

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ADAPTİF HIZ SABİTLEYİCİ SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE
SİMÜLE EDİLMESİ**

HAZIRLAYAN

BUĞRA KABASAKAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA – 2021

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ADAPTİF HIZ SABİTLEYİCİ SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE
SİMÜLE EDİLMESİ**

**HAZIRLAYAN
BUĞRA KABASAKAL**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
DR. MURAT ÜÇÜNCÜ**

ANKARA – 2021

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Buğra Kabasakal tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 21 / 12 / 2021

Tez Adı: Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Tasarlanması ve Simüle Edilmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)	İmza
Prof. Dr. Cemil Sungur, Konya Teknik Üniversitesi	
Prof. Dr. Sedat Nazlıbilek, Başkent Üniversitesi	
Dr. Öğretim Üyesi Murat Üçüncü, Başkent Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 21 / 12 / 2021

Öğrencinin Adı, Soyadı: Buğra KABASAKAL

Öğrencinin Numarası: 21810320

Anabilim Dalı: Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğretim Üyesi Murat Üçüncü

Tez Başlığı: Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi Tasarımı

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 195 sayfalık kısmına ilişkin, 21 / 12 / 2021 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %1'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: 21/12/2021

Tez Danışmanı

Dr. Murat Üçüncü

Bu tezi her anımda ve her zorlukta yanımda olan sevgili eşim Gökçe İrem KABASAKAL'a ithaf ediyorum.

Buğra KABASAKAL

Ankara- 2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince her türlü desteği veren ve tecrübelerinden faydalanma imkânı sağlayan değerli danışmanım Dr. Öğretim Üyesi MURAT ÜÇÜNCÜ'ye,

Her konuda olduğu gibi bu süreçte her türlü manevi desteği eksik etmeyen babam Öner KABASAKAL'a ve annem Demet KABASAKAL'a,

Tez aşamasında geçmiş tecrübeleriyle yolumu aydınlatan ağabeyim Burak KABASAKAL'a,

Teknik konularda desteğinden ötürü çalışma arkadaşım Orhun ARPACI'ya,

Yüksek lisans sürecimin başından sonuna kadar her türlü desteği veren sevgili eşim Gökçe İrem KABASAKAL'a,

Teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Buğra KABASAKAL

ADAPTİF HIZ SABİTLEYİCİ SİSTEMİ TASARIMI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2021

Artan araç kullanımı ve gelişen teknoloji ile beraber insan güvenliği araçlarda dikkate alınan ana konulardan biri olmuştur. Kullanımdaki artışa bağlı olarak araçlardaki güvenlik ve konfor artışı bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyacın karşılanması için sürüş destek sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Sürüş destek sistemleri ile sürücü hatalarına bağlı kazaların azaltılması, sürüş sırasında sürücüye yardımcı olunarak yorgunluk gibi fiziksel etmenlerin azaltılması ve gerekli durumlarda sürücünün uyarılması amaçlanmaktadır. Sürüş destek sistemlerinden biri olan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi ise geleneksel hız sabitleyici sistemine ek olarak önündeki araçlarla güvenli mesafeyi koruyacak şekilde fren ve gaz pedallarının kontrolünü sağlamaktadır. Bu sistemi sürücüler belirli bir hız değerine ayarlayarak önündeki araç ile güvenli bir mesafe bırakarak yolculuk yapabilmektedir. Bu durum sürücülerin yorgunluk seviyesini azaltmakta ve sürücü hatasına bağlı olarak meydana gelebilecek hataları minimuma indirmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemiyle şehirler arası yollara ek olarak şehir içi trafiğinde de hız sabitleyicinin kullanılabilme imkânı sunulmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Adaptif Hız Sabitleyici sistemi kontrolcü tasarımı yapılmış ve araç dinamikleri ile bu kontrolcünün performansı simüle edilmiştir. Tasarlanan bu sistemin farklı kontrolcülerle, farklı araç dinamikleriyle ve kontrolcü içi değişen parametreler ile sonuçları değerlendirilmiş ve optimize edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri, Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi, PID Kontrolcüsü ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi, MPC ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi

ABSTRACT

Buğra KABASAKAL

ADAPTIF HIZ SABİTLEYİCİ SİSTEMİ TASARIMI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2021

With the increasing use of vehicles and developing technology, human safety has been one of the main issue taken into consideration in vehicles. Depending on the increase of the use of vehicles, the safety and comfort of human being in vehicles has become a necessity. In order to meet this need, driving support systems have been developed. The objective of driving support systems is to reduce the accidents due to driver faults, to reduce the physical problems such as being tired due to long driving time and to warn the driver when necessary. The Adaptive Cruise Control System which is one of the driving support system provides control of the brake and accelerator pedals, in addition to the conventional cruise control system, in a way that maintains a safe distance from the vehicles in front. By the usage of Adaptive Cruise Control System, drivers can travel by keeping a safe distance from the vehicle in front of them by adjusting the vehicle's velocity to a certain value. This type of usage reduces the fatigue level of the drivers and minimizes problems that may occur due to driver error. With the invention of Adaptive Cruise Control System, drivers are offered the opportunity to use it in urban traffic in addition to intercity roads, unlike the traditional Cruise Control System. Within the scope of this thesis, an Adaptive Cruise Control System was designed with a proposed controller. In order to test the performance of the controller, the simulations are carried out on Matlab and Simulink by using the Vehicle Dynamics. The designed System are tested with different controllers, different Vehicle Dynamics and several different controller parameters. According to the results of the simulations, the controller parameters have been evaluated and optimized.

KEYWORDS: Advanced Driver Assistance Systems, Adaptive Cruise Control System, Adaptive Cruise Control System with PID Controller, Adaptive Cruise Control System with MPC

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Adaptif Hız Sabitleyici Tarihçesi	4
1.2. Tezin Amacı	5
1.3. Tezin Yapısı.....	6
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
3. MATERYAL	31
3.1. Sürüş Destek Sistemleri	31
3.1.1. Sürüş Destek Sistemlerinin Önemi	31
3.1.2. Sürüş Destek Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	32
3.1.3. Sürüş Destek Sistemlerinde Kullanılan Sensör ve Cihazlar	33
3.2. Sürüş Destek Uygulamaları	34
3.2.1. Hız Sabitleyici Sistemi	34
3.2.2. Adaptif Işık Kontrol Sistemi.....	35
3.2.3. Otomatik Fren Sistemi	36
3.2.4. Otomatik Park Sistemi	37
3.2.5. Kör Nokta Tespit Sistemi.....	37
3.2.6. Kaza Önleme Sistemi	38
3.2.7. Sürücü Yorgunluk Tespit Sistemi	38
3.2.8. Seyrüsefer Sistemi	39

3.2.9. Şerit Takip Sistemi	40
3.2.10. Yokuş Kalkış Destek Sistemi	41
3.2.11. Elektronik Stabilite Sistemi	41
3.2.12. Geri Görüş Kamerası	42
3.2.13. Ön ve Arka Park Sensörleri	43
3.2.14. Trafik İşareti Tanıma Sistemi	43
3.2.15. Kilitlenme Karşıtı Frenleme (ABS) Sistemi	44
3.3. Adaptif Hız Sabitleyici	44
3.3.1. Adaptif Hız Sabitleyici Performans Kriterleri	51
3.3.2. Adaptif Hız Sabitleyici Sistemlerinde Kullanılan Kontrolcüler.....	53
3.3.3. Kullanılan Denetleyici Türleri.....	53
4. TASARIM ÇALIŞMASI.....	61
4.1. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Araç Modellemesi..	61
4.2. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Fren Modellemesi..	64
4.3. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Hızlanma ve Vites Modellemesi	66
4.4. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Şerit Değişim Modellemesi	70
4.5. PID Denetleyicisi ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımı.....	71
4.6. MPC Denetleyicisi ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımı.....	74
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	78
5.1. Senaryo 1	78
5.1.1. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	79
5.1.2. $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	80
5.1.3. $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	82
5.1.4. $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	84
5.1.5. $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	85
5.1.6. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için Sonuçlar	87

5.1.7. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için Sonuçlar	88
5.1.8. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için Sonuçlar	90
5.2. Senaryo 2	96
5.3. Senaryo 3	104
5.4. Senaryo 4	111
5.5. Senaryo 5	116
5.5.1. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	119
5.5.2. $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	125
5.5.3. $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	130
5.5.4. $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	136
5.5.5. $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar	141
5.5.6. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için Sonuçlar	146
5.5.7. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için Sonuçlar	151
5.5.8. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için Sonuçlar	156
5.5.9. MPC Denetleyicisi ile Elde Edilen için Sonuçlar	161
5.6. Senaryo 6	175
5.7. Senaryo 7	182
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	193
KAYNAKLAR.....	196

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Sivaji Tarafından Baz Alınan Araç Modeli Gösterimi [12]	9
Şekil 2.2	Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Simulink Modeli [12]	9
Şekil 2.3	Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Mesafe Zaman Grafiği [12]	10
Şekil 2.4	Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Hız Zaman Grafiği [12]	11
Şekil 2.5	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 1 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]	13
Şekil 2.6	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 1 Hız Zaman Grafiği [45]	13
Şekil 2.7	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]	14
Şekil 2.8	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 Konum Zaman Grafiği [45]	14
Şekil 2.9	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 Hız Zaman Grafiği [45]	15
Şekil 2.10	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]	15
Şekil 2.11	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 Konum Zaman Grafiği [45]	16
Şekil 2.12	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 Hız Zaman Grafiği [45]	16
Şekil 2.13	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]	17
Şekil 2.14	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Hızlanma Sonra Yavaşlama Sırasında Konum Zaman Grafiği [45]	18
Şekil 2.15	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Hızlanma Sonra Yavaşlama Sırasında Hız Zaman Grafiği [45]	18
Şekil 2.16	Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Yavaşlama Sonrasında Durma Sırasında Konum Zaman Grafiği [45]	19

Şekil 2.17 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Yavaşlama Sonrasında Durma Sırasında Hız Zaman Grafiği [45]	19
Şekil 2.18 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]	20
Şekil 2.19 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 Konum Zaman Grafiği [45]	21
Şekil 2.20 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 Hız Zaman Grafiği [45]	21
Şekil 2.21 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Blok Mimarisi [46]	22
Şekil 2.22 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemindeki Öndeki Aracın Hız Zaman Grafiği [46]	23
Şekil 2.23 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemindeki Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Hız Zaman Grafiği [46]	24
Şekil 2.24 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemin Araçlar Arasındaki Mesafe [46]	25
Şekil 3.1 Kullanılan Sensör ve Cihazlar [42]	33
Şekil 3.2 Hız Sabitleyici Sisteminin Blok Diyagramı [74]	35
Şekil 3.3 Adaptif Işık Kontrol Sistemi [42]	36
Şekil 3.4 Otomatik Fren Sistemi [75]	36
Şekil 3.5 Otomatik Park Sistemi [76]	37
Şekil 3.6 Kör Nokta Tespit Sistemi [77]	38
Şekil 3.7 Sürücü Yorgunluk Tespit Sistemi [90]	39
Şekil 3.8 Seyrüsefer Sistemi [93]	40
Şekil 3.9 Şerit Takip Sistemi [94]	40
Şekil 3.10 Yokuş Kalkış Destek Sistemi [95]	41
Şekil 3.11 ESP Sistemi [98]	42
Şekil 3.12 Geri Görüş Kamerası [99]	43
Şekil 3.13 Trafik İşareti Tanıma Sistemi [100]	44
Şekil 3.14 Adaptif Hız Sabitleyici Açıklama [102]	45

Şekil 3.15 Adaptif Hız Sabitleyici Örnek [104]	45
Şekil 3.16 Adaptif Hız Sabitleyici Durum Değişimleri [105]	46
Şekil 3.17 Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Blok Diyagramı [74]	47
Şekil 3.18 Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Ana Değişkenleri [111]	48
Şekil 3.19 Adaptif Hız Sabitleyici Akış Diyagramı	49
Şekil 3.20 Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Çalışma Şekilleri [112]	50
Şekil 3.21 PID Kontrolcüsünün Blok Şeması [123].....	54
Şekil 3.22 PID Akış Diyagramı.....	56
Şekil 3.23 MPC Blok Şeması [126]	59
Şekil 4.1 Araç Modeli [46].....	61
Şekil 4.2 Simulink Araç Modeli	62
Şekil 4.3 Öndeki Aracın Simulink Modeli	63
Şekil 4.4 Arkadaki Aracın Simulink Modeli.....	63
Şekil 4.5 Frenleme İvmesinin Simulink Modeli.....	66
Şekil 4.6 Dişli Oranının Açıklanması [141]	67
Şekil 4.7 Tork, Lastik Yarı Çapı ve Kuvvet İlişkisi [142]	68
Şekil 4.8 Hızlanma İvmesinin Simulink Modeli	70
Şekil 4.9 Şerit Değişikliği Simulink Modeli	71
Şekil 4.10 Araçlar Arası Mesafe Kontrolü için Tasarlanan Kontrolcünün Simulink Modeli	72
Şekil 4.11 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi Tasarımının Araç Takip Senaryosu Simulink Modeli	73
Şekil 4.12 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi Tasarımının Şerit Değişikliği Senaryosu Simulink Modeli	74
Şekil 4.13 Araçlar Arası Mesafe Kontrolü için MPC Kontrolcü ile Tasarlanan Simulink Modeli [144]	75
Şekil 4.14 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi için MPC ile Tasarlanan Simulink Modeli.....	76
Şekil 5.1 Senaryo 1	78
Şekil 5.2 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği.....	79

Şekil 5.3 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği.....	80
Şekil 5.4 Senaryo 1 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği.....	81
Şekil 5.5 Senaryo 1 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği.....	82
Şekil 5.6 Senaryo 1 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği.....	83
Şekil 5.7 Senaryo 1 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği.....	83
Şekil 5.8 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği.....	84
Şekil 5.9 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği.....	85
Şekil 5.10 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği.....	86
Şekil 5.11 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği.....	86
Şekil 5.12 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ Hız Zaman Grafiği.....	87
Şekil 5.13 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ Yol Zaman Grafiği.....	88
Şekil 5.14 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ Hız Zaman Grafiği.....	89
Şekil 5.15 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ Yol Zaman Grafiği.....	89
Şekil 5.16 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ Hız Zaman Grafiği.....	90
Şekil 5.17 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ Yol Zaman Grafiği.....	91
Şekil 5.18 Senaryo 1 K_p Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi.....	92
Şekil 5.19 Senaryo 1 K_p Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi.....	93
Şekil 5.20 Senaryo 1 K_i Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi.....	94
Şekil 5.21 Senaryo 1 K_i Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi.....	95
Şekil 5.22 Senaryo 1 K_d Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi.....	95
Şekil 5.23 Senaryo 1 K_d Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi.....	96
Şekil 5.24 Senaryo 2.....	97
Şekil 5.25 Senaryo 2 Öndeki Araç İçin Giriş Olarak Verilen Hız Zaman Grafiği.....	97
Şekil 5.26 Senaryo 2 Öndeki Aracın Araç Modelinin Çıkarttığı Hız Zaman Grafiği.....	98
Şekil 5.27 Senaryo 2 Öndeki Aracın Araç Modelinin Çıkarttığı Yol Zaman Grafiği.....	98
Şekil 5.28 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Hız Zaman Grafiği....	99
Şekil 5.29 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Vites Grafiği.....	100

Şekil 5.30 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Hız-Vites Grafiği...	100
Şekil 5.31 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Yol Zaman Grafiği	101
Şekil 5.32 Senaryo 2 Araçlar Arası Mesafe Grafiği.....	101
Şekil 5.33 Senaryo 2 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	102
Şekil 5.34 Senaryo 2 Araçların Pozisyonlarının Karşılaştırılması	103
Şekil 5.35 Senaryo 3 İlk Kısım.....	104
Şekil 5.36 Senaryo 3 İkinci Kısım.....	104
Şekil 5.37 Senaryo 3 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi	105
Şekil 5.38 Senaryo 3 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği.....	106
Şekil 5.39 Senaryo 3 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği	106
Şekil 5.40 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	107
Şekil 5.41 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Vites Grafiği	107
Şekil 5.42 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Hız-Vites Grafiği	108
Şekil 5.43 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	108
Şekil 5.44 Senaryo 3 Araçlar Arası Mesafe	109
Şekil 5.45 Senaryo 3 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	109
Şekil 5.46 Senaryo 3 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması.....	110
Şekil 5.47 Senaryo 4 İlk Kısım.....	111
Şekil 5.48 Senaryo 4 İkinci Kısım.....	112
Şekil 5.49 Senaryo 4 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi	112
Şekil 5.50 Senaryo 4 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği.....	113
Şekil 5.51 Senaryo 4 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği	113
Şekil 5.52 Senaryo 4 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	114
Şekil 5.53 Senaryo 4 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	114
Şekil 5.54 Senaryo 4 Araçlar Arası Mesafe	115
Şekil 5.55 Senaryo 4 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	115
Şekil 5.56 Senaryo 4 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması.....	116

Şekil 5.57 Senaryo 5	117
Şekil 5.58 Senaryo 5 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi	118
Şekil 5.59 Senaryo 5 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği.....	118
Şekil 5.60 Senaryo 5 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği	119
Şekil 5.61 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	120
Şekil 5.62 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	121
Şekil 5.63 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	122
Şekil 5.64 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	123
Şekil 5.65 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	124
Şekil 5.66 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	125
Şekil 5.67 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	126
Şekil 5.68 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	127
Şekil 5.69 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	128
Şekil 5.70 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	129
Şekil 5.71 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	131
Şekil 5.72 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	132
Şekil 5.73 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	133
Şekil 5.74 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	134
Şekil 5.75 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	135
Şekil 5.76 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	136

Şekil 5.77 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	137
Şekil 5.78 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	138
Şekil 5.79 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	139
Şekil 5.80 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	140
Şekil 5.81 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	141
Şekil 5.82 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	142
Şekil 5.83 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	143
Şekil 5.84 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	144
Şekil 5.85 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	145
Şekil 5.86 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	146
Şekil 5.87 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	147
Şekil 5.88 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	148
Şekil 5.89 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	149
Şekil 5.90 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	150
Şekil 5.91 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	151
Şekil 5.92 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	152
Şekil 5.93 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	153
Şekil 5.94 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	154
Şekil 5.95 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	155

Şekil 5.96 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	156
Şekil 5.97 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	157
Şekil 5.98 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği	158
Şekil 5.99 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	159
Şekil 5.100 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması	160
Şekil 5.101 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği	161
Şekil 5.102 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	162
Şekil 5.103 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçlar Arası Mesafe Grafiği	163
Şekil 5.104 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçların Hızlarının Karşılaştırılması.....	164
Şekil 5.105 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması	164
Şekil 5.106 Senaryo 5 K_p Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	166
Şekil 5.107 Senaryo 5 K_p Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği..	167
Şekil 5.108 Senaryo 5 K_i Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	168
Şekil 5.109 Senaryo 5 K_i Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği .	168
Şekil 5.110 Senaryo 5 K_d Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	169
Şekil 5.111 Senaryo 5 K_d Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği.	170
Şekil 5.112 K_p , K_i , K_d ve MPC'nin Aracın Hızına Etkisi	170
Şekil 5.113 K_p , K_i , K_d ve MPC Mesafe Karşılaştırma Grafiği	171
Şekil 5.114 Senaryo 6 İlk Kısım.....	176
Şekil 5.115 Senaryo 6 İkinci Kısım.....	176
Şekil 5.116 Senaryo 6 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi	177
Şekil 5.117 Senaryo 6 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği.....	177
Şekil 5.118 Senaryo 6 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği	178
Şekil 5.119 Senaryo 6 Öndeki Aracın Şerit Bilgisi	178
Şekil 5.120 Senaryo 6 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	179

Şekil 5.121 Senaryo 6 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	179
Şekil 5.122 Senaryo 6 Araçlar Arası Mesafe Grafiği	180
Şekil 5.123 Senaryo 6 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	181
Şekil 5.124 Senaryo 6 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması	182
Şekil 5.125 Senaryo 7 İlk Kısım.....	183
Şekil 5.126 Senaryo 7 İkinci Kısım.....	184
Şekil 5.127 Senaryo 7 Üçüncü Kısım.....	184
Şekil 5.128 Senaryo 7 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi	185
Şekil 5.129 Senaryo 7 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği.....	185
Şekil 5.130 Senaryo 7 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği	186
Şekil 5.131 Senaryo 7 Öndeki Aracın Şerit Bilgisi	186
Şekil 5.132 Senaryo 7 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği.....	187
Şekil 5.133 Senaryo 7 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği	188
Şekil 5.134 Senaryo 7 Araçlar Arası Mesafe	189
Şekil 5.135 Senaryo 7 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması	190
Şekil 5.136 Senaryo 7 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması	191

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Kp, Ki ve Kd Denetleyicisinin Etkileri [124]	55
Tablo 4.1 Hız Aralıklarına Göre Tanımlanan Vites	69
Tablo 4.2 Viteslere Göre Dişli Oranı [143]	69
Tablo 5.1 Senaryo 1 Kp Değerlerinin Aracın Hızlanmasına Etkisi	93
Tablo 5.2 Senaryo 1 Ki Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi	94
Tablo 5.3 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar ..	124
Tablo 5.4 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	125
Tablo 5.5 Senaryo 5 Kp = 1000, Ki = 80, Kd = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar ..	130
Tablo 5.6 Senaryo 5 Kp = 1000, Ki = 80, Kd = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	130
Tablo 5.7 Senaryo 5 Kp = 2500, Ki = 80, Kd = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar ..	135
Tablo 5.8 Senaryo 5 Kp = 2500, Ki = 80, Kd = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	136
Tablo 5.9 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 50, Kd = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar ..	140
Tablo 5.10 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 50, Kd = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	140
Tablo 5.11 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 100, Kd = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	145
Tablo 5.12 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 100, Kd = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	146
Tablo 5.13 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 25 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	150
Tablo 5.14 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 25 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	150
Tablo 5.15 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 100 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	155
Tablo 5.16 Senaryo 5 Kp = 2000, Ki = 80, Kd = 100 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	155

Tablo 5.17 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 250$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	160
Tablo 5.18 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 250$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	161
Tablo 5.19 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	165
Tablo 5.20 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	165
Tablo 5.21 Senaryo 5 Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar	172
Tablo 5.22 Senaryo 5 Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar.....	174



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems- Gelişmiş Sürücü Yardım Sistemleri
ABS	Anti Lock Braking System – Kilitlenme Karşısı Frenleme Sistemi
ACC	Adaptive Cruise Control – Adaptif Hız Sabitleyici
A_h	Arkadaki Aracın İvmesi
A_t	Öndeki Aracın İvmesi
BM	Birleşmiş Milletler
B-BAC	Balance Based Adaptive Control – Balans Tabanlı Adaptif Kontrolcü
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control – Kooperatif Adaptif Hız Sabitleyici
CAN	Controller Area Network – Kontrol Alan Ağı Veri Yolu
DMC	Dinamik Matris Kontrolcüsü
DSC	Dinamik Stabilite Programı
ECU	Electronic Control Unit – Elektronik Kontrol Birimi
K_p	Oransal Kazanç
K_i	İntegral Kazancı
K_d	Türevsel Kazanç
LIDAR	LIDAR Light Detection and Ranging- Işık Tespit ve Mesafeleme Sistemi
MPC	Model Predictive Controller – Model Tahmin Kontrolcüsü
SADP	Supervised Adaptive Dynamic Programming – Denetimli Uyarlanabilir Dinamik Programlama
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
V2V	Vehicle to Vehicle Communication – Araçtan Araca İletişim
V2I	Vehicle to Infrastructure Communication – Araçtan Altyapıya İletişim
V2X	Vehicle to Everything Communication – Araçtan Her Şeye İletişim
ESP	Elektronik Stabilite Programı
ESC	Elektronik Stabilite Kontrolü
X_h	Arkadaki Aracın Pozisyonu
V_h	Arkadaki Aracın Hızı
X_t	Öndeki Aracın Pozisyonu
V_t	Öndeki Aracın Hızı
V_r	Araçlar Arası Hız Farkı
X_r	Araçlar Arası Mesafe Farkı

1. GİRİŞ

Karl Benz tarafından ilk otomobilin 19. yüzyılda icat edilmesiyle birlikte, otomobiller kısa sürede dünyada en çok tercih edilen ulaşım aracı olmuştur. Otomotiv endüstrisindeki kayda değer gelişmeler hem özel hem de ticari araç uygulamalarında hızla artan bir hareketliliğe yol açmaktadır [1]. Seri üretim teknolojilerindeki gelişmelerle beraber otomobiller uygun fiyatlı ve tüm dünyada halkın rahatlıkla ulaşabileceği bir hale gelmiştir. Bu ulaşılabilirlik beraberinde araç satın alma isteğini artırmıştır. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre 2021 Ocak ayı sonunda Türkiye'deki toplam araç sayısı 24 milyon 256 bin 741 adet ile ortalama 4 kişiye 1 araç düşmektedir [2]. Otomobiller sayesinde daha uzun ve daha hızlı yolculuklar kolayca sağlanabilir hale gelmiş ve insanların yaşam kalitesi büyük ölçüde artmıştır. Artık günlük yaşantımızın hemen hemen her evresinde otomobillere bağımlı olarak yaşanmaktadır. Araç kullanımındaki artışa bağlı olarak yaşanan kaza ve ölüm gibi istenmeyen olayların da sayısı artmış ve bu kazaların neredeyse tamamının sürücünün yaşadığı dikkat dağınıklığı, kaza anında sürücünün yaşadığı kararsızlıklar veya sürücünün içerisinde bulunduğu durumu anlamakta güçlük çekmesi gibi sürücü kaynaklı problemlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir [3]. Bu durumunun önüne geçmek için farklı teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmiştir. Buna ek olarak, gelişen teknoloji ile beraber insanoğlunun konfor ihtiyaçlarını karşılayabilmek için farklı teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada trafik kazalarında 1.2 milyon kişinin öldüğü ve 20-50 milyon arası insanın yaralandığı raporlanmıştır [4]. Amerika Birleşik Devletleri'nde 2011 yılında yapılan bir araştırmaya göre ABD'de ortalama her yıl 33.000 kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmektedir [5]. TÜİK tarafından yayınlanan istatistiklere göre ülkemizde 2009 ile 2019 yılları arasında trafik kazalarında hayatını kaybedenlerin toplam sayısı 57.568'dir [6]. Yine aynı TÜİK araştırmasına göre ölümlü kazaların sebepleri arasında sürücü kusurları %88 ile ilk sırada bulunmaktadır. Başka bir araştırmaya göre, kazaların %90'ı dikkat kaybı, yanlış karar verme ve sürücünün durumundan haberdar olmama gibi insan hatalarından kaynaklanmaktadır [7]. Trafik kazalarındaki ölüm ve yaralanmalar ön planda olmak üzere modern dünya şartlarında yaşanan otomasyon sürecine paralel olarak, araç güvenliğini arttırarak istenmeyen olayların önüne geçmek, sürücüler için araç kullanımını kolaylaştırmak ve sürücülerin yorgunluğunu azaltmak için, yeni teknolojiler günümüz araçlarında kullanılmakta ve devamlı olarak geliştirilmektedir. İlk olarak araçlara emniyet

kemer ve hava yastığı gibi pasif sistemler eklenmiş, son 10 yıldır ise ADAS (Gelişmiş Sürücü Yardım Sistemleri) araçlara entegre edilmeye başlanmıştır [5]. Ulaşım araçlarının otomasyonu ve yapay zekâ gibi teknolojilerin entegrasyonu ile kaza risklerinin azaltılması, araç güvenliğinin artırılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve sürücü ve yolcu konforunun artırılması amaçlanmaktadır [8]. Son yıllarda otomotiv endüstrisinin geliştirme ve araştırma çalışmaları, araçlardaki güvenlik ve konforu arttırmaya yoğunlaşarak araç üstü akıllı sistemlerin, ADAS'ın kullanılabilirliği tartışılmaya başlamıştır [9]. ADAS teknolojilerinin temelinde sürüş güvenliği ve denetimine yardımcı olabilecek sistemlerin tasarlanması yer almaktadır. ADAS'ın temel amacı, nesneleri, sürücü davranışını, aracın durumunu inceleyerek ve mevcut insan-makine arayüzünü kullanarak araç güvenliğini iyileştirmektir [10]. ADAS, sürücüye önemli ve kritik bilgileri sağlar ve yüksek insan hassasiyeti gerektiren görevleri otomatikleştirerek sürüş ve yol güvenliğini arttırmayı amaçlar. ADAS sistemlerinin yaygınlaşması ve gelişmesiyle beraber, can kayıplı veya maddi hasarlı kazalar her geçen gün azalmaktadır. Araç sayısındaki hızlı artış sebebiyle özel araç üreticileri araç içi ADAS sistemlerinin sayısını arttırmaktadır. ADAS bileşenleri olarak; hız sabitleyici, ABS (Automatic Braking System, Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi), otomatik park sistemi, park sensörü ve kör nokta tespit sistemi örnek olarak verilebilir [11].

Bu bileşenlerden hız sabitleyici ya da hız kontrol sistemi, günümüz teknolojisinde otomobillerde yaygın olarak bulunan bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Hız sabitleyici özelliği sayesinde sürücü tarafından belirlenen hız korunur ve bu sayede sürücünün hız göstergesini devamlı kontrol etmesi ya da gaz pedalı veya fren kontrol sistemi üzerindeki baskıyı ve basıncı ayarlamak için çaba sarf etmesine gerek kalmamaktadır [12]. Hız sabitleyici sistemi, aracın sahip olduğu hızı korumak için kullanılan bir servo mekanizma sistemidir. Hız sabitleyici sistemin temel prensibi, sürücü tarafından belirlenen hızı korumak için gaz pedalının kontrolünü almaktır. Böylece, sürücünün sürekli gaza basmasına ihtiyaç duymadan sürücünün yorgunluğunun azaltılması sağlanmaktadır. İlk geleneksel hız sabitleyici sistemi "Chrysler 1958 Imperial" aracında kullanılmıştır [13]. Geleneksel hız sabitleyici sisteminde sürücü istenilen hıza arabayı sabitleyerek kullanır. Bu sistem, çevre şartlarından ve diğer araçlardan bağımsızdır ve ancak sürücüye bağımlıdır. Aracın önündeki araç yavaşladığında sürücü müdahale ederek aracı yavaşlatmalı veya öndeki aracı geçmelidir.

Gelişen teknoloji ile birlikte radar ve sensör kullanımı artmış, bu artış beraberinde yeni teknolojik gelişmeleri getirmiştir. Bu gelişmelerden biri olarak ortaya çıkan Adaptif Hız Kontrol Sistemi geleneksel hız sabitleyici sisteminin gelişmiş bir versiyonudur. Adaptif Hız

Kontrol Sistemi, günümüzde otomotiv dünyasında ve akıllı ulaşım sistemlerindeki en popüler araştırma konularından biridir [14], [15]. Bu sistemin yaygın olarak araştırılmasındaki sebepler ise sürücü ve insan güvenliğini arttırmak ve trafik kontrolünü daha etkili kılmaktır [16].

Geleneksel hız sabitleme sistemi sürücü tarafından ayarlanan ve istenen hızı korurken, Adaptif Hız Sabitleyici (Automatic Cruise Control) sistemi ise buna ek olarak öndeki araca göre güvenli mesafeyi korumaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin görevi aracın öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyarak hızını değiştirmesi ve aracın önünde bir engel olmadığı takdirde geleneksel hız sabitleyici gibi sabit bir hızla yola devam etmesidir [17]. Öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruması sebebiyle Adaptif Hız Sabitleyici kapalı döngü sistem olarak kabul edilirken geleneksel hız sabitleme sistemi ise açık döngü sistem olarak kabul edilebilir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin asıl kullanım alanı olarak otobanlar düşünülmüştür [18]. Ancak, ilk tasarım Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde kontrol sisteminin sadece gaz pedalı üzerinde etkisinin olması ve 30 km/sa'den düşük hızlarda çalışmaması nedeniyle bu sisteme fren kontrolü de eklenmiştir [19]. Bu eklentiyle beraber sistemin şehir içinde ve trafikte de kullanılabilir olması amaçlanmıştır [20]. Gaz ve fren pedallarının kontrolü sistemin kapsamlı matematiksel modelleri dikkate alınarak yapılmaktadır [21].

Adaptif Hız Sabitleyici sistemi yolcu güvenliğinin artırılmasını ve trafikteki araçların düzen içerisinde hareket etmesini sağlamak amacıyla ilk olarak lüks araçlarda isteğe bağlı bir sistem olarak yer almaktaydı. Bugün ise hemen hemen tüm otomobil üreticileri bu sistemin yalnızca lüks araçlarda değil orta seviye araçlarda da yer almasını hedeflemekte ve Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin kullanım alanı bu yönde gelişim göstermektedir [3].

Adaptif Hız Sabitleyici sistemi iki alt birimden oluşmaktadır. Bu alt birimler, kontrol ve algılayıcılardır. Algılayıcı biriminin amacı, görüş alanı hakkında bilgi vermek, kontrol biriminin amacı gelen verileri işleyerek araç ile öndeki araç arasındaki mesafeyi güvenli seviyede tutmaktır [22]. Bu sistem, araç radar veya sensörlerinden gelen verileri işleyerek, çevre araçlar ile mesafeyi güvenli ölçüde tutarak aracın hızını ayarlamaktadır. Başka bir deyişle, öndeki aracın istenen hızdan daha düşük bir hızda hareket ettiği tespit edilirse, sistem ana aracı yavaşlatarak güvenli mesafeyi korumaktadır. Bu sistem için genellikle hava koşullarından daha az etkilendiği için radar tercih edilmektedir. Araçta bulunan radardan gelen veriler Adaptif Hız Sabitleyicinin kontrolcüsüne iletilir. Bu kontrolcünün görevi motor ve fren sistemlerini kontrol etmektir. Çevresel bilgiler geldikten sonra kontrol sistemi aracın hız eyleyicisini ve ihtiyaç duyulursa fren sistemini kontrol etmektedir.

Adaptif Hız Sabitleyici sistemi ile araç takip süreci esnasında, öndeki aracın hızı takip edilerek güvenli bir mesafe bırakılmaktadır. Bu durum can sağlığı ve kazaların önlenmesini sağlamaktadır [23]. Adaptif Hız Sabitleyici sistemleri büyük ölçüde arkadan ve yandan çarpma olasılığını azaltmakta ve sürücüsüz arabaların geliştirilmesinde temel bileşen olmaktadır. Bu sistem, çarpışmadan kaçınma sistemleri için ilk adımdır ve kazaların sayısını veya ciddiyetini önemli ölçüde azaltmak için faydalı olabilecek bir sistemdir [24].

Günümüzdeki Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde sürücü, sistemi devre dışı bırakabilme imkânına sahiptir. Sürücü frene veya gaz pedalına bastığında sistem Adaptif Hız Sabitleyici sistemi devre dışı kalmaktadır. Bu durum, acil durumlarda sürücünün aracın kontrolünü eline almasına ve aracın manevrasını kontrol etme hakkına sahip olmasına imkân vermektedir [25] .

Konfor ve güvenlik avantajlarına ek olarak, Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin trafik güvenliği, trafik akışı ve ekonomik olarak da olumlu etkileri olmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin kullanımıyla beraber araçlar arası mesafenin azalabilecek olması ve daha yüksek hızlarda yolculuğun mümkün olacak olması sebebiyle otoyollardaki araç kapasitesinin artması, trafik akışının daha düzenli hale gelmesi ve araçların yakıt tüketiminin azalması beklenmektedir [26], [27].

1.1. Adaptif Hız Sabitleyici Tarihçesi

Hız Sabitleyici Sistemi'nin temelleri 1940'lı yıllarda otomobillerin hızının elektrikle kontrol edilebilen bir cihaz kullanılarak manipüle edilebileceği düşüncesine dayanmaktadır. İlk başlarda, hız kontrol sistemleri ile pedal üzerine baskı uygulamak yerine, gaz pedalının arabanın hızını kontrol edebilecek eyleyici bağlı bir kablo ile aktif hale getirilmesi amaçlanmıştır. Ancak, bazı çevre ve durumsal faktörler dikkate alınmaksızın hız kontrol sistemlerinin uygulanması istenmeyen sonuçlar doğurmuş ve bu sebeple geçmişe dönülmesine neden olunmuştur [28].

Bahsedilen çevresel ve durumsal faktörlerin hız kontrol sistemleri ile daha iyi bir şekilde bağdaşabilmesi için Adaptif Hız Sabitleme veya otonom hız kontrolü olarak bilinen iyileştirilmiş stratejiler geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur [28]. Bu kapsamda yapılan ilk Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi çalışması 1986 yılında Avrupa' da birçok araba üreticisinin katılımıyla Prometheus projesiyle başlamıştır [19].

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin ilk örneklerinde sadece öndeki araç ile olan takip mesafesi ölçülmekte ve Adaptif Hız Sabitleyici aracının hızı bu mesafeye göre ayarlanmaktaydı. İlk olarak, Japon Mitsubishi firması LIDAR (Light Detection and Ranging) kullanarak “Diamante” adında bir Adaptif Hız Sabitleyici tasarlayarak 1995 yılında bu sistemi ürettiği araçlara entegre etmeye başladı. Daha sonra Mercedes (Daimler) ile Chrysler, “Distronic Adaptif Hız Sabitleyici” adını verdikleri radarı kullanarak mesafe ölçümü yapan ve frenleme yapabilen Adaptif Hız Sabitleyici sistemini 2000 yılında geliştirdi. Adaptif Hız Sabitleyici ile “Start&Stop” adı verilen teknolojinin birleşmesinden oluşan sistem ise 2006 yılında Toyota tarafından ortaya çıkarıldı [29]. Günümüzde ise bu sistemin daha da geliştirilerek, araçların birbirleri ile haberleştiği bir hız kontrol sistemi kurulmak istenmektedir. Bu sistemin adı ise CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) yani eşgüdümlü ayarlanabilir hız kontrol sistemidir [30].

Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geliştirme çalışmaları günümüzde halen devam etmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin trafikte kullanılabilmesi amacıyla Stop&Go özelliğinin eklenmesi amaçlanmaktadır. Bu sistemin eklenmesi için radar, lazer ve görüntü işleme sistemlerinin bütünleşik olarak kullanılması düşünülmektedir [31]. Volkswagen grubu tarafından 2004 yılında yayımlanan “The Next Generation ADC+F2S” isimli raporda öngörülen sistem ile araç ihtiyaç duyulduğu takdirde tamamen duracaktır [32].

1.2. Tezin Amacı

Her geçen gün daha da gelişen ADAS teknolojileriyle birlikte, seyir halindeki araçlardaki birçok kritik karar bu sistemlerin yardımlarıyla alınmaya başlamıştır. Araçların sahip oldukları güvenlik, konfor ve lüks özelliklerin neredeyse tamamı ADAS sistemleri ile sağlanmaktadır. Bu sistemler, oldukça kompleks tasarım ve yazılımlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, bu sistemleri geliştirmek ve araçlara entegre etmek kolay değildir.

Bu tez kapsamında, önemli ADAS sistemlerinden biri olan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımı ve benzetimi yapılacaktır. Bu tasarımın daha gerçekçi olması için basitleştirilmiş araç modelleri, basitleştirilmiş frenleme modeli, basitleştirilmiş vites ve hızlanma modeli ve basitleştirilmiş şerit değişimi algılama bloğu tasarlanacaktır. Adaptif Hız Sabitleyici tasarımında en yaygın kullanılan PID ve MPC denetim dizgeleri kullanılacaktır. PID denetim mekanizmasının performansını değerlendirmek için farklı K_p , K_i ve K_d değerleri kullanılacak ve bu değerlerin tasarıma etkisi değerlendirilecektir. Aynı

transfer fonksiyonu ve araç modeli kullanılarak MPC denetim mekanizması ile de Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanacak ve PID ile MPC denetim mekanizmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanacaktır.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez giriş bölümünü takip eden 5 bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde adaptif hız kontrol sistemi ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar açıklanmıştır. Literatürde bulunan Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarımı hakkında yapılan çalışmalarda kullanılan denetleyiciler, kurulan kontrol mekanizmaları, performans kriterleri ve bazı çalışmaların araç modelleri, Simulink modelleri ve sonuçları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde sürücü destek sistemleri hakkında özet bilgi verilmiş ve bu sistemlerde temel olarak kullanılan radar ve LIDAR gibi bazı cihazlardan bahsedilmiştir. Bu bölümün devamında ise bazı sürücü destek sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Sürücü destek sistemlerinden olan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi ise çalışma prensibi, performans kriterleri, kontrol mekanizması, akış diyagramı ve durum geçişleri açısından açıklanmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarımında sık olarak kullanılan ve bu tezin de konusu olan PID denetleyicisi ile MPC denetleyicisinin avantajları, dezavantajları, çalışma prensipleri ve matematiksel modelleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde bu tez kapsamında yapılan Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarımının PID ile yapılan Simulink modeli, MPC ile yapılan Simulink modeli, temel alınan araç modelleri, tasarlanan frenleme modeli, tasarlanan vites ve hızlanma modeli ve tasarlanan şerit değişikliği modeli açıklanmıştır.

Beşinci bölümde tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin hareketinin gözlemlenmesi için tasarlanmış senaryolar belirtilmiştir. Tasarlanan her bir senaryo sistemin başka bir özelliğini denemektedir. Bu senaryolara göre tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici modelleri değerlendirilmiştir. Bu bölümde, PID ve MPC denetleyicinin kullanımı, elde edilen sonuçlar verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, PID ve MPC kontrollerin karşılaştırılması ve PID denetleyicisindeki K_p , K_i ve K_d değerlerinin elde edilmek istenilen sonuç üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırması verilmiştir. Ayrıca, bu tez kapsamına katılmamış fakat gelecekte yapılmasının faydalı olduğu düşünülen noktalardan bahsedilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde ilk olarak sürücü tarafından gitmek istenilen hız ayarlanır ve aracın sahip olduğu sensörler (Radar ve LIDAR gibi) aracılığıyla mesafe kontrolleri yapılarak öndeki araca uygun olarak seyir hızı azaltılabilir veya sabit tutulabilir. Bu durum, sürücünün trafikteki gaz ve fren yükünü azaltmaktadır [33]. Literatürdeki araştırmalarda Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin sürücü faktörünü gerçekleştirmesinin öneminden bahsedilmiş ve bu sebeple PID kontrolcüsünün yetersiz kalabileceğine değinilmiştir. Bu çalışmalarda, bir üst seviye ve bir alt seviye kontrolcüsü olması gerektiğinden bahsedilmektedir. Üst seviye kontrolcüsünün öndeki araç ile aradaki mesafeye göre Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın ivmesini veya hızını hesaplaması, üst seviye kontrolcü tarafından belirlenen bu ivme ve hız değerinin Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç tarafından uygulanmasını amaçlayan bir alt seviye kontrolcü yapısı bulunmaktadır [34]. Literatürde Adaptif Hız Sabitleyici üzerinde yapılan çalışmalarda genellikle üst seviye kontrolcü tasarımı üzerinde durulmuş ve alt seviye kontrolcünün ivme ve hız referansını sağladığı düşünülmüştür. Üst seviye kontrolcüsünün klasik bir hız sabitleyici ile Adaptif Hız Sabitleyici arasında anahtarlama yapacak şekilde tasarlandığı bir çalışmada, Adaptif Hız Sabitleyici aracının önünde bir araç bulunmadığı durumda üst seviye kontrolcünden alt seviye kontrolcüye iletilen hız ve ivme referansı sürücü tarafından ilk aşamada girilen değerdir. Eğer Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın önünde bir araç varsa üst seviye kontrolcüsü zaman farkı kontrol algoritmasını aktif ederek, PI kontrolcüsü ile güvenli mesafe hatasını kontrol ederek bu bilgileri alt seviye kontrolcüye iletmektedir. Alt seviye kontrolcüsünde ise gaz ve fren için oluşturulan ayrı kontrolcüler tarafından üst seviyeden gelen referans değerler ile gaz ve fren kontrolü sağlanmaktadır. [35].

Bu çalışmalara ek olarak, bazı çalışmalarda bulanık mantık metotları kullanılmıştır. Ko ve Lee tarafından yapılan çalışmada [36], üst seviye kontrolcüsü olarak bulanık mantık metodu kullanılmış ve kontrolcüye araçlar arasındaki mesafenin hatası, bu hatanın türevi, araçlar arasındaki hız farkı ve Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın ivmesi kullanılmıştır.

Peppard [37], 1974 yılında bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlamıştır. Bu tasarımın temelinde aracın hızı, önündeki ve arkasındaki araçlarla olan mesafesi kullanılmıştır. Araçlar arası mesafenin sabit kalması gerektiğini belirterek bağıl hareketin

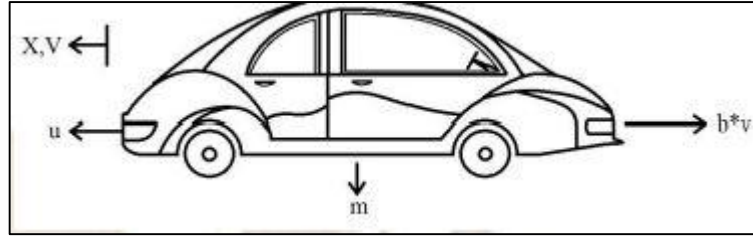
dizi kararlılığını temel alan geri besleme kontrol algoritmasını sağlamak amacıyla PID kontrolcüsü kullanmıştır.

Junell ve Tumer [38] tarafından yapılan çalışmada ise yapay sinir ağları kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı senaryolar denenmiş fakat performans veya başarı olarak bir sonuca varılamamıştır. Bir diğer yöntem olarak MPC (Model Predictive Control) kullanılmıştır. Bu kontrolcü makine öğrenmesine benzemekte ve her kıstas farklı ağırlığa sahip olabilmektedir. Li ve Rajamani [39] tarafından yapılan çalışmada, Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımında konfor, sürücü güvenliği ve yakıt tasarrufu gibi farklı durumlara dikkat edilmesi gerektiği ve bu sebeple MPC metodunun kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, alt seviye kontrolcüsü için doğrusal araç dinamikleri kullanılmış ve araçlar arası mesafenin hesaplanması için zaman farkı uygulanmıştır. Konfor, güvenlik ve yakıt tasarrufu kıstasları için farklı ağırlıklar tanımlanarak problem formüle edilmiştir.

Kohut, Hedrick ve Borelli [40] tarafından yapılan çalışmada ise yakıt tasarrufunun sağlanması amaçlanmış ve bu amaç için mesafe ayarlaması için zaman farkı yerine mesafe ölçümü seçilmiştir.

Ying ve Solomon tarafından yapılan çalışmada [24] Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde düşük seviye kontrolcü olarak PI kontrolcüsünün, üst seviye kontrolcü olarak MPC kullanılmasının etkinliği incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı senaryolar ile tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici mimarisinin başarısı ölçülmüştür.

Literatürdeki Sivaji ve Sailaja tarafından yapılan çalışmada [12], Adaptif Hız Sabitleyici sistemine “stop&go” eklenmeye çalışılmış ve akıllı bir aracın hibrit PID kontrolcüsü kullandığı senaryo incelenmiştir. Bu çalışmada, hibrit PID kontrolcüsünün mesafe ve hız takibini sağladığı ve araç ivmelenmesinin yumuşak olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Şekil 2.1’de görülen araç modeli temel alınmış ve bu araç modeline bağlı olarak Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin açık döngü transfer fonksiyonu Denklem 2.1 ile tanımlanmıştır;

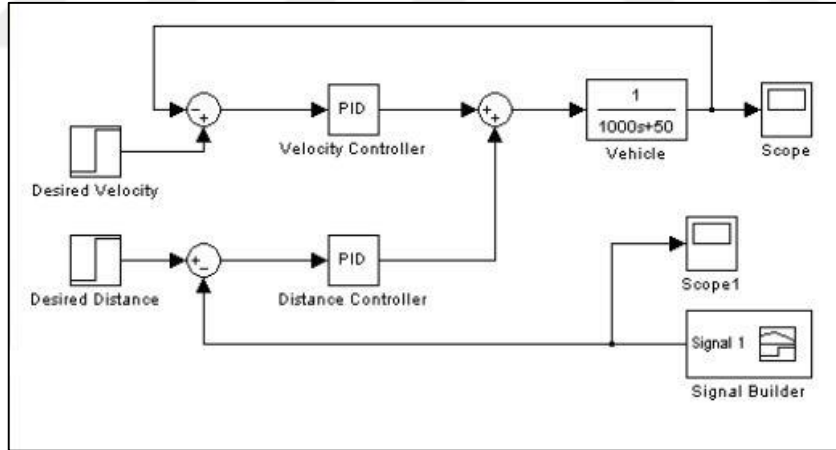


Şekil 2.1 Sivaji Tarafından Baz Alınan Araç Modeli Gösterimi [12]

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms+b} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 ile tanımlanan transfer fonksiyonunda m aracın kütleini, b aracın maruz kaldığı sürtünme kuvvetini, v aracın hızını ve u aracın motor gücünü göstermektedir. Bu denkleme istinaden tanımlanan aracın Simulink modeli Şekil 2.2’de ve sistem dinamiği Denklem 2.2’de tanımlanmaktadır.

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{1000s+50} \quad (2.2)$$

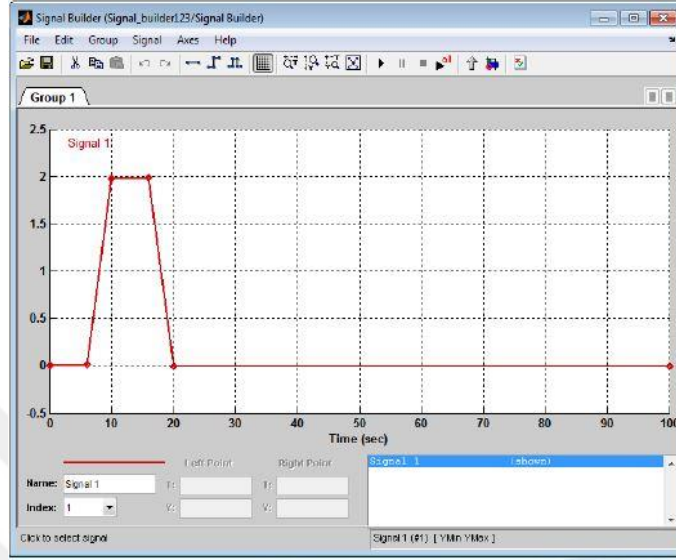


Şekil 2.2 Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Simulink Modeli [12]

Bu tasarımda, istenilen mesafe ve istenilen hız dışarıdan sabit olarak tanımlanmıştır. Araçlar arasındaki gerçek mesafenin değişimi ise bir sinyal oluşturucu ile tanımlanmış ve gözlenmiştir. Sinyal oluşturucudan elde edilen veriler mesafe kontrolü için negatif geri besleme olarak kullanılmıştır. İstenilen mesafeden öndeki aracın mesafesini çıkartıp PID kontrolcüsüne sokarak mesafe kontrolü yapılması amaçlanmıştır. Araç modelinden çıkan

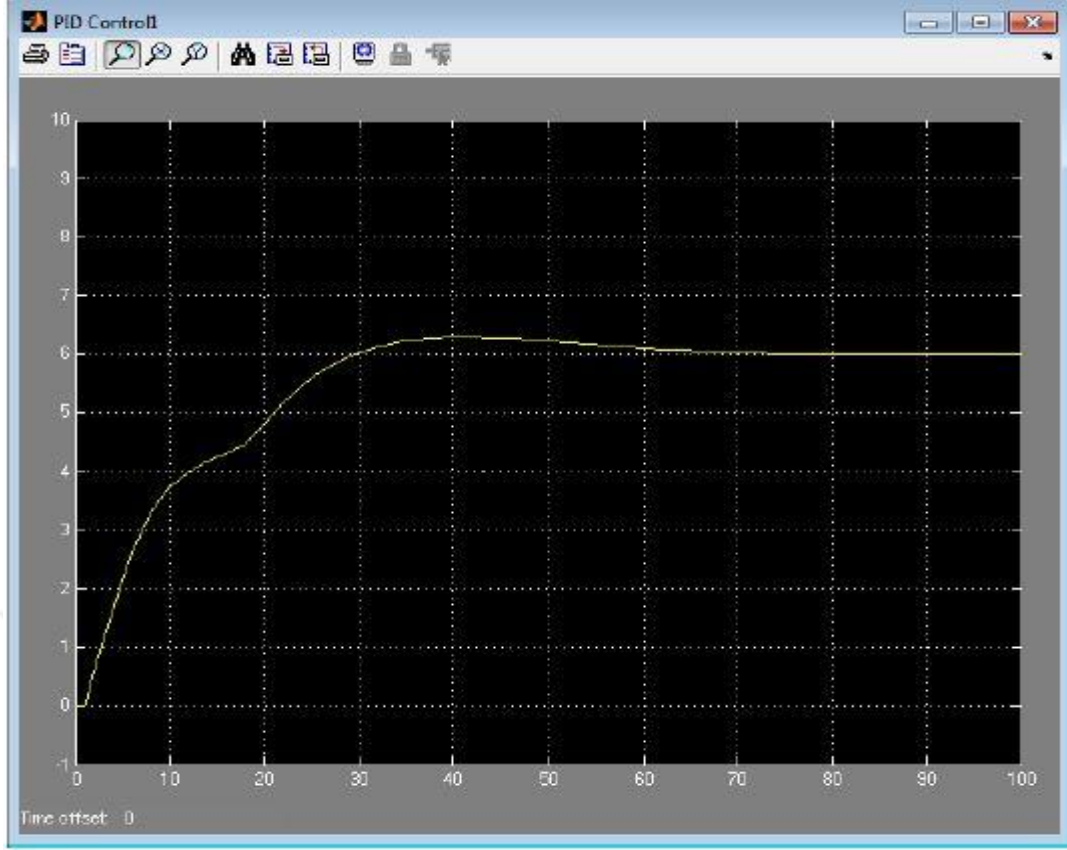
hız bilgisi ise istenilen hız ile farkı alınarak PID kontrolcüsüne sokulmuştur. PID kontrolcüsünün çıktılarının toplamı ise araç modelinin girişini oluşturmaktadır [12].

Bu tasarımın sonucu olarak elde ettikleri sonuçlar Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Mesafe Zaman Grafiği [12]

Şekil 2.3’de mesafe değişimini gösteren sinyal oluşturucunun çıktısı görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere, araçlar ilk başta istenilen mesafe kadar uzakta hareket etmektedirler. Daha sonra, 6’ncı saniyeden itibaren öndeki aracın ani hızlanmasına bağlı olarak araçlar arası mesafe artmaya başlamıştır. Bu durum PID kontrolcüsünü tetiklemiş ve yaklaşık 4 saniye sonra araçlar arası mesafe tekrar sabitlenmiştir. Sabitlenen mesafe farkı istenilen mesafeden fazla olduğu için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi aracı hızlandırarak 20’inci saniyeden itibaren tekrar araçlar arası mesafe farkını istenilen mesafeye indirmiştir. 20’inci saniyeden 100’üncü saniyeye kadar araçlar arası mesafe farkı istenilen mesafede kalmıştır [12].



Şekil 2.4 Sivaji ve Sailaja Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Hız Zaman Grafiği [12]

Şekil 2.4’de sistemin hız zaman grafiği gösterilmektedir. Bu grafikte, aracın istenilen mesafeyi korumak için öndeki aracın hızlanmasına bağlı olarak hızlandığı ve 30’uncu saniyeden sonra bir müddet salınım yaptıktan sonra sabitlendiği görülmektedir [12].

Ionnau tarafından yapılan çalışmada [41] zaman farkı kontrolüne dayanan bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tanımlamıştır. Bu metoda göre, istenilen mesafe aracın hızına değil sabit zaman farkına dayanmaktadır. Algoritma sabit bir zaman farkı yaratarak aracın hızını bu farka göre belirlemektedir. Dış döngü ivme referansı gaz ve fren pedallarının konumlarını belirler. İç döngü ise dış döngüden gelen bilgileri kullanarak gaz ve fren davranışlarını gerçekleştirir.

Luo tarafından yapılan başka bir çalışmada [42] ise, MPC ile iş birliği yapan bir Adaptif Hız Sabitleyici algoritması önerilmektedir. Bu çalışmada, iç döngü kontrolcüsünün iyi tasarlandığı varsayılmış ve dış döngü ise MPC ile kontrol edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici algoritması sabit zaman farkına dayandırılmıştır. MPC ile sabit zaman farkı,

konfor, güvenlik, yakıt tüketimi ve öndeki aracı takip etme gibi özellikler ile kontrol edilmiştir.

MPC ile Adaptif Hız Sabitleyici tasarımının yapıldığı başka çalışmalar da [43], [44] mevcuttur. MPC, mesafe kontrolünü sağlayarak aracın fren, gaz ve ivme değerlerini üretmektedir. Bu çalışmalarda MPC kullanımının sebebi olarak mesafe kontrol modeli ile performans ölçütü belirlenmesi verilmiştir. MPC algoritması bu değere göre sistemin yaratacağı sinyalleri tahmin etmektedir. Literatürdeki bu çalışmalarda doğrusal ve doğrusal olmayan MPC algoritmaları kullanılmıştır. Bu farklılığın sebebi bazı çalışmalarda MPC algoritmasının mesafe kontrolü için sadece hız değişimi yapılmayarak araç dinamiklerine göre bu hıza gelmek için gaz ve fren modellerini çalıştıracak sinyalleri üretmesidir.

Recepşan Günay [45] tarafından yapılan çalışmada ise Matlab/Simulink programları kullanılarak Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde hız kontrolü ve mesafe kontrolü olmak üzere iki farklı kontrol modu kullanılmıştır. Bu modların kontrolü için 6 farklı senaryo kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan transfer fonksiyonu Denklem 2.3’de tanımlanmaktadır.

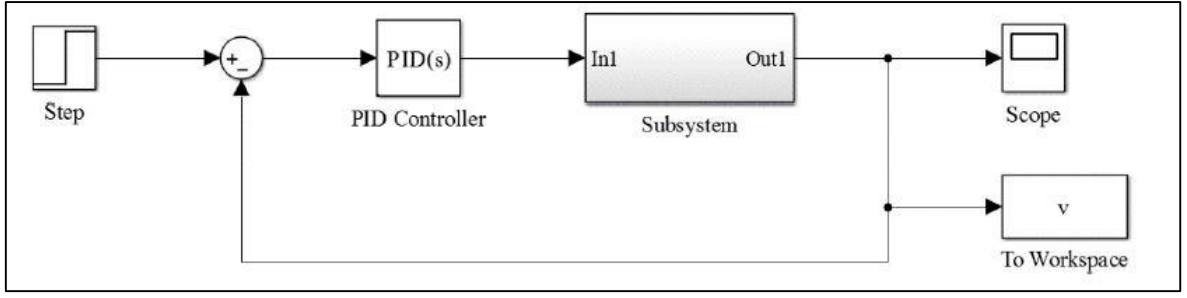
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{s(0.5s+1)} \quad (2.3)$$

Recepşan Günay tarafından yapılan bu çalışmada araçlar arasındaki güvenli mesafe $D_{Güvenli}$ ise Denklem 2.4 [45] ile tanımlanmıştır.

$$D_{Güvenli} = D_{ek} + 1.4 * \text{Arkadaki Aracın Hızı} \quad (2.4)$$

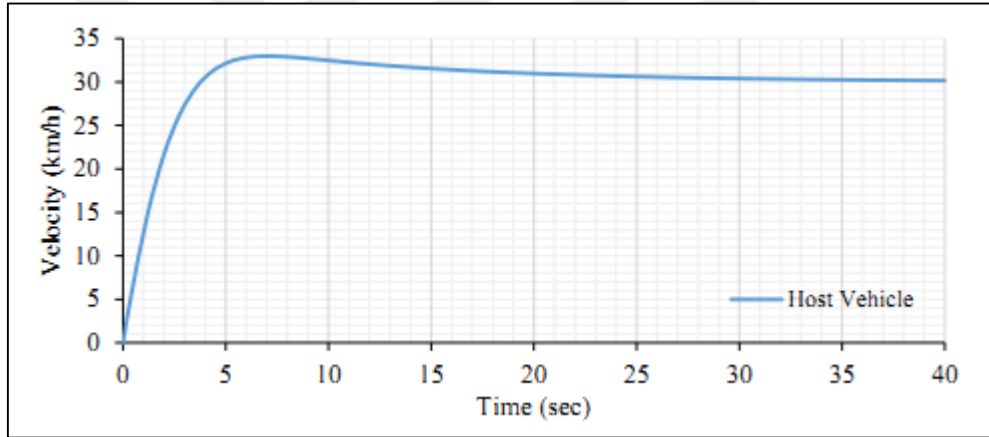
Denklem 2.4’de tanımlanan 1.4 değeri araçlar arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmıştır. D_{ek} ise 10 metre olarak varsayılmıştır [45].

Recepşan Günay [45] tarafından yapılan bu çalışmada ilk senaryo olarak aracın önünde bir araç olmadığı düşünülmüştür. Başka bir deyişle Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin geleneksel hız sabitleyici gibi çalışması beklenmektedir [45]. Bu senaryo için tasarlanan model Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 1 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]

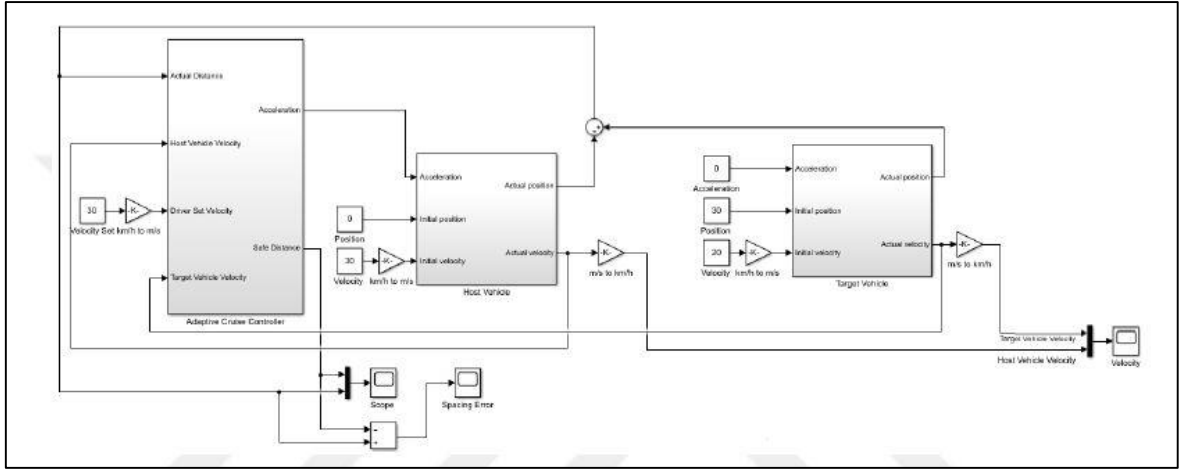
Şekil 2.5’de görüldüğü üzere basamak girdisi olarak aracın sabit gitmesi istenilen hız belirlenmiştir. Bu hız değeri ve sistem çıktısının geri beslemesinin farkı PID (Proportional İntegral Derivative) kontrolcüsünde giriş sinyali olarak kullanılmaktadır [45].



Şekil 2.6 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 1 Hız Zaman Grafiği [45]

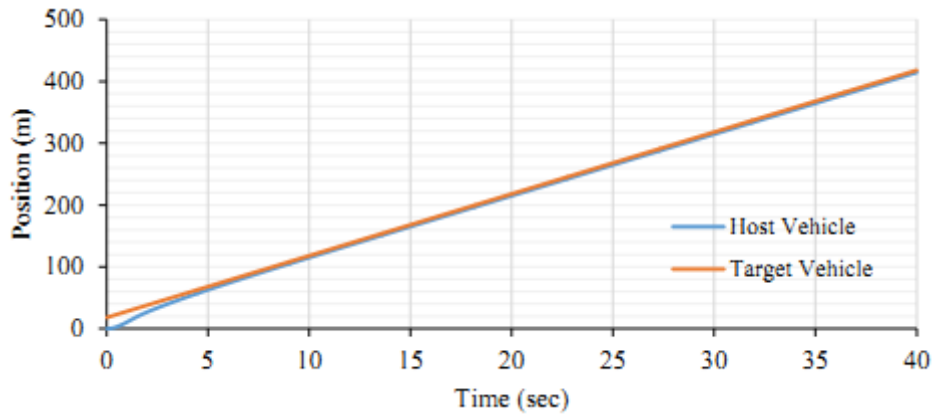
Şekil 2.6’da görülen Senaryo 1 hız zaman grafiğinden anlaşıldığı üzere sürücü tarafından sabit hareket edilmek istenilen hız 30 km/saat’dir. Araç yaklaşık olarak 5 saniye sonunda 30 km/saat hıza ulaşarak bu hızda sabit hareket etmektedir [45].

Sistemin önünde başka bir araç olduğu durumda mesafe ve hız kontrolü yapılması gerekmektedir. Bu duruma Senaryo 2 adı verilmiştir [45]. Bu durumda öndeki aracın hızı 20 km/saat olarak sabit bırakılmış ve arkadaki aracın mesafeyi kontrol etmek üzere hız değişimi gözlemlenmiştir. Başlangıç durumunda araçlar arası mesafe 180 metredir. Araçlar arası olması istenilen mesafe 40 metre olarak tanımlanmıştır [45].



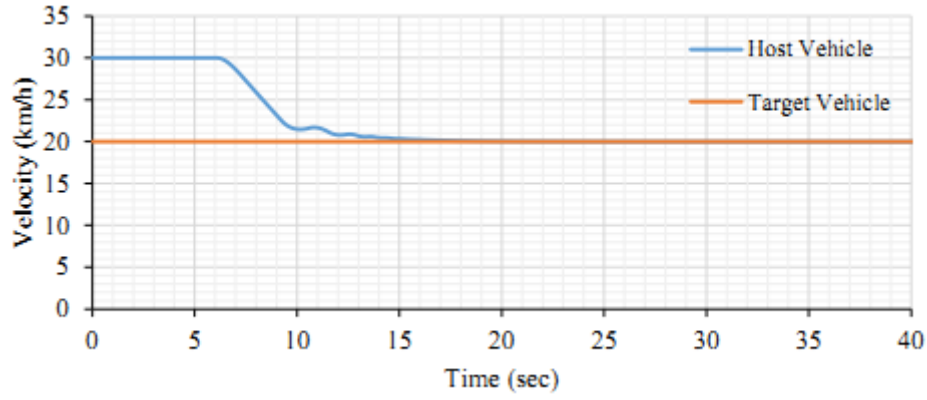
Şekil 2.7 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]

Şekil 2.7’de gösterilen tasarımda öndeki ve arkadaki araç için modellemeler yapılmıştır. Öndeki aracın ivmesi 0, başlangıç pozisyonu 30 km/h ve başlangıç hızı 20 km/h olarak tanımlanmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0, başlangıç hızı 30 km/h ve ivmesi de Adaptif Hız Sabitleyicisinin çıktısına göre ayarlanmıştır. Sürücü tarafından istenilen hız 30 km/h olarak tanımlanmıştır [45].



Şekil 2.8 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 Konum Zaman Grafiği [45]

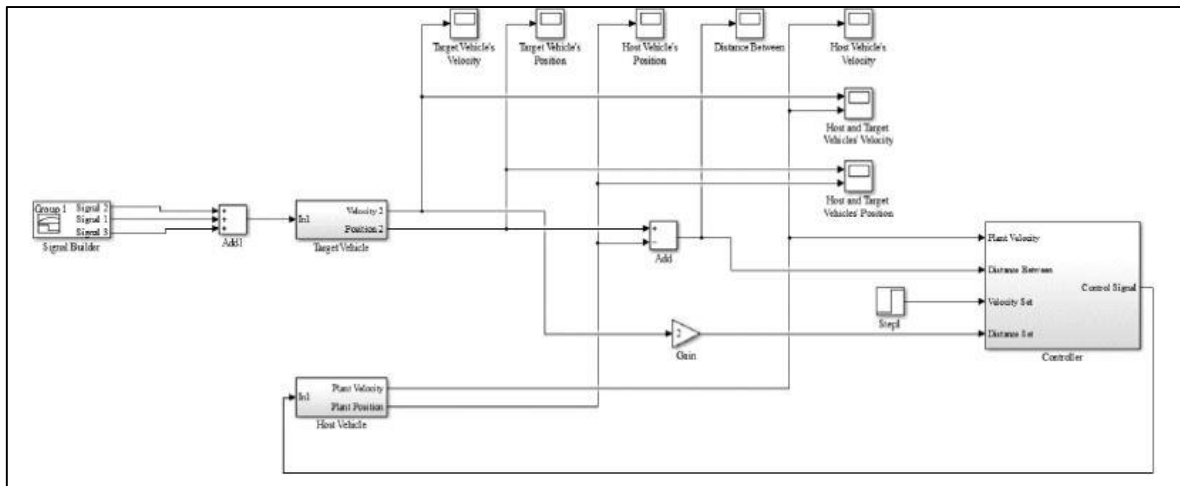
Şekil 2.8 gösterilen grafiğe göre hem öndeki araç hem Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın konumu zamana göre artmaktadır. Bu artış 5’inci saniyeden itibaren aynı oranda olmaktadır [45]. Alınan yol bilgisi hız ve zamana bağlı olduğu için, aynı zaman aralığında aynı yolu alan araçların hızlarının aynı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.9 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 2 Hız Zaman Grafiği [45]

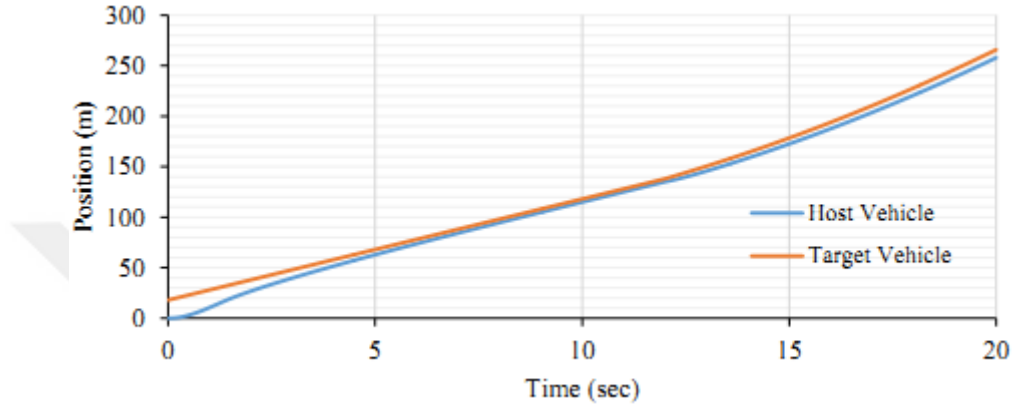
Şekil 2.9’da gösterilen Senaryo 2 için hız zaman grafiğine göre başlangıç durumunda Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızı öndeki aracın hızından yüksektir. Bu sebeple, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın güvenli mesafeyi koruyacak şekilde yavaşlaması gerekmektedir. Grafikten görüldüğü üzere yaklaşık olarak 18’inci saniyeden itibaren araçların hızları eşitlenmektedir [45].

Recepşan Günay tarafından yapılan bu tasarımda öndeki aracın sabit hızla gitmediği yani değişken bir hıza sahip olduğu durum Senaryo 3 olarak tanımlanmıştır [45]. Bu senaryonun Senaryo 2’den farkı öndeki aracın hızının değişiyor olmasıdır. Tasarlanan model Şekil 2.10’da görülebilmektedir.



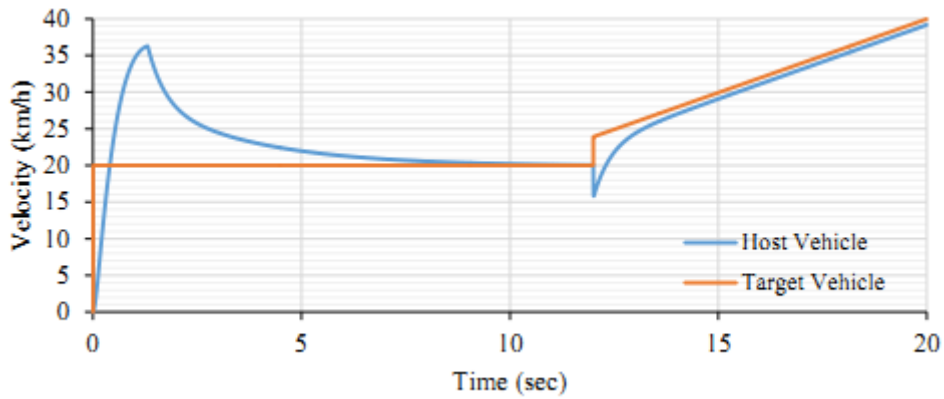
Şekil 2.10 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]

Şekil 2.10’da görüldüğü üzere kontrolcünün kontrol sinyali Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araca giriş sinyali olarak verilmektedir. Öndeki aracın pozisyon bilgisi ile arkadaki aracın pozisyon bilgisinin farkı alınarak kontrolcüye mesafe farkı olarak verilmektedir. Öndeki aracın hız bilgisi araçlar arası istenilen mesafe olarak kontrolcüye verilmektedir [45]. Bu senaryo için elde edilen pozisyon zaman grafiği ve hız zaman grafiği Şekil 2.11 ile verilmiştir.



Şekil 2.11 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 Konum Zaman Grafiği [45]

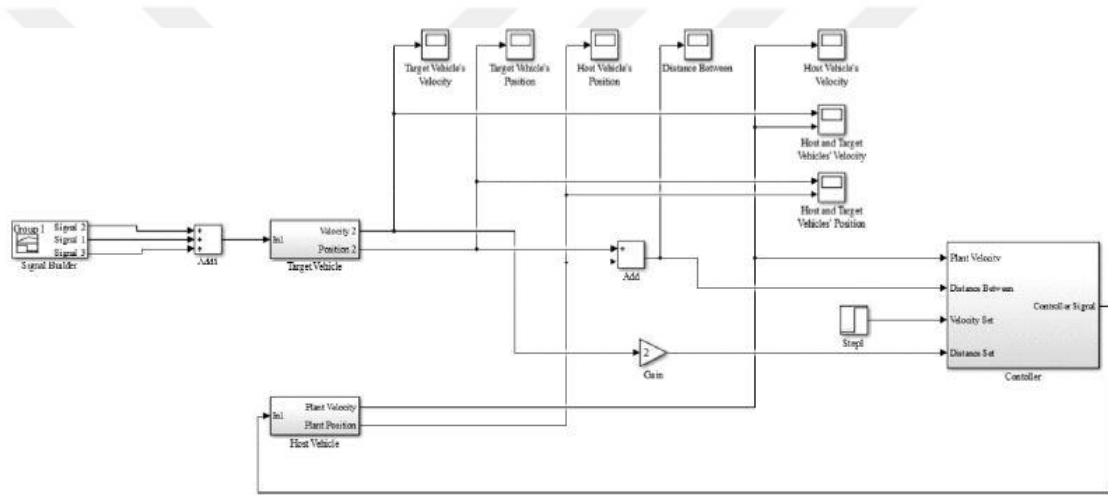
Şekil 2.11’de görülen konum zaman grafiğine göre 5’inci saniyeye kadar öndeki aracın aldığı yol, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın aldığı yoldan daha fazladır. Araçların hızlarının 5’inci saniyeden sonra yaklaşık olarak eşit olduğu ve buna bağlı olarak aldıkları yolun da eşit olduğu görülmektedir [45].



Şekil 2.12 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 3 Hız Zaman Grafiği [45]

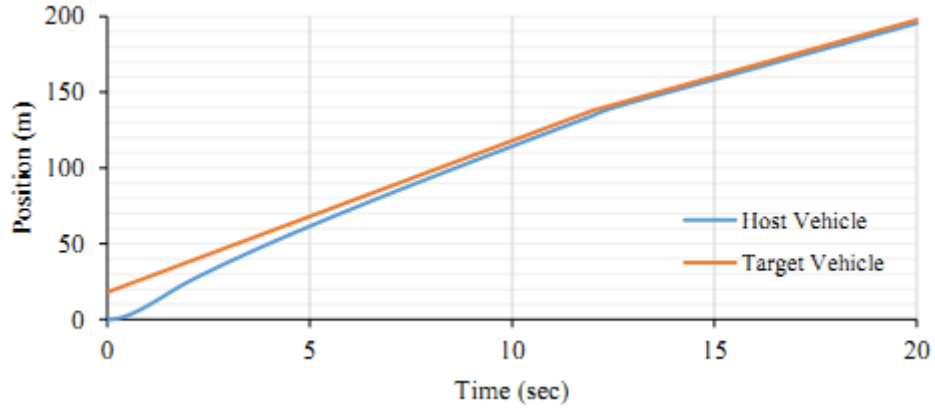
Şekil 2.12’de verilen hız zaman grafiğine göre başlangıç anında öndeki aracın hızı 20 km/saat’dir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan arkadaki araç ise başlangıç anında durmaktadır. Daha sonra aradaki mesafeyi kapatmak için 35 km/saat’lik bir hıza kadar çıkılsa da yaklaşık olarak 12’inci saniyede araçların hızları eşitlenmektedir. Daha sonra görüldüğü üzere öndeki araç ile mesafesini ayarlayarak güvenli mesafeyi korumuş ve öndeki aracın hız artışına göre hızlanmaya devam etmiştir [45].

Recepşan Günay tarafından yapılan çalışmada öndeki aracın önce hızlanıp sonra yavaşladığı senaryo için Senaryo 4 adı verilmiştir [45]. Bu senaryonun bir diğer farkı ise öndeki araç ani bir şekilde durmaktadır. Bu senaryo için yapılan tasarım Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



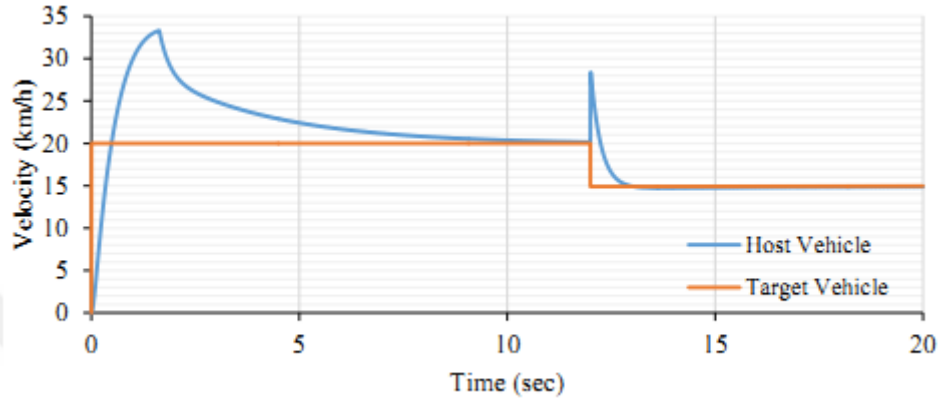
Şekil 2.13 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]

Şekil 2.13’de görüldüğü üzere kontrolcünün kontrol sinyali Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araca giriş olarak verilmektedir. Öndeki aracın pozisyon bilgisi toplanarak kontrolcüye mesafe farkı olarak verilmektedir. Öndeki aracın hız bilgisi ise kazancı istenilen mesafe olarak kontrolcüye verilmektedir [45].



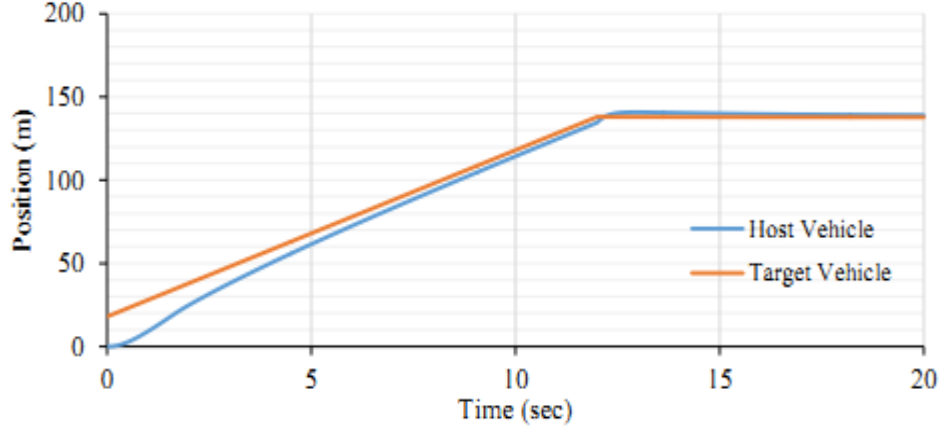
Şekil 2.14 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Hızlanma Sonra Yavaşlama Sırasında Konum Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.14'de verilen konum zaman grafiğine göre yaklaşık olarak 12'inci saniyeden itibaren araçların hızının eşitlendiği görülmektedir. Detaylı hız zaman grafiği Şekil 2.15'de verilmiştir [45].



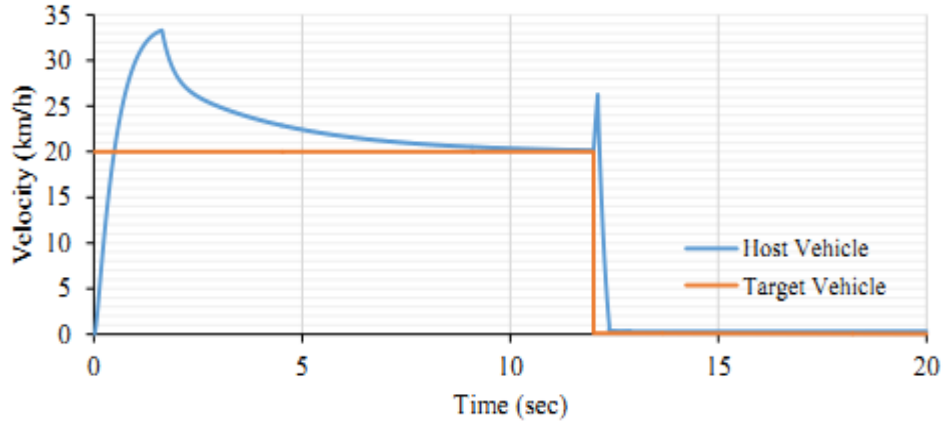
Şekil 2.15 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Hızlanma Sonra Yavaşlama Sırasında Hız Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.15'de verilen hız zaman grafiğine göre başlangıç anında öndeki aracın hızı 20 km/saat, arkadaki aracın hızı ise 0 km/saat'dir. 12'inci saniyede araçların hızları eşitlenmektedir. Bu saniyeden itibaren öndeki araç yavaşlayarak hızını 15 km/saat yapmaktadır. Bu duruma bağlı olarak arkadaki araç biraz hızlanarak güvenli mesafeyi koruma aşamasına geldikten sonra yavaşlayarak öndeki araç ile hızını eşitlemektedir [45].



Şekil 2.16 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Yavaşlama Sonrasında Durma Sırasında Konum Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.16’da verilen konum zaman grafiğine göre ise araçların yaklaşık olarak 12’inci saniyeden itibaren konumlarının değişmediği gözlenmektedir. Bu durum, araçların 12’inci saniyeden itibaren durduklarını göstermektedir [45].

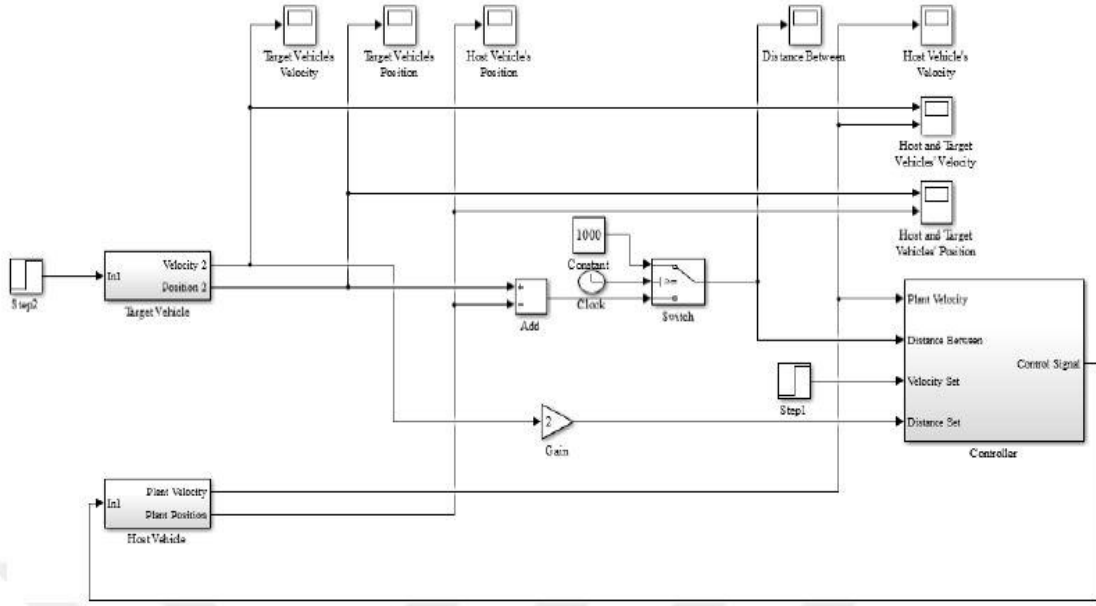


Şekil 2.17 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 4 Yavaşlama Sonrasında Durma Sırasında Hız Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.17’de verilen hız zaman grafiğine göre başlangıç anında öndeki aracın hızı 20 km/saat, arkadaki aracın hızı ise 0 km/saat’dir. 12’inci saniyede araçların hızları eşitlenmektedir. Bu andan itibaren öndeki araç durmuştur. Bunu gören arkadaki Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araç da yavaşlayarak durmuştur [45].

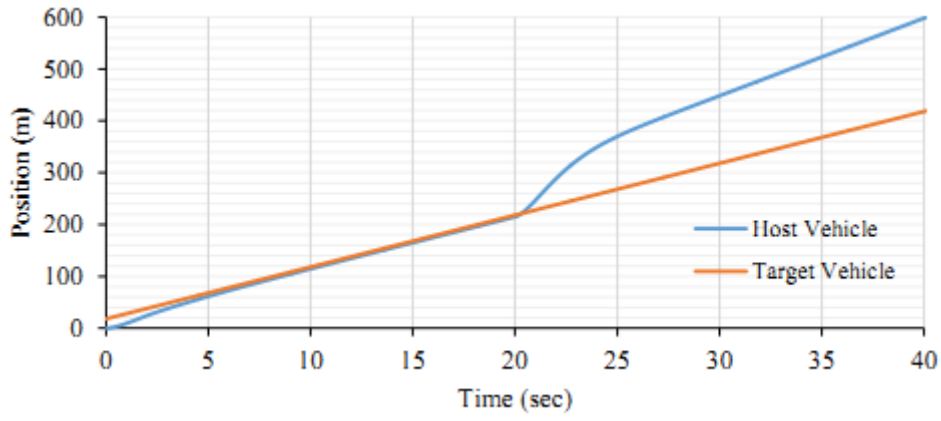
Recepşan Günay tarafından yapılan çalışmada öndeki aracın belirli bir süre sonra şerit değiştirdiği Senaryo 5 olarak isimlendirilmiştir. [45]. Bu senaryodan beklenti öndeki araç

şerit değiştirdikten sonra Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanıp, o hızda sabit kalmasıdır. Şerit değiştirme durumundan sonraki aşamalar Senaryo 1 ile aynı olmalıdır. Bir diğer deyişle, Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici gibi davranmalıdır. Senaryo 5 için yapılan tasarım Şekil 2.18’de verilmiştir.



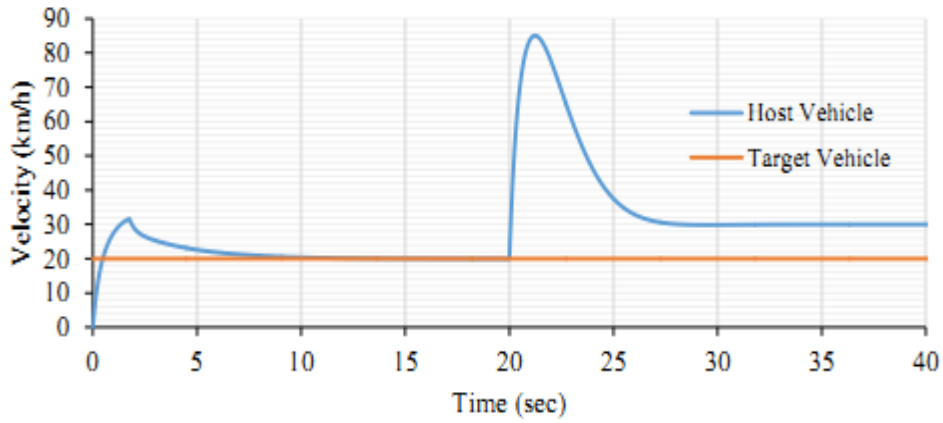
Şekil 2.18 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 için Tasarlanan Simulink Modeli [45]

Şekil 2.18’de görüldüğü üzere belirli bir süre sonra şekilde görülen switch aktifleşerek öndeki aracın şerit değişmesine sebep olacaktır [45]. Öndeki araç ile arkadaki aracın pozisyon bilgilerinin farkı alınarak mesafe farkı kontrolcü giriş sinyali olarak uygulanmaktadır. Senaryo 4’deki gibi Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araca giriş olarak kontrolcünün kontrol sinyali verilmektedir. İstenilen mesafe için öndeki aracın kazancı dikkate alınmaktadır [45].



Şekil 2.19 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 Konum Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.19’da görüldüğü üzere araçlar 20’inci saniyeye kadar aynı yolu almaktadır. Daha sonra ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın aldığı yol artmış ve öndeki aracın birim zamanda aldığı yol ise sabit kalmıştır. Senaryo 5’de öndeki araç hızını değiştirmeden şerit değiştirmiştir. Hızı değişmediği için birim zamanda aldığı yol sabit kalmıştır. Fakat, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın önünde bir engel kalmadığı için sürücü tarafından atanan değere kadar araç hızlanmıştır. Bu hızlanmaya bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da artmıştır [45].

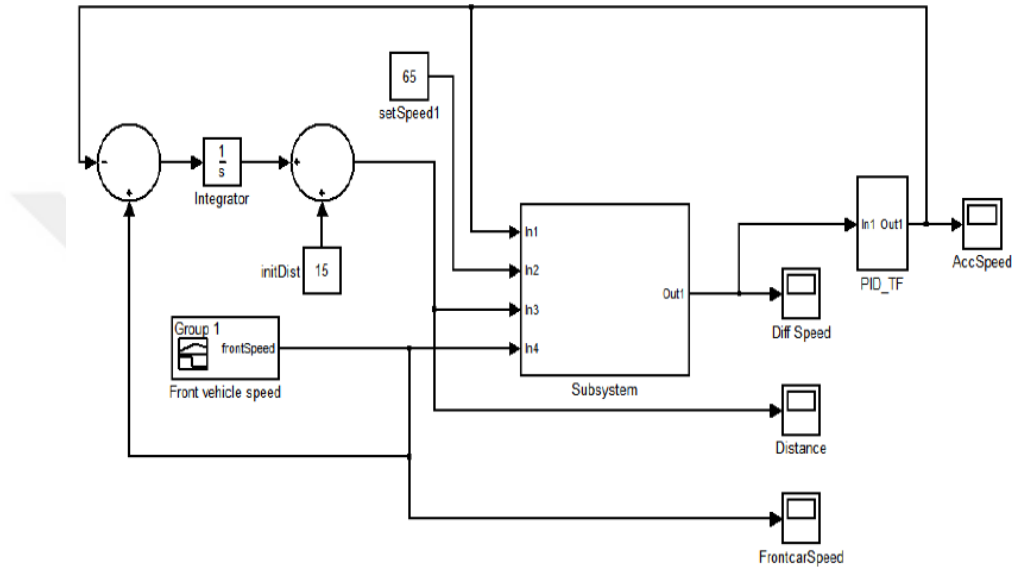


Şekil 2.20 Recepşan Günay Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Senaryo 5 Hız Zaman Grafiği [45]

Şekil 2.20’de görüldüğü üzere başlangıç anında öndeki aracın hızı 20 km/saat, arkadaki aracın hızı ise 0 km/saat’dir. Araçların hızları 12’inci saniyede eşitlenmektedir. Bu

anda öndeki araç hızını değıştirmeden şerit değıştirmektedir. Bu şerit değışimi Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın önündeki engeli kaldırdığı için araç sürücüsü tarafından istenilen hıza kadar yükselmektedir [45].

Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran tarafından yapılan Adaptif Hız Sabitleyici tasarımında PID kontrolcüsü kullanılmıştır [46]. Bu tasarımda kullanılan blok mimarisi Şekil 2.21’de görölmektedir.

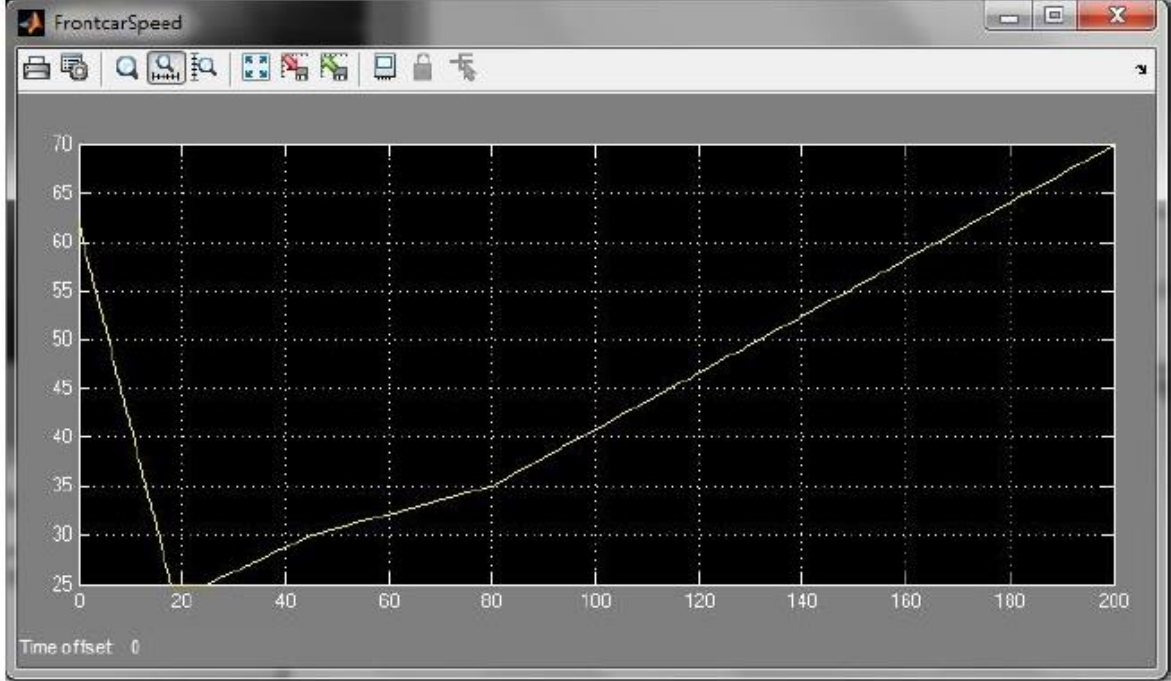


Şekil 2.21 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Blok Mimarisi [46]

Bu mimaride öndeki aracın hızı için bir sinyal tanımlanmıştır. Sinyal tanımlanmasının amacı öndeki aracın farklı hızlarına göre sistemi test etmektir. Gidilmesi istenilen hız için 65 m/s, araçlar arasındaki mesafe için 15 m başlangıç koşulu olarak belirlenmiştir. Yaratılan kontrolcüden araçlar arasındaki hız farkı çıkmaktadır. Bu hız farkı PID kontrolcüye sokularak arkadaki aracın yani Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızı bulunmaktadır. “Subsystem” adıyla belirtilen kontrolcü ise araçlar arasındaki mesafeye göre hızların farkına bakmaktadır. Bu sistemin girişleri; Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızı, sürücünün seçtiği hız değeri, araçlar arası mesafe ve öndeki aracın hızıdır. Kullanılan PID kontrolcüsünde K_p değeri olarak 2000, K_i değeri olarak 80 seçilmiştir. Tasarımda, 1000 kg ağırlığında, teker ve yol arasında 500N kuvveti bulunan ve 50N.saniye/m sürtünme katsayısına sahip bir araç modeli tercih edilmiştir. Buna göre sistem tasarımında kullanılan transfer fonksiyonu Denklem 2.4’de görölmektedir [46].

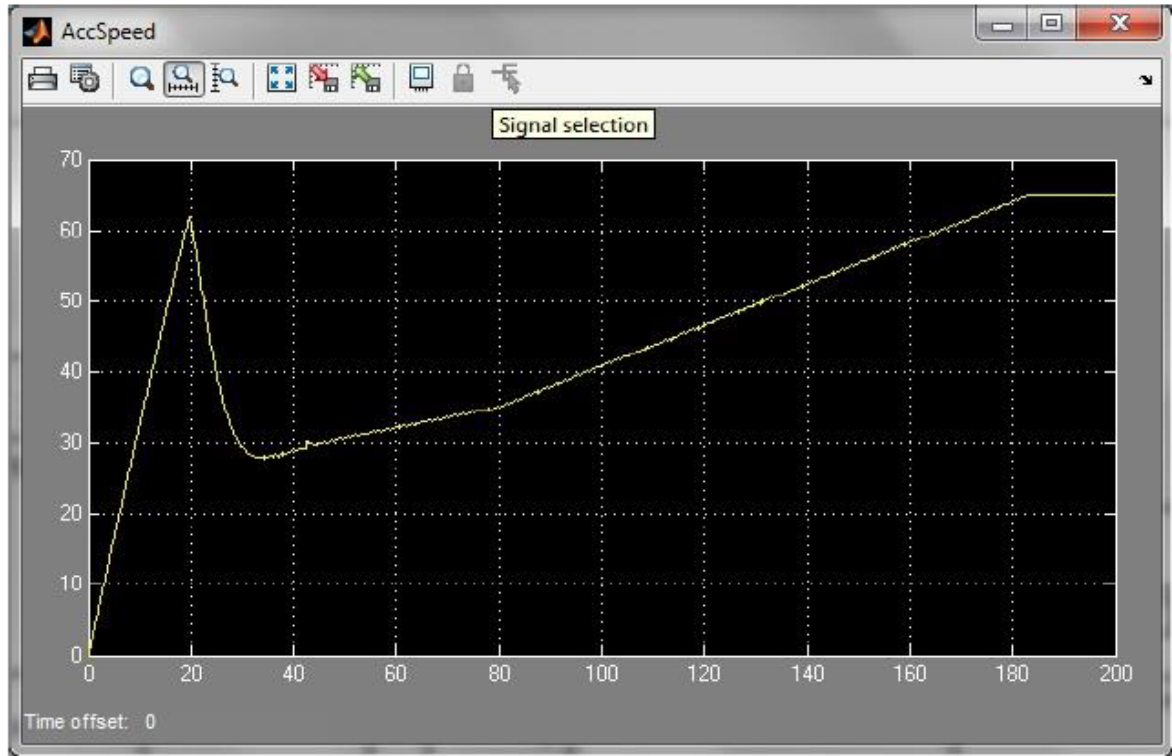
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{1000s+50} \quad (2.4)$$

Bu tasarım sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 2.22 ile verilmektedir.



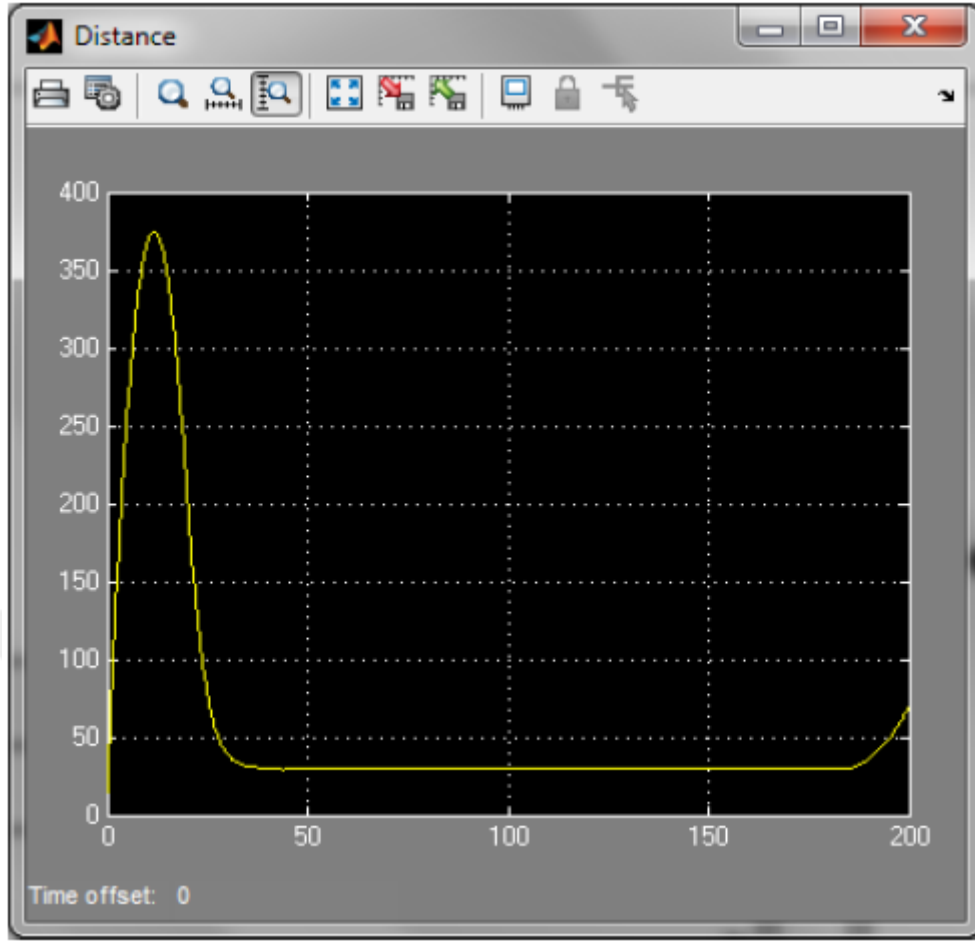
Şekil 2.22 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemindeki Öndeki Aracın Hız Zaman Grafiği [46]

Şekil 2.22’de bu sistemde öndeki araç için tanımlanan hız grafiği görülmektedir. Öndeki araç ilk başta yavaşlamakta ve daha sonra sürekli olarak hızlanmaktadır [46].



Şekil 2.23 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemindeki Adaptif Hız Sabitleyici Sisteme Sahip Aracın Hız Zaman Grafiği [46]

Şekil 2.23’de bu sistemde kontrolcüden ve PID denetimcisinden elde edilen Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç için hız grafiği görülmektedir. Bu araç, öndeki aracın hızına ve araçlar arasındaki mesafeye göre hızını ayarlamaktadır. Başlangıç durumunda araçlar arasında 15 metrelik bir mesafe farkı bulunmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç 0 m/s ile başlarken öndeki aracın başlangıç hızı 60 m/s’dir. Bu sebeple, 20’inci saniyeye kadar Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç hızlanmaktadır. Daha sonra, öndeki aracın hızının yavaşladığını fark ederek kendi hızını azaltmaktadır. Yaklaşık olarak 30’uncu saniyeden itibaren güvenli mesafe korunduğu için öndeki aracın hızının artışına göre Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın da hızı artmaktadır [46].



Şekil 2.24 Kamesh, Madhusoodanan ve Gajendran Tarafından Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici Sistemin Araçlar Arasındaki Mesafe [46]

Şekil 2.24’de araçlar arasındaki mesafe farkı gösterilmiştir. Bu grafikte, öndeki aracın hızına ve Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızına göre anlık olarak araçlar arasındaki mesafe görülmektedir. İlk 20 saniyede öndeki araç yavaşlarken Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç ona yetişmeye çalışmaktadır. Fakat, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç hızı olmadığı için ve öndeki aracın da başlangıç hızı yüksek olduğu için araçlar arasındaki mesafe farkı giderek artmaktadır. Öndeki aracın yavaşlamasına ve Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızlanmasına bağlı olarak araçlar arasındaki mesafe yaklaşık olarak 30’uncu saniyede güvenli mesafe olarak tanımlanan değere gelmiştir. Bu saniyeden sonra Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç öndeki aracın hız değişimine göre güvenli mesafeyi koruyacak şekilde hızını arttırmakta veya azaltmaktadır. Bu da grafikte mesafenin sabit kalmasıyla görülebilmektedir [46].

Hosseinnia tarafından yapılan çalışmada [47] kesir dereceli kontrol yöntemiyle bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde hiyerarşik bir mimari vardır. Hiyerarşik yapıda ilk denetleyici PD kontrolcüsüdür. PD kontrolcüsünün girişi, araçlar arasında güvenli mesafedeki hatadır. Kontrolcünün çıkışı ise aracın olması gerektiği hızdır. İkinci kontrolcü olarak PI kontrolcüsü kullanılmıştır. Bu kontrolcünün girişi öndeki aracın hızı ile PD kontrolcüsünün çıkışının farkıdır. Bu kontrolcülere ek olarak fren ve gaz pedalı için ayrı birer PI kontrolcüsü tanımlanmıştır. PD kontrolcüsünün çıkışı, bu gaz ve fren PI kontrolcülerinin referanslarıdır. Bu gelen referansa göre PI denetleyicisi bir referans sinyali üreterek gaz ve fren pedalına iletir. Bu çalışma ile PI kontrolcü ile aracın hızlanmasının ve yavaşlamasının konfora olan etkileri değerlendirilmiştir.

Literatürde yapay sinir ağları kullanılarak olan tasarlanmış olan Adaptif Hız Sabitleyici sistemleri de mevcuttur. Bu çalışmalarda performans olarak başarılı sayılabilecek bir çalışmaya rastlanamamıştır [38].

Yapılan başka bir çalışmada [48] Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarımı için P, PI ve PID kontrolcülerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmada, Ziegler-Nicholus ve Tyreus-Luyben metotları kullanılarak K_p , K_i ve K_d kontrol parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak daha iyi bir frenleme performansı elde edilmek istenmiştir.

Literatürde bulunan bir diğer çalışmada [49] ise MPC algoritması kullanılarak tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi ile trafik sorunu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada düşük seviye tahmin modeli MPC kullanarak Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin yüksek seviyede cevap vermesi ve trafik anında daha konforlu olması amaçlanmıştır. Çalışmada, ihtiyaç duydukları MPC algoritmasını, kontrolcüsünü ve parametre hesaplamalarını yaparak deneysel bir araç üzerinde çalışmalarını denemişlerdir. Mohtavipour yaptığı çalışmada [3] Adaptif Hız Sabitleyici tasarımında PID kontrolcüsünün referansını geliştirerek ve kazancı optimize ederek performansını arttırmayı amaçlamıştır. Kurduğu Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde sensörden gelen sinyal ile referans sinyali üretmiş, bu sinyale bağlı olarak hızlanma veya yavaşlama durumunu kontrol ederek araç dinamiklerine göndermiş ve bu duruma bağlı olarak da istenilen hıza ulaşmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise kontrolcünün performansını %74,2 arttırdığını belirtilmektedir.

Adaptif Hız Sabitleyici tasarım çalışmalarında asıl problem radar veya sensörlerden gelen mesafe bilgisinin nasıl değerlendirilerek kullanılacağına karar vermektir. Bazı çalışmalarda ise araç davranışının modellenmesi denenmiştir. Bu modelleme ile Adaptif Hız

Sabitleyici sisteminin sürücüye bağlı olmadan öndeki aracın durumuna göre aracın kontrolünü kendisinin ayarlaması amaçlanmıştır [50], [51]. Her ne kadar iyi bir yaklaşım olsa da insan karar mekanizmasının değişkenliği ve zaman zaman trafikte yapılan tehlikeli hareketler sebebiyle günümüzde araştırma ve geliştirmeleri devam etmekte olan otonom araçlarda yaşanan güvenlik sorunlarının yaşanma ihtimali yüksek gözükmektedir. Martinez ve Canudas [52] tarafından yapılan çalışmada ise referans modeli kullanılmıştır. Bu modelde, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan aracın hızı ile iki araç arasındaki mesafenin ilişkisi zaman farkına göre incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda düşük hızlarda sistemin başarıyla çalıştığı, fakat yüksek hızlarda sonucun etkili olmadığı belirtilmektedir.

Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarım denemelerinde yaygın olarak kullanılan bir diğer kontrolcü türü ise Fuzzy kontrolcüsüdür. Batayneh tarafından yapılan çalışmada [53] Fuzzy kontrolcüsü kullanarak bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Fuzzy kontrolcüsüne ve belirlenmiş olan kurallara göre bağlı çıktı yaratılmaktadır. Bu çalışmada kontrolcüye giriş olarak mesafe ve hız sinyallerinin referans sinyallerine göre türevleri uygulanmıştır.

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımının yanı sıra kullanılacak olan kontrolcülerin geliştirilmesi ve analiz edilmesi konusunda da yapılmış çalışmalar mevcuttur [13]. Bu çalışmalardan birinde, iki kontrol döngüsü yaratılmıştır. Bunların ilki araç hız kontrolü için ikincisi ise araçlar arası mesafenin değerine göre aracın hızını belirleyen döngülerdir.

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin farklı noktalarını odak almış çalışmalarda literatürde yerini almıştır. Wu, Zou, Ou ve Hu tarafından yapılan çalışmada [54], fren kontrol algoritmasının değiştirildiği bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmada, güvenlik, konfor ve hidrolik fren sisteminin fiziksel özellikleri dikkate alınarak aktif frenleme stratejisi önerilmiştir. Bu önerenin frenleme sırasındaki konforu arttırabileceğinden bahsedilmektedir

Schrodel, Herrmann ve Schwarz tarafından yapılan çalışmada [55], çok nesneli uzunlamasına araç kılavuzu için kanıtlanmış bir konsept sunulmuştur. Amaç, yavaş hesaplama maliyeti gerektiren sağlam ve ayarlaması kolay bir Adaptif Hız Sabitleyici yaklaşımı tasarlamaktır. Bu nedenle sezgisel bir nesne seçimi yaklaşımıyla birlikte klasik bir kademeli kontrol yapısı seçilmiştir. Sonuç olarak, denetleyiciyi gerçekleştirmek için hiçbir optimizasyon rutini veya başka herhangi bir karmaşık hesaplama işlemi gerekmeyen bir

model elde edilmiştir. Bu modelde geri beslemeye bir PD kontrolcüsü konulmuştur. Elde ettikleri modelin doğrulanmaması ve performans verimliliği konusunda kıyaslama sahneleri tasarlanmıştır. Bu sahneler, şerit değiştirme, araç geçme ve yoğun trafikte şerit değiştirme olarak seçilmiştir. Gerçek ortamda test sürüşü ile elde edilen veriler ile doğrulama yapılmıştır.

Jose Naranjo ve Carlos Gonzalez tarafından yapılan çalışmada [19], Fuzzy kontrolcüsü kullanılarak Stop&Go özelliği olan bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarımda, doğruluğu kanıtlanmış ve daha önceden kullanılmış sistemlerin birleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan kontrol mekanizması ile gaz ve fren kontrolüne sahip olan Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde gaz ve fren kontrolünün koordinasyonunun sağlanması hedeflenmiştir. Bu modelin deneysel çalışmaları gerçek ortamda GPS anteni bulunan 2 adet araç kullanılarak yapılmıştır. Bu deney sonucunda elde edilen bilgilere göre, GPS alıcı gibi doğruluğu yüksek sistemler kullanılarak Adaptif Hız Sabitleyici sistemine Stop&Go özelliğinin eklenebileceği görülmüştür. Fakat her sistemde olduğu gibi insan kaynaklı hataların yaşanabileceği belirtilmiştir.

Shakouri, Ordys, Laila ve Askari [56] tarafından yapılan çalışmada tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde iki adet kontrol döngüsü bulunmaktadır. Bu döngüler, iç ve dış seviye olarak tanımlanmıştır. Bu tasarım, araçlar arası mesafe farkına bakmaktadır. Araçlar arası mesafe farkının anlaşılması için PI kontrolcüsü kullanılmıştır. PI kontrolcüsü kullanılarak tespit edilen mesafenin türevi alınarak hız bulunmuştur. Bulunan bu hız, araçların birbirini sağlıklı takip edebilmesi için gereken referans hız bilgisi olmuştur. İç kontrol döngüsünde ise dış kontrol döngüsünde elde edilen bilgilere göre gaz ve fren kontrolü sağlanmıştır. PI kontrolcüsüne kazanç doğrulama, kazanç tabloları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, araçların birbirlerini güvenli mesafede takip edebildikleri gözlenmiştir.

Shakouri, Ordys ve Czezot tarafından yapılan çalışmada [57] ise balansa dayalı adaptif kontrol metodu kullanılmıştır. Birinci mertebeden doğrusal olmayan dinamik denklem şeklinde yazılmış bir sürecin basitleştirilmiş bu kontrol metodu ile farklı süreçler kontrol edilebilmektedir. Arabalar kompleks yapıya sahip araçlar olduğu için basitleştirilmiş bir araç modeli tasarlanmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarımında B-BAC kontrolcüsü kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı olarak B-BAC kontrolcüsü ile 2 adet PI kontrolcüsü ile tasarlanmış olan Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin sonuçları

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın başarıya ulaştırılması için ilk olarak hız takip modunda simülasyon yapılmış ve sonrasında mesafe kontrolü ile simülasyon yapılmıştır.

Yapılan başka bir çalışmada MPC kullanılarak elektrikli araçlara Adaptif Hız Sabitleyici sistemi entegrasyonu üzerine simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışma çerçevesinde güvenlik, araç takip, konfor kısıtları ve enerji ekonomikliği sağlanmaya çalışılmıştır. Enerji tüketiminin azaltılması için MPC kullanılarak ivmelenme ve yavaşlama süreçleri optimize edilerek enerji tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Buna ek olarak, frenleme sürecinde kullanılan enerji geri dönüştürülmüştür. Bu sayede, Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin kullanımının enerji tüketimini azaltabileceği söylenmiştir [58].

Zhao, Hu, Xia, Alippi, Zhu ve Wang tarafından yapılan bir çalışmada “Supervised Adaptive Dynamic Programming (SADP)” algoritması kullanılarak bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde, Adaptif Hız Sabitleyici sistemi Markov karar verme süreci ile açıklanmıştır. Sade bir yapay sinir ağı kontrolcüsü kullanılmıştır. Farklı sürüş teknikleri ve senaryolara ilişkin benzetimler yapılmıştır [59].

Rizvi, Kalra, Gosalia ve Rahnamayan tarafından yapılan çalışmada [57] kamera tabanlı, hız sınırı tabelalarını anlayan bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tasarlanmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan GPS tabanlı Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde bazı sokaklarda sıkıntılar yaşandığı, hız sınırı tabelalarının anlamlandırılmadığı ve Avrupa Birliği, Kanada gibi ülkelerde zorunlu hız sınırı uygulamalarından bahsedilerek GPS tabanlı Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinden daha etkili bir sistem tasarlanması gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu sistem tasarımında Fuzzy kontrolcüsü kullanılmıştır. Sistemin girdileri olarak kamera ve mesafe sensörleri tanımlanmıştır. Bu verileri anlamlandırarak fren ve gaz kontrolü sağlanmıştır. Bu çalışmada TORCS uygulaması kullanılarak sistem benzetimleri yapılmıştır [60].

Rajamani ve Zhu [61], aracın ön tamponunda radyo alıcısı ve arka tamponunda bir radyo vericisi ile donatıldığı yarı otonom bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmada sadece üst seviye kontrolcüsü tasarlanmış ve gerçek araç dinamikleri dikkate alınmamıştır. Fakat bu çalışmanın avantajı, öndeki araçta da benzer donanım varsa araçlar arası mesafenin çok daha az olabileceği ve bu durumunda trafik akışı için daha faydalı olabileceği söylenmektedir.

Girard, Spry ve Hedrick tarafından yapılan çalışmada [62] araçların hız profillerini ve araç takip hareketlerini inceleyerek gerçek zamanlı, gömülü, hibrit kontrol yazılımı

kullanarak Adaptif Hız Sabitleyici ve CACC sistemleri test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında iki araçlı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde kayan mod kontrolü kullanılmıştır. Çalışmaya göre, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araçta kullanılan sensör, bir gürültüye maruz kalmaktadır. Bu gürültünün bastırılması için filtreleme yapılmış ve bu sebeplerden ötürü sistem performansında bir gecikme görüldüğü raporlanmaktadır. Bu durumu değiştirmek için Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde kullanılan sensörler kablosuz iletişim bağlantısıyla değiştirilmiştir. Kablosuz iletişim sayesinde araçlar birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunarak hız ve mesafe kontrolü sağlamaktadır.



3. MATERYAL

3.1. Sürüş Destek Sistemleri

Günümüzde otomotiv endüstrisinde en önem verilen alanlardan biri sürüş destek sistemlerinin geliştirilerek sürücü güvenliği ve konforunu arttırmak ve sürücüye bağlı sürüşü minimuma indirmektir. Bu amaçla birçok farklı sürüş destek sistemi kullanılmakta ve aktif olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Sürüş destek sistemleri, araç kullanım güvenliğini arttırmak için tasarlanmış teknolojilerdir. Bu sistemler, yeri geldiğinde sürücüyü uyarmakta ve hatta yeri geldiğinde kaza önleme amacıyla otomobilin kontrolünü ele almaktadır. Sürüş Destek Sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler, uygun şekilde tasarlandıklarında sürücünün yoldaki tehlikelere tepki verme yeteneğini geliştirmek için bir insan-makine arayüzü kullanmaktadır. Bu sistemler, erken uyarı ve otomatik sistemler aracılığıyla güvenlik ve potansiyel tepki sürelerini artırmaktadır [63].

Bu sistemlere örnek olarak hız sabitleyici sistemi, adaptif ışık kontrol sistemi, otomatik fren sistemi, otomatik park sistemi, kör nokta tespit sistemi, kaza önleme sistemi, sürücü yorgunluk tespit sistemi, seyrüsefer sistemi, şerit takip sistemi ve adaptif hız kontrol sistemi verilebilir. Güvenli sürüş koşullarına yönelik artan ihtiyaca bağlı olarak insanlar arasında konforlu sürüş talebi artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak, sürüş destek sistemlerinin sayısı ve kapasiteleri gün geçtikçe artmaktadır. Sürüş destek sistemlerinin Pazar payının 2018-2023 yılları arasında %28.6 büyüyerek 2023 yılında 9.69 milyar Dolar'a ulaşması beklenmektedir [63].

Gelecek ile ilgili yapılan yorumlara bakıldığında zaman sürüş destek sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak Araçtan Araca (V2V) ve Araçtan Altyapıya (V2I veya V2X) bir bağlantı sağlamak amacıyla kablosuz ağ bağlantısı kullanacak ve bu durum sistemlerin popülaritesini, kullanımını ve işlevini arttıracaktır [64]. Bir diğer deyişle, arabalar daha güvenli, otomatikleştirilmiş bir sürüş deneyimi sağlamak için birbirleriyle ve ana bilgisayar sistemi ile iletişim kurabileceklerdir.

3.1.1. Sürüş Destek Sistemlerinin Önemi

Trafik kazalarının büyük bir çoğunluğu sürücü hatalarından meydana gelmektedir. Bu kazaların azaltılması amacıyla geliştirilen sürüş destek sistemlerinin amacı, sürüş alışkanlıklarını arttırarak, sürüş özelliklerini otomatikleştirerek ve güvenli bir sürüş

sağlayarak güvenliğini arttırmaktır. Güvenliğin artırılması için insan hatasının minimuma indirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, bu sistemler sürücü hareketlerini, yol durumunu ve çevredeki engel ve araçların durumunu takip ederek sürücüyü uyarmakta veya aracın kontrolünü ele almaktadır.

Araç üzerinde bulunan radar ve kamera gibi sensörler ile çevre hakkında bilgi edinen sürüş destek sistemleri, sürücüye bilgi verir veya otomatik olarak harekete geçer. Örneğin; sürücünün göremeyeceği bir yerde başka bir nesne algılsa kör nokta uyarısı gibi özellikler ile sürücüyü uymaktadır. Bu algılamalar, basit bir uyarının ötesinde harekete geçen bir teknoloji ile birleştiğinde, sürüş destek sistemleri frenlemeyi veya direksiyonu aktif olarak kontrol ederek bir güvenlik sistemi haline gelmektedir [65]. Sürüş destek sistemlerinin bir güvenlik sistemi haline gelmesi, bu sistemlerin hayat kurtarma etkinliğini önemli ölçüde arttırabilecektir. ABD Yol Güvenliği Sigorta Enstitüsü tarafından 2020 yılında yapılan araştırmaya göre, önden çarpışma uyarı sistemlerinin önden arkaya çarpışmaları %27 oranında azalttığını, önden çarpışma uyarı sisteminin otomatik frenleme sistemi ile birleştiğinde ise bu oranın %54'e kadar çıktığı görülmüştür [66]. Benzer şekilde, arka görüş kameralarının arkadan çarpışmaları %17 oranında azalttığı, bu sistemin otomatik frenleme ile birleşmesi durumunda ise çarpışmaların %78 oranında engellenebildiği görülmüştür [66].

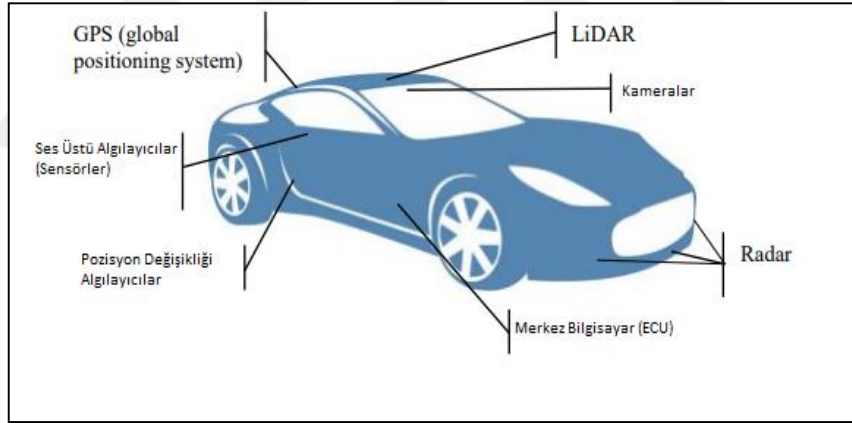
3.1.2. Sürüş Destek Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Her sistemin olduğu gibi, sürüş destek sistemlerinin de avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu avantajlara örnek olarak, uyarlanabilir özellikler barındırması, araç sürüşünün otomatikleştirilerek daha kolay bir hale getirilmesi, can ve mal kaybının azaltılması ve daha az trafik kazasının olmasını sağlayarak daha az hasar ve onarım maliyeti çıkması gösterilebilir [63], [64].

Sürüş destek sistemlerinin dezavantajları olarak ise toplumda bazı teknolojik sistemlere ve bu sistemlerin insandan daha iyi karar verebileceği konusunda olan güvensizlik, sürüş destek sistemlerinin geliştirilme ve entegrasyon maliyetlerinin artışı, bu sistemlerin hatasız çalışma zorunluluğu ve sürücüler tarafından bu sistemlerin tam olarak nasıl kullanılacağına bilinmemesi sebebiyle bu sistemlerin kullanımı için sürücülerin bilgilendirilmesi ve eğitilmesi gerekliliği gösterilebilir [63], [64].

3.1.3. Sürüş Destek Sistemlerinde Kullanılan Sensör ve Cihazlar

Sürüş destek sistemlerinin amacı sürücüye daha güvenli ve daha konforlu bir sürüş sağlamaktır. Sürüş destek sistemlerinde öndeki aracın durumunun öğrenilmesi ve algılanması kritik bir öneme sahiptir. Bu ihtiyacın karşılanması için ek donanımlar gerekmektedir. Bu donanımlar aracılığıyla araç üzerindeki akıllı sistemler ilgili bilgiyi alır ve alınan bilgi anlamlandırılarak aksiyona başlanır. Sürüş destek sistemleri, etrafındaki dünyayı algılamak için araçtaki radar ve kameralar gibi sensörleri kullanmaktadır. Öndeki araç hakkında bilginin alınması için en yaygın olarak kullanılan donanımlardan biri radardır. Radarlar, araçların ön tarafına monte edilerek öndeki araçtan gelen sinyalleri algılamaktadır. Günümüz araçlarında radardan başka sensör ve cihazlar da kullanılmaktadır. Kullanılan bu sensör ve cihazlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Kullanılan Sensör ve Cihazlar [42]

3.1.3.1. Radar

Radar sisteminin temelinde gönderilen sinyalin engelden seken halini emerek mesafe, açı ve Doppler hızını raporlamak vardır. Radarlar olumsuz hava koşullarından etkilenmemektedir. Radar, Adaptif Hız Sabitleyici sistemi için yaygın olarak kullanılmaktadır. [67].

3.1.3.2. LIDAR

LIDAR (Işık Tespit ve Mesafeleme) sistemi, radar veya sonarlar ile benzer çalışma prensibine sahiptir [68]. LIDAR sistemi için ışık ve radar sistemlerinin birleşimi diyebiliriz. Lazer tabanlı bir sistem olan LIDAR, 3 boyutlu lazer tarama tekniğini kullanan, 1970’li yıllardan beri aktif olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Bu sistem, uzaktan ışık algılama teknolojisi kullanarak yakın kızılötesi ışık titreşimlerini kullanarak mesafe ve hız farklarını ölçmektedir. Sistemin temel prensibi, ışık titreşimlerini emerek ve ışığın engelden geri geliş süresini ölçmektir [69]. Radara göre Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde daha az tercih edilmektedir. Bunun sebebi olarak hava koşullarına göre performansının değişmesi ve kötü hava koşullarında düşük performans göstermesidir [45]. LIDAR sistemi, sahip olduğu çoklu tarama fonksiyonu sayesinde aynı anda farklı nesneleri tanımlayabilme yeteneğine sahiptir. Chrysler ve Toyota tarafından LIDAR sistemi tercih edilmiştir [5] . LIDAR sisteminin en büyük dezavantajı olarak kötü hava şartlarında radar sistemlerine göre hata oranının daha yüksek olmasıdır [70].

3.1.3.3. Kameralar

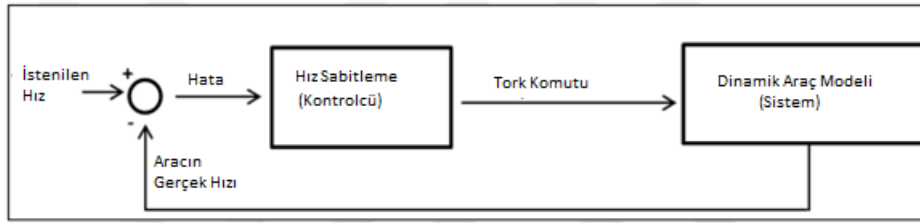
Sürüş destek sistemlerinde yaygın olarak kullanılan cihazlardan biri de kameralardır. Kameralar, sürücünün ve aracın sürüş ortamı hakkında daha fazla farkındalığa sahip olmasına yardımcı olur. Kameralar, yolun, sokak tabelalarının, yayaların, araçların ve diğer engellerin görüntülerini çekmek için aracın önüne, arkasına ve yanlarına yerleştirilmiştir. Kameralar tarafından yakalanan görüntüler, destekleyici yazılım tarafından analiz edilmektedir. Bu analiz sonucunda elde edilen bilgiler sonucunda, araç ve sürücü güvenliğini arttırmak için otomatik frenleme ve otomatik park etme gibi kontrolü ele alabilen aksiyonlara veya şeritten çıkma ve kör nokta uyarısı gibi uyarıcı sistemleri devreye girmektedir [71].

3.2. Sürüş Destek Uygulamaları

3.2.1. Hız Sabitleyici Sistemi

Hız sabitleyici sistemi çoğunlukla aracın sabit bir hızla gidebileceği yollarda aktif olarak kullanılması mümkün olan bir sistemdir. Karayollarında sürücüler hız sınırını aşmadan yüksek bir hızla hareket etmek isterken dikkatlerinin bir kısmını hız göstergesine vermektedir. Ayrıca, yokuş yukarı gidilmesi gereken veya yoğun ve yavaş akan trafiğe

girildiğinde gaz ve fren pedallarının fazlası ile kullanılmasından ötürü sürücüde fiziksel yorgunluğa sebep olunabilmektedir. Hız sabitleyici sistemin amacı sürücünün hızı sabit tutmaya çalışırken yaşayacağı yorgunluğu ve dikkat kaybını önlemektir. Sistem, temel olarak sürücünün gitmek istediği hızı ayarlaması ve bu hızda aracın sabit bir şekilde hareket etmesini amaçlar. Bu sistemin sonradan geliştirilen Adaptif Hız Sabitleyici sisteminden farkı, aracın önünde bir engel olması durumunda buna göre hızını ayarlamaması ve bu kontrolü sürücüye bırakmasıdır. Bu durum, hız sabitleyici sisteminin yoğun trafikte kullanılmasını neredeyse imkânsız kılmaktadır [72]. Bu sebeple, otomobil firmaları Adaptif Hız Sabitleyici sistemini geliştirmiştir [73]. Şekil 3.2’de hız sabitleyici bir sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.

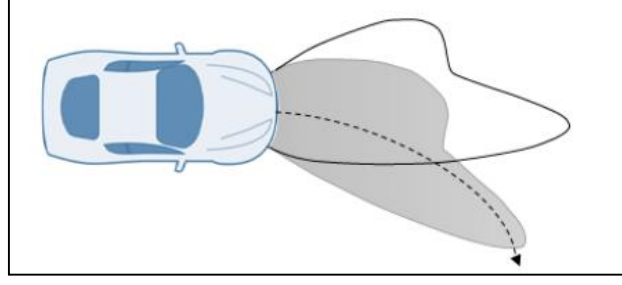


Şekil 3.2 Hız Sabitleyici Sisteminin Blok Diyagramı [74]

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.’de görülen hız sabitleyici sisteminin amacı, “Aracın Gerçek Hızı – İstenilen Hızı” değerinin minimuma indirilerek gerekli tork değeri ile aracın motorunu kontrol etmektir [74]. Geleneksel hız sabitleyici sisteminde sadece tork komutu iletildiği için sistemin fren yapma veya hız arttırma yetkisi bulunmamaktadır. Sürücü tarafından istenilen hız işaretlendikten sonra sürücünden bir müdahale gelmediği sürece aracın hızı değişmemektedir.

3.2.2. Adaptif Işık Kontrol Sistemi

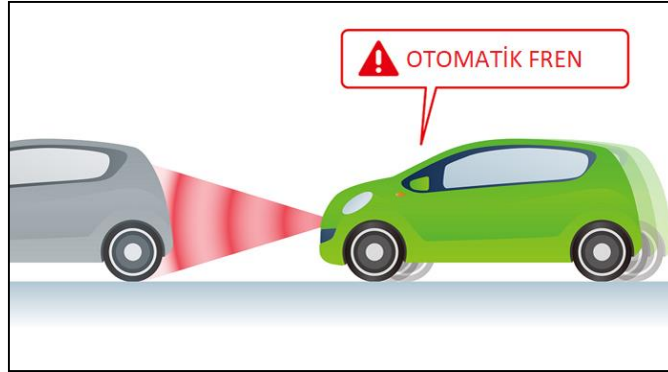
Adaptif ışık kontrol sisteminin amacı sürücüye gece sürüşlerinde veya karanlık ortamlarda daha sağlıklı bir görüş açısı sağlamak amacıyla aracın farlarını kontrol etmektir. Bu sistem, Şekil 3.3’de görülebileceği üzere, özellikle dönüş ve birleşim noktalarında ışık dağıtımını sürücünün görüş alanını arttıracak şekilde ayarlamaktadır.



Şekil 3.3 Adaptif Işık Kontrol Sistemi [42]

3.2.3. Otomatik Fren Sistemi

Otomatik fren sisteminin amacı sensörlerden gelen verilere göre yüksek hızlı çarpışmaları önlemek amacıyla fren kontrolünün ele alınmasıdır. Bu sistem, bazı durumlarda tamamiyle aracı durdurarak çarpışmayı önlemesine rağmen genel olarak çarpışmaları engelleyemese de aracın hızını yavaşlatarak yüksek hızlı çarpışmaları ve can kayıplarını azaltmaktadır [45]. Bu sistemin çalışabilmesi için araç üzerinde araç ile engel arası mesafeyi anlamlandırabilmesi için radar, mesafe algılayıcı sensör veya kamera gibi çevre bileşenleri bulunmalıdır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**3.4’de otomatik fren sistemi için bir örnek gösterilmiştir.

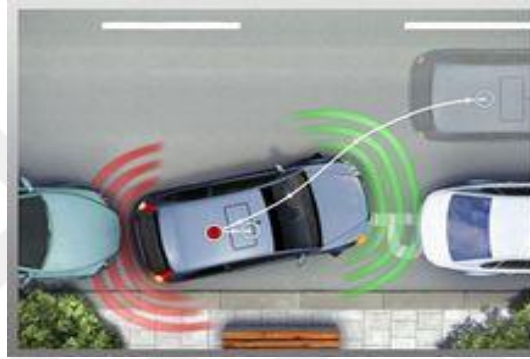


Şekil 3.4 Otomatik Fren Sistemi [75]

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.3.4’de görüldüğü üzere, aracın başka bir araçla veya engelle arasındaki mesafe belirli bir değerin altına geldiği zaman sistem bunu algılamakta ve kazayı önleme veya hafifletme amacıyla otomatik olarak fren yaparak aracın hızını azaltmaktadır. Bu sistem, günümüz araçlarında sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.4. Otomatik Park Sistemi

Otomatik park sisteminin iki farklı türü vardır. Bu türlerden ilkinde sistem tamamıyla otomatik olarak aracı park etmekteyken, diğer türünde ise sürücüye direksiyonu nereye doğru kırması gerektiği hakkında bilgi vermektedir. Bu sistem günümüzde belki de en yaygın olarak talep edilen sürüş destek sistemidir [45]. Otomatik park sisteminde sürücü her zaman kontrolü ele alabilmekte ve gaz, fren, direksiyon gibi bileşenlere müdahale edebilmektedir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de otomatik park sisteminin bir örneği gösterilmiştir.



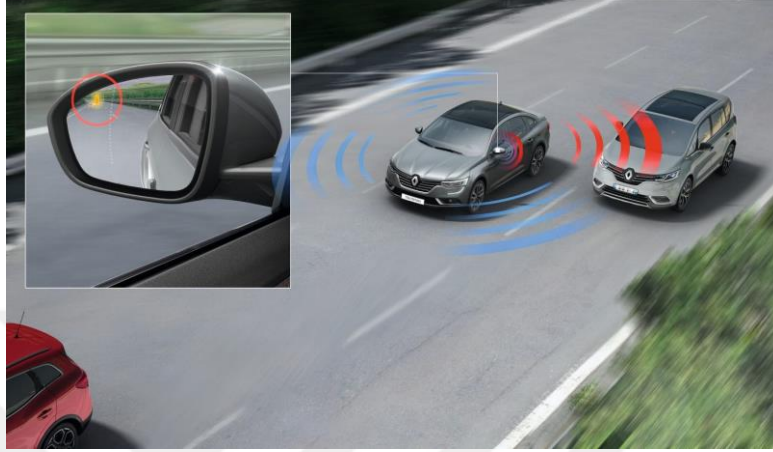
Şekil 3.5 Otomatik Park Sistemi [76]

Otomatik park sisteminin anlatılan ilk türü için **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görüldüğü üzere araç otomatik olarak gaz, fren ve direksiyonun kontrolünü alarak, etrafındaki diğer araç ve engeller ile ilgili mesafeleri kontrol ederek aracı ilgili boşluğa park etmektedir. Otomatik park sisteminin anlatılan ikinci türü için **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görüldüğü üzere araç etrafındaki diğer araç ve engeller ile ilgili mesafeleri kontrol ederek araç sürücüye renklerle bilgi vermektedir.

3.2.5. Kör Nokta Tespit Sistemi

Teknolojinin son yıllardaki hızlı gelişimi ile birlikte ortaya çıkan sistemlerden biri olan kör nokta tespit sistemi, insan sağlığı ve araç güvenliği konusunda EuroNCAP kriterlerine uygun bir sürüş destek sistemidir. Kör nokta tespit sisteminin amacı şerit değişiminde aynanın tasarımı gereği sahip olduğu kördükte olabilecek araç veya engelin kamera, radar veya sensör yardımıyla algılanarak sürücüye bu uyarının bildirilmesidir. Bu sistem ile şerit değişiminden kaynaklı kazaların azaltılması amaçlanmaktadır. Kör nokta tespit sisteminde

sensörlerden gelen uyarılara göre sürücü uyarılmaktadır. Volvo tarafından 2003 yılında geliştirilen bu sistemin motosiklet ve bisiklet gibi ince yapılı ulaşım araçlarını ve otomobilleri başarıyla algılayarak kazaları %70 oranında azalttığı bildirilmektedir [77]. Kör nokta tespit sisteminin işleyişi **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Kör Nokta Tespit Sistemi [77]

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'da görüldüğü üzere Kör Nokta Tespit Sistemi, orta şeritteki aracın solunda bir araç olduğunu saptayarak ayna üzerinde sürücüye uyarı işareti vermektedir.

3.2.6. Kaza Önleme Sistemi

Kaza önleme sistemi, başka bir araçla, yayayla, hayvanla veya çeşitli cisimlerle çarpışma durumuna göre sürücüyü uyarmaktadır. Bu sistem sahip olduğu sensörlerden gelen verilere göre sürücüyü uyararak, sürücü dikkatini arttırmayı ve tehlikeli durumların oluşmasını önlemeyi amaçlamaktadır.

3.2.7. Sürücü Yorgunluk Tespit Sistemi

Sürücü yorgunluk tespit sisteminde kullanılan teknikler üç kategoriye ayrılmaktadır [78]. İlk kategoride beyin dalgaları ve kalp atışı gibi biyomedikal sinyaller kullanılmaktadır [79], [80]. Bu tekniklerin kullanımı için sürücünün vücuduna çeşitli cihaz ve monitörlerin yerleştirilmesi gerekmektedir. İkinci kategoride ise “Controller Area Network (CAN)” sisteminden gelen gaz, fren ve direksiyon hareketleri gibi sürücüden gelen hareket sinyalleri

incelenmektedir [81], [82], [83], [84]. Üçüncü kategoride ise sürücünün gösterdiği oturma şekli, kafasını tutuşu ve gözlerinin açılıp kapanma durumu fiziksel hareketler incelenmektedir. Bu hareketlerin incelenmesi için sürücünün önüne bir kamera yerleştirilmektedir. Literatürde bu kamera için üç boyutlu kamera, görünür spektrum kamerası [85], [86] ve kızılötesi kamera [78], [87], [88], [89] gibi farklı tipler mevcuttur. Yorgunluk takip sisteminin yorgunluk tespit edildiği durumda sürücü ekranında verdiği uyarı **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Sürücü Yorgunluk Tespit Sistemi [90]

Sürücünün kullanımında şeritten kaymalar ve reflekslerde yavaşlamalar gibi farklılıklar fark edildiğinde araç ekranında **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görülen şekilde bir uyarı verilerek, sürücü mola vermesi ve dinlenmesi konusunda uyarılmaktadır.

3.2.8. Seyrüsefer Sistemi

ABD tarafından uzay yarışında kullanılmak amacıyla 1950 yılında tasarlanmaya başlanan ve 1978 yılında aktif olarak kullanılmaya başlayan seyrüsefer sistemleri dünyayı değiştirmiş ve derinden etkilemiştir [91]. Araç içi seyrüsefer sistemleri Küresel Konumlama Sistemine (GPS) dayanmaktadır. Bu sistemin amacı sürücünün ekrana bakarak dikkatini dağıtmasını engellemektir. Bu amaç doğrultusunda sesli ve bazen görsel olarak sürücünün gitmesi gerektiği yönü tarif etmektedir. Araç içi seyrüsefer sistemlerinin, sürücülerin bilmedikleri yerlerde kaybolmasını engelleyerek araba sürmeyi basitleştirdiği düşünülmektedir [92]. Günümüzde birçok araçta bu sistem fabrika çıkışlı olarak

gelmektedir. Şekil 3.8’de araçlarda yol bilgisayarında bulunan seyrüsefer sisteminin örneği ve görüntüsünün nasıl olduğu gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Seyrüsefer Sistemi [93]

Şekil 3.8’de görülebileceği üzere aracın yol bilgisayarında seyrüsefer kısmı bulunmakta ve bu kısım sayesinde sürücü, gitmek istediği noktayı işaretleyerek yol tarifi alabilmektedir.

3.2.9. Şerit Takip Sistemi

Şerit takip sistemi çeşitli sensörler kullanarak aracın şerit çizgileri arasındaki yerini algılamakta ve şeritten çıkma durumu varsa sürücüyü uyarmaktadır. Şerit takip sistemi, ses gibi çeşitli uyarıcılarla sürücüyü uyararak kaza riskini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu sistem, sinyalin verilip verilmediğini anlamakta ve sinyal verildiyse alarm vermemektedir.



Şekil 3.9 Şerit Takip Sistemi [94]

Şerit Takip Sistemi, Şekil 3.9’da da görülebileceği üzere sahip olduğu kamera ve sensör gibi yardımcı cihazlar ile gidilen şeridi algılamakta ve şeritten çıkıldığında sürücüye şeride dönülmesi konusunda bir uyarı vermektedir.

3.2.10. Yokuş Kalkış Destek Sistemi

Yokuş kalkış destek sistemi, düz vitesli ve otomatik vitesli otomobillerde, debriyaj kavrama noktasına gelene kadar freni tutarak aracın arkaya kaçmasını engelleyen ve araçların yokuşlarda kalkmasını kolaylaştıran bir sistemdir. Bu sistemin kullanımı için araçlarda özel bir sensör bulunmaktadır. Bu sensör, aracın burnunun arkasından daha yüksekte durduğunu algılayarak, yokuş kalkış destek sistemini devreye almaktadır. Şekil 3.10’da yokuş kalkış desteği sisteminin örneği verilmiştir.



Şekil 3.10 Yokuş Kalkış Destek Sistemi [95]

Şekil 3.10’da görülebileceği üzere yokuş kalkış desteği sistemi sayesinde araç geri kaçmayacak ve sürücünün aracı rahatlıkla hareket ettirebilmesine olanak sağlayacaktır.

3.2.11. Elektronik Stabilite Sistemi

Elektronik Stabilite programı (ESP) veya dinamik stabilite kontrolü (DSC) olarak da adlandırılan elektronik stabilite kontrolü (ESC), çekiş kaybını ve olası bir savrulmayı algılayan ve bu kayıp veya savrulmayı azaltarak aracın dengesini korumayı amaçlayan bilgisayarlı bir teknolojidir [96]. Bu sistem, sürücünün direksiyon hâkimiyetini kaybettiğini veya kaybetme ihtimali olduğunu tespit ettiğinde, aracı sürücünün gitmek istediği yöne yönlendirmek için otomatik olarak fren uygular [97]. Aynı zamanda, bazı ESP türlerinde motor gücü de kesilerek aracın kontrolsüz bir şekilde hızlanması engellenmektedir. Bu sistem, sürücülerin direksiyon hâkimiyetini sağlamalarını kolaylaştırarak trafik kazalarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.11’de ESP sistemi açık ve ESP sistemi kapalı olan araç için ani manevra durumunda olası durumlar gösterilmiştir.



Şekil 3.11 ESP Sistemi [98]

Şekil 3.11’de ESP açık olan senaryo için mavi düz çizgiler, ESP kapalı olan senaryo için mavi kesik çizgiler kullanılmıştır. Bu örnekte, grili aracın ESP sistemi açıkken önüne çıkan araç dolayısıyla yaptığı ani manevra sonucu direksiyon hâkimiyetini kaybetmeyecek ve şeridinden çıkmadan kazadan kurtulmuş olacaktır. Fakat ESP kapalı olan durumda direksiyonun hâkimiyetini kaybetme ihtimali doğacak ve bu durumda karşı şeritten gelen araç ile çarpışma olasılığı veya yoldan çıkma olasılığı doğacaktır.

3.2.12. Geri Görüş Kamerası

Geri görüş kamerası, araçlarda geri manevralar sırasında sürücüye destek olmak için kullanılan özel kameralardır. Bu kameralar, araç geri vitese alındığında devreye girerek sürücüye arkasında bulunan engeller, araçlar ve insanlar hakkında bilgi vermektedir. Bu sistemin daha da etkili kullanılması için park sensörleri, mesafe ölçer sensörler gibi ek donanımlar da kullanılmaktadır. Geri görüş kamerası sayesinde, sürücü, park etmesi gereken çizgileri, çevresindeki engelleri ve o engellere olan mesafeleri rahatlıkla görebilmektedir. Bu durumun geri geri manevraları oldukça kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Bu sistem, sürücülerin park etmelerini kolaylaştırarak ve park etmelerine yardımcı olarak trafik kazalarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.12’de geri görüş kamerasının bir örneği verilmiştir.



Şekil 3.12 Geri Görüş Kamerası [99]

Şekil 3.12’de verilen örnekte görülebileceği üzere, araç geri vitese alındığı zaman yol bilgisayarı ekranında geri görüş kamerasından alınan görüntü sürücüye verilmektedir. Bu görüntü sayesinde aracın etrafındaki engeller ve yerde bulunan park çizgisi işaretleri sürücü tarafından rahatlıkla görülmektedir.

3.2.13. Ön ve Arka Park Sensörleri

Park sensörleri, park etme esnasında sürücüyü aracın etrafındaki engellere karşı uyarmak için tasarlanmış mesafe ölçer sensörlerdir. Bazı araçlarda arka park sensörü, bazı araçlarda ön park sensörü varken bazı araçlarda hem ön hem arka park sensörü bulunmaktadır. Bu sistem, aracın ön ve arka tamponlarına yerleştirilen mesafe ölçer sensörler sayesinde aracın çevresindeki engellerle olan mesafesini ölçerek sürücüyü uymaktadır. Bu sistem, sürücülerin park etmelerini kolaylaştırarak ve park etmelerine yardımcı olarak trafik kazalarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır.

3.2.14. Trafik İşareti Tanıma Sistemi

Trafik işareti tanıma sistemi, bir aracın yola konan hız sınırı gibi trafik işaretlerini tanıyabildiği bir teknolojik sistemdir. Trafik işaretlerinin tanınması için aracın ön tarafında bulunan kamera aracılığıyla görüntüler tespit edilmekte ve bu elde edilen görüntüler işlenerek yol bilgisayarında ve sürücü ekranında gösterilmektedir. Bu sistem, sürücülerin trafik kurallarına ve levhalarına uyumunu arttırarak trafik kazalarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.13’de trafik işareti tanıma sisteminin bir örneği verilmiştir.



Şekil 3.13 Trafik İşareti Tanıma Sistemi [100]

Şekil 3.13’de verilen örnekte görüldüğü üzere aracın ön tarafında bulunan kamerada görülen trafik işaretleri anlık olarak sürücüye bildirilmektedir.

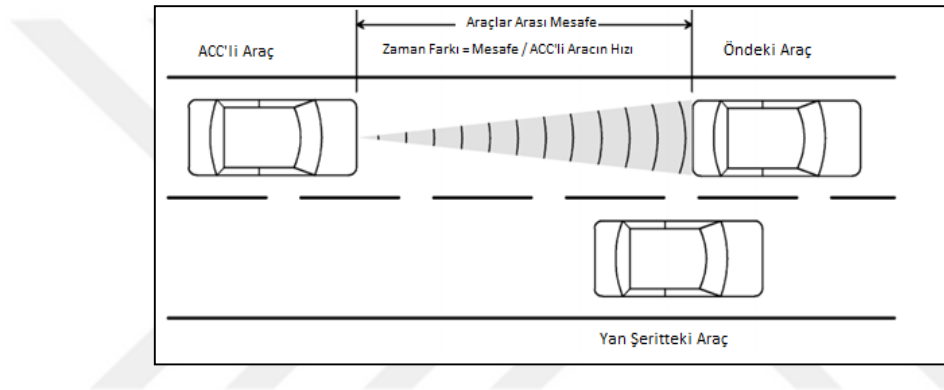
3.2.15. Kilitlenme Karşıtı Frenleme (ABS) Sistemi

Kilitlenme karşıtı frenleme (ABS) sistemi, frenleme esnasında aracın frenlerinin, araç tekerleklerini kilitlemesini önlemek amacıyla kullanılan teknolojik bir sistemdir. Bu sistem, tekerleklerin devir sayısında ani bir değişim tespit ettiğinde fren basıncını düşürerek tekerleklerin kilitlenmesini önlemektedir. Özellikle kaygan zeminlerde ve aşırı hızlı durumlarda sıklıkla devreye girmektedir. Bu sistem, frenleme mesafesini kısaltarak trafik kazalarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır.

3.3. Adaptif Hız Sabitleyici

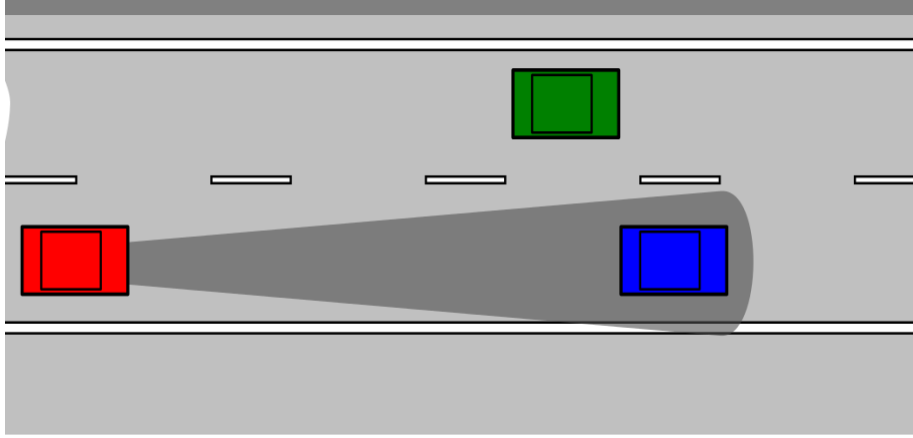
Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç hedef araç ile arasındaki mesafeyi sürekli takip ederek, aracın hızını ona göre ayarlamaktadır. Hedef araç yavaşlayınca yavaşlamakta, hızlanınca hızlanmakta ve böylece aradaki mesafeyi sabit tutmaktadır. Eğer araç şerit değiştirirse ve önünden çekilirse, araç sürücünün ayarladığı hıza göre hızlanabilir. Eğer farklı şeritten bir araç şerit değiştirerek önüne gelirse, Adaptif Hız Sabitleyici sistemi

otomatik olarak aracı yavaşlatacaktır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, önünde bir araç veya engel olmadığı durumlarda geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır. Genel olarak Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde, lazer ultrasonik sensör, LIDAR, radar, kamera, tekerlek hız sensörü, köşe sensörü ve ivmemetre bulunmaktadır [101]. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin temel bileşeni radardır. Radarın temel çalışma prensibi bir engelden seken sinyalleri toplamasıdır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde radarın görevi uzaklık, açı ve Doppler hızı gibi bilgileri raporlamasıdır. Radar sistemleri hava durumu gibi koşullardan etkilenmez. Bir diğer mesafe sensörü LIDAR'dır. LIDAR, kızılötesi dalgaları göndererek engel ile sensör arasındaki mesafeyi ölçer [69].



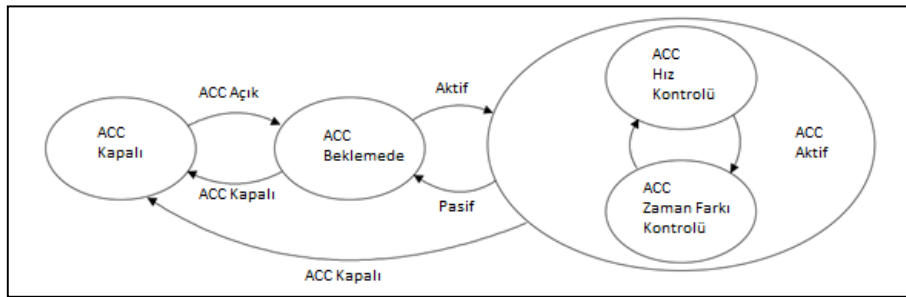
Şekil 3.14 Adaptif Hız Sabitleyici Açıklama [102]

Şekil 3.14’de gösterildiği üzere Adaptif Hız Sabitleyici aracı ile öndeki araç arasında yeterli mesafe bırakılmalıdır. Bu mesafe, araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Adaptif Hız Sabitleyicisi bulunan bir araç sahip olduğu radar sisteminden gelen sinyallere göre öndeki araç veya araçların yavaşladığını veya hızlandığını algılamakta ve bu algıya göre kendi aracının hızını azaltmakta veya arttırmaktadır. Eğer önündeki araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemli aracın önünden çekilirse, araç tekrar ilk sabitlenen hıza ivmelenecektir. Bu sistemde süre farkı, arkadaki aracın, öndeki aracın şu anki hızına yetişmesi için gereken süre olarak tanımlanmıştır [102]. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi basit çalışma mantığında öndeki aracın hızını referans alarak bağlı olduğu aracın hızını değiştirmesidir. Fakat aracın önünde bir engel olmaması durumunda referans olarak alacağı bir hız olmadığı için sürücünün sisteme girdiği hız artık istenilen hız olacaktır [103].



Şekil 3.15 Adaptif Hız Sabitleyici Örnek [104]

Şekil 3.15’de görülen kırmızı araba, mavi araba ile arasındaki mesafeyi otomatik olarak güvenli bir değerde korur. Radardan gelen sinyaller mavi aracın yavaşladığını gösterirse araç yavaşlayacak, hızlandığını gösterirse araç hızlanacaktır. Eğer mavi araç şerit değiştirirse, kırmızı araç hızlanacak ve bir sonraki araç ile mesafeyi ayarlamaya çalışacaktır. Bu durumda, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’da gözüken yeşil aracın Adaptif Hız Sabitleyici sistemine bir etkisi yoktur. Yeşil aracın sisteme bir etkisi olması için şerit değiştirerek kırmızı araç ile mavi aracın arasına girmesi gerekmektedir. Bu durumda, kırmızı araçtaki Adaptif Hız Sabitleyici sistemi artık mavi araca göre değil yeşil araca göre hızını ve mesafesini ayarlayacaktır. Bu durum değişimleri ISO-15622 standardında [105] Şekil 3.16’da gösterildiği gibi tanımlanmıştır;

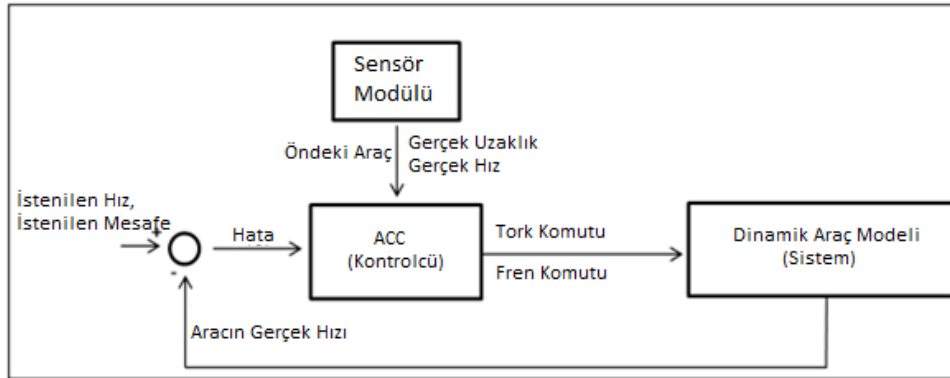


Şekil 3.16 Adaptif Hız Sabitleyici Durum Değişimleri [105]

Şekil 3.16’da görülebileceği üzere “Adaptif Hız Sabitleyici Kapalı” olarak isimlendirilen durum, Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin kapalı olduğu durumdur. Sistem, sürücü tarafından açılmayı beklemektedir. “Adaptif Hız Sabitleyici Beklemede” durumunda

ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi sürücüden bir hız seçilmesini yani aktifleştirilmeyi beklemektedir. Sürücü tarafından hız seçimi yapıldıktan sonra Adaptif Hız Sabitleyici sistemi devreye alınmış olacaktır. Bu durumda sistem düzenli olarak hız ve zaman farkı kontrolünü sağlayacaktır. Hız farkı ve zaman farkı kontrolü sayesinde araçlar arasındaki güvenli mesafe korunmuş olacaktır. “Adaptif Hız Sabitleyici Hız Kontrolü” durumu ise öndeki araç ile Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızlarının karşılaştırıldığı durumdur. Araçlar arası mesafenin azaldığının fark edilmesi durumunda araç yavaşlatılacaktır. “Adaptif Hız Sabitleyici Zaman Farkı Kontrolü” isimli durum Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin ana fazıdır. Bu fazda sistem, öndeki araca göre frenleme ve gaz basma işlemlerini gerçekleştirir [106]. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde sürücü tarafından iki tane asıl girdi beklenmektedir. Bu girdiler, istenilen hız ve istenilen süre farkıdır. İstenilen süre farkı için standartlarda tanımlanmış limitler mevcuttur. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi trafik akışından haberdar olmak zorundadır. Bu trafik akışı farkındalığı için kullanılmakta olan sensörler ve kontrolcüler vardır. Bu kontrolcüler ve sensörler, öndeki aracın, engellerin ve yayaların tespiti için önemlidir [107] .

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin günümüzde kullanılmakta blok diyagramı Şekil 3.17’de verilmiştir.



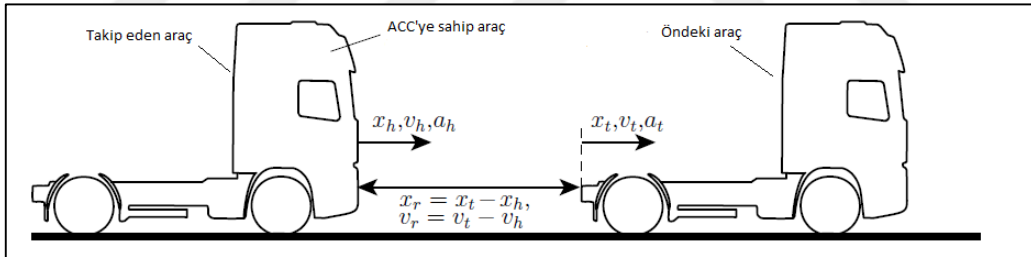
Şekil 3.17 Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Blok Diyagramı [74]

Şekil 3.17’de görülebileceği üzere sensörler (radar veya kamera) araçların önüne monte edilerek trafiğin durumu hakkında bilgi almaktadır. Bu sensörler araçlar arasındaki mesafeyi sürekli olarak kontrol modülüne bildirmektedir [74]. Bu bilgileri anlamlandırarak kontrol modülü aracın hızını otomatik olarak değiştirmektedir [74]. Araçlar arasındaki

güvenli mesafe sabit kalmak koşuluyla aracın hızı sürücünün başlangıçta tanımladığı hıza kadar arttırılabilir veya araç durma noktasına gelene kadar azaltılabilir.

Adaptif Hız Sabitleyici donanımının tasarımı için kullanılacak olan kontrolcü mimarisi alt ve üst seviye olmak üzere hiyerarşik bir yapıya sahiptir [108]. Üst seviye kontrolcüsü Adaptif Hız Sabitleyici kontrolcüsü olarak adlandırılırken alt seviye kontrolcüsü boyuna kontrolcü olarak adlandırılır [109]. Üst seviye kontrolcünün sistemdeki görevi istenilen ivmeye karar vererek bunu alt seviye kontrolcüye iletmektir. Alt seviye kontrolcü ise gelen ivme değerine göre gaz veya fren komutuna karar vererek üst seviye kontrolcüye hata mesajlarını göndermektedir [110].

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin hız kontrolü ve araç takibi olmak üzere iki çalışma modu vardır. Hız kontrolü modu, geleneksel hız kontrolü sistemine benzemektedir. Bu modda, araç sürücü tarafından tanımlanan hızda sabit hareket etmektedir. Araç takibi modu ise öndeki araç ile mesafeyi fren ve gaz kontrolü sağlayarak güvenli bir seviyede tutmaktadır. Bu modlar arası geçişin yapılabilmesi için mesafe sensörleri, kameralar, radarlar gibi birçok bileşen kullanılmaktadır.



Şekil 3.18 Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Ana Değişkenleri [111]

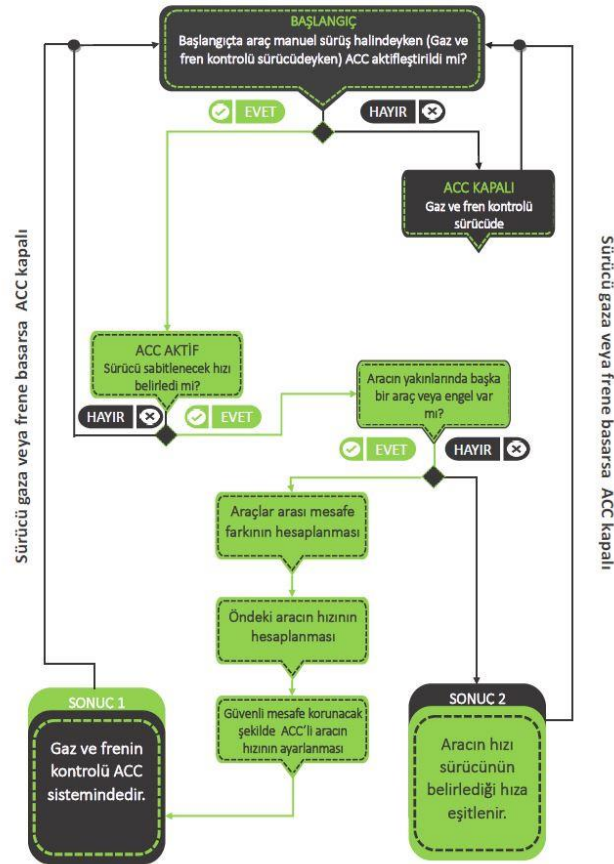
Şekil 3.18’de, x_h , v_h ve a_h takip eden aracın pozisyon, hız ve ivme bilgilerini, x_t , v_t ve a_t ise öndeki aracın pozisyon, hız ve ivme bilgilerini göstermektedir. x_r değişkeni, araçlar arasındaki mesafe farkını, v_r değişkeni ise araçların hız farkını sembolize etmektedir. Takip eden araçta Adaptif Hız Sabitleyici sistemi bulunmakta ve x_r değişkenini yani araçlar arasındaki mesafeyi kontrol ederek kendi hızı olan v_t değişkenini değiştirmektedir. v_t hızındaki değişkene bağlı olarak v_r hızı da değişmektedir. Öndeki araç ile takip eden araç arası mesafe Denklem 3.1 ile bulunabilmektedir;

$$x_r = x_t - x_h. \quad (3.1)$$

Araçların hızları farkı ise aşağıdaki Denklem 3.2 ile bulunabilmektedir;

$$V_r = V_t - V_h. \quad (3.2)$$

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin akış diyagramı Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

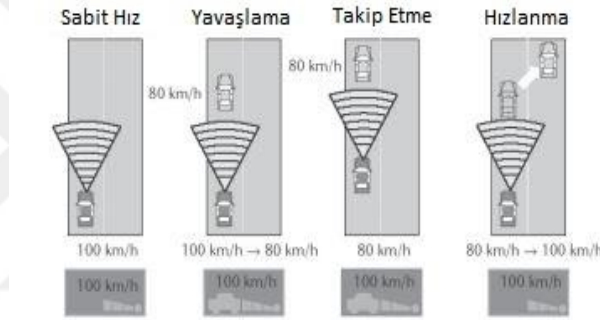


Şekil 3.19 Adaptif Hız Sabitleyici Akış Diyagramı

Şekil 3.19'da gösterilen akış diyagramında sistemin çalışmaya başlaması için öncelikle sürücü tarafından Adaptif Hız Sabitleyici tuşuna basılması gerekmektedir. Bu tuşa basıldıktan sonra sürücü hızın sabitlenmesini istediği hızı belirleyecektir. Bu hız belirlendikten sonra aracın etrafında tehlike yaratabilecek bir araç veya engel bulunmadığı takdirde aracın hızı sürücünün belirlediği hıza eşitlenecektir. Aracın önüne bir engel gelmediği sürece veya sürücü tarafından gaz veya fren pedalına müdahale gelmedikçe araç o hızda sabit gitmeye devam edecektir. Sürücünün gaz veya fren pedalına müdahale etmesi durumunda ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi devre dışı kalacak ve tüm kontrol sürücüye

ait olacaktır. Aracın etrafında başka bir araç veya engel varsa önce araçlar arası mesafe farkı hesaplanacaktır. Hesaplanan bu mesafe farkına göre öndeki aracın hızı hesaplanacaktır. Öndeki aracın hesaplanan hızına göre güvenli mesafe korunacak şekilde Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hızı ayarlanacaktır. Bu durumda, gaz ve fren pedallarının kontrolü Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin kontrolünde olacaktır. Öndeki aracın durumuna göre aracın hızı sürücünün belirlediği hıza kadar arttırılabilir veya durma noktasına gelecek kadar yavaşlatılabilir. Buna ek olarak, sürücünün gaz veya fren pedalına müdahalesi durumunda Adaptif Hız Sabitleyici sistemi devre dışı kalacak ve tüm kontrol sürücüye ait olacaktır.

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin farklı durumlarda çalışma şekli Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Adaptif Hız Sabitleyici Sisteminin Çalışma Şekilleri [112]

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde sürücü tarafından bir hız belirlenmektedir. Şekil 3.20’deki örnekte sürücü tarafından aracın 100 km/saat ile gitmesi istenmektedir. Şekil 3.20’de ilk durum, aracın önünde bir araç olmadığı için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi klasik hız sabitleyici sistemi gibi davranacak ve 100 km/saat hız ile sabit hareket edecektir. Araç sahip olduğu sensör, kamera ve radar gibi ek birimler sayesinde elde ettiği verilere göre güvenli mesafeden daha yakında bir araç olduğu takdirde güvenli mesafeyi koruyacak şekilde yavaşlamaktadır. Şekil 3.20’de ikinci durumda görüldüğü gibi güvenli mesafenin ihlali durumunda araç, öndeki araç veya engel ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde yavaşlayacaktır. Bu örnekte, aracın hızı 80 km/saat’e inmektedir. Şekil 3.20’de üçüncü durum olarak verilen durumda ise araç güvenli mesafeyi sağladıktan sonra öndeki aracın hız değişimine göre hızlanıp, yavaşlayacaktır. Bu örnekte, öndeki aracın hızı değişmediği ve 80 km/saat’te sabit kaldığı için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi de 80 km/saat ile öndeki aracı

takip edecektir. Şekil 3.20’de dördüncü durumda gösterilen örnekte ise, aracın önündeki aracın şerit değiştirmesi durumunda Adaptif Hız Sabitleyici sistemi önünde bir engel kalmadığını anlayacak ve aracın hızını sürücünün istediği hız olan 100 km/saat’e çıkartacaktır.

3.3.1. Adaptif Hız Sabitleyici Performans Kriterleri

ADAS sistemleri günümüzde araç teknolojisinde büyük bir öneme sahiptir. Bu sistemlerden en kritik olanlarından biri de Adaptif Hız Sabitleyici sistemidir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin temel amacı, önünde bir araç veya engel olduğu takdirde öndeki araçla güvenli mesafeyi korumak ve bu mesafeyi koruyacak hızı bularak yavaşlamak veya hızlanmaktır. Eğer aracın önünde başka bir araç veya engel yoksa sürücü tarafından ayarlanmış olan hızda sabit hareket etmektir. Her teknolojiye olduğu gibi Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin de hem tasarımı hem kullanımı sırasında dikkat edilen kriterler mevcuttur. Bu kriterler kararlılık, mesafe ve hız kontrolü, yolcu konforu ve güvenlik olarak sıralanabilir.

3.3.1.1. Kararlılık

Kararlılık, tüm kontrol sistemleri için en önemli özelliktir. Hatalı geri besleme, kararlı sistemlerin kararsız hale gelmesine neden olabilir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde kararlılık, ana aracın hızının ve önde gelen araca olan bağlı mesafenin istenen değerlere kavuşması anlamına gelir. Tek bir aracın kararlılığına ek olarak, trafik ve çoklu aracın bulunduğu bir ortam düşünüldüğünde, bir araç grubu için de dizi halinde kararlılık sağlanmalıdır. Aksi takdirde, her biri aynı Adaptif Hız Sabitleyici sistemleriyle donatılmış bir araç grubunda kararlılıkla ilgili sorunlar gündeme gelecektir. Geri besleme kontrolcüsü uygun şekilde tasarlanmadığı durumda, birden fazla Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın bulunduğu bir araç grubunun ilk aracı hızlandığında veya yavaşladığında, araç akışı boyunca mesafe hataları artar. Dizi halinde kararlılık sağlanmasını garanti etmek için istenen bağlı mesafe uygun şekilde belirlenmelidir [113].

3.3.1.2. Mesafe ve Hız Kontrolü

Geleneksel hız sabitleyici sisteminde sürücü tarafından belirlenen hıza kadar araç hızlandıktan sonra sürücü tarafından bir müdahale olmadığı durumda araç o hızda sabit

gitmektedir. Bu durum istenmeyen sonuçlar yaratabileceği ve özellikle trafik koşullarında çok işlevsel olmadığı için Adaptif Hız Sabitleyici sistemleri tasarlanmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinin öndeki araca göre aracın durması için yeterli süreye ve imkâna sahip olacağı bir mesafeyi koruması gerekmektedir. Ancak, öndeki araç, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın sürücüsü tarafından istenen hızdan daha hızlı hareket ediyorsa veya sensörler tarafından öndeki araç algılanmıyorsa, Adaptif Hız Sabitleyici sistemleri, geleneksel hız sabitleme sistemi gibi sürücü tarafından istenen hızı ayarlayacaktır. Yalnızca hem mesafe kontrolörünün hem de hız kontrolörünün düzgün ve kararlı bir şekilde çalışması değil, aynı zamanda kontrol şeması birinden diğerine geçtiğinde geçiş performansının düzgün ve güvenli olması da önemlidir. Anlık hareketler, sık geçişlerin olduğu şehir içi sürüş için önemlidir. Örneğin, öndeki bir araç devreden çıktığında, yeni araca göreli mesafe bir önceki hesaplanan mesafeye göre çok büyük olabileceği için Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin anlık olarak hızı arttırması gerekecektir. Aynı şekilde, öndeki araç ile arasına bir araç daha girerse araçlar arası mesafe hesaplanan mesafeden çok daha az olabileceği için Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin anlık olarak hızı azaltması gerekecektir [114].

3.3.1.3. Yolcu Konforu

Hızlanmalar ve yavaşlamalar yolcuların konforu ile yakından ilgili olduğu için Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde önemli parametrelerdir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin çalışması sırasında hızlanmalar ve yavaşlamalar kaçınılmazdır ve aşırı hızlanmalar veya yavaşlamalar yolcuları rahatsız ve tedirgin edebilir [115]. Bu nedenle, bir Adaptif Hız Sabitleyici sistemi hızlanma ve yavaşlamanın belirli bir aralıkta kalması için çalışmalıdır. Hızlanma ve yavaşlamaya ek olarak, ivmenin zamana göre türevi olan sarsıntı, hızlanma ve yavaşlamanın değişimini ölçmek için bir parametre olarak kullanılabilir ve yolcuların rahatını sağlamak için mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. Bir diğer deyişle, aracın hızlanma ve yavaşlama ivmesinin sürücü ve yolcu konforunu etkilemeyecek şekilde tutulması gerekmektedir. Bu durumun sağlanması için araçlar arası güvenli mesafenin yolcu konforu hesaba katılarak ayarlanması gerekmektedir. Buna ek olarak, öndeki aracın hızlanması veya yavaşlaması sürücülerin beklentisinin tersi olmamalıdır. Örneğin, sürücü aracın yavaşlamasını beklediğinde araç hızlanıyorsa, sürücü Adaptif Hız Sabitleyici sisteminden çok rahatsız olacaktır [114].

3.3.1.4. Güvenlik

İnsan sağığı her sistemde olduğı gibi hem araçlarda hem de Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde en yüksek önceliğe sahiptir. Yolcuların konforu, yakıt tüketimi gibi konular da önemli parametreler olsa da bir sistemin en önemli parametresi güvenlik ve insan sağığıdır. Bu durumda, Adaptif Hız Sabitleyici sistemi çalışma prensibi olarak güvenliğı bozmamalıdır. Acil durumlarda, sert frenleme veya ani durma işlemleri yapılabilmelidir. Bu nedenle, duruma göre optimal hızlanma ve yavaşlama profili belirlenmelidir. Örneğın, acil duruş durumunda, öndeki araç durma mesafesini en aza indirmek için hızlı bir şekilde yavaşlamalı, acil olmayan durma durumlarında ise yolcuların rahatsızlık hissetmemesi için Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip olan araç yavaş yavaş yavaşlamalıdır [114].

3.3.2. Adaptif Hız Sabitleyici Sistemlerinde Kullanılan Kontrolcüler

Adaptif Hız Sabitleyici sistemi yaklaşık olarak 20 yıl önce araç sistemlerine entegre edilmiştir. Kontrol algoritmaları ise gelişen teknolojiye uyumlu olarak gelişmeye devam etmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin ilk tanıtımından beri farklı kontrol metotları kullanılmaya devam edilmiştir [116]. Literatürde bulunan tasarımlarda yaygın olarak PID ve MPC kontrolcülerini kullanılmaktadır.

3.3.3. Kullanılan Denetleyici Türleri

3.3.3.1. PID Denetimci

PID denetimci (kontrolcü), 1911 yılında Elmer Sperry tarafından tasarlanmıştır [117]. Daha sonra, 1940 yılında ani yükselme problemine çözüm olması amacıyla türevsel bir eylemle pnömatik PID kontrolcüsü tasarlanmıştır [117]. 1942 yılında ise Ziegler & Nichols tarafından PID kontrolcüsünün parametrelerini ayarlamak için ayar kuralları tanıtılmıştır [117]. Bu tarihten itibaren günümüze kadar kullanımı giderek artarak devam etmiş ve hala günümüzde kullanılan en popüler kontrolcüdür [118]. Enerji üretimi, ulaşım ve üretim gibi endüstri uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir sistemdir [119]. PID kontrolcüsünün hala bu kadar yaygın kullanılan ve önemli olarak görülen bir kontrolcü olmasının geçmiş başarıları, kolay bulunabilirliğı ve kullanım kolaylığı olmak üzere üç sebebi vardır. Yapılacak olan işlem sürecinin karmaşıklığının çok döngülü veya çok değişkenli bir kontrol

çözümü gerektirdiği durumlarda bile, genellikle PID kontrol yapı taşlarına dayalı bir ağ kullanılmaktadır [120].

PID kontrolcüsü, herhangi bir değişiklikten veya bozulmalardan bağımsız olarak bir ayar noktası elde etmeye yardımcı olan bir geri besleme denetleyicisidir [121]. Bu sistemin üç temel bileşeni mevcuttur. Bu bileşenler; oransal (proportional, P), integral (I) ve türevsel (derivative, D) denetim mekanizmaları olarak tanımlanmıştır. PID denetleyicisinde bu üç bileşenden gelen K_p , K_i ve K_d olmak üzere üç farklı kazanç türü kullanılmaktadır. K_p , oransal kazancı, K_i integral kazancı ve K_d türevsel kazancı göstermektedir. Oransal kısım statik kontrolcü iken, türevsel kısım sistemin cevabını hızlandıran kontrolcü, integral kısmı ise durağan durum hatasını düşüren kontrolcüdür [122].

PID kontrolcüsünün zaman alanı olarak matematiksel gösterimi Denklem 3.3 ile verilmiştir.

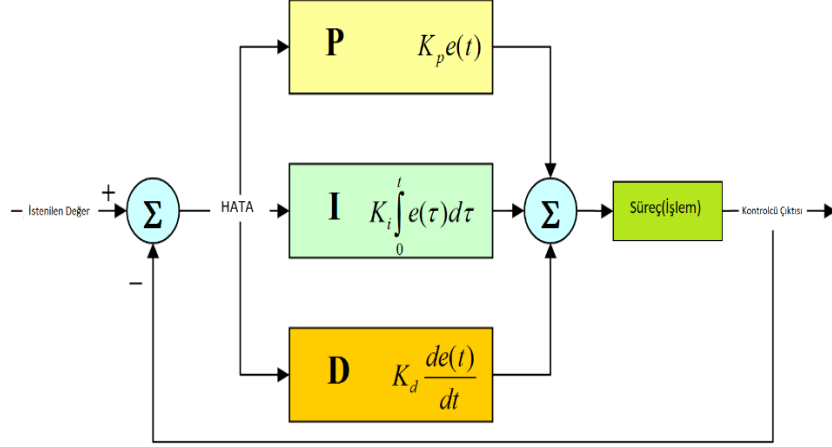
$$u_c(t) = k_p e(t) + k_i \int^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de}{dt} [45] \quad (3.3)$$

Oransal kazanç hatayı K_p faktörüyle çarpılmaktadır. İntegral terimi ise integral kazancının ile son hataların toplamının çarpımıdır. İntegral terimi, kararlı durum hatasından kurtulmaya yardımcı olur ve sistemin istenen ayar noktasını yakalamasını sağlar. Türev kontrolcüsü ise hatanın değişmekte olduğu hıza tepkiyi belirler [121].

PID kontrolcüsünün zaman alanına göre olan gösterimine Laplace dönüşümü uygulanarak Denklem 3.4'deki transfer fonksiyonu bulunmaktadır.

$$U_c(s) = \left[k_p + k_i \frac{1}{s} + k_d s \right] E(s) [45] \quad (3.4)$$

PID kontrolcüsünün blok şeması Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21 PID Kontrolcüsünün Blok Şeması [123]

Şekil 3.21’de görüldüğü üzere ayarlanmak istenilen değerden kontrolcünün çıktısı alınarak hata hesaplanmaktadır. Bu hata değerine bağlı olarak P, I ve D hesaplamaları yapılmaktadır. Hata değerine göre hesaplanan bu P, I ve D değerleri toplanarak yeni kontrolcü çıktısı elde edilmektedir. Her bir işlemten sonra kontrolcü çıktısının istenilen değere daha da yakın olması beklenmektedir.

PID kontrolcüsünün içerdiği K_p , K_i ve K_d kazanç değerlerine göre kapalı döngülü bir sistemin sonuçları değişmektedir. Bu etkiler Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

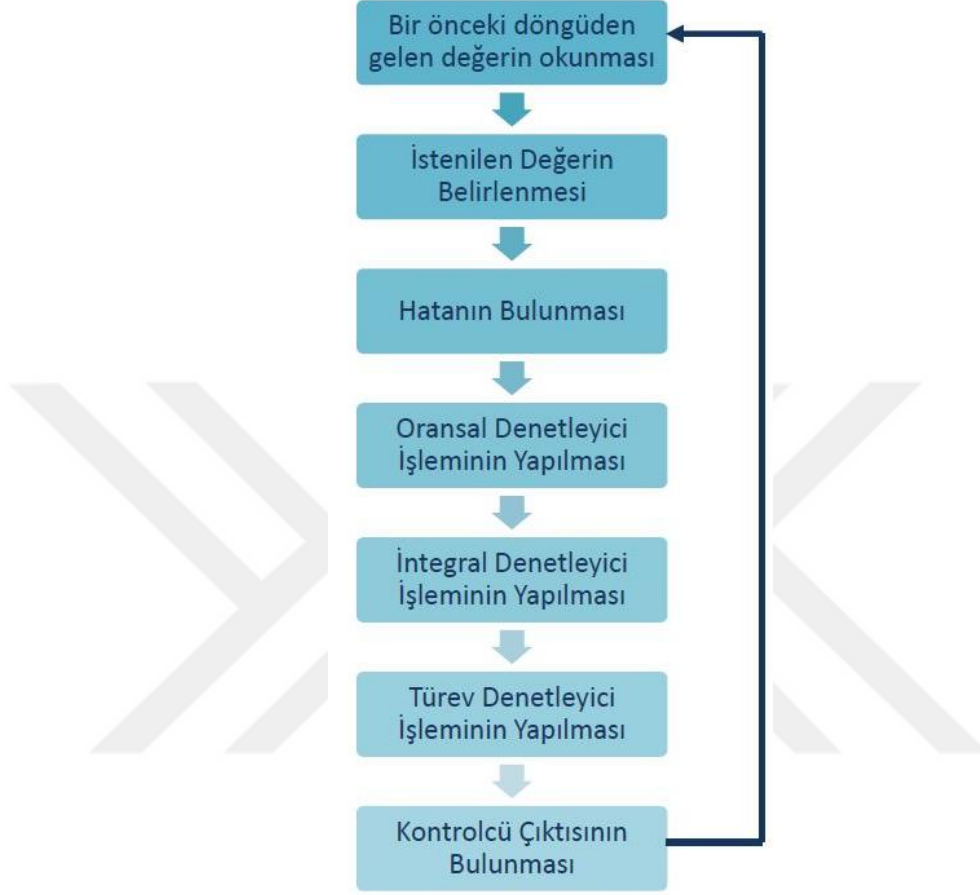
Tablo 3.1 K_p , K_i ve K_d Denetleyicisinin Etkileri [124]

Denetleyici	Yükselme Zamanı	Aşma	Yatışma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
K_p	Kısalır	Artar	Az Değişim	Azalır
K_i	Kısalır	Artar	Artar	Ortadan Kalkar
K_d	Az Değişim	Azalır	Azalır	Az Değişim

Tablo 3.1’de görülen bağlantılar K_p , K_i ve K_d değerlerinin birbirlerine bağımlı olması sebebiyle kesin olarak doğru olmayabilir. K_p denetleyicisi yükselme zamanını azaltmada etkili olmasına rağmen kalıcı durum hatasını tamamen ortadan kaldıramamaktadır. K_i

denetleyicisi kalıcı durum hatasının ortadan kaldırılmasında etkilidir. K_d denetleyicisi ise sistem kararlılığını arttırmada, aşmanın azaltılmasında etkilidir [124].

Şekil 3.22’de PID akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.22 PID Akış Diyagramı

Şekil 3.22’de gösterilen akış diyagramında görüldüğü gibi PID kontrolcüsünün amacı, bir önceki döngüden gelen değere göre istenilen değeri elde etmeye çalışmaktır. Bu amaç doğrultusunda istenilen değer ile bir önceki döngüden gelen değerin farkı alınarak hata hesaplaması yapılmaktadır. Bu hata değeri üzerinde oransal, integral ve türev denetleyicileri paralel olarak işlemler yapmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda, kontrolcü çıktısı bulunarak bir sonraki süreç döngüsünde kullanılmak üzere geri besleme yapılır.

PID kontrolcüsü uzun geçmişiyle beraber, göreceli basit bir yapısı olması ve ayarlanacak değişken sayısının azlığı sebebiyle endüstride standart denetim dizgesi olarak kullanılmaktadır [125]. Bu sebeple, araçlarda kullanılmakta olan Adaptif Hız Sabitleyici

sistemlerinde ve akademik çalışmalarda genel olarak ana kontrolcü olarak kullanılmaktadır. PID, hata sinyali kullanarak gerekli aksiyonunun büyüklüğünü hesaplar. Adaptif Hız Sabitleyici kontrol algoritmaları iç ve dış olarak iki farklı döngü içermektedir. Dış döngü, yüksek seviye kontrolcü olarak da adlandırılır ve istenilen ivme ve tork gibi değerleri hesaplamaktadır. İç döngü, düşük seviye kontrolcü olarak da adlandırılabilir ve dış döngüden gelen bilgileri kullanır. Aynı zamanda, gaz ve fren kontrolü gibi düşük seviye eyleyici kontrol algoritmalarını içerir. Genel olarak PID kullanılan Adaptif Hız Sabitleyici uygulamalarında hata, araçlar arası mesafe farkıdır.

3.3.3.2. Model Tahmin Kontrolcüsü (MPC)

MPC, insan yaşamında, üretimde ve teknolojiye değişen ihtiyaçlara ve gelişimlere bağlı olarak kontrol sistemleri de değişmiş ve gelişmiştir. Bu gelişime bağlı olarak, MPC 1970 yıllarının başlarında ortaya çıkmış ve 1980'li yıllardan itibaren endüstride kullanılmaya başlanmış bir kontrolcüdür. 1980'li yılların başlarında IDCOM tarafından tasarlanan DMC algoritması MPC'nin ilk örnekleri olarak gösterilmektedir [126]. Genel olarak, MPC kontrolcüsü tanımlanabilir bir modelin doğrudan kullanımının olduğu bir kontrolcü ailesi olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda, gelecekteki sistem davranışının tahminini ve sistem çıktısının istenilen değere en yakın hale getirilebilmesi için gerekli kontrol işlemlerini yapma görevinde bulunan bilgisayar kontrol sınıfı olarak da tanımlanabilir [126].

MPC, endüstrinin ihtiyaçlarının değişimi dolayısıyla ortaya çıkan yüksek performans ve verim ihtiyacını sağlayabilmek amacıyla özellikle karmaşık endüstri sistemlerinde kullanılan bir kontrol tekniğidir [127].

Model Tahmin Kontrolcüsü (MPC), endüstride sistematik çözümler sunabileceği kabul edilmiş ve kapalı döngü performansını optimize etme yeteneği nedeniyle geniş bir yelpazedeki kontrol problemlerine istenen girdiler, durumlar ve çıktılara göre cevap verebildiğinden popülerlik kazanmaktadır [128]. MPC, otonom sürüş algoritmaları üretirken araştırmacılar tarafından yaygın olarak seçilmektedir.

MPC'nin avantajları olarak [127], [129]; Kararsız sistem, minimum olmayan faz, zaman gecikmesi gibi kriterlere bakılmaksızın kullanılabilir olması, zaman alanında esnek, açık ve sezgisel bir fomülasyona sahip olması, denetleyici formülasyonunu değiştirmeden

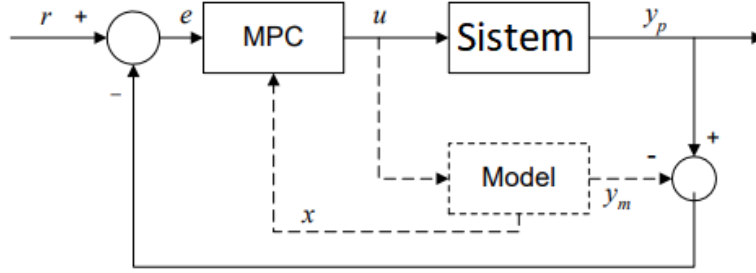
doğrusal ve doğrusal olmayan sistemler veya değişken ve çok değişkenli sistemlerle ilgili problemleri çözmesine izin vermesi ve optimal bir kontrol kuralı kullanması gösterilebilir.

MPC'nin dezavantajları olarak ise [127], [129]; PID kontrolcüsünün aksine doğru bir dinamik model gerektirmesi, optimizasyon algoritması gerektirmesi ve bu sebeple bilgisayara bağlı olması ve PID kontrolcüsüne göre yüksek bir hesaplama maliyeti getirmesi gösterilebilir.

MPC tam olarak bir kontrol algoritması değildir ve kontrol sinyalinin oluşturulması için sistem modelini kullanır. Kontrol sinyalinin amacı hedef fonksiyonu minimize etmektir [130]. MPC sistemi bir nevi makine öğrenmesidir ve geçmiş verileri kullanarak gelecekteki tahmin değerlerini kullanır [45]. MPC sistemi ilk olarak rafineri ve enerji santrali gibi işlem dinamikleri yavaş olan yerlerde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde ise kullanım alanı giderek genişlemiş ve havacılık, otomotiv ve kimya gibi alanlarda kullanılmaya başlamıştır [131]. Ufuk yaklaşımının temeli olduğu varsayılan Propoi'nin çalışmasının [132], aynı zamanda MPC algoritmasının da temeli olduğu kabul edilmektedir [133]. Bilgisayarların gelişmesi ve güçlenmesi ile beraber Adaptif Hız Sabitleyici gibi diğer alanlarda da MPC algoritması kullanılmaya başlanmıştır. Qin ve Badgwell'in [131] çalışmasında bahsettikleri üzere MPC'nin amacı, giriş ve çıkış ihlallerini önlemek, bazı çıkış değişkenlerini ideal değerlere getirirken diğerlerini belirli aralıklarda tutmak, giriş değişkenlerinin hareketlerini kontrol altında tutmak ve sensör veya eyleyici yokken olabildiğince fazla değişkeni kontrol etmektir. MPC işlemleri geçmişte yapılan kontrol hareketlerine dayanır. PID kontrolcüsünden en önemli farkı da gelecek olayları tahmin ederek ona göre davranabilme yeteneğidir. Mayne [134], MPC'nin amacını “tanımlandığı sistemi kullanarak geleceği öngörmek” olarak tanımlamış ve hibrit, olasılıksal, doğrusal ve doğrusal olmayan gibi farklı MPC metotlarından bahsetmiştir. 1970'li yıllarda geliştirilmeye başlanan bu model, sistematik bir şekilde işlem kısıtlamaları ile mücadeleye imkân tanınması sebebiyle endüstride hızlı bir şekilde yer bulmuştur [135]. MPC, girdi ve çıktı değişkenlerindeki sınırlamaların varlığında sistem performansını optimize etmek için düzenlenmiş sürecin matematiksel modelini büyük ölçüde kullanır [128].

MPC hesaplamaları, geçmiş kontrol hareketlerinin geçmişine, mevcut ölçümlere ve çıktıların gelecekteki değerlerinin tahminlerine dayanmaktadır [45]. PID denetim dizgeleri gelecekteki olayları tahmin etme yeteneğine sahip değilken, MPC bu tahmin yeteneğine sahiptir ve buna göre kontrol eylemleri gerçekleştirebilir [45].

MPC blok şeması Şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.23 MPC Blok Şeması [126]

Şekil 3.23’de verilen blok şemada, y_m model çıktısını gösterirken y_p sistem çıktısını göstermektedir. Sistemin sahip olması istenilen değer r , sistemin hatası e , x modelden MPC sistemine gelen değişkeni ve u ise MPC’nin tahmin ettiği değeri göstermektedir. Blok şemada görülebileceği üzere işlem modeli sisteme paralel olarak çalışmaktadır. MPC sistemi sürecin dinamik modelini kullanarak değişkenin değerini tahmin etmeye çalışmaktadır. Önce, sistem çıktısıyla model çıktısının farkı alınır ve istenilen değerden bu bulunan fark değeri çıkarılarak hata değeri olarak MPC’ye girdi olarak verilir. Tahmin edilen değişken değeri kullanıldığı kontrolcüye geri beslenir. Bu sayede, istenilen değişkeni belirlemek için maliyet fonksiyonu minimuma indirilmiş olur. Bu prosedür her bir örnekleme zamanında gerçek süreç verisi ile tekrarlanır.

Son zamanlarda MPC araştırmalarında Denklem 3.5 ve 3.6 ile verilen durum uzayı modeli kullanılmaktadır [136];

$$x(k+1) = Ax(k) + B\Delta u(k) \quad (3.5)$$

$$y(k) = Cx(k). \quad (3.6)$$

Bu model denklem (3.7)’deki gibi bir giriş sinyaline sahip artan bir biçimdedir [136];

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1). \quad (3.7)$$

Bu modelin artımlı formda olması çıktılarıdaki ofsetleri azaltarak istenen duruma ulaşmayı kolaylaştırmaktadır [136].

Camacho ve Bordons’a [137] göre MPC algoritmalarının tamamında maliyet fonksiyonu, kontrol kuralı ve tahmin modeli ortaktır. MPC kullanılacak sistem üzerinde

tahmin modelinin etkili bir şekilde çalışabilmesi için süreç dinamiklerini kapsayan ve sonuçların tahmin edilmesine olanak tanıyan bir model barındırmalıdır [127].

Currie ve Wilson'a [138] göre PID kontrolcüsünün endüstrideki yaygın kullanımının değiştirilmesi MPC sisteminin endüstride daha yaygın kullanımının sağlanması için PID kontrolcüsü gibi basit ve herkes tarafından kolay anlaşılabilen bir şekle getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, kullanımı kolay olan, herkes tarafından anlaşılabilen ve iyi tasarlanmış MPC araç kutularının geliştirilerek piyasaya sürülmesi gerekmektedir.

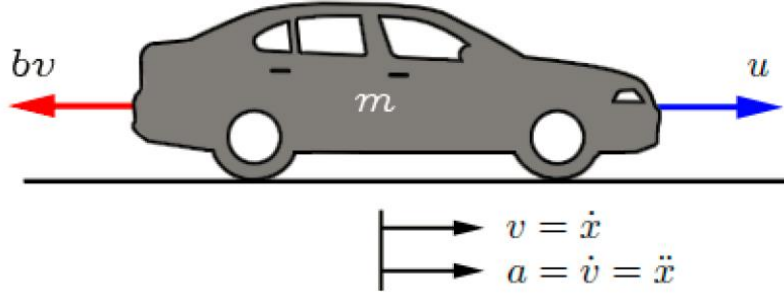
MPC kontrolcüsünün kullanımının artması, algoritmalarının geliştirilmesi ve gelişen teknoloji ile beraber araç sistemlerinin de giderek karmaşık hale gelmeye başlaması sonucunda Adaptif Hız Sabitleyici sistemlerinde kullanılması için denemelere başlanmıştır. Özellikle akademik Adaptif Hız Sabitleyici tasarım çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

4. TASARIM ÇALIŞMASI

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımı için sistem seviyesi tasarım, simülasyon, otomatik kod üretilmesi, test ve doğrulama işlemlerinde Matlab ve Simulink [139] programı kullanılmıştır.

4.1. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Araç Modellemesi

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımı için basitleştirilmiş bir araç modellemesi yapılmıştır. Bu modelleme ile aracın belirlenen transfer fonksiyonu ile hızlanmasının sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 4.1 Araç Modeli [46]

Newton'un ikinci yasasından yola çıkarak Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin diferansiyel denklemi Denklem 4.1'de verilmiştir.

$$m \frac{dv}{dt} + bv(t) = u(t) \quad (4.1)$$

Bu denklemde, v aracın hızını, b araç tarafından maruz kalınan sürtünme kuvvetini ve u aracın motor kuvvetini göstermektedir.

Denklem 4.1'e Laplace Dönüşümü uygulandığı takdirde Denklem 4.2 elde edilmiş olur.

$$m s V(s) + b V(s) = U(s) \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'nin kendi içinde düzenlenmesi sonucu Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin transfer fonksiyonu Denklem 4.3'de verilmiştir.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms+b} \quad (4.3)$$

Bu denklemde m aracın kilosunu, b ise aracın sürtünme katsayısını göstermektedir. Bu tasarımda araç kilosu senaryolar içerisinde 1000 kg olarak kabul edilecektir. Sürtünme katsayısı ise 50 N.saniye/m olarak varsayılacaktır.

Bu durumda araç modellemesi sırasında kullanılacak transfer fonksiyonu Denklem 4.4’de verilmiştir.

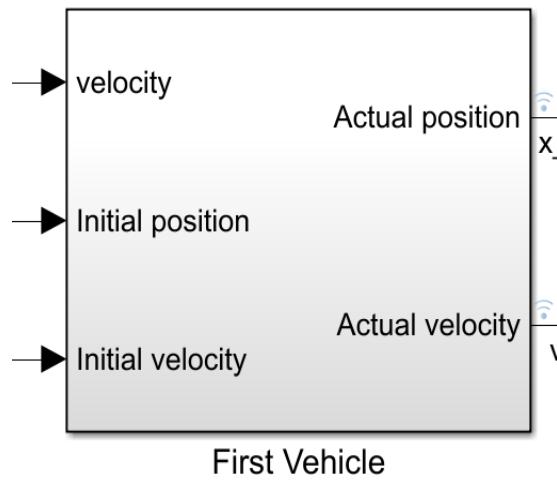
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{1000s+50} \quad (4.4)$$

Şekil 4.1’de görülen araçtan yola çıkarak araç ağırlığının (m) 1000kg, yol ve lastik arası kuvvet (u) 500N, sürtünme katsayısı (b) 50N.sec/m olarak varsayılmıştır.

Denklem 4.4’de elde edilen transfer fonksiyonundan yola çıkarak Simulink sisteminde basitleştirilmiş bir araç modeli tasarlanmıştır. Her iki araç için de aynı araç modeli kullanılmıştır. Bu modellerde dışarıdan başlangıç pozisyonu, başlangıç hızı ve hız bilgileri alınmaktadır. Bu modelde aracın kilosu 1000 kg ve sürtünme katsayısı 50 N.saniye/m olarak kullanılmıştır.

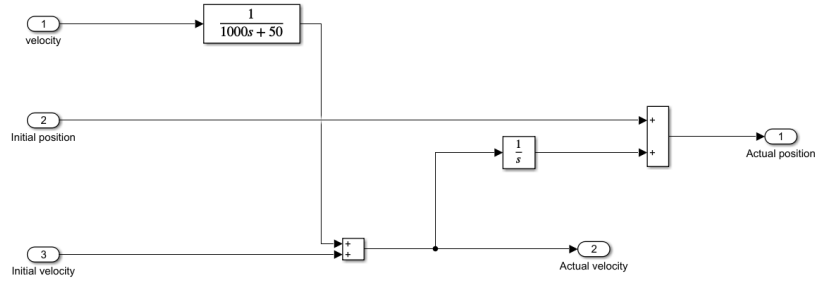
Tasarımda arkadaki aracın öndeki araç ile arasındaki mesafeyi güvenli mesafede tutmak için arkadaki aracın hızının duruma göre değişmesi beklenmektedir. Güvenli mesafe 100 metre olarak varsayılmıştır.

Şekil 4.2’de tasarlanan araç modelinin genel görünümü verilmiştir.

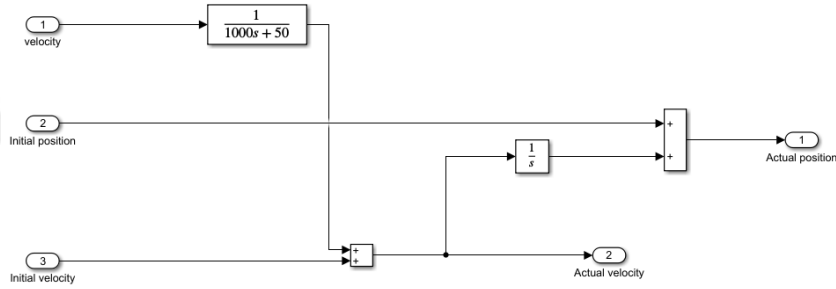


Şekil 4.2 Simulink Araç Modeli

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere tasarlanan araç modeli hız, başlangıç pozisyonu ve başlangıç hızı bilgilerini alarak aracın anlık pozisyon ve hız bilgilerini hesaplamaktadır. Tasarlanan araç modeli hem öndeki hem arkadaki araç için aynı şekilde kullanılmıştır. Şekil 4.3’de öndeki aracın, Şekil 4.4’de arkadaki Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın modelleri görülmektedir.



Şekil 4.3 Öndeki Aracın Simulink Modeli



Şekil 4.4 Arkadaki Aracın Simulink Modeli

Bu araç modellerinde dışarıdan sisteme girdi olarak hız, başlangıç pozisyonu ve başlangıç hızı alınmaktadır. Hız bilgisi transfer fonksiyonuna sokularak elde edilen çıkış başlangıç hızı ile toplanarak aracın o andaki hız bilgisi oluşturulmaktadır. Aynı zamanda, elde edilen bu hız bilgisinin integrali alınarak aracın o süre zarfında aldığı yol bilgisi bulunmaktadır. Alınan yol ile başlangıçtaki pozisyon toplanarak aracın o anda bulunduğu konum bilgisi elde edilmektedir.

4.2. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Fren Modellemesi

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımında arkadaki araç ile öndeki araç arasındaki mesafeye göre aracın yapması gereken fren kuvveti değişmektedir. Araçlar arası güvenli mesafe olarak 100 metre tanımlanmıştır. Tasarlanan sistemin araç arasındaki mesafeyi 100 metreden aşağıya indirmemesi gerekmektedir. Bu durumun sağlanabilmesi için zaman zaman arkadaki aracın fren yapması gerekebilecektir. Günümüz araçlarında frenleme ile hızlanma farklı ivmeler ile gerçekleşmektedir. Bu durumun sisteme yansıtılabilmesi için basit bir fren modellemesi yapılmıştır. Bu modellemede aracın frenleme mesafesi, güvenli mesafeyi koruyacak şekilde belirlenmiştir. Frenleme mesafesine göre fren ivmesi yani aracın yavaşlarken kullanacağı ivme değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama sırasında “yapılan iş kinetik enerjiye eşittir” teorisi kullanılmıştır. Bu teorinin frenleme modeline uygulanması ise yapılan iş, “fren kuvveti ve mesafenin çarpımına” eşittir şeklinde olmuştur. Denklem 4.5’de bu durum ifade edilmiştir.

$$Yapılan İş (W) = Frenleme Kuvveti(F) * Fren Mesafesi(d) \quad (4.5)$$

Denklem 4.5’de yapılan işin (W) frenleme kuvveti (F) ile fren mesafesinin (d) çarpımına eşit olduğu belirtilmiştir.

Denklem 4.6’da kinetik enerjinin formülü verilmiştir.

$$Kinetik Enerji (KE) = \frac{1}{2} * kütlem(m) * Hız(v)^2 \quad (4.6)$$

Denklem 4.6’da verilen kinetik enerji formülüne göre, kinetik enerji (KE), hızın (v) karesi ile kütlenin(m) çarpımının yarısına eşittir.

Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’dan yola çıkarak Denklem 4.7 elde edilmiştir.

$$F * d = \frac{1}{2} * kütlem(m) * Hız(v)^2 \quad (4.7)$$

Denklem 4.7’den anlaşıldığı üzere frenleme kuvveti hızın karesi ve kütle ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda, frenleme kuvveti fren mesafesi ile ters orantılıdır. Bir diğer deyişle, aracın hızı arttıkça frenleme kuvveti bu hızın karesi ile orantılı olarak, aracın kütlesi arttıkça frenleme kuvveti bu kütle ile orantılı olarak artacaktır. Fakat, aracın frenleme mesafesi yani öndeki araç ile mesafesi arttıkça fren yapabileceği mesafe arttığı için frenleme kuvveti azalacaktır.

Denklem 4.7’de F yerine Newton’un ikinci yasası gereği kütle ve ivme çarpımı yazıldığı zaman Denklem 4.8 elde edilmiştir.

$$m * a * d = \frac{1}{2} * k\ddot{u}t\ddot{u}le(m) * H\ddot{u}z(v)^2 \quad (4.8)$$

Denklem 4.8’de a ile gösterilen ivme değeri frenleme ivmesini, m kütleyi, d frenleme mesafesini ve V aracın hızını göstermektedir.

Denklem 4.8 kendi içinde düzenlendiği zaman frenleme ivmesi Denklem 4.9’da verilen şekilde elde edilebilmektedir.

$$a = \frac{1}{2} * \frac{H\ddot{u}z(v)^2}{d} \quad (4.9)$$

Bu denklemde, a frenleme ivmesini, d ise frenleme mesafesini göstermektedir.

Aracın hızı zamana göre değişeceği için zamansız hız formülü kullanılarak ivme hesaplanmalıdır. Kullanılan zamansız hız formülü Denklem 4.10’da verilmiştir.

$$V_s^2 = V_i^2 + 2ax \quad (4.10)$$

Bu denklemde V_s aracın son hızını, V_i aracın ilk hızını, a ivmeyi ve x alınan yolu ifade etmektedir. Denklem 4.9 ile Denklem 4.10 kendi içinde düzenlendiği zaman Denklem 4.11 elde edilerek frenleme ivmesi bulunmuş olur.

$$a = \frac{V_s^2 - V_i^2}{2x} \quad (4.11)$$

Bu denklemde a frenleme ivmesini, V_s aracın son hızını, V_i aracın ilk hızını ve x frenleme mesafesini ifade etmektedir.

Adaptif Hız Sabitleyici tasarımında her durumda araçların güvenli mesafeyi koruması gerektiği için fren mesafesi olarak araçlar arası mesafenin güvenli mesafe ile farkı dikkate alınmıştır. Sistemde tanımlanan güvenli mesafe değeri 100 metredir. Bu durumda aracın frenlemesi gereken mesafe için Denklem 4.12 kullanılmıştır.

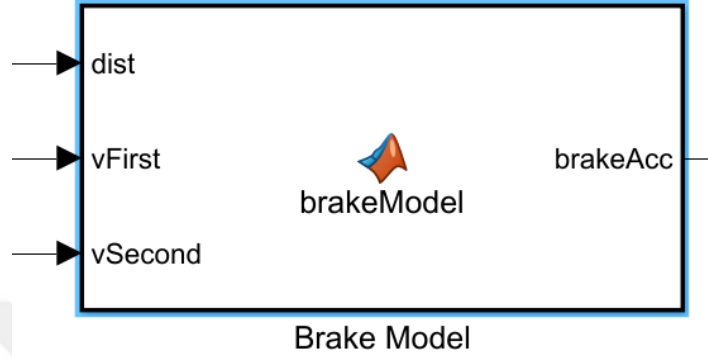
$$Frenleme\ Mesafesi = Ara\ddot{c}larArası\ Mesafe\ (d) - 100 \quad (4.12)$$

Adaptif Hız Sabitleyici tasarımında aracın hızı zaman göre değişeceği için zamansız hız formülü kullanılarak frenleme ivmesi Denklem 4.13 kullanılmıştır.

$$a = \frac{V_s^2 - V_i^2}{2(d - 100)} \quad (4.13)$$

Denklem 4.13’de a frenleme ivmesini, V_s aracın son hızını, V_i aracın ilk hızını, d frenleme mesafesini ve 100 değeri tanımlanan güvenli mesafeyi ifade etmektedir.

Şekil 4.5’de Matlab ’da tasarlanan ve Simulink’te kullanılan frenleme modeli verilmiştir.



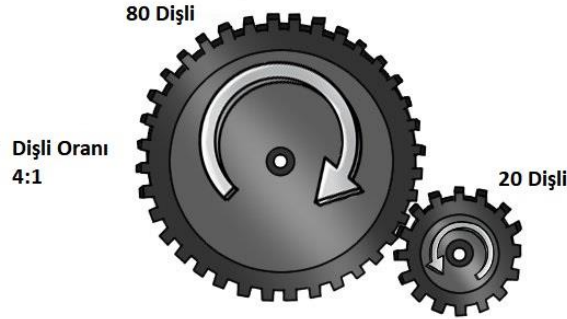
Şekil 4.5 Frenleme İvmesinin Simulink Modeli

Şekil 4.5’de görülen modelin girişleri araçlar arası mesafe, öndeki aracın hızı ve arkadaki aracın hızıdır. Bu model, Denklem 4.13’ü kullanarak frenleme sırasında kullanılacak ivme değerini çıktı olarak vermektedir. Bu ivme değeri ana kontrolcüye verilerek mesafe kontrolü yapılırken frenleme yapılması gerektiğinde arkadaki aracın her bir zaman aralığında yapacağı freni belirtmektedir. Araçlar arası güvenli mesafenin korunması için arkadaki aracın fren yapması gerektiği durumlarda bu ivme değeri kullanılacaktır. Araç arasındaki mesafe arttıkça frenleme ivmesi azalacak, araçlar birbirine yaklaştıkça frenlemenin şiddeti fazla olacaktır. Frenleme ivmesi araçlar arasındaki mesafe 100 metreden aşağıya inmeyecek şekilde hesaplanmaktadır.

4.3.Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Hızlanma ve Vites Modellemesi

Günümüzde araçların hızlanması birçok faktöre bağlıdır. Temel olarak bu faktörler aracın motorunun beygiri, aracın kütlesi, aracın sahip olduğu lastiğin yarı çapı, aracın şanzımanındaki her bir vitesin oranı ve aracın şanzımanında kullanılan diferansiyelin oranıdır [140].

Dişli oranı, birbirine geçen iki dişli veya ortak bir makaralı zincir ile bağlı iki dişli üzerindeki diş sayısı veya bir tahrik kayışı ile bağlı iki kasnağın çevresi arasındaki ilişkidir. Dişli oranının ifade edilmesi için Şekil 4.6 kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Dişli Oranının Açıklanması [141]

Şekil 4.6’da iki adet dişli bulunmaktadır. Büyük olan dişlinin 80 dişi ve küçük olan dişlinin 20 dişi bulunmaktadır. Dişli oranı, iki dişlinin sahip olduğu diş sayısı sayılarak ve ardından tahrik dişlisindeki diş sayısının, tahrik edilen dişlinin sahip olduğu sayıya bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Şekil 4.6’da bulunan dişlilerde, tahrik dişlisinin 80 dişi ve tahrikli dişlinin 20 dişi vardır. Bu durumda dişli oranı 4:1’dir. Başka bir deyişle, giriş kuvvetinin her 1 dönüşü için 4 dönüş çıkış kuvveti alınacaktır.

Aracın lastikler üzerinde ürettiği tork değeri, beygiri, vitesteki dişli oranı ve diferansiyel oranı ile doğru orantılıdır. Bu durum matematiksel olarak Denklem 4.14’de ifade edilmiştir.

$$Tork(\tau) = Beygir(HP) * Dişli Oranı (GR) * Diferansiyel Oranı (DR) \quad (4.14)$$

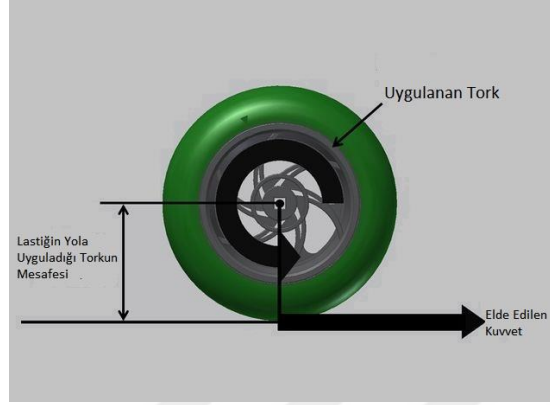
Denklem 4.14’de bulunan Tork değeri aynı zamanda kuvvet ile mesafenin çarpımına eşittir. Bu durum matematiksel olarak Denklem 4.15’de ifade edilmiştir.

$$Tork(\tau) = Kuvvet (F) * d(Mesafe) \quad (4.15)$$

Denklem 4.15’de belirtilen mesafe tork değerinin uygulandığı mesafedir. Bir diğer deyişle, lastiğin merkezinden yola kadar olan mesafedir. Bu durumda, mesafe olarak aracın sahip olduğu lastiğin yarıçapı dikkate alınmaktadır. Denklem 4.15 kendi içinde düzenlendiği zaman kuvvet Denklem 4.16’da verildiği gibi bulunmaktadır.

$$Kuvvet (F) = \frac{Tork(\tau)}{d(Mesafe)} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16’da elde edilen sonuç Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Tork, Lastik Yarı Çapı ve Kuvvet İlişkisi [142]

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere lastik dönerken aracın tork değeri lastiğin yarıçapı ile orantılı olarak yola bir kuvvet uygulamaktadır.

Denklem 4.16’da kuvvet değeri bulunduktan sonra Newton’un ikinci yasası gereğince aracın hızlanma ivmesi Denklem 4.17 ile elde edilmektedir.

$$İvme (a) = \frac{Kuvvet (F)}{Kütle (m)} \quad (4.17)$$

Bu denklemde kütle değeri aracın kütlesini, ivme değeri aracın hızlanma ivmesini ve kuvvet değeri ise araç tarafından yola uygulanan kuvveti göstermektedir

Denklem 4.16 ve Denklem 4.17’den yola çıkarak aracın hızlanma ivmesi, kütlesi ve lastiğin yarıçapı ile ters orantılıdır. Bir diğer deyişle, aracın ağırlığı ve lastiğin yarıçapı arttıkça araç daha yavaş hızlanmaktadır. Ağırlığı olan bir cismin hareketi sırasında kütlesi arttıkça bu cismin hızlanması yavaşlayacaktır. Aynı mantıkla, araçların kütlesi arttıkça aracın hızlanması azalacaktır.

Denklem 4.14’de belirtildiği üzere aracın hızlanmasına etki eden bir diğer faktör şanzımandır. Günümüz araçlarında her bir vitesin sahip olduğu dişli oranı farklıdır. Bu durum aracın her bir viteste farklı hızlanma değerine sahip olmasına sebep olmaktadır. Araç kullanırken tecrübe ettiğimiz üzere aracın gücüne göre hızı arttıkça hızlanması zorlaşmaktadır. Bunun sebebi araçlar ilerleyen viteslerde dişli oranının azalmasıdır. Adaptif

Hız Sabitleyici modellemesi sırasında aracın hızlanma ivmesi hesaplanırken vites de dikkate alınmıştır. Aracın vites değişimi hesaplanırken Tablo 4.1’de görülen hız aralıklarına göre vites tanımlaması yapılmıştır.

Vites	Hız Aralığı (m/s)
1	0 – 6.95
2	6.96 – 12.5
3	12.51 – 18.05
4	18.06 – 23.61
5	23.62 ve üzeri

Tablo 4.1 Hız Aralıklarına Göre Tanımlanan Vites

Tablo 4.1’de belirtildiği üzere araç 0 – 6.95 m/s arasında hareket ederken birinci viteste, 6.96 – 12.5 m/s arasında hareket ederken ikinci viteste, 12.51 – 18.05 m/s arasında hareket ederken üçüncü viteste, 18.06 – 23.61 m/s arasında hareket ederken dördüncü viteste ve 23.62 ve üzeri hızlarda beşinci viteste hareket etmektedir.

Viteslerin sahip olduğu dişli ve şanzımanın diferansiyel oranları için Tablo 4.2’de verilen değerler kullanılmıştır. Bu değerler 2004 model Chevrolet Corvette aracının değerleridir [143].

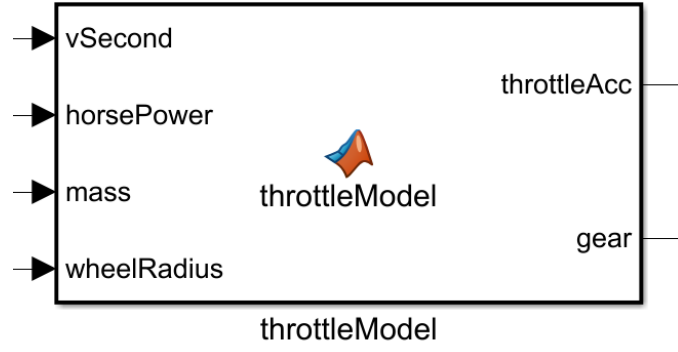
Vites	Dişli Oranı
1	2.97:1
2	2.07:1
3	1.43:1
4	1.00:1
5	0.84:1

Tablo 4.2 Viteslere Göre Dişli Oranı [143]

Tablo 4.2’de belirtildiği üzere aracın ivmesi hesaplanırken birinci viteste dişli oranı 2.97, ikinci viteste dişli oranı 2.07, üçüncü viteste dişli oranı 1.43, dördüncü viteste dişli oranı 1.00 ve beşinci viteste dişli oranı 0.84 olarak alınacaktır.

Şanzımanın diferansiyel oranı için 2004 model Chevrolet Corvette aracının değeri kullanılmıştır. Bu değer 3.42:1’dir [143].

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımıda hızlanma için tasarlanan model Şekil 4.8’de verilmiştir.

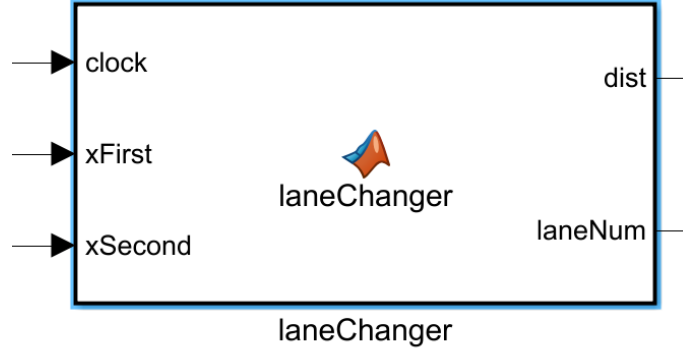


Şekil 4.8 Hızlanma İvmesinin Simulink Modeli

Şekil 4.8’de görülen hızlanma ivmesinin bulunması için kullanılan modelin girişleri ikinci aracın hızı, aracın beygir gücü, aracın kütlesi ve aracın lastik yarıçapıdır. Bu model, Denklem 4.17, Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve 3.42:1 diferansiyel oranı kullanılarak ikinci aracın ivmesini ve ikinci aracın vites bilgisini çıkış olarak vermektedir. Bu ivme değeri ana kontrolcüye verilerek mesafe kontrolü yapılırken aracın hızlanması gerektiğinde arkadaki aracın her bir zaman aralığında hızlanacağı değeri belirtmektedir.

4.4. Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımında Kullanılan Şerit Değişim Modellemesi

Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde mesafe kontrolü bulunmaktadır. Bu kontrol sistemin aktifleştirildiği aracın önündeki araç ile arasındaki mesafeyi güvenli bir mesafede tutarak aracın hızını arttırmasını veya yavaşlatmasını amaçlamaktadır. Aracın önünde başka bir araç olmadığı durumda ise geleneksel hız sabitleyici sistemindeki sürücü tarafından belirlenen hıza kadar araç hızlanacak ve o hızda sabit bir hızla hareket edecektir. Araçların şerit değişikliği yapması trafikte sık görülebilen bir durumdur. Eğer Adaptif Hız Sabitleyici sistemi devredeyken aracın önündeki araç şerit değiştirirse ve aracın önünde başka bir araç kalmamış olursa araç sürücünün belirlediği hıza kadar hızlanarak o hızda sabit kalmalıdır. Şerit değişikliği durumunun denenmesi amacıyla Adaptif Hız Sabitleyici sistem tasarımında şerit değişikliği kontrol modeli tasarlanmıştır. Bu model tasarımı Şekil 4.9’da görülebilmektedir.



Şekil 4.9 Şerit Değişikliği Simulink Modeli

Şekil 4.9’da verilen şerit değişikliği modeli giriş olarak zaman bilgisi, öndeki aracın konumu ve arkadaki aracın konum bilgisini almaktadır. Çıktı olarak ise ana kontrolcüye verilmek üzere araçlar arası mesafe farkı ve şerit bilgisini vermektedir. Bu modelin çalıştırılabilmesi için öndeki araç başka bir şeride geçtiğinde Adaptif Hız Sabitleyici sistemini kullanan aracın önünde bulunan sensörün öndeki aracı okuyamayacağı senaryosu düşünülmüş ve araçlar arası mesafenin çok yüksek bir değere çıkacağı varsayılmıştır. Bu durumda, Adaptif Hız Sabitleyici sistemini kullanan aracın sürücü tarafından belirlenen hıza kadar yükselmesi ve o hızda sabit olarak hareket etmesi beklenmektedir.

4.5. PID Denetleyicisi ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımı

Adaptif Hız Sabitleyici tasarımı için PID kontrolcüsü kullanılmıştır. Şerit değişikliği senaryosunun denenmesi için farklı bir model, araç takip senaryosunun denenmesi için farklı bir model tasarlanmıştır.

Araç takip için tasarlanan modelin tasarımında Şekil 4.3’de gösterilen öndeki araç modeli, Şekil 4.4’de gösterilen arkadaki araç modeli, frenleme ivmesinin bulunması için Şekil 4.5’de gösterilen frenleme modeli, hızlanma ivmesinin bulunması için Şekil 4.8’deki gösterilen hızlanma modeli ve araçlar arası mesafe farkının hesaplanması için Şekil 4.10’da gösterilen ana kontrolcü modeli kullanılmıştır.

Şerit değişikliği tasarımında öndeki araç modeli Şekil 4.3’de, arkadaki araç modeli Şekil 4.4’de, frenleme ivmesinin bulunması için Şekil 4.5’de gösterilen frenleme modeli, hızlanma ivmesinin bulunması için Şekil 4.8’deki gösterilen hızlanma modeli, şerit

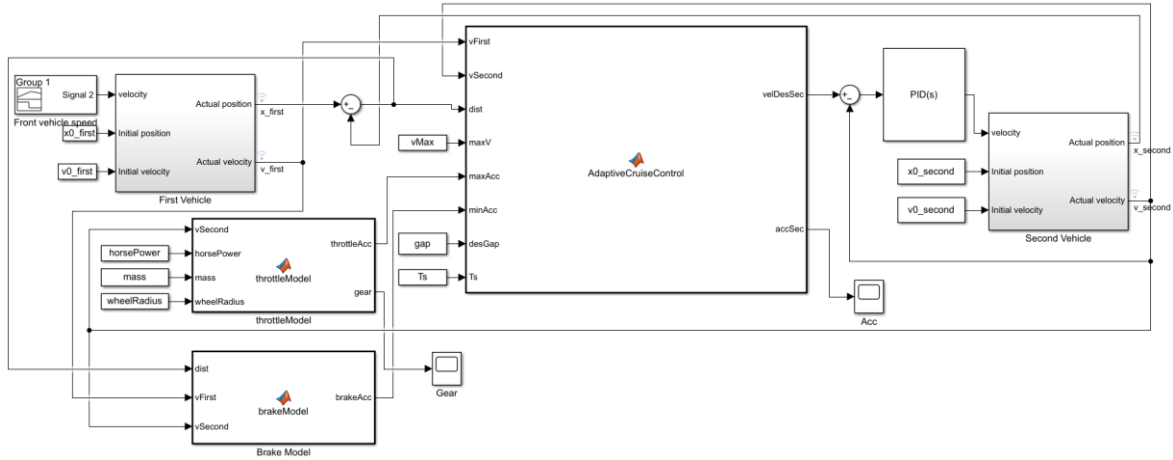
değişikliğinin yapılması için Şekil 4.9’da gösterilen şerit değişikliği kontrol modeli ve araçlar arası mesafe farkının hesaplanması için ana kontrolcü modeli kullanılmıştır. Belirtilen ana kontrolcü modeli Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 Araçlar Arası Mesafe Kontrolü için Tasarlanan Kontrolcünün Simulink Modeli

Şekil 4.10’da gösterilen kontrolcünün girişleri öndeki aracın hızı, arkadaki aracın hızı, araçlar arası mesafe farkı, sürücü tarafından belirlenen maksimum hız bilgisi, aracın hızlanma modelinden elde edilen hızlanma ivmesi, aracın frenleme modelinden elde edilen frenleme ivmesi, güvenli mesafe değeri ve örnekleme zamanıdır. Bu girdilere göre araçlar arası mesafe kontrolü yapılarak ikinci aracın hızı azaltılmakta veya arttırılmaktadır. Bu hız bilgisi ikinci araç için giriş olmaktadır. Aynı zamanda ikinci araca verilen ivme değerinin kontrol edilmesi için ivme bilgisi de kontrolcünden çıkartılmaktadır. Bu blokta araçlar arasındaki mesafe bilgisine göre arkadaki aracın hızlanması veya yavaşlaması gerektiğine karar verilerek hızlanma veya yavaşlama ivmesi ile arkadaki aracın hızı kontrol edilmektedir. Aynı zamanda, arkadaki aracın hızı belirlenirken sürücü tarafından girilen maksimum hız değeri dikkate alınarak bu değeri geçmemesi sağlanmaktadır. Mesafe kontrolü amacıyla araçlar arasındaki mesafe istenilen güvenli mesafeden az ise arkadaki araç frenleme ivmesine göre yavaşlatılmaktadır. Araçlar arasındaki mesafe istenilen güvenli mesafeden fazla ise arkadaki araç sürücü tarafından girilen maksimumu hızı geçmeyecek şekilde hızlanma ivmesi ile hızlandırılmakta ve araçlar arasındaki mesafe güvenli mesafeye eşitse aracın hızı bu mesafeyi koruyacak şekilde sabit tutulmaktadır.

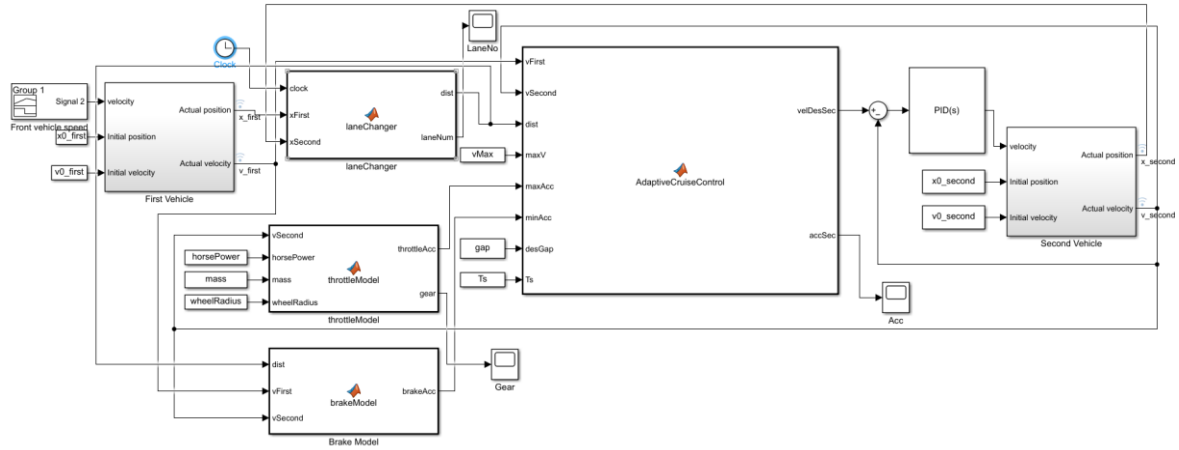
Araç takip senaryosu için yapılan tasarımın genel blok mimarisi Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi Tasarımının Araç Takip Senaryosu Simulink Modeli

Şekil 4.11’de görülen tasarım ile arkadaki aracın öndeki aracı güvenli mesafe içinde takip etmesi amaçlanmıştır. Bu modelde ana kontrolcü birimi “Adaptive Cruise Control” olarak görülen ve Şekil 4.10’da verilen mesafe kontrol algoritmasının bulunduğu bloktur. Bu blok, öndeki aracın hızını, arkadaki aracın hızını, araçlar arası mesafe farkını, sürücünün belirlediği maksimum hız değerini, hızlanma ivmesini, frenleme ivmesini, araçlar arası güvenli mesafeyi ve örnekleme zamanını giriş olarak almaktadır. Çıkış olarak ise PID denetimcisine sokulmak üzere arkadaki aracın hız bilgisini ve kontrol amaçlı ivme bilgisini sağlamaktadır. Öndeki araç modeli “First Vehicle” olarak görülen ve Şekil 4.3’de gösterilen modeldir. Bu modelin girişi başlangıç pozisyonu, başlangıç hızı ve farklı hızların denenebilmesi için yapılan hız zaman grafiğini içeren sinyaldir. Bu model çıktı olarak aracın konumunu ve hız bilgisini vermektedir. Aracın konum bilgisi araçlar arası mesafe farkının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Aracın hız bilgisi ise mesafe kontrol algoritmasında ve frenleme modelinde kullanılmaktadır. Arkadaki araç modeli “Second Vehicle” olarak görülen ve Şekil 4.4’de gösterilen modeldir. Bu modelin girişi başlangıç pozisyonu, başlangıç hızı ve mesafe kontrol algoritmasından çıkan hız değerinin PID denetimcisine sokulduktan sonra elde edilen hız bilgisidir. Bu model çıktı olarak aracın konumunu ve hız bilgisini vermektedir. Aracın konum bilgisi araçlar arası mesafe farkının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Aracın hız bilgisi ise mesafe kontrol algoritmasında, hızlanma modelinde ve frenleme modelinde kullanılmaktadır. Frenleme modeli “Brake Model” olarak görülen ve

Şekil 4.5’de gösterilen modeldir. Bu model araçlar arası mesafe farkını, öndeki aracın hızını ve arkadaki aracın hızını girdi olarak alarak frenleme ivmesini çıkartmaktadır. Frenleme ivmesi mesafe kontrol algoritmasına giriş olarak gönderilmektedir. Hızlanma modeli (“Throttle Model”) Şekil 4.8’de gösterilen modeldir. Bu model arkadaki aracın hızını; sabit bir değer olarak arkadaki aracın beygir gücünü, ağırlığını ve lastik yarıçapını almaktadır. Bu model çıktı olarak kontrol amaçlı olarak vites bilgisi ve mesafe kontrol algoritmasına giren hızlanma ivmesini göstermektedir.



Şekil 4.12 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi Tasarımının Şerit Değişikliği Senaryosu Simulink Modeli

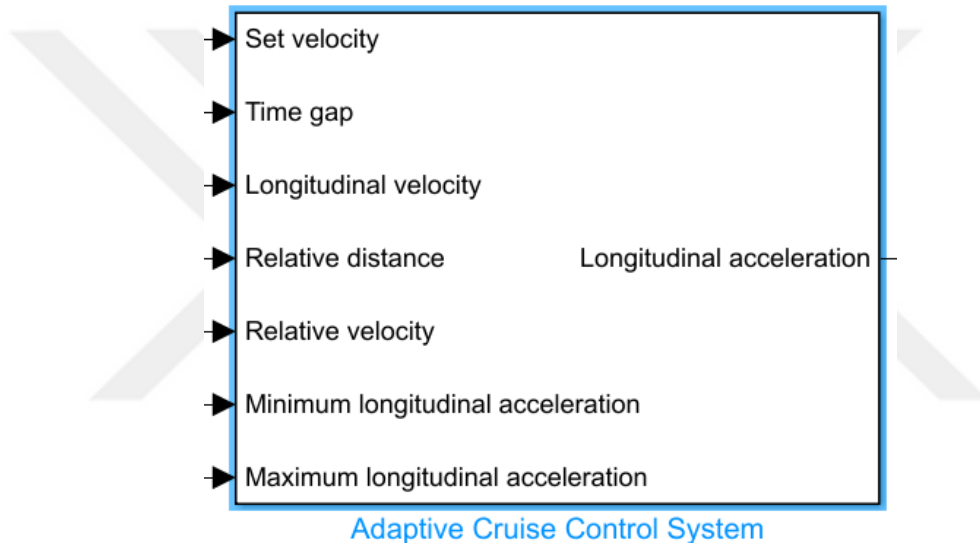
Araçlar arası mesafe bilgisi için Şekil 4.12’de gösterilen şerit değişikliği modeli kullanılmaktadır. Şerit değişikliği için tasarlanan model Şekil 4.9’da gösterilen modeldir. Bu modelde, şerit değişikliği benzetimi yapılması için süre bilgisi alınmıştır. Benzetim çalışmasında belirli bir süre geçtiğinde şerit numarası değişmektedir. Şerit değişikliği durumunda Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin önünde bir araç yokmuş gibi görmesi ve sürücünün belirlediği hıza kadar hızlanması gerekmektedir. Bu sebeple, bu benzetim çalışmasının değerlendirilmesi için şerit değişikliği modelinde araçlar arası mesafe oldukça yükseltilmektedir.

4.6. MPC Denetleyicisi ile Adaptif Hız Sabitleyici Sistem Tasarımı

PID ile yapılan Adaptif Hız Sabitleyici tasarımının performans karşılaştırılması için farklı bir kontrolcü ile Adaptif Hız Sabitleyici tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım için literatürde yaygın olarak kullanılan MPC kontrolcüsü kullanılmıştır. Şerit değişikliği

senaryosunun denenmesi için farklı bir model, araç takip senaryosunun denenmesi için farklı bir model tasarlanmıştır.

Kontrolcü performansının değerlendirilmesinin daha etkili olması amacıyla araç modeli, hızlanma ve yavaşlama modelleri, şerit değişikliği modeli aynı olarak kullanılmış, sadece kontrolcü değiştirilmiştir. Başka bir deyişle, araç takip için Şekil 4.3’de gösterilen öndeki araç için araç modeli, Şekil 4.4’de gösterilen arkadaki araç için araç modeli, Şekil 4.5’de gösterilen frenleme modeli, hızlanma ivmesinin bulunması için Şekil 4.8’deki gösterilen hızlanma modeli ve araçlar arası mesafe farkının hesaplanması için Şekil 4.13’de gösterilen ana kontrolcü modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.13 Araçlar Arası Mesafe Kontrolü için MPC Kontrolcü ile Tasarlanan Simulink Modeli [144]

Şekil 4.13’de görülen ana kontrolcü modeli MPC ile tasarlanmıştır [144]. Bu kontrolcü giriş olarak sürücü tarafından istenilen maksimum hızı, araçlar arası süre farkını, arkadaki aracın hızını, araçlar arası mesafe farkını, araçlar arası hız farkını, yavaşlama ivmesini ve hızlanma ivmesini almaktadır. Çıkış olarak ise arkadaki araç için hız bilgisi sağlamaktadır.

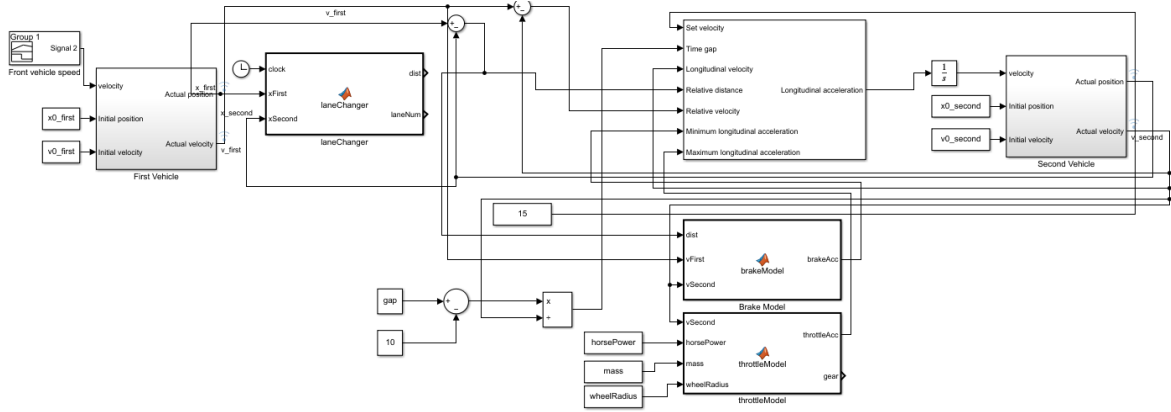
Araçlar arasındaki süre farkı güvenli mesafe değerinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Güvenli mesafe değerinin hesaplanması için Denklem 4.18’de verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$D_{Güvenli} = D_{Margin} + Zaman\ Farkı * V_{Arkadaki\ Araç} \quad (4.18)$$

Bu denklemde D_{Margin} ve Zaman Farkı değerleri sabit olarak tanımlanmıştır. Arkadaki aracın hızına göre araçlar arasında bulunması gereken mesafe değişmektedir. Zaman farkı değeri için ise modelde kolaylık olması açısından Denklem 4.18 tekrar düzenlenerek Denklem 4.19’da görülen eşitlik modele tanımlanmıştır.

$$\text{Zaman Farkı} = \frac{D_{\text{Güvenli}} - D_{\text{Margin}}}{V_{\text{Arkadaki Araç}}} \quad (4.19)$$

Bu denetleyici ile yapılan tasarım Şekil 4.14’de verilmektedir.



Şekil 4.14 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi için MPC ile Tasarlanan Simulink Modeli

Şekil 4.14’de görülen tasarım ile arkadaki aracın öndeki aracı güvenli mesafe içinde takip etmesi amaçlanmıştır. Bu modelde ana kontrolcü birimi “Adaptive Cruise Control System” olarak görülen ve Şekil 4.13’de verilen mesafe kontrol algoritmasının bulunduğu bloktur. Bu kontrolcü giriş olarak sürücü tarafından istenilen maksimum hızı, araçlar arası süre farkını, arkadaki aracın hızını, araçlar arası mesafe farkını, araçlar arası hız farkını, yavaşlama ivmesini ve hızlanma ivmesini almaktadır. Çıkış olarak ise arkadaki araç için ivme bilgisi sağlamaktadır. Arkadaki araç için sağlanan ivme bilgisinin integrali alınarak arkadaki aracın modeline hız girişi olarak verilmektedir. Öndeki araç modeli “First Vehicle” Şekil 4.3’de gösterilen modeldir. Bu modelin girişi başlangıç pozisyonu, başlangıç hızı ve farklı hızların denenebilmesi için yapılan hız zaman grafiğini içeren sinyaldir. Bu model çıktı olarak aracın konumunu ve hız bilgisini vermektedir. Aracın konum bilgisi araçlar arası mesafe farkının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Aracın hız bilgisi ise mesafe kontrol algoritmasında ve frenleme modelinde kullanılmaktadır. Arkadaki araç modeli “Second Vehicle” Şekil 4.4’de gösterilen modeldir. Bu modelin girişi başlangıç pozisyonu, başlangıç hızı ve kontrolcünden çıkan ivme değerinin integrali alınarak elde edilen hız bilgisidir. Bu

model çıktı olarak aracın konumunu ve hız bilgisini vermektedir. Aracın konum bilgisi araçlar arası mesafe farkının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Aracın hız bilgisi ise mesafe kontrol algoritmasında, hızlanma modelinde ve frenleme modelinde kullanılmaktadır. Frenleme modeli “Brake Model” olarak görülen ve Şekil 4.5’de gösterilen modeldir. Bu model araçlar arası mesafe farkını, öndeki aracın hızını ve arkadaki aracın hızını girdi olarak frenleme ivmesini çıkartmaktadır. Frenleme ivmesi mesafe kontrol algoritmasına giriş olarak gönderilmektedir. Hızlanma modeli “Throttle Model” Şekil 4.8’de gösterilen modeldir. Bu model arkadaki aracın hızını; sabit bir değer olarak arkadaki aracın beygir gücünü, aracın ağırlığını ve lastik yarıçapını almaktadır. Bu model çıktı olarak kontrol amaçlı olarak vites bilgisi ve mesafe kontrol algoritmasına giren hızlanma ivmesini göstermektedir.



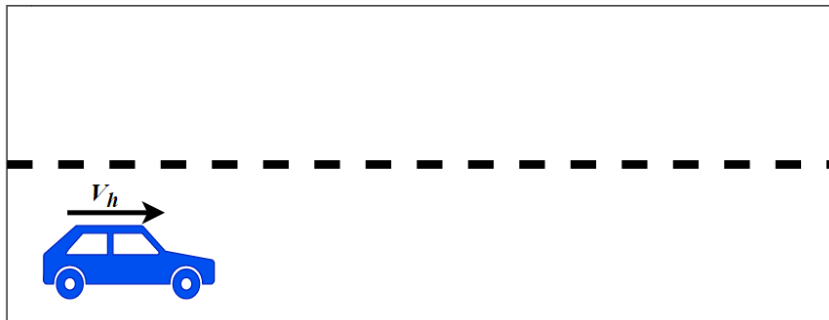
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarımın farklı durumlar ile değerlendirilmesi ve sonuçlarının görülmesi amacıyla çeşitli senaryolar üretilmiştir. Bu senaryolar, Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin performansının değerlendirilmesi için kullanılacaktır. Bu amaçla, 7 farklı senaryo kullanılmıştır. Bu senaryolar, önde bir araç olmadığı durum, öndeki aracın sabit hızla hareket ettiği durum, öndeki aracın yavaşlayarak durduğu durum, öndeki aracın sürekli hızlandığı durum, öndeki aracın değişken bir hızla ve ivmeye sahip olarak yavaşladığı, hızlandığı ve sabit hızla gittiği durum, öndeki aracın şerit değiştirerek şeride geri dönmediği durum ve öndeki aracın şerit değiştirerek belli bir süre sonra şeride geri döndüğü durumdur.

Senaryoların benzetim çalışmaları yapılırken PID ile tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ değerlerine göre sonuçları değerlendirilecek, Senaryo 1’de PID kontrolcüsünün K_p , K_i ve K_d değerlerinin aracın hızlanmasına etkisi değerlendirilecek, Senaryo 5’de PID kontrolcüsünün K_p , K_i ve K_d değerlerinin araç takip algoritmasına etkisi ve Senaryo 5’de PID kontrolcüsünün MPC kontrolcüsüne göre performansı değerlendirilecektir.

5.1. Senaryo 1

Bu senaryoda aracın önünde bir araç bulunmamaktadır. Bu durumda, sürücü bu sistemi aktifleştirdiğinde ve istediği hızı belirlediğinde ve önüne başka bir araç gelmediği durumda, araç o hıza kadar hızlanarak o hıza geldiğinde sabit kalacaktır. Bu senaryoda, Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin geleneksel hız sabitleyici olarak da görev yapabilme durumu denenecektir. Senaryonun gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



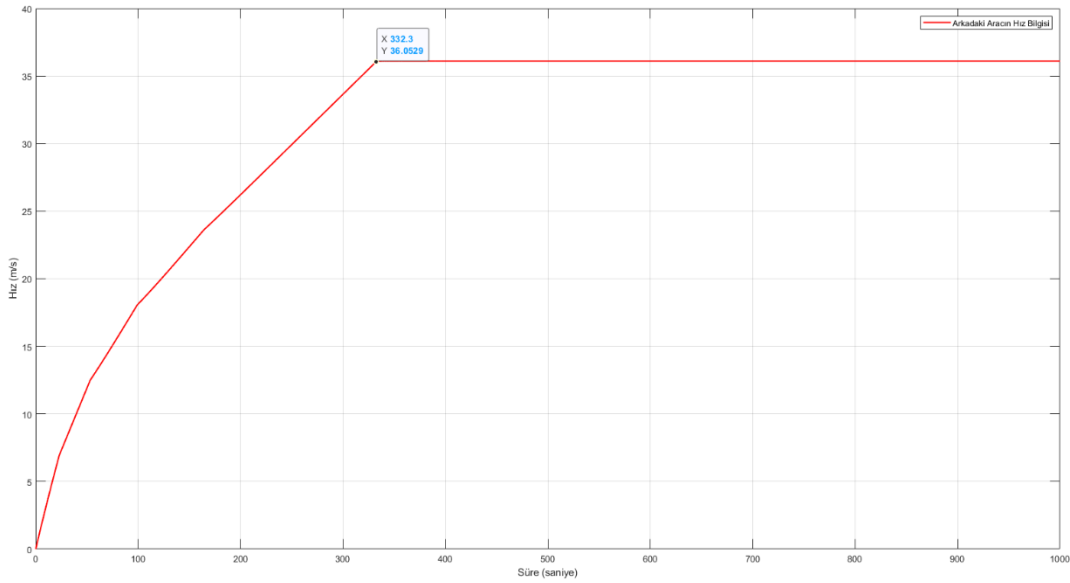
Şekil 5.1 Senaryo 1

Şekil 5.1’de gösterildiği üzere Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın önünde başka bir araç olmadığı için sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanarak, o hızda sabit hareket etmesi beklenmektedir.

Bu senaryo için farklı K_p , K_i ve K_d değerleri denenecektir. K_p , K_i ve K_d değerlerinin aracın hızlanmasına etkisi değerlendirilecektir. Bu kapsamda, 3 kazanç değerinden her bir işlemde biri değiştirilerek bu kazançların aracın hızlanmasına olan etkileri değerlendirilecektir. Değerlendirilecek durumlar K_p değerinin artışı, K_p değerinin azalışı, K_i değerinin artışı, K_i değerinin azalışı, K_d değerinin artışı ve K_d değerinin azalışı olarak belirlenmiştir.

5.1.1. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu senaryo için $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.2’de, yol zaman grafiği ise Şekil 5.3’de verilmiştir.

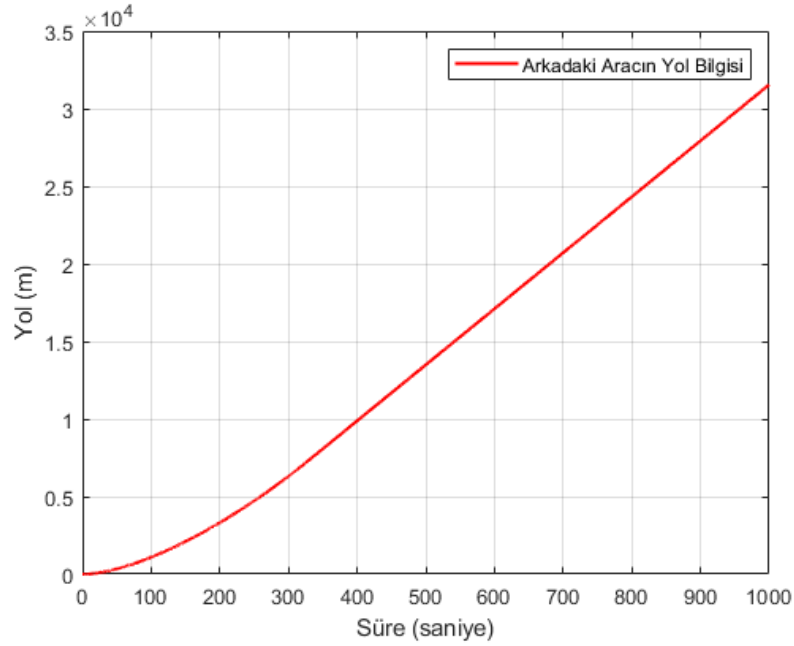


Şekil 5.2 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.2’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s

olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 332'inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.3'de verilmiştir.

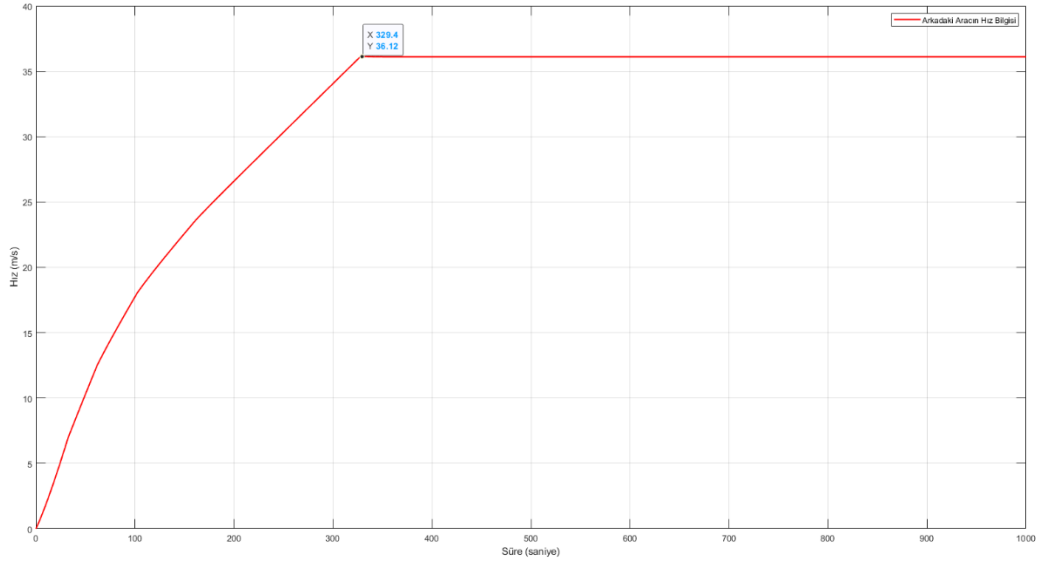


Şekil 5.3 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.3'de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s'e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s'e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.2'de açıklandığı üzere araç 332'inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.3'deki yol zaman grafiğinde de 332'inci saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.2. $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

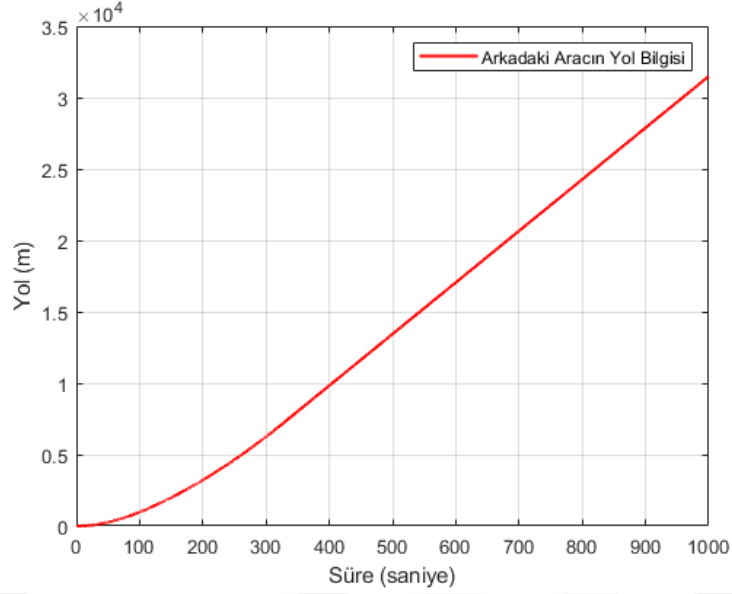
Bu senaryo için $K_p = 1000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.4’de, yol-zaman grafiği ise Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.4 Senaryo 1 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.4’de Senaryo 1 için $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 329’uncu saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.5’de verilmiştir.

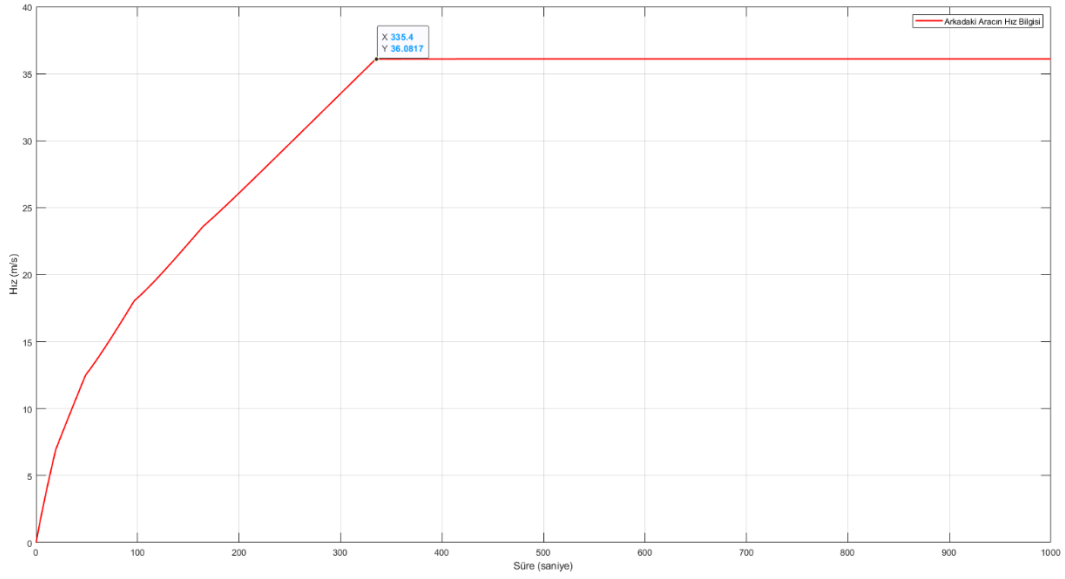


Şekil 5.5 Senaryo 1 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.5’de Senaryo 1 için $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.4’de açıklandığı üzere araç 329’uncu saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.5’deki yol zaman grafiğinde de 329’uncu saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.3. $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

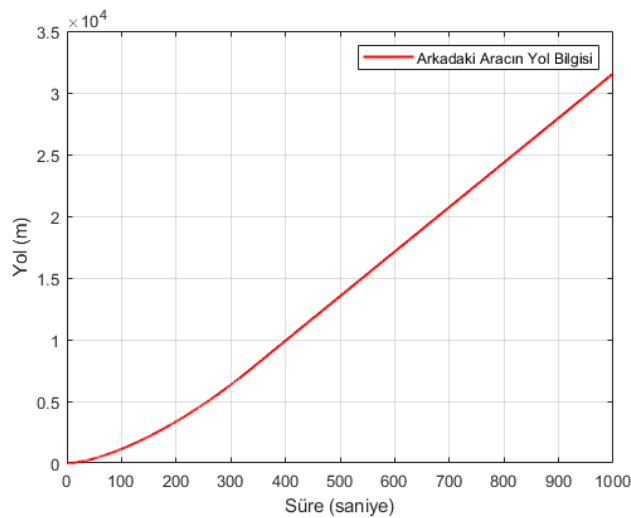
Bu senaryo için $K_p = 2500$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.6’da, yol zaman grafiği ise Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6 Senaryo 1 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.6'da Senaryo 1 için $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 335'inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen yol zamanı Şekil 5.7'de verilmiştir.

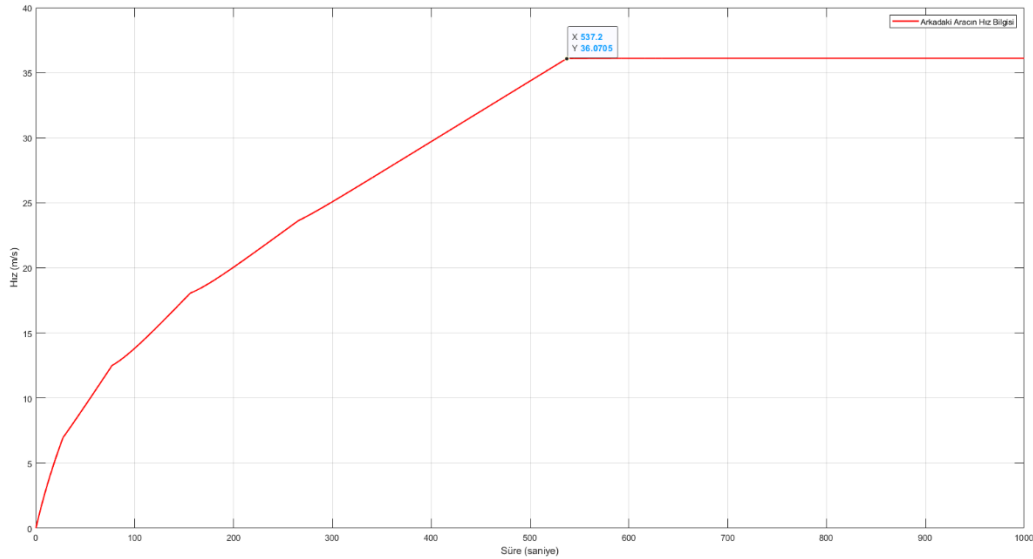


Şekil 5.7 Senaryo 1 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.7’de Senaryo 1 için $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.6’da açıklandığı üzere araç 335’inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.7’deki yol zaman grafiğinde de 335’inci saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.4. $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu senaryo için $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.8’de, yol zaman grafiği ise Şekil 5.9’da verilmiştir.

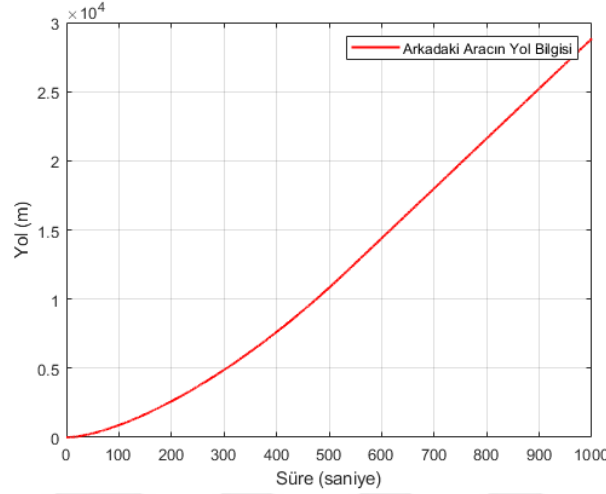


Şekil 5.8 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.8’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 537’inci saniyede

36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen yol zamanı Şekil 5.9’da verilmiştir.

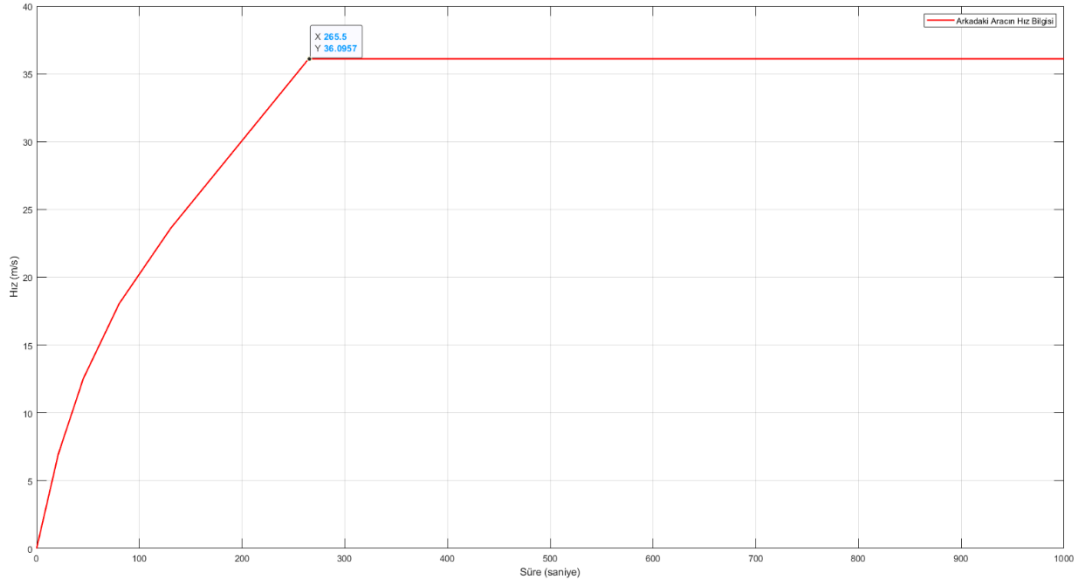


Şekil 5.9 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.9’da Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.8’de açıklandığı üzere araç 537’inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.9’daki yol zaman grafiğinde de 537’inci saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.5. $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

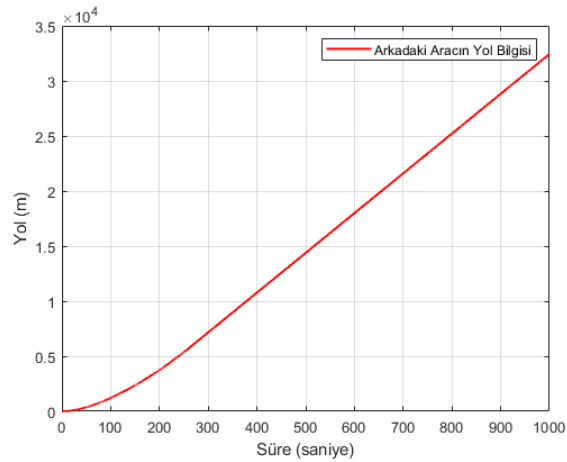
Bu senaryo için $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.10’da yol zaman grafiği ise Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.10 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.10'da Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 265'inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir.

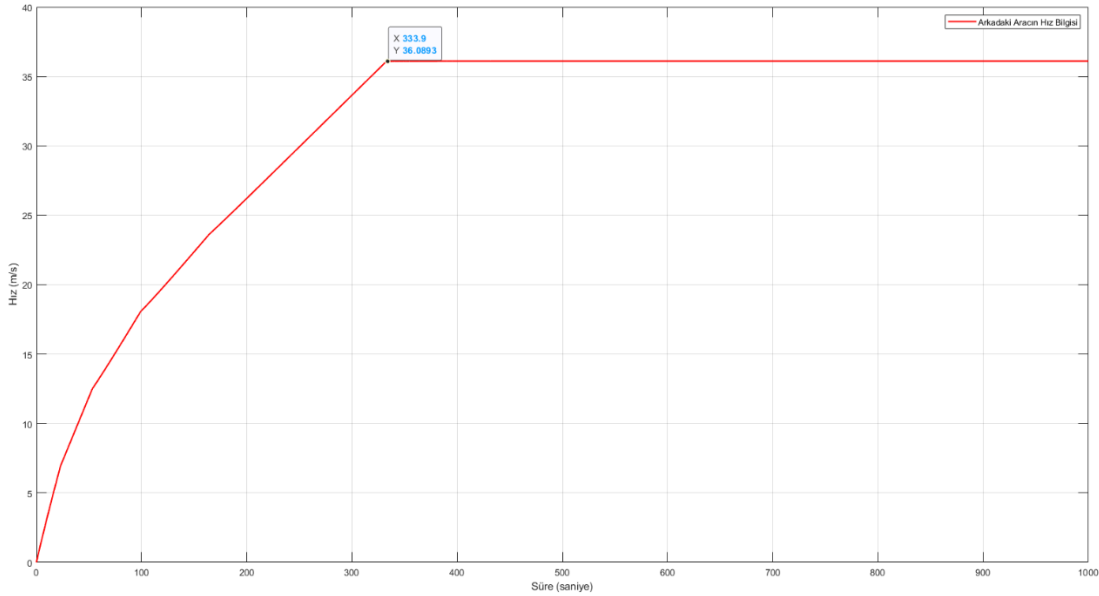


Şekil 5.11 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.11’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.10’da açıklandığı üzere araç 265’inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.11’deki yol zaman grafiğinde de 265’inci saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.6. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için Sonuçlar

Bu senaryo için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.12’de yol zaman grafiği ise Şekil 5.13’de verilmiştir.

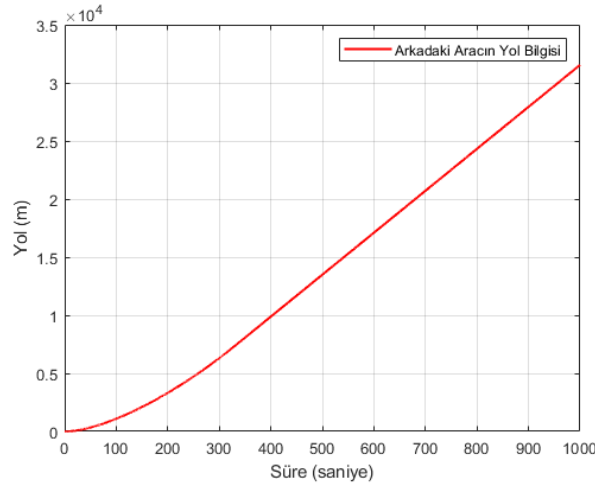


Şekil 5.12 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.12’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından

belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 334'üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir.

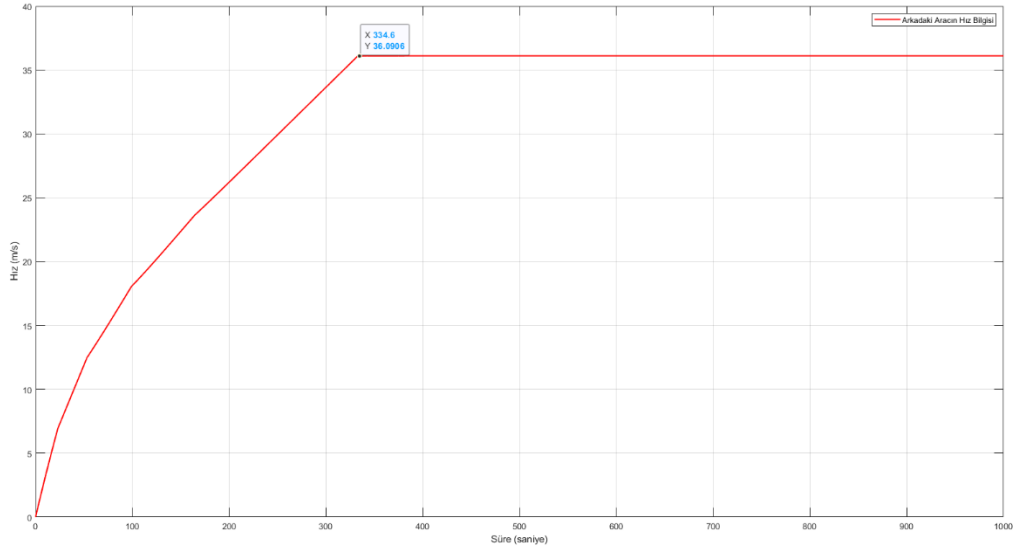


Şekil 5.13 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.13'de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s'e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s'e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.12'de açıklandığı üzere araç 334'üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.13'deki yol zaman grafiğinde de 334'üncü saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.7. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için Sonuçlar

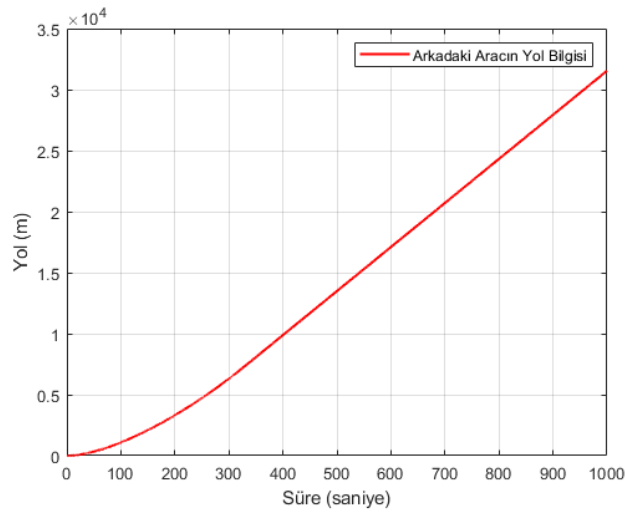
Bu senaryo için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.14'de yol zaman grafiği ise Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.14 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.14’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 334’üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.15’de verilmiştir.

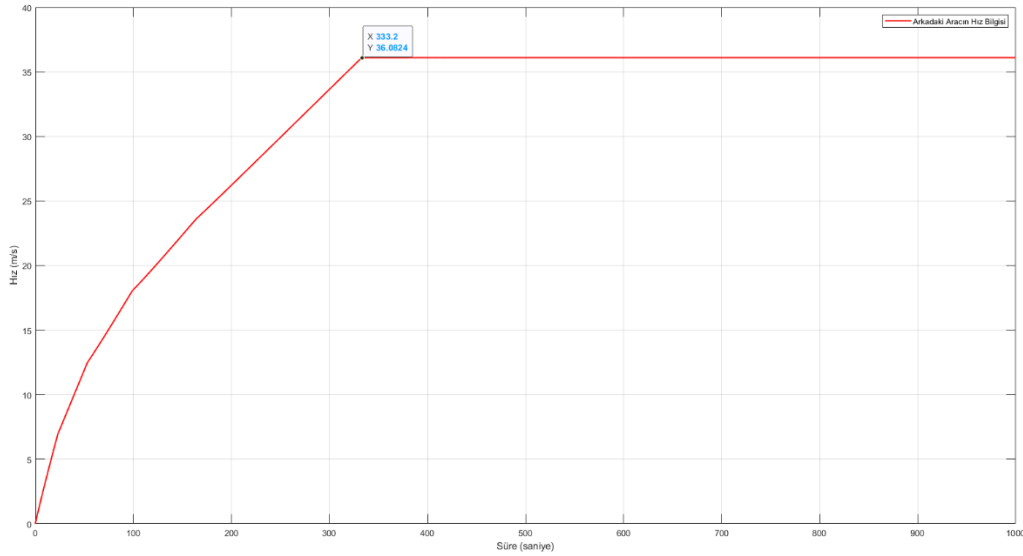


Şekil 5.15 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.15’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.14’de açıklandığı üzere araç 334’üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.15’deki yol zaman grafiğinde de 334’üncü saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

5.1.8. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için Sonuçlar

Bu senaryo için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ değerleri ile elde edilen hız zaman grafiği Şekil 5.16’da yol zaman grafiği ise Şekil 5.17’de verilmiştir.

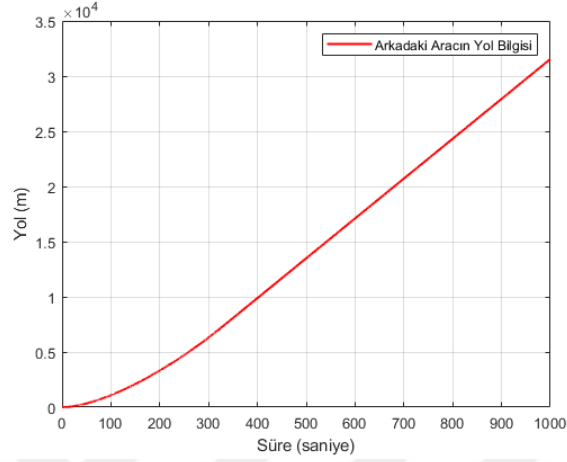


Şekil 5.16 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.16’da Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Sürücü tarafından aracın maksimum hızının 36.1 m/s olarak belirlendiği varsayılmıştır. Aracın başlangıç hızı 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Aracın önünde bir araç olmadığı için, araç sürücü tarafından belirlenen hıza kadar hızlanmış, daha sonra bu hızda sabit kalmıştır. Araç 333’üncü saniyede

36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır.

$K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ değerleri ile elde edilen yol-zaman grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.



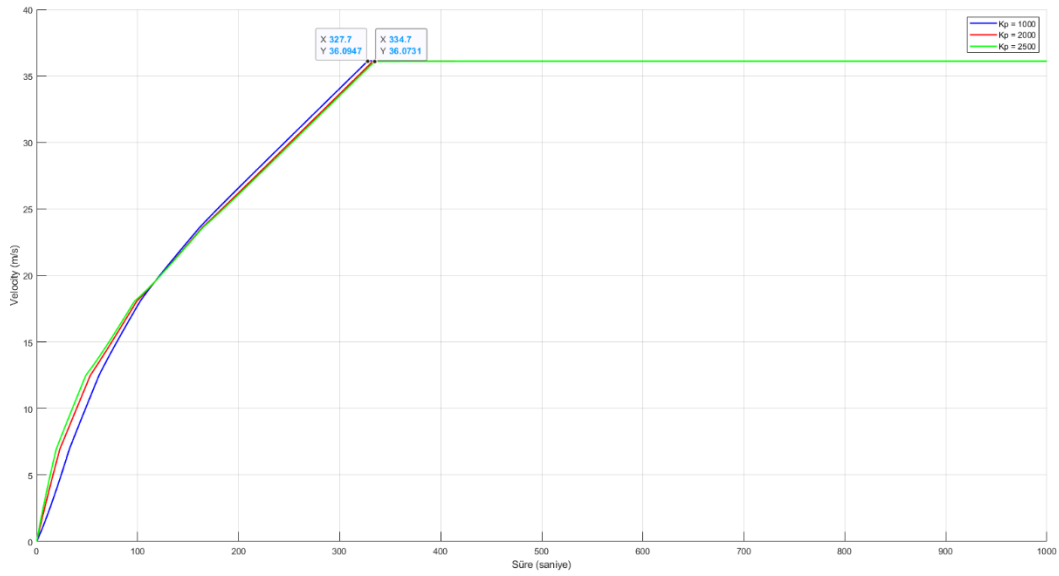
Şekil 5.17 Senaryo 1 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.17’de Senaryo 1 için $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ değerleri ile alınan Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın başlangıç pozisyonu 0 metre olarak kabul edilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmasına istinaden araç 36.1 m/s’e kadar sürekli hızlanmış ve o hızda sabit kalmıştır. Bu durumda, aracın 36.1 m/s’e hıza ulaşana kadar değişken bir hızla hareket etmesi sebebiyle alacağı yol grafiğinin değişken olması ve bu saniyeden sonra sabit bir artış ile yol alması beklenmektedir. Şekil 5.16’da açıklandığı üzere araç 333’üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Şekil 5.17’deki yol zaman grafiğinde de 333’üncü saniyeden itibaren aracın yol zaman grafiğinde lineer bir artış olduğu görülmektedir.

Senaryo 1’de tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin aktifleştirildiğinde önünde bir araç yoksa geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışma durumu gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracın önünde bir araç bulunmamaktadır. Sürücü tarafından sistem aktifleştirildiğinde sistemin, aracı sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar hızlandırdığı ve bu hızda sabit hareket etmesini sağladığı gözlemlenmiştir.

Senaryo kapsamında K_p , K_d ve K_i değerlerinin aracın hızlanmasına ve birim zamanda aldığı yola etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ilk olarak K_i ve K_d değerleri sabit tutularak K_p değerindeki değişimin etkileri, K_p ve K_i değerleri sabit tutularak K_d değerindeki değişimin etkileri ve son olarak K_d ve K_p değerleri sabit tutularak K_i değerinin etkileri incelenmiştir.

Şekil 5.18’de K_p değerinin artmasının ve azalmasının aracın hızlanmasına olan etkilerini gösteren hız zaman grafiği mevcuttur.



Şekil 5.18 Senaryo 1 K_p Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi

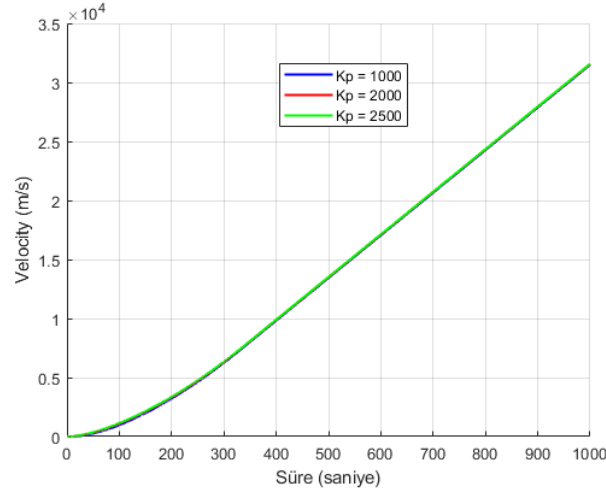
Şekil 5.18’de mavi çizgiler K_p değerinin 1000 olduğu durumu, kırmızı çizgiler K_p değerinin 2000 olduğu durumu ve yeşil çizgiler K_p değerinin 2500 olduğu durumu göstermektedir. Bu şekle göre, K_p değeri arttıkça aracın başlangıçtaki hızlanması artmaktadır. Buna göre, K_p değerinin aracın ilk ivmelenmesine olumlu etkide bulunduğunu göstermektedir. Fakat, K_p değeri arttıkça araç maksimum hıza daha uzun sürede gelmektedir. Başka bir deyişle, sistem stabil duruma daha uzun sürede gelmektedir. Araçlar maksimum hıza ulaştıkları saniyeler Tablo 5-1’de gösterilmektedir.

K_i Sabit	Maksimum Hıza (36.1 m/s) Varış Zamanı
$K_p = 2000$	332 saniye
$K_p = 1000$	329 saniye
$K_p = 2500$	335 saniye

Tablo 5.1 Senaryo 1 K_p Değerlerinin Aracın Hızlanmasına Etkisi

Tablo 5-1’de verilen sonuçlara göre araç K_p değerinin en düşük olduğu durumda 36.1 m/s hıza en kısa sürede varmıştır. Ek olarak, araç denenen K_p değerleri içinde en yüksek olan 2500 değerindeyken maksimum hıza 335 saniye ile en uzun sürede varmıştır. Bu durumda, K_p değerinin artışının aracın maksimum hıza ulaşmasına olumsuz etkisi olduğu söylenebilir.

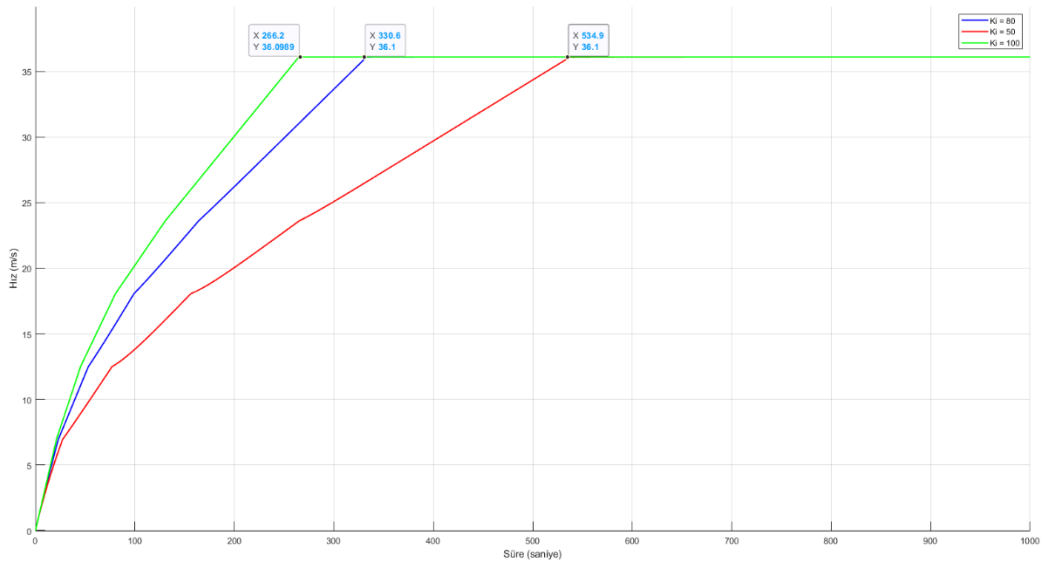
Şekil 5.19’da K_p değerinin artmasının ve azalmasının aracın aldığı yola olan etkilerini gösteren yol zaman grafiği mevcuttur.



Şekil 5.19 Senaryo 1 K_p Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi

Şekil 5.19’da K_p değerindeki değişimin aracın aldığı yola olan etkileri görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere K_p değerinin fazla olduğu durumda araç başlangıçta daha fazla yol almıştır. Üç durumda da maksimum hıza ulaşana kadar araçların anlık hızlarına göre aldıkları yollar farklıdır. Fakat araçlar maksimum hıza ulaştıktan sonra birim zamanda aynı yolu almıştır. Grafiğe göre 335’inci saniyeden sonra üç durumda da araç 36.1 m/s hızda olduğu için bu andan itibaren araçlar aynı yolu almıştır.

Şekil 5.20’de K_i değerinin değişiminin aracın hızlanmasına olan etkisi gösterilmektedir.



Şekil 5.20 Senaryo 1 K_i Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi

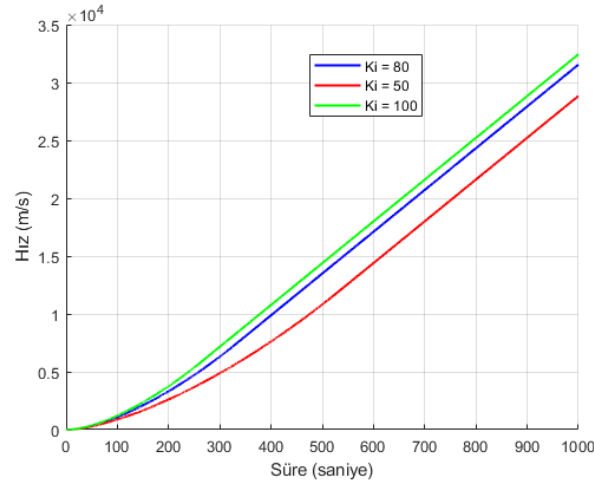
Şekil 5.20’de K_i değerindeki değişimin aracın hızlanmasına ve maksimum hıza ulaşmasına olan etkileri gösterilmektedir. Bu şekilde, yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu, mavi çizgiler K_i değerinin 80 olduğu durumu ve kırmızı çizgiler K_i değerinin 50 olduğu durumu göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, K_i değeri 100 iken araç hem hızlanmada hem de maksimum hıza ulaşmada daha en iyi performansı göstermiştir. K_i değerinin 80 olduğu durum ise K_i değerinin 50 olduğu durumdan hem hızlanma hem maksimum hıza ulaşma konusunda daha iyi bir performansa sahiptir. Bu durumda, K_i değerindeki artışın aracın ivmelenmesine ve aracın stabil duruma ulaşmasına olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Tablo 5-2’de K_i değerinin değişimine göre aracın maksimum hıza varış zamanı gösterilmektedir.

K_p Sabit	Maksimum Hıza (36.1 m/s) Varış Zamanı
$K_i = 80$	332 saniye
$K_i = 100$	265 saniye
$K_i = 50$	537 saniye

Tablo 5.2 Senaryo 1 K_i Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi

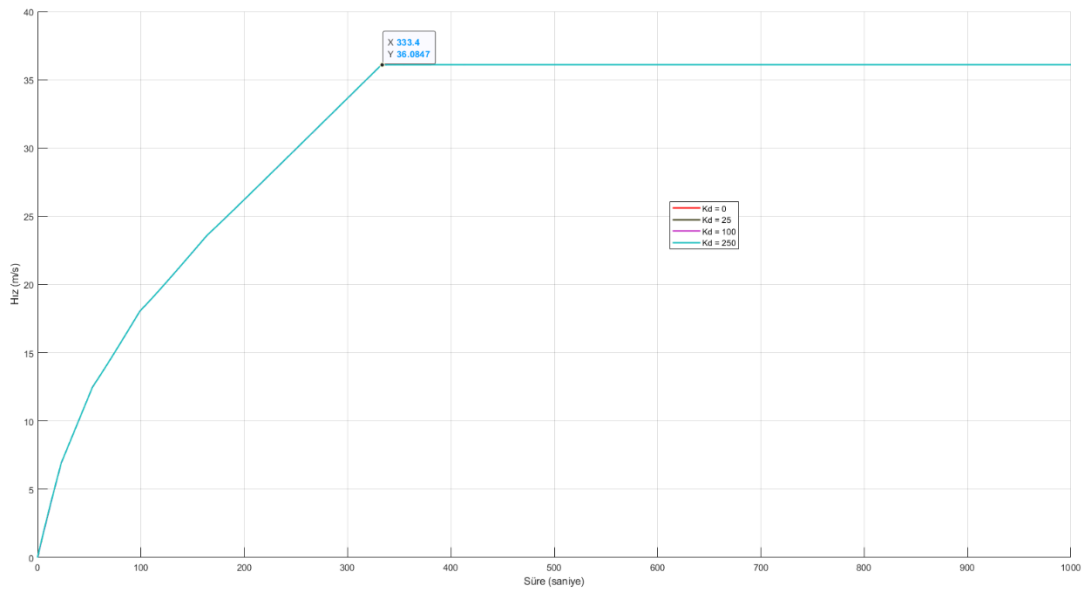
Tablo 5-2’den görüldüğü üzere K_i değeri 100 iken araç 265 saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmaktadır. Bu süre K_i değeri 80 iken 332 saniye ve K_i değeri 50 iken 537 saniyedir. K_i değerindeki artışın aracın hızlanmasına etkisi olumlu olarak görülmektedir. K_i değerinin çok azalması aracın ivmelenmesini oldukça yavaşlatmaktadır.

Şekil 5.21’de K_i değerindeki değişimin aracın aldığı yola etkisi gösterilmektedir.



Şekil 5.21 Senaryo 1 K_i Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi

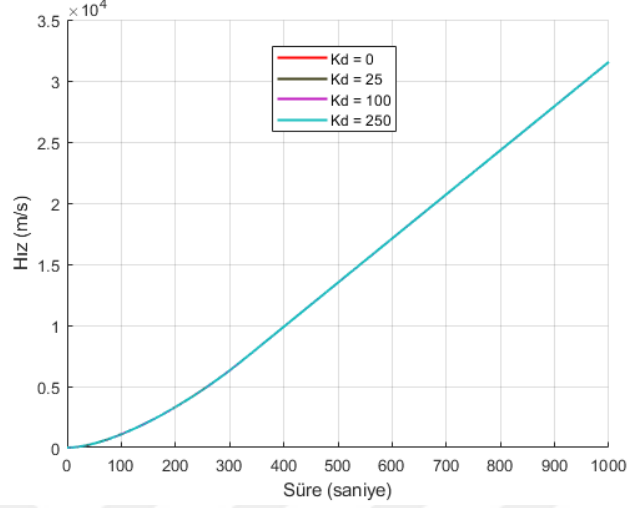
Şekil 5.21’de yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu, mavi çizgiler K_i değerinin 80 olduğu durumu ve kırmızı çizgiler K_i değerinin 50 olduğu durumu göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere K_i değerindeki artış aracın birim zamanda aldığı yolu arttırmaktadır. Bu durum K_i değerinin aracın hızını arttırmasıyla alakalıdır. Birim zamanda alınan yol o anlık hızla doğru orantılı olduğu için K_i değerinin artışı aracın aldığı yolu arttırmaktadır.



Şekil 5.22 Senaryo 1 K_d Değişiminin Aracın Hızlanmasına Etkisi

Şekil 5.22’de K_d değerinin aracın hızlanmasına olan etkisi görülmektedir. Bu şekilde K_d değerinin 0 olduğu durum kırmızı çizgiler ile, K_d değerinin 25 olduğu durum gri çizgiler

ile, K_d değerinin 100 olduğu durum mor çizgiler ile ve K_d değerinin 250 olduğu durum turkuaz çizgiler ile gösterilmektedir. Şekil 5.22'ye göre K_d değerinin aracın hızlanması üzerinde herhangi bir etkisi görülmemektedir.

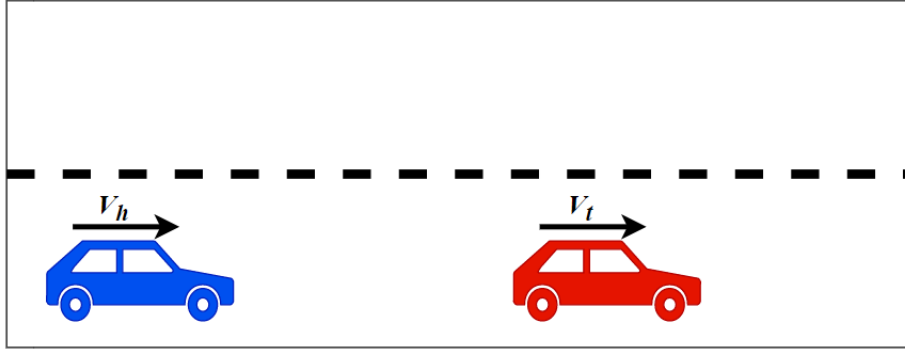


Şekil 5.23 Senaryo 1 Kd Değişiminin Aracın Aldığı Yola Etkisi

Şekil 5.23'de K_d değerinin aracın aldığı yola olan etkisi görülmektedir. Bu şekilde K_d değerinin 0 olduğu durum kırmızı çizgiler ile, K_d değerinin 25 olduğu durum gri çizgiler ile, K_d değerinin 100 olduğu durum mor çizgiler ile ve K_d değerinin 250 olduğu durum turkuaz çizgiler ile gösterilmektedir. Şekil 5.22'de verilen hız zaman grafiğinde de görüldüğü gibi Şekil 5.23'deki yol zaman grafiğinde de araçlar K_d değerleri değişmesine rağmen hem birim zaman da hem de toplamda aynı yolu almıştır.

5.2. Senaryo 2

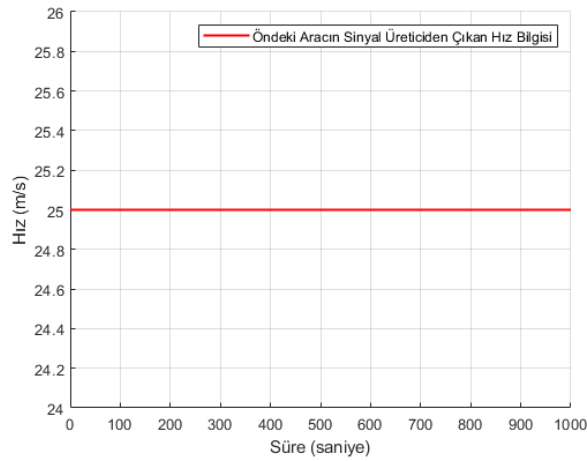
Bu senaryoda öndeki araç sabit hızla hareket etmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin araçlar arası güvenli mesafeye kadar aracı hızlandırması ve daha sonra güvenli mesafeyi koruyacak şekilde aracın hızını sabit tutması beklenmektedir. Öndeki aracın ilk pozisyonu için 500 metre ve ilk hızı için 25 m/s varsayımı yapılmıştır. Arkadaki aracın ilk pozisyonu için 0 metre ve ilk hızı için 0 m/s varsayımı yapılmıştır. Senaryonun gösterimi Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.24 Senaryo 2

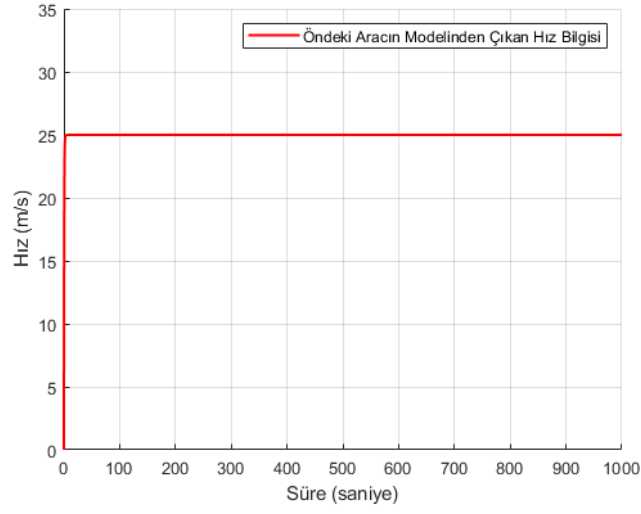
Şekil 5.24’de mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracı, kırmızı araç ise öndeki aracı ifade etmektedir. V_h arkadaki aracın hızını, V_t ise öndeki aracın hızını simgelemektedir. Bu senaryoda, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araç, araçlar arası güvenli mesafeye gelene kadar hızlanacak ve daha sonra öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde hızını sabit tutacaktır.

Tasarlanan modelde açıklandığı üzere öndeki araç için hız bilgisi sinyal üretici ile verilmiştir. Şekil 5.25’de sinyal üreticiden öndeki araca verilen hız bilgisi gösterilmektedir.



Şekil 5.25 Senaryo 2 Öndeki Araç İçin Giriş Olarak Verilen Hız Zaman Grafiği

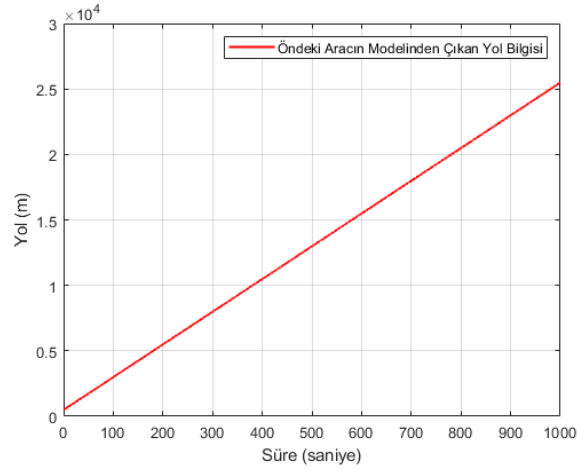
Şekil 5.25’de görülen grafikte öndeki aracın 25 m/s hızla sabit gitmesi istenmektedir. Bu hız değeri, öndeki aracın modeline hız girişi olarak verilmektedir. Öndeki aracın modelinden çıkış olarak alınan hız zaman grafiği ise Şekil 5.26’da verilmiştir. Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’daki hız zaman grafiklerinin aynı olması beklenmektedir.



Şekil 5.26 Senaryo 2 Öndeki Aracın Araç Modelinin Çıkarttığı Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.26'de verilen hız zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın 25 m/s ile sabit gittiği görülmektedir.

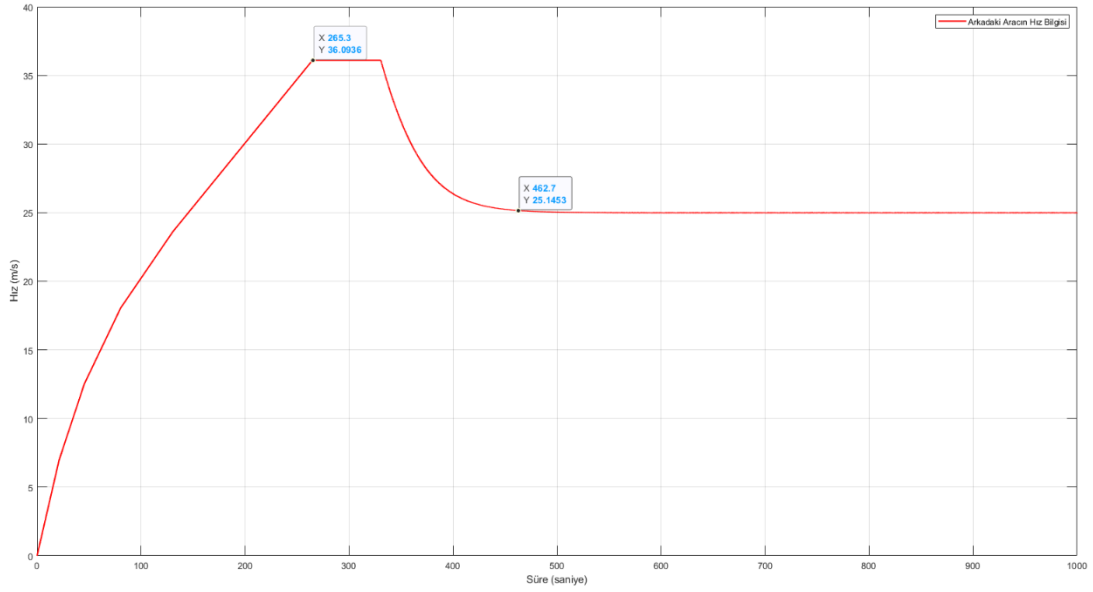
Şekil 5.27'de öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Aracın hızı sabit olduğu için aracın lineer olarak artan bir hız zaman grafiği olması beklenmektedir.



Şekil 5.27 Senaryo 2 Öndeki Aracın Araç Modelinin Çıkarttığı Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.27'de öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere, öndeki aracın pozisyonu 500 metreden başlayarak düzenli olarak artmaktadır. Bu artış hızının sabit olmasına bağlı olarak lineer şekildedir. Başka bir deyişle, her bir zaman aralığında alınan yol birbirine eşittir.

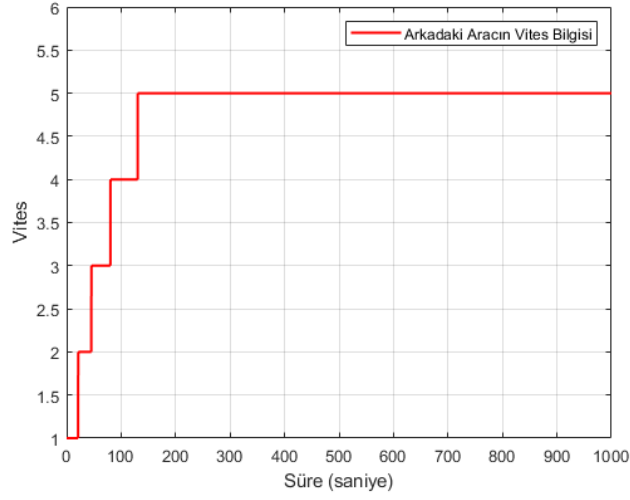
Şekil 5.28’de arkadaki araç için hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.28 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.28’de gösterilen hız zaman grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç 0 m/s hızdan başlayarak hızlanmaktadır. Araçlar arasındaki mesafe güvenli mesafeden fazla olduğu için hızlanmaya devam etmektedir. 265’inci saniyede araçlar arası mesafe güvenli mesafeden fazla olduğu halde araç, sürücü tarafından belirlenen 36.1 m/s hıza geldiği için o hızda sabit gitmektedir. 320’inci saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafeye yaklaştığı için araç yavaşlamaktadır ve 462’inci saniyeden sonra güvenli mesafeyi koruma amacıyla öndeki araç ile aynı hızda yani 25 m/s hızla sabit hareket etmektedir.

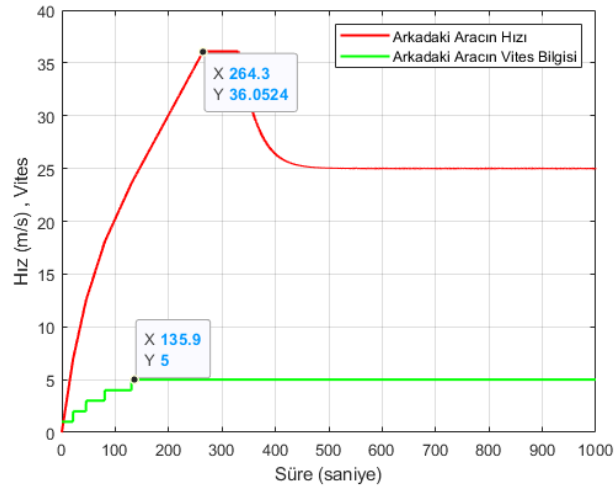
Şekil 5.29’da arkadaki aracın vites bilgisi verilmiştir.



Şekil 5.29 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Vites Grafiği

Şekil 5.29'da arkadaki aracın vites bilgisi verilmiştir. Araç, Tablo 4-1'de verilen hız-vites bilgisine göre vites değişimi yapmıştır.

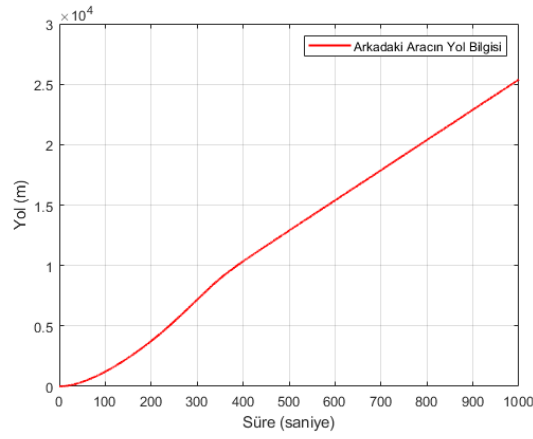
Şekil 5.30'da arkadaki aracın hız grafiği ile vites bilgisi beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.30 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Hız-Vites Grafiği

Şekil 5.30'da görüldüğü üzere araç birinci vitesten başlayarak hızlandıkça vitesini arttırmaktadır. Tablo 4-1'de verildiği üzere 23.62 m/s'den yüksek hızlarda beşinci viteste olması gerektiği için 180'inci saniyeden itibaren araç beşinci viteste gitmektedir.

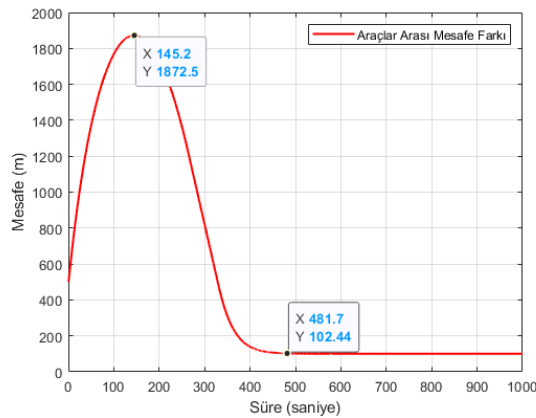
Şekil 5.31'de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.31 Senaryo 2 Adaptif Hız Sabitleyici Sistemine Sahip Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.31’de verilen yol zaman grafiğinde araç 0 metreden başlamaktadır. Arkadaki araç, 320’inci saniyeye kadar hızlandığı için yol zaman grafiğinde de grafiğin altında kalan alan giderek artmaktadır. 265’inci saniyeden 330’uncu saniyeye kadar 36.1 m/s hızla sabit hareket ettiği için yol zaman grafiği lineer olarak artmaktadır. Araç, 330’uncu saniyeden 462’inci saniyeye kadar yavaşladığı için her zaman aralığında aldığı yol da azalmaktadır. Başka bir deyişle, grafiğin altında kalan alan giderek azalmaktadır. 462’inci saniyeden itibaren öndeki araca yetiştiği için güvenli mesafeyi koruma amacıyla 25 m/s sabit hızla hareket ettiği için yol zaman grafiğinde lineer bir artış görülmektedir.

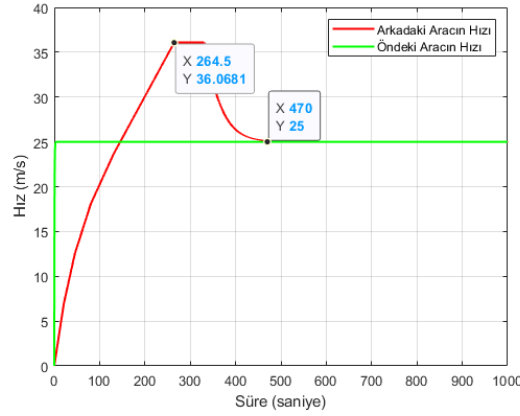
Araçlar arasındaki mesafe grafiği Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.32 Senaryo 2 Araçlar Arası Mesafe Grafiği

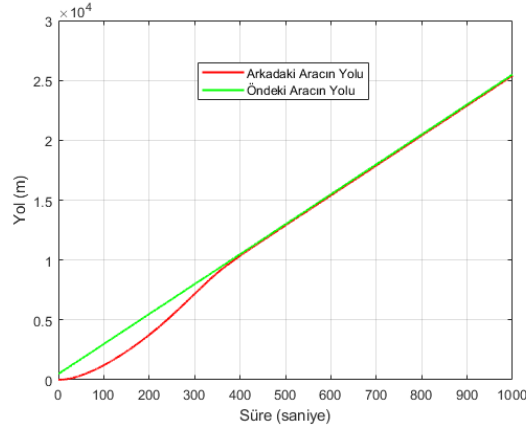
Şekil 5.32’de verilen mesafe grafiğinde araçlar arası mesafe başlangıç pozisyon farklarından ötürü 500 metredir. Öndeki aracın başlangıç hızı 25 m/s, arkadaki aracın başlangıç hızı 0 m/s olduğu için araçlar arası mesafe 200’üncü saniyeye kadar artmaktadır. Daha sonra, arkadaki aracın hızı 25 m/s’yi geçtiği için araçlar arası mesafe azalmaktadır. 481’inci saniyeden itibaren araçlar arası 100 metreye yani tanımlanan güvenli mesafeye indiği için arkadaki araç, hızını öndeki araca eşitlemiş ve iki araç da 25 m/s sabit hızla hareket etmiştir.

Şekil 5.33’de araçların hızlarının karşılaştırılma ve Şekil 5.34’de araçların yollarının karşılaştırılma grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.33 Senaryo 2 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.33’de kırmızı çizgiler arkadaki aracın hızını, yeşil çizgiler ise öndeki aracın hızını göstermektedir. Şekil 5.33’de, öndeki aracın başlangıçtan benzetim çalışmasının sonuna kadar 25 m/s sabit hızla gittiği, arkadaki aracın ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi sayesinde araçlar arası mesafeyi koruyacak şekilde hızını kontrol ettiği görülmektedir.



Şekil 5.34 Senaryo 2 Araçların Pozisyonlarının Karşılaştırılması

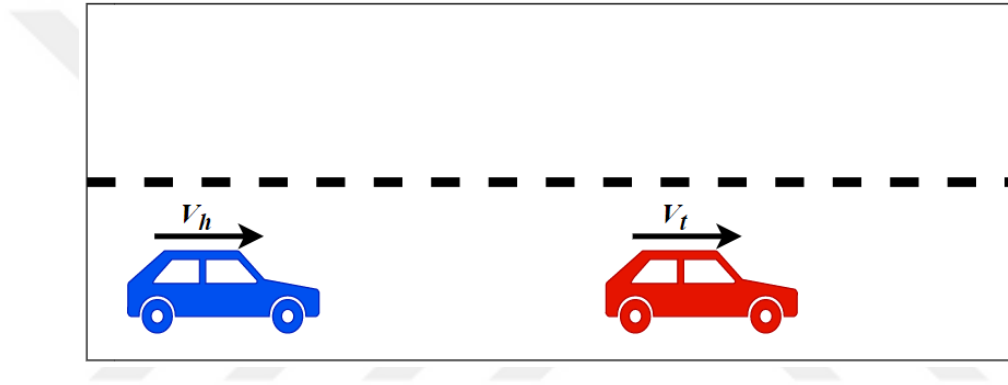
Şekil 5.34’de kırmızı çizgiler arkadaki aracın yol bilgisini, yeşil çizgiler ise öndeki aracın yol bilgisini göstermektedir. Şekil 5.34’de öndeki aracın 25 m/s sabit hızla hareket ettiği için lineer bir yol zaman grafiğine sahip olduğu, arkadaki aracın ise değişen hızına göre aldığı yol bilgisinin değiştiği görülmektedir. 481’inci saniyeden itibaren arkadaki araç öndeki araca yetişmiş ve aralarında belirlenen 100 metre güvenli mesafe kalmıştır. Bu saniyeden itibaren her iki araç da aynı hızla hareket ettiği için arkadaki araç güvenli bir şekilde öndeki aracı takip etmeyi başarmıştır.

Senaryo 2’de tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin sabit hızla hareket eden bir aracı takip etme durumu gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında öndeki araç başlangıçtan itibaren sabit hızla hareket etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre araçlar arasında başlangıçta mesafe farkı olmasına rağmen arkadan gelen araç öndeki araç ile arasındaki mesafeyi güvenli mesafeye indirdikten sonra öndeki aracın hızına göre hareket etmeye başlamıştır. Bu senaryo için öndeki araç başlangıçtan sona kadar sabit bir hızla hareket ettiği için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki aracı yakaladıktan sonra aracın hızını öndeki aracın hızına eşitleyerek güvenli mesafeyi koruyacak şekilde aracı takip etmeyi başarmıştır. Ek olarak, tasarlanan vites, hızlanma ve frenleme modellerinin elde edilen sonuçlara göre başarıyla çalıştığı görülmüştür.

5.3. Senaryo 3

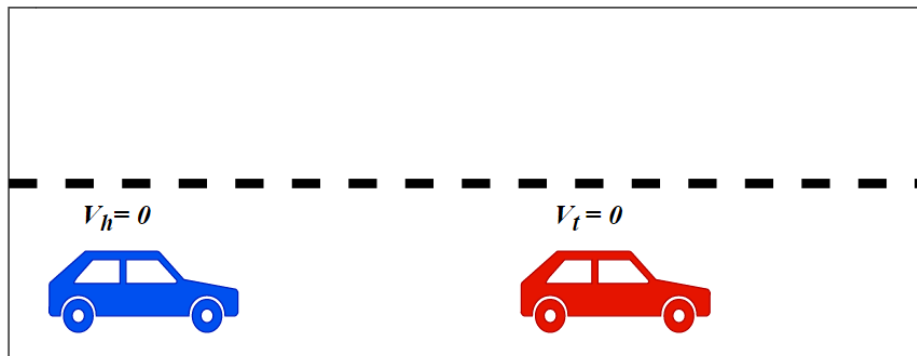
Bu senaryoda öndeki araç belirli bir hızla hareket etmekte ve zaman geçtikçe yavaşlayarak durmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin araçlar arası güvenli mesafeyi koruyarak devam etmesi ve öndeki araç yavaşladıkça yavaşlayarak durması beklenmektedir.

Şekil 5.35 Senaryo 3'ün öndeki aracın belirli bir hızla hareket ettiği kısmını, Şekil 5.36 ise öndeki aracın durduğu kısmı simgelemektedir. Senaryonun başında öndeki araç belirli bir hızla hareket etmektedir. Arkadaki araç ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemine göre öndeki araca yetişip, güvenli mesafeyi koruma amacındadır. Öndeki araç yavaşladıkça arkadaki araç da yavaşlamalı ve durduğunda güvenli mesafeyi koruyacak şekilde durmalıdır.



Şekil 5.35 Senaryo 3 İlk Kısım

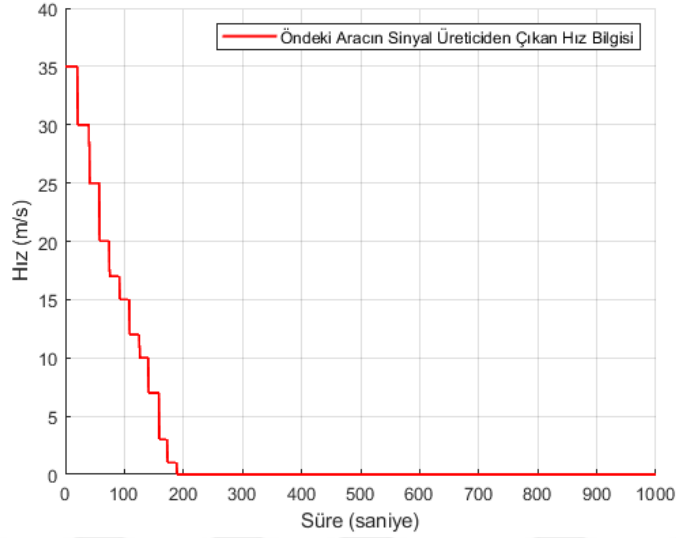
Şekil 5.35'de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir.



Şekil 5.36 Senaryo 3 İkinci Kısım

Şekil 5.36’da kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir. Bu kısımda arkadaki araç, öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde bir ivmelenme ile durmalıdır.

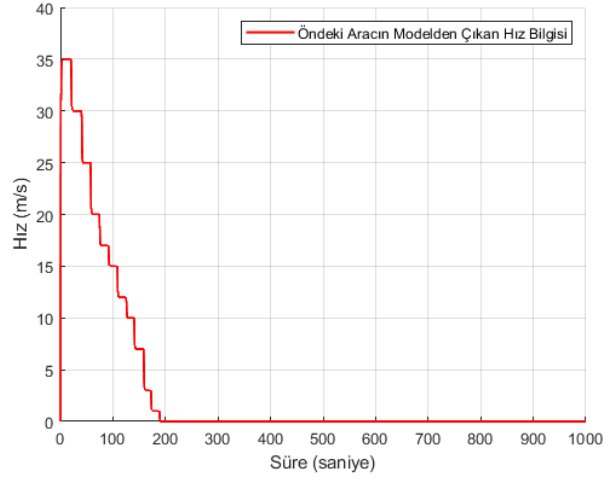
Şekil 5.37’de öndeki araca sinyal üretici ile verilen hız zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.37 Senaryo 3 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi

Şekil 5.37’de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 35 m/s hızdan başlayarak 190 saniye boyunca yavaşlayarak durmuştur. Şekil 5.38’de modelin çıkarttığı hız zaman grafiğinin de aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

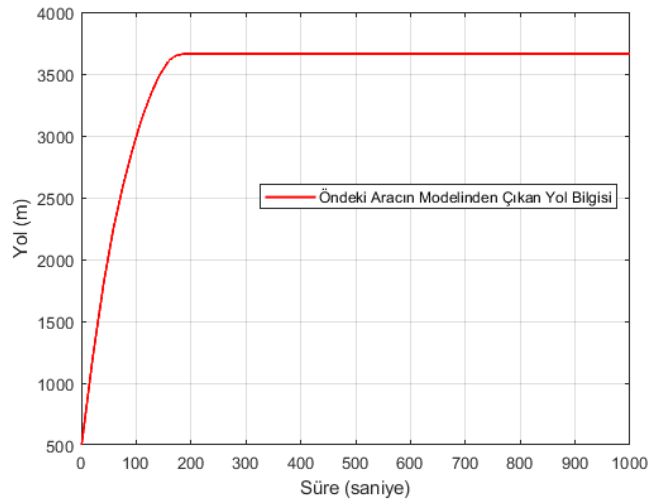
Şekil 5.38’de öndeki aracın modelinin Şekil 5.37’ye göre ürettiği hız bilgisi görülmektedir.



Şekil 5.38 Senaryo 3 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.38’de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 35 m/s hızdan başlayarak 190 saniye boyunca yavaşlayarak durmuştur

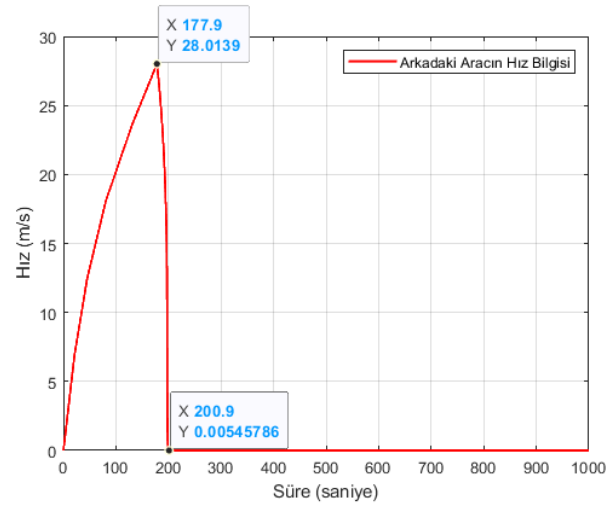
Şekil 5.39’da öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.39 Senaryo 3 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.39’da verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın yavaşladığı süre boyunca aldığı yol miktarı giderek azalmaktadır. Grafikte görüldüğü üzere, araç 190’ıncı saniyeden itibaren durduğu için aldığı yol 0 metredir.

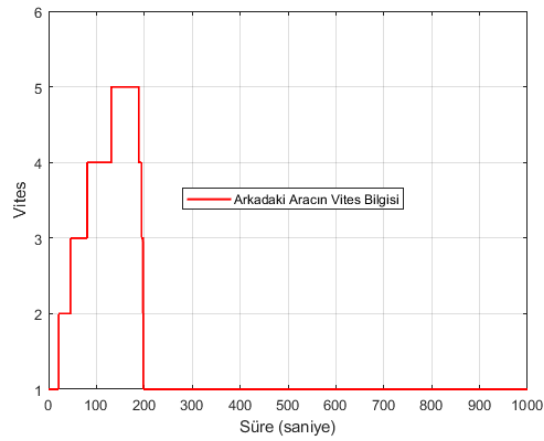
Şekil 5.40’da arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.40 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.40'da görüldüğü üzere arkadaki araç 0 m/s hızdan başlayarak hızlanmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, 177'inci saniyede öndeki araca yaklaşmaya başladığını fark ederek yavaşlamaya başlamış ve 200'üncü saniyede öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde durmuştur.

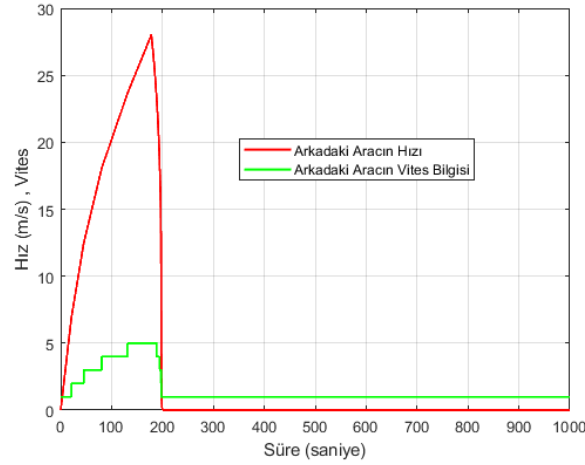
Şekil 5.41'de arkadaki aracın vites grafiği verilmiştir.



Şekil 5.41 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Vites Grafiği

Şekil 5.41'de verilen vites grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç Tablo 4-1'de tanımlanan hız vites değerlerine göre birinci vitesten başlayarak vitesini arttırıp azaltmaktadır.

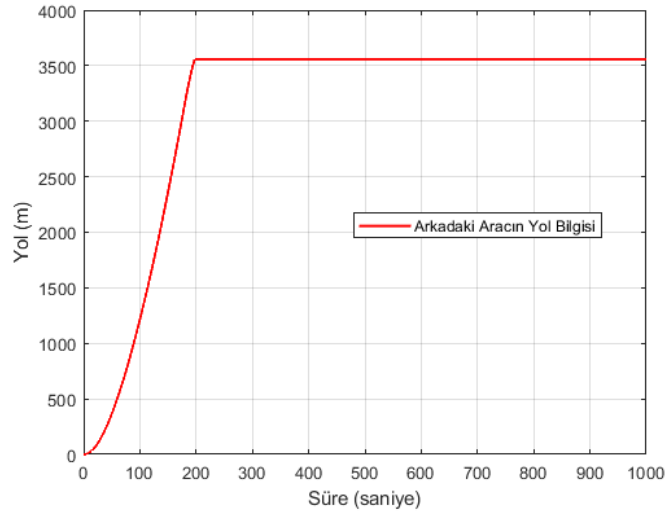
Şekil 5.42'de arkadaki aracın hız-vites grafiği verilmiştir.



Şekil 5.42 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Hız-Vites Grafiği

Şekil 5.42’de verilen hız vites grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç Tablo 4-1’de tanımlanan hız vites değerlerine göre birinci vitesten başlayarak vitesini artırıp azaltmaktadır.

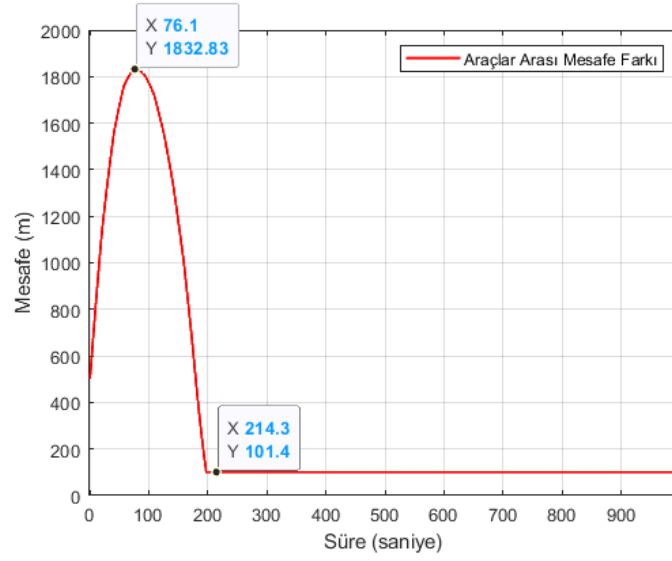
Şekil 5.43’de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.43 Senaryo 3 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.43’de verilen yol zaman grafiğinden 200’üncü saniyeye kadar arkadaki aracın hızlanmasına bağlı olarak aldığı yolun arttığı görülmektedir. Arkadaki aracın, 200’üncü saniyede öndeki aracın durması sebebiyle durduğu görülmektedir.

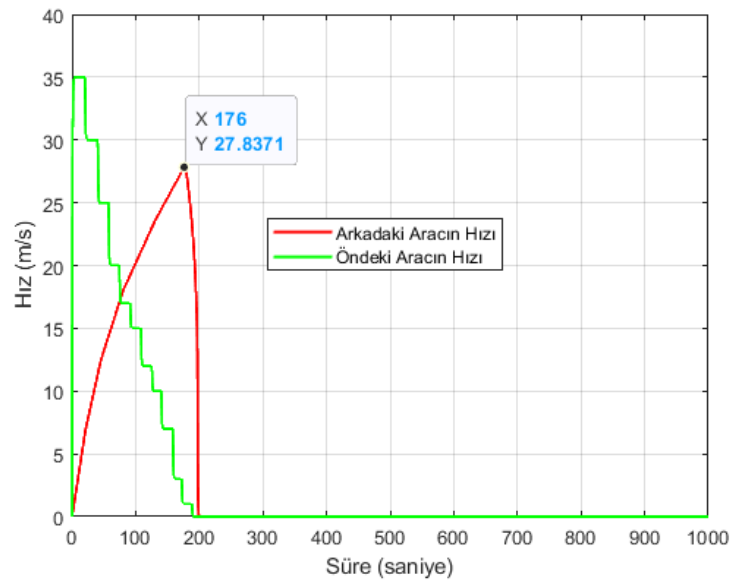
Şekil 5.44’de araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.44 Senaryo 3 Araçlar Arası Mesafe

Şekil 5.44’de verilen mesafe grafiğinde araçlar arası mesafe başlangıç pozisyon farklarından ötürü 500 metredir. Öndeki aracın başlangıç hızı 35 m/s, arkadaki aracın başlangıç hızı 0 m/s olduğu için araçlar arası mesafe 100’üncü saniyeye kadar artmaktadır. Daha sonra, arkadaki aracın hızı öndeki aracın hızını geçtiği için araçlar arası mesafe azalmaktadır. 200’üncü saniyede arkadaki araç öndeki araç ile güvenli mesafe olan 100 metreyi koruyacak şekilde durmuştur.

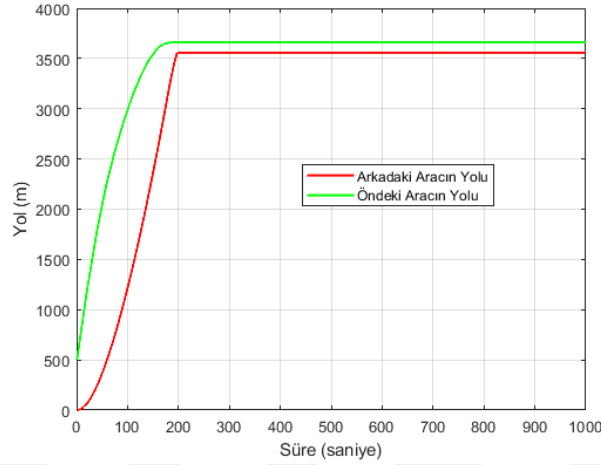
Şekil 5.45’de araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.45 Senaryo 3 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.45’de sarı çizgiler arkadaki aracın hızını, mavi çizgiler ise öndeki aracın hızını göstermektedir. Şekil 5.45’de, öndeki aracın 35 m/s hız ile hareketine başladığı ve giderek yavaşlayarak 180’inci saniyede durduğu, arkadaki aracın ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi sayesinde araçlar arası mesafeyi koruyacak şekilde hızını kontrol ettiği görülmektedir.

Şekil 5.46’da araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.46 Senaryo 3 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.46’da sarı çizgiler arkadaki aracın yol bilgisini, mavi çizgiler ise öndeki aracın yol bilgisini göstermektedir. Şekil 5.46’da öndeki aracın hızının giderek azalmasına bağlı olarak giderek azalan bir ivme ile yol değerinin arttığı, arkadaki aracın ise hızlanmasına bağlı olarak aldığı yolun arttığı ve 200’üncü saniyeden itibaren araçlar arasındaki güvenli mesafeyi koruyacak şekilde durduğu görülmektedir.

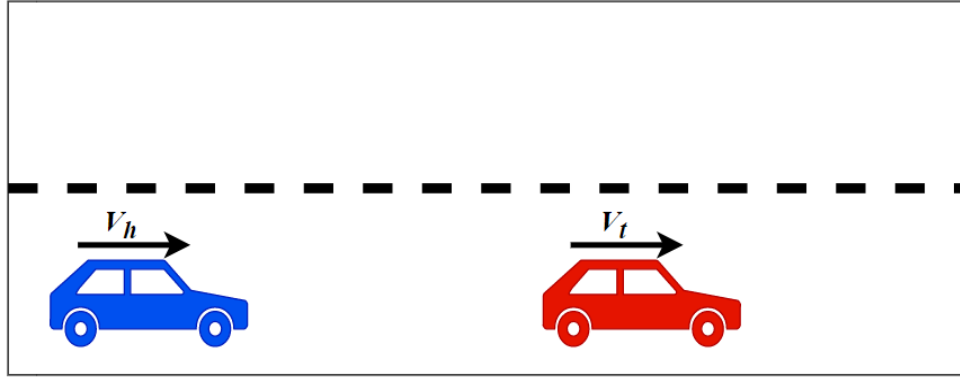
Senaryo 3’de tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin “Stop&Go” özelliği gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında öndeki araç zaman içinde yavaşlayarak durmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre araçlar arasında başlangıçta mesafe farkı olmasına rağmen arkadan gelen araç öndeki araç ile arasındaki mesafeyi güvenli mesafeye indirmiştir. Elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere, senaryonun devamında öndeki araç durduğu için arkadaki araç da güvenli mesafeyi koruyacak şekilde durmaktadır. Bu özellik literatürde “Stop&Go” özelliği olarak geçmektedir. Başka bir deyişle, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin “Stop&Go” özelliği bulunmaktadır. Bu durumda tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin trafik olan bir ortamda kullanılmasının uygun olduğu

görülmektedir. Ek olarak, tasarlanan vites, hızlanma ve frenleme modellerinin de elde edilen sonuçlara göre başarıyla çalıştığı görülmüştür.

5.4. Senaryo 4

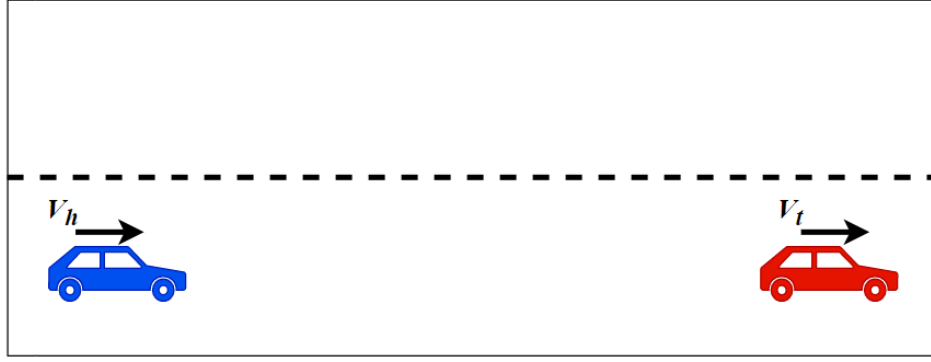
Bu senaryoda öndeki araç sürekli olarak hızlanmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin sürücü tarafından girilen maksimum hız değerine kadar aracı hızlandırması, maksimum hız değerine geldikten sonra öndeki aracın hızlanmasına bakmadan sürücü tarafından belirlenen maksimum hızda sabit olarak hareket etmesi beklenmektedir.

Şekil 5.47 Senaryo 4'ün öndeki aracın belirli bir hızla hareket ettiği kısmını, Şekil 5.48 ise öndeki aracın hızlanarak arkadaki araç ile farkı açtığı kısmı göstermektedir. Senaryonun başında öndeki araç belirli bir hızla hareket etmektedir. Arkadaki araç ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemine göre öndeki araca yetişip, güvenli mesafeyi koruma amacındadır. Öndeki araç hızlandıkça arkadaki araç için sürücünün tanımladığı maksimum hızı geçmektedir. Bu sebeple araçlar arasındaki farkın giderek artması beklenmektedir.



Şekil 5.47 Senaryo 4 İlk Kısım

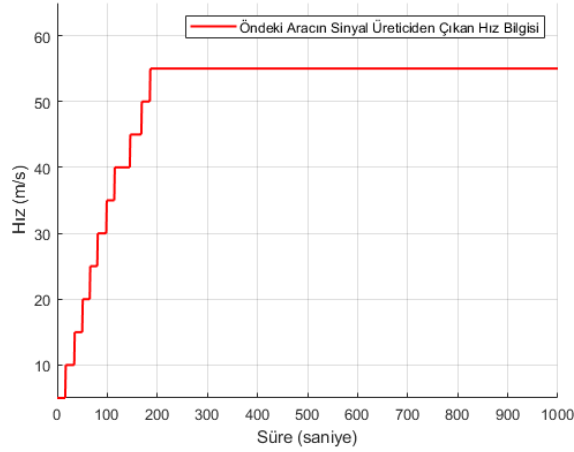
Şekil 5.47'de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir.



Şekil 5.48 Senaryo 4 İkinci Kısım

Şekil 5.48’de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir. Bu kısımda arkadaki araç, sürücü tanımlanan maksimum hız değerine ulaşınca o hızda sabit kalmalı ve öndeki aracın hızı arkadaki aracın maksimum hızından büyük olması sebebiyle araçlar arasındaki mesafe farkı giderek artmalıdır.

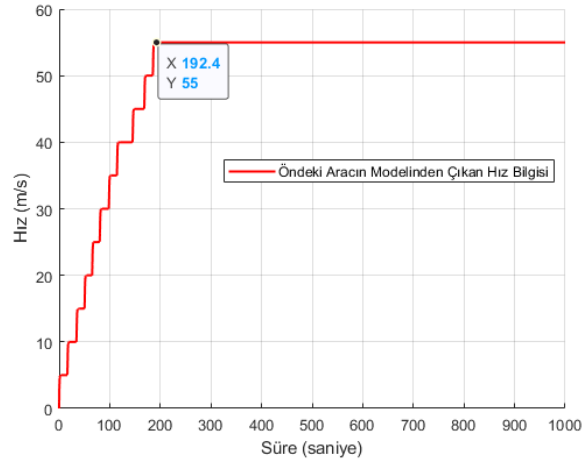
Şekil 5.49’da öndeki araca sinyal üretici ile verilen hız zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.49 Senaryo 4 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi

Şekil 5.49’da verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 10 m/s hızdan başlayarak 80 saniye boyunca hızlanmış ve 80’inci saniyeden itibaren sabit hızla hareket etmiştir. Şekil 5.50’de araç modelinin çıkarttığı hız zaman grafiğinin de aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

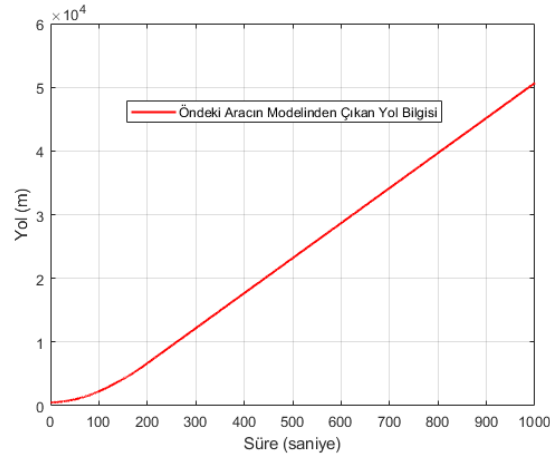
Şekil 5.50’de öndeki aracın modelinin Şekil 5.49’a göre ürettiği hız bilgisi görülmektedir.



Şekil 5.50 Senaryo 4 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.50’de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 10 m/s hızdan başlayarak 80 saniye boyunca hızlanmış, 80’inci saniyeden itibaren sabit hızla hareket etmiştir.

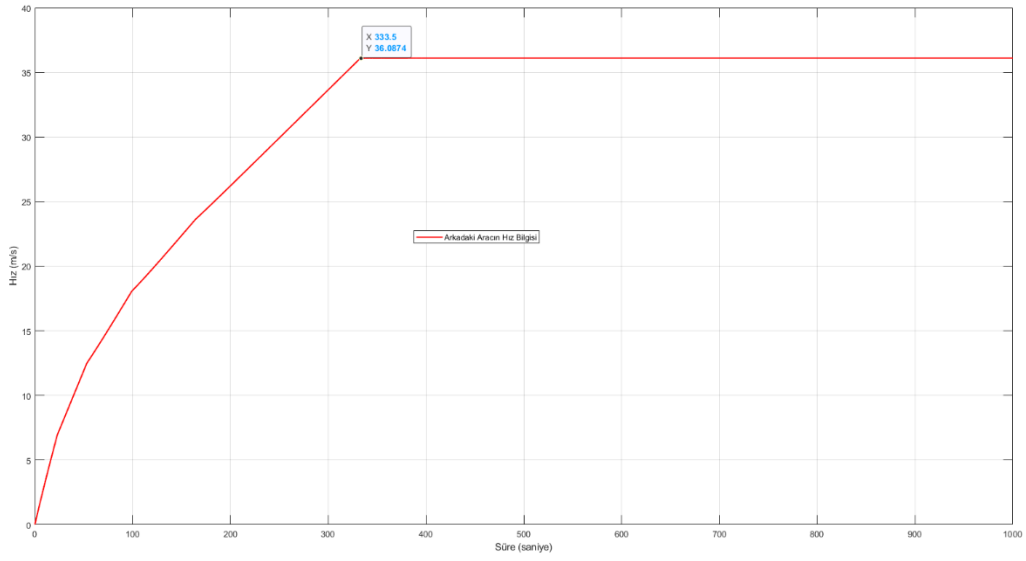
Şekil 5.51’de öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.51 Senaryo 4 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.51’de verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın hızlandığı süre boyunca aldığı yol miktarı giderek artmaktadır. Hızlandığı süre boyunca grafiğin altında kalan alan artmıştır. Başka bir deyişle, artan hıza bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da artmıştır. Grafikte görüldüğü üzere, araç 80’inci saniyeden itibaren sabit hızla hareket ettiği için grafiğin altında kalan alan sabit kalmış ve grafik lineer bir şekilde artmıştır.

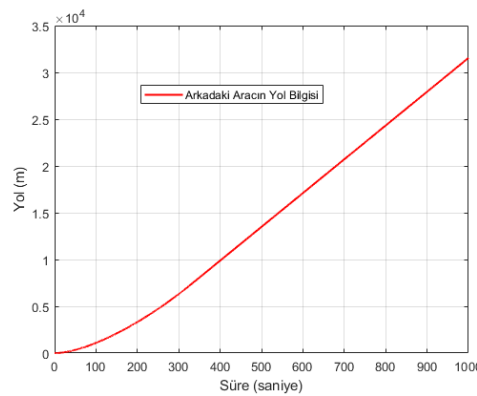
Şekil 5.52’de arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.52 Senaryo 4 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.52’de görüldüğü üzere arkadaki araç 0 m/s hızdan başlayarak hızlanmaktadır. Arkadaki araç, 333’üncü saniyede sürücü tarafından tanımlanan maksimum hız olan 36.1 m/s hıza ulaşmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin konsepti gereği araç sürücü tarafından tanımlanan maksimum hızı geçemediği 333’üncü saniyeden itibaren araç 36.1 m/s hızla sabit hareket etmiştir.

Şekil 5.53’de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.

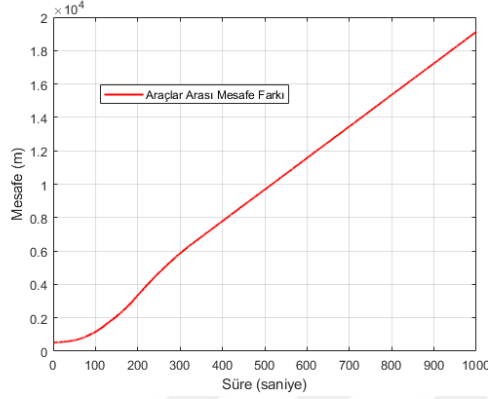


Şekil 5.53 Senaryo 4 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.53’de verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın hızlandığı süre boyunca aldığı yol miktarı giderek artmaktadır. Hızlandığı süre boyunca grafiğin altında kalan alan artmıştır. Başka bir deyişle, artan hıza bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da

artmıştır. Grafikte görüldüğü üzere, araç 333'üncü saniyeden itibaren sabit hızla hareket ettiği için grafiğin altında kalan alan sabit kalmış ve grafik lineer bir şekilde artmıştır.

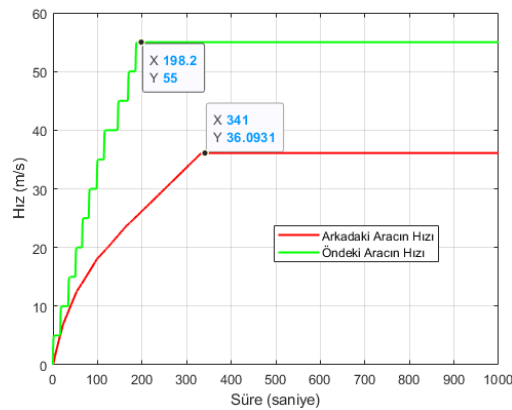
Şekil 5.54'de araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.54 Senaryo 4 Araçlar Arası Mesafe

Şekil 5.54'de verilen mesafe grafiğinde araçlar arası mesafe başlangıç pozisyon farklarından ötürü 500 metredir. Öndeki aracın başlangıç hızı 10 m/s, arkadaki aracın başlangıç hızı 0 m/s olduğu için araçlar arası mesafe başlangıçta artmaktadır. Diğer senaryoların aksine arkadaki araç öndeki aracı yakalayamamaktadır. Bunun sebebi arkadaki aracın hızının sürücü tarafından tanımlanan maksimum hıza erişerek o değerde sabit kaldığı halde öndeki aracın hızının artmaya devam etmesidir.

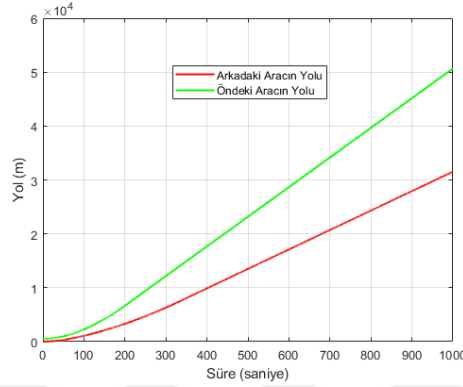
Şekil 5.55'de araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.55 Senaryo 4 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.55’de sarı çizgiler arkadaki aracın hızını, mavi çizgiler ise öndeki aracın hızını göstermektedir. Şekil 5.55’de, öndeki aracın 10 m/s hız ile hareketine başladığı ve giderek hızlanarak 55 m/s hıza eriştiği, arkadaki aracın ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi sayesinde 36.1 m/s hıza kadar hızlanarak sürücü tarafından tanımlanan maksimum değere ulaştığı için o değerde sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.56’da araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.56 Senaryo 4 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması

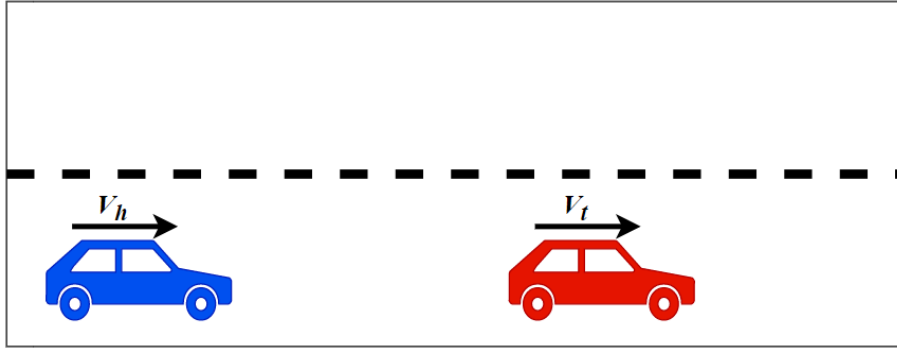
Şekil 5.56’da sarı çizgiler arkadaki aracın yol bilgisini, mavi çizgiler ise öndeki aracın yol bilgisini göstermektedir. Şekil 5.56’da araçlar arası hız farkının giderek artması sonucu aldıkları yollar da değişmiştir. Öndeki araç daha hızlı olduğu için birim zamanda daha fazla yol almıştır.

Senaryo 4’de tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin sürücü tarafından belirlenen hızı aşmama durumu gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında öndeki araç sürekli hızlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki araç, sürücü tarafından tanımlanan maksimum hızı aştığı takdirde sürücünün tanımladığı maksimum hızı geçmemektedir. Ek olarak, tasarlanan vites, hızlanma ve frenleme modellerinin de elde edilen sonuçlara göre başarıyla çalıştığı görülmüştür.

5.5. Senaryo 5

Bu senaryoda öndeki aracın hızı sürekli olarak değişmektedir. Öndeki araç zaman içinde yavaşlamakta, hızlanmakta ve zaman zaman sabit hızda hareket etmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin öndeki aracın hız değişimlerine göre güvenli mesafeyi koruyacak

şekilde aracın hızını değiştirmesi beklenmektedir. Senaryonun gösterimi Şekil 5.57’de verilmiştir.

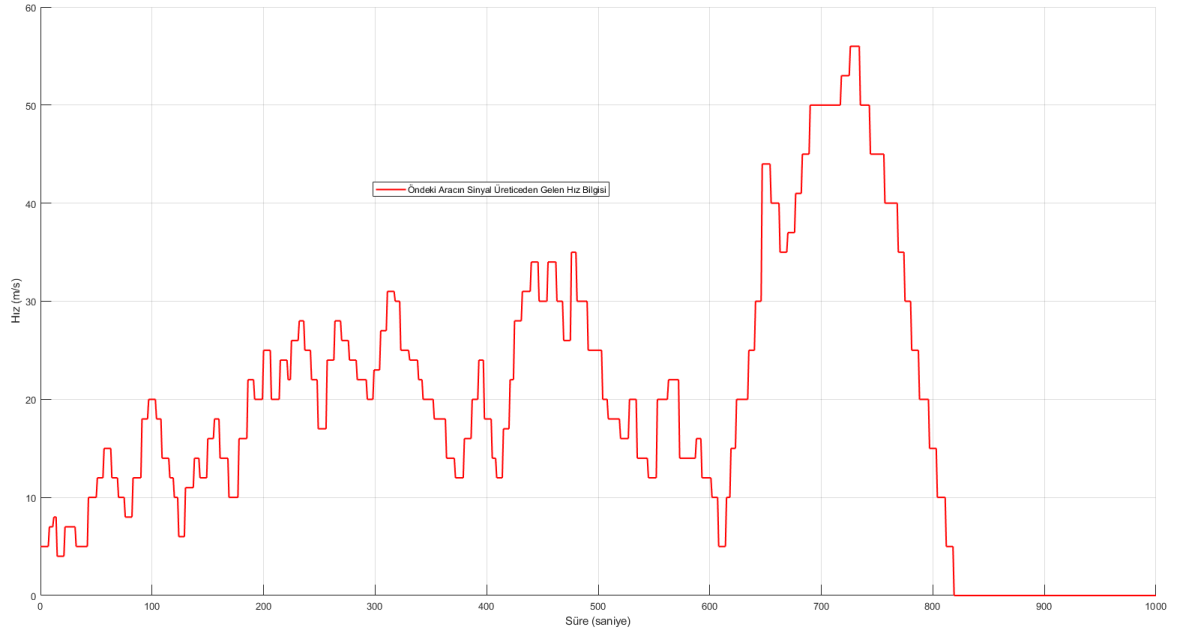


Şekil 5.57 Senaryo 5

Şekil 5.57’de mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip aracı, kırmızı araç ise öndeki aracı ifade etmektedir. V_h arkadaki aracın hızını, V_t ise öndeki aracın hızını simgelemektedir. Bu senaryoda, Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip araç, araçlar arası güvenli mesafeye gelene kadar hızlanacak ve daha sonra öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde hızını sabit tutacaktır. Senaryo gereği öndeki aracın hızı sürekli olarak değişecektir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi ise öndeki aracın hız değişimine göre güvenli mesafeyi koruyacak şekilde arkadaki aracın hızını değiştirecektir.

Bu senaryo için farklı K_p , K_i ve K_d değerleri denenecektir. K_p , K_i ve K_d değerlerinin aracın hızlanmasına ve öndeki aracı takip etmesine olan etkileri değerlendirilecektir. Bu kapsamda, 3 kazanç değerinden her bir işlemde biri değiştirilerek bu kazancın sisteme etkisi görülecektir. Değerlendirilecek durumlar K_p değerinin artışı, K_p değerinin azalışı, K_i değerinin artışı, K_i değerinin azalışı, K_d değerinin artışı ve K_d değerinin azalışı olarak belirlenmiştir.

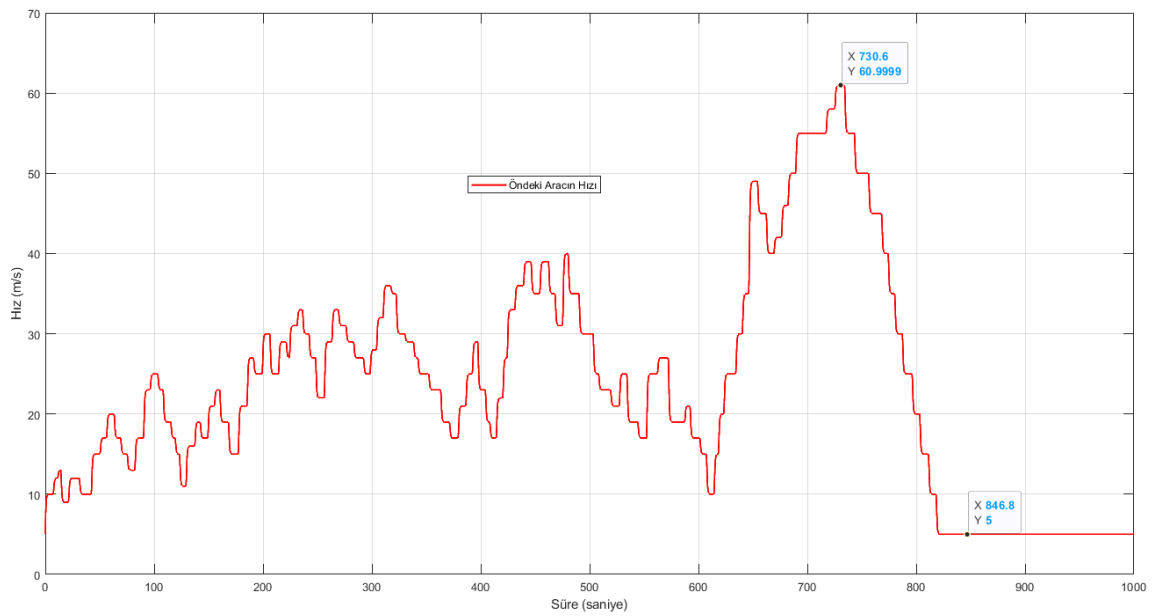
Şekil 5.58’de öndeki araca sinyal üretici ile verilen hız zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.58 Senaryo 5 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi

Şekil 5.58'de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak sürekli olarak değişken hızlarla hareket etmiştir. Grafik boyunca hızlanmalar ve yavaşlamalar mevcuttur. Şekil 5.51'de modelin çıkarttığı hız zaman grafiğinin de aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

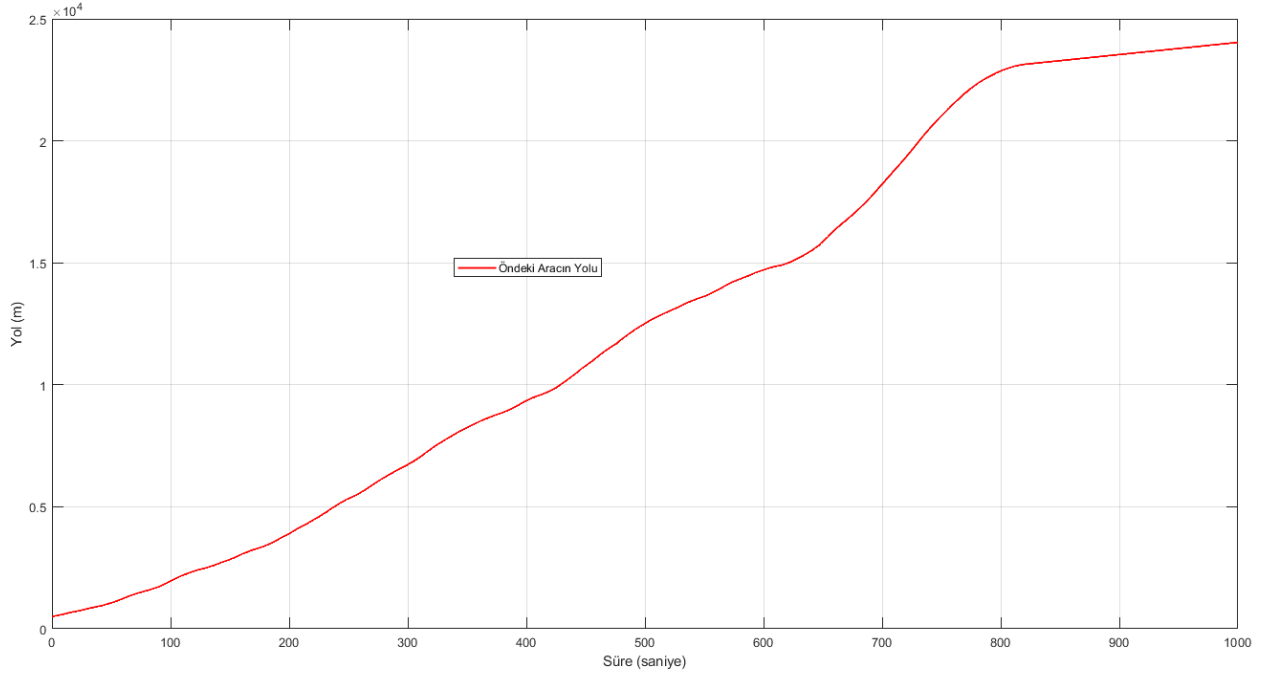
Şekil 5.59'da öndeki aracın modelinin Şekil 5.58'e göre ürettiği hız bilgisi görülmektedir.



Şekil 5.59 Senaryo 5 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.59’da verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak 820 saniye boyunca hareket etmiştir. Bu hareket süresince yavaşlamalar, hızlanmalar ve sabit hızlı hareket mevcuttur. 820’inci saniyeden itibaren 5 m/s hızla sabit harekete geçmiştir. Hareket boyunca en yüksek 60 m/s hıza çıkmıştır.

Şekil 5.60’da öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.60 Senaryo 5 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği

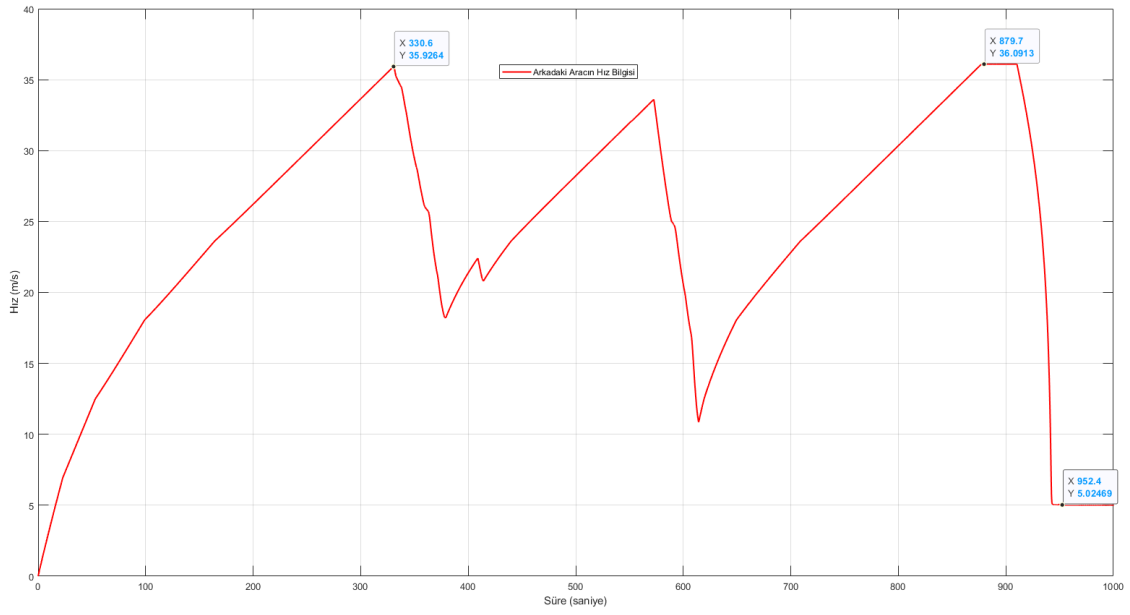
Şekil 5.60’da verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın değişen hızına bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da değişmiştir. Aracın hızlandığı sürelerde alınan yol artmakta, yavaşladığı sürelerde alınan yol azalmaktadır. 820’inci saniyeden itibaren araç sabit hızla hareket ettiği için grafik lineer bir şekilde artmıştır.

Bu senaryo için farklı K_p ve K_i denenecektir. K_p , K_i ve K_d değerlerinin aracın hızlanmasına etkisi değerlendirilecektir. Bu kapsamda, 3 kazanç değerinden her bir işlemde biri değiştirilerek bu kazancın sisteme etkisi görülecektir. Değerlendirilecek durumlar olarak, K_p değerinin artışı, K_p değerinin azalışı, K_i değerinin artışı ve K_i değerinin azalışının etkisi belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu senaryo için MPC denetleyicisi ile de sonuçlar alınacaktır.

5.5.1. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

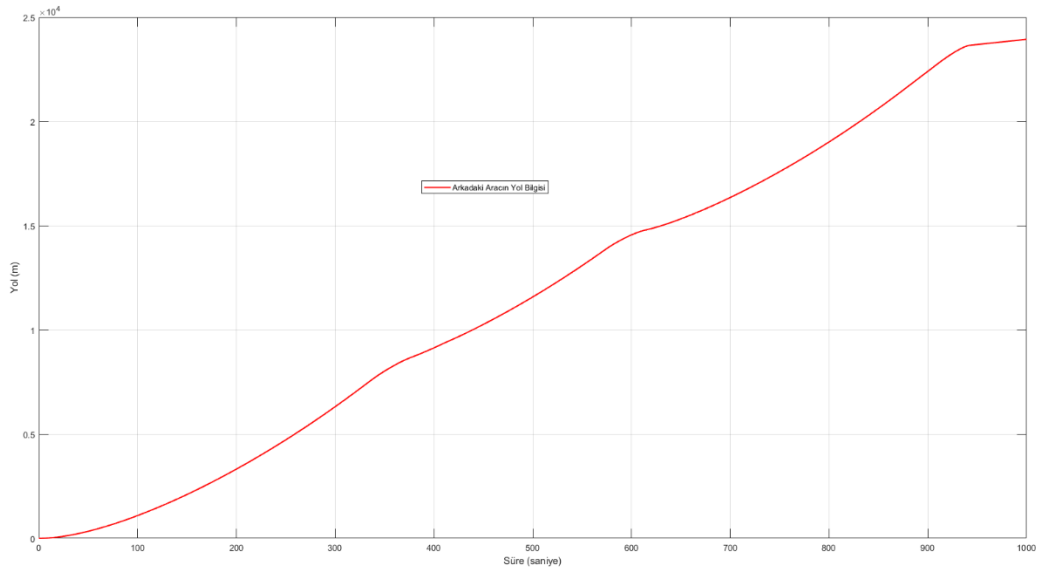
Şekil 5.61’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.61 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.61’de verilen grafikte aracın ilk olarak 330’uncu saniyede 36.1m/s maksimum hıza ulaştığı, 50 saniye boyunca yavaşlayarak 380’inci saniyede ise grafikteki ilk yavaşlamanın minimum noktası olan 18 m/s hıza geldiği, 572’inci saniyede ikinci kez maksimum hıza geldiği, 42 saniye yavaşlayarak 614’üncü saniyede grafikteki ikinci yavaşlamanın minimum noktası olan 11 m/s hıza geldiği, daha sonra 264 saniye boyunca hızlanarak 878’inci saniyede tekrar 36.1 m/s hıza geldiği, 31 saniye boyunca 36.1 m/s sabit hızla hareket ettiği ve son olarak 36 saniye boyunca yavaşlayarak 945’inci saniyede öndeki araç ile hızını eşitleyerek 5 m/s’ye indirdiği görülmektedir.

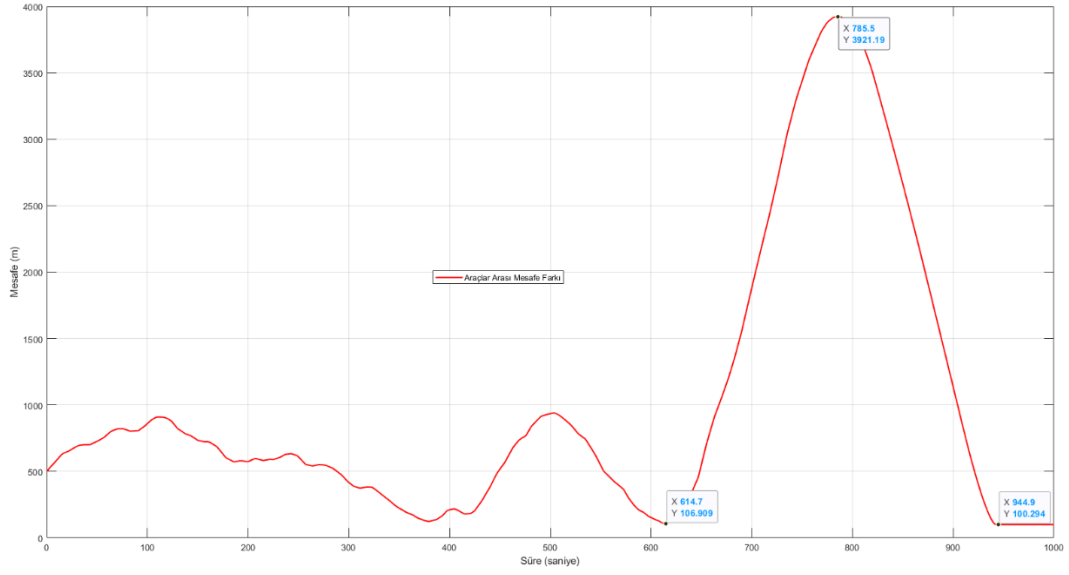
Şekil 5.62’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.62 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.62’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Şekil 5.62’de araç 0 ile 330’uncu saniyeler arasında, 420 ile 572’inci saniyeler arasında ve 614 ile 878’inci saniyeler arasında hızlandığı için grafikte birim zamanda alınan yol artmaktadır. Şekil 5.62’de araç 330 ile 380’inci saniyeler arasında, 572 ile 614’üncü saniyeler arasında ve 900 ile 945’inci saniyeler arasında aracın yavaşlamasına bağlı olarak birim zamanda alınan yol azalmaktadır. Son olarak, Şekil 5.62’de aracın hızı 878 ile 909’uncu saniyeler arasında ve 945 ile 1000’inci saniyeler arasında sabit kaldığı için birim zamanda alınan yol sabittir ve grafik lineer bir artışa sahiptir.

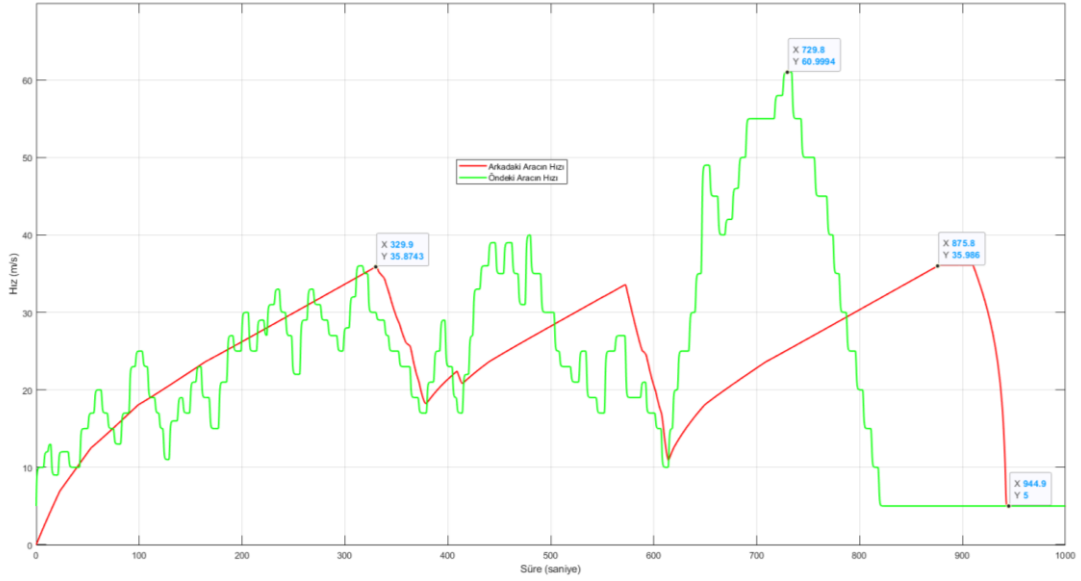
Şekil 5.63’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.63 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.63'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Şekil 5.63'deki araçlar arası mesafe farkının maksimum noktası 785'inci saniyededir. Bu saniyede araçlar arasındaki fark 3921 metredir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yaklaşmıştır. 380'inci saniyede araçlar arasındaki fark 124 metre, 615'inci saniyede araçlar arasındaki fark 108 metredir. Arkadaki araç, araçlar arasındaki mesafe farkını ancak 942'inci saniyede güvenli mesafeye indirebilmiştir. Başka bir deyişle, arkadaki araç öndeki araca 943'üncü saniyede yetişmiş ve araçlar arasındaki mesafe farkı 100 metredir. Bu saniyeden itibaren arkadaki araç ile öndeki aracın hızı eşit olduğu için araçlar arasındaki mesafe 100 metrede sabit kalmıştır.

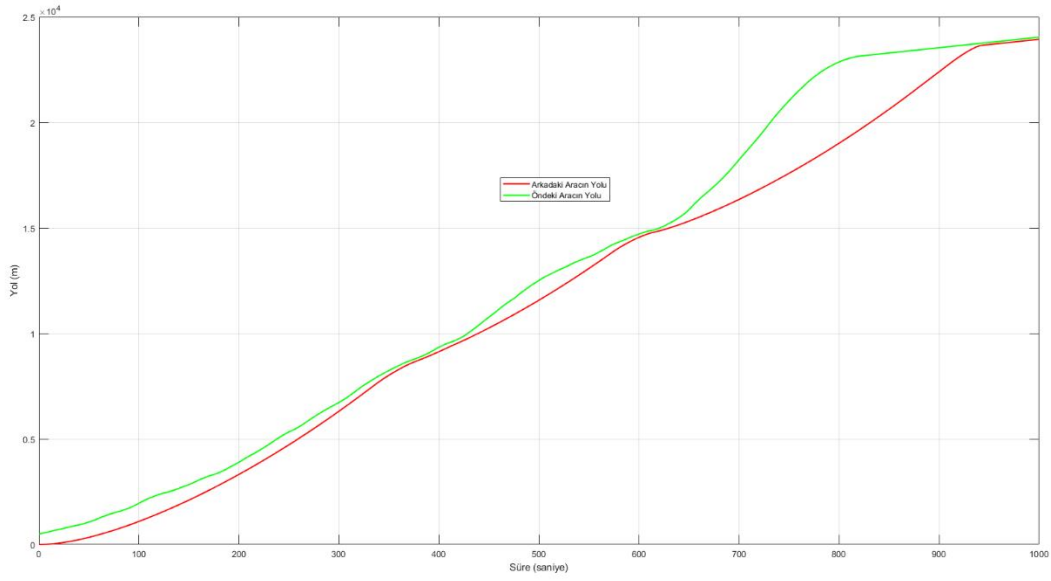
Şekil 5.64'de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.64 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.64’de verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330’uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da yavaşlamıştır. 380’inci saniyeden itibaren öndeki araç hızlandığı için arkadaki araç da hızlanmıştır. 572’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı yakalayamamıştır ve 572’inci saniyeden 625’inci saniyeye kadar öndeki aracın hızlanmasına rağmen arkadaki araç yavaşlayarak mesafeyi ayarlamaya çalışmıştır. 600’üncü saniyeden itibaren öndeki aracın hızlanmasına bağlı olarak 625’inci saniyeden 878’inci saniyeye kadar arkadaki araç hızlanmıştır. Öndeki aracın hızının arkadaki aracın maksimum hızından fazla olması sebebiyle araçlar arasındaki mesafe arttığı için 700’üncü saniyeden itibaren öndeki aracın yavaşlaması arkadaki araca etki etmemiştir. 878’inci saniye ile 910’uncu saniye arasında arkadaki araç sabit 36.1 m/s hızla hareket etmiştir. 945’inci saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s hızla hareket ederek güvenli mesafeyi korumuş ve arkadaki araç öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

Şekil 5.65’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.65 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.65’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 362’inci saniyeden 423’ü saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. 595’inci saniyeden 628’inci saniyeye kadar arkadaki araç tekrar öndeki aracı takibe başlamıştır. Arkadaki araç, 628’inci saniyeden 945’inci saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 945’inci saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

Tablo 5-1’de arkadaki aracın hız bilgisi ile ilgili edilen sonuçlar verilmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (36.1 ms)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (18 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (32 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (11 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.1m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (5 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENME ESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	330’uncu saniye	380’inci saniye	572’inci saniye	614’üncü saniye	878’inci saniye	945’inci saniye	945’inci saniye
$K_i = 80$							
$K_d = 0$							

Tablo 5.3 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 5-2’de araçlar arası mesafe ile ilgili edilen sonuçlar verilmiştir.

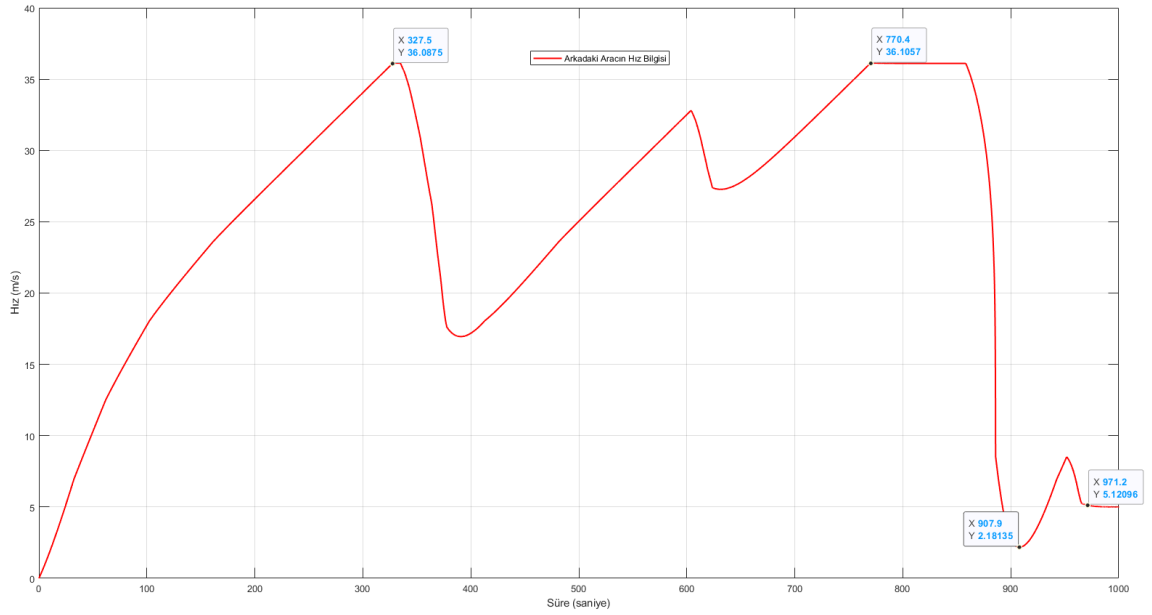
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3921 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (107 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	785'inci saniye	615'üncü saniye	943'üncü saniye
$K_i = 80$			
$K_d = 0$			

Tablo 5.4 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.2. $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız-zaman ve yol-zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırma sonuçları verilecektir.

Şekil 5.66'da $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

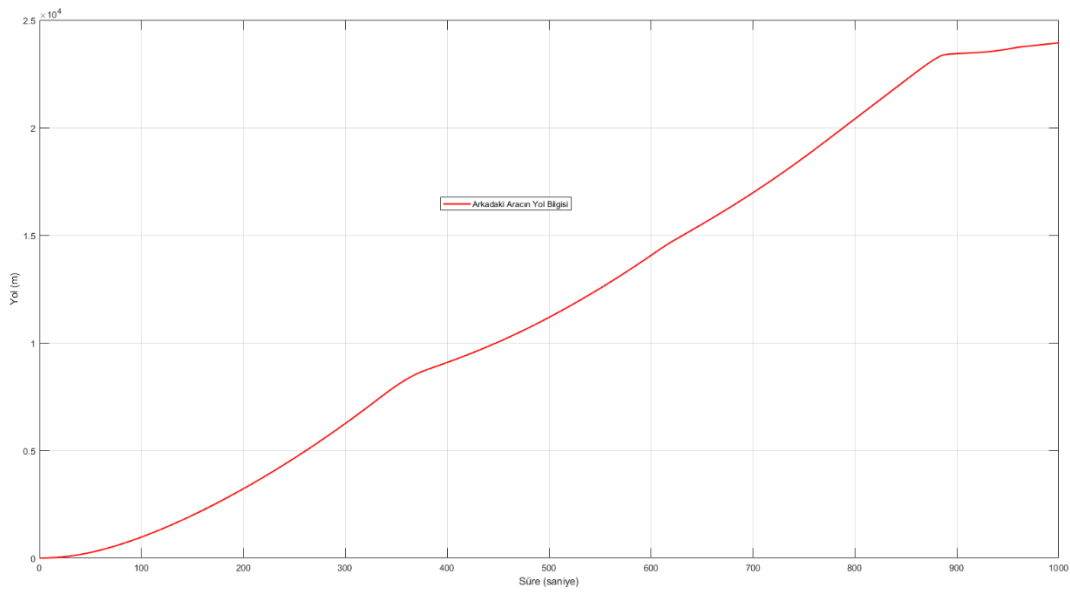


Şekil 5.66 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.66'da verilen grafikte aracın ilk olarak 326'ıncı saniyede 36.1 m/s maksimum hıza ulaşmış ve 9 saniye boyunca bu hızda sabit hareket etmiştir. 335'inci saniyeden itibaren araç 66 saniye boyunca yavaşlayarak 392'inci saniyede grafiğin ilk minimum noktası olan 17 m/s hıza gelmiştir. Daha sonra 212 saniye boyunca hızlanarak 604'üncü saniyede grafiğin en yüksek ikinci noktası olan 33 m/s hıza ulaşmıştır. Daha sonra, araç 28 saniye boyunca

yavaşlayarak 632'inci saniyede grafiğin ikinci minimum noktası olan 27 m/s hıza gelmiştir. Bu noktadan itibaren araç 138 saniye boyunca hızlanarak 770'inci saniyede tekrar 36.1 m/s maksimum hıza ulaşmış ve 85 saniye boyunca bu hızda sabit kalmıştır. 856'ıncı saniyeden itibaren 51 saniye boyunca yavaşlayarak 907'inci saniyede 2 m/s hıza düşmüştür. Bu andan itibaren 45 saniye hızlanarak 952'inci saniyede 8 m/s hıza çıkmıştır. Araçlar arası mesafeyi korumak için öndeki araca yaklaştığı için 17 saniye boyunca yavaşlayarak 969'uncu saniyede 5 m/s hıza gelmiş ve 31 saniye sabit hareket etmiştir.

Şekil 5.67'de $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.

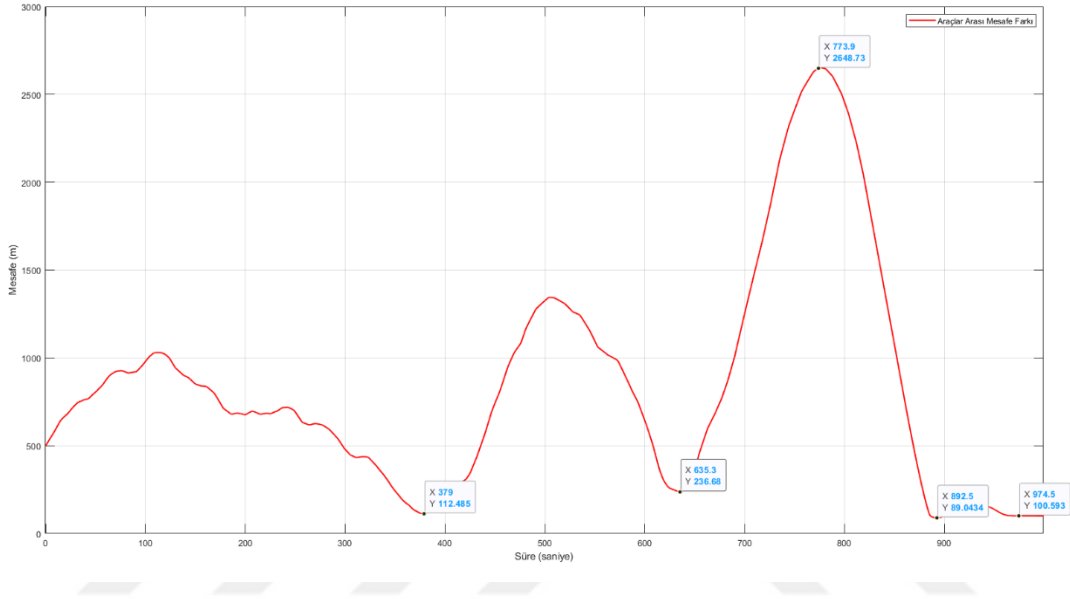


Şekil 5.67 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.67'de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Şekil 5.67'de araç 0 ile 326'ıncu saniyeler arasında, 392 ile 604'inci saniyeler arasında, 632 ile 770'inci saniyeler arasında ve 907 ile 952'inci saniyeler arasında hızlandığı için grafikte birim zamanda alınan yol artmaktadır. Şekil 5.67'de araç 335 ile 392'inci saniyeler arasında,

604 ile 632'inci saniyeler arasında, 856 ile 907'inci saniyeler arasında ve 952 ile 969'uncu saniyeler arasında aracın yavaşlamasına bağlı olarak birim zamanda alınan yol azalmaktadır. Son olarak, Şekil 5.59'da aracın hızı 326 ile 335'inci saniyeler arasında, 770 ile 885'inci saniyeler arasında ve 969 ile 1000'inci saniyeler arasında aracın hızı sabit kaldığı için birim zamanda alınan yol sabittir ve grafik lineer bir artışa sahiptir.

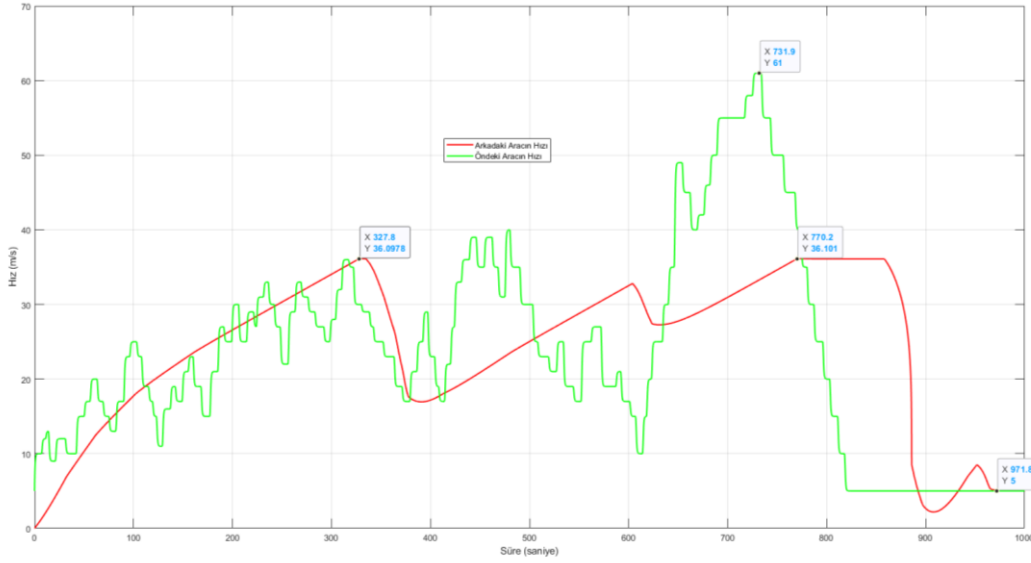
Şekil 5.68'de $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.68 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.68'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 380'inci saniyede araçlar arası mesafe farkı 113 metre ve 636'ıncı saniyede araçlar arası mesafe 237 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 777'inci saniyededir ve araçlar arası mesafe 2651 metredir. Arkadaki araç 895'inci saniyede öndeki araca güvenli mesafeden daha fazla yaklaşmış ve araçlar arası mesafeyi 90 metreye indirmiştir. Araçlar arası mesafenin 100 metrenin altına inmemesi gerektiği için arkadaki araç yavaşlamış ve 935'inci saniyede araçlar arası fark 165 metre çıkmıştır. Daha sonra arkadaki araç tekrar hızlanarak 969'uncu saniyede araçlar arası mesafe farkını güvenli mesafeye yani 100 metreye indirmiş ve bu andan itibaren başarıyla takip etmiştir.

Şekil 5.69'da $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.

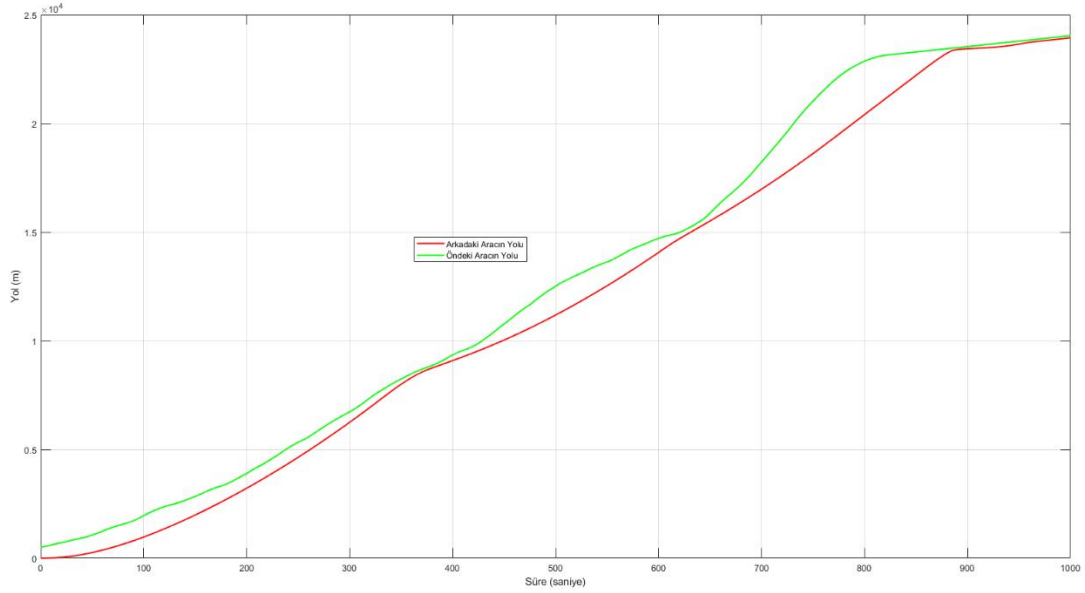


Şekil 5.69 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.69'da verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330'uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da yavaşlamıştır. 400'üncü saniyeden itibaren öndeki araç hızlandığı için arkadaki araç da hızlanmıştır. 600'üncü saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı yakalayamamıştır ve 600'üncü saniyeden 625'inci saniyeye kadar öndeki aracın hızlanmasına rağmen arkadaki araç yavaşlayarak mesafeyi ayarlamaya çalışmıştır. 600'üncü saniyeden itibaren öndeki aracın hızlanmasına bağlı olarak 625'inci saniyeden 770'inci saniyeye kadar arkadaki araç hızlanmıştır. Öndeki aracın hızının arkadaki aracın maksimum hızından fazla olması sebebiyle araçlar arasındaki mesafe arttığı için 700'üncü saniyeden itibaren öndeki aracın yavaşlaması arkadaki araca etki etmemiştir. 770'inci saniye ile 859'uncu saniye arasında arkadaki araç sabit 36.1 m/s hızla hareket etmiştir. 859'uncu saniyede öndeki aracın hızının 5 m/s'ye inmesi ve arkadaki aracın yavaşlaması istenilen düzeyde olmadığı için araçlar arası fark güvenli mesafeden daha az bir mesafeye gelmiş ve arkadaki araç öndeki aracın hızından daha da az bir hız olan 2 m/s hıza gelmiştir. Daha sonra araçlar arası mesafenin tekrar güvenli mesafeyi geçmesi üzerine öndeki aracın hızının sabit kalmasına rağmen arkadaki aracın hızı tekrar artmıştır. 969'uncu

saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s hızla hareket ederek güvenli mesafeyi korumuş ve arkadaki araç öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

Şekil 5.70’de $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.70 Senaryo 5 $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.70’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 351’inci saniyeden 389’uncu saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. 615’inci saniyeden 647’inci saniyeye kadar arkadaki araç tekrar öndeki aracı takibe başlamıştır. Arkadaki araç 647’inci saniyeden 890’uncu saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmıştır. 890’uncu saniyeden 976’uncu saniyeye kadar ideal koşullara ulaşılmaya çalışılmış ve 969’uncu saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (36.1 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (17 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (32 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (27 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.1m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (2 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENM ESİ (5 m/s)
K_p = 1000	326'ıncı saniye	392'inci saniye	604'üncü saniye	632'inci saniye	770'inci saniye	907'inci saniye	969'uncu saniye
K_i = 80							
K_d = 0							

Tablo 5.5 Senaryo 5 K_p = 1000, K_i = 80, K_d = 0 için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (2648 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (118 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
K_p = 1000	773'üncü saniye	382'inci saniye	969'uncu saniye
K_i = 80			
K_d = 0			

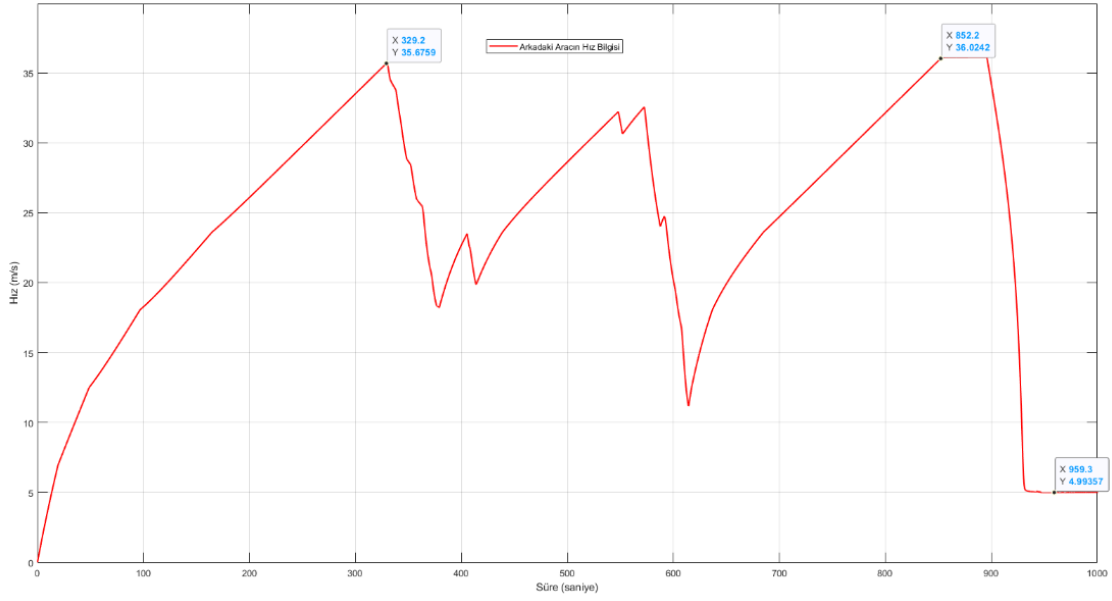
Tablo 5.6 Senaryo 5 K_p = 1000, K_i = 80, K_d = 0 için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

K_p = 1000, K_i = 80, K_d = 0 için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde 859'uncu saniyedeki mesafe hatası sebebiyle tasarlanan kontrolcünün bu kazanç değerleri ile çalışması güvenlik açısından problem yaratma ihtimaline sahiptir.

5.5.3. K_p = 2500, K_i = 80 ve K_d = 0 için Sonuçlar

Bu bölümde, K_p = 2500, K_i = 80 ve K_d = 0 için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

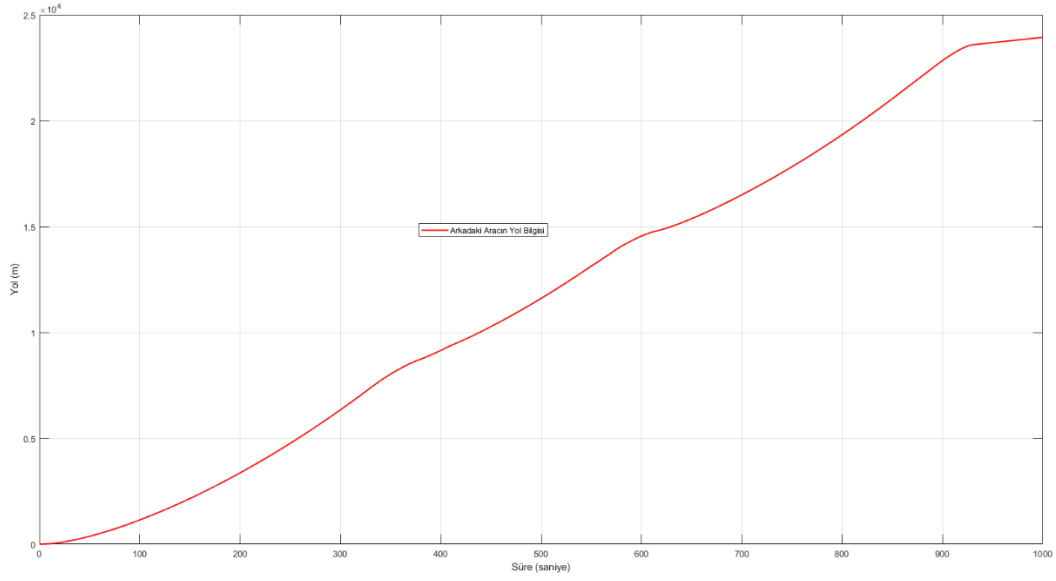
Şekil 5.71'de K_p = 2500, K_i = 80 ve K_d = 0 için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.71 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.71’de verilen grafikte aracın ilk olarak 329’uncu saniyede 36.1m/s maksimum hıza ulaştığı görülmektedir. 329’uncu saniyeden itibaren 50 saniye boyunca yavaşlayarak 379’uncu saniyede ise grafikteki ilk yavaşlamanın minimum noktası olan 18 m/s hıza gelmiştir. Daha sonra 27 saniye boyunca hızlanarak 406’ıncı saniyede grafiğin ikinci yüksek noktası olan 23 m/s hıza gelmiştir. 406’ıncı saniyeden sonra 8 saniye boyunca yavaşlayarak 414’üncü saniyede 20 m/s hıza gelmiştir. Daha sonra 134 saniye boyunca hızlanarak 548’inci saniyede 32 m/s hıza ulaşmıştır. 548’inci saniyeden sonra 5 saniye boyunca yavaşlayarak 553’üncü 30 m/s hıza ulaşmıştır. Bu andan itibaren 35 saniye boyunca yavaşlayarak 588’inci saniyede 24 m/s hıza geldiği ve burada sabitlenemeyerek 3 saniye boyunca hızlanarak 591’inci 24.7 m/s hıza geldiği görülmektedir. 591’inci saniyeden sonra 23 saniye boyunca yavaşlayarak 614’üncü saniyede 11 m/s hıza gelmiş ve buradan 238 saniye boyunca hızlanarak 852’inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmıştır. 36.1 m/s hıza ulaştıktan sonra 42 saniye boyunca bu hızda sabit hareket etmiştir. Sabit hareketin sonrasında 932’inci saniyede 5 m/s hıza geldiği ve 941’inci saniyede bir salınım yaparak öndeki aracı takip etmeye devam ettiği görülmektedir.

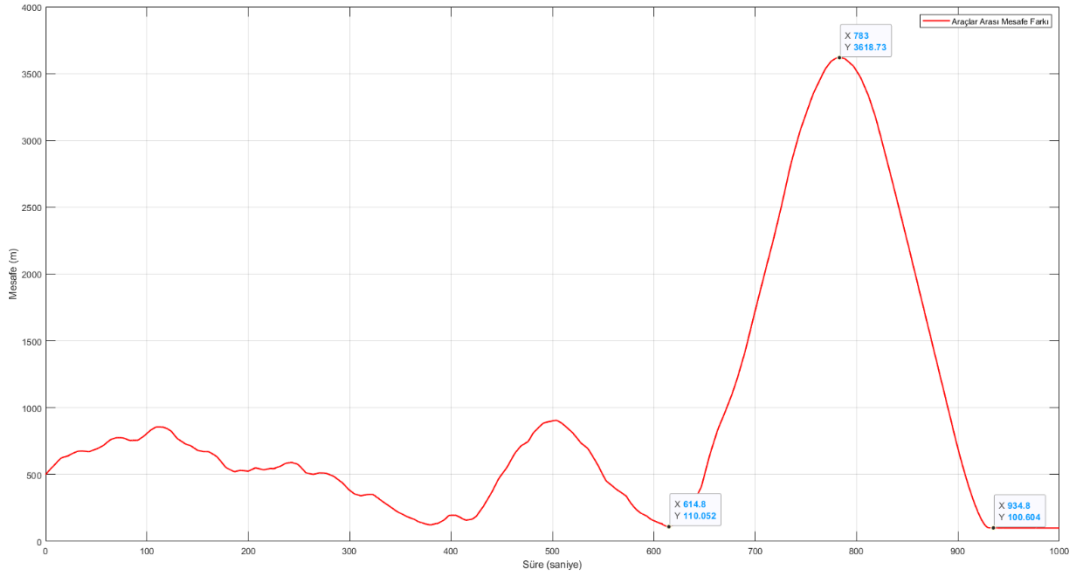
Şekil 5.72’de $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.72 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.72’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Şekil 5.72’de araç 0 ile 329’uncu saniyeler arasında, 379 ile 406’ıncı saniyeler arasında, 414 ile 548’inci, 588 ile 591’inci ve 614 ile 852’inci saniyeler arasında hızlandığı için grafikte birim zamanda alınan yol artmaktadır. Şekil 5.72’de araç 329 ile 379’uncu, 406 ile 414’üncü, 548 ile 588’inci, 591 ile 614’üncü ve 894 ile 932’inci saniyeler arasında aracın yavaşlamasına bağlı olarak birim zamanda alınan yol azalmaktadır. Son olarak, Şekil 5.72’de aracın hızı 852 ile 894’üncü saniyeler arasında ve 932’inci saniyeden sonra aracın hızı sabit kaldığı için birim zamanda alınan yol sabittir ve grafik lineer bir artışa sahiptir.

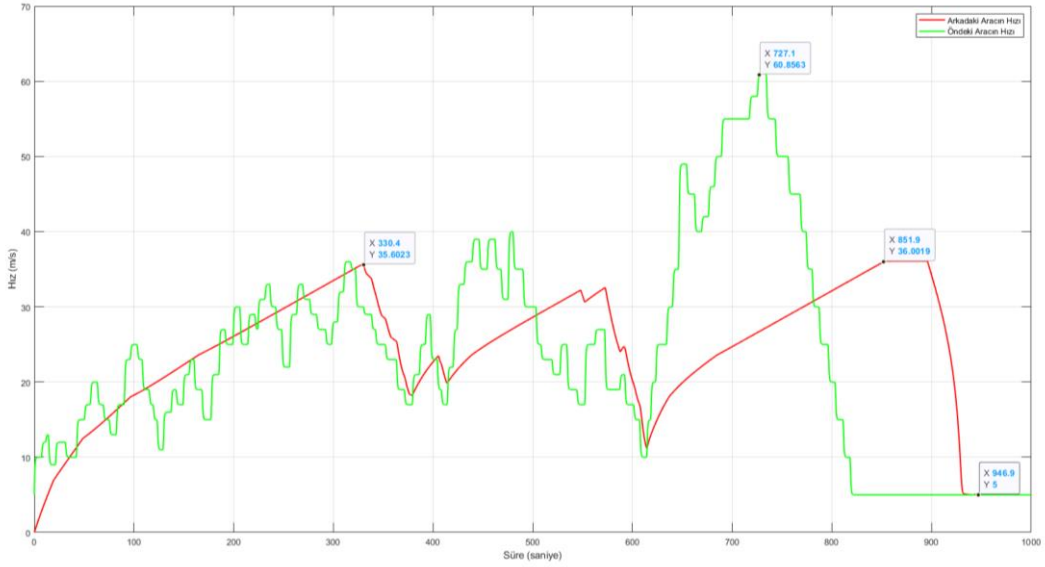
Şekil 5.73’de $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.73 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.73'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 381'inci saniyede araçlar arası mesafe farkı 127 metre ve 615'inci saniyede araçlar arası mesafe 110 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 783'üncü saniyedeki 3618 metredir. Arkadaki araç 931'inci saniyede araçlar arası mesafe farkını güvenli mesafeye yani 100 metreye indirmiş ve bu andan itibaren başarıyla takip etmiştir.

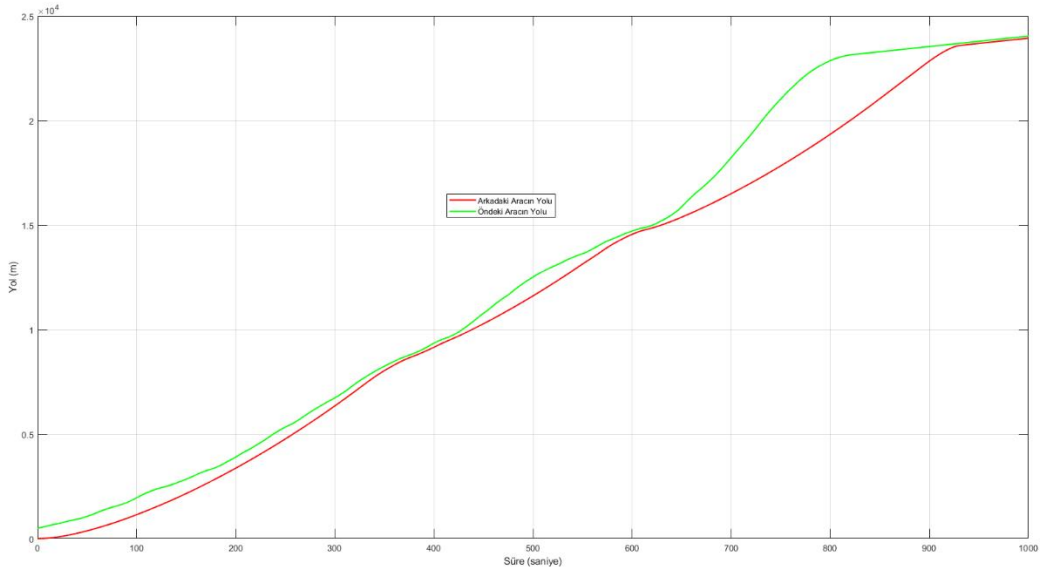
Şekil 5.74'de $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.74 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.74’de verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330’uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da yavaşlamıştır. 376’ıncı saniyeden itibaren öndeki araç hızlandığı için arkadaki araç da hızlanmıştır. 404’üncü saniyede öndeki araçtaki hız düşümünü yakalayarak 413’üncü saniyeye kadar arkadaki araç yavaşlamıştır. Daha sonra 547’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı yakalayamamış ve öndeki aracın hız değişiminden etkilenmeyerek hızlanmaya başlamıştır. 547’inci saniyeden 614’üncü saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracın hız değişimine göre yavaşlamış veya hızlanmıştır. Fakat, 614’üncü saniyeden itibaren öndeki aracın arkadaki aracın maksimum hızından daha yüksek değerlere hızlanması ile araçlar arasındaki fark açılmış ve arkadaki araç 853’üncü saniyede 36.1 m/s’lik maksimum hıza ulaşmıştır. 32 saniye boyunca sabit hızla hareket ettikten sonra öndeki aracı yakalamış ve 931’inci saniyede hızını 5 m/s hıza indirerek öndeki araç ile aynı hızda ve güvenli mesafeyi koruyarak hareket etmeye başlamıştır.

Şekil 5.75’de $K_p = 2500$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ için araçların yollarının karşılaştırılması grafiği verilmiştir.



Şekil 5.75 Senaryo 5 $K_p = 2500$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.75’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 340’ıncı saniyeden 421’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. 578’inci saniyeden 627’inci saniyeye kadar arkadaki araç tekrar öndeki aracı takibe başlamıştır. Arkadaki araç 627’inci saniyeden 931’inci saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 931’inci saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (36.1 ms)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (18 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (32 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (24 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.1m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (11 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2500$							
$K_i = 80$	329’uncü saniye	379’uncü saniye	548’inci saniye	588’inci saniye	852’inci saniye	614’üncü saniye	932’inci saniye
$K_d = 0$							

Tablo 5.7 Senaryo 5 $K_p = 2500$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

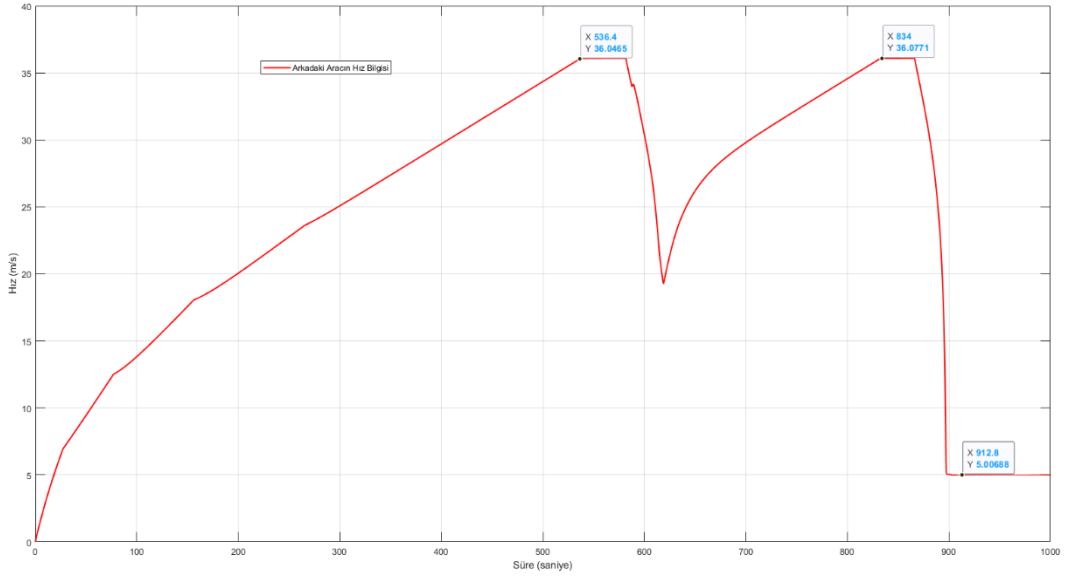
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3918 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (110 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2500$	783'üncü saniye	615'inci saniye	931'inci saniye
$K_i = 80$			
$K_d = 0$			

Tablo 5.8 Senaryo 5 $K_p = 2500$, $K_i = 80$, $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.4. $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

Şekil 5.76'da $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

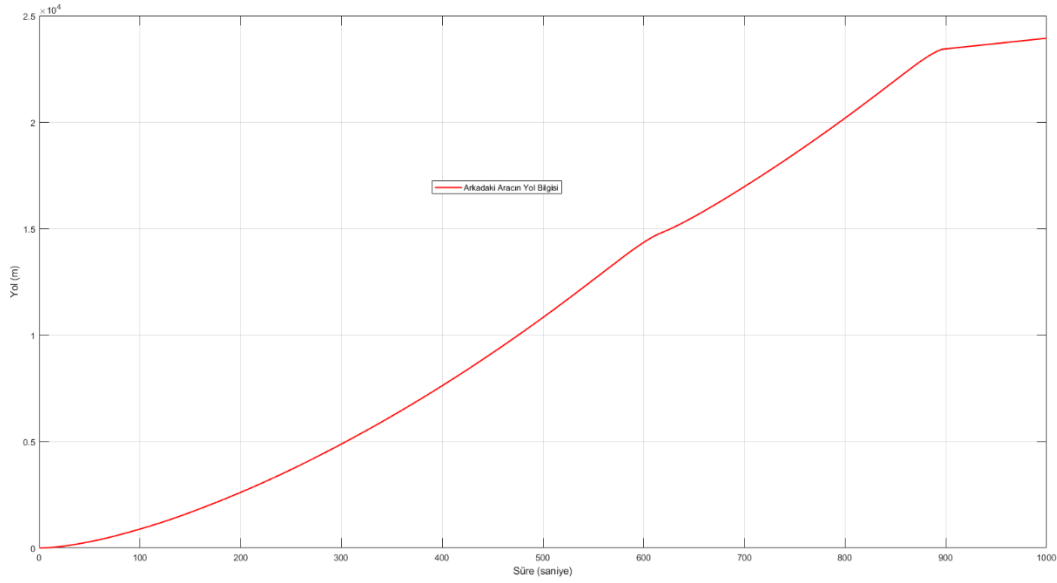


Şekil 5.76 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.76'da verilen hız zaman grafiğinde arkadaki araç 537 saniye boyunca hızlanarak 537'inci saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmış ve 43 saniye bu değerinde sabit hızlı hareket yapmıştır. 580 ile 588'inci saniyeler arasında yavaşlayarak 34 m/s hıza gelmiştir. 588 ile 590'uncu saniyeler arasında Adaptif Hız Sabitleyici sistemi aracın hızında ufak bir düzensizlik yaparak 34.1 m/s hıza yükseltmiştir. Daha sonra 619'uncu saniyeye kadar araç

yavaşlamış ve 19 m/s hıza gelmiştir. 619'uncu saniyeden sonra öndeki aracın hızlanması sebebiyle arkadaki araç da hızlanmış ve 832'inci saniyede tekrar 36.1 m/s hıza gelmiş ve bu hızda 31 saniye sabit hareket etmiştir. Öndeki araç ile aradaki mesafenin azalması ve öndeki aracın yavaşlaması sebebiyle 43 saniye boyunca yavaşlayarak 906'ıncı saniyede 5 m/s hıza gelmiş ve güvenli mesafeyi koruyarak öndeki aracı takip etmeye başlamıştır.

Şekil 5.77'de $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.

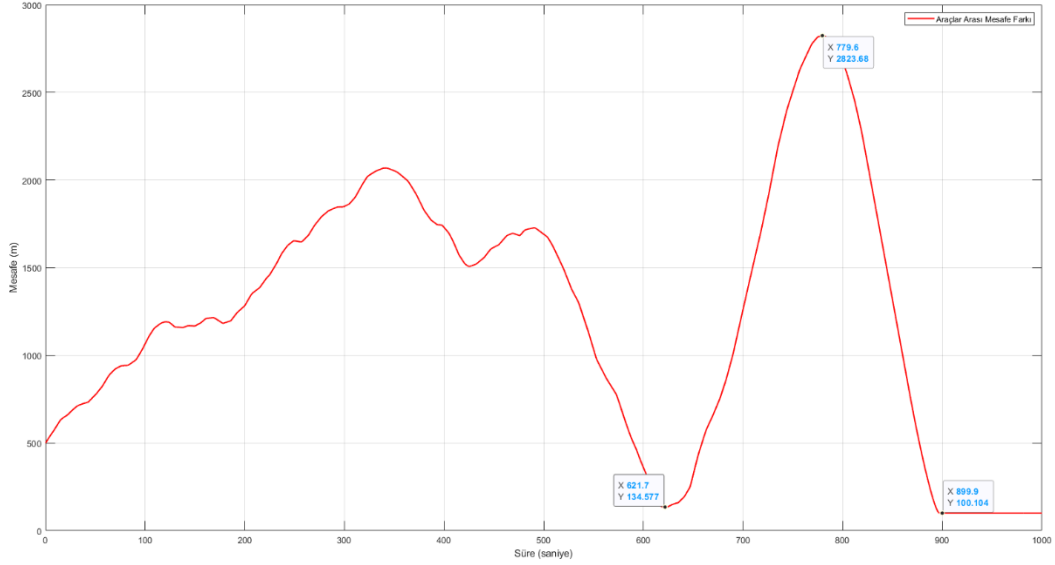


Şekil 5.77 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.77'de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Şekil 5.77'de araç 0 ile 537'inci, 588 ile 590'ıncı ve 619 ile 832'inci saniyeler arasında hızlandığı için grafikte birim zamanda alınan yol artmaktadır. Şekil 5.77'de araç 580 ile 588'inci, 590 ile 619'uncu ve 863 ile 906'ıncı saniyeler arasında aracın yavaşlamasına bağlı olarak birim zamanda alınan yol azalmaktadır. Son olarak, Şekil 5.77'de aracın hızı 537 ile

590'uncu, 832 ile 863'üncü ve 906 ile 1000'inci saniyeler arasında aracın hızı sabit kaldığı için birim zamanda alınan yol sabittir ve grafik lineer bir artışa sahiptir.

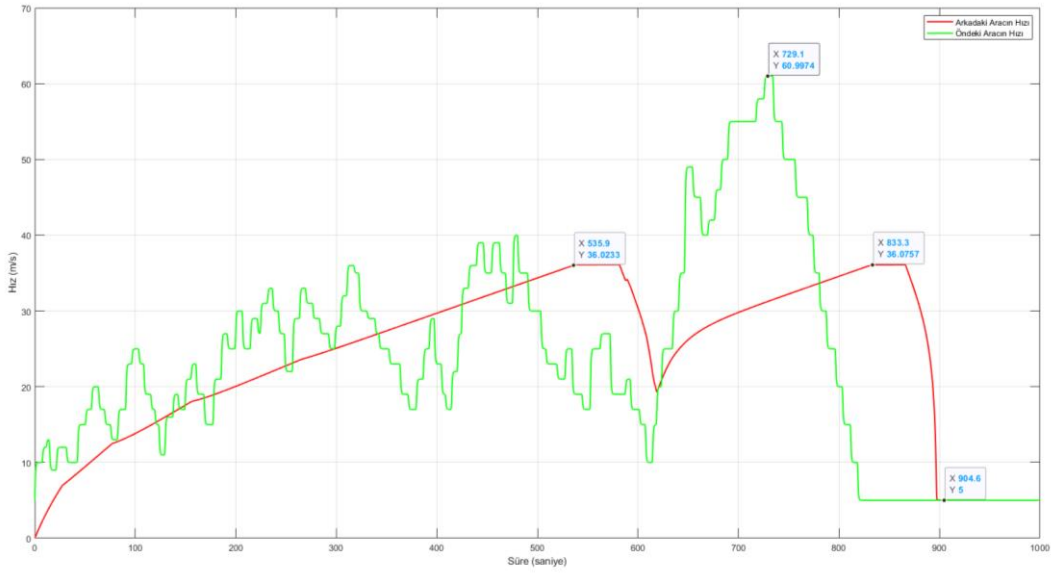
Şekil 5.78'de $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.78 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.78'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 619'uncu saniyede araçlar arasındaki mesafe 134 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 780'inci saniyededir ve araçlar arası mesafe 2824 metredir. 906'ıncı saniyede arkadaki araç öndeki araç ile mesafeyi güvenli mesafeye indirerek öndeki aracı başarıyla takip etmeye başlamıştır.

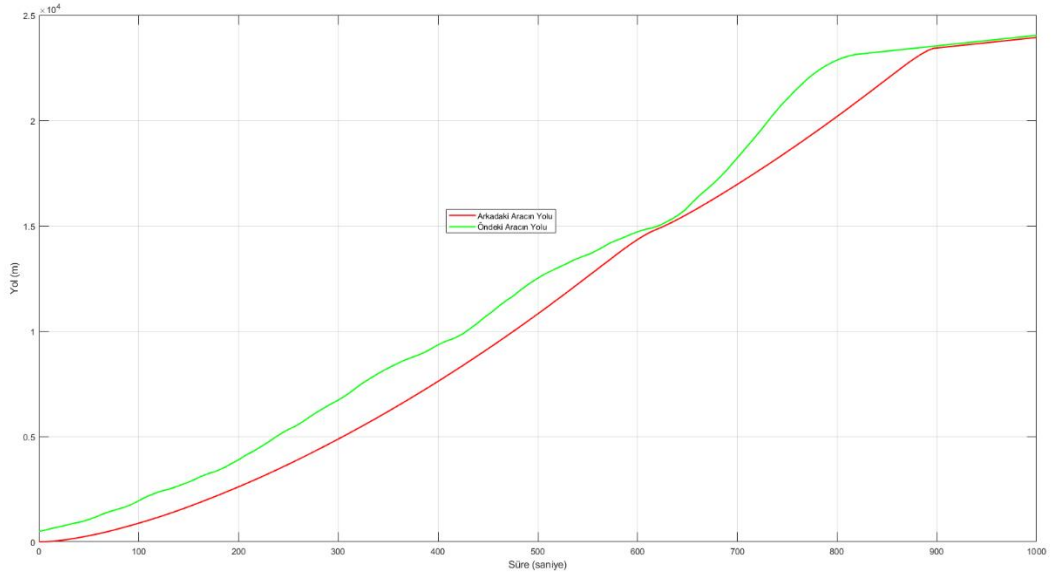
Şekil 5.79'da $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.79 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.79'da verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 537 saniye hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 537'inci saniyede araçlar arası mesafe fazla olduğu halde arkadaki araç için sürücü tarafından tanımlanan maksimum hıza erişildiği için o hızda sabit hareket yapılmıştır. 588'inci saniyede araçlar arası mesafenin ayarlanması amacıyla arkadaki araç yavaşlamıştır. 619'uncu saniyeden itibaren öndeki aracın hızlanması ve araçlar arası mesafenin artmasına bağlı olarak arkadaki araç da hızlanmış ve 832'inci saniyede tekrar sürücü tarafından tanımlanan maksimum hıza erişerek, araçlar arası mesafeyi azaltmak için o hızda sabit hareket etmiştir. 863'üncü saniyede öndeki araca yaklaştırmaya başlayarak hızını azaltmaya başlamış ve 906'ıncı saniyede öndeki aracı yakalamıştır. Bu saniyeden itibaren iki araç aynı hızda hareket etmeye başlamıştır.

Şekil 5.80'de $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.80 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 50$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.80’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 615’inci saniyeden 645’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. Arkadaki araç 906’ıncı saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 906’ıncı saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (36.1 ms)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (34 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (34.1 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (19 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.1m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (5 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	537’inci saniye	588’inci saniye	590’inci saniye	619’uncu saniye	832’inci saniye	906’ıncı saniye	906’ıncı saniye
$K_i = 50$							
$K_d = 0$							

Tablo 5.9 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 50$, $K_d = 0$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

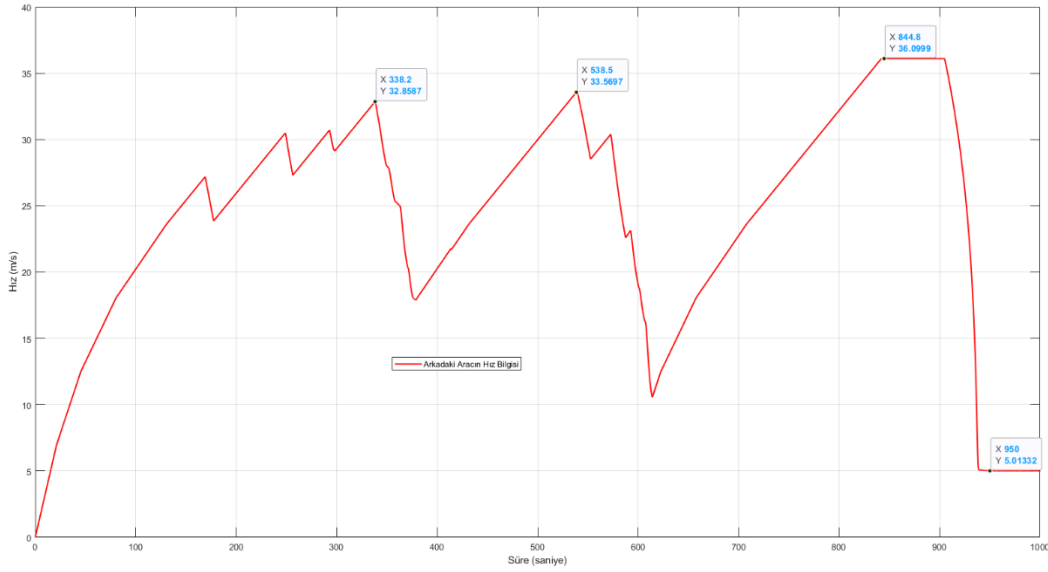
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (2824 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (134 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	780’inci saniye	619’uncu saniye	906’ıncı saniye
$K_i = 50$			
$K_d = 0$			

Tablo 5.10 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 50$, $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.5. $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

Şekil 5.81’de $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

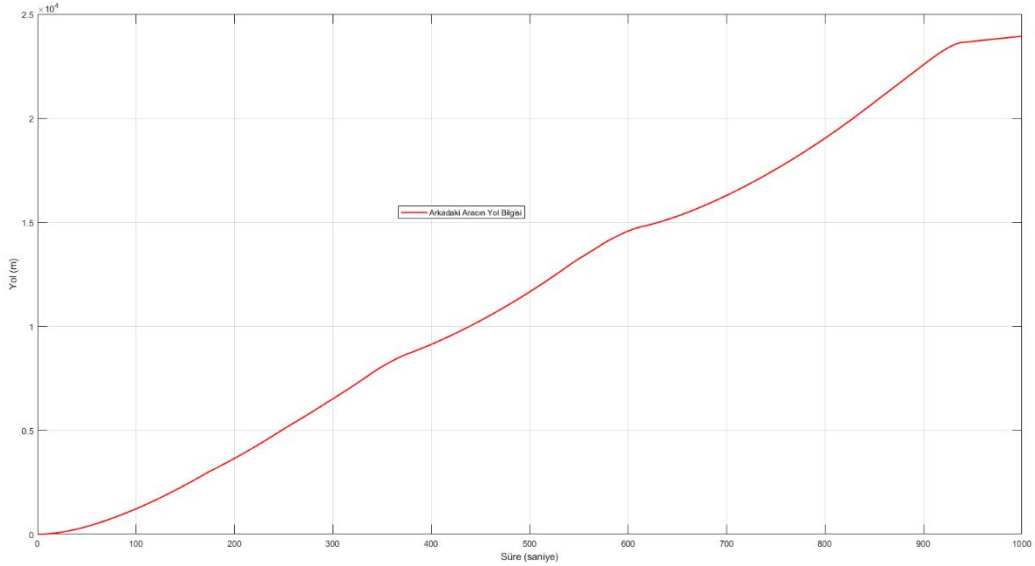


Şekil 5.81 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.81’de verilen hız zaman grafiğinde arkadaki aracın ilk olarak 169’uncu saniyede 27 m/s ile grafiğin ilk yüksek noktasına ulaşmıştır. 169’uncu saniyeden sonra araç 9 saniye yavaşlayarak 178’inci saniyede 24 m/s ile grafiğin ilk düşük noktasına ulaşmıştır. Daha sonra 248’inci saniyeye kadar hızlanarak 30 m/s hıza ulaşmıştır. Araç, 248’inci saniyeden sonra 10 saniye yavaşlayarak 258’inci saniyede 27.4 m/s hıza düşmüştür. Bu noktadan itibaren 34 saniye boyunca hızlanan araç, 292’inci saniyede 30.6 m/s hıza yükselmiştir. 292’inci saniyeden 300’üncü saniyeye kadar yavaşlayarak 29.2 m/s hıza düşen araç, daha sonra tekrar hızlanarak 337’inci saniyede 32.7 m/s hıza yükselmiştir. Araç, 337’inci saniye ile 378’inci saniye arasında yavaşlayarak hızını 18 m/s’ye getirmiştir. 378’inci saniye ile 538’inci saniyeler arasında araçlar arası mesafeyi azaltmak için hızlanan araç, 538’inci saniyede 33.5 m/s hıza ulaşmıştır. Bu andan itibaren 15 saniye boyunca yavaşlayarak hızını 28.6 m/s getiren araç, daha sonra 18 saniye hızlanarak hızını tekrar 30.3 m/s hıza yükselmiştir. Daha sonra 16 saniye boyunca yavaşladıktan sonra 22 m/s hıza

ulaşmıştır. Daha sonra araç, ufak bir ivme ile 5 saniye hızlanmış 23 m/s hıza yükseltmiştir. Araçlar arası mesafenin kontrol edilmesi amacıyla Adaptif Hız Sabitleyici sistemi 22 saniye aracı yavaşlatarak aracın hızını 615'inci saniyede 10.6 m/s hıza indirmiştir. Bu saniyeden itibaren öndeki aracın hız artışı sebebiyle arkadaki araç da 229 saniye hızlanarak 844'üncü saniyede 36.1 m/s hıza ulaşmıştır. 36.1 m/s sürücü tarafından belirlenen maksimum hız olduğu için daha fazla hızlanamayan araç, 59 saniye sabit hızla hareket etmiştir. Daha sonra öndeki aracın yavaşlaması ve araçlar arası mesafenin azalması sebebiyle Adaptif Hız Sabitleyici sistemi aracı yavaşlatmış ve 946'ıncı saniyede arkadaki araç öndeki aracı yakalamıştır. Bu saniyeden itibaren araçlar arası mesafe güvenli mesafe olan 100 metreye eşitlenerek, aynı hızda sabit harekete başlamışlardır.

Şekil 5.82'de $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.

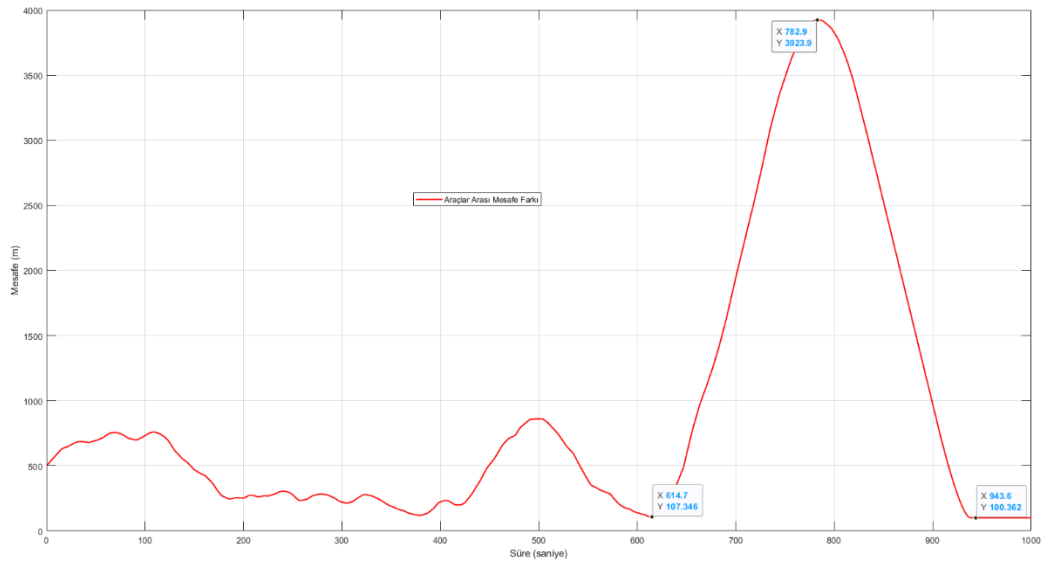


Şekil 5.82 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.82'de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Şekil 5.82'de araç 0 ile 169'uncu, 178 ile 248'inci, 258 ile 292'inci, 300 ile 337'inci, 378 ile

538'inci, 553'ile 571'inci, 587 ile 592'inci ve 615 ile 844'üncü saniyeler arasında hızlandığı için grafikte birim zamanda alınan yol artmaktadır. Şekil 5.82'de araç 169 ile 178'inci, 248 ile 258'inci, 292 ile 300'üncü, 337 ile 378'inci, 538 ile 553'üncü, 571 ile 587'inci, 592 ile 615'inci ve 903 ile 946'ıncı saniyeler arasında aracın yavaşlamasına bağlı olarak birim zamanda alınan yol azalmaktadır. Son olarak, Şekil 5.82'de aracın hızı 844 ile 903'inci ve 946 ile 1000'inci saniyeler arasında aracın hızı sabit kaldığı için birim zamanda alınan yol sabittir ve grafik lineer bir artışa sahiptir.

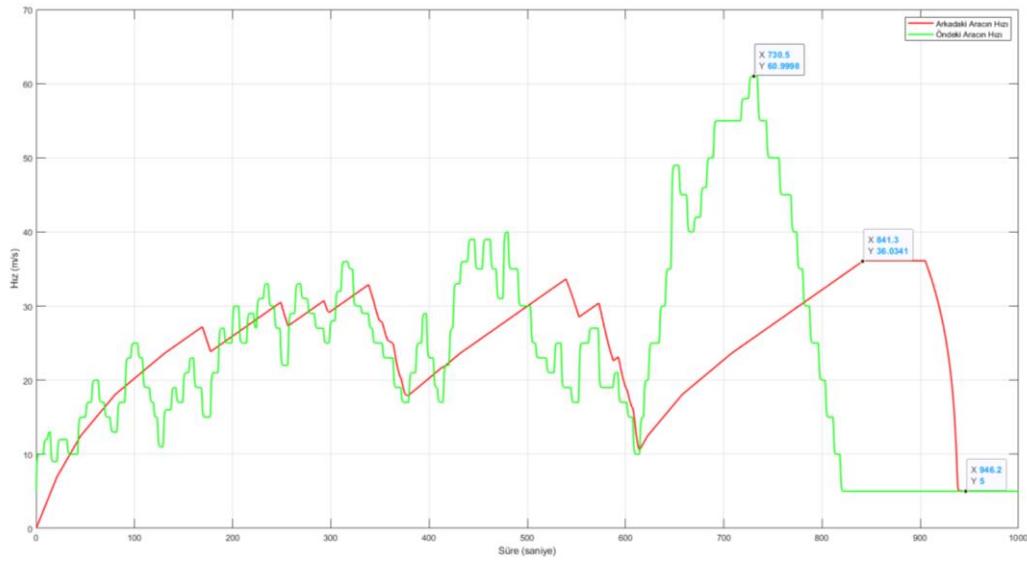
Şekil 5.83'de $K_p = 2000$, $K_i = 10$ ve $K_d = 0$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



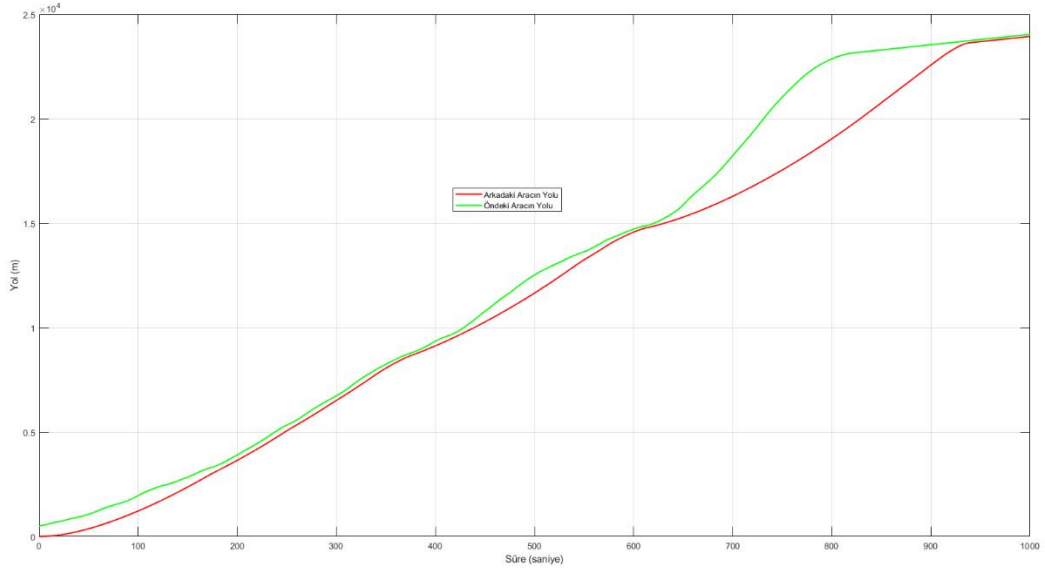
Şekil 5.83 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.83'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 382'inci saniyede araçlar arası mesafe farkı 123 metre ve 615'inci saniyede araçlar arası mesafe 108 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 785'inci saniyededir ve araçlar arası mesafe 3923 metredir. Arkadaki araç 946'ıncı saniyede öndeki araca yetişmiştir. Bu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe 100 metrede sabit kalmış ve iki araç aynı hızla hareket etmiştir.

Şekil 5.84'de $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.84’de verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 169 saniye hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 169’uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da kısa süreliğine yavaşlamıştır. 169’uncu saniye ile 378’inci saniye arasında salınım yapan araç, 378’inci saniyeden sonra 539’uncu saniyeye kadar hızlanmıştır. 539’uncu saniyeden 614’üncü saniyeye kadar öndeki aracın hız değişimi arkadaki aracın da hızını etkilemiştir. 614’üncü saniyeden sonra öndeki aracın hızının giderek artması ve Adaptif Hız Sabitleyici sistemine tanımlanan maksimum hızı geçmesi sebebiyle arkadaki araç, öndeki aracın hız değişiminden etkilenmemiştir. Araçlar arası mesafenin artması sebebiyle arkadaki araç hızlanmaya çalışmış fakat 36.1 m/s hızda sabitlenerek 844’üncü saniyeden 903’üncü saniyeye kadar bu hızda sabit hareket etmiştir. Araçlar arası mesafenin istenilen seviyeye gelmesi sebebiyle yavaşlamış ve 946’ıncı saniyeden itibaren öndeki araç ile arkadaki araç aynı hızda sabit hareket etmeye başlamıştır.



Şekil 5.85 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 100$ $K_d = 0$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.85’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 179’uncu saniyeden 400’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. 570’inci saniyeden 631’inci saniyeye kadar arkadaki araç tekrar öndeki aracı takibe başlamıştır. Arkadaki araç 631’inci saniyeden 946’ıncı saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 946’ıncı saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (27 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (24 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (30.6 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (29.2 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (32.7m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (18 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	169’uncu saniye	178’inci saniye	292’inci saniye	300’üncü saniye	337’inci saniye	378’inci saniye	946’ıncı saniye
$K_i = 100$							
$K_d = 0$							

Tablo 5.11 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 100$, $K_d = 0$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

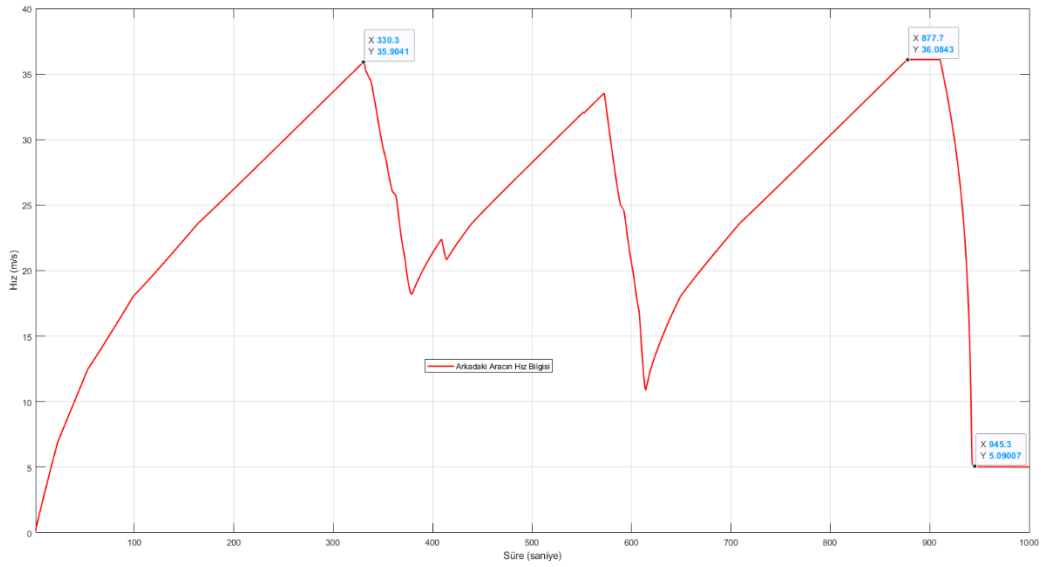
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3923 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (108 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	785'inci saniye	615'inci saniye	946'ıncı saniye
$K_i = 100$			
$K_d = 0$			

Tablo 5.12 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 100$, $K_d = 0$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.6. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

Şekil 5.86'da $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

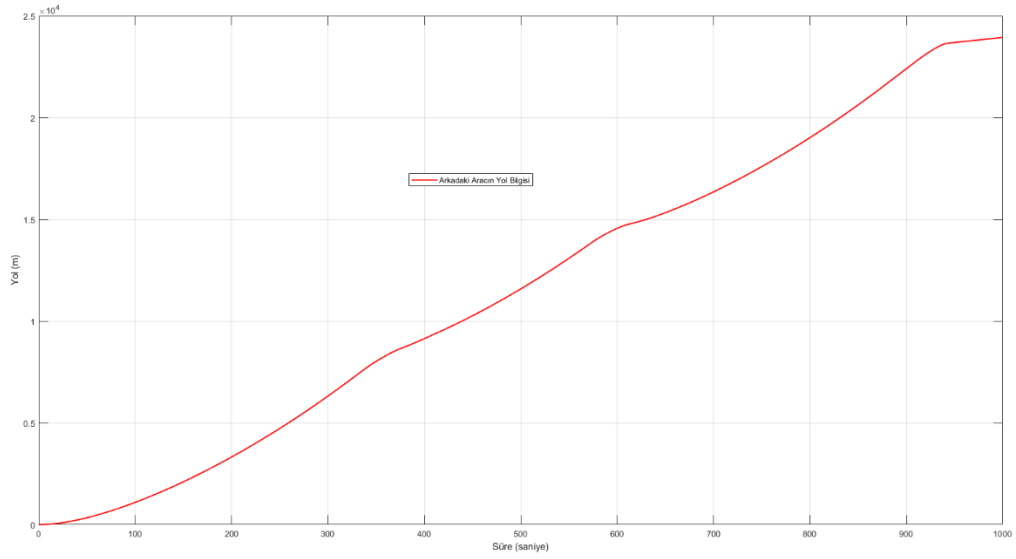


Şekil 5.86 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.86'da verilen hız zaman grafiğinde arkadaki aracın ilk olarak 330'uncu saniyede 35.9 m/s ile grafiğin ilk yüksek noktasına ulaşmıştır. 330'uncu saniyeden sonra araç 49 saniye yavaşlayarak 379'uncu saniyede 18 m/s ile grafiğin ilk düşük noktasına ulaşmıştır. Daha sonra 408'inci saniyeye kadar hızlanarak 22.37 m/s hıza ulaşmıştır. Araç, 408'inci saniyeden sonra 6 saniye yavaşlayarak 414'üncü saniyede 20.9 m/s hıza düşmüştür. Bu noktadan itibaren 158 saniye boyunca hızlanan araç, 572'inci saniyede 33.5 m/s hıza yükselmiştir. 572'inci saniyeden 614'üncü saniyeye kadar yavaşlayarak 10.85 m/s hıza

düşen araç, daha sonra tekrar hızlanarak 876'ıncı saniyede 36 m/s hıza yükselmiştir. Bu noktada öndeki aracın hızının yüksekliği ve araçlar arası mesafe farkının fazlalığı sebebiyle 34 saniye boyunca sabit hızlı olarak hareket etmiştir. Araçlar arası mesafenin giderek azalmasına bağlı olarak 910'uncu saniyeden 943'üncü saniyeye kadar yavaşlamış ve 943'üncü saniyede 5 m/s hıza gelerek öndeki aracı takip etmeye başlamıştır.

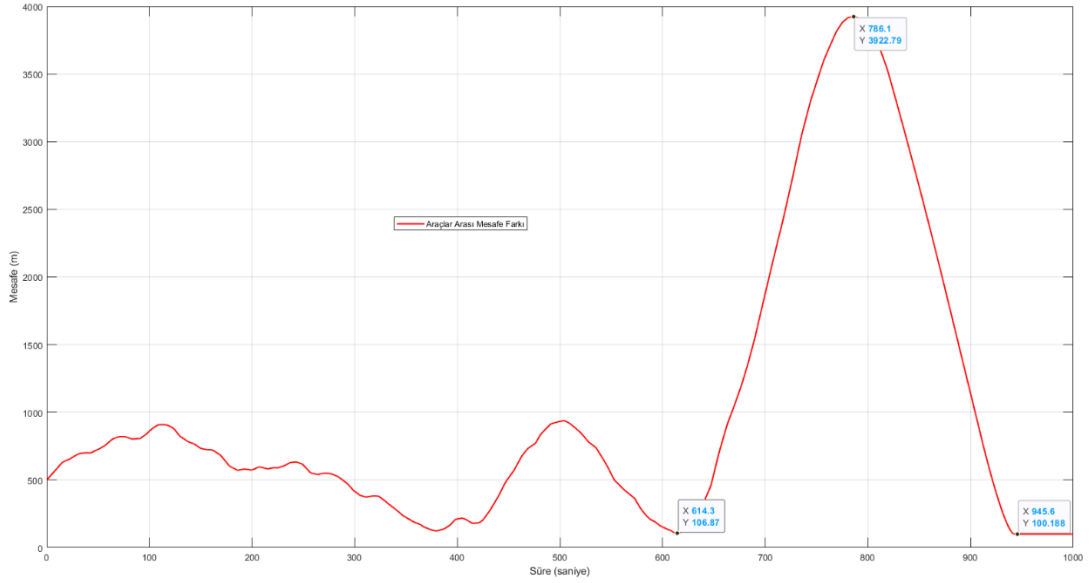
Şekil 5.87'de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.87 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.87'de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır.

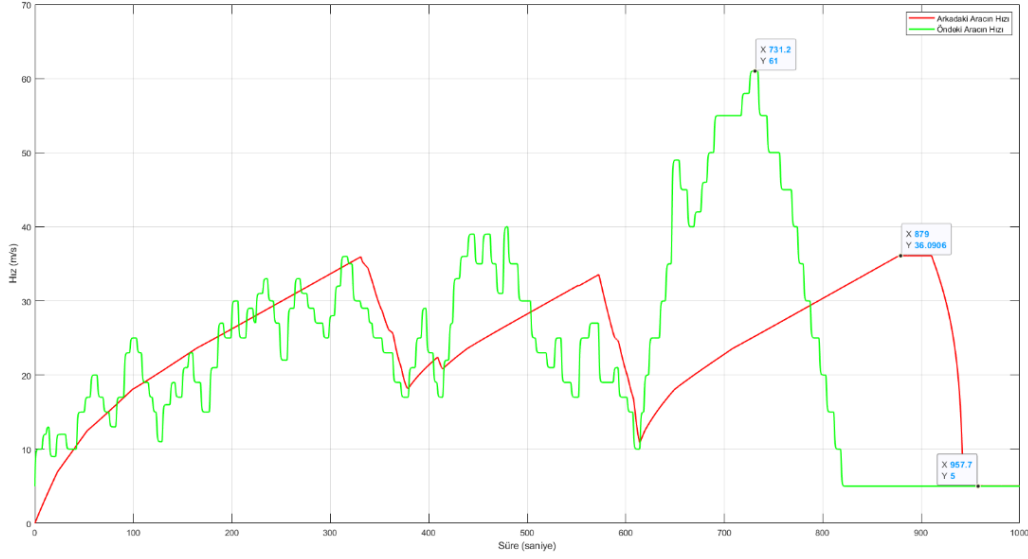
Şekil 5.88'de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.88 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.88'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 614'üncü saniyede araçlar arası mesafe 106 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 786'ıncı saniyededir ve araçlar arası mesafe 3922 metredir. Arkadaki araç 945'inci saniyede öndeki araca yetişmiştir. Bu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe 100 metrede sabit kalmış ve iki araç aynı hızla hareket etmiştir.

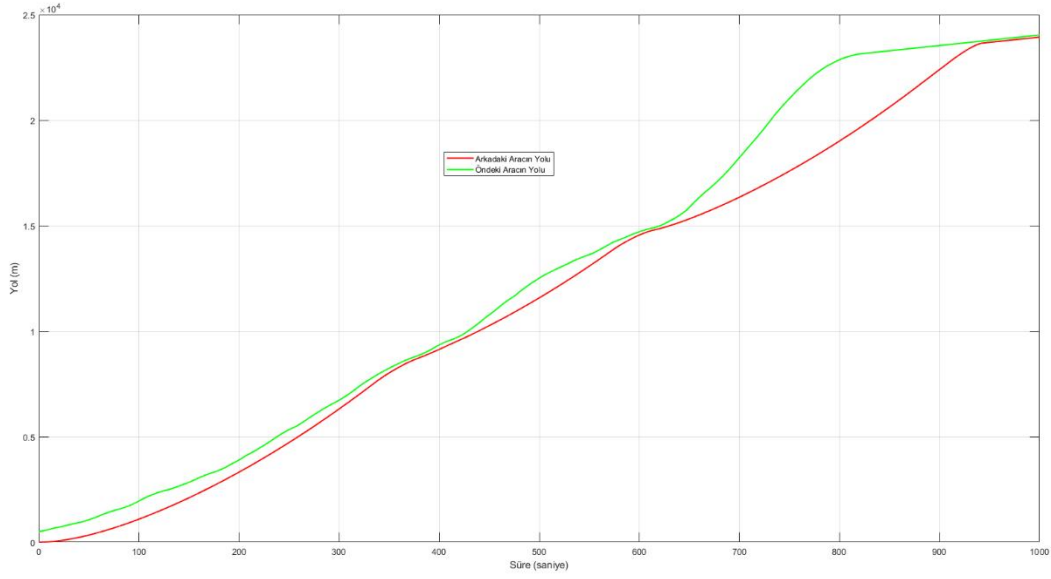
Şekil 5.89'da $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.89 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.89’da verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye boyunca hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330’uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da kısa süreliğine yavaşlamış ve belirli bir süre öndeki aracın hız değişimlerinden etkilenmiştir. Fakat, öndeki aracın hızının arkadaki araç için tanımlanan maksimum hızı geçmesi sebebiyle araçlar arası mesafenin giderek artması sonucunda arkadaki araç 550’inci saniyeye kadar öndeki araçtan bağımsız hareket etmiştir. Arkadaki araç, 550’inci saniye ile 943’üncü saniye arasında öndeki araca yaklaşmaya çalışmış ve 943’üncü saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s sabit hızla hareket etmiştir.

Şekil 5.90’da $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 25$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.90 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 25$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.90’da verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 330’uncu saniyeden 400’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. Arkadaki 946’ıncı saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 946’ıncı saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (35.8 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (18 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (33.1 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (10.85m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (5 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	330’uncu saniye	379’uncu saniye	567’inci saniye	614’üncü saniye	876’ıncı saniye	943’üncü saniye	943’üncü saniye
$K_i = 80$							
$K_d = 25$							

Tablo 5.13 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 25$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

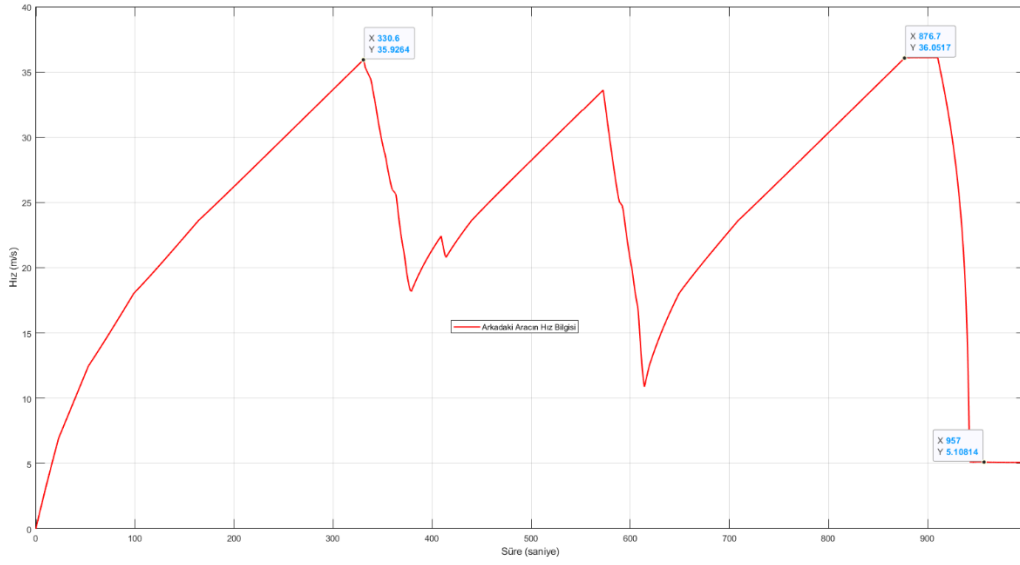
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3923 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (106 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	786’ıncı saniye	614’üncü saniye	945’inci saniye
$K_i = 80$			
$K_d = 25$			

Tablo 5.14 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 25$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.7. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

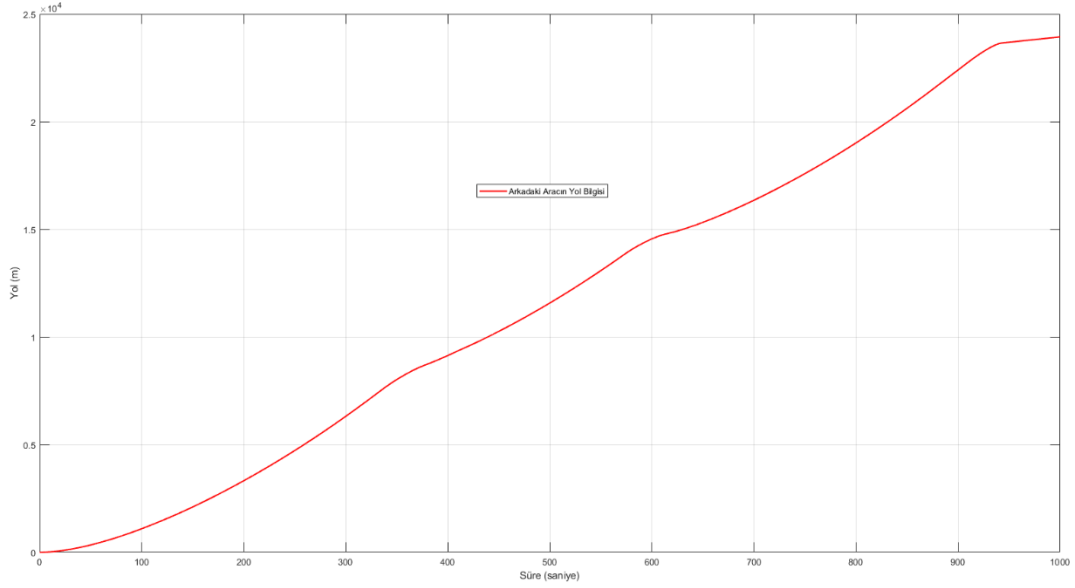
Şekil 5.91’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.91 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.91’de verilen hız zaman grafiğinde arkadaki aracın ilk olarak 330’uncu saniyede 35.9 m/s ile grafiğin ilk yüksek noktasına ulaşmıştır. 330’uncu saniyeden sonra araç 49 saniye yavaşlayarak 379’uncu saniyede 18 m/s ile grafiğin ilk düşük noktasına ulaşmıştır. Daha sonra 408’inci saniyeye kadar hızlanarak 22.37 m/s hıza ulaşmıştır. Araç, 408’inci saniyeden sonra 6 saniye yavaşlayarak 414’üncü saniyede 20.9 m/s hıza düşmüştür. Bu noktadan itibaren 158 saniye boyunca hızlanan araç, 572’inci saniyede 33.5 m/s hıza yükselmiştir. 572’inci saniyeden 614’üncü saniyeye kadar yavaşlayarak 10.85 m/s hıza düşen araç, daha sonra tekrar hızlanarak 878’inci saniyede 36 m/s hıza yükselmiştir. Bu noktada öndeki aracın hızının yüksekliği ve araçlar arası mesafe farkının fazlalığı sebebiyle 34 saniye boyunca sabit hızlı olarak hareket etmiştir. Araçlar arası mesafenin giderek azalmasına bağlı olarak 910’uncu saniyeden 945’inci saniyeye kadar yavaşlamış ve 945’inci saniyede 5 m/s hıza gelerek öndeki aracı takip etmeye başlamıştır.

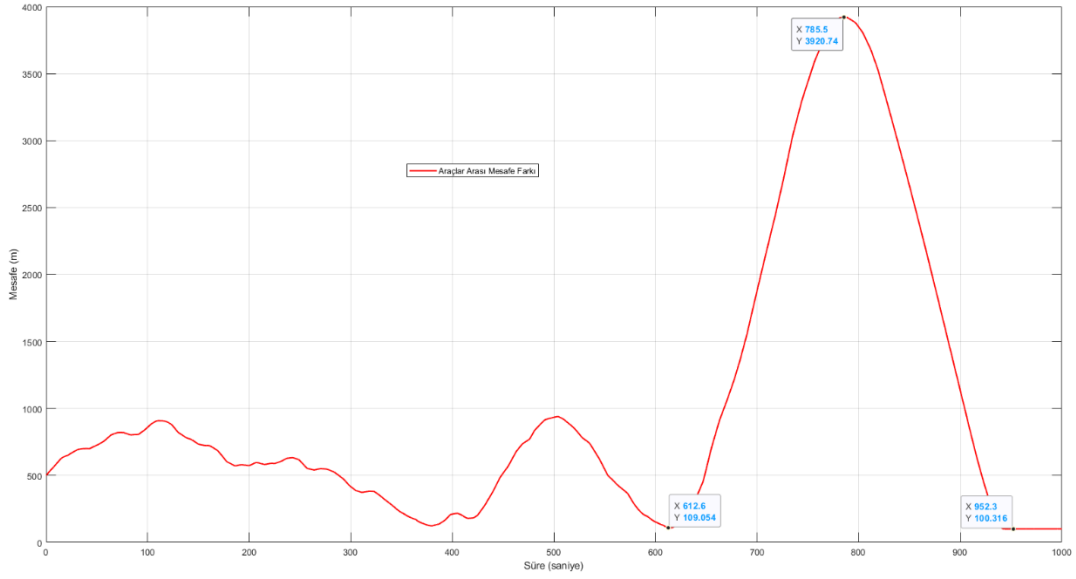
Şekil 5.92’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.92 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.92’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır.

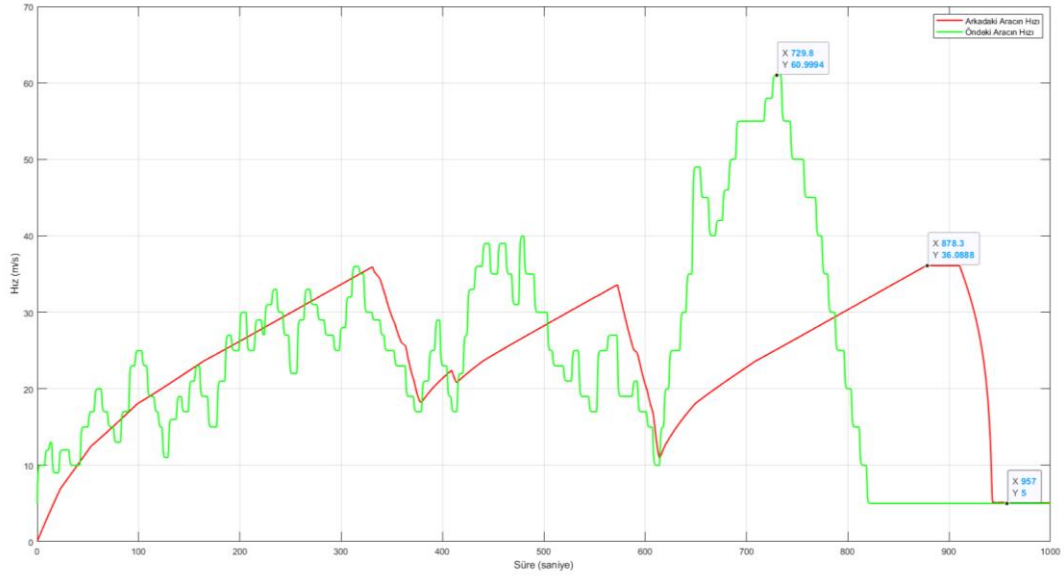
Şekil 5.93’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.93 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.93'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 614'üncü saniyede araçlar arası mesafe 109 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 786'ıncı saniyededir ve araçlar arası mesafe 3920 metredir. Arkadaki araç 945'inci saniyede öndeki araca yetişmiştir. Bu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe 100 metrede sabit kalmış ve iki araç aynı hızla hareket etmiştir.

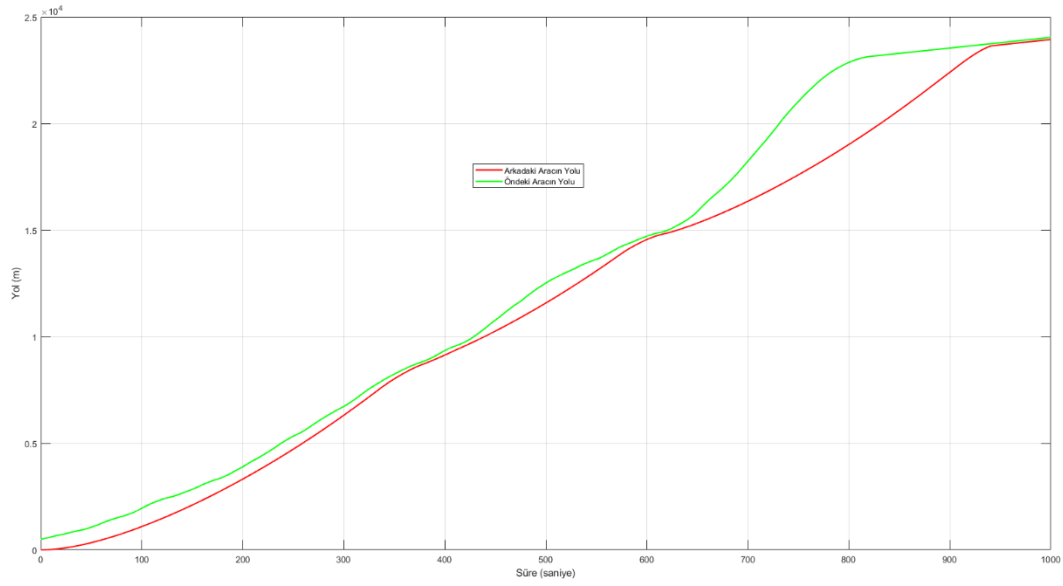
Şekil 5.94'de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.94 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.94’de verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye boyunca hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330’uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da kısa süreliğine yavaşlamış ve belirli bir süre öndeki aracın hız değişimlerinden etkilenmiştir. Fakat, öndeki aracın hızının arkadaki araç için tanımlanan maksimum hızı geçmesi sebebiyle araçlar arası mesafenin giderek artması sonucunda arkadaki araç 550’inci saniyeye kadar öndeki araçtan bağımsız hareket etmiştir. Arkadaki araç, 550’inci saniye ile 945’inci saniye arasında öndeki araca yaklaşmaya çalışmış ve 945’inci saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s sabit hızla hareket etmiştir.

Şekil 5.95’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 100$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.95 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 100$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.95’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 330’uncu saniyeden 400’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. Arkadaki 945’inci saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 945’inci saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (35.89 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (18.17 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (33.53 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (10.9 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.1m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (5 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	330’uncu saniye	379’uncu saniye	571’inci saniye	614’üncü saniye	875’inci saniye	945’inci saniye	945’inci saniye
$K_i = 80$							
$K_d = 100$							

Tablo 5.15 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 100$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

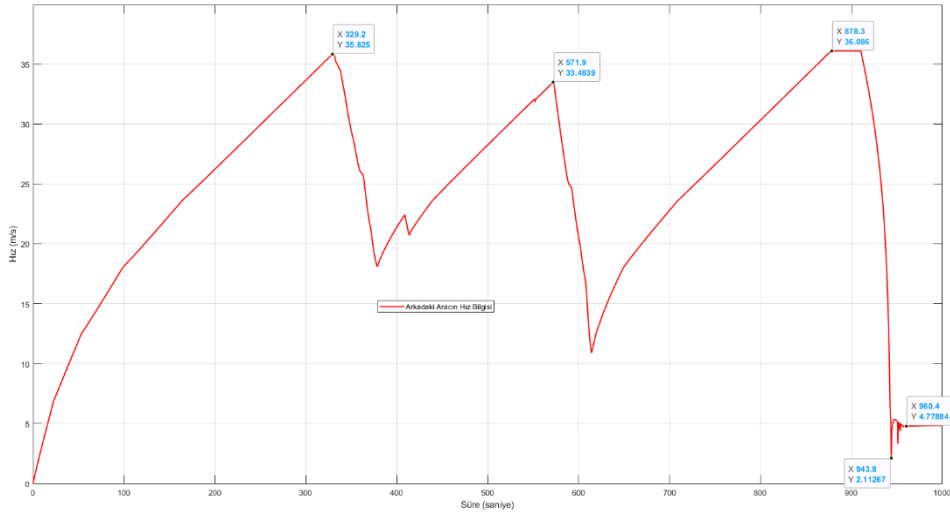
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3920 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (109 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	785’inci saniye	612’inci saniye	945’inci saniye
$K_i = 80$			
$K_d = 100$			

Tablo 5.16 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 100$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.8. $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için Sonuçlar

Bu bölümde, $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

Şekil 5.96'da $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

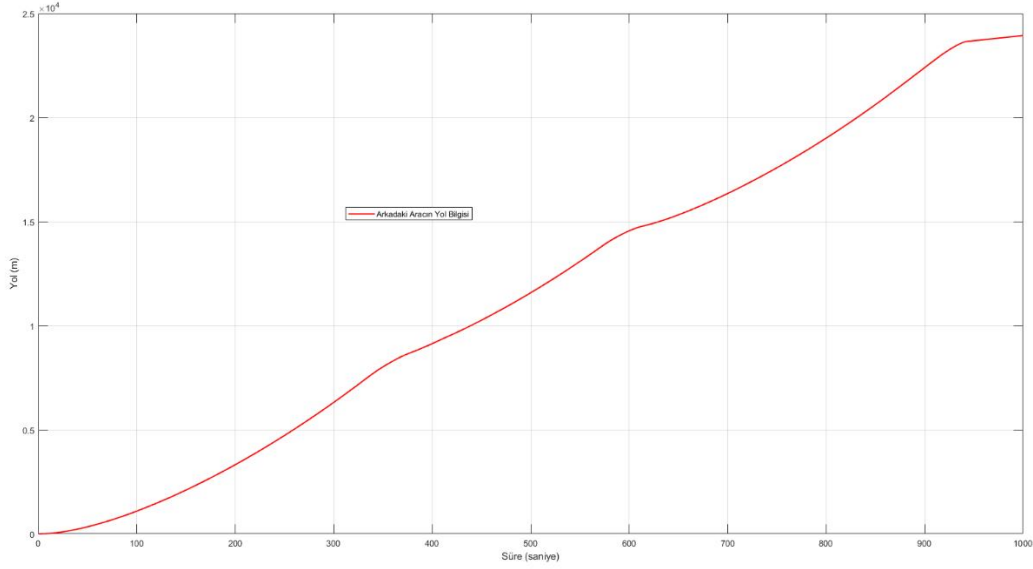


Şekil 5.96 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.96'da verilen hız zaman grafiğinde arkadaki aracın ilk olarak 329'uncu saniyede 35.8 m/s ile grafiğin ilk yüksek noktasına ulaşmıştır. 329'uncu saniyeden sonra araç 51 saniye yavaşlayarak 380'inci saniyede 18.4 m/s ile grafiğin ilk düşük noktasına ulaşmıştır. Daha sonra 408'inci saniyeye kadar hızlanarak 22.37 m/s hıza ulaşmıştır. Araç, 408'inci saniyeden sonra 6 saniye yavaşlayarak 414'üncü saniyede 20.7 m/s hıza düşmüştür. Bu noktadan itibaren 156 saniye boyunca hızlanan araç, 570'inci saniyede 33.3 m/s hıza yükselmiştir. 570'inci saniyeden 614'üncü saniyeye kadar yavaşlayarak 10.88 m/s hıza düşen araç, daha sonra tekrar hızlanarak 877'inci saniyede 36.07 m/s hıza yükselmiştir. Bu noktada öndeki aracın hızının yüksekliği ve araçlar arası mesafe farkının fazlalığı sebebiyle 33 saniye boyunca sabit hızlı olarak hareket etmiştir. Araçlar arası mesafenin giderek azalmasına bağlı olarak 910'uncu saniyeden 943'üncü saniyeye kadar yavaşlamıştır. 943'üncü saniye ile 960'ıncı saniyeler arasında araç salınım yapmış ve hızını sabitleyememiştir. 960'ıncı saniyede 5 m/s hıza gelerek öndeki aracı takip etmeye

başlamıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında yolcu konforu kriteri sebebiyle bu K_d değerinin kullanılmasının uygun olmadığı görülmektedir.

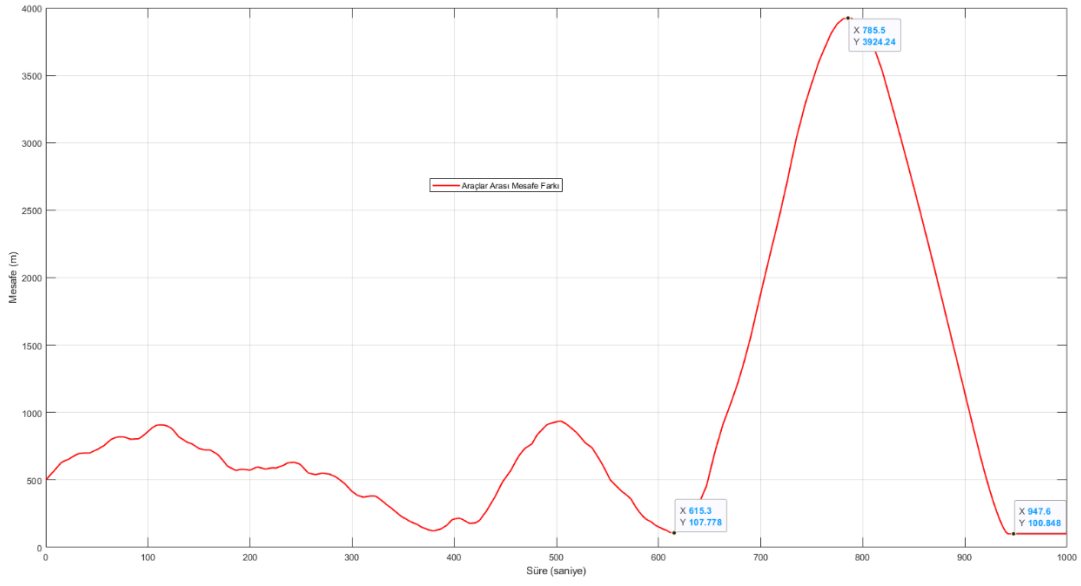
Şekil 5.97’de $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ için arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.97 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.97’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır.

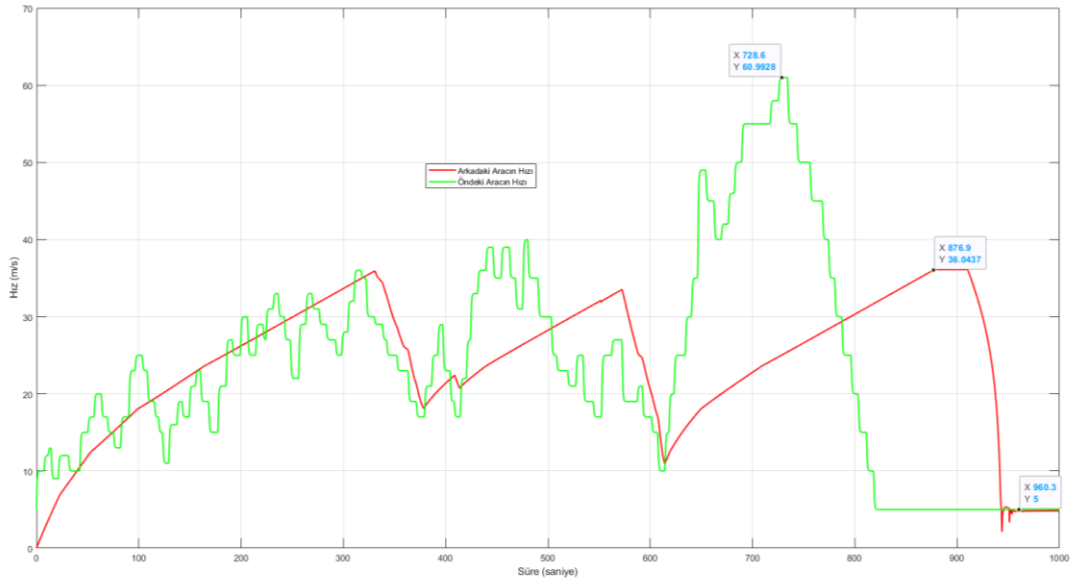
Şekil 5.98’de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için araçlar arası mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 5.98 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.98'deki araçlar arası mesafe farkı 500 metreden başlayarak araçlar arasındaki hız farkına göre değişmektedir. Arkadaki araç zaman zaman öndeki araca yetişse de araçlar arasındaki mesafeyi tam olarak güvenli mesafeye indirememiştir. 615'inci saniyede araçlar arası mesafe 107 metredir. Araçlar arası mesafenin en yüksek olduğu nokta 785'inci saniyededir ve araçlar arası mesafe 3924 metredir. Araç yaşadığı hız salınımına rağmen 947'inci saniyede öndeki araca yetişmiştir. Bu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe 100 metrede sabit kalmış ve iki araç aynı hızla hareket etmiştir.

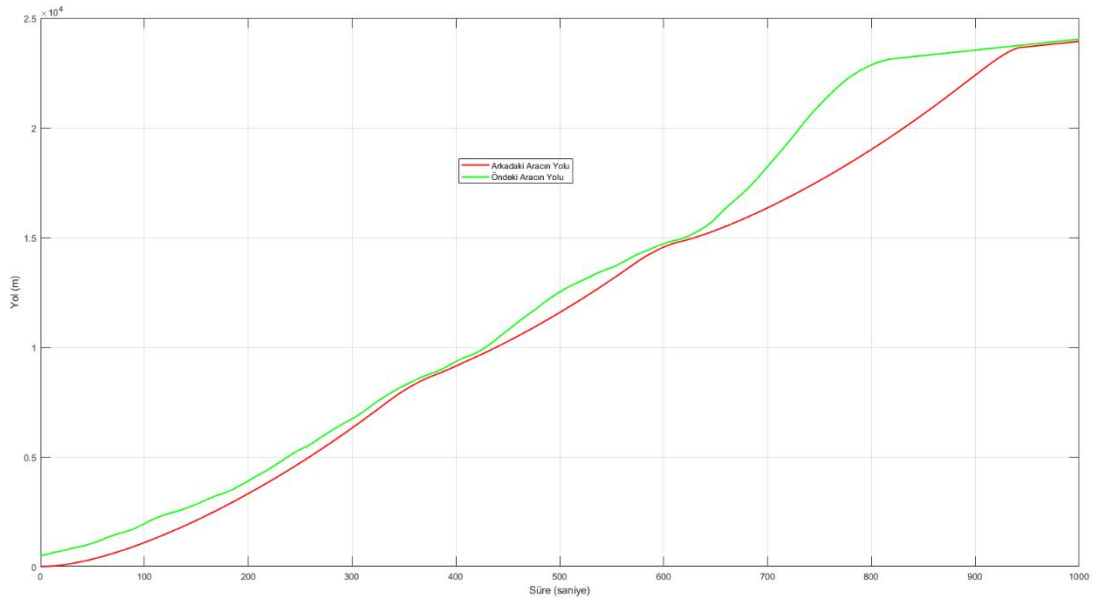
Şekil 5.99'da $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.99 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.99'da verilen hızların karşılaştırılması grafiğinden görüldüğü üzere öndeki aracın başlangıç hızının 10 m/s olması, araçlar arasındaki mesafe farkının 500 metre olması sebebiyle arkadaki araç 330 saniye boyunca hızlanmıştır. Bu süre zarfında öndeki aracın yaptığı hız değişikliği hareketleri arkadaki aracı etkilememiştir. 330'uncu saniyeden itibaren araçlar arasındaki mesafe farkının güvenli mesafeye yakın bir değere inmesi ve öndeki aracın yavaşlamaya başlaması sebebiyle arkadaki araç da kısa süreliğine yavaşlamış ve belirli bir süre öndeki aracın hız değişimlerinden etkilenmiştir. Fakat, öndeki aracın hızının arkadaki araç için tanımlanan maksimum hızı geçmesi sebebiyle araçlar arası mesafenin giderek artması sonucunda arkadaki araç 550'inci saniyeye kadar öndeki araçtan bağımsız hareket etmiştir. Arkadaki araç, 550'inci saniye ile 945'inci saniye arasında öndeki araca yaklaşmaya çalışmış ve 943'inci saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s sabit hızla hareket etmiştir.

Şekil 5.100'de $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 250$ için araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.100 Senaryo 5 $K_p = 2000$ $K_i = 80$ $K_d = 250$ için Araçların Yollarının Karşılaştırılması

Şekil 5.100’de verilen araçların aldıkları yolların karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere 179’uncu saniyeden 400’inci saniyeye kadar arkadaki araç öndeki aracı takip etmiştir. Daha sonra öndeki aracın hızlanmasına ve hızına bağlı olarak aldığı yol, arkadaki aracın aldığı yoldan fazla olmuş ve araçlar arası mesafe farkı da bu doğrultuda artmıştır. 570’inci saniyeden 631’inci saniyeye kadar arkadaki araç tekrar öndeki aracı takibe başlamıştır. Arkadaki araç 631’inci saniyeden 946’ıncı saniyeye kadar öndeki aracı yakalamaya çalışmış ve 946’ıncı saniyeden sonra araçlar arası güvenli mesafe içerisinde tutarak öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (35.8 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (18.08 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (33.35 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (10.88 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (36.07m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (2.11 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
$K_p = 2000$	329’uncu saniye	379’uncu saniye	570’inci saniye	614’üncü saniye	877’inci saniye	943’üncü saniye	960’ıncı saniye
$K_i = 80$							
$K_d = 250$							

Tablo 5.17 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 250$ için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

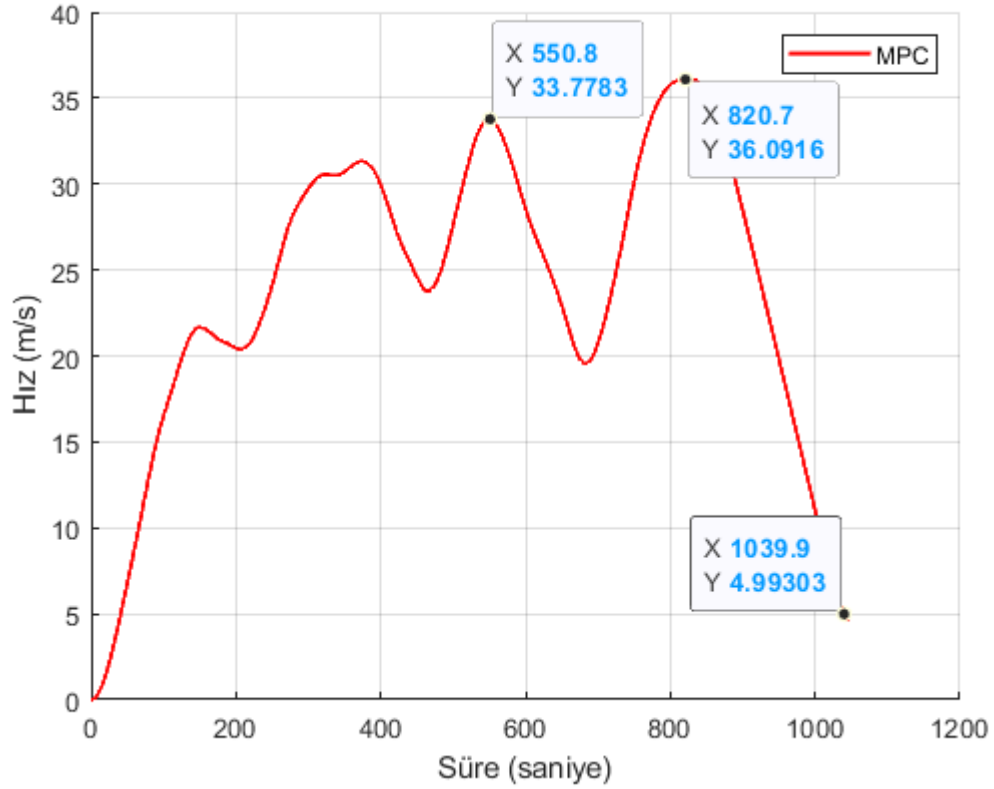
	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3924 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (107 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (100 metre)
$K_p = 2000$	785'inci saniye	615'inci saniye	947'inci saniye
$K_i = 80$			
$K_d = 250$			

Tablo 5.18 Senaryo 5 $K_p = 2000$, $K_i = 80$, $K_d = 250$ için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

5.5.9. MPC Denetleyicisi ile Elde Edilen için Sonuçlar

Bu bölümde, aynı araç modelleri, aynı frenleme modeli ve aynı vites ve hızlanma modeli kullanılarak MPC denetleyicisi ile sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar ışığında PID ve MPC denetleyicilerinin performansları değerlendirilecektir. Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin MPC denetleyicisi ile verdiği arkadaki aracın hız zaman ve yol zaman grafikleri, araçlar arası mesafe, araçların hızlarının karşılaştırılması ve araçların yollarının karşılaştırılması sonuçları verilecektir.

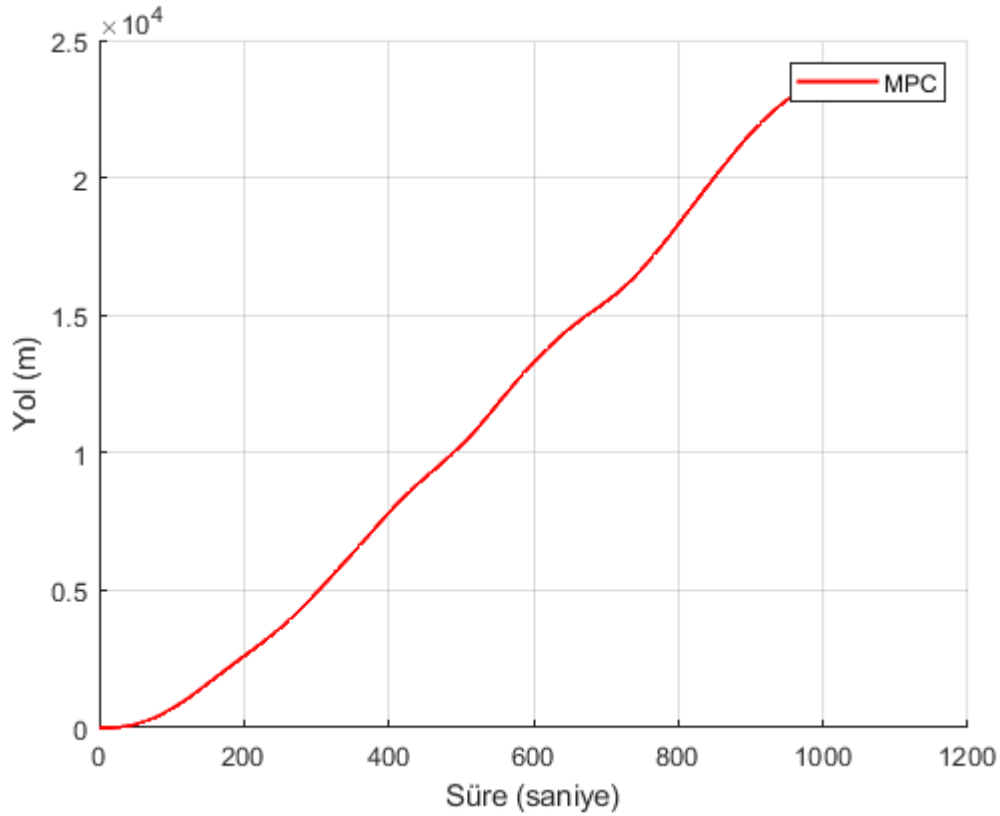
Şekil 5.101'de arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.101 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.101’de arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığı zaman hızlanma ve yavaşlamalar arasında yumuşak geçişler olduğu görülmektedir. Aracın 768’inci saniyede sürücü tarafından belirlenen maksimum hız olan 36.1 m/s hıza ulaştığı görülmektedir. Araç, 788’inci saniyeden itibaren öndeki araç ile güvenli mesafeyi korumak için yavaşlamıştır. Araç ancak 991’inci saniyede öndeki aracın hızı olan 5 m/s hıza inebilmiştir. Fakat, simülasyon süresi olan 1000 saniye içinde öndeki aracın hızı olan 5 m/s’de sabit kalamamıştır.

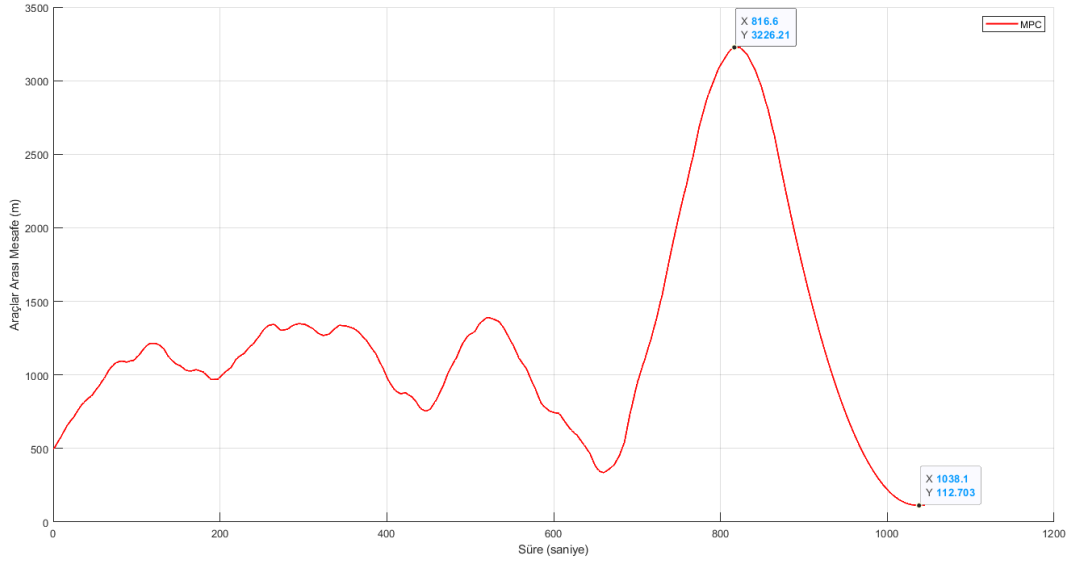
Şekil 5.102’de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.102 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.102’de verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın hızlandığı süre boyunca aldığı yol miktarı giderek artmaktadır. Hızlandığı süre boyunca grafiğin altında kalan alan artmıştır. Başka bir deyişle, artan hıza bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da artmıştır.

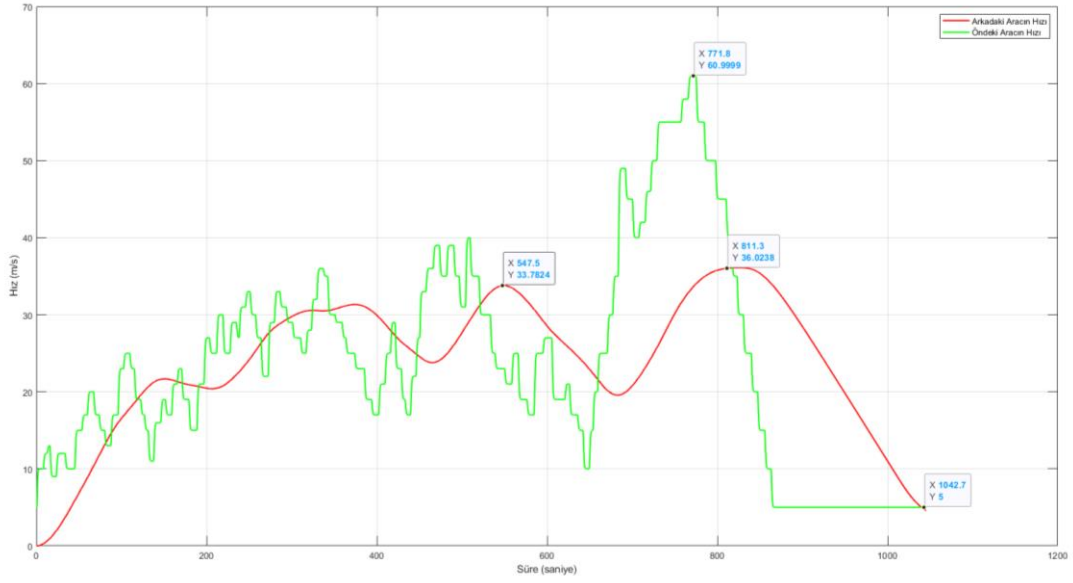
Şekil 5.103’de araçlar arasındaki mesafe gösterilmektedir.



Şekil 5.103 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.103’de verilen araçlar arası mesafe grafiği incelendiğinde Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin öndeki araca yetişip güvenli mesafe ile aracı takip etme konusunda zorluklar yaşadığı görülmektedir. Araçlar arası fark 622’inci saniyede 337 metreye inmiş fakat öndeki aracın hızlanmasına bağlı olarak artarak 776’ıncı saniyede 3229 metreye çıkmıştır. Araçlar arası mesafe farkı 991’inci saniyede 113 metreye inmiştir ve kalan süre zarfında 110 metre ile 115 metre arasında salınım yapmıştır. Araçlar arası mesafe grafiği incelendiğinde Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin güvenli mesafe olarak tanımlanan 100 metreye inemediği fakat yaklaştığı görülmektedir. Simülasyon süresi olarak tanımlanan 1000 saniyede PID denetimsi ile tasarlanan kontrolcünün öndeki aracı yakaladığı ve başarıyla takip ettiği görülmüşken MPC ile takibin 110 metrede olduğu ve 991’inci saniyeden itibaren olduğu görülmüştür.

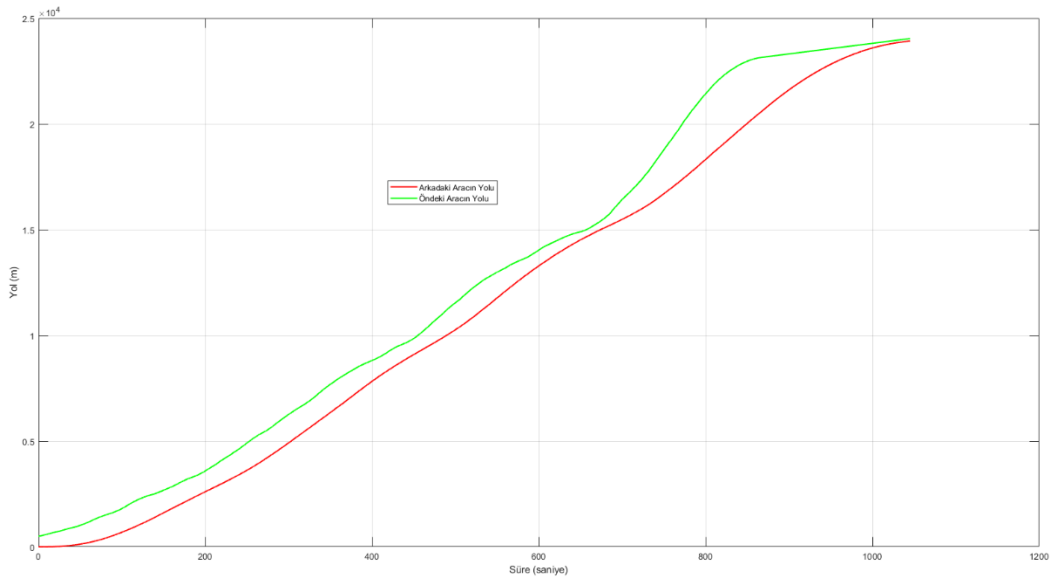
Şekil 5.104’de araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.104 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.104’de verilen araçların hızlarının karşılaştırılması grafiğine göre arkadaki araç 137’inci saniyeye kadar öndeki aracın hız değişiminden etkilenmeden hızlanmıştır. 137’inci saniyeden 198’inci saniyeye kadar öndeki araç hızlansa bile yavaşlamıştır. Sistem, araçlar arası mesafe sebebiyle yapması gerektiği halde sürücü tarafından tanımlanan 36.1 m/s hıza çıkmakta zorlanmış ve ancak 768’inci saniyede bu hıza ulaşabilmiştir.

Şekil 5.105’de araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.105 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi ile Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.105’de verilen araçların yol bilgilerinin karşılaştırılması grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç öndeki aracı 991’inci saniyeye kadar başarıyla takip etmeyi başaramamıştır. 622’inci saniyede öndeki araca yaklaşmış fakat devamında arkadaki aracı ancak 991’inci saniyede yakalayabilmiştir.

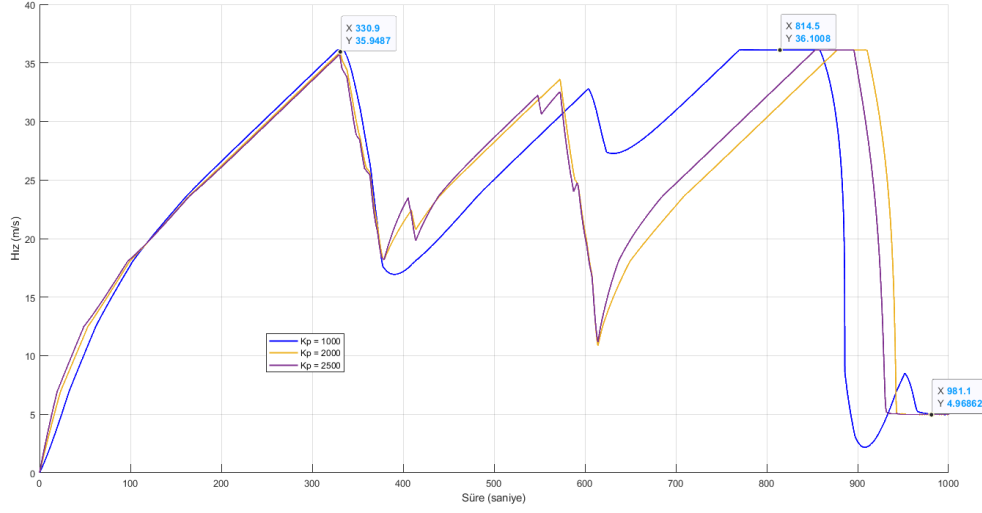
	MAKSİMUM HIZA İLK VARİŞ (21.6 m/s)	MİNİMUM HIZA İLK VARİŞ (20.4 m/s)	MAKSİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (31.3 m/s)	MİNİMUM HIZA İKİNCİ VARİŞ (23.8 m/s)	MAKSİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (33.7m/s)	MİNİMUM HIZA ÜÇÜNCÜ VARİŞ (19.5 m/s)	HIZLARIN EŞİTLENMESİ (5 m/s)
MPC Denetleyicisi	142’inci saniye	196’inci saniye	350’inci saniye	438’inci saniye	516’inci saniye	647’inci saniye	991’inci saniye

Tablo 5.19 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi için Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE (3229 metre)	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE (337 metre)	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA (110 metre)
MPC Denetleyicisi	776’inci saniye	622’inci saniye	991’inci saniye

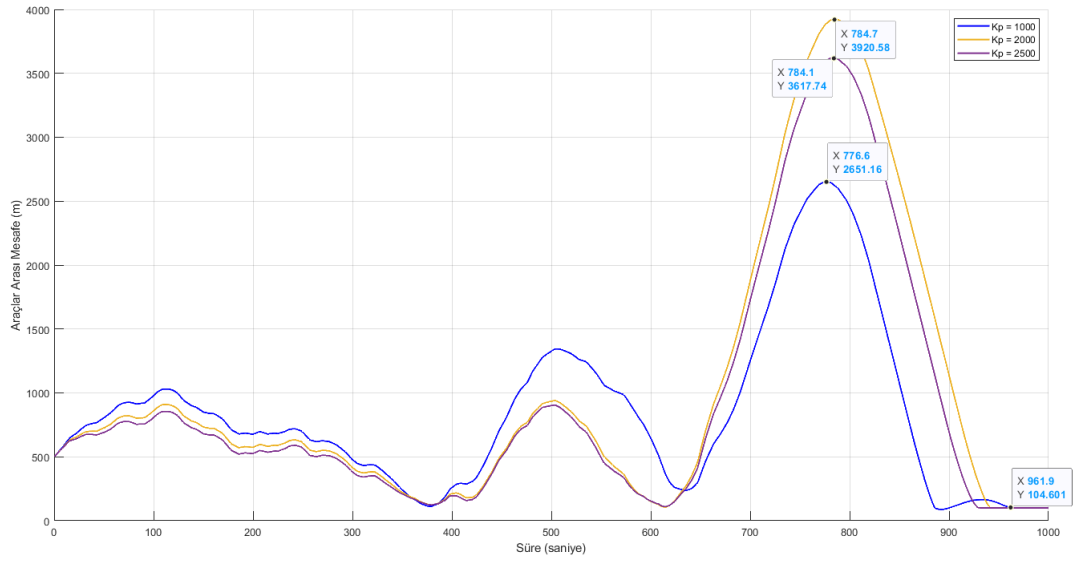
Tablo 5.20 Senaryo 5 MPC Denetleyicisi için Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

Senaryo 5 kapsamında değerlendirilen K_p , K_i ve K_d değer değişiminin etkisi ve MPC denetleyicisiyle PID denetleyicisiyle karşılaştırılması için Şekil 5.106, Şekil 5.107, Şekil 5.108, Şekil 5.109, Tablo 5-21 ve Tablo 5-22 verilmiştir.



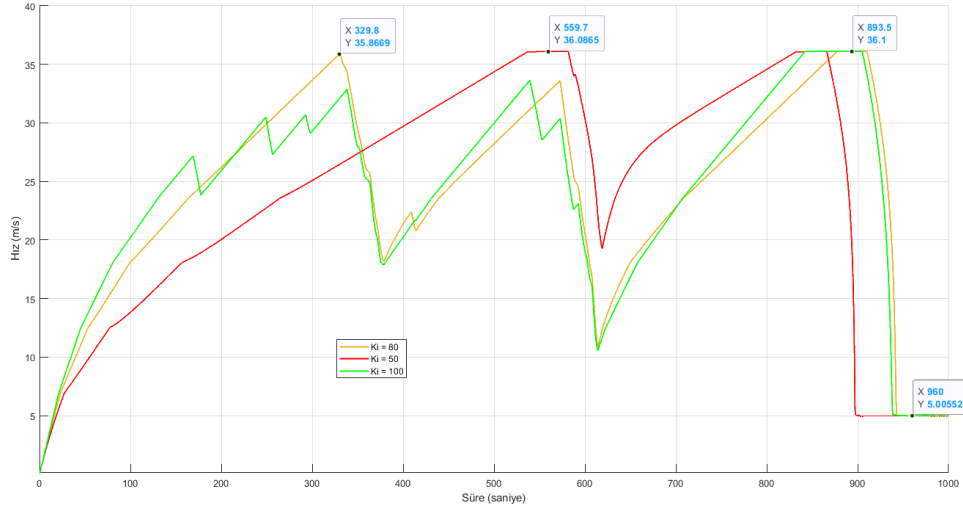
Şekil 5.106 Senaryo 5 K_p Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.106'da K_p değerlerinin değişimine göre arkadaki aracın hız zaman grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_p değerinin 2000 olduğu durumu, mavi çizgiler K_p değerinin 1000 olduğu durumu ve mor çizgiler K_p değerinin 2500 olduğu durumu göstermektedir. Grafiğe bakıldığı zaman K_p değerinin 1000 olduğu durumda aracın hız geçişleri daha yumuşak olsa da güvenli mesafe ihlali bulunduğu için kararlılık ve güvenlik kriterlerinden ötürü başarısız olmaktadır. K_p değerinin 2000 ve 2500 olduğu durumlar için ise araç çok benzer bir hareket sergilemiştir. Her iki durumda da araç kararlılık ve güvenlik kriterlerini sağlamaktadır. Yolcu konforu açısından değerlendirildiği zaman hız değişimlerinin K_p değerinin 2000 olduğu durumda daha yumuşak olarak görülmektedir. Bu sebeple K_p değerinin 2000 olarak kullanılmasının daha doğru olduğu görülmektedir.



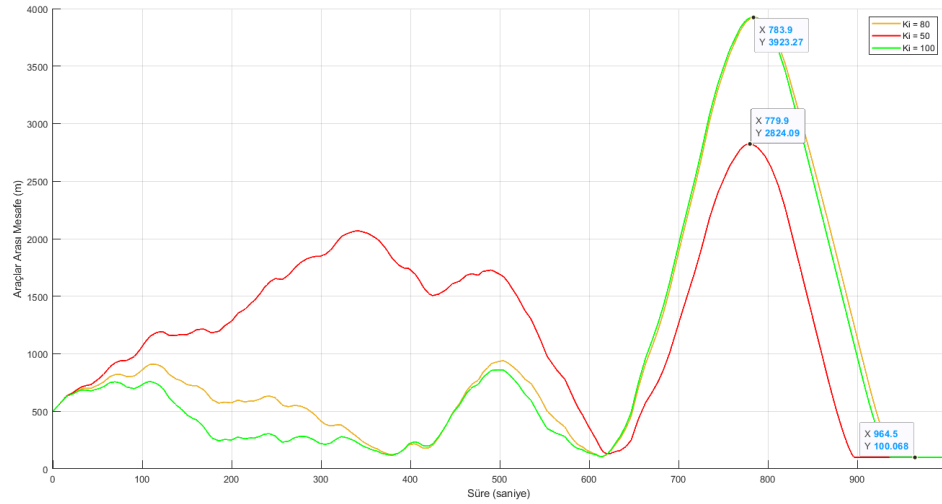
Şekil 5.107 Senaryo 5 K_p Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği

Şekil 5.107’de K_p değerlerinin değişimine göre araçlar arası mesafenin değişim grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_p değerinin 2000 olduğu durumu, mavi çizgiler K_p değerinin 1000 olduğu durumu ve mor çizgiler K_p değerinin 2500 olduğu durumu göstermektedir. Grafiğe bakıldığı zaman K_p değerinin 1000 olduğu durumda araçlar arası mesafenin diğer durumlara göre daha az olduğu görülse de araçlar arası mesafenin, güvenli mesafe olarak tanımlanan 100 metrenin altına düşerek güvenli mesafe ihlali yaptığı görülmektedir. Bu durum, sistemin kararlılık ve güvenlik kriterlerinden ötürü başarısız olduğu göstermektedir. Fakat, K_p değerinin belirli bir değere kadar azaltılmasının güvenli mesafe ihlali olmadığı sürece araçlar arası mesafeye olumlu etkisi olduğu söylenebilir. K_p değerinin 2000 ve 2500 olduğu durumlar için ise araç çok benzer bir hareket sergilemiştir. Araçla arası mesafe K_p değeri 2500 olduğunda daha az olduğu için K_p değerindeki artışın araçlar arası mesafeye olumlu etkisi olduğu görülmektedir. Her iki durumda da araç kararlılık ve güvenlik kriterlerini sağlamaktadır. Yolcu konforu açısından değerlendirildiği zaman hız değişimlerinin K_p değerinin 2000 olduğu durumda daha yumuşak olarak görülmektedir. Bu sebeple K_p değerinin 2000 olarak kullanılmasının daha doğru olduğu görülmektedir.



Şekil 5.108 Senaryo 5 K_i Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

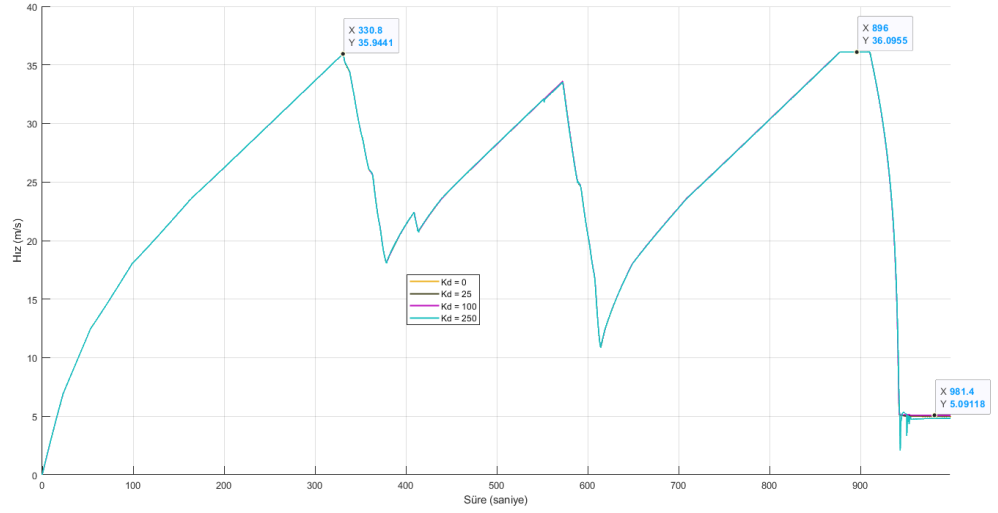
Şekil 5.108'de K_i değerlerinin değişimine göre arkadaki aracın hız zaman grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_i değerinin 80 olduğu durumu, kırmızı çizgiler K_i değerinin 50 olduğu durumu ve yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu göstermektedir. Grafik incelendiği zaman kararlılık ve güvenlik kriterleri açısından her üç durumda da bir sıkıntı görülmemektedir. Yolcu konforu kriteri açısından değerlendirildiğinde K_i değerinin 50 olarak kullanıldığı durumda en başarılı sonuç alınmıştır.



Şekil 5.109 Senaryo 5 K_i Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği

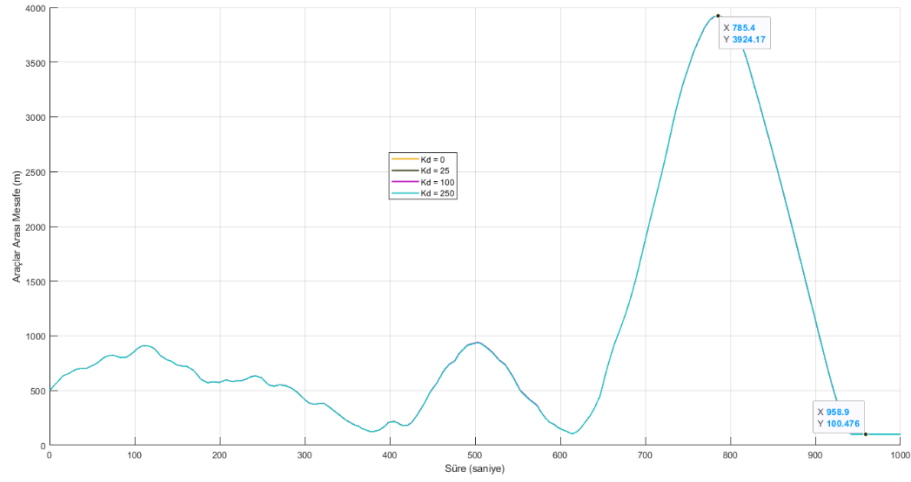
Şekil 5.109'da K_i değerlerinin değişimine göre araçlar arası mesafenin değişim grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_i değerinin 80 olduğu durumu, kırmızı çizgiler K_i

değerinin 50 olduğu durumu ve yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu göstermektedir. Grafiğe bakıldığı zaman K_i değerinin 50 olduğu durumda araçlar arası mesafenin diğer durumlara göre daha az olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, K_i değerinin 50 olduğu durumda arkadaki araç öndeki aracı daha çabuk yakalamış ve hızlarını daha çabuk eşitlemiştir. Bu durumda, K_i değerindeki azalışın araçlar arası mesafeye ve öndeki aracı yakalama konusunda olumlu etkileri olduğu söylenebilir.



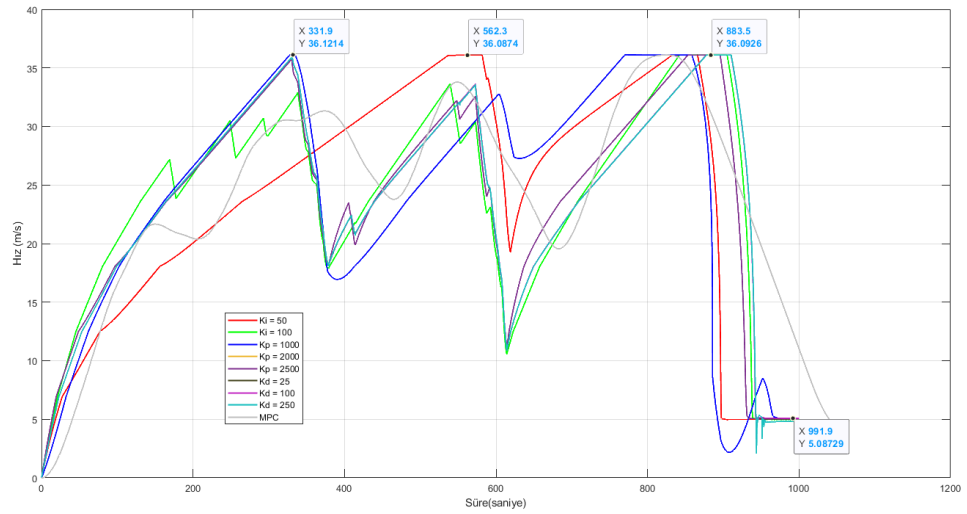
Şekil 5.110 Senaryo 5 K_d Değerlerine Göre Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.109'da K_d değerlerinin değişimine göre arkadaki aracın hız zaman grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_d değerinin 0 olduğu durumu, gri çizgiler K_d değerinin 25 olduğu durumu, mor çizgiler K_d değerinin 100 olduğu durumu ve mavi çizgiler K_d değerinin 250 olduğu durumu göstermektedir. Grafiğe bakıldığı zaman K_d değerindeki değişimin aracın hızlanması üzerinde ciddi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Fakat, K_d değerinin belirli bir eşiğin üzerinde arttırılarak 250 yapıldığı durumda Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin aracın hızını 5 m/s hıza sabitlemeye çalışırken bir salınım yaptığı görülmektedir. Bu durum yolcu konforunu etkileyeceği için K_d değerinin 250 olduğu durumun kullanılmasının uygun olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 5.111 Senaryo 5 Kd Değerlerine Göre Araçlar Arası Mesafe Karşılaştırma Grafiği

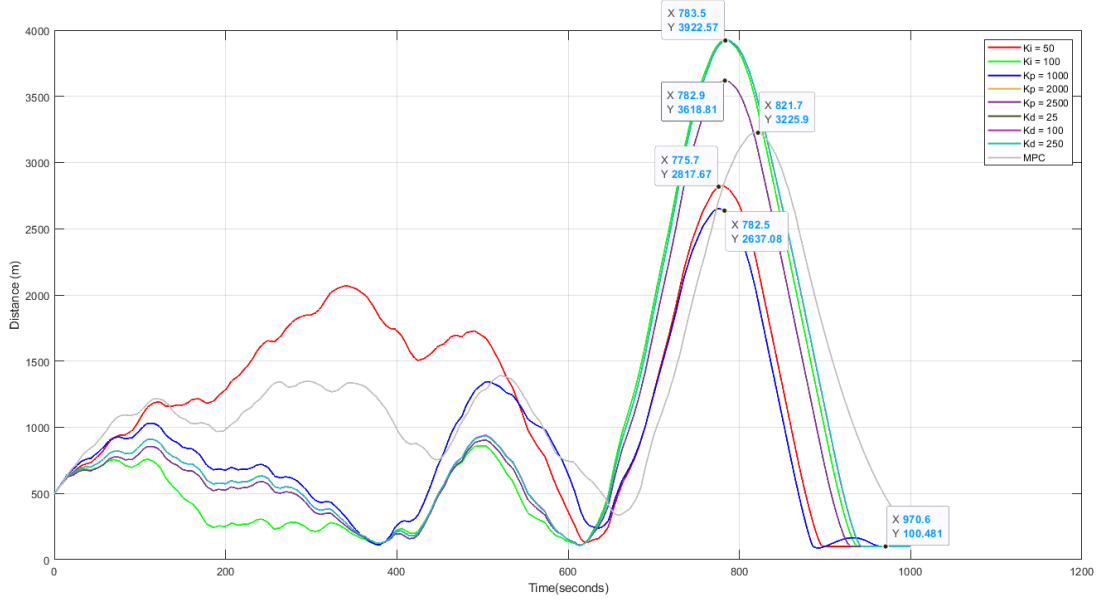
Şekil 5.111’de K_d değerlerinin değişimine göre araçlar arası mesafenin grafiği görülmektedir. Şekilde sarı çizgiler K_d değerinin 0 olduğu durumu, gri çizgiler K_d değerinin 25 olduğu durumu, mor çizgiler K_d değerinin 100 olduğu durumu ve mavi çizgiler K_d değerinin 250 olduğu durumu göstermektedir. Grafiğe bakıldığında zaman K_d değerindeki değişimin araçlar arası mesafe konusunda üzerinde ciddi bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.112 K_p , K_i , K_d ve MPC'nin Aracın Hızına Etkisi

Şekil 5.112’de K_p , K_i , K_d değerlerinin değişimine göre ve MPC kullanılması durumuna göre arkadaki aracın hız zaman grafiği görülmektedir. Şekilde kırmızı çizgiler K_i değerinin 50 olduğu durumu, yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu, mavi çizgiler K_p değerinin 1000 olduğu durumu, sarı çizgiler K_p değerinin 2000 olduğu durumu, mor çizgiler K_p değerinin 2500 olduğu durumu, siyah çizgiler K_d değerinin 25 olduğu durumu, mor

çizgiler K_d değerinin 100 olduğu durumu, turkuaz çizgiler K_d değerinin 250 olduğu durumu ve gri çizgiler MPC kullanıldığı durumu göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere MPC kullanıldığı durumda arkadaki araç öndeki araç ile hızını sabitlemeyi başaramamış, K_p değerinin çok azaltıldığı durumu gösteren 1000 olduğu durumda ve K_d değerinin çok arttırıldığı durumu gösteren 250 olduğu durumda araç salınım yapmıştır.



Şekil 5.113 K_p , K_i , K_d ve MPC Mesafe Karşılaştırma Grafiği

Şekil 5.113’de K_p , K_i , K_d değerlerinin değişimine göre ve MPC kullanılması durumuna göre araçlar arası mesafe grafiği görülmektedir. Şekilde kırmızı çizgiler K_i değerinin 50 olduğu durumu, yeşil çizgiler K_i değerinin 100 olduğu durumu, mavi çizgiler K_p değerinin 1000 olduğu durumu, sarı çizgiler K_p değerinin 2000 olduğu durumu, mor çizgiler K_p değerinin 2500 olduğu durumu, siyah çizgiler K_d değerinin 25 olduğu durumu, mor çizgiler K_d değerinin 100 olduğu durumu, turkuaz çizgiler K_d değerinin 250 olduğu durumu ve gri çizgiler MPC kullanıldığı durumu göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere MPC kullanıldığı durumda arkadaki araç öndeki araç ile hızını sabitlemeyi başaramamış, K_p değerinin çok azaltıldığı durumu gösteren 1000 olduğu durumda araç salınım yapmıştır.

	36.1 m/s HIZA VARİŞ	ARAÇLARIN HIZLARININ EŞİTLENMESİ (5 m/s)
K_p = 2000	330'uncu saniye	945'inci saniye
K_i = 80		
K_d = 0		
K_p = 1000	326'ıncı saniye	969'uncu saniye
K_i = 80		
K_d = 0		
K_p = 2500	329'uncü saniye	932'inci saniye
K_i = 80		
K_d = 0		
K_p = 2000	537'inci saniye	906'ıncı saniye
K_i = 50		
K_d = 0		
K_p = 2000	844'üncü saniye	946'ıncı saniye
K_i = 100		
K_d = 0		
K_p = 2000	330'uncu saniye	943'üncü saniye
K_i = 80		
K_d = 25		
K_p = 2000	330'uncu saniye	945'inci saniye
K_i = 80		
K_d = 100		
K_p = 2000	329'uncu saniye	960'ıncı saniye
K_i = 80		
K_d = 250		
MPC Denetleyicisi	768'inci saniye	991'inci saniye

Tablo 5.21 Senaryo 5 Hız ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 5-21'de verilen sonuçlara göre bu tasarımda $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ olarak seçilen durum dışında PID denetleyicisinin MPC denetleyicisine göre maksimum hıza varış

konusunda daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Fakat, $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ durumunda arkadaki araç öndeki aracı başarıyla yakalamış ve onu takip etmeyi başarmıştır. MPC denetleyicisinde ise yukarda açıklandığı üzere 100 metrelik güvenli mesafe yakalanamamıştır. Tepki süresi olarak PID denetleyicisinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Hızların eşitlenmesine baktığımız zaman K_p , K_i ve K_d değerlerinden bağımsız olarak PID denetleyicisinin MPC denetleyicisine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Yukarıda verilen sonuçlarda da görüldüğü üzere PID denetleyicisi ile alınan sonuçlarda arkadaki araç öndeki aracı yakalamış ve araçlar arası mesafeyi 100 metreye indirmiştir. Araçlar arası mesafe 100 metreye indikten sonra aracın hızını öndeki aracın hızına eşitleyerek onu takip etmeye başlamıştır. Fakat, MPC denetleyicisinde arkadaki araç öndeki aracı yakalamakta zorlanmış ve araçlar arası mesafeyi ancak 110 metreye indirerek simülasyonun son 9 saniyesinde hızlarını eşitlemeyi başarmıştır. Başka bir deyişle, PID denetleyicisi MPC denetleyicisine göre bu tasarımda daha iyi performans göstermektedir.

PID denetleyicisini kendi içinde incelediğimizde ise 36.1 m/s hıza en hızlı ulaşılan durumda $K_p = 1000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ değerleri mevcuttur. Bu durum, bu değerler kullanıldığında bize aracın ivmelenmesinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Aracın hızlarının eşitlenmesi kriteri temel alındığında ise $K_p = 2000$, $K_i = 50$ ve $K_d = 0$ değerlerindeki durum en iyi sonucu vermektedir. Bu durumda, K_i değeri sabit tutulurken K_p değerinin azalması aracın en yüksek hıza çıkışını arttırdığı ve K_p değeri sabit tutulurken K_i değerinin azalmasının aracın öndeki aracı yakalama süresini kısalttığı görülmektedir.

	ARAÇLAR ARASI MAKSİMUM MESAFE	ARAÇLAR ARASI MİNİMUM MESAFE	GÜVENLİ MESAFEYİ YAKALAMA
K_p = 2000	785'inci saniye 3921 metre	615'üncü saniye 107 metre	943'üncü saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 0			
K_p = 1000	773'üncü saniye 2648 metre	382'inci saniye 118 metre	969'uncu saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 0			
K_p = 2500	783'üncü saniye 3918 metre	615'inci saniye 110 metre	931'inci saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 0			
K_p = 2000	780'inci saniye 2824 metre	619'uncu saniye 134 metre	906'ıncı saniye 100 metre
K_i = 50			
K_d = 0			
K_p = 2000	785'inci saniye 3923 metre	615'inci saniye 108 metre	946'ıncı saniye 100 metre
K_i = 100			
K_d = 0			
K_p = 2000	786'ıncı saniye 3923 metre	614'üncü saniye 106 metre	945'inci saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 25			
K_p = 2000	785'inci saniye 3920 metre	612'inci saniye 109 metre	945'inci saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 100			
K_p = 2000	785'inci saniye 3924 metre	615'inci saniye 107 metre	947'inci saniye 100 metre
K_i = 80			
K_d = 250			
MPC Denetleyicisi	776'ıncı saniye 3229 metre	622'inci saniye 337 metre	991'inci saniye 110 metre

Tablo 5.22 Senaryo 5 Araçlar Arası Mesafe ile ilgili Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 5-22'de verilen araçlar arası mesafe sonuçlarından güvenli mesafeyi yakalama konusunda PID denetleyicisinin K_p , K_i ve K_d değerlerinden bağımsız olarak daha iyi sonuç

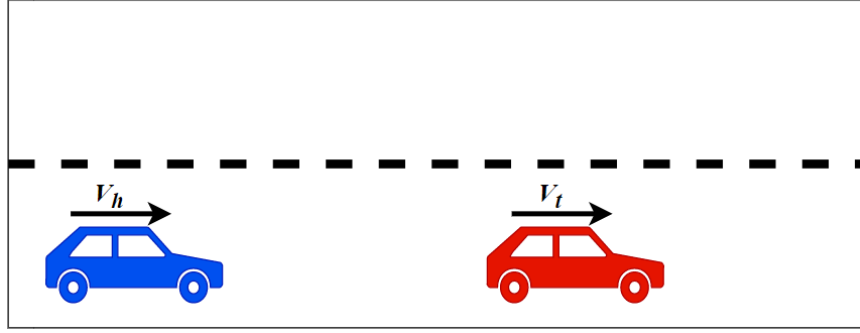
verdiği görülmektedir. Araçlar arası maksimum mesafeye baktığımızda ise araçlar arasındaki en yüksek mesafe $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ durumunda 3923 metre ile görülmüştür. Araçlar arasında güvenli mesafe hariç olarak görülen en yakın mesafe ise $K_p = 2000$, $K_i = 80$ ve $K_d = 0$ durumunda 107 metre ile görülmüştür. Araçlar arası güvenli mesafe olan 100 metrenin yakalanması konusunda ise en iyi performansı $K_p = 2000$, $K_i = 100$ ve $K_d = 0$ değerleriyle PID denetleyicisi vermiştir.

PID denetleyicisinin MPC denetleyicisine göre ulaşılabilirlik, kolaylık, maliyet ve kullanım alanları açısından olan avantajlarına ek olarak PID kullanılarak elde edilen sonuçların MPC kullanılarak elde edilen sonuçlara göre daha etkili olduğu görülmüştür. Bu sebeple, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminde PID denetimcisi kullanılması daha avantajlı olacağı görülmüştür.

5.6. Senaryo 6

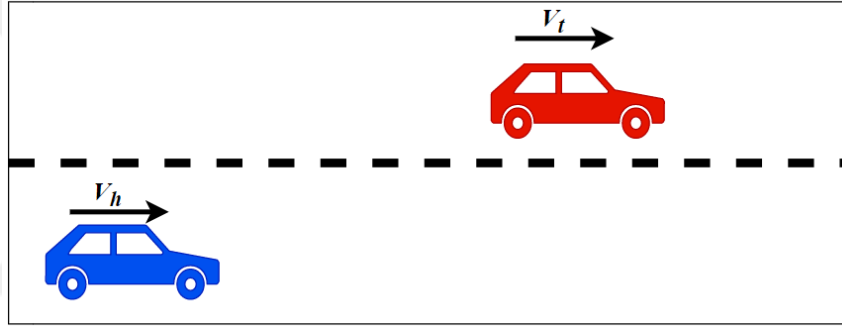
Bu senaryoda belirli bir zaman geldiğinde öndeki araç şerit değiştirecektir. Bu şerit değişiminden önce Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde hareket etmesi beklenmektedir. Şerit değişikliği olduktan sonra önünde bir araç kalmayacağı için sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar hızlanarak o hızda aracın sabit hareket etmesi beklenmektedir. Bu senaryoda şerit değişikliğinin benzetim çalışmasının yapılması için Şekil 4.9’da verilen şerit değişikliği bloğu kullanılacaktır.

Şekil 5.114 Senaryo 6’nın iki aracın aynı şeritte hareket ettiği kısmı, Şekil 5.115 ise öndeki aracın şerit değiştirdiği kısmı göstermektedir. Senaryonun başında öndeki araç belirli bir hızla hareket etmektedir. Arkadaki araç ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemine göre öndeki araca yetişip, güvenli mesafeyi koruma amacındadır. Öndeki araç şerit değiştirdiğinde ise arkadaki araç önünde bir engel görmeyecek ve sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar hızlanacaktır. Araç maksimum hıza ulaştığında ise o hızda geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi hareket edecektir. Başka bir deyişle, belirlenen maksimum hızda sabit hızlı bir hareket yapacaktır.



Şekil 5.114 Senaryo 6 İlk Kısım

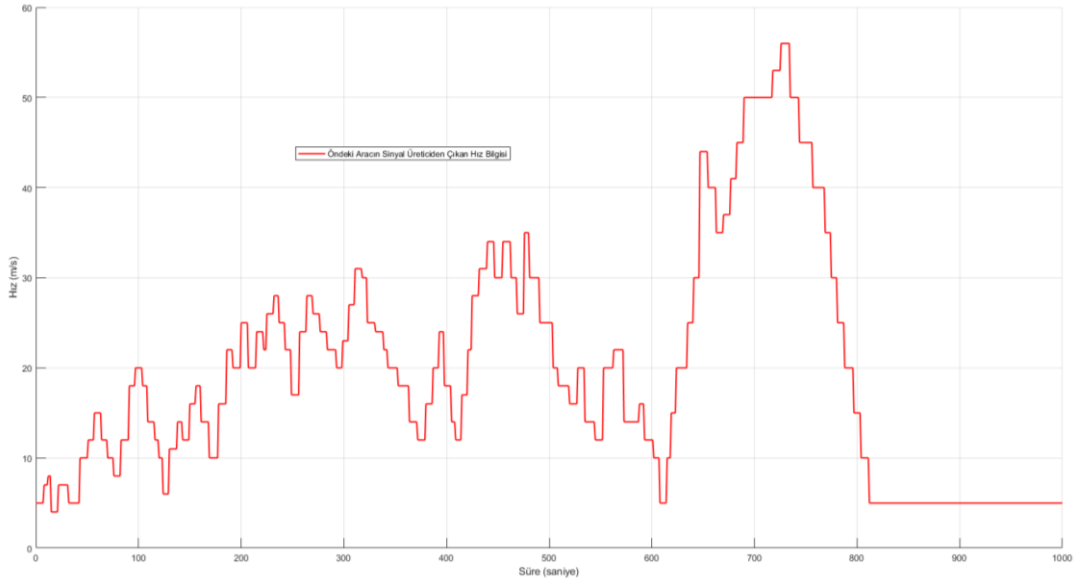
Şekil 5.114’de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir.



Şekil 5.115 Senaryo 6 İkinci Kısım

Şekil 5.115’de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir. Bu kısımda arkadaki araç, öndeki aracın şerit değiştirmesi sebebiyle önünde bir engel görmemeli ve aracın hızı sürücü tanımlanan maksimum hız değerine kadar artarak o hızda sabit hareket etmelidir.

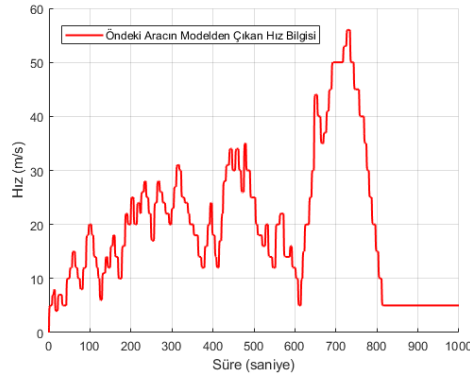
Şekil 5.116’da öndeki araca sinyal üretici ile verilen hız zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.116 Senaryo 6 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi

Şekil 5.116'da verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak sürekli olarak değişken hızlarla hareket etmiştir. Grafik boyunca hızlanmalar ve yavaşlamalar mevcuttur. Şekil 5.117'de modelin çıkarttığı hız zaman grafiğinin de aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

Şekil 5.117'de öndeki aracın modelinin Şekil 5.116'ya göre ürettiği hız bilgisi görülmektedir.

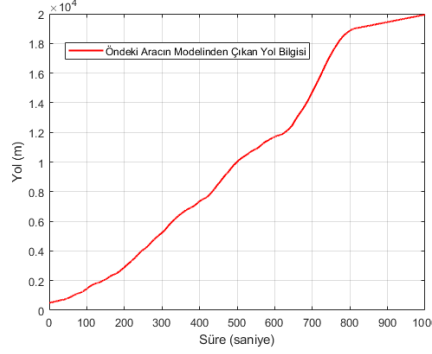


Şekil 5.117 Senaryo 6 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.117'de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak 820 saniye boyunca hareket etmiştir. Bu hareket süresince yavaşlamalar, hızlanmalar ve

sabit hızlı hareket mevcuttur. 820'inci saniyeden itibaren 5 m/s hızla sabit harekete geçmiştir. Hareket boyunca en yüksek 55 m/s hıza çıkmıştır.

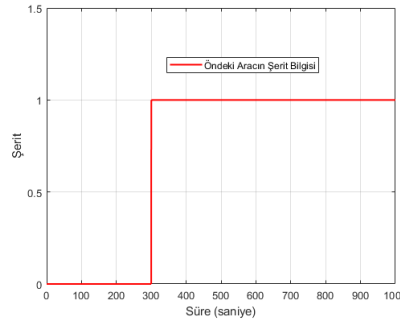
Şekil 5.118'de öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.118 Senaryo 6 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.118'de verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın değişen hızına bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da değişmiştir. Aracın hızlandığı sürelerde alınan yol artmakta, yavaşladığı sürelerde alınan yol azalmaktadır. 820'inci saniyeden itibaren araç sabit hızla hareket ettiği için grafik lineer bir şekilde artmıştır.

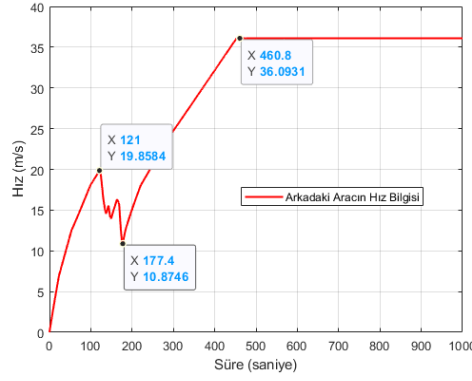
Şekil 5.119'da öndeki aracın şerit bilgisini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 5.119 Senaryo 6 Öndeki Aracın Şerit Bilgisi

Şekil 5.119'da verilen grafikte görüldüğü üzere 300'üncü saniyeye kadar araçlar aynı şeritte hareket etmektedir. 300'üncü saniyede öndeki araç şerit değiştirmiş ve hareketin devamında farklı şeritte hareket etmiştir.

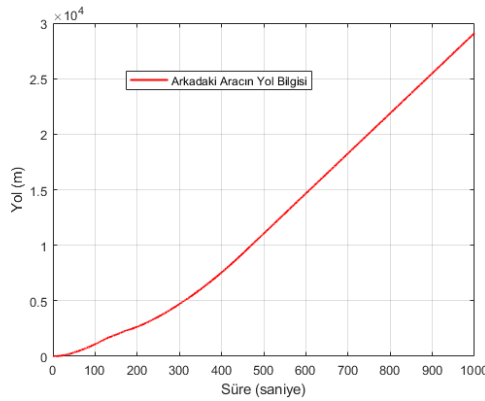
Şekil 5.120'de arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.120 Senaryo 6 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.120’de verilen arkadaki aracın hız zaman grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç 100’üncü saniyeye kadar hızlanmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi aracı 100’üncü saniyeden 177’inci saniyeye kadar yavaşlatarak mesafeyi kontrol etmeye çalışmıştır. 177’inci saniyeden itibaren öndeki araca göre hızlanmış, 300’üncü saniyede öndeki aracın şerit değiştirmesi sebebiyle arkadaki aracın önünde bir araç kalmamıştır. Bu saniyeden itibaren Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaya başlamıştır. Araç, 460’ıncı saniyede sürücü tarafından belirlenen 36.1 m/s’ye ulaşmış ve o hızda sabit hızlı hareketine başlamıştır.

Şekil 5.121’de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.

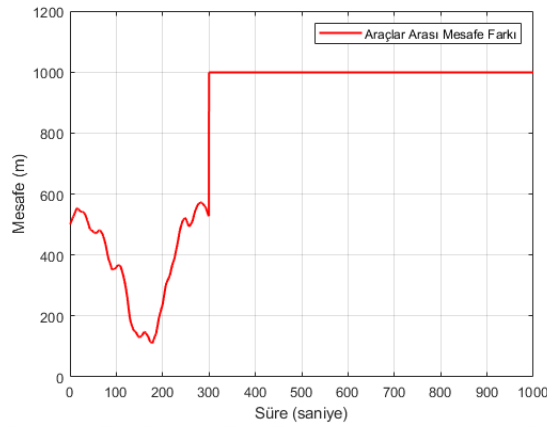


Şekil 5.121 Senaryo 6 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.121’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol

zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Aracın aldığı yol, aracın hızlanmasına bağlı olarak 0 ile 100'üncü saniye arasında ve 177 ile 460'ıncı saniye arasında kadar artan bir şekilde devam etmiştir. Aracın aldığı yol, aracın yavaşlamasına bağlı olarak 100 ile 177'inci saniyeler arasında azalan bir eğim ile devam etmiştir. 460'ıncı saniyede aracın 36.1 m/s hıza ulaşması sonucunda yol zaman grafiği lineer bir şekilde devam etmiştir.

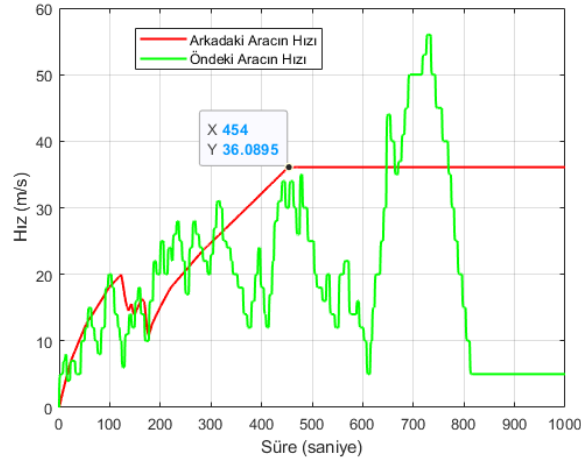
Şekil 5.122'de araçlar arasındaki mesafe gösterilmektedir.



Şekil 5.122 Senaryo 6 Araçlar Arası Mesafe Grafiği

Şekil 5.122'de verilen mesafe grafiğinde araçlar arası mesafe başlangıç pozisyon farklarından ötürü 500 metredir. 180'inci saniyeye kadar araçlar arası mesafe ufak artışlar olsa da genellikle araçlar arası mesafe azalmaktadır. Araçlar arasındaki mesafe 176'ıncı saniyede 111 metreye kadar düşmektedir. 300'üncü saniyede öndeki araç şerit değiştirmektedir. Şerit değiştirme bloğunun çalışması için araçlar arası mesafe 1000 metreye sabitlenmiştir.

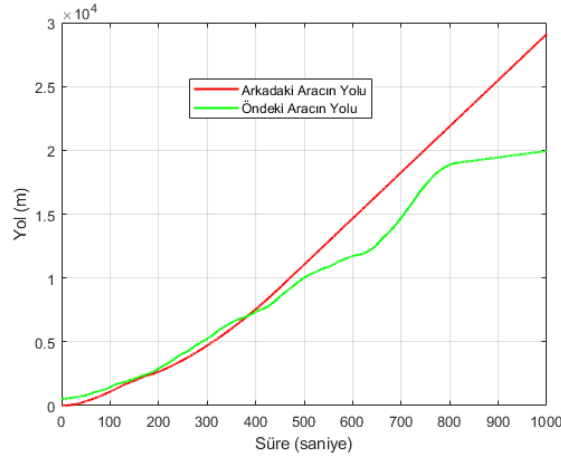
Şekil 5.123'de araçların hızlarının karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.123 Senaryo 6 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.123’de verilen grafikte iki aracın hız zaman grafikleri beraber gösterilmektedir. Şekilde, kırmızı çizgiler arkadaki aracın hızını, yeşil çizgiler ise öndeki aracın hızını göstermektedir. Öndeki araç kendisine tanımlanan hız zaman grafiğini takip etmektedir. 300’üncü saniyede şerit değiştirmesine rağmen hız zaman grafiğinde bir değişiklik yoktur. Arkadaki araç ise araçlar arası mesafe ve öndeki aracın başlangıçta bir hızı olması sebebiyle 100’üncü saniyeye kadar hızlanmaktadır. Başka bir deyişle, 100’üncü saniyeye kadar öndeki aracın hızındaki bir değişim arkadaki aracı etkilememekte ve arkadaki araç hızlanmaya devam etmektedir. 100’üncü saniyede öndeki araç ile olan mesafesi güvenli mesafeye yaklaştığı için öndeki aracın hızındaki değişimlere göre arkadaki aracın hızı da değişmektedir. Arkadaki araç, 300’üncü saniyeye öndeki aracı takip ettikten sonra öndeki aracın şerit değiştirmesinden sonra hızlanmaya başlamış ve 460’ıncı saniyede sürücü tarafından belirlenen 36.1 m/s’ye ulaşmıştır. 460’ıncı saniyeden sonra araç o hızda sabit hızlı hareket etmiştir. 300’üncü saniyeden itibaren araçlar farklı şeritlerde oldukları için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır. Başka bir deyişle, aracın sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar yükselip o hızda sabit hareket etmesini sağlamaktadır.

Şekil 5.124’de araçların yollarının karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.124 Senaryo 6 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.124'de verilen yol bilgilerinin karşılaştırılması grafiğine göre arkadaki araç 200'üncü saniyeden itibaren öndeki aracı takip etmektedir. 300'üncü saniyede öndeki aracın şerit değiştirmesinden sonra araçlar farklı şeritlerde hareket etmeye başlamıştır. Araçların aldıkları yol birim zamandaki sahip oldukları hızın çarpımıdır. 380'inci saniyede arkadaki araç öndeki aracı geçmektedir. 300'üncü saniyeden itibaren araçlar farklı şeritlerde oldukları için Adaptif Hız Sabitleyici sistemi geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaktadır. Başka bir deyişle, aracın sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar yükselip o hızda sabit hareket etmesini sağlamaktadır.

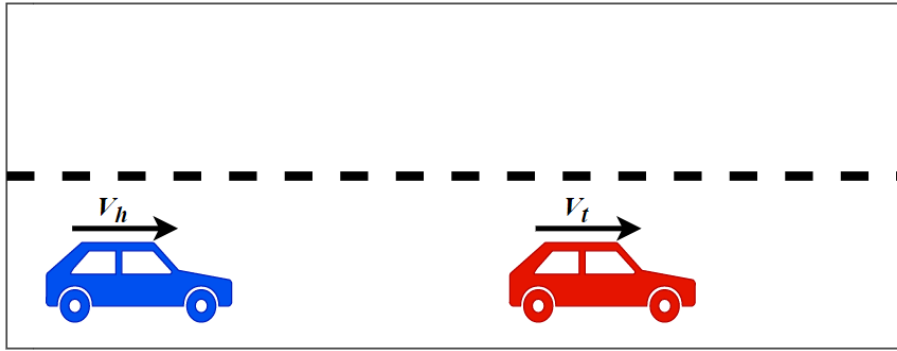
Senaryo 6'da tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin şerit değişikliği durumundaki hareketi gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında öndeki araç şerit değiştirmekte ve araçlar farklı şeritlerde hareket etmektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, beklendiği üzere Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki aracın şerit değiştirdiğini anlayarak hızını sürücü tarafından tanımlanan maksimum hıza çıkartmış ve bu değerde sabit hızlı hareket etmiştir. Bu durumda, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin şerit değişikliğini algılama özelliği olduğu görülmektedir.

5.7. Senaryo 7

Bu senaryoda belirli bir zaman geldiğinde öndeki araç şerit değiştirecektir. Bu şerit değişiminden önce Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde hareket etmesi beklenmektedir. Şerit değişikliğinden sonra önünde bir

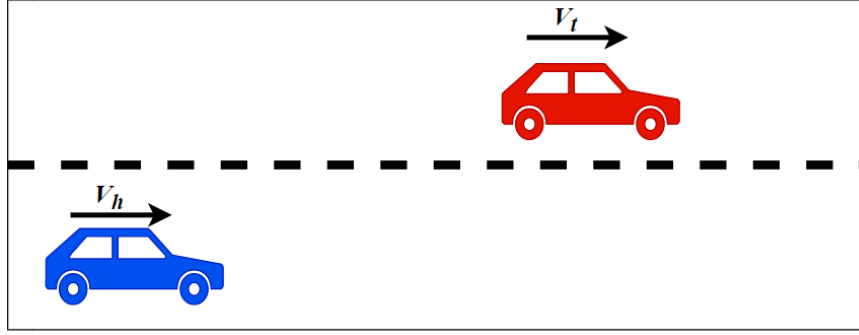
araç kalmayacağı için sürücünün belirlediği maksimum hız değerine kadar aracın hızlanması beklenmektedir. Önüne tekrar bir araç geldikten sonra ise bu araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde fren yaparak hızını ona göre ayarlaması beklenmektedir.

Şekil 5.125 Senaryo 7'nin iki aracın aynı şeritte hareket ettiği kısmı, Şekil 5.126 öndeki aracın şerit değiştirdiği kısmı ve Şekil 5.127 öndeki aracın tekrar eski şeridine döndüğü kısmı göstermektedir. Senaryonun başında öndeki araç belirli bir hızla hareket etmektedir. Arkadaki araç ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemine göre öndeki araca yetişip, güvenli mesafeyi koruma amacındadır. Öndeki araç şerit değiştirdiğinde ise arkadaki araç önünde bir engel görmeyecek ve sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar hızlanacaktır. Araç maksimum hıza ulaştığında ise o hızda geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi hareket edecektir. Başka bir deyişle, belirlenen maksimum hızda sabit hızlı bir hareket yapacaktır. Hareketin başında önde bulunan araç tekrar diğer şeride döndüğünde ise Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tekrar devreye girerek güvenli mesafeyi korumaya çalışacaktır.



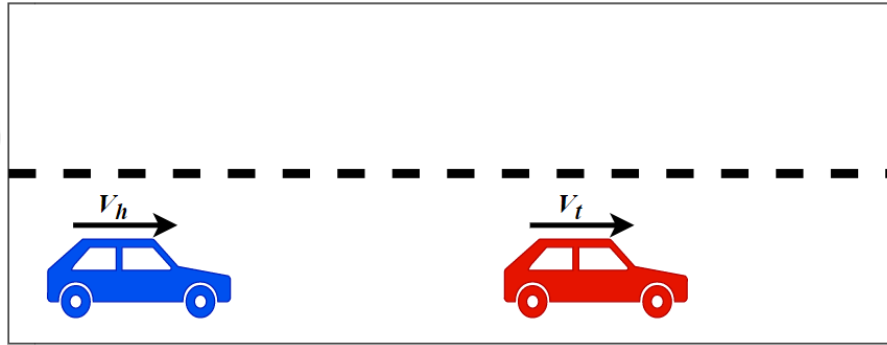
Şekil 5.125 Senaryo 7 İlk Kısım

Şekil 5.125’de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir.



Şekil 5.126 Senaryo 7 İkinci Kısım

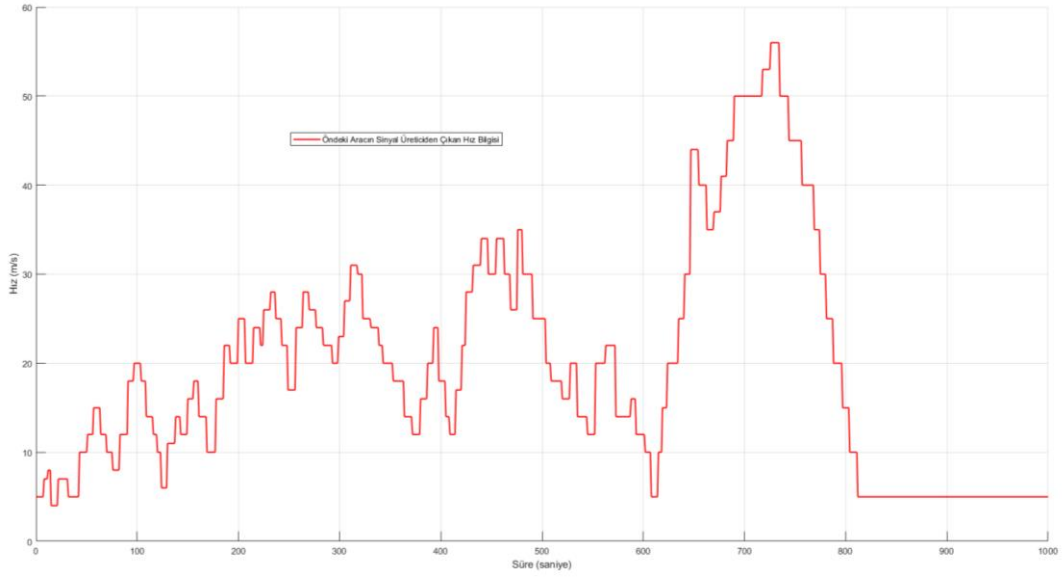
Şekil 5.126’da kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir. Bu kısımda arkadaki araç, öndeki aracın şerit değiştirmesi sebebiyle önünde bir engel görmemeli ve aracın hızı sürücü tanımlanan maksimum hız değerine kadar artarak o hızda sabit hareket etmelidir.



Şekil 5.127 Senaryo 7 Üçüncü Kısım

Şekil 5.127’de kırmızı araç öndeki aracı ve mavi araç Adaptif Hız Sabitleyici sistemine sahip arkadaki aracı simgelemektedir. Arkadaki aracın hızı V_h ve öndeki aracın hızı V_t olarak verilmiştir. Bu kısımda arkadaki araç, öndeki aracın tekrar şerit değiştirerek önüne gelmesiyle birlikte araçlar arasındaki mesafeyi güvenli mesafede tutacak şekilde hareket etmelidir.

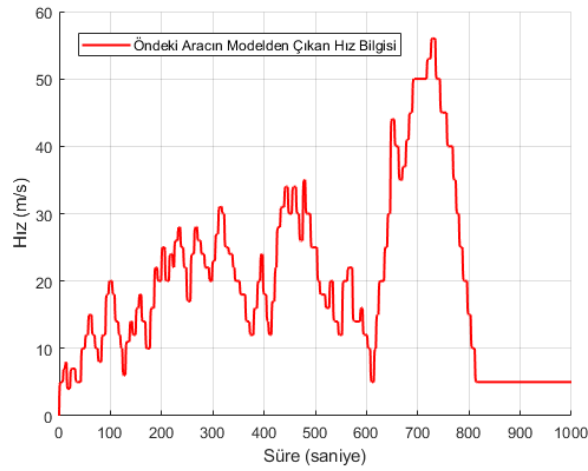
Şekil 5.128’de öndeki araca sinyal üretici ile verilen hız zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.128 Senaryo 7 Öndeki Aracın Sinyal Üreticiden Aldığı Hız Bilgisi

Şekil 5.128'de verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak sürekli olarak değişken hızlarla hareket etmiştir. Grafik boyunca hızlanmalar ve yavaşlamalar mevcuttur. Şekil 5.129'da modelin çıkarttığı hız zaman grafiğinin de aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

Şekil 5.129'da öndeki aracın modelinin Şekil 5.128'e göre ürettiği hız bilgisi görülmektedir.

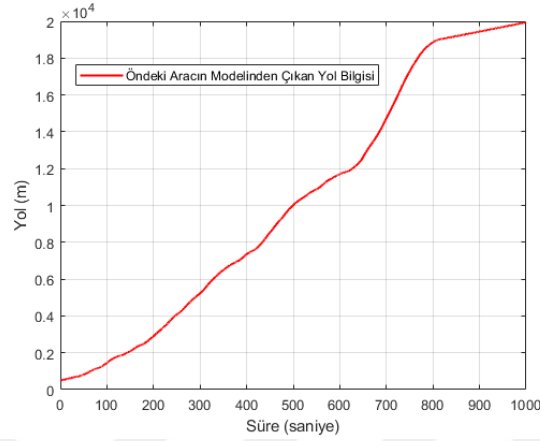


Şekil 5.129 Senaryo 7 Öndeki Aracın Modelinden Çıkan Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.129'da verilen hız zaman grafiğine göre öndeki araç 5 m/s hızdan başlayarak 820 saniye boyunca hareket etmiştir. Bu hareket süresince yavaşlamalar, hızlanmalar ve

sabit hızlı hareket mevcuttur. 820'inci saniyeden itibaren 5 m/s hızla sabit harekete geçmiştir. Hareket boyunca en yüksek 55 m/s hıza çıkmıştır.

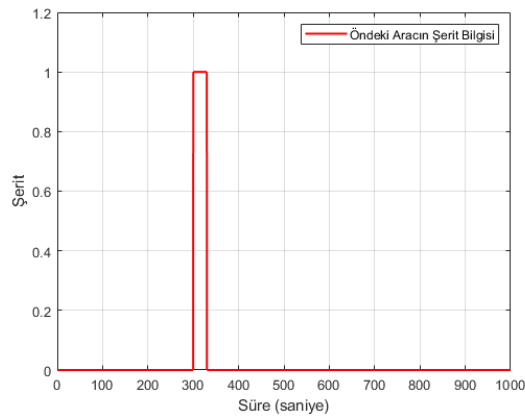
Şekil 5.130'da öndeki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.130 Senaryo 7 Öndeki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.130'da verilen yol zaman grafiğinde görüldüğü üzere aracın değişen hızına bağlı olarak birim zamanda aldığı yol da değişmiştir. Aracın hızlandığı sürelerde alınan yol artmakta, yavaşladığı sürelerde alınan yol azalmaktadır. 820'inci saniyeden itibaren araç sabit hızla hareket ettiği için grafik lineer bir şekilde artmıştır.

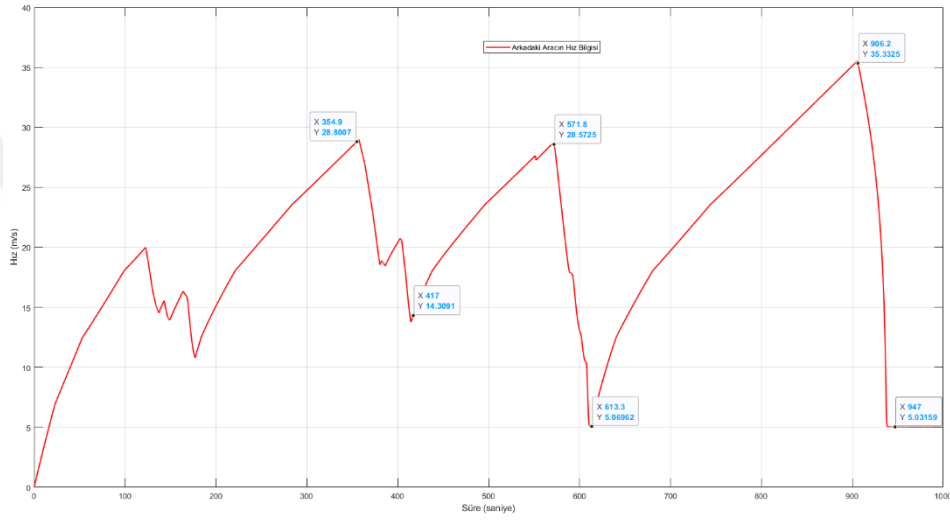
Şekil 5.131'de öndeki aracın şerit bilgisini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 5.131 Senaryo 7 Öndeki Aracın Şerit Bilgisi

Şekil 5.131’de verilen grafikte görüldüğü üzere 300’üncü saniyeye kadar araçlar aynı şeritte hareket etmektedir. 300’üncü saniyede öndeki araç şerit değiştirmiştir. 330’uncu saniyede tekrar şerit değiştirerek hareketin başındaki şeridine dönmüştür. Başka bir deyişle, sistem 0 ile 300’üncü saniyeler arasında Adaptif Hız Sabitleyici sistemi gibi çalışacak, 300 ile 330’uncu saniyeler arasında arkadaki araç geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışacak ve 330’uncü saniyeden sonra tekrar Adaptif Hız Sabitleyici sistemi gibi çalışmaya başlayacaktır.

Şekil 5.132’de arkadaki aracın hız zaman grafiği verilmiştir.

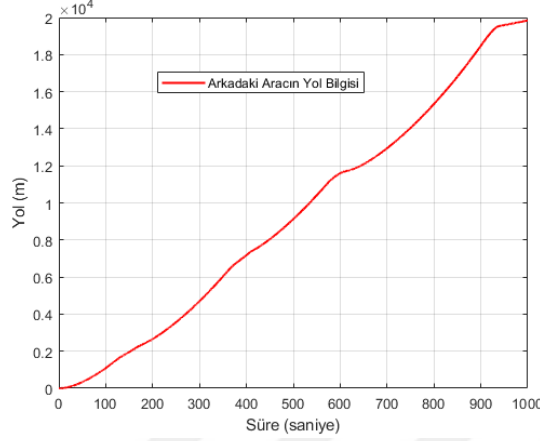


Şekil 5.132 Senaryo 7 Arkadaki Aracın Hız Zaman Grafiği

Şekil 5.132’de verilen arkadaki aracın hız zaman grafiğinde görüldüğü üzere arkadaki araç 100’üncü saniyeye kadar hızlanmıştır. 100’üncü saniyeden sonra öndeki aracın hız değişimine göre arkadaki aracın da hızı değişmiştir. 300’üncü saniyede öndeki aracın şerit değiştirmesi sebebiyle arkadaki aracın önünde bir araç kalmamıştır. Bu saniyeden itibaren Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, geleneksel hız sabitleyici sistemi gibi çalışmaya başlamıştır. Başka bir deyişle aracın hızını 36.1 m/s’ye çıkartmaya çalışmaktadır. 330’uncu saniyede hareketin başlangıcında önde bulunan araç tekrar şerit değiştirerek hareketin başında arkada bulunan aracın önüne gelmiştir ve Adaptif Hız Sabitleyici sistemi tekrar mesafe kontrolüne göre hız ayarlaması yapmaya başlamıştır. 330’uncu saniyeden itibaren öndeki aracın hızına göre arkadaki aracın da hızı değişmiş ve 906’ıncı saniyede arkadaki aracın hızı 36.1 m/s sabit hızla hareket etmiştir. Daha sonra öndeki aracın yavaşlamasıyla birlikte 947’inci saniyeye kadar yavaşlamış ve 947’inci saniyede öndeki aracı yakalayarak aracın hızını

öndeki araç ile eşitlemiştir. Bu andan itibaren iki araç aynı hızda ve aralarında 100 metre güvenli mesafe ile harekete devam etmiştir.

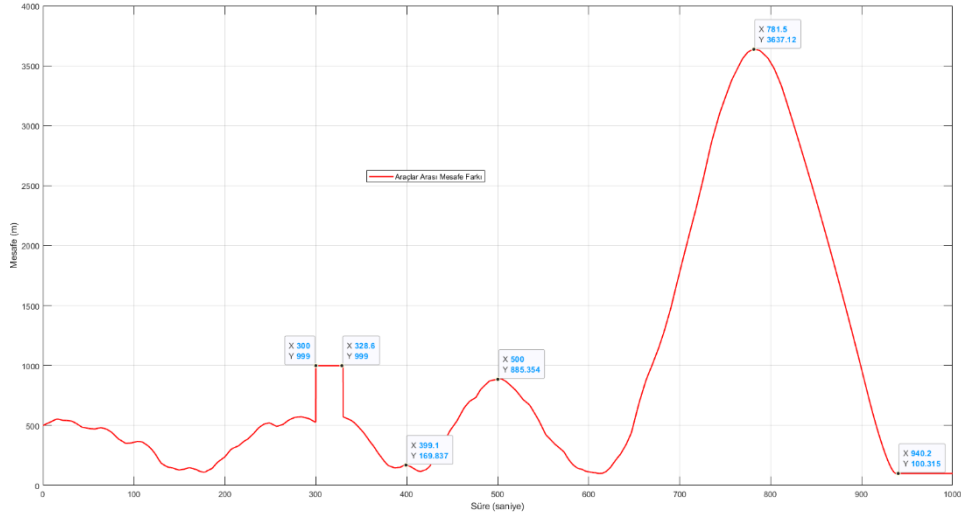
Şekil 5.133’de arkadaki aracın yol zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.133 Senaryo 7 Arkadaki Aracın Yol Zaman Grafiği

Şekil 5.133’de verilen yol zaman grafiğinde aracın hız değişimine bağlı olarak aldığı yolun artışı değişmektedir. Alınan yol birim zaman ile hızın çarpımına eşit olduğu için hız ne kadar yüksekse o kadar fazla yol alınmaktadır. Yol zaman grafiğinde aracın hızlandığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek arttığı için grafik artan bir eğime sahiptir. Yol zaman grafiğinde aracın yavaşladığı zamanlarda birim zamanda alınan yol giderek azaldığı için grafik azalan bir eğime sahiptir. Son olarak, yol zaman grafiğinde aracın sabit hızla gittiği zamanlarda araç sabit bir eğime sahiptir ve alınan yol lineer bir grafik oluşturmaktadır. Aracın aldığı yol, aracın hızlanmasına bağlı olarak 0 ile 100’üncü, 180 ile 354’üncü, 417 ile 571’inci ve 613 ile 906’ıncı saniyeler arasında artan bir şekilde devam etmiştir. Aracın aldığı yol, aracın yavaşlamasına bağlı olarak 100 ile 177’inci, 354 ile 417’inci, 571 ile 613’üncü ve 906 ile 947’inci saniyeler arasında azalan bir eğim ile devam etmiştir. 881 ile 913’üncü saniyeler arasında ve 947’inci saniyeden sonra aracın 5 m/s sabit hız ile hareket etmesi sonucunda yol zaman grafiği lineer bir şekilde devam etmiştir.

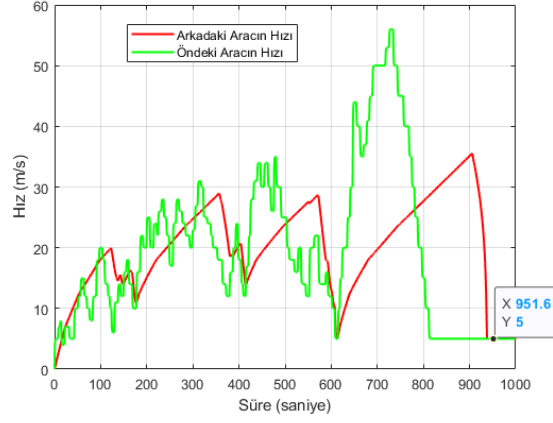
Şekil 5.134’de araçlar arasındaki mesafe gösterilmektedir.



Şekil 5.134 Senaryo 7 Araçlar Arası Mesafe

Şekil 5.134’de verilen mesafe grafiğinde araçlar arası mesafe başlangıç pozisyon farklarından ötürü 500 metredir. Araçlar arası mesafe 110’uncu saniyeden sonra ufak artışlar olsa da genellikle araçlar arası mesafe azalmaktadır. 300’üncü saniyede öndeki araç şerit değiştirmektedir. Şerit değiştirme bloğunun çalışması için araçlar arası mesafe 1000 metreye sabitlenmiştir. 300’üncü saniye ile 330’uncu saniye arasında araçlar farklı şeritlerde oldukları için aralarında mesafe sabit 1000 metre olarak gözükmemektedir. 330’uncu saniyede araçlar tekrar aynı şeride geldiklerinde 400’üncü saniyeye kadar araçlar arasındaki mesafe azalmış ve 400’üncü saniyede 169 metre olmuştur. Bu andan itibaren öndeki aracın hızlanmasıyla araçlar arasındaki fark 500’üncü saniyeye kadar artmış ve 500’üncü saniyede 885 metre olmuştur. Araçlar arası mesafe 781’inci saniyede 3637 metreye ulaşmıştır. Öndeki aracın yavaşlaması sonucu araçlar arası mesafe azalmış ve araçlar 947’inci saniyeden itibaren güvenli mesafe olan 100 metre ile hareket etmiştir.

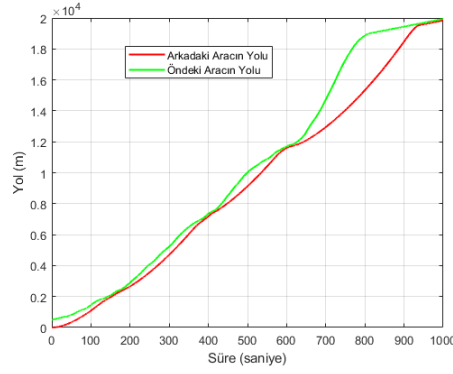
Şekil 5.135’de araçların hızlarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.135 Senaryo 7 Araçların Hızlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.135’de verilen grafikte iki aracın hız zaman grafikleri beraber gösterilmektedir. Şekilde, kırmızı çizgiler arkadaki aracın hızını, yeşil çizgiler ise öndeki aracın hızını göstermektedir. Öndeki araç kendisine tanımlanan hız zaman grafiğini takip etmektedir. 300’üncü saniyede şerit değiştirmesine rağmen hız zaman grafiğinde bir değişiklik yoktur. Arkadaki araç ise araçlar arası mesafe ve öndeki aracın başlangıçta bir hızı olması sebebiyle 100’üncü saniyeye kadar hızlanmaktadır. Başka bir deyişle, 100’üncü saniyeye kadar öndeki aracın hızındaki bir değişim arkadaki aracı etkilememekte ve arkadaki araç hızlanmaya devam etmektedir. 100’üncü saniyede öndeki araç ile olan mesafesi güvenli mesafeye yaklaştığı için öndeki aracın hızındaki değişimlere göre arkadaki aracın hızı da değişmektedir. Arkadaki araç, 300’üncü saniyeye öndeki aracı takip ettikten sonra öndeki aracın şerit değiştirmesinden sonra hızlanmaya başlamıştır. 330’uncu saniyede öndeki aracın tekrar şerit değiştirmesi sebebiyle mesafe kontrolü tekrar devreye girmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, arkadaki aracın hızını 330 ile 400’üncü saniyeler arasında öndeki aracın hız değişimine göre değiştirmiştir. Arkadaki araç 600’üncü saniyeden itibaren öndeki aracın hızlanma ivmesine yetişememiş ve ancak 947’inci saniyeye kadar öndeki aracı yakalamayı başarmıştır. 947’inci saniyeden itibaren iki araç da 5 m/s sabit hızla hareket etmeye başlamıştır.

Şekil 5.136’da araçların yollarının karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 5.136 Senaryo 7 Araçların Yol Bilgilerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.136’da verilen yol bilgilerinin karşılaştırılması grafiğine göre arkadaki araç 150’inci saniyeden itibaren öndeki aracı takip etmektedir. 300’üncü saniyede öndeki aracın şerit değiştirmesinden sonra araçlar farklı şeritlerde hareket etmeye başlamıştır. Araçların aldıkları yol birim zamandaki sahip oldukları hızın çarpımıdır. Araçların 300’üncü saniye ile 330’üncü saniye arasında aldıkları yol, hareketin başında arkadaki aracın hareketin başında öndeki aracı geçemediğini göstermektedir. Grafiğe bakıldığı zaman 350 ile 400’üncü ve 550 ile 600’üncü saniyeler arasında arkadaki araç öndeki aracı takip ettiği görülmektedir. 947’inci saniyeden itibaren araçlar aynı hızda hareket etmiş ve arkadaki araç öndeki aracı başarıyla takip etmiştir.

Senaryo 7’de tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin şerit değişikliği yaptığındaki durumu ve tekrar aracın önüne gelmesi durumundaki hareketi gözlemlenmiştir. Bu senaryo kapsamında öndeki araç belirli bir zaman aralığında şerit değiştirmekte ve bu zaman aralığında araçlar farklı şeritlerde hareket etmektedir. Bu süre kapsamında Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin aracı sürücü tarafından belirlenen maksimum hıza kadar hızlandığı ve o hızda sabit hareket ettiği görülmüştür. Şerit değiştiren araç tekrar aracın önüne geldiğinde ise mesafe kontrolü algoritması gereği aracın hızını öndeki araç ile güvenli mesafeyi koruyacak şekilde kontrol ettiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, beklendiği üzere Adaptif Hız Sabitleyici sistemi öndeki aracın şerit değiştirdiğini anlayarak hızını sürücü tarafından tanımlanan maksimum hıza çıkartmış ve bu değerde sabit hızlı hareket etmiştir. Daha sonra araç tekrar önüne geldiğinde ise tekrar mesafe kontrol algoritmasını başarıyla devreye almıştır. Bu durumda, tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin şerit değişikliğini algılama özelliği olduğu görülmektedir.

Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi 7 farklı senaryo ile test edilmiştir. Bu testlerin sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde sistemin sahip olması gereken kararlılık, mesafe ve hız kontrolü, yolcu konforu ve güvenlik performans kriterlerini sağladığı görülmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi kararlı olmalıdır. Kararlılık için sistemin mesafe hatasını olabildiğince az yapması ve hata olması durumunda bir kazaya sebep vermeden hatayı düzeltebilmelidir. Tasarlanan sistem sadece Senaryo 5 kapsamında $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerleriyle bir mesafe hatası yapmış ve bu mesafe hatasını kazaya sebep vermeyecek şekilde düzeltmiştir. Bu durumdan yola çıkarak, tasarlanan PID denetimcisinde $K_p = 1000$ $K_i = 80$ $K_d = 0$ değerlerinin kullanıma uygun olmadığı görülmektedir. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi mesafe ve hız kontrolü yapabilmelidir. Mesafe ve hız kontrolü sistemin istenildiği gibi çalışması için elzemdir. Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi her durumda mesafe ve hız kontrolünü başarıyla yapmaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi yolcular açısından konforlu olmalıdır. Yolcu konforunu etkileyebilecek sert frenleme, sert hızlanma gibi hareketleri yapmamalı, yumuşak bir sürüş sağlamalıdır. Tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi durması gerektiği durumlarda bile sert bir frenleme yapma ihtiyacı duymamıştır. Hızlanma durumlarında ise dik bir ivmelenme görülmemiştir. Adaptif Hız Sabitleyici güvenli olmalıdır. Farklı durumlar ile test edildiğinde benzer ve tutarlı sonuçlar vermelidir. Bu kriterin yerine getirilmesi amacıyla 7 farklı senaryo denenmiş ve senaryolar gerçek dünyada görülebilecek ihtimallere dayandırılmıştır. Bu senaryolar sonucunda elde edilen sonuçlara bakıldığında istenmeyen bir durum görülmemiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlk otomobilin tasarımından günümüze kadar her teknolojiye olduğu gibi otomotiv endüstrisi de sürekli bir gelişime göstermiştir. Gelişen otomotiv endüstrisi ile beraber otomobillerin insan hayatındaki yeri ve kullanımları artmıştır. Artan kullanım ile birlikte trafik kazaları ve bu kazalardan kaynaklı can kayıpları, maddi ve manevi hasarlar arttırmıştır. İnsan güvenliğine verilen önemin artışı ile beraber otomotiv endüstrisi yaşanan can kayıplarını ve hasarları azaltmak için çözüm arayışlarına girmiştir. Bu arayış kapsamında değişen insan ihtiyaçlarına uygun olarak ADAS sistemleri geliştirilmiştir. ADAS sistemlerinin amacı sürücüye destek olarak can kaybını, maddi ve manevi hasarları azaltmak, sürücü ve yolcu konforunu ve lüksünü arttırmaktır. Bu sistemlerden biri olarak ortaya çıkan Adaptif Hız Sabitleyici sistemi aracın gaz ve fren pedallarının kontrolünü yaparak aracın öndeki araç ile güvenli bir mesafe içerisinde hareket etmesini ve bu sayede sürücünün yaşadığı yorgunluğu minimuma indirmeyi amaçlamaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici sistemi, sahip olduğu çevre bileşenleri ile araçlar arasındaki mesafe bilgisine sahip olarak güvenli mesafeyi koruyacak şekilde aracın hızını kontrol etmektedir.

Bu tezde, günümüz otomotiv endüstrisinin önemli parçalarından olan Sürücü Destek Sistemlerinden biri olan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kontrolcüler, araç dinamikleri ve çevre bileşenler ile birleştirilerek çeşitli senaryolar ile test edilmiştir. Bu testlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan tasarım için Matlab ve Simulink kullanılmıştır. Tasarımın geliştirmeye açık olmasını sağlamak amacıyla, tasarım modüler bir yapıda yapılmıştır. Tasarımın doğrulanması için gerçek hayatta karşılaşılabilecek durumlar seçilmiş ve yolcu güvenliği, yolcu konforu ve güvenilirlik gibi kriterler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Doğrulama işlemlerinin gerçek hayat ile benzer olması için araç modeli, frenleme modeli ve vites ve hızlanma modeli sistem ile birleştirilmiştir. Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin öndeki aracın şerit değişikliği durumunu değerlendirmesi gerektiği için şerit değişikliği için ayrı bir blok tasarlanmış ve sisteme entegre edilmiştir.

Tez kapsamında iki adet kontrolcü tasarlanmıştır. Bu kontrolcülerden ilkinde PID denetimcisi kullanılırken ikinci kontrolcüde MPC denetimcisi kullanılmıştır. Her iki kontrolcünün de kendilerine ait mesafe kontrol algoritması bulunmaktadır. Bu algoritma, aracın radar, LIDAR veya kamera gibi çevre denetim sistemlerine sahip olduğu

varsayılmıştır. Denetim sistemleri düzenli olarak aracın etrafındaki engelleri tespit etmekte ve bu engeller ile aracın mesafesini kontrolcüyeye bildirmektedir. Gelen mesafeye göre kontrolcü aracın hızını kontrol etmekte ve araçlar arası güvenli mesafeyi korumaktadır. PID kullanılarak tasarlanan kontrolcüde kazanç değerlerinin sisteme olan etkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. K_p , K_i ve K_d değerleri değiştirilerek sisteme etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında K_p değerindeki değişimin aracın hızlanmasına ve öndeki aracı takip etmesine etkisinin kısıtlı olduğu, fakat K_p değerinin belirli bir değerin altına indirilmesi durumunda aracın dengesinin bozularak güvenli mesafeyi ihlal etme durumu olduğu görülmüştür. K_d değerinin aracın hızlanmasına ve öndeki aracı takip etmesine bir etkisi olmadığı, fakat belirli bir değerde aracın dengelenmesini bozabileceği ve K_i değerindeki artışın aracın hızlanmasına, maksimum hıza ulaşmasına ve öndeki aracı takip etmesine olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, K_i değerindeki azalışın aracın öndeki aracı yakalama konusunda daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumda, tasarlanan sistem için K_i değerinin artırılmasının aracın maksimum hıza ulaşma süresini kısalttığı, K_i değerinin azaltılmasının ise tasarlanan sistem için araç takibi konusunda olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde PID denetimsi ile tasarlanan sistemin, MPC ile tasarlanan sistemden K_p , K_i ve K_d değerlerinden bağımsız olarak daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. PID denetimsinin MPC denetimcisine göre literatürde belirtilen ulaşılabilirlik, tasarım ve maliyet avantajlarına ek olarak daha istenilen sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yapılan bu çalışma kapsamında tasarlanan Adaptif Hız Sabitleyici sisteminin içermesi gereken geleneksel hız sabitleyici özelliğine, araç takip özelliğine, hız kontrolü özelliğine, “Stop&Go” özelliğine ve şerit değişikliği özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Tasarlanan sistemin aracın hızını araçlar arası mesafe tanımlanan güvenli mesafeye inecek şekilde arttırdığı, aracı güvenli mesafeyi koruyacak şekilde yavaşlattığı, önündeki aracın yaptığı şerit değişikliğini algıladığı ve gerektiği durumda aracı durdurabildiği görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında sistemin başarıyla çalıştığı görülmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak sistemin gerçek bir araç üzerinde denenmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır. Simülasyon ortamında elde edilen olumlu sonuçlar ile araç üzerinde elde edilen sonuçlar değerlendirilmeli ve görülen farklara göre sistemde güncellemeler yapılmalıdır. Buna ek olarak, sisteme araçlar arası ve araç ile objeler arası haberleşme özellikleri eklenerek Kooperatif Adaptif Hız Sabitleyici sistemine çevrilmesi konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Eklenen bu haberleşme sistemleri ile sistemin performans kriterleri

değerlendirilmelidir. Ayrıca, araçlar arası iletişim eklenerek trafikte konvoy sistemi oluşturarak yoğun bir trafikte araçlar arası iletişimin etkisi değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] H. Bingöl, "String Stability Analysis Of Cooperative Adaptive Cruise," M.S. thesis, Dept. Electronic and Communication Engineering, Çankaya Univ., Çankaya, Ankara, 2017.
- [2] TUİK, "Motorlu Kara Taşıtları" <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=Sqdhg09GhPBbfpStMJ4Pq11SrvydJxwVsSpKWdK2GlJbLn7fmCHR!1955124248?id=37411>, [Erişim Tarihi: 17 Mart 2021].
- [3] M. Mohtavipour, H. Darvish Gohari, H. Shahhoseini, "Improvement of Adaptive Cruise Control Performance by Considering Initialization States," in *Universal Journal of Control and Automation*, vol. 3. pp. 53-61, Sept. 2015, doi: 10.13189/ujca.2015.030303.
- [4] M. Peden, "World Report on Road Traffic Injury Prevention," World Health Organization, 2004.
- [5] S. Awad, D. Colella, A. Shaout, "Advanced Driver Assistance Systems- Past, Present and Future," in *Computer Engineering Conference (ICENCO)*, pp. 72-82, 2011.
- [6] TUİK, "Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri," <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33628>, [Erişim Tarihi: 01 Mayıs 2021].
- [7] G.A. Peters, B.J. Peters, "Automotive Vehicle Safety," in *CRC Press*, 2003.
- [8] Govt. of Canada, "Transportation in Canada - Comprehensive Review," 2011.
- [9] M. Nagai, "The Perspective of Research for Enhancing Active Safety Based on Advanced Control Technology," in *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Vol. 45, pp. 413-431, May, 2007.
- [10] İ. Kılıç, "Radar Algılayıcısı Tabanlı Uyarlamalı Hız Kontrol Sistemi," M.S. thesis, Dept. Electrical and Electronics Engineering, Eskişehir Osmangazi Üniv., 2016..
- [11] L. Li, D. Wen, N. Zheng and L. Shen, "Cognitive Cars: A New Frontier for ADAS Research," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 395-407, March 2012, doi: 10.1109/TITS.2011.2159493.
- [12] V.V Sivaji1, Dr. M.Sailaja, "Adaptive Cruise Control Systems for Vehicle Modeling Using Stop and Go Manoeuvres," in *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp.24.

- [13] S. Chamraz and R. Balogh, "Two Approaches To The Adaptive Cruise Control (ACC) Design," in *Cybernetics & Informatics (K&I)*, Lazy pod Makytou, Slovakia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/CYBERI.2018.8337542.
- [14] W. D. Jones, "Keeping Cars From Crashing," in *IEEE Spectrum*, vol. 38, no. 9, pp. 40-45, Sept. 2001, doi: 10.1109/6.946636.
- [15] M. Bursa, "Big Names Invest Heavily in Advanced ITS Technology," in *ISATA Mag.*, no. 8, pp. 24–30, 2000.
- [16] J. Crosse, "Tomorrow's World," in *Automotive World*, pp. 46–48, Jan./Feb. 2001.
- [17] Y.S. Ding, H. Ying, S. Shao, "PI And PD Fuzzy Controllers Analytical Structures And Stability Analysis" in *Information Sciences*. Vol. 151, pp.245-262, May, 2003, doi: 10.1016/S0020-0255(02)00302-X.
- [18] J. Koziol, J. Hitz, W. G. Najm, S. Chen, A. Lam, V. Inman, M. Carter, M. Penic, M. Jenson, M. Baker, M. Robinson, and C. Goodspeed, "Evaluation of the Intelligent Cruise Control System. Volume I: Study Results", Cambridge, 1999.
- [19] J. E. Naranjo, C. Gonzalez, R. Garcia and T. de Pedro, "ACC+Stop&Go Maneuvers With Throttle And Brake Fuzzy Control," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 213-225, June 2006, doi: 10.1109/TITS.2006.874723.
- [20] "Scenarios And Evaluation Framework For City Case Studies," in *Stardust EU Project EVK4-CT-2000-00024*, European Commission Fifth Framework Programme Energy, Environment and Sustainable Development Programme Key Action 4.
- [21] J. P. Laumond, "Robot Motion Planning and Control", in *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol. 229, New York, 1998.
- [22] S. Echegaray and Wenbin Luo, "The modular design and implementation of an intelligent cruise control system," in *2008 IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, pp. 1-6, 2008, doi: 10.1109/SYSOSE.2008.4724152.
- [23] L. H. Yang, X. Q. Zhang, J. K. Zhang, and J. T. Liu, "The Research of Car-Following Model Based on Real-Time Maximum Deceleration", in *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [24] Y. Ying and O. Odunayo Solomon, "Research on Adaptive Cruise Control Systems and Performance Analysis Using Matlab and Carsim," 2017 5th International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering (CMAME), pp. 249-253, 2017.
- [25] P. Venhovens, K. Naab, and B. Adiprasito, "Stop and Go Cruise Control," in *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 61–69, 2000.

- [26] A. Vahidi and A. Eskandarian, "Research advances in intelligent collision avoidance and adaptive cruise control," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, no. 3, pp. 143-153, Sept. 2003, doi: 10.1109/TITS.2003.821292.
- [27] M. Hoedemaeker, "Driving behaviour with ACC and the acceptance by individual drivers," PhD thesis, Delf Univ., 1999.
- [28] Dr. Lingxi Li, Chair, Dr. Yaobin Chen, Dr. Brian King, "Design And Modeling of Adaptive Cruise Control System Using Petri Nets With Fault Tolerance Capabilities," M.S. Thesis, Electrical and Computer Engineering, Purdue Univ., Indianapolis, India, 2018.
- [29] U. Karapınar, "Uyarlamalı Araç Takip Sistemlerinde Model Öngörülü Kontrol Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Çalışma," Computer Engineering and Computer Science and Control, İstanbul Technical Univ., İstanbul, 2017.
- [30] L. Vlacic, M. Parent, and F. Harashima, "Intelligent Vehicle Technologies: Theory And Applications" 2001.
- [31] R. Labayrade, C. Royere, D. Gruyer, and D. Aubert, "Cooperative Fusion for Multi-Obstacles Detection With Use of Stereovision and Laser Scanner," in *Autonomous Robots*, vol. 19., pp. 117-140. 2005, doi: 10.1007/s10514-005-0611-7.
- [32] "Future-Oriented Technologies Revolutionise Active Vehicle Safety - Driverassistance Systems Of The Future," in *Volkswagen of America News*, Jan, 2004..
- [33] B. Peters, "ADAPTATION EVALUATION: An Adaptive Cruise Control (ACC) System Used by Drivers with Lower Limb Disabilities," in *International Association of Traffic and Safety Science*, vol . 25(1), p. 51-60, Dec. 2001.
- [34] J. Zhou and H. Peng, "Range policy of adaptive cruise control vehicles for improved flow stability and string stability," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 229-237, June 2005, doi: 10.1109/TITS.2005.848359.
- [35] K. Sailan, and K.D. Kuhnert, "Modeling And Design Of Cruise Control System With Feedforward For All Terrian Vehicles," in *Computer Science & Information Technology*, vol. 3, pp. 339-349, 2013, doi: 10.5121/csit.2013.3828.
- [36] S.J. Ko and J.J. Lee, "Fuzzy logic based adaptive cruise control with guaranteed string stability," in *2007 International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 15-20, 2007, doi: 10.1109/ICCAS.2007.4406871.
- [37] L. Peppard, "String stability of relative-motion PID vehicle control systems," in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, no. 5, pp. 579-581, October 1974, doi: 10.1109/TAC.1974.1100652.

- [38] J. Junell, and K. Tumer, "Robust Predictive Cruise Control for Commercial Vehicles" in *International Journal of General Systems*, vol. 42(7), pp.776-792, 2013.
- [39] S. Li, K. Li, R. Rajamani and J. Wang, "Model Predictive Multi-Objective Vehicular Adaptive Cruise Control," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 556-566, May 2011, doi: 10.1109/TCST.2010.2049203.
- [40] N. J. Kohut, J. K. Hedrick and F. Borrelli, "Integrating Traffic Data and Model Predictive Control to Improve Fuel Economy" in *Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Transportation Systems*, vol. 42(15), pp.155-160, 2009.
- [41] P.A. Ioannou, Z. Xu, S. Eckert, D. Clemons, T. Sieja, "Intelligent Cruise Control: Theory and Experiment" in *Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Decision and Control*, pp.1885–1890, 1993, doi:10.1109/CDC.1993.325521.
- [42] L. Luo, H. Liu, H. Wang and P. Li, "Model Predictive Control for Adaptive Cruise Control With Multi-Objectives: Comfort, Fuel-Economy, Safety and Car-Following," in *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 11, pp. 191-201, 2010.
- [43] D. Corona and B. De Schutter, "Adaptive Cruise Control for a SMART Car: A Comparison Benchmark for MPC-PWA Control Methods," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 365-372, March 2008, doi: 10.1109/TCST.2007.908212.
- [44] V. L. Bageshwar, W. L. Garrard and R. Rajamani, "Model predictive control of transitional maneuvers for adaptive cruise control vehicles," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 5, pp. 1573-1585, Sept. 2004, doi: 10.1109/TVT.2004.83362.
- [45] R.Günay (2019), "Modeling and Experimental Study of Adaptive Cruise Control System, M.S. Thesis. Institute of Sciences and Engineering, Okan University, 2019.
- [46] K. Kamesh, A. Madhusoodanan ve A. Gajendran, "Autoplug - Adaptive Cruise Control", University of Pennsylvania School of Engineering and Applied Science Department of Electrical and Systems Engineering.
- [47] S. H. Hosseinnia et.al, "Experimental Application of Hybrid Fractional-Order Adaptive Cruise Control at Low Speed," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 22, no. 6, pp. 2329-2336, Nov. 2014.
- [48] A. Apparna, A. Aishwarya, "Adaptive Cruise Control for Vechile Modelling Using MATLAB," in *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, pp. 82-88, 2017, doi: 10.9790/1676-1202028288.

- [49] T. Takahama, D. Akasaka "Model Predictive Control Approach to Design Practical Adaptive Cruise Control for Traffic Jam," in *Society of Automotive Engineers of Japan*, 2017.
- [50] A. Rosenfeld, Z. Bareket, C.V. Goldman, D.J. LeBlanc and O. Tsimhoni, "Learning Drivers' Behavior to Improve Adaptive Cruise Control," in *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 19(1), pp. 18-31, 2015, doi: 10.1080/15472450.2014.889960.
- [51] Giulio Francesco Bianchi Piccinini, Carlos Manuel Rodrigues, Miguel Leitão, Anabela Simões, "Driver's Behavioral Adaptation to Adaptive Cruise Control (ACC): The Case of Speed And Time Headway," in *Journal of Safety Research*, vol. 49, pp. 77.e1-84, 2014.
- [52] J. Martinez and C. Canudas-de-Wit, "A Safe Longitudinal Control for Adaptive Cruise Control and Stop-and-Go Scenarios," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 246-258, March 2007, doi: 10.1109/TCST.2006.886432.
- [53] W. Batayneh, O. Al-Araidah, K. Bataineh, A. Al-Ghasem "Fuzzy-Based Adaptive Cruise Controller with Collision Avoidance and Warning System." in *Mechanical Engineering Research*, vol. 3, pp. 143, 2013.
- [54] W. Wenguang, D. Zou, J. Ou, and L. Hu, "Adaptive Cruise Control Strategy Design with Optimized Active Braking Control Algorithm" in *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, doi: 1-10. 10.1155/2020/8382734.
- [55] F. Schrödel, P. Herrmann, and N. Schwarz, "An Improved Multi-Object Adaptive Cruise Control Approach," in *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, vol. 52, no. 8, pp. 176–181, 2019.
- [56] P. Shakouri, A. Ordys, D. S. Laila, M. Askari "Adaptive Cruise Control System: Comparing Gain-Scheduling PI and LQ Controllers." in *Preprints of the 18th IFAC World Congress*, vol. 44, pp. 12964-12969, 2011.
- [57] P. Shakouri, J. Czczot and A. Ordys, "Adaptive Cruise Control System using Balance-Based Adaptive Control technique," in *2012 17th International Conference on Methods & Models in Automation & Robotics (MMAR)*, pp. 510-515, 2012.
- [58] S.Zhang, X.Zhuan, "Study on Adaptive Cruise Control Strategy for Battery Electric Vehicle," in *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/7971594.
- [59] D.Zhao, Z.Hu, Z.Xia, C.Alippi, Y.Zhu, D.Wang, "Full-Range Adaptive Cruise Control Based on Supervised Adaptive Dynamic Programming," 2014.
- [60] R. Rizvi, S. Kalra, C. Gosalia and S. Rahnamayan, "Fuzzy Adaptive Cruise Control system with speed sign detection capability," in *2014 IEEE International*

- Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2014, pp. 968-976, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2014.6891748.
- [61] R. Rajamani and C. Zhu, "Semi-autonomous adaptive cruise control systems," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, no. 5, pp. 1186-1192, Sept. 2002, doi: 10.1109/TVT.2002.800617.
 - [62] A. P. Girard, S. Spry and J. K. Hedrick, "Intelligent cruise control applications: real-time embedded hybrid control software," in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 22-28, March 2005, doi: 10.1109/MRA.2005.1411415.
 - [63] H. A. Research, "ADAS: Everything You Need to Know," Car and Driver, 13-Nov-2020. [Online]. Available: <https://www.caranddriver.com/research/a31880412/adas/>. [Erişildi: 14-Mayıs-2021].
 - [64] "What is ADAS?," GlobalEdge Software, 28-Aug-2019. [Online]. Available: <https://www.globaledgesoft.com/what-is-adas/>. [Erişildi: 14-Mayıs-2021].
 - [65] 2020 Mobility Insider October 02, "What Is ADAS?," Aptiv. [Online]. Available: <https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-adas/>. [Erişildi: 14-Mayıs-2021].
 - [66] IIHS, "Real-world benefits of Crash Avoidance Technologies," in *Insurance Institute for Highway Safety*, Highway Loss Data Institute, 501(c)(3) organizations, December 2020.
 - [67] M. Schneider, "Automotive Radar Status and Trends," in *GeMiC*, 2005.
 - [68] V. A. Kovalev, W. E. Eichinger, "Elastic LIDAR: Theory, Practice, And Analysis Methods", 2004, doi:10.1002/0471643173.
 - [69] J. Kocic, N. Jovicic, V. Drndarevic, "Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicle," in *6th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 420-425, 2018, doi: 10.1109/TELFOR.2018.8612054.
 - [70] H. H. Meinel, "Evolving automotive radar — From the very beginnings into the future," in *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*, 2014, pp. 3107-3114, doi: 10.1109/EuCAP.2014.6902486.
 - [71] "ADAS Cameras for Advanced Driver Assistance Systems | Jabil". [Online]. Available: <https://www.jabil.com/industries/automotive-electronics-components/adas-camera-system.html>. [Erişildi: 02-Nisan.-2021].
 - [72] F. Karagöz, "Elektrikli Araçlar İçin Bulanık Mantık Denetleyicili Uyarlamalı Seyir Kontrol Sistemi Tasarımı ve Simulasyonu," M.S. thesis, Electrical and Electronics Engineering, Gazi Univ., 2017.

- [73] W. Pananurak, S. Thanok and M. Parnichkun, "Adaptive cruise control for an intelligent vehicle," in *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2009, pp. 1794-1799, doi: 10.1109/ROBIO.2009.4913274.
- [74] Anıl Onur CANBAZ (2017), "Evaluation Of Performance And Power Consumption When Different Controllers Are Used On Adaptive Cruise Control Of An Electric Vehicle," M.S. thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yeditepe University, 2017.
- [75] S. Eyidilli, "Otomatik fren sistemi 2022 itibariyle ABDde standart donanım olacak," Webrazzi, 01-Mar-2021. [Online]. Available: <https://webrazzi.com/2016/03/21/otomatik-fren-sistemi-2022-itibariyle-abdde-standart-donanim-olacak/>. [Erişildi: 02-Mayıs-2021].
- [76] "Bosch'tan Otomatik Park Destek Sistemi," Kamyonum, 12-Jan-2009. [Online]. Available: <https://www.kamyonum.com.tr/haber/Bosch-tan-Otomatik-Park-Destek-Sistemi/13294>. [Erişildi: 02-Mayıs-2021].
- [77] F. Delibalta and Y. 360, "Kör Nokta Uyarı Sistemi Nedir, Kör Nokta Uyarı Sistemi Ne İşe Yarar?" Yolcu360, 06-Nov-2019. [Online]. Available: <https://yolcu360.com/blog/kor-nokta-uyari-sistemi-nedir-ne-ise-yarar/>. [Erişildi: 02-Mayıs-2021].
- [78] L. M. Bergasa, J. Nuevo, M. A. Sotelo, R. Barea and M. E. Lopez, "Real-time system for monitoring driver vigilance," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 63-77, March 2006, doi: 10.1109/TITS.2006.869598.
- [79] C. Papadelis et al "Monitoring Sleepiness With On-Board Electrophysiological Recordings For Preventing Sleep-Deprived Traffic Accidents," in *Clinical Neurophysiology*, vol. 118, Issue 9, pp. 1906-1922, 2007, doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.031.
- [80] C. Lin et al., "A Real-Time Wireless Brain-Computer Interface System for Drowsiness Detection," in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 214-222, Aug. 2010, doi: 10.1109/TBCAS.201.
- [81] Y. Takei and Y. Furukawa, "Estimate of driver's fatigue through steering motion," in *2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2005, pp. 1765-1770 Vol. 2, doi: 10.1109/ICSMC.2005.1571404.
- [82] T. Wakita, K. Ozawa, C. Miyajima, K. Igarashi, K. Itou, K. Takeda, F. Itakura, "Driver identification using driving behavior signals," in *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E89-D(3), pp. 1188-1194, 2006.
- [83] J. C. McCall, M. M. Trivedi, D. Wipf and Bhaskar Rao, "Lane Change Intent Analysis Using Robust Operators and Sparse Bayesian Learning," in *2005 IEEE*

Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops, 2005.

- [84] T. Chang, C. Hsu, C. Wang and L. Yang, "Onboard Measurement and Warning Module for Irregular Vehicle Behavior," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 501-513, Sept. 2008, doi: 10.1109/TITS.2008.928243.
- [85] M. Suzuki et. al, "Measurement of Driver's Consciousness by Image Processing -A Method for Presuming Driver's Drowsiness by Eye-Blinks coping with Individual Differences " in *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2006.
- [86] T. D'Orazio, M. Leo, C. Guaragnella, A. Distanto, "A Visual Approach For Driver Inattention Detection," in *Pattern Recognition*, vol. 40(8), pp. 2341-2355, 2007.
- [87] Q. Ji, X. Yang, "Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking For Monitoring Driver Vigilance," in *Real-Time Imaging*, vol. 8(5), pp. 357-377, 2002.
- [88] L. Bretzner and M. Krantz, "Towards low-cost systems for measuring visual cues of driver fatigue and inattention in automotive applications," in *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp. 161-164, 2005.
- [89] J. Heinzmann, D. R. D. Tate, R. Scott, "Using technology to eliminate drowsy driving," in *SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*, Nice, France, 15-17 April 2008.
- [90] "VW Sözlük | Yorgunluk Tespit Sistemi 'Fatigue Detection'". [Online]. Available: <https://binekarac2.vw.com.tr/vwsozluk/ShowComponent.aspx?ComponentID=17723>. [Erişildi: 22-Mayıs.-2021].
- [91] S. Kumar, K.B. Moore "The Evolution of Global Positioning System (GPS) Technology," in *Journal of Science Education and Technology*, vol. 11, pp. 59-80, 2002.
- [92] K. J. Bryden, J. L. Charlton, J. A. Oxley, G. J. Lowndes, "Acceptance of Navigation Systems By Older Drivers," in *Gerontechnology*, vol. 13(1), pp. 21-28, 2014.
- [93] "Navigasyon Sistemi," Volkswagen Türkiye Binek Araç Modellerini Keşfedin. [Online]. Available: <https://binekarac2.vw.com.tr/vwsozluk/ShowComponent.aspx?ComponentID=17718>. [Accessed: 22-May-2021].
- [94] "Otomatik Şerit Koruma Sistemi Nedir ve Nasıl Çalışır? | Karel". [Online]. Available: <https://www.karel.com.tr/blog/otomatik-serit-koruma-sistemi-nedir-ve-nasil-calisir>. [Erişildi: 22-Mayıs-2021].

- [95] F. Delibalta and Y. 360, "Kör Nokta Uyarı Sistemi Nedir, Kör Nokta Uyarı Sistemi Ne İşe Yarar?" Yolcu360, 06-Nov-2019. [Online]. Available: <https://yolcu360.com/blog/kor-nokta-uyari-sistemi-nedir-ne-ise-yarar/>. [Erişildi: 02-Mayıs-2021].
- [96] E. K. Liebemann, K. Meder, J. Schuh and G. Nenninger, "Safety and Performance Enhancement: the Bosch Electronic Stability Control (ESP)," in *SAE Technical Paper 2004-21-0060*, 2004.
- [97] A. T. van Zanten, "Bosch ESP Systems: 5 years of Experience", in *SAE Technical Paper 2000-01-1633*, 2000.
- [98] "ESP Nedir ve Nasıl Çalışır? - Otomobil Dünyası". [Online]. Available: <https://www.otohocam.com/2020/10/esp-nedir-ve-nasil-calisir.html>. [Erişildi: 22-Mayıs-2021].
- [99] "Geri Görüş Kamerası Nedir? | Tasit.com". [Online]. Available: <https://www.tasit.com/araba-sozlugu/arka-kamera-nedir>. [Erişildi: 22-Mayıs-2021].
- [100] Trafik İşareti Tanıma Sistemi". [Online]. Available: <https://honda.com.tr/otomobil/sozluk/trafik-isareti-tanima-sistemi>. [Erişildi: 22-Mayıs-2021].
- [101] G. Zhang, Z. Wang, B. Fan, L. Zhao, Y. Qi, "Adaptive Cruise Control System with Traffic Jam Tracking Function Based on Multi-sensors and the Driving Behaviour of Skiller Drivers," in *SAGE Journals, Advances in Mechanical Engineering*, vol.10, issue 9, 2018.
- [102] MIT, "Adaptive Cruise Control System Overview".The 5th Meeting of the U.S Software System Safety Working Group, Anaheim, California, 2005.[Online]. Available: http://sunnyday.mit.edu/safety-club/workshop5/Adaptive_Cruise_Control_Sys_Overview.pdf.
- [103] A. Ganguli, R. Rajamani, "Tractable model development and system identification for longitudinal vehicle dynamics." in *SAGE Journals, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part D: Automobile Engineering, vol. 218, pp. 1077-1084, 2004.
- [104] A. Fulton, "The many uses of Radar in vehicles," RadarIQ, 08-Jun-2020. [Online]. Available: <https://radariq.io/blogs/all/the-many-uses-of-radar-in-vehicles>.
- [105] Intelligent Transport Systems – Adaptive Cruise Control Systems – Performance Requirements and Test Procedures, ISO 15622:2018 ,2018.
- [106] Erhan Özkaya, "Controller Parameter Tuning For An Adaptive Cruise Control System Based On Particle Swarm Optimization Approach," M.S. Thesis Dept. Mechn.Eng., Istanbul Technical University, 2019.

- [107] H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer, "Handbook of Driver Assistance Systems: Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort," *Springer International Publishing*, 2016.
- [108] R. Rajamani, "Vehicles Dynamics and Control", in *Springer*, New York, 2006..
- [109] L. Xiao, F.Gao, "A Comprehensive Review of the Development of Adaptive," in *Vehicle System Dynamics*, vol. 48, pp. 1167–1192, October 2010.
- [110] C. Liang, "Traffic-Friendly Adaptive Cruise Control Design," Ph.D. thesis., University of Michigan, 2000.
- [111] R.A.P.M. van den Bleek, "Design of a Hybrid Adaptive Cruise Control Stop-&-Go System," M.S. thesis, Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology, 2007.
- [112] C.J.G. v. Driel, "Driver Support in Congestion: An Assessment Of User Needs and Impacts on Driver and Traffic Flow," PhD thesis, University of Twente, 2007.
- [113] S. Sheikholeslam and C. A. Desoer, "Longitudinal Control of a Platoon of Vehicles," in *1990 American Control Conference*, 1990, pp. 291-296, doi: 10.23919/ACC.1990.4790743.
- [114] K.Sanggyum, "Design of the Adaptive Cruise Control Systems: An Optimal Control Approach," Doctor of Philosophy, Dept. Mechn.Eng., University of California, Berkeley, 2012.
- [115] Y. Takae, M. Iwai, M. Kubota, and T. Watanabe, "A Study of Drivers' Trust in a Low-Speed Following System," in *SAE Technical Paper 2005-01-0430*, 2005, doi: 10.4271/2005-01-0430.
- [116] Y. He, B. Ciuffo, Q. Zhou, M. Makridis, K. Mattas, J. Li, Z. Li, F. Yan, H. Xu, "Adaptive Cruise Control Strategies Implemented on Experimental Vehicles: A Review," in *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, issue 5, pp. 21-27, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.09.004.
- [117] PID Controller : Working, Types, Advantages & Its Applications,” ElProCus, 16-Nov-2020. [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/the-working-of-a-pid-controller/>. [Erişildi: 23-Ekim-2021].
- [118] I. Boiko, Non-parametric tuning of PID controllers. Springer International Publisher Science, 2013.
- [119] K. J. Aström, "PID Control," in *Control System Design*, pp.216-251, 2002.
- [120] M. A. Johnson and M. H. Moradi, "PID Control," in *New York: Springer-Verlag London Limited*, 2005.

- [121] PID Controller. [Online]. Available: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2012/fas57_nyp7/Website/pidcontroller.html. [Erişildi: 23-Ekim-2021].
- [122] PI, PD, and PID Controllers, [Çevrimiçi]. Available: [URLhttps://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Introduction_to_Control_Systems_\(Iqbal\)/03%3A_Feedback_Control_System_Models/3.3%3A_PI%2C_PD%2C_and_PI](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Introduction_to_Control_Systems_(Iqbal)/03%3A_Feedback_Control_System_Models/3.3%3A_PI%2C_PD%2C_and_PI), 2021.
- [123] “How to get a closed-loop PID controller from a transfer function,” iTecTec. [Online]. Available: <https://itectec.com/electrical/electrical-how-to-get-a-closed-loop-pid-controller-from-a-transfer-function/>. [Erişildi: 23-Ekim-2021].
- [124] “PID Kontrol Algoritması ve Karakteristikleri - Çağlar GÜL”. [Online]. Available: <http://elektronikafa.blogspot.com/2016/09/pid-kontrol-algoritmas-ve.html>. [Erişildi: 22-Ekim-2021].
- [125] A. Visioli, "Practical PID Control", in *London: Springer-Verlag London Limited*, 2006.
- [126] Y. Nouinou, Process Control in the Chemical Industries, "Model Predictive Control," Chemical Engineering Department King Saud University, 2002.
- [127] A.Bawdaka, "Model Öngörülü Kontrol ile Denetleyici Tasarımı", M.S Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Dicle Üniversitesi, 2019.
- [128] A. Bemporad, "Model Predictive Control Design: New Trends and Tools," in *45th IEEE Conference on Decision & Control*, 2006..
- [129] W. Levine, S. Rakovic, "Handbook of Model Predictive Control," in *Springer International Science Publisher*, Switzerland, 2019.
- [130] S. Özdemir, "Model Öngörülü Kontrol ve Bir Endüstriyel Model Öngörülü Kontrol Uygulaması ," M.S. Thesis, Dept. Science Eng. and Technology, 2015.
- [131] .J. Qin, T.A Badgwell, "A Survey Of Industrial Model Predictive Control Technology," in *Control Engineering Practice*, 733-764, 2003.
- [132] A. I. Propoi, "Use of Linear Programming Methods For Synthesizing Sampled-Data Automatic Systems," in *Automation And Remote Control*, pp.837-844, 1963.
- [133] E.F Camacho, C.B. Alba, "Model Predictive Control," in *Springer Science & Business Media*, 2013.
- [134] D.Q. Mayne, J.B.Rawlings, C. V. Rao, P.O. Scokaert, "Constrained Model Predictive Control: Stability And Optimality," in *Automatica*, pp. 789-814, 2000.

- [135] J.H. Lee, "Model Predictive Control: Review of The Three Decades of Development," in *International Journal of Control, Automation and Systems*, pp.415-424, 2011.
- [136] M.M Brugnolli, "Predictive Adaptive Cruise Control in an Embedded Environment," M.S. Thesis of Escola Politecnica of the Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 2018.
- [137] C.Bordons, E.F.Camacho, "Model Predictive Control," in *Springer International Publisher Science*, 2017, Spain.
- [138] J. Currie, D.I. Wilson, "A Model Predictive Control Toolbox Intended for Rapid Prototyping," in *the 16th Electronics New Zealand Conference*, New Zealand, 2009.
- [139] R. Günay, A. Köse, R. N. Tuncay, "Adaptif Seyir Kontrol Sistemi Simülasyonu," in *Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi (EEMKON 2017) Elektrik ve Kontrol Mühendisliği Sempozyumu*, İstanbul, Turkey, 2017.
- [140] Engineering Explained. How Horsepower Affects Acceleration (April 24,2013). Erişildi: [24-Ekim-2021],
Avaliable:<https://www.youtube.com/watch?v=chbjcbmaVDc>.
- [141] "What is a chalk line's gear ratio? - Wonkee Donkee Tools". [Online]. Available: <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/chalk-lines/what-is-a-chalk-line-s-gear-ratio>. [Erişildi: 14-Haziran -2021].
- [142] "How Does Wheel Size Affect Performance?". [Online]. Available: <https://www.carthrottle.com/post/how-does-wheel-size-affect-performance/>. [Erişildi: 14-Ekim-2021].
- [143] "Gear ratio | Autopedia | Fandom". [Online]. Available: https://automobile.fandom.com/wiki/Gear_ratio. [Erişildi: 14-Ekim-2021].
- [144] "Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control ...". [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html>. [Erişildi: 22-Ekim-2021].