

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM TARIM ROBOTLARININ HAREKET PLANLAMASI VE YÖRÜNGE
TAKİBİ KONTROLÜNE YÜZEY EĞİMİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF ULUSAL

ŞUBAT 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTONOM TARIM ROBOTLARININ HAREKET PLANLAMASI VE YÖRÜNGE
TAKİBİ KONTROLÜNE YÜZEY EĞİMİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif ULUSAL

DANIŞMAN: Doç. Dr. Gökhan BAYAR

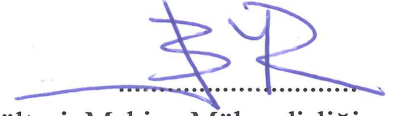
ZONGULDAK
ŞUBAT 2019

KABUL:

Elif ULUSAL tarafından hazırlanan “Otonom Tarım Robotlarının Hareket Planlaması ve Yörünge Takibi Kontrolüne Yüzey Eğimi Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 20/02/2019

Danışman: Doç. Dr. Gökhan BAYAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



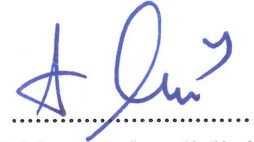
Üye : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü



Üye : Doç. Dr. Y. Aytaç ONUR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

EHLÜLUSAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTONOM TARIM ROBOTLARININ HAREKET PLANLAMASI VE YÖRÜNGE TAKİBİ KONTROLÜNE YÜZEY EĞİMİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Elif ULUSAL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökhan BAYAR

Şubat 2019, 75 sayfa

Robotik makine mühendisliği, elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği ve uzay bilimini içeren disiplinler arası bir daldır. Son yıllarda robotik dalında oldukça önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeler robotik üzerine yapılan çalışmalar ve kullanılan robotların sayısı ile orantılıdır.

Robotlar kullandıkları alana göre farklı isimlerle sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma içerisinde yer alan mobil robotlar ve otonom araçların kullanımının günümüzde tarım endüstrisinde hızlı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Görülen artışın temel nedeni tarımsal üretim verimliliğini arttırmak ve iş gücünü azaltmaktır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan robotlar bitkilerin aşılmasından tohumun ekilmesine, hasat yapma işleminden otların ayrılmasına ve meyvelerin toplanması gibi birçok işlem için kullanılmaktadır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan otonom araçların sahip oldukları boyut, tekerlek yapısı ve izlenilebilen mobil sistemleri sayesinde büyük tarım makinelerine kıyasla arazi ortamlarında

ÖZET (devam ediyor)

hareket kabiliyetleri hızlıdır. Ancak engebeli bir arazi yapısı ve eğimli bir yüzeyde otonom araçların tekerleklerinin yüzey ile teması sonucunda oluşan kayma, aracın hareketini kısıtlayan ve kontrolünü zorlaştıran önemli bir unsurdur. Bu unsurların giderilebilmesi, otonom araçların performans kabiliyetinin arttırılabilmesi ve istenilen hassasiyetin sağlanabilmesi için günümüz araştırmacıları tarafından bu konular üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, tarımsal amaçlı kullanılması düşünülen dört tekerlekli bir mobil robot aracın hareket planlaması yapılarak, bu hareketin bir referans yörüngede incelenmesi amaçlanmıştır. Robot aracın hareketi hem düz hem de eğimli bir yüzeyde incelenmiştir. Mobil robotun hareket planlamasının yapılabilmesi için literatürde "car-like robot" modeli olarak adlandırılan bir araç hareket modeli referans alınmıştır. Referans alınan modelin matematiksel altyapısı Matlab programlama ortamında, hem editör ortamı hem de Simülink kullanılarak kurgulanmıştır. Yapılan kurgu ile Matlab programlama ortamında bir referans yörünge ve bir simülasyon aracı oluşturulmuştur. İncelenen simülasyon sonuçları ile mobil robotun referans yörünge takibi sırasında oluşan ve mobil robotun hareketinde etkili olan etmenlere değinilmiştir. Simülasyon sonuçlarının gerçek bir mobil robot üzerinde de gözlemlenebilmesi için Solidworks programında tasarımı yapılan dört tekerlekli bir mobil robotun üretimi yapılmıştır. Üretilen mobil robotun gerekli donanımlar ile mekaniksel, yazılımsal ve elektriksel bağlantıları yapılmıştır. Donanımsal olarak kurgulanan mobil robot düz ve eğimli yüzeyler üzerinde test edilmiştir. Robot araç üzerine eklenen geribildirim sensör verileri ile hareketin incelenmesi sağlanmıştır. Uygulamada mobil robot üzerinde yapılan çalışmalar simülasyon sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otonom araçlar, hareketli robotlar, tarımsal robotlar, referans yörünge planlaması, referans yörünge takibi ve kontrolü, yüzey eğimi

Bilim Kodu: 625.01.03.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE INCLINATION EFFECTS ON MOTION PLANNING AND PATH FOLLOWING CONTROL OF THE AUTONOMOUS AGRICULTURAL ROBOTS

Elif Ulusal

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan BAYAR

February 2019, 75 pages

Robotics is a branch that includes the disciplines of mechanical engineering, electronic engineering, computer engineering and space science. There has been very important developments in the recent years. These developments are proportional to the number of robots used and the studies on robotics.

Robots are classified based on the field that they are used in. The use of mobile robots and autonomous vehicles in this classification has increased rapidly in the agriculture industry. The main reason for the increase is to increase the productivity of agricultural production and decrease the labour force. The robots used in agricultural applications are used for many processes such as seed sowing from plant inoculation, separation of weeds from harvesting process and collection of fruits. Thanks to the size, wheel structure and mobile systems that can be monitored in autonomous vehicles used in agricultural applications, their mobility in land environments is fast compared to large agricultural machines. However, the slip of the

ABSTRACT (continued)

wheels of autonomous vehicles as a result of contact with a rugged terrain and an incline surface is an important element of restricting the movement and control. In order to eliminate these elements, to increase the performance capability of autonomous vehicles and to provide the desired sensitivity, comprehensive studies are carried out by the researchers of our day.

In this thesis work, it is aimed to investigate the movement of a four-wheeled mobile robot vehicle which is intended for agricultural purposes and to examine this movement in a reference orbit. The robot's motion has been examined on both the straight and inclined surfaces. In order to make the movement planning of the mobile robot a car movement model which is called "car-like robot" in literature is taken as reference. The mathematical background of the reference model is fictionalized in MATLAB programming environment using both editorial environment and Simulink. A reference trajectory and a simulation tool were created in the MATLAB programming environment with the fiction. With the simulation results examined the factors affecting the movement of the mobile robot during the reference trajectory tracking of the mobile robot were discussed. In order to observe the simulation results on a real mobile robot a four-wheeled mobile robot designed and manufactured in the SolidWorks. The produced mobile robot has mechanical, software and electrical connections with the necessary equipment. Fictioned the mobil robot has been tested on straight and inclined surfaces. With the feedback sensor data added on the robot vehicle movement is examined. In practice, studies on mobile robot were compared with simulation results.

Keywords: Autonomous vehicles, mobile robots, agricultural robots, path planning, path following control, terrain inclination

Science Code: 625.01.03.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgi ve birikimleri ile beni yönlendiren değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Gökhan Bayar'a ve yardımlarından dolayı üniversitemiz; lisans, yüksek lisans öğrencilerinden Göktuğ Hambarcı, Yunus Emre Biçinci, Nurettin Sarı ile Salih Öztürk'e ve çalışmalarım süresince maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ve saygılarımı sunarım.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR İNCELEMELERİ	5
BÖLÜM 3 MATEMATİKSEL MODELLEME.....	25
3.1 LİTERATÜR ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MODELLER	25
3.1.1 Bisiklet Modeli.....	25
3.1.1.1 İki Serbestlik Dereceli Bisiklet Modeli.....	25
3.1.2.1 Üç Serbestlik Dereceli Bisiklet Modeli	26
3.1.2.2 Hareket Denklemleri	26
3.1.2.3 Ön Lastik Kayma Açısının Türetilmesi	28
3.1.2.4 Arka Lastik Kayma Açısının Türetilmesi	29
3.2.1 Araba Benzeri Hareketli Bir Robot Modeli	29
BÖLÜM 4 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	33
BÖLÜM 5 DENEYSEL YÖNTEM.....	57

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	63
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	75



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 İki serbestlik dereceli bisiklet modeli.	25
Şekil 3.2 Üç serbestlik dereceli bisiklet modeli.	27
Şekil 3.3 Araba benzeri hareketli bir mobil robot modeli.	31
Şekil 4.1 Mobil robotun X değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.	33
Şekil 4.2 Mobil robotun Y değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.	34
Şekil 4.3 Mobil robotun θ değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.	35
Şekil 4.4 Mobil robotun X ve Y değerlerinin değişimi sonucunda oluşan yörünge takibi.	36
Şekil 4.5 X, Y ve θ değerlerinin değiştirilmesi sonucunda aracın yörünge takibi.	37
Şekil 4.6 Araç dinamiği ve kontrolcü test ortamı.	37
Şekil 4.7 Simulink blok şeması.	38
Şekil 4.8 Eğim açıları: X eksenini θ ile, Y eksenini β ile gösterilmiştir.	38
Şekil 4.9 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 1: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=0^\circ$	40
Şekil 4.10 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 2: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=5^\circ$	41
Şekil 4.11 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 3: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=10^\circ$	42
Şekil 4.12 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 4: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=20^\circ$	43
Şekil 4.13 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 5: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=25^\circ$	44
Şekil 4.14 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 6: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=30^\circ$	45
Şekil 4.15 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 7: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=-5^\circ$	46
Şekil 4.16 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 8: Eğim açıları $\theta=5^\circ$, $\beta=0^\circ$	47
Şekil 4.17 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 9: Eğim açıları $\theta=10^\circ$, $\beta=0^\circ$	48
Şekil 4.18 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 10: Eğim açıları $\theta=20^\circ$, $\beta=0^\circ$...	49
Şekil 4.19 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 11: Eğim açıları $\theta=25^\circ$, $\beta=0^\circ$...	50
Şekil 4.20 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 12: Eğim açıları $\theta=0^\circ$, $\beta=0^\circ$	51
Şekil 4.21 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 13: Eğim açıları $\theta=10^\circ$, $\beta=10^\circ$. 52	
Şekil 4.22 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 14: Eğim açıları $\theta=10^\circ$, $\beta=25^\circ$. 53	
Şekil 4.23 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 15: Eğim açıları $\theta=-10^\circ$, $\beta=25^\circ$ 54	
Şekil 4.24 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 16: Eğim açıları $\theta=30^\circ$, $\beta=30^\circ$. 55	
Şekil 5.1 Mobil robotun katı model tasarımı.	57
Şekil 5.2 Deneysel altyapının robot araç üzerindeki görünümü.	58
Şekil 5.3 Phidgets yüksek hızlı enkoder arayüz kartı.	59
Şekil 5.4 DC motor sürücü.	59
Şekil 5.5 DOG2 eğim sensörü.	60
Şekil 5.6 Mikrokontrolcü, Arduino Uno.	60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.7 HC06 Arduino uyumlu bluetooth modülü.	61
Şekil 6.1 Mobil robot ile düz bir zemin üzerinde yapılan testler.	63
Şekil 6.2 Aracın harekete başlamadan önce gerekli bağlantılarının tamamlanmış hali.	64
Şekil 6.3 Düz zeminde yapılan deney sonucu.	65
Şekil 6.4 Eğimli yüzey testlerinden farklı açılarda detay görüntüleri.	66
Şekil 6.5 Eğimli yüzeyde eğim sensörü verileri.	67
Şekil 6.6 Eğimli yüzeyde mobil robotun referans yörünge takibi.	67



ÇİZELGELER DİZİNİ

No

Sayfa

Çizelge 4.1 Farklı eğim açıları için yapılan simülasyon verileri..... 39





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

I	: Aracın Kayma Ataleti
$\ddot{\theta}$: Araç Kayma Açısının İkinci Türevi
a	: Ön Akstan Araç Merkezine Kadar Ağırlık Konumu
P_f	: Ön Tekerleklerdeki Boylamsal Kuvvet
δ	: Direksiyon Kayma Açısı
b	: Arka Akstan Araç Merkezine Kadar Ağırlık Konumu
$F_{\xi f}$: Ön Lastiklerdeki Yanal Kuvvet
$F_{\xi r}$: Arka Lastiklerdeki Yanal Kuvvet
m	: Araç Kütleli
\dot{V}_ξ	: Referans Noktasındaki Aracın Boylamsal Hızının Birinci Türevi
V_η	: Referans Noktasındaki Aracın Yanal Hızı
$\dot{\theta}$: Araç Kayma Açısının Birinci Mertebeden Türevi
\dot{V}_η	: Referans Noktasındaki Aracın Yanal Hızının Birinci Türevi
V_ξ	: Referans Noktasındaki Aracın Boylamsal Hızı
P_r	: Arka Tekerleklerdeki Boylamsal Kuvvet
\dot{x}	: Atalet Referans Noktasındaki Araç Yanal Konumunun Birinci Türevi
θ	: Kayma Açısı
\dot{y}	: Atalet Referans Noktasındaki Araç Boylamsal Konumunun Birinci Türevi
a_f	: Ön Lastik Kayma Açısı
a_r	: Arka Lastik Kayma Açısı
\dot{x}	: Arka Tekerleklerin Orta Noktasına Ait X Koordinatının Birinci Türevi
v	: Tekerleklerin Kesişim Noktasındaki Hızı
\emptyset	: Ön Tekerleklerin Dönüş Yönü
\dot{y}	: Arka Tekerleklerin Orta Noktasına Ait X Koordinatının Birinci Türevi
l	: Ön ve Arka Tekerleklerin Eksenleri Arasındaki Mesafe
X	: Mobil Robotun X Koordinatı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Y	: Mobil Robotun Y Koordinatı
θ	: Mobil Robotun X Eksenindeki Eğim Açısı
β	: Mobil Robotun Y Eksenindeki Eğim Açısı

KISALTMALAR

A	: Amper
ABS	: Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi
DC	: Direct Current
DOG2	: İki Eksenli Ekonomik Eğim Sensörü
EKF	: Extended Kalman Filter
ESP	: Elektronik Kararlılık Programı
GND	: Arduino Uno Topraklama Pini
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
Hz	: Hertz
ICSP	: In-Circuit Serial Programming
INS	: İç Navigasyon Sistemi
MHz	: Megahertz
PMW	: Sinyal Genişlik Modülasyonu
PPR	: Pulses Per Revolution
SLAM	: Simultaneous Localization And Mapping
TCS	: Patinaj Engelleme Sistemi
USB	: Universal Serial Bus
V	: Volt
VDC	: Volts Direct Current

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda robotik ve mekatronik alanlarında çok hızlı gelişmeler olmaktadır ve bu gelişmeler üretim sanayisine hızla adapte edilmektedir. Teknoloji üzerine yapılan çalışmaların zaman içerisinde ilerlemesi ve hız kazanması ile birlikte, ihtiyaç duyulan ürünlerin çeşitliliği artmıştır. Yapılan çalışmaların sayısının artmasıyla orantılı olarak da, mevcut olan uygulama alanlarında da hızlı bir artış görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak, tasarım ve imalat yöntemlerinin iyileştirilmesine yönelik yöntemler önem kazanmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda insan gücüne duyulan gereksinim azalmış ve insan gücünün yerini almaya başlayan robotlar ile birlikte otomasyon denilen bir kavram ortaya çıkmıştır. Günlük yaşantımızda artık hemen hemen her adımda karşımıza çıkan robotlar başlangıçta mutfakta kullanılan araç ve gereçler, güvenlik sistemleri ve trafik uygulama kontrolleri gibi çeşitli alanlarla sınırlı olarak ortaya çıkmıştır. Otomasyonlaşma sürecinin ilerlemesiyle sınırlı olan uygulama alanlarına otomotiv sektörü, askeri ve savunma sanayi, tarım endüstrisi, tıp ve sağlık bilimleri eklenilerek genişletilmiştir.

Otomotiv dünyası otomasyonlaşma sürecinden etkilenen alanların başında gelmektedir. 1920 ve 1930 yılları arasında ilk otonom araçların sinyali verilmiş ve 1980 yılında kendi kendine hareket edebilen ilk modeller ortaya çıkmıştır. İlk otonom araç projesi 1984 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki proje Mercedes-Benz firması ve Bundeswehr Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda ise birçok şirket tarafından onlarca otonom araç üretimi yapılmıştır. Otonom araçlar sahip oldukları otomatik kontrol sistemleri sayesinde bir sürücüye gereksinim duymadan hareket edeceği yolu, trafik akışını ve çevresini algılayarak herhangi bir sürücü müdahalesi olmadan hareket edebilen akıllı otomobillerdir [1].

Otonom araçlar algılama işlemini lazer alan tarayıcıları, radar, lidar, GPS ve kameralar gibi çeşitli sensör ve donanımlar ile gerçekleştirmektedir. Bu donanımlardan radarlar radyo

dalgalarını kullanarak nesnelerin mesafe, yükseklik, yön ve hızlarını belirlerken, lidarlar ise aynı amaç için optik ışıkları kullanmaktadır. Otonom araçlarda performansın yüksek ölçüde sağlanabilmesi için kullanılan gelişmiş kontrol sistemleri, araçlarda bulunan sensörlerden gelen işaretleri kullanarak uygun sürüş rotalarını ve çevrede bulunan insan, araç, kaldırım gibi faktörlerin belirlenmesi için kullanılmaktadır [2].

Robotların yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanıldığı bir diğer alan askeri uygulama alanlarıdır. Askeri uygulamalar için kullanılan robotların temel amaçları; askerleri tehlikeli bölgelerden ve görevlerden kurtarmak, askerlerin yetersiz kaldığı görevlerde performansı arttırmak ve personel maliyetini düşürmektir. Kullanılan robotlar arazi profilinin çıkarılabilmesi ve haritalandırılmasının yapılabilmesi için navigasyon modülü ve arazinin taranabilmesi için lidar gibi çeşitli sensörler ile donatılmaktadır. Gelişen teknoloji ile günümüzde askeri ve savunma sanayinde kullanılan otonom araçlar ve mobil robotlar üzerinde yapılan çalışmalar arasında askerlerin girmesinin riskli olduğu mayın bölgelerinin imha edilebilmesi, tehlikeli bölgelerin koordinatlarının hassas bir şekilde belirlenebilmesi, askerlerin yaralanması durumunda yaralı askerlerin tahliyelerinin yapılabilmesi de yer almaktadır [3].

Otonom araç ve mobil robotların kullanıldığı alanlardan bir diğeri de tarım endüstrisidir. Tarımsal uygulama alanlarında kullanılan robotlar ürün verimliliğinin artırılması, iş gücünün azaltılması ve sürekli tekrarlayan işlemlerin yapılması açısından önemlidir. Tarımsal robotlar tohumların ekilmesinden sulanmasına, hasat işlemlerinden yabancı ot ayıklama işlemlerine kadar çeşitli görevleri yerine getirmektedir. Bu robotlardan beklenen asıl amaç daha az insan gücü ile daha kaliteli ürünlerin üretilmesini sağlamaktır. Tarımsal robotlar arazi yapısının engebeli ve yüzeyin eğimli olduğu alanlarda istenilen hassasiyeti gösterememektedir. İstenilen hassasiyetin sağlanabilmesi arazi profilinin düzgün bir şekilde çıkarılması ve arazi yüzeyindeki nesnelerin doğru bir şekilde algılanması ile orantılıdır. Tarımsal robotların bu işlemleri yapabilmesi için akıllı görüntü sistemleri, kameralar, GPS, navigasyon sistemleri, radar, lidar gibi çeşitli sensörler ile donatılmaktadır. Tarımsal robotların performansı üzerinde etkili olan olumsuz faktörlerin zaman içerisinde iyileştirilmesi sonucunda insanların bu robotları kontrol etmesine duyulan gereksinimde azalacaktır [4].

Tıp ve sağlık bilimlerinde de robotların kullanımı son yıllarda artmış ve bu artış beraberinde birçok gelişmeyi getirmiştir. Bu alanda kullanılan robotlar cerrahi müdahaleleri yönlendirmek

ve cerrahi işlemleri gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu işlemler için kullanılan robotlardan birisi olan Vinci robotları farklı operasyonları birçok mekanik koluyla cerrahi aletler kullanarak gerçekleştirmektedir. Bu robotlar, bir cerrahın büyük kesikler yapmadan, kalıcı bir iz bırakmadan ve cerrahların erişemeyeceği alanlara ulaşmak için özel olarak tasarlanmışlardır. Günümüzde tıp biliminde kullanılan robotik yardımlar ile daha etkili yöntemler geliştirilmiştir [5].

Otonom robot ve araçlar dışında günümüzde kolaboratif robot olarak adlandırılan işbirlikçi robotların kullanımında da hızlı bir artış görülmektedir. Yeni nesil robotik sistemler olarak adlandırılan kolaboratif robotlar mekanik sistemleri sayesinde insan hareketlerini taklit ederek bir insanın yüzlerce katı fazla iş yapabilme imkânına sahiptir. Oldukça büyük ağırlıklara sahip nesnelere kolaylıkla kaldırabilen ve esnek yapısı sayesinde bu nesnelere her yönde hareket ettirebilen kolaboratif robotlar fiyatlarının ekonomik olması, seri üretimde kolaylık sağlaması ve enerjiden tasarruf sağlaması açısından büyük firmalar tarafından tercih edilmektedir [6].

Bu tez çalışmasında, tarımsal amaçlı kullanılan dört tekerlekli bir mobil robot aracın hareket planlaması yapılarak, bu hareketin bir referans yörüngede incelenmesi amaçlanmıştır. Robot aracın düz ve eğimli bir yüzey üzerindeki hareket performansı ile eğimin harekete olan etkisi incelenecektir. Bu amaç doğrultusunda mobil robotun referans yörünge takibi sırasında oluşan etmenler belirlenecek ve bu etmenlerin aracın hareketine olan etkisi incelenecektir. Çalışmalar sırasında aracın hareket modelinin oluşturulmasının yanı sıra referans yörünge üretmek için gerekli matematiksel altyapı kurgulanacaktır. Bu sayede yörünge takibi hem bilgisayar ortamında kurgulanacak hem de simülasyon çalışmaları ile gözlemlenerek, incelenen literatür çalışmalarında yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanacaktır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

[7] numaralı çalışma ile araştırmacılar; araba benzeri hareketli bir mobil robotun kontrol edilebilmesi için robotun yönlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan problemleri incelemişlerdir. Araştırmacılar; bir aracın konum ve yönlendirilmesi sonucunda meydana gelen hataları dikkate alarak, mobil robotun yol takibi için genel bir kontrol stratejisi üzerinde çalışmışlardır ve bu stratejinin temelinde de; aracın geometrik yörüngeden uzaklaşmadan takibinin yapılabilmesi için zaman faktörünü de dikkate almışlardır.

Son yıllarda mobil robotlar üzerine yapılan araştırmalar oldukça önem kazanmıştır. Bu araştırmalarda incelenen konuların çoğunluğunu, araçların sergiledikleri kararsız durum davranışlarından dolayı oluşan problemler ve araçların izlenmesi/takibi gibi problemler oluşturmaktadır. Bir mobil robotun izlenmesi demek; bir yörünge tasarımının yapılarak robotun bu yörünge boyunca kontrol yasalarıyla takip edilmesi anlamına gelmektedir. Tekerlekli mobil robotların kararsızlık durumları mobil robotun yörünge üzerindeki takibini zorlaştırmaktadır. [8] numaralı çalışma ile araştırmacılar; araçların park problemi için araba benzeri hareketli bir mobil robot modelini baz alarak yeni bir kontrol algoritması önermişlerdir ve bu algoritmanın temelini de; bir doğru ve bir noktanın kararlı hale getirilebilmesi üzerine yapılan çalışmalar ile oluşturulduğunu belirtmişlerdir.

Endüstride yapılan işlemlerin otomasyon süreci genel olarak tekerlekli mobil robotların kullanımına dayanmaktadır. Bu tekerlekli mobil robotların kullanımı, kinematik kontrolü açısından bir referans modele göre takibini kapsamaktadır. [9] numaralı çalışma ile araştırmacılar; araba benzeri hareketli bir mobil robot üzerinde yoğunlaşarak, tekerlekli mobil robotların hareketini kontrol edebilmek ve bir kontrol algoritması tasarlayabilmek için bir

diferansiyel sistem modeli kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda; araca sonradan eklenen tekerleklerin hareketi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım ile genel olarak karmaşık bir şekilde yapılan kontrol tasarımını daha basite indirgemişlerdir.

Kararsız, gürültülü ve konumu belli olmayan etkiler altındaki araçların hareket kontrolü; bu araçların bilinmeyen çevre koşullarında yönlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. [10] numaralı çalışma ile araştırmacılar; bir mobil robotun deneysel test aşamasında mevcut olan statik ve dinamik özelliklerinden dolayı oluşabilecek kısıtlamaları dikkate alarak, mobil robotu mümkün olduğunca hızlı sürebilmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, sistemin kararsızlığı ve gürültüye maruz kalması gibi ortaya çıkan etmenleri araştırmışlardır. Lyapunov fonksiyonuna ve diferansiyel denklemlerin kontrol denklemlerinden türetilen yaklaşımlara dayanan metotlar, hareket halindeki bir robotun dinamik davranışını incelemek için kullanıldığından; yapılan bu çalışmada araştırmacılar matematiksel model olarak Lyapunov fonksiyonunu kullanmışlardır ve tek tekerlekli bisiklet modelini baz almışlardır.

Otonom bir aracın dinamik çevre koşullarında çalışabilmesi için; hareket eden nesnelere belirleyebilmesi, konum analizi yapabilmesi gibi özelliklere sahip olması gerekir ve bu özelliklere sahip olabilmesi için de, bu özellikleri kapsayan yaklaşımların yapılması gerekmektedir. Bu yaklaşımların genel bir kısmında da, aracın nesnelere belirleyebilmesi ve konum analizinin yapılabilmesi zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. [11] numaralı çalışma ile araştırmacılar; otonom bir aracın dinamik bir ortamda mevcut olan hareketli nesnelere karakteristiklerini belirlemeye yönelik bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar bu yaklaşımlarının temelinde; araç tarafından hareketli nesnelere algılanabilmesi için bu nesnelere temsil edecek şekilde sembolik ve denklem tabanlı bir kombinasyonu baz almışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışma sonucunda; aracın çevredeki farklı mesafelerde bulunan nesnelere algılayabilmesi için RADAR sensörünün kullanıldığını varsayarak, bu sensörün kullanılması durumunda oluşabilecek sonuçlar üzerinde durmuşlardır.

Son birkaç yıl içerisinde navigasyon sistemlerinin arazi robotlarına uygulanması ile gözle görülür bir ilerleme kaydedilmiştir. Aracın bulunduğu ortamın, arazinin veya çevrenin uygun bir profilini çıkardıktan sonra aracın yolu kararlı bir şekilde takip edebilmesi için aracın kontrol edilmesi gerekir. Yolun takip edilmesi genel olarak üç ana aşamaya sahiptir. Bunlar; navigasyon, yol planlaması ve rehberliktir. Navigasyon modülü; genellikle verilen bir harita

üzerinde aracın takibi ile ilgilidir. Yol planlama modülü; yolun tanımlanması ile ilgilidir ve rehberlik modülü ise tanımlaması yapılan yol içerisinde beklenmeyen hatalar olması durumunda aracın güvenliğini sağlamaktan sorumludur. Aracın bulunduğu çevrenin arazi yapısından dolayı tanımlanamaması bugün halen önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle de; çevre tanımlaması yapılmadan önce aracın gideceği yola ait bir harita planlamasının yapılması gereklidir. [12] numaralı çalışma ile araştırmacılar; çevre tanımlaması yapılamayan/yapılandırılmamış dış ortamlarda çalışan bir aracın yörünge üzerinde izlenmesine yönelik problemleri ele almışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada problemin giderilmesine yönelik, SLAM algoritması ile gerçek zamanlı olarak çalışmışlardır. Burada optimal yolun bulunabilmesi için, hem araç hem de çevrenin tanımlanamamasından dolayı oluşan harita belirsizliği dikkate alınmış ve buna bağlı olarak grafiksel veriler elde edilmiştir.

[13] numaralı yapılan çalışmada araştırmacı; otonom bir aracın görüş mesafesi ve direksiyon kontrolüne ilişkin uygulanan yanal bir kontrol stratejisinin sonuçlarını ortaya koymaktadır. Araştırmacı yaptığı çalışmada; yanal kontrol yasasını aracın direksiyon kontrolüne adapte edebilmek için bu yasa içerisinde yer alan direksiyon açısını kritik bir parametre olarak kabul ederek, hemen hemen her tip otonom araca uygulanabilen "ackerman kinematik model" tasarımını dikkate almıştır. Araştırmacı çalışmasında bu modeli baz almasının nedenini; söz konusu kontrol stratejisinin düşük veya yüksek hızlı araçlar için uygun olması olarak açıklamıştır. Ackerman kinematik modeli önemli bir modeldir ve önemli olmasının nedeni de, araç direksiyon açısını da içeren bir yaklaşım olmasıdır. Bu çalışmanın deneysel sonucunda; ackerman araç modelini kullanarak araçlar için yanal sürüş kararlılığını analitik olarak sağlayan doğrusal olmayan kontrol yasaları tanımlanmıştır ve sürüş hassasiyeti sağlanmıştır.

Araç dinamiği alanında tekerlek/yol dinamiği üzerinde etkili olan faktörler kütle modelleri kullanılarak belirlenebilir. Bu faktörler arasında yer alan en önemli etmen sürtünme kuvvetidir ve çalışmalarda kullanılan hareket denklemlerinde bu kuvvetin dikkate alınması gerekir. [14] numaralı çalışma ile araştırmacılar; kayma sonucunda oluşan sürtünme kuvvetinin de dikkate alındığı yeni bir formülasyon geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirdikleri formülasyon; boylamsal konumda bulunan araçların frenleme ve hızlanma sırasındaki davranışlarına yeni bir bakış açısı kazandırmıştır.

Zamana bağımlı yörünge takibi mobil robotlar için önemli bir kavramdır. [15] numaralı çalışmada araştırmacılar; sınırlı durumlara sahip nonholonomik bir mobil robotun, doğrusal olmayan zamana bağımlı bir yörüngede izlenmesi ve kontrolüne ilişkin problemleri incelemişlerdir. Burada; sınırlama etkisinde bulunan bir mobil robotun kontrol edilebilirliğinin öncelikli olarak doğrusal olmayan geometrinin tam olarak anlaşılmasıyla bağlantılı olduğunu ve bunun anlaşılabilmesi için de dinamik geri besleme ile doğrusallaştırma tekniklerinden yararlanılması gerektiğini savunmuşlardır. Kinematik model olarak araba benzeri hareketli bir mobil robot modeli üzerinde çalışan araştırmacılar, çalışmaları sonucunda dinamik geri besleme ile doğrusallaştırma mekanizmasının sorunların giderilmesinde etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kararlılık kontrolü ve yanal kontrol sistemleri gibi birçok araç kontrol sisteminde dikkat edilmesi gereken kritik bir nokta bulunmaktadır. Bu kritik nokta; aracın yalpalaması ve kaygan bir yüzeyde kayması durumunda oluşan etkenlerin tam olarak belirlenmesidir. Yalpalama oranı maliyeti düşük olan bir jiroskop ile ölçülebilir. Bununla birlikte aracın kaygan bir yüzeyde kayması durumunda oluşan etkenlerin ölçüm değerlerinin belirlenebilmesi için zemin sensörünün kullanılması gereklidir ve zemin sensörü kullanılarak yapılan ölçümler oldukça masraflıdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, kaygan bir yüzeyde bulunan bir aracın kayması durumunda oluşan etkenlerin bir GPS sistemi ile doğrudan ölçülebileceğini göstermiştir. GPS sisteminin kullanımı zemin sensörünün kullanımına göre daha düşük maliyetli olmasına karşın, bu sistem sadece 10-20 Hz aralığında ölçüm verileri sağlamakla birlikte kötü hava koşullarında kullanılamamaktadır. Üretimi yapılan birçok araçta kaygan bir yüzeyde bulunan aracın kayması durumunda oluşabilecek etkenler tam olarak belirlenemediği için bu etkenlerin tahmin edilmesi gerekir. Bu değerler genel olarak araca bir atalet sensörünün entegre edilmesiyle hesaplanmaktadır fakat bu yöntemde de; sensör üzerinde oluşabilecek gürültüler nedeniyle doğru sonuçlar elde edilemeyebilir. Bu dezavantajdan dolayı kullanılan bir diğer yöntem ise doğrusal olmayan bir gözlemci aracılığıyla aracın yalpalama oranının ölçülmesidir. Ayrıca yan kayma ölçümleri, direksiyon açısı ve yalpalama oranlarından elde edilen ölçümlerin kalman filtresine dayanan bir modelde kullanılmasıyla da tahmin edilebilmektedir. [16] numaralı yapılan çalışmada araştırmacılar; aracın kayması ve yalpalama oranını hesaplayabilmek için GPS ve INS sistemlerini kullanarak bu sistemlerden elde edilen hız ölçümleriyle birlikte temelinde, kalman filtresine dayanan bir model geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucu göstermiştir ki; modele ait parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanmasıyla birlikte GPS kullanılan sistemlerde kaygan

yüzeydeki aracın kayma etkeni ve yalpalama oranı doğru bir şekilde tahmin edilebilir. Araştırmacılar gelecekte yapılacak çalışmalarda, lastikler üzerine uygulanan ağırlık dağılımı ve bunun sonucunda lastiklerin dayanıklılığı gibi araca ait çeşitli parametrelerin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi ve belirlenebilmesi durumunda kullandıkları modelin doğrusal olmayan sistemlere de uygulanabileceği sonucuna varmışlardır.

[17] numaralı yapılan çalışma ile araştırmacılar; boylamsal konumda dinamik olarak hareketli bir araç üzerinde oluşan etkenleri açıklayan bir modelin geliştirilmesini konu almışlardır. Çalışmalarında kullandıkları model; iki tekerlekli araç modelidir. Bu modele göre, aracın dinamik performans simülasyonunun yapılabilmesi için hem araç dinamiği bir bütün olarak incelenmeli hem de tekerlek dinamiği araç dinamiği ile birlikte hesaba katılmalıdır. Araştırmacılar bu iki durumun basitleştirilmiş kütle model denklemleriyle incelenebileceğini açıklamışlardır ve yaptıkları çalışmanın sonucunda; ele aldıkları modelden hassas sonuçlar elde edebilmek için gerçekçi bir yol simülasyonunun yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

[18] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; araba benzeri hareketli mobil robotların garaj gibi yerlere park edilmesinde ortaya çıkan problemleri dikkate alarak bir planlama ve kontrol yöntemi önermişlerdir. Bu problemin; robotun nonholonomik sistemlerdeki kısıtlamalar ve bu konu hakkında yapılan çalışmaların dar bir çalışma alanına sahip olması nedeniyle önemli olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar robotun karşısına çıkan beklenmedik engeller gibi problemlerin dikkate alınarak, sistemde oluşan hataları belirlemenin oldukça zor ve kapsamlı bir süreç gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bu problem için; gerçek zamanlı bir optimizasyon yöntemi uygulayarak problem için oluşturdukları çalışma alanında yaptıkları gözlemler sonucunda beklenmedik engeller veya lastiklerin kayması gibi durumlardan oluşan hatalar mevcut olsa bile robotun park yeri problemi için istenilen kontrolü gerçekleştirebildiklerini göstermişlerdir. Önerdikleri kontrol yönteminin engebeli çevre koşullarında çalışan araba benzeri robotların otomatik kontrol sistemi için de uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Yapılan bu çalışmada araştırmacıların oluşturdukları modelin temelinde "car-like robot" modeli denilen araba benzeri hareketli bir mobil robot modeli baz alınmıştır ve araştırmacıların bu modeli kullanarak önerdikleri yöntem; robotun gerçek zamanlı olarak bulunduğu çevredeki mevcut durumunu dikkate alarak optimum kontrol için gerekli olan verileri hesaplamaktadır. Bu verileri hesaplayarak oluşturdukları modelin planlama ve kontrol yönetim bilgilerini deneyde kullanacakları araba benzeri hareketli bir mobil robota

uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonuç olarak; önerdikleri gerçek zamanlı optimizasyon yönteminin lastik kayması gibi durumlardan dolayı bir aracın kontrolü sırasında ortaya çıkan hatalarda ve beklenmedik engellerin aracın karşısına çıkması durumunda uygulanabileceğini göstermiştir.

[19] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; Mars gezegeninin incelenebilmesi ve keşfedilebilmesi için Mars'a gönderilen araba benzeri hareketli bir mobil robotu baz alarak, Şili de bulunan Atama Çölü'nün incelenebilmesi için tasarlanan ve güneş enerjisi ile çalışan bir mobil robotun süspansiyon ve kontrol sistemlerini inceleyerek Mars'a gönderilen altı tekerlekli mobil robot yapısını, güneş enerjisi ile çalışan bu mobil robota adapte ederek geliştirmeye çalışmışlardır.

Günümüzde modern tarım araçlarının otomatik olarak yönlendirilmesi modern tarımın ortaya çıkmasıyla birlikte gelişmiştir. Yüksek hassasiyet gerektiren tarım uygulamaları; özellikle GPS, lazer alan tarayıcıları ve sonar gibi yeni teknolojiler ile birlikte gerçekleştirilmektedir. Tarım uygulama alanlarında; biçme, harmanlama, yabancı ot temizleme ve tohum ekme gibi özelliklere sahip araçlar kullanılmakla birlikte; bu araçlarda sürüş emniyetinin sağlanabilmesi ve yol takip performansının geliştirilmesi önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır. Bunların yanı sıra; aracın izlediği yol boyunca lastiklerin kayması, yol yapısının bozuk olması ve tekerleklerin esnemesinden dolayı ortaya çıkan faktörler istenmeyen durumlardır. [20] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; istenmeyen bu durumların giderilebilmesi ve kayma olması durumunda bu kaymayı denetleyen bir kontrolcü tasarımı üzerinde çalışmışlardır.

[21] numaralı yapılan bu çalışmada araştırmacı; araba dinamiğinin yapısının işleyişindeki parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için bu yapıyı daha basite indirgeyerek incelemiştir. Araştırmacı çalışmasında; araç dinamiğinin temelleri, farklı uygulamalar için kullanılan farklı araç modelleri ve bu modellerin tanımlanması için kullanılan bileşenler ile birlikte basit bir araba simülasyonunun oluşturulması üzerinde çalışmıştır. Yaptığı incelemelerin sonucunda iyi bir modelin tasarımının yapılabilmesinin birçok diferansiyel denklemin birleştirilmesi ile mümkün olduğu kanısına varmıştır.

[22] numaralı yapılan bu çalışma ile araştırmacılar; altı tekerlekli bir mobil robotun kinematik modellenmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemi; tekerlek ve zemin arasında oluşan açının belirlenmesine yönelik Jacobian matrislerini baz alarak oluşturmuşlardır.

Araçlarda oluşan tekerleklerin kaymasını en aza indirmek için araştırmacılar çeşitli sensörler kullanmışlardır.

[23] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; GPS ve lazer tarayıcı ölçümlerine dayalı bir navigasyon sisteminin tasarımı, analiz ve test edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar; bahsedilen bu aşamaları, GPS sinyallerinin kapalı alanlarda zayıf olmasından dolayı açık alanlarda yapmışlardır. Ayrıca araştırmacılar sadece GPS kullanmak yerine GPS ölçümlerini iki boyutlu lazer tarayıcı ölçümleriyle ve bu lazer tarayıcı ölçümlerini de SLAM yöntemi ile destekleyerek kullanmışlardır.

Mobil robotların kontrol tasarımı; genellikle tekerleklerin zemin ile temas ettiği noktalarda kaymanın olmadığı varsayılarak yapılmaktadır. Böyle bir varsayım, arazi araçları için geçerli değildir ve bu varsayım arazi araçlarında önemli yol izleme hatalarına neden olmaktadır. [24] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; arazi araçlarının otomatik olarak yönlendirilebilmesi ve arazi gibi ortamlarda aracın hareketine bağlı olarak ortaya çıkan tekerleklerin kayması gibi istenmeyen durumların giderilmesine ilişkin bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır.

Kaygan bir yüzeyde aracın kaymaya maruz kalması durumunda kontrolünün sağlanmasına yönelik çalışmalar yaklaşık elli yıl önce başlamıştır. Son yirmi yılda da, bu kontrole yönelik yapılan çalışma metodolojileri oldukça önem kazanmıştır. Bu metodolojilerin temel problemi kayma durumunda aracın hareketinin iyileştirilmesine yönelik matematiksel denklemlerin oluşturulmasıdır. Bu durumda ele alınan problemlerin çözümlenmesine yönelik yöntemler kararlılık teorisi dikkate alınarak incelenmiştir. Otomatik sürüş için oluşturulan yöntemlerin temelinde tam olarak; kazaların azaltılması amaçlanırken, aynı zamanda verimin de önemli derecede artırılmasını sağlamak söz konusu yöntemlerin bir diğer amacı olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar; kullanılan enerji ve alan bakımından verimin artırılmasını sağlayabilmektedir. Sonuç olarak araçların otomasyonlaştırılması; araçların işlevsel yapısından dolayı kaynaklanabilecek kazalara yönelik yapılan iyileştirilme çalışmaları ile aracın güvenlik ve veriminin istenilen şekilde artmasına yardımcı olmuştur. Yapılan çalışmalar son on yıl içerisinde artmış olmasına rağmen; otomasyonlaştırılmış araçların zamana bağımlı yörüngelerdeki takibi teknik olarak kolay değildir. Söz konusu otomasyonlaştırılmış araçların, otomasyonlaştırmaya yönelik işlemlerinin yapılabilmesi ve düşük hızlanma seviyeleri ile ilişkili olarak kişinin konforunun sağlanabilmesi için bu araçların zamana bağımlı düzgün bir yörünge tasarımının yapılması gereklidir. [25] numaralı

bu çalışmada araştırmacılar; zamana bağlı bir yörünge tasarımında hız planlamasını açıklarken var olan problemler için de yeni bir yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır. Bu yaklaşım; zamandan bağımsız yörüngelerde otonom araçların kayma yüzeyindeki durumunun kontrolüne dayalı olarak yörüngelerdeki hareketinin kontrolcülerle takip edilmesi ile birlikte yüzeyde oluşan yanal ve açısal hatalar gibi olumsuz etkenlerin de dikkate alınarak tasarlandığı yeni bir kaymalı yüzey tasarımıdır. Araştırmacılar bu yüzey tasarımında kullanılan yaklaşımın temelini; zamana bağımlı yörüngelerde otonom araçların takip zorluğuna dayandırmışlardır. Bu problemi, interpolasyon eğri tasarımında uygun zaman serileri oluşturarak bir hız planlama profilinin ortaya çıkarılmasıyla ele almışlardır. Hız profilinin ortaya çıkarılmasında zamandan bağımsız bir yörüngeyi olası bir hız planlamasını temsil eden hız grafiği oluşturmuşlardır. Araştırmacıların bu çalışma kapsamında kullandığı matematiksel modelde, aracın hareket modelini nonholonomik bir sistem üzerinde incelemişlerdir. Literatürde bu sisteme "bisiklet modeli" denilmektedir. Sonuç olarak; yaptıkları ölçümlerden elde ettikleri verilere göre önerdikleri model ile oluşan hataların azaltıldığını göstermişlerdir.

Engelibeli arazilerde otonomlaştırılmış araçlar kayma durumu ile karşı karşıya kaldıklarından bu araçların kontrolü olumsuz olarak önemli bir şekilde bu durumdan etkilenmektedir. Bu durumu hesaba katan kontrol yasaları hemen hemen yapılan her çalışmada irdelenmiştir. Kayma durumunda etkili olan parametrelerin düzgün bir şekilde belirlenmesi ile araç performansından istenilen hassasiyet artırılabilir. [26] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; hassasiyet artırma işlemini gerçek zamanlı bir kinematik GPS gibi yan kayma açıları ile ilgili veri elde edilebilmesini sağlayan bir sensör kullanarak sağlamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmayı mevcut kontrol yasaları ile ilişkilendirdiklerinde; zor koşullar da bile çiftçilerin beklentileriyle orantılı olarak zamandan bağımsız bir yörüngede otonom aracın kontrolünü başarılı bir şekilde sağlamışlardır.

Araç dinamiği kavramı; temel olarak mühendislik alanını kapsayan bir terim olarak görülsede; fizik, elektrik/elektronik mühendisliği ve kimya gibi alanlarla da bağlantılıdır. Ayrıca bu kavramın temel yapısını da; sürücü, araç, şarj/yük durumu ve aracın bulunduğu çevre koşulları oluşturmaktadır. [27] numaralı bu çalışmada araştırmacı; araç dinamiğinin yapısı ve bu yapı üzerinde etkili olan faktörleri, tekerleklerin açısal ve konumsal pozisyonlarını, lastik modelini ve araç süspansiyon hakkındaki mevcut olan çalışmalar doğrultusunda ele alarak kendi yorumuyla detaylı bir şekilde incelemiştir.

Otomobillerdeki ve kamyonlardaki otomatik akıllı navigasyon sistemlerini kapsayan çalışma alanları, son yıllarda çok dikkat çeken bir alan haline gelmiştir. Sürüş esnasında sürücüyeye kolaylık sağlaması açısından tasarlanan navigasyon sistemleri ile bir engelin algılanması, statik (durağan) bir gözlemci tarafından nesne algılanması ile karşılaştırıldığında çok daha zor ve karmaşık bir iştir. Bu zorluğu oluşturan faktörler; kamera titreşimleri, kamera üzerindeki hatalı kalibrasyonlar ve dış ortamın karmaşıklığı gibi istenmeyen durumlardır. Bu olumsuz durumların iyileştirilmesine yönelik [28] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; araç üzerindeki kameradan bağımsız olarak bir hareket algılama akışı ve obje tanıma akışını birleştirerek yeni bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Bu iki akışın birleştirilmesi sonucunda; araç üzerindeki kameradan bağımsız olarak nesnelerin izlenmesinin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Araçların sürüş güvenliğinin belirlenmesinde kullanılan iki temel etmen, güvenliği ortadan kaldıran durumların anlaşılması ve önlenmesidir. Kaza veri analizlerine bakıldığında, kazaların büyük bir kısmının aracın kontrol yetersizliğinden kaynaklandığı görülmektedir. Bu tür kazalar aracın yol etkileşimi ile olan durumlarını belirleyen bazı yardım sistemleri kullanılarak engellenebilir. Aracın boylamsal hızı, ivmesi ve yalpalama oranı arasında sayılan bu durumlar; günümüzde üretilen araçların büyük bir kısmına standart olarak monte edilen sensörler vasıtasıyla ölçülebilmektedir. Bu durumların dışında kalan örneğin araç dinamiği üzerinde etkili olan sürtünme açısı ve aracın kayması durumunda yüzey ile arasında oluşan kayma açısı gibi parametrelerin hesaplanabilmesi otomotiv teknolojisinde kullanılan sensörler vasıtasıyla oldukça zordur. Uygun bir araç modeli ve mevcut ölçümlerin kullanılmasıyla birlikte yol/lastik etkileşim kuvvetleri gibi aracın durum kontrolü genişletilmiş bir kalman filtresi kullanılarak yeniden bir model oluşturulabilir. [29] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; teknikte EKF olarak adlandırılan genişletilmiş bir kalman filtresi kullanarak aracın durumu için bir metodoloji tahmin etmişlerdir. Tahmin ettikleri bu metodoloji, lastik/yol kuvvetleri ve araç ile yüzey arasında oluşan sürtünme katsayısını değerlendirip aracın yan kayma açısının tahmin edilmesini kapsamaktadır. Gözlemci analizi için kullandıkları model; doğrusal olmayan ve teknikte "Dugoff tire forces" olarak adlandırılan bir modeldir. Kullandıkları modelin temelini oluştururken dört tekerlekli bir araç modelini dikkate almışlardır. Dört tekerlekli araç modeli basit bir model olmasına karşın, araştırmacılar ele aldıkları problem için bu yöntemin elverişli bir yöntem olmadığı kanısına varmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri veriler; yalpalama oranı gibi tahmin edilebilen

hataların genişletilmiş kalman filtresi kullanılarak başarılı bir şekilde tespit edilebileceğini göstermiştir.

Tarım sektörü mevcut iş gücünün azalmasına bağlı olarak çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. İş gücünün azalmasına bağlı olarak hem otonom tarım kavramı önem kazanmış hem de tarımdan sağlanan verimin ve üretimin artması gibi talepler ortaya çıkmıştır. Tarımda otomasyonlaşma süreci için tarımsal makinelerin mevcut olan donanımlarından daha fazla donanımsal yapıya sahip olması gerektiği gerçeği bu sürecin işlemesi için bir dezavantajdır. Bu donanımsal yapıya sahip olan bir tarımsal sistem, üretim sistemlerinde daha güvenli bir durum sağlarken robotik makinelerinin uygulama işlemlerinde de bir avantaj sağlamaktadır. Tarımsal makinelerin otonomlaştırılmasıyla birlikte; tohum ekme, yabancı ot öldürme, gübreleme, ekini algılayarak ekme/biçme/kesme ve hasat gibi tüm işlemler insan gücüne gereksinim duymadan kolaylıkla yapılabilir hale gelmiştir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için öncelikli olarak bir küresel koordinat sistemi oluşturulmalıdır ve arazi geometrisi, arazinin şekil/yapı profili, makinelerin mevcut geometrik parametreleri ile mahsulün ekim düzeni belirlenmelidir. Tarımsal alanda bu şekilde yapılacak iyileştirmelere karşın bu iyileştirmeleri kısıtlayan birtakım faktörler de söz konusu olacaktır. Çünkü bu işlemlerin yapılabilmesi için, mevcut arazide yüksek beygir gücü gerektiren büyük makinelerin çalıştırılması hiç de pratik bir yöntem değildir. Bu nedenle istenilen hassasiyet ve verimin sağlanabilmesi için tarımda otomasyonlaşma oldukça önemlidir. [30] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; sistemlerinin karmaşık bir sistem olarak görüldüğü otonom tarımın gereksinimleri ve bu gereksinimler sonucunda ortaya çıkan hassas tarım kavramı üzerine çalışmışlardır.

Fransa'da trafik kazaları istatistiklerinin analizi incelendiğinde son dört yılda ölen insan sayısının azaldığı gözle görülür bir şekilde fark edilmektedir. Bu azalmada etkili olan faktörler; yönetmelik tarafından belirlenen yeni sürüş düzenlemeleri, altyapının geliştirilmesi ve araçlarda bulunan sürücü destek sistemlerinin geliştirilmesidir. Bu araç sistemlerinin geliştirilmesi; araç dinamiği bilgilerini ve yolun eğimli olması gibi karakteristik özelliklerin bilinmesi ve buna yönelik yapılan çalışmaların sayısının artmasıyla mümkün olmuştur. Teknik anlamdaki uygulamalarının zor ve kullanılan sensörlerin maliyetli olması nedeniyle bu özellikler bazen gerçek zamanlı olarak ölçülememektedir. [31] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; araç dinamikleri üzerinde etkili olan kuvvetlerin tam olarak belirlenebilmesi için genişletilmiş bir kalman filtresi ve yol eğiminin tahmin edilebilmesi için bir gözlemciyi birleştirerek çalışmışlardır.

Bir arazi aracının yüksek hızda otomatik olarak yönlendirilmesi işlemi oldukça zor bir işlemdir. Çünkü çok sayıda dinamik etkenin hesaba katılması gerekmektedir ve engebeli bir arazideki çevre şartlarından dolayı bu dinamik etkenlerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi de oldukça güçtür. Literatürde dört tekerlekli ve direksiyonlu araçlar üzerinde dar alanlarda ve engebeli arazilerde çalışan araçların manevra kabiliyetini arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak amacı; aracın maruz kaldığı yanal sapmayı ortadan kaldırmak, mevcut kayma durumuna karşın aracın kontrolünü sağlamak ve araçta arka tekerleklerin aktif olarak hareketinin sağlanmasıyla yalpalama oranı ile yan kayma açılarını olabildiğince minimuma indirmektedir. [32] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; mevcut olan kontrol yasaları üzerinde çalışarak bu yasaları dört tekerlekli hareketli bir mobil robot için genişletmeyi amaçlamışlardır.

Tarımsal alanda kullanılan makinelerin otonom hale getirilmesi; iş gücünün yetersiz hale gelmesinden tarımsal alanda küresel olarak bir rekabet ortamı oluşmaya başlamasından itibaren geçen süreyi kapsamaktadır. Tarımsal araçların bu şekilde yönlendirilebilmesi; verimliliğin ve üretimin artırılabilmesi için önemli bir özelliktir. Tarımsal araçların bu şekilde yönlendirilebilmesini zorlaştıran faktör, normal yol taşıtlarından farklı olarak tarımsal araçların kullanıldığı arazide mevcut olan yol yapısı ve yolun yapısından dolayı ortaya çıkabilecek belirsizliklerdir. Tarımsal arazide ortaya çıkabilecek ve belirsizlik olarak nitelendirilen bu faktörler; genellikle tümsekli, kaygan ve eğimli bir yol yapısının varlığıdır. Bu belirsizlikler de, aracın lastiklerinin kaymasına ve yoldan sapmasına neden olmaktadır. [33] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; yanal ve boylamsal hız kaymasının etkisi altındaki bir tarımsal traktörün bir yörünge boyunca izlenmesine yönelik yaklaşımlar üzerinde çalışmışlardır.

Günümüze kadar mühendislik sistemlerinde önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin büyük bir çoğunluğu da, yol araçları ve çeşitli makine cihazları üzerinde olmuştur. Söz konusu bu gelişmeler; zaman içerisinde yapılan çalışmaların sayısının artarak, aracın dinamik davranışının düzgün bir şekilde sağlanması ile olmuştur. Tam da bu noktada [34] numaralı çalışma ile araştırmacılar; dört tekerlekli bir araç modelini baz alarak dinamik davranış parametrelerini belirleyen yeni bir sistem üzerinde çalışmışlardır.

Tarımsal ve askeri faaliyet alanları gibi otomasyonun açık alanlardaki uygulamaları; mobil robotların seri bir şekilde kullanılmasını ve kontrolünün olabildiğince hızlı bir şekilde hassas

olarak yapılmasını gerektirmektedir. Bu tür beklentileri karşılamak için de, arazi zeminin özelliklerini (kayma unsurları vs.) içeren gelişmiş kontrol yasaları türetilmelidir. Bu kontrol yasaları, yapılan çalışmalar neticesinde kinematik bir gösterim ile ortaya konulmuştur ancak her ne kadar elde edilen deneysel sonuçlar tatmin edici olsa da bu sonuçların istenilen hızdan daha düşük hızlarda geçerli olması önemli bir dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır [35]. numaralı bu çalışmada araştırmacılar; bu dezavantajları avantaja çevirmek için mevcut hız problemini iyileştirmek ve robotların tekerleklerinin kontrolünü düzgün bir şekilde sağlayabilmek için mevcut olan kontrol problemlerini karayolları ulaşımı açısından ele almışlardır. Çalışmalarında istenilen sonuçların sağlanabilmesi için; kinematik yaklaşımlarla birlikte dinamik yaklaşımları da dikkate alarak, araçların kaymaya maruz kaldığı çeşitli çevre koşullarındaki adaptasyonunu bir gözlemci tasarımı yaparak incelemişlerdir.

Tarımsal araçların otomatik olarak yönlendirilmesi mekatronik/robotik alanlarında sıklıkla incelenen bir konu haline gelmiştir. Araçlarda yapılan bu tür otomatikleştirme işlemleri genel olarak; sürücüye kolaylık sağlaması için yapılan yardım cihazlarını ve direksiyon sistemlerinin otomatikleştirilmesini kapsamaktadır. Araçların bu şekilde otomatikleştirilmesi; insanların fabrika vb. çalışma ortamlarında üzerlerine düşen yükü azaltmak ile birlikte, araçlarda daha iyi bir güvenlik ve üretim kalitesinin arttırılmasına yönelik birçok açıdan avantaj sağlamaktadır. Otomatikleştirme işlemleri sırasında aracın tekerleklerinde meydana gelen kaymalar istenmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Tekerleklerde meydana gelen bu kaymalar genellikle tarımsal sektöre katkı sağlanması amacıyla tarımsal uygulamalarda tarım arazisinin yer yer tümsekli, kaygan ve eğimli olmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. [36] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; tarımsal uygulamalar için karakteristik olan tekerlek kaymalarını, otonomlaştırılmış tarım araçlarının yörünge takibi üzerinde oluşturduğu etkileri incelemişlerdir. Araştırmacılar bu kaymaların olması durumunda oluşabilecek olumsuzlukları çözmek için; direksiyon açısı üzerindeki kısıtlamaların dikkate alındığı bir yaklaşım önermişlerdir ve yaptıkları deneylerin simülasyon sonuçları; araştırmacıların önerdikleri yaklaşımın aracın performansını olumlu yönde etkileyen bir yaklaşım olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Araç dinamiğine yönelik yapılan çalışmalar genel olarak; bir yol üzerinde bulunan araçların hareketine yönelik yapılan çalışmalardır. Bir aracın dinamik davranışı; yerçekimi kuvveti, aerodinamik kuvvet ve lastiklerden gelen kuvvetlerin araç üzerinde gösterdikleri etkidir. [37] numaralı yapılan bu çalışma ile araştırmacılar; bu etkiyi inceleyerek aracın kararlılık

durumunu belirleyen parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmaları sırasında; aracın direksiyon kontrolünü etkileyen kayma gibi problemlerin olması durumunda aracın yönlendirilmesi ile ilgili problemlerle karşılaşmışlardır.

Günümüzde karmaşık işlemler için kullanılan araçlar; birçok sensör ve elektronik aksan içermektedir. Bu sensörler içerisinde önemlilik arz eden sensörlerden birisi de ivmeölçerlerdir. Eğim açısının belirlenmesine yönelik elde edilen bilgiler kamyonlarda bulunan birçok kontrol sisteminin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Araçlarda güvenliğin olabildiğince üst düzeye çıkarılması ve yakıt tüketiminin de olabildiğince aza indirgenmesi bu kontrol sistemlerinin optimizasyonu için önemlidir. [38] numaralı çalışmada araştırmacı; bir ivmeölçer sensörü kullanarak yol eğim açısını belirlemeye yönelik ihtimalleri araştırmıştır. Bonnedahl yaptığı çalışmada; yol eğim açısını tahmin etmek için bir gözlemci geliştirmeyi amaçlamıştır ve bir kalman filtresi kullanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda; yol eğim açısının belirlenmesinde hassas bir sonuç elde edilmiştir ve bu sonuçların gerçek zamanlı bir uygulama için doğruluğu kanıtlanmıştır.

Günümüzde otomotiv endüstrisi büyük bir değişime uğramıştır. Bu değişimin sebebi çevresel faktörlerin gelişmesi ve değişmesine bağlı olarak insanların daha az yakıt tüketimiyle uygun maliyetli araçlara sahip olmak istemesi talepleridir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle elektronik alanında ortaya çıkan mevcut gelişmeler, bu taleplerin karşılanabilmesi için yeni sistemlerin oluşturulmasına olanak vermiştir. Bu sistemlerin geliştirilebilmesi ise yol eğimi hakkındaki bilgilerin belirlenebilmesi ile sağlanmaktadır. Bu bilgilerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi de; aracın otomatik olarak vites kontrolünün yapılabilmesini, ön aydınlatma sisteminin kontrolünün geliştirilmesine ve hibrid/elektrikli araçların şarj durumlarının kontrolü gibi birçok uygulamada avantaj sağlamaktadır. [39] numaralı bu çalışmada araştırmacı; bu avantajların sağlanabilmesi ve kontrol sistemlerinin geliştirilebilmesi için araçların hava süspansiyon sistemlerinden gelen sinyallere dayalı olarak yol eğiminin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır ve bu çalışmalarında da; eğim dikliğini hesaplayabilmek için bir de mesafe sensörü kullanmıştır.

Günümüzde otomotiv üreticileri için yakıt ekonomisi, aracın sürülebilirliğindeki konforluk ve güvenlik önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin geliştirilebilmesi gömülü kontrol sistemlerinin gelişmesi ile orantılıdır. Bir aracın hassas olarak çalışabilmesi için gereken bilgiler bilinir ve kullanılırsa bu kontrol sistemleri geliştirilebilir. Bu bilgilerin elde edilebilmesi araç

dengeinde etkili olan kuvvetlerin gerçek zamanlı olarak çözülmesiyle mümkündür. Bahsedilen bu kontrol stratejisi esasen gerekli sürüş torkunun doğru bir şekilde tahmin edilebilmesine ve bu sürüş torkunun da belirlenebilmesi için, araç kütleinin ve yol yapısından dolayı araçta oluşabilecek sürtünme gibi kuvvet değerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesine dayanır. [40] numaralı bu çalışma ile araştırmacı; kalman filtresi kullanarak araç kütleisi ve yol yapısından dolayı oluşan etkenlerin doğru bir şekilde belirlenmesine yönelik çalışmıştır ve bu çalışmasını da geliştirilmiş kalman filtresi ve boylamsal bir araç modeli kullanarak yapmıştır.

Araçların süspansiyon sistemlerinin tasarımı oldukça karmaşıktır. Bu sistemlerin tasarımında sürüş konforu oldukça önemlidir. Askeri araçların sürüş konforu motor gücü tarafından değil genellikle aracın sürüş performansında yapılan iyileştirmeler sonucu bu performans tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle araçların sürüş dinamiklerini geliştirmek için süspansiyon sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Çoğunlukla yay, sönümleyici ve mil olmak üzere üç temel mekanizmadan oluşan pasif süspansiyon sistemleri günümüzde diğer süspansiyon sistemlerine göre çok tercih edilmesine karşın dışarıdan aktüatör girişi ile sisteme kuvvet temin edebilen yarı aktif süspansiyon sistemlerinin kullanımı da hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. [41] numaralı çalışma ile araştırmacılar ele aldıkları çalışmada; yarı aktif süspansiyon sistemi ile aktif süspansiyon sisteminden elde edilen sonuçları karşılaştırarak sürüş performans koşullarının iyileştirilmesine yönelik çalışmışlardır.

Son yirmi yılda mobil robotların yol planlaması ve hareket kontrolünü kapsayan çalışma alanları birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Söz konusu bu iki alan; robotun kinematik ve dinamik sınırlamalarından dolayı nonholonomik robotlarda veya araba benzeri hareketli mobil robotlarda yapılan çalışmaları daha karmaşık hale getirmektedir. Bununla birlikte orantılı olarak; bir mobil robotun zamana bağılı yol planlamasının yapılması kontrol sistemleri üzerindeki karmaşıklığı arttırmaktadır. Örneğin; mobil robotların yol takibi sırasında istenilen noktaya ulaşması için, robotun karşısına çıkan engeller nedeni ile meydana gelen zaman gecikmeleri robotun kontrol algoritmasında dikkate alınmalıdır. Literatürde yapılan birçok araştırma; aracın en kısa sürede yörünge takibini yapabilmesini ve bu takibin de olabildiğince en az süreye indirgenerek yol planlamasının optimize edilebilmesi amacıyla yapılmıştır. [42] numaralı bu çalışmada araştırmacılar yaptıkları çalışma ile; statik bir ortamda bulunan nonholonomik bir mobil robotun gerçek zamanlı olarak kontrol edilebilmesi ve yörünge planlaması üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar yörünge planlamasını; nonholonomik bir

mobil robot için geometrik bir yaklaşımı temel alarak yapmışlardır. Araştırmacıların yaptıkları deneysel ve simülasyon sonuçları göstermiştir ki; ele aldıkları geometrik yaklaşımın araba benzeri hareketli bir mobil robot için pratik ve etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Araçların yan kayma açısı ve yuvarlanma açısının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi, aracın kontrolünde etkili olan yalpalama oranı gibi etmenlerden dolayı oluşan sistem kararsızlığını kararlı hale getirebilmek için önemlidir. [43] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; aracın tekerleklerinden motorlu elektrik taşıt araçlarının araç kontrol sistemlerine kadar uygulanabilen yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri bu yöntem ile, çoklu algılama sensörlerinden elde edilen gerçek zamanlı boylamsal lastik kuvvetleri ölçümlerini kullanarak yan kayma açısı ve yuvarlanma açısını tahmin etmişlerdir. Doğrusal bir araç modeli ve sensörlerden gelen verileri dikkate alarak, en küçük kareler algoritmasını kullanarak ve elde edilen sensör ölçümleri ile yuvarlanma dinamik etkenlerini birleştirerek tasarladıkları modelde; kalman filtresini kullanarak yuvarlanma açısını tahmin etmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar; aracın yan kayma açısı ve yuvarlanma açısının tam olarak hesaplanabileceğini göstermiştir.

TCS/ABS/ESP gibi araç dinamik kontrol sistemleri, araçtan sağlanan emniyeti tam olarak etkin hale getirir. Bu kontrol sistemlerinin mevcut performansları, araç durumlarının hassas bir şekilde gözlemlenmesi sonucunda arttırılmıştır. Aracın gösterdiği performanslar aracın hızına bağlıdır ve bu hızın ölçülebilmesi için yüksek maliyetli sensörler gerekmektedir. [44] numaralı bu çalışmada araştırmacı yaptığı master tezi ile; bu hızı alabildiğince ucuz sensörler yardımıyla belirlemeye ve buna ek olarak da yol eğiminin hesaplanmasına yönelik bir çalışma yaparak elde ettiği sonuçların uygun olması durumunda hibrid/elektrikli araçlara uygulanmasını amaçlamıştır.

Küçük araçların kullanımı sağladığı kolaylıklar nedeni ile birçok uygulama için cazip hale gelmiştir. Malzeme taşıma işlemlerinden tarımsal alanda yapılan çalışmalara kadar küçük makineler küçük görevleri yerine getirmek için kullanılmaktadır ki; bu da küçük araçlardan beklenen performans güveninin artmasına yardımcı olmaktadır. Bu işlevleri yapabilen araçların otonom olması; istenilen hareketlerin hassas bir şekilde düzgün olarak yapılabilmesini zorunlu kılmaktadır. [45] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; çeşitli robot uygulamalarında konum hassasiyetine bağlı olarak genel bir kontrol yaklaşımı üzerinde

çalışmışlardır. Araştırmacıların bir yörüngenin izlenmesine yönelik ele aldıkları yaklaşımın temeli; literatürde daha önceden önerilen boylamsal ve yanal kontrol yasalarını destekleyecek şekilde bu yaklaşımların geliştirilmesine dayanmaktadır.

Son yıllarda robotik ve akıllı taşıma sistemlerine yönelik yapılan araştırmaların artması ile birlikte otonom araçlar da; araştırmalarda önemli bir konu haline gelmiştir. Önerilen otonom araç sistemlerinin birçoğu; otonom araçların park sistemlerine ve yolun yapılandırılmasıyla birlikte otonom bir sürüşün yapılabilmesi için tasarlanmıştır. Ancak bu tasarımda; otonom araçların şehir içerisinde bulunması durumunda yayaların çevre ile olan etkileşiminin araçlar üzerinde oluşturabileceği etmenler dikkate alınmamıştır. Yayaların çoğunluklu olduğu kalabalık bir ortamda; otonom araçların yol takibi ve güvenlik önlemleri biraz daha kısıtlı hale gelmektedir. [46] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; otonom araç sistemlerinin şehir içerisinde insan nüfusunun yoğun olduğu ortamlarda kullanılmasına bağlı olarak aracın emniyetinin ve hareketinin kontrol edilebilmesine yönelik bir bakış açısını dikkate alarak çalışmışlardır. Araştırmacılar; aracın hareketi için bir yol planlama sistemi tasarlayarak bu sistemin uygunluğunu üniversite kampüsü içerisinde test etmişlerdir.

Otonom araçların geliştirilmesinde tekerleklerin yüzey ile teması sonucunda oluşan kuvvetler hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Bu bilgiler; güvenlik aktüatörleri, araç simülatörlerinin onaylanması ve araç kontrol sistemlerinin geliştirilmesi için yararlıdır. [47] numaralı çalışma ile araştırmacılar; aracın kayma açısını tam olarak hesaplayabilmek için üç farklı hız değerini geleneksel olarak kullanılan testler ve sistem kararlılığını belirlemek için dört gözlemci ile karşılaştırmışlardır. Çalışmaları için gözlemcilerin kararlı olması gerektiğini ortaya koyan araştırmacılar, doğrusal olarak dinamik sınırlara yaklaşan bir araç modeli kullanmışlardır. Araştırmacıların deneyleri için yaptıkları çalışmalar da, aracın yanal kayma kuvvetlerini ve boylamsal konumdaki ivmelenmelerini gözlemleyebilmek ve oluşan hataları belirleyebilmek için STRADA marka bir araç üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları modelin temelini de; "bicycle model" yapısını baz alarak oluşturmuşlardır. Bu modeli kullanmalarının sebebi olarak, araç dinamikleri üzerinde etkili olan yanal (yalpalama oranı ve kayma açısı) kuvvetlerinin hesaplanmasında kolaylık sağlanması olarak belirtmişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlardan ağırlık merkezinin hızın ölçülmesinde ve yan kayma açısının belirlenmesinde etkili bir değişken olmadığı sonucunu elde etmişlerdir.

Günümüzdeki araçlar; konfor, sürücü için tasarlanan yardımcı sistemler ve özellikle de emniyetin arttırılmasına yönelik birçok işlevselliği sağlayacak şekilde büyük oranda bilgisayar tabanlı sistemlerin kullanıldığı bir hale getirilmiştir. Otomotiv sektöründe; endüstriyel standartlar ve müşteri gereksinimleri arttıkça, günümüzde yeni teknolojiler kullanılarak geliştirilen araçların sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır. Bugün mevcut olarak kullanılan bilgisayarlar; geliştirilen otonom araçlar için aktüatör ve sensörlerin kullanımını yeterli kılmaktadır. Otonom araçlar üzerinde yapılan çalışmalar; aracın yol takibi, acil durumlarda durdurulması ve araç önüne çıkan engellerin tespit edilerek önlenmesi gibi konuları kapsamaktadır ve bu konular üzerine yapılan çalışmalar yıllar önce başlamıştır. [48] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; otonom bir arazi aracı için direksiyon manevra hareketlerinin kontrol edilebildiği doğrusal olmayan bir sistem model yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır.

Son yıllarda otonom araçlar üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Otomatik sürüşlerin temel amacı, insan hatalarının neden olduğu kazaları azaltmak ve sürüş güvenliğini arttırmaktır. Ayrıca bunların yanı sıra; tam olarak otomatik sürüş yakıtın daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır ve böylece hava kirliliği de azalmaktadır. Otonom araçlar; şerit takibi, şerit değiştirme gibi farklı sürüş performans özelliklerini gerçekleştirebilmektedir ve bu konular literatür çalışmalarında geniş bir yer bulmuştur. Şimdiye kadar literatürde yapılan çalışmaların çoğunluğunu otonom araçların direksiyon açısının kontrolü üzerine yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Direksiyon açısının otomatik olarak kontrol edilebilmesi, aracın yanal hareketini iyileştirmektedir. Son yıllarda otonom araçlar; emniyet, hız, sürücü konforu, yakıt tüketimi ve trafik kurallarına uygunluğu kolaylaştıracak bir şekilde tasarlanmaktadır. [49] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; dört tekerlekli araçların direksiyondan ve sürüş performansından bağımsız olarak otonom araçların kontrolünü daha iyi bir şekilde sağlayabilmek için araç dinamiklerinin kontrolü üzerine çalışmışlardır.

Otonom sürüş sistemleri gittikçe daha da karmaşık bir hale gelmektedir ve bu sistemler piyasaya sunulmadan önce birçok deneysel testlere tabi tutulmaktadır. Burada bahsedilen deneysel testler; otonom araç sistemleri için tasarlanan eksiksiz bir profili, sistemlerin fonksiyonel olarak geliştirilmesini ve geliştirilen sistemlerin araca entegrasyon aşamalarını kapsamaktadır. [50] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; otonom araçlar için geliştirilen ve bu araçlara entegre edilen sistemleri test ederek, araç üzerinde fonksiyonel olarak çalışmaların doğrulanması için otonom sürüş testleri üzerine birtakım incelemeler yapmışlardır.

Tarım makinelerinin otomasyonunun; tarımda verimliliği ve kaliteyi geliştiren en etkili yollardan biri olduğu düşünülmektedir. Otonom bir tarım aracı temel olarak; bir insan sürücü olmaksızın tohum ekme, püskürtme, hasat etme gibi tarımsal işlemler için kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için ve otonom bir tarım robotunun konum hesaplaması yapabilmesi için otonom araçlar birçok sensör ile donatılmaktadır. [51] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; tarımsal faaliyet alanlarında kullanılan tarımsal bir robotun hareket kontrolünün istenilen bir şekilde sağlanabilmesi için, hareket kontrolü üzerinde mevcut olan problemler üzerine çalışmışlardır. Araştırmacılar bu problemlerin çözümüne yönelik ele aldıkları kontrol algoritmalarında; robotun tarla gibi bir arazi ortamında doğru bir şekilde yönlendirebilmek için sapma açılarını ve yüzey yapısının eğimli olmasından kaynaklanan yanal sapsmaları da dikkate almışlardır.

[52] numaralı çalışma ile araştırmacılar; tarımsal bir robot için üç eksenli bir ivme ölçüm sensörü kullanarak dönme açısının hassas bir şekilde belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar bu kapsamda tarımsal robotun engebeli yüzeylerdeki dönüşünü iyileştirmeyi ve kullandıkları ivme ölçüm sensörü ile ataletsel navigasyon sistemlerine göre maliyeti düşürmeyi amaçlamışlardır.

Robotlar son derece karmaşıktır. Robotlar, verilen görevleri bir bütün olarak hassas bir şekilde yerine getirebilmek ve gerekli olan bilgileri başarıyla aktarabilmek için birbiriyle sekronize olarak çalışan birçok farklı alt sistemden oluşmaktadır. [53] numaralı çalışma ile araştırmacılar; tarımsal uygulamalarda kullanılan tarımsal robotların uygulama alanlarını, tarımsal robotların gelişim aşamalarını, bu robotlardaki mevcut yenilikleri ve bunlarla ilgili kavramları literatürde yapılan çalışmalar kapsamında derleyerek güncel bir çalışma olarak sunmuşlardır.

Otonom tarım robotları tarımsal uygulamaların otomasyonlaştırılması için kullanılmaktadır. Tarımsal sektörün otomasyonlaştırılması ile işçilik maliyetlerinde azalma ve verimi yüksek hassas bir tarım yapılması amaçlanmaktadır. [54] numaralı bu çalışma ile araştırmacılar; tarımsal alanda gereksinim duyulan insan gücünü azaltmak ve zamandan tasarruf sağlamak amacıyla bir otonom tarım araç sisteminin tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar tasarladıkları otonom tarım aracının tohum ekme ve gübreleme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesini amaçlamışlardır.

İnsan ve robot arasındaki etkileşimler son yıllarda önem kazanan kapsamlı bir araştırma konusu haline gelmiştir. [55] numaralı bu çalışmada araştırmacılar; son yıllarda robotik üzerine yapılan çalışmalarda karmaşık sorunların çözümü için insan ve robot arasındaki etkileşimden yararlanılarak işbirlikçi robotların ortaya çıktığını ve piyasa için bu işbirlikçi robotların gerekliliğine değinmişlerdir. Araştırmacılar işbirlikçi robotların birçok endüstriyel alanda kolaylıkla kullanılırken bu robotların tarımsal uygulamalara adapte edilmesinin zor bir süreç olduğundan bahsetmişlerdir. Araştırmacılar bu zorlu süreci, meyve ve sebzelerin toplanması gibi tarımsal işlemlerin tamamen otomatik hale getirilemeyecek kadar karmaşık olması şeklinde tanımlamışlardır.

İşbirlikçi robotların endüstriyel alanda kullanılan robotlar olmasının temel nedenleri ağır yük taşıma kabiliyetine sahip olmaları ve üretimin uzun bir süre boyunca sürdürülebilir olmasıdır. İşbirlikçi robotlar ve insanlar arasındaki etkileşim ile yapılan işlemler günümüzde işbirlikçi işlemler olarak adlandırılmaktadır. İşbirlikçi robotların insanlar tarafından sürekli tekrarlanan işlemleri yapması insanlarda meydana gelen iskelet kas sistemi rahatsızlıklarını büyük oranda düşürmesine karşın büyük robotların kombinasyonu ile ortaya çıkan işbirlikçi robotlarla çalışmak beraberinde bazı kazaları meydana getirmektedir. Bu nedenle işbirlikçi robotlarının kullanıldığı yerlerde gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. [56] numaralı çalışma ile araştırmacılar; büyük laboratuvar ortamlarında işbirlikçi robotların test edilerek güvenlik önlemlerinin artırılması ve bu önlemlerin istenilen şekilde gerçekleştirilmesine yönelik çalışmışlardır.

Tarımsal uygulamalar için kullanılan robotların günümüzde meyve ve sebze toplamak gibi birden çok işlevli işlemleri yerine getirmek ve insan gücünün tarımdaki yerini tamamıyla alma noktasına geldiği görülmektedir. [57] numaralı bu çalışma ile araştırmacı; tarımsal uygulamalarda kullanılan teknolojinin robotik uygulama alanlarından sadece bir tanesi olduğuna değinerek, tarımsal uygulamalarda kullanılan robotik teknolojiler ile bitkilerin sulama, ilaçlanma gibi işlemlerinin yapılarak çiftçiler için büyük kolaylıklar sağladığını belirtmektedir. Araştırmacı yaptığı incelemeler neticesinde 2050 yılına kadar tarımsal uygulamalarda kullanılan robot teknolojisinin yaklaşık 240 milyar dolarlık bir pazar endüstrisi haline geleceğini belirtmiştir. Araştırmacı yaptığı çalışma ile Avrupa'da "Agrobot" adında bir İspanyol şirketin çilek yetiştirmek için, İngiltere'de ise "Dogtooth Technologies" isimli bir firmanın ise tarımsal uygulamalarda kullanılmak üzere kendi seri otonom tarım robotlarını

geliştirdiğinden bahsederek günümüzde tarımsal uygulamalar için yapılan çalışmaları yüzeysel olarak incelemiştir.

Endüstride sürekli tekrarlanan işler, işlerin ağırlığı ve bu ağırlığa bağlı olarak gereksinim duyulan insan gücünün artması bugün mesleki risk faktörleri içerisinde yer almaktadır. Mesleki risk faktörleri insanlarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları olarak kendini göstermektedir. Bu bağlamda işbirlikçi robotlar endüstride üretim görevlerini yerine getirmek için oldukça avantajlı hale gelmektedir. [58] numaralı çalışmada araştırmacılar; bir imalathane şirketi için çalışanlar arasındaki mesleki riskleri azaltarak çalışanların güvenliklerini arttırmak ve üretim hattındaki performansın iyileştirilmesi için bir işbirlikçi robotun üretim hattında uygulanması üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar öncelikli olarak işbirlikçi robotun üretim hattına uygulanabilmesi için üretim hattının mekanik olarak bir tasarımını yapmışlardır. Sonrasında işbirlikçi robotu literatürde kullanılan konsol metodu ile yapılandırarak, sonrasında firma tarafından sağlanan test ortamlarında işbirlikçi robot için risk analizi yapılarak güvenilirliğini test etmişlerdir. Araştırmacıların yaptığı çalışmalar; imalathanede çalışan insanlar için mesleki risk faktörlerini azaltmada işbirlikçi robotların önemli bir etkisi olduğunu ve üretim hattındaki performansın işbirlikçi robotlar ile arttırıldığı sonucunu ortaya koymuştur.

İşbirlikçi robotlar kullanım kolaylıkları ve seri üretimde sağladıkları avantajlar nedeniyle endüstriyel üretimde önemli bir konuma gelmiştir. Endüstride kullanılan işbirlikçi robotların birçoğu güç ve güç sınırlayıcı cihazlardır. Bu avantajlarının yanı sıra işbirlikçi robotların en büyük dezavantajı bir hata oluştuğunda robotun durmaya zorlanmasıdır. Robotların durmaya zorlanması güvenlik açısından tolere edilebilmesine karşın robotun verimlilik performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu dezavantajlar robotların kullanıldığı işlerde ekonomiyi olumsuz olarak önemli ölçüde etkilemektedir. [59] numaralı çalışma ile araştırmacılar; bu dezavantajın ortadan kaldırılmasına yönelik optimum bir robot tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada robotun durmaya zorlanmasını gerektiren çarpışma durumları dikkate alınarak araştırmacılar, çevrenin robot tarafından algılanmasını arttıran hassas ölçekli bir kamera kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarını universal bir robot üzerinden test etmişlerdir.

BÖLÜM 3

MATEMATİKSEL MODELLEME

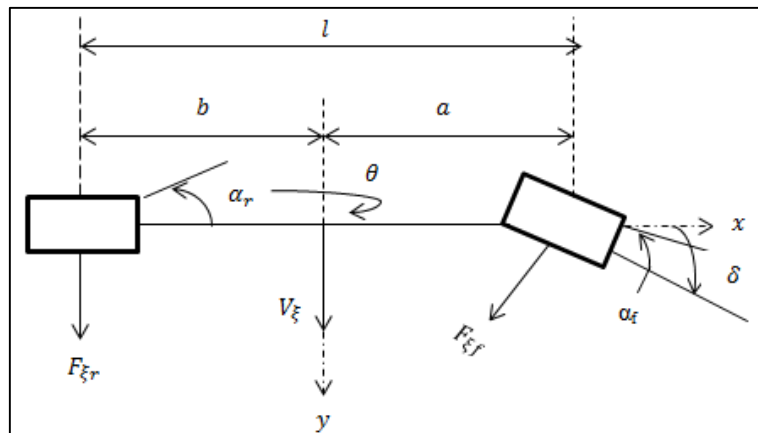
3.1 LİTERATÜR ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MODELLER

3.1.1 Bisiklet Modeli

Araç dinamiğine bağlı olarak çok sayıda serbestlik derecesi ve bunun bir sonucu olarak da çok çeşitli sayıda araç dinamik modelleri bulunmaktadır. Bisiklet modeli olarak türkçeye çevrilen bu modeli ana hatlarıyla, iki serbestlik dereceli ve üç serbestlik dereceli bisiklet modeli olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür.

3.1.1.1 İki Serbestlik Dereceli Bisiklet Modeli

Bu model; aracın yanal ve yalpalama olarak da adlandırılan araç tekerleklerinden kaynaklanan bir kayma olması durumunda ortaya çıkan araç hareketlerini temsil eden bir modeldir. Bu modelin anlaşılması diğer bisiklet modeline göre daha kolay olduğundan, sistemlerin anlaşılması için temel bir bisiklet modelidir [60].



Şekil 3.1 İki serbestlik dereceli bisiklet modeli [60].

Şekil 3.1 de [60] iki serbestlik dereceli bir bisiklet modeli gösterilmiştir. Bu model; aracın yanal ve yalpalama kararlılığına bağlı olmadığı için yapılan hesaplamalarda boylamsal faktörler dikkate alınmamaktadır [60].

3.1.2.1 Üç Serbestlik Dereceli Bisiklet Modeli

Bir aracın tüm hareketlerini analitik denklemler ile ifade etmek oldukça karmaşık bir işlemdir. Analitik yöntemler ile ifade edilen denklemler çok fazla denklemsel bileşen içermekle beraber, bu bileşenlerin sayısının fazla olması araca ait istenilen değerlerin hassas bir şekilde hesaplanabilmesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Üç serbestlik dereceli bisiklet modeli de iki serbestlik dereceli bisiklet modeli ile kıyaslandığında; istenilen verilen daha hassas bir şekilde elde edilebilmesi için daha fazla denklemsel bileşenin hesaba katıldığı ve iki serbestlik dereceli bisiklet modeli baz alınarak geliştirildiği bir modeldir. Bu modelde; ön ve arka lastik kayma açılarını da içeren denklemler bulunmaktadır [60].

3.1.2.2 Hareket Denklemleri

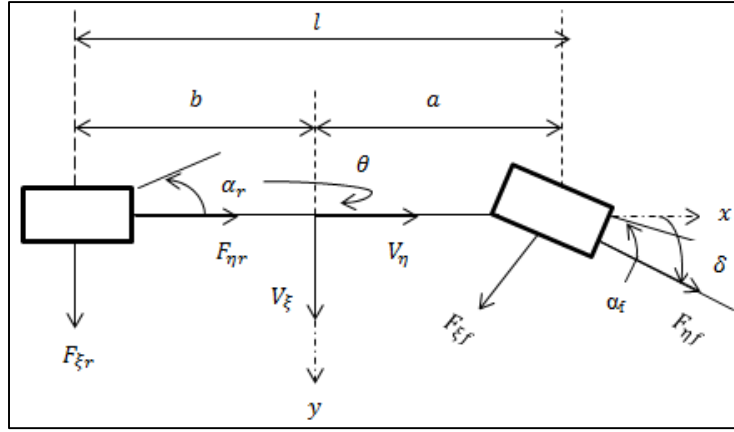
İncelenen çalışmalar doğrultusunda üç serbestlik dereceli bir sisteme ait denklemler 3.1 [60], 3.2 [60] ve 3.3 [60] olarak numaralandırılmıştır.

$$I\ddot{\theta} = aP_f\delta + bF_{\xi f} - bF_{\xi r} \quad (3.1)$$

$$m(\dot{V}_\xi + V_\eta\dot{\theta}) = P_f\delta + F_{\xi f} + F_{\xi r} \quad (3.2)$$

$$m(\dot{V}_\eta + V_\xi\dot{\theta}) = P_f + P_r + F_{\xi f}\delta \quad (3.3)$$

Şekil 3.2 de [60] incelenen çalışmalar doğrultusunda şematize edilmiş üç serbestlik dereceli bir bisiklet modeli gösterilmiştir [60].



Şekil 3.2 Üç serbestlik dereceli bisiklet modeli [60].

Şematik olarak gösterilen bu hızlar bir XYZ koordinat sistemi baz alındığında;

$$\dot{x} = -V_{\xi} \sin\theta + V_{\eta} \cos\theta \quad (3.4)$$

$$\dot{y} = V_{\xi} \cos\theta + V_{\eta} \sin\theta \quad (3.5)$$

denklem 3.4 [60] ve 3.5 [60] kullanılarak tanımlanmaktadır [60].

Şekil 3.2 [60] de ve yukarıda verilen denklemlerde kullanılan parametrelerin temsil ettiği kavramlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [60].

$F_{\xi f}, F_{\xi r}$ = Ön ve arka lastiklerdeki yanal kuvvetler

a = Ön akstan araç merkezine kadar ağırlık konumu

b = Arka akstan araç merkezine kadar ağırlık konumu

m = Araç kütlesi

I = Aracın kayma ataleti

P_f, P_r = Ön ve arka lastiklerdeki boylamsal kuvvet

V_{η}, V_{ξ} = Referans noktasındaki aracın yanal ve boylamsal hızı

x, y = Atalet referans noktasındaki aracın yanal ve boylamsal konumu

δ = Direksiyon açısı

η = Cismin referans noktasındaki boylamsal eksen

θ = Kayma açısı

ξ = Cisim referans noktasındaki yanal eksen

3.1.2.3 Ön Lastik Kayma Açısının Türetilmesi

Ön lastik kayma açısı; ön lastik direksiyon açısı, boylamsal hız vektörü, yanal hız vektörü ve yanal hız bileşenleriyle birlikte kaymanın bir fonksiyonudur. İncelenen çalışmalar doğrultusunda kayma açısı matematiksel olarak;

$$\alpha_f = \delta - \frac{(a\dot{\theta} + V_\xi)}{V_\eta} \quad (3.6)$$

olarak 3.6 [60] denklemi ile ifade edilmiştir ve bu ifade de kullanılan parametreler ise;

δ = Direksiyon açısı

a = Ön akstan araç merkezine kadar ağırlık konumu

$\dot{\theta}$ = Aracın kayma hızı

V_ξ = Aracın yanal hızı

V_η = Aracın boylamsal hızı

olarak tanımlanmıştır [60].

Ön lastik kayma açısının formülize edildiği denklem 3.6 [60] da, ön lastik kayma açısı yanal kuvvetlerin belirlenebilmesi açısından önemlidir.

3.1.2.4 Arka Lastik Kayma Açısının Türetilmesi

Arka tekerlek kayma açısı; boylamsal hız vektörü ile yanal hız vektörünün oranının ve yanal hız bileşeniyle birlikte kaymanın kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan bir faktördür. İncelenen çalışmalar doğrultusunda kayma açısı;

$$\alpha_r = \frac{(b\dot{\theta} - V_\xi)}{V_\eta} \quad (3.7)$$

olarak 3.7 [60] denklemi ile ifade edilmiştir ve burada kullanılan parametreler;

b = Arka akstan araç merkezine kadar ağırlık konumu

$\dot{\theta}$ = Aracın kayma hızı

V_ξ = Aracın yanal hızı

V_{η} = Aracın boylamsal hızı
şeklinde tanımlanmıştır [60].

Arka lastik kayma açısının formülize edildiği denklem 3.7 [60] de, arka lastik kayma açısı yanal kuvvetlerin belirlenebilmesi açısından önemlidir.

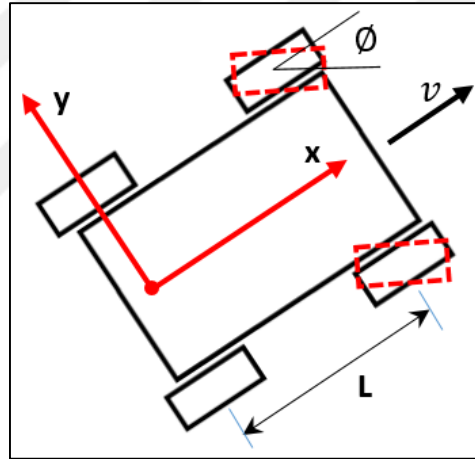
3.2.1 Araba Benzeri Hareketli Bir Mobil Robot Modeli

Günlük hayatımızda yaptığımız işleri kolaylaştırmak adına yapılan robotik çalışmalar, dünyada giderek önem kazanan araştırma alanlarından biri haline gelmektedir. Yapılan bu robotik çalışma alanları içerisinde de ulaşımı kolaylaştırmak adına yapılan çalışmalar oldukça önemlidir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların temeli de, araba benzeri hareketli mobil robotlara dayanmaktadır [61].

Araba benzeri mobil robot çalışmaları yeni yeni gelişen bir alan olmasına karşın bununla beraber dinamik dış çevre koşullarında hareket edebilen tam otomatik, elektrikli ve otonom arabalar geliştirmek imkânsız değildir. Ancak karşımıza çıkan çeşitli sorunlar vardır ve bu sorunların başında da; nonholonomik sistemler gibi çeşitli sınırlamalar altında ve bilinmeyen çevre koşullarında bulunan bir arabanın hareketine izin veren model yaklaşımının geliştirilmesidir. Bu yaklaşımla ilgili mevcut olan problemlerin bir kısmı, aracın başlangıçtaki konumu ile istenilen hedef konumu temsil eden veri girdilerinin gerçek zamanlı olarak hesaplanması ile giderilmiştir. Burada hedeflenen konum/yön iki koordinat sistemi ile birlikte iki boyutlu olarak ifade edilmiştir. Bu şekilde yapılan bir ifadeye 'yön odaklı hedef' denilmektedir. Kapalı robotların çoğu holonomiktir ve döndürme hareketine sahiptir. Böylece bir kez iki boyutlu konuma ulaşıldığında yönlendirme açısına tek bir dönüş ile kolaylıkla ulaşılabilir. Nonholonomik robotlarda ise bu işlem holonomik robotlardaki kadar kolay olmamakla birlikte, holonomik robotlara kıyasla daha güçlü ve akıllı bir kontrol stratejisi gerektirmektedir. Doğru bir yönlendirme; insanların ulaşım amaçlı taşımacılığı ve tarımsal alanlarda kullanılan otonom tarım araçları gibi uygulamalar için dış ortam veya açık hava navigasyonu önemlidir. Nonholonomik robotlara uygulanan otonom navigasyon sistemleri ile ilgili birçok çalışma; araçların takibi için kullanılmak üzere küresel bir analitik yörünge tasarımı üzerinde odaklanmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan yaklaşımlar genel olarak iki temel yaklaşımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi; uygun bir yörünge planlamak ve ikincisi ise bu yörüngeyi izlenebilmesi için bir kontrol algoritması tasarlamaktır. Bu yaklaşımlarla,

küresel bir analitik yörünge üzerinde verimli sonuçlar elde edilirken; küresel olmayan yörüngelerde verimli sonuçlar elde edilememektedir. Navigasyon sistemlerinin daha aktif olarak kullanılabilmesi için, kinematik sınırlamalar uzaysal gösterimlerle tanıtılmalıdır. Tam tamına doğru bir yörünge izlenilmesini hedefleyen bu yaklaşım yerine, diğer yaklaşımlar robotu başlangıç konumundan hedefe götürmek için bulanık kümelerle dayanan algoritmaları kullanır [61].

İncelenen literatür çalışmalarında, nonholonomik sistemler için kullanılan deney platformlarından biri de araba benzeri hareketli bir mobil robot modelidir. Bu model; ön tekerleklerin her zaman birbirlerine olan paralellik konumlarını koruyarak sağa veya sola dönebileceği bir modeldir. Arka tekerlekler ise araç gövdesine paralel olarak sabitlenir. Bu tür tekerlekli robotlar; hız ve durum vektörlerini içeren diferansiyel ifadelerin oldukça karmaşık olduğu ve nonholonomik kısıtlamalara sahip sistemleri kapsamaktadır.



Şekil 3.3 Araba benzeri hareketli bir robot modeli.

Şekil 3.3 de incelenen literatür çalışmalarında kullanılan araba benzeri bir hareketli mobil robot modeli basit olarak şematize edilmiştir.

Burada kullanılan parametreler;

$[x, y]$ = Arka tekerleklerin orta noktasına ait koordinatlar

v = Tekerleklerin kesişim noktasındaki hızı

\emptyset = Ön tekerleklerin dönüş yönü

l = Ön ve arka tekerleklerin eksenleri arasındaki mesafe

olarak tanımlanmaktadır. Buna göre bu modelin kinematik denklemi;

$$\dot{x} = v \cos \theta \cos \phi \quad (3.8)$$

$$\dot{y} = v \sin \theta \cos \phi \quad (3.9)$$

$$\dot{\theta} = v \frac{\sin \phi}{l} \quad (3.10)$$

3.8 [61] , 3.9 [61] ve 3.10 [61] denklemleri ile ifade edilmektedir [61].



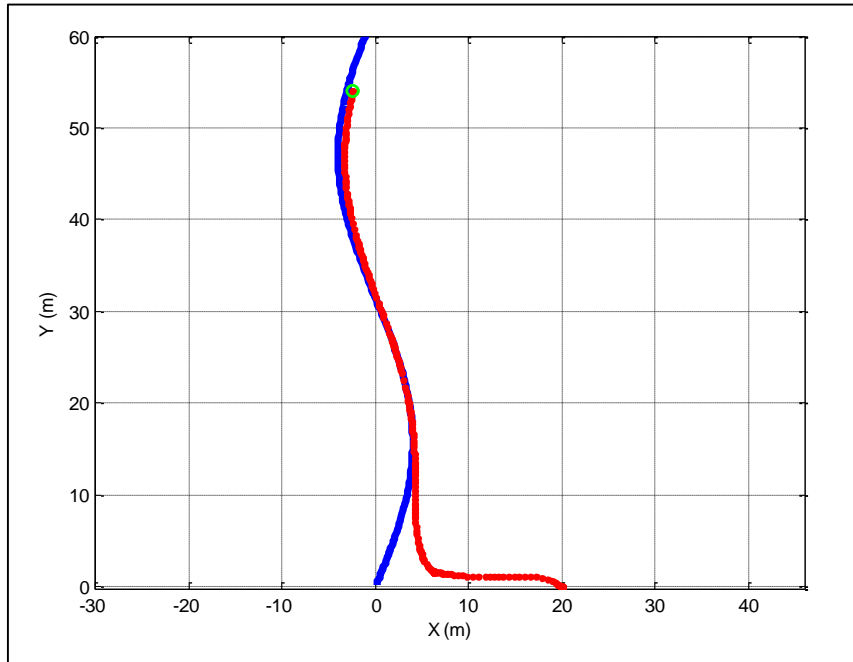


BÖLÜM 4

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında kullanılan mobil platformun matematiksel modeli denklem (3.8) ve (3.10) kullanılarak kurgulanmıştır. Oluşturulan model ve kontrolcü, Matlab programlama ortamında kodlanarak; mobil robotun durağan olan konumundan referans yörünge üzerinde yaptığı hareketleri gözlemleyebilmek için, başlangıç konum değerleri farklı değerler ile değiştirilerek aracın yörüngeyi takip etme aşaması gözlemlenilmiştir. Programlama sonucunda farklı değerler için Matlab programlama ortamında elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda verilmiştir.

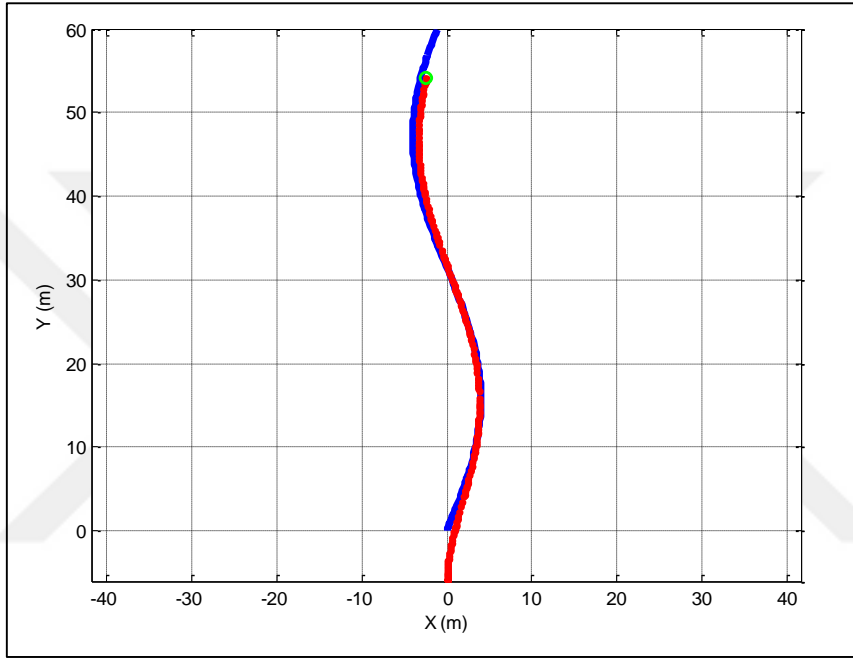
Şekil 4.1 de mobil robotun başlangıç değerleri olan; $X=0$, $Y=0$ ve $\theta=\pi/2$ değerlerinden, sadece X değerinin; $X=0$ dan $X=20$ yapılması sonucunda, mobil robotun yörünge takibi için izlediği yolun simülasyon sonucu aşağıdaki şekilde verilmiştir. Referans yörünge mavi çizgi ile, simülasyon sonucu ise kırmızı çizgi ile verilmiştir.



Şekil 4.1 Mobil robotun X değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.

Şekil 4.1 deki simülasyon sonucuna göre; $X=0$ değerinin $X=20$ ye yükseltilmesi sonucunda programın çalıştırılmasıyla birlikte, bulunduğu $X=20$ ve $Y=0$ koordinatlarından başlayarak belirli bir kavis ile yörünge takibine başladığı gözlemlenmiştir.

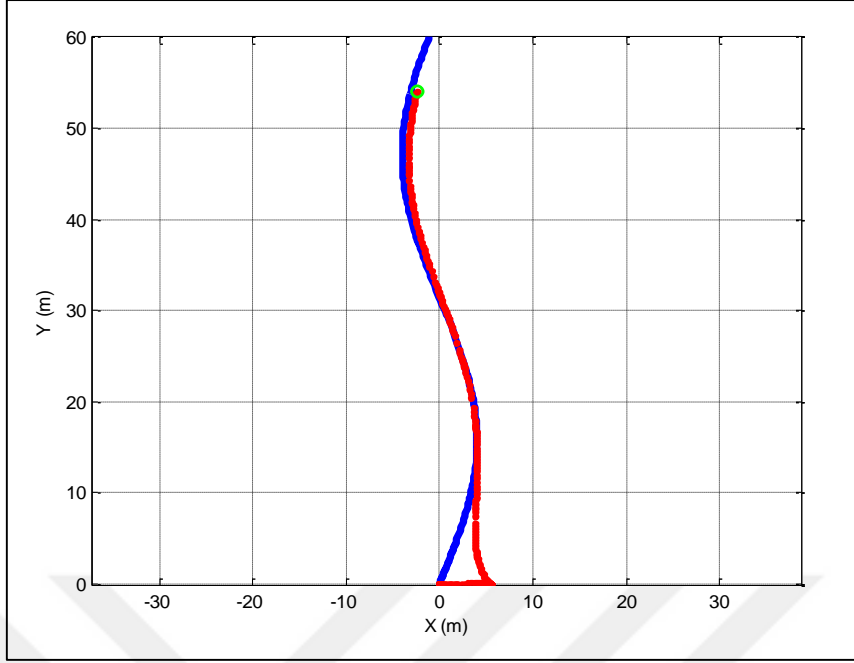
Şekil 4.2 de mobil robotun başlangıç değerleri olan; $X=0$, $Y=0$ ve $\theta=\pi/2$ değerlerinden, sadece Y değerinin; $Y=0$ 'dan $Y=-6$ yapılması sonucunda mobil robotun yörünge takibi için izlediği yola ait simülasyon sonucu aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.2 Mobil robotun Y değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.

Şekil 4.2 de elde edilen simülasyon sonucuna göre; mobil robotun başlangıçta sıfır olan Y değerinin -6 yapılması sonucunda; bulunduğu $X=0$ ve $Y=-6$ konumundan başlayarak Şekil 4.1 deki gibi fazla bir sapma yapmadan belirli bir kavisle yörüngeyi takip ettiği gözlemlenmiştir.

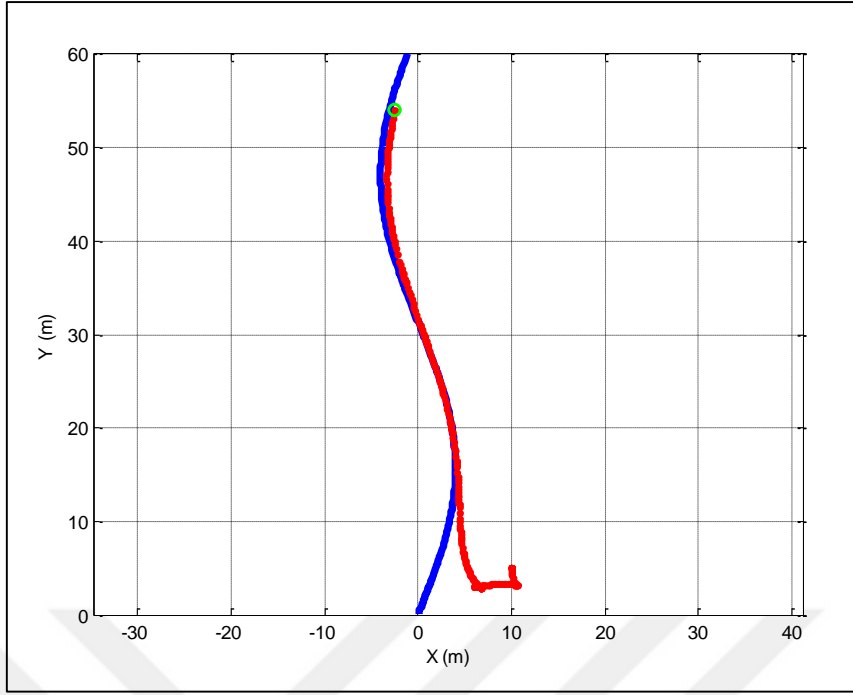
Şekil 4.3 de; mobil robotun başlangıç değerleri olan $X=0$, $Y=0$ ve $\theta=\pi/2$ değerlerinden, sadece θ değerinin; $\theta=\pi/2$ değerinden $\theta=\pi$ yapılması sonucunda mobil robotun yörünge takibi için hareketi sırasında izlediği yola ait simülasyon sonucu aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.3 Mobil robotun θ değerindeki değişim sonucunda oluşan yörünge takibi.

Şekil 4.3 de verilen simülasyon sonucuna göre; $\theta = \pi/2$ değerinin $\theta = \pi$ ye yükseltilmesi sonucunda mobil robotun bulunduğu X noktasından başlayarak kısa bir süre sabit olarak hareket ettikten sonra, X ekseninden Y eksenine doğru bir kavis yaparak yörünge takibine başladığı gözlemlenmiştir.

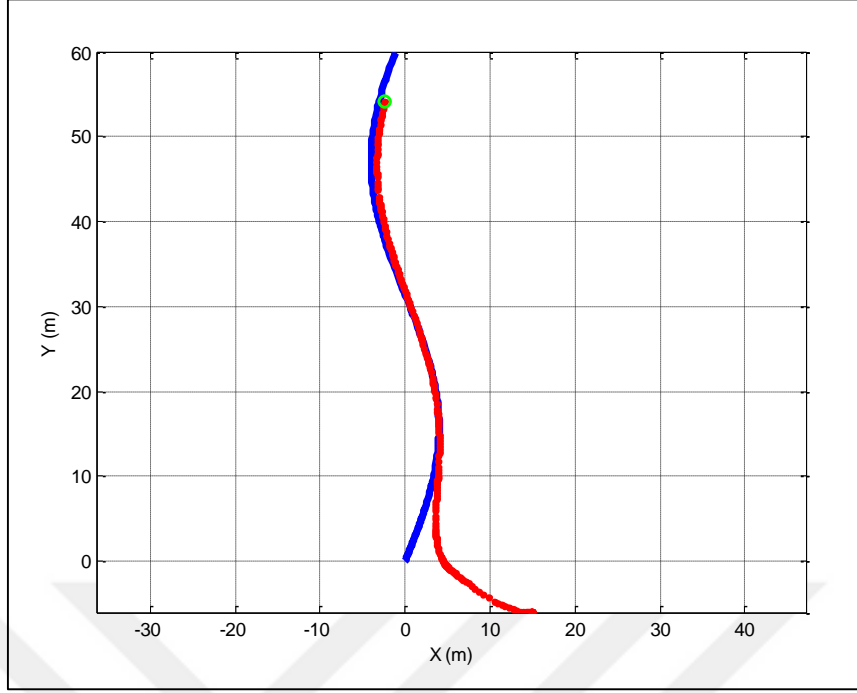
Şekil 4.4 de; mobil robotun başlangıç değerleri olan $X=0$, $Y=0$ ve $\theta = \pi/2$ değerlerinden, X ve Y değerlerinin $X=0$ dan $X=10$ a ve $Y=0$ dan $Y=5$ e yükseltilmesi sonucunda mobil robotun yörünge takibi için izlediği yola ait simülasyon sonucu verilmiştir.



Şekil 4.4 X ve Y değerlerinin değişimi sonucunda oluşan yörünge takibi.

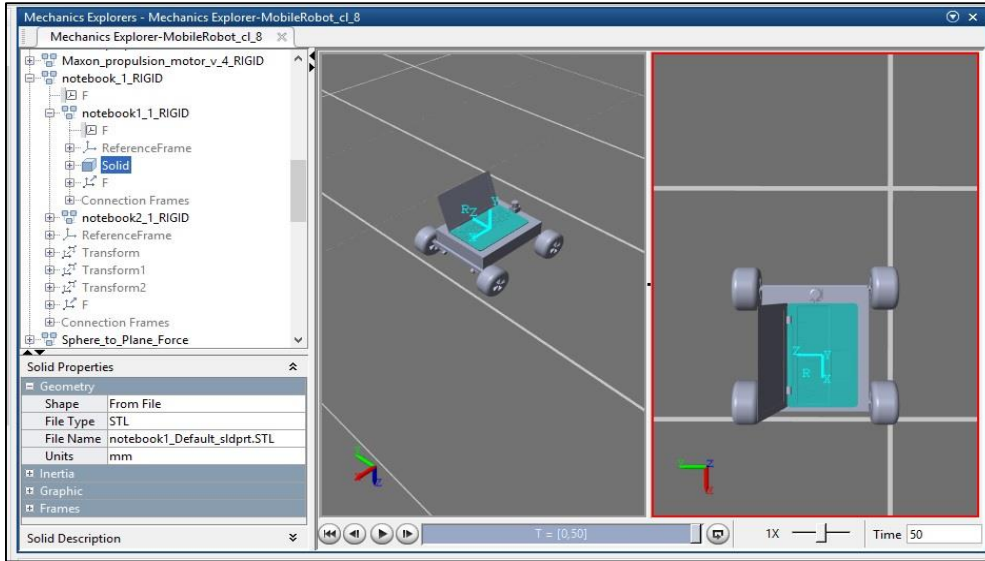
Şekil 4.4 de verilen simülasyon sonucuna göre; mobil robotun $X=0$ ve $Y=0$ olan başlangıç konumlarının $X=10$ ve $Y=5$ yapılması sonucunda mobil robotun yörüngeyi takip etme süresi; Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 deki simülasyon sonuçlarından elde edilen simülasyon verilerine göre daha fazla zaman almıştır. Bunun nedenin de; mobil robotun yörüngeye yaklaşmak için daha fazla sapma ve referans yörüngeyi bulmak için birden fazla kavis yapması olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 4.5 de; mobil robotun başlangıç değerleri olan $X=0$, $Y=0$ ve $\theta = \pi/2$ değerlerinden, X ve Y değerlerinin $X=0$ dan $X=15$ e, $Y=0$ 'dan $Y=-6$ e ve $\theta = \pi$ yapılması sonucunda mobil robotun yörünge takibi için izlediği yolun simülasyon sonucu elde edilmiştir. Şekil 4.5 de verilen simülasyon sonucuna göre; mobil robotun $X=0$, $Y=0$ ve $\theta = \pi/2$ olan başlangıç konumlarının $X=15$, $Y=-6$ ve $\theta = \pi$ yapılması sonucunda mobil robot yörüngeyi, Şekil 4.3 deki simülasyon sonucuna göre daha az sapma ile daha kısa sürede takip etmeye başlamıştır.

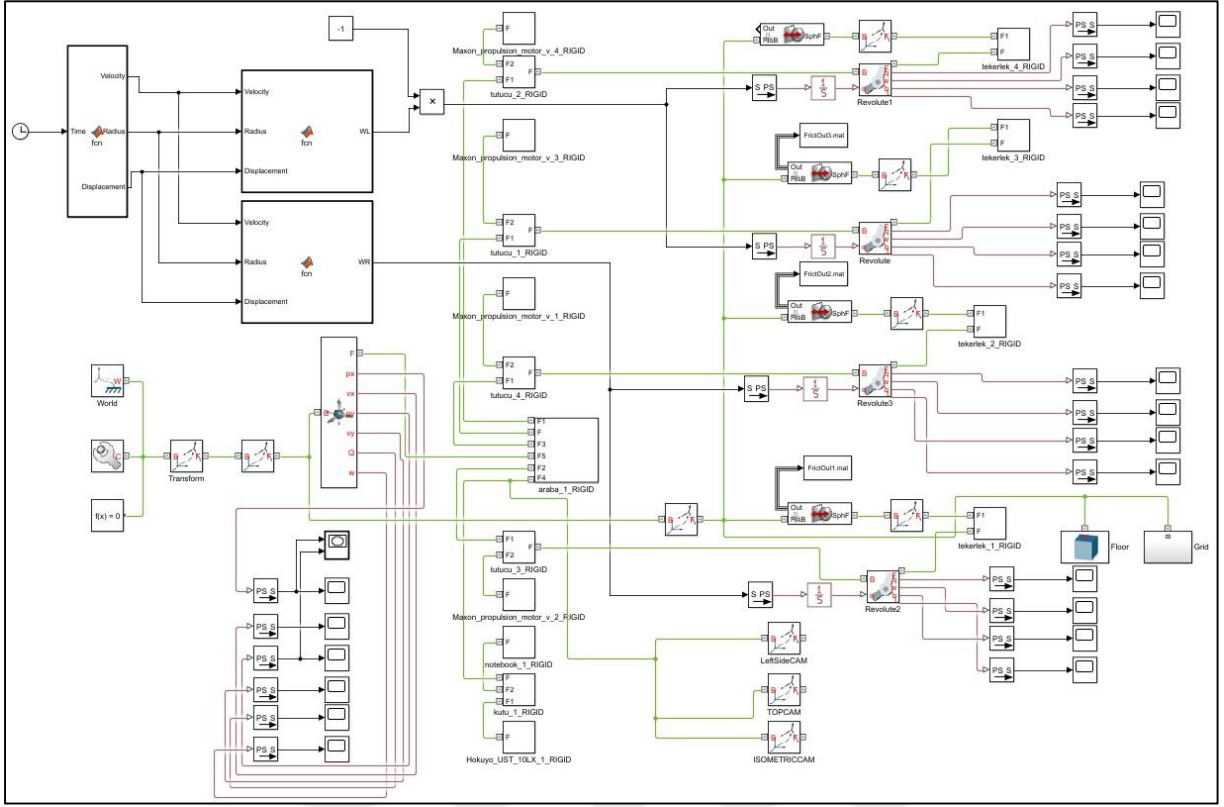


Şekil 4.5 X,Y ve θ değerlerinin değiştirilmesi sonucunda aracın yörünge takibi.

Referans yörüngenin takip edilebilmesi için kullanılan kontrolcünün araç dinamiği de göz önünde bulundurularak test işlemleri Simulink kullanılarak hazırlanan simülasyon ortamı ile yapılmıştır. Test ortamının genel görüntüsü Şekil 4.6 da verilmiştir. Simulink blok şeması ise Şekil 4.7 de verilmiştir.

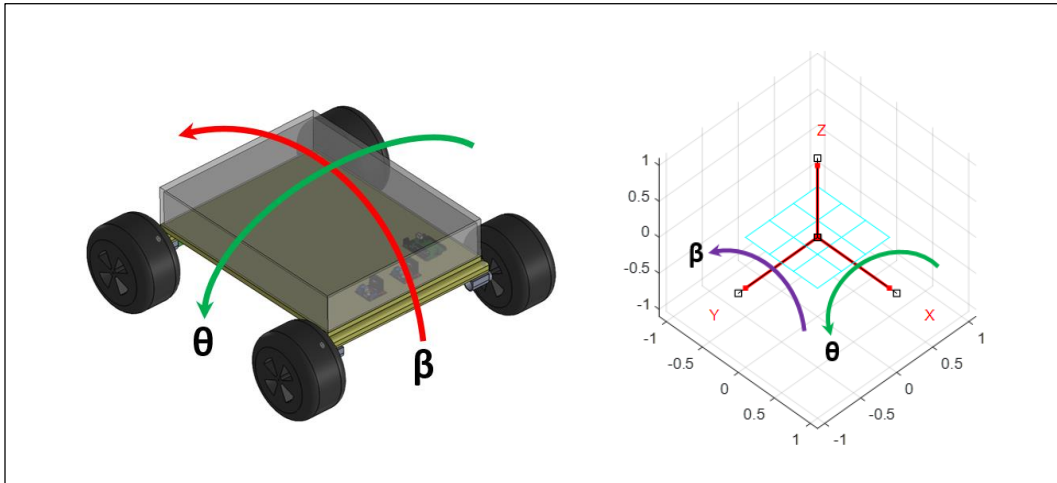


Şekil 4.6 Araç dinamiği ve kontrolcü test ortamı.



Şekil 4.7 Simulink blok şeması.

Şekil 4.8 de yüzey eğim açıları gösterilmiştir. Eğim açısının iki ekseninde olduğu varsayılmıştır. X eksen eğim açısı θ ile, Y eksen eğim açısı ise β ile gösterilmiştir.

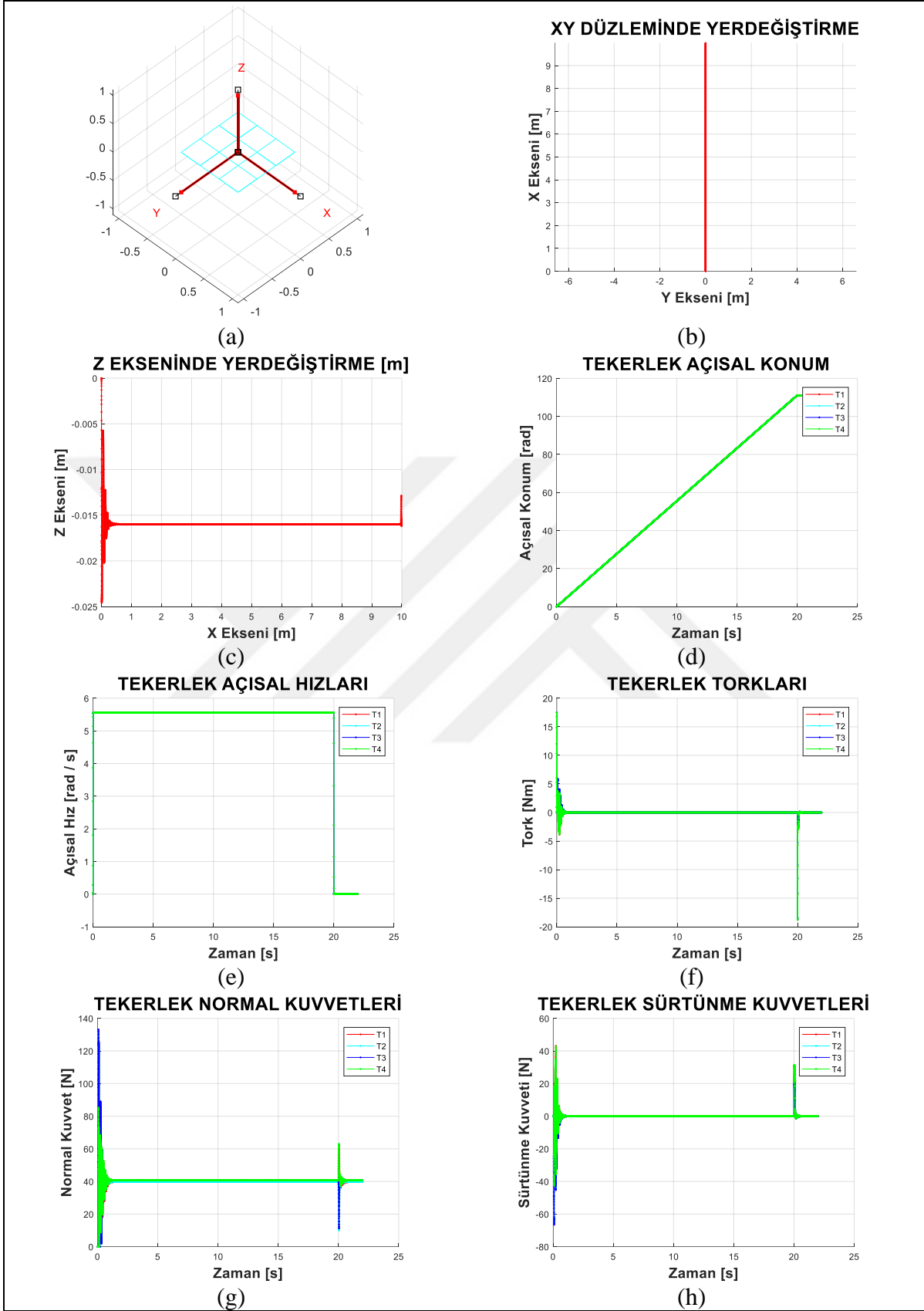


Şekil 4.8 Eğim açıları: X eksen eğim açısı θ ile, Y eksen eğim açısı β ile gösterilmiştir.

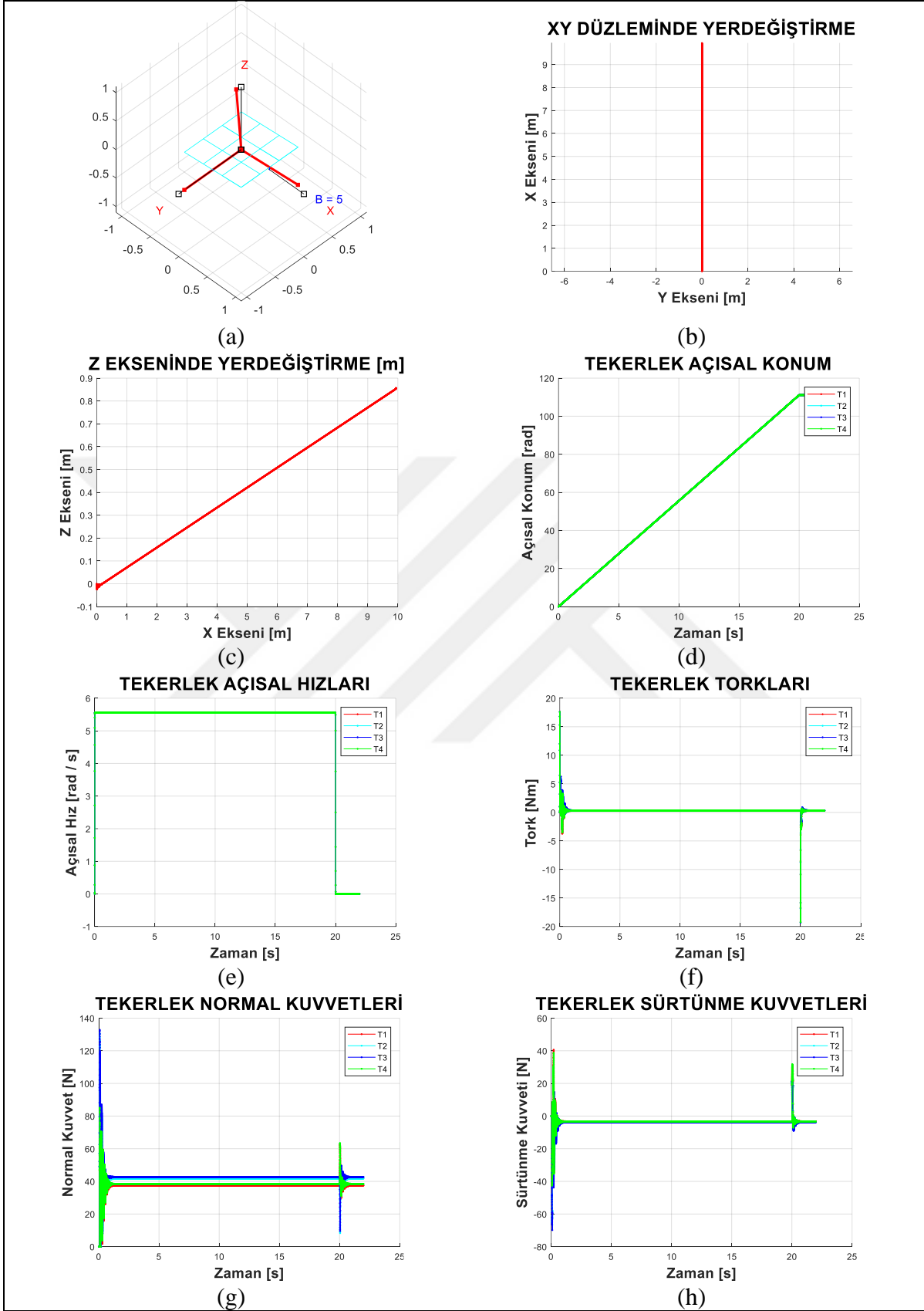
Şekil 4.7 de oluşturulan simülasyon ortamında, yol eğim açılarının değiştiği farklı durumlar oluşturulmuş ve robot aracın referans yörünge takibi performansı gözlenilmiştir. 16 farklı durum için simülasyon çalışması yapılarak, robot aracın davranışı detayları ile sunulmuştur. Her iki eğim açısının sıfır olduğu ($\theta = 0$, $\beta = 0$) birinci durum için simülasyon sonuçları Şekil 4.9 da verilmiştir. Şekil 4.9a da eğim açıları ve referans koordinat sistemi, Şekil 4.9b de robot aracın yerdeğiştirmesi, Şekil 4.9c de robot aracın ağırlık merkezinin Z-ekseninde yerdeğiştirmesi, Şekil 4.9d de mobil robotun dört tekerleği için tekerlek açısıl konumları, Şekil 4.9e de tekerlek açısıl hızları, Şekil 4.9f de tekerlek torkları, Şekil 4.9g de tekerlekler üzerinde oluşan normal kuvvetleri ve Şekil 4.9h de ise tekerlek sürtünme kuvvetleri verilmiştir. Diğer 15 durum için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 4.10a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.11a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.12a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.13a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.14a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.15a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.16a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.17a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.18a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.19a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.20a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.21a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.22a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.23a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.24a,b,c,d,e,f,g,h, Şekil 4.25a,b,c,d,e,f,g,h, de verilmiştir. Farklı durumlar için yapılan simülasyon çalışmasında kullanılan yüzey eğim açıları bilgisi aşağıda verilen Çizelge 4.1 de özetlenmektedir.

Çizelge 4.1 Farklı eğim açıları için yapılan simülasyon verileri.

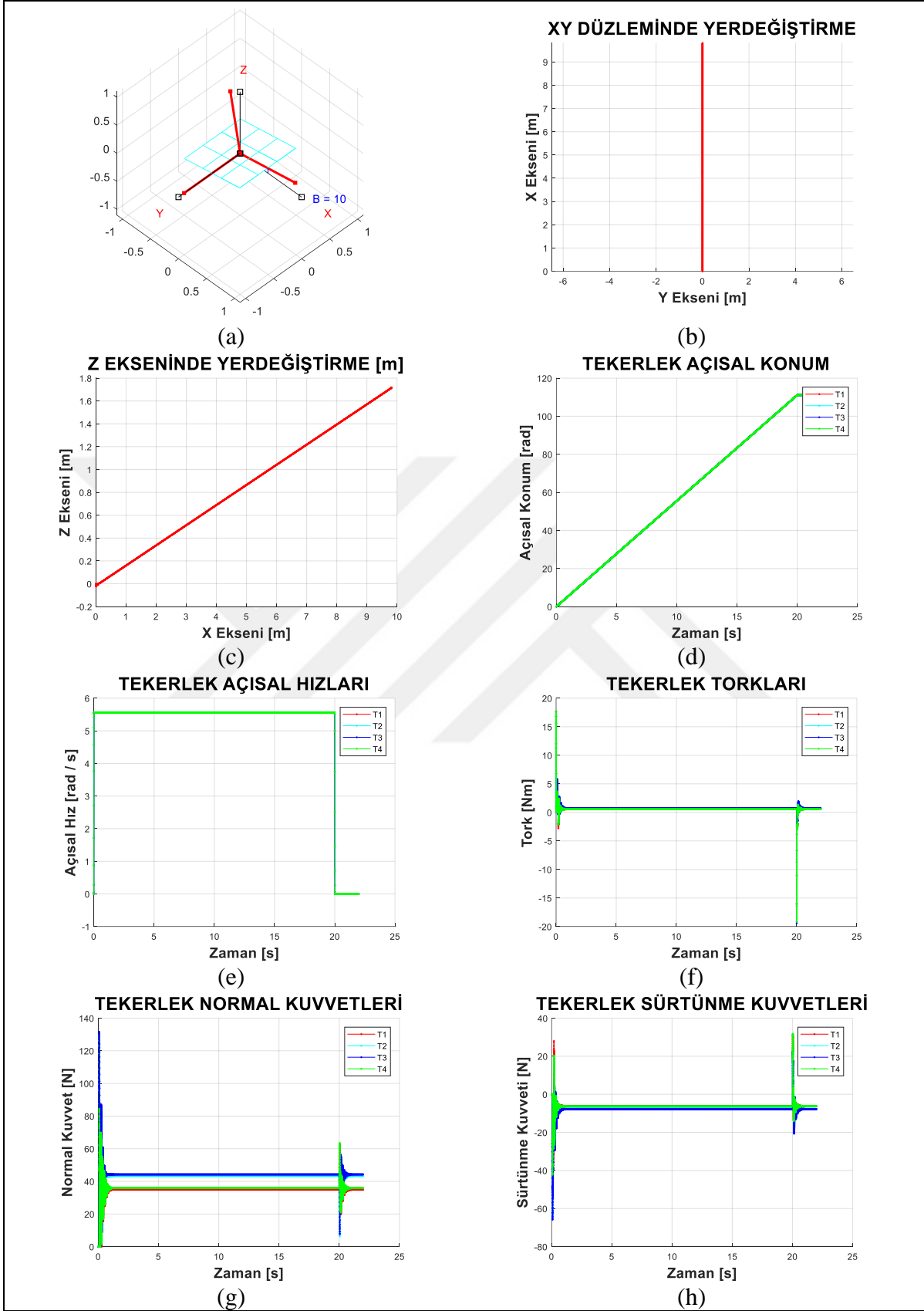
Durum	Eğim Açısı-1	Eğim Açısı-2	Şekil No
1	$\theta = 0^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.9
2	$\theta = 0^0$	$\beta = 5^0$	Şekil 4.10
3	$\theta = 0^0$	$\beta = 10^0$	Şekil 4.11
4	$\theta = 0^0$	$\beta = 20^0$	Şekil 4.12
5	$\theta = 0^0$	$\beta = 25^0$	Şekil 4.13
6	$\theta = 0^0$	$\beta = 30^0$	Şekil 4.14
7	$\theta = 0^0$	$\beta = -5^0$	Şekil 4.15
8	$\theta = 5^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.16
9	$\theta = 10^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.17
10	$\theta = 20^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.18
11	$\theta = 25^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.19
12	$\theta = 30^0$	$\beta = 0^0$	Şekil 4.20
13	$\theta = 10^0$	$\beta = 10^0$	Şekil 4.21
14	$\theta = 10^0$	$\beta = 25^0$	Şekil 4.22
15	$\theta = -10^0$	$\beta = 25^0$	Şekil 4.23
16	$\theta = 30^0$	$\beta = 30^0$	Şekil 4.24



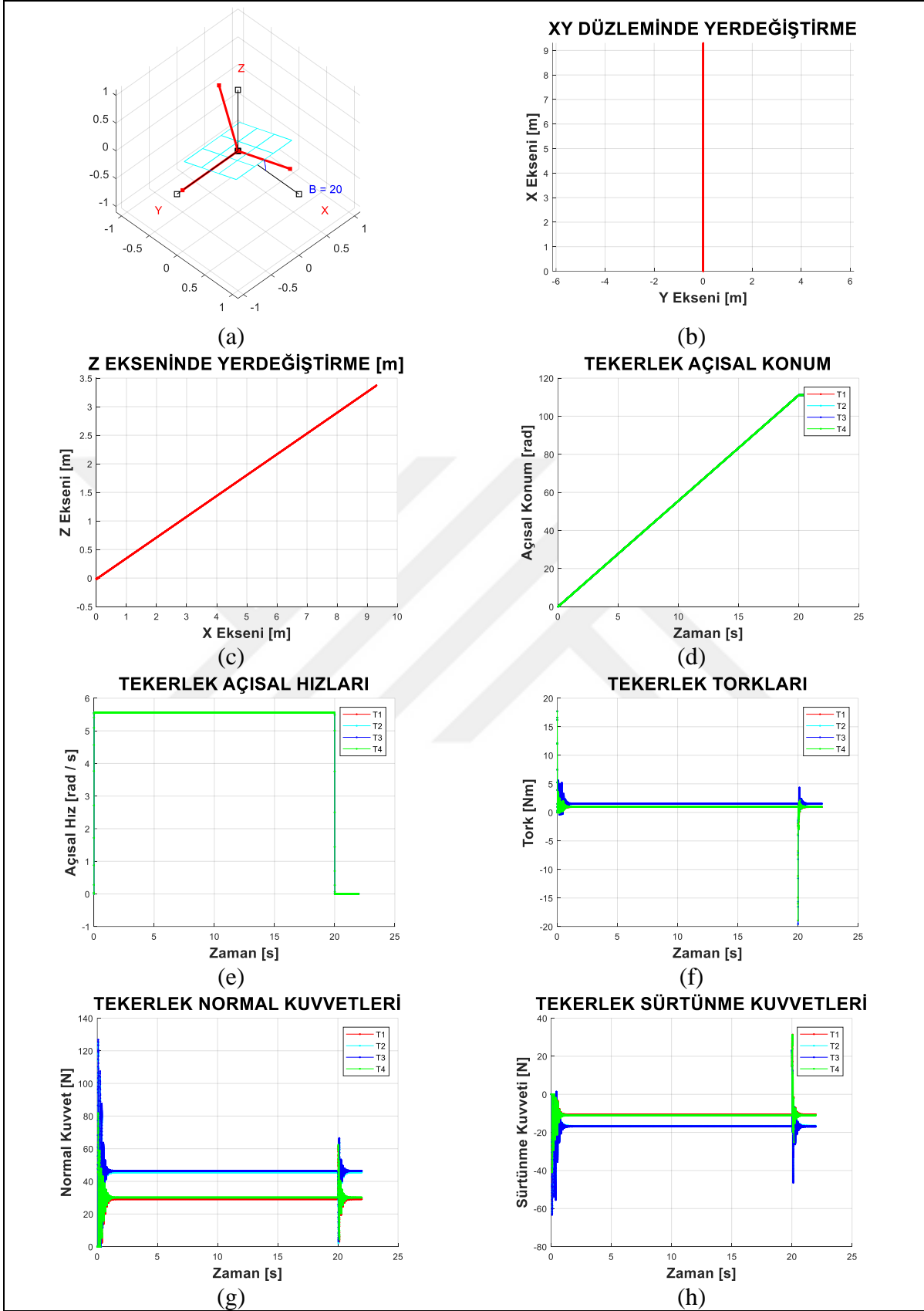
Şekil 4.9 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum – 1: Eğim açıları $\theta = 0^0$, $\beta = 0^0$.



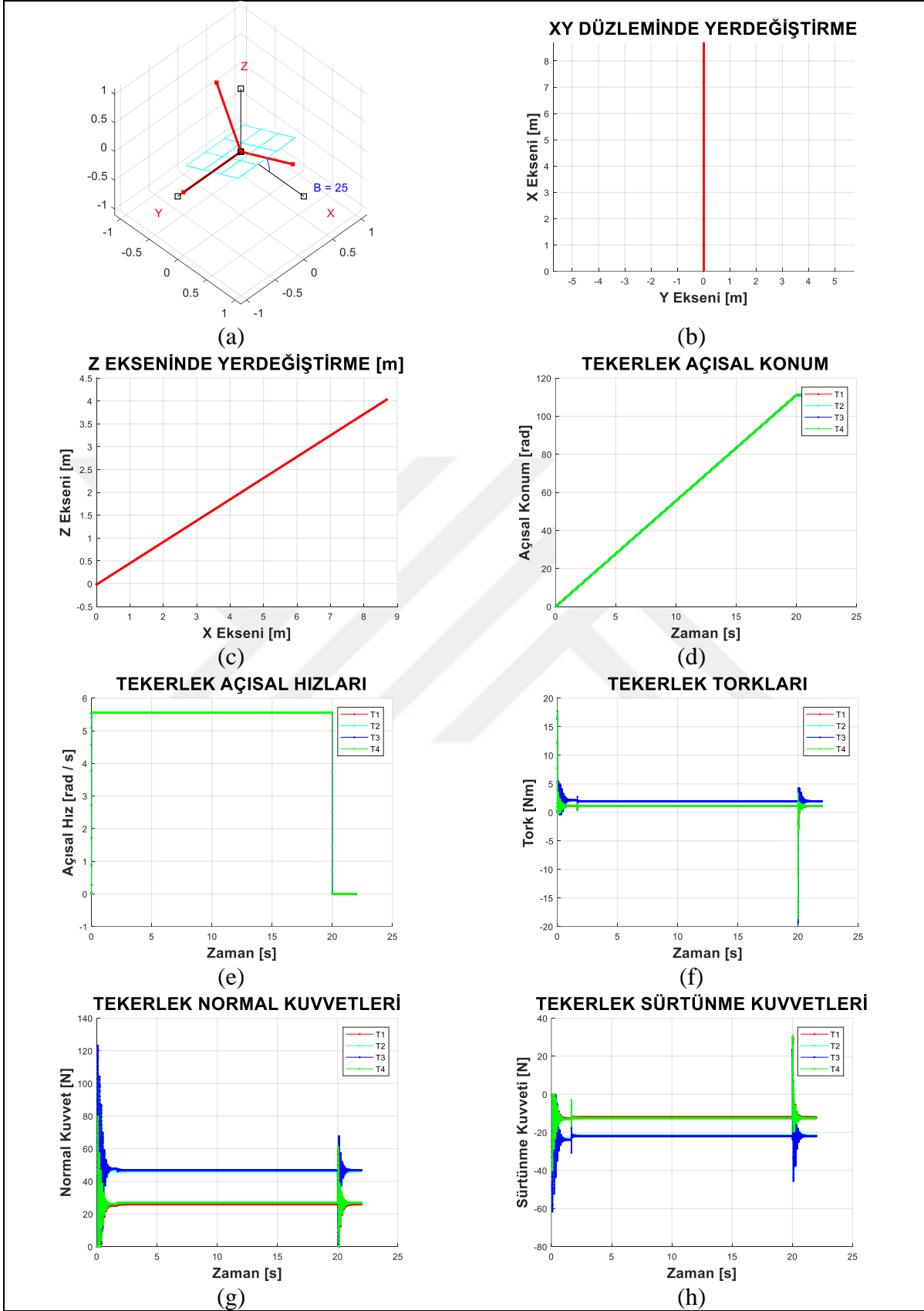
Şekil 4.10 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 2: Eğim açıları $\theta = 0^{\circ}$, $\beta = 5^{\circ}$.



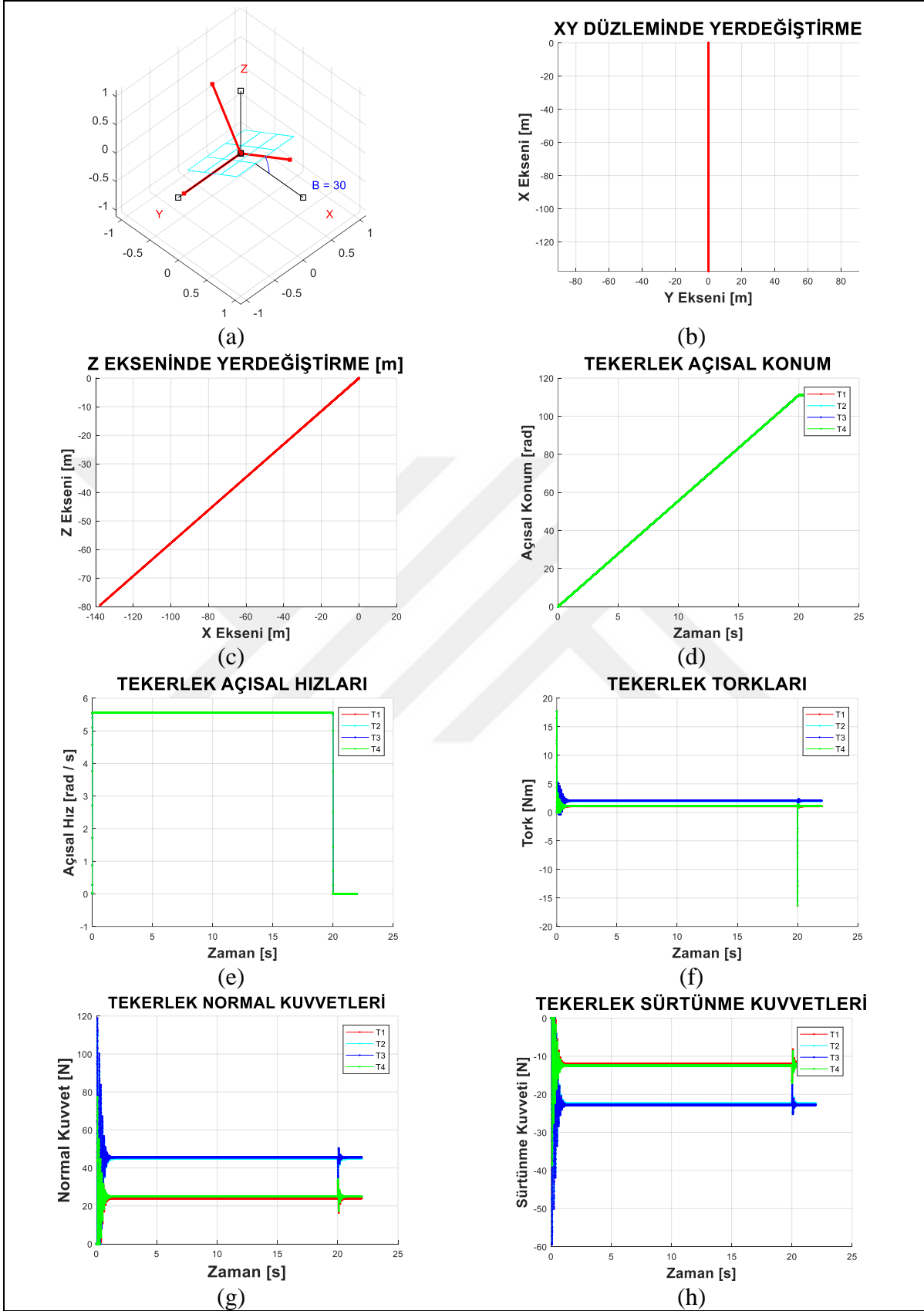
Şekil 4.11 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 3: Eğim açıları $\theta = 0^\circ$, $\beta = 10^\circ$.



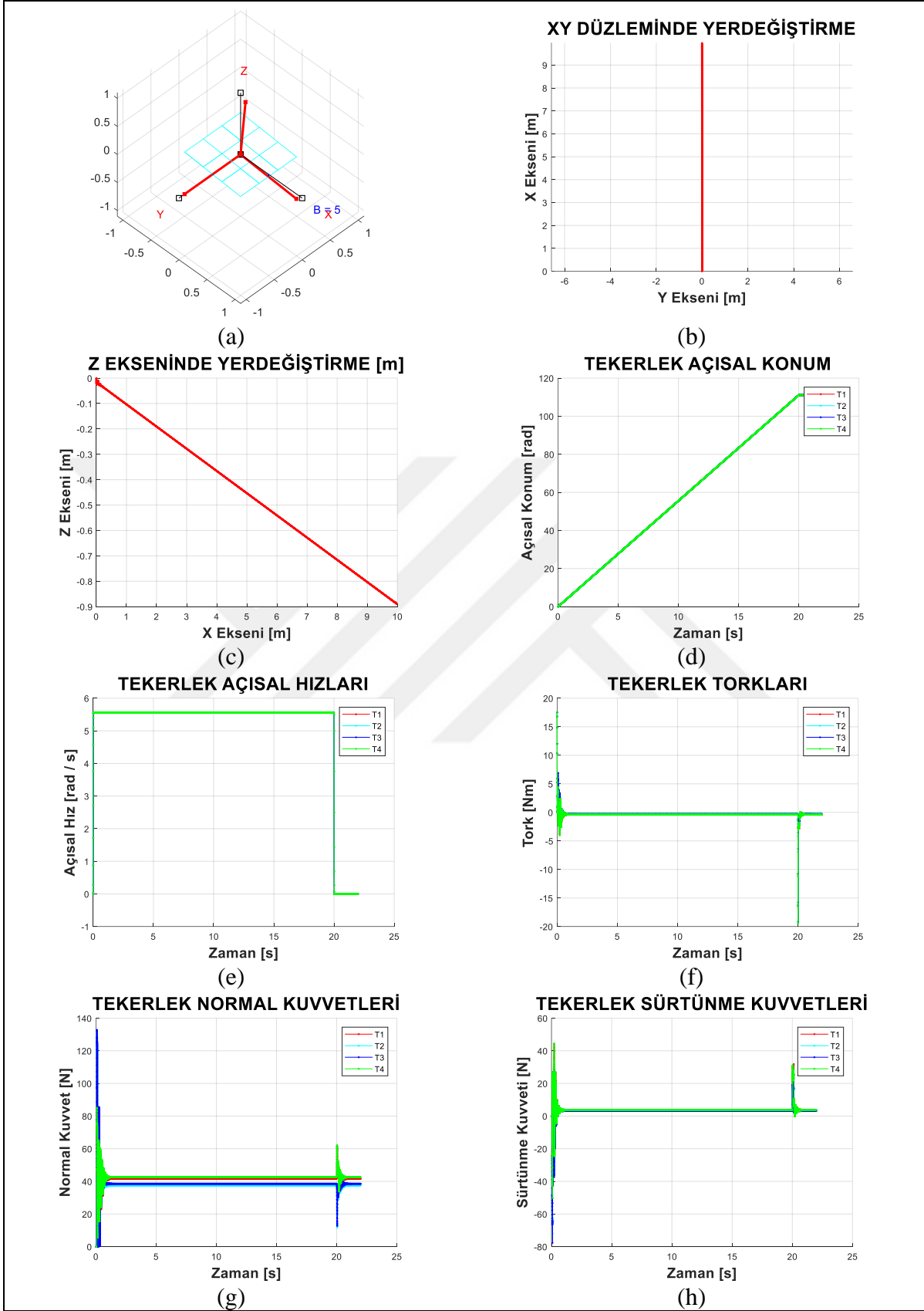
Şekil 4.12 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 4: Eğim açıları $\theta = 0^\circ$, $\beta = 20^\circ$.



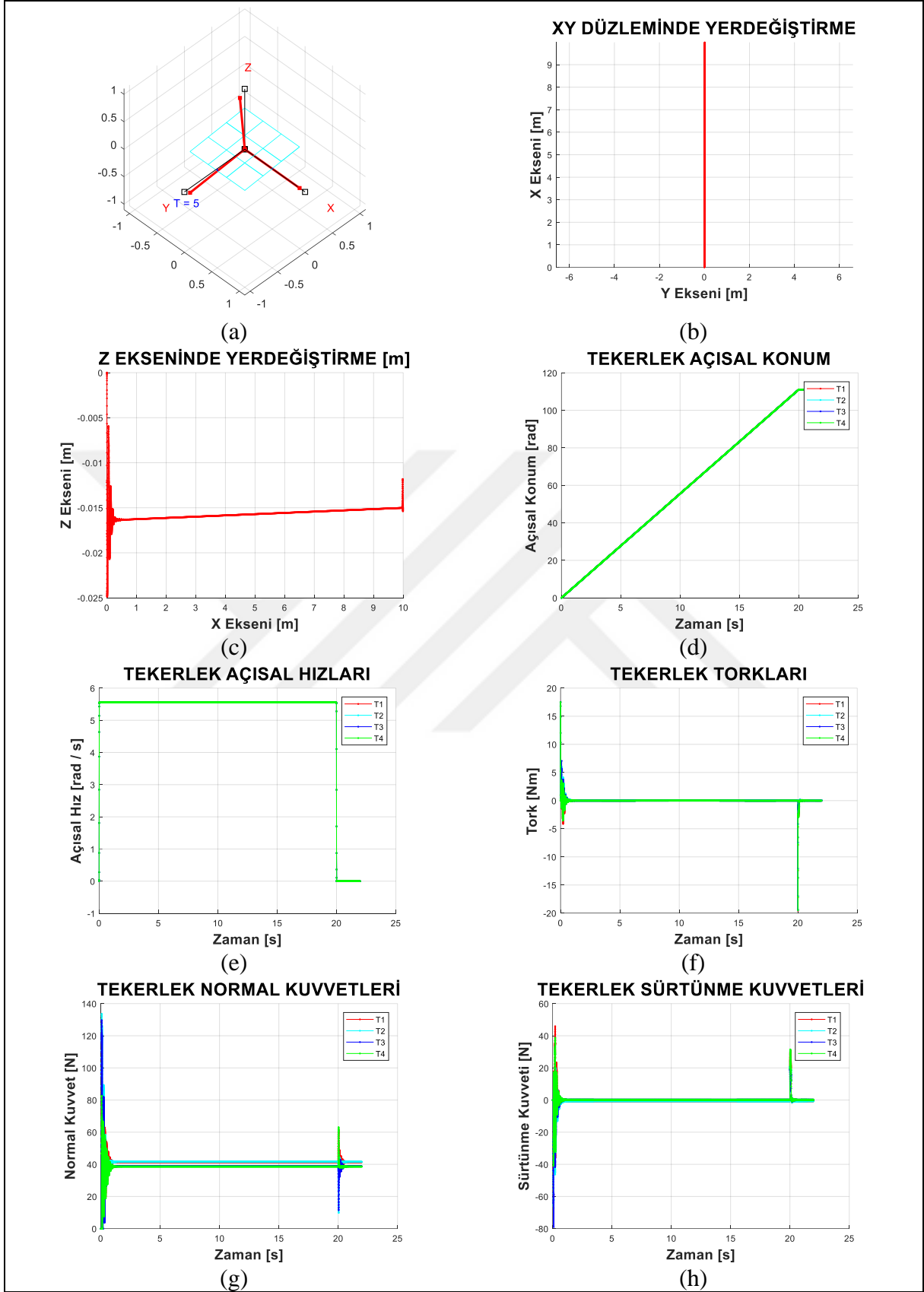
Şekil 4.13 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 5: Eğim açıları $\theta = 0^\circ$, $\beta = 25^\circ$.



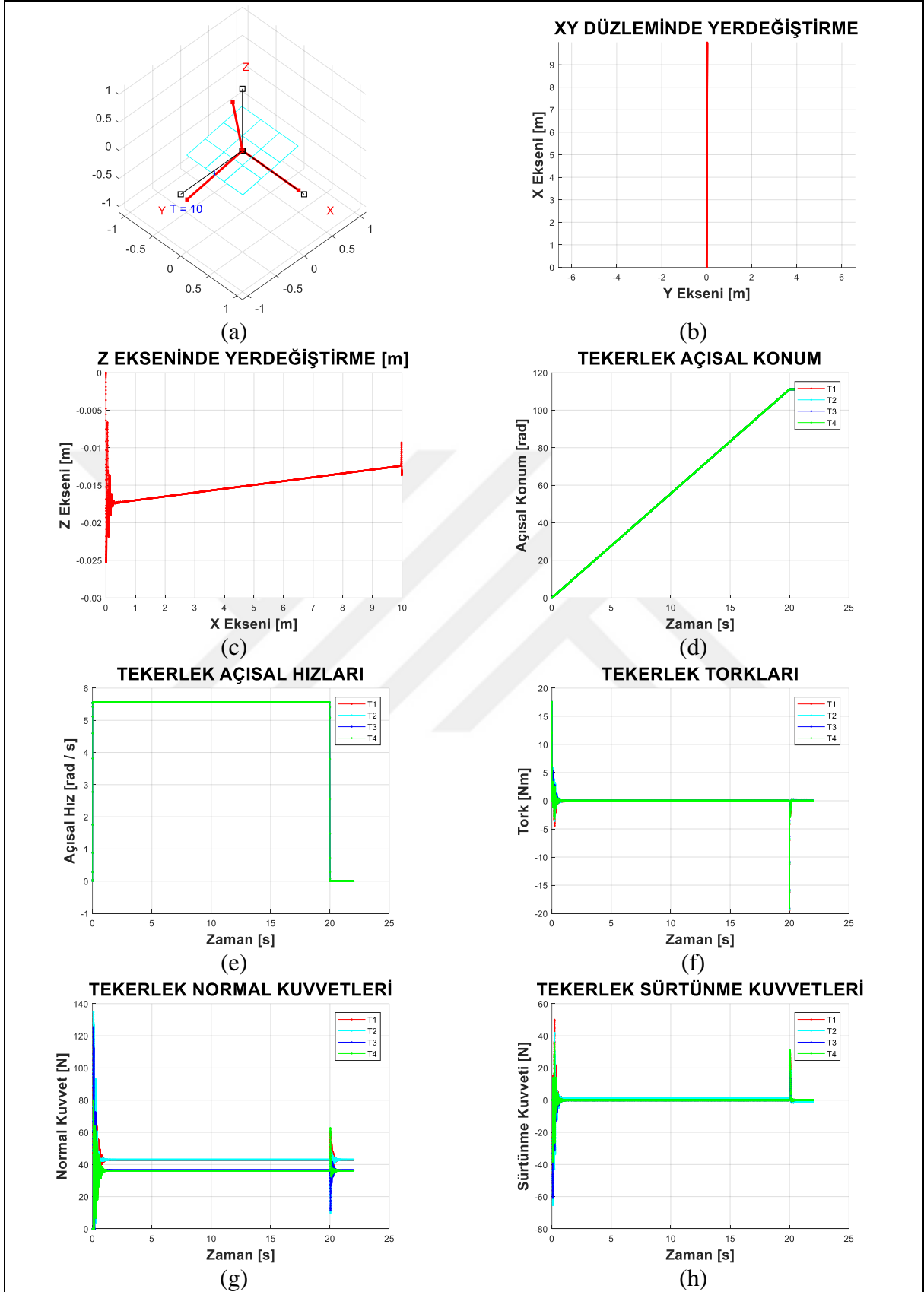
Şekil 4.14 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 6: Eğim açıları $\theta = 0^\circ$, $\beta = 30^\circ$.



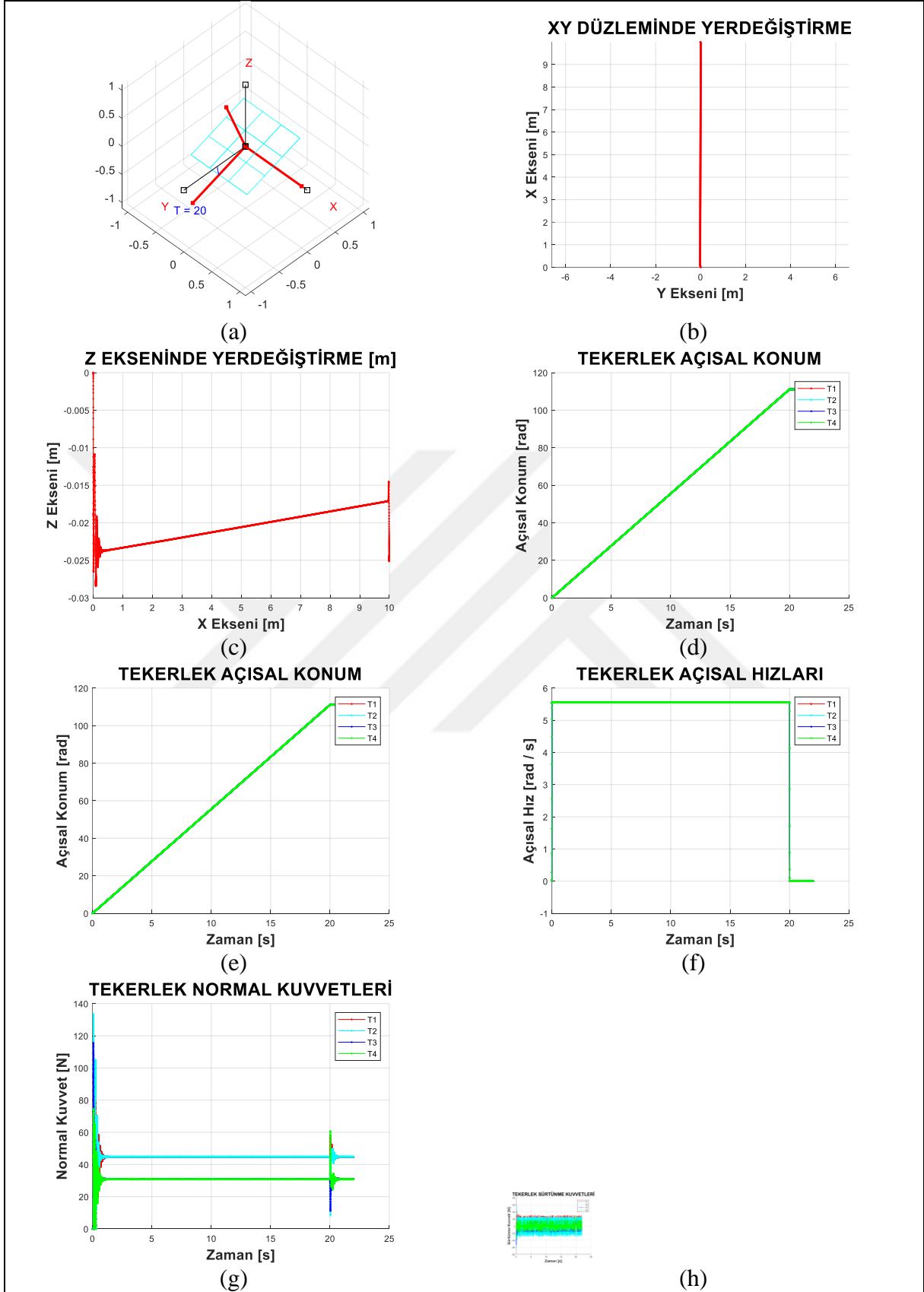
Şekil 4.15 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 7: Eğim açıları $\theta = 0^0$, $\beta = -5^0$.



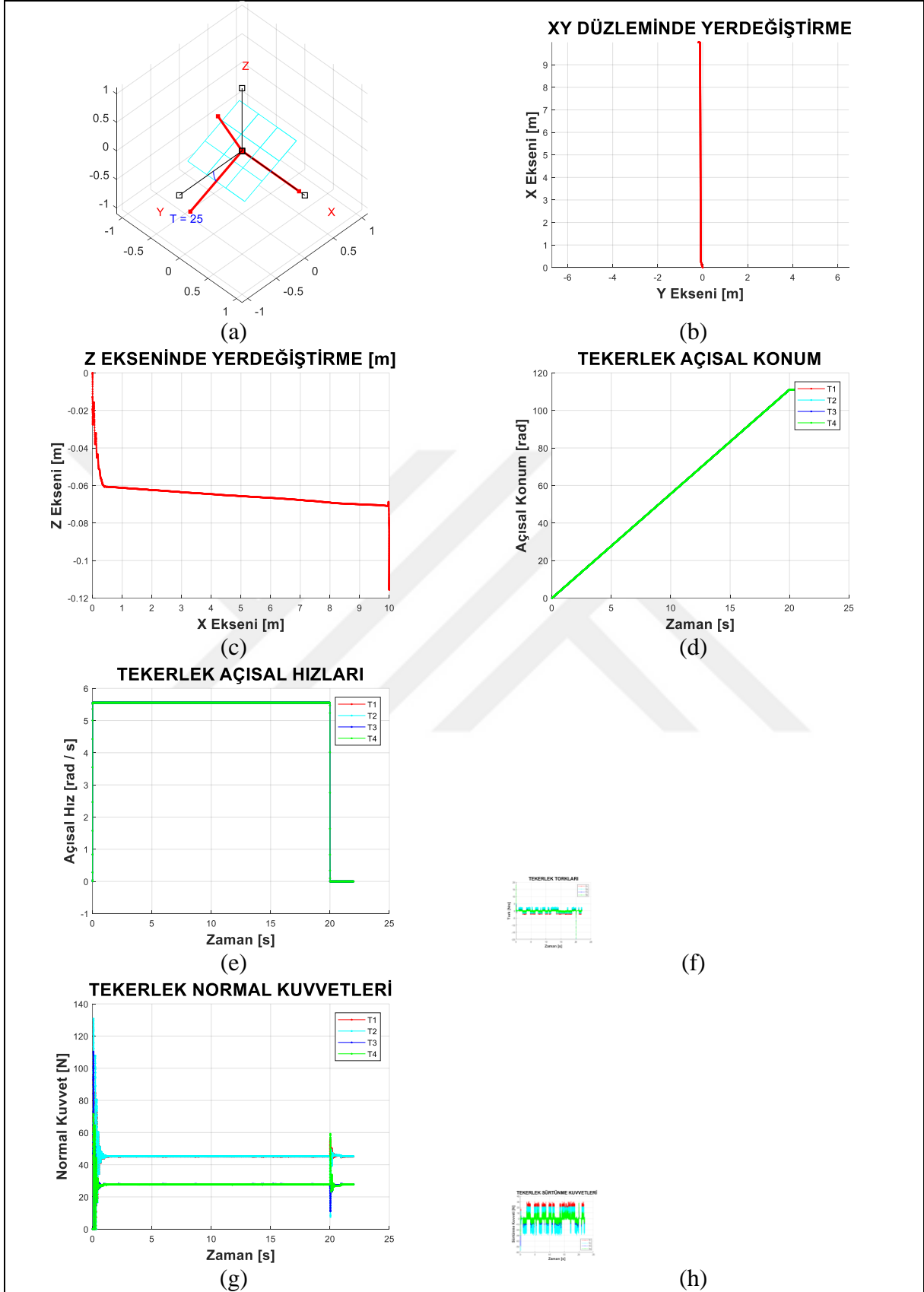
Şekil 4.16 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 8: Eğim açıları $\theta = 5^\circ$, $\beta = 0^\circ$.



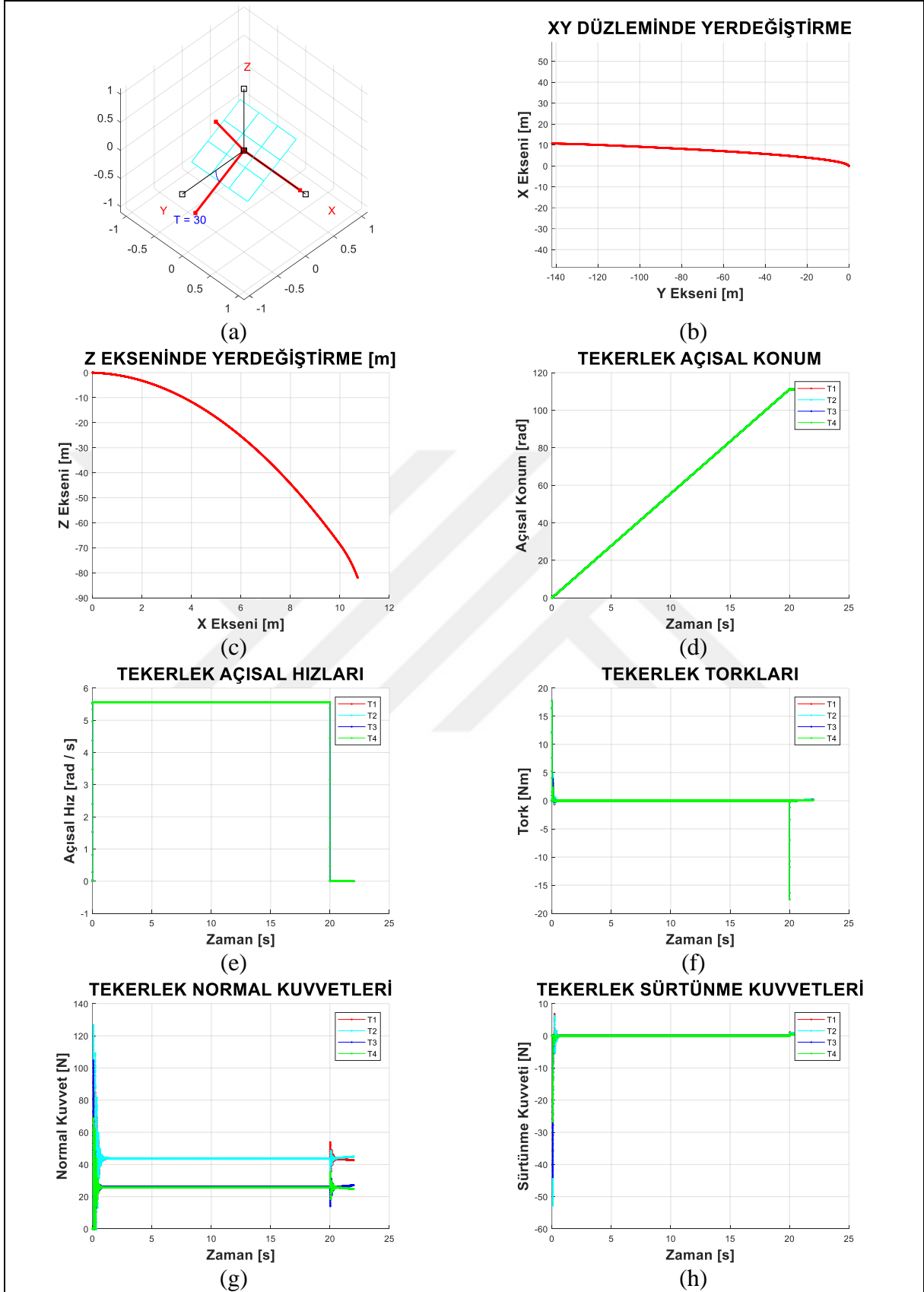
Şekil 4.17 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 9: Eğim açıları $\theta = 10^\circ$, $\beta = 0^\circ$.



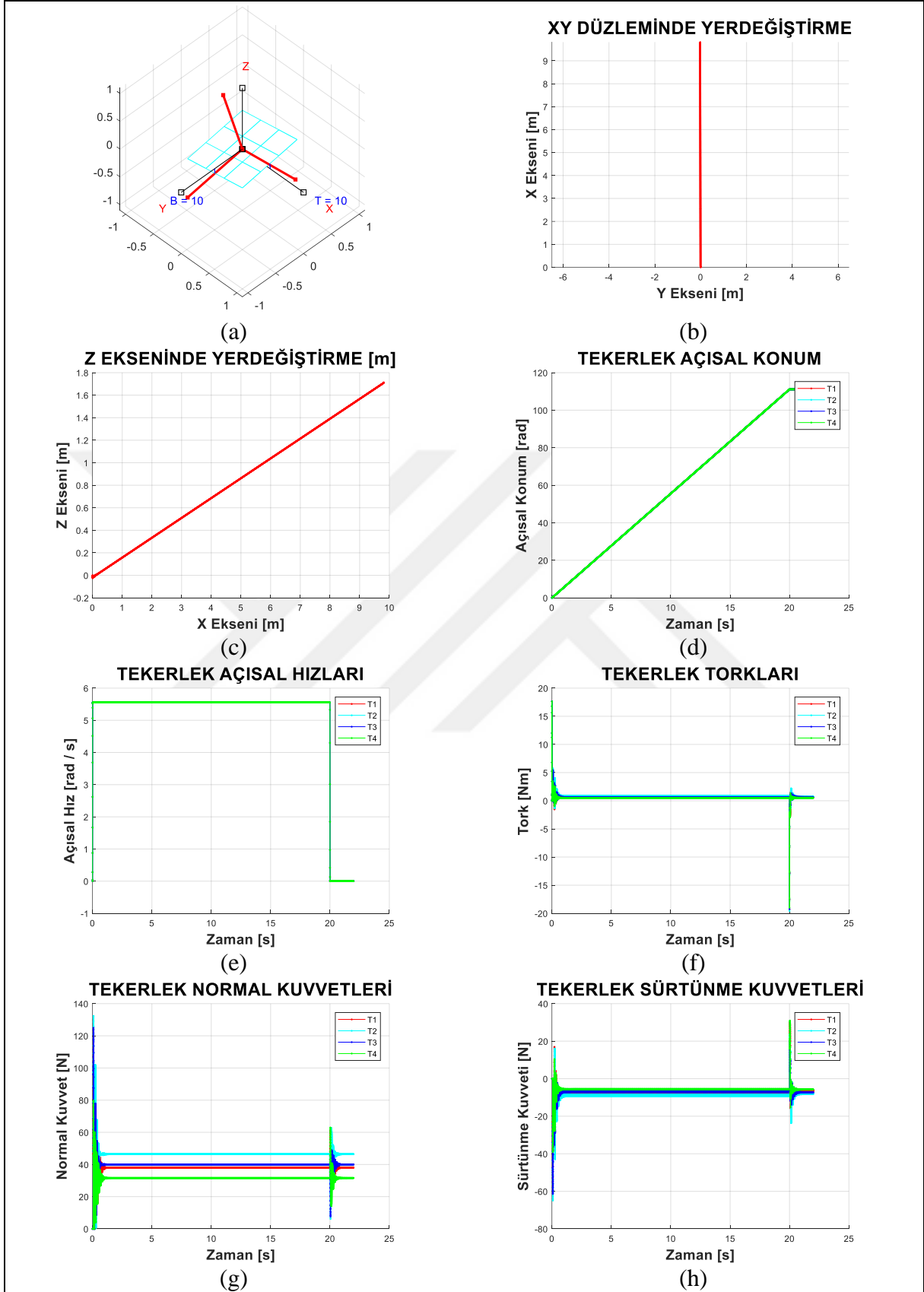
Şekil 4.18 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 10: Eğim açıları $\theta = 20^\circ$, $\beta = 0^\circ$.



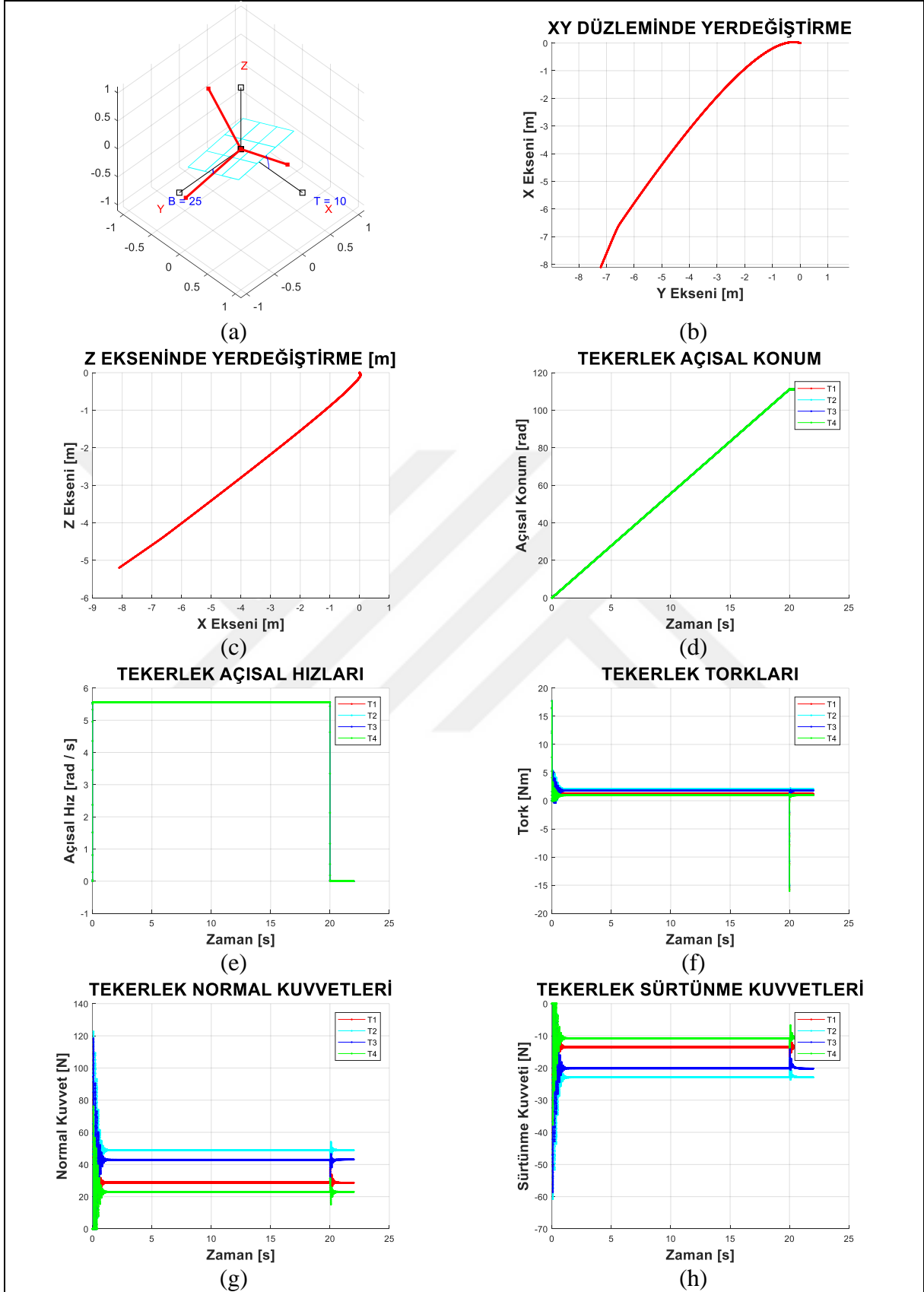
Şekil 4.19 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 11: Eğim açıları $\theta = 25^{\circ}$, $\beta = 0^{\circ}$.



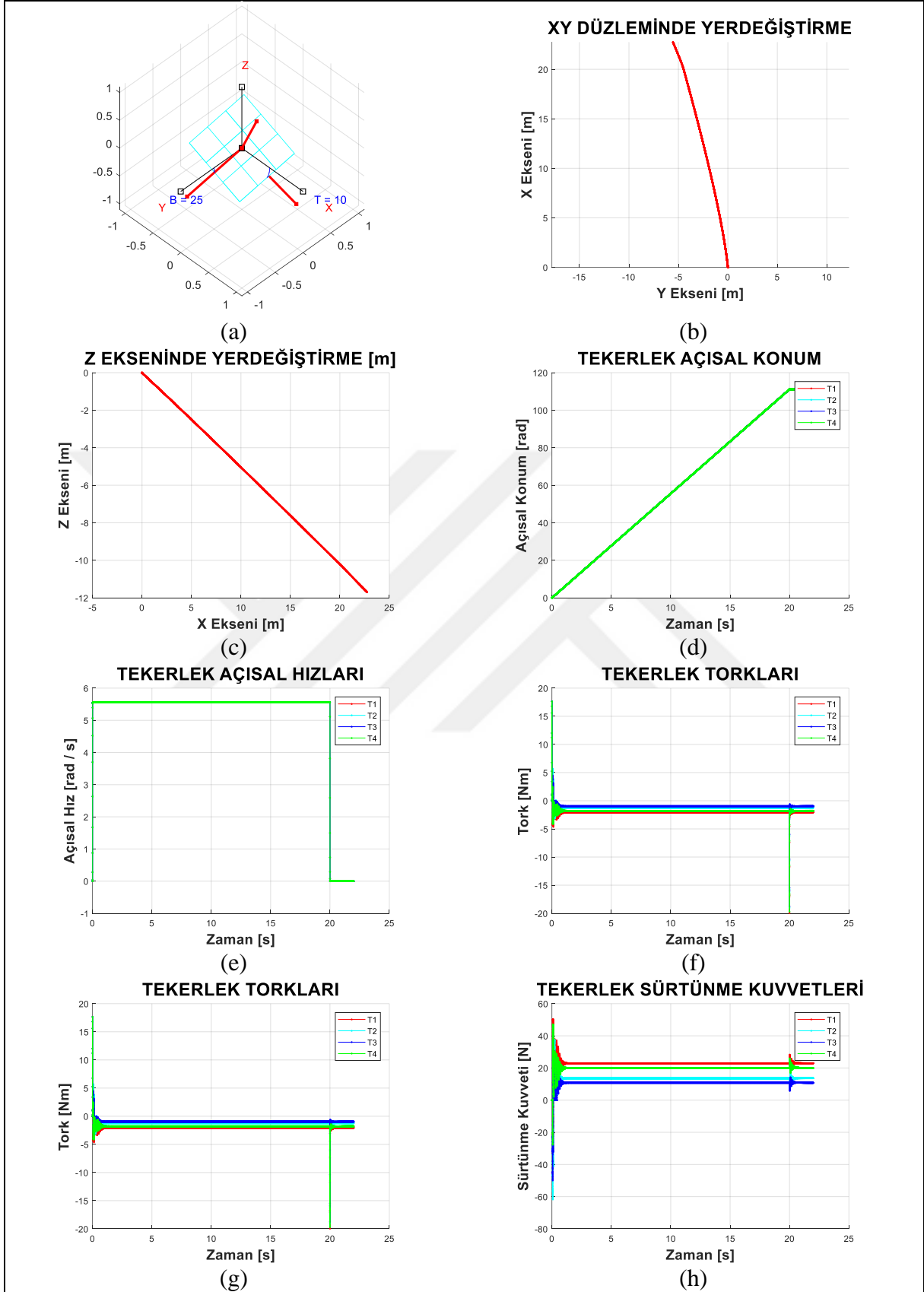
Şekil 4.20 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 12: Eğim açıları $\theta = 30^0$, $\beta = 0^0$.



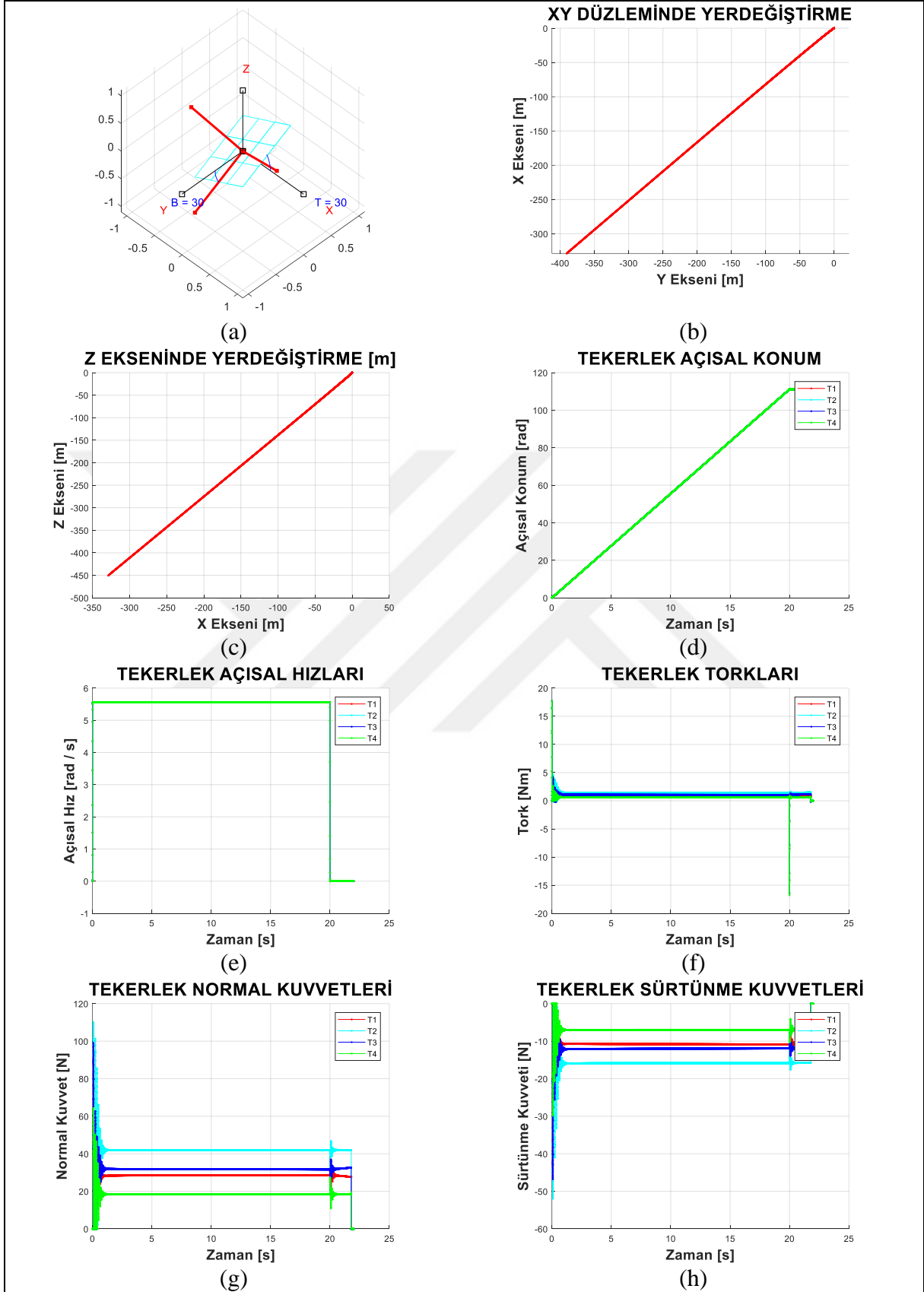
Şekil 4.21 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 13: Eğim açıları $\theta = 10^0$, $\beta = 10^0$.



Şekil 4.22 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 14: Eğim açıları $\theta = 10^\circ$, $\beta = 25^\circ$.



Şekil 4.23 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 15: Eğim açıları $\theta = -10^\circ$, $\beta = 25^\circ$.



Şekil 4.24 Eğimin yörünge takibi kontrolüne etkisi. Durum - 16: Eğim açıları $\theta = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$.



BÖLÜM 5

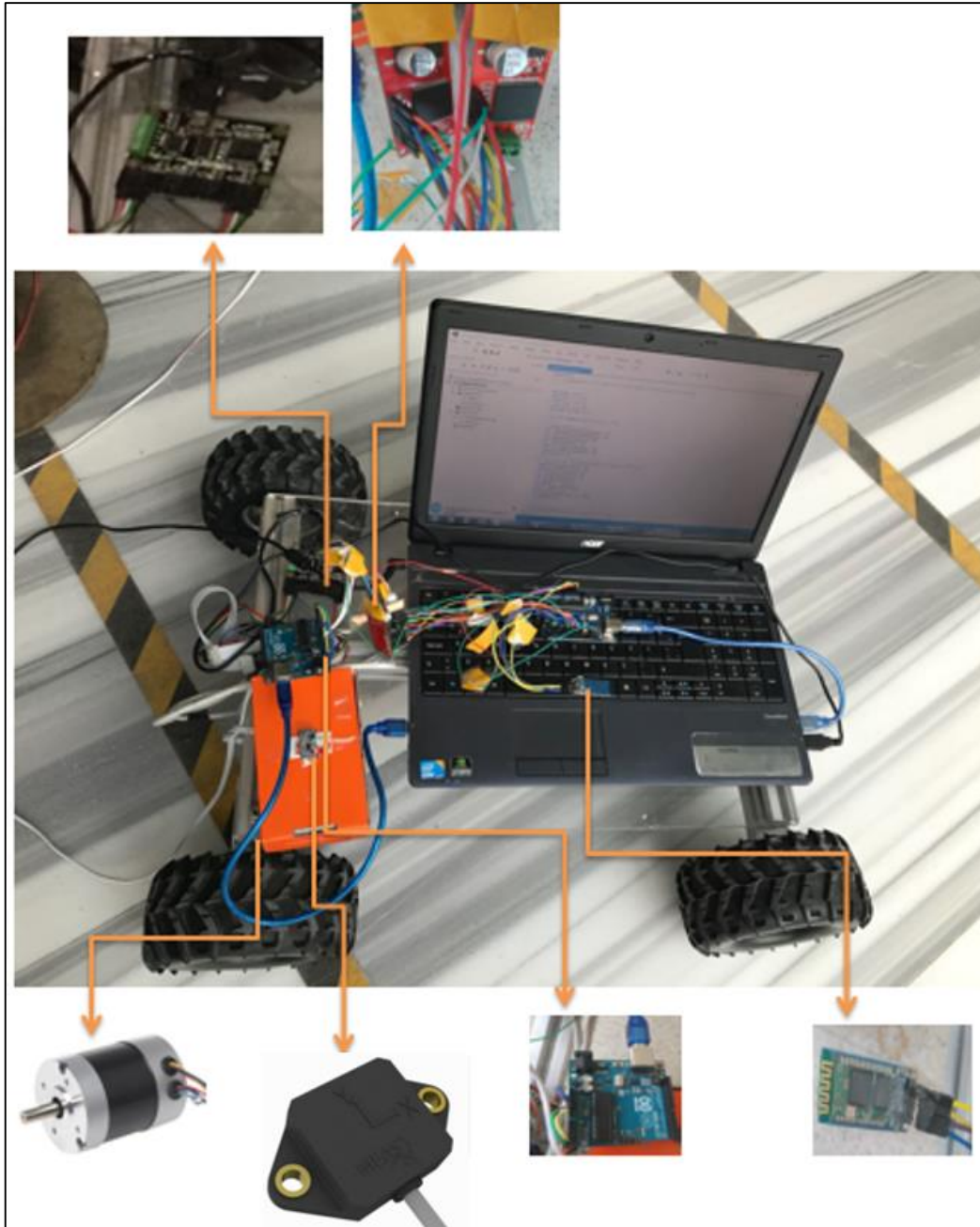
DENEYSSEL YÖNTEM

Deneysel çalışmaları yapabilmek için Şekil 5.1 de gösterilen dört tekerlekli bir mobil robot tasarlanmıştır ve imal edilmiştir (Şekil 5.2). Mobil robot iki adet DC motor ile sürülmektedir. Gerekli tork ihtiyacını karşılayabilmek için dişli kutulu DC motorlar kullanılmıştır. Motorlara 1000 PPR lık enkoderler entegre edilmiştir. Bunun yanı sıra aşağıda maddeler halinde verilen donanımlar robot üzerine eklenmiştir.



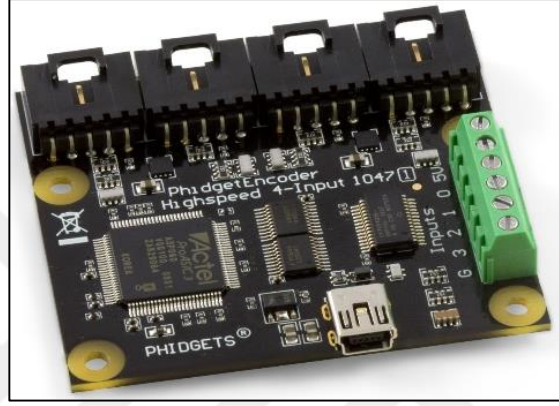
Şekil 5.1 Mobil robotun katı model tasarımı.

- Enkoder Kart Okuyucu
- DC Motor
- DC Motor Sürücü
- Eğim Sensörü
- Arduino Uno
- Bluetooth Modülü
- Eğim sensörü



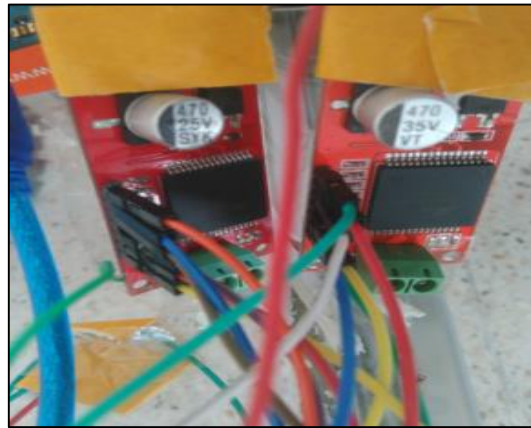
Şekil 5.2 Deneysel altyapının robot araç üzerindeki görünümü.

Şekil 5.3 [URL-62] de deneysel çalışmalarda kullanılan phidgets yüksek hızlı enkoder arayüz kartı gösterilmiştir. Bu kart üzerinde; dört tane enkoderi okumak için dört farklı bölme vardır. Her bir bölme de toplamda; A, B, Index, 5V ve GND olmak üzere beş farklı kanal bulunmaktadır. Bu kanallardan; A ve B kanalları enkoderin yönünü belirlemek ve okumak için kullanılır. Index kanalı; enkoder bir tam tur döndüğünde bir pulse üretir ve 5V kanalı da; enkoderin çalışması için gerekli olan gücü sağlamaktadır. Bu kart bir USB kablo ile bilgisayara bağlanıp veri alışverişi yapılmaktadır.



Şekil 5.3 Phidgets yüksek hızlı enkoder arayüz kartı [62].

Şekil 5.4 de DC motorları sürmek amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılan monster marka motor sürücüler gösterilmiştir.



Şekil 5.4 DC motor sürücü.

Şekil 5.5 de DOG2 marka eğim sensörü gösterilmiştir. Sensör iki eksende eğim bilgisi verebilmektedir. Dijital işleme özelliğine sahip olan bu eğim sensörü hassasiyetin yüksek bir şekilde sağlanması nedeniyle endüstriyel uygulamalar için oldukça idealdir. Sensör titreşimli ortamlarda, arazi yapısının bozuk olduğu alanlarda yüksek performansla çalışmaktadır. Sensör 8-30 VDC ile çalışmaktadır. ± 45 derecelik bu eğim sensörü -45 derecede 0,5 VDC ve +45 derecede 4,5 VDC vermektedir. Ara değerler, yapılan kalibrasyon ile oransal bir fonksiyon yardımı ile bulunmaktadır.



Şekil 5.5 DOG2 eğim sensörü.

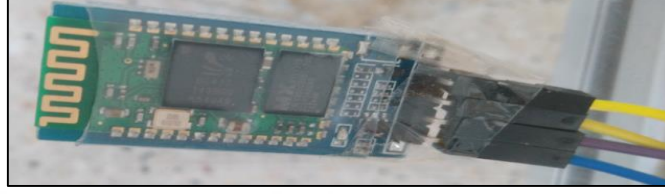
Şekil 5.6 da mikrokontrolcü olarak kullanılan Arduino Uno gösterilmiştir. Atmega328 temelli bir mikrodenetleyici olmak ile birlikte üzerinde; 14 tane dijital giriş/çıkış pini (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 6 tane analog giriş, 16 MHz kristal, USB soketi, güç soketi, ICSP konektörü bulunmaktadır.



Şekil 5.6 Mikrokontrolcü, Arduino Uno.

Yapılan deney çalışmalarında bir tane Arduino Uno kartının pinlerinin yetersiz olmasından dolayı iki tane Arduino Uno kartı kullanılmıştır. Bu kartlardan bir tanesi ile eğim sensörü bağlantısı yapılmış ve diğeri ile de motor sürücülerinin kontrol komutları üretilmiştir.

Şekil 5.7 de mobil robotun uzaktan telefon ile kontrol edilebilmesi için kullanılan HC06 bluetooth seri haberleşme modülü gösterilmektedir.



Şekil 5.7 HC06 bluetooth seri haberleşme modülü.



BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Mobil robot üzerinde yapılan deneysel çalışmalar; Bülent Ecevit Üniversitesi Otonom Sistemler Laboratuvarı ve Mühendislik Fakültesi derslikler binasında bulunan eğimli bir yüzey olmak üzere iki farklı alanda yapılmıştır.

Her iki alanda da yapılan deneysel çalışmalarda gerekli olan verilerin elde edilebilmesi için; araç üzerine bir bilgisayar yerleştirilmiştir ve araç üzerine monte edilen donanımların bilgisayar ile yazılımsal ve donanımsal olarak bağlantıları yapılmıştır. Araç harekete başlamadan önce; eğim sensörünün mikrokontrolcü ile bilgisayar arasındaki bağlantısı yapılarak araç harekete hazır hale getirilmiştir. Araç hareket ederken tekerleklerden gelen enkoder verilerinin okunabilmesi için Phidget yüksek hızlı enkoder arayüz kartını bilgisayar ortamında çalıştıran C/C++ programları aktif hale getirilmiştir ve aracın hareket etmesi ile birlikte enkoderlardan gelen veriler işlenmiştir.



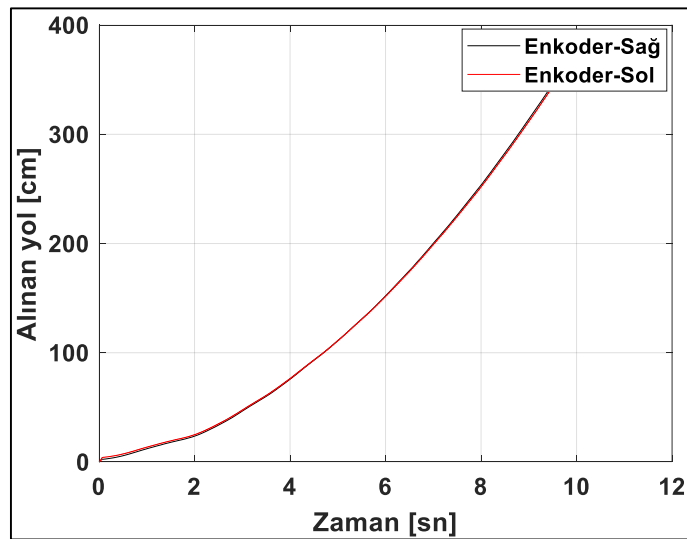
Şekil 6.1 Mobil robot ile düz bir zemin üzerinde yapılan testler.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de mobil robotun düz bir zemin (eğimsiz) üzerinde yapılan testleri gösterilmiştir.



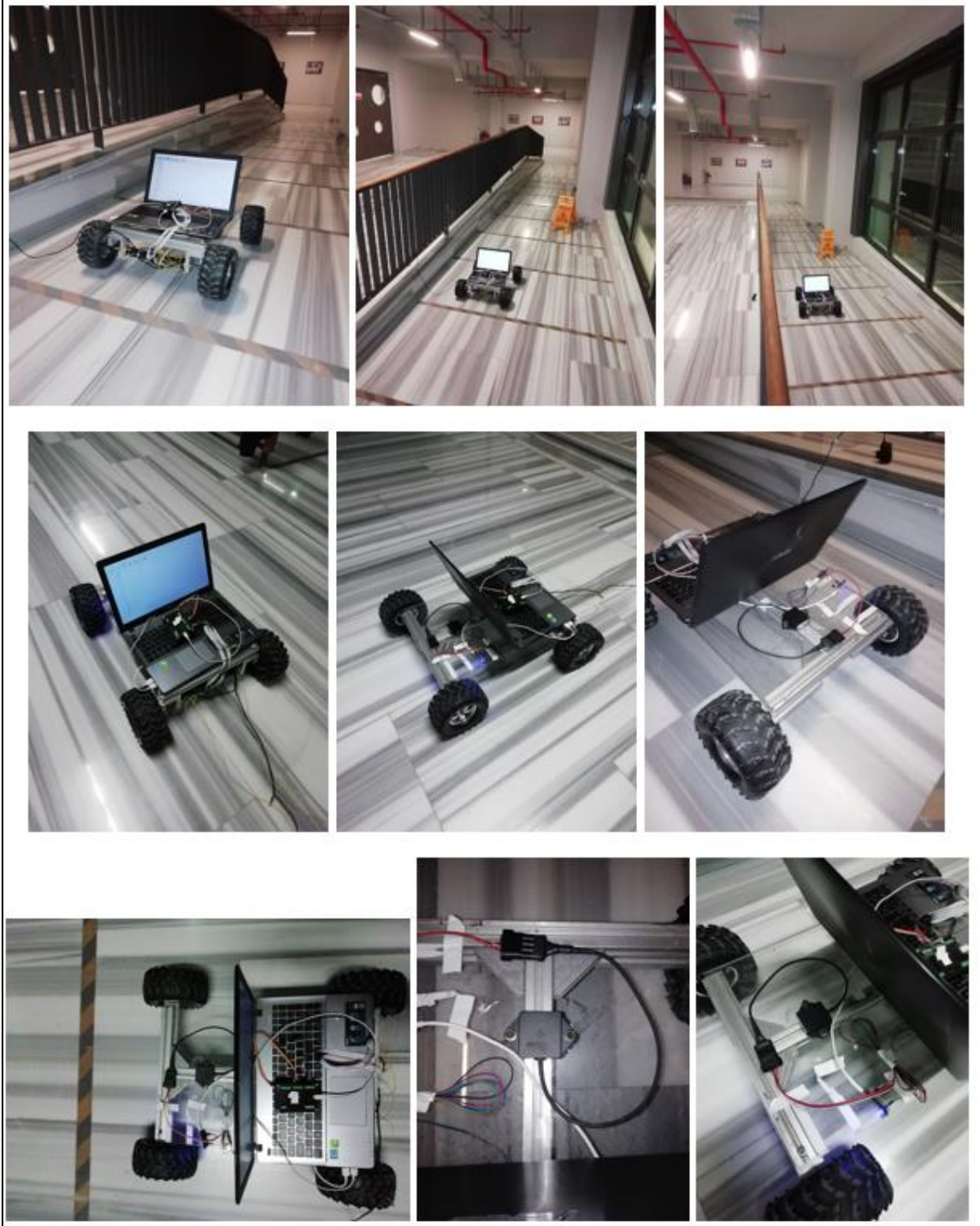
Şekil 6.2 Aracın harekete başlamadan önce gerekli bağlantılarının tamamlanmış hali.

Şekil 6.3 de düz zemin üzerinde yapılan deney sonucu gösterilmiştir. Yaklaşık 4 m'lik bir referans yörünge, sapma olmadan takip edilmiştir. Bu sonuç, mobil robotun ve hareketini sağlayan kontrolcünün eğimsiz bir yüzeyde iyi performansla çalıştığını göstermektedir.



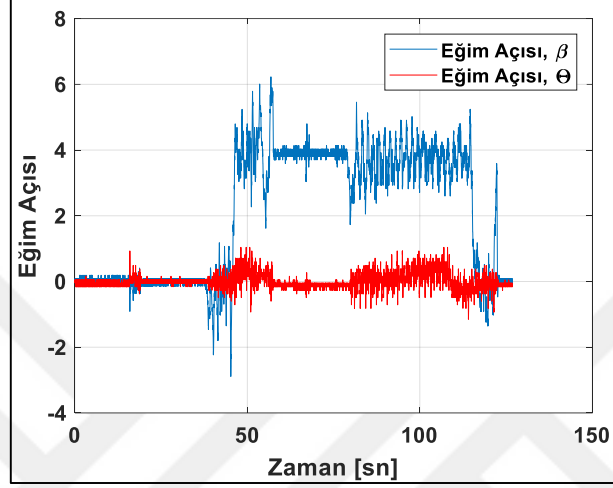
Şekil 6.3 Düz zeminde yapılan deney sonucu.

Eğimli yzey testleri Őniversitemiz Mőhendislik Fakőltesi derslikler binasında bulunan eğimli yolda yapılmıştır. şekil 6.4 de farklı aıllardan deney alanı resimleri verilmiştir. Test alanının, mobil robotun ve Őzerinde bulunan sensör donanımlarının detaylı gőrőntőleri gösterilmiştir.



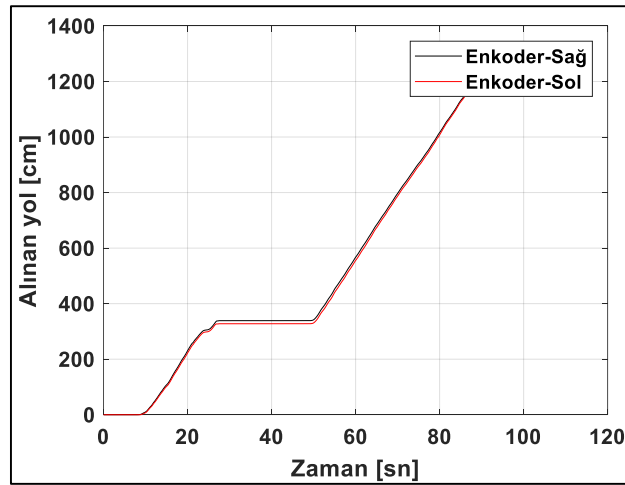
şekil 6.4 Eğimli yzey testlerinden farklı aıllarda detay gőrőntőleri.

Şekil 6.5 de eğim yüzey deneylerinde eğim sensörünün verdiği θ ve β eğim açıları gösterilmiştir. Düz zeminden harekete başlayan hareketli mobil robot eğimli yüzey üzerinde hareketine devam etmiş ve yine düz yüzey üzerine gelerek hareketini tamamlamıştır. Deney yapılan yüzeyde yanal eksende eğim olmadığı için θ eğim açısının sıfır olması beklenilmektedir. Eğim sensörü de bu yönde veri vermiştir.



Şekil 6.5 Eğimli yüzeyde eğim sensörü verileri.

Şekil 6.6 da eğimli yüzeyde mobil robotun katettiği yol gösterilmiştir. Sağ ve sol enkoderlerden gelen veriler yaklaşık 14 m'lik yol için verilmiştir. Sonuçlar, düz yüzeyden eğimli yüzeye geçişte referans yörünge takibinde küçük sapmaların olduğunu göstermektedir. Bu deneysel çalışma, referans yörünge takibinde minimum hata elde edebilmek için eğim bilgisinin mutlaka kontrol sistemine geribildirim olarak sağlanması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 6.6 Eğimli yüzeyde mobil robotun referans yörünge takibi.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; otonom tarım robotlarının hareket planlaması ve yörünge takibi kontrolüne yüzey eğiminin etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; literatürde önerilen referans yörünge oluşturulması ve referans yörünge takibi için önerilen kontrolcü modelleri incelenmiş ve basit robot araç modelleri matematiksel olarak kurgulanmıştır. Bu çalışmalarda dört tekerlekli bir mobil robotun yörünge takibi testleri; noktasal kütle modeli ve car-like robot modeli kullanılarak, kinematik olarak incelenmiştir. Kurgulanan modeller simülasyon ortamına aktarılmış, farklı durumlar için yüzey eğiminin referans yörünge takibine etkileri incelenmiştir. Yüzey eğimi etkilerinin incelenmesi için simülasyon ortamı testleri eğimsiz yüzey ve eğimli yüzey olarak yapılmıştır. Bu sayede yüzey eğim açılarının robot araç kontrol performansı üzerine etkileri de gözlenmiştir. Elde edilen verilerin gerçek bir robot üzerine aktarılabilmesi için dört tekerlekli bir robot tasarlanmıştır. 12 cm çaplı tekerleklerin kullanıldığı mobil robot platformu öncelikle bilgisayar ortamında tasarlanmış, sonrasında imal edilmiştir. Robotun hareketi iki adet DC motor kullanılarak sağlanmıştır. Motorların açısal konum ve hız bilgilerinin elde edilebilmesi için motor arkası çıkış miline 1024 pulse lik arttırımlı (quadrature) enkoder bağlanmıştır. Enkoder verilerini okuyabilmek için yüksek hızlı bir enkoder arayüz kartı kullanılmıştır. DC motorları sürülebilmek için 24V/10A lik iki adet motor sürücüsü sisteme entegre edilmiştir. Motor sürücülerini için gerekli referans komutlar Atmel tabanlı bir mikroişlemci vasıtasıyla üretilmiştir. Zemin eğim bilgisini elde edebilmek için robot üzerine bir adet eğim sensör entegre edilmiştir ve gerekli matematiksel çevrimler kullanılarak iki eksende eğim bilgisi elde edilmiştir. Motor sürücülerini kontrol etmek, eğim sensör verilerini okuyabilmek, yüksek hızlı enkoder verilerini elde etmek için gerekli yazılımlar C/C++ ortamında hazırlanmıştır. Robotun rahat kontrol edilebilmesi ve sensör verilerine rahat ulaşabilmek adına robot üzerine bir adet bluetooth verici modül eklenmiş, cep telefonuna entegre edilen android bluetooth uygulaması ile haberleşme ve kontrol sağlanmıştır.

Yapılan simülasyon çalışmaları ve gerçek robot testleri göstermiştir ki; otonom tarım robotlarının referans bir yörüngeyi takip edebilmesi için hareket edilen yüzey eğim bilgisinin mutlaka yüksek çözünürlüklü eğim sensörleri vasıtasıyla elde edilmesi ve robot araç kontrol sistemine entegre edilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **URL-1** <<https://www.endustri40.com/surucusuz-otonom-araclar>>, Ziyaret tarihi: 16. 03. 2019.
- [2] **URL-2** <<http://www.acikbilim.com/2012/02/dosyalar/surucusuz-arabalar.html>>, Ziyaret tarihi: 16.03.2019.
- [3] **Schwartz I** (2000) PRIMUS: autonomous driving robot for military applications. *Proceedings, Unmanned Ground Vehicle Technology II*, doi: 10.1117/12.391642, 10 Haziran 2000, Orlando, FL, United States, 4024:11.
- [4] **URL-3** <<https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/16653Smart-FarmingAutomated-and-Connected-Agriculture.aspx>>, Ziyaret tarihi: 19.03.2019.
- [5] **URL-4** <<https://www.tricitymed.org/2017/04/3-amazing-advances-robotic-surgery/>>, Ziyaret tarihi: 19.03.2019.
- [6] **URL-5** <<https://proente.com/kolaboratif-robot-nedir>>, Ziyaret tarihi: 19.03.2019.
- [7] **Egerstedt M, Hu X and Stotsky A** (1998) Control of a Car-Like Robot Using a Dynamic Model. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 20 Mayıs 1998, Leuven, Belgium, 4: 3273-3278.
- [8] **Lee S, Kim M, Youm Y and Chung W** (1999) Control of a Car-Like Mobil Robot Parking Problem. *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 10-15 Mayıs 1999, Detroit, Michigan, 814-819.
- [9] **Gracia L and Tornero J** (2002) Kinematic Control System for Car-Like Vehicles. *Proceedings 8th Ibero-American Conference on AI Advances in Artificial Intelligence-IBERAMIA 2002*, 12-15 Kasım 2002, Seville, Spain, 882-892.
- [10] **Webers C and Zimmer U R** (2002) Motion Control of Mobile Robots From Static Targets to Fast Drives in Moving Crowds. *Autonomous Robots*, 12 (2): 173-185.
- [11] **Schlenoff C, Madhavan R and Balakirsky S** (2003) Representing Dynamic Environments for Autonomous Ground Vehicle Navigation. *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 27-31 Ekim 2003, Las Vegas, Nevada, 1: 644-649.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [12] **Rezaei S, Guivant J and Nebot E M** (2003) Car-Like Robot Path Following in Large Unstructured Environments. *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 27-31 Ekim 2003, Las Vegas, Nevada, 3: 2468-2473.
- [13] **Sotelo M A** (2003) Lateral Control Strategy for Autonomous Steering of Ackerman-Like Vehicles. *Elsevier*, 45 (3-4): 223-233.
- [14] **Olson B J, Shaw S W and Stepan G** (2003) Nonlinear Dynamics of Vehicle Traction. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 40 (6): 377-399.
- [15] **Yang E, Gu D, Mita T and Hu H** (2004) Nonlinear Tracking Control of a Car-Like Mobile Robot Via Dynamic Feedback Linearization. *Proceedings of the Control 2004 Conference*, ID-218, 6-9 Eylül 2004, Bath, United Kingdom.
- [16] **Anderson R and Bevly D M** (2004) Estimation of Slip Angles Using a Model Based Estimator and GPS. *Proceedings of the 2004 American Control Conference*, 30 Haziran-2 Temmuz 2004, Boston, Massachusetts, The United States of America, 3: 2122-2127.
- [17] **Short M, Pont M J and Huang Q** (2004) *Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues*. Volume 1, ISBN: 978-94-007-0408-4, Springer Science + Business Media, "e-book".
- [18] **Yamamoto M, Hayashi Y and Mohri A** (2005) Garage Parking Planning and Control of Car-Like Robot Using a Real Time Optimization Method. *The 6th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning: From Nano to Macro Assembly and Manufacturing*, 19-21 Temmuz 2005, Montreal, Quebec, Canada, 248-253.
- [19] **Wagner M D, Heys S, Wettergreen D, Teza J, Apostolopoulos D, Kantor G A and Whittaker W** (2005) Design and Control of a Passively Steered – Dual Axle Vehicle. *8th International Symposium on Artificial Intelligence Robotics and Automation in Space*, Eylül 2005, Pittsburgh, The United States of America.
- [20] **Fang H, Lenain R, Thuilot B and Martinet P** (2005) Trajectory Tracking Control of Farm Vehicles in Presence of Sliding. *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2-6 Ağustos 2005, Edmonton, Alberta, Canada, 58-63.
- [21] **URL-6** <Umea universitet. Adres: <http://www8.cs.umu.se>> kurser>vehicles>, Ziyaret tarihi: 08.11.2018
- [22] **Sangveraphunsiri V and Thianwiboon** (2005) *Traction Control of a Six-wheel Robot Using Wheel Slip Dynamics*. Conference proceedings RoboCup 2005, RoboCup 2005: Robot Soccer World Cup XI, Bredenfeld A, Jacoff A, Noda I and Takashi Y, ISBN-13: 978-3-540-35437-6, Springer Berlin Heidelberg New York, Germany ("e-book).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [23] **Joerger M and Pervan B** (2006) Autonomous Ground Vehicle Navigation Using Integrated GPS and Laser-scanner Measurements. *2006 IEEE/ION Position-Location And Navigation Symposium*, 25-27 Nisan 2006, Coronado, Chicago, The United States of America, 988-997.
- [24] **Lenain R, Thuilot B, Cariou C and Martinet P** (2006a) Mobile Robot Control in Presence of Sliding: Application to Agricultural Vehicle Path Tracking. *Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control*, 13-15 Aralık 2006, Manchester Grand Hyatt Hotel, San Diego, Chicago, The United States of America, 6004-6009.
- [25] **Solea R and Nunes U** (2006) Trajectory Planning and Sliding-mode Control Based Trajectory-tracking for cybercars. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 14 (1): 33-47.
- [26] **Lenain R, Thuilot B, Cariou C and Martinet P** (2006b) Sideslip Angles Observer for Vehicle Guidance in Sliding Conditions: Application to Agricultural Path Tracking Tasks. *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 15-19 Mayıs 2006, Orlando, Florida, The United States of America, 3183-3188.
- [27] **URL-7** <<http://ftp.demec.ufpr.br>>*Dinamica_de_Veiculos*>, Ziyaret tarihi: 18.10.2018
- [28] **Chumerin R and Hulle M M V** (2007) An Approach to On-Road Vehicle Detection Description and Tracking. *2007 IEEE Workshop on Machine Learning for Signal Processing*, 27-29 Ağustos 2007, Thessaloniki, Greece, 265-269.
- [29] **Dakhlallah J, Glaser S, Mammar S and Sebsadji Y** (2008a) Tire-Road Forces Estimation using Extended Kalman Filter and Sideslip Angle Evaluation. *2008 American Control Conference*, 11-13 Haziran 2008, Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, The United States of America, 4597-4602.
- [30] **Eaton R, Katupitiya J, Siew K W and Howarth B** (2008) Autonomous Farming: Modeling and Control of Agricultural Machinery in a Unified Framework. *15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, 2-4 Aralık 2008, Auckland, New Zealand, 8 (1/2/3/4): 444-457.
- [31] **Dakhlallah J, Glaser S, Mammar S and Sebsadji Y** (2008b) Road Slope and Vehicle Dynamics Estimation. *2008 American Control Conference*, 11-13 Haziran 2008, Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, The United States of America, 4603-4608.
- [32] **Cariou C, Lenain R, Thuilot B and Berducat M** (2008) High Accuracy Path Tracking of a Four Wheel Steering All Terrain Vehicle on a Slippery Slope. *International Conference on Agricultural Engineering*, ID: hal-00344837, Haziran 2008, Hersonissos, Greece.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [33] **Eaton R, Katupitiya J, Siew K W and Siew K W** (2009) Robust Sliding Mode Control of an Agricultural Tractor Under the Influence of Slip. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 14-17 Haziran 2009, Singapore, 1873-1878.
- [34] **Silva L U, Guillermo A M, Angelo C H D and Garcia G O** (2008) Vehicle Dynamics Using Multi-Bond Graphs Four Wheel Electric Vehicle Modeling. *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, 10-13 Kasım 2008, Orlando, Florida, The United States of America, 2846-2851.
- [35] **Lenain R, Thuilot B, Cariou C and Martinet P** (2010) Mixed Kinematic and Dynamic Sideslip Angle Observer for Control of Fast Off-Road Mobile Robots. *Journal of Field Robotics*, 27 (2): 181-196.
- [36] **Matveev A S, Hoy M and Savkin A V** (2010) Mixed Nonlinear-Sliding Mode Control of an Unmanned Farm Tractor in the Presence of Sliding. *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision*, 7-10 Aralık 2010, Singapore, 927-932.
- [37] **Rajvardhan R P, Shankapal S P and Vijajkumar S M** (2010) Effect of Wheel Geometry Parameters on Vehicle Steering. *SASTECH Journal*, 9 (2).
- [38] **Bonnedahl T** (2010) Road Slope Estimation Using a Longitudinal Accelerometer and Kalman Filtering. *Master Thesis*, Lund University, Department of Automatic Control, Lund, Sweden, 66.
- [39] **Larsson M** (2010) Road Slope Estimation. *Master Thesis*, Linköpings Universitet, Department of Electrical Engineering, Linköping, Sweden, 41.
- [40] **Holm E J** (2011) Vehicle Mass and Road Grade Estimation Using Kalman Filter. *Master Thesis*, Linköpings Universitet, Department of Electrical Engineering, Linköping, Sweden, 38.
- [41] **Lahcene Z B, Faris W F and Ihsan S I** (2011) Analysis and Simulation of Semi-Active Suspension Control Policies for Two Axle Off-Road Vehicle Using Full Model. *International Journal Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6 (3-4): 219-231.
- [42] **Hashim M S M and Lu T F** (2013) Time-critical Trajectory Planning for a Car-like Robot in Unknown Environments. *2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium*, 7-9 Nisan 2013, Langkawi, Malaysia, 836-842.
- [43] **Nam K, Oh S, Fujimoto H and Hori Y** (2013) *Estimation of Sideslip and Roll Angles of Electric Vehicles Using Lateral Force Sensors Through RLS and Kalman Filter Approaches*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60 (3): 988-1000.
- [44] **Gao Y** (2013) Longitudinal Velocity and Road Slope Estimation in Hybrid/Electric Vehicles. *Master Thesis*, Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, Göteborg, Sweden, 47.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [45] **Guillet A, Lenain R, Thuilot B and Martinet P** (2014) Adaptable Robot Formation Control: Adaptive and Predictive Formation Control of Autonomous Vehicles. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21 (1): 28-39.
- [46] **Liu W, Weng Z, Chong Z, Shen X, Pendleton S, Qin B, Fu G M J and Ang M H** (2015) Autonomous Vehicle Planning System Design under Perception Limitation in Pedestrian Environment. *2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems and IEEE Conference ROBOTICS Automation and Mechatronics*, 15-17 Haziran 2015, Siem Reap, California, 159-166.
- [47] **Stephant J, Charara A and Meizel D** (2015) *Vehicle Sideslip Angle Observers*. 2003 European Control Conference, 1-4 Eylül 2003, Cambridge, UK.
- [48] **Rafaila R C and Livint G** (2015) Nonlinear Model Predictive Control of Autonomous Vehicle Steering. *2015 19th International Conference on System Theory Control and Computing*, 14-16 Ekim 2015, Cheile Gradistei, Romania, 466-471.
- [49] **Liu B, Du H and Liu W** (2015) Trajectory Control for Autonomous Electric Vehicles With in Wheel Motors Based on a Dynamics Model Approach. *IET Intelligent Transport Systems Journals*, 10 (5): 318-330.
- [50] **Huang W, Wang K, Lv Y and Zhu F** (2016) Autonomous Vehicles Testing Methods Review. *2016 IEEE 19th Internatioanl Conference on Intelligent Transportation Systems*, 1-4 Kasım 2016, Windsor Oceanico Hotel, Rio de Janeiro, Brazil, 163-168.
- [51] **Wang H and Noguchi N** (2016) Autonomous Maneuvers of a Robotic Tractor for Farming. *2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 13-15 Aralık 2016, Sapporo, Japan, 592-597.
- [52] **Zhao S, Zhang Z, Xiao D and Xiao K** (2016) A Turning Model of Agricultural Robot Based on Acceleration Sensor. *2016 IFAC PapersOnLine*, 49 (16): 445-450.
- [53] **Bechar A and Vigneault C** (2016) Agricultural Robots for Field Operations: Concepts and Compenents. *Biosystems Engineering*, 149: 94-111.
- [54] **Kumar S, Kalyan H, Kumar K and Dilip S** (2018) Design and Fabrication of Autonomous Robot for Precision Agriculture. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8 (3): 385-392.
- [55] **Vasconez J, Kantor G and Cheein F** (2018) Human-Robot Interaction in Agriculture: A Survey and Current Challenges. *Biosystems Engineering*, 179: 35-48.
- [56] **Gopinath V, Ore F, Grahn S and Johansen K** (2018) Safety-Focussed Design of Collaborative Assembly Station with Large Industrial Robots. *Procedia Manufacturing*, 25: 503-510.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [57] **Mitra M** (2019) Robotic Farmers in Agriculture. *Advances in Robotics & Mechanical Engineering*, 12 March 2019.
- [58] **Vargas A, Ore F, Arredondo K, Garcia J, Marquez B and Cruz J** (2019) Introduction and Configuration Robot in An Assembly Task As A Means To Decrease Occupational Risks and Increase Efficiency in A Manufacturing Company. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 57: 315-328.
- [59] **Zanchettin A, Rocco P, Chiappa S and Rossi R** (2019) Towards an Optimal Avoidance Strategy for Collaborative Robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59: 47-55.
- [60] **URL-8** <<http://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=590b7fcedc332dad9e795c80&assetKey=AS%3A490374658564099%4019392587969>>, Ziyaret tarihi: 18.01.2019.
- [61] **Ouadah N, Ourak L and Boudjema F** (2008) *Car-like Mobile Robot Oriented Positioning by Fuzzy Controllers*. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 1 Eylül 2018, 5 (3).
- [62] **URL-9** <<https://www.phidgets.com/?&prodid=37>>, Ziyaret tarihi: 13.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Elif ULUSAL, Aksaray'da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini Aksaray'da tamamladıktan sonra; 2011 yılının güz döneminde Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başlayarak 2015 yılında onur belgesi ünvanı almaya hak kazanmış ve mezun olmuştur. Mezun olma yılını takiben bir sonraki yılın bahar döneminde mezun olduğu üniversitede yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Yüksek lisans öğrenimi süresince robotik/mekatronik alanları üzerinde çalışmıştır ve 2015/2016 bahar döneminde başladığı yükseköğrenimini de 2018/2019 güz dönemi sonunda tamamlamıştır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: İncivez Mahallesi Çaybaşı Sokak Kampüspark Sitesi Kat:6 Daire Numarası:74, 67100, Zonguldak/MERKEZ

Tel: (+90) 505 417 35 68

E-posta: ulusalelif@gmail.com