilişkisini göz önünde bulundurmaz. Dolayısı ile kuvvetler birbirlerinden bağımsız olarak ifade edilmiştir. Bu kuvvet değişimlerinin birbirlerine etkisini göz önünde bulunduran model Dugoff Tekerlek modelidir. Bu modelde tekerleklerde oluşan boylamsal kuvvetler boyuna

kayma ile değişirken, yanal tekerlek kuvvetleri ise yana kayma açıları α_f ve α_r 'nin birer fonksiyonudur. ASS sisteminde kullanılan araç modelinde Dugoff Tekerlek modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.4: Kamm Dairesi

Dugoff Tekerlek modelinin denklemleri şu şekildedir:

Öncelikle ön ve arka tekerleklerdeki kayma denklemleri oluşturulur.

$$s_{f,r} = \begin{cases} \frac{R_{eff} \cdot \omega_{tf,tr} - V_{tf,tr}}{R_{eff} \cdot \omega_{tf,tr}} & R_{eff} \cdot \omega_{tf,tr} > V_{tf,tr} \quad (ivmelenme) \\ \frac{R_{eff} \cdot \omega_{tf,tr} - V_{tf,tr}}{V_{tf,tr}} & R_{eff} \cdot \omega_{tf,tr} < V_{tf,tr} \quad (frenleme) \end{cases} \quad (3.25)$$

Bu durumda tekerlekteki kayma ifadesinde kaymanın alacağı değerler frenleme için -1 ila 0 arasında değişirken, frenleme anında bu değerler 0 ila 1 arasında olmaktadır.

$$F_{xf} = f_f C_{xf} s_f \quad (3.26)$$

$$F_{xr} = f_r C_{xr} s_r \quad (3.27)$$

$$F_{yf} = f_f C_{yf} \alpha_f \quad (3.28)$$

$$F_{yr} = f_r C_{yr} \alpha_r \quad (3.29)$$

Burada C_x değeri boylamsal kuvvet sabiti, C_y değeri yanal kuvvet sabitini oluşturmakta olup, kuvvetin boylamsal kayma ve yana kayma açısı ile lineer olarak

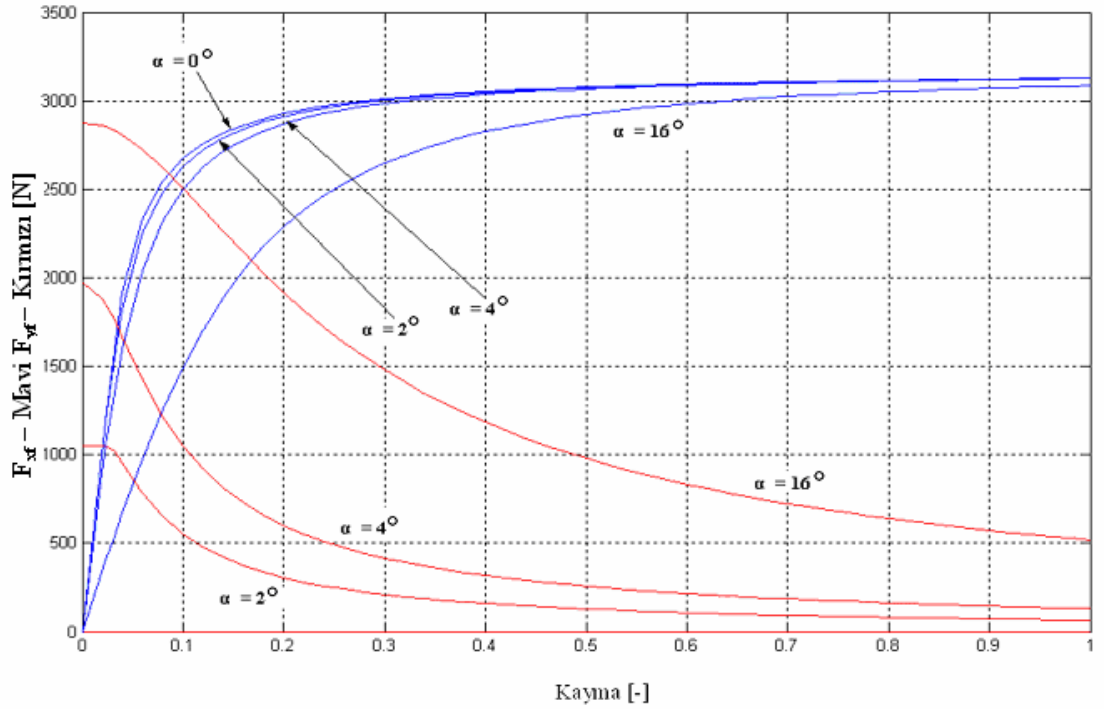
arttığını göstermektedir. f_f sabiti ise bir düzeltme sabiti olup kuvvetin belli kayma değerlerinden sonra değişmemesini sağlamakta, aynı zamanda F_{xf} ve F_{yf} kuvvetlerinin birbirleri cinsinden ifade edilmesini sebebiyet vermektedir. f_f veren denklemler şunlardır:

$$f_{f,r} = \begin{cases} 1 & F_{Rf,Rr} \leq \frac{\mu F_z}{2} \\ (2 - \frac{\mu F_z}{2F_R}) \frac{\mu F_z}{2F_R} & F_{Rf,Rr} > \frac{\mu F_z}{2} \end{cases} \quad (3.30)$$

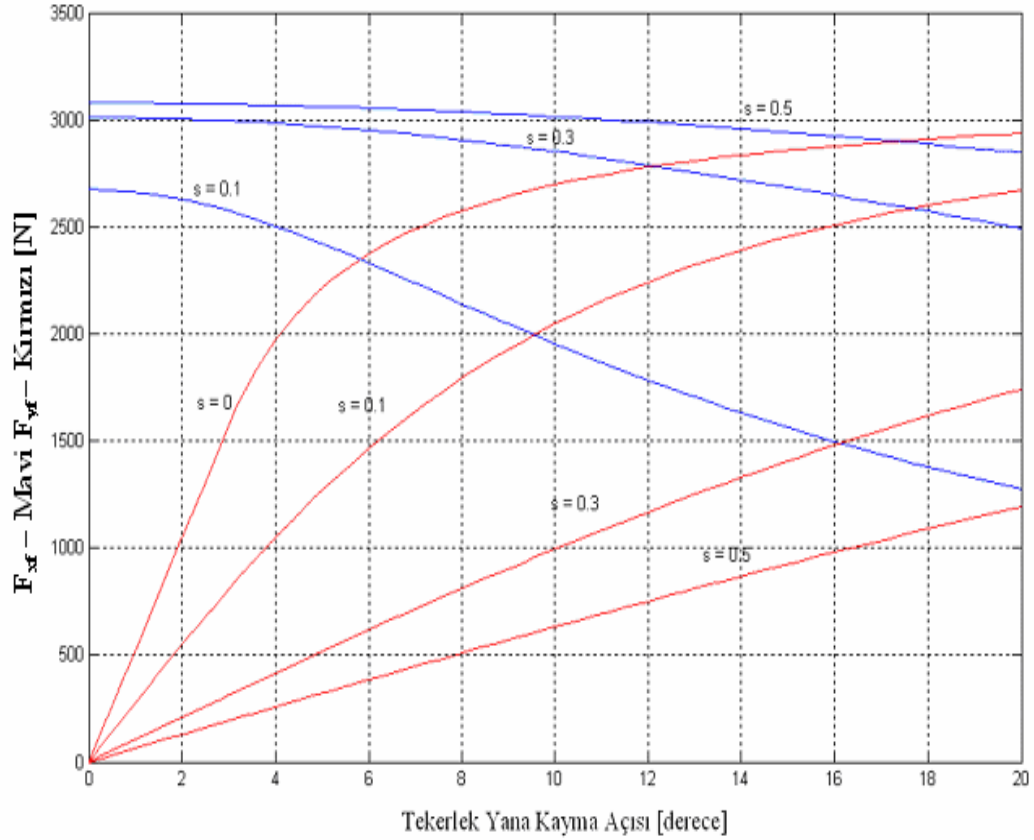
$$F_{Rf,Rr} = \sqrt{(C_{xf,xr} s_{f,r})^2 + (C_{yf,yr} \alpha_{f,r})^2} \quad (3.31)$$

$$F_z = \frac{mg}{2} \quad (3.32)$$

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’ da F_{xf} ve F_{yf} ’ in α ve s ile değişimi görülmektedir. Görüldüğü üzere, F_R değişkeni sayesinde kayma değeri ve kayma açısı değerlerinin hem F_{xf} hem de F_{yf} kuvvetleri içerisinde etkisi bulunmaktadır. Ayrıca f_f değeri belli bölgede 1 değerini almış, F_{xf} kuvvetinin s ile, F_{yf} kuvvetinin de α ile belirli değerlere kadar lineer olarak değişmiştir.



Şekil 3.5 : F_{xf} ve F_{yf} ’ in Kaymaya Göre Değişimi [4]

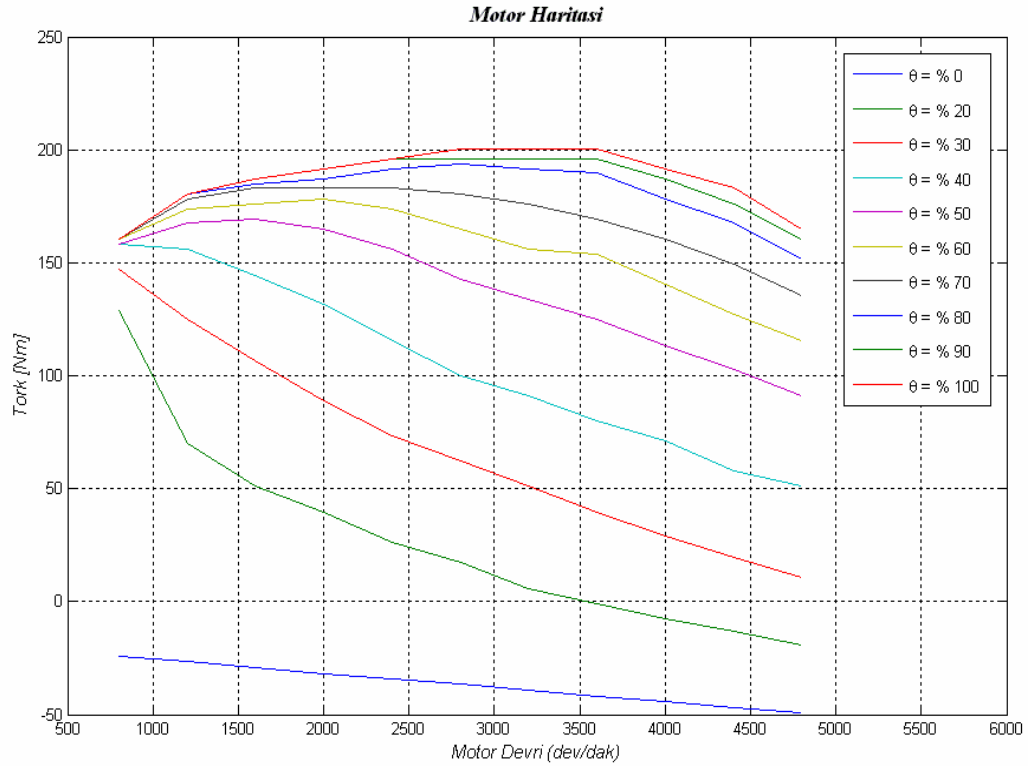


Şekil 3.6: F_{xf} ve F_{yf} ' in Kayma Açısı İle Değişimi [4]

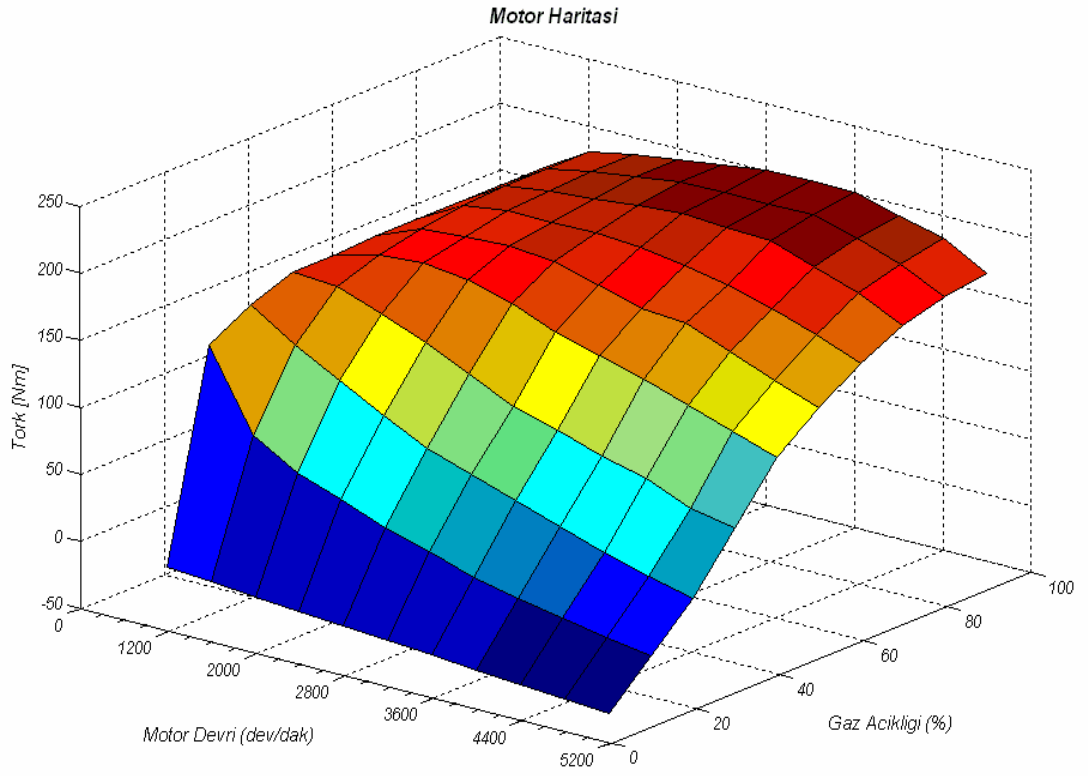
3.1.3 Motor Modeli

Motor modeli olarak, orta sınıf bir binek araca ait motor haritası kullanılmıştır. Bu harita, modele bir tablo olarak eklenmiş olup tablonun eksenlerini motor devri, gaz pedalı konumu ve motor torku oluşturmaktadır. Bu eksenlerden ilk ikisi tablonun giriş kısmını oluştururken, motor torku, motor modelinin çıkışını ifade eder. Motor haritasında Şekil 3.7' den de görüldüğü üzere değişik pedal konumları için elde edilmiş değişik eğriler mevcuttur. Bu eğriler belirli bir pedal konumu için 800 ile 4800 dev/dak için elde edilmiştir. Eğrilerden de anlaşılabileceği üzere motor maksimum torkunu en yüksek devirde değil de daha düşük devirlerde vermektedir. Buna karşılık en düşük tork ise o pedal konumu için en yüksek devirde oluşmaktadır. Bunun yanında motor tablosu ile ilgili önemli bir nokta da, motorun negatif tork üretebilip aracın aktarma organlarında bir sürtünme etkisi yaratabiliyor olmasıdır. Bu şekilde, ileride de detaylı olarak bahsedileceği üzere motorun bu negatif torku, frenlere müdahale etmeksizin aracı yavaşlatmak için kullanılacaktır.

Yukarıda bahsedilen motor haritasının üç boyutlu gösterimi ise Şekil 3.8' de görülmektedir.



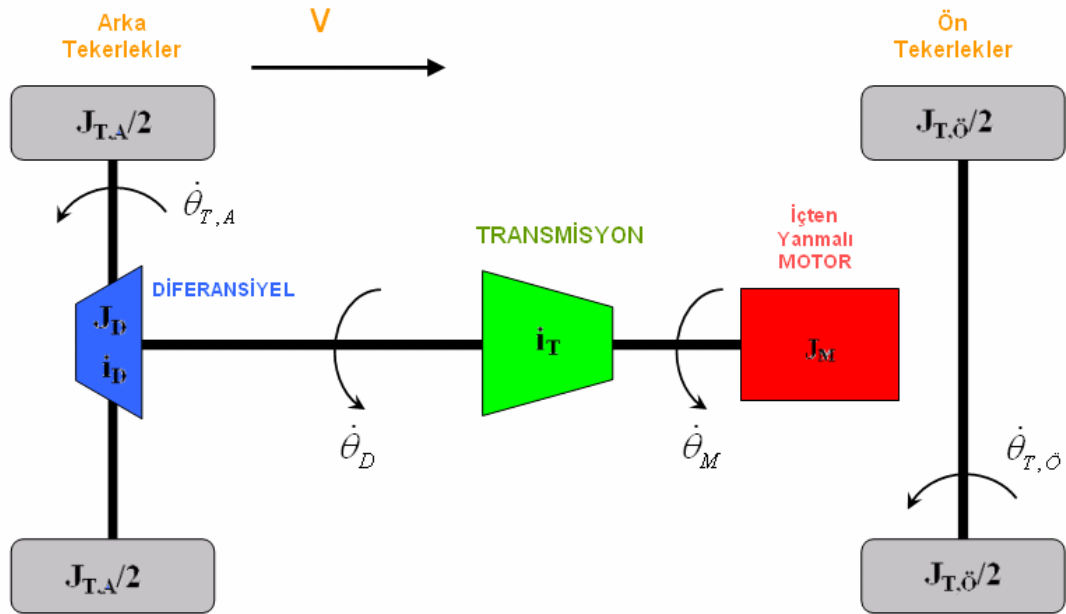
Şekil 3.7 : Motor Haritası



Şekil 3.8: Üç Boyutlu Motor Haritası

3.1.4 Aktarma Organları

Araçta, motordan elde edilen torku tekerleklere iletilmesinde bir dizi mekanizma bulunmaktadır. Motor torkunun tekerleklere iletilmesinde tork artışını sağlamak adına dönme hızı düşürülerek gerekli moment artımı sağlanmaktadır. Dolayısı ile, tekerleklere olan güç aktarımı sırasında ilgili dişli kutuları nedeni ile bazı çevrim oranları söz konusudur. Bunun yanında aktarma organlarına ait değişik mekanizmaların değişik atalet momentleri, dönen kütlelerin sahip olduğu farklı dinamikleri ortaya koymaktadır. Bu çerçevede genel şekli Şekil 3.9’ da verilmiş olan ve arkadan çekişli bir araca ait olan aktarma organları, ilgili denklemlerle araç modelinin içinde yerini almıştır. Araçlarda aktarma organının motor – vites kutusu, vites kutusu – diferansiyel aralarındaki miller ile tekerleklere bağlı tahrik mili üzerinde burulma etkisi ile farklı dinamikler söz konusudur. Ancak bunların genel dinamiğe etki düzeyinin az olması sebebi ile bu miller rijit kabul edilerek, atalet etkileri motora, transmisyona, diferansiyele ve tekerleklere indirgenmiştir. Bunun yanında aktarma organının transmisyonu, otomatik vitesle sağlandığı kabul edilip vites kısmında detaylı olarak anlatılacaktır. Otomatik vitesin bir parçası olan tork çevirici kavrama modele dahil edilmemiş olup sürekli tam kavrama durumu göz önünde bulundurulmuştur. Bu çerçevede tork çeviricinin atalet etkileri motor ataletine indirgenmiştir. Ayrıca güç iletimi olmayan ön tekerleklerde ise aksın ataleti tekerleklere indirgenmiştir.



Şekil 3.9: Aktarma Organları

Sonuç olarak güç aktarma organlarının gösteriminde J_M motorda, kavramada ve vites kutusundaki dönen kütlelerin motor krank miline indirgenmiş toplam atalet momentini, J_D diferansiyel ve vitede ω_D hızı ile dönmekte olan kütlelerin toplam ataletini ve J_T ise tekerlek, jant, fren diski ve tahrik mili gibi ω_T hızı ile dönen parçaların toplam ataletini temsil etmektedir. Aktarma organları boyunca olan tork ve hız çevrimi aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

$$\varpi_D = \dot{\theta}_D = \dot{\theta}_M / i_T \quad (3.33)$$

$$\varpi_T = \dot{\theta}_T = \dot{\theta}_D / i_D = \dot{\theta}_M / (i_D \cdot i_T) \quad (3.34)$$

$$T_D = T_M \cdot i_T \quad (3.35)$$

$$T_T = T_D \cdot i_D = T_M \cdot i_D \cdot i_T \quad (3.36)$$

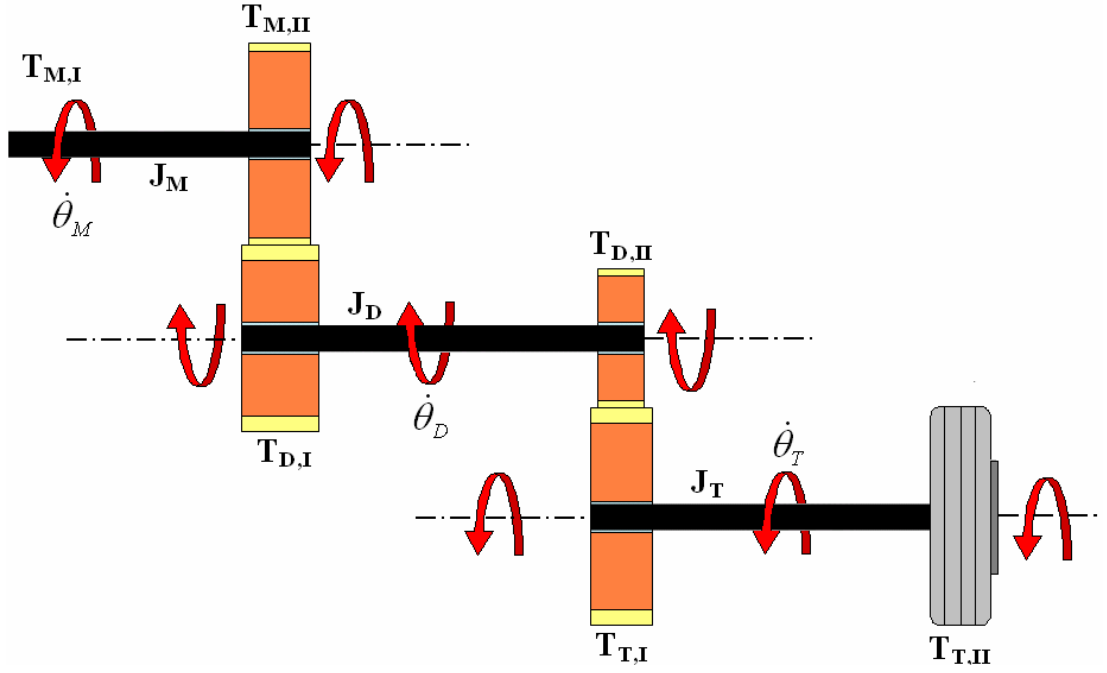
Bu denklemlerde T_M motorda üretilen torku, T_D , transmisyonla büyütülen torku, T_T , diferansiyel ile değiştirilen ve tekerleklere iletilen torku, i_T vites çevrim oranı ve i_D diferansiyel çevrim oranını ifade etmektedir.

Aktarma organları modellemesinde yapılmış olan yaklaşım şu şekildedir: Gerek motor devrinin tekerlek hızına çevrilmesi konusunda ya da tersi olarak tekerlek hızlarının motor açısal hızına çevrilmesi sırasında kullanılacak dinamik denklemlerde güç iletim hattındaki atalet etkilerinin tümü tekerlek aksına indirgenmiştir. Şekil 3.10' da güç aktarım hattı üzerindeki moment ve hız çevrimleri görülmektedir. Buna göre güç aktarımı sırasında elemanlar üç farklı tork ve üç farklı moment ile dönmektedir. Motordan çıkan ve transmisyona giren mil ile transmisyonda motor devri ile dönen çark aynı hızla dönmekte ve bu elemanlar J_M ataletine sahiptir. Transmisyonda seçili olan vites ait dişli çark ve diferansiyele giren mil ile bu mile bağlı dişli J_D ataletine sahip olup bu elemanlar da aynı hızla dönmektedir. Ve son olarak da tekerlek, tahrik mili ve diferansiyelin ilgili çarkı da J_T ataletine sahiptir. Bu çevrimlerin ilgili denklemleri şu şekildedir:

Öncelikle motordan transmisyona iletilen moment boyunca;

$$T_{M,II} = T_{D,I} / i_T \quad (3.37)$$

$$T_{D,II} = T_{T,I} / i_D \quad (3.38)$$



Şekil 3.10: Moment iletimi

Dönen cisimlerin kinetik enerjileri yazılırsa;

$$E = \frac{1}{2} J_M \varpi_M^2 + \frac{1}{2} J_D \varpi_D^2 + \frac{1}{2} J_T \varpi_T^2 \quad (3.39)$$

ve açısal hız ifadeleri, tekerlek dönme hızına indirgenirse;

$$E = \frac{1}{2} J_M (\varpi_T i_{D,T})^2 + \frac{1}{2} J_D (\varpi_T i_{D,T})^2 + \frac{1}{2} J_T \varpi_T^2 \quad (3.40)$$

bulunur.

Aynı şekilde eşdeğer atalet ile yazılan enerji ifadesi ise;

$$E = \frac{1}{2} J_{eş} \varpi_T^2 \quad (3.41)$$

(3.40) ifadesi ile (3.41) eşitlenir ve aynı terimler sadeleştirilirse;

$$J_{eş} = J_M i_{D,T}^2 + J_D i_{D,T}^2 + J_T \quad (3.42)$$

elde edilir.

Görüldüğü üzere eşdeğer atalet ifadesinde vites ve diferansiyel çevrim oranlarının etkisi söz konusudur. Bu ifadede J_T ile gösterilen terim iki tekerleğin ve aksın toplam atalet momentine eşittir. Binek araçlar için eşdeğer atalet ifadelerinin hesaplanmış ve deney ile elde edilmiş değerlerini literatürde bulmak mümkündür [60].

Bunun yanında, bu ifade arkadan çekişli bir araç için motordan arka tekerlekler kadar olan elemanların ataletlerini arka tekerlekler indirilmesini kapsar. Bunun yanında, ön tekerlekler için de ön tekerlekler, fren diskleri, dönen aks gibi organların eşdeğer ataletlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu sebeple ön tekerlekler indirgenmiş eşdeğer atalet ifadesi de ayrı bir değer olarak modelde yerini alır ve vites konumundan bağımsızdır. Buna göre modelde kullanılmış eşdeğer atalet moment ifadeleri Tablo 3.1’ de verilmiştir [60].

Tablo 3.1: Eşdeğer Atalet Değerleri

VİTES	$J_{eş,arka}$
1	27.77 kg.m ²
2	11.39 kg.m ²
3	6.03 kg.m ²
4	4.23 kg.m ²

Bunun yanında güç aktarma organlarında, gerek sürtünme gerekse dişli boşlularından meydana gelen kayıplar tekerleğe iletilen momentin değişmesine sebep olur. Dolayısı ile motordan tekerleğe iletilen net torkun ifadesi şu şekilde olur;

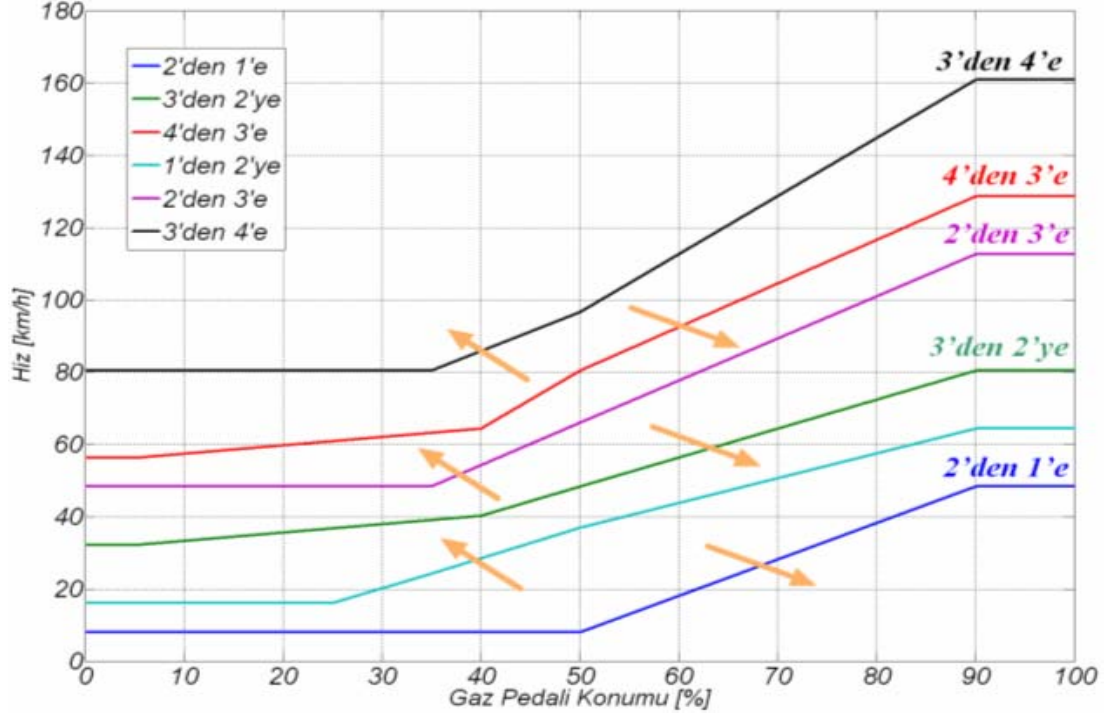
$$T_{net,motor} = T_M \cdot i_D \cdot i_T \cdot \eta_T \cdot \eta_D \quad (3.43)$$

Burada η_T ve η_D sırası ile transmisyon ve diferansiyelin verimlerini ifade eder. Literatürde araçtaki dişli kutularının verimlerinin yaklaşık %90 olduğu belirtildiğinden bu değerler 0.9 olarak seçilmiştir.

3.1.5 Vites Modeli

Aktarma organlarının bir parçası olan vites kutusunda çevrim oranının belirlenmesi ayrı bir model olarak incelenecektir. Adaptif Seyir Sistemleri’ nin sahip olması şart olan otomatik vites sistemi modeli ve denklemleri sisteme eklenmiştir. Modelin oluşturulmasında kullanılan vites geçişleri ve vites seçim mantığı SIMULINK/Stateflow’ da modellenmiştir.

Vites değişiminde temel alınan vites değişim haritasıdır. Bu harita, gaz pedalı konumunu dikkate alarak belirli hızlarda vitesin artırılmasını veya indirilmesini öngörür. Şekil 3.11’ de vites değişim haritası gösterilmiştir.



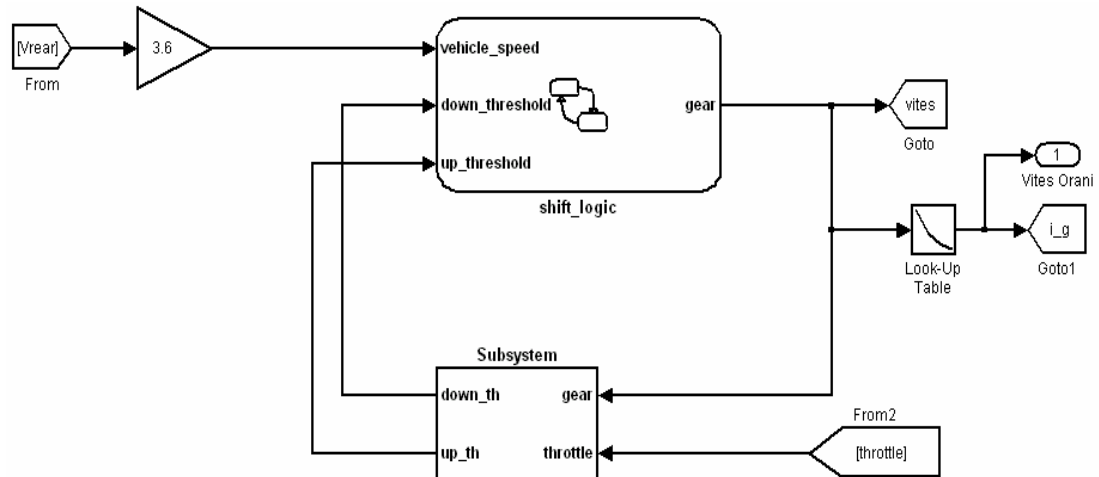
Şekil 3.11: Vites Değişim Haritası

Buna göre vites geçiş eğrilerinin üzerine denk gelinen bir durumda vites ya artırılır ya da düşürülür. Yani belirli bir vites ve belirli bir gaz pedalı konumu için sadece tek bir araç hızında vites artırma noktası bulunmaktadır. Vites düşürme de benzer şekilde çalışmaktadır.

Aynı pedal konumunda düşürme veya arttırma eğrilerinin farklı hızlardan geçmesi, yani özellikle bir histerezis yaratılmasının sebebi, eğriye denk gelinecek bir durumda sürekli vites değişiminin yaratılmamasıdır. Otomatik vites modelinde oluşturulmuş önemli bir blok da sistemin vites değiştirme mantığıdır. Vites değiştirme mantığı daha önce belirtildiği üzere Stateflow’ da modellenmiştir. Oluşturulan Stateflow sisteminin modeldeki yeri Şekil 3.12’ de görülmektedir.

Buna göre yukarıda vites değişim haritaları ile belirlenen vites değişim eşikleri, örneğin, 2.vites’ ten, 1. vitese inmek için gerekli hız ve 3. vitese çıkmak için gerekli hızlar tablolar ile oluşturulmuştur. Bu tablolarda, vites değişim haritalarından da anlaşılacağı üzere, hem gaz pedalı açıklığı hem de o anki vites girişi olarak kullanılırken üst ve alt eşikler çıkışları oluşturmaktadır. Bu eşikler ile beraber Stateflow’ a giren bir diğer büyüklük ise o anki araç hızıdır. Vites değişim

haritasındaki hız değerleri km/saat cinsinden olduğundan araç hızı da 3.6 ile çarpılarak Stateflow bloğuna girmektedir. Stateflow bloğunda belirlenen vites, son olarak vites çevrim oranlarının belirleneceği tabloya girmektedir. Genel olarak bakıldığında ise, otomatik vites bloğuna giren gaz pedalı konumu ve araç hızı, çıkış ise hangi viteste olduğu ve vites çevrim oranıdır.



Şekil 3.12: Otomatik Vites SIMULINK Modeli

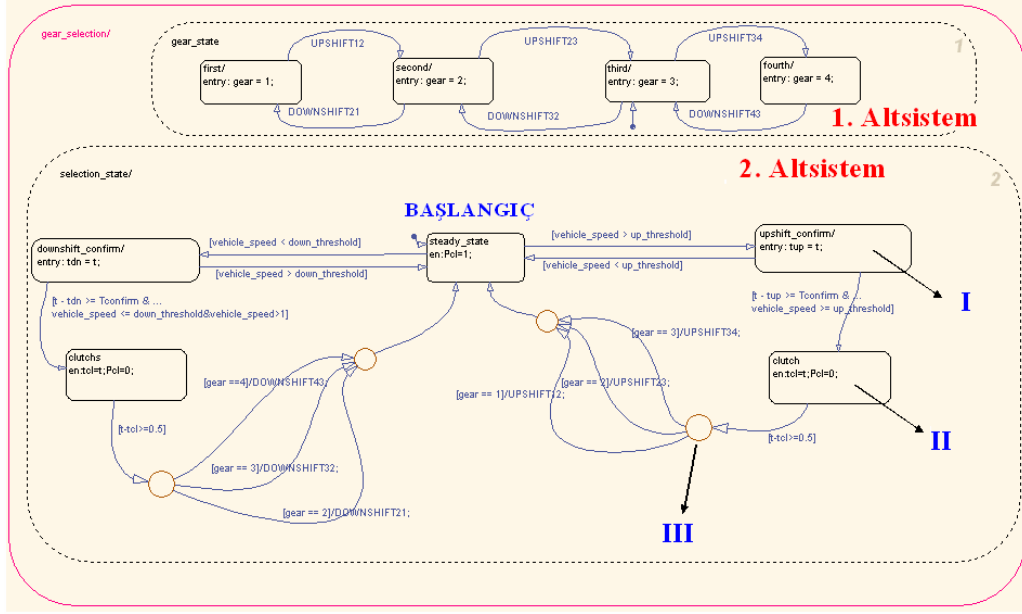
Vites çevrim oranları hesaplanan atalet bilgileri ile uyumlu ve aynı kaynaktan alınarak kullanılmıştır. Otomatik vitesli bir çok araçta olduğu üzere dört kademeli bir transmisyon sistemi temel alınmıştır [60]. Otomatik vites bloğunda kullanılan çevrim oranları Tablo 3.2’ de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Vites Çevrim Oranları

VİTES	i _T
1	3.154
2	1.913
3	1.281
4	0.951

Şekil 3.13’ de görülen Stateflow bloğunun yapısı şu şekildedir. Bloкта iki altyapı bulunur. Bunlardan ilki, lojiğin izin vermesi ile Simulink’ e o anki vites konumunu (1.vites, 2.vites vs) gönderen altsistem, diğeri ise vites geçişlerine izin veren yani artır ya da düşür şeklinde bir komut gönderen altsistemdir. Bu iki altsistem paralel çalışmakla beraber, 2. altsistemin birincisini tetiklediği söylenebilir. 2. sistem sürekli rejimde yani herhangi bir vites konumunda seyir ile başlar. Eğer araç hızı dışarıda

belirlenen vites yükseltme hızından büyük ise ya da vites indirme eşik hızından küçük ise, başlangıç bölümünden sola ya da sağa doğru hareket eder.



Şekil 3.13: Otomatik Vites Değiştirme Lojigi

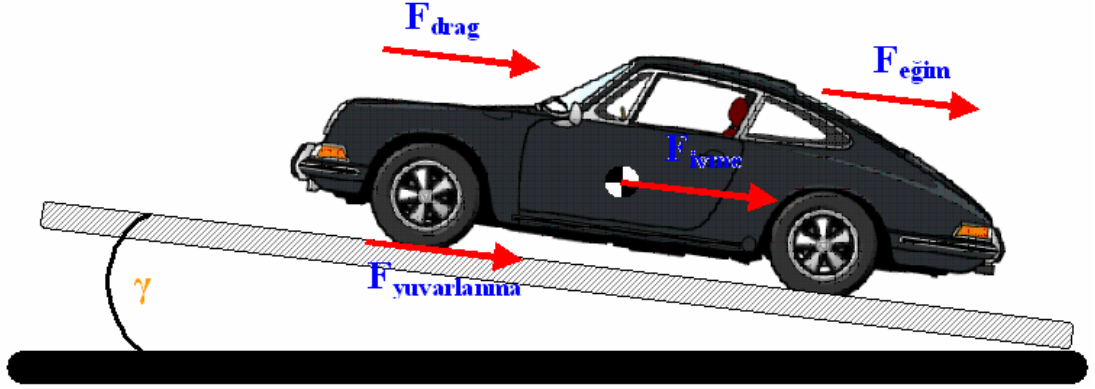
Vitesin artırıldığı durum göz önüne alınır ise, I konumuna giriş anı kaydedilir. Eğer bir saniye boyunca bu bloktan geri dönüş olmaz yani vites yükseltme eşik hızının altına düşülmez ise, II bloğuna gelinir. Bu blok kavramanın yapılışını temsil etmektedir. Burada da 0.5 saniye beklenilir ve sonunda III boğumuna gelinir. Burada mevcut vitese göre vites yükselt komutu gelir. Örneğin, vites konumu o an 2 ise, 2–3 artışı ile ilgili tetikleme komutu 1. altsisteme gönderilir. 1. altsistemde de mevcut vites komutu terk edilip yeni konuma geçilir. Görüldüğü üzere geçişin sonunda başlangıç noktasına yani, sürekli rejim noktasına gelinilir. Aracın hızının ve pedal konumunun değişimi doğrultusunda yeni vites değişimleri tekrar yapılabilir. Vitesin düşürülmesi de benzer bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Geçiş sırasında ki yaklaşık 1.5 saniyelik bekleme hem vites değişimi sırasındaki gecikmeleri temsil etmesi hem de araç hızının kalıcı olarak değiştiğinin sınanması açısından gereklidir.

3.1.6 Direnç Kuvvetleri

Araç modellenirken gerçek bir duruma yaklaşılmaması adına gerçek aracın maruz kaldığı tüm kuvvet ve momentlerin oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle araç üzerine etkiyen yükler yani direnç kuvvetleri de modelde yerlerini almışlardır.

Direnç kuvvetleri aracın değişik noktalarına etkimekle beraber kolaylık açısından bir kısmının etkileri aracın ağırlık merkezine taşınmıştır. Bunlar sırası ile tekerlek

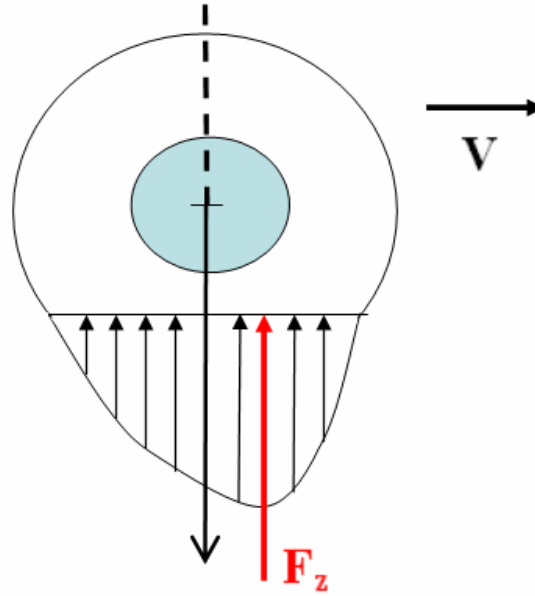
dönme direnci, eğim direnci, aerodinamik etki ve ivmelenme direncidir. En genel durumda bir aracın üzerine etkiyen direnç kuvvetleri Şekil 3.14’ de görülmektedir.



Şekil 3.14: Direnç Kuvvetleri

3.1.6.1 Tekerlek Yuvarlanma Direnci

Tekerleklerde dönme direnci olarak oluşan kuvvetler, gerek pnömatrik lastik deformasyonu, gerekse yerin deformasyonu sonucunda oluşmaktadır. Bunun yanında, lastiğin belli bir kısmının zeminin içine girdiği durumlarda lastiğin yanaklarında oluşacak sürtünme de bu ifade ile temsil edilebilir.



Şekil 3.15: Tekerlekteki Asimetrik Yük Dağılımı

Yuvarlanma direnci, tekerleğin dönme sırasında üzerinde oluşan dikey kuvvetlerin asimetrik olarak yayılmasından dolayı oluşmaktadır. Tekerleğin hareketi sırasında

deforme olan ilk kısımda yutulan enerji, tekerleğin damperleme etkisi yüzünden deformasyonun geri gelmesi sırasında kısmen yutulur. Sonuç olarak bu yayılma sonunda tekerlek üzerindeki ortalama kuvvet bileşkesi tekerleğin önüne yakın bir noktada oluşmaktadır [61]. Şekil 3.15’ de de görülen bu bileşke kuvvetin düşey eksenle çakışmaması nedeni ile dönme ekseninde bir moment oluşur ve dolayısı ile yuvarlanma direnci meydana gelmiş olur.

Tekerlekte oluşan dönme direncini gösteren ifade şu şekildedir:

$$F_{yuvarlanma} = C_{yuvarlanma} m \cdot g \quad (3.44)$$

Burada m araç kütlesi, g yerçekimi ivmesi ve $C_{yuvarlanma}$ ise yuvarlanma direnci sabitidir. Her ne kadar direnç kuvveti araç hızına ve direksiyon açısına bağlı nonlinear bir kuvvet olsa da, bu nonlinearlikler ihmal edilmiştir. $C_{yuvarlanma}$ literatürde binek araçlar için yaklaşık 0.015 olarak verilmektedir [61]

Yuvarlanma direnci tekerlek ekseninin $-x$ doğrultusunda tekerleğe etmektedir. Bu nedenle bu direnç tekerlek modelinde elde edilen F_{xf} ve F_{rf} kuvvetlerinden çıkarılmaktadır.

3.1.6.2 Eğim Direnci

Aracın üzerine etkiyen bir diğer kuvvet, eğimden dolayı, ağırlığının boylamsal yönde olan bileşenidir. Bu kuvvet;

$$F_{egim} = m \cdot g \cdot \sin(\gamma) \quad (3.45)$$

ifadesi ile elde edilmiş olup etkisi aracın kendi ekseninde $-x$ doğrultusunda etkitilmiştir. γ yolun eğim açısıdır.

3.1.6.3 Aerodinamik Direnç

Araç seyir sırasında etrafındaki hava hareketlerinden dolayı hava sürtünmesine maruz kalmaktadır. Oluşan bu kuvvet ;

$$F_{drag} = \frac{1}{2} C_{drag} \rho A V^2 \quad (3.46)$$

ifadesi ile elde edilir.

Bu ifade de ρ hava yoğunluğunu, A taşıtın hava akımına maruz kalan dik alanı, V araç hızını ve C_{drag} deneysel olarak bulunan hava direnç katsayısını ifade eder. ρ atmosferik hava şartlarına bağlı olup değişken değerler alabilir, ancak ortalama olarak 1.225 kg/m^3 değeri kullanılmaktadır. A ise 800-2000 kg arasındaki araçlar için aşağıdaki ifade ile yaklaşık olarak bulunabilir [61]:

$$A = 1.6 + 0.00056(m - 765) \quad (3.47)$$

Buna göre, 1296 kg'lık bir araç için projeksiyon alanı yaklaşık 1.9 m^2 olarak bulunmuştur.

C_{drag} ise, deneysel olarak bulunmakta ve aracın geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Literatürde ortalama bir binek araç için değeri 0.35 olarak ifade edilmektedir.

3.1.6.4 İvmelenme Direnci

Direnç kuvvetlerine eklenmesi gereken bir büyüklük de araca ait dönen kuvvetlerinin eylemsizlik etkisidir. Yani, aracın ivmelenmesine karşı direnç olarak düşünülebilecek eylemsizlik kuvvetinin içinde aynı zamanda dönen kütlelerden dolayı meydana gelmiş olan bir direnç kuvveti etkisi de söz konusudur. Sonuç olarak ivmelenme hareketi gösteren bir aracın boylamsal yöndeki eylemsizliği;

$$F_{ivme} = \lambda m \ddot{x} \quad (3.48)$$

şeklinde ifade edilir. Yani araç üzerindeki net kuvvetleri D'Alembert prensibine göre yazarsak;

$$\sum F_x + \sum F_{DIRENC} = 0 \quad (3.49)$$

$$\sum F_x + F_{drag} + F_{yuvatlanma} + F_{egim} + F_{ivme} = 0 \quad (3.50)$$

F_{ivme} ifadesini direnç kuvvetlerinden ayırırsak;

$$\sum F_x + F_{drag} + F_{yuvatlanma} + F_{egim} = \lambda m \ddot{x} \quad (3.51)$$

elde edilir.

Bu durumda (3.13) ifadesindeki m kütle yerine λm yazılarak aracın sadece kütlelerinin eylemsizliği değil, dönen kütlelerin de eylemsizliklerinin etkisi eklenmiş olur. Yukarıdaki ifadeler de geçen λ dönen kütle faktörü şeklinde ifade edilip şu şekilde bulunmaktadır;

$$\lambda = 1 + \sum_{j=1}^n \frac{J_{T,j}}{r_j \cdot R_j} \bigg/ m \quad (3.52)$$

Burada $J_{T,j}$ tüm dönen kütlelerin ataletlerini, r_j statik tekerlek yarıçapını, R_j dinamik tekerlek yarıçapını m de araç kütlelerini ifade etmektedir. eşitliğin sağ tarafındaki 1 ile araç kütlelerinin ivme eylemsizliği, ikinci terim ise dönen kütlelerin eylemsizliğini temsil etmektedirler.

İkinci terim, tüm dönen kütle elemanları için tekrar yazıldığında

$$\sum_{j=1}^n \frac{J_{T,j}}{r_j \cdot R_j} = \frac{J_{T,\delta}}{r_{\delta} \cdot R_{\delta}} + \frac{J_{T,A} + i_D^2 J_D + i_D^2 i_T^2 J_M}{r_A \cdot R_A} \quad (3.53)$$

elde edilir.

Burada $J_{T,\delta}$ ön tekerlek atalet momentini, $J_{T,A}$ arka tekerlek atalet momentini, J_D diferansiyel sistemi atalet momentini, J_M motor atalet momentini, r_A ve r_{δ} arka ve ön tekerlek statik yarıçaplarını ve son olarak da R_A ve R_{δ} arka ve ön tekerlek dinamik yarıçaplarını ifade etmektedirler. Statik tekerlek yarıçapı ve dinamik tekerlek yarıçapı birbirlerine yakın değerler taşıdıkları için bunlar eşit kabul edilmiştir.

Görüldüğü üzere, λ faktörü çevirme oranları ile değişmekte, dolayısı ile vitesin konumuna göre farklılık göstermektedir. Bu durum her vitesinde farklı atalet momentlerinin oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca (3.53) denklemindeki ikinci terim aynı zamanda eşdeğer atalet momenti ifadesidir

$$\lambda = 1 + \left(\frac{J_{eş,\delta}}{r_{\delta} \cdot R_{\delta}} + \frac{J_{eş,arka}}{r_A \cdot R_A} \right) \bigg/ m \quad (3.54)$$

Bu durumda Tablo 3.1' deki değerler ile elde edilen ve her vites için ayrı ayrı hesaplanan dönen kütle faktörü değerleri Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Tablo 3.3: Dönen Kütle Faktörü λ

VİTES	λ
1	1.33
2	1.145
3	1.085
4	1.065

3.1.7 Tekerlek Üzerindeki Net Moment

Arkadan çekişli araçta arka tekerleğe indirgenen aktarma organları ataletleri ve ön tekerlek için indirgenmiş eşdeğer ataletler, aynı şekilde tekerlekler indirgenmiş motor torku ile fren kuvvetleri, tekerlek ve direnç kuvvetlerinin oluşturduğu momentlere karşılık bir yük oluşturmaktadır. Bu yüzden tekerleklerde bir moment ifadesi yazılırsa ve tekerleğe indirgenmiş ataletler sayesinde tekerleğin açısal hız değeri elde edilir.

Bu çerçevede, Şekil 3.16 ön ve arka tekerleğin üzerindeki moment ve kuvvetler gösterilmiştir. Buna göre tekerlekler üzerindeki net moment ifadeleri;

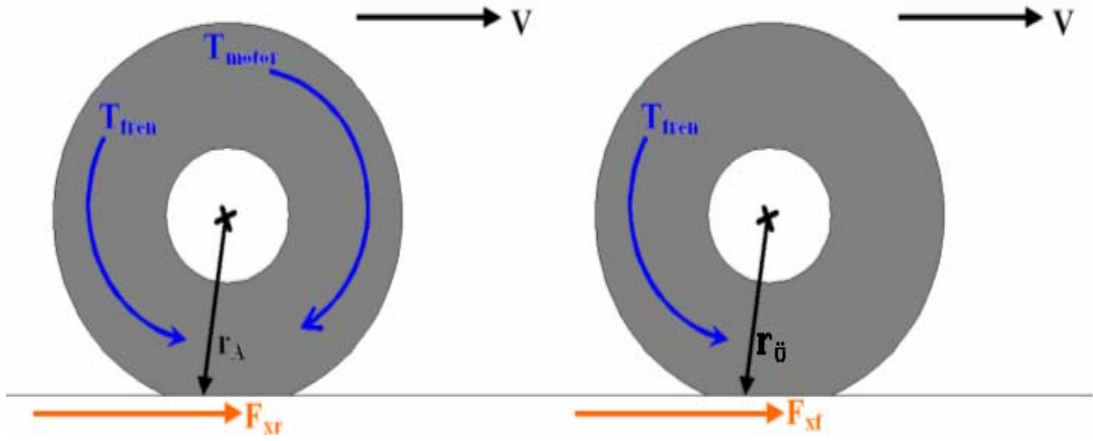
$$T_{net,arka} = T_{motor} - T_{fren} - F_{xr} \cdot r_A = J_{eş,arka} \cdot \dot{\omega}_{T,arka} \quad (3.55)$$

$$T_{net,ön} = -T_{fren} - F_{xf} \cdot r_O = J_{eş,ön} \cdot \dot{\omega}_{T,ön} \quad (3.56)$$

Yukarıdaki denklemlerden de görüleceği üzere tekerlekteki moment eşitliğinde, motor sadece arka tekerleğe etkirken, fren iki tekerlekte de moment oluşturmaktadır.

Bunun yanında tekerlek modelinden gelen tekerlek boylamsal kuvvetleri de sürtünme etkisi oluşturmakta ve statik tekerlek yarıçapı ile çarpılarak negatif bir tork meydana getirmektedir. Moment eşitliğinden elde edilen tekerlek açısal ivmelerinin daha sonra entegrali alınarak tekerleklerin açısal hızları elde edilmektedir. Bu açısal hızlar tekerlekteki boylamsal kayma hesabında kullanılmıştır. Araç modelinde fren sistemini ifade eden detaylı bir dinamik model kullanılmamıştır. Bunun yerine fren sistemi, 0.1 s zaman sabiti olan birinci derece bir sistem olarak ifade edilmiştir.

Boylamsal kuvvetler içerisindeki yuvarlanma dirençleri göz önünde bulundurulduğu ve boylamsal tekerlek kuvvetlerinden çıkarıldığı tekrar belirtilmelidir.



Şekil 3.16: Tekerleklerdeki Moment Eşitlikleri

Aracın simülasyonlar süresince aldığı yol ise;

$$\Delta x = \int_0^{t_f} V \cos(\beta + \psi) dt \quad (3.57)$$

$$\Delta y = \int_0^{t_f} V \sin(\beta + \psi) dt \quad (3.58)$$

denklemleri ile elde edilmiştir.

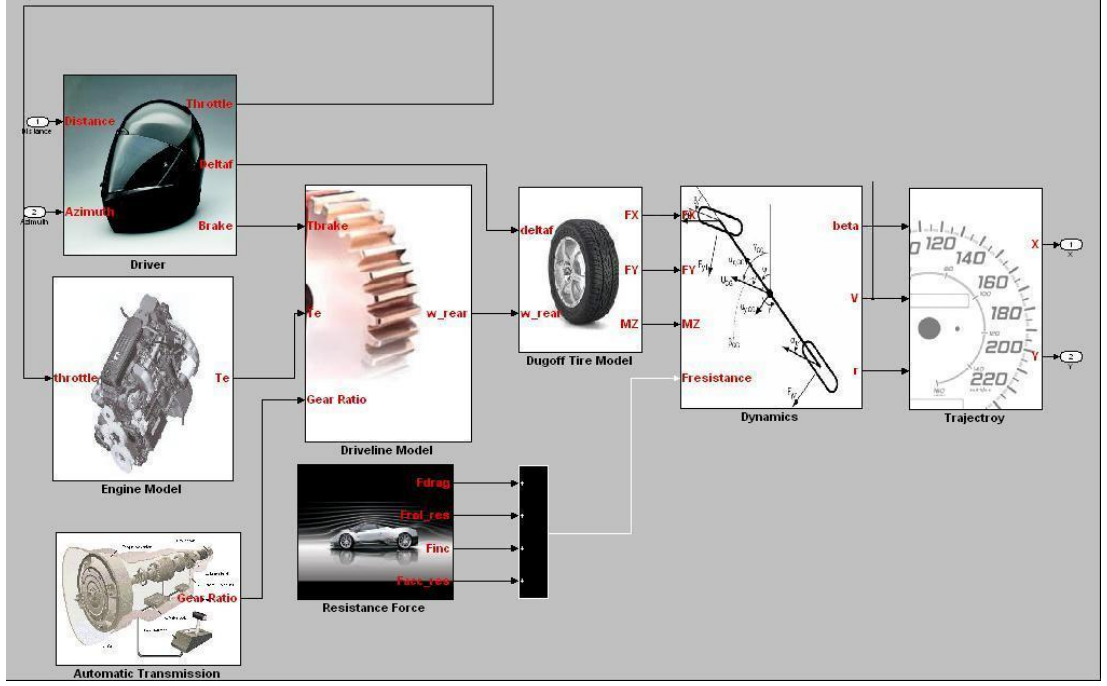
Bu denklemler aracın global eksen takımına göre x ve y koordinatlarındaki yerini ortaya koymaktadır.

3.2 Araç Modelinin MATLAB/Simulink’ de Modellenmesi

Araç modeli bölümünde oluşturulmuş denklemler MATLAB/Simulink programı ile bir araya getirilmiştir.

Her mekanik alt sisteme ait denklem takımları gruplanarak bir başka grup ile ilgili değerler, ilgili alt sisteme gönderilerek birleştirilmiştir. Şekil 3.17’ de sisteme ait tüm model ve alt sistemler görülmektedir.

Modelde bir de sürücü girişleri olan gaz, fren ve direksiyon açısının oluşturulduğu bir alt sistem daha bulunmaktadır. Burada ya dışarıdan kullanıcı girişleri girilmekte yada belirli zamanlarda belirli girişler ‘source’ blokları ile oluşturulmaktadır. Buradan çıkan gaz ve fren komutları güç aktarma organları altsistemine giderken direksiyon açısı ise tekerlek modeline iletilmektedir.

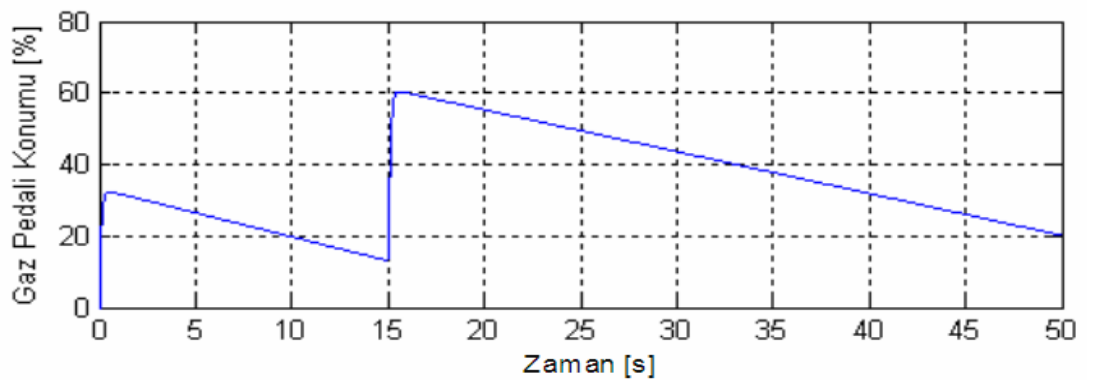


Şekil 3.17: Simulink Modeli

3.2.1 Araç Modeli İle Elde Edilmiş Sonuçlar

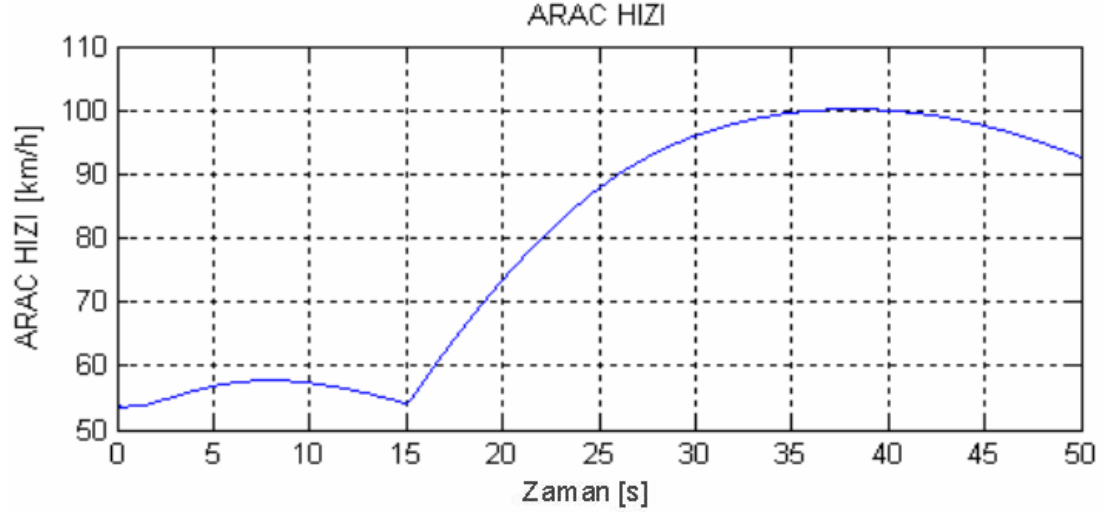
Bu bölümde model ile çeşitli manevralar yapılarak, araç modelinden elde edilecek bazı sonuçlar sunulacaktır. Bu manevralar ile değişik gaz pedalı konumları ya da fren komutları modele girilerek araç hızı, motor devri, vites değişimleri ya da tekerlek açısız hızındaki değişimler gözlenmiş, ayrıca aracın direksiyon girişleri ile yaptığı manevralar ortaya koyulmuş ve bu bölümde sunulmuştur.

Bu çerçevede yapılan ilk manevrada $t = 0$ anında araç hızının 54 km/saat olduğu durumdan başlayarak Şekil 3.18’ deki gaz pedalı hareketi araç modeline uygulanmıştır.

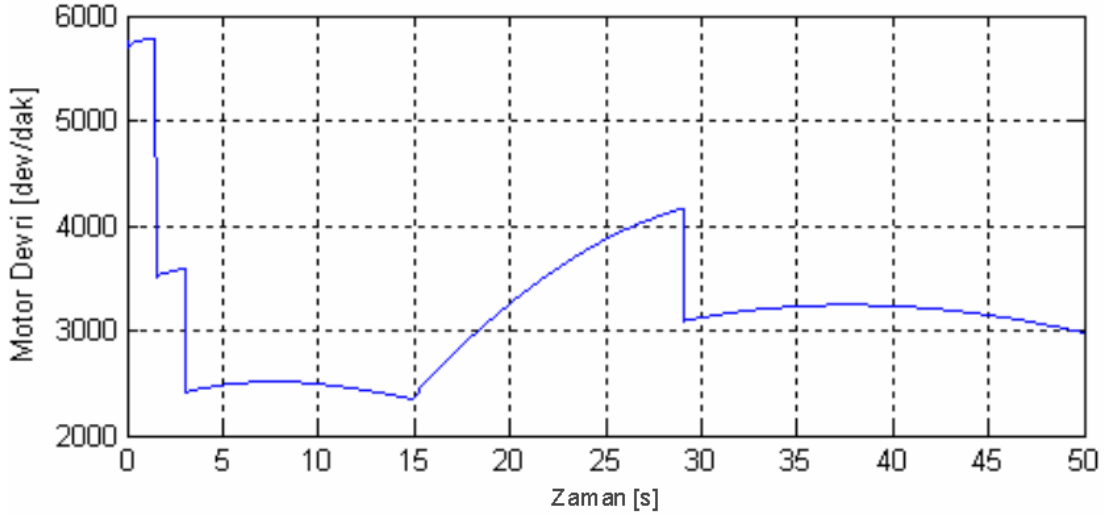


Şekil 3.18: Gaz Pedalı Konumu

Bu gaz girişi için araç hızındaki ve motor devrindeki değişim şekil 3.19 ve şekil 3.20’de verilmiştir.



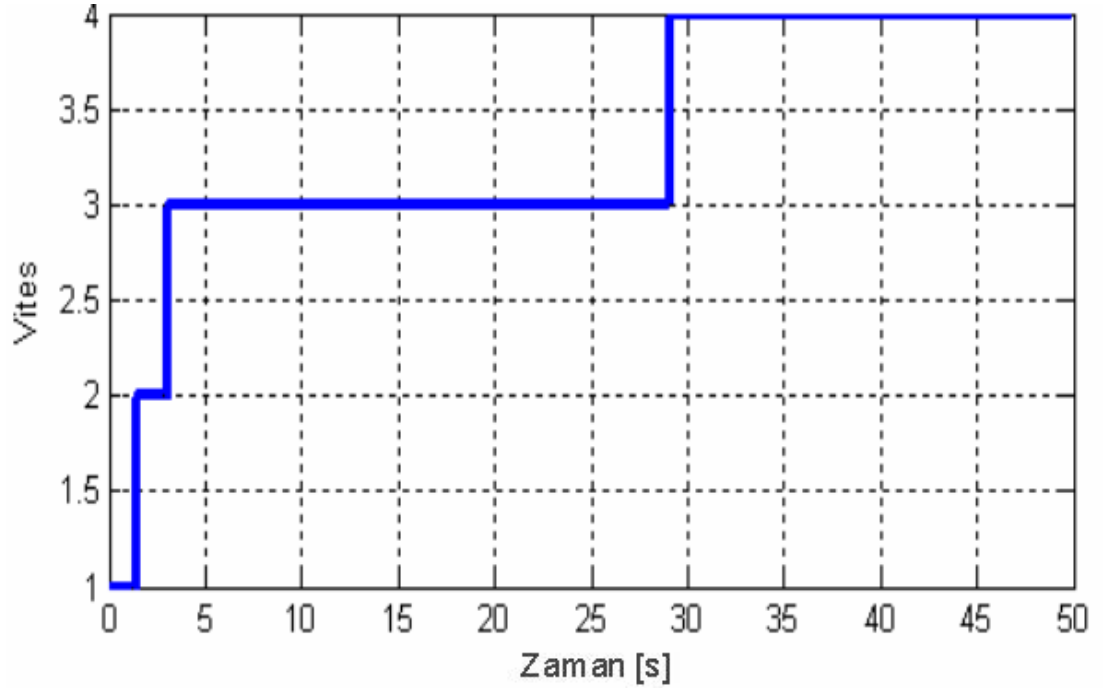
şekil 3.19: Araç Hızı Değişimi



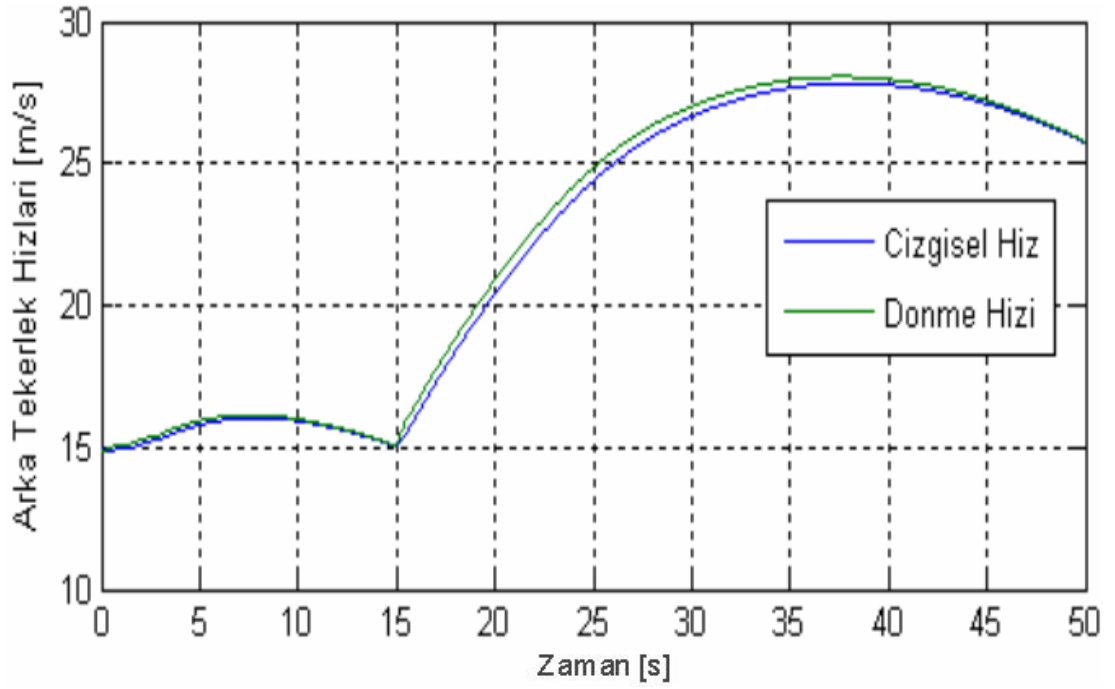
şekil 3.20: Motordaki Devir Değişimi

Motor devrindeki ani değişimlerin nedeni, vites değişimleridir. Bu değişimler şekil 3.21’ de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 1.5, 3 ve 29. saniyedeki devir değişikliklerinin nedeni bu anlarda gerçekleşmiş vites değişimleridir. 15. saniyedeki devir değişiminin nedeni ise gaz girişindeki ani değişimdir.

Bu manevra sırasında arka ve n tekerlek dönme ve çizgisel hızları şekil 3.22 ve şekil 3.23’ de görülmektedir. Tekerleğin dönme hızı tekerlek yarı çapı ile çarpılarak çizgisel hız cinsinden ifade edilmiş böylelikle iki hızı karşılaştırmak mümkün olmuştur.

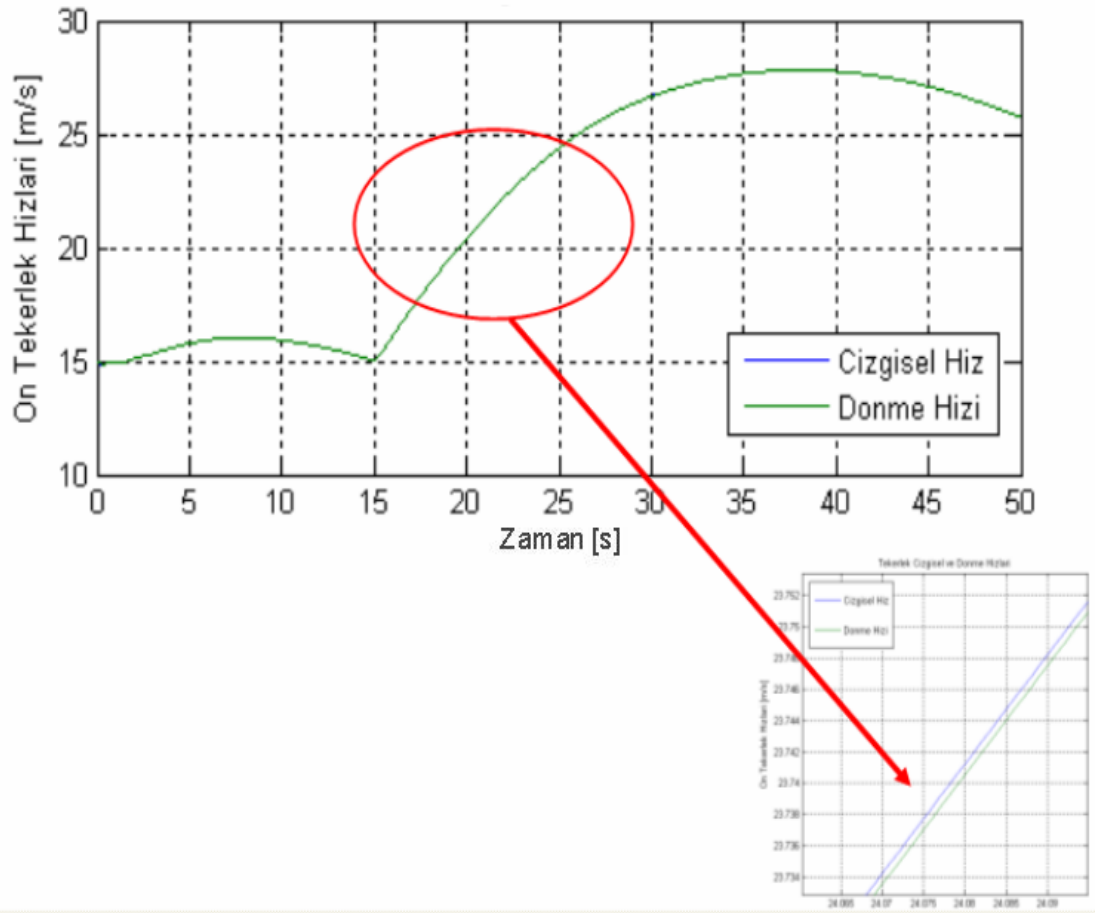


Şekil 3.21: Vites Değişimi

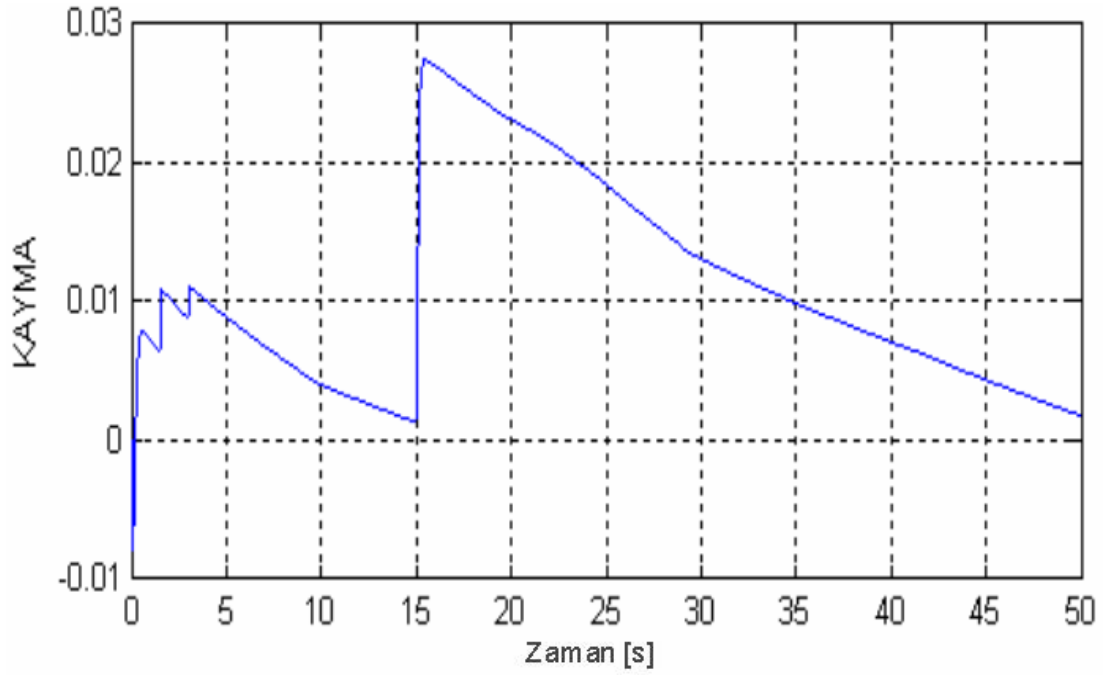


Şekil 3.22: Arka Tekerleğe Ait Çizgisel ve Dönme Hızları

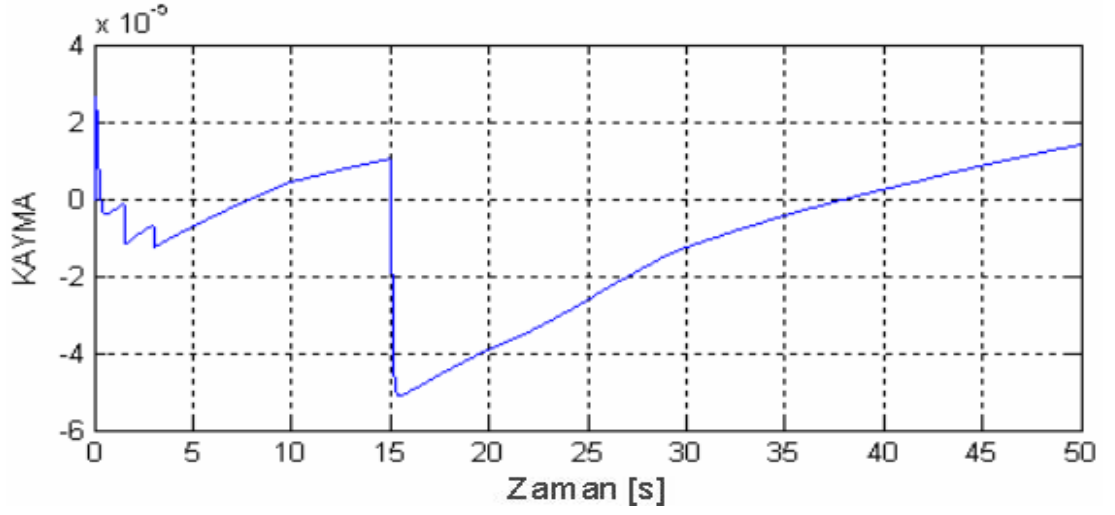
Ön tekerleğe ait hızlar üst üste gözükse de, bir fark mevcuttur. Arka tekerlekler çekiş tekerlekleri olduğundan, kayma arka tarafta daha fazladır. Tekerleklerle ait kayma değerleri ise Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’ de görülmektedir.



Şekil 3.23: Ön Tekerleğe Ait Çizgisel ve Dönme Hızları

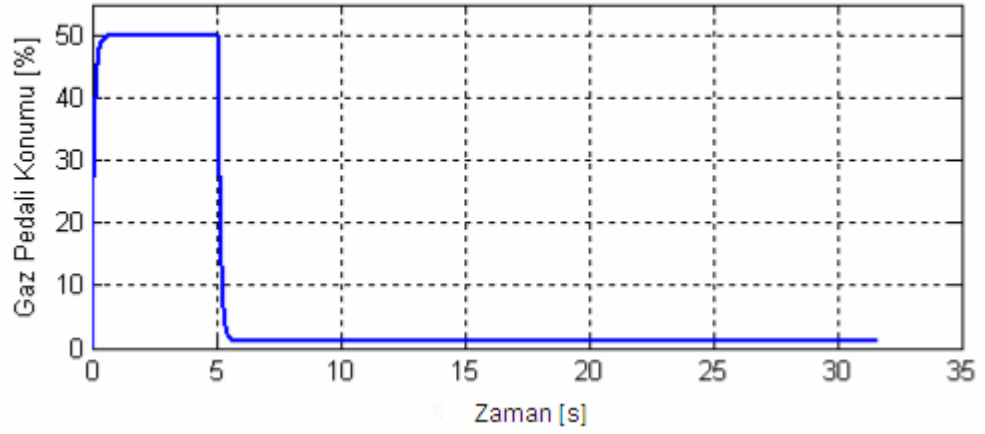


Şekil 3.24: Arka Tekerleklerdeki Kayma

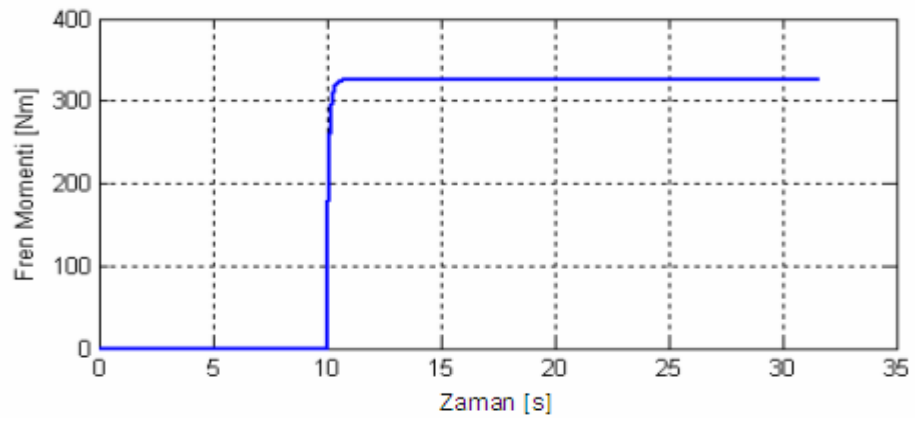


Şekil 3.25: Ön Tekerleklerdeki Kayma

İkinci manevra bir ani fren manevrasıdır. Bu manevrada giriş olarak verilen gaz pedalı konumu ve fren momentleri Şekil 3.26 ve 3.27’ de görülmektedir.

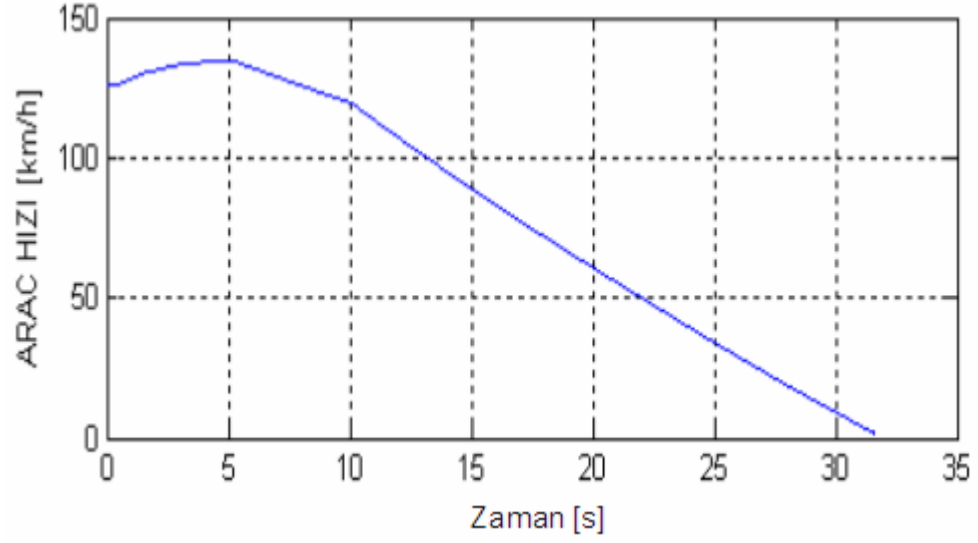


Şekil 3.26: Gaz Girişi



Şekil 3.27: Fren Momenti

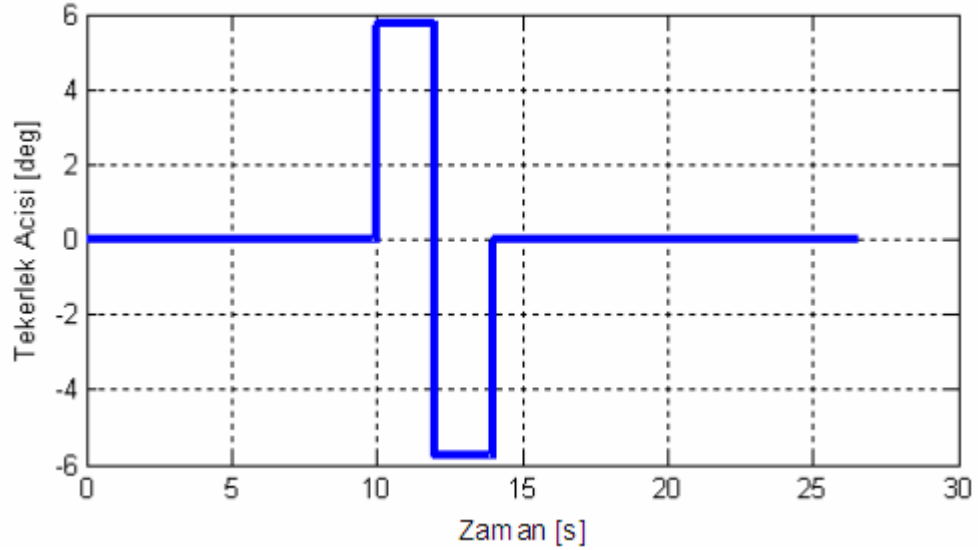
Bu manevra sonunda elde edilen araç hızı Şekil 3.28’ de verilmiştir.



Şekil 3.28: Araç Hızı

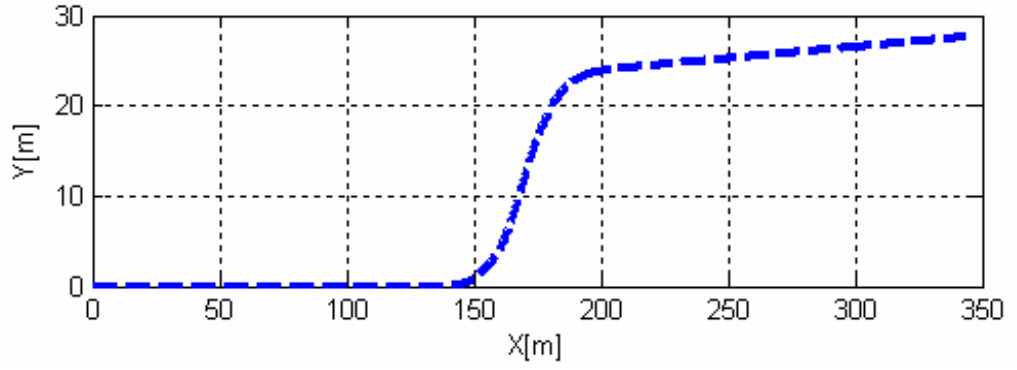
Son olarak da aracın yanal dinamiği ile ilgili manevralar oluşturulmuştur.

Araca Şekil 3.29’ da görüldüğü gibi bir direksiyon girişi uygulanmıştır. Bu giriş araç 54 km/h hızla giderken verilmiş olup bu süre boyunca gaz pedalı konumu %20’ de sabit tutulmuştur.



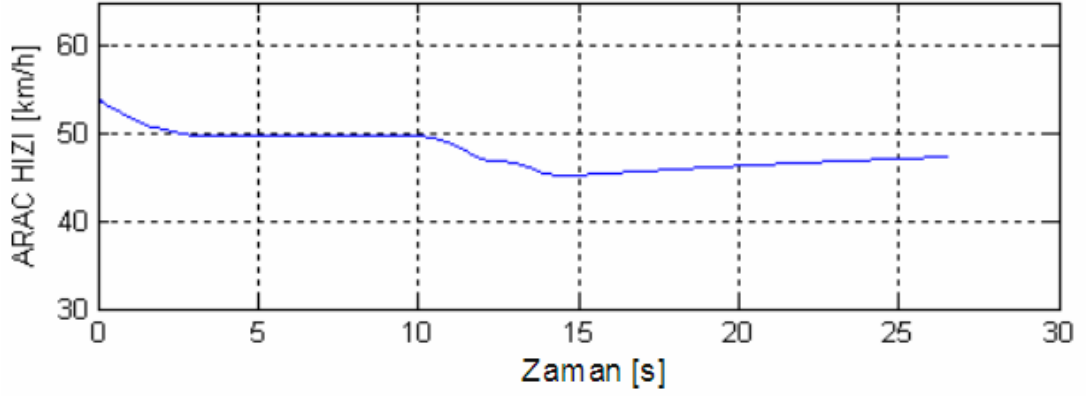
Şekil 3.29: Tekerlek Açısı

Bu manevrada aracın aldığı yörünge ise Şekil 3.30’ da görülmektedir.



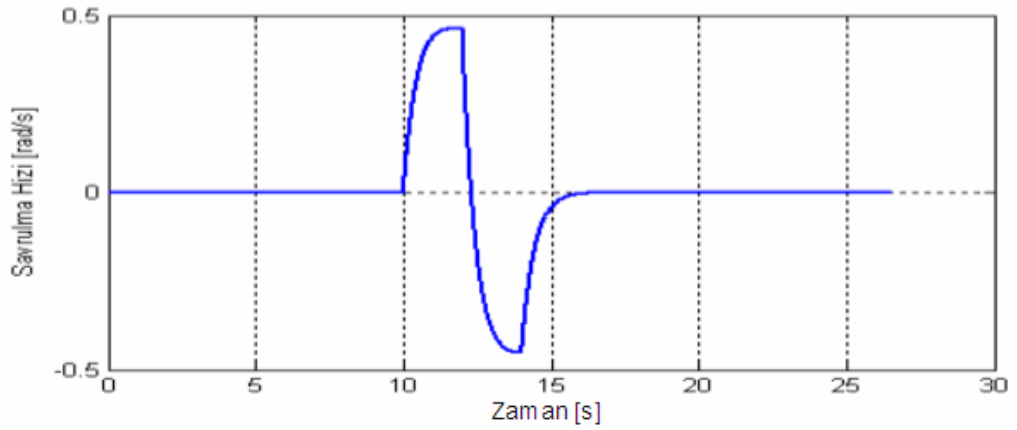
Şekil 3.30: Araç Yörüngesi

Araç şerit değiştirme benzeri bu hareketi yaparken aracın hızında bir salınma meydana gelmektedir. Bunun nedeni boylamsal kuvvetin bir kısmının dönmeye gitmesidir. Manevra sırasında değişen araç hızı Şekil 3.31’ de görülmektedir.



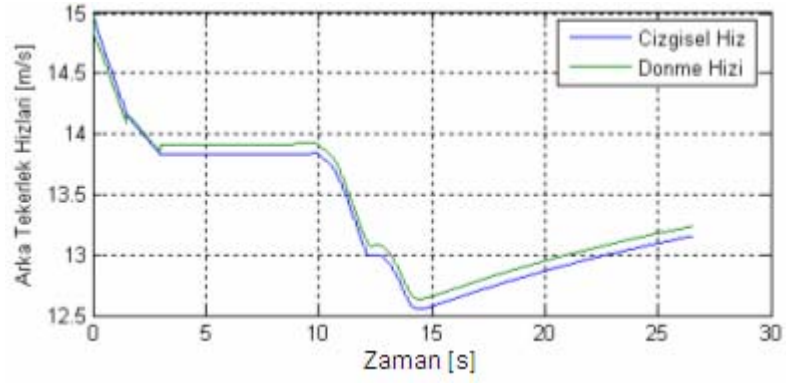
Şekil 3.31: Araç Hızı

Araç şerit değiştirme benzeri bu hareketi oluştururken meydana gelen savrulma açısız hızı ise Şekil 3.32’ de görülmektedir.



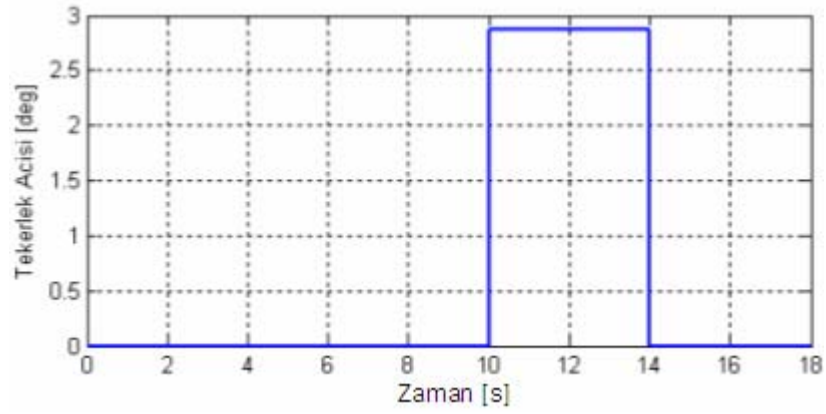
Şekil 3.32 : Savrulma Açısız Hızı

Aracın böyle bir manevra yapması, boylamsal yönde tekerlek kaymasını da arttırmaktadır. Bu artış Şekil 3.33’ den de görülmektedir.



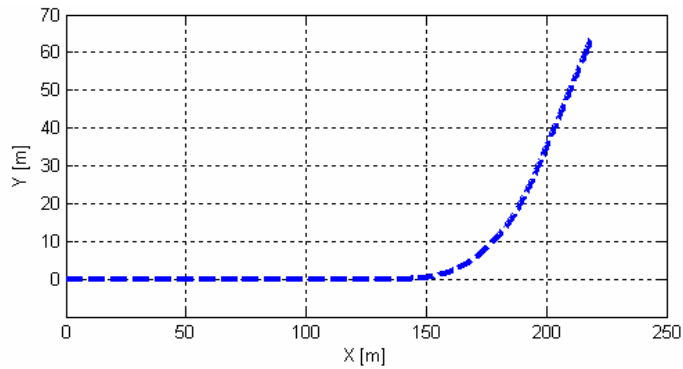
Şekil 3.33 : Arka Tekerleğe Ait Çizgisel ve Dönme Hızları

Son olarak, araca sabit hız ve sabit gaz açıklığında Şekil 3.34’ deki tekerlek açıları oluşturulmuştur.



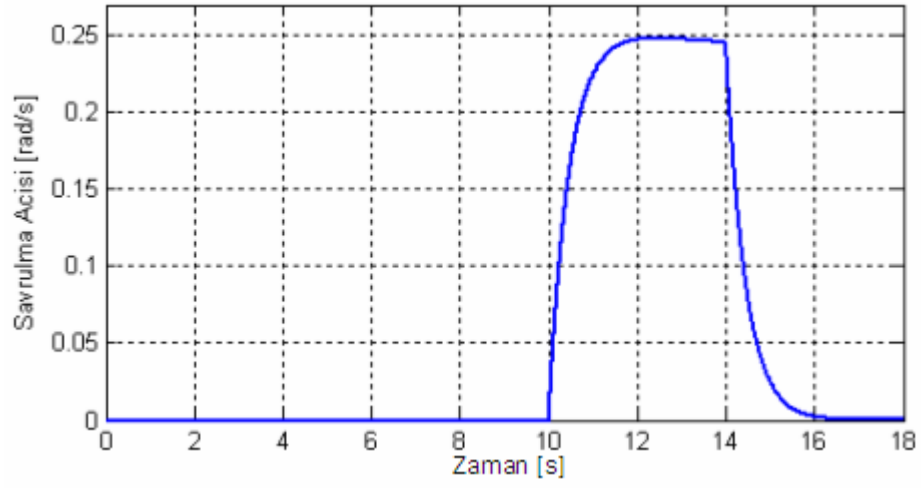
Şekil 3.34: Tekerlek Açısı

Bu tekerlek açıları ile meydana gelen araç yörüngesi ise Şekil 3.35’ deki gibidir.



Şekil 3.35: Araç Yörüngesi

Bu dönme sırasında oluşan savrulma açısal hızı ise Şekil 3.36'daki gibidir.



Şekil 3.36 : Savrulma Açısal Hızı

4. ADAPTİF SEYİR SİSTEMİ KONTROLÜ

Adaptif Seyir Sistemi daha önce de belirtildiği üzere, hedef araçlara göre hız ve mesafe kontrolü yapan bir sistemdir. Bu sisteme ait bir kontrol yapısının tasarlanması, modellenmesi ve kullanılan araç modeline uygun hale getirilip, modelin altsisemleri ile uyumlu bir şekilde dönüştürülmesi, yapılan tasarımın gerçekçiliğinin sınanması açısından önemlidir. Kurulan araç modelinin sahip olduğu fiziksel girişlere müdahale yapabilecek bir kontrol düzeninin geliştirilmesi de aynı sebepten dolayı esastır. Örneğin, oluşturulacak bir kontrol stratejisi ile gerekli müdahale sadece bir kuvvet ya da benzeri bir etki ile araç modelinde ifade edilirse, bu oluşturulan sistemin gerçekçiliğini zayıflatır. Kurulan modelin kontrol yapısı ile olan etkileşimi, gerçek bir fiziksel sistemde olduğu gibi, belirli mekanik aksamalar ile olmalıdır. Bunun yanında kontrol sistemi eklenmiş model yapısının bütünü, bir araç simülatörünün temelini oluşturacağından ve bu sistemle gerçek sürücü girişleri ile çeşitli denemeler yapılacağından, kontrol yapısı insan etkileşimlerine açık bir sistem haline getirilmeli ve insan içeren simülasyon kavramına uygun olmalıdır.



Şekil 4.1: Adaptif Seyir Sistemi Simulink Modeli

Oluşturulan Adaptif Seyir Sistemi model yapısında yalnızca sürücü girişlerinin sağlandığı ve boylamsal kontrolünün otomatize edildiği bir araç bulunmaz. Bunun yanında, önceden belirlenmiş senaryoların gerçekleşmesi için gerekli hedef araç modeli bu sistemin bir parçası olmak durumundadır. Oluşturulan sistemin gerçekçiliğini tamamlaması adına sistemde bir de sensör modeli bulunmaktadır. Şekil 4.1’ de Adaptif Seyir Sistemi Simulink modeli görülmektedir.

İleride detaylı olarak incelen kontrol yapısının esasını hiyerarşik bir algoritma oluşturmaktadır. Bu yapının alt seviye kısmını sürekli yapıya sahip ve klasik kontrol algoritmaları ile belirlenen bir kontrol sistemi oluştururken, üst seviyede, ayrık yapılı, durum akışlı bir yapı bulunmaktadır. Bu arada alt seviye için iki farklı kontrol yapısı oluşturulmuş ve bunların meydana getirdikleri farklar incelenmiştir.

Adaptif Seyir Sistemi’ nin kontrol yapısının sunulacağı bu bölümde öncelikle senaryolar belirlendikten sonra, sensör modeli ve kontrol yapısı incelenecektir.

4.1 Senaryolar

Adaptif Seyir Sistemi yapısının sınanması için oluşturulan model belirli senaryolara maruz bırakılmıştır. Sistemin senaryolar ile sınanmasındaki amaç, öncelikle sistemin gerçek bir trafik koşulunda nasıl davranacağını araştırılmasıdır. Bu nedenle ASS’ nin karşılaşacağı en genel durumlar oluşturulmuştur. Bunun yanında oluşturulan senaryolar, kontrol yapısının tasarımının sınırlarını belirlemektedir. Bu şekilde, sistemin hangi koşullara maruz kalacağı önceden bilinerek buna uygun önlemler alınmıştır. ASS’ nin karşılaşacağı gerçek durumların birçoğunu ve sistemin olağan çalışma koşullarını temsil eden önceden hazırlanmış bu senaryolar, aslında tamamen tüm durumlara karşılık gelmemektedir. Bu bağlamda sistemin bu senaryolar haricindeki durumlarda nasıl davranacağı belirsiz olup bu çalışmanın içeriğinin dışında kalmaktadır. Sistemin performansı tamamen bu senaryolar dahilinde değerlendirilmeli ve uygulanabilirliği bu çerçevede düşünülmelidir. Tablo 4.1’ de kullanılan yedi senaryonun bir gösterimi bulunmaktadır. Senaryolara ait açıklamalar aşağıda detaylı olarak ifade edilmiştir.

4.1.1 Senaryo 1

Bu senaryo, aracın önünde bir hedef olmadığı durumu temsil etmektedir. Bu durumda araç sürücünün belirlediği sabit bir hızda hareket etmektedir. Aslında bu senaryoda hız sabitleyici sistem aktif olup Adaptif Seyir Sistemi kontrolcüsünün bir

etkisi bulunmamaktadır. Aktif Seyir Sistemi' nin kapalı, hız sabitleyici sisteminin açık konumunda da bu senaryonun aktif olduğu varsayılmaktadır.

İleride bahsedilecek bazı senaryolar bu senaryoyla başlarken, bazıları da bu senaryo ile sonlanmaktadır.

4.1.2 Senaryo 2

Bu senaryoda araç sabit hızla hız kontrolcüsü ile beraber ilerlerken, yani Senaryo 1 aktif durumda iken, sensör görüş alanına kendi hızından daha düşük hızda ve aynı şeritte bir hedef araç çıkmaktadır. Bu durumda Adaptif Seyir Sistemi açık olduğundan gerekli hız ve mesafe kontrolü ile ilgili girişler araç modeline iletilmektedir. Senaryo 2' de gerçekleştirilen durumda, önemli bir husus, öndeki aracın hızının sabit ya da sabite yakın olmasıdır. Öndeki araç hızının profili diğer senaryolarda değiştirilmiştir.

4.1.3 Senaryo 3

Bu senaryo Senaryo 2' nin devamı niteliğindedir. Araç takibi sağlandıktan sonra, yani ikinci senaryo gerçekleşirken öndeki aracın hızlanması sağlanarak Senaryo 3 elde edilmiş olur. Bu senaryo ile denenmek istenen, hedef aracın sabit olmayan bir hızla gitmesi durumunda sistemin performansının nasıl değişeceği. Öndeki aracın hızlanması sırasında, sistem hız ve mesafeyi ayarlayarak takibi gerçekleştirecektir. Ancak öndeki hedef aracın hızı, ASS aracının önceden belirlenmiş ve Senaryo 1' de iken kullandığı hızı geçer ise, bu durumda takip sonlandırılarak, seyir hızında sürüş devam edecektir.

4.1.4 Senaryo 4

Bu senaryo da Senaryo 2' nin devamı niteliğindedir. Senaryo 3' de olduğu gibi Senaryo 2 sağlandıktan veya tamamlandıktan sonra Senaryo 4 gerçekleştirilmekte ve ön aracın hızı sabit değerde iken azaltılmaktadır.

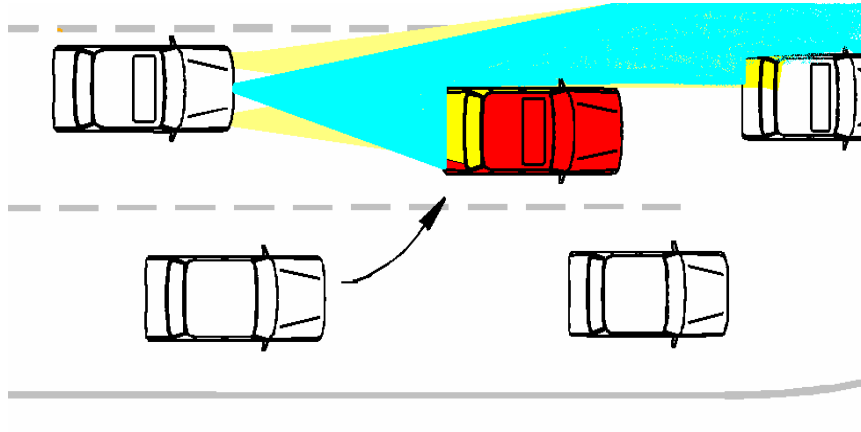
Bu senaryo, Senaryo 3'ün ardında gerçekleştirilebilir. Yani ön araç hızlanmakta, daha sonra da yavaşlamaya başlamaktadır. Elbette daha önce de belirtildiği üzere sistem bir konfor sistemi olduğundan yavaşlayabileceği değer belli sınırlar içerisindedir. Bu durumda ön aracın yavaşlama ivmesi sistem sınırlarını geçtiğinde, yani ASS' nin müdahalesi yetersiz kalıp sistemin sürücü frenine gereksinim duyduğu noktada, sistemi uyarı vermesi sağlanmıştır. Bu durumda sistem devreden çıkarak, ani fren müdahalesini sürücü yapmaktadır.

Tablo 4.1: Adaptif Seyir Sistemi Senaryoları

SENARYO	ASK DURUM	AÇIKLAMA	GÖSTERİM
1	KAPALI	$V_{arka} = \text{Sabit}$	
2	AÇIK	$V_{arka} > V_{ön}$	
3	AÇIK	$V_{arka} < V_{ön}$	
4	AÇIK	Takip Sırasında Hedefin Yavaşlama	
5	AÇIK	Araya Giren Yeni Araç	
6	$t = 0$; AÇIK $t = T$; KAPALI	T anında Hedef Aracın Şerit Değiştirmesi	
7	AÇIK	Dönme	

4.1.5 Senaryo 5

Bu senaryo da, Senaryo 2' nin ardından gerçekleşeceği gibi diğerleri sırasında veya sonrasında oluşturulabilir. Bu senaryoya göre, takip sırasında öndeki araç ile ASS aracının arasına yeni bir aracın girdiği varsayılmaktadır (bkz. Şekil 4.2). Bu durumda sistem, yeni hedef aracı tanıyıp buna göre kontrolünü değiştirebilmelidir. Bu senaryonun simüle edilebilmesi için, bir yöntem olarak, üç araç modelini aynı anda kullanıp araya yeni giren aracın sensör tarafından fark edilip hedefin değiştirilmesi sağlanabilir. Ancak bu gerek üç aracın aynı anda simülasyonunu gerektirmekte hem de farklı bir sensör modeli oluşturulması gerekliliğini doğurmaktadır. Bunun yerine, bu durumu simüle etmesi açısından, ön aracın boylamsal pozisyonu belli bir zamanda geriye kaydırmak sureti ile ASS aracı ile hedef araç arasındaki mesafe bir anda azaltılmaktadır. Her ne kadar bu durum gerçek durumu tam anlamı ile karşılamasa da, kontrolcünün ani giriş değişimleri karşısındaki performansı açısından yeterlidir.



Şekil 4.2: Senaryo 5

4.1.6 Senaryo 6

Bu senaryo da Senaryo 5 gibi diğer senaryolar gerçekleşirken oluşturulabilir. Buna göre, takip sırasında hedef aracın şerit değiştirmesi simüle edilmiştir. Benzer şekilde ASS aracının şerit değiştirmesi de bu senaryo çerçevesinde değerlendirilmelidir. Buna göre herhangi bir aracın şerit değiştirmesinin ardından ASS aracının önünde bir hedef kalmamış olur ve Senaryo 1 tekrar aktif hale gelir. Böylece takip sırasında ön aracın bir şekilde hedef araç olmaktan çıkması ile, ASS aracı hızını otomatik olarak arttırarak önceden belirlenmiş sabit değere kadar yükselmektedir.

4.1.7 Senaryo 7

Görüldüğü üzere bu noktaya kadarki tüm durumlarda yol profili düz kabul edilmiştir. Oysaki sistemin yolun virajlı olduğu durumlarda da çalışması gerekmektedir. Bu durumda araçların dönme ve yolu takibi sürücü tarafından gerçekleştirilirken, gaz ve fren komutları ASS sistemi tarafından kumanda edilecektir. Buna bağlı olarak, araç dönerken de eğer hedef araç sensör menzili içinde ise, boylamsal kontrolün yapılması gerekmektedir. Bu senaryo dönüş sırasında takibin hale devam etmesi ile ilgili durumu temsil etmektedir. Araç hızları ve mesafe dönüş sırasında da değişmemeli ve takip devam etmelidir.

Yukarıdaki yedi senaryo ASS sisteminin tasarımında esas alınarak hazırlanmış ve model tamamen bu senaryolara tabi tutularak sınanmıştır. Ayrıca Adaptif Seyir Sistemi modeli bu yedi senaryoyu ayırt edebilirken buna göre girişler uygulamaktadır.

4.2 Radar Modeli

Yapılan Adaptif Seyir Sistemi' nin araçlarla beraber önemli bir altyapısı da sensör sistemidir. Sensör yapısı gerçek fiziksel özellikleri ile beraber modelde bulunursa, yapılan simülasyonların ve kontrol sisteminin gerçekçiliği sağlanmış olur. Bu açıdan, boylamsal sensör modeli yapılan ölçümü temsil etmesi açısından modelde yerini almıştır.

Adaptif Seyir Sistemi modelinde esas alınan boylamsal sensör, sürekli değişken mikrodalga radar sensörüdür. Bu çerçevede sensörün özellikleri, günümüzde bu tür uygulamalarda kullanılan sensörlere uygun olarak seçilmiştir. Bu anlamda sensörün menziline 150 metre olduğu ve görüş açısının 10° olduğu varsayılmıştır. Sensör modellenirken dinamik davranışının etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Zira bu sensörün dinamik yapısı modellenen mekanik sistemlerin yanında oldukça hızlıdır. Ayrıca sensörün ölçümden dolayı meydana gelen gecikmesi de genel olarak sistemi etkileyecek kadar çok değildir. Sistem yapısı itibarı ile ölçüm yapmak için gönderdiği dalga hızı ışık hızındadır. Bunun yanında, sinyal işleme vs gibi sebeplerden dolayı meydana gelecek gecikmelerin aynı şekilde performans üzerindeki etkisi çok az olup, simülasyonun çözümünde kullanılan örnekleme zamanının çok altındadır. Ayrıca, gerçekte sensör üzerinde bulunması muhtemel belirsizlik, hata ve gürültü gibi etkenler modele eklenmemiştir. Ölçümün tam ve doğru olduğu varsayılmıştır. Sensörün kontrol sistemine gönderdiği değerler ise boylamsal mesafe, boylamsal bağıl hız ve ön aracın azimut açısıdır. Azimut açısı,

özellikle şerit değiştirme ve dönme senaryolarında kullanılmakta ve bu büyüklüğe öndeki aracın yatay düzlemdeki pozisyonunun belirlenmesi için gerek duyulmaktadır.

Aracın $-x$ ve $-y$ koordinatları araç modeli Bölüm 3’ de açıklanırken, (3.52) ve (3.53) denklemleri ile bulunmuştur. Bu denklemler araca bağlı koordinat sisteminin yere bağlı koordinat sistemine göre pozisyonunu vermektedir. Buna göre, araçların herhangi bir noktadaki pozisyonları modelde $-x$ ve $-y$ değerleri ile bunun yanında araç gövdesinin doğrultusu da savrulma açısı ψ ile ifade edilmiştir. Buna göre, ψ açısı aslında şasi eksen takımı XOY ile global eksen takımı X_0OY_0 ‘ arasında, $-z$ eksenini etrafında yaptığı açıdır.

Simülasyonda kullanılan taşıt modellerindeki radar bloğuna beslenen değerler, ön araç için yatay düzlemde global eksen takımına göre konumunun alındığı $X_{\text{ön}}$ ve $Y_{\text{ön}}$ çıkışlarıdır. Arka araç için ise konuma ek olarak aracın savrulma açısının da radara gelmesi gerekmektedir (bkz. Şekil 4.1). Bu veriler kullanılarak arka araca monte edilmiş olan radarın eksen takımı, global eksen takımından ayrılıp arka araçla beraber hareket eden eksen takımına taşınması sağlanmıştır. Burada ön aracın konum verilerinin radar girişinde olmasının nedeni de, önde algılanan objenin arka araca göre konumunun belirlenmesi içindir.

Eksen dönüşüm matrisleri kullanarak gerçekleştirilen bu işlem şu şekilde yapılmıştır: Öncelikle global eksen takımından arka araçtaki eksen takımına olan dönüşüm matrisi tanımlanmıştır. Sistemdeki sembolik ifadeler şu şekildedir (bkz. Şekil 4.3):

O: Global eksen takımının referans noktası.

O₁: Arka araç eksen takımının referans noktası.

P: Ön aracın global eksen takımına göre konumu.

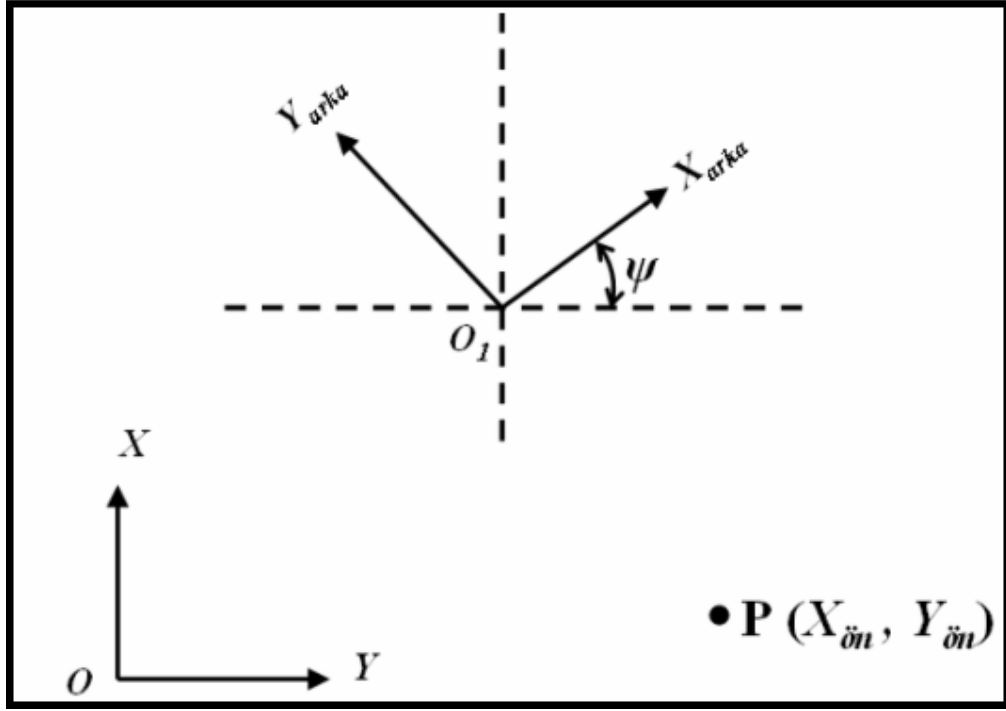
X_{arka}: Arka aracın global eksen takımına göre X koordinatı.

Y_{arka}: Arka aracın global eksen takımına göre Y koordinatı.

X_{ön}: Ön aracın global eksen takımına göre X koordinatı.

Y_{ön}: Ön aracın global eksen takımına göre Y koordinatı.

Ψ : Arka aracın savrulma açısı (aynı zamanda arka aracın eksen takımının global eksen takımına göre yaptığı açı).



Şekil 4.3: Araç Koordinatları

Buna göre global eksene göre herhangi bir P noktasında olan ön araç koordinatları arka araç koordinat sistemi cinsinden yazılacaktır. Bu amaçla, arka araç eksen takımının global eksen takımına göre dönüşüm matrisini yazabiliriz. Yazılan dönüşüm matrisi şu formatta olmalıdır.

$$A = \begin{bmatrix} R & \vdots & X_o \\ \dots & \vdots & \dots \\ 0 & \vdots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Burada R iki koordinat sisteminin birbirlerine göre Euler açıları ile ifade edilen rotasyon matrisi iken, X_o ise O_1 orijinli eksenin O orijinine göre düzlemsel yerini ifade etmektedir. Buna göre;

$$A_{O_1}^O = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 & X_{arka} \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 & Y_{arka} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

dönüşüm matrisi elde edilir.

Ayrıca ön aracın global eksen takımına göre koordinat vektörü şu şekildedir:

$$\vec{X}_{\dot{o}n}^O = \begin{bmatrix} X_{\dot{o}n} \\ Y_{\dot{o}n} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Böylece ön aracın global eksene göre koordinatları, arka araç koordinat sistemine göre koordinatları ve rotasyon matrisi cinsinden şu şekilde ifade edilir.

$$\vec{X}_{\dot{o}n}^0 = \underline{\underline{A}}_{O1}^O \cdot \vec{X}_{\dot{o}n}^{O1} \quad (4.4)$$

Bu denklemde aranan ifade ön aracın arka araca göre konumu, yani $\vec{X}_{\dot{o}n}^{O1}$ olduğundan A matrisinin tersinin alarak yeni konum tanımlanabilir.

$$\left[\underline{\underline{A}}_{O1}^O \right]^{-1} \cdot \vec{X}_{\dot{o}n}^0 = \left[\underline{\underline{A}}_{O1}^O \right]^{-1} \cdot \underline{\underline{A}}_{O1}^O \cdot \vec{X}_{\dot{o}n}^{O1} \Rightarrow \vec{X}_{\dot{o}n}^{O1} = \left[\underline{\underline{A}}_{O1}^O \right]^{-1} \cdot \vec{X}_{\dot{o}n}^0 \quad (4.5)$$

Bu işlem modelde radar bloğu altında gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.4' de bu bloğun içeriği görülmektedir.

Böylece radar bloğunda çıkış olarak, arka araçtaki her türlü dönme senaryosu ve ön aracın önüne geçmesi durumlarında dahi iki araç arasındaki x ve y yönlerindeki mesafelerin doğru hesaplanması sağlanmıştır (bkz. Şekil 4.4).

Buna ek olarak, arka aracın ön aracı görme açısı olan azimut açısı çıkıştaki x ve y değerleri kullanılarak bulunmuştur.

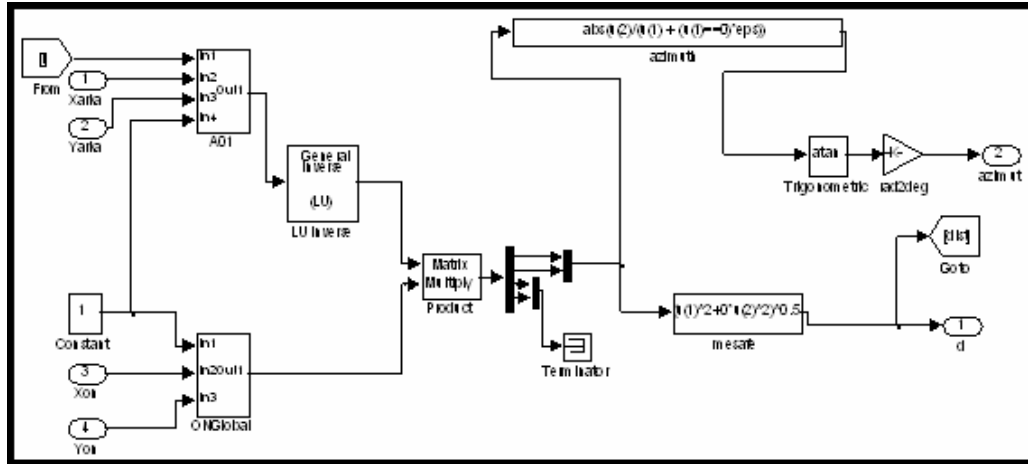
$$\text{Azimut açısı} = \frac{180}{\pi} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (4.6)$$

Araçlar arası mesafede x ve y noktaları arası uzaklık olarak bulunur.

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4.7)$$

Boylamsal mesafe bu şekilde ölçülürken araçlar arası bağıl hız araçların çizgisel hızları birbirlerinden çıkarılarak bulunabilir. Arka araç kendi hızını ölçebildiğinden, ön aracın hızı kolaylıkla bulunmuş olur. Ancak modelde ön aracın hızı kolayca okunabildiğinden, bu hesapların yapıldığı varsayılmıştır. d mesafesi ise doğrudan

arka araç bloğuna, ve buradan da Adaptif Seyir Kontrolcüsü' ne beslenerek kontrol sağlanır.



Şekil 4.4: Radar Bloğu

4.3 Kontrol Yapısı

Öncelikle kontrol edilmek istenen sistem tamamen nonlinear bir yapıdadır. Araç modeli denklemleri, görüldüğü gibi bir dizi trigonometrik ifadeler içeren denklemden meydana gelmiştir. Ayrıca sistemde bulunan belirli look-up tablolar ayrı nonlineariteler katmaktadır. Bunun yanında vites geçişleri de süreksiz fonksiyonlar olduğundan benzer bir özellik taşımaktadır. Ayrıca araç hızı değiştirilirken ya motora ya da frene müdahale etmek gerekir ki, bu da süreksizlik ifadesidir. Seçilen kontrol yöntemleri, bazı lojik çözümlemeler de bu şekilde sistemi nonlinear yapan özelliklerdir. Şekil 4.5' de sistemdeki nonlineariteler görülmektedir.



Şekil 4.5: Sistem Nonlineariteleri

Kontrol sistemi genel itibari ile hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Burada hiyerarşik bir yapıdan kastedilen iki seviyeli bir kontroldür. Üst yapıda aracın hangi senaryoya maruz kaldığı ayırt edilmekte ve bunun ardından gerekli alt seviye sistem harekete geçirilmektedir. Sensörlerden alınan bilgiler, o an hedef aracın hangi hareketi yaptığını tahmin etmekte kullanılır. Yani burada sadece radar bilgileri yeterli değildir. ASS aracına ait savrulma hızı ve direksiyon hareketi bilgileri de değerlendirilerek uygun senaryo seçilmektedir. Seçilen bu senaryo, ilgili alt sistemi harekete geçirir. Alt seviyelerde ise, bir kontrol yapısı aracın ilgili senaryoya uygun hareket etmesi için gerekli ivmelenme durumunu hesaplarken, buna paralel diğer bir alt seviye kontrol, oluşturulan bu ivmelenme ihtiyacını hayata geçirecek gaz ve fren girişleri oluşturmaktadır. Sistemin hiyerarşisi ile, üst seviyedeki durum değişimleri alt seviye kontrol çıkışlarını engelleyebilmektedir

4.3.1 Alt Seviye Kontrol

Alt seviye kontrolcülerden biri yukarıda anlatıldığı üzere sistemde takip sırasında gerekli ivmeyi hesaplamakta, diğeri de bu ivmenin motor ve fren aksamaları ile elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında aracın Senaryo 1 gibi bir durumda belirli bir hızda sabit ilerlemesini sağlayacak kontrol girişlerini hesaplayan ve bunların motor tarafından elde edilmesini sağlayan sistem de alt seviye kontrolün bir parçasıdır. Bu bölümde öncelikle istenen ivme girişinin nasıl motor veya fren girişlerine dönüştürüldüğü anlatılacaktır. Ardından da bu istenen ivmeyi hesaplama biçimine dair iki farklı yöntem gösterilecektir.

Bu yöntemlerden biri PD benzeri hız ve konum geri beslemeli lineer bir kontroldür. Takip için gerekli ivmeyi hesaplarken kullanılan alternatif bir kontrol yöntemi de kayma kipli kontroldür. İlerideki bölümde bu yöntemlere ait detaylar gösterilecek ve farkları ortaya koyulacaktır.

Araçta uygun bir takip için gerekli ve yeterli ivmenin hesaplandığı varsayıldığında bu ivmeyi oluşturabilmek için aracın ağırlık merkezine uygulanması gereken kuvvet bu ivme ile aracın kütlesinin çarpımıdır. Dolayısıyla ivme ağırlık merkezindeki kuvvete dönüştürülmüştür. Bu kuvvetin arka tekerleklerde oluşan boylamsal kuvvetten ileri geldiği düşünülürse tekerleklerle iletilmesi gereken tork, bu kuvvet ile tekerlek yarıçapının çarpımıdır. Bu tork tekerleklerde oluşması gereken torktur. Bunu motor düzeyine indirmek için çevrim oranları ile güç aktarma organları verimi kullanılır. Bu şekilde motor düzeyinde aracı ivmelendirecek moment bilinmektedir. Bu ivme ihtiyacı sırasında eğer aracın motor devri de biliniyor ise motor tablosundan faydalanılarak gerekli gaz girişi hesaplanmış olur.

Anlatılan bu hesaplamaların matematiksel olarak ifade edilirse;

$$F_{istenen} = a_{istenen} \cdot m \quad (4.8)$$

$$T_{istenen} = F_{istenen} \cdot r_A \quad (4.9)$$

$$T_{motor,istenen} = T_{istenen} \cdot i_D \cdot i_T \cdot \eta_D \cdot \eta_T \quad (4.10)$$

Motor tablosu, daha önce de belirtildiği üzere girişi gaz açıklığı ve motor devri olan üç boyutlu bir tablodur. Kontrol gereği bu tablo, belirli torklara ve devirlere karşılık, belirli gaz çıkışı verecek hale getirilecektir. Bu amaçla enterpolasyon yöntemi ile yeni bir tablo oluşturulur.

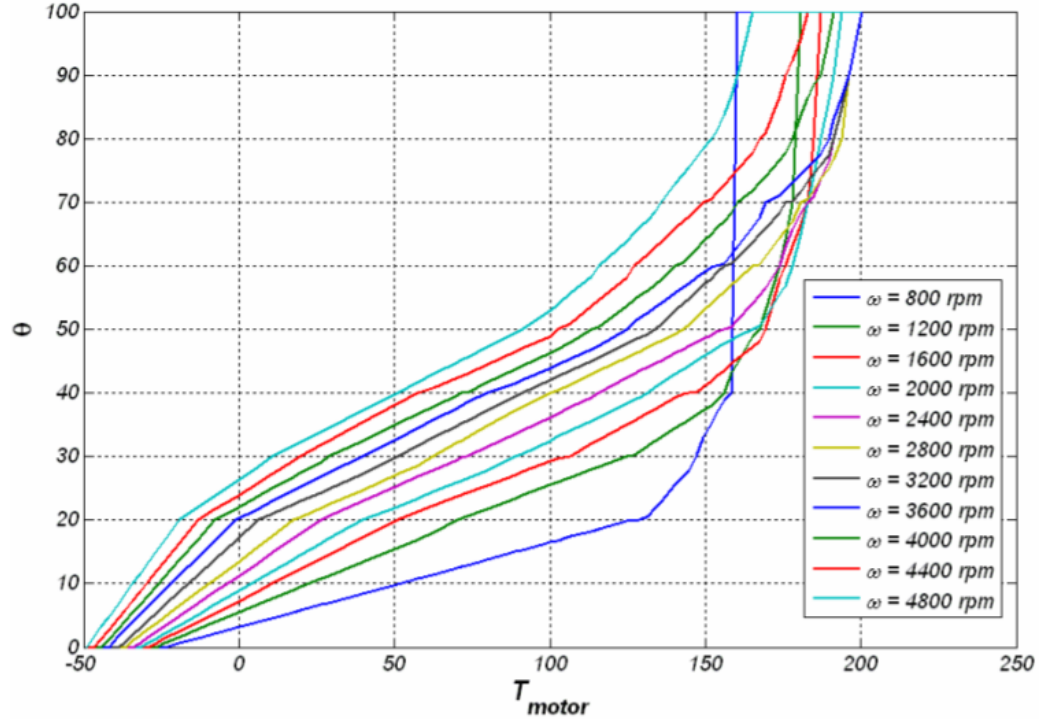
Bu tablo oluşturulurken düz tablodaki tüm tork değerleri bir eksene yazılır ve diğer eksene de düz tabloya ait motor devirleri yazılır. Ardından, ilk tablodan bilinen gaz açıklıkları bu eksenlerde yerlerine yazılır. Örneğin, düz tabloda ω_1 devrinde ve θ_1 gaz konumunda T_1 torku elde edilmiş ise, yeni tabloda ω_1 ve T_1 eksenlerinin kesiştiği noktaya θ_1 yazılır. İlk tablo tüm devir ve tüm tork kombinasyonlarına bir pedal konumu vermediğinden tablonun birçok kısmı bu noktada boş durmaktadır. Daha sonra bu noktalar enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur. Örneğin ω_1 devrinde T_1 torku elde etmek için θ_1 gaz gerekiyor ve aynı ω_1 devrinde T_2 torku elde etmek için θ_2 gaz gerekiyor ise, ω_1 devri için $T_1 < T_3 < T_2$ olmak üzere bir T_3 torku elde etmek için

$$\theta_3 = \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1} \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \theta_1 \quad (4.11)$$

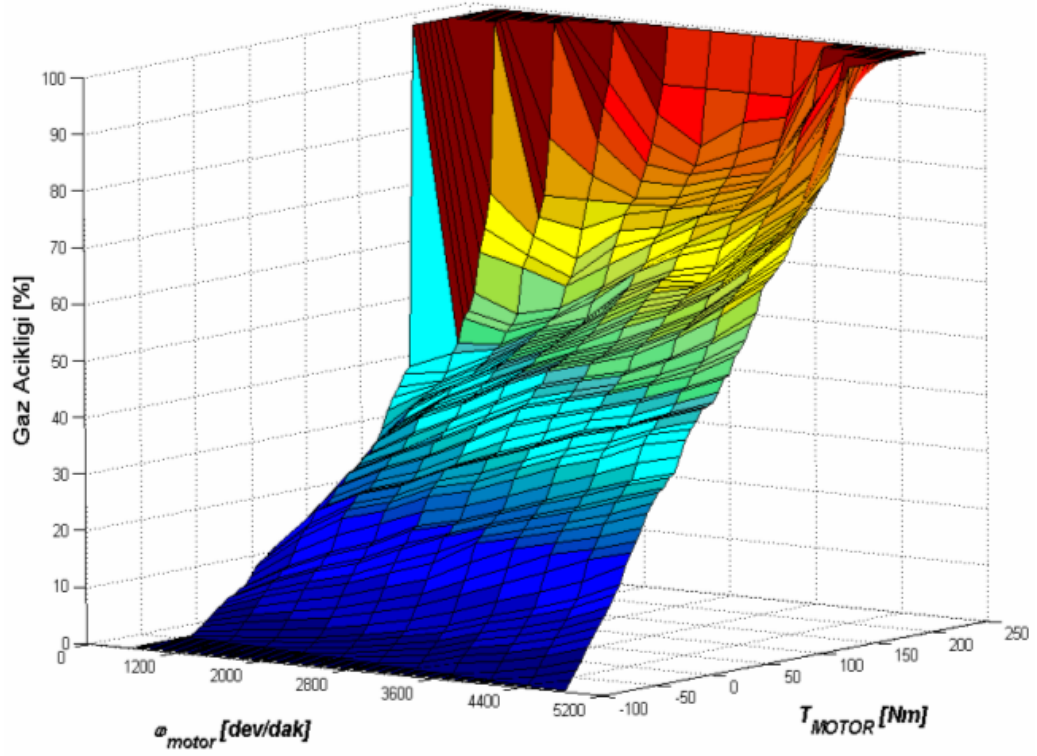
ifadesi ile bir θ_3 gaz açıklığı hesaplanır. Böylece, tabloda ilk etapta koyulan noktaların arası doldurulmuş olur. Ancak motor bazı devirlerde bazı torkları verememektedir. Örneğin, düşük devirlerde maksimum gaz açıklığı, tablonun en yüksek tork değerinde değil, daha aşağı bir tork değerinde yerini alır. Bu yüzden bu devirde maksimum gaz açıklığına denk gelen torktan daha büyük tork değerleri için %100 gaz açıklığı yazılır. Bu, şu anlama gelmektedir: eğer belirli bir devirde motordan kapasitesinin üstünde bir tork istenirse yapılacak en iyi şey motora maksimum gaz vermektir.

Aynı durum motorun düşük tork beklentisi için de geçerlidir. Yani, yüksek bir devirde motordan o devirde üretebileceği en düşük torkun altında bir tok bekleniyor ise yapılacak en iyi şey, motora gaz vermemektir.

Bu mantıkla oluşturulmuş ters motor tablosunun haritası iki boyutlu olarak Şekil 4.6' da, üç boyutlu olarak da Şekil 4.7' de görülmektedir.

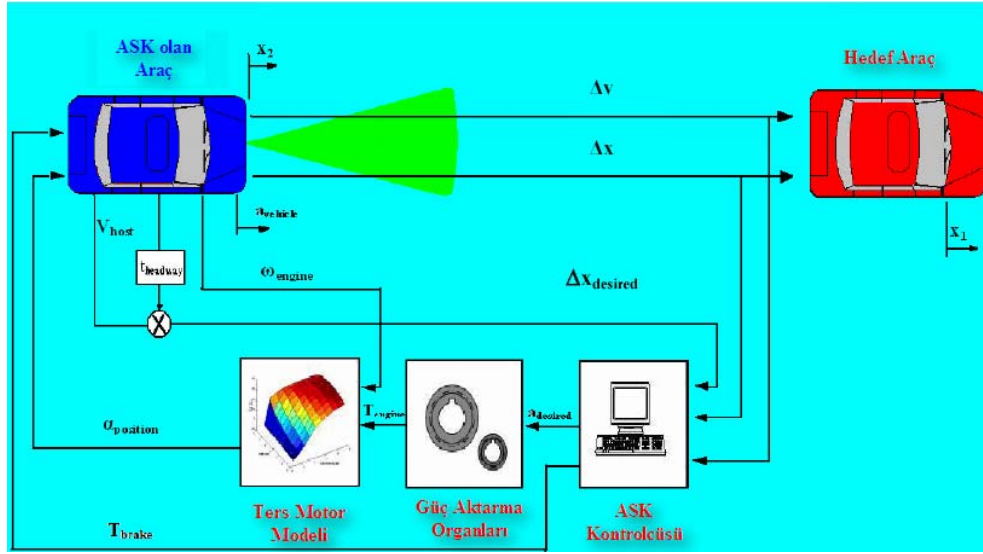


Şekil 4.6: Ters Motor Modeli



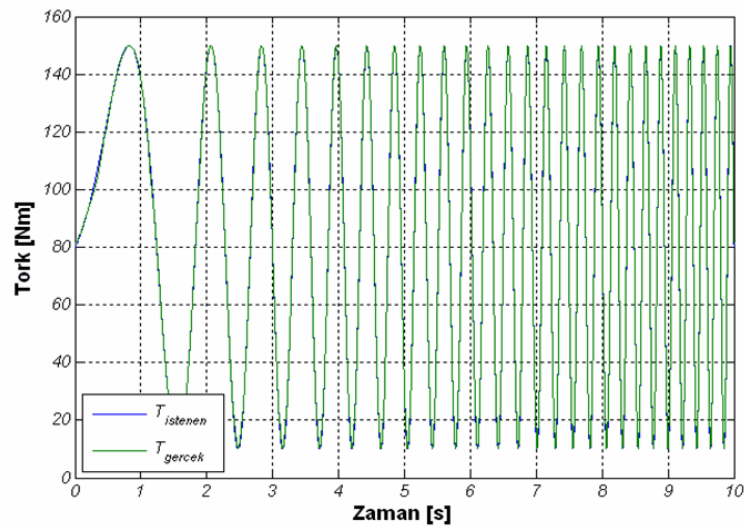
Şekil 4.7: Ters Motor Modelinin Üç Boyutlu Çizimi

Şekil 4.8’de de alt seviye kontrolün genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.8: Kontrol Çevrimi

Ters motor tablosunun doğruluğunu ortaya koymak adına bu tabloya rasgele motor devirlerinde rasgele tork girişleri uygulanmıştır. Bunun sonunda elde edilen gaz açıklığı ve ters tabloya uygulanan motor devirleri düz motor tablosuna girilerek elde edilen motor torkları, istenen motor torkları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9’ da görüldüğü gibi istenen torkların küçük hatalar ile motor tablosundan elde edildiği görülmektedir. Bu küçük hatanın sebebi ise, ters tablo oluşturulurken kullanılmış yuvarlama hatalarıdır.



Şekil 4.9: İstenen Tork – Gerçek Tork

4.3.1.1 Hız Sabitleyici Kontrol

Alt seviyede çalışmakta olan kontrolcülerin ilki, hız sabitlemek amacı ile kullanılan kontrol yapısıdır. Bu kontrol yapısı, üst seviye kontrolün karar vermesi durumunda hedef aracın olmadığı ya da hedef olmaktan çıktığı durumlarda aktive olmaktadır. Ayrıca sürücü, modelde ASS' yi iptal edip hız sabitleyiciyi manuel olarak da çalışır duruma getirebilmektedir.

Hız sabitleyici sistemde kullanılan kontrol yapısı PID kontrol olup, ters motor tablosu mantığına dayanmaktadır. Kontrol sisteminin yaptığı araçta hava direnci ve diğer sürtünme etkilerine karşı modelin sabit bir hızda gitmesini sağlayacak gaz girişlerini oluşturmaktır.

Kontrolcüye sürücü bir istenen hız değeri girer. Bu değerin, ölçüldüğü varsayılan araç hızından farkı, araç hızı ile istenen hız arasındaki hatayı ortaya koymaktadır. Hata değeri PID katsayıları ile çarpılarak ihtiyaç duyulan kuvvet değeri bulunur.

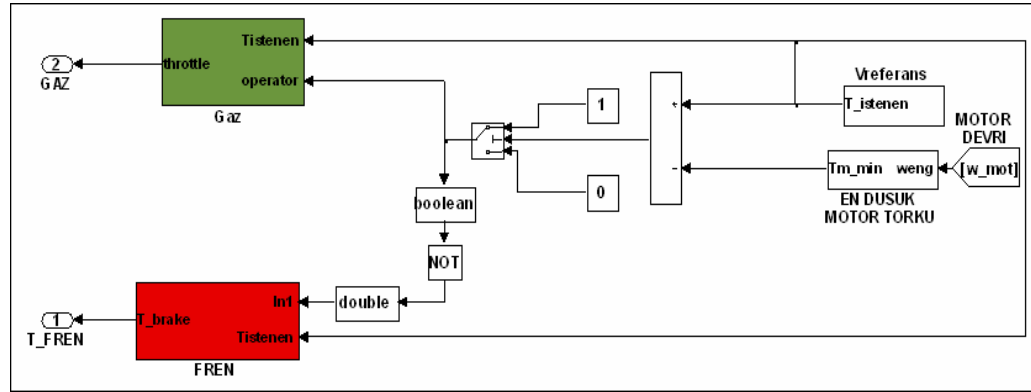
Hatanın pozitif ya da negatif olmasına göre bu kuvvet ya motor ya da fren tarafından oluşturulacaktır. Örneğin, istenen hızın aniden farklı bir değere çekilmesi durumu söz konusu olursa, aracın hızını azaltmak için fren sisteminden faydalanmak gerekecektir. Ancak motorun da bazı devirlerde negatif kuvvet oluşturabildiği (bkz. Şekil 3.7) bilinmektedir. Bu durumda, eğer motorun negatif torku istenen negatif kuvveti oluşturmaya yetiyor ise, bu iş motor freni ile yapılır. Aksi durumda frenler harekete geçirilmektedir.

Bu mantığı modelde oluşturmak için motorun oluşturabildiği en küçük tork değerleri her devir için bilinmelidir. Bu değerler gaz açıklığının %0 olduğunda gerçekleştiği bilindiğine göre, motor tablosunun bu kısmı bir tablo olarak oluşturulur ve hız sabitleyici kontrol yapısının bir parçasını oluşturur. Bu mantıkla istenen kuvvet, o anki motor devrindeki en küçük motor torku ile karşılaştırılır ve ya fren ya da motor ile istenen yavaşlama etkisi sağlanmış olur. Hatanın pozitif olduğu yani araç hızının istenen hızın altında kaldığı durumlarda ise, gerekli kuvvet tamamen motor tarafından oluşturulmaktadır.

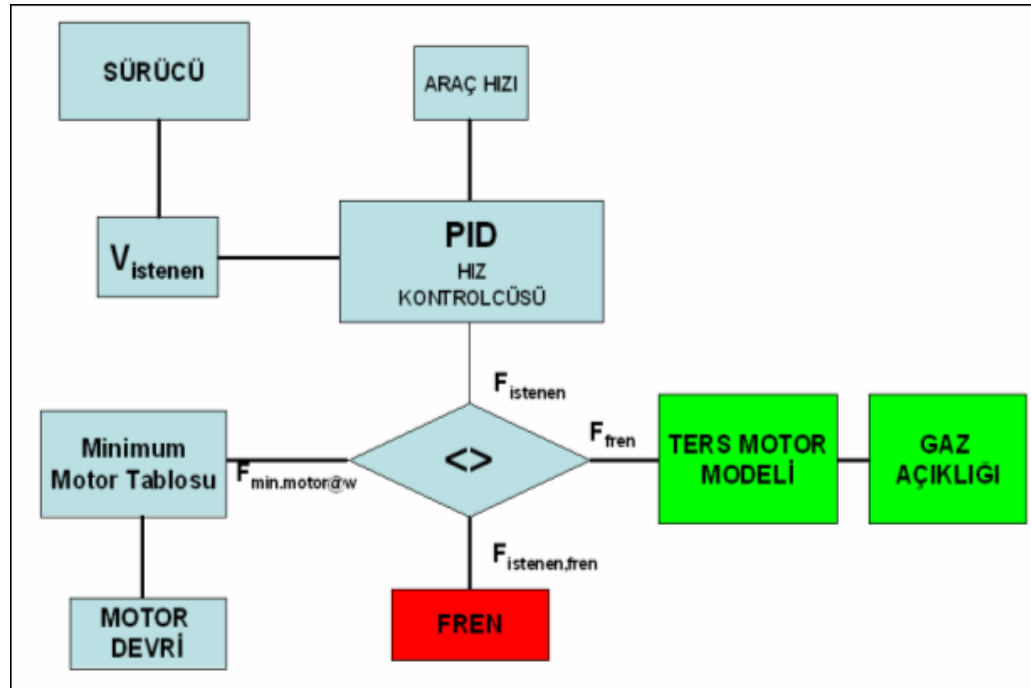
Anlatılan bu yapının Simulinkte oluşturulmuş modeli Şekil 4.10' da görülmektedir. 1 ve 0 ile lojik operatörleri oluşturulmuş ve bunlar motor ve fren arasındaki geçişin sağlanması için kullanılmıştır.

Bu sistem simülatörde kullanıldığında yapılan bir eklenti de sürücünün fren ya da gaz pedallarına dokunduğunda sistemin devre dışı hale getirilmesi olmuştur.

Şekil 4.11’ de yukarıda bahsedilen hız kontrolcüsünün akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.10: Hız Kontrolcüsü



Şekil 4.11: Hız Kontrolcüsünün Akış Diyagramı

4.3.1.2 PD Kontrol

ASS’ sisteminin alt kontrolcüleri daha önce de belirtildiği üzere, modelde yavaşlama ve takip açısından bir istenen ivme hesaplamaktadır. Bu amaçla kullanılabilecek ilk kontrol yapısı, PD tipli bir kontroldür. Kontrol yapısı incelenmeden önce, yapının içinde kullanılan bir kavram olan zaman aralığı, T_{takip} ’ten bahsetmek gerekir. Tanım olarak, ön aracı takip süresidir. Daha açık bir ifade ile,

öndeki aracın t anında bulunduğu yere arka aracın $t + T_{\text{takip}}$ süresi sonunda varmasıdır. Yani iki araç arasında T_{takip} süresi kadar bir zaman farkı olmaktadır. Bu zaman farkının mesafe karşılığı ise arka araç hızının bu değerle çarpılmasıyla elde edilir.

PD benzeri bir kontrolcüyle ana amaç, bağıl hız ve mesafe değerlerinin birlikte kontrol edilebilir olmasıdır. Araca gerekli ivmeye kazandıracak kontrolcünün temelini oluşturan denklem şöyledir:

$$a_{\text{istenen}} = K_v (V_{\text{on}} - V_{\text{arka}}) + K_D (d_x - d_{x,\text{istenen}}) \quad (4.12)$$

Burada,

$$d_{x,\text{istenen}} = T_h \cdot V_{\text{arka}} \quad (4.13)$$

ile elde edilmektedir.

Kontrolcünün PD tarzı şeklinde adlandırılmasının sebebi, konumun ve onun türevi olan bağıl hızın istenilen ivmenin bulunmasında kullanılmasıdır. Kontrolcü algoritmasında kullanılan terimler şöyledir:

a_{hedef} : İstenen ivme

$V_{\text{ön}}, V_{\text{arka}}$: Ön ve Arka Araç Hızları

$d_{x,\text{istenen}} = V_{\text{arka}} \times T_{\text{takip}}$ şeklinde ifade edilen, anlık istenen mesafe değeridir. Dolayısıyla istenen mesafe kontrolcünün içinde sabit olarak değil, arka aracın hızına bağlı olarak değiştirilmektedir. Böylece takip sırasında arka aracın yavaşlaması sonucunda araçta sürekli değişken bir kontrol parametresi oluşmakta, bu da yavaşlama sırasında yumuşak bir ivmelenme profili ortaya çıkarmaktadır.

T_{takip} : Daha önce açıklandığı üzere, takip mesafesinin arka araç hızı bazında zaman karşılığıdır.

d_x : Arka araçla ön araç arasındaki herhangi bir andaki mesafe farkını temsil eder. Zamanla $d_{x,\text{istenen}}$ mesafesine eşit olması istenmektedir.

K_d, K_v : Kontrolcü katsayılarıdır.

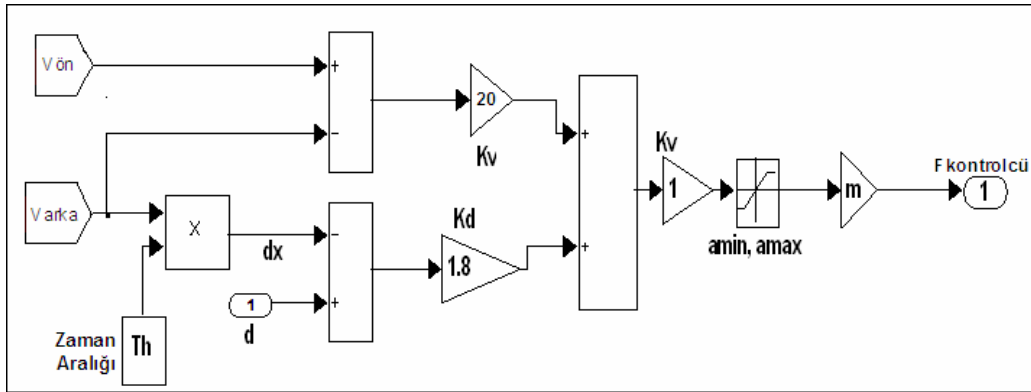
Kontrol yapısında (4.12) denkleminin yanı sıra, bir operatör daha kullanılmaktadır. Bu da, hesaplanan ivmenin belli değerler arasında sınırlanmasını sağlayan saturasyon operatörüdür. Burada amaç, hesaplanan yüksek ve ani ivmelerin sistem tarafından oluşumunu engellemektir. Ayrıca bu şekilde, daha önce sık sık bahsedilmiş olan ASS' nin bir konfor sistemi olma özelliği sağlanmış olur. Yani sistemin ivmelenme kapasitesinin tamamı ASS tarafından kullanılamaz. Böylece gerek motor ile pozitif ivmelenirken gerekse fren ile negatif ivmelenirken belli sınırlar içinde kalınması sağlanmıştır. Bu değerler literatürde de yaklaşık öngörülen ve insanda bir panik duygusu yaratmayacak aynı zamanda da rahatsız etmeyecek şekilde seçilmelidir. Bu çerçevede, kontrolcüde hesaplanan ivmeler $a_{istenen} = +1, -2.5 \text{ m/s}^2$ aralığında sınırlandırılmıştır. İstenen ivmenin, istenen kuvvete dönüştürülmesi için araç ağırlığı ile çarpılması gerekmektedir. Bu şekilde;

$$F_{istenen} = m.a_{istenen} \quad (4.14)$$

belirlenen ivmelenme için gerekli kuvvet hesaplanmış olur.

Kontrolcünün görevi, görüldüğü gibi, sadece gelen veriler doğrultusunda uygun ivmeyi seçmektir. Doğru ivmenin seçiminde yer alan K_d ve K_v katsayıları çok büyük öneme sahiptir. K_d ve K_v katsayılarının değişimi sistemin davranış şeklini tamamen değiştirmesinden dolayı bu değerlerin çok iyi ayarlanması gerekmektedir.

Bu kontrolcü yapısındaki kontrolcü katsayılarının seçimi deneme yanılma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapılırken sonuçlardan beklenen ivme aralığının optimal bir şekilde kullanılarak takibin sağlandığı sürenin minimize edilmesi ve bu sırada kontrol girişlerinin küçük tutularak minimum enerji harcanmasıdır. Şekil 4.12' de kurulmuş kontrolcünün Simulink diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.12: PD Kontrolcüsünün Simulink Diyagramı

4.3.1.3 Kayma Kipli Kontrol

Bir başka boylamsal kontrol yöntemi olarak kayma kipli kontrol kullanılmıştır. Bu kontrol yönteminde de PD kontrolde olduğu üzere, aracın istenen takip mesafesine ve istenen hıza inmesi için uygun bir ivmelenme değeri hesaplanmaktadır.

Genel bir tanım olarak kayma kipli kontrol sistemin durumları ile belirlenen bir kayma yüzeyinin yakalanmasını hedefleyen bir kontrol yöntemidir. Sistem durumları ile belirlenmiş bir faz diyagramı üzerinde herhangi bir noktadan başlayarak, sistemin kararlı olduğu bir noktaya ki genelde bu nokta orijin noktasıdır, uzanan bir kayma yüzeyinde sistemin hareket etmesi sağlanır. Bu şekilde durumların kararlı hale geçerkenki davranışları kontrol altına alınmış olur.

Boylamsal kontrolde bu kontrol yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle, sistemdeki durumların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede kontrol yapısında, kararlı rejimde sıfıra gidecek ilk durum, boylamsal kontrol hatası e ' dir. Yani;

$$e = R - T_h V_{arka} \quad (4.15)$$

yazılabilir. Bu ifadedeki T_h , daha önce tanımlanmış olan takip zamanıdır. R ise iki araç arasındaki mesafedir. Dolayısıyla, $T_h V_{arka}$ anlık olarak istenen mesafeyi ifade etmektedir.

Diğer bir durum değişkeni ise, bağıl hız hatasıdır. Yani (4.15) ifadesinin türevi olan;

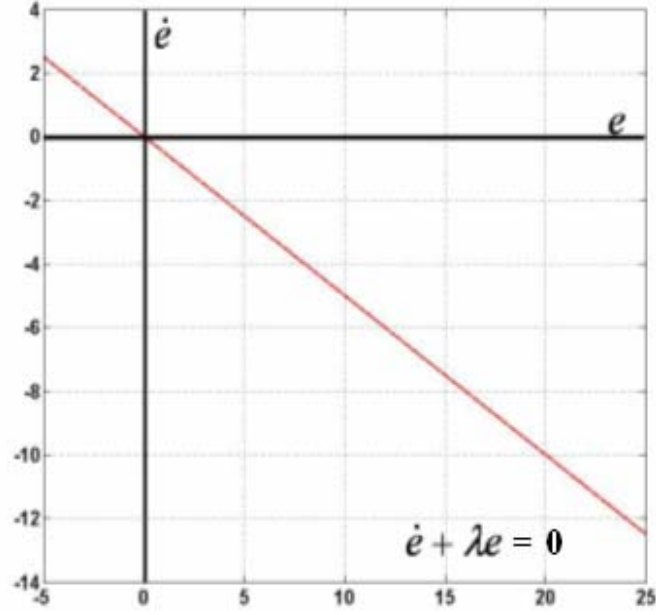
$$\dot{e} = \dot{R} - T_h \dot{V}_{arka} \quad (4.16)$$

ikinci değişkeni temsil eder.

Bu durumda, iki durum değişkeni de belirlendikten sonra, kayma yüzeyinin seçilmesine sıra gelir. Lineer bir kayma yüzeyi olarak belirlenen s (4.17)' deki gibi ifade edilir.

$$s = \dot{e} + \lambda \cdot e = 0 \quad (4.17)$$

Burada λ kontrol katsayısı olup kayma yüzeyinin eğimini belirleyen parametredir. Anahtarlama yüzeyi olarak da adlandırılan bu doğru $\lambda = 0.5$ için Şekil 4.13' de görülmektedir.



Şekil 4.13: Faz Diyagramı

(4.17) denkleminde (4.16) ifadesi yazılırsa;

$$s = \dot{R} - T_h \dot{V}_{arka} + \lambda \cdot \dot{e} = 0 \quad (4.18)$$

şeklini alır

(4.18) ifadesi tekrar yazılırsa;

$$\dot{V}_{arka} = \frac{1}{T_h} \dot{R} + \frac{1}{T_h} \lambda \cdot e \quad (4.19)$$

elde edilir. Bu denklem faz diyagramındaki herhangi bir noktadan kayma yüzeyine yaklaşmayı sağlayacak ivme ifadesini vermektedir. Ancak bu yüzey üzerinde orijine doğru ilerlerken bir kontrolle de yüzeyin üzerinde kalınması sağlanmalıdır. Bu yüzden (4.19) ifadesine bir açma kapama terimi eklenerek yüzey üzerinde bir anahtarlama yapılması sağlanmaktadır. Bu durumda (4.19) ifadesi tekrar yazılır ise;

$$a_{istenen} = \dot{V}_{arka} = \frac{1}{T_h} \dot{R} + \frac{1}{T_h} \lambda \cdot e + k \operatorname{sgn}(s) \quad (4.20)$$

bu ifadede k yapılan anahtarlama genliğini göstermektedir.

Yazılan bu kontrol denklemi ile durumlar kayma düzlemi üzerine getirilerek burada aç kapa yapılarak, yüzey üzerinde hareket edilmesi sağlanmıştır. Ancak bu yaklaşımla '*chattering effect*' denilen ve yüzeyin etrafında açma kapama hareketinden dolayı titreşimli bir hareket meydana gelmektedir. Bu da ivme ifadesine yansıdığından sistemde istenmeyen bir etki görülmektedir.

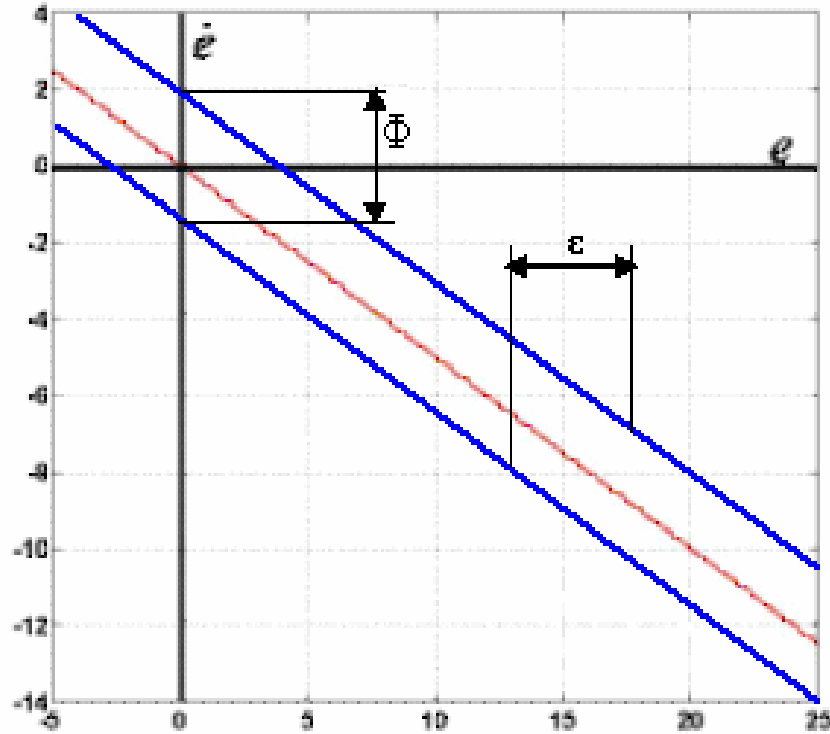
Bunu engellemek için Şekil 4.14' de görüldüğü üzere kayma yüzeyinin etrafında Φ kalınlığında ve ε genişliğinde bir sınır eklenmiştir. Şekil 4.15' de de görülen bu bölgenin içinde sistem durum değişkenlerinin kontrolü lineer olarak yapılması sağlanacaktır.

Yani durumlar yüzeyi terk etme eğilimi içerisinde ise, lineer bir şekilde kontrol edilerek yüzeye yaklaştırılmaktadır. Bu işlemi yapmak için (4.20)' deki signum fonksiyonu yerine satürasyon operatörü eklenmiştir.

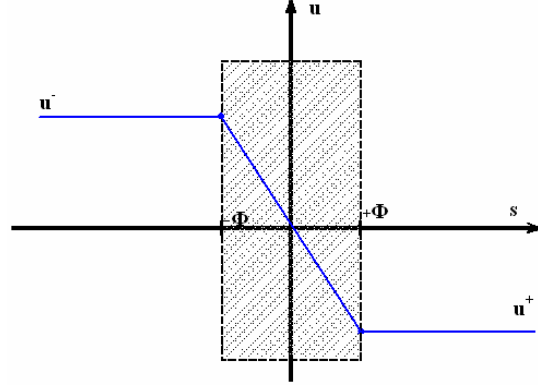
Bu durumda yeni kontrol denklemi

$$a_{istenen} = \dot{V}_{arka} = \frac{1}{T_h} \dot{R} + \frac{1}{T_h} \lambda \cdot e + k \cdot \text{sat}(s / \Phi) \quad (4.21) \text{ şeklini}$$

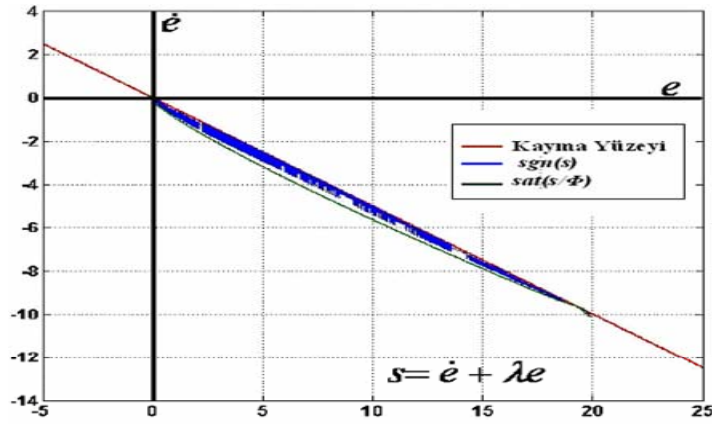
alır. Şekil 4.16' da signum ifadesinin yerine $\text{sat}(s/\Phi)$ getirildiğinde, *chattering* etkisinin ortadan kalktığı görülmektedir.



Şekil 4.14: Kayma Yüzeyi Etrafında Tanımlanan Sınır



Şekil 4.15: Kontrol Sinyalinin Kayma Yüzeyi Etrafında Davranışı



Şekil 4.16: Chattering Etkisinin Giderilmesi

PD kontrolde olduğu üzere Kayma Kipli Kontrolde de kontrol denklemi doğru takip için gerekli ivmeyi hesaplar. Daha sonra önceki kontrollerde olduğu üzere ters tablolardan faydalanılarak bu ivme oluşturulur. Daha önceki sistemlerde de belirtildiği üzere üst seviye kontrol bu ivmenin frenle veya gazla oluşturulacağına karar verir ve ona göre ya fren komutu oluşturulur ya da ters motor tablosundan gerekli gaz açıklığı bulunur.

4.3.2 Üst Seviye Kontrol

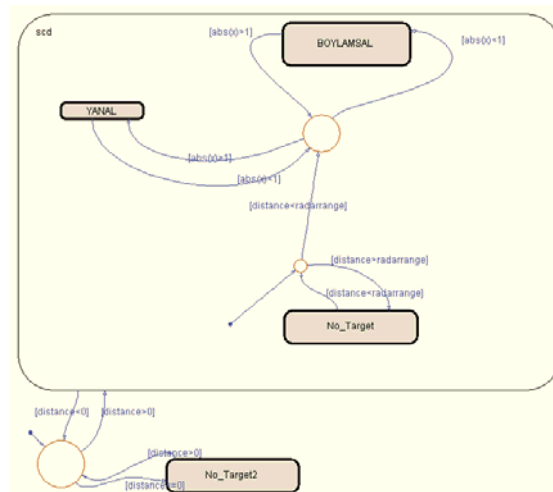
Üst seviye kontrol diye adlandırılan ve gerçekleşmekte olan senaryoların ayırt edilmesi, gerçekleşen senaryoya uygun kontrol sisteminin devreye sokulması, kontrol sisteminde hesaplanan ivme, kuvvet gibi değişkenlerin oluşturulması ve oluşturulan bu değişkenlerin fren veya motor sistemi ile elde edilmesi gerektiğine karar verilmesi gibi görevleri bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, böyle bir yapıda alt

seviye kontrolörlerde olduğu gibi matematiksel bir yapı söz konusu değildir. Tamamen belirli durumlara ayırt edilmiş akış diyagramlarından meydana gelmektedir. Zaten simülasyon ortamında böyle bir yapıyı oluşturmak için Simulink/Stateflow diyagramları kullanılmıştır.

Öncelikle üst seviye kontrolde senaryo ayırımlarının nasıl yapıldığı ve bunun modelde nasıl oluşturulduğu izah edilecektir.

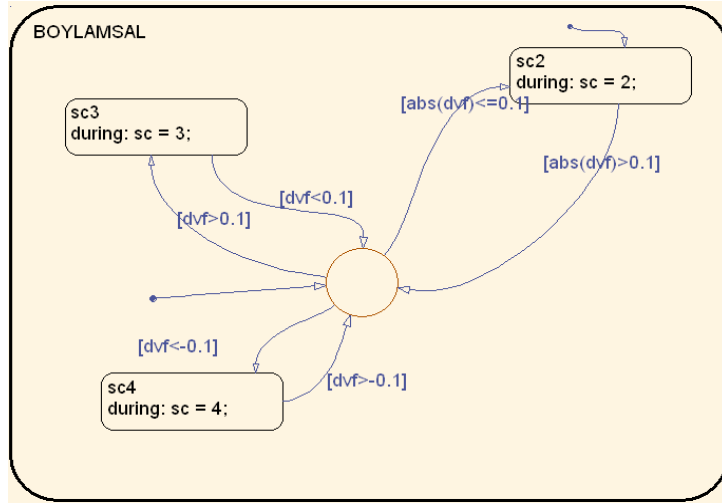
Üst seviye kontroldeki tüm mantık operasyonları aynı Stateflow diyagramı içerisinde gerçekleştirilmemiştir. Senaryoların belirlenip ayırt edilmesi için Şekil 4.17’ de görülmekte olan ayrı bir blok kurulmuştur. Burada üç adet durum söz konusudur. Boylamsal senaryoların olduğu bir durum, yanal senaryoların olduğu yani dönme ve şerit değiştirme gibi senaryoların bulunduğu ikinci durum ve son olarak da Senaryo1’in ifade edildiği ‘Hedef Yok’ durumudur. ‘Hedef Yok’ durumu için araçlar arası mesafenin belirlenen radar menziline büyük veya mesafenin negatif olması gerekmektedir. Zira ASS sistemli aracın, hedef aracı geçtiği durumlar da söz konusudur. Bu durumda senaryo belirleme diyagramında ‘sc’ şeklinde tanımlanan değişkenin değeri 1 olarak atanır.

Eğer hedef araç radar menziline girer ise ‘Hedef Yok’ durumundan çıkılır. Burada bir sonraki senaryonun boylamsal mı yoksa yanal bir senaryo mu olduğuna karar vermek için öndeki aracın yanal pozisyonuna bakılır. Radardan ölçülen bilgilerin arasında hedefin azimut açısı da olduğu düşünülürse bunu yapmak mümkündür. Eğer hedefin yanal pozisyonu boylamsal senaryoyu ilgilendirecek gibi ise, yani hedef ile ASS aracı aynı şeritte ise o zaman Boylamsal durumuna girilir. Şekil 4.18’ de Boylamsal durumunun içeriği görülmektedir.



Şekil 4.17: Senaryo Ayırımı

Boylamsal senaryolara bakıldığında ise senaryoları belirleyen etkenin ön aracın hızı olduğu görülmektedir. Bu nedenle ön araç hızının değişimi kademeli olarak kontrol edilmektedir. Burada kademeli kontrolün amacı herhangi bir ön araç hız değişiminin senaryoyu değiştirmemesidir. Bu yüzden bir saniye gibi belli aralıklarla ön aracın hızı bir önceki kontroldeki hız ile karşılaştırılmakta ve değişimin boyutu belli değerin üstünde ise ön aracın hızlandığı ya da yavaşladığına karar verilmektedir. Eğer ön aracın hızında bir değişiklik yok ise Senaryo 2 aktif duruma getirilir. Yani 'sc' değişkenine 2 değeri atanır. Eğer ön aracın hızındaki değişim pozitif ise 'sc' ye 3, negatif ise 4 atanır.



Şekil 4.18: Boylamsal Senaryolar

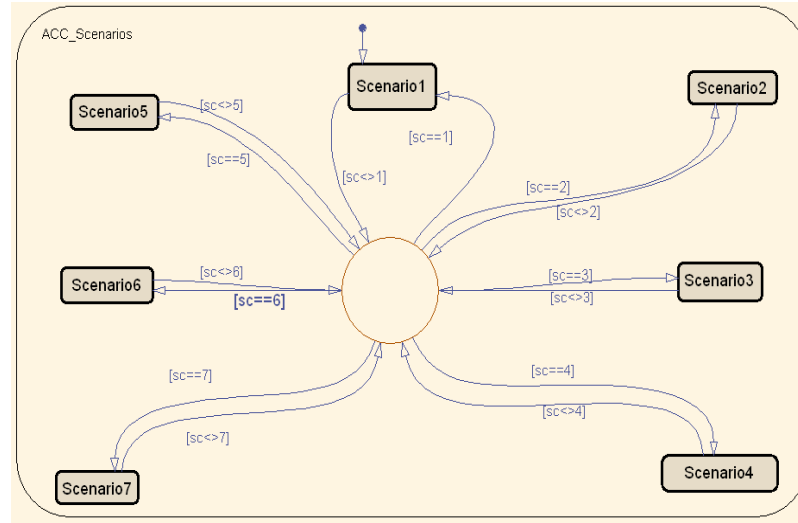
Eğer durum boylamsal senaryo değil de yanal bir durumu içeriyor ise, bu durumda azimut açısındaki değişimin başladığı an, yanal moda geçilir. Burada yanal senaryolardan kastedilen şerit değiştirme veya beraber bir virajın dönülmesi ile ilgili senaryolardır. Bu senaryoları birbirinden ayırt etmek için ise hem hedefin azimut açısındaki değişim gözlenir, hem de ASS aracının savrulma açısındaki değişimi gözlenmektedir. Eğer bir takip sırasında iki araçta bir viraja giriyor ise bu durumda ASS aracının viraja girmesi hedef araçtan T_h saniye sonra olur. Bu durumda eğer hedefin azimut açısında bir değişiklik var ise yanal moda geçilir ve burada T_h saniye kadar beklenir. Bu sürenin sonunda eğer ASS aracının savrulma açısında bir değişiklik yok ise hedef aracın şerit değiştirdiği kabul edilir. Bu durumda 'sc' değişkenine 6 değeri atanır iken eğer ASS aracının da savrulma açısı belli bir değişim gösteriyor ise 'sc' değişkenine 7 değeri atanır.

Son olarak araya bir araç girmesi senaryosu için yapılan değerlendirmede hedef aracın global eksene göre pozisyonun değişmesi göz önünde bulundurulmaktadır.

Bu senaryo oluşturulur iken daha önce de bahsedildiği üzere ön aracın aniden boylamsal pozisyonu belli bir oranda kaydırılmaktadır. Böylece takip sırasında güvenli takip mesafesi içine yeni bir aracın girerek yeni takip mesafesinin güvenli mesafenin altına indiği durum temsil edilmeye çalışılmaktadır. Bu durumun ayırt edilebilmesi için ön aracın global eksene göre pozisyonundaki ani değişim fark edilir. Yani ön aracın $X_{ön}(t-1)$ ve $X_{ön}(t)$ değerleri karşılaştırılır ve fark belli bir değerin üstüne çıkar ise Senaryo 4' ün gerçekleştiği anlaşılmış olur. Gerçek hayata böyle bir Senaryo' nun ayırt edilmesinde daha farklı yöntemler kullanılmalıdır. Ancak simülasyon için önerilen yöntem yeterli olacaktır. Bu durumun olması anında ise 'sc' değişkenine 5 değeri atanır.

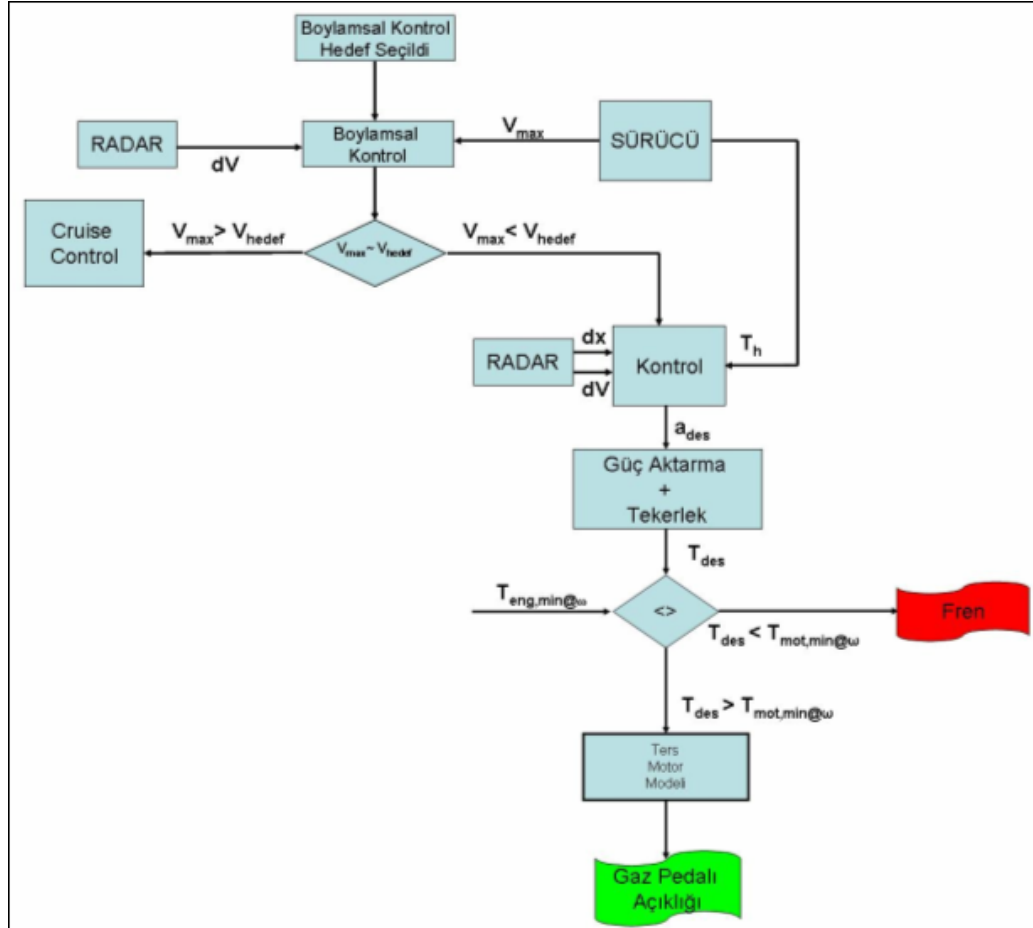
Senaryolar birbirlerinden ayırt edilmiş durumdadır. Ancak bir senaryo ardından bir sonrakinin olması ihtimali göz önünde bulundurularak senaryolar arasında muhtemel geçişler de oluşturulmuştur.

Senaryolar ayırt edildikten sonra bu senaryolara uygun kontrol alt sistemlerinin çalıştırılmasına yönelik yapılmış bir diğer Stateflow sistemi kullanılır. Şekil 4.19' da bu diyagram görülmektedir. Buna göre Senaryo 1 durumunda Hız sabitleyici Kontrolör aktif hale getirilir ve bu şekilde aracın hızı önceden belirlenmiş bir değerde tutulmaya çalışılır. Bu senaryo hem başlı başına hedef olmadığı durumlarda kullanılırken hem de bazı senaryoların ardından gerçekleşebilir. Örneğin hedef aracın şerit değiştirdiği Senaryo 6' nın ardından bu senaryoya geçilir. Böylece hızın öndekine göre adapte edilmesi durumu biter. Hedef hız artık sürücünün belirlediği hız olacaktır. Dolayısı ile araç hızı takip hızı olan eski hedef araç hızından artırılarak sürücünün belirlediği değere getirilir.



Şekil 4.19: Senaryo Alt Yapıları

Senaryo 2, Senaryo 3, Senaryo 4 ve Senaryo 5 kontrol yapısı olarak aslında aynı kontrolcüyü kullanmaktadır. Burada bu ayrımın yapılmasının amacı görsel bir uyarı yapmaktır. Burada bahsi geçen altkontrolcü istenen bir ivme önerisinde bulunan boylamsal kontrol denklemleridir. Bu senaryolara ait altsistemlerde ayrıca fren ve gaz geçişinin kararı da verilmektedir. Bu karar verme sistemi daha önce hız sabitleyici sistemde de anlatıldığı üzere, negatif ivmelenme ihtiyacının motor tarafından karşılanamadığı durumlarda fren komutunun çıkmasını sağlar. Aksi halde ters tablodan elde edilen gaz konumu kullanılmaktadır. Bu mantığın akış diyagramı Şekil 4.20’ de görülmektedir. Burada vurgulanması gereken bir noktada Senaryo 3’ de meydana gelebilecek bir durumdur. Eğer bir şekilde ön aracın hızının artması sürücünün sisteme girdiği ve hız sabitleyici kontrolde kullanılan istenen hız değerini aşarsa bu noktadan sonra hedef araç menzili içinde olsa bile hedef olmaktan çıkar. Çünkü sistem, takip adına bile olsa sürücünün istediği hızın üstüne çıkma yetkisine sahip değildir. Böyle bir durumun gerçekleşmesi durumunda Senaryo 3, Senaryo 1’ e döner ve araç hızı belirlenen değerde sabit tutulur.



Şekil 4.20: Boylamsal Kontrol Akış Diyagramı

Sistemde yanal Senaryolara ilişkin ilk incelenecek durum şerit değiştirme senaryosudur. Eğer bu senaryonun geręekleřtięi varsayılır ise, sistem tekrar hız sabitleyici kontrolcüyü devreye sokar. Burada ön aracın hedef olmaktan çıktığı durumda ASS aracının tekrar hızlanarak belirlenen hıza ulaşması sağlanmışır.

Son olarak da Senaryo 7 geręekleřtirilir iken kontrol denklemi olarak aynı denklem kullanılmaktadır. Bu senaryo sırasında iki araç arasında ölçülen mesafe aslında geręek yol uzunluğunu temsil etmemektedir. Zira iki araç belirli yarı çapta bir yay üzerinden gittiğinden bu yayın uzunluğu iki araç arasındaki mesafeyi oluşturmaktadır. Ancak otoyol üzerindeki yol eğrilik yarıçapları dikkate alındığında bu hata önemsenmeyecek kadar azdır. Bu durumda araçların dönme sırasında kontrolünü yapmak adına boylamsal da kullanılan kontrol denklemleri kullanılmışır.

Adaptif Seyir Sistemi Dahilinde oluşturulan kontrol yapısı bu şekildedir. Kontrol Sisteminin performansı 6. bölümde incelenecektir.

5. DUR – KALK SEYİR SİSTEMİ KONTROLÜ

Dur-Kalk sistemlerinin tasarımında ve simülasyonlarında kullanılan araç modelleri ve sensör modeli daha önceki Adaptif Seyir Sistemleri'nde kullanılan ile aynıdır. Dur-Kalk sistemlerinde de hiyerarşik bir yapı ile oluşturulmuş bir kontrol düzeni bulunmaktadır. Bu yüzden bu bölümde kontrol sistemini Dur-Kalk sistemlerine adapte etmek adına yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Genel yapısı itibari ile kontrol sisteminin yapısı ASS ile aynıdır.

Dur-kalk sistemlerini Adaptif Seyir Sistemleri'nden ayıran başlıca özellik araçların seyir hızlarıdır. Bu nedenle bu sistemin aktif olduğu hız aralığı araç hızının 40 km/saat'in altında olduğu durumlardır. Ayrıca sistemdeki sensör yapısı da kısa menzilli bir radarın özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Sistemde, radar menzili, bu tip radarların tipik menzili olan 40 metre olarak seçilmiştir. Bununla beraber araç seyir hızlarının düşmesi nedeni ile senaryolarda bazı değişikliklere gidilmiştir. En önemlisi aracın tamamen durması durumunun da senaryolar arasına girmesidir. Durma ile ilgili özellikle üst kontrol yapısında bir değişiklik söz konusudur.

5.1 Senaryolar

Dur-Kalk sisteminde kullanılacak senaryoların seçiminde dikkat edilen husus şehir içi trafikte sık rastlanan durumları temsil etmesidir. Dolayısı ile çalışma koşullarındaki araç hızları ASS'ye göre daha düşüktür. Birkaç durum dışında Dur-Kalk ve takip araçlarının hızları 40 km/saat'in altında tutulmaktadır. Bu hızların üstünde de kontrol sisteminin devreden çıkması sağlanmıştır.

Bu amaçla Dur-Kalk sistemleri şehir içi trafik akışında sıklıkla görülen 8 farklı senaryoya tabi tutulmuştur. Adaptif Seyir Sistemleri'nde, hedefin olmaması durumu bir senaryo olarak görülürken Dur-Kalk sistemlerinde trafik yoğunluğu nedeni ile bu ihtimalin düşük olmasından dolayı 'Hedef Yok' modu ayrı bir senaryo olarak sisteme dahil edilmemiştir. Ancak kontrol yapısında bunla ilgili bir durum söz konusu olup hedef aracın şerit değiştirmesi durumunda bu moda geçiş olmaktadır.

Tablo 5.1'de tüm Senaryoların gösterimi görülmektedir.

Tablo 5.1: Dur –Kalk Sistemi Senaryoları

<u>SENARYO</u>	<u>D&K DURUM</u>	<u>AÇIKLAMA</u>	<u>DURUM</u>
1	AÇIK	$V_{araka} > V_{ön}$	
2	AÇIK	$V_{araka} < V_{ön}$	
3	AÇIK	Takip Sırasında Hedefin Yavaşlaması	
4	AÇIK	Araya Giren Yeni Araç	
5	$t = 0;$ AÇIK $t = T;$ KAPALI	T anında Hedef Araçın Şerit Değiştirmesi	
6	$t = 0;$ AÇIK $t = T;$ KAPALI	T anında D&K Araçının Şerit Değiştirmesi	
7	$t = 0;$ AÇIK $t = T;$ KAPALI	Hedef Araçın Durması	
8	$t = 0;$ AÇIK $t = T;$ KAPALI	Hedef Araçın Ardışık Durma Kalkmaları Yapılması	

5.1.1 Senaryo 1

Senaryo 1, ASS'nin Senaryo 2'si ile aynı durumdur. Hedef araç, Dur-Kalk aracının seyir hızından daha küçük sabit bir hız ile ilerlerken, sensör menziline girer ve hedef araç haline gelir. Bu durumda Dur-Kalk aracının hızı azalır ve takip başlamış olur.

5.1.2 Senaryo 2

Senaryo 2'deki durumda, hedef araç takip sırasında hızını artırmaktadır. Bu durumda hedef aracın hızının artması nedeni ile Dur-Kalk aracının hızı da uyumlu bir şekilde artmaktadır. Kontrol yapısında zaman aralığı kavramı olduğundan takip mesafesi de uyumlu bir şekilde artmaktadır.

5.1.3 Senaryo 3

Senaryo 2'deki durumda hedef araç takip sırasında hızını azaltmaktadır. Bu durumda hedef aracın hızının azalması nedeni ile Dur-Kalk aracının hızı da uyumlu bir şekilde azalır. Eğer azalan hız, belli bir değerin altına inerse durma ile ilgili senaryolar aktif hale gelir.

5.1.4 Senaryo 4

Senaryo 4'de olanlar ise, takip sırasında araya yeni bir araç girerek hedef aracın değişmesi ve takibin artık bu araç üzerinden devam etmesidir. Dur-Kalk simülasyonlarında da ASS' de olduğu gibi sadece iki araç modeli kullanıldığından araya araç girmesi senaryosu ön aracın belirli bir zamanda geriye kaydırılması sureti ile gerçekleştirilmektedir.

5.1.5 Senaryo 5

Senaryo 5'de hedef aracın düz yolda şerit değiştirmek sureti ile hedef araç olmaktan çıktığı durum oluşturulmuştur. Belirli direksiyon girişleri, ön araca uygulanmış ve aracın şerit değiştirmesi ifade edilmiştir.

5.1.6 Senaryo 6

Senaryo 6'da ise şerit değiştirme hareketi bu kez Dur-Kalk aracı tarafından gerçekleştirilmektedir. Araç takibi sırasında sürücünün belirli bir direksiyon komutu ile aracı yan şeride geçirmesi sureti ile oluşturulmuş bu senaryonun sonunda araç 'Hedef Yok' moduna geçer.

5.1.7 Senaryo 7

Senaryo 7 durma senaryosudur. Araçlar belirli bir takip mesafesi ile ilerlerken, hedef araç hızını azaltmaya başlar. Araç hızı 4 km/h gibi bir hızın altına indiğinde, artık durmuş kabul edilir. Senaryo 7'nin ayırt edilmesi hedef araç hızının 10 km/saat'e kadar inmesinden sonra başlar. Bu hızdan önceki yavaşlamalar Senaryo 3 olarak algılanır.

5.1.8 Senaryo 8

Senaryo 8'de oluşturulan durum Senaryo 7'nin ardından meydana gelen durduktan sonra tekrar kalkma senaryosudur. Senaryo 7 oluşturulduktan sonra hedef araç tekrar harekete geçirilir ve bu işlem ardışık olarak belirli aralıklarla dört ya da beş kez tekrarlanır. Böylece şehir içi trafikte sıkça karşılaşılan birbirini takip eden durma kalkma senaryoları gerçekleştirilmiş olur.

5.2 Alt Seviye Kontrol

Alt seviye kontrol olarak Adaptif Seyir Sistemi'ne benzer bir kontrol yapısı bulunmaktadır. Öncelikle hedef aracın menzili dışında olduğu durumlarda kullanılan hız sabitleyici kontrol yapısı Dur-Kalk sistemi içinde tasarlanmıştır. Kontrol aynı şekilde fren ve gaz geçişinin motorun en küçük tork değerine göre belirlendiği bir PID yapısıdır. Ancak daha önce de bahsedildiği üzere sensör menzili 150 metreden 40 metreye indirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan hız sabitleyici kontrol, 'hedef yok' modu devreye girince aracın hızını sürücünün girdiği değere kadar artırmaktadır. Ayrıca takip sırasında eğer hedef araç hızını 40 km/saat'in üstüne çıkarırsa bundan sonra hedef aracın takibinden vazgeçilir.

Alt seviye kontrolde yapılan en önemli değişiklik araç ivmelenme sınırlarının değiştirilmesidir. Bu değişikliğin sebebi artık aracın hızlanma ve yavaşlama hareketlerinin daha hızlı yapılması gerekliliğidir. Zira trafikte böyle bir sistemin kullanılması halinde trafiğin akışını bozmayacak ve ortalama bir sürücü benzeri bir takip kontrolü yapılması gerekecektir. Dur-kalk sisteminde artık konfor nitelikleri ikinci plana geçirilip, doğru, hızlı ve güvenilir bir takip kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bu durum elbette ivme sınırlarının tamamen ortadan kaldırılması anlamına gelmemektedir. Zira böyle bir durumda kontrol sinyali çok ani frenleme ve hızlanma gibi hareketlere neden olabilir. Dolayısı ile kontrol yapısının önerdiği ivmelenme değerleri $\pm 3 \text{ m/s}^2$ arasında sınırlandırılır. Bu değerlerin tespitinde yapılan simülasyonlar çerçevesinde takip için Dur-Kalk sistemli aracın yavaşlama süreleri, hedef aracın hız değişimlerine ayak uydurabilme özelliklerine dikkat edilmiştir.

5.3 Üst Seviye Kontrol

Üst seviye kontrol yapısında da, dur-kalk sistemlerine göre bazı değişimler yapılmıştır.

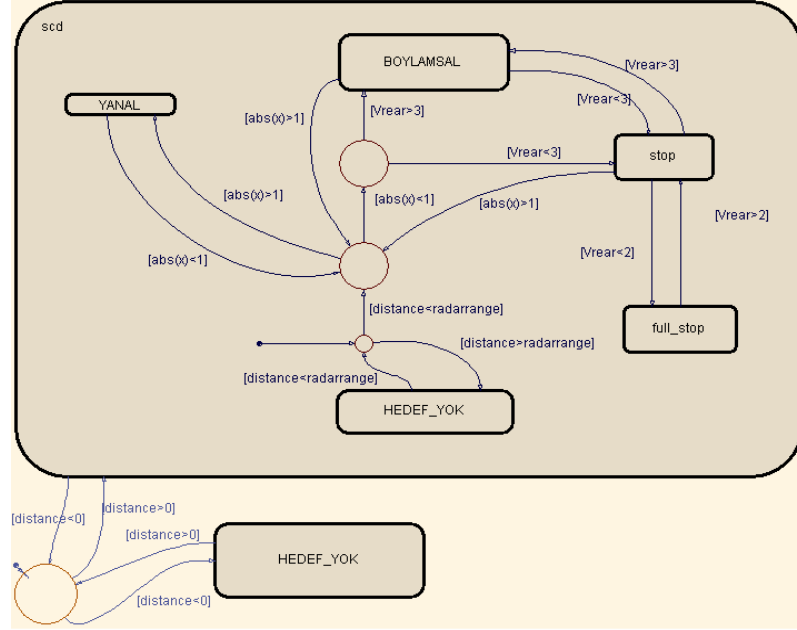
Öncelikle kontrol yapısında senaryoları ayırt etmek için kullanılan diyagramlarda yeni senaryolara göre bazı eklentiler ve değişiklikler yapılmıştır. Buna göre ‘Hedef Yok’ moduna giriş için gerekli koşullar; araçlar arası mesafenin radar menziline küçük olması, hedef aracın Dur-Kalk aracının arkasında kalması veya araçların farklı şeritlerde yol alması yani hedef aracın azimut açısının sıfırdan farklı olmasıdır. İlgili senaryo ‘Hedef Yok’ konumunu ilgilendirmiyor ise ve araçlar aynı şeritte ise ‘Boylamsal’ konumuna girilir. Burada hedef araç hızının yaklaşık 10 km/saatten (3 metre/saniye) büyük olduğu durumlarla ilgilenilir. ‘Boylamsal’ modunun içinde ilgili senaryolar ASS üst kontrolcüsünde olduğu gibi hedef araç hızına göre ayırt edilir. Eğer hedef araç hızı 3 metre/saniye’nin altına inerse ‘Stop’ moduna girilir ve ‘sc’ değişkenine 7 değeri atanır. Bu modda hedef aracın durmak üzere olduğu tahmin edilmektedir. Eğer hedef araç hızını daha da düşürüp 2 metre/saniyenin altına iner ise bu durumda hedef aracın tamamen durduğu kabulü yapılır. Zira simülasyonlarda araçların tamamen durması mümkün değildir. Bu açıdan belirli bir kabul ile 2 metre/saniye’nin altı durmak olarak kabul edilmiştir. Eğer araç hızı bir kere bu değer düşüp tekrar yükselir ise ‘sc’ değişkenine 8 değeri atanmakta ve Senaryo 8’in gerçekleşmekte olduğu anlaşılmaktadır. Senaryoların ayırt edilmesi ile ilgili Stateflow diyagramı Şekil 5.1’de görülmektedir.

Senaryoların ayırt edilmesinden sonra hangi kontrolün kullanılması gerektiğine karar veren sistem oluşturulmuştur. Bu noktada eğer yanal bir senaryo gerçekleşmiş ise yani ortada bir şerit değiştirme söz konusu ise, hız sabitleyici kontrole geçilerek sürücünün seçtiği hız değerine kadar hızlanma ve bu değerde sabitlenme sağlanır. Eğer boylamsal senaryolardan Senaryo 1, Senaryo 2, Senaryo 3 veya Senaryo 4’den biri oluşuyor ise senaryodan bağımsız bir şekilde boylamsal kontrolcü devreye girer. Daha önce de belirtildiği üzere bu senaryoların ayırt edilmesi tamamen uyarı niteliğindedir. Bu senaryolarda araçlar arası mesafe zaman boşluğu cinsinden girilerek kayma kipli kontrol ile istenen değere getirilir.

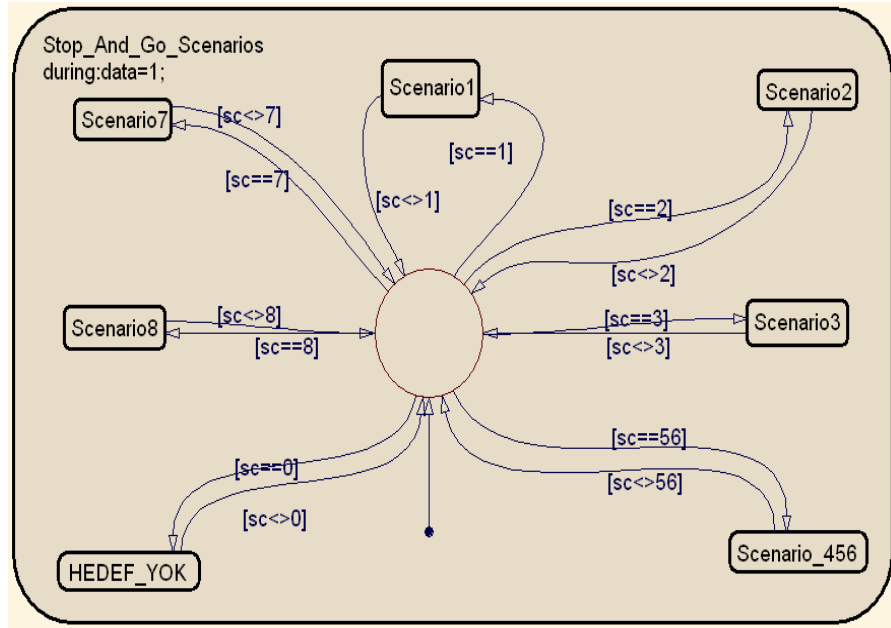
Senaryo 7’nin devreye alınması için hedef aracın hızının 3 metre/saniye’nin altına inmesi gerekir. Bu noktada hedef aracın durmak üzere olduğu tahmin edilir. Eğer tekrar araç 3 metre/saniye’nin üzerine çıkar ise, diğer senaryolara geri dönülür. Eğer araç yavaşlamaya devam edip 2 metre/saniye’nin altına iner ise bu durumda tam durma ‘full-stop’ moduna geçilir. Burada, daha önce 1 saniye olan zaman aralığı

değeri 0.5 saniyeye getirilerek araçların birbirlerine daha da yaklaşması sağlanmış olur. Bu noktada simülasyon ortamında araç hızları en fazla 1.7 metre/saniyeye kadar inmekte bunun altındaki hızlarda sonuç almak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle araç hızlarının 2 metre / saniye altındaki değerleri durma olarak kabul edilir.

Uygun kontrol yönteminin seçilmesini sağlayan Stateflow diyagramı Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1: Dur-Kalk Senaryo Ayırt Etme Algoritması



Şekil 5.2:Üst Seviyeli Kontrol Algoritması

6. SONUÇLAR

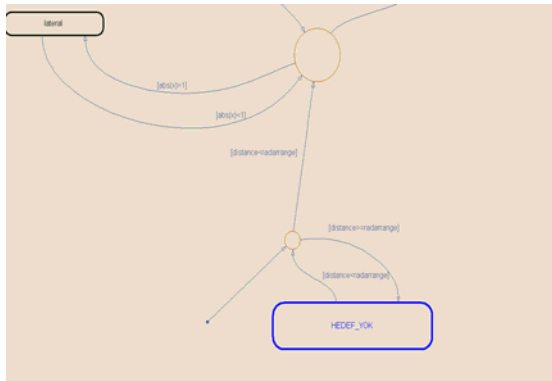
Bu bölümde Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur Kalk Sistemleri çerçevesinde yapılan çalışmalara ait sonuçlar sunulacaktır. Elde edilen sonuçlar Senaryoların sırasına göre verilecektir.

6.1 Adaptif Seyir Sistemi Sonuçları

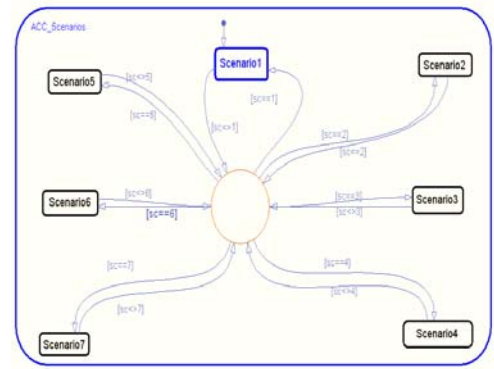
Adaptif Seyir Sisteminde oluşturulan senaryolar sonunda elde edilen sonuçlar burada ayrı ayrı sunulmuştur.

6.1.1 Senaryo 1

Senaryo 1, bilindiği üzere herhangi bir hedef aracın olmadığı durumu temsil etmek adına oluşturulmuştur. Bu durumda bu senaryoyla ilgili iki durum oluşturulmuştur. Bunlardan ilkinde sabit bir hız değeri girilerek bu değerle aracın ilerlemesi istenmiştir. Bu simülasyonda aracın hız sabitleyici kontrolü çalışmaktadır. Stateflow diyagramlarında simülasyon sırasında aktif olan altistemler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görülmektedir.



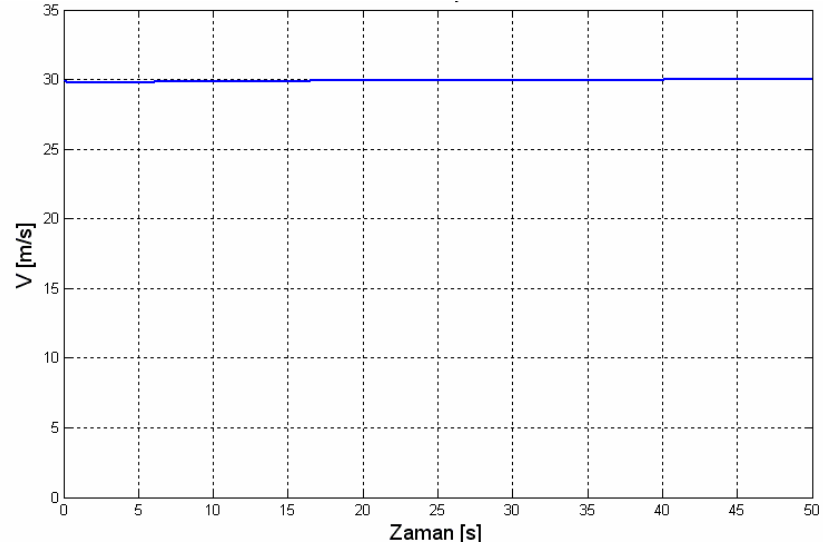
Şekil 6.1: 'Hedef Yok' Altistemi



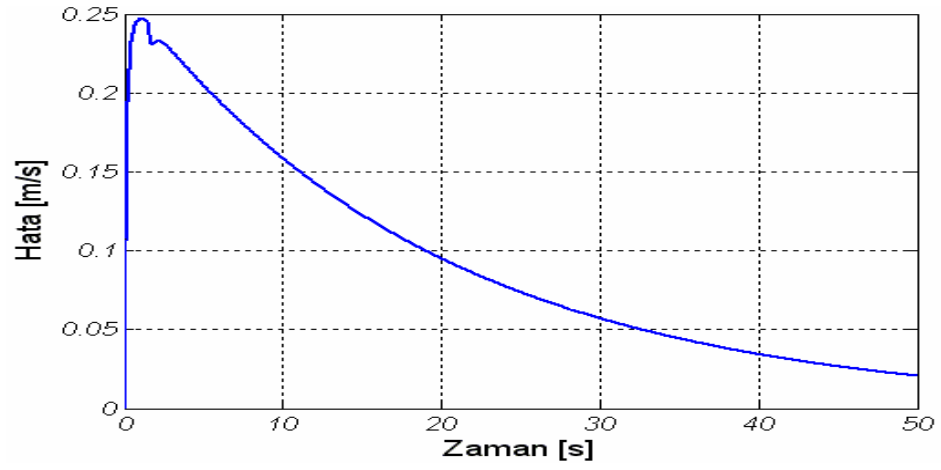
Şekil 6.2: 'Senaryo 1' Altistemi

Bu altistemlerin aktive olması ile çalışan hız sabitleyici kontrol yapısı ile elde edilen araç hızı Şekil 6.3’de görülmektedir. İstenen hız bu simülasyonda $V = 30$ m/s olarak ayarlanmıştır.

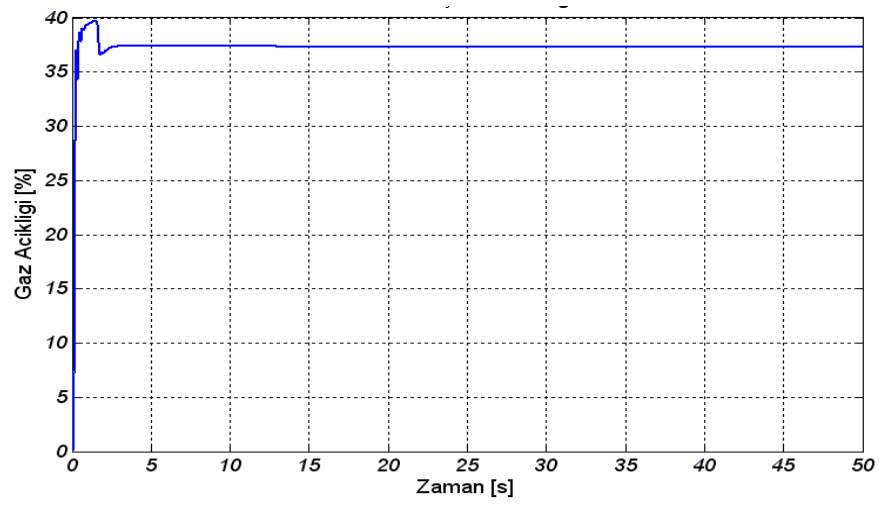
Araç Hızının istenen hız ile olan farkı yani yapılan hata Şekil 6.4’ de görülmektedir. Hatanın mertebesi kabul edilebilir cinstendir. Araç bu hızda ilerlerken gaz açıklığı ise Şekil 6.5’ de görülmektedir.



Şekil 6.3: Sabitlenmiş Araç Hızı

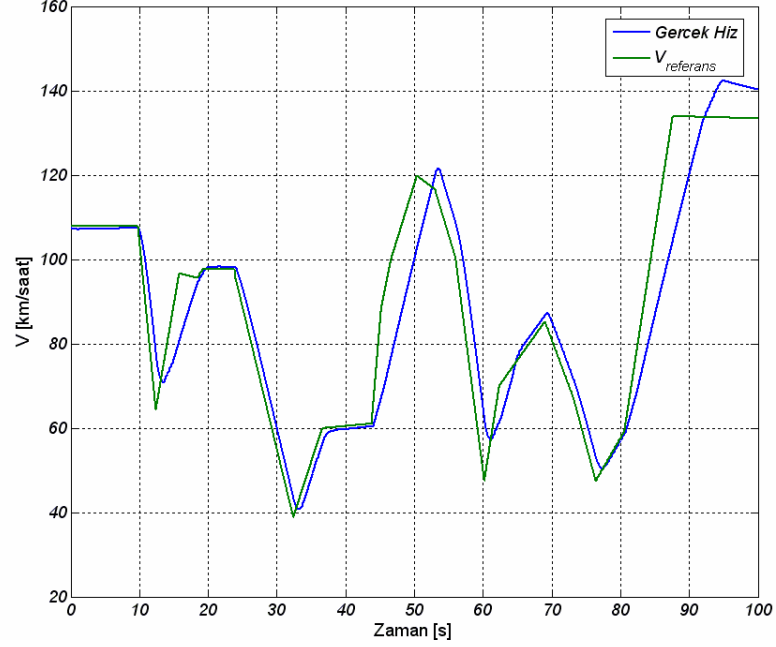


Şekil 6.4: Hız Sabitleyici Kontrolde Yapılan Hata



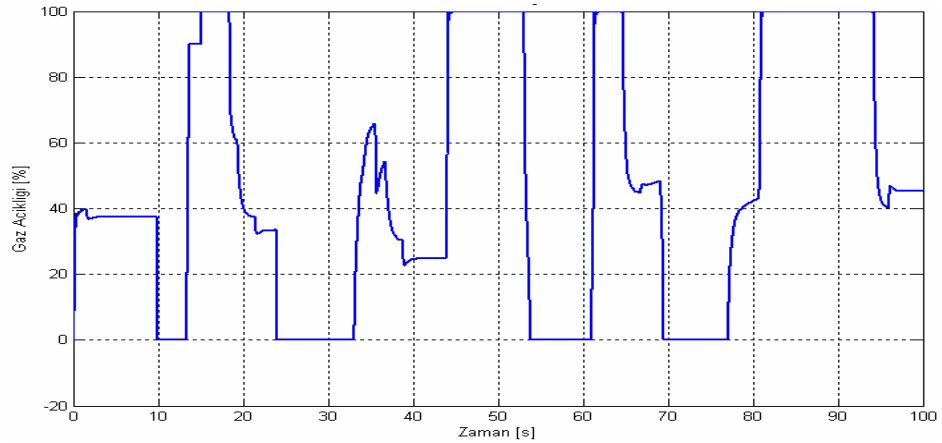
Şekil 6.5: Gaz Açıklığı

Bu senaryo çerçevesinde yapılan bir uygulamada araca sabit hız yerine değişken bir referans hız profili girmektir. Kontrolcüye giren referans hız değeri zamanla değiştirilerek araç hızının bu profili takip etmesi beklenmektedir. Buna göre Şekil 6.6’ da girilen hız profili ve elde edilen araç hızı görülmektedir.



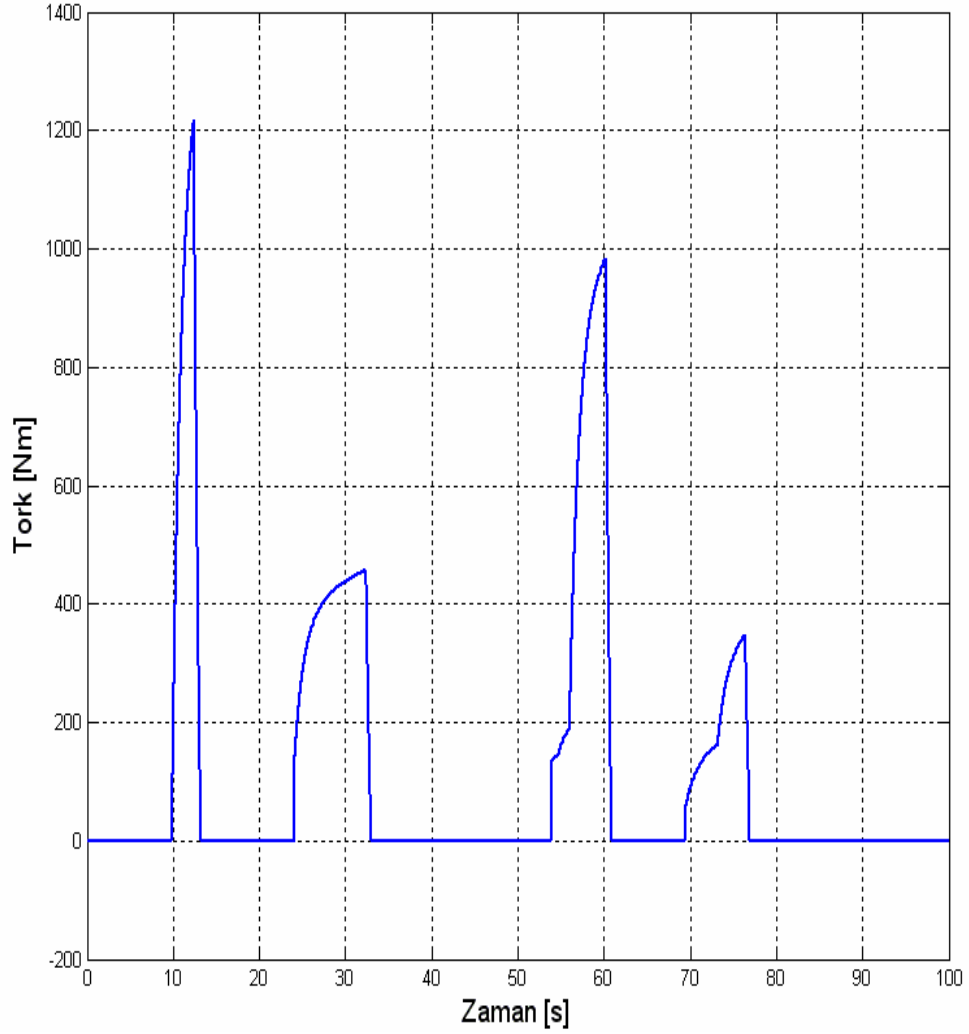
Şekil 6.6: Girilen Hız Profili ve Araç Hızı

Görüldüğü üzere araç istenen hız değerlerini belirli bir gecikme ile takip etmektedir. Oluşturulan bu hız profili sırasında gaz açıklığı Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7: Gaz Açıklığı

Gaz açıklığının yanında ani referans hız değişimlerinde frene de müdahale etmek gerekmektedir. Bu durumda bazı anlarda gaz açıklığının sıfır olduğu görülmektedir. Bu anlarda fren müdahalesi olup aracı yavaşlatacak gerekli tork elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen fren torku Şekil 6.8’de görülmektedir.



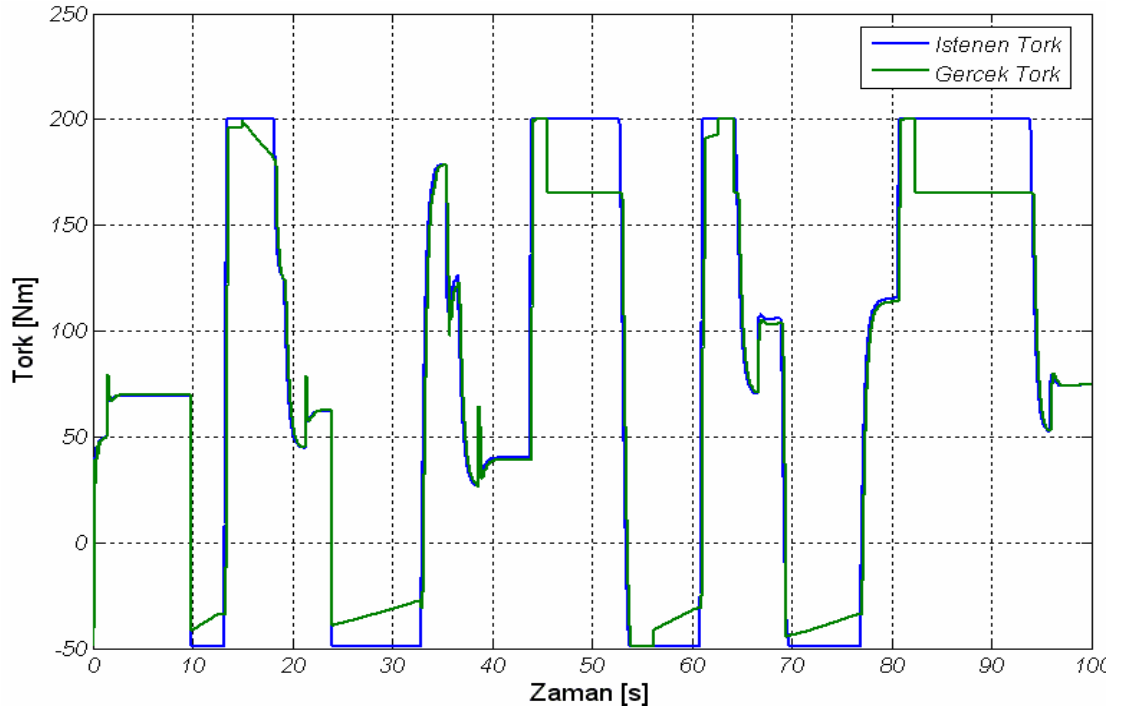
Şekil 6.8: Fren Torku

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, kontrol yapısı motorda oluşturulması gereken torku belirlemekte bu tork ise ilgili gaz açıklığı hesaplanarak oluşturulmaya çalışılmaktadır. Şekil 6.9’da görüldüğü gibi kontrolcünün istediği motor torku değerleri başarıyla oluşturulmuştur.

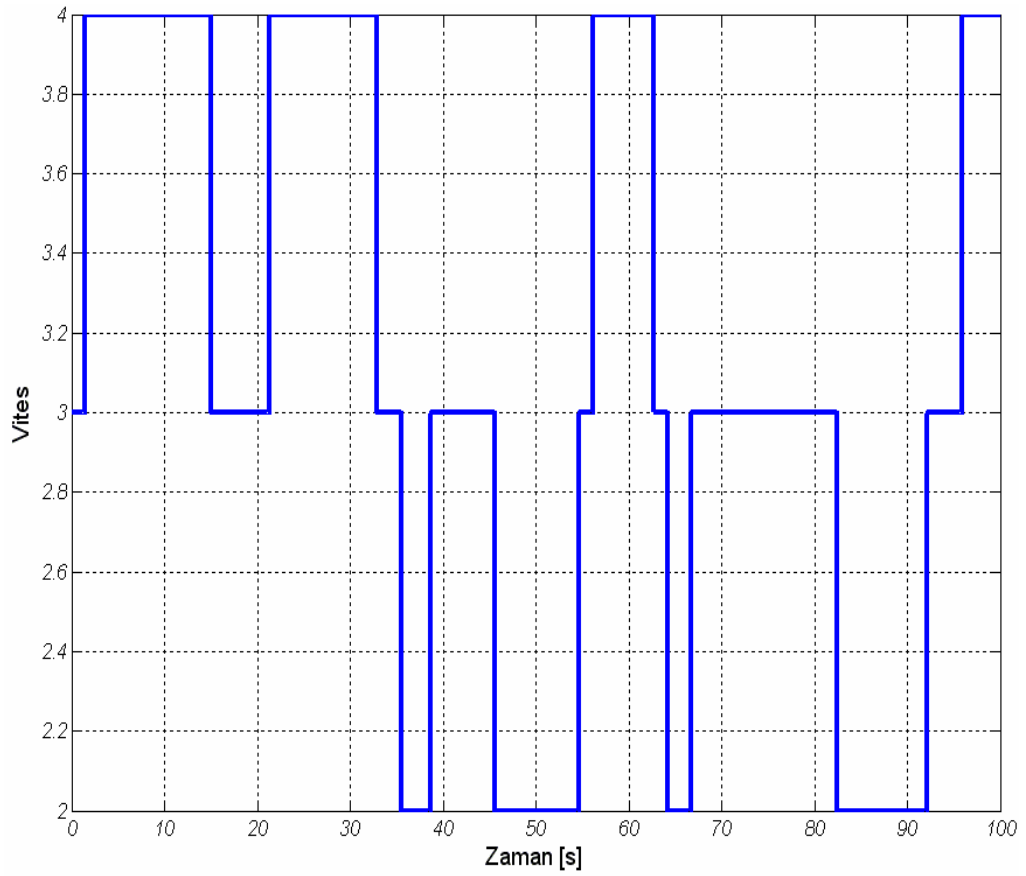
Şekil 6.9’ da görülen maksimum ve minimum noktalarındaki farkların nedeni ise motorun o devirlerde istenen tork değerini oluşturamayıp verebileceği maksimum torku vermeye çalışmasıdır. Minimum noktalarında da aynı şekilde motordan istenen en küçük tork değerinin altında tork istediğinde motor verebileceği en küçük değeri oluşturmaktadır. Zaten bu noktalarda motor yetersiz olduğundan fren müdahalesi gelmektedir.

Şekil 6.8’e bakıldığında İstenen torkun, gerçek torkun altında kaldığı noktalarda frene müdahale edilmiştir.

Şekil 6.10’ da sürüş sırasındaki vites geçişleri görülmektedir.



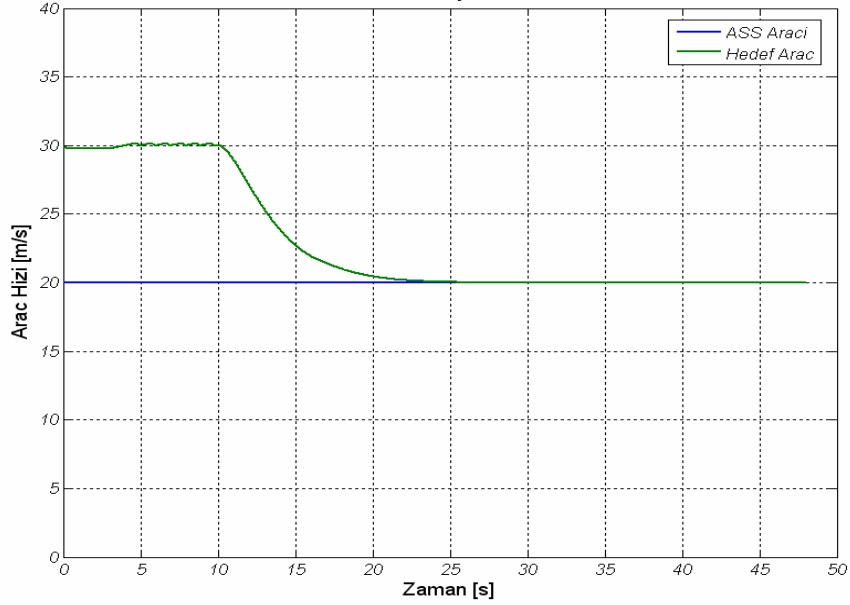
Şekil 6.9: İstenen Tork ve Gerçek Tork



Şekil 6.10: Vites Geçişleri

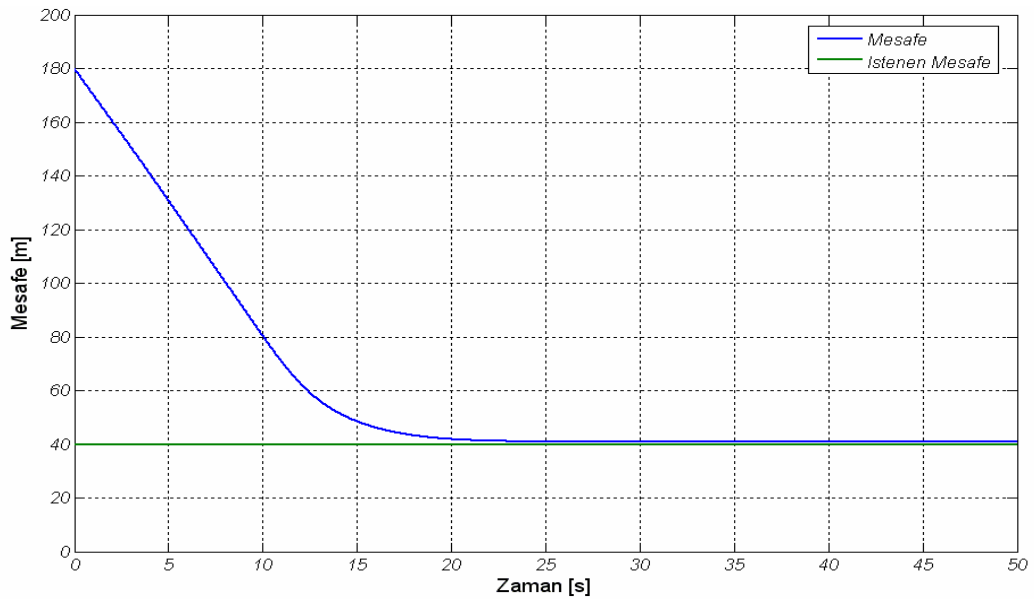
6.1.2 Senaryo 2

Senaryo 2' de yapılan çalışmada hedef araç $V = 20$ m/s ile seyretmesi sağlanırken, arka aracın sabitlenen hız değeri ise $V = 30$ m/s' dir. Araçlar arası mesafe $t = 0$ saniyede iken 180 m'dir. 150 m radar menzili olup zaman boşluğu değeri $T_h = 2$ s olarak ayarlanmıştır. Bu durumda elde edilen araç hızları Şekil 6.11'de görülmektedir.



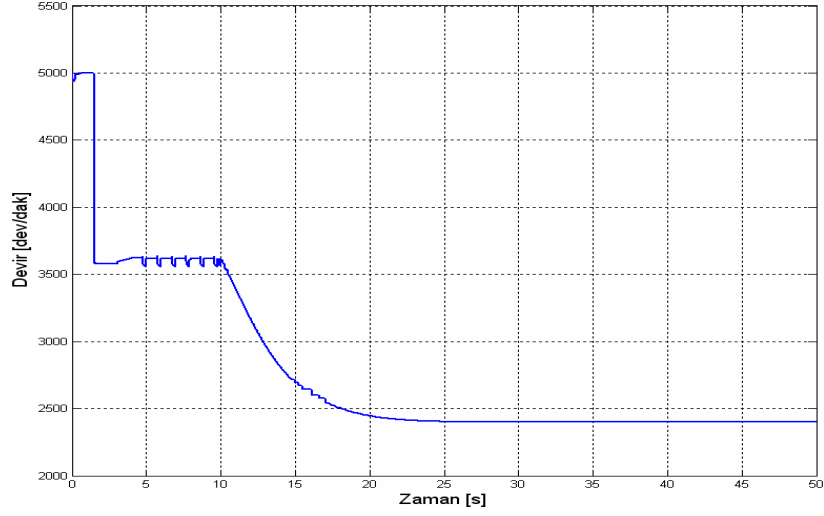
Şekil 6.11: Araç Hızları

Görüldüğü gibi ASS aracı hedef aracın hızına yetişmiş ve bu hızla ön aracı takip etmektedir. Bu simülasyon sırasındaki araçlar arası mesafe Şekil 6.12' de görülmektedir.



Şekil 6.12: Araçlar Arası Mesafe

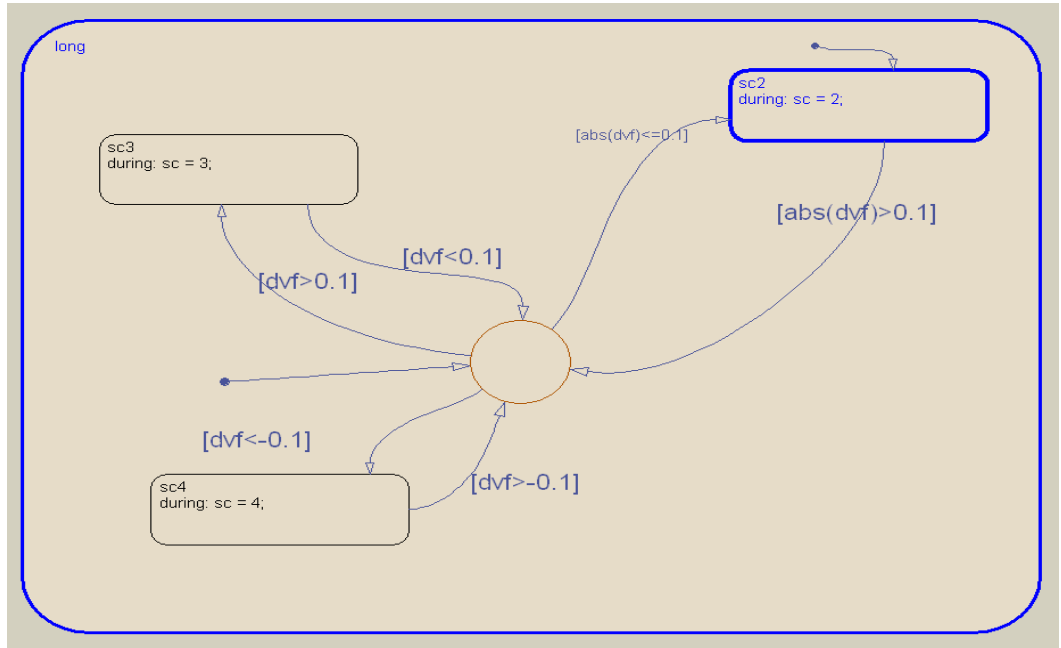
Araçlar arası mesafenin istenen değeri 40 metredir. Bu değer takip zamanının hedef araç hızı ile çarpılması ile oluşmaktadır. 2 saniye ve 20 metre/saniye ile bu değer 40 metredir. Yaklaşma sırasında araç motor devri ise Şekil 6.13’ de görülmektedir.



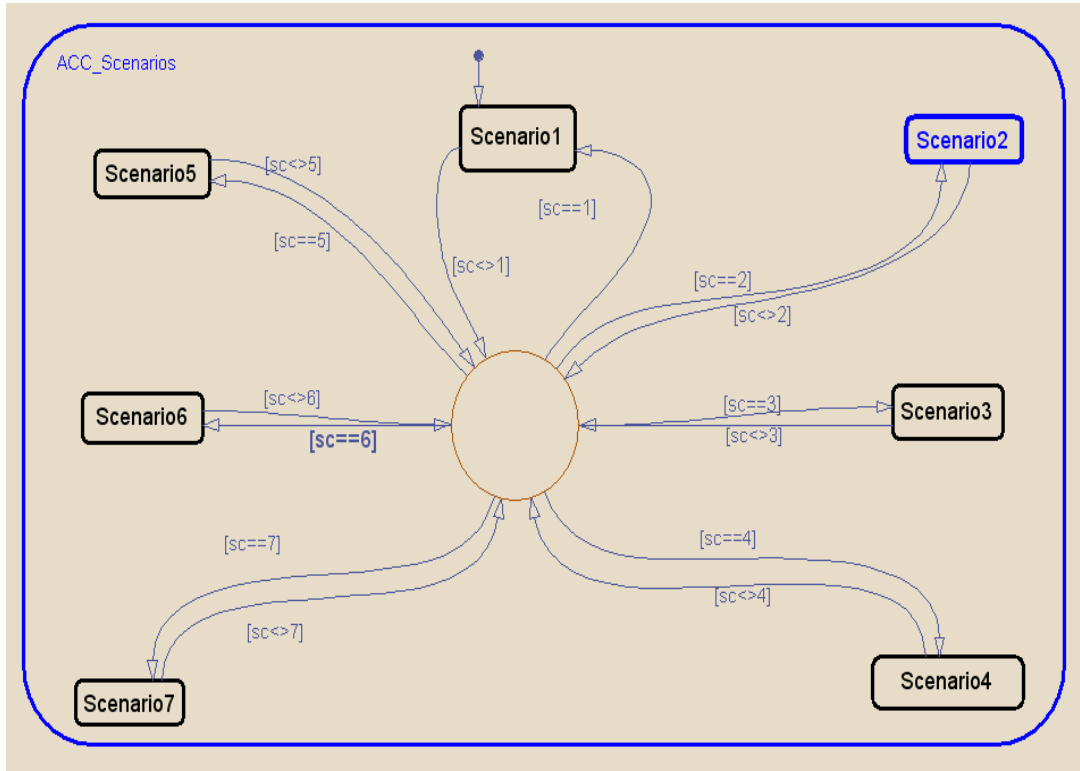
Şekil 6.13: Motor Devri

5 ila 10 saniye arasında meydana gelen osilasyonların nedeni ise bu sırada araç hızını sabit tutmak için yapılan efordur. Takip sırasındaki tek vites değişimi 2. saniyede gerçekleşir ve motor devrindeki süreksizliğin nedeni budur.

Üst kontrolcüdeki senaryonun fark edilmesi ve ilgili kontrolcülerin harekete geçirilmesi ile ilgili Stateflow diyagramının durumu Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’ de görülmektedir.



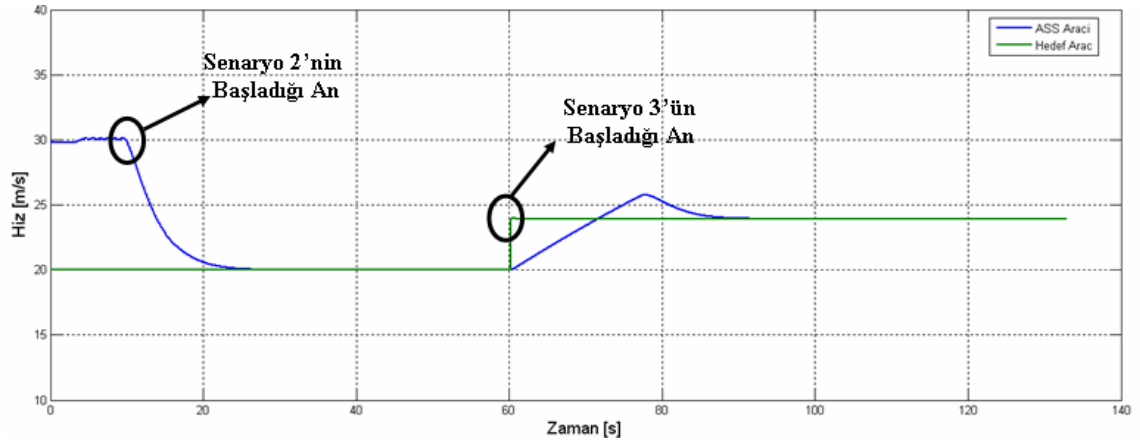
Şekil 6.14: Senaryo 2’nin Fark Edildiği An



Şekil 6.15: Senaryo 2 İle İlgili Altsistem

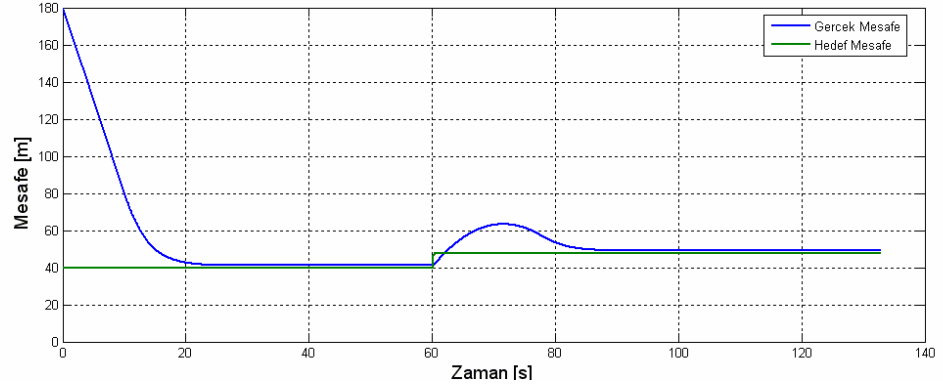
6.1.3 Senaryo 3

Senaryo 3 gerçekleştirilirken, önce Senaryo 1 ve Senaryo 2 oluşturulmuş ve ardında hedef araç hızlandırılarak Senaryo 3'ün başlaması sağlanmıştır. $t = 60s$ 'de ön aracın hız kontrolcüsünün referans değeri 20 m/s 'den 24 m/s 'ye çıkarılmıştır. Bu durumda elde edilen araç hızları Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6.16: Araç Hızları

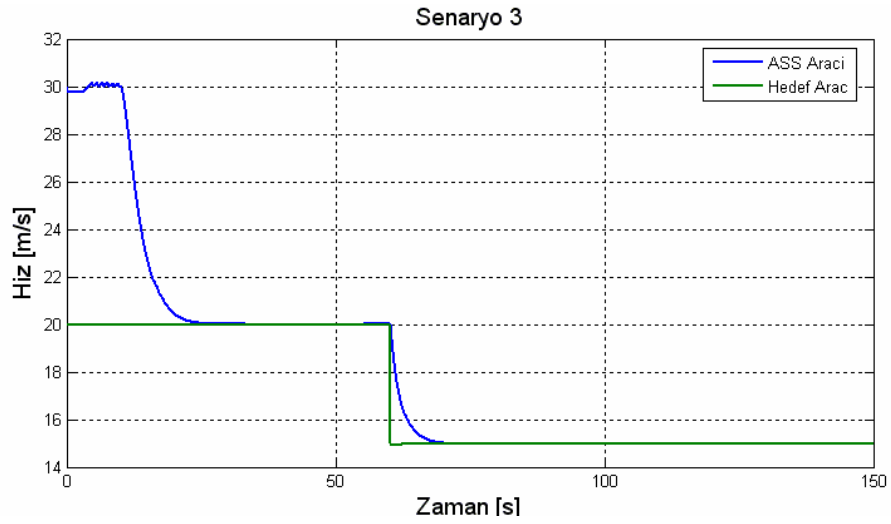
Görüldüğü gibi arka aracın hızlanmasına karşılık ön araçta hızını artırmış ve ön aracı yakalamıştır. Bu sırada araçlar arası mesafenin değişimi Şekil 6.17'de görülmektedir. Buna göre takip mesafesi 24 m/s hedef araç hızı nedeni ile 48 metreye gelmiştir.



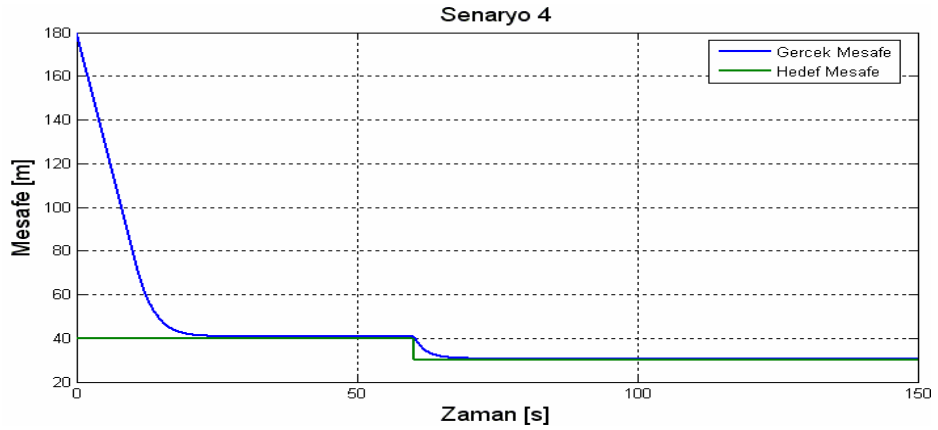
Şekil 6.17: Araçlar Arası Mesafe

6.1.4 Senaryo 4

Senaryo 4’ de Senaryo 3’ün aksine hedef araç yavaşlatılmıştır. Bu durumda hedef aracın yeni hızı $V = 15 \text{ m/s}$ ’ ye getirilmiştir. Bu şekilde elde edilen hız ve mesafe sonuçları Şekil 6.18’ de görülmektedir.



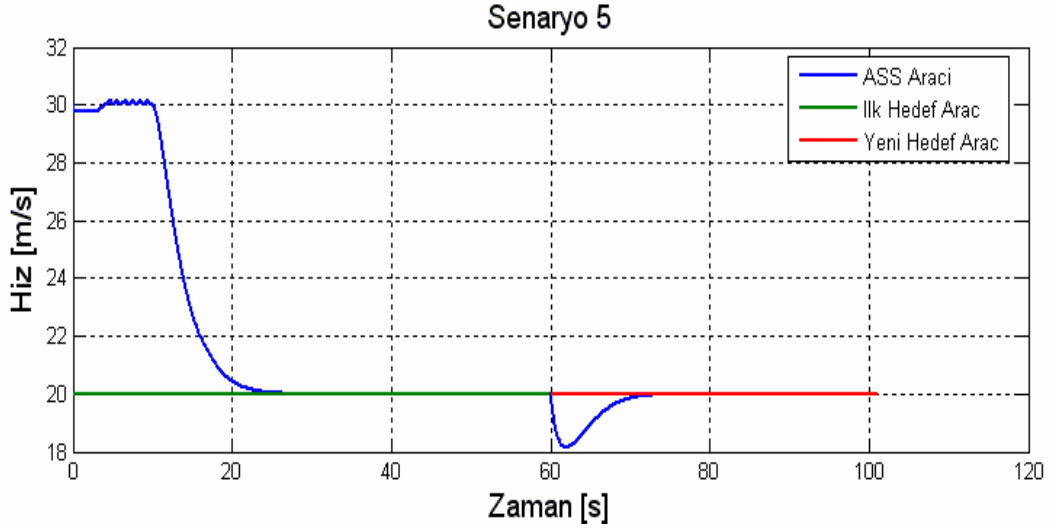
Şekil 6.18: Senaryo 4 için Araç Hızları



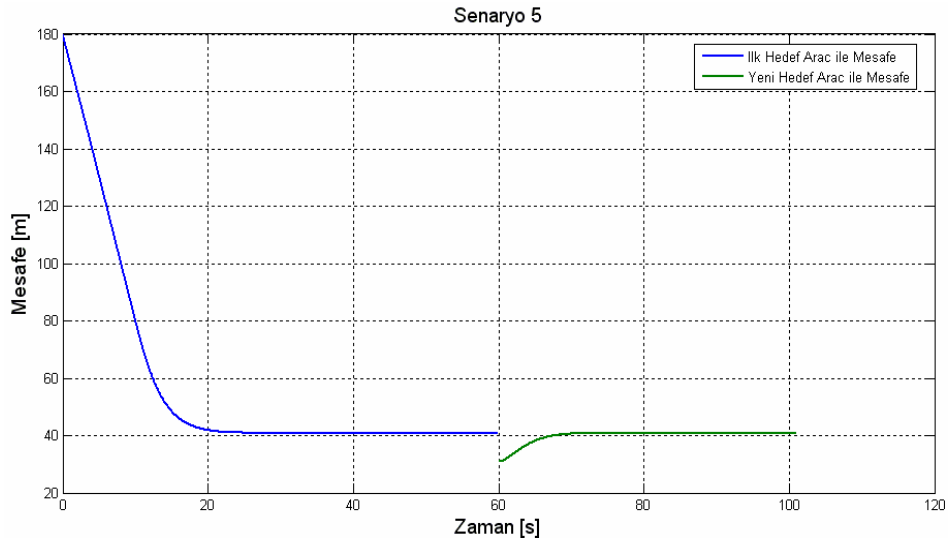
Şekil 6.19: Senaryo 4 için Araçlar Arası Mesafe

6.1.5 Senaryo 5

Senaryo 5’ de yeni bir hedef araç takip sırasında araya girerek yeni hedef araç olmaktadır. Bu senaryonun gerçekleştirilmesi ile elde edilen hızı ve mesafe grafikleri Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’ de görülmektedir.



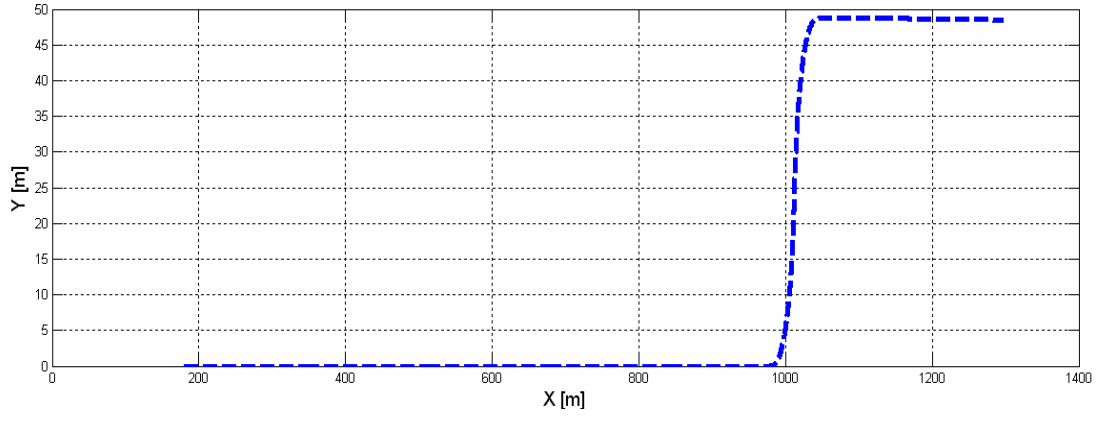
Şekil 6.20: Senaryo 5 için Hız



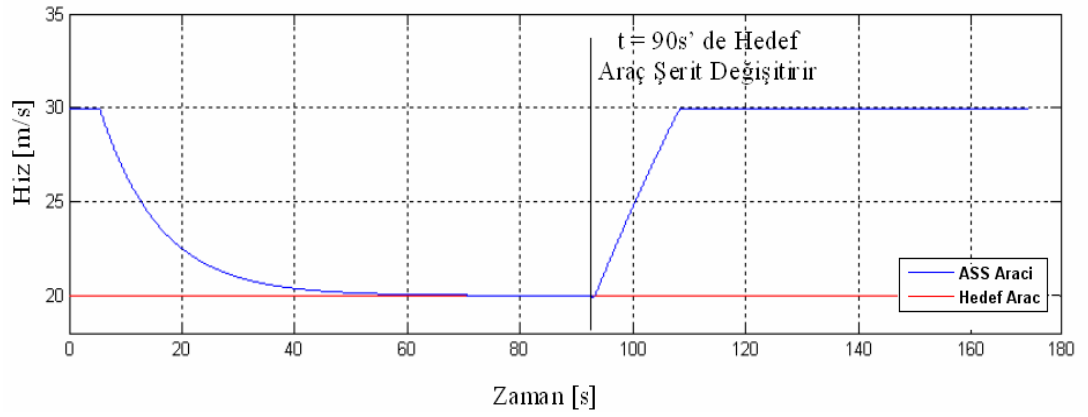
Şekil 6.21: Senaryo 5 için Mesafe

6.1.6 Senaryo 6

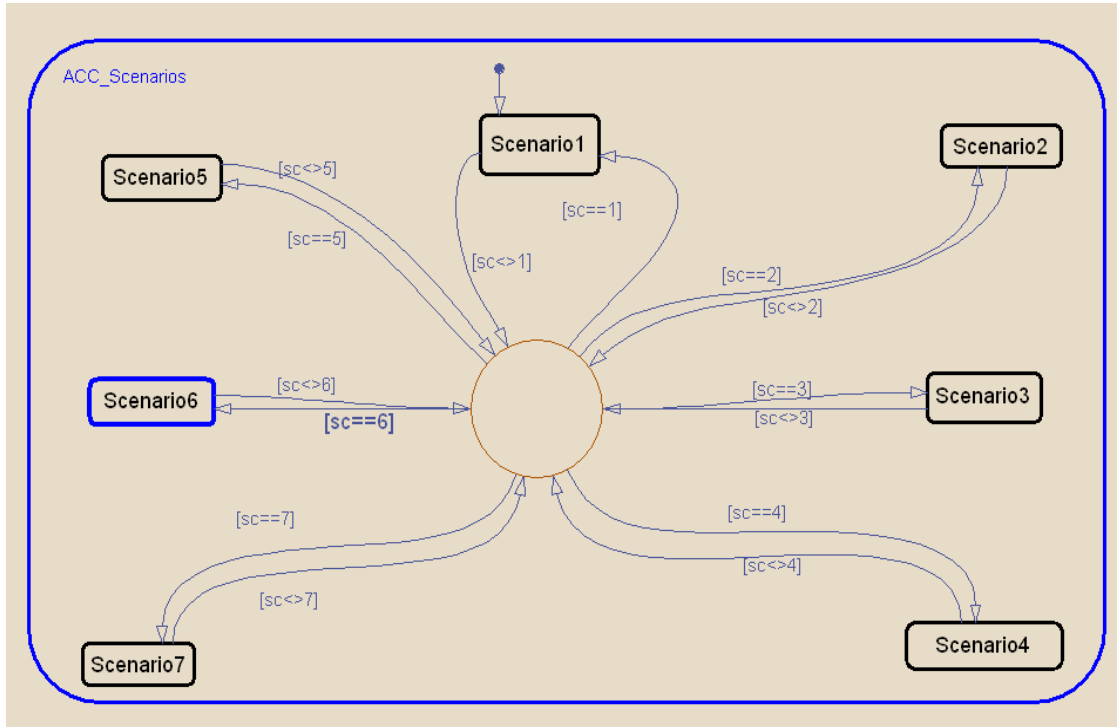
Senaryo 6’ da hedef araca direksiyon girişleri uygulanarak şerit değiştirmesi sağlanmış bunun sonunda da hedef araç olmaktan çıkması sağlanmıştır. Ön aracın global eksenindeki pozisyonu Şekil 6.22’ de görülmektedir. Şekil 6.23’ de de ASS aracının hedef kaybolduktan sonra hızlanarak hızını belirlenen değere kadar artırması görülmektedir. Şekil 6.24’ de ise üst kontrolcüde belirlenen senaryo görülmektedir.



Şekil 6.22: Hedef Aracın Yörüngesi



Şekil 6.23: Senaryo 6 Araç hızları

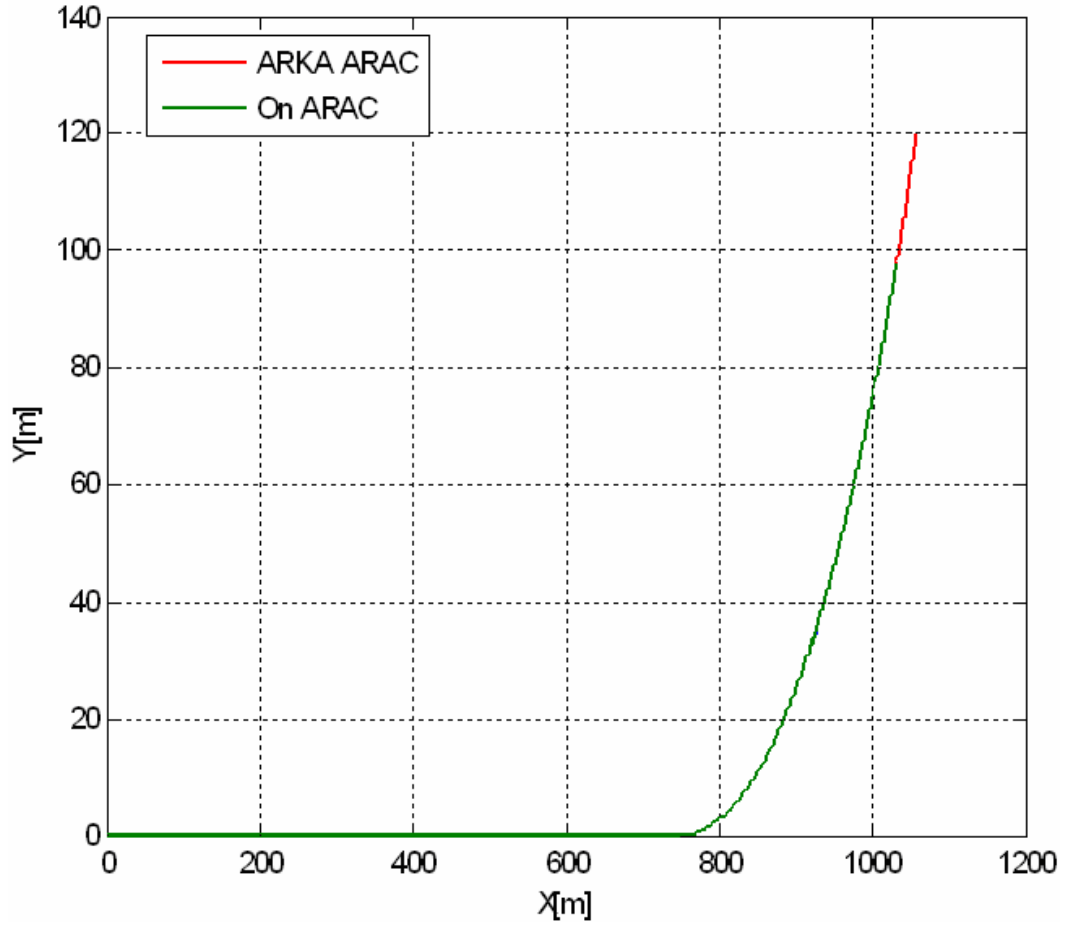


Şekil 6.24: Senaryo 6

6.1.7 Senaryo 7

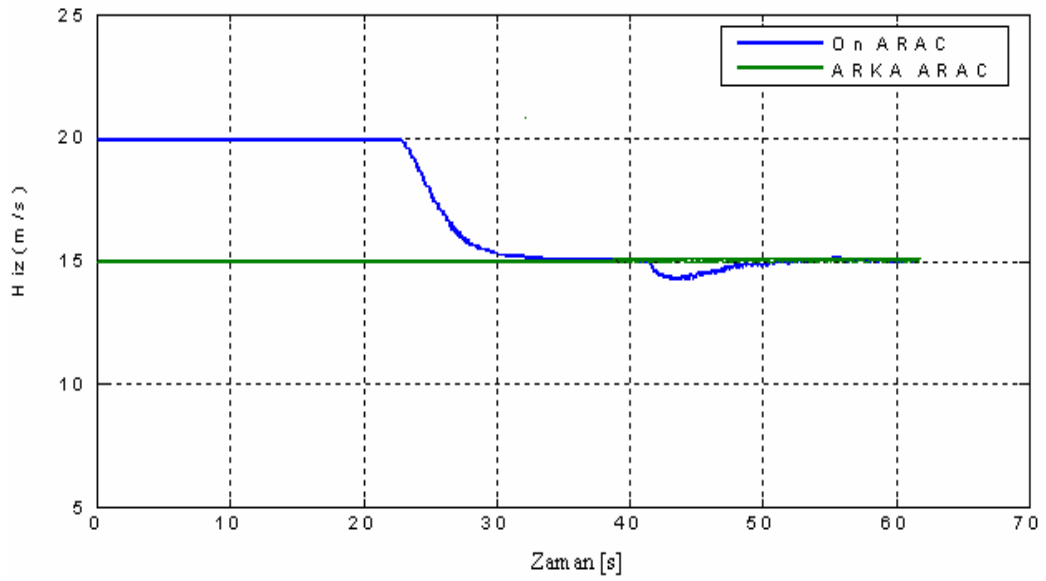
Senaryo 7’ de araçlara sabit yarıçaplı bir virajdan geçmesi simüle edilmiştir. Buna göre iki araç belli bir takip mesafesine oturduktan sonra ön araç sola doğru kıvrılan bir viraja girmiştir. Arka araçta benzer şekilde takip süresi geçtikten sonra bu viraja girmiş ve öndeki aracın takibine devam etmektedir.

Şekil 6.25’ de araçların yörüngeleri görülmektedir. Şekilden ön ve arka araçların pozisyonları ve aralarındaki mesafe görülmektedir. Bu senaryo sırasında araçlar belli bir hızla bir virajı aldıkları için bu hızlar diğer senaryolara göre düşük tutulmuştur. $t = 0$ anında ASS aracının hızı 20 m/s, hedef aracın hızı da 15 m/s olarak seçilmiştir.

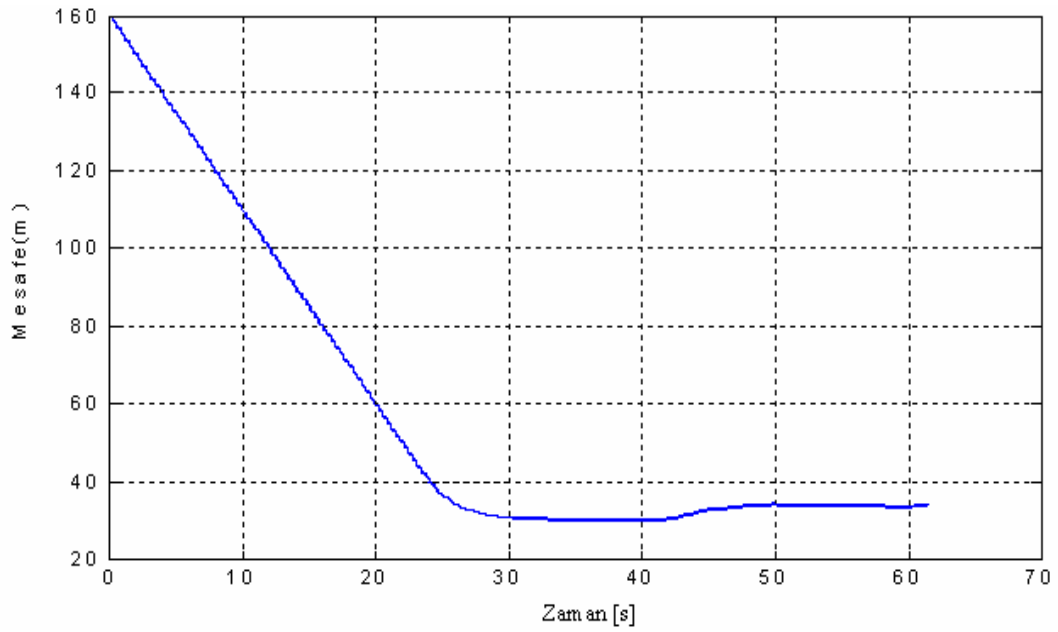


Şekil 6.25: Ön ve Arka Araç Yörüngesi

Bu yörüngeler alınırken araçların hızları Şekil 6.26’ da görülmektedir. Viraj sırasında yanal kuvvetlerin etkisi ile araç hızında kısmen bir kayıp olmasına rağmen virajın sonlarına doğru araç hızı tekrar hedef aracın hızına doğru yükselmektedir. Araçlar arası mesafe de aynı şekilde, ASS aracının hızının düşmesi nedeni ile biraz artmaktadır (bkz. Şekil 6.27).



Şekil 6.26: Senaryo 7'de Araç Hızları

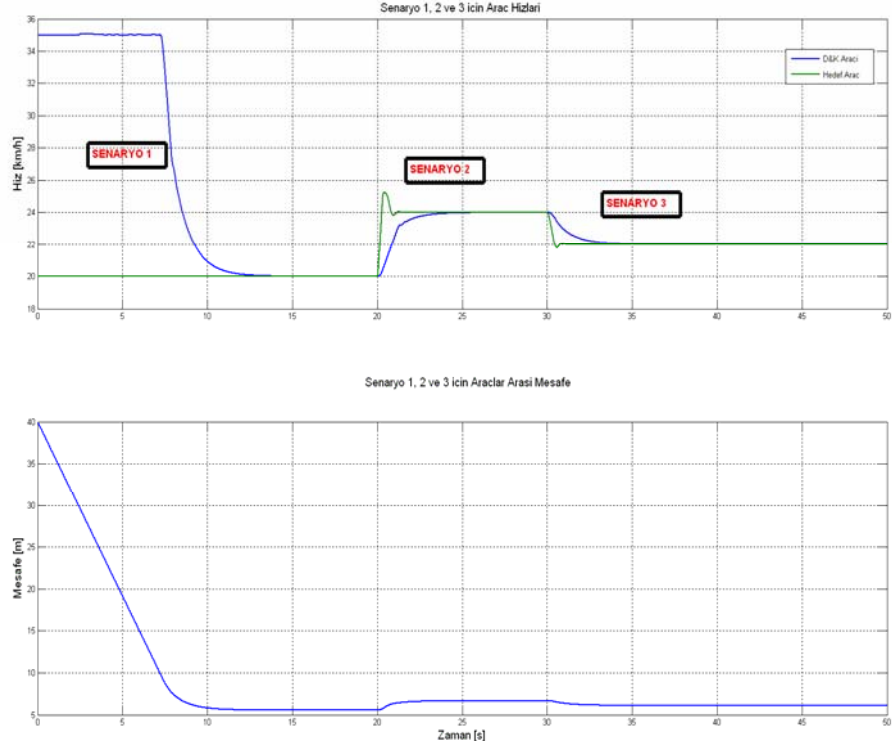


Şekil 6.27: Senaryo 7'de Araçlar Arası Mesafe

6.2 Dur-Kalk Sistemi Simülasyon Sonuçları

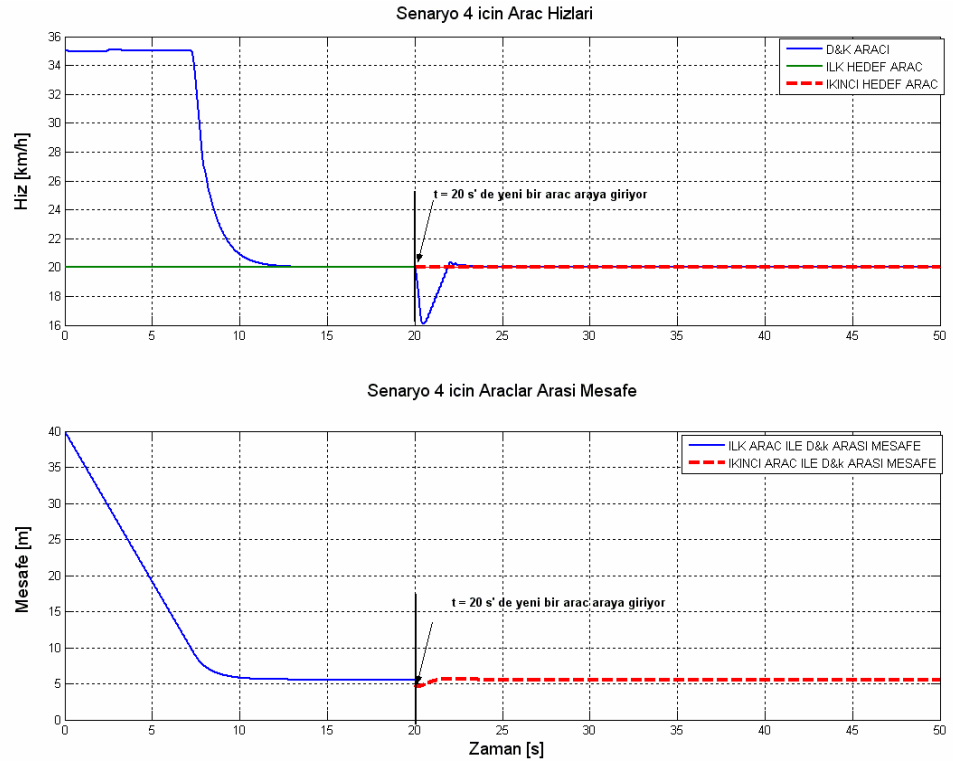
Dur-Kalk sistemindeki simülasyon sonuçları da benzer bir şekilde bu bölümde sunulacaktır.

Şekil 6.28' de 40 km/saatin altında seyreden dur-kalk aracının menziline giren hedef araç nedeni ile yavaşlaması, daha sonra hedef aracın hızlanması ve bir süre sonra da yavaşlaması durumu gösterilmiştir. Buna göre Senaryo1, Senaryo2 ve Senaryo3 aynı anda oluşturulmuştur. Araçlar arası mesafe de hızların değişmesi ile azalıp artmaktadır.



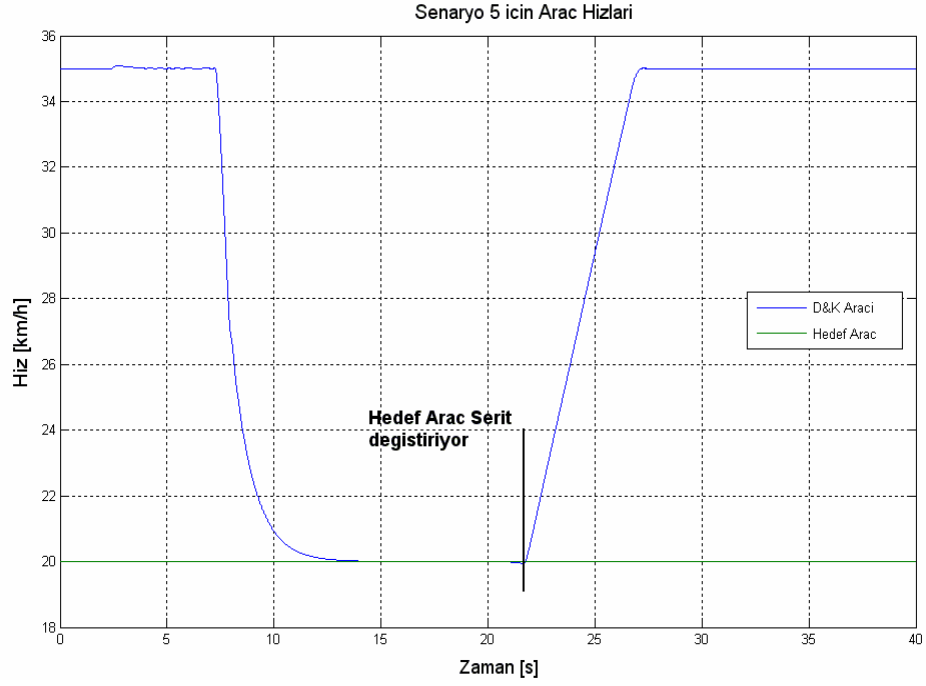
Şekil 6.28: Dur – Kalk Sisteminin Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 İçin Davranışı

Şekil 6.29’ da ise Senaryo 4’e ait sonuçlar görülmektedir. Senaryo 1 ile başlayan simülasyon daha sonra $t = 20$ s’ de araya yeni bir aracın girmesi ile devam etmektedir. Bu durumda hız ve mesafe kontrolü yeni giren araca göre yapılmaktadır.



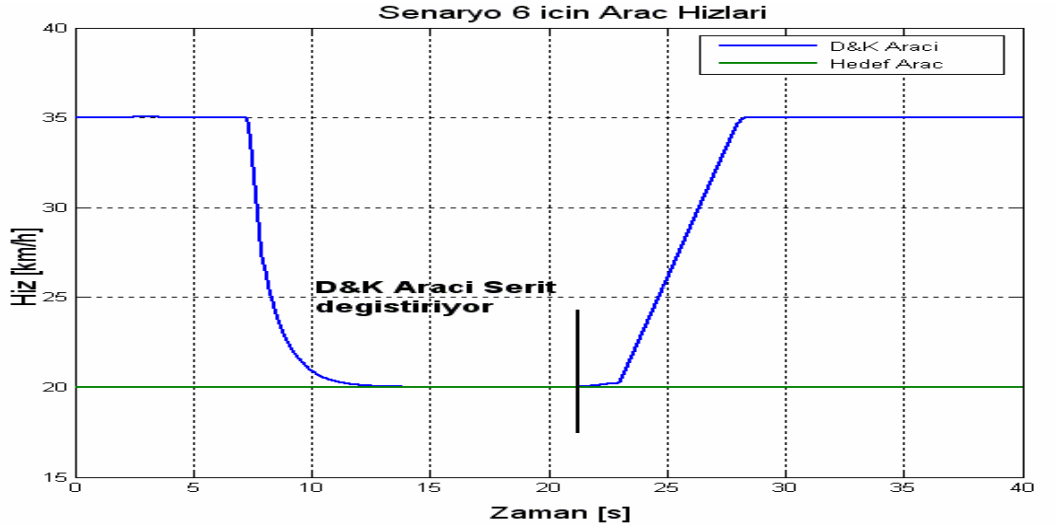
Şekil 6.29: Dur – Kalk Sisteminin Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 İçin Davranışı

Şekil 6.30’ da görülen simülasyonda ise Hedef aracın şerit değiştirmesi durumu gösterilmektedir. Bu durumda dur-kalk aracı hızlanarak hızını ayarlanan değere kadar getirmektedir.



Şekil 6.30: Senaryo 5 İçin Araç Hızları

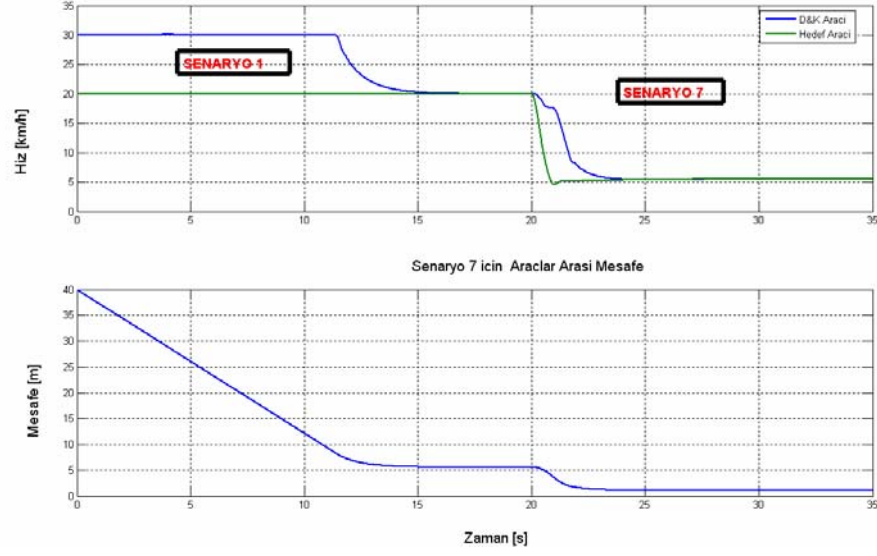
Şekil 6.31’ de ise bu kez Dur-Kalk aracı şerit değiştirmekte ve yeni hedef olmadığından hızını ayarlanan değere kadar artırmaktadır.



Şekil 6.31: Senaryo 6 İçin Araç Hızları

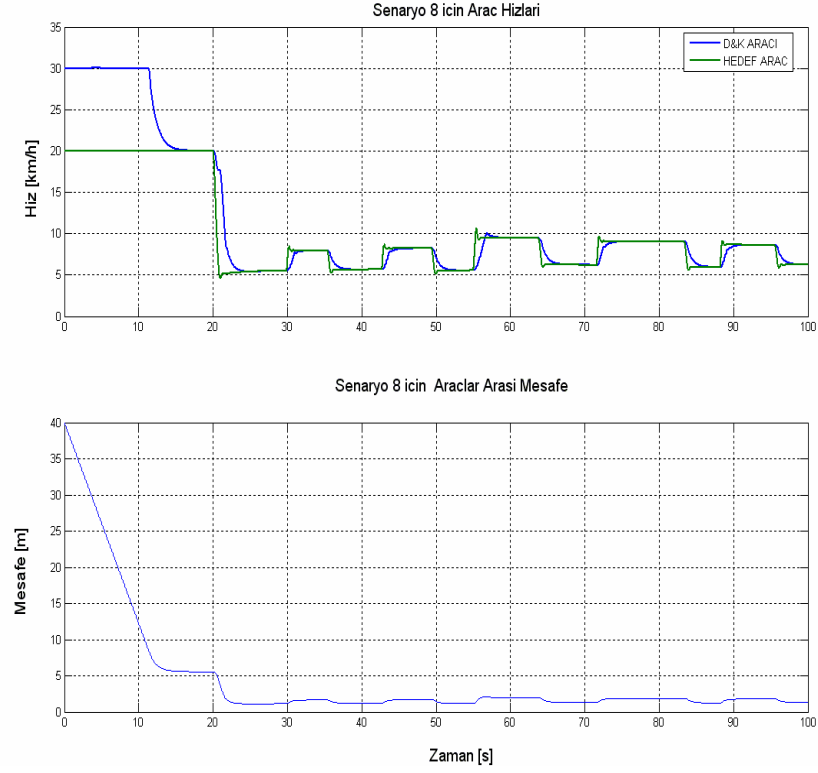
Senaryo 7’ de ise 5 km/saat hızla giden araç durmuş kabul edilmektedir. Şekil 6.32’ de bu senaryonun hız ve mesafe grafikleri görülmektedir. Görüldüğü üzere Senaryo 7

başladıktan hemen sonra $T_h = 0.5$ saniye'ye indirilmekte bu yüzden mesafe kontrolü için kısa bir süre beklenmektedir.



Şekil 6.32: Senaryo 7 için Araç Hızları ve Mesafeleri

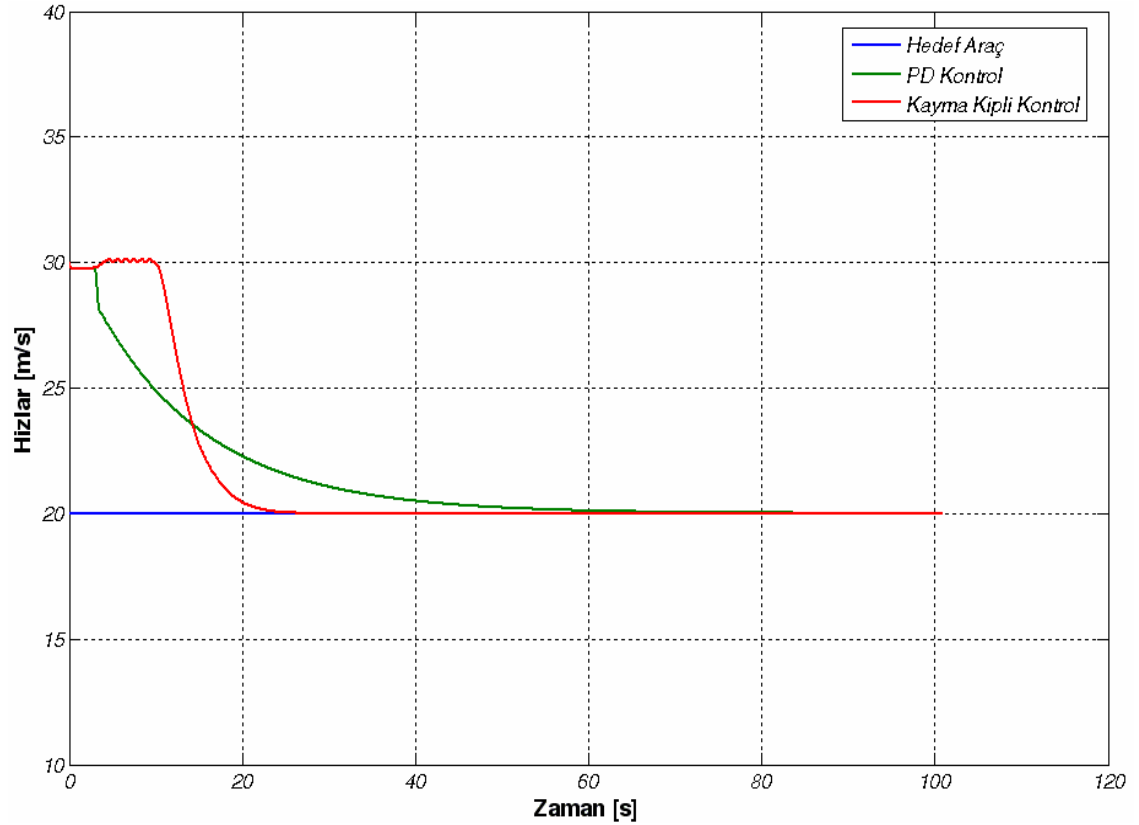
Son olarak da Senaryo 8 için hedef araç dur-kalk yapmakta ve hızını değişik değerler arasında değiştirmektedir. Bu durumda araçlar arası mesafe ve konum durumu da Şekil 6.33' de görülmektedir.



Şekil 6.33: Senaryo 8 için Araç Hızları ve Mesafeleri

6.3 PD Kontrol ve Kayma Kipli Kontrolün Karşılaştırılması

Bu noktada kullanılan iki farklı kontrolcünün farkları ortaya koyulacaktır. Öncelikle iki kontrol yöntemi de Senaryo 2’ de aynı hedef araç hızına tabi tutularak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre, $t = 0$ saniye’de 180 metreden $V_{arka} = 30$ m/s ve $V_{ön} = 20$ m/s olarak başlayan senaryo da elde edilen sonuçlar Şekil 6.34, Şekil 6.35 ve Şekil 6.36’ da karşılaştırılmıştır.

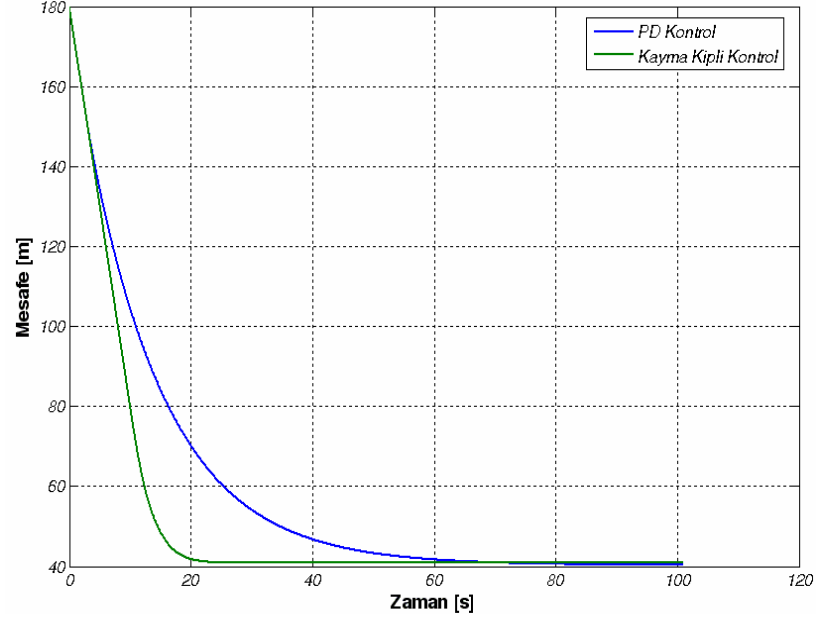


Şekil 6.34: PD kontrol ve Kayma Kipli Kontrol’ün Hız Sonuçlarının Karşılaştırılması

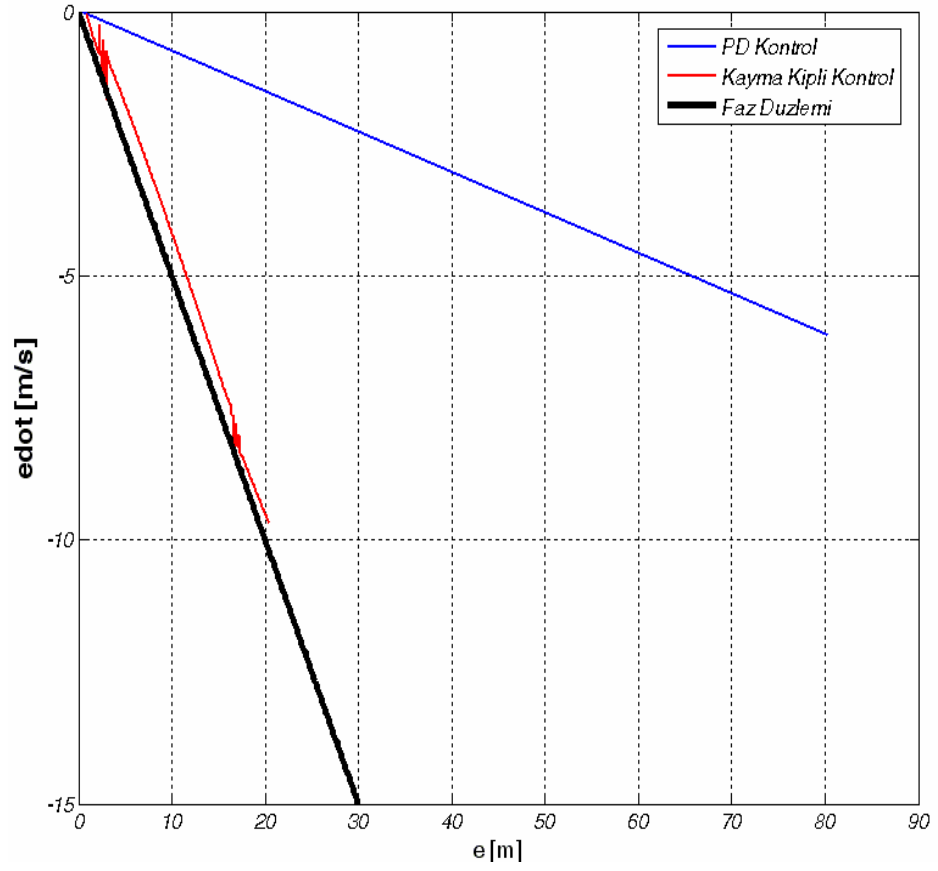
Bu senaryo sonucunda görülen kayma kipli kontrol ile takip süresi önemli derecede azaltılmıştır. Kayma kipli kontrol ile aynı hızdaki hedef araca yaklaşık 15 saniyede yaklaşıırken, PD kontrol ile bu süre 55 saniye kadardır. Bu durumda, Kayma Kipli Kontrol ile daha agresif bir yaklaşma sağlanırken, PD ile daha yumuşak bir yaklaşma elde edilmektedir. Ancak iki kontrolcü de aynı ivme sınırlarına sahiptir. Bu yaklaşma sırasında araçlar arası mesafe ise Şekil 6.35’ de görülmektedir. Yine bu grafikten de görüldüğü üzere, istenen mesafe olan 40 metre, yani 2 saniyelik zaman aralığı değerine, daha çabuk ulaşan Kayma Kipli kontrol kullanan modeldir.

Bu durumu ifade etmek için son olarak takip senaryosu, faz diyagramına aktarılmıştır. Şekil 6.35’ de bu senaryo görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi

PD kontrol de lineer bir yüzey ile orijine yaklaşmakta, ancak yüzeyin eğimi kayma kipli kontrole göre daha küçüktür. Bu da takibi tamamlama süresini artırmaktadır.

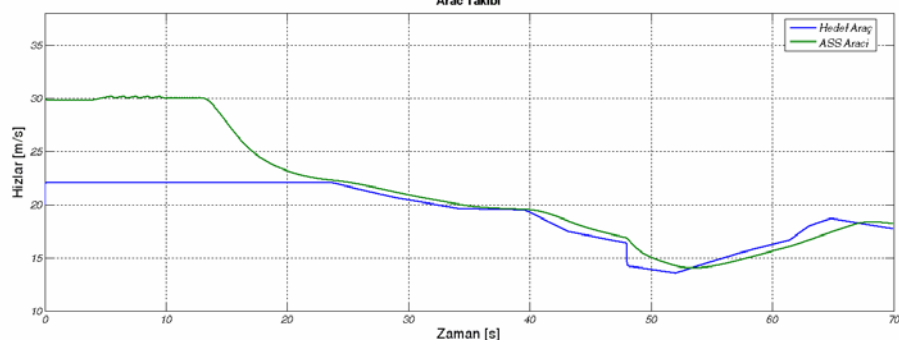


Şekil 6.35: PD kontrol ve Kayma Kipli Kontrol'ün Mesafe Sonuçlarının Karşılaştırılması



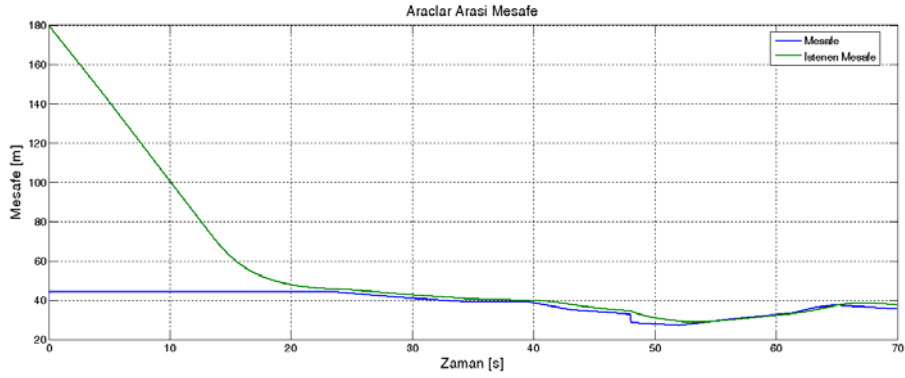
Şekil 6.36: PD kontrol ve Kayma Kipli Kontrol'ün Faz Diyagramında Karşılaştırılması

Adaptif Seyir Sistemi, yukarıda bahsedilen senaryolardan bir çoğu ile gerçek hayatta karşılaşmaktadır. Ancak bu senaryola gerçekleşirken hedef araç hızları simülasyonlardaki gibi sabit veya belirli değerler arasında değişen bir profil izlemez. Bu bağlamda tasarlanan ASS kontrol sistemi, daha değişken bir hedef araç hızına tabi tutulmuştur. Bu simülasyon ile elde edilen araç hızları, Şekil 6.37’ de görülmektedir.



Şekil 6.37: Değişken Hedef Araç Hızı ile Takip

Bu takip sırasında ASS aracı hedef aracın hızına ayak uydurabilmektedir. Aracın pozitif ivme sınırı $+1 \text{ m/s}^2$, negatif ivme sınırı ise -3 m/s^2 olduğundan yavaşlama sırasında hedef araç hızını takip etmede daha iyi olduğu görülmektedir. Bu takip sırasında araçlar arası mesafe, ve istenen mesafe Şekil 6.38’de görülmektedir.



Şekil 6.38: Değişken Hedef Araç Hızı ile Takip Sırasında Araçlar Arası Mesafe

Buna göre araçlar arası mesafe de istenen değere yakın değerlerde seyretmektedir.

7. SİMÜLATÖR TASARIMI

Bu tez çalışması sırasında tasarlanan Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur-Kalk sistemlerine ait araç modelleri, sensör modeli ve kontrol sistemleri aynı zamanda bir simülatör üzerinde kullanılmıştır.

Yapılan daha önceki bölümlerde incelenen kontrolcü geliştirme çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında offline olarak yapılan simülasyonlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaları gerçek zamanlı bir sistem üzerinde denemek ve insan içeren simülasyonlar yapmak üzere Simulink' in altındaki xPC Target toolbox' ı kullanılmıştır. Böylece geliştirilen kontrol sistemi gerçek insan girişleri ile sınanarak kontrolcü etkileri gerçeğe daha yakın bir ortam üzerinde denenmiş olur.

xPC Target eklentisi kullanmak gerçek zamanlı simülasyon uygulamaları için uygun bir yöntemdir. Kullanılan iki adet PC sayesinde, ekstra bir donanım olmadan gerçek zamanlı bir çalışma yapılmış olur. xPC Target sisteminin otomatik kod üretme özelliği sayesinde yapılan modeller otomatik olarak C koduna çevrilir ve uygulama gerçek zamanlı olarak çalıştırılır [4].

Simülatörün görsellik kısmı da önemli bir unsurdur. Zira yapılan çalışmanın gerçekçiliği ve sürücüye verdiği his açısından önem arz eder. Kurulan simülatörün görsellik öğeleri de gene MATLAB/Simulink altında ayrı bir kütüphane olarak bulunan Virtual Reality toolbox ile gerçekleştirilmiştir [4].

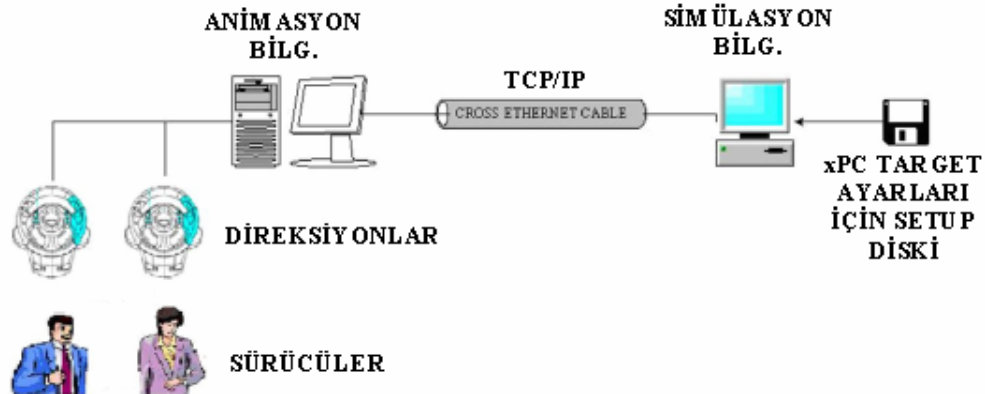
Kurulan simülatörün önemli bir özelliği de iki kullanıcı olmasıdır. Hem hedef araç komutları hem de seyir sistemli araç komutları dışarıdan verilmesi sağlanmıştır. Buna göre sürücülerden biri öndeki aracı kontrol ederken diğeri de arkadaki aracı yani ASS aracının direksiyon girişlerini sağlamaktadır. Öndeki aracın 'Seyir Sistemi' modunun kapalı olması ve sürüşün tamamen sürücü girişleri ile gerçekleşmesi durumunda aracın gaz ve fren girişleri gene pedallar ile sağlanmaktadır. ASS aracında ise araç hızı otomatik ayarlandığından bu tip bir girişe gerek yoktur.

Bu amaçla kullanılan iki adet oyun tipi direksiyon ile sürücüler sistemin bir parçası haline gelmişlerdir [4].

7.1 xPC Target Yapısı ve Gerçek Zamanlı Simülasyon

Gerçek zamanlı bir simülasyon yapmak için tek bir PC uygun değildir. Zira özellikle Windows işletim sistemi kullanan bilgisayarda CPU üzerindeki işlemler belli bir öncelik sırasına göre gerçekleştirilmektedir. Örneğin klavye, mouse ya da ekran gibi çevresel birimlere ait işlemler bilgisayar işlemcisinde diğerlerine göre daha öncelik taşımaktadır. Windows XP işletim sisteminde bu önceliklerin değiştirilmesi mümkün olmayıp dolayısı ile işlem sırası tamamen işletim sisteminin denetimi altındadır. Dolayısı ile MATLAB yazılımının PC'nin işlemcisinde gerçek zamanlı olarak çalışması mümkün değildir. Bu nedenle xPC Target yapısı kullanılmaktadır.

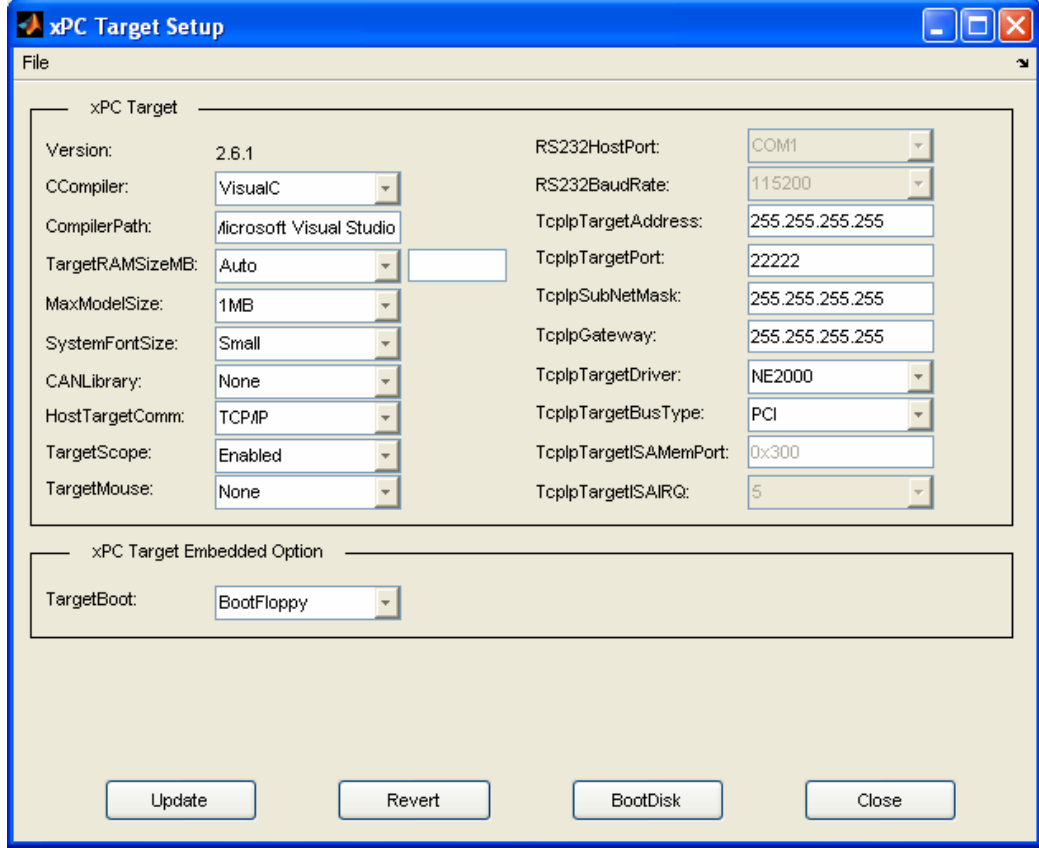
Bu yapıda iki PC kullanılmaktadır. Bunlardan 'target' yani hedef bilgisayar tamamen simülasyonun gerçek zamanlı olarak çalışması için kullanılmakta, 'host' denilen ana bilgisayar ise kullanıcı girişleri ile görsellik öğelerinin oluşturulmasına adanmaktadır. Bu iki PC birbirleri ile TCP/IP protokolü ile haberleşerek veri alışverişi sağlanmaktadır. Bu bağlantı ethernet kartları üzerinden bir kros ethernet kablosu ile gerçekleştirilmiştir. Elbette bu haberleşme de bazı gecikmeler olacak ve tam anlamı ile gerçek zamanlı bir çalışma olmayacaktır. Ancak network ağı hızının saniyede 100 Mega bitlik bir veri alışverişine izin verdiği düşünülür ise, bu gecikme ihmal edilebilir bir değerde kalacaktır. xPC Target kullanılarak oluşturulmuş yapının genel görünümü Şekil 7.1' de görülmektedir.



Şekil 7.1: xPC Target Yapısı [4]

Simülasyonun hedef bilgisayarda gerçek zamanlı olarak çalıştırılabilmesi ve hedef bilgisayarın tamamen matematiksel modelin çözümüne ayrılması için, bu bilgisayarda bir işletim sistemi niteliğinde olan yeni bir KERNEL yüklenmektedir. xPC Target için hazırlanmış bu KERNEL, MATLAB altında oluşturulmakta ve hedef bilgisayara bir floppy disket ile yüklenmektedir. Hedef bilgisayar bu disket ile

açılmakta ve uygulama ekranı başlatılmaktadır. Şekil 7.2’ de başlangıç disketinin oluşturulması için xPC Target düzeninin ayarlarının yapıldığı setup ekranı görülmektedir. Burada görüldüğü üzere hedef bilgisayarın IP’si ve diğer network ayarlamalarının girilmesi gerekmektedir.



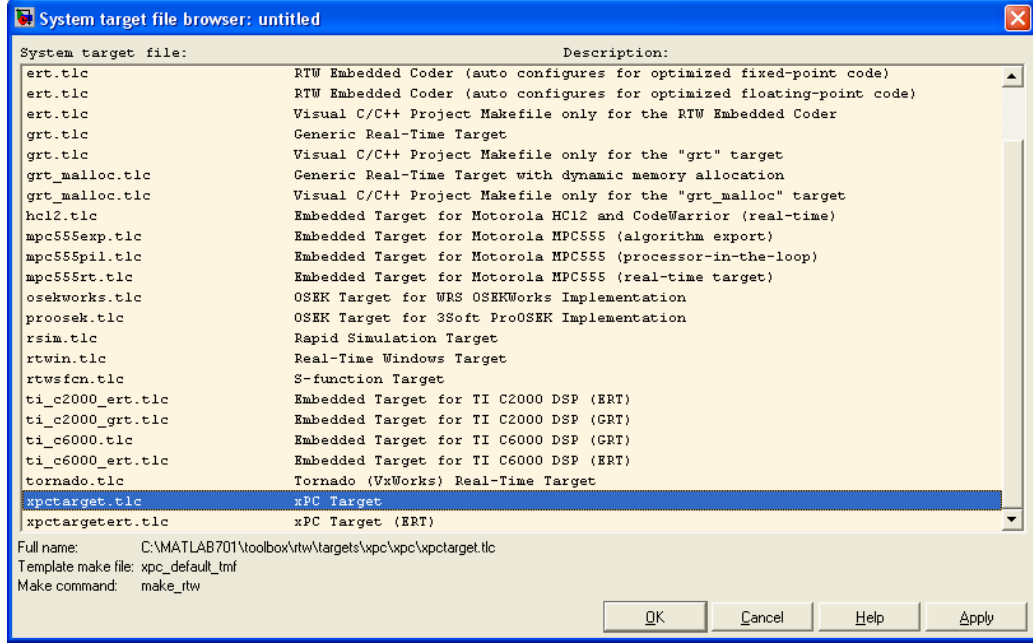
Şekil 7.2: xPC Target İçin Setup Ekranı

Bundan sonra yapılan modelin ‘build’ edilmesi yani otomatik C kodunun oluşturulmasının sağlanmasıdır. Bu işlem sırasında Simulink’ in Real Time Workshop için hedef dosya olarak xPC Target ile ilgili dosya Şekil 7.3’ de görülen menüden seçilir.

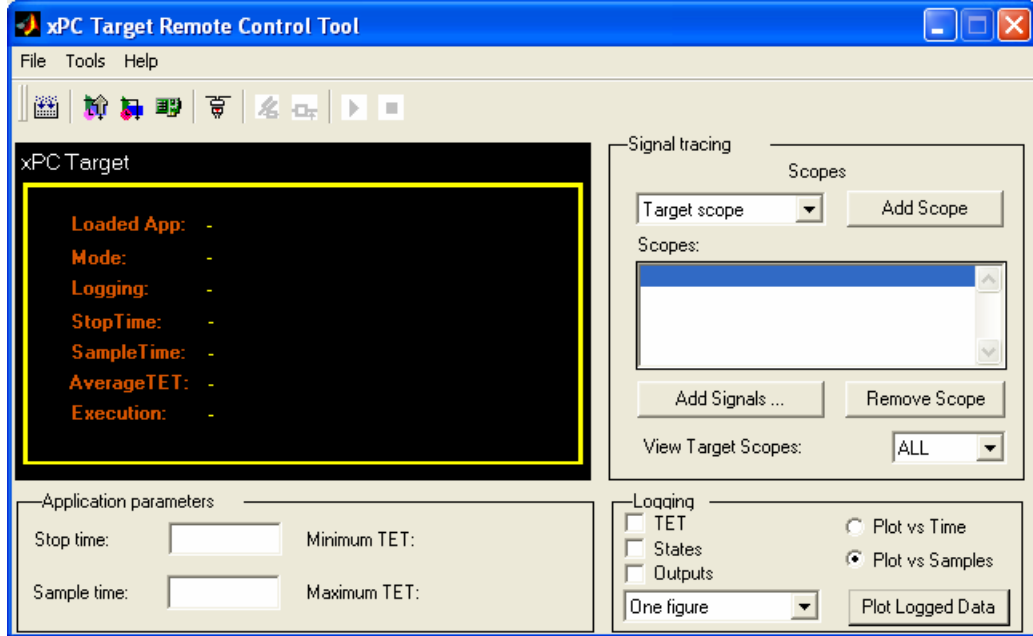
Bu sağlandıktan sonra oluşturulan kod hedef bilgisayara download edilir. Simülasyonun gerçek zamanlı olarak yapılabilmesi için çözücünün sabit adımlı bir çözücüye getirilip belirli bir örnekleme zamanının seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma için 1 ms’ lik bir örnekleme zamanı uygun bulunmuştur.

Hedef bilgisayar ile ana bilgisayar da veri alışverişi çift yönlüdür. Hedef bilgisayardan ana bilgisayara olan veriler görsel öğelere ait değerler olurken, ana bilgisayardan hedef bilgisayara olan veriler ise sürücü girişleridir. Hedef bilgisayar

üzerinde simülasyon başlatma durdurma, hedef bilgisayarın ekranında grafik oluşturma vs. gibi işlemleri gerçekleştirmek adına, ana bilgisayarda bir kontrol penceresi açılmıştır. Bu kontrol ekranı ise Şekil 7.4’ de görülmektedir.



Şekil 7.3: xPC Target Seçim Menüsü

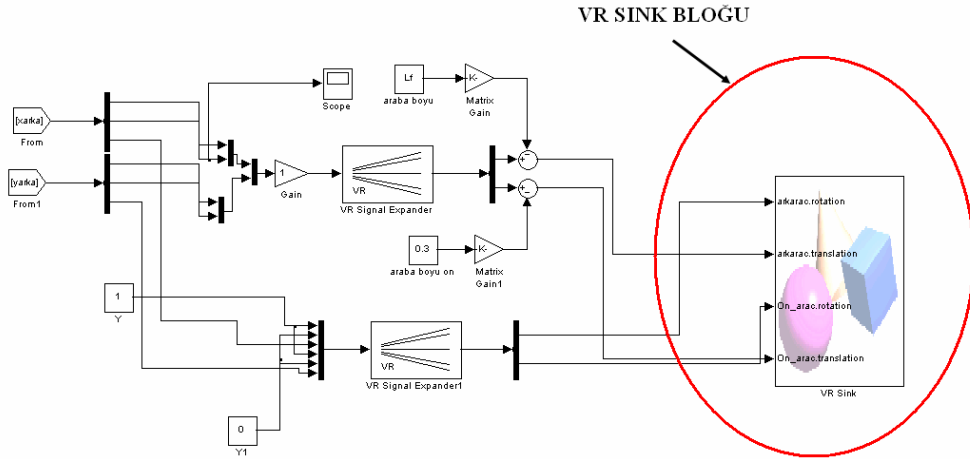


Şekil 7.4: xPC Target Uzaktan Kontrol Ekranı

7.2 Görsel Öğelerin Eklenmesi

Simülör tasarımı önemli unsurlardan biri de görsel öğelerin tasarlanması ve modele uyarlanmasıdır. Simülör kullanıcısı modelde gerçekleşen olayların geri beslemesini görsellik vasıtası ile ayırt etmekte ve bunu uygun girişleri üretmektedir. Bu durumda kullanıcı girişlerinin etkisinin gerçek zamanlı olarak modelden alacak ve bunu görüntüye dönüştürecek bir eklenti yaratmak gerekmektedir.

Bu noktada kullanılan MATLAB/Virtual Reality Toolbox ile dinamik sistemlerin sanal gerçeklik modellerine Simulink ortamında müdahale edilmesi sağlanmaktadır. Bu çerçevede MATLAB/Virtual Reality Toolbox oluşturulmuş 3 boyutlu cisimlerin kimi özelliklerine Simulink modellerindeki sayısal veriler doğrultusunda değiştirilmesine olanak sağlar ve Simulink modeline eklenen bir blok sayesinde bu veriler görselliğe aktarılmış olur. VRML bloğunda kullanılan modeller VRML editöründe oluşturulurken, görsel öğelerin aktarımı VRML Viewer' da oluşturulmaktadır. Şekil 7.5' de görülen blok sayesinde VRML97 formatındaki 3D modellerin modelle etkileşimi sağlanmış olur. VRML yani 'Virtual Reality Modeling Language', ISO standartlarındaki tekst tabanlı bir dildir [62]. Virtual Reality Toolbox bu ortamda oluşturulan 3D modeli inceler ve hangi sinyallerin modele aktarılması gerektiğine bularak Simulink ortamına bir arayüz oluşturur.



Şekil 7.5: VR Sink Bloğu

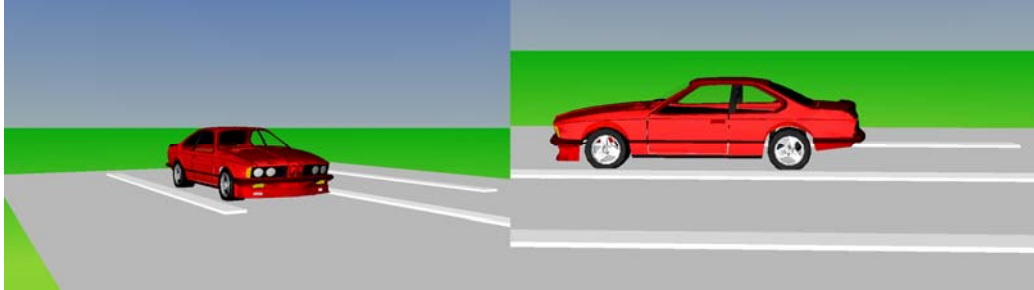
VRML tekst tabanlı bir dil olmasına rağmen, VRBuild adı verilen bir yazılım ile görsel bir editör haline getirilmiştir. Bu programda, programın kütüphanesindeki 3D objeler yaratılan sanal dünya üzerinde yerlerine yerleştirilir. Objeler ya global bir koordinat sistemine göre yerleştirilir yada birbirlerinin eksen takımına göre

konumlandırılırlar. Bunun yanında yazılım 3D objeler tasarlamak içinde bir arayüz sunar.

Seyir sistemlerinin bir simülâtör haline getirilmesi çalışmasında oluşturulan üç boyutlu modeller şu şekildedir: Pist modeli, iki araç modeli, radar modeli, çeşitli çevresel bina ağaç, trafik işareti gibi modeller. Şekil 7.6’ da oluşturulan pist modeli görülmektedir. Şekil 7.7’de de kullanılan araçlardan birine ait görüntü görülmektedir.



Şekil 7.6: Simülâtörde Kullanılan Pist

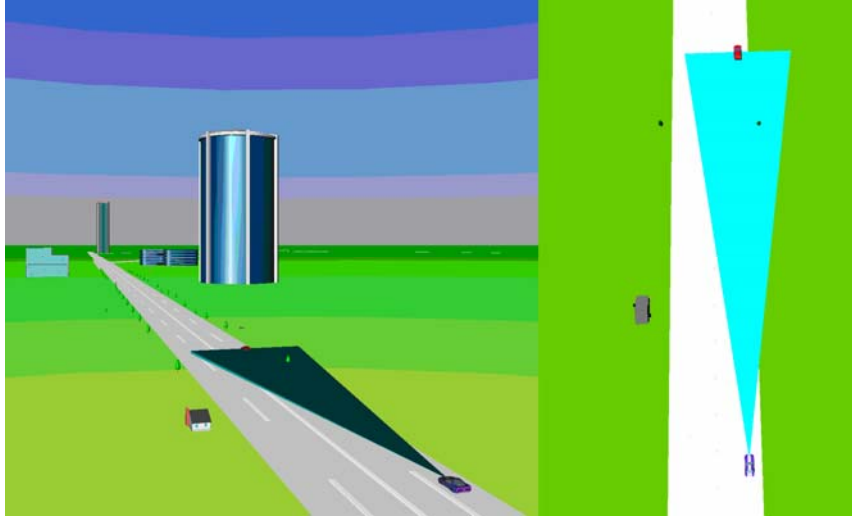


Şekil 7.7: Araç Modeli

Şekil 7.8’ de takip sırasında alınmış bir görüntü görülmektedir. Arka araç radarının görüş alanı da modele dahil edilmiştir.

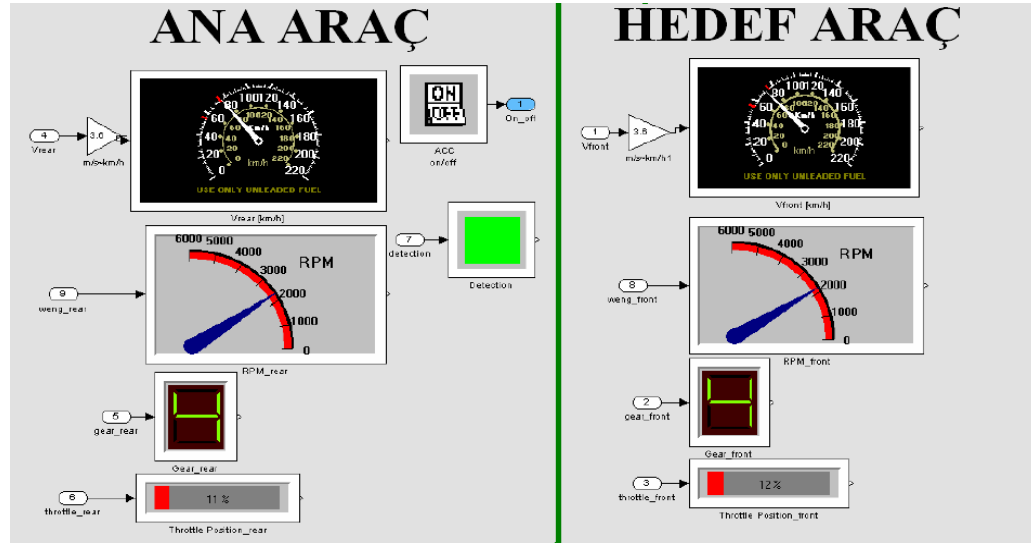
Oluşturulan bu görsel öğelerin modelle eklenmesi daha önce de bahsedilen VR Sink bloğu ile sağlanmıştır. Burada hedef ve ana aracın global eksene göre X ve Y koordinatları ile z ekseninde yaptıkları açı yani Ψ açısı, bu bloğa girilmektedir. Böylece araç modellerinin X ve Y ekseninde ötelenme hareketi ile z yönündeki dönme hareketleri Simulink’ de hesaplanan değerler doğrultusunda 3D modellere yansıtılmış olur.

Simülâtörde Virtual Reality ortamında kullanılan görsel öğelerin yanı sıra, simülâtör kullanıcısına araçlara ait bilgilerin sunulduğu bir gösterge ekranı da yerleştirilmiştir.



Şekil 7.8: Simülâtörde Kullanılan Görüntü

Şekil 7.9’ da görülen ve motor devri, araç hızı, vites, menzil içi uyarısı, kontrolör açma kapama butonu göstergeleri ile oluşturulan bu kısım Simulink altında bulunan Gauge blok seti ile gerçekleştirilmiştir.

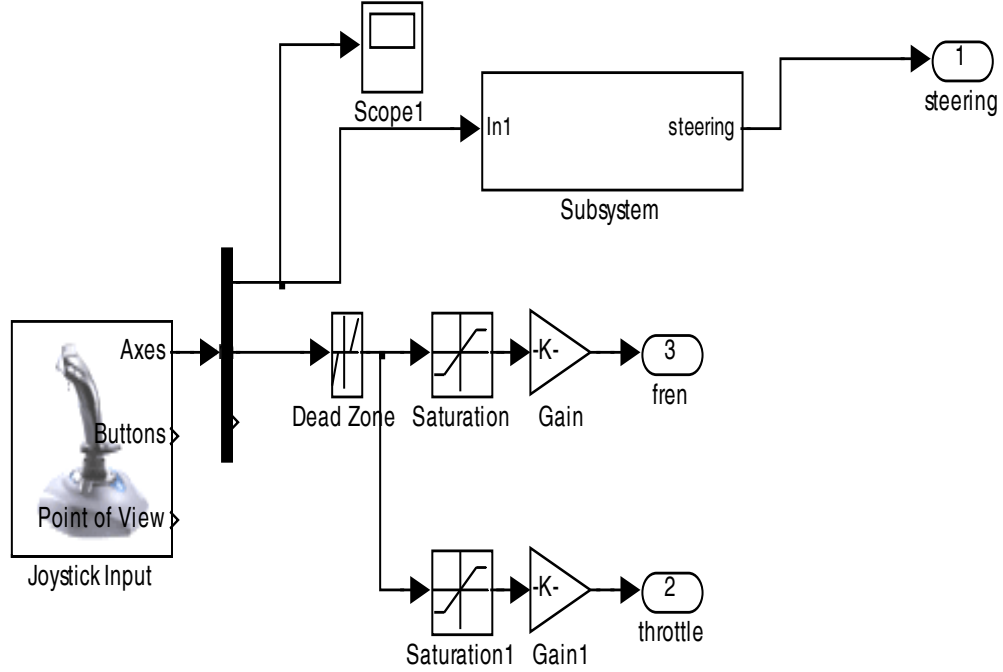


Şekil 7.9: Araç Göstergeleri Arayüzü

7.3 Sürücü Girişlerinin Eklenmesi

Simülâtörün kullanıcı girişleri iki adet oyun tipi Sidewinder direksiyon ve pedal sistemi ile gerçekleştirilmiştir. USB bağlantısı ile ana bilgisayara bağlanan bu Joysticklerden alınan girişler hedef bilgisayarda devam etmekte olan simülasyona

iletilmektedir. Bu girişlerin oluşturulabilmesi için Şekil 7.10’ da görülen ve Simulink altında bulunan Joystick Input bloğu kullanılmıştır. 0-1 arasında değişen joystick çıkışlarını Bu bloğun çıkışlarını normal bir tekerlek açısına indirgemek için bazı katsayılarla çarpılmış ayrıca direksiyonun sıfır pozisyonunda bir dead zone ayarlanarak küçük direksiyon hareketlerinin dikkate alınmaması sağlanmıştır. Her ne kadar ana aracın hızlanma ve yavaşlama hareketleri otomatik olarak yapılırsa da pedal girişleri de eklenerek manuel bir çalışma ortamı da sağlanmış olur.

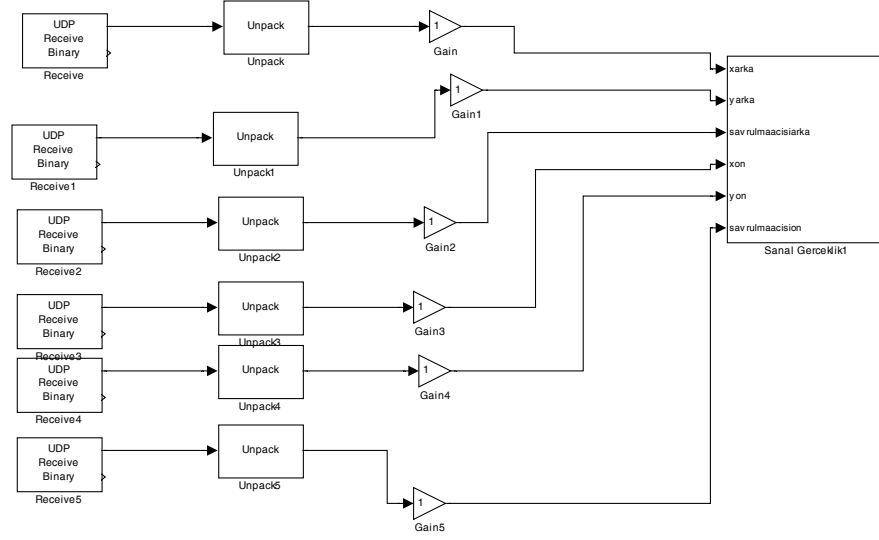


Şekil 7.10: Joystick Girişi

7.4 Hedef Bilgisayar ile Haberleşmek için yapılan Eklentiler

Görsellik, dinamik çözümleme ve sürücü girişleri bir arada çalışırken iki Simulink modeli aynı anda çalışmaktadır. Bunlardan ilki hedef bilgisayara download edilen model, diğeri ise hedef bilgisayardaki çözümlemenin doğrultusunda çalışan görsellik modelidir. Sürücü girişleri burada ilk modelin bir parçasıdır.

Görselliğin çalışması için hedef bilgisayarla haberleşmek ve oradan ön ve arka aracın dönme ve ötelenme verilerini almak için UDP blokları eklenmiştir. Bunlar belirli portlardan veri akışının sağlamaktadır. Şekil 7.11’ de eklenen UDP blokları görülmektedir.



Şekil 7.11: UDP Blokları ile Haberleşme

7.5 İTÜ-MEKAR Simülâtörü

İTÜ-MEKAR Simülâtörü sabit tabanlı bir platform üzerine yerleştirildikten sonra, projektör sistemi de eklenerek son halini almıştır (bkz. Şekil 7.12). Bu simülâtörün ayırt edici en önemli özelliği iki kullanıcı olmasıdır. İki kullanıcı sistem ile aynı anda sürücü girişleri uygulanmakta ve insan içeren gerçek zamanlı simülasyonlar yapılmaktadır. Böylece, Adaptif Seyir Sistemleri Kontrolcüsünün gerçek sürücü girişleri ile davranışı ortaya koyulmaktadır. Offline simülasyonlara göre, yapılan gerçek zamanlı simülasyonlar sayesinde, şerit değiştirme gibi araç manevraları daha gerçekçi bir şekilde yapılmaktadır.

Simülâtörün önemli ve ayırt edici özelliklerinden biri de maliyet ve kolay kurulabilirliğidir. Yazılım geliştirme, tamamen MATLAB ortamında yapıldığından, ek bir masraf getirmemekle beraber sistem nispeten ucuz ve yüksek olmayan bir performansa sahip hedef bilgisayar görevi gören bir PC ve bir de görselliği ve sürücü girişlerini sağlayacak ve daha yüksek performanslı ikinci bir PC ile kurulmuştur. Ayrıca tüm yazılım Simulink ortamında kurulduğundan yazılım oldukça modüler ve geliştirmeye müsaittir. Ayrıca kontrol sistemi blokları ayrı tutulmuş böylece, kontrol yapısının ağır vasıta gibi başkatipte araç modelleri ile denenmesi mümkün kılınmıştır. Ayrıca daha fazla sürücülü konvoy modelleri oluşturmak ve bunları simülâtör platformuna taşımak ileriki çalışmalar açısından mümkündür.

Oluşturulan bu sistem ile Adaptif Seyir Sistemleri ve Dur-Kalk Sistemleri ve yapılan tasarım simülâtöre aktarılmıştır.



Şekil 7.12: İTÜ-MEKAR Simülâtörü [4]

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile Adaptif Seyir Sistemi ve Dur-Kalk sistemleri için kontrolcü tasarımı yapılmıştır. Yapılan kontrolcüler, oluşturulan araç modellerinde sınanarak performansları değerlendirilmiştir. Buna göre, tasarlanmış hiyerarşik kontrol yapısı, hem Adaptif Seyir Sistemi senaryolarında, hem de şehiriçi dur-kalk senaryolarında başarılı sonuçlar vermiş ve istenen performans elde edilmiştir.

Kurulan simülasyon modelleri, kontrol sisteminin gerçeğe yakın bir duruma maruz bırakılması açısından, detaylı bir şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca kontrol sisteminin gerçek bir araçta müdahale etmesi gereken hemen hemen tüm alt yapıların dinamik modelleri bir araya getirilerek, kontrol sisteminin gerçek bir araçta maruz kalacağı tüm durumlar sağlanmaya çalışılmıştır. Hiyerarşik bir kontrol yapısı oluşturulması, sistemin karşılaştığı tüm senaryoları ayırt edebilecek bir yapının oluşturulmasına olanak sağlamış, ayrıca kontrol sisteminin araçta değişik alt birimlere müdahale edebilmesi sağlanmıştır.

Bu çerçevede hem yüksek hem de düşük hız aralıklarında ASS ve Dur-Kalk sistemi istenen ve hedeflenen sonuçları vermiştir. Bunun yanında sistem bir simülatör haline getirilerek, iki kullanıcı bir yapı oluşturularak, simülasyon sürecine insan da dahil edilmiş ve gerçekleşen olaylara görsellik özelliği kazandırılmıştır.

Bu tez çalışması dahilinde, bilgisayar ortamında bir kontrol sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Tasarlanan bu kontrol sisteminin gerçek bir araçta değerlendirilmesi ve elde edilmiş sonuçların gerçek trafik ortamında da oluşturulması sağlanabilir. Elbette böyle bir durumda, aracın alt birimlerine müdahale edilirken gerekli modifikasyonlar, kontrol yapısının içine dahil edilmelidir. Bunun yanında gerçek hayatta kontrol sisteminin maruz kalacağı sensör gürültüsü veya bozucu etkenler söz konusudur ve kontrol sisteminin bir araca adapte edilmesinde bu etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca, simülasyonlarda olduğu gibi sistem sadece bir hedef araçla ilgilenmemekte, etrafta potansiyel birçok hedef bulunmaktadır. Bu durumların da, özellikle sistemin senaryo alt yapısına dahil edilmesi gerekmektedir.

Gelecekte Otomatik Seyir Sistemleri araçların birçoğunda yerleştirilmiş olacak ve yaygın bir şekilde kullanılacak bir sistem haline gelecektir. Bu durumda bu çalışmanın bir devamı olarak, bu sistemlerin bir arada kullanımının trafik üzerinde etkilerinin araştırılması, ya da trafiğin kapasitesinin artırılması için bu sistemlerin nasıl optimize edilmesi gerektiği üzerinde çalışma yapılması gerekir. Ayrıca, bu sistemlerle oluşturulacak, konvoy sistemleri ve konvoyda araçların birbirleri ile haberleşmesinin nasıl bir etki yaratacağı araştırılabilir.

Dur-Kalk sistemleri üzerine ise bu çalışma bir temel niteliğindedir. Sistemin sensör yapısının geliştirilmesi ve görüntü işleme sistemlerinin araştırılarak, radar ve kamera birleşimi ile kontrol yapısının nasıl zenginleştirileceği araştırılabilir. Bu sistemlerde konvoy haline getirilmesi halinde mikroskopik ve makroskopik açıdan ne gibi avantajlar sağlanacağı incelenebilir.

Son olarak da konvoy sistemlerinde, insan etkisinin araştırılması adına üçlü yada daha fazla konvoy sistemlerinin simülatöre aktarılması bu çalışmanın bir devamı niteliğinde olabilir. Böylece çok kullanıcı simülörler oluşturulması mümkündür.

KAYNAKLAR:

- [1] **Kural, E., Hacibekir, T. ve Aksun Güvenç, B.,** 2005. State of the Art of the Adaptive Cruise Control and Stop and Go Systems, *1st AUTOCOM Workshop on Preventive and Active Safety Systems for Road Vehicles*, ITU, İstanbul,19-20 Eylül, s. 229-236.
- [2] **Devlet İstatistik Enstitüsü,** Ulaştırma Ve Haberleşme İstatistikleri,2004.
- [3] **National Center for Statistics and Analysis,** Traffic Safety Facts, A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, 2004.
- [4] **Aksun Güvenç, B. And Kural E.,** 2006, Adaptive Cruise Control Simulator – A low-cost, multiple-driver-in-the-loop simulator, *IEEE Control System Magazine*, 26, 42-55.
- [5] Trends in Drive Control Systems and Hitachi Group Initiatives, *Hitachi Review* **44**, 210-211.
- [6] **Ioannou, P. A.,** 1997, Automated Highway Systems, Plenum Pres, New York.
- [7] www.path.berkeley.edu.
- [8] **Axehill, D. and Sjöberg J.,** 2003, Adaptive Cruise Control for Heavy Vehicles, *Yüksek Lisans Tezi*, Linköpings Universitet, Linköpings.
- [9] **Eckersten, C. and As, B.-O.,** 1997. A High Performance Automotive Radar For ACC And Collision Warning/Avoidance, *IEEE Conference on Intelligent Transportation System*, Boston, MA,9-12 November, pp 446-451.
- [10] www.audi.it
- [11] **Audi AG,** 2002. Adaptive Cruise Control im Audi A8 Konstruktion und Funktion,Germany
- [12] **Verhovens, P. Naab K., and Adiprasito, B.,** 2000. Stop and Go Cruise Control, *FISITA World Automotive Congress*, Seoul, Korea, 12-15 June.
- [13] **Hedrick, J.K., McMahon, D., Narendra, V. and Swaroop, D.,** 1991. Longitudinal Vehicle Controller Design For IVHS Systems, *Proceedings of the 1991 American Control Conference*, Boston, Massachusetts, June 1991, pp. 3107- 3112.

- [14] **Haskara, İ., Hatipoglu, C. and Özgüner, Ü.**, 1997. Combined Decentralized Longitudinal And Lateral Controller Design For Truck Convoys, *Intelligent Transportation System, ITSC 97. IEEE Conference on* 9-12 November 1997, Boston, MA, pp: 123 – 128.
- [15] **Lu, X.-Y., Tan, H.-S., Sladover, S. E., and Hedrick, J.K.**, 2000. Implementation Of Longitudinal Control Algorithm For Vehicle Merging, *Proceedings of AVEC 2000 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, Ann Arbor, Michigan, August 22-24.
- [16] **Miyahara S., Sielagoski, J. and Ibrahim, F.**, 2005. Radar-Based Target Tracking Method: Application To Real Road, *SAE World Congress*, Detroit, Michigan, 11-14 April, SAE Paper No: 2005-01- 1478.
- [17] **Miyahara, S.**, 2003. A Method For Radar-Based Target Tracking In Nonuniform Road Condition, *SAE World Congress*, Detroit, Michigan, 3-6 March, SAE Paper 2003 –01-0013.
- [18] **Hatipoglu, C., Ozguner, U., Sommerville, M.**, 1996. Longitudinal Headway Control Of Autonomous Vehicles. *Control Applications, Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on*, Dearborn, MI, 15-18 September, pp:721–726.
- [19] **Fancher, P. and Bareket, Z.**, 1994, Evaluating Headway Control Using Range Versus Range-Rate Relationship, *Vehicle System Dynamics*, **23**, pp. 575-596
- [20] **Yi, K. and Kwon, Y.D.**, 2001, Vehicle-To-Vehicle Distance And Speed Control Using An Electronic-Vacuum Booster, *JSAE Review*, **22**, pp:403–412.
- [21] **Fujioka, T. and Suzuki, K.**, 1994, Control Of Longitudinal And Lateral Platoon, *Vehicle System Dynamics*, **23**, pp: 647-664.
- [22] **Hedrick, J.K., Tomizuka, M., Varaiya, P.**, 1994, Control Issues in Automated Highway Systems, *Control System Magazine, IEEE*, **14**, pp:21-32.
- [23] **Narendran, V.K. and Hedrick, J.K.**, 1993, Transition Maneuvers In Intelligent Vehicle Highway Systems, *Proceedings of the 32nd Conference on Decision and Control*, San Antonio, Texas, December.
- [24] **Seiler, P., Pant, A. and Hedrick, J.K.**, 2004, Disturbance Propagation In Vehicle Strings, *IEEE Transactions On Automatic Control*, **49**, pp: 1835-1842.

- [25] **Girard, A.R., James, I.B.S., Misener, A. and Hedrick, J.K.**, 2001, A Control Architecture for Integrated Cooperative Cruise Control and Collision Warning Systems, *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control*, Orlando, Florida USA, December, pp:1491-1496.
- [26] **Choi, S. and Hedrick, J.K.**, 1995, Vehicle Longitudinal Control Using an Adaptive Observer for Automated Highway Systems, *Proceedings of the American Control Conference*, Seattle, Washington, 21-23 June, pp: 3106 – 3110.
- [27] **Ioannou, P. and Xu, Z., Eckert, S, Clemons, D. and Sieja, T.**,1993. Intelligent Cruise Control: Theory and Experiment, *Proceedings of the 32nd Conference on Decision and Control* Texas, 15- 17 December, pp: 1885-1890.
- [28] **Yanakiev, D., Eyre, J. and Kanellakopoulos, I.**, 1998, Longitudinal Control Of Heavy Duty Vehicles: Experimental Evaluation, *California PATH Research Report: PAPER: UCB-ITS-PRR-98-15*.
- [29] **Chien, C.C., Ioannou, P. and Lai, M.C.**, 1994, Entrainment and Vehicle Following Controllers Design for Autonomous Intelligent Vehicles, *American Control Conference*, 29 June-1 July, **1**, pp: 6 –10.
- [30] **Yanakiev, D. and Kanellakopoulos, I.**, 1996, Speed Tracking and Vehicle Follower Control Design for Heavy-Duty Vehicles, *Vehicle System Dynamics*, **25**, pp:251–276.
- [31] **Lu, X.-Y. and Hedrick, J.K.**, 2003, Longitudinal Control Design and Experiment for Heavy-Duty Trucks, *American Control Conference, Proceedings of the 2003*, **1**, 4-6 June, pp: 36 – 41.
- [32] **Lu, X.-Y. and Hedrick, J. K.**, 2002, ACC/CACC - Control Design, Stability and Robust Performance, *Proceedings of the American Control Conference*, **6**, May, pp: 4327-4332.
- [33] **Xu, Q., Hedrick, J. K., Sengupta, R., Werf, J.V.**, 2002, Effects of Vehicle-Vehicle / Roadside-Vehicle Communication on Adaptive Cruise Controlled Highway Systems, *Vehicular Technology Conference Proceedings VTC 2002-Fall 2002*, **2**, pp: 1249-1253.
- [34] www.volvoclub.org.uk
- [35] **Hedrick, J.K., Godbole, D. and Rajamani, R.**, “Stop and Go Cruise Control Final Report.

- [36] **Canale, M. and Malan, S.**, 2002, Tuning of Stop and Go Driving Control Strategies Using Driver Behavior Analysis, *IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, **2**, 17-21 June, pp: 407-412.
- [37] **Yi, K., Ilki, M. and Young, D.K.**, 2001, A Vehicle To Vehicle Distance Control Algorithm for Stop-And-Go Cruise Control, *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, Oakland,USA, pp: 478-482.
- [38] **CARSENSE**, 2001, Detection of Car Environment at Low Speed Driving, <http://www-rocq.inria.fr/imara/docs/SATCAR-CFA.pdf>
- [39] **Jones, W.,D.**, 2001, Keeping Cars From Crashing, *IEEE Spectrum*, **38**, pp: 40-45.
- [40] **Knooll, P.**, 2003. Radar Sensor, in *Sensor for Automotive Technology*, pp: 372-385, Eds: Marek, J., Trah, H.-P., Suzuki and Y., Yokomori, I., Willey-VCH, Weinheim.
- [41] **Aboue-Jaoude, R.**, 2003, ACC Radar Sensor Technology, Test Requirements, and Test Solutions, *Intelligent Transportation Systems*, IEEE Transactions, **4**, pp: 115-122.
- [42] www.bosch.com
- [43] <http://www.hella.com/>
- [44] **Johansson, M., and Nordin, J.**, 2002, A Survey of Driving Simulators and their Suitability for Testing Volvo Cars, Master Thesis, Department of Machine and Vehicle Systems, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg.
- [45] **Bertollini, G., P., Johnston, C. M., Kuiper, J.W., Kukula, J.C., Kulczycka, M.A., Thomas, W.E.**, 1994, The General Motor Driving Simulator, *International Congress and Exposition*, Detroit, Michigan, February – March.
- [46] **Gruening, J., Bernard, J., Clover, C., Hoffmeister, K.**, 1998, Driving Simulation, *SAE Transactions Paper No: 980223*
- [47] www.flsimulator.com
- [48] **Swedish National Road and Transport Research Institute – VTI**, World Class Driving Simulator, www.vti.se.
- [49] <http://www.ftm.mw.tum.de>
- [50] <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>

- [51] [http:// www.tfhr.gov/pubrds/winter94/p94wi19.htm](http://www.tfhr.gov/pubrds/winter94/p94wi19.htm)
- [52] **Alicandri, E.**, 1994, HYSIM: The Next Best Thing to Being on the Road, <http://www.tfhr.gov/>.
- [53] **Verburg, D.J., Knaap, A.C.M. and Ploeg J.**, 2002, Developing and Testing Intelligent Vehicles, *IEE Intelligent Vehicle Symposium, (IV'2002)*, June 18-20, Versailles, France.
- [54] <http://www.tno.nl/>
- [55] **Reymond, G., Heidet, A., Canry, M. and Kemeny, A.**, 2000, Validation of Renault's Dynamic Simulator for Adaptive Cruise Control Experiments, *Proceedings of the Driving Simulation Conference*, Paris, September, pp: 181-191
- [56] **Ulsay, A.,G.**, 2002, Vehicle Active Safety Systems For Preventing Road Departure Accidents, *Proceedings of ESDA2002: 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Istanbul, Turkey, July 8-11
- [57] **Chen, L., K. and Ulsay, A.,G.**,2006, Experimental Evaluation of a Vehicle Steering Assist Controller Using a Driving Simulator, *Vehicle System Dynamics*, **44**,pp: 223-245.
- [58] **Lee, K. and Peng, H.**, 2002, A Longitudinal Human Driving Model For Adaptive Cruise Control Performance Assessment, *Proceedings of IMECE 2002: Symposium on Advanced Automotive Technologies*, November 17-22, New Orleans.
- [59] **Gillespie, T.,D.**, 1992, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE International.
- [60] **Aksun Güvenç, B.**, 2004, Taşıt Sistem Dinamiği Ders Notları.
- [61] **Atabay, O.**, 1996, Taşıtlarda Aktarma Organlarındaki Dönen Kütlelerin Toplam Ataletin ve Toplam Veriminin DeneySEL Olarak Bulunması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [62] **Rajamani, R.**, 2006, Vehicle Dynamics and Control, Springer, New York
- [63] www.mathworks.com

ÖZGEÇMİŞ

Emre KURAL, 1980 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğrenimini tamamladıktan sonra, orta ve lise öğrenimini Galatasaray Lisesi’nde tamamladı. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sistem Dinamiği ve Kontrol Bölümü’nden mezun oldu.

2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sistem Dinamiği ve Kontrol Yüksek Lisans bölümüne girmeye hak kazandı.