Bulanık Mantık Tabanlı Uyarlamalı Hız Kontrolü

Atakan Ondoğan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2022

Fuzzy Logic Based Adaptive Cruise Control

Atakan Ondoğan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical Electronics Engineering

March 2022

Bulanık Mantık Tabanlı Uyarlamalı Hız Kontrolü

Atakan Ondoğan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol ve Kumanda Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Metin Özkan

Mart 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Metin Özkan danışmanlığında hazırlamış olduğum "Bulanık Mantık Tabanlı Uyarlamalı Hız Kontrolü" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 07/03/2022

Atakan Ondoğan

ÖZET

Günümüzde yoğun trafik koşullarında dahi sürücüsüz ve kendi kendine ilerleyebilen otonom otomobiller üretebilmek için otomotiv endüstrisindeki birçok firma büyük bir yarış içindedir. Otomobillerin sürücüsüz hareket edebilmesi otonom sürüş olarak adlandırılmaktadır. Otonom sürüşün temelini Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (GSDS) oluştururken, Uyarlamalı Hız Kontrolü (UHK) sistemi sürücü destek sistemlerinin arasında önemli bir yere sahiptir. UHK sisteminde gelişmiş algılayıcı veri işleme ve kontrol teknikleri kullanılarak aracın çevresi algılanır ve aracın önünde bulunan diğer araç ve engellere bağlı olarak aracın kendi hızını ayarlaması, eğer bir engel yoksa da aracın mevcut hızını koruması sağlanır.

Bu tez çalışmasında Bulanık Mantık tabanlı UHK sistemi tasarlanmış ve modellenmiştir. Tasarlanan UHK sistemi üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst seviye kontrolde bulanık hız denetleyicisi ve bulanık mesafe denetleyicisi olmak üzere iki farklı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Üst seviye kontrol, radar algılayıcısından algıladığı bilgilere bağlı olarak hangi bulanık denetleyicinin çıkışının kullanılacağını belirlemektedir. Alt seviye kontrolde tasarlanan PI denetleyici, üst seviye kontrolden elde edilen hedef ivme değerine bağlı olarak araca uygulanması gereken pedal komut değerlerini üretmektedir. Benzetimi yapılan modelin doğruluğunun sınanması için piyasada bulunan bir aracın teknik verileri kullanılarak araca ait motor modeli, aracın aktarma organlarının modeli ve aracın gövdesinin modeli benzetimi yapılarak araç modeli oluşturulmuştur. Benzetimi yapılan sistemin performansının test edilmesi için günlük hayatta karşılaşılabilecek 7 farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolara göre simülasyonlar yapılmıştır. UHK sisteminin tasarlanması, modellenmesi, araç modelinin oluşturulması ve simülasyonların koşulması MATLAB-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre tasarlanan sistemin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Otonom Sürüş, Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri, Uyarlamalı Hız Kontrolü, Bulanık Mantık, Araç Modelleme

SUMMARY

Today, many companies in the automotive industry are trying their best to produce autonomous vehicles that could move without driver even under heavy traffic conditions. The ability of cars to move without driver is called autonomous driving. While Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) form the basis of autonomous driving, Adaptive Cruise Control (ACC) has crucial importance among driver assistance systems. Advanced sensor fusion and control techniques are used in the ACC technology to consider the limitations of the environment of the vehicle. The vehicle adjusts its own speed depending on obstacles that are in front of the vehicle and if there is no obstacle, vehicle keeps its preset speed.

In this study, Fuzzy Logic based ACC system has been designed and modeled. The designed ACC system consists of two parts; high level control and low level control. Two different Fuzzy Logic Controllers named as fuzzy speed controller and fuzzy distance controller have been designed in high level control. The high level control determines which Fuzzy controller's output to be used, based on the information from the radar sensor. The PI controller has been designed in low level control uses target acceleration value obtained from the high level control and produces pedal commands which are applied to the vehicle. In order to verify the designed and modeled ACC system, a vehicle model has been created using the technical data of a vehicle on the market. The vehicle model consists of engine model, drivetrain model and vehicle body model. In order to test the performance of the designed and modeled ACC system and vehicle model, 7 different scenarios which could be encountered in real life have been created and simulations have been made according to these scenarios. The design and modeling of the ACC system, modeling the vehicle and running of the simulations have been carried out in MATLAB-Simulink environment. It has been observed that the designed system gives successful results according to simulations.

Keywords: Autonomous vehicles, self-driving, car, Advanced Driver Assistance Systems, Adaptive Cruise Control, Fuzzy Logic, Vehicle Model

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**

SUMMARY ..... **vii**

TEŞEKKÜR ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xii**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xvii**

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xviii**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**

2.1. Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri ve Otonom Sürüş 3

2.2. Uyarlamalı Hız Kontrolü ve Kullanılan Kontrol Yöntemleri 9

3. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLERİ **18**

3.1. Bulanık Mantık 18

3.2. Bulanık Mantık Denetleyicilerin Yapısı 23

3.2.1. Bulanık veri tabanı 23

3.2.1.1. Bulanık kümeler 24

3.2.2. Bulanıklaştırma 28

3.2.3. Bulanık kural tabanı 29

3.2.4. Bulanık çıkarım motoru 32

3.2.4.1. Mamdani bulanık çıkarım motoru 33

3.2.4.2. Sugeno bulanık çıkarım motoru 35

3.2.5. Durulaştırma 38

3.2.5.1. Ağırlık merkezi yöntemi 39

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.5.2. Ağırlıklı ortalama yöntemi 39
3.2.5.3. En büyüklerin ortalaması yöntemi 40
4. MATERYAL VE YÖNTEM 42
4.1. Uyarlamalı Hız Kontrolü Sistemi Benzetimi 46
4.1.1. Üst seviye kontrol 47
4.1.1.1. Bulanık hız denetleyicisi tasarımı 48
4.1.1.2. Bulanık mesafe denetleyicisi tasarımı 53
4.1.1.3. Araca uygulanacak hedef ivmenin seçimi ve performans gereklilikleri .. 63
4.1.2. Alt seviye kontrol 66
4.2. UHK Sistemi Bulunan Aracın Modellenmesi 67
4.2.1. Aracın motor modeli 68
4.2.1.1. Motor performans haritası ve istenen tork değeri 70
4.2.1.2. İstenen tork değeri ve motor şaft çıkış gücü 72
4.2.1.3. Motorun verimi ve motor giriş gücü 73
4.2.1.4. Motorun ürettiği enerji ve toplam yakıt tüketimi 77
4.2.1.5. Motorun ortalama yakıt tüketimi 78
4.2.1.6. Motorun özgül yakıt tüketimi 78
4.2.2. Aracın aktarma organları modeli 79
4.2.2.1. Şanzıman vites seçimi ve aktarma organları toplam dişli oranı 81
4.2.2.2. Motor torku ile tekerleklere aktarılan tork arasındaki ilişki 84
4.2.2.3. Motor hızı ile araç hızı arasındaki ilişki 85
4.2.2.4. Aktarma organlarındaki kayıplar ve toplam verimin hesaplanması 85
4.2.2.5. Aktarma organlarından tekerlere iletilen kuvvetlerin hesaplanması 87

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.3. Aracın boylamsal gövde modeli 88
4.2.3.1. Aerodinamik direnç kuvveti 91
4.2.3.2. Tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti 92
4.2.3.3. Eğim direnci kuvveti 94
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 95
5.1. Senaryolar 97
5.1.1. Senaryo 1 97
5.1.2. Senaryo 2 100
5.1.3. Senaryo 3 104
5.1.4. Senaryo 4 109
5.1.5. Senaryo 5 115
5.1.6. Senaryo 6 120
5.1.7. Senaryo 7 124
5.1.7.1. Zaman aralığı değerinin sistem performansına etkisi 130
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 138
KAYNAKLAR DİZİNİ 140

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1 Otonom araçta bulunan algılayıcılar (Gruyer vd., 2017) 7
2.2 SAE J3016 standardına göre otonom sürüş seviyeleri (Abuelsamid, 2018) 9
3.1 İnsanların yaşına göre genç olma durumu: (a) Kesin küme, (b) Bulanık küme 20
3.2 Bulanık mantık denetleyici yapısı (Silva ve Pinto, 2017) 23
3.3 Bulanık mantık denetleyici için örnek bulanık veri tabanı 24
3.4 En yaygın kullanılan üyelik fonksiyon tipleri 25
3.5 Üçgen tip üyelik fonksiyonu 25
3.6 Yamuk tip üyelik fonksiyonu 26
3.7 Gauss tip üyelik fonksiyonu 27
3.8 Cauchy tip üyelik fonksiyonu 27
3.9 Bulanıklaştırma işlemi grafiksel gösterimi 28
3.10 Bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallar ile yapılan işlemlerin grafiksel gösterimi: (a) Kural 1, (b) Kural 2, (c) Kural 3, (d) Kural 4 31
3.11 Mamdani bulanık çıkarım yöntemi grafiksel gösterimi 34
3.12 Sugeno bulanık çıkarım yöntemi grafiksel gösterimi 37
3.13 En yaygın kullanılan durulaştırma yöntemlerinin gösterimi 38
3.14 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi 39
3.15 Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma işlemi 40
3.16 En büyüklerin ortalaması yöntemi ile durulaştırma işlemi 41
4.1 Tasarlanan sistemin mimarisi 43
4.2 Simulink ortamında benzetimi yapılan sistem mimarisi 44
4.3 Öndeki araç için sürüş çevrimi örneği 44
4.4 Öndeki araç için yapılan benzetim 45
4.5 Arkadaki araçta bulunan radarın benzetimi 45
4.6 UHK sistemi bulunan arkadaki araç için yapılan benzetim 46
4.7 Üst seviye kontrol için yapılan benzetim 47
4.8 Bulanık hız deneyleyicisi hız hatası girişi için üyelik fonksiyonları 48
4.9 Bulanık hız deneyleyicisi aracın hızı girişi için üyelik fonksiyonları 49
4.10 Bulanık hız deneyleyicisi hedef ivme çıkışı için üyelik fonksiyonları 49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

4.11 Bulanık hız deneyleyicisi için yapılan benzetim 51
4.12 Bulanık hız denetleyicisinin FIS editördeki tasarımı 51
4.13 Bulanık hız denetleyicisi için FIS editörde tanımlanmış kurallar 52
4.14 Bulanık hız denetleyicisi için verilen örnek değerlerle yapılan çıkarım işlemi 53
4.15 Bulanık mesafe denetleyicisi tarafından kullanılan mesafe tabanlı parametreler 55
4.16 Bulanık mesafe denetleyicisi mesafe hatası girişi için üyelik fonksiyonları 56
4.17 Bulanık mesafe denetleyicisi göreceli hız girişi için üyelik fonksiyonları 56
4.18 Bulanık mesafe denetleyicisi için yapılan benzetim 58
4.19 Bulanık mesafe denetleyicisinin FIS editördeki tasarımı 59
4.20 Bulanık mesafe denetleyicisi için FIS editörde tanımlanmış kurallar 61
4.21 Bulanık mesafe denetleyicisi için verilen örnek değerlerle yapılan çıkarım işlemi ... 61
4.22 Hedef ivmenin seçimi ve performans kısıtlarının sağlanması 63
4.23 Hıza bağlı ivme limitleyici 65
4.24 Standartta verilen ara hız değerlerine göre ivme limitleme işlemi 65
4.25 Alt seviye kontrol için yapılan benzetim 66
4.26 Benzetimde referans olarak kullanılan araç 68
4.27 Aracın motor performans haritası 69
4.28 Aracın motor modeli 70
4.29 Motor performans haritasının oluşturulması 71
4.30 Motordan istenen torkun elde edilmesi 72
4.31 İstenen torktan motor şaft çıkış gücüne yapılan çevrim 72
4.32 Motor şaft çıkış gücünün elde edilmesi 73
4.33 Motor şaft çıkış gücünden motor giriş gücüne yapılan çevrim 74
4.34 Motor verim hesabı ve motor giriş gücünün elde edilmesi 76
4.35 Motorun ürettiği enerji ve toplam yakıt tüketiminin elde edilmesi 77
4.36 Motorun ortalama yakıt tüketiminin hesaplanması 78
4.37 Motorun özgül yakıt tüketiminin hesaplanması 79
4.38 Aracın aktarma organları modeli 80
4.39 Şanzıman vites seçimi 81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

4.40 Şanzıman vites oranı ve toplam dişli oranının elde edilmesi 81
4.41 Şanzıman vites seçim algoritmasının Stateflow ile gerçeklenmesi 82
4.42 Vites yükseltme haritası 83
4.43 Vites düşürme haritası 83
4.44 Motor torkunun tekerlere aktarılan torka çevrimi 84
4.45 Aracın hızından motor hızının elde edilmesi 85
4.46 Aktarma organları toplam verimi ve çıkış torkunun hesaplanması 86
4.47 Aktarma organlarındaki kayıpların hesaplanması 86
4.48 Tekerlere iletilen çekiş, fren ve net çekiş kuvvetin hesaplanması 87
4.49 Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvvetler (Rajamani, 2012) 89
4.50 Aracın boylamsal gövde modeli 90
4.51 Aerodinamik direnç kuvvetinin hesaplanması 91
4.52 Tekerlek yuvarlanma direnci kuvvetinin hesaplanması 93
4.53 Eğim direnci kuvvetinin hesaplanması 94
5.1 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 98
5.2 Araca uygulanan hedef ivme 98
5.3 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 99
5.4 Hız hatası 99
5.5 Gaz ve fren pedal komutları 100
5.6 Gaz pedal komutu ve aracın hızına göre şanzımanda yapılan vites değişimi 100
5.7 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 102
5.8 Araçların hızları 102
5.9 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 103
5.10 Mesafe hatası 103
5.11 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 104
5.12 Hız hatası 104
5.13 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 106
5.14 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 106
5.15 Araçların hızları 107

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

5.16 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 107
5.17 Mesafe hatası 108
5.18 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 108
5.19 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 109
5.20 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 111
5.21 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 111
5.22 Araçların hızları 112
5.23 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 113
5.24 Mesafe hatası 113
5.25 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 114
5.26 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 114
5.27 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 116
5.28 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 117
5.29 Araçların hızları 117
5.30 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 118
5.31 Mesafe hatası 118
5.32 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 119
5.33 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 119
5.34 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 121
5.35 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 121
5.36 Araçların hızları 122
5.37 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 122
5.38 Mesafe hatası 123
5.39 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 123
5.40 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 124
5.41 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları 126
5.42 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı 127
5.43 Araçların hızları 127
5.44 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 128

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

5.45 Mesafe hatası 128
5.46 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 129
5.47 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri 130
5.48 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı 131
5.49 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe 131
5.50 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz ve fren pedal komutları 132
5.51 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz ve fren pedal komutları 132
5.52 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu motor devri ve motorun ürettiği tork değişimi 133
5.53 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu motor devri ve motorun ürettiği tork değişimi 133
5.54 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu aracın hızı ve şanzımanda yapılan vites değişimi 134
5.55 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu aracın hızı ve şanzımanda yapılan vites değişimi 134
5.56 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda toplam yakıt tüketimi 135
5.57 2 saniye zaman aralığı koşulunda toplam yakıt tüketimi 135
5.58 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda ortalama yakıt tüketimi 136
5.59 2 saniye zaman aralığı koşulunda ortalama yakıt tüketimi 136
5.60 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda araca uygulanan ivme ve ivmedeki değişim ... 137
5.61 2 saniye zaman aralığı koşulunda araca uygulanan ivme ve ivmedeki değişim 137

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

3.1 Kural tabanında tanımlanmış kuralların bulanık ilişkisel matris ile gösterimi 32
4.1 Bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonları kısaltmaları ve karşılıkları 49
4.2 Bulanık hız denetleyicisi için oluşturulmuş bulanık kurallar 50
4.3 Bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonları kısaltmaları ve karşılıkları 57
4.4 Bulanık mesafe denetleyicisi için oluşturulmuş bulanık kurallar 57
4.5 Aracın motorunun teknik özellikleri 69
4.6 Motor devri ve BMEP değeri haritası 71
4.7 Aracın aktarma organlarının teknik özellikleri 80
4.8 Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvveler 89
5.1 İlk 3 senaryo ve açıklamaları 95
5.2 Son 4 senaryo ve açıklamaları 96

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$a_{CCtarget}$	Hız denetleyici hedef ivmesi
$a_{DCtarget}$	Mesafe denetleyici hedef ivmesi
A_f	Aracın hava akışına maruz kalan ön yüzey alanı
a_{target}	Araca uygulanacak hedef ivme
B	Toplam yakıt tüketimi
$BMEP$	Fren ortalama efektif basınç
BPP	Fren pedal komutu
C_d	Aerodinamik direnç katsayısı
C_{min}	Araçlar arasında olması gereken minimum aralık
CR	Motorun sıkıştırma oranı
D_{brake}	Frenleme mesafesi
D_{error}	Mesafe hatası
$D_{measured}$	Radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe
D_{safe}	Güvenli takip mesafesi
F_{aero}	Aerodinamik direnç kuvveti
F_{brake}	Aracın tekerlerine uygulanan fren kuvveti
$F_{brakemax}$	Aracın maksimum fren kuvveti
$F_{gradient}$	Eğim direnci kuvveti
$FMEP$	Sürtünme ortalama efektif basınç
F_{net}	Aracın üzerine etki eden net kuvvet
f_r	Yuvarlanma direnci katsayısı
$F_{rollingresistance}$	Tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti
$F_{tractive}$	Motorda üretilen tork ile tekerlere aktarılan çekiş kuvveti

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler	Açıklama
$F_{tractivenet}$	Net çekiş kuvveti
F_z	Aracın tekerlerinin yola dikey yönde yaptığı kuvvet
g	Yer çekimi ivmesi
H_l	Alt ısıl değeri
H_{set}	Sürücü tarafından girilen güvenli takip mesafesine ait zaman aralığı
$IMEP$	İndike ortalama efektif basınç
K_{brake}	Fren kuvveti çarpanı
K_i	İntegral kazanç
K_p	Oransal kazanç
L_{st}	Silindir strok uzunluğu
m	Aracın kütlesi
n	Motorun toplam verimi
N	Motorun devri
n_d	Diferansiyel son dişli oranı
n_g	Vitese ait dişli oranı
n_m	Motorun mekanik verimi
n_t	Motorun termal verimi
n_v	Motorun volümetrik verimi
P_{air}	Havanın basıncı
P_w	Motor giriş gücü
$R_{specific}$	Gaz sabiti
R_w	Tekerlek yarıçap uzunluğu
T_{air}	Havanın sıcaklığı

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler	Açıklama
T_e	Motorun ürettiği tork
TPP	Gaz pedal komutu
T_w	Tekerlere aktarılan tork
V_{CCset}	Sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız
V_d	Motor hacmi
V_{error}	Hız hatası
V_f	Aracın frenleme sonucundaki son hızı
V_{host}	UHK sistemi bulunan arkadaki aracın hızı
V_i	Aracın frenlemeye başladığı hız
V_{rel}	Radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız
V_{target}	Öndeki aracın hızı
w_e	Motorun açısal hızı
W_w	Motorda yanma sonucunda üretilen enerji
X_{host}	UHK sistemi bulunan arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumu
X_{target}	Öndeki aracın boylamsal düzlemdeki konumu
γ	Özgül ısı oranı
η	Aktarma organları toplam verimi
θ	Yolun eğim açısı
ρ	Havanın kütle yoğunluğu

Kısaltmalar	Açıklama
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
BMEP	Brake Mean Effective Pressure
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
FIS	Fuzzy Inference System
FLC	Fuzzy Logic Control
FMEP	Friction Mean Effective Pressure
FOC	Fractional Order Control
GCDC	Grand Cooperative Driving Challenge
GPS	Global Positioning System
GSDS	Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (Advanced Driver Assistance Systems)
HK	Hız Kontrolü
HP	Horse Power
IMEP	Indicated Mean Effective Pressure
ISO	International Organization for Standardization
LIFE	Lavoratory for International Fuzzy Engineering Research
LQR	Linear Quadratic Regulator
MPC	Model Predictive Control
RPM	Revolution Per Minute
RRT	Rapidly-exploring Random Trees
SMC	Sliding Mode Control
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UHK	Uyarlamalı Hız Kontrolü (Adaptive Cruise Control)
ÜF	Üyelik Fonksiyonu

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VIAC	VisLab Intercontinental Autonomous Challenge

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkemiz de dahil olmak üzere dünya üzerindeki araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Türkiye'de trafiğe kayıtlı araç sayısı 2009 yılında 14 milyon civarında iken, 2019 yılında bu sayı 23 milyonu aşmıştır (TÜİK, 2019). Trafikteki araç sayısı arttıkça trafik yoğunluğu artmakta ve bu da ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı trafik kazalarına yol açmaktadır. Türkiye'de 2019 yılında toplam 1 milyon 168 bin 144 trafik kazası meydana gelmiştir. Bu trafik kazalarında 5 bin 473 kişi hayatını kaybetmiş ve 283 bin 234 kişi yaralanmıştır. Kazaların nedeni ile ilgili en çarpıcı istatistik sürücü, yaya, araç, yolcu ve yol kusur oranlarında görülmektedir. Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında, kazaya neden olan kusurlara bakıldığında sürücü kaynaklı olarak gerçekleşmiş kazaların oranı %88 gibi yüksek bir oranla ilk sıradadır (TÜİK, 2020). Bu istatistik, sürücülerin üzerindeki yükün hafifletilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Bunun için araçların akıllı olması, tehlike durumunda sürücüyü uyarması ve gerektiğinde sürücüye yardımcı olarak araca müdahale edebilmesi gerekir. Günümüzde otomotiv sektöründe, bu fonksiyonları yerine getirerek sürücülere yardımcı olan Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (GSDS) kullanılmakta, gelişen algılayıcı ve yarı iletken teknolojisi ile birlikte kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Uyarlamalı hız kontrolü (UHK), şerit takip asistanı, kör nokta uyarı sistemi, çarpışma önleyici sistem gibi aktif güvenlik sistemleri GSDS altında bulunan sistemlere örnek olarak verilebilir (Vanholme vd., 2013). GSDS altında bulunan teknolojilerin birleşimi ise otonom araçları oluşturmaktadır. Otonom araçlar, aracın çevresinde bulunan diğer araçlar, engeller ve aracın mevcut durumuna ait bilgileri değerlendirerek sürücüden bağımsız bir şekilde hareket edebilmektedir. GSDS altında yer alan sistemlerin artmasıyla, otonom araçların gelişme süreci son 20 yılda çok fazla hızlanmıştır (Eskandarian vd., 2019). Otonom araçların gelişim süreci 1990 yıllarında başlamış olup, günümüzde artan algılayıcı teknolojileriyle birlikte gelişimi hızlanarak devam etmektedir (Brummelen vd., 2018). Geçmişten günümüze radar algılayıcı çeşitleri, lidar, kamera algılayıcıları ve çeşitleri ve ultrasonik algılayıcılar olmak üzere farklı algılayıcı tipleri kullanılmıştır. Otonom araçlarda ise bu algılayıcıların birçoğu birlikte yer almakta ve verileri işlenip birleştirilerek her bir algılayıcının getirdiği avantajdan faydalanılmaktadır (Rasshofer ve Gresser, 2005). Otonom araçların ve algılayıcıların gelişimini başlatan en önemli teknoloji ise UHK sistemidir. UHK

sistemlerinde kritik öneme sahip tasarım kriterleri güvenli ve konforlu sürüştür. Sistemin yüksek ve düşük araç hızlarında ve ayrıca dur-kalk trafiğinde gerekli güvenli takip mesafesini korurken aynı zamanda konforlu ve sarsıntısız sürüş sağlaması gerekir (Levinson vd., 2011).

Bu tez çalışmasında bulanık mantık tabanlı UHK sistemi tasarlanmış ve modellenmiştir. Benzetimi yapılan modelin doğruluğunun sınanması için piyasada bulunan bir aracın teknik verileri kullanılarak araca ait motor modeli, aracın aktarma organlarının modeli ve aracın gövde modeli benzetimi yapılmış ve araç modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan UHK sistemi ile araç modeli uyumlandırılmış ve tüm modelin performansı sınanmıştır. Benzetimi yapılan sistemin performansının test edilmesi için günlük hayatta karşılaşılabilecek çeşitli senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolara göre simülasyonlar yapılmıştır. UHK sisteminin tasarlanması, modellenmesi, araç modelinin oluşturulması ve simülasyonların koşulması MATLAB-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin ikinci bölümünde, yapılan literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Burada otonom araçların geçmişten günümüze olan gelişimi ve UHK sistemleri için kullanılan kontrol yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, bulanık mantık denetleyicileri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, tasarlanan UHK sisteminin kontrol yapısı ve aracın modellenmesi anlatılmış ve MATLAB-Simulink ortamında yapılan benzetimler verilmiştir. Beşinci bölümde, tasarlanan ve benzetimi yapılan sistemin performansı irdelenmiş ve elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gelişen algılayıcı teknolojileri sayesinde GSDS altında bulunan UHK, şerit takip asistanı, kör nokta uyarı sistemi, çarpışma önleyici sistem gibi aktif güvenlik sistemlerinin gelişimi hızla artmaktadır. Gelişen yarı iletken teknolojisi ile birlikte ise bu sistemlerin sahip olduğu algılayıcı verileri hızlı bir şekilde işlenip, birleştirildikten sonra araca ait tüm çevre unsurlarının hep birlikte değerlendirilmesi yapılmaktadır (Hakuli ve Krug, 2016). GSDS altında bulunan tüm bu sistemlerin birleşimi ve algılayıcı verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda otonom sürüş elde edilmektedir (Ziegler vd., 2014).

2.1. Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri ve Otonom Sürüş

GSDS, otonom sürüş teknolojisi ve otonom araçlar hakkındaki araştırma ve çalışmaların geçmişi çeşitli projeler, yarışmalar, üniversiteler ve endüstri alanındaki otomotiv üreticileri ile birlikte 1980'li yıllara kadar uzanmaktadır (Eskandarian vd., 2019). 1987 ile 1995 yılları arasında yürütülmüş olan PROMETHEUS (PROgraMme for European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety) programı, üniversitelerin, otomotiv üreticilerinin ve otomotiv sektörüne hizmet eden elektronik komponent üreticilerinin, otonom araçlar hakkında teknik bilgi, yetkinlik ve teknolojilerini birleştiren bir çalışma olmuştur. Bu program otonom araçlar için yapılmış olan ilk büyük proje olup, 6 Avrupa ülkesinin katıldığı, 749 milyon avroluk fonun ayrıldığı bir çalışmadır (Stuart ve Sanders, 2020). Prototip olarak geliştirilen bir aracın çevreyi izleyip sürücüyü tehlikelere karşı uyarması ve bunun yanında aracın algıladığı çevreye ait verileri birleştirerek kararlar verebilmesi bu projeye damga vuran bir çalışma olmuştur (Eleter ve Rombaut, 1996).

PROMETHEUS programından sonra, otonom araçların gelişmesine zemin hazırlayan en ilgi çekici yarışma 2004 yılında DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) tarafından DARPA Grand Challenge adıyla yapılmıştır. Bu yarışta araçların sürücüsüz bir şekilde, arazi şartlarında, seyrüsefer sistemlerini etkin bir şekilde kullanması, yol üzerinde karşılaşılabilecek engelleri tespit edebilmesi ve engellere çarpmadan hareket ederek yarışmayı tamamlaması hedeflenmiştir. Bu yarışmaya katılan 106 katılımcıdan 15 takım son etaba kadar gelmiş ancak hiçbir araç yarışı bitirebilmeyi

başaramamıştır. Bunun üzerine 18 ay sonra 2005 yılında tekrardan düzenlenen yarışa 197 takım katılmış, 23 takım son etaba gelmeyi başarmış, 5 takım yarışı bitirebilmiş ve yarışı Stanford Üniversitesi'nin Stanley isimli aracı kazanmıştır (Buehler vd., 2007).

2007 yılında düzenlenen DARPA Urban Challenge yarışmasında, arazi şartlarında engellerden kaçınarak ilerlemenin de ötesine geçilmiştir. Bu yarışmada araçların 96 km boyunca yoğun şehir içi trafiği şartlarında ve sürücüsüz bir şekilde hareket ederken, trafik işaretlerinin algılanması, karmaşık kavşaklardan geçilmesi, şerit değişikliğinin yapılması, engellerin algılanması ve geçilmesi, u-dönüşlerinin yapılması, park yapılması gibi gerçek hayat şartları ele alınmıştır. Düzenlenen yarışmaya katılan 89 takım, önce 35 sonra da 11 takıma indirgenmiş ve yarışmayı 6 takım bitirebilmiştir. Yarışmayı Carnegie Mellon Üniversitesi'nin Boss isimli aracı kazanmıştır (Buehler vd., 2009). Yarışmada dördüncü olan takımın gerçek zamanlı hareket planlamaya yönelik geliştirdiği RRT (rapidly-exploring random trees) algoritması, aracın etrafında bulunan statik ve hareket eden engelleri algılayarak rotadaki en uygun şeridi belirlemesini sağlamış ve bu özelliğiyle birçok çalışmaya konu olmuştur (Kuwata vd., 2009). Bu yarışma, otomotiv sektörünün de ilgisini çekmiş, yarışmaya katılan takımlar çeşitli sponsorluklar almış ve otonom araçların gelişimine büyük katkıda bulunmuştur. Yarışmada ikinci olan takımın kullandığı algılayıcılar, aracın çevresini algılamak için geliştirdiği algoritmalar, aracın kazadan kaçınmak için gösterdiği davranışlar otomotiv sektörüne büyük katkılarda bulunmuştur (Montemerlo vd., 2009). Ayrıca bu takım, çalışmalarını daha da ileri taşımış, ilerlediği rota üzerinde algıladığı araçların yanı sıra trafik koşullarında algılanması gereken bisiklet ve yaya gibi engeller ile trafik işaretleri gibi nesnelerin algılanması için çevreyi algılama algoritmalarını geliştirmiş ve gerçek hayat koşullarında test etmişlerdir (Levinson vd., 2011). Bu çalışma içerdiği nesne algılama, konum belirleme, şerit planlama ve algılayıcı kalibrasyonu gibi konulardan dolayı birçok patente ve çalışmaya konu olmuştur.

DARPA yarışmalarında araçların düşük hızlarda ilerlemesi ve önceden verilen haritaya göre rotaların belirlemesi gibi durumlar gerçek hayatta otonom araçların karşılaşabileceği senaryoları içermemektedir. Bundan dolayı 2010 yılında VisLab tarafından VIAC (VisLab Intercontinental Autonomous Challenge) isimli bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, İtalya'dan Çin'e 13000 km boyunca aracın otonom bir şekilde ilerlemesi hedeflenmiştir. Bu çalışmayı şimdiye kadar yapılmış proje ve yarışlardan ayıran en önemli

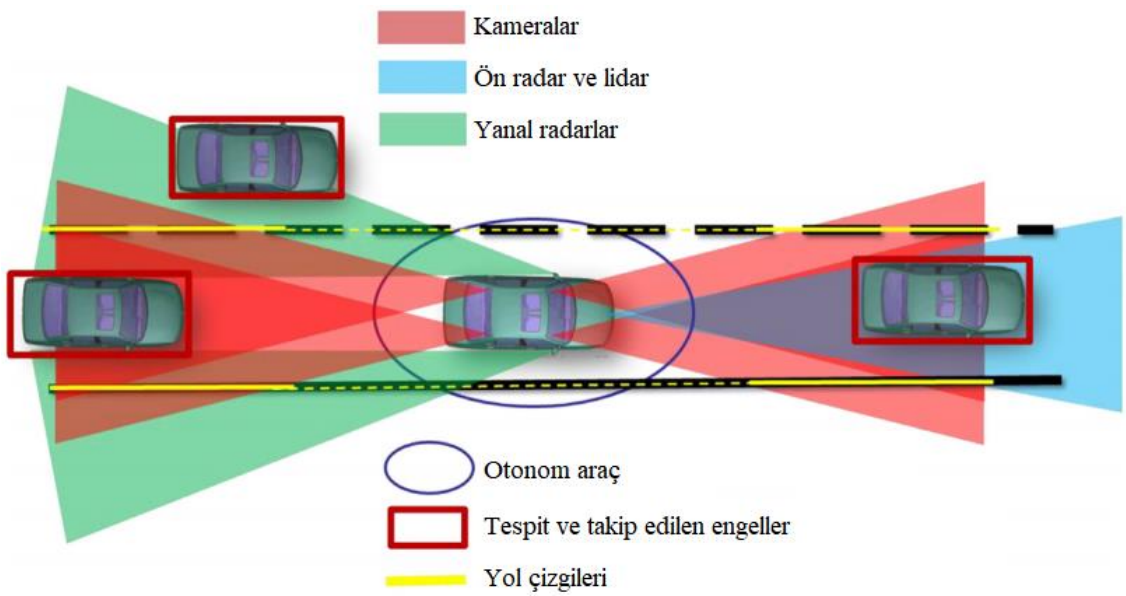
özellik, otonom araç için gerçek hayattaki yol koşulları geçerli olup, daha öncesinde kullanılacak bir harita veya çıkarım yapılabilecek bir rota ve trafik senaryosu olmadan, arkada ilerleyen aracın önde giden aracı takip etmesidir. Bu çalışma, VisLab'ın otonom sürüş teknolojisi için 15 yıllık çalışmasının bir ürünü olup, tasarlanan sistemlerin performansını görülmesi ve çalışma sırasında toplanan veriler ile performansın geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır (Broggi vd., 2012).

Günümüzdeki otonom araçlar geçtiği bölgelerde, ilgili bölge için kendilerine haritalar ve bilgiler oluşturmakta ve bu bölgeden sonraki geçişlerinde bölge hakkındaki bilgiyi kullanmaktadır. Bu durum çok fazla verinin kayıt edilmesi ve araç hareket ederken hızlı bir şekilde işlenip değerlendirmesini gerektirir. Ayrıca otonom araç daha önce o bölgeden geçmemiş ve bölge hakkında önceden elde ettiği bir bilgisi yoksa sahip olduğu GPS konumlandırmasına güvenmesi gerekecektir. Otonom aracın ulaşmaya çalıştığı bölgede yollarda güncelleme yapıldıysa ve aracın seyrüsefer sisteminde bölge hakkında güncel bilgi olmaması durumunda ise araç hata yapabilir ve kazaya karışabilir. Bu durumun elimine edilmesi için V2I (araçların çevredeki yapılar ile haberleşmesi) haberleşmesi kullanılabilir ve ilgili bölgedeki yolun güncel durumu hakkında araç bilgi sahibi olabilir (Brummelen vd., 2018). Ayrıca tamamen otonom araçlardan oluşan ve trafik ışıkları bulunmayan bir kavşakta, önce hangi aracın ilerlemesinin gerektiği vb. durumlarda V2V (araçların birbiri ile haberleşmesi) haberleşmesi kullanılabilir ve böylece kavşak gibi yol kesişim bölgelerinde hangi aracın önce geçmesinin gerektiği ve diğer araçların buna uygun hareket edebilmesi sağlanabilir. Bu bilgiler doğrultusunda 2011 ve 2016 yıllarında düzenlenen GCDC (Grand Cooperative Driving Challenge) yarışmaları ile araçların birbiri ile haberleşmesi ve çevredeki yapılar ile haberleşmesi ve buna göre kooperatif sürüş yapabilmeleri amaçlanmıştır (van Nunen vd., 2012; Kianfar vd., 2012; Taş vd., 2018). Bu çalışmalarda, kooperatif UHK sistemine sahip araçlar, şehir içi ve şehirlerarası trafik koşullarında, araç-araç haberleşme birimleri üzerinden birbirlerine mevcut konumu, hızı, yönü gibi bilgileri aktarırken konvoy oluşturarak ilerlemesi hedeflenmiştir. Bu çalışmaların getirdiği en büyük katkının araç-araç haberleşmesi ve araç-yapı haberleşmesi olduğu söylenebilir. Araçların kendi ölçtüğü algılayıcı bilgilerine ilave olarak çevredeki nesnelerle haberleşmesi (V2X) sonucunda elde ettiği bilgilerin birleştirilmesi ile aracın konumunu belirlemedeki doğruluk artırılmış ve aracın ilerlediği rota hakkında bilgi sahibi olması sağlanmıştır.

Literatürde, kullanıcıların otonom sürüş ve otonom araçlara yaklaşımlarının ve bakış açılarının değerlendirildiği çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Bansal ve Kockelman, 2018; Hinderer vd., 2018; Schoettle ve Sivak, 2014; Payre vd., 2014; Kyriakidis vd., 2015). Bu araştırmalarda farklı kesimlerden kullanıcıların yaşına, cinsiyetine, kaç yıldır ehliyet sahibi olduğuna, gelir düzeyine, medeni haline, yaşadığı bölgedeki trafik yoğunluğuna, ortalama gün içerisinde kaç saat trafikte zaman geçirdiğine, yılda kendi aracı ile toplam kaç kilometre yol yaptığına, şimdiye kadar kaç kez kazaya karıştığına dair bilgiler derlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda kullanıcıların otonom araçlar hakkında bilgi sahibi olup olmadıkları, yeni bir araç alırken otonom sürüş için ekstra ne kadar bedel ödeyebilecekleri, otonom araçlara güvenip güvenmedikleri gibi bilgileri içeren istatistikler çıkarılmıştır. Çalışmaların geneline bakıldığında, insanların otonom araçlara olan bakış açısının giderek iyileştiği görülmektedir. Özellikle genç ve gelir düzeyi yüksek kullanıcıların otonom araçları tercih etmeye daha meyilli oldukları söylenebilir. Bazı kullanıcılar ise otonom araçları güvenli ve gürbüz bulmadığı için tercih etmeyeceklerini belirtmiştir. Ayrıca yapılan araştırmalara göre tam otonom araçların önündeki en büyük engelin kullanıcılardan ziyade yasal düzenlemelerdir (Brummelen vd., 2018). Örneğin tam otonom bir araç kazaya karıştığı durumda yasal olarak sorumlunun kimin olacağı hükümetler tarafından henüz tam olarak belirlenmemiştir. Örneğin günümüzde seviye 3 otonom sürüşe sahip bir aracın şimdiye kadar çeşitli kazalara karıştığı ve bu kazalar sırasında da otopilot modunda (otonom sürüşün aktif) olduğu görülmüştür (Anonim, 2020). Bu gibi kazalarda otonom aracın içindeki kullanıcı mı, üretici firma mı yoksa kazaya neden olabilecek diğer araçların mı sorumlu tutulacağı henüz yasal açıdan tam anlamıyla bir kesinlik kazanmamıştır. Günümüzde üretilen araçlar arasında en yüksek otonom sürüş seviyesinin 3 yani koşullu otonom sürüş olduğu bilinmektedir (Brummelen vd., 2018). Bu özelliğe sahip bir araç otopilot modunda iken kendi kendine şerit değişikliği yapabilmektedir. Bu aracın karıştığı bir kazada sürücü yaşamını yitirmiş ve bu olaydan sonra firma otomatik şerit değiştirme özelliğini yalnızca sürücünün elleri direksiyonda iken olabileceği yönünde otopilot yazılımını güncellemiş ve araçlarındaki otopilot modunun tamamen otonom sürüş anlamına gelmediğini ve ihtiyaç durumunda kullanıcıların direksiyon kontrolüne sahip olmaları gerektiği belirtilmiştir (Krisher ve Durbin, 2016).

Otonom sürüşü gerçekleştirebilen otonom araçlar, aracın konumu ve çevresindeki nesneleri algılayabilmek için radar, lidar, kamera gibi birçok algılayıcıları üzerinde

bulundurur. Bu algılayıcılar sayesinde aracın önündeki, arkasındaki ve etrafındaki nesneler, trafik lambaları ve işaretleri algılanır ve ölçülen veriler kullanılarak aracın etrafında hareket eden araçların tespiti ve takibi gibi hareketler yapılır (Sivaraman ve Trivedi, 2013). Aracın çevresini algılamak için kullanılan algılayıcıların birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Rasshofer ve Gresser, 2005). Geçmişte algılayıcıların maliyeti ve sahip olunan teknolojiden dolayı araçlarda bu algılayıcılar ayrı ayrı kullanılırken, günümüzde hepsi bir arada araçlarda kullanılmaktadır. Güncel global konumlama sistemi (GPS) bilgileri ile konumunu tayin edebilen bir araç, çevresindeki engelleri ve diğer araçları, trafik lambaları ve işaretlerini ve aracın bulunduğu şeride ait yol çizgilerini de tam anlamıyla ve doğru şekilde tespit edebildiği durumda sürücüden bağımsız olarak hareket edebilir. Bunun için otonom araçta bulunması gereken kamera, radar ve lidar algılayıcılarının araç üzerindeki yerleşimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Otonom araç, kameralar ile aracın etrafındaki engellerin ve yoldaki trafik işaretlerinin tespit ve takibini yaparken, ön radar ve lidar ile aracın önündeki engellerin tespit ve takibini yapmakta ve yanal radarlar ile aracın arkasında ve kör noktalarda kalan araçların tespit ve takibini yapmaktadır (Gruyer vd., 2017).



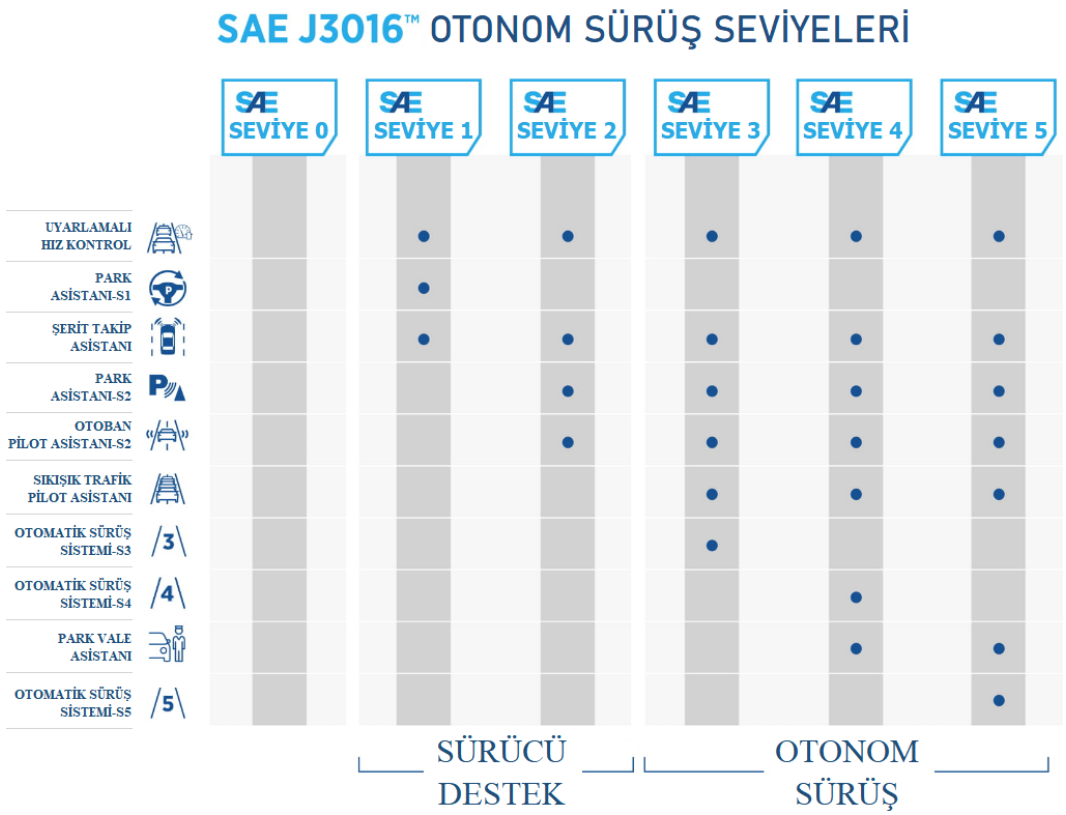
Şekil 2.1 Otonom araçta bulunan algılayıcılar (Gruyer vd., 2017)

Otonom araçlarda kullanılan tüm algılayıcı verilerinin birleştirilerek kullanılması sonucunda her bir algılayıcının tasarım limitleri elimine edilir ve aracın çevresinin algılanmasındaki doğruluk artırılır. Algılayıcı verilerinin birleştirilmesinde merkezi, dağıtılmış ve melez olmak üzere çeşitli füzyon yöntemleri kullanılmaktadır. Merkezi füzyon

yönteminde her bir algılayıcının ham verisi işlendikten sonra tüm algılayıcı verileri birleştirilerek aracın konumu ve hedef araç tespiti için tek bir global proses işlemi gerçekleştirilir. Dağıtılmış füzyon yönteminde her bir algılayıcının ham verisi işlendikten sonra, her bir algılayıcı verisine göre aracın konumu ve hedef araç tespiti için lokal proses işlemi yapılır ve sonrasında bu lokal proses verileri birleştirilerek global proses işlemi gerçekleştirilir. Melez füzyon yöntemi ise merkezi ve dağıtılmış füzyon yöntemlerin birleşimidir (Gruyer vd., 2017).

Otonom araçlar sahip olduğu teknolojiye ve kabiliyetlerine bağlı olarak hangi seviyede otonom sürüşe sahip olduğunun belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve bu çalışma SAE J3016 standardının temelini oluşturmuştur (Gasser vd., 2013). SAE J3016 standardına göre, GSDS bulunmayan araçlar seviye 0 olarak kabul edilerek herhangi bir şekilde otonom sürüş tanımına dahil edilmemektedir. Otonom sürüş için seviye 1 olarak kabul edilen sınıf tam anlamıyla otonom sürüş sayılmayıp, sürücü asistanı olarak kabul edilmektedir. Diğer otonom sürüş seviyeleri ile ilgili olarak; kısmi otonom sürüş seviye 2, koşullu otonom sürüş seviye 3, yüksek otonom sürüş seviye 4 ve tam otonom sürüş ise seviye 5 olarak tanımlanmaktadır. SAE J3016 standardına göre belirlenmiş otonom sürüş seviyeleri ve hangi seviyede hangi GSDS olması gerektiği Şekil 2.2'de verilmiştir (Abuelsamid, 2018).

GSDS altında bulunan UHK, şerit takip asistanı, kör nokta uyarı sistemi, çarpışma önleyici gibi sistemler yarı otonom ve tam otonom araçların gelişimi için çok önemli teknolojik adımlardır. GSDS, güvenliği artırmak, kazaları önlemek, sürücü ve yolcu konforunu artırmak ve enerji tüketimini azaltmak üzere geliştirilmektedir. GSDS ve dolayısıyla otonom araçların gelişimini başlatan en önemli teknolojik adımlardan birinin UHK olduğu yapılan araştırmalarla görülmüştür (Reschka vd., 2012; Gruyer vd., 2017). Ayrıca UHK sisteminin otonom sürüş için ne kadar önemli olduğu, sürücü asistanı olarak tanımlanan seviye 1'den sonraki tüm otonom sürüş seviyelerinde UHK sisteminin bulunmasının gerektiği Şekil 2.2'de verilmiş SAE J3016 standardına ait görselden görülebilir.



Şekil 2.2 SAE J3016 standardına göre otonom sürüş seviyeleri (Abuelsamid, 2018)

2.2. Uyarlamalı Hız Kontrolü ve Kullanılan Kontrol Yöntemleri

UHK sistemine sahip bir araç, aracın önüne kendi hızından daha yavaş hızda seyir eden başka bir araç çıktığı durumda veya araçlar arasındaki mesafe güvenli takip mesafesi sınırlarının dışında olduğu durumda, aracın hızının güvenli bir şekilde azaltılmasını sağlamakta ve gerekirse aracı durdurmaktadır. Araçlar arasında güvenli takip mesafesi sağlandığı durumda, aracın hızını öndeki araç ile aynı olacak şekilde ayarlamakta, öndeki araca göre aracın hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlamakta ve güvenli takip mesafesini koruyarak ilerlemektedir. Öndeki aracın hızı, sürücü tarafından ayarlanan hızın üstüne çıktığı koşulda veya öndeki aracın şerit değiştirdiği durumda yani aracın önünde güvenli sürüş mesafesini etkileyecek bir engel olmaması durumunda, normal hız kontrolü (HK) sisteminin özelliklerini de yerine getirerek, aracın hızını sürücünün daha önceden ayarladığı hızda tutacak şekilde seyir etmesini sağlamaktadır. UHK sistemi tüm bu fonksiyonları herhangi bir sürücü müdahalesi olmadan yerine getirmektedir ancak aracın yanal düzlemde yönlendirilmesi UHK sisteminin bir konusu değildir. Yani UHK sistemi aracın

direksiyonuna müdahalelerde bulunmamakta, bunun için sürücünün veya şerit takip gibi sistemlerin devrede olması gerekmektedir.

UHK sistemini aktif ederken sürücü sisteme iki farklı girdi yapmaktadır. İlk olarak aracın önünde herhangi bir aracın olmadığı durumlarda geçerli olacak olan, aracın seyir etmesini istediği sabit hız değeridir. Diğer girdi ise aracın önünde bir araç olduğu durumda geçerli olacak olan güvenli takip mesafesi aralığıdır. Sürücünün talep ettiği güvenli takip mesafesi aralığı için farklı seviyeler tanımlanabilir. Aslında sürücünün girdiği bu güvenli takip mesafesi aralığı, UHK sistemi tarafında zaman aralığı olarak değerlendirilmektedir. Güvenli sürüş için sistemin kabul edebileceği minimum zaman aralığı değeri ve konforlu sürüş için sistemin aracın hızında meydana getireceği maksimum değişim değerleri yani ivme limitleri ISO 15622 standardıyla sınırlandırılmıştır. Bu standartta hız kontrolü ile mesafe kontrolü arasındaki geçişlerin sürücü müdahalesi olmadan yapıldığı belirtilirken, sistemin minimum saatte 30 kilometre hızlarda çalışması gerektiği belirtilmiştir (Winner, 2012). ISO 15622 standardında belirtilen limit değerlere ek olarak, saatte 30 km altındaki hızları da kapsayan ISO 22179 standartı bulunmaktadır. Yani bu standartta UHK sistemine sahip aracın dur-kalk trafiğinde de çalışması hedeflenmiştir. Standartta, sisteme sahip aracın durduğu koşulda önündeki araç ile arasında minimum 2 ile 5 metre minimum aralık bırakması gerektiği belirtilmiştir. Bu standartta düşük hızlarda kapsandığı için, düşük hızlarda daha yüksek hız değişimlerine izin verilerek aracın ani duruşlar yapmasına izin verilmiştir. Ayrıca bu standartta, aracın hızına bağlı olarak ivme limitleri tanımlanmış ve konfor açısından sarsıntıyı (jerk) ifade eden ivmedeki değişim için limit değerler verilmiştir (Winner, 2012). Literatürde farklı sürücülere gerçek trafik koşullarında araç kullandırılması sonucunda minimum aralık ve zaman aralığının optimum değerlerinin belirlenmesi için yapılmış çalışmalar bu tarz standartların oluşturulmasına katkıda bulunan bulunmuştur (Han ve Yi, 2006). Ayrıca literatürde sabit zaman aralığı ile maksimum fren ivmesine bağlı olarak hesaplanan güvenli mesafe aralığının karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar da yapılmıştır (Zhang vd., 2019).

Normal HK sistemi, aracın hızını, sürücü tarafından belirlenen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hızda tutmaya çalışırken, UHK sistemleri, normal HK sisteminin özelliklerine ilave olarak, aracın hızına bağlı olarak mesafe kontrolü de yapabilmektedir. Böylece bu sisteme sahip araçlar boylamsal yöndeki hareketini herhangi bir sürücü

müdahalesi olmadan gerçekleştirebilmektedir. UHK sistemi bu özelliğinden dolayı kontrol problemi açısından boylamsal düzlemde hız ve mesafenin kontrol edilmesi olarak değerlendirilebilir. Bu kontrol probleminin çözümünde yani UHK sistemin tasarımında birçok kontrol yönteminin kullanıldığı görülmüştür. UHK sisteminin gerçeklenmesi için oransal-integral-türevsel (PID) kontrol yöntemi ve türevlerinin (PI, PD, P vb.) kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Wille ve Form, 2008; Ioannou vd., 1993). Literatürde kayma kipli kontrol (sliding mode control, SMC) yöntemi kullanılarak UHK sistemi tasarımını gerçekleştiren çalışmalar görülmüştür (Ganji vd., 2014; Xiao ve Gao, 2011). Model öngörülü kontrol (model predictive control, MPC) metodu ortaya atıldıktan sonra bu yöntemin UHK sistemi tasarımında sıklıkla kullanıldığı literatürde görülmüştür (Kılıç vd., 2015; Kianfar vd., 2012; Kural ve Güvenç, 2010). Literatürde kesir dereceli kontrol (fractional order control, FOC) ve doğrusal kuadratik regülatör (linear quadratic regulator, LQR) yöntemleri ile UHK sisteminin tasarlandığı çalışmalar bulunmaktadır (Hosseinnia vd., 2014; Shakouri vd., 2011). Literatürde ayrıca UHK sisteminin tasarımında bulanık mantık kontrolünün (fuzzy logic control, FLC) kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Ondoğan ve Yavuz, 2019; Haroon vd., 2019; Milanes vd., 2014; Milanes vd., 2012; Benalie vd., 2009; Pananurak vd., 2009; Naranjo vd., 2007; Naranjo vd., 2003).

Literatürdeki bir çalışmada (Wille ve Form, 2008), aracın boylamsal kontrolünde yani UHK sistemi tasarımında oransal (P) ve oransal-integral (PI) denetleyicilerden oluşan kaskad kontrol yapısı kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde dışta yer alan döngüdeki P denetleyiciler hız hatasına bağlı olarak araca uygulanması gereken ivme değerini hesaplamıştır. Sistemde iç döngüde yer alan PI denetleyiciler hesaplanan ivmeye bağlı olarak araca uygulanması gereken gaz veya fren pedal komutlarını üretmiştir. Sistemde aynı anda hem gaz hem de fren pedalına komut gönderilmesini önleyecek bir mantık eklenmiştir. Literatürdeki (Ioannou vd., 1993) çalışmasına ait UHK sistemi tasarımında, aracın hızlanması için kullanılan gaz pedal komutu için sabit terimli, kazanç ayarlı ve adaptif olmak üzere üç farklı PID denetleyici tasarlanmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Aracın yavaşlaması için ise süreksiz yapıda bir fren algoritması ile sistemin negatif tork üretmesi sağlanmıştır. Frenleme için tasarlanan algoritmada, zaman aralığı değerinin 0.4 saniye ile 1.5 saniye arasında olduğu duruma göre katsayılar optimize edilmiştir. Sistemde gaz ve fren denetleyicilerin arasındaki geçişler için bir algoritma oluşturulmuştur.

Literatürdeki bir çalışmada (Xiao ve Gao, 2011), konvoy halinde ilerleyen araçlar için UHK sistemi tasarımında kayma kipli kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada araçların birbiri ile haberleşmesi gibi bir durumdan bahsedilmemiş ve kooperatif UHK tasarımı yapılmamış, konvoy halinde ilerleyen araçlar için, araçlar arasında sabit zaman aralığının korunması amaçlanmıştır. Çalışmada UHK sistemi için, aynı sisteme sahip araçlardan oluşan konvoylar için homojen konvoy, farklı sistemlere sahip araçlar için heterojen konvoy adı verilmiştir. Gerçek hayatta homojen konvoy olması için tüm araçların aynı marka ve model olması gerekmektedir. Çalışmada heterojen konvoylarda kullanılan farklı UHK sistemlerinden kaynaklı olarak sistemlerin birbiri arasındaki zaman sabiti farklılıkları tasarlanan sistemin kararlılığını negatif yönde etkilediğinden bahsedilmiştir. Bunun için pratik açıdan dizi kararlılığının sağlanması için tasarlanan sistemde sonradan bir takım ayarlama ve adaptasyon yapılması gerektiği aktarılmıştır.

Literatürdeki bir çalışmada (Kılıç vd., 2015), UHK sistemi tasarımında model öngörülü kontrol yöntemi kullanılmış ve sistem bir elektrikli araç üzerinde test edilmiştir. Tasarlanan sistem hiyerarşik yapıda olup üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst seviye kontrolde sistemin hangi durumda olmasının gerektiği sonlu durum makinesi ile belirlenmiştir. Sistemin içinde olabileceği durumlar; kapalı, mesafe kontrolü, hız kontrolü ve geçiş olarak tasarlanmış ve durumlar arası geçişlerde hangi şartların sağlanmasının gerektiği verilmiştir. Sistemin durumunun mesafe kontrol olduğu koşul için model öngörülü kontrol kullanılmış ve bu denetleyicinin çıkışından hedef ivme değeri üretilmiştir. Elde edilen hedef ivme değerinin integrali alınarak hedef hız değeri elde edilmiş ve alt seviye kontrole bu değer iletilmiştir. Sistemin hız kontrol durumunda olduğu koşulda ise alt seviye kontrole hedef hız değeri sürücü tarafından belirlenen değer olarak iletilmektedir. Alt seviye kontrol için PID denetleyicisi tasarlanmıştır. Bu denetleyici, üst seviyeden elde edilen hedef hız değeri ile aracın mevcut hızı arasındaki farkın oluşturduğu hata değerine bağlı olarak elektrikli aracın sürücüsüne gönderilecek sinyali üretmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Shakouri vd., 2011) tasarlanan UHK sisteminde kaskad yapı kullanılmış olup, iç döngü tasarımında aracın hızlanması için kullanılan gaz pedal komutu için kazanç ayarlı doğrusal kuadratik kontrol yöntemi kullanılmıştır. Aynı zamanda bu kontrol yöntemi yerine kazanç ayarlı PI denetleyici de tasarlanmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Aracın yavaşlaması için fren sistemine iletilecek pedal komutu için

tasarlanmış olan PI denetleyici de iç döngüde yer almaktadır. İç döngüde sisteme bir anahtarlama yapısı eklenmiş ve aynı anda hem gaz hem de fren pedalına komut gönderilmesi önlenmiştir. İç döngüde gaz ve fren pedal komutlarını üreten denetleyiciler, dış döngüden iletilen referans hız ile aracın gerçek hızını kullanmaktadır. Tasarlanan sistemde dış döngü UHK sisteminin esas yapısını oluşturmuştur. Dış döngüde sürücünün istediği araç hızı, aracın gerçek hızı, araçlar arasında olması istenen mesafe, araçlar arasında ölçülen mesafe ve öndeki aracın hızı değerleri kullanılarak referans hız değeri üretilmiştir. Dış döngüde yer alan UHK sistemi tasarımında, bir anahtarlama yapısı oluşturulmuş ve sistemin UHK modu ile normal HK modu arasındaki geçişler bu anahtar üzerinden sağlanmıştır. Bu anahtar yapısına göre eğer araçlar arasında olması istenen mesafe, araçlar arasında ölçülen mesafeden büyük ise veya sürücünün istediği araç hızı, aracın gerçek hızından küçük ise sistemin normal HK modunda kalmaya devam etmesi sağlanmıştır. Bu koşulların sağlanmaması durumunda sistem UHK moduna geçiş yapmıştır. Sistem normal HK modunda olduğu durumda iç döngüye iletilen referans hız değeri, sürücünün istediği araç hızı olmak üzere anahtar yapısı ile seçilmiştir. Sistemin UHK modunda olduğu durumda iç döngüye iletilen referans hız değeri için, sistemde mesafe kontrolünü sağlamak adına tasarlanmış PI denetleyicinin çıkışı kullanılmıştır. PI denetleyici araçlar arasında olması istenen mesafe ile araçlar arasında ölçülen mesafe arasındaki farkın oluşturduğu hata değerine bağlı olarak referans hız değeri üretmiştir. Tasarlanan sistemin tümünde kullanılan denetleyicilerin katsayılarının belirlenmesi için farklı çalışma koşulları yaratılarak katsayıların optimizasyonu için uğraşıldığı belirtilmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Hosseinnia vd., 2014), UHK sistemi tasarımında kesir dereceli kontrol yöntemi kullanılmış ve tasarlanan sistem gerçek bir araca entegre edilerek performansı gözlemlenmiştir. Tasarlanan sistemde düşük hızlarda öndeki aracın takip edilebilmesi ve konfor kısıtlarının sağlanması amaçlanmıştır. Tasarlanan sistem kaskad yapıda olup dış döngüde UHK fonksiyonlarının yerine getirilmesi için oransal-türevsel (PD) denetleyici kullanılmıştır. PD denetleyici araçlar arasında olması gereken minimum mesafe ile araçlar arasında ölçülen mesafe arasındaki farkın oluşturduğu hata değerine bağlı olarak referans hız değeri üretmektedir. Bu denetleyicinin çıkışındaki referans hız değeri ile aracın gerçek hız değerlerinin toplamı öndeki aracın hızından çıkarılarak bir fark hız değeri elde edilmiş ve bu değer iç döngüde yer alan kesir dereceli PI denetleyicilere gönderilmiştir. İç döngüde gaz ve fren pedal komutları için ayrı ayrı olmak üzere iki farklı kesir dereceli PI

denetleyici tasarlanmıştır. Bu denetleyiciler referans hız değerine bağlı olarak pedal komutları üretmektedir. Tasarlanan sistem hem MATLAB'da simülasyonlar ile hem de gerçek aracın üzerinde test edilmiş ve sonuçların örtüştüğü belirtilmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Ondoğan ve Yavuz, 2019), UHK sistemi tasarımında bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılmış ve tasarlanan sistemde düşük hızlarda öndeki aracın takibinin yapılması ve konfor kısıtlarının sağlanması amaçlanmıştır. Tasarlanan sistem hiyerarşik yapıda olup üst seviye sistem ve alt seviye sistem olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst seviye sistem UHK sisteminin esas yapısını oluşturmuş olup, sistemin UHK fonksiyonlarını yerine getirmesi için bulanık mantık tabanlı denetleyici kullanılmıştır. Bulanık denetleyicinin girişlerinden biri uzaklık farkı olup bu değer araçlar arasındaki ölçülen mesafe ile olması gereken arasındaki farktır. Bulanık denetleyicinin girişlerinden diğeri ise göreceli hız olup bu değer araçların hızları arasındaki farktır. Bulanık denetleyicinin çıkışından hedef ivme değeri hesaplanmış ve bu değer alt seviye sisteme iletilmiştir. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan girişler ve çıkışlar için tanımlanmış bulanık kümelerin her biri için 9 üyelik fonksiyonu oluşturulmuş ve üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan IF-THEN kalıplı 81 adet kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır. Tasarlanan bulanık denetleyicide bulanık çıkarım metodu olarak Mamdani yöntemi tercih edilmiştir. Bulanık denetleyici çıkışından elde edilecek hedef ivme için en büyük değer 2.33 m/s^2 ve en küçük değer -3.33 m/s^2 olacak şekilde çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanınındaki IF-THEN yapılı kuralların tasarlandığı belirtilmiştir. Alt seviye sistem ise simülasyonların yapılabilmesi amacıyla fizik kurallarını baz alan matematiksel denklemler ve hesaplamalar içeren algoritmalardan oluşan kısım olarak verilmiştir. Alt seviye sistemden elde edilen çıktılar üst seviye sisteme girdi oluştururken, üst seviyede üretilen çıktı alt seviyeye girdi oluşturmuştur. Böylece iki sistemin birleşiminin kapalı çevrim mekanizmasını oluşturduğundan bahsedilmiştir. Tasarlanan sistemin performansı simülasyon ortamında test edilmiş ve başarılı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Milanes vd., 2012), UHK sistemi tasarımında bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılmış ve tasarlanan sistem gerçek bir araca entegre edilerek performansı gözlemlenmiştir. Tasarlanan sistemde düşük hızlarda öndeki aracın takibinin yapılması ve gerektiğinde aracın dur-kalk manevralarını yerine getirmesi amaçlanmıştır.

UHK sistemi bulunan aracın öndeki aracı takip ettiği ve dur-kalk manevralarını yerine getirdiği koşullarının hepsinde konfor kısıtlarının sağlanması ve sarsıntısız sürüşün gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda UHK sistemi tasarımında bulanık mantık tabanlı kontrol yöntemi yerine PI ve akıllı PI denetleyici tasarımları yapılmış ve tüm denetleyicilerin performansları karşılaştırılmıştır. Bulanık denetleyicinin girişlerinden biri hız hatası olup bu değer istenen bağıl hız değeri ile gerçek bağıl hız değeri arasındaki farktır. İstenen bağıl hız değeri yapılan çalışmada ideal takip mesafesinin integrali olarak tanımlanmıştır. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan bu giriş için tanımlanmış bulanık küme negatif, orta ve pozitif olmak üzere 3 üyelik fonksiyonundan oluşturulmuştur. Bulanık denetleyicinin girişlerinden diğeri ise mesafe hatası olup, bu değer hesaplanan ideal takip mesafesi ile araçlar arasındaki gerçek mesafe arasındaki farktır. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan bu giriş için tanımlanmış bulanık küme de negatif, orta ve pozitif olmak üzere 3 üyelik fonksiyonundan oluşturulmuştur. Bulanık denetleyicinin çıkışı ise pedal komutu değerleridir. Denetleyici çıkışında hangi pedala ne kadar yüzdelik oran ile komut gönderileceği ayarlanmıştır. Bulanık denetleyicinin çıkışı için tanımlanmış bulanık kümede yer alan üyelik fonksiyonları fren, orta fren, orta, orta gaz ve gaz olarak tanımlanmış olup hepsi tekil yapıda ve sabit değerlidir. Bu bulanık kümenin alabileceği değer -1 ile 1 arasında sınırlandırılmıştır. Böylece bulanık denetleyici çıkışı 1 olduğunda %100 oranında gaz pedal komutu üretilirken, -1 olduğunda %100 oranında fren pedal komutu üretilmesi amaçlanmıştır. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan girişler ve çıkışlar için tanımlanmış üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan IF-THEN kalıplı 9 adet kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır. Tasarlanan bulanık denetleyicide bulanık çıkarım metodu olarak Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Hem bulanık denetleyici hem de akıllı PI denetleyici ile tasarlanan sistem, MATLAB'da simülasyonlarla ve ayrıca gerçek aracın üzerinde test edilmiş ve başarılı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Çıkarılan dersler açısından akıllı PI denetleyicinin konfor açısından daha iyi sonuçlar verdiği ancak bu denetleyicinin tasarlanan sistemin modeline bağlı olarak tasarımın değişmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca bulanık denetleyicinin insan düşünce yapısında olduğu için uyarlandığı sistemin modelinden bağımsız olarak tasarlanabileceği ve kolayca sisteme adapte edilebileceğinden bahsedilmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Benalie vd., 2009), UHK sistemi tasarımında bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılmış ve tasarlanan sistem gerçek bir araca entegre edilerek

performansı gözlemlenmiştir. Tasarlanan UHK sistemi üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol olmak üzere iki kısımdan oluşmakta olup, hiyerarşik yapıdadır. Üst seviye kontrol kısmında sistemin UHK fonksiyonlarını yerine getirmek üzere tasarlanmış bulanık mantık denetleyici yer almaktadır. Bulanık denetleyicinin girişlerinden biri mesafe hatası olup bu değer araçlar arasındaki ölçülen mesafe ile istenen mesafe arasındaki farktır. Bulanık denetleyicinin girişlerinden diğeri ise göreceli hız olup bu değer araçların hızları arasındaki farktır. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan her 2 giriş için de tanımlanmış bulanık küme 7 üyelik fonksiyonundan oluşturulmuştur. Bulanık denetleyicinin çıkışı ise istenen hızdır ve bu değer alt seviye kontrole iletilmektedir. Bulanık denetleyicinin çıkışı için tanımlanmış bulanık kümede yer alan üyelik fonksiyonlarının hepsi tekil yapıda ve sabit değerli yaklaşık 40 değerden oluşmakta olup çıkış -84 ile +72 arasında sınırlandırılmıştır. Bulanık denetleyicinin veri tabanını oluşturan girişler ve çıkışlar için tanımlanmış üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan IF-THEN kalıplı 49 adet kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır. Tasarlanan bulanık denetleyicide bulanık çıkarım metodu olarak Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde alt seviye kontrol kısmında PD denetleyici tasarlanmıştır. Bu denetleyici üst seviyeden iletilen istenen hız değeri ile aracın gerçek hızı arasındaki hız hatasına bağlı olarak aracın hızını ayarlamaktadır. UHK sisteminin hız kontrol ve mesafe kontrol modlarından oluştuğu belirtilmiş olup, alt seviye kontrol kısmında sistemin hangi modda çalışmasının gerektiğinin belirlenmesi için bir akış diyagramı oluşturulmuştur. Akış diyagramı tasarımında; bulanık denetleyicinin çıkışında üretilen istenen hız değeri, sürücünün seyir etmek istediği hız değeri ile karşılaştırılır ve bu değerden büyük ise, istenen hız değeri sürücünün seyir etmek istediği hız değerine eşitlenir değilse aynı değerini korumaya devam eder. Sonrasında istenen hız değeri aracın mevcut hız değeri ile karşılaştırılır ve bu değerden büyük ise istenen hız değeri direkt olarak PD denetleyiciye iletilir. Eğer istenen hız değeri aracın mevcut hız değerinden küçük ise alt seviye kontrolde ayrıca fren kontrolü için tasarlanmış bulanık denetleyici çıkışı kullanılır. Fren kontrolü için tasarlanmış bulanık denetleyicinin yapısı çalışmada belirtilmemiş olup girişinin istenen hız değeri ile aracın mevcut hız değeri arasındaki fark olduğu görülmüştür. Tasarlanan sistem gerçek aracın üzerinde test edilmiş ve başarılı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada (Haroon vd., 2019), UHK sistemi tasarımında bulanık mantık kontrol yöntemi PID denetleyicinin katsayılarını belirlemek üzere kullanılmıştır.

Tasarlanan sistemde hem bulanık denetleyicinin hem de PID denetleyicinin girişi referans hız değeri ile aracın mevcut hızı arasındaki hız farkıdır. Aynı zamanda bu kontrol yöntemi yerine sabit katsayılı PID denetleyici de tasarlanmış ve kontrol yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Tasarlanan sistemin performansının test edilmesi için senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar simülasyonlar ile gösterilmiştir. Sabit katsayılı PID denetleyicinin olduğu tasarımda, aracın hızında değişiklik olduğu durumlarda overshoot, aracın sabit hızda ilerlediği durumlarda ise osilasyonların yaşandığı gözlemlenmiştir. Bulanık mantık denetleyicinin kullanıldığı tasarımda ise aracın hızında değişiklik olduğu durumlarda overshoot yaşanmadığı, aracın sabit hızda ilerlediği durumlarda ise hızın stabil olduğu ve herhangi bir şekilde osilasyonların yaşanmadığı belirtilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, sistemin çıktısı için referans değer genellikle hedef hız değeridir. Hedef hız değerinin olduğu çalışmalarda ivme değerindeki kısıtlar göz ardı edilmiş, hedef ivme değerinin olduğu çalışmalarda ise ISO22179 standardı referans alınarak değişen hız değerine göre bir limitleme yapılmamış böylece düşük hızlarda ani yavaşlamayı gerektiren negatif ivme değeri sağlanamamıştır. Ayrıca çalışmalardaki kontrol modeli tasarımları sadece çalışmadaki araç için kullanılabilir durumdadır ve jenerik değildir.

Bu tez çalışmasının literatür katkısı aşağıdaki gibi verilebilir.

- Bulanık mantık denetleyicilerinden oluşan üst seviye kontrol ISO 22179 standartı referans alınarak tasarlanmış olup tüm araçlara uygulanabilir jenerik bir tasarımdır.
- Sistemin farklı araçlara adaptasyonunda; tüm kontrol sistemi tasarımının değişmesine gerek kalmadan sadece alt seviye kontrolde yer alan ve pedal komut değerlerini üreten PI denetleyicilerin katsayılarının değişmesi yeterli olmaktadır.
- Üst seviye kontrolde yer alan bulanık mantık denetleyicilerinin çıktısı hedef hız değil, hedef ivmedir. Böylece ISO 22170 standardında belirtilen hıza bağlı ivme kısıtları sisteme uygulanabilmiştir.
- Bulanık mantık denetleyicilerinde hız kontrolü için Mamdani, mesafe kontrolü için Sugeno olmak üzere 2 farklı bulanık çıkarım yöntemi kullanılmıştır.
- Araca uygulanacak hedef ivme değeri için direkt olarak 2 bulanık mantık denetleyici çıkışında minimum alma yoluna gidilmemiştir. Sistemin mesafe ve hız kontrolü çıkışları arasında yumuşak geçişlerin yapılması güvenli takip mesafesi koşuluna bağlı bir anahtar ile sağlanmıştır.

3. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLERİ

İnsan mantığı doğası gereği fiziksel bir olguyu mutlak ve kesin ifadeler yerine belirsizliğe dayalı çıkarımlar yaparak yorumlamak üzerine kuruludur. Bu belirsizlik bilgisayar ve makine dili açısından bir anlam ifade etmez iken insanlar için bir olguyu tanımlamak için oldukça faydalı bir yöntemdir. Bulanık mantık da bilgisayar ve makine gibi dijital sistemlere, insana benzer çalışma yeteneği kazandırmakta ve karmaşık sistemlerin tasarımını insan mantığına yaklaştırmaktadır.

Gerçekte karmaşık bir sistem içerdiği birçok giriş ve çıkış parametreleri açısından doğrusal olmayan (non linear) sistemlerdir. Bir sistem ne kadar karmaşıksa, sistem o kadar fazla belirsizlik içerir ve bu tip karmaşık sistemlerin matematiksel açıdan modellenmesi bir o kadar zor olmaktadır (Ross, 2010). Bu tip belirsizlikler içeren doğrusal olmayan karmaşık sistemlerin matematiksel modeline ihtiyaç duymaksızın, sistemden istenen çıktıyı sağlamak için sistemin girişine uygulanan işaretlerin insan düşünce yapısı ve tecrübesine göre belirlenmesi bulanık mantık denetleyicileri ile mümkündür.

3.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantığı en anlaşılabilir haliyle açıklamak gerekirse; bir problemi günlük hayatta kullandığımız, matematiksel açıdan kesin değerler içermeyen ifadeler ile çözme tekniğidir. İlk defa ekmek pişirecek bir kişiye, ekmeğin 200 ºC sıcaklığa ulaşmasını beklemesi ve sonrasında fırından çıkarmasını söylemek yerine ekmeğin renginin hafif altın sarısı rengine ulaştıktan sonra fırından çıkarılmasının söylenmesi bulanık mantık kavramının günlük hayatta karşılaşılan bir örneği olarak verilebilir. Benzer şekilde havanın sıcaklığının tam olarak derecesini söylemek yerine çok sıcak, biraz soğuk gibi subjektif ifadeler ile tanımlanması veya bir insanın tam olarak boyunun uzunluğunu söylemek yerine uzun boylu, kısa boylu gibi objektif olmayan ifadeler ile tarif edilmesi bulanık mantık kavramının günlük hayatta kullanım biçimine örnektir.

Bulanık mantık objektif değil de subjektif olması yönüyle klasik mantık (Aristo mantığı) ile tamamen ayrışmaktadır. Klasik mantık iki değerli (binary) bir mantık sistemidir

ve klasik mantığa göre bir önermenin sonucu ya doğru ya da yanlıştır. Başka bir deyişle, klasik mantıkta önermelerin sonucu 0 veya 1 olabilmektedir. Bulanık mantık ise klasik mantığa alternatif olarak ortaya çıkmıştır ve sürekli değerli mantık (continuous-valued logic) olarak tanımlanmıştır (Ross, 2010). Yani bulanık mantığa göre bir önermenin sonucu 0 ile 1 arasında bir değer alabilir.

Klasik mantığa alternatif yaklaşım ilk olarak filozof Max Black tarafından 1937 yılında yapılan çalışmada olasılık teorisinde belirsizlik ifadesinin açıklanmasına dair kavramları içermektedir (Ross, 2010). Belirsizlik kavramını olasılık teorisinden de öteye taşıyarak, belirsizlik durumunda, belirsizliğe dair üyelik fonksiyonları ile karar verici mekanizmaların oluşturulması yaklaşımı 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından yayınlanan bulanık kümeler (fuzzy sets) adlı makale ile ortaya konulmuştur. Zadeh tarafından yayınlanan bu makale sonrasında bulanık mantık kavramı ortaya çıkmıştır. Zadeh çalışmasında, bir elemanın ait olduğu kümeye dair üyelik derecesinin (degrees of membership), klasik mantığın temelini oluşturan kesin kümeler (crisp set) yerine bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümeler ile tanımlanmasını önermiştir (Zadeh, 1965).

Klasik mantığın temelini oluşturan kesin kümelerde, bir eleman bir kümeye aittir veya ait değildir. Yani tanımlanan küme uzayına göre, elemanın alabileceği üyelik derecesi değeri ya 0 ya da 1 olabilir. Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümeler ise üyelik fonksiyonlarından (membership functions) meydana gelmektedir. Yani bir elemanın üyelik derecesi değeri, ilgili bulanık küme için tanımlanan üyelik fonksiyonlarına göre, 0 ile 1 arasında olabilir. Eğer bir eleman, bir üyelik fonksiyonuna dahil değil ise üyelik derecesi değeri 0, tam dahil ise üyelik derecesi değeri 1 olmaktadır. Eğer bir elamanın üyelik fonksiyonuna dahil olup olmadığı belirsiz ise, belirsizlik durumuna göre üyelik derecesi değeri 0 ile 1 arasında bir değer alır.

Kesin kümelerin matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, \text{eğer } x \in A \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases} \tag{3.1}$$

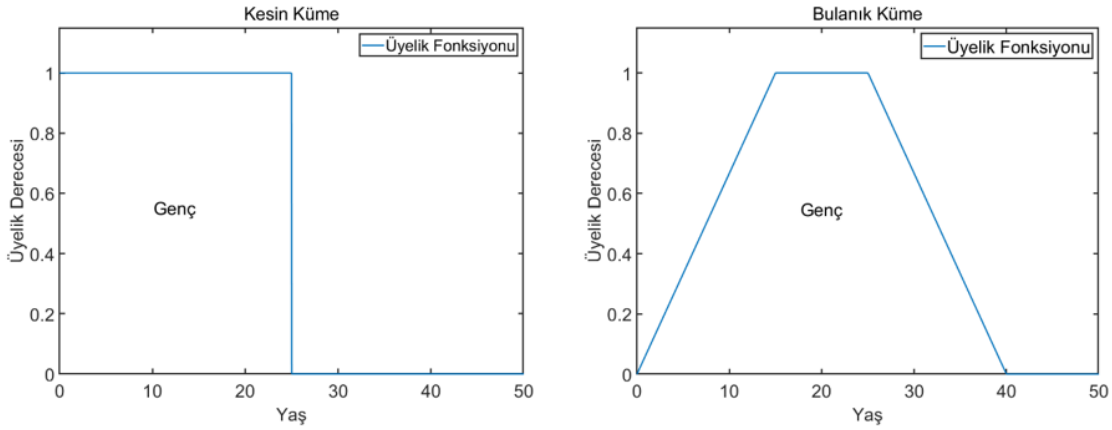
Denklem 3.1'de; A kesin kümeyi, x uzay kümesinin kesin küme elemanını ve $\mu_A(x)$ ise üyelik derecesi değerini ifade etmektedir.

Bulanık kümelerin matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$A = \{(x, \mu A(x)), \text{eğer } x \in X\} \tag{3.2}$$

Denklem 3.2'de; A bulanık kümeyi, x uzay kümesinin kesin küme elemanını, X uzay kümesini, $\mu_A(x)$ ise üyelik derecesi değerini ifade etmektedir.

Kesin küme ve bulanık küme kavramlarına örnek olarak Şekil 3.1'de insanların yaşına göre genç olma durumlarının kesin küme ve bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları üzerinden gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1 İnsanların yaşına göre genç olma durumu: (a) Kesin küme, (b) Bulanık küme

Şekil 3.1'de verilen kesin ve bulanık kümelerin matematiksel açıdan ifade edilişleri ise Denklem 3.3 ve Denklem 3.4'teki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, \text{eğer } x \leq 25 \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases} \tag{3.3}$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x}{15}, & \text{eğer } 0 \leq x \leq 15 \\ 1, & \text{eğer } 15 < x \leq 25 \\ \frac{40-x}{15}, & \text{eğer } 25 < x \leq 40 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.4)$$

Şekil 3.1a'da görüldüğü gibi kesin kümeye göre 25 yaşından küçük olan insanlar genç insanlardır. Verilen kesin kümeye göre yaşı 25'ten büyük olan insanlar genç değildir. Yani insanın yaşı 25'ten küçük ise genç olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi (üyelik derecesi değeri) sürekli olarak 1 olmakta iken, insanın yaşı 25'ten büyük ise genç olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi sürekli olarak 0 olmaktadır.

Şekil 3.1b'de görüldüğü gibi bulanık kümeye göre yalnızca yaşı 25'ten küçük olan insanlar için değil, yaşı 0 ile 40 arasındaki tüm insanlar genç olarak değerlendirilmektedir. Verilen bulanık kümeye göre bir insanın yaşı 0'dan 15'e doğru ilerledikçe gençliğin orantılı bir şekilde arttığı görülebilir. Yani insanın yaşı 0'dan 15'e doğru ilerledikçe, genç olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi de 0'dan 1'e doğru artmaktadır. Verilen bulanık kümeye göre 15 ile 25 yaşları arasındaki insanların tamamen genç sayıldığı görülebilir. Yani insanın yaşı 15 ile 25 arasında ise genç olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi de sürekli 1 olmaktadır. Verilen bulanık kümeye göre insanın yaşı 25'ten 40'a doğru ilerledikçe gençliğin orantılı bir şekilde azaldığı görülebilir. Yani insanın yaşı 25'ten 40'a doğru ilerledikçe, genç olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi de 1'dan 0'a doğru azalmaktadır.

26 yaşındaki bir insan kesin kümeye göre genç sayılmazken 25 yaşında bir insan genç sayılmaktadır. Yani klasik mantığa göre 26 yaşında bir insan genç olarak görülmemektedir. 26 yaşındaki bir insan, bulanık kümeye göre üyelik derecesi değeri 1'e çok yakın ancak tam olarak 1 olmadığı için, tamamen genç sayılmasa da, daha az genç sayılmaktadır. Yani bulanık mantığa göre 26 yaşındaki bir insan tamamen genç olmasa da halen daha genç olarak görülmektedir.

Şekil 3.1 üzerinden anlatılan örnekten görüleceği üzere, insanların bir olgu karşısında mutlak ve kesin ifadelerle karar vermek yerine, tecrübe ve birikimlerini kullanarak belirsizliğe dayalı çıkarımlar yaparak karar vermesi yaklaşımı bulanık mantık kavramının

ortaya çıkmasıyla fazlasıyla benimsenmiştir. Böylece bulanık mantık, mühendislik, otomotiv, görüntü işleme, tıp, biyoloji, ekonomi, istatistik gibi pek çok alanda karşılaşılan karmaşık problemlerin çözümünde tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Bai vd., 2006).

Bulanık mantık tabanlı bir denetleyici ilk olarak otomatik buhar makinesinin kontrolünde, bulanık mantık kavramının ortaya çıkmasından yaklaşık 10 yıl sonra 1974 yılında Mamdani ve Assilian tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmadan sonra bulanık denetleyicilerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bulanık mantık ticari anlamda ilk olarak Danimarka'da bulunan bir çimento fabrikasının çimento fırınını kontrol etmek için Holmblad ve Ostergaard tarafından 1982 yılında kullanılmıştır. Bu çalışmada çimento fırınlarının doğrusal olmayan bir yapıda olduğu ve kontrolünün oldukça zor olduğuna değinilmiş ve fırın içinde bulunan karışımın sıcaklığının, oksijen, azot oksit ve karbon monoksit gibi gazların oranlarının bulanık mantık denetleyicisi ile hassas biçimde ayarlandığına değinilmiştir (Bai ve Wang, 2006).

1987 yılında Japonya'daki Sendai Metro'sunda Hitachi firması tarafından tasarlanan bulanık mantık tabanlı denetleyicilerin metro hatlarındaki trenlerde kullanılması ile bulanık mantık ve bulanık mantık tabanlı denetleyiciler belli bir üne kavuşmuştur. Bulanık mantık denetleyicisi ile tasarlanan trenin muadillerine göre yüzde 10 daha az enerji tüketimi yaptığı, daha yumuşak hızlanma ve durma hareketleri sergilediği ve hedeflenen konumda operatöre göre 3 kat daha iyi hassasiyet ile durağa 7 santimetre kala otomatik olarak durabildiği görülmüştür (Schwartz ve Klir, 1992).

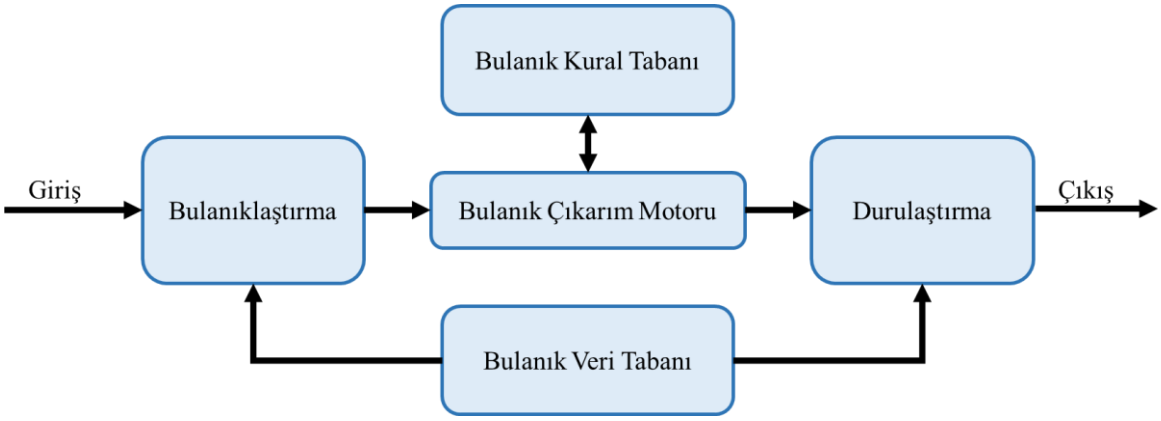
Bulanık mantık tabanlı denetleyiciler ile tasarlanan sistemlerin başarıları görüldükten sonra bulanık mantığa ilgi artmış ve 28 Mart 1989 yılında Japonya'nın Yokohama kentinde Hitachi, Honda, IBM, Mazda, Mitsubishi, NEC, Nissan, Omron, Ricoh, Sharp, Sony, Sumitomo, Toshiba, Toyota, Volkswagen, Yazaki ve Yokogawa gibi alanında lider global firmaların da bulunduğu yaklaşık 50 sponsor firma ile birlikte LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering Research) isimli bulanık mantık alanında mühendislik araştırmaları yapmak üzere laboratuvar kurulmuştur (Davis, 1994).

1990'lı yıllardan günümüze, otomotiv sektöründe; elektronik yakıt enjeksiyon sistemleri ve hız kontrol sistemleri gibi konularda, ev elektroniğinde; çamaşır makineleri ve

süpürgeler gibi aletlerde, ilaç sektöründe; çeşitli görüntü işleme tekniklerinin kullanılması yönüyle ve bir çok farklı üretim teknolojilerinde bulanık mantık tabanlı denetleyici tasarımları yapılmıştır (Nyugen vd., 2002).

3.2. Bulanık Mantık Denetleyicilerin Yapısı

Bulanık mantık denetleyicileri; bulanık veri tabanı (fuzzy data base), bulanıklaştırma (fuzzification), bulanık kural tabanı (fuzzy rule base), bulanık çıkarım motoru (fuzzy inference engine) ve durulaştırma (defuzzification) birimlerinden meydana gelir. Şekil 3.2'de bulanık mantık denetleyicilerin yapısı verilmiştir (Silva ve Pinto, 2017).

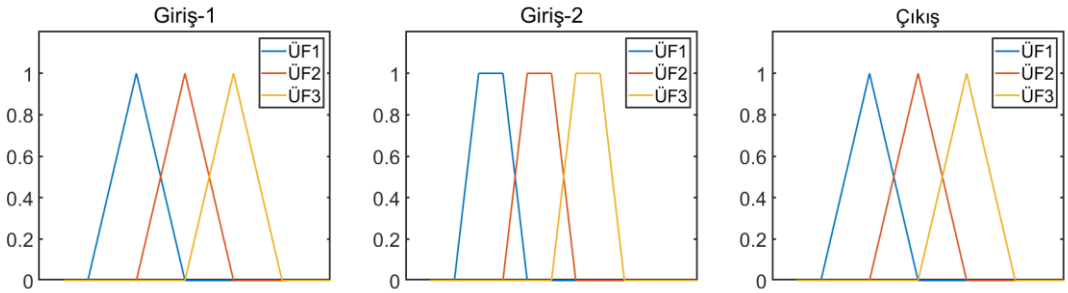


Şekil 3.2 Bulanık mantık denetleyici yapısı (Silva ve Pinto, 2017)

3.2.1. Bulanık veri tabanı

Bulanık veri tabanı bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemlerinin yapılabilmesini sağlar. Bir bulanık mantık denetleyici tasarımının ilk adımı bulanık veri tabanının oluşturulması ile başlamaktadır. Kontrol edilmek istenen sistemin girişindeki ve çıkışındaki kesin ve sayısal olan değişken değerlerinin dilsel değerler ile ifade edilecek bir biçime çevrilmesi ve bu ifadelere göre giriş ve çıkış için oluşturulmuş bulanık kümeler, bulanık veri tabanını tanımlamaktadır. Bulanık mantık denetleyici yapısının anlatımında kullanılması amacıyla örnek bir bulanık mantık denetleyicinin bulanık veri tabanında her bir giriş ve çıkış için tanımlanmış bulanık kümelerin grafiksel gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Verilen örnekte bulanık mantık denetleyicinin, ortamın sıcaklığına ve sıcaklık değişim hızına bağlı olarak bir ısıtıcının fan hızını ayarladığı düşünülebilir. Örnekte 1. giriş için tanımlanan

bulanık kümenin ortamın sıcaklığını ifade ettiği ve her bir üyelik fonksiyonun (ÜF) sırasıyla az sıcak, orta sıcak ve çok sıcak olduğu düşünülebilir. Örnekte 2. giriş için tanımlanan bulanık kümenin ortamın sıcaklığının bir dakikadaki değişim oranını ifade ettiği ve her bir üyelik fonksiyonun sırasıyla yavaş, orta ve hızlı olduğu düşünülebilir. Çıkış için tanımlanan bulanık kümenin ise ısıtıcının olması gereken fan hızını ifade ettiği ve her bir üyelik fonksiyonun sırasıyla yavaş, orta ve hızlı olduğu düşünülebilir.

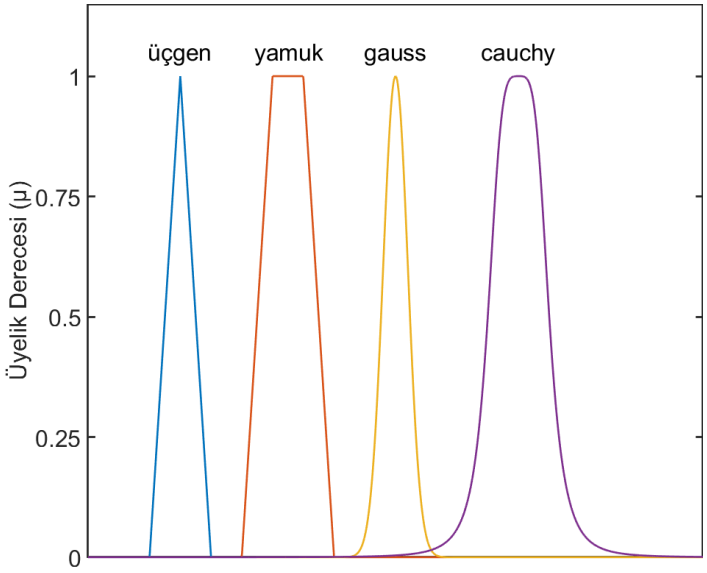


Şekil 3.3 Bulanık mantık denetleyici için örnek bulanık veri tabanı

3.2.1.1. Bulanık kümeler

Bulanık mantık başlığı altında da belirtildiği gibi, bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarından meydana gelmektedir. Bulanık mantık denetleyicilerinde giriş ve çıkış için tanımlanan bulanık kümelerin temel amacı, kesin ve sayısal olan bir değişkeni üyelik fonksiyonları yardımıyla dilsel bir ifadeye çevirmektir. Bulanık kümeyi oluşturan üyelik fonksiyonları üçgen (triangular), yamuk (trapezoidal), gauss, cauchy (generalized bell), kıvrık (sigmoidal) gibi birçok farklı şekilden oluşabilir.

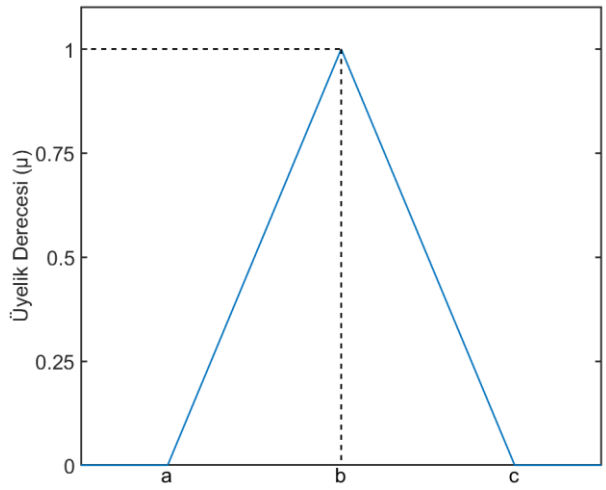
Kullanılan üyelik fonksiyonunun tipine bağlı olarak sistemin dinamik tepkisi değişebilmektedir. Uygulamanın durumuna bağlı olarak değişmekle birlikte en yaygın olarak üçgen, yamuk, gauss ve cauchy tip üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Zaman sabiti küçük olan ve dinamik tepki isteyen sistemlerde genellikle üçgen ve yamuk tip üyelik fonksiyonları, zaman sabiti büyük ancak yüksek doğruluk gerektiren sistemlerde genellikle gauss ve cauchy tip üyelik fonksiyonları tercih edilmektedir (Bai ve Wang, 2006). En yaygın kullanılan üyelik fonksiyon tipleri Şekil 3.4'te bir arada verilmiştir.



Şekil 3.4 En yaygın kullanılan üyelik fonksiyon tipleri

Üçgen tip üyelik fonksiyonlarının matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.5'te ve bu denkleme göre grafiksel gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir.

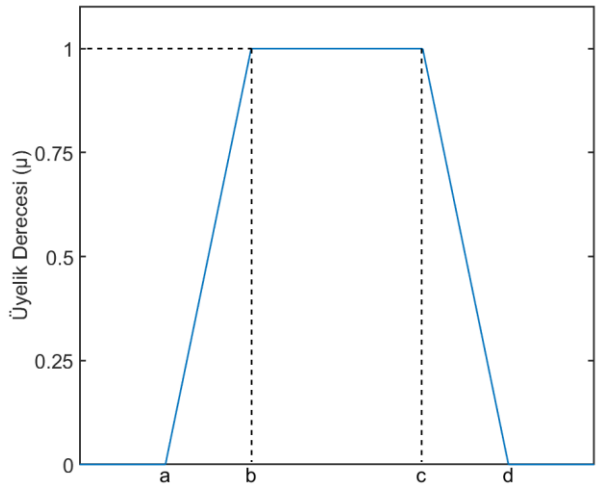
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \tag{3.5}$$



Şekil 3.5 Üçgen tip üyelik fonksiyonu

Yamuk tip üyelik fonksiyonlarının matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.6'da ve bu denkleme göre grafiksel gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir.

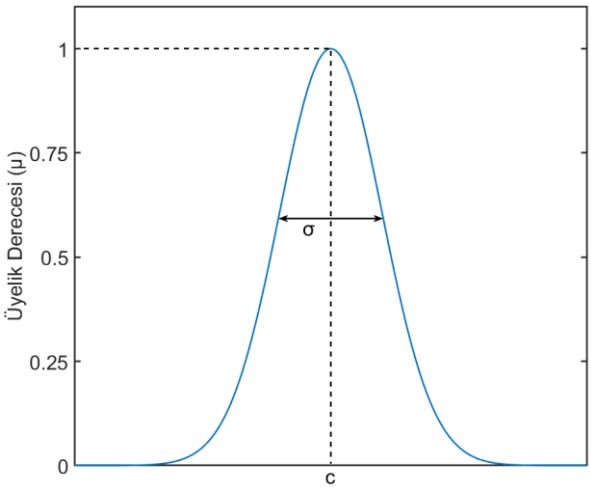
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \tag{3.6}$$



Şekil 3.6 Yamuk tip üyelik fonksiyonu

Gauss tip üyelik fonksiyonlarının matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.7'de ve bu denkleme göre grafiksel gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir.

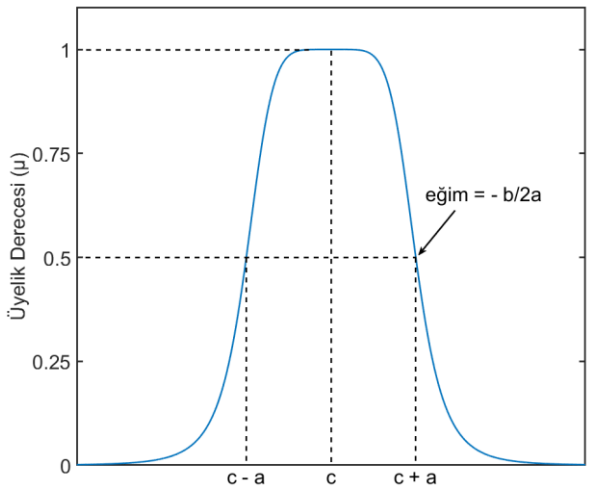
$$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \tag{3.7}$$



Şekil 3.7 Gauss tip üyelik fonksiyonu

Cauchy tip üyelik fonksiyonlarının matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.8'de ve bu denkleme göre grafiksel gösterimi Şekil 3.8'de verilmiştir.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \tag{3.8}$$

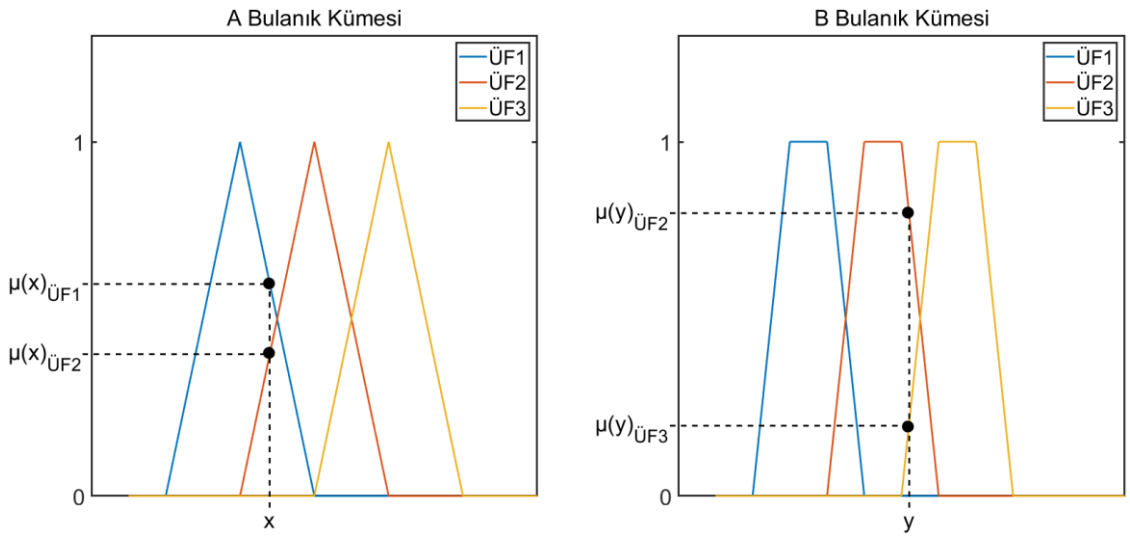


Şekil 3.8 Cauchy tip üyelik fonksiyonu

3.2.2. Bulanıklaştırma

Bulanık mantık denetleyicilerinin girişini oluşturan, kontrol edilmek istenen sistemden okunan veya okunan verilerin işlenmesiyle elde edilen, kesin ve sayısal değerlerin bulanık veri tabanında giriş için tanımlanmış bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları ile bulanık değerlere çevrilmesi işlemi bulanıklaştırma olarak tanımlanmaktadır (Ross, 2010).

Bulanıklaştırma işlemini bulanık veri tabanı başlığında tanımlanmış örnek üzerinden anlatmak gerekirse; 2 girişi bulunan bir bulanık mantık denetleyici tasarımında, bulanık veri tabanında her bir giriş için A ve B isimleriyle bulanık kümelerin tanımlandığı ve her bir bulanık kümenin 3 üyelik fonksiyonundan oluştuğu varsayılmıştır. Birinci giriş A bulanık kümesi üzerinden bulanıklaştırma işlemine tabii tutulurken ikinci giriş ise B bulanık kümesi üzerinden bulanıklaştırma işlemine tabii tutulmaktadır. Birinci girişte bulanıklaştırma işlemine uğrayacak sayısal değer x, ikinci girişte bulanıklaştırma işlemine uğrayacak sayısal değer ise y olarak adlandırılmıştır. Bulanıklaştırma işlemi için verilen örneğin grafiksel gösterimi Şekil 3.9'daki gibidir.



Şekil 3.9 Bulanıklaştırma işlemi grafiksel gösterimi

Şekil 3.9'dan görüleceği üzere birinci girişten okunan x sayısal değeri A bulanık kümesinde bulunan üyelik fonksiyonlarından hem üyelik fonksiyonu 1 (ÜF1) hem de üyelik fonksiyonu 2 (ÜF2)'ye aittir. Birinci girişten okunan bu x sayısal değerinin ÜF1'e ait olma derecesi $\mu(x)_{ÜF1}$ iken, ÜF2'ye ait olma derecesi $\mu(x)_{ÜF2}$ olmaktadır. Benzer şekilde ikinci

girişten okunan y sayısal değeri B bulanık kümesinde bulunan ÜF'lerden hem ÜF2 hem de ÜF3'e aittir. İkinci girişten okunan bu y sayısal değerinin ÜF2'ye ait olma derecesi $\mu(y)_{ÜF2}$ iken, ÜF3'e ait olma derecesi $\mu(y)_{ÜF3}$ olmaktadır.

Verilen örneğe göre birinci ve ikinci girişten okunan x ve y sayısal değerlerinde yapılan bulanıklaştırma işlemi sonucunda $\mu(x)_{ÜF1}$, $\mu(x)_{ÜF2}$, $\mu(y)_{ÜF2}$, $\mu(y)_{ÜF3}$ olmak üzere 4 farklı üyelik derecesi değeri elde edilmiştir. Bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen üyelik derecesi değerleri bulanık kural tabanında tanımlanan kurallara göre bulanık mantık işlemine tabii tutulmaktadır.

3.2.3. Bulanık kural tabanı

Bulanık kural tabanı, bulanık veri tabanında sistemin giriş ve çıkışlarını temsil eden bulanık kümeler için oluşturulmuş üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan kurallar bütünüdür. Bulanık kural tabanında yazılan kurallar EĞER-İSE (IF-THEN) yapısında olup, girişten okunan sayısal değerlerin bulanıklaştırma işlemi sonrasında bulanık değerlere çevrilmesi sonucunda elde edilen bulanık işaretlere göre çıkıştan alınması gereken bulanık işareti tanımlamaktadır. Bulanık kural tabanında bulunan kurallar insanın bilgi ve deneyimine dayandırılarak oluşturulur ve bu şekilde bulanık mantık denetleyicisine insana benzer çalışma yeteneği kazandırılmış olunur. Bulanık kural tabanında bulunan kuralların sayısı, bulanık veri tabanında her bir giriş ve çıkış için tanımlanmış bulanık mantık kümelerinin içerdiği üyelik fonksiyonları ile doğru orantılıdır.

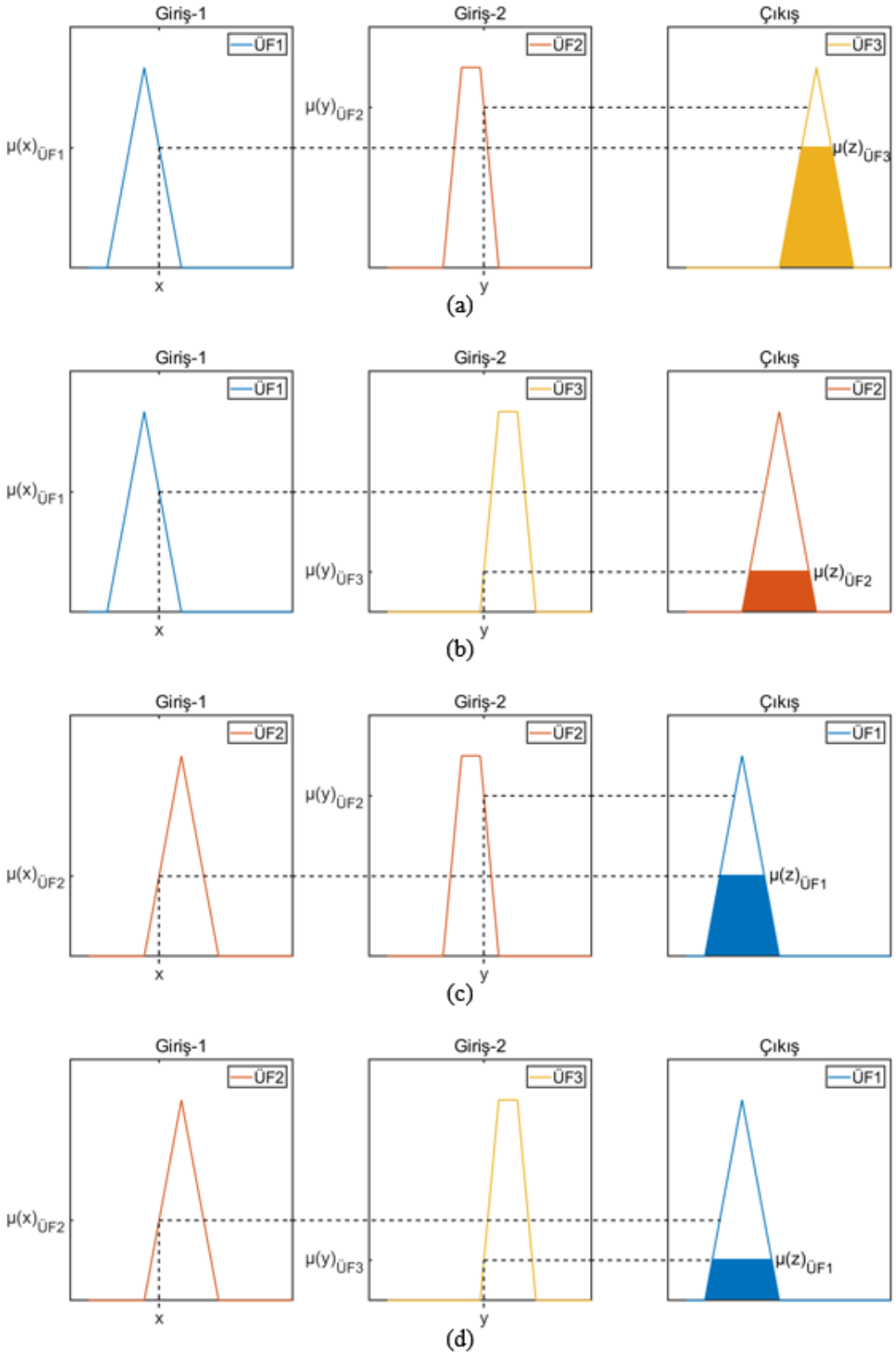
Bulanık kural tabanında oluşturulan kuralları bulanık veri tabanı başlığında tanımlanmış örnek üzerinden anlatmak gerekirse, 1 çıkışı bulunan bir bulanık mantık denetleyici tasarımında, çıkış için C ismiyle bulanık kümenin tanımlandığı ve bu bulanık kümenin 3 üyelik fonksiyonundan oluştuğu varsayılmıştır. Durulaştırma işlemi sonucunda çıkışta elde edilecek sayısal değer z olarak adlandırılacağı için bulanık kural tabanında tanımlanan kurallarda da çıkış için z değişkeni kullanılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda, bulanık kural tabanında örnek olarak Denklem 3.9'daki kurallar tanımlanmıştır.

$$
\begin{aligned}
&Kural\ 1: Eğer\ (x = ÜF1)\ ve\ (y = ÜF2)\ ise\ (z = ÜF3)\\
&Kural\ 2: Eğer\ (x = ÜF1)\ ve\ (y = ÜF3)\ ise\ (z = ÜF2)\\
&Kural\ 3: Eğer\ (x = ÜF2)\ ve\ (y = ÜF2)\ ise\ (z = ÜF1)\\
&Kural\ 4: Eğer\ (x = ÜF2)\ ve\ (y = ÜF3)\ ise\ (z = ÜF1)
\end{aligned}
\tag{3.9}
$$

Bulanık kural tabanında tanımlanan kurallarla ilgili olarak, girişler arasındaki bağlantı "ve" bağlacı ile bağlanırsa bu ifade her bir girişteki ilgili üyelik fonksiyonunun kesişim işlemi ile bağlandığını gösterir. Bu durumda yapılacak bulanık mantık işlemi şöyle tanımlanabilir; Her bir girişteki sayısal değerde yapılan bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen üyelik derecesi değerlerinden (verilen örnekte $\mu(x)_{ÜF1}$, $\mu(x)_{ÜF2}$, $\mu(y)_{ÜF2}$ ve $\mu(y)_{ÜF3}$ değerleri) ilgili kural için minimum olan değer alınır. Hesaplanan bu minimum değer, ilgili kuralda çıkış için tanımlanmış bulanık kümenin üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi değerini göstermektedir. Bulanık kural tabanında tanımlanan kurallarla ilgili olarak, girişler arasındaki bağlantı "veya" bağlacı ile bağlanırsa bu ifade her bir girişteki ilgili üyelik fonksiyonunun birleşim işlemi ile bağlandığını gösterir. Bu durumda yapılacak bulanık mantık işlemi şöyle tanımlanabilir; Her bir girişteki sayısal değerde yapılan bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen üyelik derecesi değerlerinden [$\mu(x)_{ÜF1}$, $\mu(x)_{ÜF2}$, $\mu(y)_{ÜF2}$, $\mu(y)_{ÜF3}$] ilgili kural için maksimum olan değer alınır. Hesaplanan bu maksimum değer, ilgili kuralda çıkış için tanımlanmış bulanık kümenin üyelik fonksiyonuna ait olma derecesi değerini göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Denklem 3.9'da tanımlanmış kuralların matematiksel işlem karşılığı Denklem 3.10'daki gibi olmaktadır.

$$
\begin{aligned}
&Kural\ 1: \mu(z)_{ÜF3} = min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF2}]\\
&Kural\ 2: \mu(z)_{ÜF2} = min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF3}]\\
&Kural\ 3: \mu(z)_{ÜF1} = min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF2}]\\
&Kural\ 4: \mu(z)_{ÜF1} = min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF3}]
\end{aligned}
\tag{3.10}
$$

Verilen örnekte, bulanık kural tabanında tanımlanan kurallara göre (Denklem 3.9) yapılan matematiksel işlemlerin (Denklem 3.10) grafiksel gösterimleri sırasıyla Şekil 3.10'daki gibidir.



Şekil 3.10 Bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallar ile yapılan işlemlerin grafiksel gösterimi: (a) Kural 1, (b) Kural 2, (c) Kural 3, (d) Kural 4

Sistemin bulanık veri tabanında tanımlanmış giriş ve çıkışlarını temsil eden bulanık kümeleri arasındaki ilişkiyi gösteren bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallar ayrıca bulanık ilişkisel matris (Fuzzy Associative Matrix) ile gösterilebilir. Denklem 3.9'da tanımlanan kuralların bulanık ilişkisel matris ile gösterimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kural tabanında tanımlanmış kuralların bulanık ilişkisel matris ile gösterimi

Çıkış		**Giriş-1**		
		ÜF1	**ÜF2**	**ÜF3**
Giriş-2	**ÜF1**	-	-	-
	ÜF2	ÜF3	ÜF1	-
	ÜF3	ÜF2	ÜF1	-

3.2.4. Bulanık çıkarım motoru

Bulanık çıkarım motoru, bulanık veri tabanında tanımlanmış olan sistemin giriş ve çıkışlarına ait bulanık kümeler ile bu kümeler arasındaki ilişkiyi tanımlayan bulanık kural tabanındaki kuralların çıktılarını bir araya getirerek, sistemin giriş değerlerine göre üreteceği çıktının belirlenmesini sağlar.

Bulanık sistemlerde en yaygın kullanılan bulanık çıkarım yöntemleri Mamdani, Sugeno ve Tsukamoto modelleridir. İlk çıkarım metodu olma özelliğiyle birlikte, literatürde ve pratik uygulama alanlarında en çok kullanılan yöntem Mamdani (1975) tipi bulanık çıkarım motorudur. Ortaya çıkış tarihi açısından ikinci yöntem olan Tsukamoto (1979) bulanık çıkarım yaklaşımında, metodun çıkışı için kullanılan üyelik fonksiyonlarının doğası gereği belirli durumlarda kullanılabilmesinden ötürü, hemen her türlü sistemde kullanılabilen genel bir bulanık çıkarım motoru yaklaşımı değildir. En yaygın kullanılan ikinci metot olan Sugeno (1985) bulanık çıkarım yöntemi ise sistemlerde tanımlanan giriş ve çıkış kümelerine göre sistematik bir yaklaşımla bulanık kurallar oluşturmayı önermektedir (Ross, 2010).

Bu tez çalışmasında Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım motorlarından oluşan yöntemler kullanıldığı için bu iki metodun özellikleri alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

3.2.4.1. Mamdani bulanık çıkarım motoru

Mamdani bulanık çıkarım metodu ilk olarak tecrübeli operatörlerden elde edilen dilsel ifadelere dayalı kontrol kurallarının sentezlenmesi ile ortaya çıkarılmış bir kontrol sistemidir. Mamdani metodunda her bir kuralın çıktısı bir bulanık kümedir. Mamdani bulanık çıkarım metodunda konuyla ilgili belli bir tecrübeye dayalı kişiler tarafından giriş ve çıkış kümeleri için kurallar tanımlanmaktadır. Bu özelliğinden dolayı Mamdani yöntemi sezgisel ve anlaşılması kolay olup, bir kontrol problemi karşısında insan doğası ve davranışlarına göre çok rahat bir şekilde göre uyarlanabilmektedir (MathWorks, 2020).

Mamdani tipi bulanık çıkarım motoru, bulanık veri tabanında tanımlanmış bulanık kümeler kullanılarak crisp giriş değerlerine göre bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen bulanık değerler ile bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallar kullanılarak mantıksal işlemlerin (ve, veya) uygulanması sonucunda ortaya çıkan bulanık kümelerin birleştirilmesi yöntemidir. Bulanık kural tabanında tanımlanmış her bir kural, birleşimi yapılacak bir bulanık ifadeyi göstermektedir.

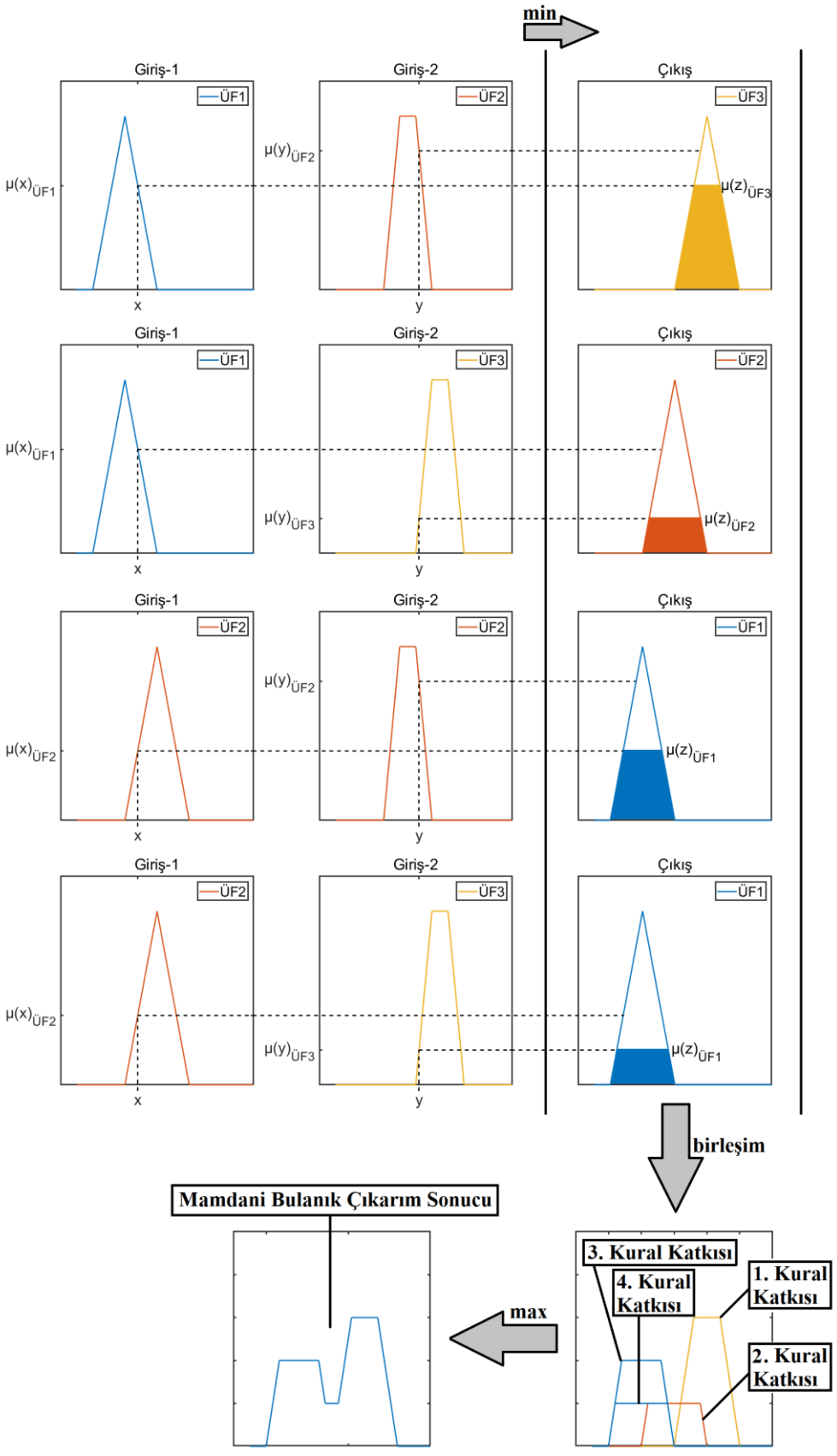
Mamdani metodunun denklemsel gösterimi Denklem 3.11'deki gibidir. Mamdani metodu 'Min-Max' şeklinde kesişim ve birleşim işlemi olup, denklemdeki 'r' ifadesi, bulanık kural tabanında tanımlanmış kuralların sayısını ifade etmektedir.

$$\mu(z)_k = \max_k\{min[\mu(x)_k, \mu(y)_k]\},\ k = 1, 2, \ldots, r \tag{3.11}$$

Örneğin bulanık kural tabanı başlığında tanımlanmış 4 kurala Mamdani yöntemi uygulanırsa Denklem 3.12 elde edilir.

$$\begin{aligned}\mu(z)_T = \max\{ & min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF2}], min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF3}], \\ & min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF2}], \min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF3}] \}\end{aligned} \tag{3.12}$$

Mamdani yönteminin bulanık kural tabanı başlığında tanımlanan kurallara uygulanması ile elde edilen ve Denklem 3.12'de gösterilen matematiksel işlemin grafiksel gösterimi Şekil 3.11'deki gibidir.



Şekil 3.11 Mamdani bulanık çıkarım yöntemi grafiksel gösterimi

3.2.4.2. Sugeno bulanık çıkarım motoru

Sugeno bulanık çıkarım metodu ayrıca Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım metodu ismiyle bazı kaynaklarda geçmektedir. Bu metodu Mamdani yönteminden ayıran en önemli özelliği çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır. Sugeno bulanık çıkarım metodunda çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları Mamdani yönteminde olduğu gibi bulanık kümelerle ifade edilmek yerine sabit değişkenler ile veya lineer fonksiyonlarla tanımlanır (MathWorks, 2020). Buna istinaden Mamdani yönteminde çıkış için elde edilen kümelerin birleşimi ile ortaya çıkan 2 boyutlu şeklin ağırlık merkezi bulunması ile durulaştırma işlemi yapılırken, Sugeno yönteminde çıktıyı elde etmek için ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı Sugeno yöntemi ile oluşturulmuş bulanık sistemin durulaştırma işlemi için Mamdani yöntemine göre daha az zorlayıcı seviyede matematiksel işlem yapılabilmektedir (MathWorks, 2020).

Sugeno bulanık çıkarım yöntemi daha basit düzeyde hesaplama işlemi ile sonuca ulaşmanın yanı sıra, lineer olmayan sistemlerin kontrol edilebilmesi için PID kontrol gibi lineer kontrol metotları ile birlikte çok iyi çalışmaktadır. Ayrıca Sugeno metodu optimizasyon ve uyarlanabilir metotlarla birlikte kullanılması sonucunda çıkış değerleri optimize edilerek çok daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Sugeno yönteminin bir diğer avantajı ise çıktıları oluşturan uzayın sürekliliğidir (MathWorks, 2020).

Sugeno tipi bulanık çıkarım motorunda, çıkış için tanımlanmış sabit değer veya lineer fonksiyonların crisp giriş değerleri kullanılarak her bir kural için ilgili çıkış seviyesi (kural çıkış derecesi) elde edilir. Bu seviyenin bulanık veri tabanında giriş için tanımlanmış bulanık kümelerin kullanılması ile ilgili kuralın çıkış değeri sonucuna etkisi (kural ağırlığı) bulunur.

Sugeno yönteminde kural çıkış derecesinin bulunmasına ait matematiksel işlem Denklem 3.13'teki gibidir. Denklemdeki x ve y değişkenleri bulanık sistem girişindeki crisp değerleri, a, b ve c değişkenleri ilgili çıkışa ait üyelik fonksiyonu için tanımlanmış lineer fonksiyona ait sabit katsayıları göstermektedir.

$$f_i = \mathrm{a}_i * \mathrm{x} + \mathrm{b}_i * \mathrm{y} + \mathrm{c}_i \tag{3.13}$$

Sugeno yönteminde kural ağırlığının bulunmasına ait matematiksel işlem Denklem 3.14'teki gibidir. Denklemdeki x ve y değişkenleri bulanık sistem girişindeki crisp değerleri ifade etmektedir. Bulanık veri tabanında her bir giriş için tanımlanmış bulanık kümeler kullanılarak bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen üyelik derecesi değerlerinde 'Min' işlemi uygulanması sonucunda ilgili kurala ait kural ağırlığı elde edilmektedir.

$$\mathrm{w}_i = min[\mu(x)_i, \mu(y)_i] \tag{3.14}$$

Bulanık veri tabanı başlığında çıkış için tanımlanmış olan üyelik fonksiyonları Mamdani metodu için verilmiştir. Sugeno metodu için örnek olması açısından çıkış için üyelik fonksiyonları Denklem 3.15'teki gibi verilmiştir.

$$\begin{aligned} f_1 &= \mathrm{a} * \mathrm{x} + \mathrm{b} * \mathrm{y} \\ f_2 &= \mathrm{c} * \mathrm{x} + \mathrm{d} * \mathrm{y} \\ f_3 &= \mathrm{e} * \mathrm{x} + \mathrm{f} * \mathrm{y} \end{aligned} \tag{3.15}$$

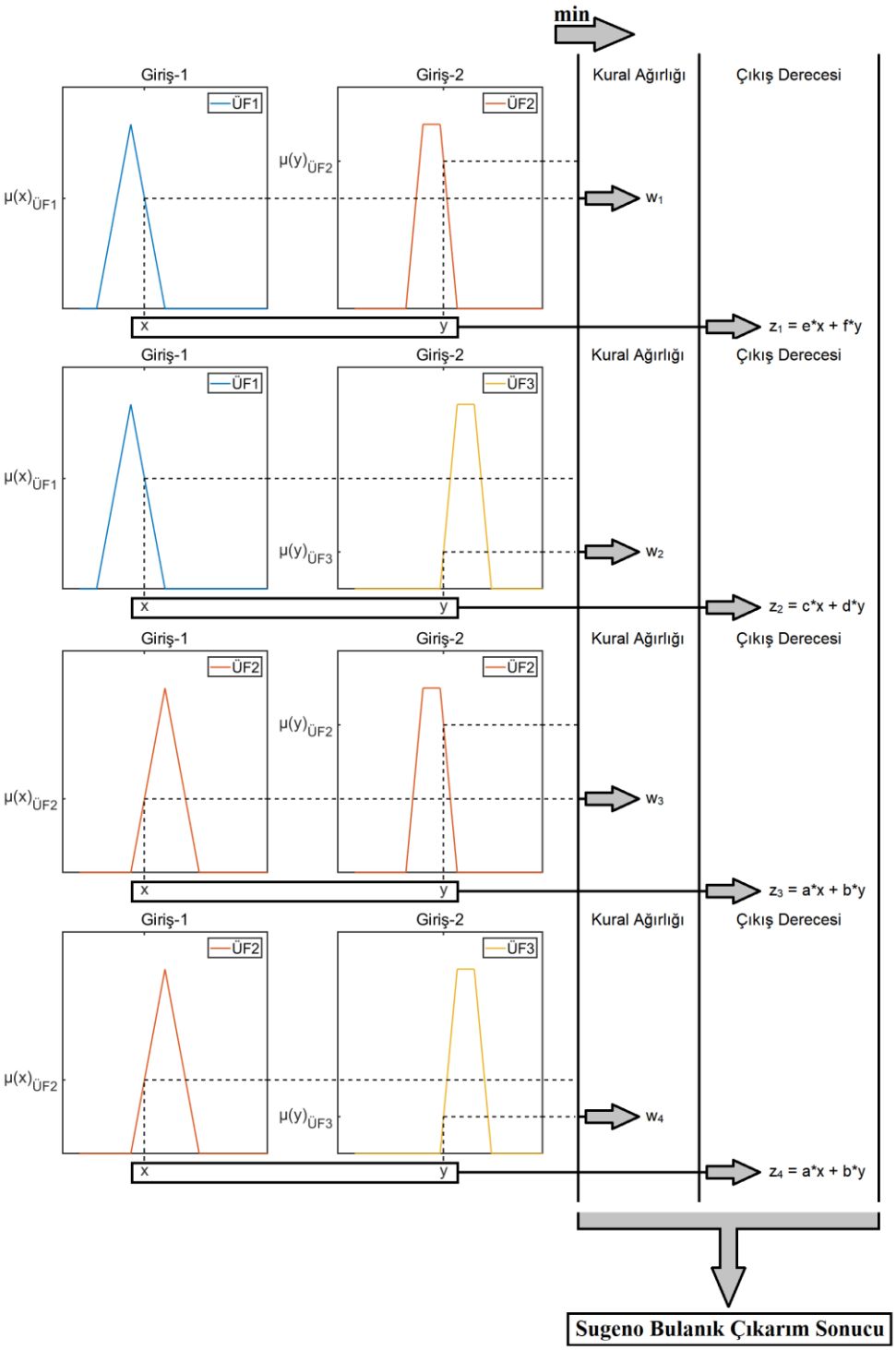
Bulanık kural tabanı başlığında tanımlanmış 4 kurala Sugeno yöntemi uygulanırsa her bir kurala göre çıkış üyelik fonksiyonları Denklem 3.16'daki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} &Kural\ 1\ için\ çıkış\ derecesi: z_1 = f3 = \mathrm{e} * \mathrm{x} + \mathrm{f} * \mathrm{y} \\ &Kural\ 2\ için\ çıkış\ derecesi: z_2 = f2 = \mathrm{c} * \mathrm{x} + \mathrm{d} * \mathrm{y} \\ &Kural\ 3\ için\ çıkış\ derecesi: z_3 = f1 = \mathrm{a} * \mathrm{x} + \mathrm{b} * \mathrm{y} \\ &Kural\ 4\ için\ çıkış\ derecesi: z_4 = f1 = \mathrm{a} * \mathrm{x} + \mathrm{b} * \mathrm{y} \end{aligned} \tag{3.16}$$

Sugeno yönteminde ilgili kuralın çıkış değeri sonucuna etkisinin (kural ağırlığı) bulunması işlemi Mamdani yönteminin ilk adımı olan minimum alma işleminin birebir aynısıdır. Bulanık kural tabanı başlığında tanımlanmış 4 kurala Sugeno yöntemi uygulanması ile her bir kurala ait kural ağırlığı değerleri Denklem 3.17'deki gibi elde edilir.

Sugeno yönteminin bulanık kural tabanı başlığında tanımlanan kurallara uygulanması ile elde edilen ve Denklem 3.16 ile Denklem 3.17'de gösterilen matematiksel işlemlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.12'deki gibidir.

$$
\begin{aligned}
&Kural\ 1\ için\ kural\ ağırlığı: w_1 = min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF2}] \\
&Kural\ 2\ için\ kural\ ağırlığı: w_2 = min[\mu(x)_{ÜF1}, \mu(y)_{ÜF3}] \\
&Kural\ 3\ için\ kural\ ağırlığı: w_3 = min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF2}] \\
&Kural\ 4\ için\ kural\ ağırlığı: w_4 = min[\mu(x)_{ÜF2}, \mu(y)_{ÜF3}]
\end{aligned}
\tag{3.17}
$$



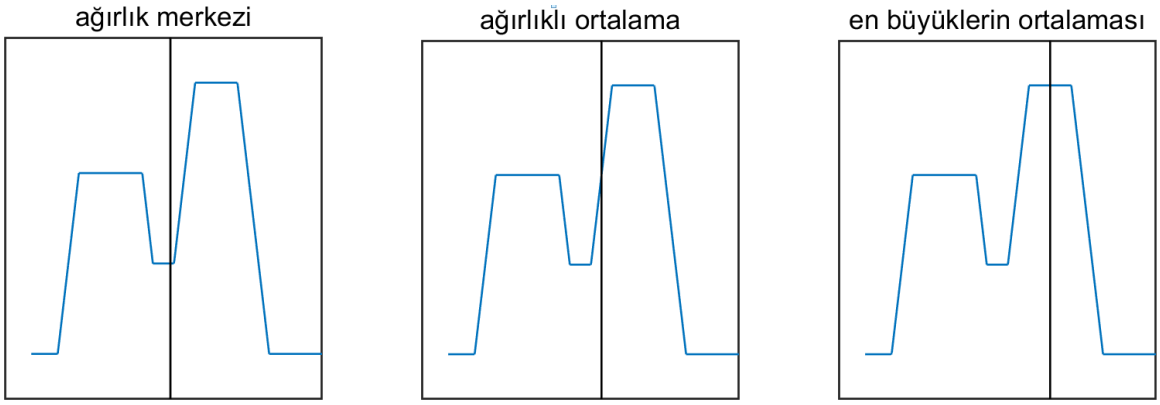
Şekil 3.12 Sugeno bulanık çıkarım yöntemi grafiksel gösterimi

3.2.5. Durulaştırma

Bulanık çıkarım motoru sonucunda elde edilen değerler bulanık değerler olup, kontrol edilmek istenen sistem için bu değerler herhangi bir anlam ifade etmemektedir. Bulanık çıktıyı gerçek hayatta pratik uygulamalarda kullanabilmek için durulaştırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Durulaştırma, bulanık çıkarım motoru sonucunda elde edilen bulanık çıktıların kesin sayısal değerlere dönüştürülmesi işlemidir (Bai ve Wang, 2006).

Literatürde birçok durulaştırma yöntemi bulunmaktadır ancak pratikte en yaygın kullanılan durulaştırma yöntemleri ağırlık merkezi (centroid), ağırlıklı ortalama (weighted average) ve en büyüklerin ortalaması (mean of maximum) yöntemleridir (Bai ve Wang, 2006). Bu tez çalışmasında durulaştırma yöntemleri olarak; Mamdani tipi bulanık çıkarımın yapıldığı denetleyici tasarımında ağırlık merkezi yöntemi, Sugeno tipi bulanık çıkarımın yapıldığı denetleyici tasarımında ise ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Pratikte en çok kullanılan durulaştırma yöntemleri ile ilgili bilgiler alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

Mamdani bulanık çıkarım motoru başlığında elde edilmiş bulanık çıkarım sonucuna en yaygın kullanılan durulaştırma yöntemleri uygulanması sonucunda elde edilecek kesin sayısal değerlerin gösterimi Şekil 3.13'teki gibidir.



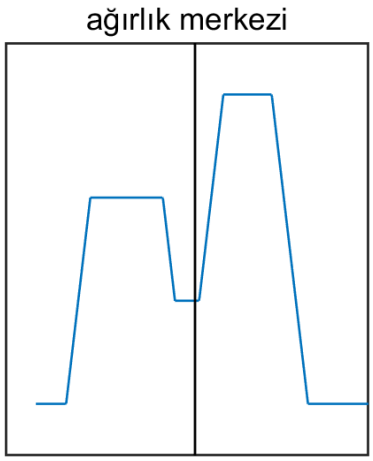
Şekil 3.13 En yaygın kullanılan durulaştırma yöntemlerinin gösterimi

3.2.5.1. Ağırlık merkezi yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemi en popüler durulaştırma tekniği olup pratik uygulamalarda en çok kullanılan yöntemdir. Bu metot ile bulanık çıkarım motoru sonucunda elde edilen bulanık çıktıya ait alanın fiziksel olarak ağırlık merkezi hesaplanmaktadır (Bai ve Wang, 2006). Bu yöntemin matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.18'de verilmiştir. Denklemde kullanılan integral ifadesi cebirsel açıdan integral anlamına gelmektedir.

$$z^* = \frac{\int \mu(z).z\,dz}{\int \mu(z)\,dz} \tag{3.18}$$

Mamdani bulanık çıkarım motoru başlığında elde edilmiş bulanık çıkarım sonucuna ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi uygulanması sonucunda elde edilecek kesin sayısal değerin gösterimi Şekil 3.14'teki gibidir.



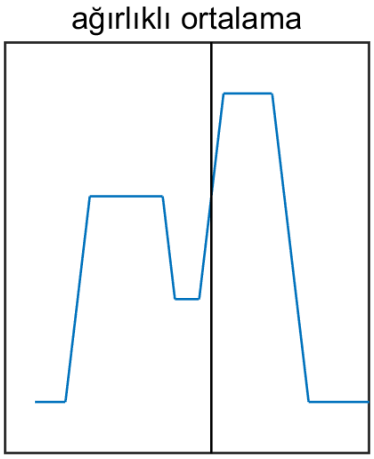
Şekil 3.14 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi

3.2.5.2. Ağırlıklı ortalama yöntemi

Ağırlık ortalama yöntemi daha az hesap ile sonuca ulaşabilme özelliği ile daha verimli olmasından dolayı bulanık mantık denetleyicilerinin kullanıldığı uygulamalarda sıklıkla kullanılan durulaştırma yöntemidir (Ross, 2010). Bu yöntemin matematiksel açıdan ifade edilişi Denklem 3.19'da verilmiştir. Denklemde kullanılan toplam ifadesi cebirsel açıdan toplam anlamına gelmektedir.

$$z^* = \frac{\sum \mu(z).z}{\sum \mu(z)} \tag{3.19}$$

Mamdani bulanık çıkarım motoru başlığında elde edilmiş bulanık çıkarım sonucuna ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma işlemi uygulanması sonucunda elde edilecek kesin sayısal değerin gösterimi Şekil 3.15'teki gibidir.

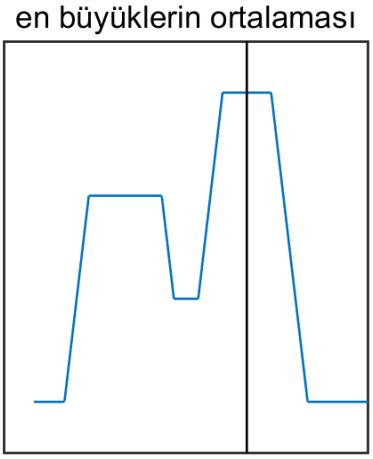


Şekil 3.15 Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma işlemi

3.2.5.3. En büyüklerin ortalaması yöntemi

Bulanık çıkarım motoru sonucunda elde edilen bulanık çıktıda, en yüksek üyelik derecesine ait olan değerlerin ortalamasının hesaplanması ile yapılan durulaştırma işlemi en büyüklerin ortalaması yöntemidir. Bu metot çıkışta elde edilen şeklin tamamına değil, sadece maksimum üyeliğe sahip değerlerin olduğu kısma odaklandığından dolayı farklı şekilli çıkışlar için aynı sonuçlar elde edilebilmektedir (Bai ve Wang, 2006).

Mamdani bulanık çıkarım motoru başlığında elde edilmiş bulanık çıkarım sonucuna en büyüklerin ortalaması yöntemi ile durulaştırma işlemi uygulanması sonucunda elde edilecek kesin sayısal değerin gösterimi Şekil 3.16'daki gibidir.



Şekil 3.16 En büyüklerin ortalaması yöntemi ile durulaştırma işlemi

4. MATERYAL VE YÖNTEM

UHK sistemi bulunan bir araç (arkadaki araç, host vehicle), aracın önüne kendi hızından daha yavaş hızda seyir eden başka bir araç (öndeki araç, target vehicle) çıktığı durumda veya araçlar arasındaki mesafe güvenli takip mesafesi sınırlarının dışında olduğu durumda, aracın hızının güvenli bir şekilde azaltılmasını sağlamakta ve gerekirse aracı durdurmaktadır. Araçlar arasında güvenli takip mesafesi sağlandığı durumda, aracın hızını öndeki araç ile aynı olacak şekilde ayarlamakta, öndeki araca göre aracın hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlamakta ve güvenli takip mesafesini koruyarak ilerlemektedir. Öndeki aracın hızı, sürücü tarafından ayarlanan hızın üstüne çıktığı koşulda ve aracın önünde güvenli sürüş mesafesini etkileyecek bir engel olmaması durumunda, normal HK sisteminin özelliklerini de yerine getirerek, aracın hızını sürücünün daha önceden ayarladığı hızda tutacak şekilde seyir etmesini sağlamaktadır.

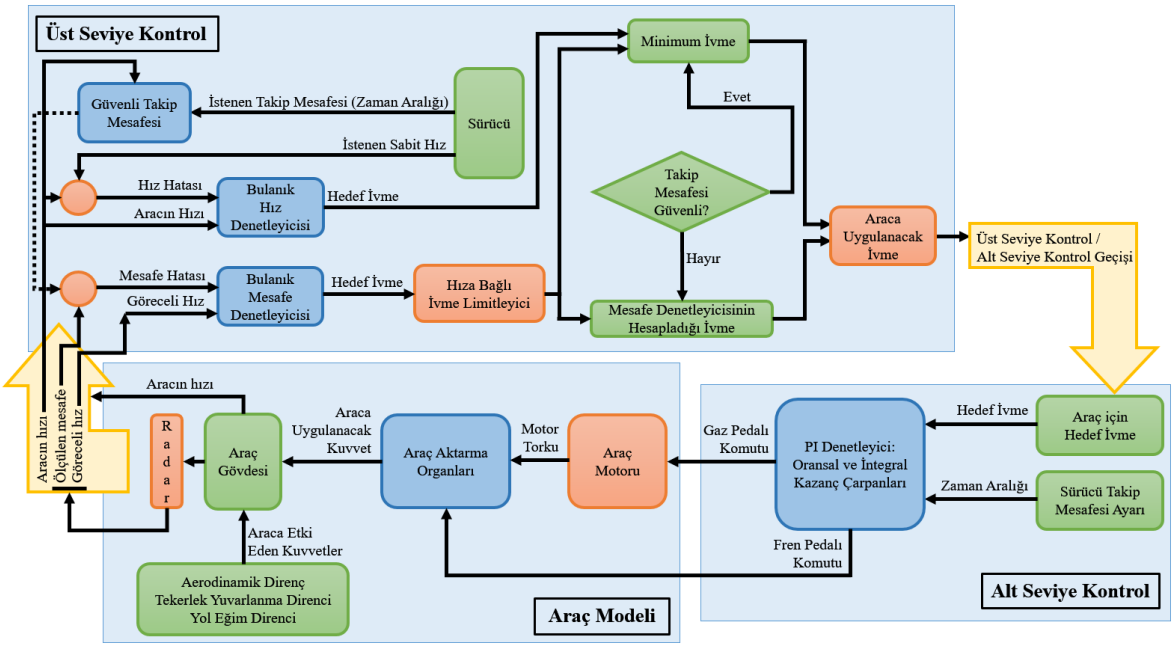
Bu çalışmada UHK sisteminin tasarlanması ve modellenmesi yapılmıştır. Tasarlanan modelin doğruluğunun sınanması için piyasada bulunan bir aracın teknik verileri kullanılarak araç modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan UHK sistemi ve araç modeli uyumlandırılmış ve tüm modelin benzetimi sonucunda günlük hayatta karşılaşılabilecek senaryolara göre simülasyonlar yapılmıştır. UHK sisteminin tasarlanması, modellenmesi, araç modelinin oluşturulması ve simülasyonların koşulması MATLAB-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan sistemin mimarisi Şekil 4.1'de verilmiştir. Sistem mimarisinde gösterilen bulanık mantık tabanlı uyarlamalı hız denetleyicisi kısmında, bulanık hız denetleyicisi ve bulanık mesafe denetleyicisi olmak üzere iki ayrı bulanık denetleyici bulunmaktadır. Öndeki araca dair radar bilgileri, araç sürücüsünün ayarladığı hız bilgisi, aracın kendi hızı ve güvenli takip mesafesine dair bilgiler bu iki denetleyici tarafından kullanılarak iki ayrı hedef ivme değeri hesaplanır. Öndeki araç ile güvenli takip mesafesinin sağlanma durumuna bağlı olarak araca uygulanacak ivme değeri belirlenir.

Bulanık mantık denetleyicisi çıkışında hesaplanan ivme değeri, aracın modeline göre tasarlanıp uyumlandırılan PI denetleyicisine girdi oluşturur. Sistem mimarisinde gösterilen

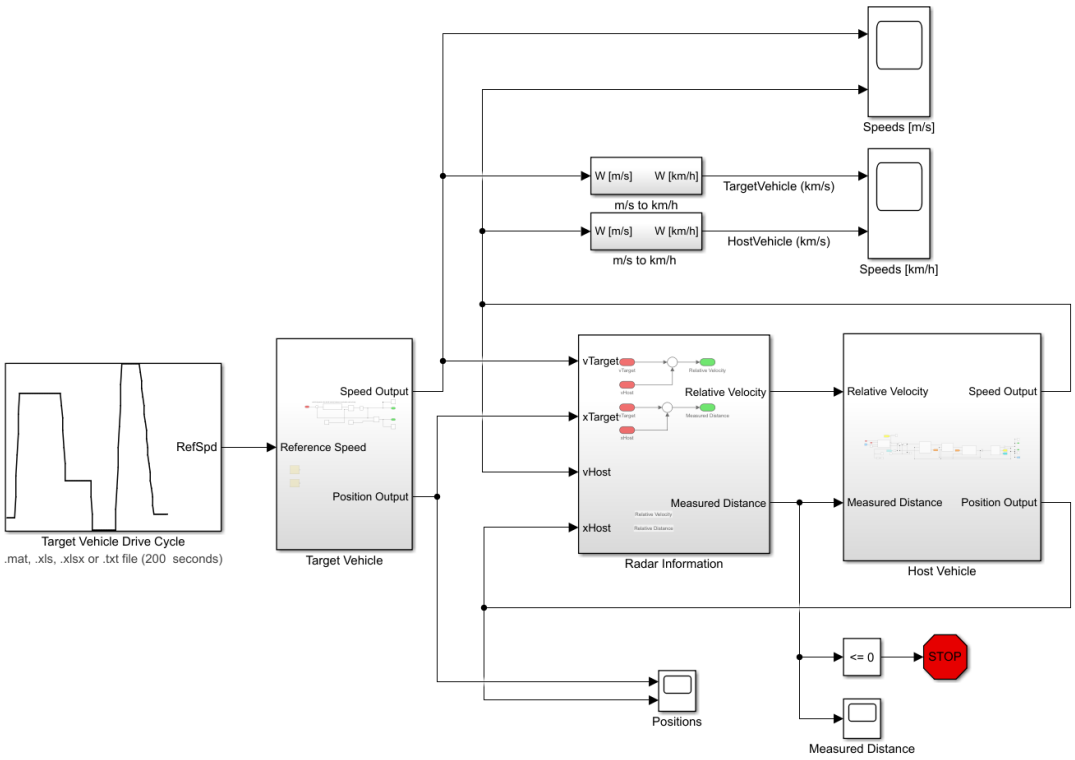
PI denetleyici, hedef ivme değeri ile güvenli takip mesafesi ayarında kullanılan zaman aralığı (time headway) değerini kullanarak, araca uygulanacak pedal komutlarının değerini hesaplar.

PI denetleyici çıkışında hesaplanan araca uygulanacak gaz pedalı veya fren pedalı değerine göre aracın motorundan alınacak tork değeri, motor torkunun aktarma organları üzerinden araca uygulanacak kuvvete dönüşümü ve araca etki eden direnç kuvvetlerinin bileşkesinin alınması ile araçta meydana gelecek hız değişiminin gösterimi ise sistem mimarisinde gösterilen araç modeli kısmında ele alınmıştır.



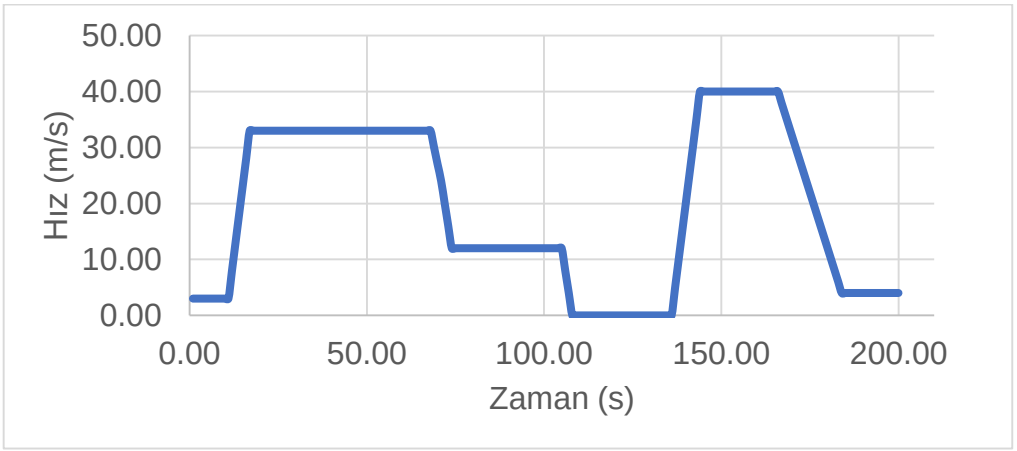
Şekil 4.1 Tasarlanan sistemin mimarisi

Simulink ortamında benzetimi yapılan sistemin mimarisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Benzetimde öndeki araç, UHK sistemi bulunan arkadaki araç, UHK aracında bulunan radar algılayıcısının parametreleri (radar information) ve simülasyon için hazırlanan senaryoların gerçeklenebilmesi için öndeki aracın sürüş çevrimi (target vehicle drive cycle) olmak üzere ayrı ayrı alt sistemler oluşturulmuştur.



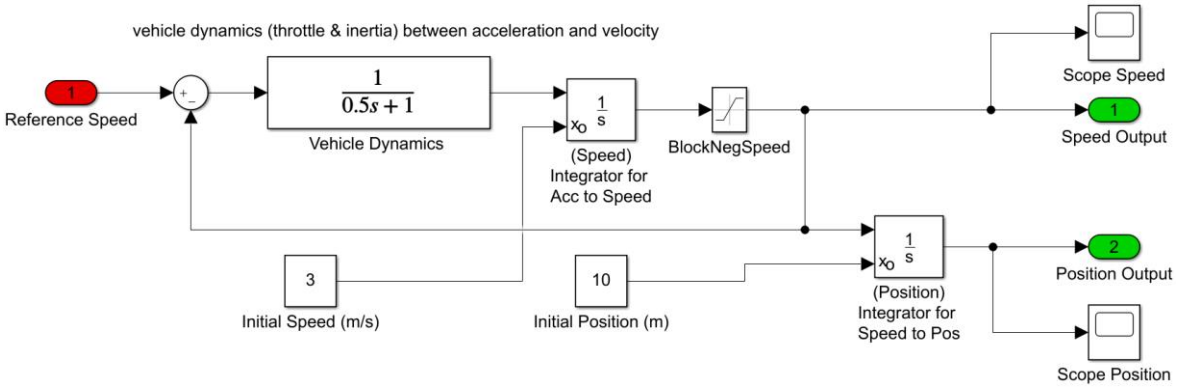
Şekil 4.2 Simulink ortamında benzetimi yapılan sistem mimarisi

Öndeki aracın sürüş çevrimi için 200 saniyelik bir hız profili oluşturulmuştur. Her bir senaryo için bu sürüş çevrimi güncellenmektedir. Sürüş çevrimi xlsx uzantılı dosyadan çekilerek kullanılmıştır. Sistem mimarisinde öndeki aracın sürüş çevrimi olarak gösterilen örnek hız profili Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Öndeki araç için sürüş çevrimi örneği

Öndeki araç için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.4'te verilmiştir. Öndeki aracın ilk boylamsal konumu ve hızına ait bilgiler bu kısımda ayarlanmaktadır.

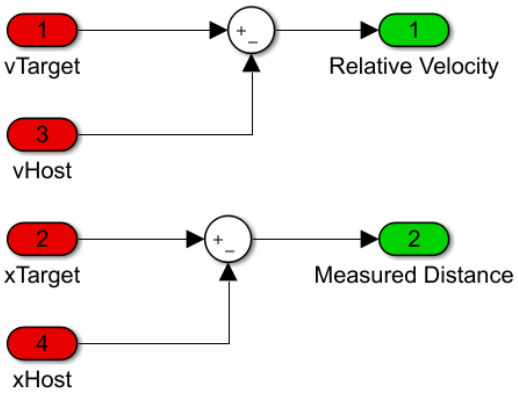


Şekil 4.4 Öndeki araç için yapılan benzetim

Öndeki araç için detaylı bir model oluşturulmamış olup, gaz koluna bağlı olarak motorun tepkisi, aracın ataleti vb. gibi dinamikleri simüle etmesi adına öndeki araç modeli için Denklem 4.1'deki transfer fonksiyonu tanımlanmıştır.

$$\ddot{o}ndeki\ aracın\ benzetim\ modeli\ = \frac{1}{0{,}5s + 1} \tag{4.1}$$

UHK sistemine sahip arkadaki araçta bulunan radara ait bilgiler için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.5'te verilmiştir.



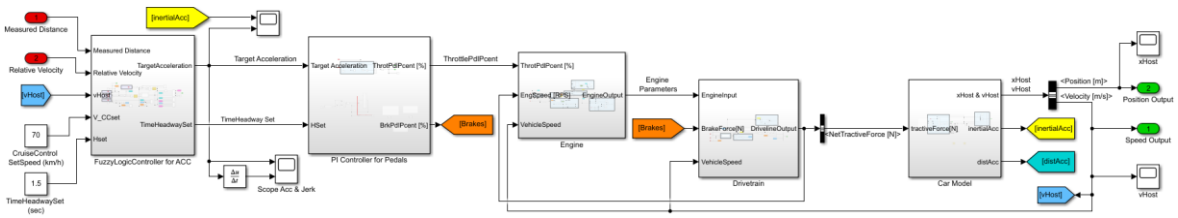
Şekil 4.5 Arkadaki araçta bulunan radarın benzetimi

Arkadaki araçta bulunan radar için detaylı bir model oluşturulmamış olup, öndeki ve arkadaki araçlara dair hız ve boylamsal konum değerleri kullanılarak radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız (relative velocity) ve ölçülen mesafe (measured distance) değerleri elde edilmiştir. Denklem 4.2 ve Denklem 4.3'te sırasıyla radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız (V_{rel}) ve ölçülen mesafe ($D_{measured}$) parametrelerinin hesaplaması yapılmıştır. Bu denklemlerde tanımlanan değişkenlerle ilgili olarak; V_{target} öndeki aracın hızını, V_{host} UHK sistemi bulunan arkadaki aracın hızını, X_{target} öndeki aracın boylamsal düzlemdeki konumunu ve X_{host} arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumunu ifade etmektedir.

$$V_{rel} = V_{target} - V_{host} \tag{4.2}$$

$$D_{measured} = X_{target} - X_{host} \tag{4.3}$$

UHK sistemi bulunan arkadaki araç için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.6'da verilmiştir. UHK sistemi bulunan arkadaki araç için yapılan benzetimde, bulanık mantık tabanlı uyarlamalı hız denetleyicisi, aracın modeline göre tasarlanıp uyumlandırılan ve araca uygulanacak gaz pedalı veya fren pedalı komutlarını hesaplayan PI denetleyicisi, aracın motoru, aktarma organları ve gövdesinin modellenmesine dair detaylar bu bölümün alt başlıklarında verilmiştir.



Şekil 4.6 UHK sistemi bulunan arkadaki araç için yapılan benzetim

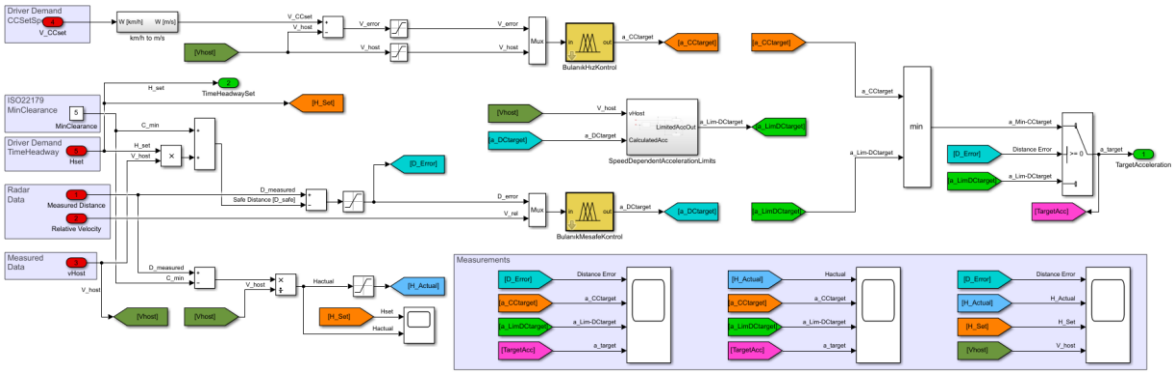
4.1. Uyarlamalı Hız Kontrolü Sistemi Benzetimi

Tasarlanan UHK sistemi üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol olmak üzere iki kısımdan oluşmakta olup, hiyerarşik yapıdadır. Üst seviye kontrol, araçta bulunan radar bilgilerini kullanarak araca uygulanması gereken ivme değerini hesaplar. Alt seviye kontrol

ise, üst seviyeden aldığı hedef ivme değeri ve güvenli takip mesafesi ayarı için kullanılan zaman aralığı değerini kullanarak, araca uygulanacak pedal komutlarını üretir.

4.1.1. Üst seviye kontrol

Aracın motor modeli, aktarma organlarında yer alan şanzımanda meydana gelen vites geçişleri, araç hızının değişimi için gaz veya fren pedallarına komut gönderilmesi, aracın modellemesi için taramalı tabloların (look-up table) kullanılması gibi doğrusal olmayan ve süreksizlik içeren fonksiyonlardan dolayı UHK sistemi kontrol problemi açısından nonlineer olarak değerlendirilmektedir. Buna istinaden UHK sistemi tasarımında üst seviye kontrol için bulanık mantık denetleyicileri kullanılmıştır. Üst seviye kontrol için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Üst seviye kontrol için yapılan benzetim

Üst seviye kontrol biriminde girdi olarak algılayıcılardan ölçülen ve sürücü tarafından girilen parametreler kullanılmaktadır. Aracın hızı (V_{host}), öndeki araca olan uzaklık ($D_{measured}$) ve öndeki araca göre bağıl hız (V_{rel}) değerleri algılayıcılardan ölçülen bilgilerdir. Sürücü tarafından ayarlanabilen parametreler ise; aracın sabit hızda seyir etmesi için girilen hız değeri (V_{CCset}) ve öndeki aracı takip ettiği durum için güvenli takip mesafesini seviyesidir. Güvenli takip mesafesine dair seviyelerin ayarlanması için zaman aralığı (H_{set}) kullanılmıştır. Üst seviye kontrol biriminde çıktı olarak hedef ivme üretilir ve alt seviye kontrol birimine iletilir.

Üst seviye kontrolde bulanık hız denetleyicisi ve bulanık mesafe denetleyicisi olmak üzere iki farklı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Bulanık hız denetleyicisi normal

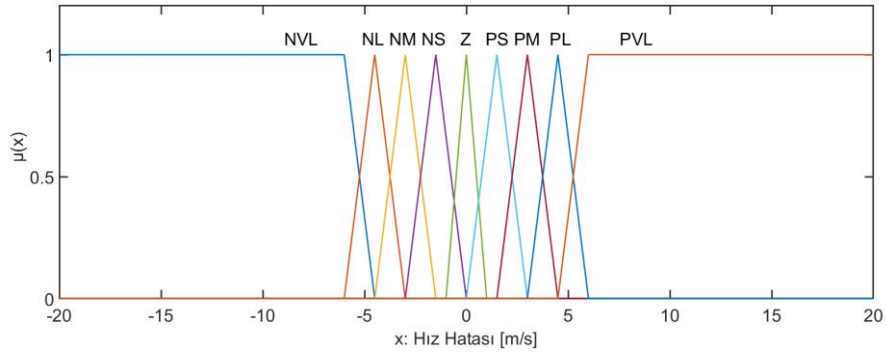
HK sistemlerindeki gibi çalışmakta, aracın hızının, sürücü tarafından ayarlanan hızda olması için ivme değeri üretmektedir. Bulanık mesafe denetleyicisi ise tasarlanan sisteme UHK özelliği kazandırmakta ve aracın önünde bulunan bir araç veya engele bağlı olarak araçlar arasında güvenli takip mesafesini korumak için aracın hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlayacak olan ivme değerini üretmektedir.

4.1.1.1. Bulanık hız denetleyicisi tasarımı

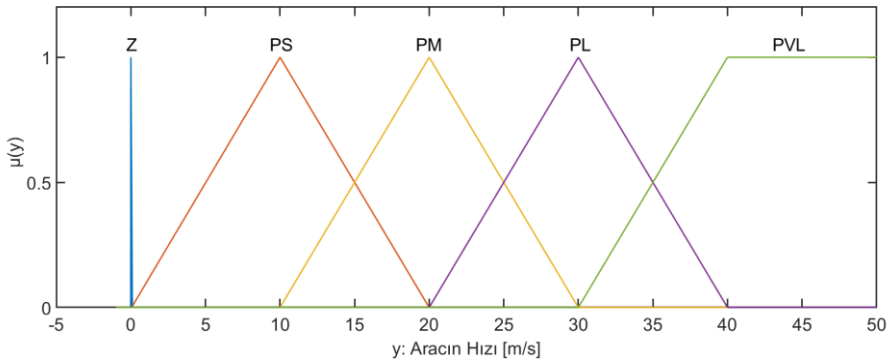
Bulanık hız denetleyicisi UHK sistemine normal HK özelliği kazandırmakta, mesafeye bağlı herhangi bir işlem yapmamaktadır. Bulanık mantık tabanlı hız denetleyici tasarımı iki giriş ve bir çıkıştan oluşan bulanık veri tabanına sahiptir. Bulanık hız denetleyicisinin girişlerinden biri hız hatasıdır (V_{error}). Sürücü tarafından girilen, aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız (V_{CCset}) ile aracın mevcut hızı (V_{host}) arasındaki fark, hız hatasını ifade etmektedir (Denklem 4.4). Bulanık hız denetleyicisinin diğer girişi ise aracın mevcut hızıdır (V_{host}). Bulanık hız denetleyicisinin çıkışı ise hız denetleyici hedef ivmesi ($a_{CCtarget}$) olarak adlandırılmıştır. Bulanık mesafe denetleyicisinin de çıktısı hedef ivme olduğu için bu iki değerin birbiri ile karıştırılmaması adına farklı isimlendirmeler yapılmıştır.

$$V_{error} = V_{CCset} - V_{host} \tag{4.4}$$

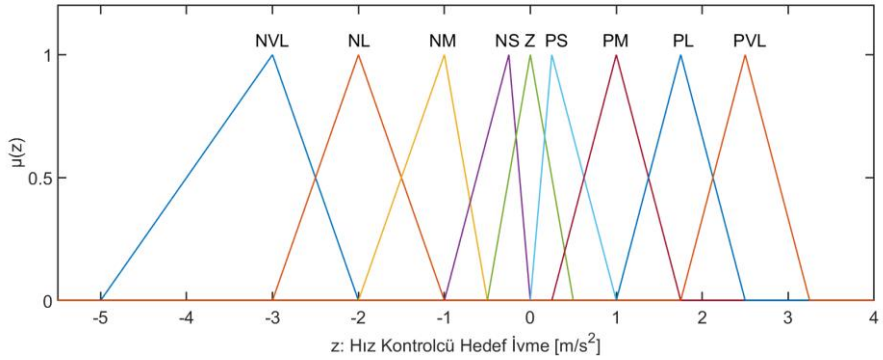
Bulanık hız denetleyicisinin bulanık veri tabanını oluşturan girişler ve çıkışlar için tanımlanmış bulanık kümeler ve bu kümelere ait üyelik fonksiyonların gösterimi sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.8 Bulanık hız denetleyicisi hız hatası girişi için üyelik fonksiyonları



Şekil 4.9 Bulanık hız denetleyicisi aracın hızı girişi için üyelik fonksiyonları



Şekil 4.10 Bulanık hız denetleyicisi hedef ivme çıkışı için üyelik fonksiyonları

Bulanık hız denetleyicisinin veri tabanını oluşturan giriş ve çıkış bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonlarının isimlendirmesinde kullanılan isim kısaltmaları ve karşılıkları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonları kısaltmaları ve karşılıkları

Kısaltma	***Karşılığı (İngilizce)***	***Karşılığı (Türkçe)***
NVL	Negative Very Large	Negatif çok büyük
NL	Negative Large	Negatif büyük
NM	Negative Medium	Negatif orta
NS	Negative Small	Negatif küçük
Z	Zero	Sıfır
PS	Positive Small	Pozitif küçük
PM	Positive Medium	Pozitif orta
PL	Positive Large	Pozitif büyük
PVL	Positive Very Large	Pozitif çok büyük

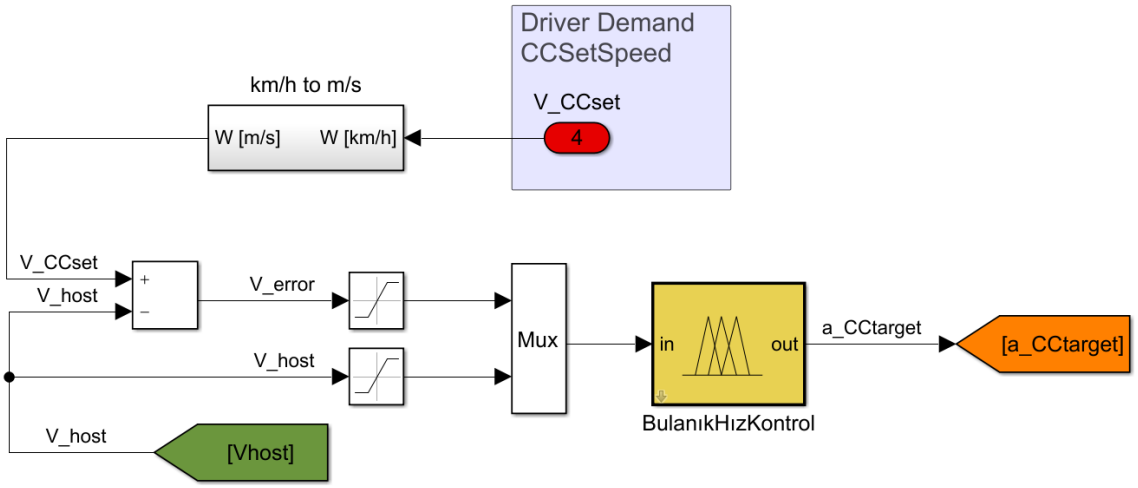
Bulanık hız denetleyicisinin veri tabanında sistemin giriş ve çıkışlarını temsil eden bulanık kümeler için oluşturulmuş üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan IF-THEN kalıplı 45 adet kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır. Bulanık hız denetleyicisinin kural tabanını oluşturarak girişler ve çıkışı ilişkilendiren kurallar Çizelge 4.2'de özetlenmiştir. Bulanık çıkarım mekanizmasında kullanılmak üzere her bir kuralın ağırlığı eşit olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 4.2 Bulanık hız denetleyicisi için oluşturulmuş bulanık kurallar

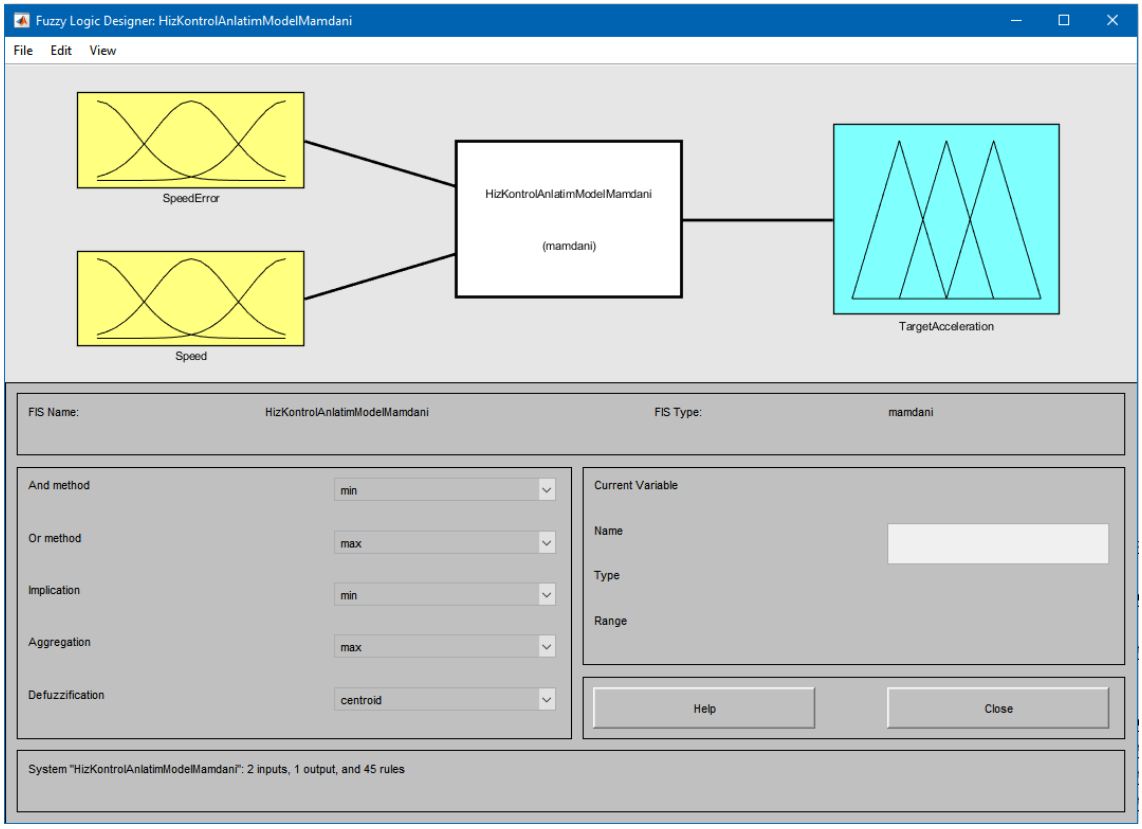
Çıkış: Hız Denetleyici Hedef İvme		***Giriş-1: Hız Hatası***								
		NVL	***NL***	***NM***	***NS***	***Z***	***PS***	***PM***	***PL***	***PVL***
Giriş-2: Aracın Hızı	***Z***	Z	Z	Z	Z	Z	PL	PVL	PVL	PVL
	PS	NVL	NVL	NL	NL	Z	PL	PL	PVL	PVL
	PM	NVL	NVL	NL	NM	Z	PM	PL	PVL	PVL
	PL	NVL	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PVL
	PVL	NL	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PL

Tasarlanan bulanık hız denetleyicisinde, bulanık çıkarım metodu olarak Mamdani yöntemi tercih edilmiştir. Bulanık çıkarım sonucu ortaya çıkan bulanık birleşim sonucunun sayısal değerlere dönüştürülmesi olarak tanımlanan durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık hız denetleyicisi için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.11'de gösterilen Simulink benzetiminde sarı renk ile boyalı olarak verilmiş "BulanıkHızKontrol" isimli blok yukarıda bulanık veri tabanı, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım metodu ve durulaştırma yöntemleri ile ilgili detaylı olarak açıklamaları verilen bulanık hız denetleyicisinin tasarımını içermektedir. Bulanık denetleyicinin tasarımında MATLAB'ın FIS (Fuzzy Inference System) editör aracı kullanılarak bulanık çıkarım sistemi oluşturulmuştur. Bulanık hız denetleyicisi için tasarlanan bulanık çıkarım sisteminin FIS editör aracı üzerinden gösterimi Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.11 Bulanık hız denetleyicisi için yapılan benzetim

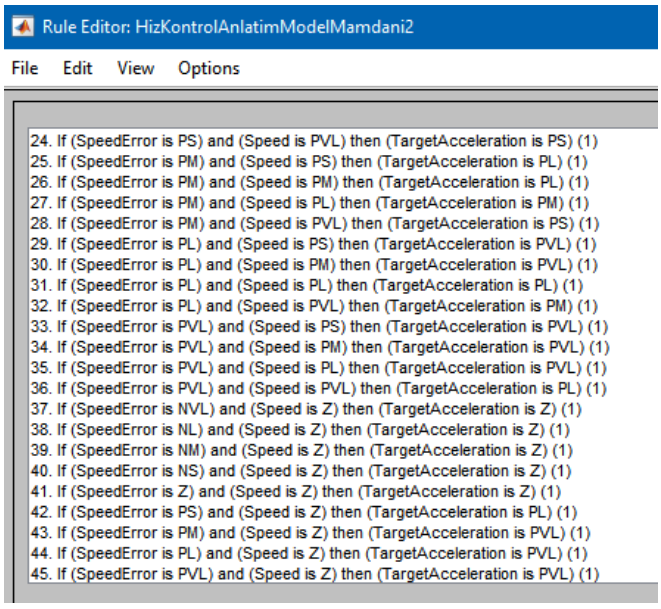


Şekil 4.12 Bulanık hız denetleyicisinin FIS editördeki tasarımı

Örneğin aracın mevcut hızının 35 m/s ve sürücünün aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinin ise 40 m/s olduğu bir koşul ele alınırsa, hız hatası değeri 5 m/s olmaktadır. Bu durumda hız hatası girişi için tanımlanmış bulanık küme tarafından okunan 5 m/s değeri, ilgili bulanık kümenin içerdiği PL ve PVL üyelik fonksiyonları ile bulanık

değerlere dönüştürülür. Aracın hızı girişi için tanımlanmış bulanık küme tarafından okunan 35 m/s değeri de ilgili bulanık kümenin içerdiği PL ve PVL üyelik fonksiyonları ile bulanık değerlere dönüştürülmektedir. Örnekte verilen değerlere göre bulanıklaştırma işlemi sonucunda 4 farklı bulanık değer (üyelik derecesi değerleri) elde edilir. Elde edilen bulanık değerler, bulanık kural tabanında tanımlanan kurallar kullanılarak çıkışı oluşturacak bulanık şekiller elde edilir. Elde edilen bulanık şekiller Mamdani metodu ile birleştirilir. Birleşim sonrasında ortaya çıkan şekil, ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılır. Durulaştırma işlemi sonucunda girişlerden okunan değerlere göre bulanık hız denetleyicisi çıkışından elde edilecek hedef ivme değeri 1,67 m/s^2 olarak bulunmaktadır.

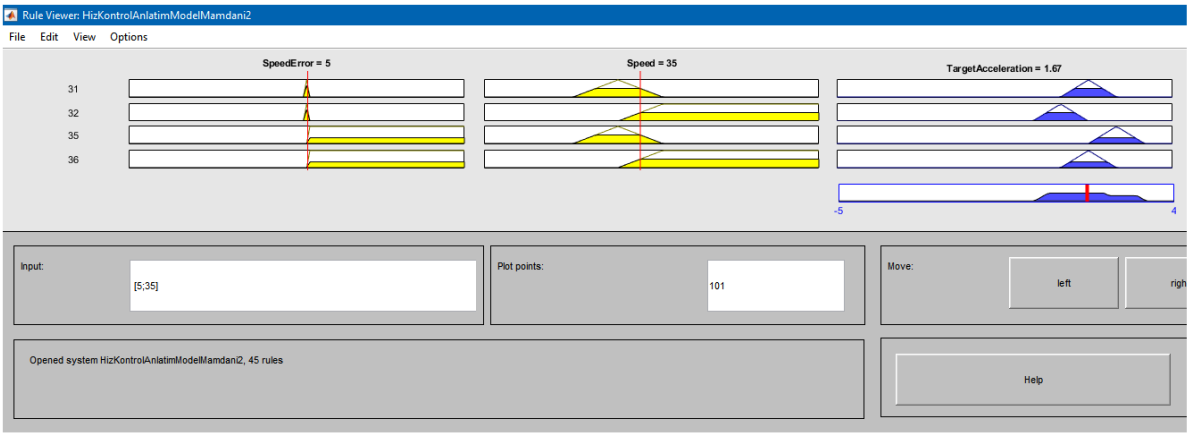
Verilen örnekte her iki giriş değeri de ilgili bulanık kümeler içinde PL ve PVL üyelik fonksiyonlarına ait olduğundan dolayı, bu üyelik fonksiyonlarını içeren kurallara göre çıkış için tanımlanan bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonları üzerinden bulanık çıkarım işlemi yapılır. Her iki giriş değeri için de üyelik fonksiyonları PL ve PVL olan kurallar FIS editörde 31, 32, 35 ve 36. sırada tanımlanmış olup Şekil 4.13'teki gibidir.



Şekil 4.13 Bulanık hız denetleyicisi için FIS editörde tanımlanmış kurallar

Tasarlanan bulanık denetleyiciye ve örnek giriş değerlerine (5 ve 35) göre yapılan işlemlerin FIS editör ile gösterimi Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.14'te giriş değerlerinin ait olduğu üyelik fonksiyonları üzerinden ilgili bulanık kuralların (31, 32, 35 ve 36) kullanılmasıyla çıkışı oluşturan bulanık şekillerin elde edilmesi gösterilmiştir. Elde edilen

bulanık şekillerin Mamdani metodu ile birleşimi sonucunda ortaya çıkan final bulanık şekil ve bu şeklin ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılması sonucunda elde edilen sayısal değer (1,67) Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Bulanık hız denetleyicisi için verilen örnek değerlerle yapılan çıkarım işlemi

Bulanık hız denetleyicisi herhangi bir mesafe bilgisine dayalı yavaşlama aksiyonu gerçekleştirmek üzere tasarlanmadığı için, bu denetleyici çıkışından elde edilecek ivmeye ait limit değerler için ISO 15622 (Intelligent transport systems - Adaptive cruise control systems) standartı referans alınmıştır. ISO 15622 standartı 30 km/h üzeri hızları kapsayacak şekilde tasarlanan UHK sistemleri için tanımlanmıştır. Bu standarta göre yavaşlama ve hızlanma hareketleri için -3,5 m/s^2 ile 2,5 m/s^2 arasında limit ivme değerleri tanımlanmıştır (Winner, 2012). Bulanık hız denetleyicisi çıkışından elde edilecek hedef ivme için en büyük değer 2,5 m/s^2 ve en küçük değer -2 m/s^2 olacak şekilde çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanınındaki IF-THEN yapılı kurallar tasarlanmıştır.

4.1.1.2. Bulanık mesafe denetleyicisi tasarımı

Bulanık mesafe denetleyicisi UHK sistemine gerçek anlamda UHK özelliği kazandırmaktadır. Bulanık mesafe denetleyicisi radar bilgilerini kullanarak, aracın önünde seyir eden aracın konum ve hız bilgilerine göre çıkış değeri üretir. Bulanık mesafe denetleyicisi, önünde seyir eden araç ile arasındaki mesafe, hesapladığı güvenli takip mesafesi sınırlarının dışında ise aracın hızının güvenli bir şekilde azaltılmasını sağlamak için negatif değerli bir çıkış üretir. Araçlar arasında güvenli takip mesafesi sağlandığı durumda, aracın hızını öndeki araç ile aynı olacak şekilde ayarlamak, öndeki araca göre aracın

hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlamak için çıkış değeri üretir. Öndeki aracı takip ettiği durumda, güvenli takip mesafesi ayarında kullanılan ve sürücü tarafından girilen zaman aralığı değerini koruyacak şekilde araçlar arasındaki güvenli takip mesafesi değerinin sağlanması için çıkış üretir.

Bulanık mantık tabanlı mesafe denetleyici tasarımı iki giriş ve bir çıkıştan oluşan bulanık veri tabanına sahiptir. Bulanık mesafe denetleyicisinin girişlerinden biri mesafe hatasıdır (D_{error}). Radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe ($D_{measured}$) ile sürücü tarafından girilen zaman aralığı (H_{set}) değerine bağlı olarak üst seviye kontrol tarafından hesaplanan araçlar arasında olması gereken güvenli takip mesafesi (D_{safe}) arasındaki fark mesafe hatasını ifade etmektedir (Denklem 4.5).

$$D_{error} = D_{measured} - D_{safe} \tag{4.5}$$

Bulanık mesafe denetleyicisinin diğer girişi ise radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız (V_{rel}) değeridir. Öndeki aracın hızı (V_{target}) ile arkadaki aracın hızı (V_{host}) arasındaki fark bağıl hızı ifade etmektedir (Bkz. Denklem 4.2). Bulanık mesafe denetleyicisinin çıkışı ise mesafe denetleyici hedef ivmesi ($a_{DCtarget}$) olarak adlandırılmıştır. Bulanık hız denetleyicisinin de çıktısı hedef ivme olduğu için bu iki değerin birbiri ile karıştırılmaması adına farklı isimlendirmeler yapılmıştır.

Bulanık mesafe denetleyicisinin girişlerinden olan mesafe hatası değerinin elde edilebilmesi için üst seviye kontrol güvenli takip mesafesi değerini hesaplamaktadır. Güvenli takip mesafesi değişkeni sürücü tarafından girilen zaman aralığı değerine, aracın hızına ve araçlar arasında olması gereken minimum aralık (C_{min}) değerlerine bağlı olarak Denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

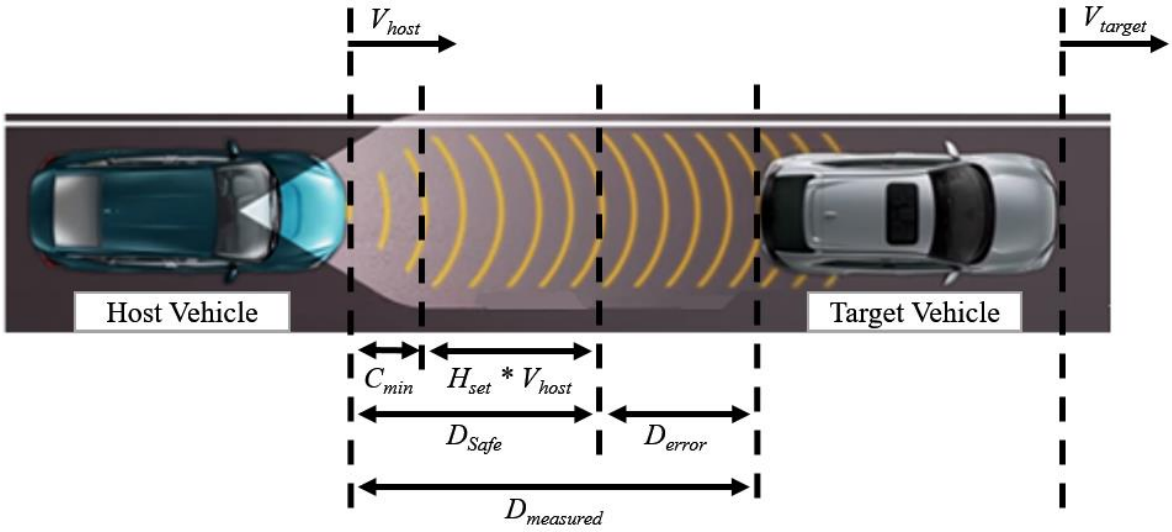
$$D_{safe} = (H_{set} * V_{host}) + C_{min} \tag{4.6}$$

Denklem 4.6'da güvenli takip mesafesi hesaplamasında kullanılan zaman aralığı ve minimum aralık için üst seviye kontrol tasarımında kullanılan değerler sırasıyla 1,5 saniye ve 5 metredir. Zaman aralığı ve minimum aralık değişkenlerinin değerleri için, ISO 22179 (Intelligent transport systems - Full speed range adaptive cruise control systems) standartı

içerisinde araç takip kabiliyeti başlığı altında tanımlanmış formül ve değerler referans alınmıştır. Standartta zaman aralığının değeri, 8 m/s üzerindeki hızlar için 1,5 ile 2,2 saniye arasında, tüm hızlar için ise minimum 1 saniye olması gerektiği belirtilmiştir. Standartta minimum aralık değeri için 2 metre ve üzerinde değerlerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Standartta araç takibi sırasında araçlar arasında olması gereken minimum mesafe için Denklem 4.7'deki formül tanımlanmış ve bu formülden yola çıkılarak üst seviye kontrol içerisinde güvenli takip mesafesinin hesaplanabilmesi için Denklem 4.6 oluşturulmuştur. Denklem 4.7 standartta yazılmış terimler yerine tezin içeriği ile örtüşmesi açısından tezde kullanılmış terimler ile ifade edilmiştir (ISO, 2009).

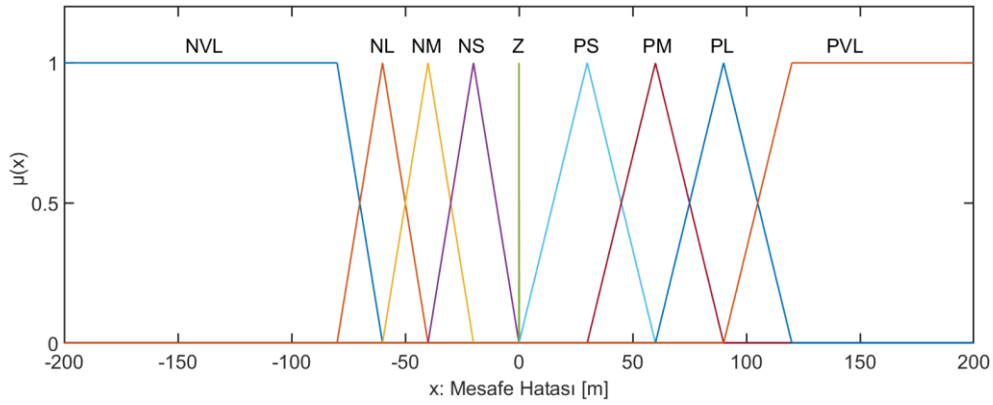
$$D_{safe} = MAX\ [C_{min}\ , (H_{set} * V_{host})] \tag{4.7}$$

Bulanık mesafe denetleyicisi tasarımına girdi sağlaması amacıyla üst seviye kontrol benzetiminde kullanılan minimum aralık, güvenli takip mesafesi, mesafe hatası ve ölçülen mesafe gibi mesafe tabanlı parametrelerin tasarlanan sistem üzerinden gösterimi Şekil 4.15'te yapılmıştır.

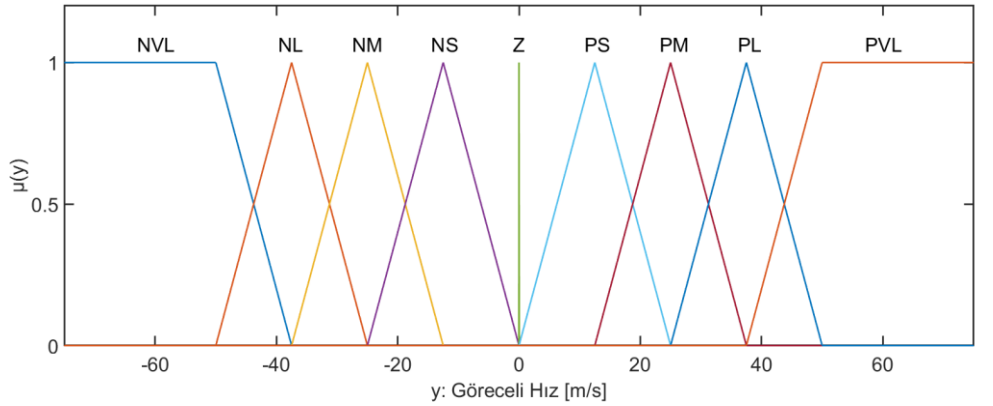


Şekil 4.15 Bulanık mesafe denetleyicisi tarafından kullanılan mesafe tabanlı parametreler

Bulanık mesafe denetleyicisinin bulanık veri tabanını oluşturan girişler için tanımlanmış bulanık kümeler ve bu kümelere ait üyelik fonksiyonların gösterimi sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16 Bulanık mesafe denetleyicisi mesafe hatası girişi için üyelik fonksiyonları



Şekil 4.17 Bulanık mesafe denetleyicisi göreceli hız girişi için üyelik fonksiyonları

Tasarlanan bulanık mesafe denetleyicisinde, bulanık çıkarım metodu olarak Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Buna istinaden bulanık mesafe denetleyicisinin bulanık veri tabanında çıkış için tanımlanmış üyelik fonksiyonları şekiller yerine lineer fonksiyonlar ile ifade edilmiştir. Bulanık mesafe denetleyicisinin çıkışı için tanımlanmış üyelik fonksiyonlarına ait detaylar Denklem 4.8'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} NA &= 0 \\ SA &= 0{,}15 * \mathrm{x} + 0{,}30 * \mathrm{y} \\ MA &= 0{,}17 * \mathrm{x} + 0{,}32 * \mathrm{y} \\ LA &= 0{,}18 * \mathrm{x} + 0{,}34 * \mathrm{y} \\ VLA &= 0{,}20 * \mathrm{x} + 0{,}40 * \mathrm{y} \end{aligned} \tag{4.8}$$

Bulanık mesafe denetleyicisinin veri tabanını oluşturan giriş bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonlarının isimlendirmesinde kullanılan isim kısaltmaları ve karşılıkları Çizelge 4.1'de, çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonlarının isimlendirmesinde kullanılan isim kısaltmaları ve karşılıkları ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Bulanık mesafe denetleyicisinin veri tabanında sistemin giriş ve çıkışlarını temsil eden bulanık kümeler için oluşturulmuş üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi tanımlayan IF-THEN kalıplı 81 adet kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır. Bulanık mesafe denetleyicisinin kural tabanını oluşturarak girişler ve çıkışı ilişkilendiren kurallar Çizelge 4.4'te özetlenmiştir. Bulanık çıkarım mekanizmasında kullanılmak üzere her bir kuralın ağırlığı eşit olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 4.3 Bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonları kısaltmaları ve karşılıkları

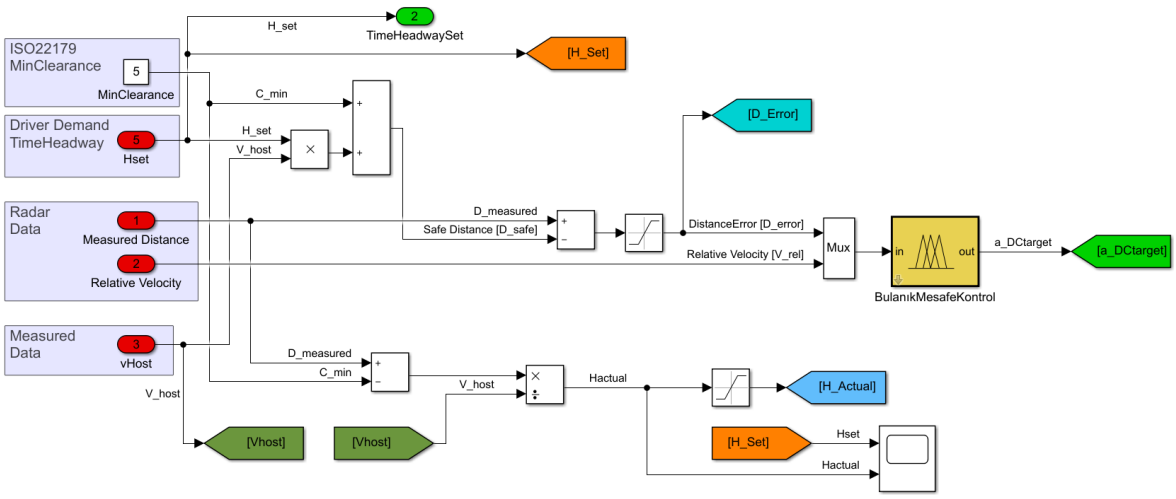
Kısaltma	***Karşılığı (İngilizce)***	***Karşılığı (Türkçe)***
NA	No Acceleration	İvmelenme yok
SA	Small Acceleration	Küçük ivmelenme
MA	Medium Acceleration	Orta ivmelenme
LA	Large Acceleration	Büyük ivmelenme
VLA	Very Large Acceleration	Çok büyük ivmelenme

Çizelge 4.4 Bulanık mesafe denetleyicisi için oluşturulmuş bulanık kurallar

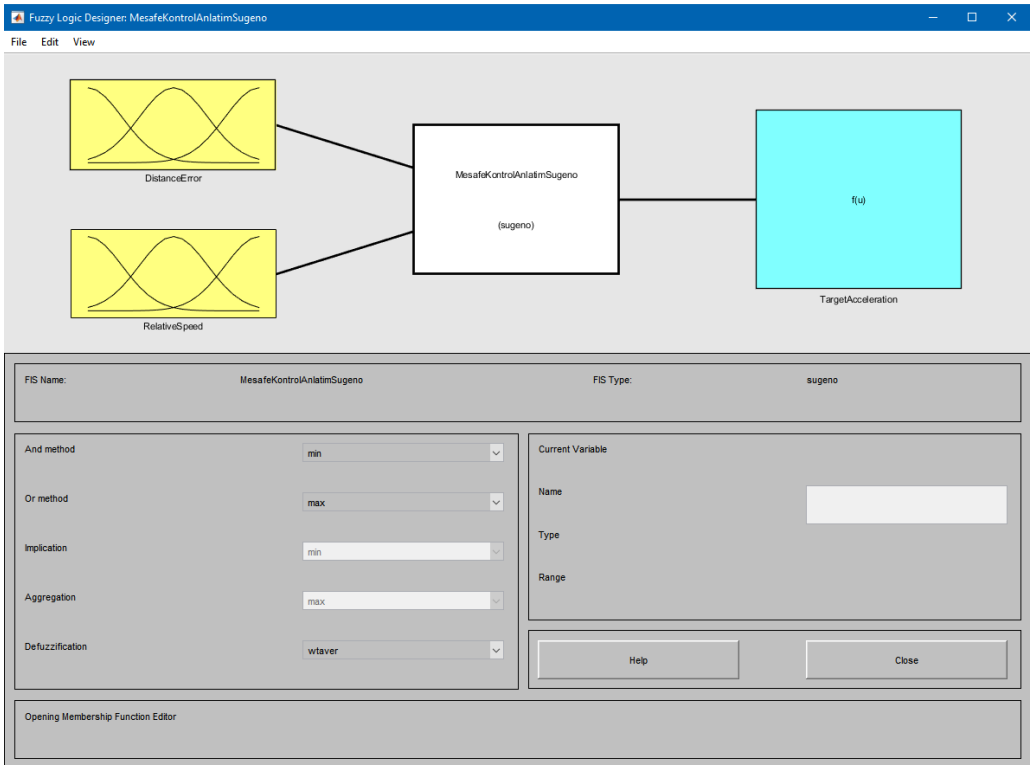
Çıkış: Mesafe Denetleyici Hedef İvme		***Giriş-1: Mesafe Hatası***								
		NVL	***NL***	***NM***	***NS***	***Z***	***PS***	***PM***	***PL***	***PVL***
Giriş-2: Göreceli Hız	***NVL***	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
	NL	SA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	SA
	NM	SA	MA	LA	LA	LA	LA	LA	MA	SA
	NS	SA	MA	LA	VLA	VLA	VLA	LA	MA	SA
	Z	SA	MA	LA	VLA	NA	VLA	LA	MA	SA
	PS	SA	MA	LA	VLA	VLA	VLA	LA	MA	SA
	PM	SA	MA	LA	LA	LA	LA	LA	MA	SA
	PL	SA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	SA
	PVL	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA

Tasarlanan bulanık mesafe denetleyicisinde, bulanık çıkarım metodu olarak Sugeno yöntemi tercih edilmiştir. Bulanık çıkarım sonucu ortaya çıkan kural ağırlığı ve çıkış derecesi değerleri kullanılarak hedef ivme değerinin bulunabilmesi için ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık mesafe denetleyicisi için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18'de gösterilen Simulink benzetiminde sarı renk ile boyalı olarak verilmiş "BulanıkMesafeKontrol" isimli blok yukarıda bulanık veri tabanı, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım metodu ve durulaştırma yöntemleri ile ilgili detaylı olarak açıklamaları verilen bulanık mesafe denetleyicisinin tasarımını içermektedir. Bulanık denetleyicinin tasarımında MATLAB'ın FIS editör aracı kullanılarak bulanık çıkarım sistemi oluşturulmuştur. Bulanık mesafe denetleyicisi için tasarlanan bulanık çıkarım sisteminin FIS editör aracı üzerinden gösterimi Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.18 Bulanık mesafe denetleyicisi için yapılan benzetim



Şekil 4.19 Bulanık mesafe denetleyicisinin FIS editördeki tasarımı

Bulanık hız denetleyicisi bölümünde anlatılan örnekte, aracın hızının 35 m/s ve sürücünün aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinin ise 40 m/s olduğu bir koşul ele alındığında, bulanık hız denetleyicisi çıkışından elde edilecek hedef ivme değeri 1,67 m/s^2 olarak bulunmuştu. Bulanık hız denetleyicisinde verilen örnekteki değerleri koruyarak, bulanık mesafe denetleyicisi için de örnek bir senaryo üzerinden tasarlanan denetleyici aşağıda anlatılmıştır.

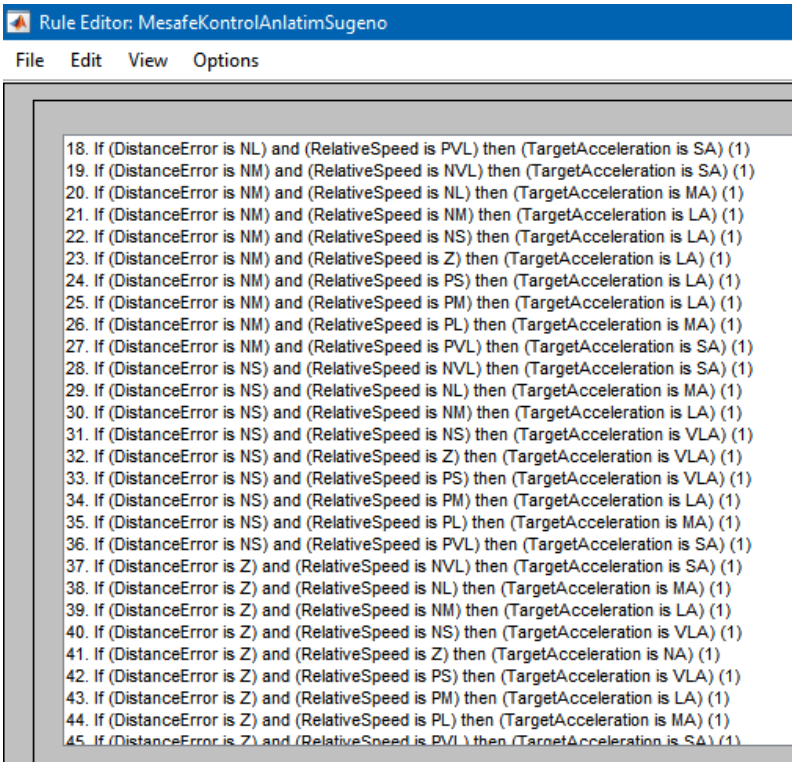
Aracın hızının 35 m/s, sürücünün aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinin 40 m/s olduğu anda, aracın seyir ettiği boylamsal güzergâhta aracın önüne başka bir aracın geçiş yaptığı koşul örnek olarak ele alınmıştır. Bu anda radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız ve ölçülen mesafe değerlerinin sırasıyla 20 m/s ve 27,5 metre olduğu varsayılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda, bulanık mesafe denetleyicisinin girişlerinden olan mesafe hatası değerinin elde edilebilmesi için üst seviye kontrol, güvenli takip mesafesi değerini Denklem 4.9'daki gibi 57,5 metre olarak hesaplamaktadır. Radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe ile üst seviye kontrol tarafından hesaplanan güvenli takip mesafesi arasındaki fark ile mesafe hatasının değeri Denklem 4.10'daki gibi -30 metre olarak hesaplamaktadır.

$$D_{safe} = (1{,}5 * 35) + 5 = 57{,}5 \tag{4.9}$$

$$D_{error} = 27{,}5 - 57{,}5 = -30 \tag{4.10}$$

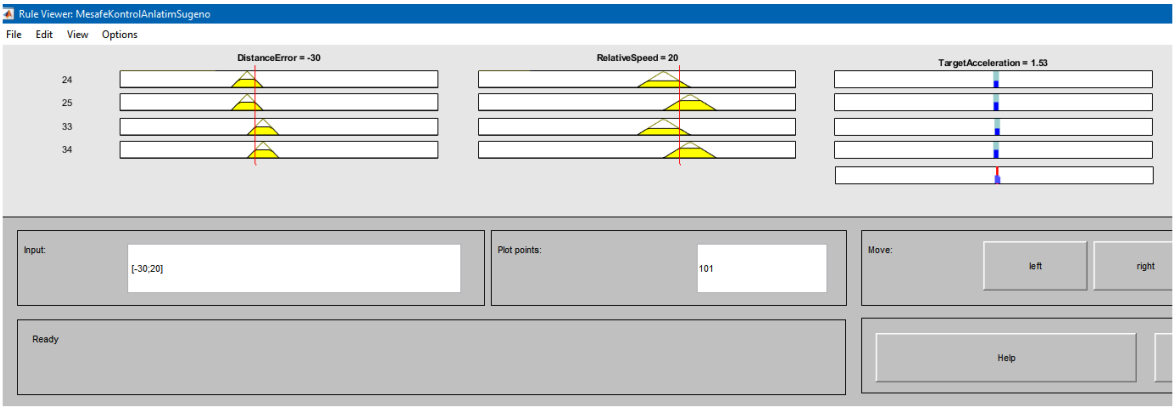
Bu durumda bulanık mesafe denetleyicisinin mesafe hatası girişi için tanımlanmış bulanık küme tarafından okunan -30 metre değeri, ilgili bulanık kümenin içerdiği NM ve NS üyelik fonksiyonları ile bulanık değerlere dönüştürülür. Bağıl hız girişi için tanımlanmış bulanık küme tarafından okunan 20 m/s değeri de ilgili bulanık kümenin içerdiği PS ve PM üyelik fonksiyonları ile bulanık değerlere dönüştürülmektedir. Örnekte verilen değerlere göre bulanıklaştırma işlemi sonucunda 4 farklı bulanık değer (üyelik derecesi değerleri) elde edilir. Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanıldığı için, elde edilen üyelik derecesi değerlerinde minimum alınması işlemi ile ilgili kuralın ağırlığı bulunur. Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanıldığı için, bulanık kural tabanında tanımlanan kurallara göre çıkış bulanık kümesi için tanımlanmış üyelik fonksiyonlarındaki ilgili denklemler ve girişten okunan sayısal değerler kullanılarak ilgili kural için çıkış derecesi değerleri elde edilir. Elde edilen kural ağırlığı ve çıkış derecesi değerleri ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırılır. Durulaştırma işlemi sonucunda girişlerden okunan değerlere göre bulanık mesafe denetleyicisi çıkışından elde edilecek hedef ivme değeri 1,53 m/s^2 olarak bulunmaktadır.

Verilen örnekte -30 ve 20 sayısal giriş değerleri ilgili bulanık kümeler içinde; mesafe hatası için NM ve NS, bağıl hız için PS ve PM üyelik fonksiyonlarına ait olduğundan dolayı, bu üyelik fonksiyonlarını içeren kurallar kullanılarak bulanık çıkarım işlemi yapılır. İlgili giriş değerleri için üyelik fonksiyonları mesafe hatası için NM ve NS, bağıl hız için PS ve PM olan kurallar FIS editörde 24, 25, 33 ve 34. sırada tanımlanmış olup Şekil 4.20'deki gibidir.



Şekil 4.20 Bulanık mesafe denetleyicisi için FIS editörde tanımlanmış kurallar

Tasarlanan bulanık denetleyiciye ve örnek giriş değerlerine (-30 ve 20) göre yapılan işlemlerin FIS editör ile gösterimi Şekil 4.21'de verilmiştir. Şekil 4.21'de giriş değerlerinin ait olduğu üyelik fonksiyonları üzerinden ilgili bulanık kuralların (24, 25, 33 ve 34) kullanılmasıyla çıkışı oluşturan bulanık şekillerin elde edilmesi gösterilmiştir. Sugeno bulanık çıkarım yöntemi kullanıldığı için Şekil 4.21'de gösterilen çıkış için elde edilmiş bulanık şekiller herhangi bir anlam ifade etmemekte ancak durulaştırma sonucunda çıkıştan elde edilen elde edilen sayısal değer (1,53) doğru hesaplanmıştır.



Şekil 4.21 Bulanık mesafe denetleyicisi için verilen örnek değerlerle yapılan çıkarım işlemi

Örnekte verilen değerlere (-30, 20) göre bulanıklaştırma işlemi yapılması sonucunda elde edilen bulanık değerler (üyelik derecesi değerleri) Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mu(x)_{NM} &= \mu(-30)_{NM} = 0{,}5 \\ \mu(x)_{NS} &= \mu(-30)_{NS} = 0{,}5 \\ \mu(y)_{PS} &= \mu(20)_{PS} = 0{,}4 \\ \mu(y)_{PM} &= \mu(20)_{PM} = 0{,}6 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanıldığı için, bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallara göre elde edilen üyelik derecesi değerlerinde minimum alınması işlemi uygulanması sonucunda ilgili kuralların ağırlığı Denklem 4.12'deki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} w_{24} &= min[\mu(x)_{NM}, \mu(y)_{PS}] = 0{,}4 \\ w_{25} &= min[\mu(x)_{NM}, \mu(y)_{PM}] = 0{,}5 \\ w_{33} &= min[\mu(x)_{NS}, \mu(y)_{PS}] = 0{,}4 \\ w_{34} &= min[\mu(x)_{NS}, \mu(y)_{PM}] = 0{,}5 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanıldığı için, bulanık kural tabanında tanımlanmış kurallar, çıkış bulanık kümesi için tanımlanmış üyelik fonksiyonlarındaki ilgili denklemler ve girişten okunan sayısal değerler kullanılarak ilgili kural için çıkış derecesi değerleri Denklem 4.13'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} z_{24} &= LA(x, y) = 0{,}18 * \mathrm{x} + 0{,}34 * \mathrm{y} = 1{,}4 \\ z_{25} &= LA(x, y) = 0{,}18 * \mathrm{x} + 0{,}34 * \mathrm{y} = 1{,}4 \\ z_{33} &= VLA(x, y) = 0{,}20 * \mathrm{x} + 0{,}40 * \mathrm{y} = 2 \\ z_{34} &= LA(x, y) = 0{,}18 * \mathrm{x} + 0{,}34 * \mathrm{y} = 1{,}4 \end{aligned} \tag{4.13}$$

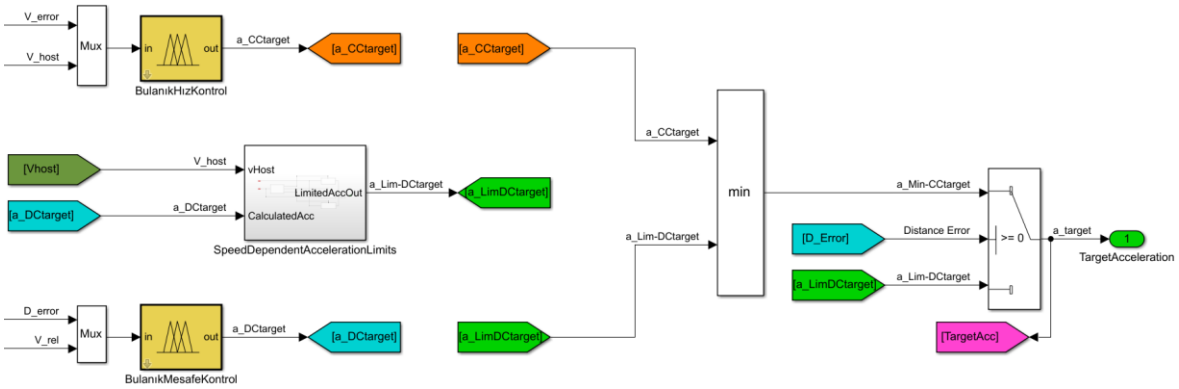
Sugeno bulanık çıkarımı sonucunda hesaplanan kural ağırlığı ve çıkış derecesi değerlerinde ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma yapılması sonucunda elde edilen sayısal değerin hesaplanması Denklem 4.14'te gösterilmiştir.

$$\frac{\sum w_i * z_i}{\sum w_i} = \frac{(0{,}4 * 1{,}4) + (0{,}5 * 1{,}4) + (0{,}4 * 2) + (0{,}5 * 1{,}4)}{0{,}4 + 0{,}5 + 0{,}4 + 0{,}5} = 1{,}53 \tag{4.14}$$

Sonuçlardan görüldüğü gibi, aynı koşul için bulanık hız denetleyicisinin hesapladığı hedef ivme (1,67 m/s^2) değeri ile bulanık mesafe denetleyicisinin hesapladığı hedef ivme (1,53 m/s^2) değeri birbirinden farklıdır. Bulanık hız denetleyicisi sürücü tarafından girilen hız değerini sağlamak için ivme değeri üretirken, bulanık mesafe denetleyicisi öndeki araç ile güvenli takip mesafesini korumak için sürücü tarafından girilen zaman aralığı değerini sağlamak için ivme değeri üretir. Alt seviye tasarım tarafından hangi ivme değerinin kullanılması gerektiği, üst seviye kontrol altında bulunan bulanık denetleyicilerin çıkışları arasındaki geçişler ve konforlu sürüş için ivme değerinin kısıtlanması gibi üst seviye kontrol tarafından yapılan fonksiyonel işlemler bir sonraki alt başlıkta ele alınmıştır.

4.1.1.3. Araca uygulanacak hedef ivmenin seçimi ve performans gereklilikleri

Üst seviye kontrolün altında bulunan bulanık denetleyiciler farklı giriş değerlerine göre hedef ivme değeri üretmektedir. Üretilen bu ivme değerlerinden araca uygulanacak olan ivmenin seçilmesi, denetleyici çıkışları arasında geçiş yapılırken ivme değerinde sürekliliğin sağlanması ve konforlu sürüş şartlarının sağlanması için araç hızına bağlı olarak ivme değerinin limitlenmesi gibi performans gerekliliklerinin sağlanması üst seviye kontrol tarafından yapılır. Üst seviye kontrolde yapılan bu işlemler Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Hedef ivmenin seçimi ve performans kısıtlarının sağlanması

Araca uygulanacak hedef ivme (a_{target}) değerinin seçilmesi için üst seviye kontrol tarafından bakılan koşul, bulanık mesafe denetleyicisinin de girişlerinden biri olan mesafe hatası değeridir. Üst seviye kontrol tarafından hesaplanan mesafe hatasının değeri sıfır metreden büyük olduğu koşulda, üst seviye kontrol bulanık hız denetleyicisinin ürettiği

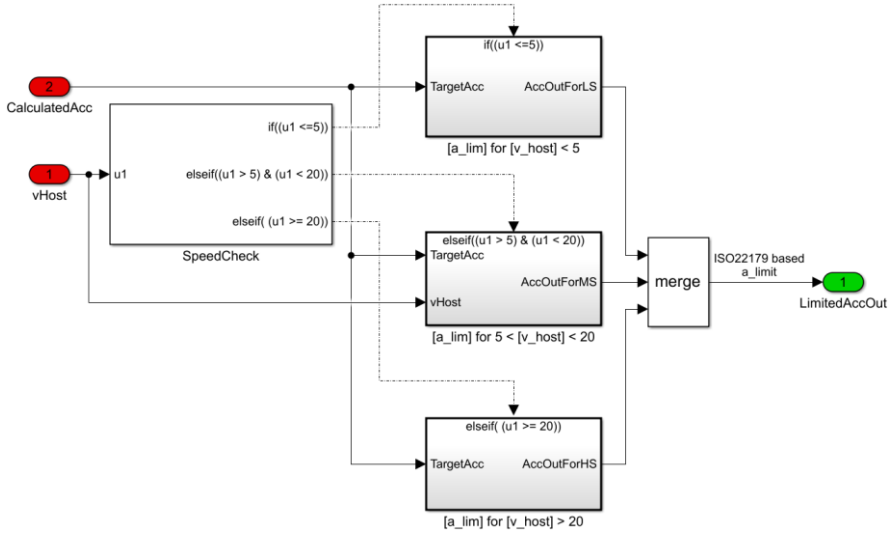
hedef ivme değerini seçer ve alt seviye kontrole iletir. Üst seviye kontrol tarafından hesaplanan mesafe hatasının değeri sıfır metreden küçük olduğu koşulda ise üst seviye kontrol bulanık mesafe denetleyicisinin ürettiği hedef ivme değerini seçer ve alt seviye kontrole iletir.

Mesafe hatası değerinin 0 metreden büyük olduğu durumdan küçük olduğu duruma geçmesi veya tam tersinin olduğu koşulun gerçekleşmesi durumunda üst seviye kontrolün seçtiği ivme değerleri arasında büyük farkların olmasının önüne geçilmesi ve sarsıntılı sürüşün engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, üst seviye kontrolün bulanık hız denetleyicisinin ürettiği hedef ivme değerini seçtiği girişte, bulanık hız denetleyici hedef ivmesi ile bulanık mesafe denetleyici hedef ivmesi arasında minimum alma işlemi yapılmıştır. Böylece konforlu sürüş için performans gerekliliği göz önünde bulundurulmuş, ivme geçişlerinin yumuşak ve kesintisiz olması sağlanmıştır.

Alt seviyeye iletilen hedef ivme için bir diğer performans isteri ise araca uygulanacak ivme değerinin aracın hızına bağlı olarak limitlendirilmesidir. Bu performans isteri için ISO 22179 (Intelligent transport systems – Full speed range adaptive cruise control systems) standartı referans alınmıştır. Bu amaçla bulanık mesafe denetleyicisinin hesapladığı ivme değeri direkt olarak kullanılmamış, aracın hızına bağlı olarak ivme değeri limitlenmiştir. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi bulanık mesafe denetleyicisinin hesapladığı ivme değeri hıza bağlı ivme limitleyici (speed dependent acceleration limits) bloğundan geçtikten sonra ivme seçimi kısmına iletilmektedir. ISO 22179 standartı tüm hızları kapsayacak şekilde tasarlanan UHK sistemleri için tanımlanmıştır. Bu standarta göre yavaşlama ve hızlanma hareketleri için aracın hızına bağlı olarak limit ivme değerleri Denklem 4.15'teki gibi tanımlanmıştır. Denklem 4.15 standartta yazılmış terimler yerine tezin içeriği ile örtüşmesi açısından tezde kullanılmış terimler ile ifade edilmiştir. Denklemde hız için kullanılan birim m/s, ivme için kullanılan birim m/s^2'dir (Winner, 2012).

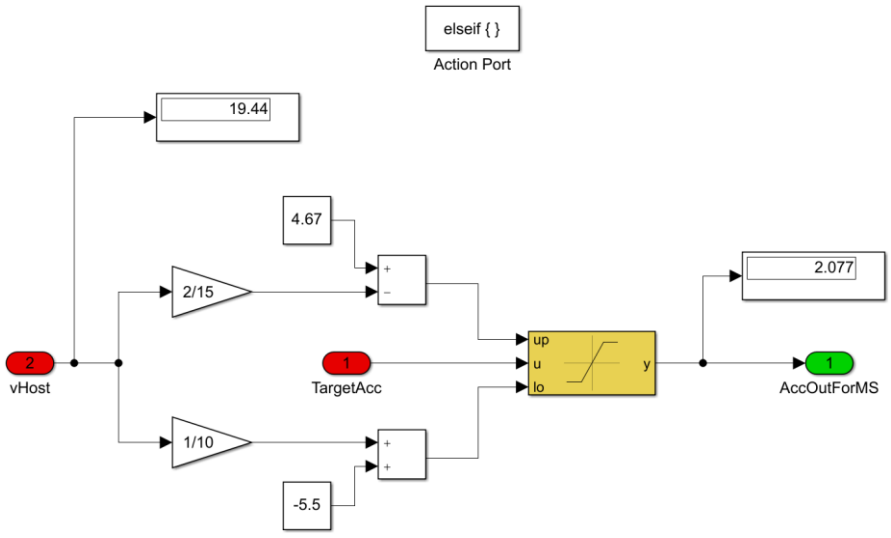
$$\begin{aligned} V_{host} < 5, \quad & -5 < a_{limit} < 4 \\ 5 < V_{host} < 20, \quad & -5{,}5 + \frac{V_{host}}{10} < a_{limit} < 4{,}67 - \frac{2 * V_{host}}{15} \\ V_{host} > 20, \quad & -3{,}5 < a_{limit} < 2 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Sürüş konforu performans gerekliliğinin sağlanması amacıyla Denklem 4.15'te tanımlanmış ivme kısıtları için üst seviye kontrolde oluşturulmuş hıza bağlı ivme limitleyici bloğunun Simulink benzetimi Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23 Hıza bağlı ivme limitleyici

Standartta, aracın hızının 5 m/s ile 20 m/s arasında olduğu koşul için tanımlanmış ivme limit değerleri aracın hızına bağlı tanımlanmış bir değişken olarak verilmiştir. Bu koşulu gerektiren ivme limitleme işleminin yapılabilmesi için Şekil 4.24'teki gibi benzetim yapılmış ve benzetimde dinamik satürasyon kullanılmıştır.

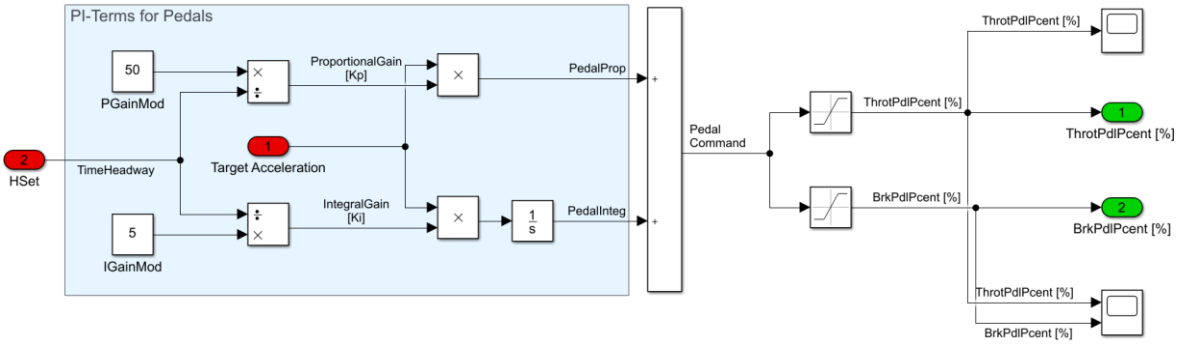


Şekil 4.24 Standartta verilen ara hız değerlerine göre ivme limitleme işlemi

4.1.2. Alt seviye kontrol

Üst seviye kontrol tarafından hesaplanan hedef ivme değeri, benzetimi yapılan araç modeli için bir girdi oluşturmamaktadır. Alt seviye kontrol, üst seviye kontrol ile araç modeli arasındaki bağlantıyı oluşturmakta, üst seviye kontrol tarafından hesaplanan hedef ivme değerini, aracın motoru ve aktarma organlarına gerekli pedal komutları göndererek sağlamaya çalışmaktadır.

Alt seviye kontrol, üst seviye kontrol tarafından hesaplanan hedef ivme ve zaman aralığı parametrelerini kullanarak aracın motoruna ve aktarma organlarına uygulanması gereken pedal komut değerini üretir. Alt seviye kontrolde, pedal komut değerinin gaz pedalı ve fren pedalı olmak üzere ayrımı yapılır ve aracın motoruna veya aktarma organlarına iletilmesi gereken pedal yüzde değerleri hesaplanır. Alt seviye kontrolün gerçeklenmesi PI denetleyici ile sağlanmıştır. Alt seviye kontrol için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25 Alt seviye kontrol için yapılan benzetim

PI denetleyicinin girişi hedef ivme değeridir. PI denetleyici aracın ivmesini, üst seviye kontrol tarafından hesaplanan hedef ivme değerine yaklaştırmaya çalışır. Yani PI denetleyici tarafından düzeltilmesi ve sıfırlanması gereken hata, hedef ivme değeridir. PI denetleyicinin oransal kazanç (K_p) ve integral kazanç (K_i) değerleri için sabit değerler kullanılmamıştır. Bu kazanç değerleri, takip mesafesi ayarı için kullanılan zaman aralığı değişkenine bağlı olarak değişmektedir. Zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu durumda, denetleyicinin kazanç değerleri, K_p = 33,33, K_i = 3,33 olarak belirlenir. PI denetleyicideki kazanç değerlerinin ayarlanmasında kullanılan oransal çarpan (PGainMode) ve integral

çarpan (IGainMode) değerleri sırasıyla 50 ve 5 olarak belirlenmiştir. Bu çarpanlar, kontrol edilen aracın modeline göre ayarlanmış olup, bu değerlerin değişimi aracın pedal komutlarında ciddi değişiklikler yaratmaktadır. Yani farklı bir araç veya aracın modeli için UHK sistemi tasarlanması gerektiğinde, üst seviye kontrolde herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmadan, sadece alt seviye kontrolde yer alan PI denetleyicinin çarpan değerlerinin güncellenmesi yeterli olmaktadır.

4.2. UHK Sistemi Bulunan Aracın Modellenmesi

Tasarlanan ve benzetimi yapılan UHK sisteminin doğruluğunun sınanması ve simülasyonlar ile test edilmesi için araç modelinin oluşturulması gerekmektedir. UHK sistemine sahip aracın modellenmesi için araca ait motor modeli, aracın aktarma organlarının modeli ve aracın gövdesinin modeli MATLAB-Simulink ortamında oluşturularak benzetim yapılmıştır. Benzetimde Simulink kütüphanesinde araç modeli ile ilgili modellerden faydalanılmıştır.

Gerçekte bir aracın motorunun modellenmesi, aktarma organlarının modellenmesi vb. gibi benzetimlerin yapılması başlı başına bir çalışma konusudur ve çok detay seviyede bilgi gerektirir. Örneğin bir motorun modellenmesi için o motorun kontrolünde kullanılan tüm algılayıcı ve eyleyicilere ait modellerin oluşturulması, tepki sürelerinin belirlenmesi ve tüm sistemin performansına etkisinin bilinmesi gerekir. Böylece benzetimi yapılan motorda, bu bilgilere göre motor dinamik modeli oluşturulur ve kapalı çevrim kontrol modeline bu parametrelerin etkisi yansıtılır. Bu tez çalışmasında aracın modellenmesi, örnekte belirtildiği gibi ileri seviyede yapılmamış olup, tasarlanan UHK sisteminin doğru çalıştığının test edilmesi adına temel seviyede modelleme yapılmıştır.

Benzetimi yapılan araç, UHK sistemi tarafından üretilen gaz pedalı ve fren pedalı komutlarına göre hızlanma ve yavaşlama hareketlerini yerine getirmektedir. Aracın hızlanması için; gaz pedalı komutuna göre aracın motorunun ürettiği tork ve güç değerleri hesaplanmış, aracın hızına ve gaz pedal değerine bağlı olarak vites seçimi yapılmış, belirlenen vitese ait çevrim oranı ve diferansiyel çevrim oranı değerleri kullanılarak motordan gelen torkun aracın tekerleklerine aktarılması sağlanmıştır. Aracın yavaşlaması için tekerleklere etki edecek fren torku için herhangi bir fren sistemi benzetimi

yapılmamıştır. Aracın belirli bir mesafede yavaşlama performansı varsayımıyla aracın toplam fren kuvveti için bir değer seçilerek, fren pedal yüzdesi değerine göre bu değerin tekerlere iletilmesi sağlanmıştır. Aracın hızlanması için tekerleklere uygulanan tork değeri kuvvet değerine çevrilmiş ve fren kuvveti ile bileşkesi alınarak aracın tekerlerine iletilen toplam çekici kuvveti değeri hesaplanmıştır. Aracın tekerlerine iletilen çekici kuvveti değeri ile aracın gövdesine etki eden aerodinamik direnç kuvveti ve yol eğimi direnç kuvveti, tekerlerine etki eden yuvarlanma direnci kuvveti gibi direnç kuvvetlerinin bileşkesi alınarak araca etki eden kuvvet bulunmuştur. Hesaplanan kuvvet değerinde ivme direncinin de oluşturacağı atalet kuvveti hesaba katılmış ve buna göre araca uygulanacak net kuvvet elde edilmiştir. Bu net kuvvet, aracın hızında ve konumunda değişiklik yaratacak ivmeye çevrilerek benzetim sonlandırılmıştır.

Yapılan çalışmanın gerçeği yansıtması adına, benzetimi yapılan araç için piyasada bulunan bir aracın motor, aktarma organları ve araç gövdesine ait teknik veriler kullanılmıştır. Benzetimde referans olarak kullanılan araç Chevrolet firmasının Cruze modelidir (Anonim, 2015). Benzetim sırasında kullanılan araca ait teknik özelliklere, ilgili model başlıkları altında değinilmiştir. Şekil 4.26'da benzetimde referans olarak kullanılan aracın görseli verilmiştir.



Şekil 4.26 Benzetimde referans olarak kullanılan araç

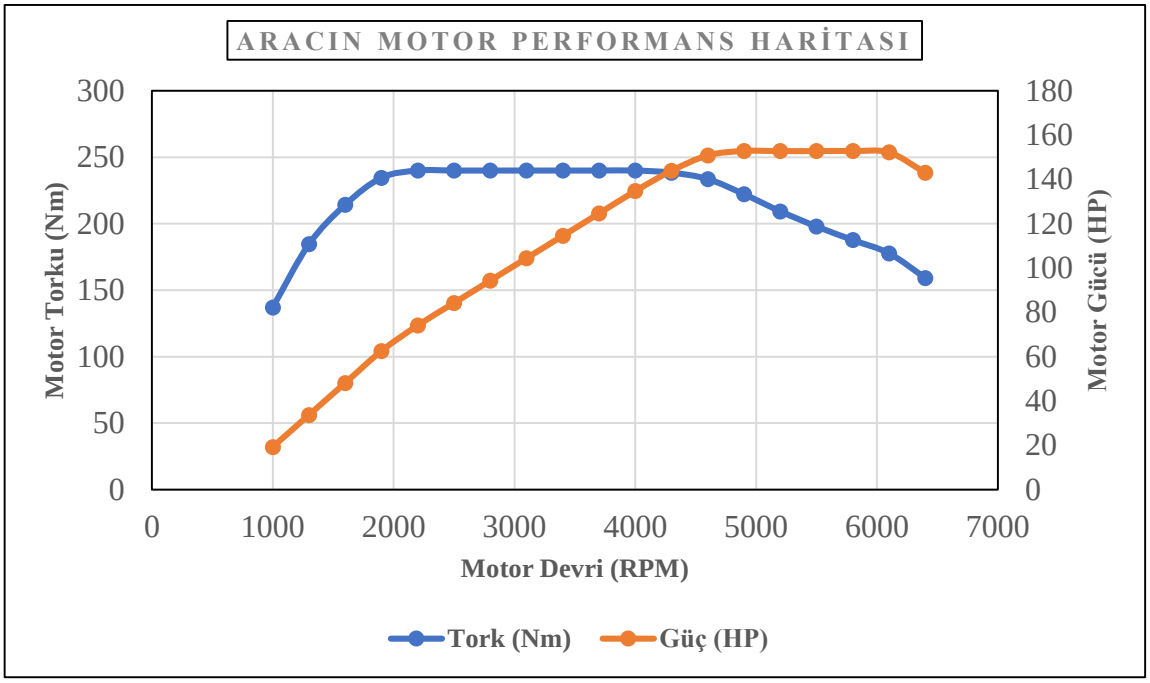
4.2.1. Aracın motor modeli

Benzetimi yapılan araç 1,4 litre hacimli, 4 silindirli ve 4 zamanlı bir motora sahiptir. Aracın motoruna ait teknik özellikler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Aracın motorunun teknik özellikleri

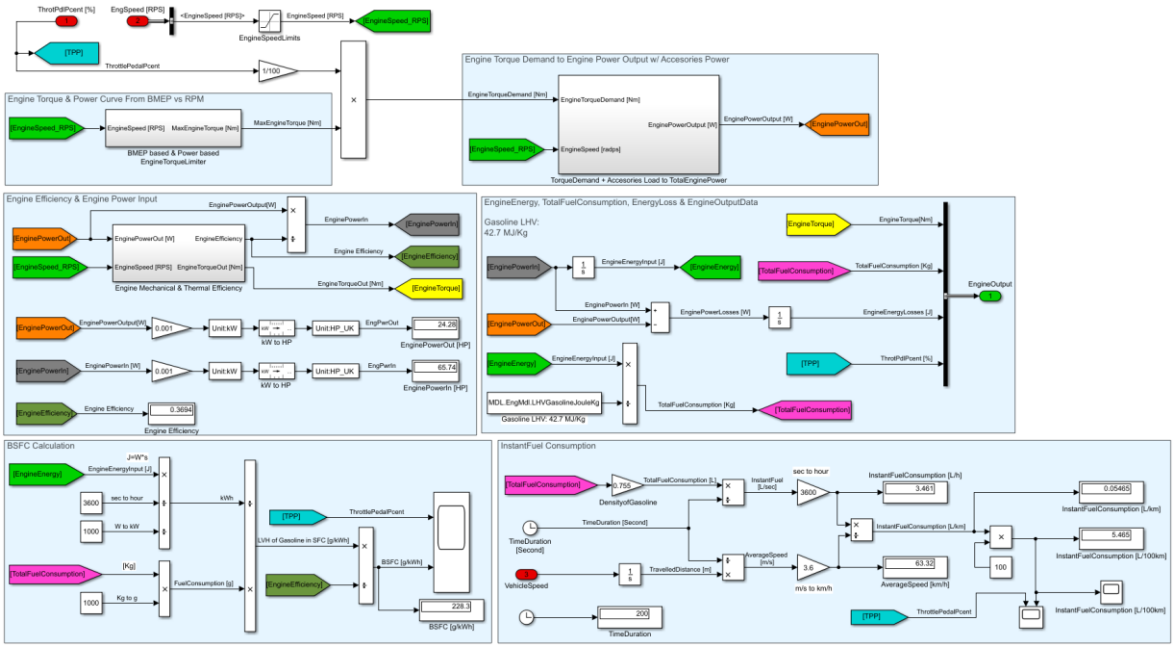
Motor tipi	1,4L turbo DOHC I-4
Motor hacmi (cc)	1399
Piston çapı & stroku (mm)	74 x 81,3
Sıkıştırma oranı	10:1
Motor gücü (HP / kW @ rpm)	153 / 113 @ 5600
Motor torku (lb-ft / Nm @ rpm)	177 / 240 @ 2000-4000

Aracın motoruna ait maksimum güç ve tork değerleri üretici firma tarafından belirtilmiş ancak motorun devrine bağlı güç ve tork değerlerini gösteren motor performans haritası paylaşılmamıştır. İnternet ortamında yapılan araştırma sonucunda aracın motor performans haritasına ulaşılabilmiştir (Anonim, 2020). Şekil 4.27'de aracın motor performans haritası verilmiştir.



Şekil 4.27 Aracın motor performans haritası

Aracın motoruna ait teknik verilerin yer aldığı Çizelge 4.5'teki bilgiler ve motor performans haritasından yararlanılarak, aracın motor modeli Şekil 4.28'deki gibi Simulink ortamında oluşturulmuştur. Simulink'te araç motor modeli için oluşturulmuş her bir kısım ayrı başlıklar altında irdelenmiştir.



Şekil 4.28 Aracın motor modeli

4.2.1.1. Motor performans haritası ve istenen tork değeri

Motor tork üretimi, silindir içindeki yakıt/hava oranına, motor hızına, ateşleme ve enjeksiyon zamanlaması vb. gibi bir çok parametreye bağlıdır. Tüm bu parametrelere göre motor tork haritasının elde edilmesi çok fazla simülasyon ve zaman gerektiren bir çalışmadır. Tüm bu işlemler yerine motorun içeri alabildiği ve sıkıştırabildiği hava miktarından yola çıkarak motorun üretebileceği torkun kestirimi yapılabilir. Motorun üretebileceği tork değeri ile motorun hacmi arasında doğru bir orantı vardır. Silindirlerdeki pistonların strok hareketi sonucunda oluşacak fren ortalama efektif basınç (*BMEP*) değeri, motorun ürettiği tork değerinin bulunması için yeterlidir. BMEP değeri, motor hacmi (V_d), ve motorun güç üretebilmesi için pistonun yapması gereken strok sayısı (n) değerleri ile motorun torku (T_e) arasındaki ilişki Denklem 4.16'da verilmiştir (Guzzella ve Onder, 2010).

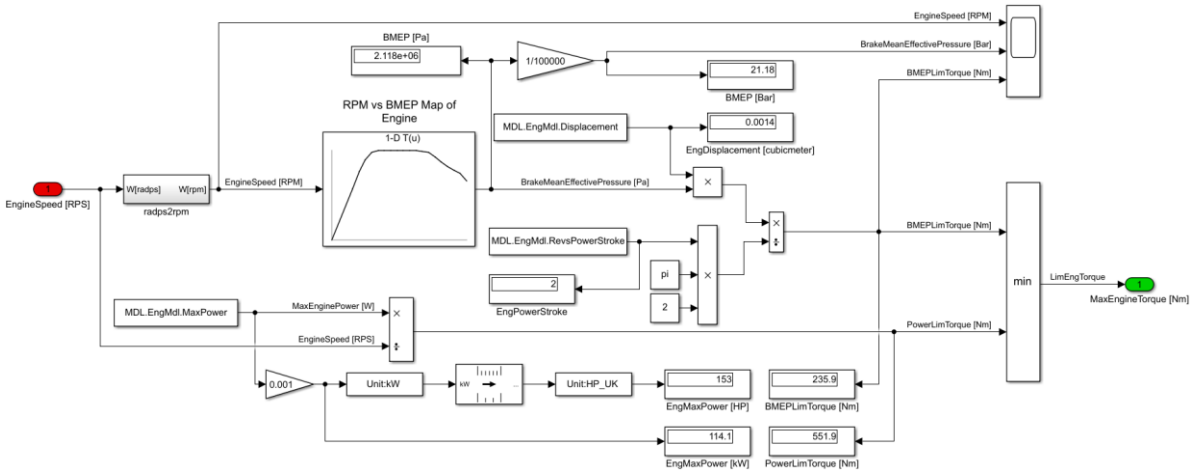
$$BMEP = 2 * pi * n * \frac{T_e}{V_d} \tag{4.16}$$

Denklem 4.16 referans alınarak, araca ait motor performans haritasının Simulink ortamında elde edilebilmesi için motor devrine bağlı olarak motorun üretmesi gereken BMEP değerlerinden oluşan bir harita Çizelge 4.6'daki gibi oluşturulmuştur.

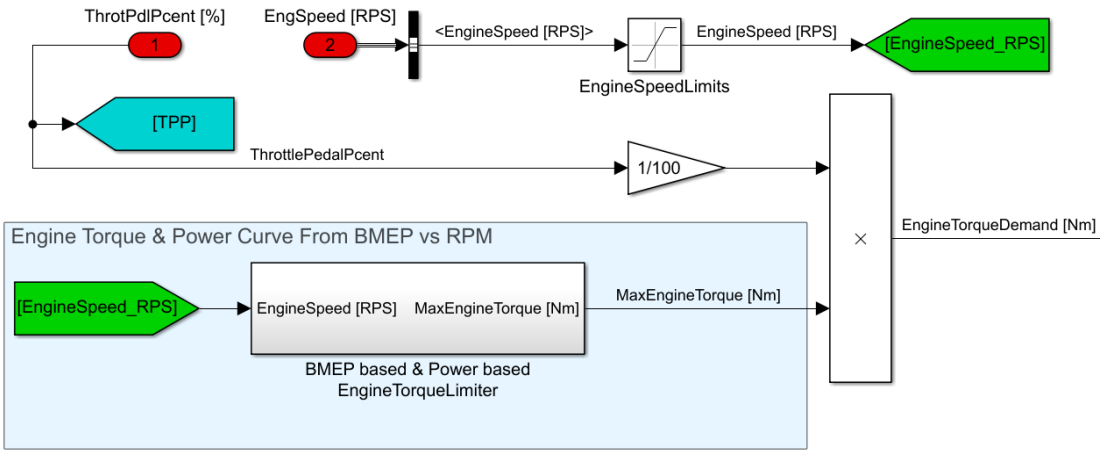
Çizelge 4.6 Motor devri ve BMEP değeri haritası

Motor Devri (RPM)	BMEP (Pa)	Motor Devri (RPM)	BMEP (Pa)	Motor Devri (RPM)	BMEP (Pa)
1000	1230607	3100	2154235	5200	1878672
1300	1656966	3400	2154235	5500	1776346
1600	1923552	3700	2154235	5800	1684791
1900	2105765	4000	2154235	6100	1595031
2200	2154235	4300	2139873	6400	1428976
2500	2154235	4600	2096789		
2800	2154235	4900	1994463		

Motor torkunun ve buna bağlı olarak motor performans haritasının elde edilmesini içeren BMEP değeri ile ilişkili Simulink'te oluşturulmuş blok Şekil 4.29'da verilmiştir. Bu bloğun çıkışında üretilen maksimum motor tork değeri, UHK sisteminden gelen gaz pedalı komutu (*TPP*) ile çarpılarak motordan istenen tork değerinin elde edilmesi Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



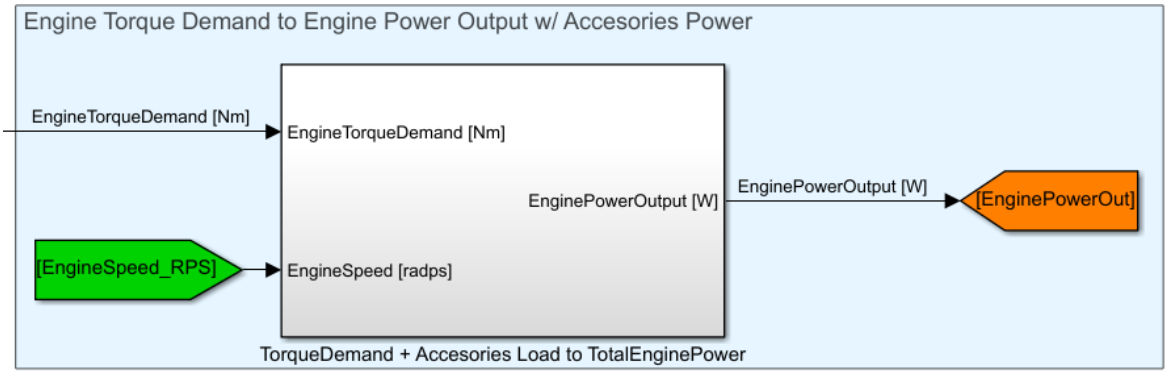
Şekil 4.29 Motor performans haritasının oluşturulması



Şekil 4.30 Motordan istenen torkun elde edilmesi

4.2.1.2. İstenen tork değeri ve motor şaft çıkış gücü

Gaz pedal komutuna bağlı olarak motorun üretmesi gereken yani motordan istenen torkun, motor şaft çıkış gücüne çevrilmesi bu kısımda yapılmıştır. Bu kısmın Simulink ortamında yapılmış benzetimi Şekil 4.31'de verilmiştir.

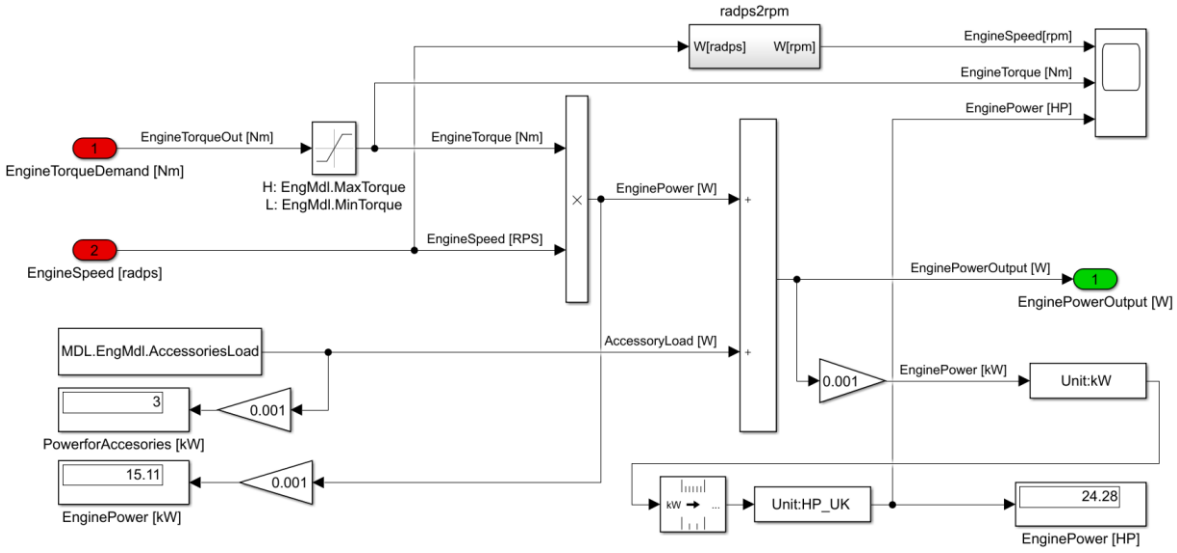


Şekil 4.31 İstenen torktan motor şaft çıkış gücüne yapılan çevrim

Tork değerinden güç değerine çevrim yapılmadan önce, istenen tork değeri minimum 8 Nm ve maksimum 240 Nm olacak şekilde limitlendirilmiştir. Motordaki sürtünme torklarının hesaba katılması açısından özellikle tork değerinin minimum bir değer ile limitlendirilmesi gereklidir. Araçta, aracın motorundaki alternatörün ürettiği elektriksel güç ile beslenen klima motoru, fanlar, aracın farları, multimedya sistemleri vb. gibi elektriksel yükler de bulunmaktadır. Bu yüklerin motordan çektiği güç değeri, Simulink'te yapılan benzetimde aksesuar güçleri olarak adlandırılmıştır. Motordan istenen güç değeri, motor

şaftından üretilmesi gereken güç değerini ifade etmektedir. Buna istinaden motor şaftından üretilmesi gereken güç değerine aksesuarların çektiği güçler de ilave edilerek, motorun şaft çıkış gücü elde edilmiştir.

Bu kısımda anlatılan tork limitleme, motor torkunun motor gücüne çevrimi ve aksesuarların çektiği güçlerin motor şaft çıkış gücüne dahil edilmesi işlemleri ile ilgili olarak Simulink'te oluşturulmuş bloğun detayı Şekil 4.32'de verilmiştir.



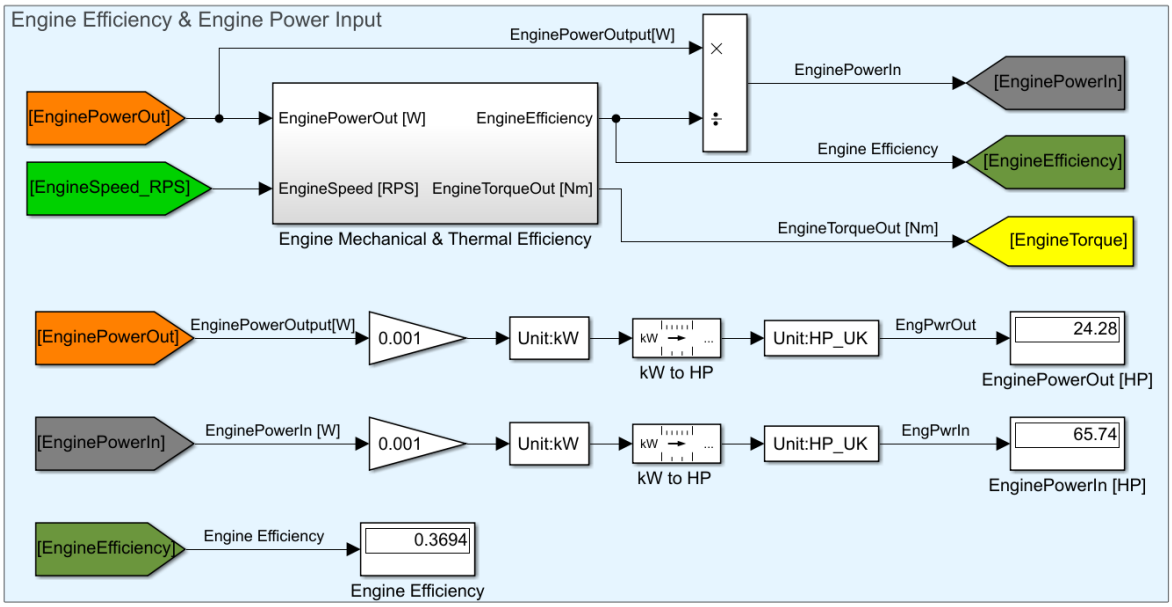
Şekil 4.32 Motor şaft çıkış gücünün elde edilmesi

Motorun ürettiği tork değerinden, güç değerine yapılan çevrimde Denklem 4.17 kullanılmıştır.

$$Motor\ Gücü\ (W) = \ Motor\ Torku\ (Nm) * Motor\ Devri\ (rad/s) \qquad (4.17)$$

4.2.1.3. Motorun verimi ve motor giriş gücü

Motorun yakıt tüketimine dair hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan motorun verimi ve motor giriş gücü değerlerinin hesaplanması bu kısımda yapılmıştır. Bu kısmın Simulink ortamında yapılmış benzetimi Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33 Motor şaft çıkış gücünden motor giriş gücüne yapılan çevrim

Bir önceki kısımda, motordan istenen tork değeri, motor şaft çıkış gücüne çevrilmiş ve bu güce aksesuarların çektiği güçler dahil edilmişti. Motorun şaft çıkış gücü, aracın aktarma organlarına aktarılan güçtür ve efektif güç olarak adlandırılmaktadır. Motorun şaft çıkışında görülen efektif gücün büyüklüğü, fren ortalama efektif basınç (*BMEP*) değeri ile doğrudan ilişkili olup, dinamometre sistemleri ile ölçülmektedir.

Motorun içindeki silindirlerdeki yakıt ve hava karışımının yanması sonucunda açığa termal güç çıkmaktadır. Bu termal güç değeri motor giriş gücüdür ve bu güç değerinin motorun toplam verimi (n) ile çarpılması sonucunda motorun şaft çıkış gücü elde edilir. Motorun toplam verimi ise termal verim (n_t), mekanik verim (n_m) ve volumetrik verim (n_v) değerlerinin çarpılmasıyla Denklem 4.18'deki gibi elde edilmektedir. Benzetimi yapılan aracın motoru turboşarjlı olduğu için volümetrik verim değeri 100% olarak alınmıştır (Jazar, 2017).

$$n = n_v * n_t * n_m \tag{4.18}$$

Motorun mekanik verimi, motordaki parçaların ataleti ve hareketli parçalarda yaşanan sürtünme kayıpları ile doğrudan ilişkilidir. Motorun mekanik verimini bulmak için kullanılan eşitlik Denklem 4.19'da verilmiştir. Bu denklemde yer alan indike ortalama

efektif basınç (*IMEP*) değeri, motorun ürettiği indike gücün büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olup, silindir için basınç sensörleri ile ölçülmektedir (Taylor, 1985).

$$n_m = \frac{BMEP}{IMEP} \tag{4.19}$$

Motor şaft çıkış gücü, motorun ürettiği indike güç değerinden, motordaki sürtünmelerden dolayı ortaya çıkan güç kaybı değerlerinin çıkarılması sonucunda elde edilir. Motordaki sürtünmelerden dolayı yaşanan kayıp güç değeri, sürtünme ortalama efektif basınç (*FMEP*) değeri ile doğrudan ilişkilidir. Bu doğrultuda, motorun modellenmesi için motorun hacmi ve sıkıştırabildiği hava değerlerinden yola çıkılarak kullanılmış ortalama efektif basınç değerleri arasındaki ilişki Denklem 4.20'de verilmiştir (Taylor, 1985).

$$BMEP = IMEP - FMEP \tag{4.20}$$

Motorun içindeki silindir içi hava basıncının, piston, biyel kolu, krank şaft gibi mekanik parçalarla arasındaki ilişki, havanın sıcaklığı, motorun yağının viskozite değeri vb. parametrelerden dolayı motordaki sürtünmelerden dolayı yaşanan kayıp güç değerinin gerçek bir motordan ölçülebilmesi pek mümkün değildir. Bu kayıp güç değerinin hava hattı ile ifade edilmesinde kullanılan sürtünme ortalama efektif basınç değerinin lineer olarak ifade edilişi Denklem 4.21'de verilmiştir. Denklem 4.21'de, motorda ilk dönme hareketinin sağlanması için rulman vb. döner parçaların hesaba katılmasını ifade etmek için *a* sabit değeri kullanılmıştır. Denklemde yer alan L_{st} terimi pistonların strok uzunluğunu ifade etmekte olup benzetimi yapılan araçta 81,3 mm'dir. *N* terimi ise motorun devrini ifade etmektedir. Denklemde *b* sabit değeri ile çarpımı içeren kısım, motordaki piston hızını temsil etmek için kullanılmıştır (Blair, 1999).

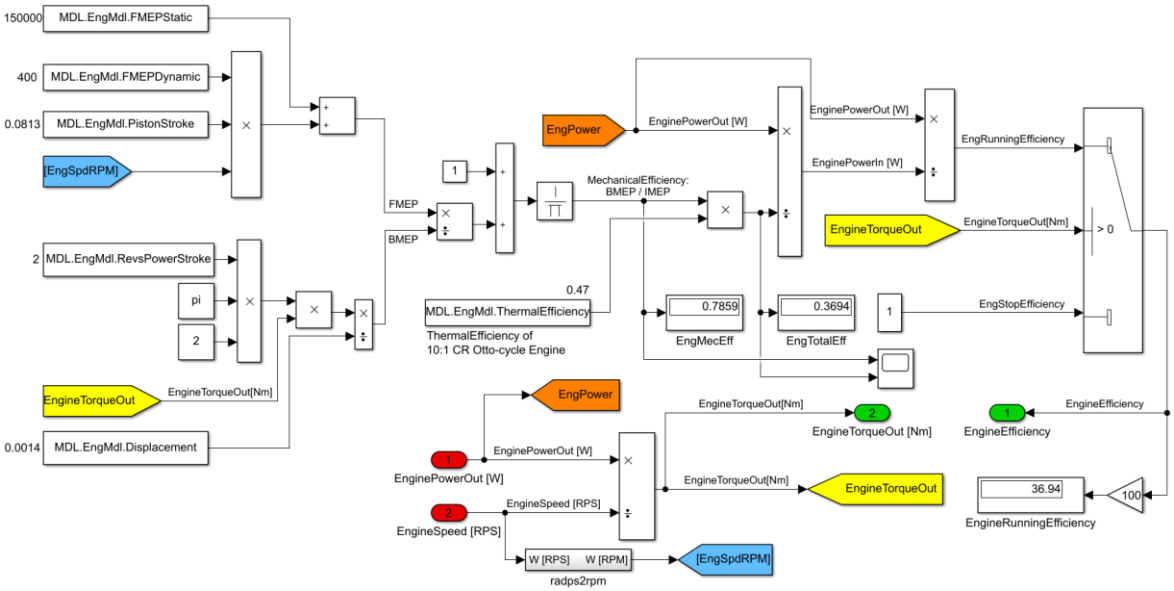
$$FMEP = a + b * L_{st} * N \tag{4.21}$$

Referans alınan kaynakta, turboşarjlı ve direkt enjeksiyonlu otomobil motorları için sürtünme ortalama efektif basınç değeri bulunurken, Denklem 4.21'de kullanılan *a* ve *b* sabit değerleri sırasıyla 150000 ve 400 olacak şekilde verilmiş ve benzetimi yapılan motor için de bu değerler kullanılmıştır (Blair, 1999).

Motorun termal verimi, yakıtın yanması sonucu açığa çıkan enerji ile faydalı iş olarak pistonlara aktarılan enerji arasındaki orandır. Motorda yanma sonucunda açığa çıkan ısı enerjisinin bir kısmı motorun egzozundan dışarı atılır, bir kısmı motorun ve motor yağının soğutulması sırasında kayıp olmaktadır. Benzetimi yapılan motor, termodinamik çevrim olarak otto çevrimi ile çalışan bir motordur. Otto çevrimi ile çalışan motorlarda termal verim bulunurken Denklem 4.22'deki eşitlik kullanılmaktadır (Blair, 1999). Denklemde yer alan *CR* terimi motordaki sıkıştırma oranını, γ terimi ise özgül ısı oranını ifade etmektedir. Hava-yakıt karışımının özgül ısı oranı yaklaşık 1,28 olarak kabul edilmiştir. Benzetimi yapılan motorun sıkıştırma oranı 10:1 olduğu için motorun termal verimi 0,47 olarak bulunmuştur.

$$n_t = 1 - \frac{1}{CR^{(\gamma-1)}} \tag{4.22}$$

Bu kısımda verilmiş bilgiler kullanılarak, motorun mekanik veriminin ve termal veriminin hesaplanması, motorun toplam veriminin elde edilmesi ve elde edilen verim değeriyle motor şaft çıkış gücünden motor giriş gücünün hesaplanmasına dair yapılan işlemler ile ilgili olarak Simulink'te oluşturulmuş bloğun detayı Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34 Motor verim hesabı ve motor giriş gücünün elde edilmesi

4.2.1.4. Motorun ürettiği enerji ve toplam yakıt tüketimi

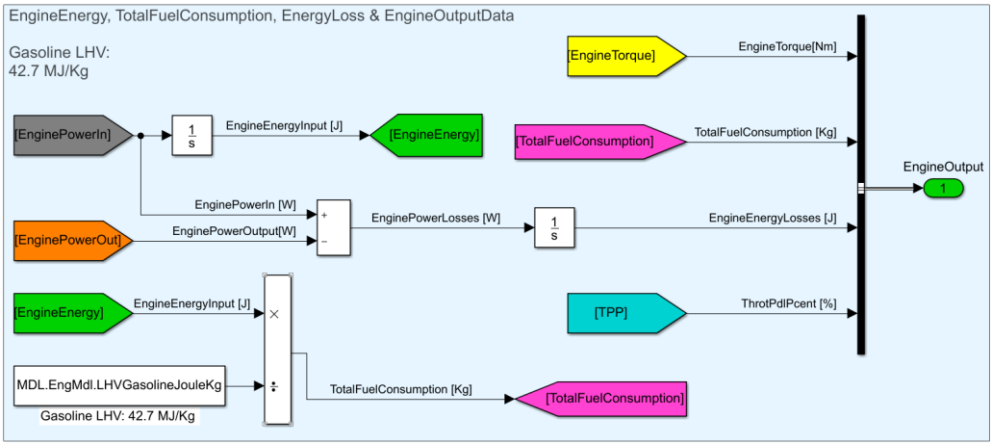
Motorun yakıt tüketim miktarını hesaplamak için motor tarafından yapılan işin (motorun ürettiği enerjinin) bilinmesi gerekir. Motorda yanma sonucunda üretilen enerji ile motor giriş gücü arasındaki ilişki Denklem 4.23'te verilmiştir (Meywerk, 2015).

$$W_w = \int_0^T P_w * dt \tag{4.23}$$

Motorun içine atılan yakıt miktarı ile motorun üreteceği enerji arasında Denklem 4.24'teki ilişki bulunmaktadır. Denklemdeki W_w terimi motorda yanma sonucunda üretilen enerjiyi, B terimi toplam yakıt tüketim miktarını ve H_l terimi ise alt ısıl değeri ifade etmektedir (Meywerk, 2015). Referans kaynakta yakıt tüketim miktarı ve alt ısıl değeri parametreleri için tanımlanmış l ve J/l birimleri yerine sırasıyla kg ve J/kg birimleri benzetim sırasında kullanılmıştır. Benzetimi yapılan motor benzinli olduğu için, Denklem 4.24'te alt ısıl değeri değişkeni için 42,7 MJ/kg değeri kullanılmıştır.

$$W_w = B * H_l \tag{4.24}$$

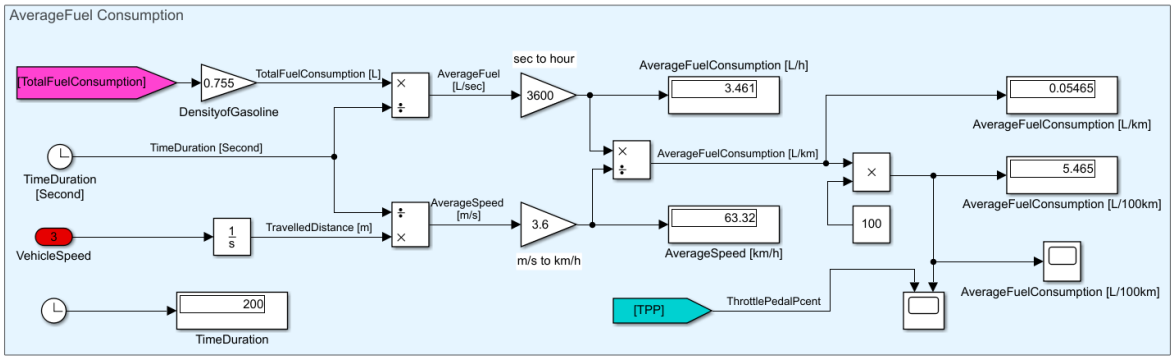
Bu kısımda verilmiş bilgiler kullanılarak, motorun ürettiği enerjinin ve toplam yakıt tüketiminin hesaplanmasına dair yapılan işlemler ile ilgili olarak Simulink'te oluşturulmuş bloğun detayı Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35 Motorun ürettiği enerji ve toplam yakıt tüketiminin elde edilmesi

4.2.1.5. Motorun ortalama yakıt tüketimi

Motorun toplam yakıt tüketim değeri, o andaki simülasyon süresine bölünerek, saniye başına tüketilen ortalama yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Benzer şekilde aracın toplam kat ettiği yol değeri, o andaki simülasyon süresine bölünerek ortalama araç hızı bulunmuştur. Bulunan değerlerde gerekli birim çevirmeleri yapıldıktan sonra, motorun yüz kilometrede tüketeceği yakıt miktarı, kilometre başına tüketeceği yakıt miktarı ve saat başına tüketeceği yakıt miktarı gibi çeşitli ortalama yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Yapılan işlemler ile ilgili olarak Simulink'te yapılmış benzetim Şekil 4.36'da verilmiştir.



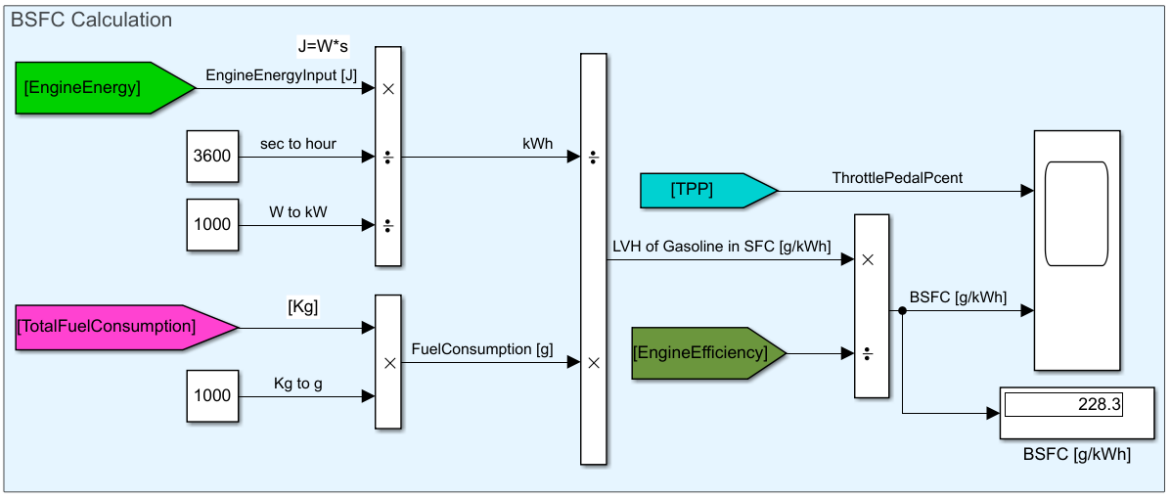
Şekil 4.36 Motorun ortalama yakıt tüketiminin hesaplanması

4.2.1.6. Motorun özgül yakıt tüketimi

Yakıt yakarak şaft çıkışında oluşturduğu dönüş hareketi ile güç üreten tüm motorlar için yakıt verimliliğinin göstergesi için özgül yakıt tüketimi (BSFC) değeri kullanılır. Özgül yakıt tüketimi, motor tarafından üretilen güce göre yakılan yakıt oranını göstermektedir. Bu özelliğinden dolayı farklı tip motorların (benzinli ve dizel pistonlu motorlar, turboşaft ve turboprop gibi gaz türbinli motorlar) yakıt veriminin karşılaştırılmasında özgül yakıt tüketimi değeri kullanılmaktadır. Bu değer motorun çalıştığı her noktada sabit olmayıp, motorun en verimli çalıştığı noktayı göstermektedir.

Motorun özgül yakıt tüketimini bulmak için Simulink'te yapılmış benzetim Şekil 4.37'de verilmiştir. Motorun içine atılan yakıt miktarı, bu yakıtın yanması sonucunda motorun üreteceği enerji değerine bölünerek kullanılan yakıta dair alt ısıl değeri elde

edilmiştir. Gerekli birim çevrim işlemleri yapıldıktan elde edilen değer, motorun o andaki verimi ile çarpılarak motorun o andaki özgül yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.37 Motorun özgül yakıt tüketiminin hesaplanması

4.2.2. Aracın aktarma organları modeli

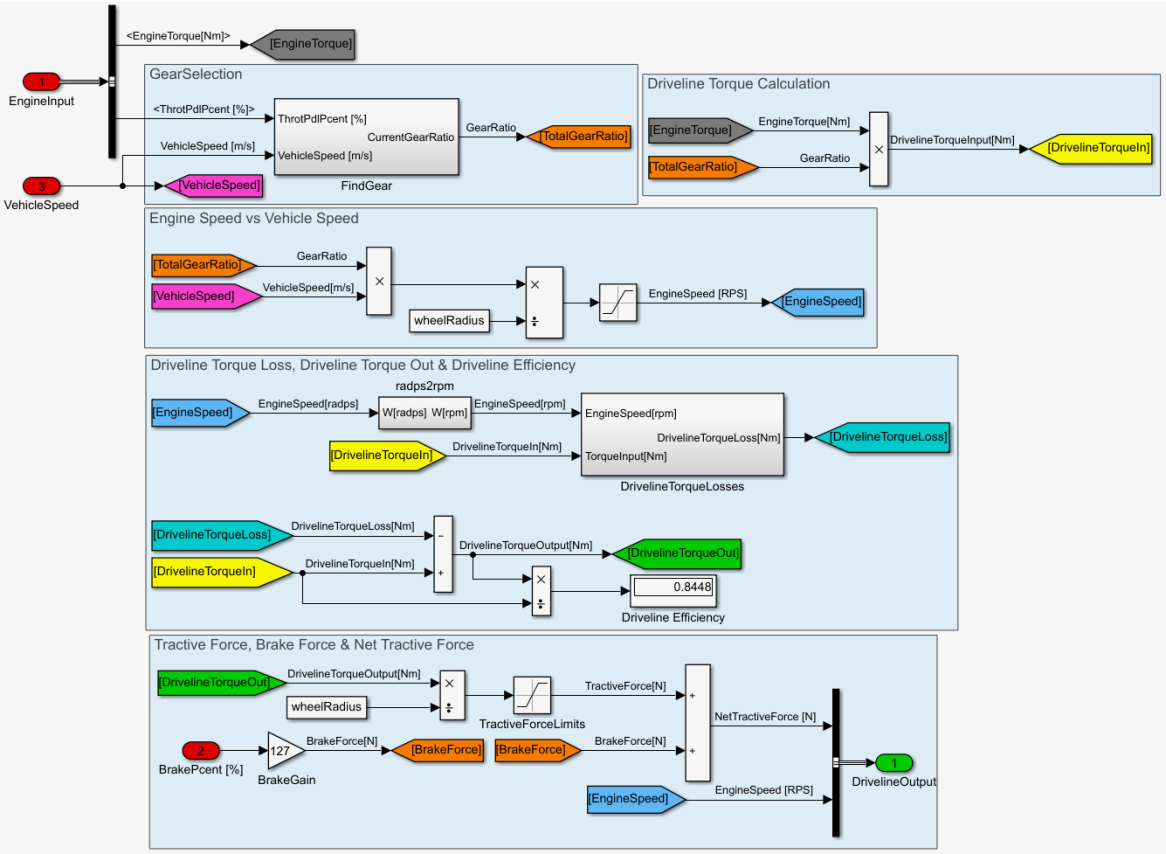
Aracın motoru tarafından üretilen torkun tekerleklere aktarılmasında kullanılan aktarma organları, şanzıman ve diferansiyelden oluşmaktadır. Aracın şanzımanı, aracın hızına ve gaz pedal komutuna bağlı olarak hangi viteste olması gerektiğini hesaplamaktadır. Aracın şanzımanı ile tekerleri arasında direkt bir bağlantı bulunmamakta, çekişin sağlandığı tekerlere, motor tarafından üretilen torkun dağıtılması için şanzıman ile tekerler arasında diferansiyel bulunmaktadır. Diferansiyel de aynı şanzımandaki vites oranları gibi son dişli oranı (final drive ratio) olarak adlandırılan bir çevrim oranına sahiptir. Aracın motorunun ürettiği tork, şanzımanın bulunduğu vitese ait vites oranı ile çarpıldıktan sonra diferansiyelde bulunan son dişli oranı ile son bir kez daha çarpılır ve bu tork değeri tekerleklere aktarılır.

Benzetimi yapılan araç 6 ileri vitesli, tork konvertörlü tip bir şanzıman yapısına sahiptir. Aracın aktarma organlarına ait teknik özellikler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Aracın aktarma organlarının teknik özellikleri

Şanzıman tipi	Tam otomatik - tork konvertör
Vites	Vites dişli oranları
1	4,58
2	2,96
3	1,91
4	1,44
5	1,00
6	0,74
Son dişli oranı	3,53

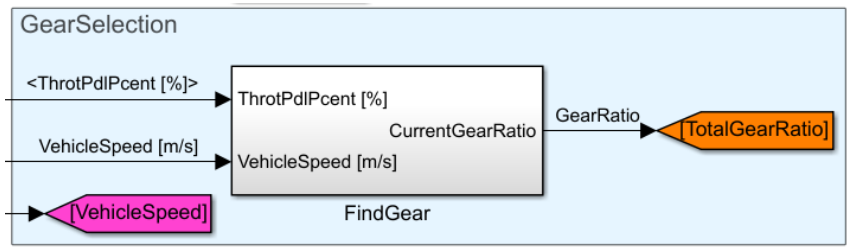
Aracın aktarma organlarına ait teknik verilerin yer aldığı Çizelge 4.7'deki bilgiler kullanılarak, aracın aktarma organlarının benzetimi Şekil 4.38'deki gibi Simulink ortamında oluşturulmuştur. Simulink'te aracın aktarma organları modeli için oluşturulmuş her bir kısım ayrı başlıklar altında irdelenmiştir.



Şekil 4.38 Aracın aktarma organları modeli

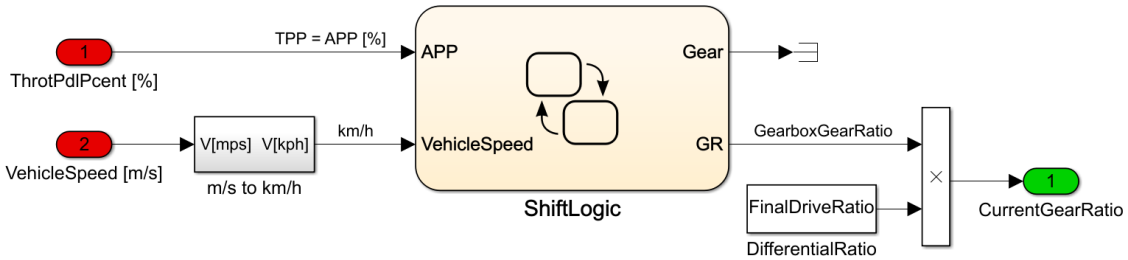
4.2.2.1. Şanzıman vites seçimi ve aktarma organları toplam dişli oranı

Aracın aktarma organlarının en önemli parçası olan şanzımanın benzetimi bu kısımda yapılmış ve benzetim sırasında MATLAB/Simulink kütüphanesinde bulunan otomatik vites modellerinden faydalanılmıştır. Bu kısmın Simulink ortamında yapılmış benzetimi Şekil 4.39'da verilmiştir.



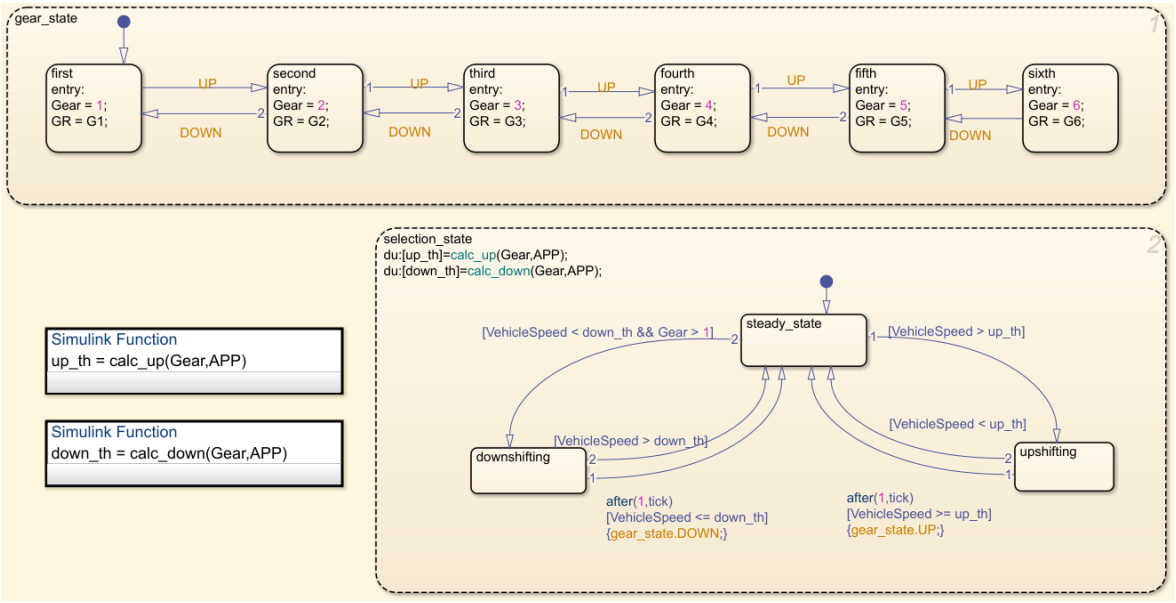
Şekil 4.39 Şanzıman vites seçimi

Gaz pedal komutuna ve aracın hızına bağlı olarak şanzımanda bulunulması gereken vitesin seçilmesi ve yine bu giriş parametrelerine göre vites değişim haritaları yardımıyla vitesler arası geçişlerin yapılmasına dair kararların alınması gibi işlemler için Simulink'te bulunan Stateflow aracı kullanılmıştır. Stateflow modelinin çıkışı şanzımanın ilgili vitesine ait oranın değeridir. Şanzımanın bulunduğu vitese göre vites dişli oranının ayarlanması ve bu oran ile diferansiyele ait son dişli oranının çarpılması sonucunda toplam dişli oranının hesaplanması bu kısımda yapılmıştır. Şanzımandaki vitesin seçimi, vites oranının elde edilmesi ve toplam dişli oranının hesaplanmasına dair yapılan işlemler için Simulink'te oluşturulmuş bloğun detayı Şekil 4.40'ta verilmiştir.



Şekil 4.40 Şanzıman vites oranı ve toplam dişli oranının elde edilmesi

Araçta bulunan otomatik vitesin benzetimi sırasında, üretici firma tarafından belirtilmiş vites dişli oranları kullanılmış ancak vites seçimi ve vitesler arasındaki geçişler için herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır. Buna istinaden Simulink kütüphanesinde yer alan otomatik vitese ait bir şanzıman modeli için oluşturulmuş Stateflow bloğu, benzetimi yapılan araca göre güncellenip, şanzıman modeline dahil edilmiştir. Benzetimde kullanılan Stateflow bloğundaki vites seçim algoritmasına dair detay Şekil 4.41'de verilmiştir.

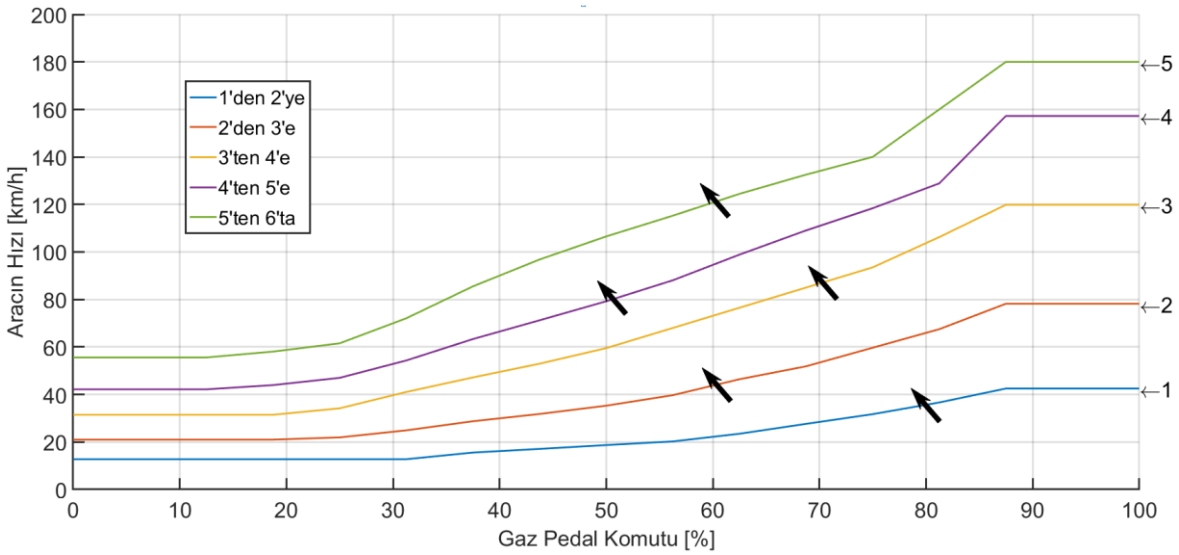


Şekil 4.41 Şanzıman vites seçim algoritmasının Stateflow ile gerçeklenmesi

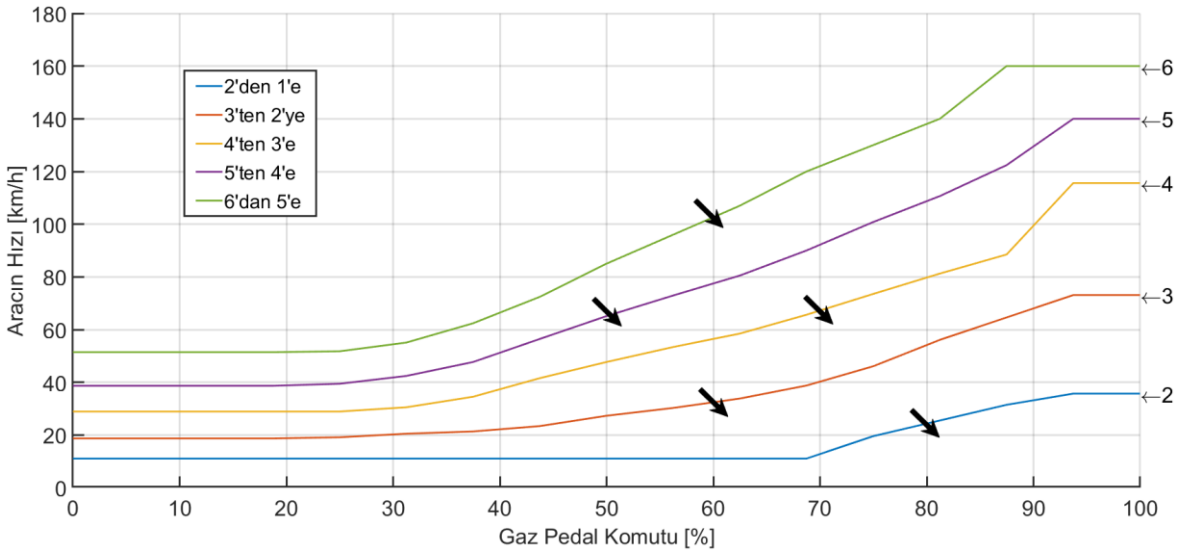
Şanzımanda vitesin seçim algoritmasının gerçeklemesinde kullanılan Stateflow bloğu iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, Stateflow bloğunun çıkışına ait mevcut vites bilgisi ve o vitese ait dişli oranı bilgilerini içeren ve Simulink'e bu bilgileri ileten kısımdır. Bu kısım 6 bloktan oluşmakta ve her bir blok bir vitesi temsil etmektedir. Birinci kısımdaki her bir vites için tanımlanmış bloklar, şanzımanın hangi viteste olduğu ve o vitese ait dişli oranı değerlerini içermektedir. Yine birinci kısımda, vitesler arasındaki geçişin sağlanması için yapılması gereken fonksiyona ait bilgi bloklar arasındaki geçişlerde tanımlanmaktadır.

Stateflow bloğundaki ikinci kısım ise, birinci kısımda bloklar arasındaki geçişler için tanımlanmış vites yükselt (UP) ve vites düşür (DOWN) fonksiyonlarının gerçekleşmesini sağlayan kısımdır. Bu kısım mevcut vitesi koruma, vites yükseltme ve vites düşürme olmak üzere 3 bloktan oluşmaktadır. İkinci kısımda tanımlanmış olan bloklar arasındaki geçişlerin sağlanması için aracın mevcut hızı, vites yükseltme eşik hızı ve vites düşürme eşik hızı

değerleriyle karşılaştırılır. Aracın hızının karşılaştırıldığı eşik hız değerleri için Simulink fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlar vites yükseltme haritası ve vites düşürme haritası olmak üzere vites değişim haritalarını içermektedir. Bu haritalar, gaz pedalı komutu ve mevcut vites konumuna göre, vites yükseltme eşik hızı ve vites düşürme eşik hızı eğrilerinden oluşmaktadır. Aracın şanzımanı için vites geçişlerinin sağlanmasında kullanılan vites yükseltme haritası ve vites düşürme haritası Şekil 4.42'de ve Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.42 Vites yükseltme haritası

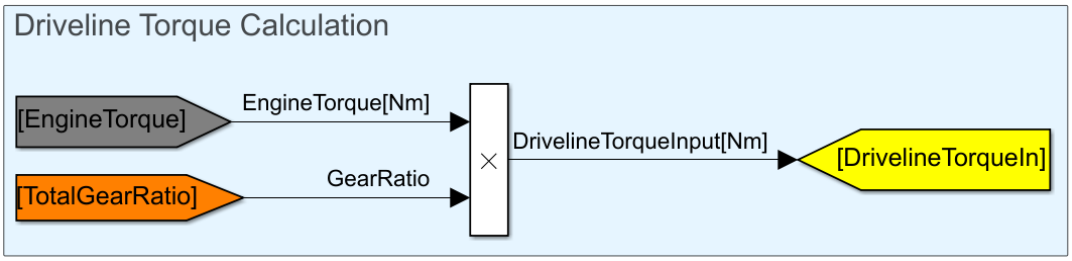


Şekil 4.43 Vites düşürme haritası

Eğer tek bir vites değişim haritası tanımlansaydı, araç belli gaz pedal komutuna göre, belli bir viteste ilerlerken, aracın hızı, tanımlanmış hız eğrisi üzerine çok yakın bölgede olduğu durumda sürekli olarak vites değişimi gerçekleşebilirdi. Bu durumun önüne geçilmesi için, aynı gaz pedal komutu için hem vites yükseltme hem de vites düşürme haritalarında ayrı ayrı hız eğrileri tanımlanarak, hıza bağlı bir histerezis oluşturulmuştur.

4.2.2.2. Motor torku ile tekerleklere aktarılan tork arasındaki ilişki

Motor tarafından üretilen torkun, aktarma organları aracılığı ile tekerleklere aktarılacak torka çevrilmesi Şekil 4.44'teki gibi bu kısımda yapılmıştır. Şekilde yer alan toplam dişli oranı (total gear ratio), vitese ait dişli oranı (n_g) ve diferansiyelde yer alan son dişli oranının (n_d) çarpımını ifade etmektedir.



Şekil 4.44 Motor torkunun tekerlere aktarılan torka çevrimi

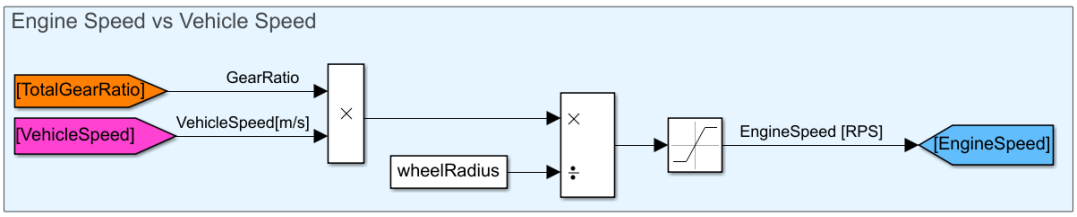
Tekerlere aktarılacak torkun hesaplanmasında Denklem 4.25'teki eşitlik kullanılmıştır. Motorun ürettiği tork (T_e), şanzıman tarafından belirlenen vitese ait dişli oranı ve diferansiyelde yer alan son dişli oranı ile çarpılması sonucunda tekerleklere aktarılacak tork değeri (T_w) elde edilmiştir (Jazar, 2017).

$$T_w = \eta * n_g * n_d * T_e \tag{4.25}$$

Denklem 4.25'ten görüleceği üzere, tekerlere aktarılacak tork değerinde aktarma organlarının toplam verimi de (η) hesaba katılmıştır. Aktarma organlarındaki kayıpların hesaplanması ve aktarma organlarının toplam verimi bu kısımda yapılmamış olup, ilgili alt başlıklarda ele alınmıştır.

4.2.2.3. Motor hızı ile araç hızı arasındaki ilişki

Aktarma organlarındaki kayıpların hesaplanabilmesi için motorun hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan benzetimde, aracın hızından faydalanılarak motorun hızının elde edilmesi Şekil 4.45'te verilmiştir. Motorun hızı ile aracın hızı arasındaki ilişkide, aktarma organları ve buna ilaveten tekerlere ait parametreler hesaba katılmıştır.



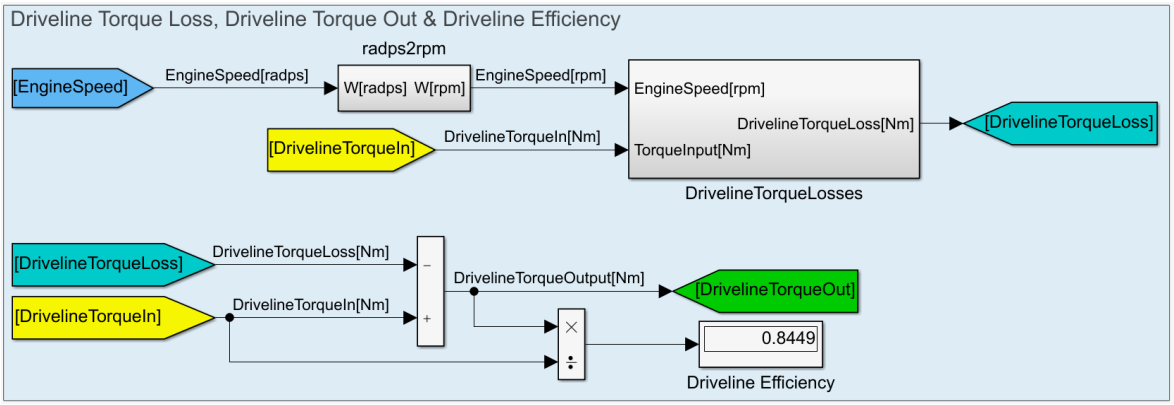
Şekil 4.45 Aracın hızından motor hızının elde edilmesi

Motorun hızının hesaplanmasında Denklem 4.26'daki eşitlik kullanılmıştır. Aracın hızı (V_{host}), şanzıman tarafından belirlenen vitese ait dişli oranı ve diferansiyelde yer alan son dişli oranı ile çarpıldıktan sonra, aracın tekerlerinin yarıçap uzunluğuna (R_w) bölünmesi sonucunda motorun açısal hız değeri (w_e) elde edilmiştir (Jazar, 2017).

$$w_e = \frac{n_g * n_d}{R_w} * V_{host} \tag{4.26}$$

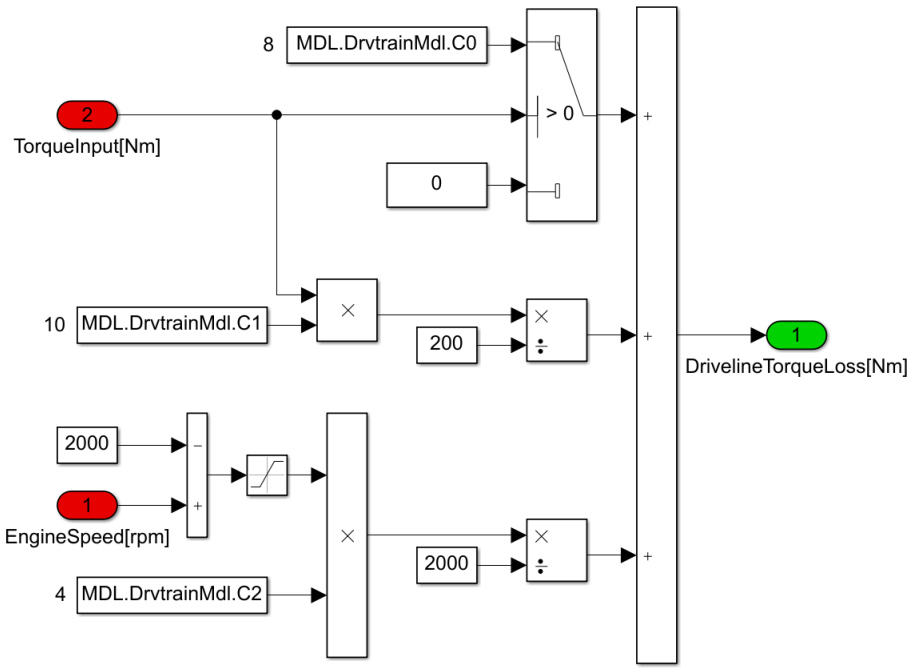
4.2.2.4. Aktarma organlarındaki kayıplar ve toplam verimin hesaplanması

Motor torkundan tekerlere aktarılacak torkun çevrimi ilgili başlıklarda yapılmış ancak bu hesaplara aktarma organlarının toplam verimi dâhil edilmemişti. Bu kısımda aktarma organlarındaki kayıplar hesaplanmış ve aktarma organları toplam verimi elde edilmiştir. Aktarma organları giriş torkundan, aktarma organlarındaki kayıp torklar arındırıldıktan sonra aktarma organları çıkış torku değeri elde edilmiştir. Bu değer, aracın tekerleklerine aktarılacak tork değerine eşittir (Bkz. Denklem 4.25). Bu kısmın Simulink ortamında yapılmış benzetimi Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46 Aktarma organları toplam verimi ve çıkış torkunun hesaplanması

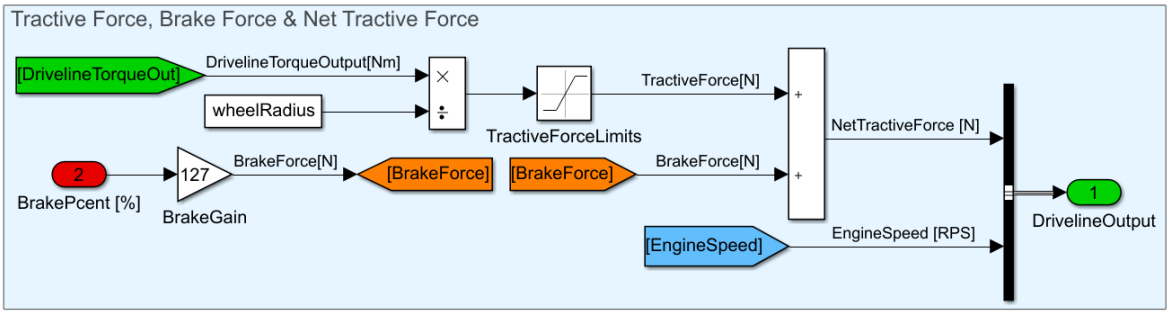
Aktarma organlarındaki tork kayıplarının hesaplanması için tüm alt sistemlerdeki sürtünme kayıplarının bilinmesi gerekir ve genelde aktarma organlarının verimi %85 civarında olduğu bilinmektedir (Pratte, 2020). Aktarma organları toplam verim değeri için sabit bir değer kullanılmamış, motorun hızına ve aktarma organları giriş torku değerine bağlı olarak bir kayıp torku hesabı yapılmıştır. Bu bilgi doğrultusunda Simulink'te oluşturulmuş bloğun detayı Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47 Aktarma organlarındaki kayıpların hesaplanması

4.2.2.5. Aktarma organlarından tekerlere iletilen kuvvetlerin hesaplanması

Gaz pedal komutuna bağlı olarak motorun ürettiği torkun tekerlere aktarılması sonucunda elde edilen çekiş kuvveti ($F_{tractive}$) ile fren pedal komutuna bağlı olarak üretilen fren kuvveti (F_{brake}) değerlerinin toplamı, tekerler üzerinde oluşan net çekiş kuvvetini ($F_{tractivenet}$) vermektedir. Aracın tekerlerine iletilen net çekiş kuvvetin hesaplanmasına dair yapılmış benzetim Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48 Tekerlere iletilen çekiş, fren ve net çekiş kuvvetin hesaplanması

Motor tarafından üretilen torkun aktarma organları aracılığıyla aracın tekerlerine iletilmesi sonucunda tekerler üzerinde oluşan tork değeri, tekerlerin yarıçap uzunluğuna bölünmesi ile tekerlere iletilen çekiş kuvveti değeri elde edilmiştir. Tekerlere iletilen çekiş kuvvetinin hesaplanmasında Denklem 4.27'de verilen eşitlik kullanılmıştır (Jazar, 2017).

$$F_{tractive} = \frac{T_w}{R_w} \tag{4.27}$$

Aracın üreticisi, frenler için fren disk çapı ve fren balatası tarama alanına dair bilgileri paylaşmış ancak her bir disk için fren balatası sayısı, fren balatası ile diskler arasındaki sürtünme katsayısı, fren balatalarını harekete geçiren pistonun çapı ve bu pistona iletilen basınca dair bilgileri paylaşmamıştır. Buna istinaden fren pedal komutu değerine bağlı olarak, tekerler üzerinde oluşacak fren kuvvetinin hesaplanmasında gerçek bir fren modeli oluşturulmamıştır. Aracın tekerlerine uygulanacak fren kuvvetinin hesaplanması için araca ait frenleme mesafesine ait bilgiler araştırılmıştır. Bulunan kaynakta aracın hızı yaklaşık 31,3 m/s (70 mph) iken, yapılan frenleme sonucunda aracın yaklaşık 51,2 metre (168 feet) mesafe sonunda durabildiği verilmiştir (Stoklosa, 2016). Araçlarda frenleme

mesafesi ölçümlerinde frenlere maksimum kuvvet uygulanmaktadır. Aracın kinetik enerjisindeki değişimin, fren kuvvetinin yaptığı işe eşit olması gerekliliğinden yola çıkılarak, iş ve enerji dönüşümlerinde kullanılan teori temel alınmış ve aracın maksimum fren kuvvetinin hesaplanmasında Denklem 4.28'deki eşitlik kullanılmıştır. Araç frenlemenin sonunda durduğu için aracın son hızı (V_f) sıfır kabul edilmiştir. Aracın frenlemeye başladığı hız (V_i) ve frenleme mesafesi (D_{brake}) için referans kaynakta verilmiş değerler kullanılarak aracın maksimum fren kuvveti ($F_{brakemax}$) değeri yaklaşık -12725 N olarak elde edilmiştir. Maksimum fren kuvveti değeri, fren pedal komutunun %100 olduğu koşulda geçerli olduğu için, maksimum fren kuvveti değeri 100'e bölünerek fren kuvveti çarpanı (K_{brake}) Denklem 4.29'daki gibi hesaplanmış ve yaklaşık 127 olarak bulunmuştur. Böylece, fren pedal komutu (BPP) değerinin fren kuvveti çarpanı değeri ile çarpılmasıyla aracın tekerleklerine uygulanacak fren kuvveti değeri Denklem 4.30'daki gibi hesaplanmıştır.

$$F_{brakemax}D_{brake} = \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2 \tag{4.28}$$

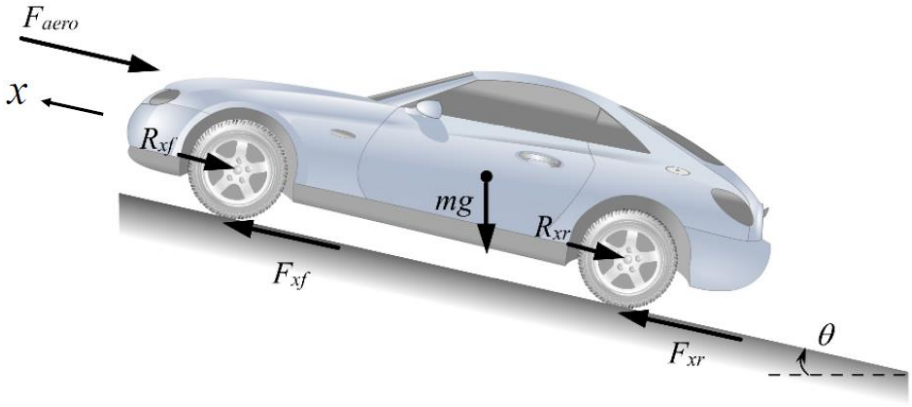
$$K_{brake} = \frac{F_{brakemax}}{100} \tag{4.29}$$

$$F_{brake} = BPP * K_{brake} \tag{4.30}$$

4.2.3. Aracın boylamsal gövde modeli

Aracın aktarma organları kısmında tekerler üzerinde oluşan net çekiş kuvveti hesaplanmıştı. Aracın hızlanma ve yavaşlama hareketlerini gerçekleştirmesi sırasında aracın gövdesi üzerinde oluşan tek kuvvet net çekiş kuvveti değildir. Araç modellenirken, araca etki eden tüm kuvvetlerin benzetime dahil edilmesi gerekir.

Bu çalışmada aracın gövde modeli oluşturulurken, boylamsal açıdan araç üzerinde oluşan dinamikler göz önünde bulundurulmuştur. Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvvetler Şekil 4.49'da gösterilmiştir. Şekil 4.49'da ifade edilen terimler ve açıklamaları Çizelge 4.8'de verilmiştir (Rajamani, 2012).



Şekil 4.49 Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvvetler (Rajamani, 2012)

Çizelge 4.8 Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvveler

Kısaltma	Karşılığı
F_{xf}	Ön tekerlerdeki net çekiş kuvveti
F_{xr}	Arka tekerlerdeki net çekiş kuvveti
F_{aero}	Aerodinamik direnç kuvveti
R_{xf}	Ön tekerlerdeki yuvarlanma direnci kuvveti
R_{xr}	Arka tekerlerdeki yuvarlanma direnci kuvveti
m	Aracın kütlesi
g	Yer çekimi ivmesi
θ	Yolun eğim açısı

Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvvetlerin birbiri arasındaki ilişki Denklem 4.31'de verilmiştir (Rajamani, 2012).

$$m\ddot{x} = F_{xf} + F_{xr} - F_{aero} - R_{xf} - R_{xr} - mg\sin\theta \tag{4.31}$$

Şekil 4.49'da aracın hareket doğrultusu yönünde etki oluşturan kuvvetler aracın ilerlemesini sağlayan net çekiş kuvvetlerini göstermektedir. Bundan dolayı Denklem 4.31'de eşitliğin sağ tarafında bu ifadeler (F_{xf} ve F_{xr}) pozitif olarak kullanılmıştır. Ön ve arka tekerlerdeki net çekiş kuvveti değerlerinin toplamı, tekerler üzerinde oluşan net çekiş kuvvetini ($F_{tractivenet}$) vermekte olup, bu kuvvet aktarma organları kısmında hesaplanmıştır.

Şekil 4.49'da aracın hareket doğrultusuna ters yönde etki oluşturan kuvvetler ise aracın ilerlemesine olumsuz yönde etki edebilecek kuvvetleri göstermektedir. Bundan dolayı Denklem 4.31'de eşitliğin sağ tarafında bu ifadeler negatif olarak kullanılmıştır. Denklem

4.31'de verilmiş aracın hareket doğrultusuna ters yönde etki oluşturan kuvvetler, direnç kuvvetleri olarak adlandırılmaktadır.

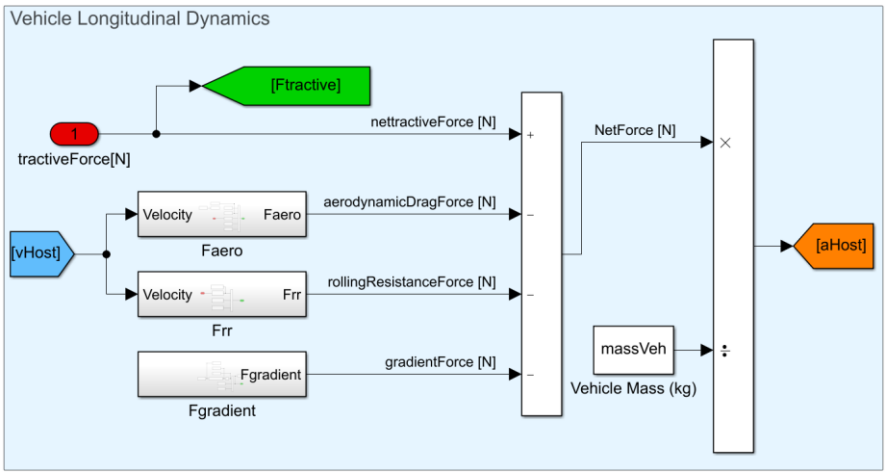
Denklem 4.31'de verilmiş ön ve arka tekerlerdeki yuvarlanma direnci kuvveti değerlerinin toplamı, tekerlek yuvarlanma direnci kuvvetini ($F_{rollingresistance}$) vermektedir. Denklem 4.31'de aracın üzerinde olduğu yolun eğim açısı, aracın kütlesi ve yer çekimi ivmesine bağlı değerleri içeren ifade ise eğim direnci kuvvetini ($F_{gradient}$) ifade etmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda direnç kuvvetleri sırasıyla aerodinamik direnç kuvveti (F_{aero}), tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti ve eğim direnci kuvveti değerlerinden oluşmaktadır.

Denklem 4.31'de eşitliğin sol tarafında yer alan ifade ise aracın üzerine etki eden net kuvveti (F_{net}) ifade etmektedir.

Aracın gövdesine boylamsal düzlemde etki eden kuvvetlerin birbiri arasındaki ilişkiyi gösteren Denklem 4.31, yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda, Denklem 4.32'deki gibi ifade edilmiştir.

$$F_{net} = F_{tractivenet} - F_{aero} - F_{rollingresistance} - F_{gradient} \tag{4.32}$$

Denklem 4.32'de verilmiş eşitliğe göre, aracın boylamsal gövde modelinin benzetimi Şekil 4.50'deki gibi Simulink ortamında oluşturulmuştur. Simulink'te direnç kuvvetleri için oluşturulmuş her bir kısım ayrı başlıklar altında irdelenmiştir.



Şekil 4.50 Aracın boylamsal gövde modeli

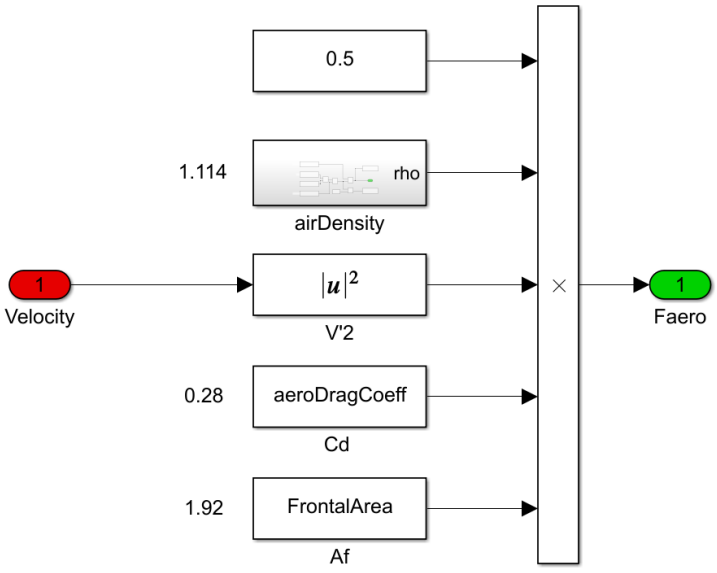
4.2.3.1. Aerodinamik direnç kuvveti

Araç belli bir hız ile hareket ederken, gövdesine etki eden bir hava akışına maruz kalır. Hava akışından kaynaklı olarak aracın yüzeyinde hava sürtünmesi meydana gelmektedir. Hava sürtünmesi sonucu ortaya çıkan sürtünme kuvveti, aerodinamik direnç kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Aerodinamik direnç kuvvetinin hesaplanması için gerekli eşitlik Denklem 4.33'te verilmiştir.

$$F_{aero} = \frac{1}{2}\rho C_d A_f V^2 \tag{4.33}$$

Denklem 4.33'te yer alan ρ terimi havanın kütle yoğunluğunu, C_d terimi aracın aerodinamik direnç katsayısını, A_f terimi aracın hava akışına maruz kalan ön yüzey alanını ve V terimi ise aracın hızını ifade etmektedir (Rajamani, 2012).

Araca etki eden aerodinamik direnç kuvvetinin hesaplanması için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.51 Aerodinamik direnç kuvvetinin hesaplanması

Havanın kütle yoğunluğu değeri sıcaklık ve basınç gibi atmosferik koşullardan etkilenmektedir. Araçların aerodinamik testleri yapılırken, atmosfer şartları açısından en çok

kullanılan hava koşulları, havanın sıcaklığının 15 ºC olduğu deniz seviyesinde yapılan testlerdir. Deniz seviyesinde havanın mutlak basınç değeri 101,32 kPa'dır. Bu durumda en çok kullanılan hava koşulları değerlerine göre havanın kütle yoğunluğu değeri 1,225 kg/m^3 olarak alınabilir (Rajamani, 2012). Benzetimi yapılan aracın Eskişehir ilindeki şartlarda kullanılacağı varsayılarak Eskişehir'in irtifasına göre havanın mutlak basıncı 96.16 kPa olarak alınmıştır. Bu durumda havanın sıcaklığının 15 ºC olduğu Eskişehir şartlarındaki havanın kütle yoğunluğu Denklem 4.34'teki eşitlik kullanılarak 1,114 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Denklem 4.34'teki $R_{specific}$ terimi gaz sabitini ifade etmektedir. Hava için bu değer 287,058 J/KgK'dir.

$$\rho = \frac{P_{air}}{T_{air} R_{specific}} \tag{4.34}$$

Benzetimi yapılan aracın aerodinamik direnç katsayısı için herhangi bir hesap yapılmamış, üretici firma tarafından paylaşılmış olan 0,28 değeri kullanılmıştır.

Ön yüzey alanı değeri, kütlesi 800 kg ile 2000 kg arasında olan araçlar için aracın kütlesine bağlı olarak Denklem 4.35'teki gibi hesaplanabilmektedir (Rajamani, 2012). Benzetimi yapılan aracın ön yüzey alanına dair bir bilgi üretici firma tarafından paylaşılmadığı için, aracın ön yüzey alanı Denklem 4.35'teki eşitlik kullanılarak yaklaşık 1,92 m^2 olarak hesaplanmıştır.

$$A_f = 1.6 + 0.00056(m - 765) \tag{4.35}$$

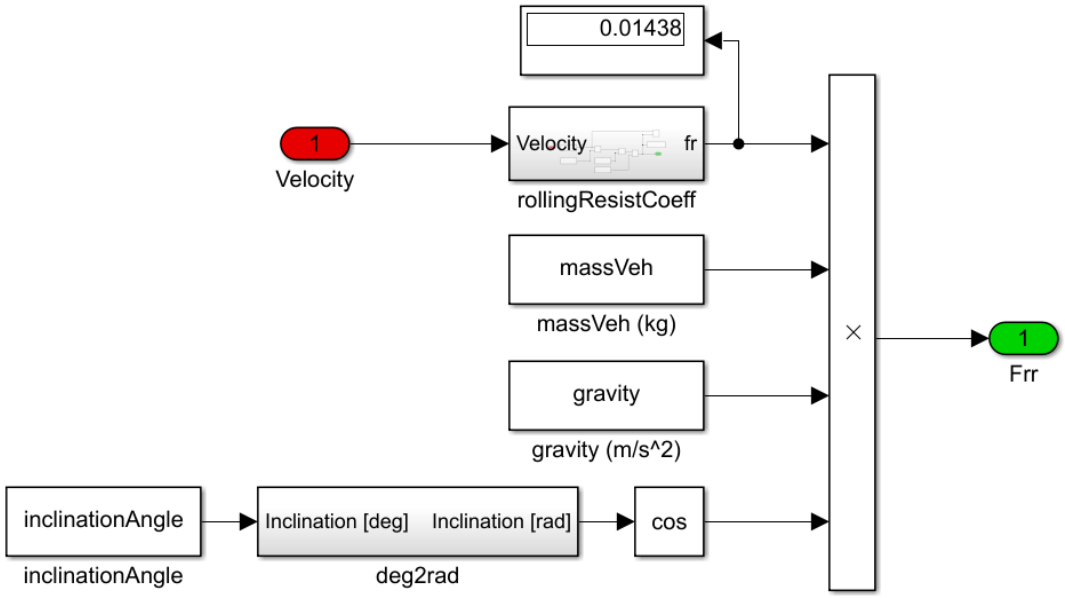
4.2.3.2. Tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti

Tekerlerin dışında bulunan lastikler ile üzerinde döndüğü yol arasındaki sürtünmeden kaynaklı olarak lastiğin yüzeyinde sürekli olarak bir aşınma gerçekleşir. Yani aslında yola temas eden yüzey her zaman yenilenmiş bir yüzey olarak değerlendirilebilir. Lastikler dönerken yola temas eden yüzeyden lastiğe doğru dikey yönde etki eden kuvvetler lastik üzerinde asimetrik olarak yayılmaktadır. Lastiklerin yere teması esnasında yüzeyinde gerçekleşen deformasyonlar, lastiğin sönümleme etkisinden dolayı içinde bir miktar enerjinin harcanmasına yol açmaktadır. Lastik temas yüzeyinden ayrıldıktan sonra normal

şekline dönerken, harcanan enerjiden dolayı lastikler tamamen eski haline dönemez. Lastikler üzerinde harcanan bu enerji tekerlek yuvarlanma direnci olarak ifade edilmektedir (Rajamani, 2012).

Tekerlek yuvarlanma direnci kuvvetinin hesaplanması için gerekli eşitlik Denklem 4.36'da verilmiştir. Denklem 4.36'da yer alan f_r terimi yuvarlanma direnci katsayısını, F_z terimi aracın tekerlerinin yola dikey yönde yaptığı kuvvet değeridir. Aracın yol ile arasında belli bir açı olması durumunda, tekerlerin yola dikey yönde yaptığı kuvvet azalacağı için buna bağlı olarak tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti de azalacaktır. Bu durumun ifade edilmesi için eşitlikte trigonometrik fonksiyon tanımlanmıştır (Ehsani vd., 2009). Araca etki eden tekerlek yuvarlanma direnci kuvvetinin hesaplanması için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.52'de verilmiştir.

$$F_{rollingresistance} = f_r F_z = f_r mg \cos\theta \tag{4.36}$$



Şekil 4.52 Tekerlek yuvarlanma direnci kuvvetinin hesaplanması

Denklem 4.36'da verilmiş yuvarlanma direnci katsayısı, lastik tipine (araç lastiği ve kamyon lastiği vb.), lastiğin yapısına (radyal lastik ve diyagonal lastik vb.) ve yolun tipine (düzgün asfalt zemin, toprak zemin, tarla ve tren yolundaki demir raylar vb.) bağlı olarak 0,001 ile 0,35 arasında değişebilmektedir. Binek araçlar ve düzgün asfalt yüzey koşulları

dikkate alınarak, aracın hızına bağlı olarak değişen yuvarlanma direnci katsayısı Denklem 4.37'de verilmiş eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve bu hesap benzetime dahil edilmiştir (Ehsani vd., 2009).

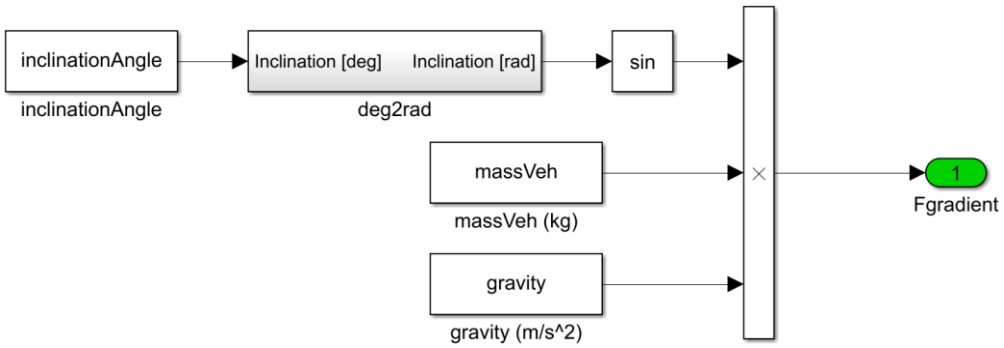
$$f_r = 0.01\left(1 + \frac{V}{160}\right) \tag{4.37}$$

4.2.3.3. Eğim direnci kuvveti

Eğim direnci kuvveti aracın ağırlığının, yolun eğimine bağlı olarak, boylamsal düzlemdeki aşağı yönlü bileşen ile ifade edilmesidir. Eğim direnci kuvvetinin hesaplanması için gerekli eşitlik Denklem 4.38'de verilmiştir. Denklem 4.38'de yer alan m terimi aracın kütlesini, g terimi yer çekimi ivmesini ve θ terimi yolun eğim açısını ifade etmektedir.

$$F_{gradient} = mg \sin\theta \tag{4.38}$$

Eşitlikte yer alan trigonometrik fonksiyondan anlaşılacağı üzere, eğim açısının (aracın yol ile arasındaki açının) artması durumunda, aracın yola dikey yönde yaptığı kuvvet azalır ve eğim direnci kuvveti artar. Araca etki eden eğim direnci kuvvetinin hesaplanması için Simulink ortamında yapılan benzetim Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.53 Eğim direnci kuvvetinin hesaplanması

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

UHK sisteminin tasarımı ve bu sisteme sahip aracın modellenmesi yapıldıktan sonra, tüm model benzetiminin doğruluğunun sınanması için belirli senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre simülasyonlar yapılmış ve tasarlanan sistemin nasıl davranış gösterdiği incelenmiştir. Oluşturulan senaryolara göre simülasyonların koşulması Simulink ortamında yapılmıştır.

Oluşturulmuş senaryolar UHK sistemine sahip bir aracın günlük hayatta karşılaşabileceği durumların birçoğunu içermektedir. Tasarlanan sistemin performansının sınanması için yedi farklı koşulu içeren senaryo oluşturulmuştur. Ancak günlük hayatta gerçekleşebilecek olası tüm durumlar, oluşturulmuş senaryolar ile temsil edilememekte, bunun için yüzlerce farklı senaryonun düşünülmesi gerekmektedir. Buna istinaden verilen senaryolar dışındaki durumlarda tasarlanan sistemin göstereceği davranışlar bu çalışmanın kapsamının dışında kalmaktadır. Oluşturulan senaryolar için Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'deki koşulların gerçekleştiği varsayılmış olup, senaryolara ait detaylı açıklamalar ve senaryoya göre sistemin sergilediği davranışlar ilgili başlıklarda verilmiştir.

Çizelge 5.1 İlk 3 senaryo ve açıklamaları

Senaryo	Koşullar	Açıklama
1	$V_{host} = V_{CCset}$	Önde araç yok Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
2	$V_{host} = V_{CCset}$ $V_{host} < V_{target}$ $D_{measured} > D_{safe}$	Önde araç var Koşullara göre hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
3.1	$V_{host} < V_{CCset}$	Önde radarın algıladığı bir araç yok Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
3.2	$V_{host} = V_{CCset}$ $V_{host} > V_{target}$ $D_{measured} > D_{safe}$	t=t1 anında aracın önünde bir araç algılanır Arkadaki araç öndeki araca yaklaşmaktadır
3.3	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t2 anında mesafe denetleyicisi devreye girer Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$) Araç hızını öndeki aracın hızına düşürür Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip eder Ölçülen mesafenin D_{safe} değerine eşit olması sağlanır

Çizelge 5.2 Son 4 senaryo ve açıklamaları

Senaryo	Koşullar	Açıklama
4.1	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t1'e kadar Senaryo 3'ün (3.1, 3.2 ve 3.3) aynısıdır. Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip etmekte Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$)
4.2	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t1 anında öndeki araç hızını artırır UHK sistemine sahip araç hızını öndeki aracın hızına artırır Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip eder Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$)
4.3	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t2 anında öndeki araç hızını artırır UHK sistemine sahip araç hızını öndeki aracın hızına artırır Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip eder Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$)
5.1	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t1'e kadar Senaryo 3'ün (3.1, 3.2 ve 3.3) aynısıdır Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip etmekte Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$)
5.2	$V_{host} > V_{CCset}$ $V_{host} < V_{target}$ $D_{measured} > D_{safe}$	t=t1 anında sürücü seyir etmek istediği hızı düşürür t=t1 anında hız denetleyicisi devreye girer Arkadaki araç hızını, seyir etmek istenen hıza düşürür Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
5.3	$V_{host} > V_{CCset}$ $V_{host} < V_{target}$ $D_{measured} > D_{safe}$	t=t2 anında sürücü seyir etmek istediği hızı düşürür Arkadaki araç hızını seyir etmek istenen hıza düşürür Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
6.1	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{host} = V_{target}$ $D_{measured} = D_{safe}$	t=t1'e kadar Senaryo 3'ün (3.1, 3.2 ve 3.3) aynısıdır Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip etmekte Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$)
6.2	$V_{host} = V_{CCset}$	t=t1 anında öndeki araç şerit değiştirir Önde radarın algıladığı bir araç yok t=t1 anında hız denetleyicisi devreye girer Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)
7.1	$V_{host} = V_{CCset}$ $V_{host} > V_{target}$ $D_{measured} < D_{safe}$	Araç sürücünün seyir etmek istediği hızda gitmektedir t=t0 anında aracın önüne bir araç aniden giriş yapar Mesafe denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{DCtarget}$) Arkadaki araç öndeki aracı H_{set} değerine göre takip eder Ölçülen mesafenin D_{safe} değerine eşit olması sağlanır Mesafe denetleyicisine göre dur-kalk yapılarak ilerlenir
7.2	$V_{host} < V_{CCset}$ $V_{CCset} < V_{target}$ $D_{measured} > D_{safe}$	t=t1 anında öndeki araç hızını artırır t=t1 anında hız denetleyicisi devreye girer Hız denetleyicisi devrede ($a_{target} = a_{CCtarget}$)

5.1. Senaryolar

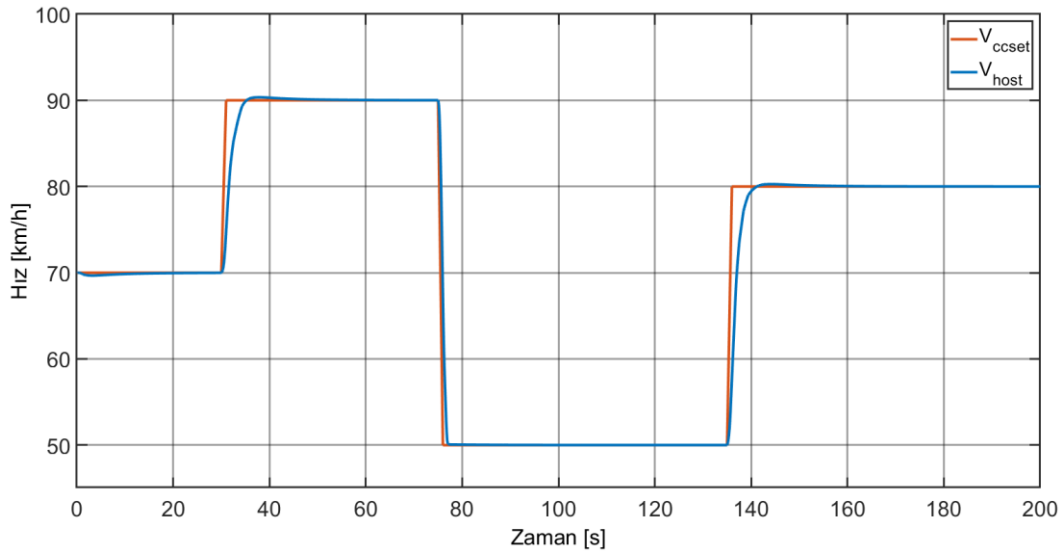
5.1.1. Senaryo 1

Bu senaryo UHK sistemine sahip aracın önünde herhangi bir aracın olmadığı koşulu temsil etmek için oluşturulmuştur. Radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değeri her zaman görebileceği maksimum değeri gösterdiği durumda olduğu için, ölçülen mesafe değeri, aracın mevcut hızına bağlı olarak hesaplanan güvenli takip mesafesi değerinden her zaman büyük olmaktadır. Bu durumda araçta bulunan UHK sistemi normal HK gibi çalışmakta ve aracın hızını, sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinde tutmaya çalışmaktadır.

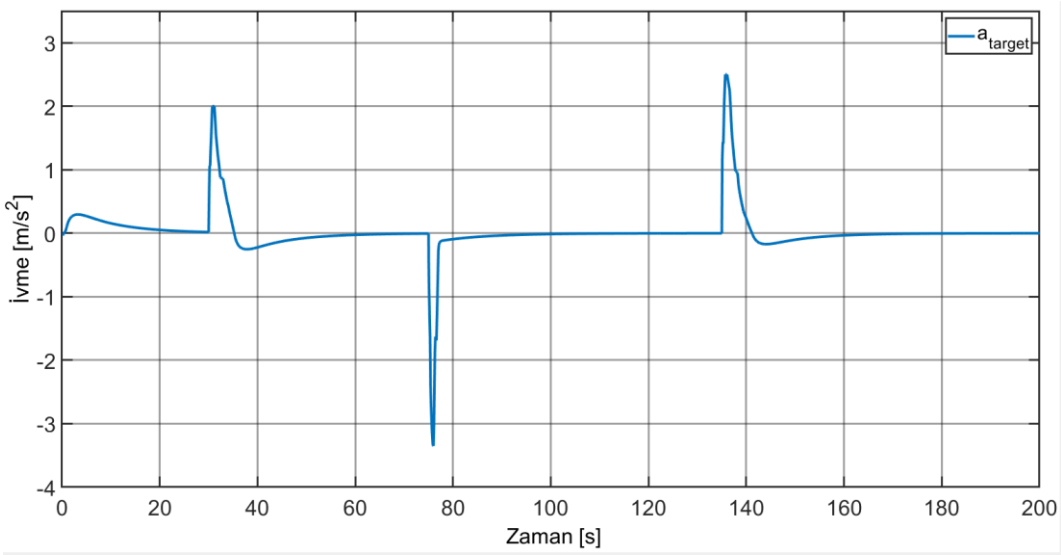
Bu senaryoda, sürücü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın hızının 70 km/h olduğu durumda, aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 70 km/h değerini girmiştir. Bu durumda aracın hızı 70 km/h olacak şekilde hareket etmiştir. Sürücü t_1 anında (t = 30. saniye) aracın hızının 90 km/h sabit hızda olacak şekilde seyir etmesini istemiş ve araç pozitif ivme ile hızını artırmış ve hızı 90 km/h olacak şekilde hareket etmiştir. Sürücü t_2 anında (t = 75. saniye) aracın hızının 50 km/h sabit hızda olacak şekilde seyir etmesini istemiş ve araç negatif ivme ile hızını düşürmüş ve hızı 50 km/h olacak şekilde hareket etmiştir. Sürücü t_3 anında (t = 135. saniye) aracın hızının 80 km/h sabit hızda olacak şekilde seyir etmesini istemiş ve araç pozitif ivme ile hızını artırmış ve hızı 80 km/h olacak şekilde hareket etmiştir.

Şekil 5.1'de, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Bu senaryodaki koşuldan dolayı UHK sistemi normal HK gibi çalıştığı için, aracın hızının sürekli olarak sürücü tarafından girilen hız değerinde tutturduğu, anlık değişimlerde belli bir gecikme ile istenen hıza ulaştığı şekilden görülmektedir.

Şekil 5.2'de aracın ivmesindeki değişim verilmiştir. Bu senaryoda sistem normal HK gibi çalıştığı için araca uygulanan hedef ivme değerini sadece hız denetleyici hedef ivmesinden almıştır.

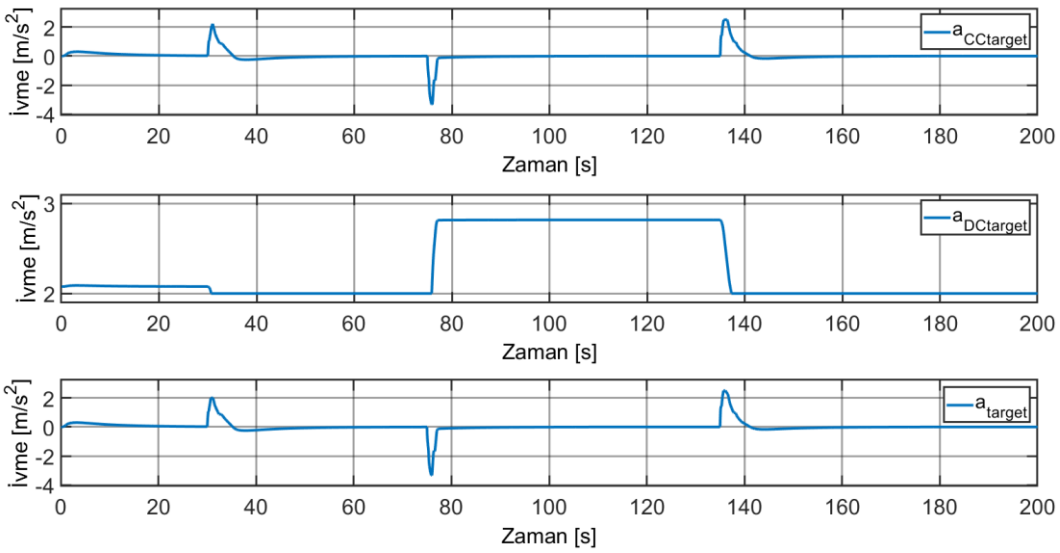


Şekil 5.1 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı



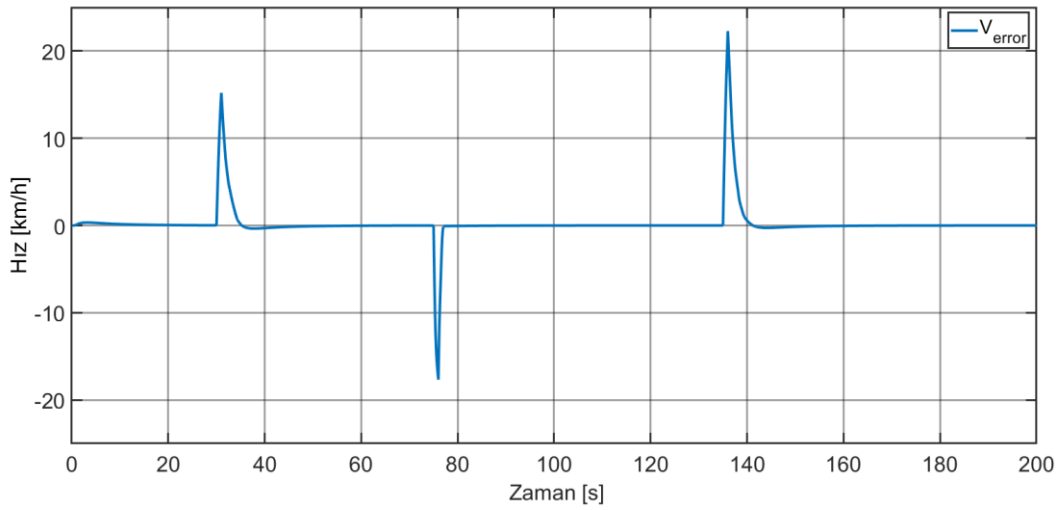
Şekil 5.2 Araca uygulanan hedef ivme

Şekil 5.3'te hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Bu senaryoda sistem normal HK gibi çalıştığı için araca uygulanan hedef ivme değerini sadece hız denetleyici hedef ivmesinden aldığı şekilde görülmektedir.



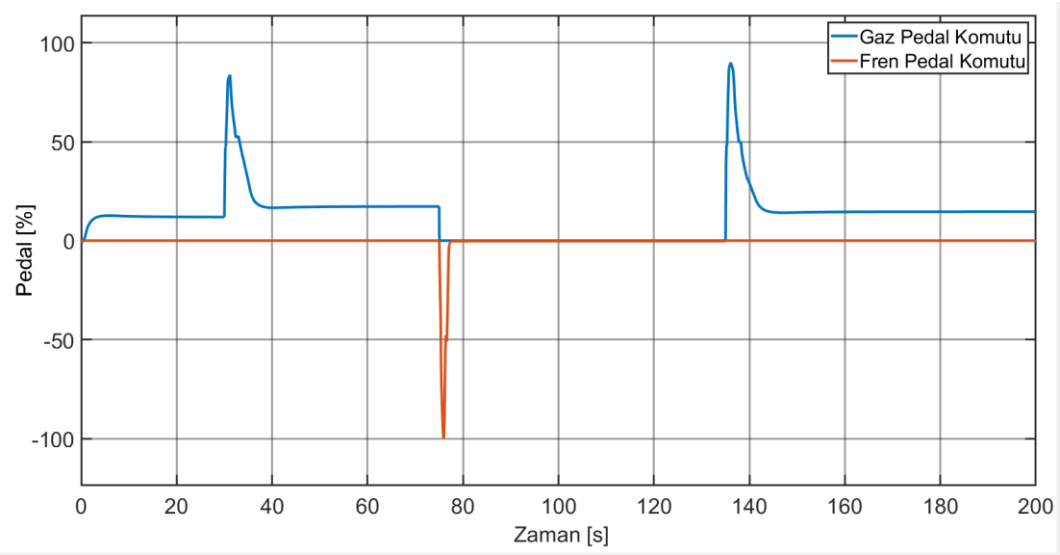
Şekil 5.3 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

Şekil 5.4'te bulanık hız denetleyicinin girişlerinden biri olan hız hatasının değişimi gösterilmiştir. Hız hatası değerinin, aracın hızı sürücü tarafından girilen hız değerine eşit olduğu durumlarda sıfırlandığı şekilden görülmektedir.



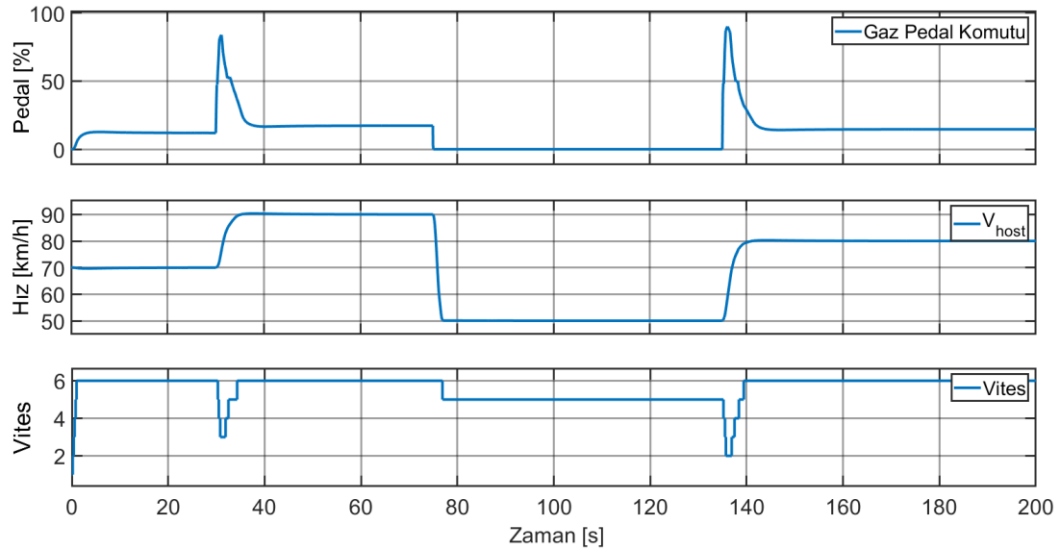
Şekil 5.4 Hız hatası

Şekil 5.5'te simülasyon süresi boyunca gaz ve fren pedal komutlarında meydana gelen değişim verilmiştir. Anlaşılması rahat olması adına fren pedal komutu şekilde negatif olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Gaz ve fren pedal komutları

Şekil 5.6'da simülasyon süresi boyunca gaz pedal komutu ve aracın hızına bağlı olarak şanzımanda yapılan vites seçimine ait değişimler gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Gaz pedal komutu ve aracın hızına göre şanzımanda yapılan vites değişimi

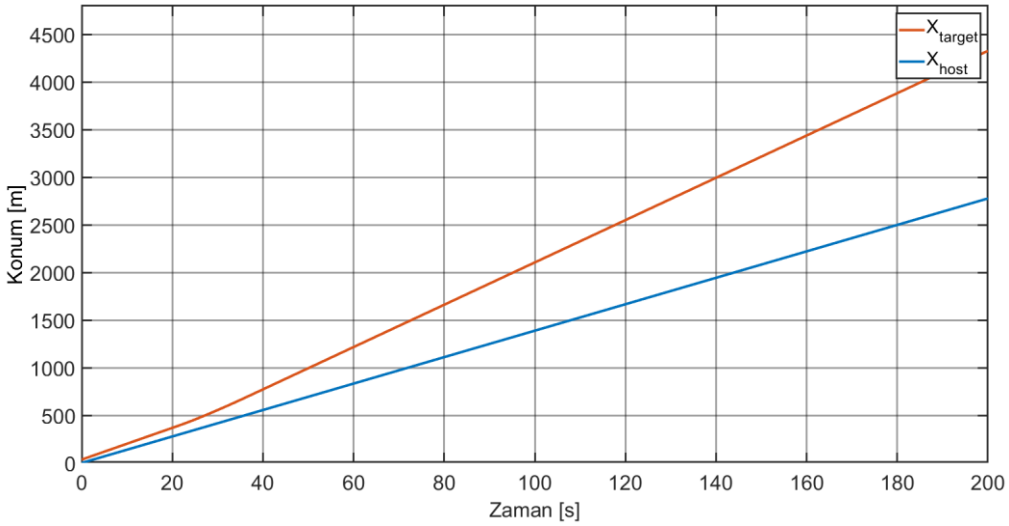
5.1.2. Senaryo 2

Bu senaryo UHK sistemine sahip araç sabit hızda seyir ederken, aracın mevcut hızına bağlı olarak hesaplanan güvenli takip mesafesi değerinden daha uzak mesafede olan bir aracın şerit değiştirerek aracın önündeki şeride geçmesinin radar algılayıcısı ile

algılanmasını temsil etmektedir. Öndeki araç algılandığı durumda, radar algılayıcısı ile ölçülen bağıl hız değerine bağlı olarak, öndeki aracın hızının UHK sistemine sahip aracın hızından daha yüksek hızda olduğu koşul temsil edilmiştir. Bu durumda araçta bulunan UHK sistemi normal HK gibi çalışmakta ve aracın hızını, sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinde tutmaya çalışmaktadır. Senaryo 2, senaryo 1 ile aynı gibi gözükse de, senaryo 2'de aracın önünde seyir eden bir aracın olduğu ancak araçlar arasında güvenli takip mesafesinden daha büyük bir mesafenin ölçülmesi durumundaki koşul yaratılmıştır. Böylece bu koşulda UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir değişiklik olmadan, herhangi bir şekilde mesafe denetleyicisine geçiş yapılmaksızın, UHK sisteminin hız denetleyici hedef ivme çıkışını kullanarak devam ettiği gösterilmiştir.

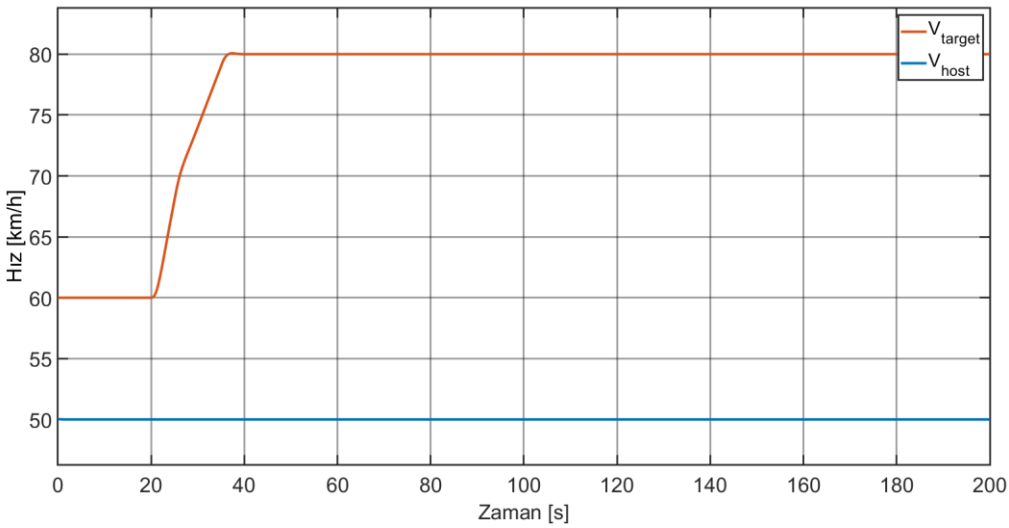
Bu senaryoda, sürücü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın hızının 50 km/h olduğu durumda, aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 50 km/h değerini girmiştir. UHK sisteminin bir fonksiyonu olan takip mesafesi aralığının sürücü tarafından normal seviyede olması istediği varsayılmıştır. Normal seviyede takip mesafesi aralığı için, UHK sisteminde zaman aralığı değeri 1,5 saniye olarak ayarlanmıştır. Senaryoda t_0 anında UHK sistemine sahip aracın önünde hızı 60 km/h olan bir araç algılanmıştır. Öndeki araç algılandığı t_0 anında araçlar arasında ölçülen mesafe 35 metredir. Denklem 4.6 verilmiş eşitliğe göre, UHK sistemine sahip aracın hızı, zaman aralığı ve araçlar arasında olması gereken minimum mesafe (5 metre) değerlerine bağlı olarak t_0 anında güvenli takip mesafesi yaklaşık 26 metre olarak hesaplanmıştır. Bu durumda t_0 anında ve sonrasında mesafe hatası değeri sıfırdan büyük olduğu için UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değeri için hız denetleyici hedef ivme değeri kullanılmıştır. Senaryoda t_1 anında (t = 20. saniye) öndeki araç hızını artırarak 80 km/h hızında seyrine devam etmiştir. Senaryoda t_2 anından (t = 38. saniye) sonra öndeki araç, radar algılayıcısının görüş alanı olan 200 metreden daha uzakta olduğu için ölçülen mesafe değeri sabit 200 metre olarak algılanmıştır.

Şekil 5.7'de simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



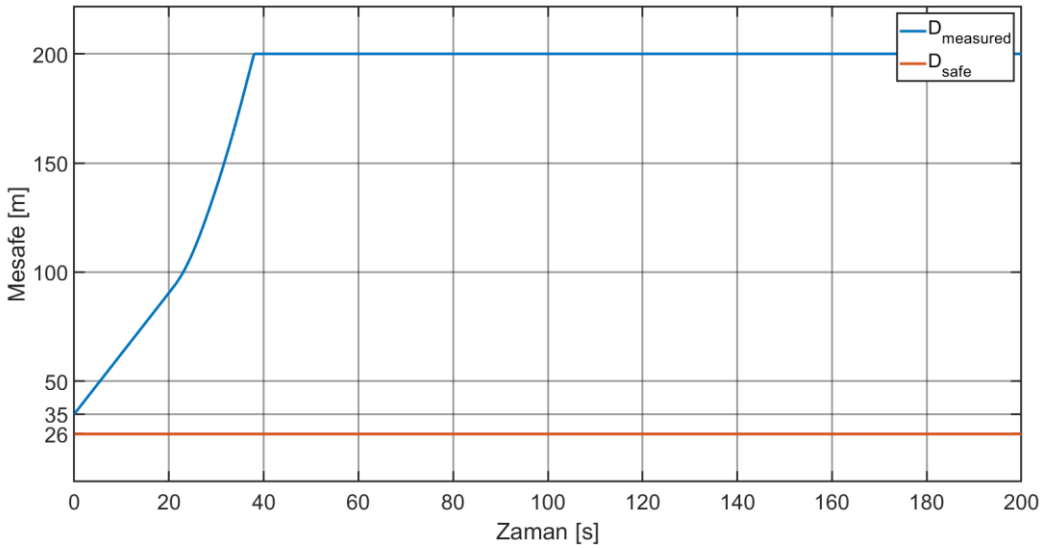
Şekil 5.7 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.8'de öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Simülasyon boyunca mesafe hatası değeri sıfırdan büyük olduğu için arkadaki araçta bulunan UHK sistemi normal HK gibi çalışmakta ve aracın hızını sabit 50 km/h'de tutmaktadır.



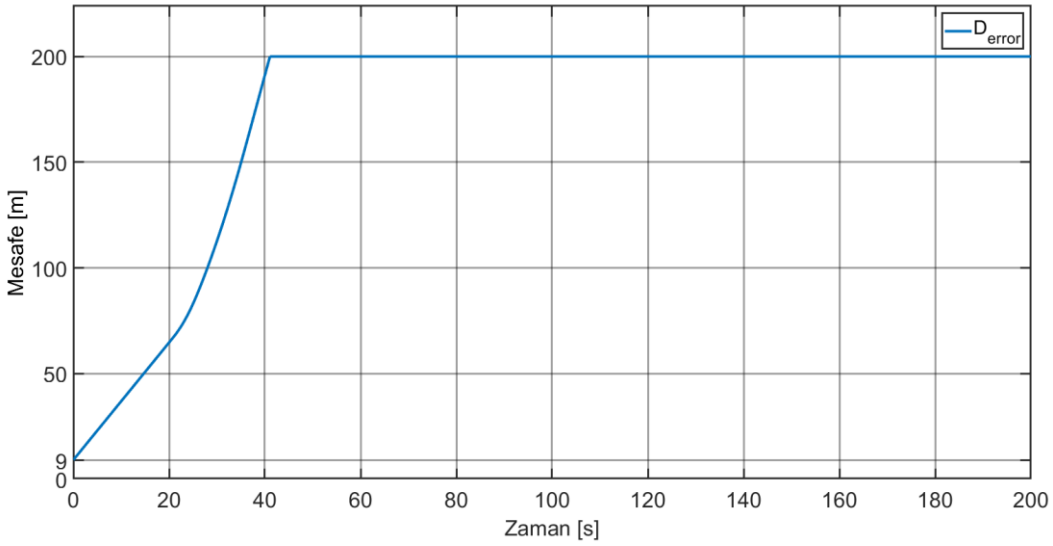
Şekil 5.8 Araçların hızları

Şekil 5.9'da UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. Aracın hızı 50 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 26 metre olup, t_0 anında önündeki araç ile arasındaki mesafe 35 metredir. Şekilde ölçülen mesafenin 200 metreyi geçmemesinin sebebi radarın maksimum ölçüm kabiliyetini gösterir.



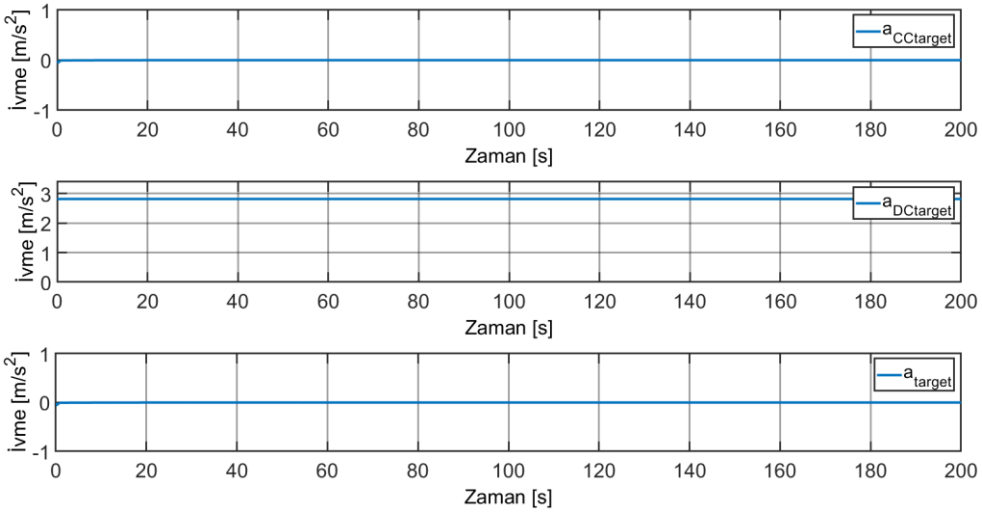
Şekil 5.9 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Şekil 5.10'da bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. Mesafe hatasının değeri simülasyon boyunca sıfırdan büyük olduğu için UHK sisteminin çıkışında mesafe denetleyici hedef ivme değeri kullanılmamıştır.



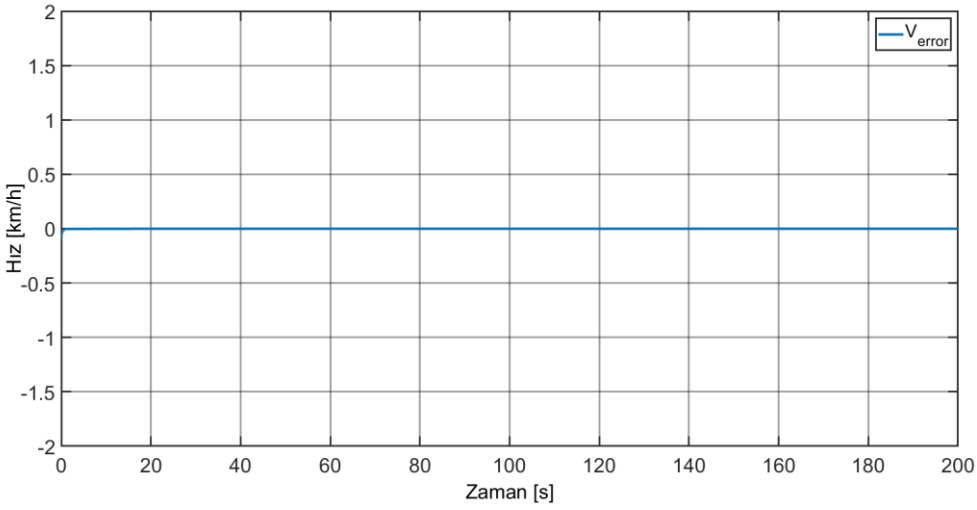
Şekil 5.10 Mesafe hatası

Şekil 5.11'de hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Bu senaryoda sistem normal HK gibi çalıştığı için araca uygulanan hedef ivme değerini sadece hız denetleyici hedef ivmesinden aldığı şekilde görülmektedir.



Şekil 5.11 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

Şekil 5.12'de bulanık hız denetleyicinin girişlerinden biri olan hız hatasının değişimi gösterilmiştir. Hız hatası değerinin sabit sıfır olduğu şekilden görülmektedir.



Şekil 5.12 Hız hatası

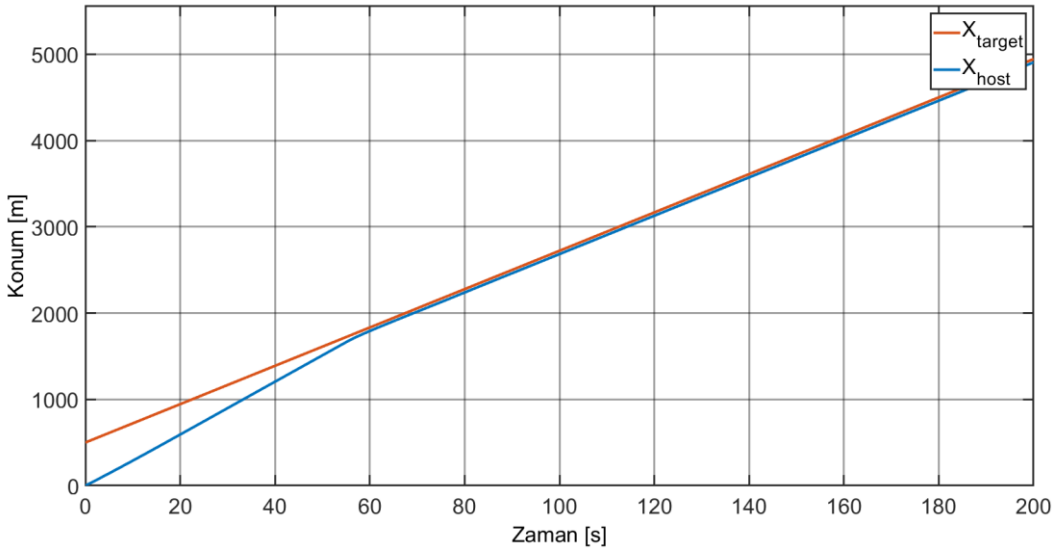
5.1.3. Senaryo 3

Bu senaryo UHK sistemine sahip araç sabit hızda seyir ederken, aracın önünde kendi hızından daha düşük hızda seyir eden bir aracın algılandığı koşulu temsil etmektedir. Bu senaryoda aracın önüne şerit değiştirerek başka bir aracın girdiği koşul gösterilmemiş olup, öndeki araç algılandığı durumda ölçülen mesafe için, algılayıcının maksimum ölçüm mesafe

değerinden itibaren olduğu koşul yaratılmıştır. Bu durumda araçta bulunan UHK sistemi senaryonun başında normal HK gibi çalışmakta ve aracın hızını sürücü tarafından girilen sabit hız değerinde tutmaya çalışmaktadır. Senaryonun ilerleyen kısımlarında, UHK sistemi bulunan aracın önünde, aracın hızından daha yavaş hızda seyir eden ancak araçlar arasındaki ölçülen mesafenin, güvenli takip mesafesinden daha büyük olduğu koşul gözlemlenmiştir. Bu koşulda UHK sisteminin beklenildiği üzere halen daha normal HK sistemi gibi çalıştığı görülmüştür. UHK sistemi bulunan aracın hızı öndeki aracın hızından büyük olduğu için öndeki araca sürekli olarak yaklaştığı ve ölçülen mesafenin giderek azalarak güvenli takip mesafesine yakınsadığı durumdan itibaren ise UHK sisteminin çıkış değerini artık mesafe denetleyicisinden aldığı ve UHK sistemi gibi çalıştığı görülmüştür. Senaryonun son kısmında ise UHK sistemine sahip arkadaki aracın UHK sistemi gibi çalıştığı, aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değeri yerine öndeki aracın hızına eşitlediği ve öndeki aracı güvenli takip mesafesini koruyarak takip ettiği gösterilmiştir.

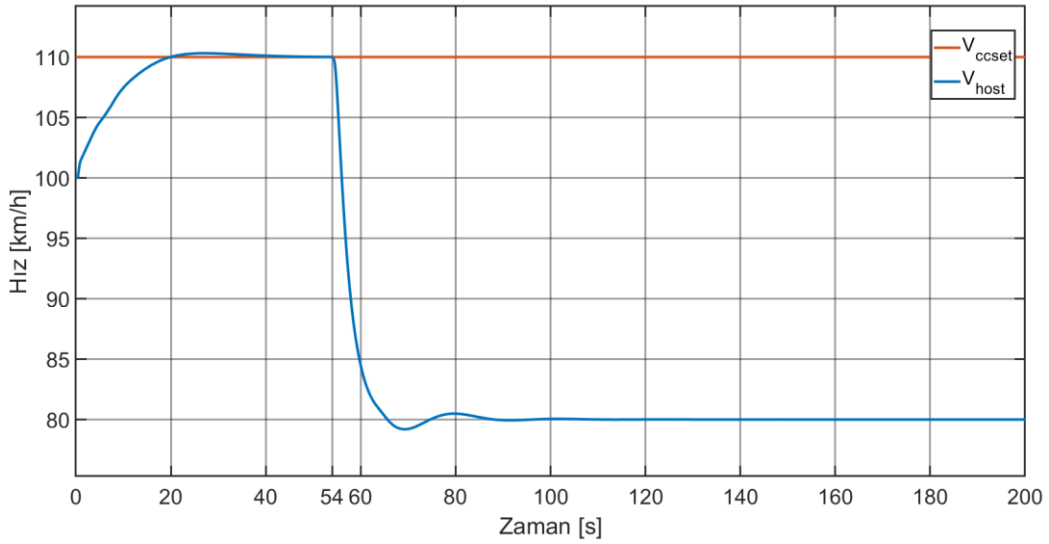
Bu senaryoda, sürücü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın hızının 100 km/h olduğu durumda, aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 110 km/h değerini girmiştir. UHK sisteminin bir fonksiyonu olan takip mesafesi aralığının sürücü tarafından normal seviyede olması istediği varsayılmıştır. Normal seviyede takip mesafesi aralığı için, UHK sisteminde zaman aralığı değeri 1,5 saniye olarak ayarlanmıştır. Senaryoda t_1 anına (t = 38. saniye) kadar UHK sistemine sahip aracın önünde başka bir araç algılanmadığı için sistem çıkış değerini hız denetleyici hedef ivme değerinden alarak aracın hızının 100 km/h'den 110 km/h'ye çıkmasını ve sonrasında aracın 110 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır. Senaryoda t_1 anında, UHK sistemi bulunan aracın 200 metre önünde, 80 km/h sabit hızda seyir eden bir araç algılanmıştır. Senaryoda t_1 anından t_2 anına (t = 54. saniye) kadar aracın hızı 110 km/h olacak şekilde UHK sistemi normal HK gibi çalışmış ve araçlar arasındaki mesafe giderek azalmıştır. Aracın hızı 110 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 51 metredir. Senaryoda t_2 anından itibaren UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden alarak UHK sistemi gibi çalışmıştır. Senaryoda t_2 anında araçlar arasında ölçülen mesafe yaklaşık 67 metre olduğu durumda UHK sistemi araca negatif ivme uygulayarak aracın hızının 80 km/h'ye düşmesini sağlamış ve öndeki araç ile arasındaki mesafenin, güvenli takip mesafesine eşit olmasını sağlayarak öndeki aracı takip etmiştir. Aracın hızının 80 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 38 metredir.

Şekil 5.13'te simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



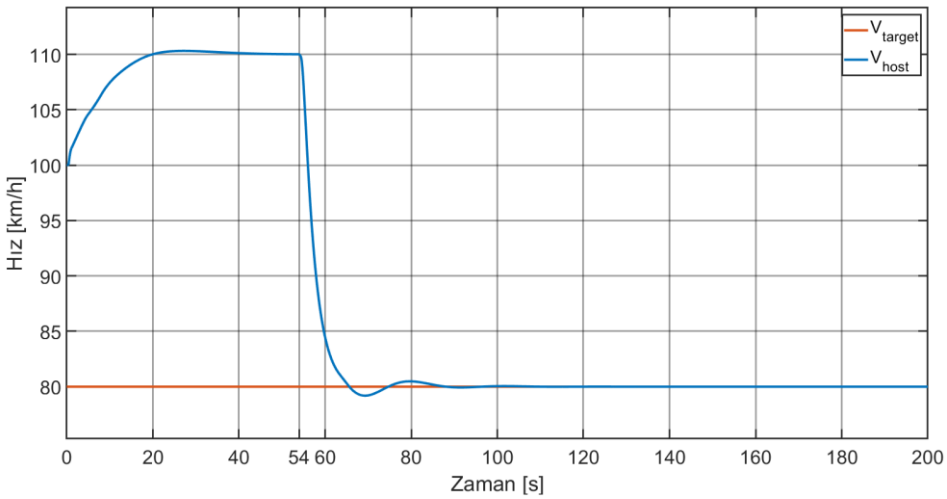
Şekil 5.13 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.14'te, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Senaryodaki koşullardan dolayı UHK sistemi t_2 anına kadar araca uygulanan hedef ivme değerini hız denetleyici hedef ivmesinden aldığı için aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutmayı başarmıştır.



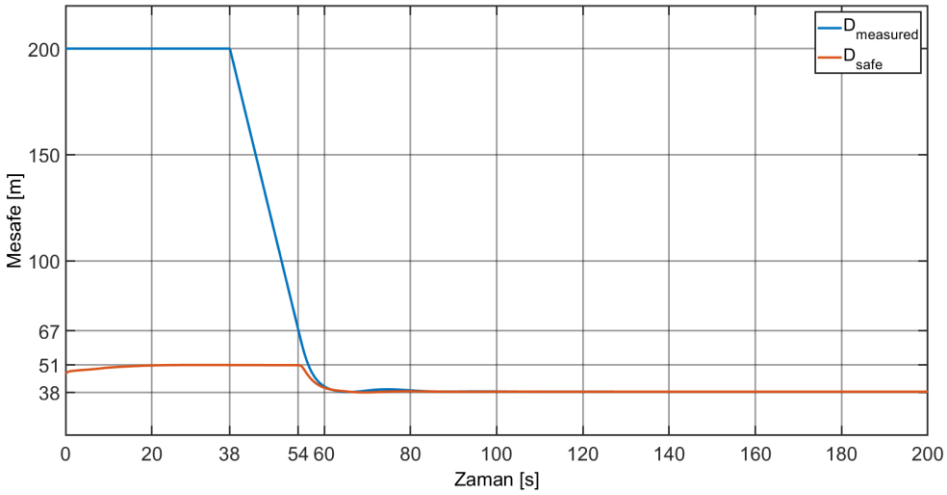
Şekil 5.14 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı

Şekil 5.15'te öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Senaryodaki koşullardan dolayı UHK sistemi t_2 anından sonra araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden alarak aracın hızının düşürülmesini sağlamış ve aracın hızını önündeki aracın hızına eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



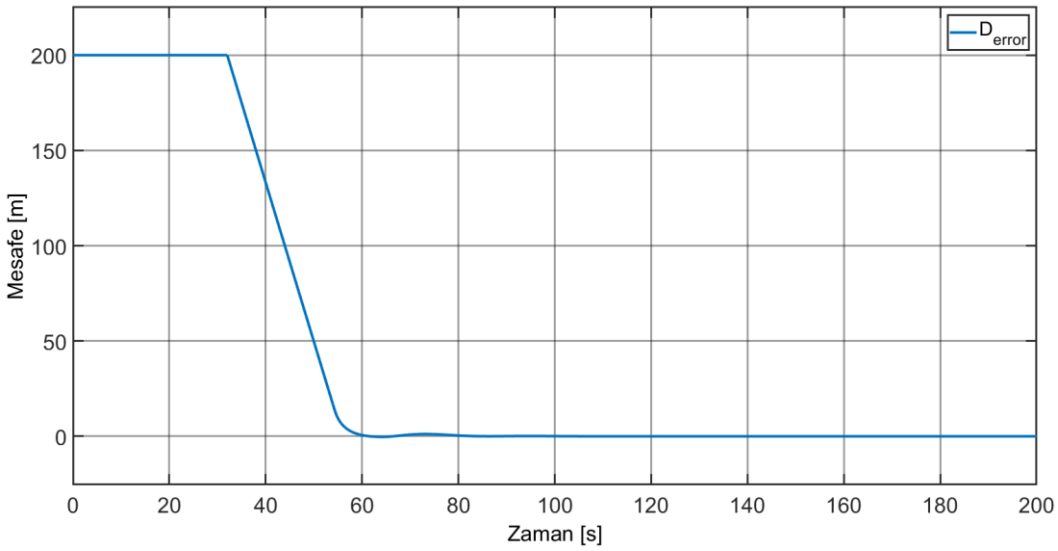
Şekil 5.15 Araçların hızları

Şekil 5.16'da UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği koşulda UHK sistemi, araçlar arasındaki ölçülen mesafe değerini güvenli takip mesafesine eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



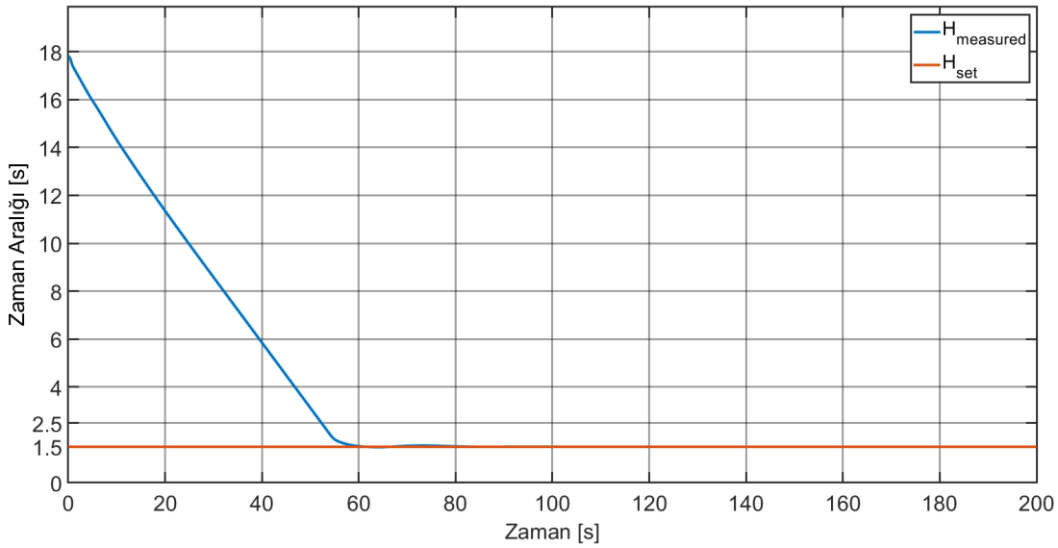
Şekil 5.16 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Şekil 5.17'de bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği koşulda mesafe hatasının değerinin sıfırlandığı şekilden görülmektedir.



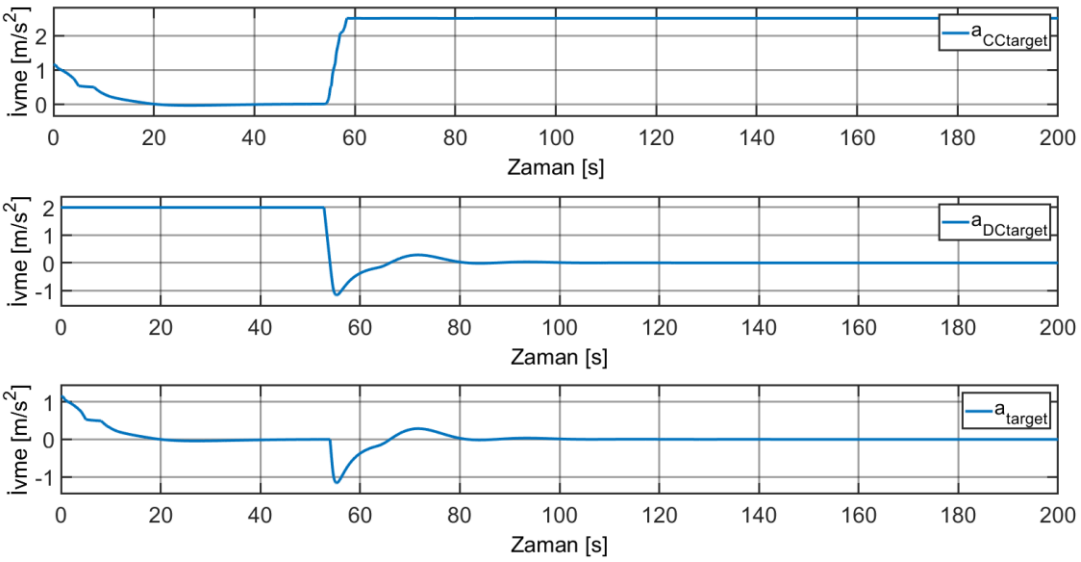
Şekil 5.17 Mesafe hatası

Şekil 5.18'de ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri gösterilmiştir. Ölçülen zaman aralığı değeri araçlar arasındaki mesafe ve aracın hızına bağlı olarak hesaplanmıştır. UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği koşulda istenen zaman aralığı değerini tutturmayı başarmıştır.



Şekil 5.18 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

Şekil 5.19'da hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Bu senaryoda UHK sistemi t_2 anına kadar normal HK gibi çalıştığı için araca uygulanan hedef ivme değerini hız denetleyici hedef ivmesinden aldığı, t_2 anından itibaren UHK sistemi gibi çalışarak araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden aldığı şekilde görülmektedir.



Şekil 5.19 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

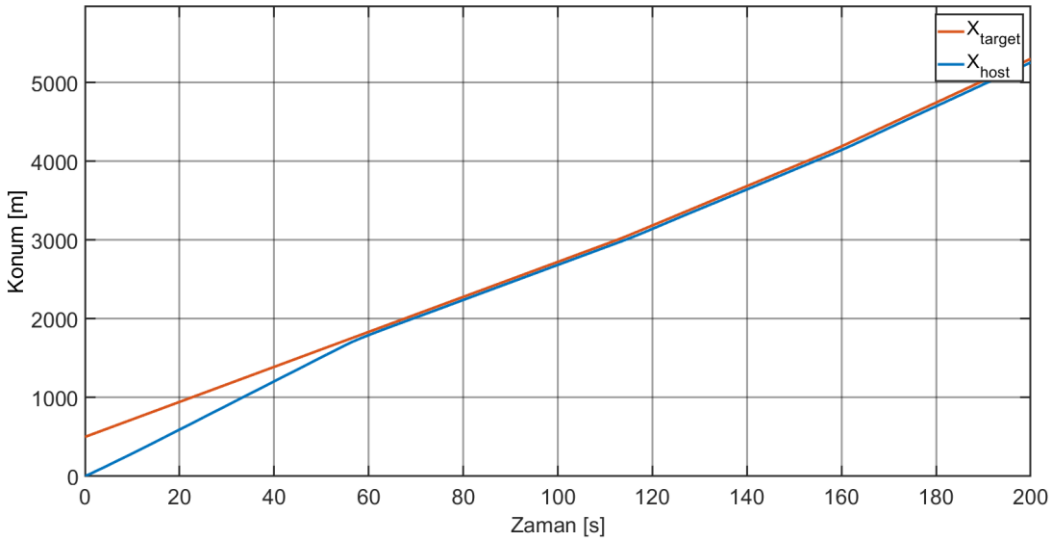
5.1.4. Senaryo 4

Bu senaryo, senaryo 3'ün devamında yaşanabilecek bir koşulu temsil etmek için oluşturulmuştur. Bundan dolayı senaryo 4, senaryo 3'ün bazı koşullarını ve ilk 110 saniyelik kısmını içermektedir. Bu senaryoda UHK sistemine sahip bir aracın önündeki aracı güvenli takip mesafesini koruyarak takip ettiği durumda, önündeki aracın hızlanması koşullarında UHK sistemine sahip aracın da hızını artırarak öndeki aracı mevcut hızına göre güvenli mesafede takip etmeye devam ettiği gözlemlenmiştir. Bu senaryoda UHK sistemine sahip araç, önündeki aracı takip ettiği ve önündeki araca göre hızını artırdığı koşullarda, sürücü tarafından girilen hız değerini hiçbir şekilde aşmadığı görülmüştür. Böylece bu senaryoda UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir kararsızlık durumu yaşanmadan, herhangi bir şekilde hız denetleyicisine geçiş yapılmaksızın, UHK sisteminin mesafe denetleyici hedef ivme çıkışını kullanarak devam ettiği gösterilmiştir.

Bu senaryo t_1 anına (t = 110. saniye) kadar senaryo 3 ile birebir aynıdır. Bu senaryoda UHK sistemine sahip aracın sürücüsü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 110 km/h değerini girmiştir. Ayrıca sürücünün t_0 anında UHK sistemine girdi oluşturan güvenli takip mesafe aralığı için normal seviyeyi seçtiği ve buna istinaden UHK sisteminde zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu varsayılmıştır.

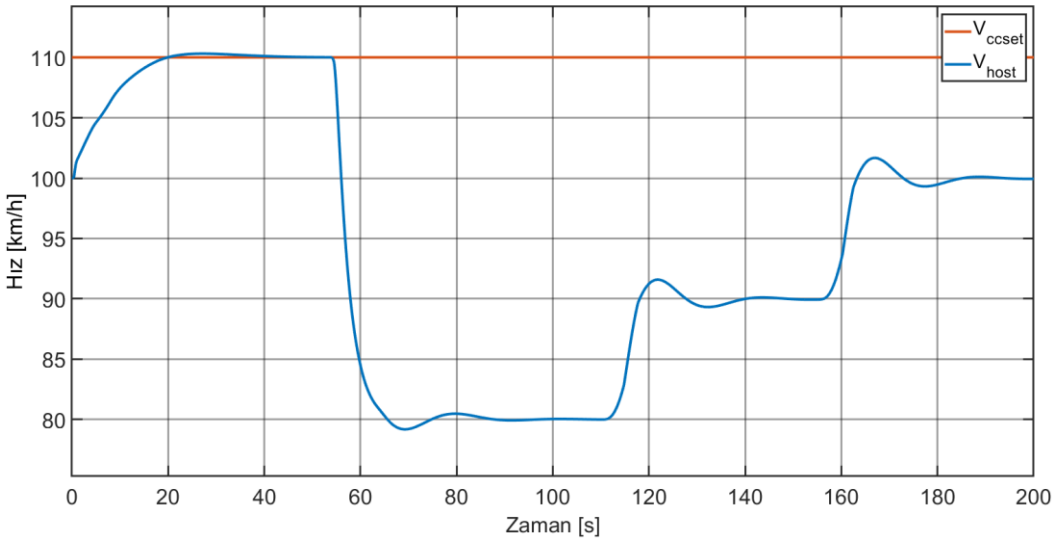
Senaryoda UHK sistemine sahip araç, önünde 80 km/h sabit hızda seyir etmekte olan aracı t_1 anına kadar güvenli takip mesafesini koruyarak takip etmiştir. Senaryoda t_1 anında öndeki araç belirli bir ivme ile hızını 80 km/h'den, 90 km/h'ye artırmıştır. Bu koşulda öndeki aracın hızı UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından girilen hız değerinden düşük olmaya devam ettiği için, UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almaya devam ettirmiştir. Bu durumda UHK sistemi araca pozitif ivme uygulayarak aracın hızını 80 km/h'den 90 km/h'ye artırmış ve aracın 90 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır. UHK sistemine sahip araç bu hız artışı sırasında ve sonrasında öndeki araç ile arasındaki mesafenin, güvenli takip mesafesine eşit olmasını sağlamış ve öndeki aracı takip etmeye devam etmiştir. Aracın hızının 90 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi 42,5 metredir. Senaryoda t_2 anında (t = 155. saniye) öndeki araç belirli bir ivme ile hızını 90 km/h'den, 100 km/h'ye artırmıştır. Bu koşulda öndeki aracın hızı UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından girilen hız değerinden düşük olmaya devam ettiği için, UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almaya devam ettirmiştir. Bu durumda UHK sistemi araca pozitif ivme uygulayarak aracın hızını 90 km/h'den 100 km/h'ye artırmış ve aracın 100 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır. UHK sistemine sahip araç bu hız artışı sırasında ve sonrasında öndeki araç ile arasındaki mesafenin, güvenli takip mesafesine eşit olmasını sağlamış ve öndeki aracı takip etmeye devam etmiştir. Aracın hızının 100 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 47 metredir.

Şekil 5.20'de simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



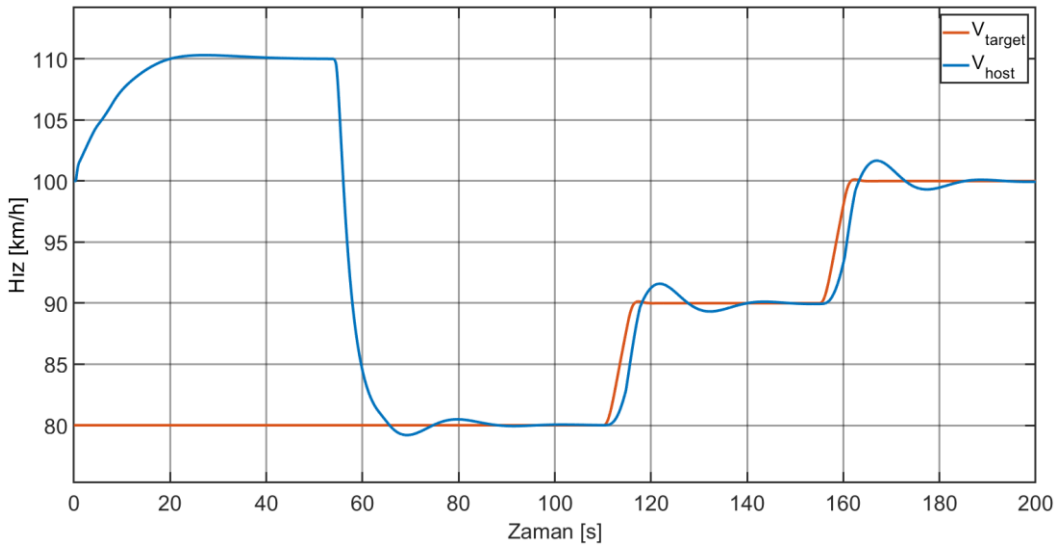
Şekil 5.20 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.21'de, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Senaryo 4, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryoda t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden almaya devam etmiş ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutmaya çalışmamıştır.



Şekil 5.21 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı

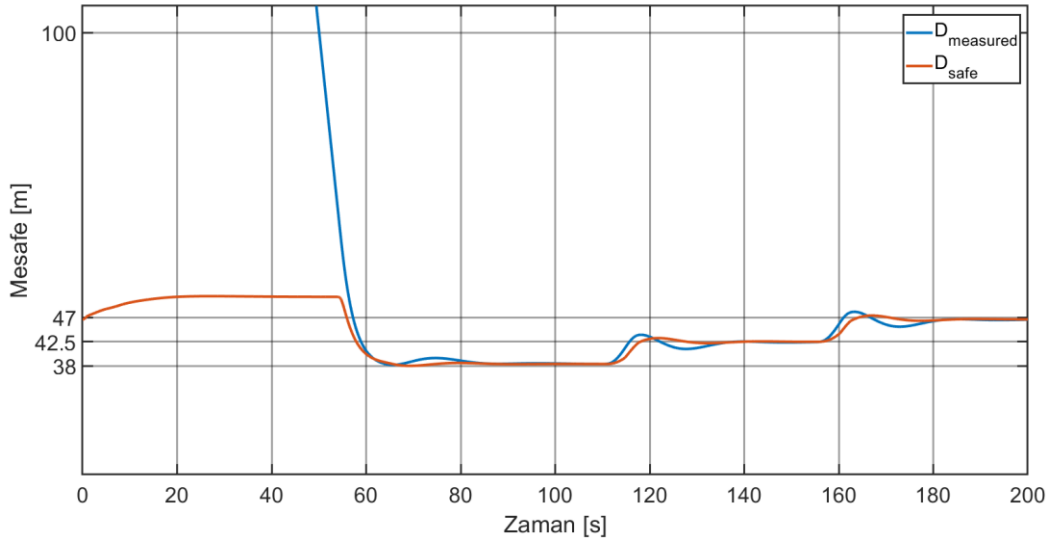
Şekil 5.22'de öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden almaya devam etmiş ve aracın hızını önündeki aracın hızına eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



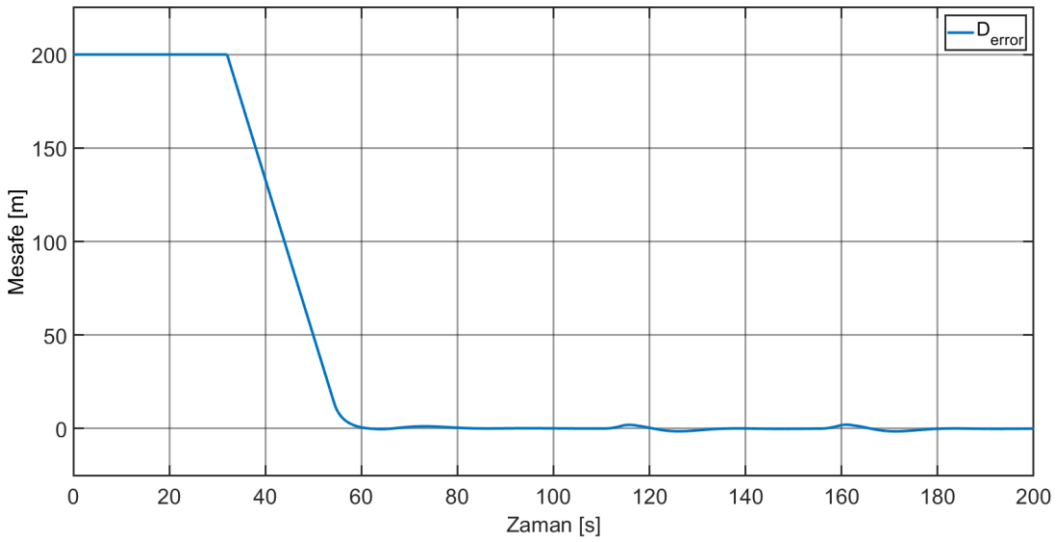
Şekil 5.22 Araçların hızları

Şekil 5.23'te UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği koşulda UHK sistemi, araçlar arasındaki ölçülen mesafe değerini güvenli takip mesafesine eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.

Şekil 5.24'te bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip aracın önündeki aracı takip ettiği için mesafe hatasının değerinin sıfır ve sıfıra çok yakın olduğu şekilden görülmektedir.

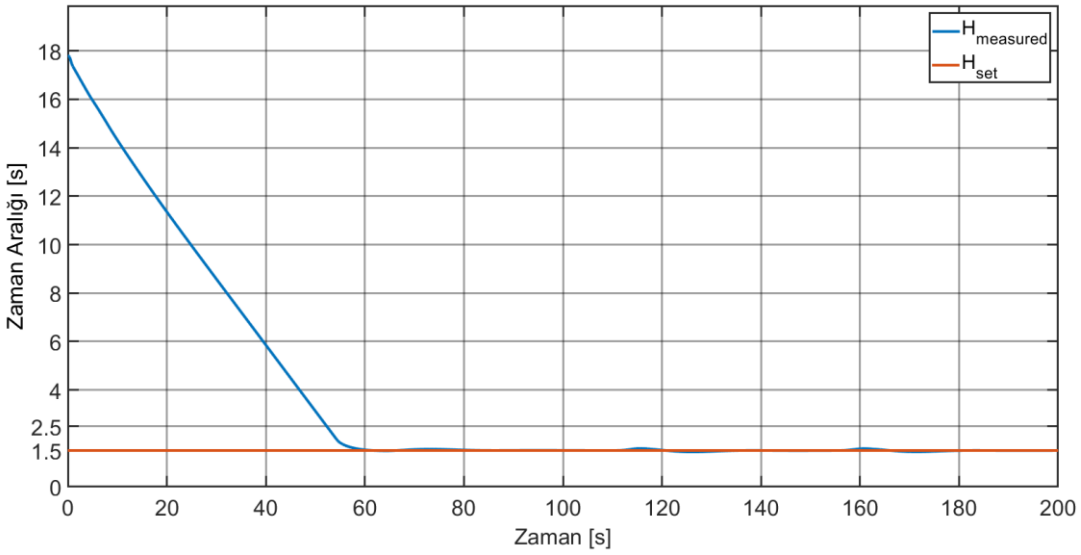


Şekil 5.23 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe



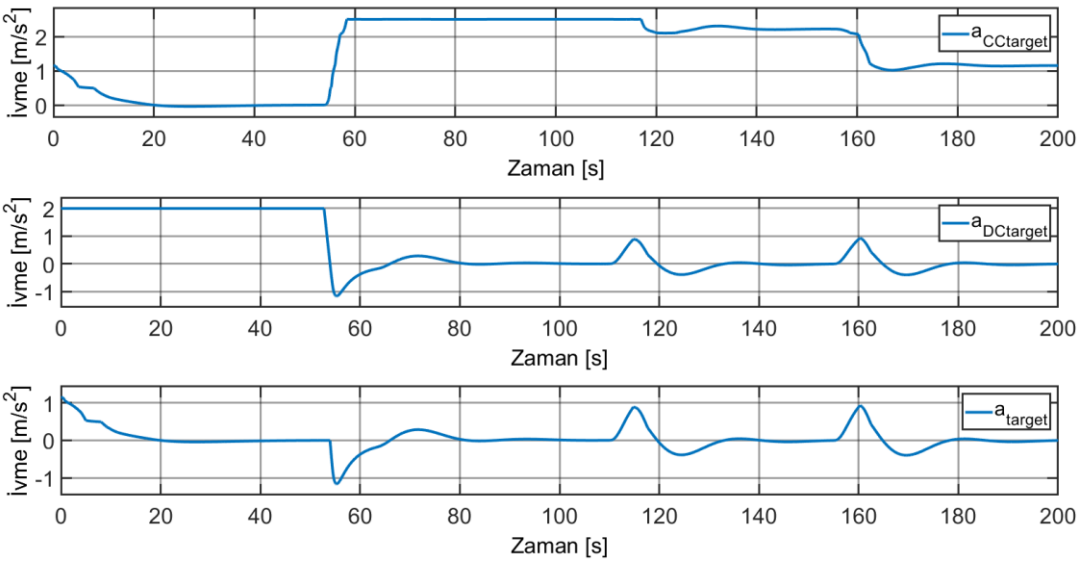
Şekil 5.24 Mesafe hatası

Şekil 5.25'te ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği için istenen zaman aralığı değerini tutturmayı başarmıştır.



Şekil 5.25 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

Şekil 5.26'da hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Senaryo 4, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryodan t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, t_1 anından sonra UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden almaya devam etmiştir.



Şekil 5.26 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

5.1.5. Senaryo 5

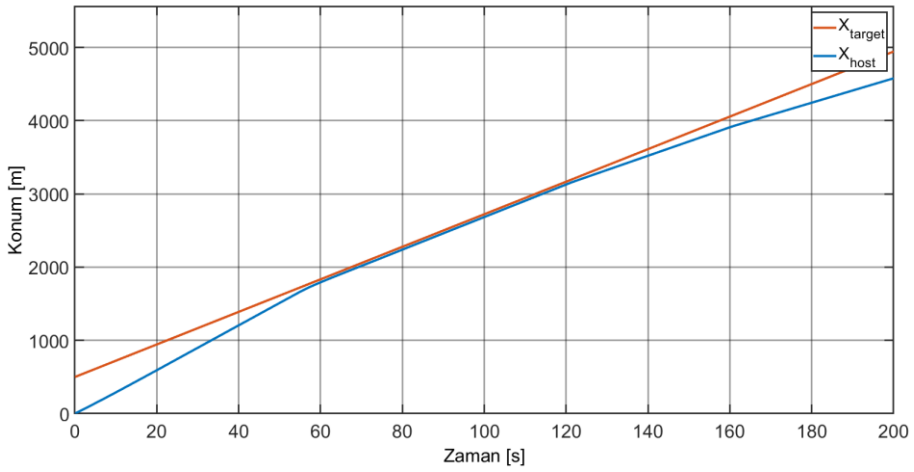
Bu senaryo, senaryo 3'ün devamında yaşanabilecek bir koşulu temsil etmek için oluşturulmuştur. Bundan dolayı senaryo 5, senaryo 3'ün bazı koşullarını ve ilk 120 saniyelik kısmını içermektedir. Bu senaryoda UHK sistemine sahip bir aracın önündeki aracı güvenli takip mesafesini koruyarak takip ettiği durumda, UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından girilen hız değerinin değiştirilerek, önünde seyir etmekte olan aracın hızından daha düşük bir hız değerinin girildiği koşul temsil edilmiştir. Böylece bu senaryoda UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir kararsızlık durumu yaşanmadığı, UHK sisteminin çıkış değeri için mesafe denetleyici hedef ivme çıkışı yerine hız denetleyici hedef ivme çıkışını kullanmaya geçtiği görülmüştür. Bu durum sonucunda UHK sisteminin normal HK gibi çalıştığı ve aracın hızını, sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinde tutmaya çalıştığı gözlemlenmiştir. Senaryonun ilerleyen kısmında ise senaryo 2'dekine benzer bir durumun oluştuğu, UHK sistemine sahip aracın önünde seyir eden bir aracın olduğu ancak araçlar arasında güvenli takip mesafesinden daha büyük bir mesafenin ölçülmesi durumundaki koşul gerçekleşmiştir. Böylece bu koşulda UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir değişiklik olmadan, herhangi bir şekilde mesafe denetleyicisine geçiş yapılmaksızın, UHK sisteminin hız denetleyici hedef ivme çıkışını kullanarak devam ettiği görülmüştür.

Bu senaryo t_1 anına (t = 120. saniye) kadar senaryo 3 ile birebir aynıdır. Bu senaryoda UHK sistemine sahip aracın sürücüsü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 110 km/h değerini girmiştir. Ayrıca sürücünün t_0 anında UHK sistemine girdi oluşturan güvenli takip mesafe aralığı için normal seviyeyi seçtiği ve buna istinaden UHK sisteminde zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu varsayılmıştır.

Senaryoda UHK sistemine sahip araç, önünde 80 km/h sabit hızda seyir etmekte olan aracı t_1 anına kadar güvenli takip mesafesini koruyarak takip etmiştir. Senaryoda t_1 anında UHK sistemine sahip arkadaki aracın sürücüsü sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerini 110 km/h'den 70 km/h'ye düşürmüştür. Bu koşulda sürücü tarafından girilen, aracın sabit hızda seyir etmesini istediği, hız değeri (70 km/h) UHK sistemine sahip arkadaki aracın hızından (80 km/h) küçük olduğu için, UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış ve hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya

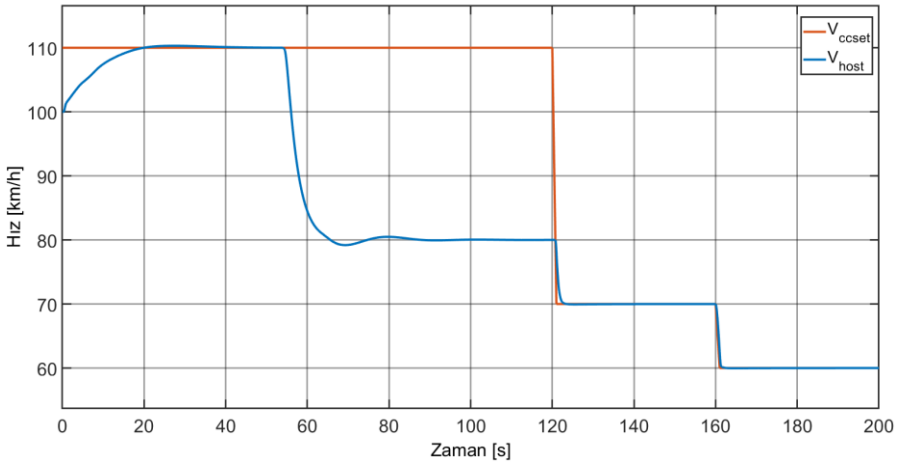
geçmiştir. Bu durumda UHK sistemi araca negatif ivme uygulayarak aracın hızını 80 km/h'den 70 km/h'ye düşürmüş ve aracın 70 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır. Aracın hızının 70 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 34 metredir. Senaryoda t_2 anında (t = 160. saniye) UHK sistemine sahip arkadaki aracın sürücüsü sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerini 70 km/h'den 60 km/h'ye düşürmüştür. Bu koşulda öndeki aracın hızı UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından girilen hız değerinden büyük olmaya devam ettiği ve t_2 anında araçlar arasında ölçülen mesafe değerinin güvenli takip mesafesi değerinden daha büyük olduğu için UHK sistemi çıkış değerini hız denetleyici hedef ivme değerinden almaya devam ettirmiştir. Bu durumda UHK sistemi araca negatif ivme uygulayarak aracın hızını 70 km/h'den 60 km/h'ye düşürmüş ve aracın 60 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır.

Şekil 5.27'de simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



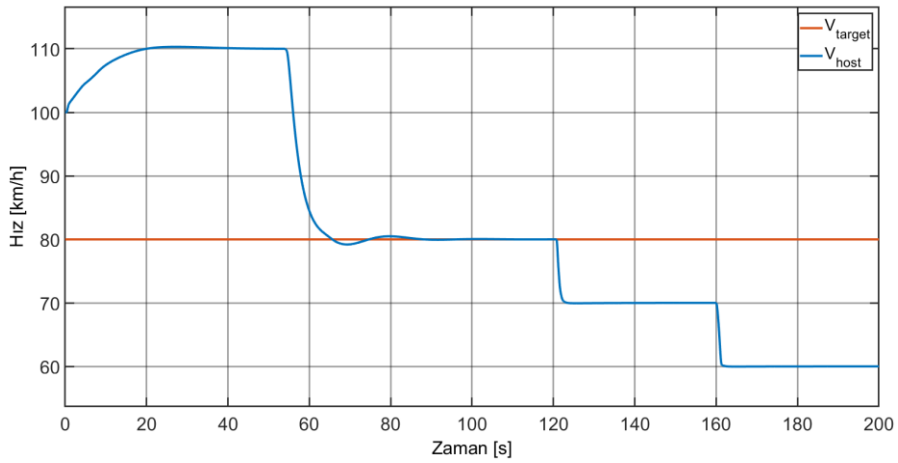
Şekil 5.27 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.28'de, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Senaryo 5, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryoda t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamış ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutabilmiştir.



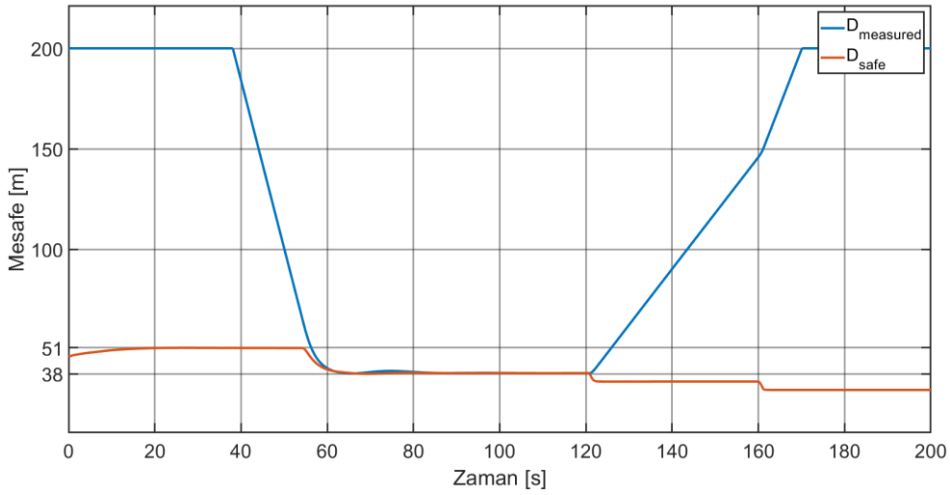
Şekil 5.28 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı

Şekil 5.29'da öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini hız denetleyici hedef ivmesinden almaya başlamış ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerine eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



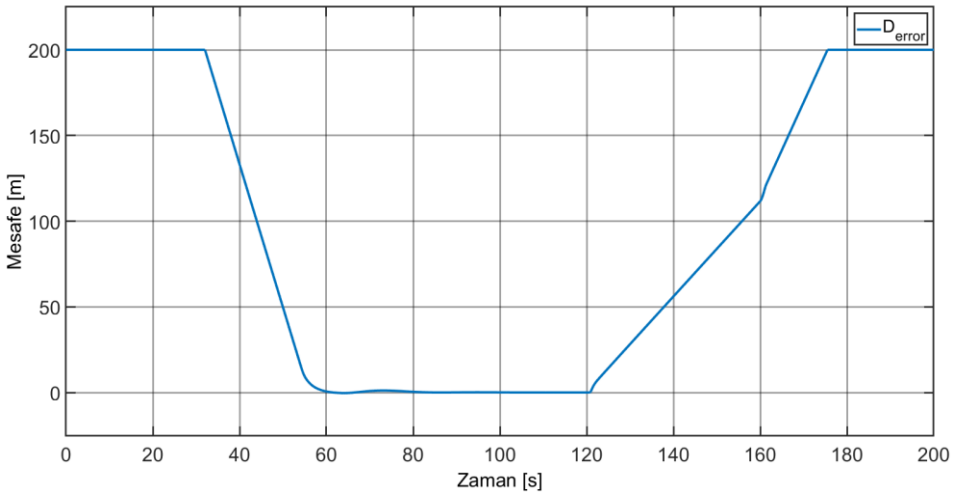
Şekil 5.29 Araçların hızları

Şekil 5.30'da UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip etmeyi bırakmıştır. Aracın hızı 70 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 34 metre, aracın hızı 60 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi 30 metredir.



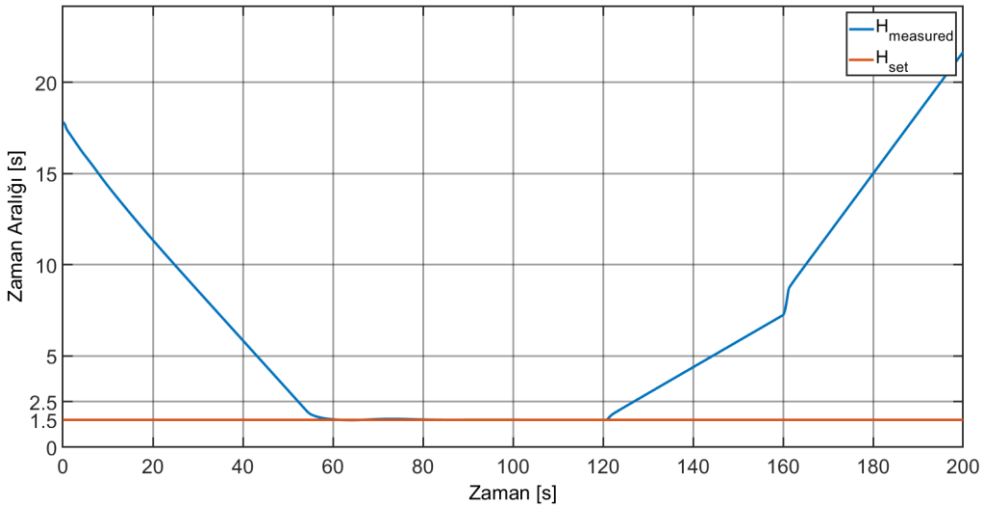
Şekil 5.30 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Şekil 5.31'de bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip etmeyi bıraktığı için mesafe hatasının değeri giderek artmıştır.



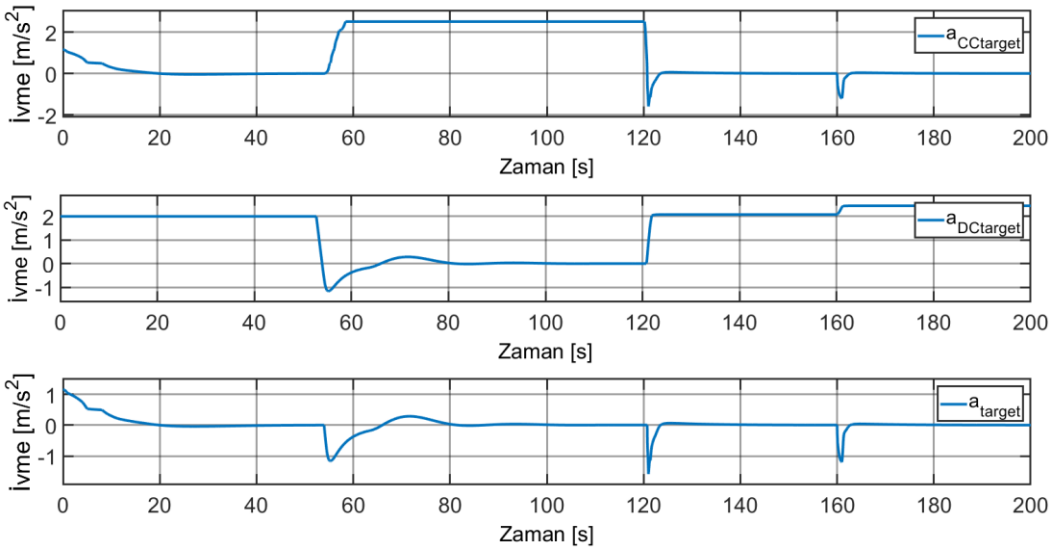
Şekil 5.31 Mesafe hatası

Şekil 5.32'de ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip etmeyi bıraktığı ölçülen zaman aralığı değeri giderek artmıştır.



Şekil 5.32 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

Şekil 5.33'te hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Senaryo 5, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryodan t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamıştır.



Şekil 5.33 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

5.1.6. Senaryo 6

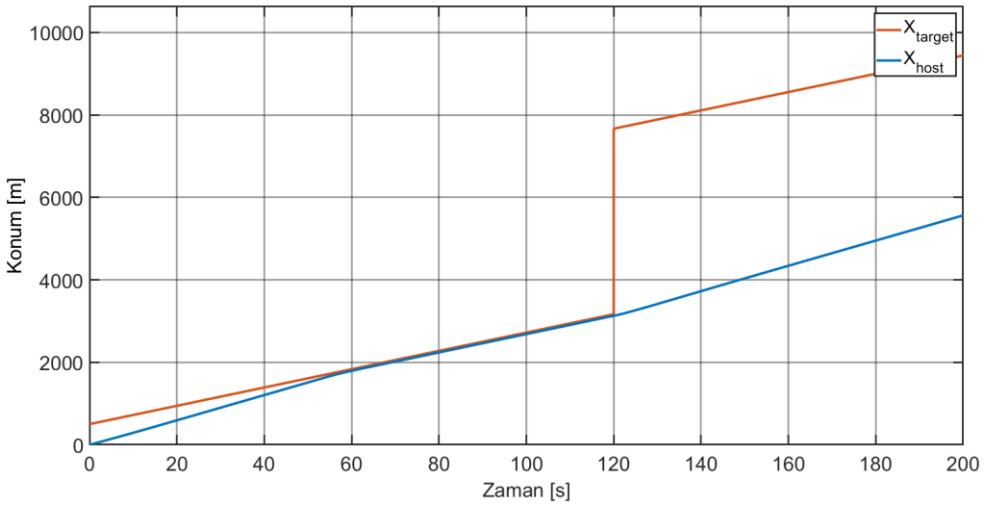
Bu senaryo, senaryo 3'ün devamında yaşanabilecek bir koşulu temsil etmek için oluşturulmuştur. Bundan dolayı senaryo 6, senaryo 3'ün bazı koşullarını ve ilk 120 saniyelik kısmını içermektedir. Bu senaryoda UHK sistemine sahip bir aracın önündeki aracı güvenli takip mesafesini koruyarak takip ettiği durumda, önünde seyir etmekte olan aracın şerit değiştirdiği koşul temsil edilmiştir. Bu koşulda Senaryo 1'deki gibi bir duruma geçiş yapıldığı düşünülebilir. Böylece bu senaryoda UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir kararsızlık durumu yaşanmadığı, UHK sisteminin çıkış değeri için mesafe denetleyici hedef ivme çıkışı yerine hız denetleyici hedef ivme çıkışını kullanmaya geçtiği görülmüştür. Bu durum sonucunda UHK sisteminin normal HK gibi çalıştığı ve aracın hızını, sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinde tutmaya çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu senaryo t_1 anına (t = 120. saniye) kadar senaryo 3 ile birebir aynıdır. Bu senaryoda UHK sistemine sahip aracın sürücüsü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 110 km/h değerini girmiştir. Ayrıca sürücünün t_0 anında UHK sistemine girdi oluşturan güvenli takip mesafe aralığı için normal seviyeyi seçtiği ve buna istinaden UHK sisteminde zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu varsayılmıştır.

Senaryoda UHK sistemine sahip araç, önünde 80 km/h sabit hızda seyir etmekte olan aracı t_1 anına kadar güvenli takip mesafesini koruyarak takip etmiştir. Senaryoda t_1 anında UHK sistemine sahip aracın önündeki araç şerit değiştirmiştir. Bu koşulda UHK sistemine sahip aracın önünde bir araç algılanmadığı durumda, radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değeri görebileceği maksimum değere ulaşmış ve aracın mevcut hızına bağlı olarak hesaplanan güvenli takip mesafesi değerinden büyük duruma geçmiştir. Bu durumda UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış ve hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya geçmiştir. Bu durumda UHK sistemi araca pozitif ivme uygulayarak aracın hızını 80 km/h'den 110 km/h'ye çıkarmış ve aracın 110 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır.

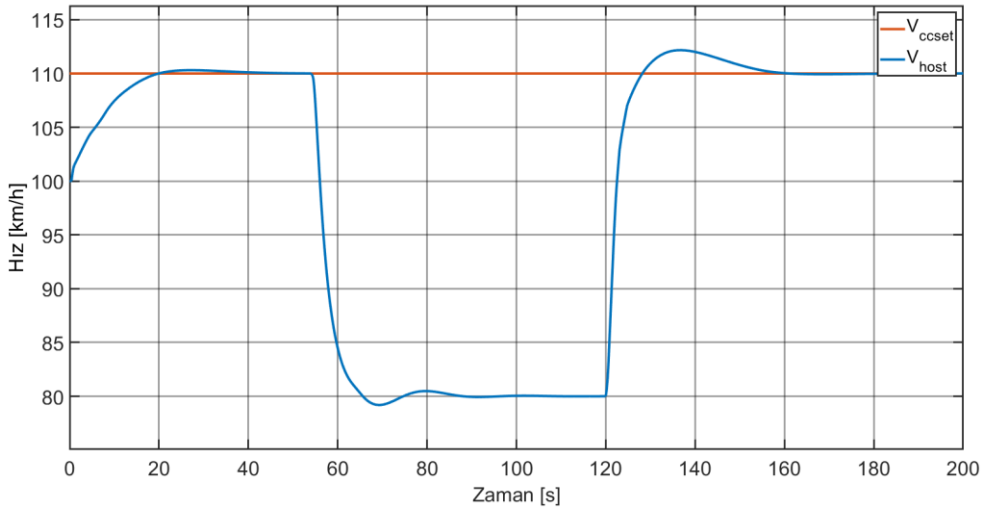
Şekil 5.34'te simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir. Simülasyonda şerit

değiştirme koşulunun yaratılabilmesi amacıyla t_1 anında öndeki araç mevcut konumundan 5000 metre ileri bir konuma ötelenmiştir.



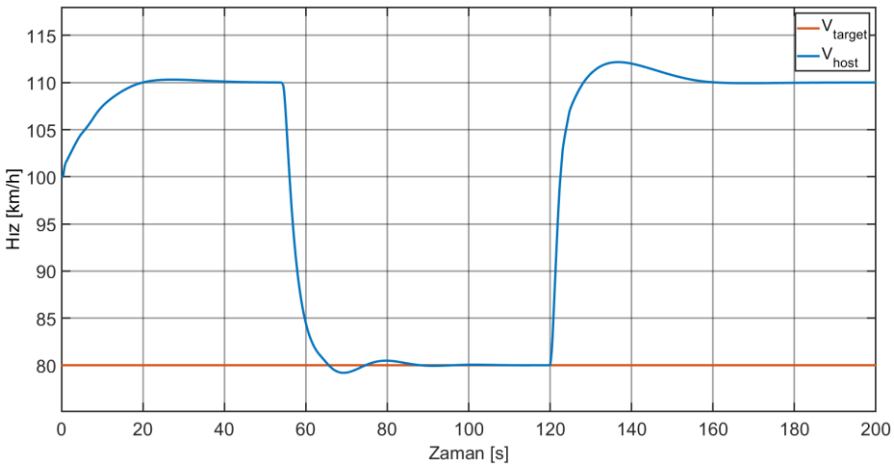
Şekil 5.34 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.35'te, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Senaryo 6, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryoda t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamış ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutabilmiştir.



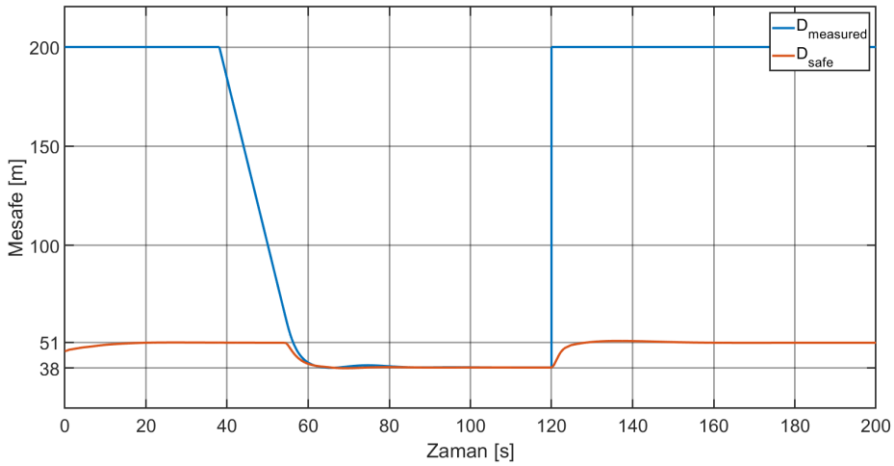
Şekil 5.35 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı

Şekil 5.36'da öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini hız denetleyici hedef ivmesinden almaya başlamış ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerine eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



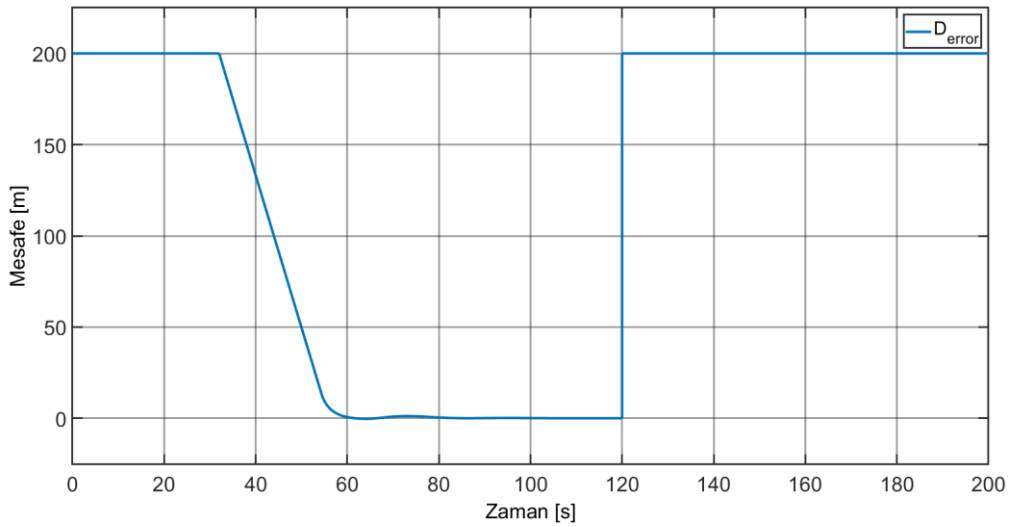
Şekil 5.36 Araçların hızları

Şekil 5.37'de UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, öndeki araç şerit değiştirdiği için, UHK sistemine sahip aracın önünde takip edebileceği bir araç kalmamıştır. Aracın hızı 110 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 51 metre, aracın hızı 80 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 38 metredir.



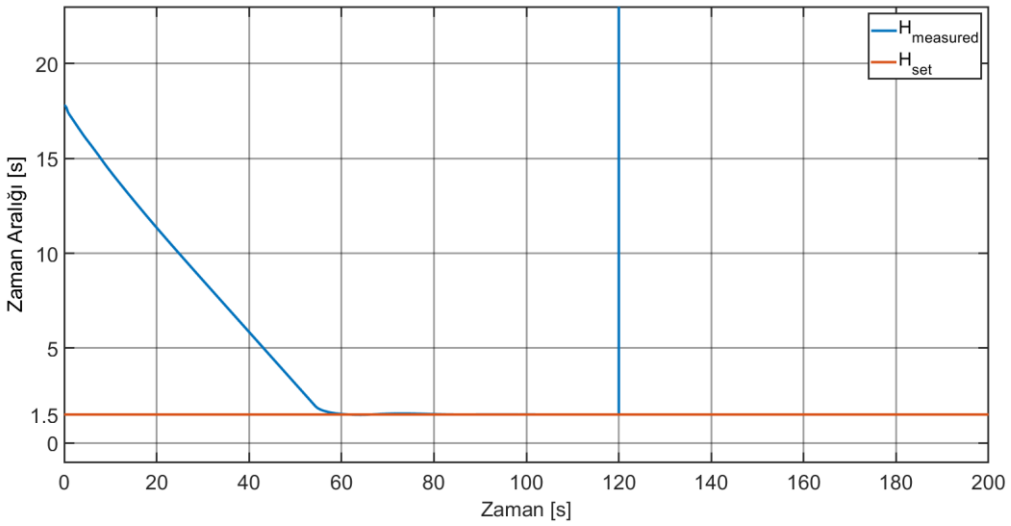
Şekil 5.37 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Şekil 5.38'de bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip aracın önündeki araç şerit değiştirdiği için mesafe hatasının değeri ani artış yaparak maksimum değerini almıştır.



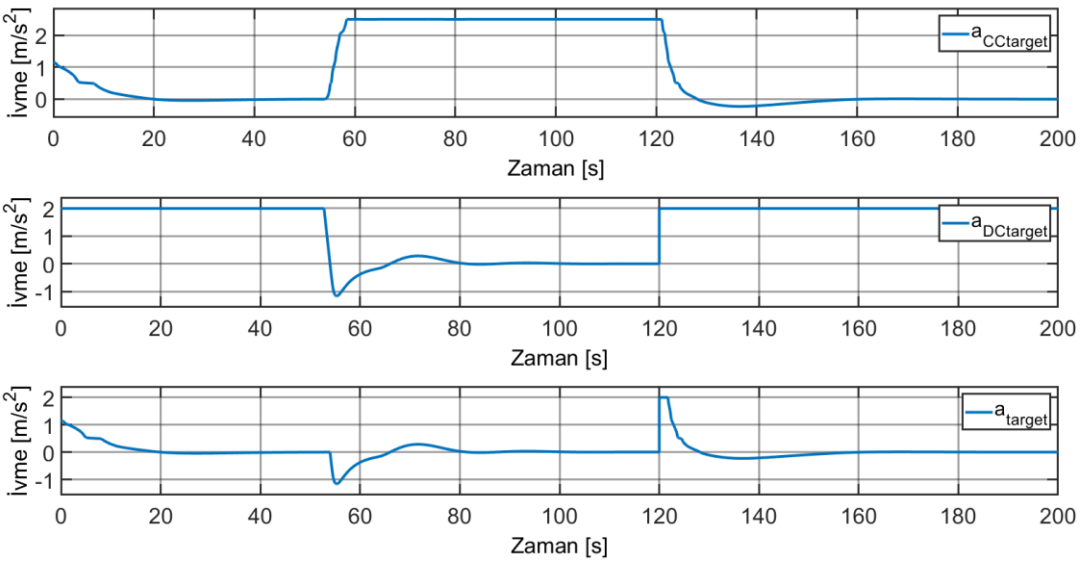
Şekil 5.38 Mesafe hatası

Şekil 5.39'da ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemine sahip aracın önündeki araç şerit değiştirdiği için ölçülen zaman aralığı değeri ani artış yapmıştır.



Şekil 5.39 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

Şekil 5.40'ta hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Senaryo 6, senaryo 3'ün devamı niteliğinde olduğu için bu senaryodan t_1 anından sonraki kısmın değerlendirilmesi yeterlidir. Senaryoda t_1 anından sonra gerçekleşen koşullardan dolayı, UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamıştır.



Şekil 5.40 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

5.1.7. Senaryo 7

Bu senaryoyu diğer senaryolardan ayıran en önemli fark, senaryoda yer alan araçların durması ve tekrardan hızlanması koşullarıdır. Ayrıca bu senaryoda diğer senaryolardan farklı olarak, öndeki aracın hızı sabit olmayıp sürekli olarak değişmiş ve böylece şehir içindeki dur-kalk trafiğinde yaşanabilecek benzer bir durum yaratılmıştır. Böylece bu senaryo ile tasarlanan UHK sisteminin düşük hızlarda ve dur-kalk trafiği koşullarında çalışabildiği gösterilmiştir.

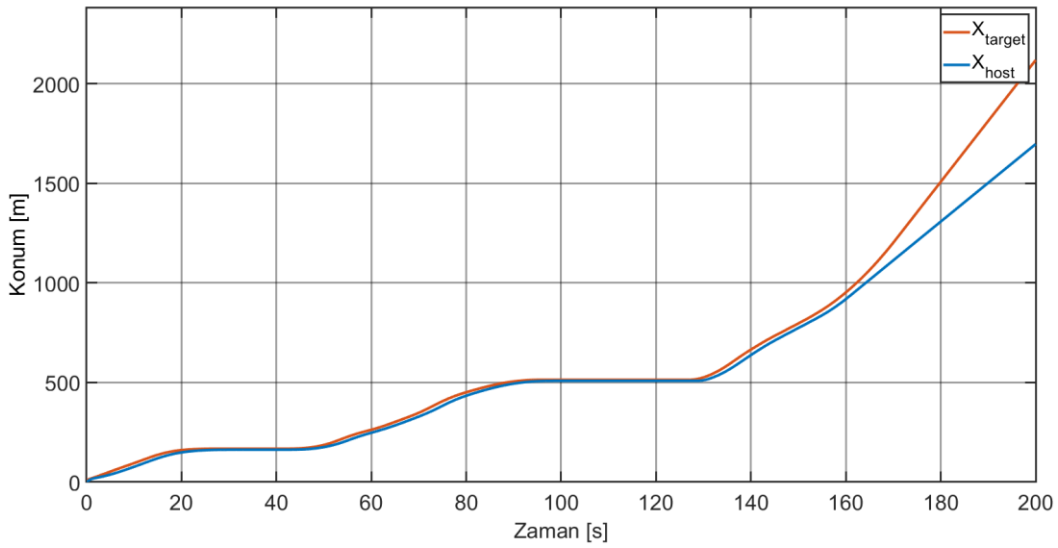
Bu senaryo, UHK sistemine sahip araç sabit hızda seyir ederken, aracın mevcut hızına bağlı olarak hesaplanan güvenli takip mesafesi değerinden daha yakın mesafede ve aracın kendi hızından daha düşük hızda olan bir aracın, şerit değiştirerek aracın önündeki şeride geçmesinin radar algılayıcısı ile algılanması ile başlamaktadır. Bu durumda UHK

sistemi bulunan aracın önünde, aracın hızından daha yavaş hızda seyir eden ve araçlar arasındaki ölçülen mesafenin, güvenli takip mesafesinden daha küçük olduğu koşul gözlemlenmiştir. Bu koşulda UHK sistemi mesafe denetleyici hedef ivme çıkışını kullanmış ve aracın hızının sert sayılabilecek bir frenleme ile düşürülmesi sağlanmıştır. Bu koşuldan sonra UHK sistemine sahip araç sürekli olarak hızını öndeki aracın hızına eşitlemeye çalışmış, öndeki aracı güvenli takip mesafesini koruyarak takip etmiş, önündeki aracın hareketlerine bağlı olarak durup sonrasında tekrardan hızlanmıştır. Senaryonun sonlarına doğru öndeki araç hızını UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından girilen hız değerinin üzerine çıkarmıştır. Bu koşulda da UHK sisteminin çıkışı olan araca uygulanan hedef ivme değerinde bir kararsızlık durumu yaşanmadığı, UHK sisteminin çıkış değeri için mesafe denetleyici hedef ivme çıkışı yerine hız denetleyici hedef ivme çıkışını kullanmaya geçtiği görülmüştür. Bu durum sonucunda UHK sisteminin normal HK gibi çalıştığı ve aracın hızını, sürücü tarafından girilen aracın sabit hızda seyir etmesini istediği hız değerinde tutmaya çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu senaryoda, sürücü t_0 anında (t = 0. saniye) aracın hızının 70 km/h olduğu durumda, aracın sabit hızda seyir etmesini istemiş ve bunun için 70 km/h değerini girmiştir. UHK sisteminin bir fonksiyonu olan takip mesafesi aralığının sürücü tarafından normal seviyede olması istediği varsayılmıştır. Normal seviyede takip mesafesi aralığı için, UHK sisteminde zaman aralığı değeri 1,5 saniye olarak ayarlanmıştır. Senaryoda t_0 anında, UHK sistemi bulunan aracın önüne başka bir araç şerit değiştirerek giriş yapmıştır. Senaryoda t_0 anında öndeki aracın yaptığı bu şerit değişikliği ile UHK sistemi bulunan aracın, öndeki araç ile arasındaki mesafeyi 10 metre, öndeki aracın hızını da 30 km/h olarak ölçtüğü koşul yaratılmıştır. Aracın hızı 70 km/h olduğu koşulda güvenli takip mesafesi yaklaşık 34 metredir. Senaryoda t_0 anından itibaren UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden alarak UHK gibi çalışmıştır. Senaryoda t_0 anında araçlar arasında ölçülen mesafe 10 metre olduğu için UHK sistemi araca negatif ivme uygulayarak aracın hızının düşmesini sağlamış ve öndeki araç ile arasındaki mesafenin, güvenli takip mesafesine eşit olmasını sağlayarak öndeki aracı takip etmiştir. Senaryoda t_1 (t = 30. saniye) ve t_2 (t = 40. saniye) anları arasında öndeki araç durmuş ve buna istinaden UHK sistemine sahip araç da yavaşlayarak durmuştur. Senaryoda t_2 anından sonra öndeki araç hızlanmış ve UHK sistemine sahip araç da hızlanarak öndeki aracı takip etmiştir. Senaryoda t_3 (t = 100. saniye) ve t_4 (t = 125. saniye) anları arasında öndeki araç tekrardan durmuş ve buna istinaden UHK

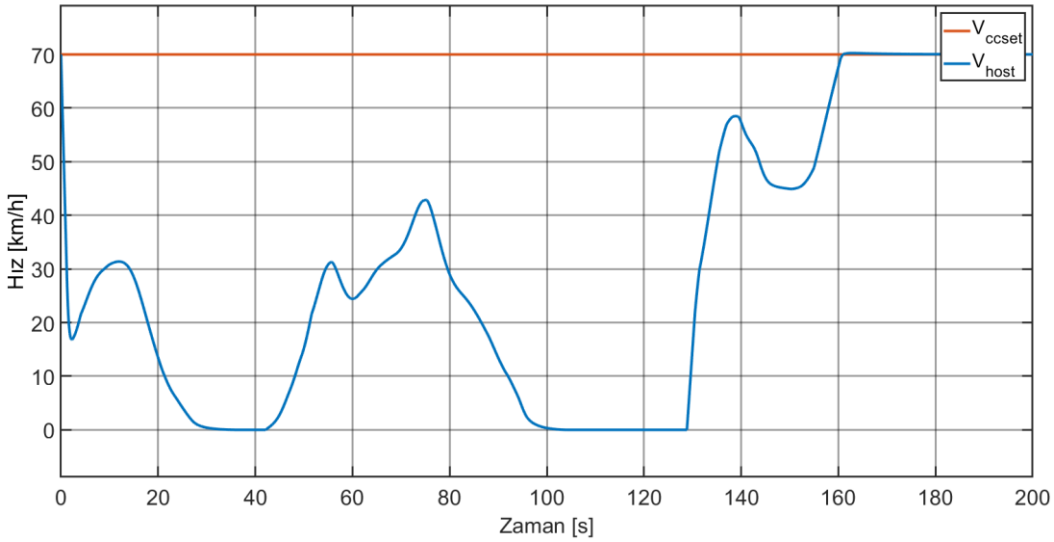
sistemine sahip araç da yavaşlayarak durmuştur. Senaryoda t_4 anından sonra öndeki araç hızlanmış ve UHK sistemine sahip araç da hızlanarak öndeki aracı takip etmiştir. Senaryoda öndeki araç takip edilirken, t_5 anında (t = 160. saniye) öndeki araç hızını, UHK sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından t0 anında girilen hız değerinin (70 km/h) üzerine çıkarmış ve hızlanmaya devam etmiştir. Bu durumda UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış ve hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya geçmiştir. Böylece UHK sistemi t_5 anından sonra öndeki aracı takip etmeyi bırakmış ve aracın 70 km/h sabit hızda hareket etmesini sağlamıştır.

Şekil 5.41'de simülasyon süresi boyunca öndeki ve arkadaki aracın boylamsal düzlemdeki konumlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir. Simülasyonda t_1 ile t_2 anları arasında ve t_3 ile t_4 anları arasında araçlar durduğu için bu bölgelerde konumlarında değişiklik olmamıştır.



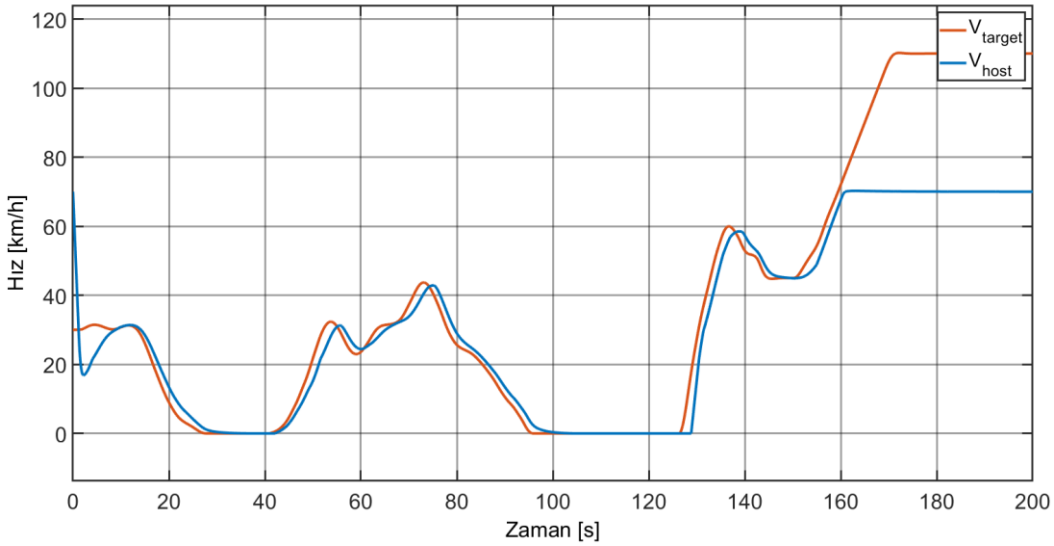
Şekil 5.41 Araçların boylamsal düzlemdeki konumları

Şekil 5.42'de, sürücü tarafından girilen hız değeri ve UHK sistemine sahip aracın hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Senaryoda gerçekleşen koşullardan dolayı t_5 anından sonra UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamış ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutabilmiştir.



Şekil 5.42 Sürücü tarafından girilen hız ve aracın hızı

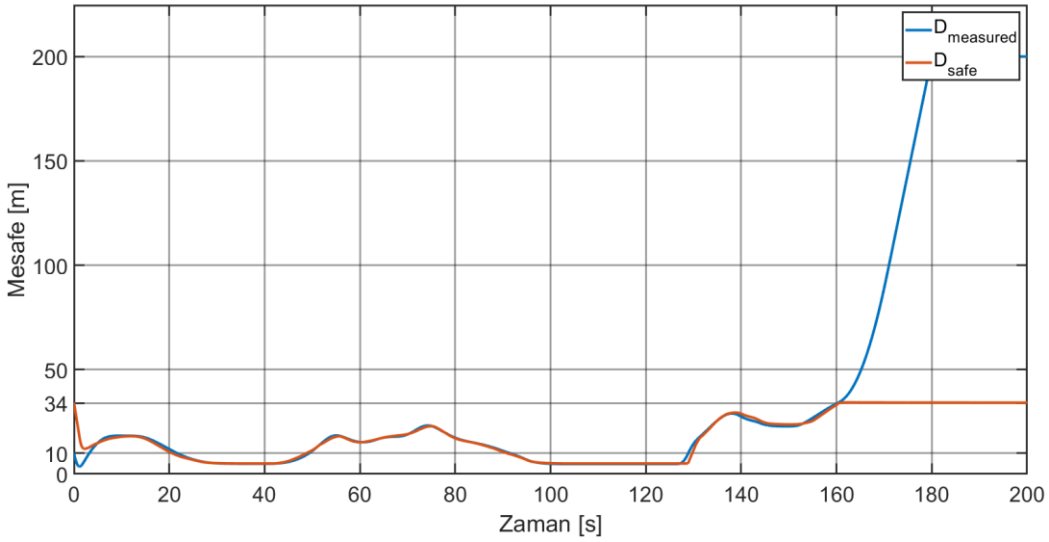
Şekil 5.43'te öndeki ve arkadaki araçların hızları verilmiştir. Senaryoda gerçekleşen koşullardan dolayı t_5 anına kadar UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden almış, öndeki aracı takip etmiş ve aracın hızını sürücü tarafından girilen hız değerinde tutmaya çalışmamıştır.



Şekil 5.43 Araçların hızları

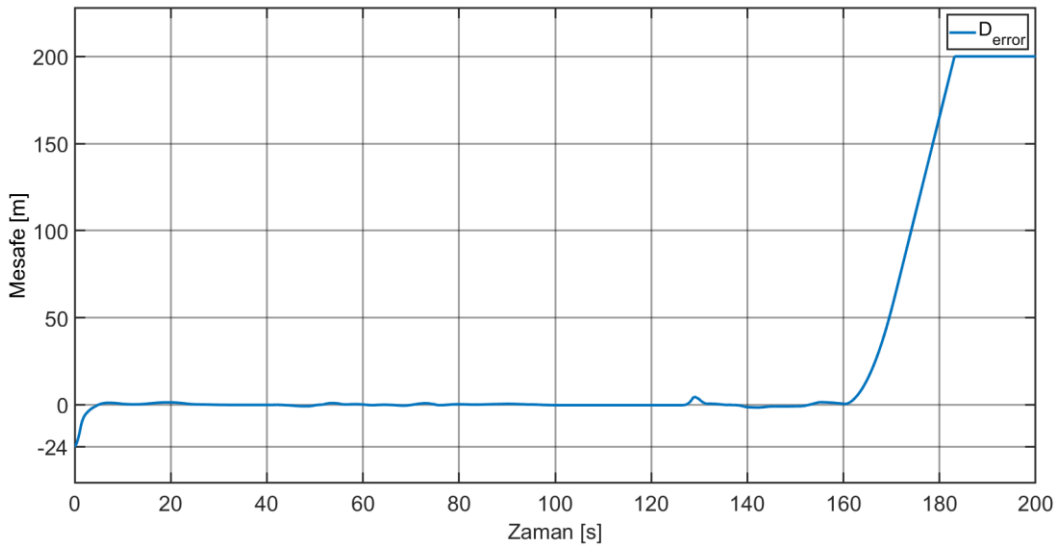
Şekil 5.44'te UHK sistemine sahip aracın hızına bağlı olarak önündeki araç ile arasında olması gereken güvenli takip mesafesi ve radar algılayıcısı ile ölçülen mesafe değerleri gösterilmiştir. Senaryoda t_0 ile t_5 anları arasında UHK sistemine sahip araç

önündeki aracı takip ettiği koşulda, UHK sistemi, araçlar arasındaki ölçülen mesafe değerini güvenli takip mesafesine eşit olacak şekilde tutmayı başarmıştır.



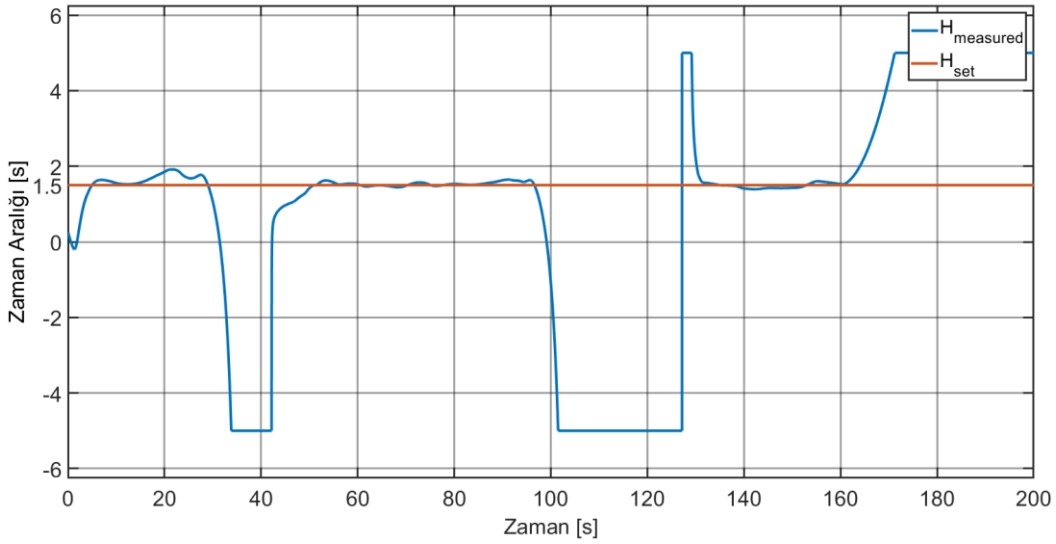
Şekil 5.44 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Şekil 5.45'te bulanık mesafe denetleyicinin girişlerinden biri olan mesafe hatasının değişimi gösterilmiştir. Senaryoda gerçekleşen koşullardan dolayı, t_5 anına kadar UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği için mesafe hatasının değeri sıfır ve sıfıra çok yakın olmuş, t_5 anından sonra UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip etmeyi bıraktığı için mesafe hatasının değeri giderek artmıştır.



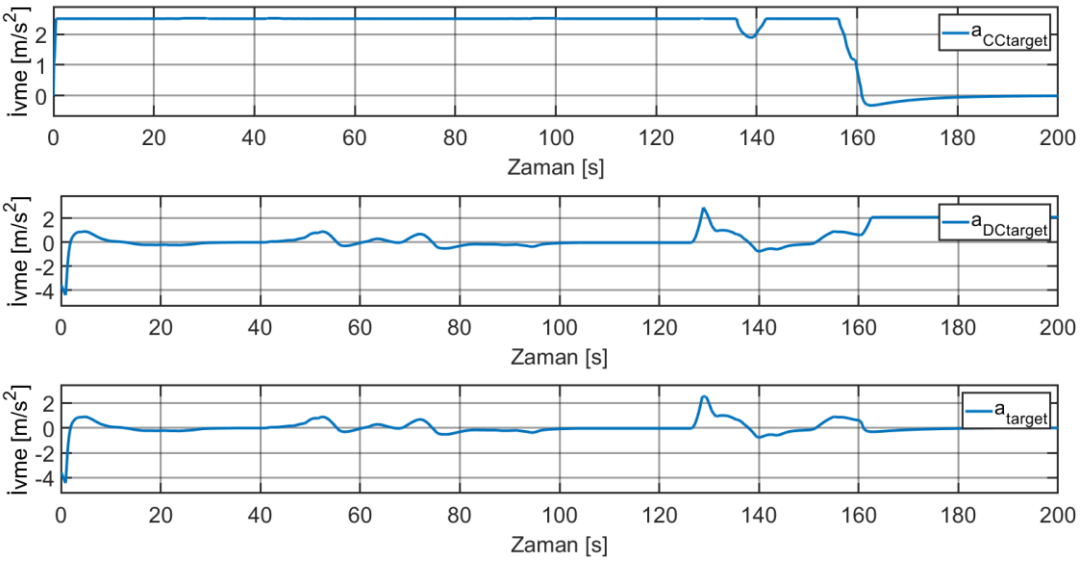
Şekil 5.45 Mesafe hatası

Şekil 5.46'da ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri gösterilmiştir. Senaryoda gerçekleşen koşullardan dolayı, t_5 anına kadar UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip ettiği için, ölçülen zaman aralığının değeri istenen zaman aralığına yakınsamış, t_5 anından sonra UHK sistemine sahip araç önündeki aracı takip etmeyi bıraktığı için ölçülen zaman aralığının değeri giderek artmıştır. Senaryoda araçların durduğu anlarda aracın hızı sıfır olmakta ve aracın hızında bölüm işlemi yapılarak ölçülen zaman aralığı değeri hesaplandığı için zaman aralığı değeri eksi sonsuz ve artı sonsuza yakınsamıştır. Bunun için zaman aralığı değeri -5 ile +5 arasında sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.46 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

Şekil 5.47'de hız denetleyici hedef ivme, mesafe denetleyici hedef ivme ve araca uygulanan hedef ivme değerleri gösterilmiştir. Senaryoda gerçekleşen koşullardan dolayı, t_5 anına kadar UHK sistemi araca uygulanan hedef ivme değerini mesafe denetleyici hedef ivmesinden almış, t_5 anından sonra ise UHK sistemi çıkış değerini mesafe denetleyici hedef ivme değerinden almayı bırakmış, hız denetleyici hedef ivme değerini kullanmaya başlamıştır.

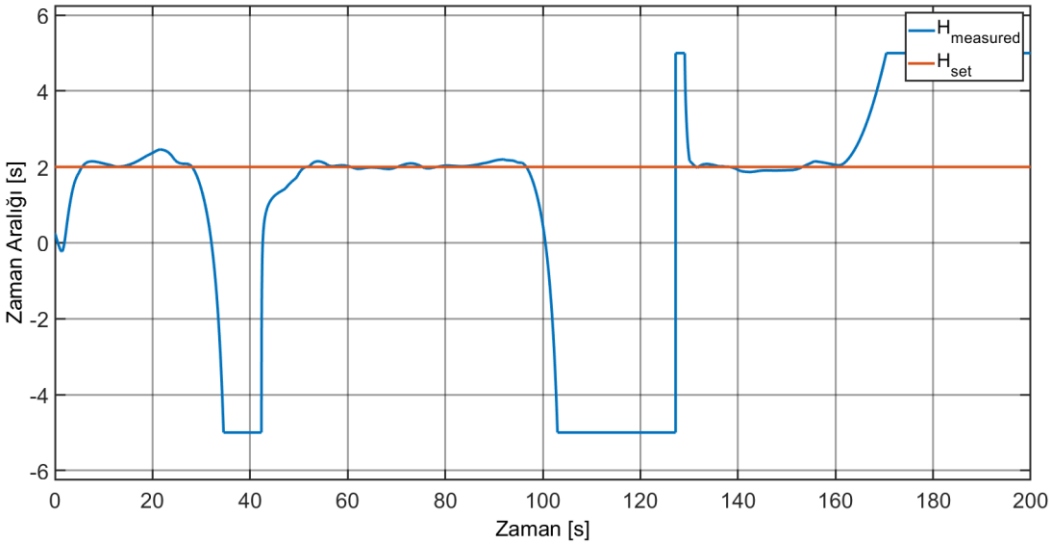


Şekil 5.47 Hız denetleyici mesafe denetleyici ve araca uygulanan hedef ivme değerleri

Senaryo 7'de öndeki aracın hızı sabit olmayıp sürekli olarak değiştiği ve şehir içindeki dur-kalk trafiğinde yaşanabilecek benzer durumları içerdiği için bu senaryonun altında, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye ve 2 saniye olarak ayarlandığı koşullar için tasarlanan sistemin verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. Sistemde farklı zaman aralığı değerlerinin kullanılmasının, pedal komutları, motor torku, vites değişimleri ve en nihayetinde yakıt tüketimine olan etkisi incelenmiştir. Takip mesafesi aralığının sürücü tarafından normal seviyede olması istediği koşul için UHK sisteminde zaman aralığı değeri 1,5 saniye olarak, takip mesafesi aralığının sürücü tarafından yüksek seviyede (daha uzaktan takip edilmesi durumu) olması istediği koşul için UHK sisteminde zaman aralığı değeri 2 saniye olarak ayarlanmıştır.

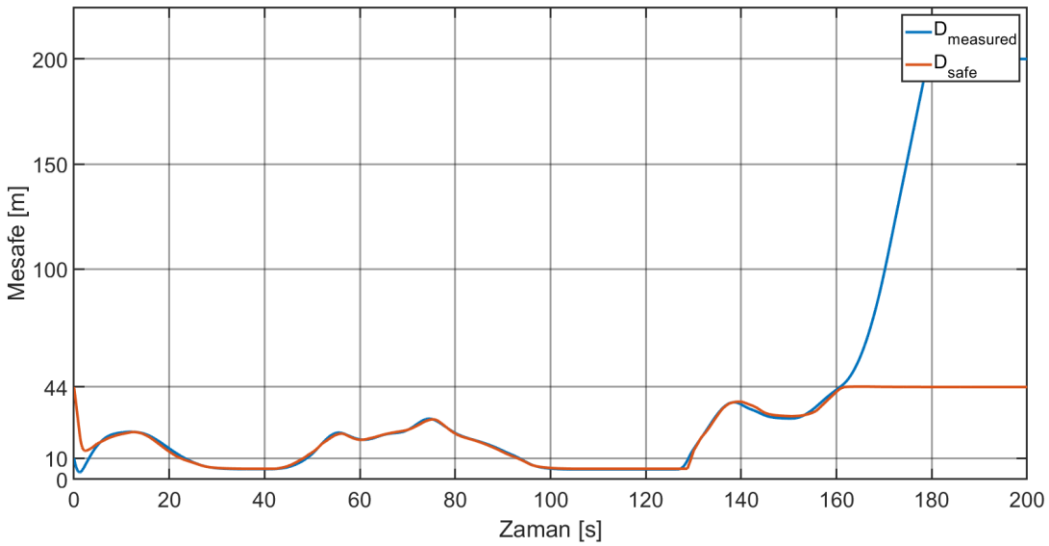
5.1.7.1. Zaman aralığı değerinin sistem performansına etkisi

Ölçülen zaman aralığı değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerleri arasındaki ilişkinin gösterimi için, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.46'da verilmişti. Şekil 5.48'de ise zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere tasarlanan sistem istenen zaman aralığı değerini sağlayabilmiştir.



Şekil 5.48 Sürücü tarafından girilen zaman aralığı ve ölçülen zaman aralığı

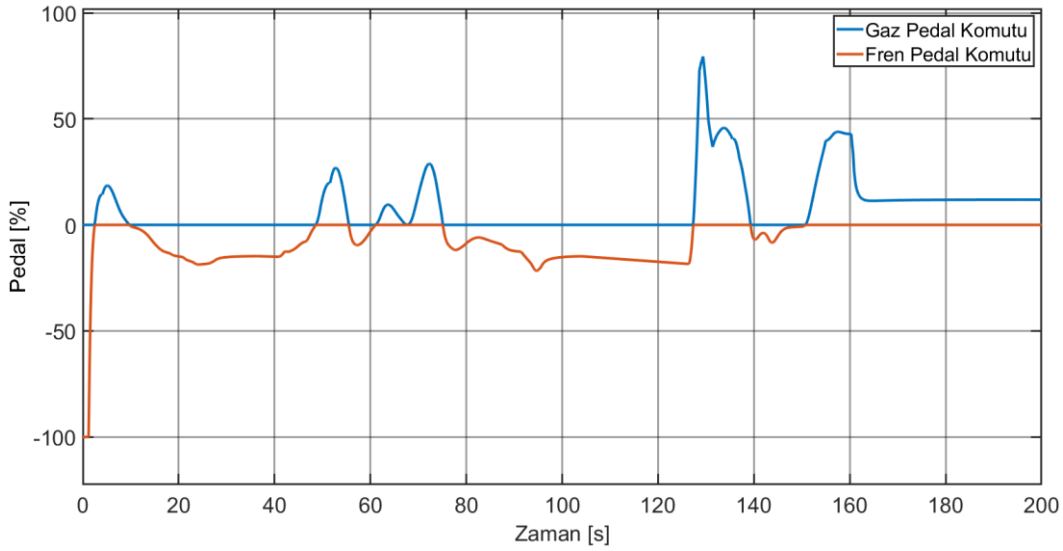
Ölçülen mesafe değeri ile sürücü tarafından istenen zaman aralığı değerine bağlı olarak hesaplanan güvenli takip mesafesi arasındaki ilişkinin gösterimi için, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.44'te verilmişti. Şekil 5.49'da ise zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul verilmiştir.



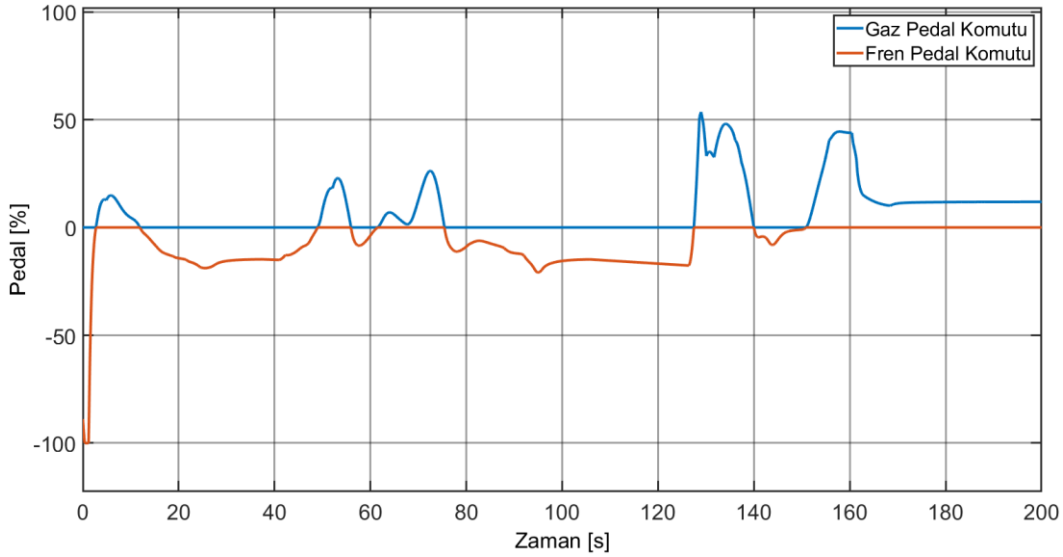
Şekil 5.49 Güvenli takip mesafesi ve ölçülen mesafe

Senaryo boyunca gaz ve fren pedal komutlarında meydana gelen değişim için, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.50'de, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.51'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, yaklaşık 125.

saniyede zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşulda gaz pedal komutu %80 değerlerine çıkarken 2 saniye olduğu koşulda gaz pedal komutu %50 değerlerinde kalmaktadır.



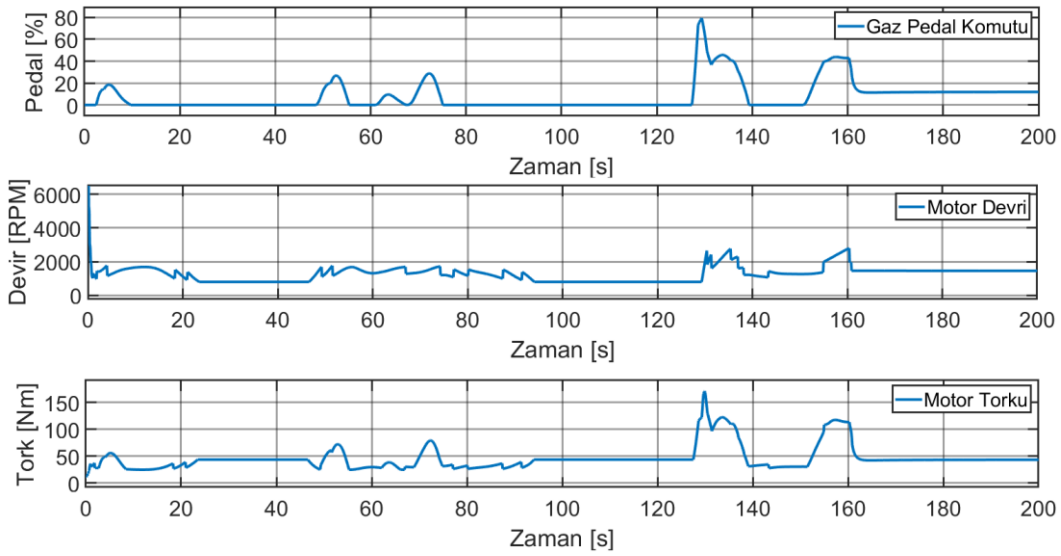
Şekil 5.50 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz ve fren pedal komutları



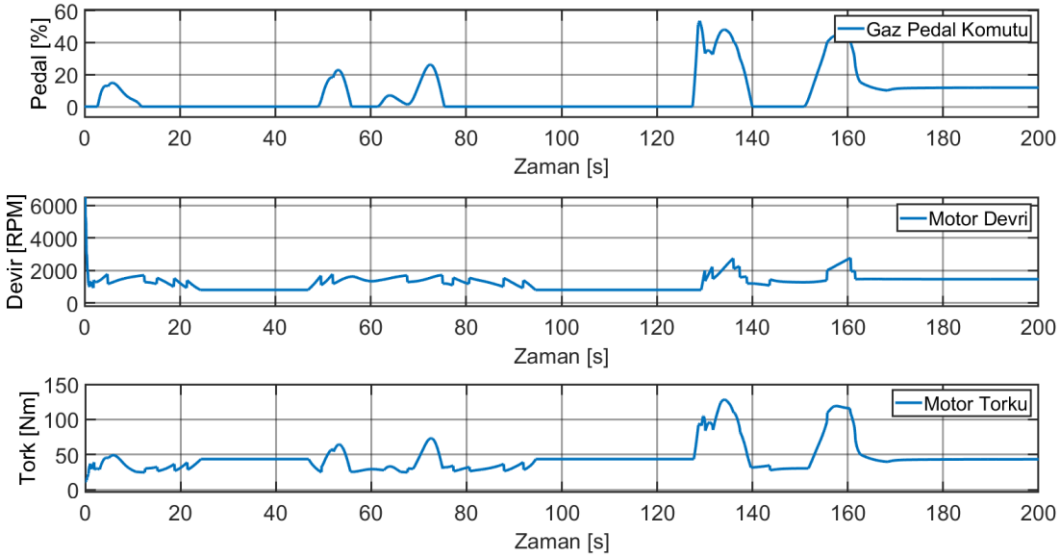
Şekil 5.51 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz ve fren pedal komutları

Senaryo boyunca gaz pedal komutuna bağlı olarak, motor devri ve motorun ürettiği tork değerinde meydana gelen değişim için zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.52'de, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.53'te gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşulda motordan

talep edilen tork değeri daha az olmaktadır. Örneğin senaryonun yaklaşık 125. saniyesinde, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşulda motorun ürettiği tork 150 Nm değerinin üzerine çıkmış, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşulda motorun ürettiği tork 100 Nm değerlerinde kalmıştır.



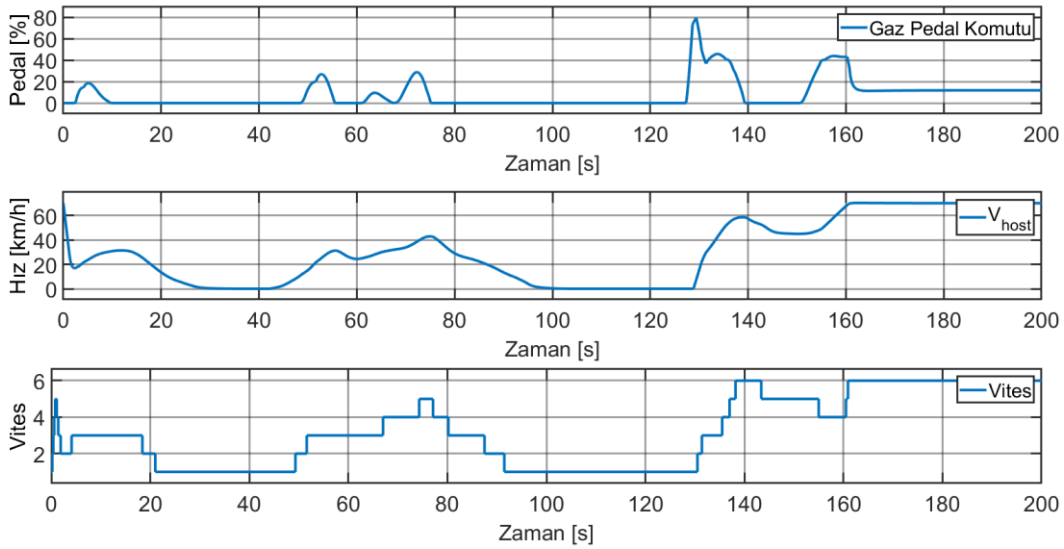
Şekil 5.52 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu motor devri ve motorun ürettiği tork değişimi



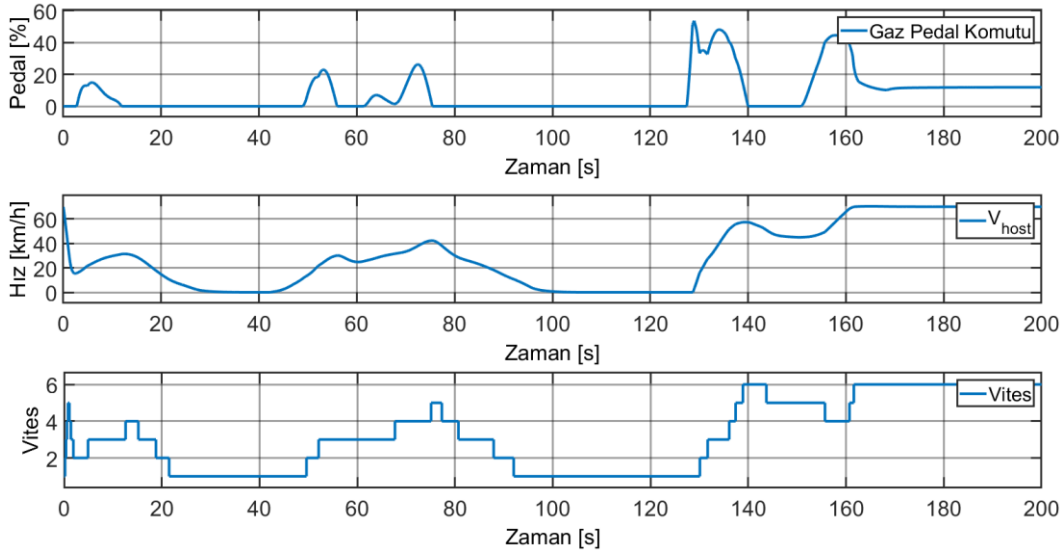
Şekil 5.53 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu motor devri ve motorun ürettiği tork değişimi

Senaryo boyunca gaz pedal komutuna ve aracın hızına bağlı olarak, şanzımanda yapılan vites değişimleri, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.54'te,

zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşulda, şanzıman daha çok üst viteslerde kalmaya çalışmıştır. Örneğin senaryonun yaklaşık 15. saniyesinde, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşulda şanzımanda 3. vites seçilmişken, 2 saniye olduğu koşulda şanzımanda 4. vites seçilmiştir.

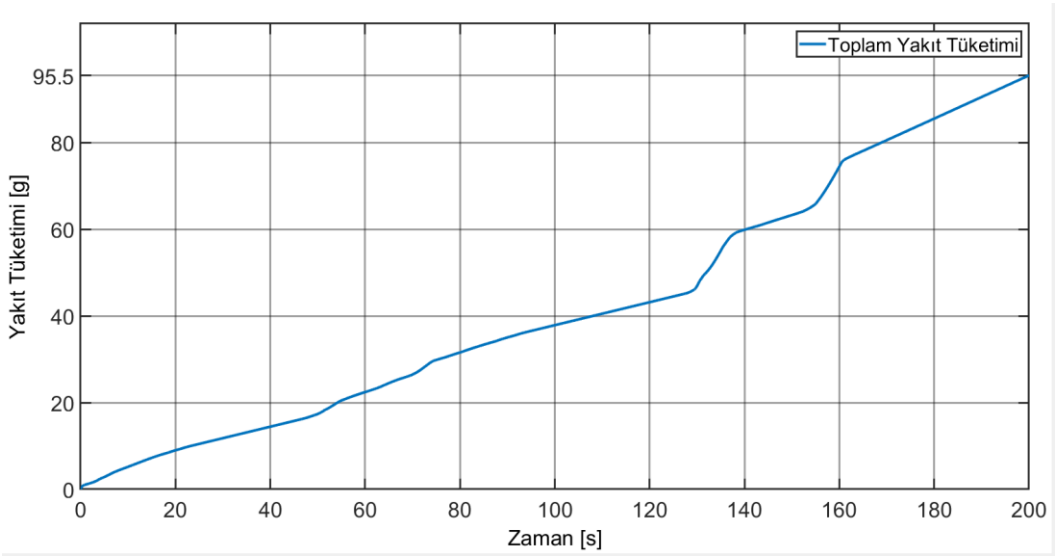


Şekil 5.54 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu aracın hızı ve şanzımanda yapılan vites değişimi

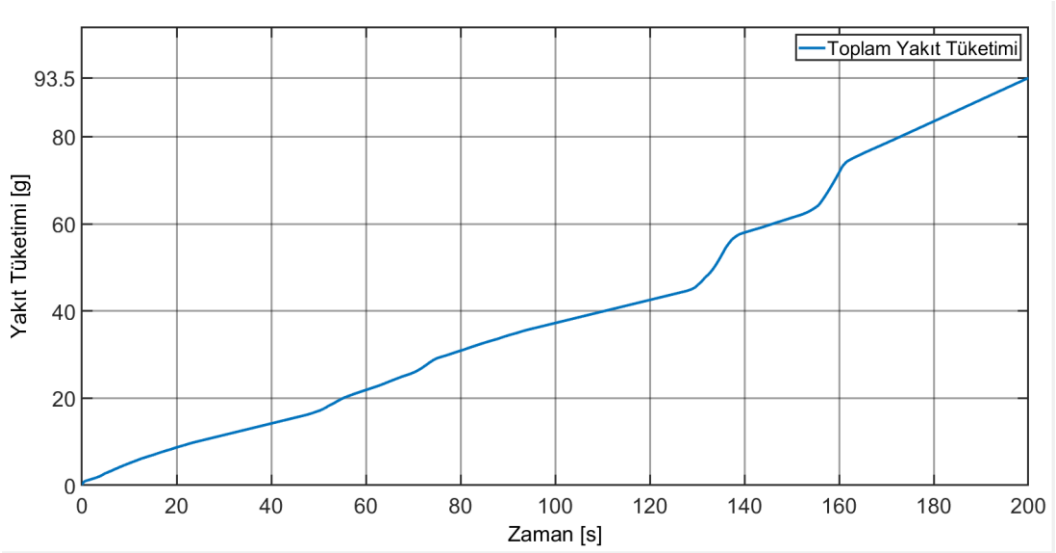


Şekil 5.55 2 saniye zaman aralığı koşulunda gaz pedal komutu aracın hızı ve şanzımanda yapılan vites değişimi

Senaryo boyunca motordan talep edilen tork değerine bağlı olarak, tüketilen toplam yakıt miktarı, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.56'da, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.57'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşulda toplam yakıt tüketim miktarı daha az olmaktadır. Zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşulda toplam 95,5 gr civarında yakıt tüketilmişken, 2 saniye olduğu koşulda toplam 93,5 gr civarında yakıt tüketilmiştir.

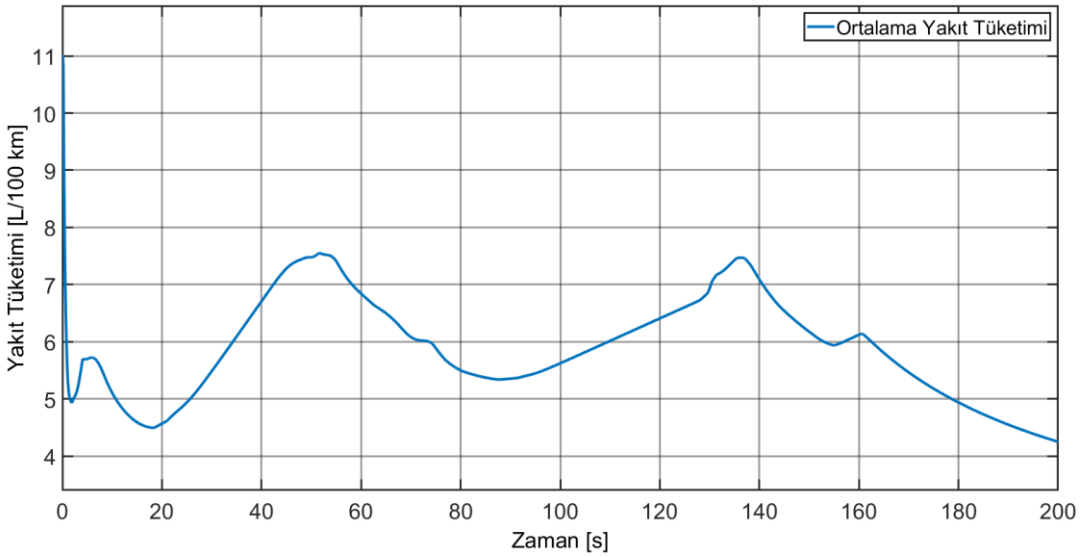


Şekil 5.56 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda toplam yakıt tüketimi

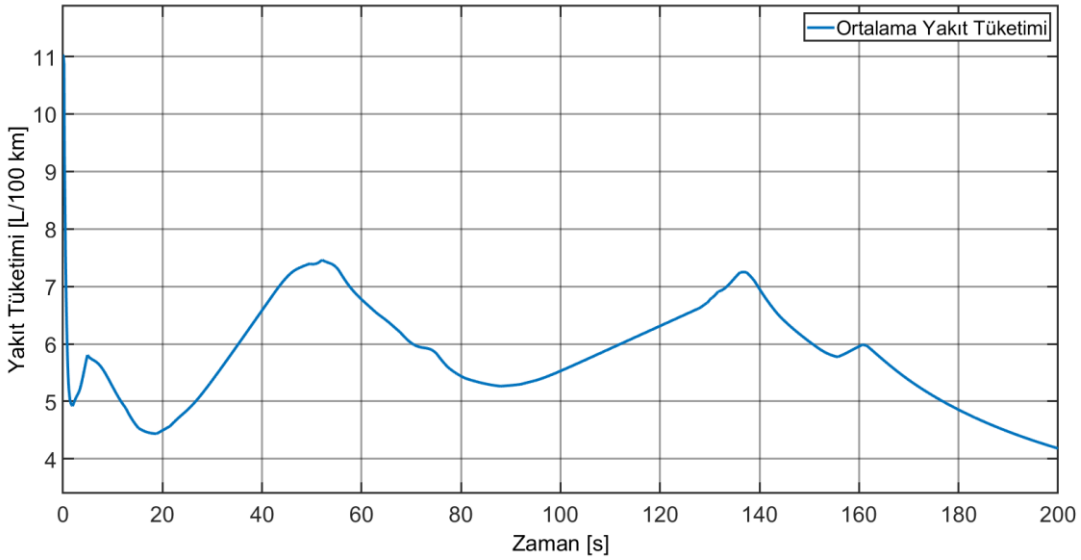


Şekil 5.57 2 saniye zaman aralığı koşulunda toplam yakıt tüketimi

Senaryo boyunca motordan talep edilen tork değerine bağlı olarak, ortalama yakıt tüketim değeri, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.58'de, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.59'da gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşulda ortalama yakıt tüketim değeri daha az olmaktadır.

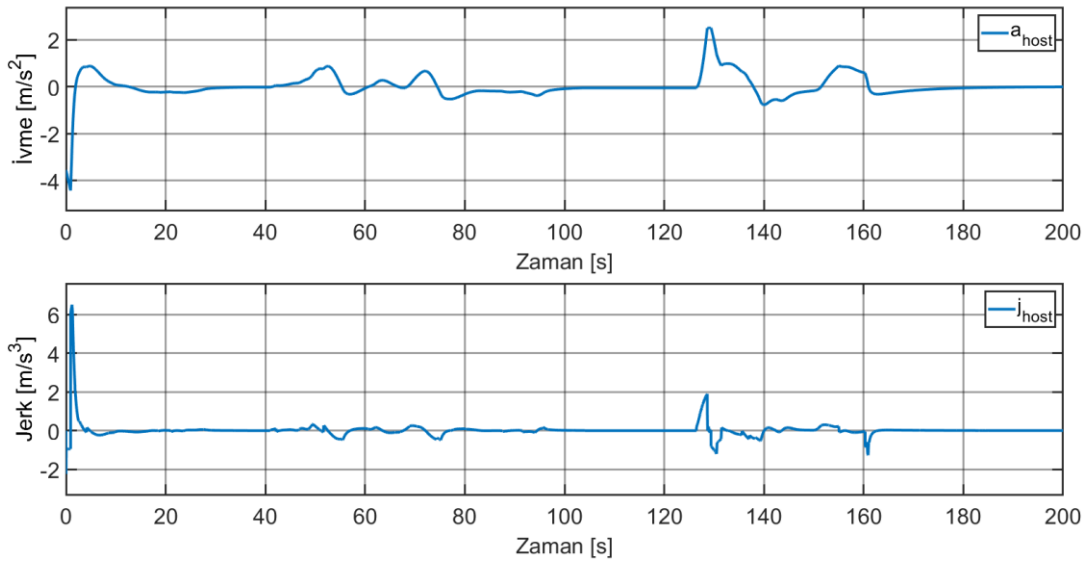


Şekil 5.58 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda ortalama yakıt tüketimi

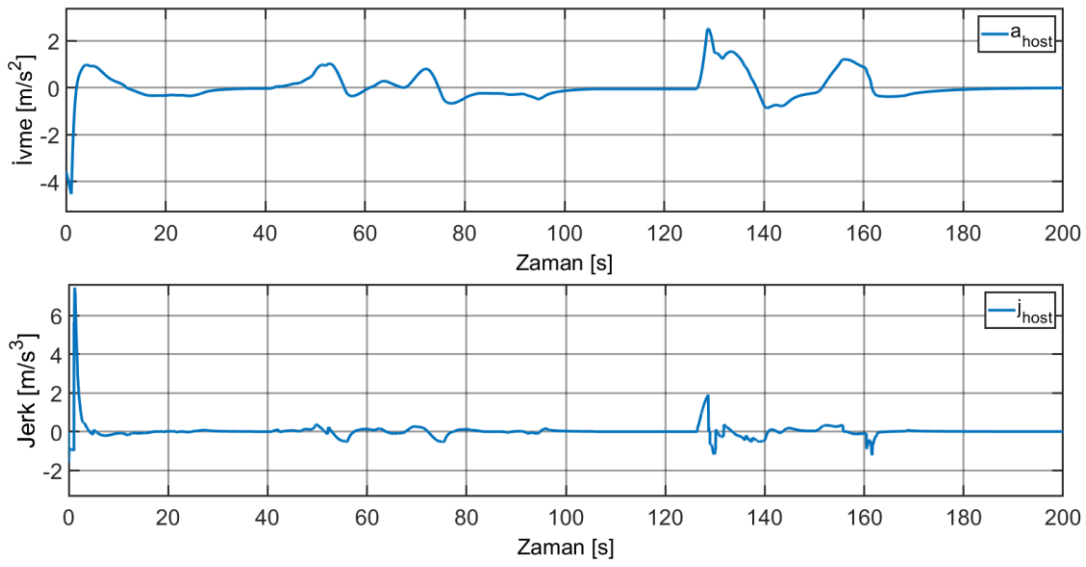


Şekil 5.59 2 saniye zaman aralığı koşulunda ortalama yakıt tüketimi

Senaryo boyunca gaz ve fren pedal komutlarında meydana gelen değişime bağlı olarak araca uygulanan ivme ve ivmenin birim zamandaki değişimi (jerk) için, zaman aralığı değerinin 1,5 saniye olduğu koşul Şekil 5.60'da, zaman aralığı değerinin 2 saniye olduğu koşul Şekil 5.61'de gösterilmiştir. Her iki zaman aralığı değerinde de sistemin ani ivme değişimlerine neden olmadığı ve sarsıntısız sürüşü sağladığı görülmüştür.



Şekil 5.60 1,5 saniye zaman aralığı koşulunda araca uygulanan ivme ve ivmedeki değişim



Şekil 5.61 2 saniye zaman aralığı koşulunda araca uygulanan ivme ve ivmedeki değişim

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında bulanık mantık tabanlı uyarlamalı hız kontrolü sistemi tasarlanmış ve modellenmiştir. Benzetimi yapılan modelin doğruluğunun sınanması için piyasada bulunan bir aracın teknik verileri kullanılarak araç modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan UHK sistemi ile araç modeli uyumlandırılmış ve tüm modelin performansı sınanmıştır. Benzetimi yapılan sistemin performansının test edilmesi için günlük hayatta karşılaşılabilecek 7 farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolara göre simülasyonlar yapılmıştır. UHK sisteminin tasarlanması, modellenmesi, araç modelinin oluşturulması ve simülasyonların koşulması MATLAB-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre tasarlanan sistemin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tasarlanan UHK sistemi üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Üst seviye kontrolde bulanık hız denetleyicisi ve bulanık mesafe denetleyicisi olmak üzere iki farklı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Üst seviye kontrol, koşullara bağlı olarak hangi bulanık denetleyicinin çıkışının kullanılacağını belirlemiştir. Alt seviye kontrolde PI denetleyici tasarlanmıştır. Alt seviye kontrol, üst seviyeden elde ettiği ivme değerine bağlı olarak araca uygulanması gereken pedal komut değerlerini üretmiştir. Alt seviye kontrolden elde edilen gaz ve fren pedal komut değerlerinin kullanılacağı bir araç modeli oluşturulmuştur. Araç modeli oluşturulduktan sonra alt seviyede tasarlanan PI denetleyici katsayıları ayarlanarak UHK sistemi ile araç modeli uyumlandırılmıştır. Araç modelinin oluşturulması, aracın motorunun ürettiği tork değeri, motor torkunun aktarma organları üzerinden araca uygulanacak kuvvete dönüşümü ve araca etki eden direnç kuvvetlerinin bileşkesinin alınması ile araçta meydana gelecek hız değişiminin gösterilmesine hizmet etmiştir.

Tasarlanan ve benzetimi yapılan tüm sistemin performansı, gerçek hayatta karşılaşılabilecek durumları içeren senaryolar ile sınanmıştır. Simülasyon sonuçlarında istenen performans elde edilmiştir. Simülasyonlarda ivme değişimlerinin beklenen ölçülerde olduğu ve konforlu sürüşün sağlandığı görülmüştür.

Ayrıca bir senaryoda zaman aralığı değeri değiştirilerek, sistem performansına ve yakıt tüketimine olan etkisi incelenmiştir. Zaman aralığı değerinin artması yani güvenli takip mesafesinin uzaması sonucunda sistem performansında düşüş yaşanmazken, motorun yakıt tüketim değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda ilerde yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi verilebilir.

- Mevcut araç modeli ile birlikte bulanık mantık haricinde farklı kontrol metotları kullanılarak metotların performansları mevcut senaryolar ile karşılaştırılabilir.

- Farklı yüzlerce senaryo oluşturularak, kontrol metotlarının performansı ayrı ayrı test edilebilir ve toplam senaryo bazında en iyi kontrol metodu seçilebilir.

- Yakıt tüketimini azaltmaya yönelik olarak kontrol metotlarında iyileştirmeler yapılabilir.

- Tasarlanan kontrol sistemi, hibrit veya elektrikli motoru olan bir araç modeline entegre edilerek performansı test edilebilir.

- Tasarlanan kontrol sisteminin modeli üzerinden otomatik kod oluşturularak, gerçek bir araç sistemine entegre edilmesi ve gerçek trafik şartlarında test edilmesi sağlanabilir.

- Tasarlanan UHK sistemine entegre edilmek üzere, şerit takip asistanı için kontrol sistemi tasarlanarak kısmi otonom sürüş sistemi oluşturulabilir.

- Tasarlanan UHK sistemi kooperatif UHK sistemine dönüştürülmesi için V2X haberleşme üzerine çalışma yapılarak oluşturulan algoritmalar sisteme entegre edilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abuelsamid, S., 2018, SAE International ready to tackle automated vehicle safety testing standards, https://www.forbes.com/sites/samabuelsamid/2018/08/01/sae-international-ready-to-tackle-automated-vehicle-safety-testing-standards/?sh=7634c702733c, erişim tarihi: 29.10.2020.

Anonim, 2015, Sophisticated sophomore: all-new 2016 Chevrolet Cruze, https://media.chevrolet.com/media/ca/en/chevrolet/vehicles/Cruze/2016.detail.html/content/Pages/news/ca/en/2015/Jun/0624_Cruze.html, erişim tarihi: 29.10.2020.

Anonim, 2020, 2016 Chevrolet Cruze Sedan LT 1.4L Turbo automatic engine horsepower / torque curve, https://www.automobile-catalog.com/curve/2016/2224760/chevrolet_cruze_1_4l_turbo_automatic.html, erişim tarihi: 29.10.2020

Anonim, 2020, Son model Tesla otomobilin kazası interneti kasıp kavuruyor, https://www.hurriyet.com.tr/galeri-son-model-tesla-otomobilin-kazasi-interneti-kasip-kavuruyor-41534648/2, erişim tarihi: 29.10.2020.

Bai, Y., Zhuang, H., Wang, D., 2006, Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications, Springer, London, p. X.

Bai, Y., Wang, D., 2006, Fundamentals of Fuzzy Logic Control – Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications, Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications, Y. Bai, H. Zhuang, D. Wang (Eds.), Springer, London, p. 17-36.

Bansal, P., Kockelman, K.M., 2018, Are we ready to embrace connected and self-driving vehicles? A case study of Texans, Transportation, 45, 641-675.

Benalie, N., Pananurak, W., Thanok, S., Parnichkun, M., 2009, Improvement of adaptive cruise control system based on speed characteristics and time headway, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2403-2408.

Blair, G.P., 1999, Design and Simulation of Four-Stroke Engines, SAE International, p. 144-146, 534-536.

Broggi, A., Cerri, P., Felisa, M., Laghi, M.C., Mazzei, L., vd., 2012, The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge: an extensive test for a platoon of intelligent vehicles, International Journal of Vehicle Autonomous Systems, 10, 147-164.

Brummelen, J.V., O'Brien, M., Gruyer, D., Najjaran, H., 2018, Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow, Transportation Research Part C, 89, 384-406.

Buehler, M., Iagnemma, K., Singh, S., 2007, The 2005 DARPA Grand Challenge: The Great Robot Race, Springer, Berlin, p. IX-X.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Buehler, M., Iagnemma, K., Singh, S., 2009, The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic, Springer, Berlin, p. XIII.

Davis. T., 1994, The Laboratory for International Fuzzy Engineering Research, Asian Office of Aerospace Research and Development, p. 1-4.

Ehsani, M., Gao, Y., Emadi, A., 2009, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundementals, Theory, and Design, CRC Press, p. 20-23.

Eleter, B., Rombaut, M., 1996, Intelligent mapping of the ProLab2 vehicle dynamic environment, Mathematics and Computers in Simulation, 41, 329-336.

Eskandarian, A., Wu, C., Sun, C., 2019, Research Advances and Challenges of Autonomous and Connected Ground Vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (Early Access), doi:10.1109/TITS.2019.2958352

Ganji, B., Kouzani, A.Z., Khoo, S.Y., Nasir, M., 2014, A sliding-mode-control-based Adaptive Cruise Controller, 11th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA), 394-397.

Gasser, T.M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., vd., 2013, Legal consequences of an increase in vehicle automation: Consolidated final report of the project group: Part1, BASt, p. 9-13.

Gruyer, D., Magnier, V., Hamdi, K., Claussmann, L., Orfila, O., vd., 2017, Perception, information processing and modeling: Critical stages for autonomous driving applications, Annual Reviews in Control, 44, 323-341.

Guzzella, L., Onder, C.H., 2010, Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems, Springer, Berlin, p. 64-65.

Hakuli, S., Krug, M., 2016, Virtual Integration in the Development Process of ADAS, Handbook of Driver Assistance Systems, H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer (Eds.), Springer, Switzerland, p. 159-176.

Han, D., Yi, K., 2006, A driver-adaptive range policy for adaptive cruise control, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 220, 321-334.

Haroon, Z., Khan, B., Farid, U., Ali, S.M., Mehmood, C.A., 2019, Switching Control Paradigms for Adaptive Cruise Control System with Stop-and-Go Scenario, Arabian Journal for Science and Engineering, 44, 2103-2113.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hinderer, H., Stegmüller, J., Schmidt, J., Sommer, J., Lucke, J., 2018, Acceptance of Autonomous Vehicles in Suburban Public Transport, 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 1-8.

Hosseinnia, S.H., Tejado, I., Milanes, V., Villagra, J., Vinagre, B.M., 2014, Experimental Application of Hybrid Fractional-Order Adaptive Cruise Control at Low Speed, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 22, 2329-2336.

Ioannou, P., Xu, Z., Eckert, S., Clemons, D., Sieja, T., 1993, Intelligent cruise control: theory and experiment, Proceedings of 32nd IEEE Conference on Decision and Control, 2, 1885-1890.

ISO, 2009, ISO 22179:2009 Intelligent transport systems - Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems - Performance requirements and test procedures, ISO/TC 204 Intelligent transport system, p. 6.

Jazar, R.N., 2017, Vehicle Dynamics: Theory and Application, Springer, p. 184-186.

Kianfar, R., Augusto, B., Ebadighajari, A., Hakeem, U., Nilsson, J., vd., 2012, Design and Experimental Validation of a Cooperative Driving System in the Grand Cooperative Driving Challenge, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13, 994-1007.

Kılıç, İ., Ondoğan, A., Özçelikörs, M., Yazıcı, A., Yıldız, Ö., 2015, Intelligent adaptive cruise control system design and implementation, 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE), 232-237.

Krisher, T., Durbin, D., 2016, Tesla update halts automatic steering if driver inattentive, https://phys.org/news/2016-09-tesla-halts-automatic-driver-inattentive.html, erişim tarihi: 29.10.2020.

Kural, E., Güvenç, B.A., 2010, Model Predictive Adaptive Cruise Control, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1455-1461.

Kuwata, Y., Teo, J., Fiore, G., Karaman, S., Frazzoli, E., vd., Real-Time Motion Planning With Applications to Autonomous Urban Driving, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 17, 1105-1118.

Kyriakidis, M., Happee, R., Winter, J.C.F., 2015, Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents, Transportation Research Part F, 32, 127-140.

Levinson, J., Askeland, J., Becker, J., Dolson, J., Held, D., vd., 2011, Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms, 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 163-168.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Mathworks, 2020, Fuzzy Inference System Modeling, Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide, p. 2-3.

Meywerk, M., 2015, Vehicle Dynamics, John Wiley & Sons, p. 63-64.

Milanes, V., Villagra, J., Godoy, J., Gonzalez, C., 2012, Comparing Fuzzy and Intelligent PI Controllers in Stop-and-Go Manoeuvres, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 20, 770-778.

Milanes, V., Marouf, M., Perez, J., Gonzalez, D., Nashashibi, F., 2014, Low-speed cooperative car-following fuzzy controller for cybernetic transport systems, 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2075-2080.

Montemerlo, M., Becker, J., Bhat, S., Dahlkamp, H., Dolgov, D., vd., 2009, Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge, The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic, M. Buehler, K. Iagnemma, S. Singh (Eds.), Springer, Berlin, p. 91-123.

Naranjo, J.E., Gonzalez, C., Reviejo, J., Garcia, R., Pedro, T., 2003, Adaptive fuzzy control for inter-vehicle gap keeping, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 4, 132-142.

Naranjo, J.E., Gonzalez, C., Garcia, R., Pedro, T., 2007, Cooperative Throttle and Brake Fuzzy Control for ACC+Stop&Go Maneuvers, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56, 1623-1630.

Nyugen, H.T., Prasad, N.R., Walker, C.L., Walker, E.A., 2002, A First Course in Fuzzy and Neural Control, CRC Press, p. 249-250.

Ondoğan, A., Yavuz, H.S., 2019, Fuzzy Logic Based Adaptive Cruise Control for Low-Speed Following, 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 1-5.

Pananurak, W., Thanok, S., Parnichkun, M., 2009, Adaptive cruise control for an intelligent vehicle, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 1794-1799.

Payre, W., Cestac, J., Delhomme, P., 2014, Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability, Transportation Research Part F, 27, 252-263.

Pratte, D., 2020, Where'd My Horsepower Go? Drivetrain Power Loss & the 15% Rule, https://www.superstreetonline.com/how-to/engine/modp-1005-drivetrain-power-loss, erişim tarihi: 29.10.2020.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Rajamani, R., 2012, Vehicle Dynamics and Control, Springer, Boston, p. 87-89, 95-97, 101.

Rasshofer, R.H., Gresser, K., 2005, Automotive Radar and Lidar Systems for Next Generation Driver Assistance Functions, Advances in Radio Science, 3, 205-209.

Reschka, A., Böhmer, J.R., Saust, F., Lichte, B., Maurer, M., 2012, Safe, dynamic and comfortable longitudinal control for an autonomous vehicle, 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 346-351.

Ross, T.J., 2010, Fuzzy Logic with Engineering Applications, John Wiley & Sons, p. 2-4, 93, 99, 148-154.

Schoettle, B., Sivak, M., 2014, A survey of public opinion about connected vehicles in the U.S., the U.K., and Australia, 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 687-692.

Schwartz, D.G., Klir, G.J., 1992, Fuzzy logic flowers in Japan, IEEE Spectrum, 29, 32-35.

Shakouri, P., Ordys, A., Laila, D.S., Askari, M., 2011, Adaptive Cruise Control System: Comparing Gain-Scheduling PI and LQ Controllers, IFAC Proceedings Volumes, 44, 12964-12969.

Silva, J.F., Pinto, S.F., 2018, Linear and Nonlinear Control of Switching Power Converters, Power Electronics Handbook, M.H. Rashid (Ed.), Elsevier, p. 1141-1220.

Sivaraman, S., Trivedi, M.M., 2013, Looking at Vehicles on the Road: A Survey of Vision-Based Vehicle Detection, Tracking, and Behavior Analysis, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14, 1773-1795.

Stoklosa, A., 2016, 2016 Chevrolet Cruze 1.4T Automatic, https://www.caranddriver.com/reviews/a15101231/2016-chevrolet-cruze-14t-automatic-review/, erişim tarihi: 29.10.2020.

Stuart, J., Sanders, D., 2020, European Eureka Project - PROgraMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety (PROMETHEUS), https://researchportal.port.ac.uk/portal/en/projects/european-eureka-project--programme-for-a-european-traffic-of-highest-efficiency-and-unprecedented-safety-prometheus(7258e5d4-51ec-4114-84b1-f107e2dd9cb5).html, erişim tarihi: 29.10.2020.

Taş, Ö.Ş., Salscheider, N.O., Poggenhans, F., Wirges, S., Bandera, C., vd., 2018, Making Bertha Cooperate–Team AnnieWAY's Entry to the 2016 Grand Cooperative Driving Challenge, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19, 1262-1276.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Taylor, C.F., 1985, The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice Volume 1: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance, MIT Press, p. 313.

TÜİK, 2019, Motorlu Kara Taşıtları, Ekim 2019, https://data.tuik.gov.tr/tr/display-bulletin/?bulletin=motorlu-kara-tasitlari-ekim-2019-30639, erişim tarihi: 29.10.2020.

TÜİK, 2020, Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2019, https://data.tuik.gov.tr/tr/display-bulletin/?bulletin=karayolu-trafik-kaza-istatistikleri-2019-33628, erişim tarihi: 29.10.2020.

van Nunen, E., Kwakkernaat, M.R.J.A.E., Ploeg, J., Netten, B.D., 2012, Cooperative Competition for Future Mobility, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13, 1018-1025.

Vanholme, B., Gruyer, D., Lusetti, B., Glaser, S., Mammar, S., 2013, Highly Automated Driving on Highways Based on Legal Safety, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14, 333-347.

Wille, J.M., Form, T., 2008, Low Level Control in a Modular System Architecture for Realizing Precise Driving Maneuvers of the Autonomous Vehicle Caroline, 2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 705-710.

Winner, H., 2012, Adaptive Cruise Control, Handbook of Intelligent Vehicles, A. Eskandarian (Ed.), Springer, London, p. 613-656.

Xiao, L., Gao, F., 2011, Practical String Stability of Platoon of Adaptive Cruise Control Vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12, 1184-1194.

Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.

Zhang, X., Huang, Y., Guo, K., Peng, T., Sun, S., vd., 2019, Integrated Spacing Policy Considering Micro- and Macroscopic Characteristics, Automotive Innovation, 2, 102-109.

Ziegler, J., Bender, P., Schreiber, M., Lategahn, H., Strauss, T., vd., 2014, Making Bertha Drive—An Autonomous Journey on a Historic Route, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 6, 8-20.