



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GNSS DESTEKLİ PROTOTİP OTONOM ARAÇ TASARIMI

MUSTAFA KEMAL YUMRUKTAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Elektronik Haberleşme Eğitimi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hakan KAPTAN

İSTANBUL, 2015



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GNSS DESTEKLİ PROTOTİP OTONOM ARAÇ TASARIMI

MUSTAFA KEMAL YUMRUKTAY
(522210006)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Elektronik Haberleşme Eğitimi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hakan KAPTAN

İSTANBUL, 2015

TEŞEKKÜR

"GNSS Destekli Prototip Otonom Araç Tasarımı" başlıklı tez çalışmamda değerli zamanını, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Hakan Kaptan hocama ve tezin başlangıcından bitimine kadar yardımlarını esirgemeyen aileme, hocalarıma ve arkadaşlarımı teşekkür ederim.

Ocak, 2015

Mustafa Kemal YUMRUKTAY

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1 GİRİŞ	1
1.1.1 Otonom Araç Nedir?	1
1.1.2 Otonom Aracın Faydaları Ve Kullanım Alanları	2
1.1.3 Otonom Araç Gelişimi	3
1.2 AMAÇ	10
2. OTONOM ARAÇ DONANIM VE PROTOKOL TANIMLAMALARI	11
2.1 Haberleşme Protokollerı	11
2.1.1 I ² C haberleşme protokolü	11
2.1.2 USART haberleşme protokolü	14
2.1.3 USB haberleşme protokolü	16
2.2 Otonom Araç Teknolojisinde Kullanılabilecek Donanımlar	17
2.2.1 İvmeölçer algılayıcılar (Accelerometer)	17
2.2.2 Jiroskop algılayıcı (Gyroscope)	19
2.2.3 Elektronik pusula (Magnetometer)	21

2.2.4	Kablosuz haberleşme modülü	23
2.2.5	Engel algılayıcılar.....	24
2.2.6	Küresel konum belirleme sistemi	26
3.	GNSS DESTEKLİ PROTOTİP OTONOM ARAÇ TASARIM SÜRECİ	39
3.1	Otonom Araç Tasarımında Kullanılan Araç İçi Donanımlar.....	39
3.1.1	Motor.....	41
3.1.2	Motor sürücü	41
3.1.3	Batarya	43
3.1.4	Ultrasonik mesafe algılayıcı.....	43
3.1.5	Kablosuz haberleşme modülleri	45
3.1.6	GPS konum belirleme modülü	50
3.1.7	IMU algılayıcı bloğu.....	54
3.1.8	İşlemci birimi	60
3.2	Otonom Araç Tasarım Bölümü	61
3.2.1	Manyetik algılayıcı ayarları ve algılayıcı bilgilerinin alınması.....	61
3.2.2	İvmeölçer ayarları ve alınan verilerin kullanılması	68
3.2.3	Jiroskop ayarları ve algılayıcı bilgilerinin alınması.....	73
3.2.4	İvmeölçer, Jiroskop, Manyetik algılayıcılarının birleştirilmesi	78
3.2.5	GPS cümlelerinden enlem boylam bilgilerinin alınması	82
3.2.6	Araç hedef koordinatlarının alınması ve baş açısının hesaplanması	82
3.2.7	Otonom araç kontrol birimi yazılımları	84
3.3	GNSS Destekli Prototip Otonom Aracın Çalışma Prensibi	85
3.3.1	Kontrol birimi yazılımları çalışma prensibi	85
3.3.2	GNSS destekli otonom aracın çalışma prensibi	88

4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
4.1 SONUÇ	91
4.2 ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	97
EKLER	101
EK-1. GPS, GLONASS ve Galileo Özellikleri[24].....	101
EK-2. ADXL345 adresleri	102
EK-3. L3G4200D Adresleri	103
EK-4. Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü.	104
EK-5. Yazılım Parçaları.....	109

ÖZET

GNSS DESTEKLİ PROTOTİP OTONOM ARAÇ TASARIMI

Teknolojinin gelişmesi, hayatı kolaylaştırmak amacıyla birçok sektörü etkilediği gibi otomobil sektörünü de etkilemiştir. Otomobil sektöründe ilk gelişmeler fren sistemleri ve çeşitli algılayıcılar ile araçların kullanışlı ve güvenli seviyeye getirilmesi yönünde olmuştur. Seyrusefer cihazlarının sisteme dahil edilmesi ile araçlarda konum belirleme sağlanarak araçlar daha kullanışlı hale getirilmiştir. Son çalışmalar ise araçların insansız olarak kullanılmasını hedeflemektedir. İnsansız araçlar en geniş anlamıyla içinde veya üzerinde görev gerektirmedikçe insan unsuru bulundurmayan, uzaktan ya da otonom olarak yönetilebilen ve önceden belirlenmiş görevleri icra eden kritik teknolojilerdir.

İnsansız araçlar üzerine çalışmalar karada, havada ve denizde kullanım amaçlı olarak geliştirilmektedir. Sivil araçlar için birçok otomobil üreticisi otonom kara aracı tasarımları üzerinde Ar-Ge çalışmalarına başlamıştır ve bir kısmı test aşamasındadır. Otonom araç tasarımı üzerine çalışmalar üniversiteler tarafından da yürütülmektedir.

Bu tez çalışmasında prototip otonom araç tasarımlının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında üzerinde çevreyi algılamada kullanılacak çeşitli algılayıcılar ile donatılmış insansız bir araç ve aracı gerektiği kontrole edecek bir uzaktan kontrol sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışmada uzaktan kontrol aracı ile belirlenen hedef koordinatlar araca gönderilir. Araç üzerinde bulunan GNSS konumlandırma sistemi ve yardımcı donanımlar ile aracın belirlenen hedef koordinatlarına ulaşımı gerçekleştirilir.

Tasarımda konum belirleme için GPS modülü, yön belirleme için elektronik pusula, jiroskop ve ivme ölçer, engel algılama amacıyla ultrasonik algılayıcılar, kablosuz haberleşmeyi sağlamak amacıyla RF ve Bluetooth modülleri, ve yardımcı elemanlar kullanılmıştır. Araç iki farklı yöntemle kontrol edilebilmektedir. Birinci yöntemde Android tabanlı bir cihaz kullanılarak kontrol edilir. Bu cihaz Bluetooth üzerinden araçla haberleşerek aracın manuel olarak kontrolü sağlanır. İkinci yöntemde ise Windows işletim sistemli bir bilgisayar tercih edilmiştir. Bu yöntemde Visual C# kullanılarak bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama yardımı ile harici bir RF modül kullanılarak aracın otonom kontrolü sağlanır.

ABSTRACT

GNSS AIDED PROTOTYPE AUTONOMOUS VEHICLE DESIGN

The development of technology has also affected the automobile industry like as it affects many sectors with the aim to make life easier. The first developments in the automobile industry has been brought towards the efficient and safe level of vehicle brake systems and various sensors. Vehicles by the inclusion in the system of navigation devices have become more convenient. The final work is the use of unmanned target vehicle. Unmanned vehicles are critical technologies that can be managed remotely or autonomously to perform predetermined task. And that does not require human element if there is no any task requirement on the vehicles.

Unmanned vehicles' studies have being developed to use vehicle on the land, in the air and at the sea. Many car manufacturers have begun to work R & D activities on designing autonomous land vehicle for civilians and some of them are on the testing phase. Studies about designing unmanned vehicle are being conducted also by universities.

In this study we aimed to the realization of prototype autonomous vehicle design. In this thesis, an unmanned vehicle which equipped with various sensors to sense environmental conditions and remote controller to control vehicle were designed. In this thesis, target coordinates, determined by the remote controller, are sent to the vehicle. Vehicle reaches to the predetermined target coordinates with the help of global positioning satellite system and auxiliary equipment which located on the vehicle.

In design, GPS module is used to determine the position, electronic compass, gyroscope and accelerometer are used to determine direction, ultrasonic sensors are used to detect obstacles, RF and Bluetooth module are used to provide wireless communication, and auxiliary equipments are used. Vehicle can be controlled by two different methods. In the first method, vehicle is controlled with using an Android-based device. This device allows you to manually control the vehicle via Bluetooth communication. In the second method, a computer running the Windows operation system was preferred. In this method, an application was developed using Visual C #. Vehicle is controlled autonomously by using external RF module with the help of this application.

SEMBOL LİSTESİ

t : Zaman (s)

w : Açısal hız

XAcc: İvmeölçer algılayıcı kalibre edilmiş X eksen değeri

Xacc : İvmeölçer algılayıcı çıkış X eksen değeri

XEMmag: Eğim hatası giderilmiş manyetik algılayıcı X eksen değeri

XGg : Jiroskop çıkışı kalibre edilmiş X eksen değeri

Xg : Jiroskop çıkışı X eksen değeri

XM_{mag}: Manyetik algılayıcı kalibre edilmiş X eksen değeri

X_{mag} : Manyetik algılayıcı çıkış X eksen değeri

YAacc: İvmeölçer algılayıcı kalibre edilmiş Y eksen değeri

Yacc : İvmeölçer algılayıcı çıkış Y eksen değeri

YEMmag: Eğim hatası giderilmiş manyetik algılayıcı Y eksen değeri

YGg : Jiroskop çıkışı kalibre edilmiş Y eksen değeri

Yg : Jiroskop çıkışı Y eksen değeri

YM_{mag}: Manyetik algılayıcı kalibre edilmiş Y eksen değeri

Y_{mag} : Manyetik algılayıcı çıkış Y eksen değeri

ZAcc: İvmeölçer algılayıcı kalibre edilmiş Z eksen değeri

Zacc : İvmeölçer algılayıcı çıkış Z eksen değeri

ZGg : Jiroskop çıkışı kalibre edilmiş Z eksen değeri

Zg : Jiroskop çıkışı Z eksen değeri

ZM_{mag}: Manyetik algılayıcı kalibre edilmiş Z eksen değeri

Z_{mag} : Manyetik algılayıcı çıkış Z eksen değeri

KISALTMALAR

A	: Amper
ADC	: Analog to Digital Converter
AMR	: Anisotropic Magnetoresistance
ASCII	: American Standard Code For Information Interchange
bps	: Bit per second
C#	: C Sharp
C/A	: Coarse Acqusition
C/A	: Coarse /Acquisition
DARPA	: The Defense Advanced Research Projects Agency
DGPS	: Diifential GPS
DoD	: Department of Defense
DoT	: Department of transportation
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
f	: Frekans
FIFO	: First In, First Out
GALILEO	: European Global Satellite Navigation System
GCDC	: Grand Cooperative Driving Challenge
GGA	: Global Positioning System Fixed Data
GLL	: Geographic Position - Latitude/Longitude
GLONASS	: Global'nya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Global Positioning System

GSM	: Global System for Mobile Communications
GSV	: GNSS Satellites in View
I2C	: Inter-Integrated Circuit
KHz	: Kilohertz
Km	: Kilometre
LCD	: Liquid crystal display
LIDAR	: Light Detection and Ranging)
MAGIC	: Multi-Autonomous Ground robotic International Challenge
Mbps	: Millions of bits per second
MCU	: Micro control unit
MEMS	: Micro-Electro-Mechanical Systems
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NIST	: National Institute of Standards and Technology
NMEA	: National Marine Electronics Association
P	: Precise
PRN	: Pseudo Random Noise
PWM	: Pulse-width modulation
RAM	: Random Access Memory
RF	: Radio Frequency
RMC	: Recommended Minimum Specific GNSS Data
Rx	: Receiver
SCL	: SerialClock
SDA	: SerialData
SPI	: Serial Peripheral Interface
TTL	: Transistor Transistor Logic

TTL	: Transistor–transistor logic
Tx	: Transmitter
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USART	: Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	: Universal Serial Bus
UTC	: Universal Time Coordinated
V	: Volt

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1-1: Otonom araç hedef ve özellikler[12]	4
Şekil 1-2: DARPA sivil araç yarışı ilk altı araç [12]	5
Şekil 1-3: DARPA tarihsel gelişim [12]	6
Şekil 1-4: ASELSAN üretimi Kaplan isimli insansız kara aracı ailesi [17]	8
Şekil 2-1: I ² C cihazların bağlılığı şékli.....	12
Şekil 2-2: I ² C Protokolü haberleşme durumu.....	12
Şekil 2-3: I ² C haberleşme sinyalleri	13
Şekil 2-4: UART haberleşmesi veri formatı.....	14
Şekil 2-5: Seri haberleşme veri formatı sinyal yapısı	15
Şekil 2-6: USB Kablosu	16
Şekil 2-7: USB Port Çeşitleri	16
Şekil 2-8: İvmeölçer çalışma prensibi.....	17
Şekil 2-9: İvmeölçer örnek iç yapısı	18
Şekil 2-10: MEMS iç yapısı	19
Şekil 2-11: Jiroskop mekanik yapısı	20
Şekil 2-12: Manyetik alan prensibi	21
Şekil 2-13: Manyetik algılayıcı çalışma prensibi	22
Şekil 2-14: Dünyanın dönüş eksenleri ve manyetik alan çizgileri.....	23
Şekil 2-15: Ultrasonik ses dalgalarının yayılımı	25
Şekil 2-16: Ultrasonik algılayıcının iç yapısı	25
Şekil 2-17: GPS Uydu Sinyali	28
Şekil 2-18: GPS uyduları kontrol birimlerinin konumları	31
Şekil 2-19: Enlem ve Boylam çizgilerinin dünya üzerindeki konumları	32

Şekil 2-20: Enlem ve Boylam gösterimleri	33
Şekil 2-21: Üç boyutlu kartezyen koordinatlar (X,Y,Z)	33
Şekil 2-22: Projeksiyon koordinat sisteminde bir noktanın gösterilmesi	34
Şekil 2-23: Projeksiyon koordinat sisteminin aktarılması	34
Şekil 2-24: Tek uydu sinyali ile konum belirleme.....	36
Şekil 2-25: İki uydu sinyali ile konum belirleme.	36
Şekil 2-26: Üç uydu sinyali ile konum belirleme.	37
Şekil 2-27: GPS konum belirlemede saat hatası.....	37
Şekil 3-1: GNSS destekli otonom araç sistemi.....	39
Şekil 3-2: Otonom araç içi donanımlar.	40
Şekil 3-3: Otonom araç kontrol birimleri.	40
Şekil 3-4: DC Motor	41
Şekil 3-5: Motor sürücü devresi	41
Şekil 3-6: 3.7V değerinde Batarya.....	43
Şekil 3-7: HC-SR04 görünümü ve zamanlama diyagramı.....	45
Şekil 3-8: DRF4463D20 RF Modülü.....	45
Şekil 3-9: DRF4463D20 Bağlantı Şekli.....	46
Şekil 3-10: HC-05 Bluetooth modülü	49
Şekil 3-11: GPS Modülü	50
Şekil 3-12: GPS sistem blok diyagramı	51
Şekil 3-13: IMU Kartı.....	54
Şekil 3-14: ADXL345(İvmeölçer) Blok diyagramı.....	55
Şekil 3-15: ADXL345 ile İşlemci biriminin SPI (a) ve I ² C (b) ile bağlantısı	55
Şekil 3-16: L3G4200D(Jiroskop) blok diyagramı	57
Şekil 3-17: HMC5883L(Manyetik Algılayıcı) Blok diyagramı	58

Şekil 3-18: HMC5883L İşlemci birimi bağlantısı	59
Şekil 3-19: İşlemci birimi.....	60
Şekil 3-20: Kalibrasyon öncesi manyetik algılayıcı X, Y değerleri dağılım grafiği	66
Şekil 3-21: Kalibrasyon öncesi manyetik algılayıcı X, Y değerleri çizgi grafiği.....	66
Şekil 3-22: Kalibrasyon sonrası manyetik algılayıcı X, Y değerleri dağılım grafiği	67
Şekil 3-23: Kalibrasyon sonrası manyetik algılayıcı X, Y değerleri çizgi grafiği	68
Şekil 3-24: ADXL345 Kalibrasyonu	72
Şekil 3-25: İvmeölçer algılayıcı konumları açı hesabı.....	72
Şekil 3-26: İvmeölçer, Jiroskop, Manyetik algılayıcıların birleşim blok diyagramı	79
Şekil 3-27: İvmeölçer, jiroskop ve manyetik algılayıcı ile baş açısı belirleme	80
Şekil 3-28: Algılayıcıların birleşim sonrası test sonuç grafiği	82
Şekil 3-29: Otonom araç kontrol birimi uygulaması	84
Şekil 3-30: GNSS destekli prototip otonom aracın kontrol yazılımı akış diyagramı	86
Şekil 3-31: Uygulama penceresinden örnek kesit	87
Şekil 3-32: Haberleşme birimi ayarları uyarısı.....	87
Şekil 3-33: Seri haberleşme birimi ayarları.....	88
Şekil 3-34: GNSS destekli prototip otonom aracın çalışması blok diyagramı.....	89
Şekil 4-1: GNSS destekli prototip otonom aracın görünümü.....	91
Şekil 4-2: GNSS destekli otonom araç kontrol ve takip programı	94

TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1: GPS uydularının durumu, 16.01.2015[27]	27
Tablo 2-2: GLONASS uydularının durumu, 16.01.2015[27]	27
Tablo 2-3: GPS uyduları 16.01.2015[27].....	30
Tablo 3-1: HC-SR04 Parametreleri	44
Tablo 3-2: DFR4463D20 bağlantı tablosu	46
Tablo 3-3: DFR4463D20 Çalışma durum seçim tablosu	47
Tablo 3-4: Bluetooth AT komutları	50
Tablo 3-5: GGA cümle formatı	52
Tablo 3-6: HMC5883L Adresleri	59
Tablo 3-7: Manyetik algılayıcı ile ilgili kullanılan kaydediciler	61
Tablo 3-8: Konfigürasyon A kaydedicisi tanımlama	61
Tablo 3-9: Konfigürasyon B kaydedicisi tanımlama	62
Tablo 3-10: Manyetik algılayıcı ölçüm alanı	62
Tablo 3-11: Manyetik algılayıcı ölçüm modu	62
Tablo 3-12: Manyetik algılayıcı pozitif ve negatif besleme modu test sonuçları	65
Tablo 3-13: İvmeölçer ile ilgili kullanılan kaydediciler	69
Tablo 3-14: ADXL345 üretici değerleri dengeleme değer aralığı.....	69
Tablo 3-15: Veri format kaydedicisi	70
Tablo 3-16: ADXL345 ölçüm aralığı	70
Tablo 3-17: Jiroskop ile ilgili kullanılan kaydediciler	74
Tablo 3-18: KNT_KAYIT1 kaydedici bilgileri.....	74
Tablo 3-19: KNT_KAYIT4 kaydedici bilgileri.....	74
Tablo 3-20: Jiroskop kalibre öncesi veri değerleri	75

Tablo 3-21: Jiroskop kalibre değerleri	76
Tablo 3-22: Jiroskop kalibre sonrası veri değerleri	77
Tablo 3-23: Jiroskop hassasiyet değerleri	78
Tablo 3-24: Algılayıcı birleşimi öncesi ölçüm tablosu	80
Tablo 3-25: Algılayıcı birleşimi sonrası ölçüm tablosu.....	81

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi araştırmacıları araçlar üzerinde de yenilikler yapmaya teşvik etmiştir. Araçlar üzerinde yapılan, yapılmakta olan çalışmalar özellikle sürüs güvenliği ve karar verme mekanizmaları üzerinde olmuştur. Yapılan son çalışmalarda araçların insan müdahalesi olmadan hareket etmesi sağlanmakta ve bu teknoloji geliştirilmeye çalışılmaktadır. İnsansız hava araçları, özellikle savunma sanayi ve akademik dünyanın son zamanlarda en çok ilgi gösterdiği konuların başında gelmektedir. Bu araçlara entegre edilebilen yer istasyonları, koordineli bir şekilde çalışabildikleri otonom veya otonom olmayan yer araçları, farklı tür ve boyutlardaki algılayıcılar bu alanı daha da karmaşık ve ilgi çeker hale getirmiştir. Bu alanda yapılan yenilikçi yaklaşılmlara örnek olarak farklı otonom araçların birbirleriyle etkileşimli ve koordineli bir şekilde çalışabilmesi ve bir görevin farklı bölümlerini gerçekleştirebilmeleri gösterilebilir.

En yaygın belirlenen görevler olarak gözetleme, takip, nesne tanıma ve uzaktan müdahale gibi örnekler gösterilebilir. Bunların yanında kullanıcı dostu ve kullanıcı etkileşimli sistemler, yarı-otonom sistemler de yer almaktadır. Yarı-otonom sistemler son dönemlerde sıkça otomotiv sektöründe kullanılmakta ve kullanıcılar yardımcı olacak teknolojiler şeklinde sunulmaktadır.[1]

1.1.1 Otonom Araç Nedir?

Otonom araç, sürücüsüz araç, kendi kendine giden araç gibi isimler alan, bir noktadan diğer bir noktaya insanların müdahalesi olmadan güvenli bir şekilde hareket etmeyi sağlayan, verilen belirli görevleri yerine getiren yapılardır.

Otonom hareket sistemi; dış dünyayı sisteme dahil etmeyi sağlayan algılayıcılar, edinilen veriler doğrultusunda eyleme karar veren bir mikro denetleyici devresi ve otonom hareket eylemini yönlendiren kontrol yazılımından oluşmaktadır[2]. İnsansız araç sistemi; seyrüsefer sistemi, engel algılama sistemi, görme sistemi, hakem sistemi ve araç kontrol sistemi gibi sistemlerden oluşabilmektedir[3]. İnsansız kara araçları, son

yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin ışığında, popülerliği giderek artan bir akademik çalışma ve mühendislik uygulama alanı haline gelmiştir.

1.1.2 Otonom Aracın Faydaları Ve Kullanım Alanları

İnsansız araçların geliştirilmesi; karada, havada ve denizde kullanım amaçları doğrultusunda devam etmektedir. Otonom araçların yaygınlaşmasının birçok fayda sağlayacağı şu ana kadar geliştirilmiş askeri ve sivil araçların kullanım amaçlarından anlaşılmakta ve gelişen teknoloji ile planlanan otonom araç tasarımlarının muhtemel faydaları tahmin edilebilmektedir. Sürücüsüz araçların yaygınlaşmasında, araba kazalarında azalma, daha verimli ulaşım ve yol kapasitesinde bir artış gibi avantajlar test aşamalarında edinilen faydalardan bir kaçıdır.

Otonom sistemler geliştirilerek tehlikeli ve ulaşılması zor olan bölgelere erişim can güvenliği tehlikeye atılmadan gerçekleştirilebilecektir. Otonom araç tasarımında lider durumda olan Google'in kurucusu sürücüsüz otomobillerin avantajlarının yalnızca güvenlik alanında olmadığını aynı zamanda yakıt tasarrufu da sağlayacağını dile getirmektedir[4]. Giderek tükenen kaynaklar ve artan araç nüfusu göz önünde bulundurulduğunda eğer belirli güvenlik standartları sağlanabilirse otomatik pilotlu araçlar günlük hayatın önemli bir parçası haline gelebilir. Elektronik sistemlerle donatılmış otonom sistemlerde kontrol biriminde kararsızlık söz konusu olmadığından, insan kaynaklı kusurlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Otonom sistemler trafik kontrol izleme, afet yönetimi, tarım, maden arama gibi uygulamaların yanında seyrüsefer amaçlı hedef izleme, fotogrametrik algılama ve ölçme alanlarında da kullanılmaktadır[5] [6]. Özellikle video tabanlı hedef izleme ve konum belirleme gibi uygulamalarda otonom sistemlerin daha çok ön plana çıkması, jeodezik uygulamalarda otonom araç seyrüsefer sistemlerinin daha da geliştirilmesine katkı sağlamıştır [7]. Otonom araçlar insan hatalarından arındırılmış hizmet vereceklerinden insan kaynaklı kazalardan uzak güvenli bir sürüş saglamayı amaçlamaktadır. Araç hareketini sağlayacak sistemler uygun şekilde tasarlanarak şoför farklılıklarından kaynaklı yakıt tüketimini minimuma indirecek ve çevre kirliliğinin önüne geçebilecektir.

Muharebe alanında ve muharebe öncesi üstünlük istekleri, terörizme karşı savaş, tesis ve bina güvenliği, uzay araştırmaları, bilimsel uygulamalar ve sebepleri çok çeşitli diğer istek ve gereksinimler nedeniyle, ülkelerin insansız araçlara olan talebi teknolojiyle paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Bu maksatla yapılan yatırımlar her yıl katlanarak yükselmekte ve yakalanan başarılar önemli üstünlük ve avantajları da beraberinde getirmektedir[8].

Uzmanlar, trafik kazalarının çoğunun insan hatasından meydana geldiğine ve otonom bir aracın bilgisayarları, algılayıcıları ve diğer sistemleri kullanarak, trafiği daha hızlı analiz edebildiğine ve güvenli yolculuk sağladığına dikkat çekiyor. Otonom araçlar yol kurallarına daha sıkı uyacak, hız sınırını aşmayacak, dikkati dağılmayacak, dolayısıyla daha güvenli bir yolculuk sağlayacaktır. Gelecekte, sürücüsüz otonom araçlar birbirleriyle haberleşebilecek, yol isteyebilecek, şerit değiştirirken birbirlerine haber verebilecek. Bu sayede insanlar yolculuk esnasında çalışabilecek, trafik karmaşası son bulacak.

1.1.3 Otonom Araç Gelişimi

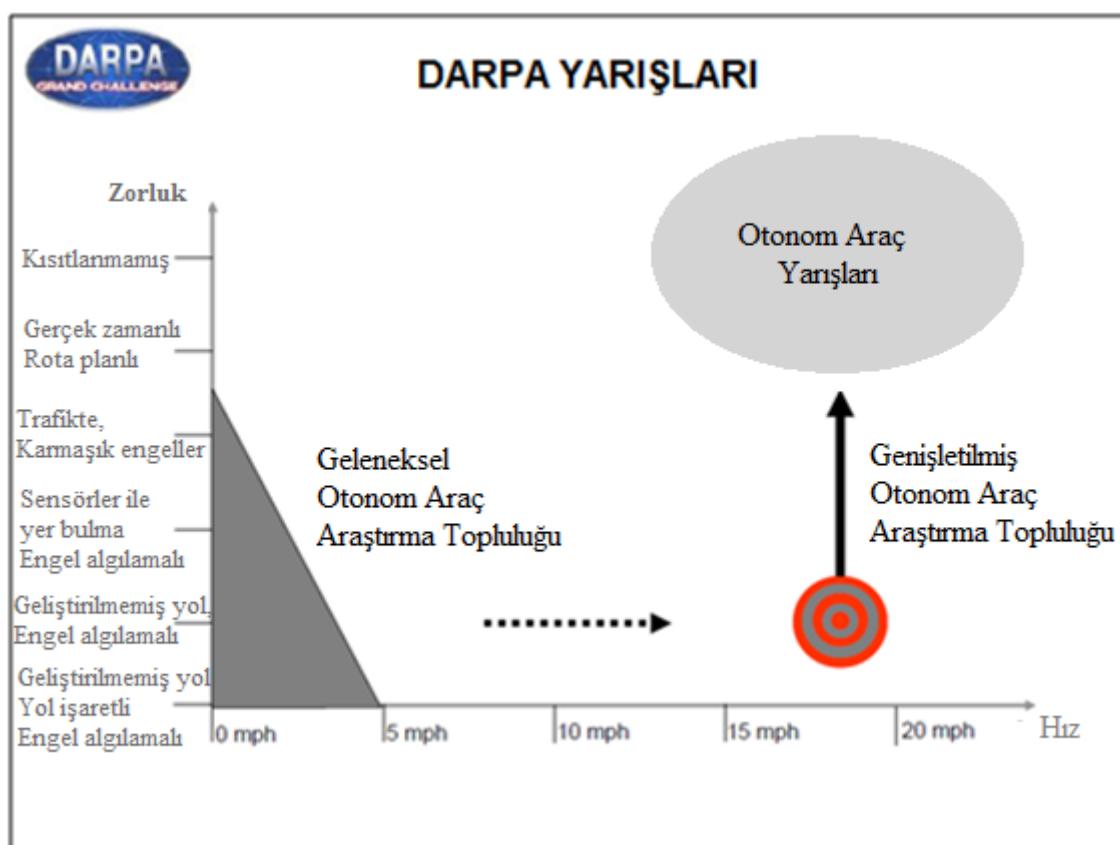
Teknolojinin gelişmesi ile birlikte araçların otonom seviyeleri de gelişme göstermiş ve gelişmeye devam etmektedir.

İlk otonom araç 1939 yılında General Motor sponsorluğunda Normal Bel Geddes tarafından gerçekleştirilmiştir, bu araç elektrikli ve radyo sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Bilinen ilk otonom özelliği olan araç Japonya'da Tsukuba makine mühendisliği laboratuvarında 1977 de geliştirilmiştir. Araç saatte 20 mil ile trafik işaretlerini takip edebilmektedir. 1980 de Ernst Dickmanns yapımı Mercedes-Benz projesi olan araç 63 km/s'lik hızda ulaşmayı başarmıştır. Daha sonra savunma araştırma projeleri ajansı (The Defense Advanced Research Projects Agency DARPA) ilk lazer algılayıcılı ve yol haritalı aracı geliştirmiştir. 1987 ve 1995 yılları arasında projelerin başarısı ile Pan-European “Prometheus” isimli en geniş otonom araç projesi üzerine çalışmıştır [9]. Otonom araç teknolojisi tasarım yarışmaları ve teşviklerle büyük yol kat etmiştir.

ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology, NIST) otonom araçlar için öncülük edenler arasındadır. NIST'in İnsansız

kara araçlarına katılımı 1986 yılında Amerika Birleşik Devletleri ordusu araştırma laboratuvarının techbase programı ile başladığı görülmektedir. NIST'in sorumlulukları arasında bir hareketlilik denetleyicisi uygulamak ve çeşitli bileşen teknolojilerinin değerlendirilmesini destekleyecek insansız kara araçları için bir mimari geliştirmek vardır[10].

Günümüzde büyük etkisi görülen bir diğer kurum ise DARPA'dır. DARPA otonom araç ve diğer robot türlerini geliştirmek için bir çok yarışa sponsor olmuş ve dereceye girenlere büyük para ödülleri sunmuştur. DARPA trafığın olmadığı bir pistte bir birini geçmeye çalışan pisti en hızlı bitirenin kazandığı bir otonom araç mücadeleсидir. Mücadelede aracın rotada kalması, engelleri geçmesi, hız limitlerine uyması ve bitiş için maksimum süreyi aşmaması gibi farklı görevlerin yerine getirilmesi şartı vardır[11].



Şekil 1-1: Otonom araç hedef ve özellikleri[12]

Şekil 1-1'de DARPA yarışlarındaki hedef ve özellikler görülmektedir. Son DARPA yarışı 2007 yılında kentsel bir ortamda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1-2: DARPA civil araç yarışı ilk altı araç [12]

DARPA mücadelelerinin zorlu kent şartlarına uygun araç geliştirmeyi amaçladığına inanılmaktadır[13]. Şekil 1-2'de DARPA yarışlarına katılan otonom araçlar görülmektedir.



Sekil 1-3: DARPA tarihsel gelişim [12]

Multi-Autonomous Ground robotic International Challenge (MAGIC) 2010, Avustralya ve Amerika Savunma Bakanlıklarının ortak düzenlediği proje yarışması, otonom robot takımları ile haritalama ve hedef belirleme üzerine yapılmıştır. Bu projede ASELSAN’ın geliştirdiği robotlar için Ohio State University(OSU) tarafından hazırlanan koordinasyon, kontrol ve haritalama yazılımları Amerika’da ve Ankara’da test edilmiştir[14].

Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC) 2011, Takım ve geliştirilen araç, Mayıs 2011’de Hollanda Helmond’ da gerçekleştirilen GCDC’ ye katıldı. MEKAR Takımı, İstanbul Okan Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Ohio State Üniversitesi’nden araştırmacılarından oluşmuştur. Birbirinden bağımsız geliştirilmiş yarı otonom araçların oluşturdukları konvoy, lider aracın kablosuz haberleşme üzerinden yayinallya hız profilini araçlararası haberleşme ve koordinasyonu ile takip etmesine dayanır[14].

Birçok kuruluş insansız robotların gelişimi için yarışlar düzenlemekte ve projeler desteklenmektedir. Günümüzde sivil alanda en başarılı insansız araç Google tasarımlı olan ve Amerika'nın bir kaç eyaletinde test sürüşlerine devam eden araç olduğu görülmektedir.

Son yıllarda testlerini sürdürden ve otonom araç tasarımda büyük başarı gösteren araç Google'in otonom aracıdır. Google kurucuları amaçlarının trafik kazalarını engellemeye yardımcı olmak, insanlara boş zaman kazandırmak ve temelde araç kullanımlarını değiştirerek karbon emisyonunu azaltmak olduğunu belirtmişlerdir. ABD'nin birçok şehrinin gezen araç 140000 mil'in üzerinde başarılı sürüş gerçekleştirmeyi başarmış tek otonom araç durumundadır. [15]

Google otonom aracında çevreyi trafiği hissetmek için video kameralar, radar algılayıcıları ve lazer mesafe algılayıcıları kullanılmıştır. Google bu teknolojiyi geliştirmek için ABD hükümeti tarafından yapılan DARPA otonom araç yarışlarından birçok mühendis barındırmıştır. 2007 otonom araç yarışını kazanan CMU takımının teknik lideri Chris Urmson, 2005 yılında Standford takımının yazılım öncüsü Mike Montemerlo ve birçoğu bunlara örnek olarak gösterilebilir. Bunlar ve takımındaki diğer mühendislerin çalışmaları Amerikan Ulusal Tarih Müzesi'nde sergilenmektedir.

Dünya sağlık örgütüne göre her yıl 1,2 milyonun üzerinde insan trafik kazasında hayatını kaybetmektedir. Otonom araç teknolojisinin bu sayıyı en azından yarıya indireceği düşünülmektedir. ABD Ulaştırma Bakanlığının tahminine göre bir iş gününde trafikte ortalama 52 dakika harcanmaktadır otonom araç teknolojisi ile kaybedilen zamanların daha verimli hale getirileceği düşünülmektedir. Bu aşamada deneysel görünen bu çalışmalar gelecek bilgisayar bilimi için fikir oluşturmaktadır [15].

TOFAŞ - Ford Otosan - Koç Sistem ortaklığı, Okan ve Galatasaray Üniversitelerinin katkısı ve TÜBİTAK'ın desteği ile dünya standartlarına uygun, otomobiller arası bir iletişim sistemi geliştirilmektedir. Bu sistem ile araçlar arasında ve araç – karayolu arasında kablosuz iletişim kurularak; Ölüm ve yaralanmalı kazaların azaltılması, trafikte can güvenliğinin artırılması, Ulaşım sürelerinin optimizasyonu, trafik verimliliğinin artırılması, emisyonlarının azaltılmasını hedeflenmektedir.

Ülkemizde insansız araçlar üzerinde başarılar sağlamış bir kurum olarak, askeri hizmetler için çalışmalar gerçekleştiren ASELSAN gösterilebilir. ASELSAN askeri amaçlı insansız kara-hava-deniz araçları geliştirmiştir ve geliştirmektedir,

ASELSAN araçlarının birkaçı;

- İZCİ İnsansız Kara Aracı
- GEZGİN Çok Amaçlı İnsansız Kara Aracı
- DENİZCİ İnsansız Su üstü Aracı
- AUV İnsansız Su Altı Aracı
- KÂŞİF Balonlu Keşif Gözetleme Sistemi
- DALKILIÇ Çok Maksatlı Muharebe Robotu
- KAPADOKYA

Avustralya ve Amerika Savunma Bakanlığı organizasyonları tarafından ortaklaşa düzenlenen yarışma için Aselsan'in takım liderliğinde bir ekip oluşturulmuştur. "Kapadokya" adı verilen ekipte, Bilkent, Boğaziçi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi ile Amerika'dan OSU' ya yer almıştır[16].



Şekil 1-4: ASELSAN üretimi Kaplan isimli insansız kara aracı ailesi [17]

Modüler kontrol konsolu ile uzaktan kontrol edilebilen Kaplan insansız kara aracı ailesi yeni nesil bir ürün ailesidir. Kaplanlar uzaktan kullanımından tam otonom kullanıma kadar kontrol seçenekleri sunmaktadır. Askeri standartlarda üretilmiş bir araçtır[17].

Otonom kara aracı tasarımları ile ilgili alınmış patentler mevcuttur. Bunlardan bir kaçının aşağıda verilmiştir.

Patent adı: Self-driving vehicle with integrated active suspension

Başvuru numarası: US 15/242,691

Yayın numarası: US20140297116 A1

Yayın tarihi: 2 Ekim 2014

Buluş sahipleri: Zackary Martin Anderson, Marco Giovanardi

Orjinal Hak sahibi: Levant Power Corporation

Yukarıda bilgileri verilen patent otonom kara aracı için alınmış bir patentdir. Patent incelemesiinde araç tasarımında LIDAR, GPS, kamera, ivmeölçer gibi algılayıcıların kullanıldığı görülmektedir.

Patent adı: Method and system for control of autonomous vehicles

Başvuru numarası: PCT/SE2014/050278

Yayın numarası: WO2014148975 A1

Yayın tarihi: 25 Eylül 2014

Buluş sahipleri: Jon Andersson, Josseph Ah-King, Tom NYSTROM

Başvuru sahibi: Scania Cv Ab

Bu patent otonom kara aracı ile ilgilidir, trafikte araçların birbirleri arasında iletişim kurması ve birbirini takip etmesi şeklinde tasarımdan bahsedilmektedir. Yukarıdaki patente benzer şekilde LİDAR, GNSS, ivmeölçer gibi algılayıcılar tercih edilmiştir, diğerinden farklı olarak haberleşmeyi sağlamak için network yapısından bahsedildiği görülmektedir.

Yukarıdaki örneklerde otonom kara araçları için patentlerden bahsedilmiştir. Kara araçlarında olduğu gibi diğer alanlarda görev yapacak otonom araçlar için de patentler mevcuttur.

1.2 AMAÇ

Bu tez çalışmasında prototip otonom araç tasarıminın gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında üzerinde çevreyi algılamada kullanılacak çeşitli algılayıcılar ile donatılmış insansız bir araç ve aracı gerektiğiinde manuel ve otonom şekilde kontrol edecek uzaktan kontrol sistemleri oluşturulmuştur. Uzaktan kontrol sistemi ile belirlenen güzergâh araca gönderilerek aracın belirlenen güzergâhı takibi GNSS konumlandırma sistemi yardımı ile kendi konumunu belirleyerek gerçekleştirmesi amaçlanmıştır. Tasarımda konum belirleme için GPS modülü, yön belirleme için elektronik pusula, jiroskop ve ivmeölçer, engel algılama amacıyla ultrasonik algılayıcılar, kablosuz haberleşmeyi sağlamak amacıyla RF ve Bluetooth modülleri, sistemin bütünlüğünü sağlayacak mikro denetleyici ve yardımcı elemanlar kullanılmıştır.

Araç, farklı iki haberleşme birimini kullanarak iki farklı kontrol cihazı ile haberleşebilmektedir. Kontrol cihazları manuel ve otonom kontrol olmak üzere iki farklı amaç için tasarlanmıştır. Kontrol birimlerinden biri olan Android tabanlı akıllı telefon yada tablet gibi bir cihaz ile Bluetooth haberleşmesi kullanılarak aracın otonom ya da manuel olarak çalıştırılacağına karar verilmektedir. Bu kontrol cihazının asıl kullanım amacı aracı manuel olarak kontrol etmektir.

Kontrol cihazı olarak kullanılan diğer cihaz ise Windows işletim sistemli bir bilgisayardır. Bilgisayar üzerinde Visual C# ile yazılmış bir uygulama çalıştırılmaktadır. Araç üzerinde bulunan GPS alıcısı ile edinilen aracın konum bilgisi yine araç üzerinde bulunan RF kablosuz haberleşme modülü yardımıyla C# ile geliştirilen uygulamanın çalıştığı bilgisayara gönderilerek aracın konum takibi gerçekleştirilir. Aracın hedef olarak kullanacağı noktanın koordinatları, geliştirilen uygulama üzerinden kullanıcı tarafından seçilerek araca gönderilir. Bu şekilde araç otonom karar mekanizması ile istenilen konuma yönelik görevi tamamlayacaktır. Araç manuel modda iken otonom sistem pasif durumdadır. Aracın otonom sistemleri ile hedefe hareketinin sağlanması için öncelikle manuel kontrolde kullanılan Android işletim sistemli kontrol birimi tarafından aracın otonom moda alınması gereklidir.

2. OTONOM ARAÇ DONANIM VE PROTOKOL TANIMLAMALARI

Sistemin güvenirligi; kullanılan algılayıcılar, algılanan bilgileri analiz edecek kontrol ve karar birimi, kontrol ve karar biriminden alınan kararları uygulayacak çevre birimlerine ve bu sistemin analizini yapacak yazılımın düzeyine bağlıdır. Kontrol birimi çevre birimlerinden aldığı bilgiler doğrultusunda aracı yönlendirecektir. Bu nedenle çevre şartlarını algılamakta kullanılan algılayıcılar büyük önem taşımaktadır. Çevre birimleri ile işlemci birimi arasında algılayıcı çeşitliliklerinden dolayı I²C, UART ve USB gibi farklı haberleşme protokolleri kullanılmıştır. Bu bölümde haberleşme protokolleri ve otonom araç tasarıminda kullanılan donanımlar iki ayrı başlık altında anlatılmıştır.

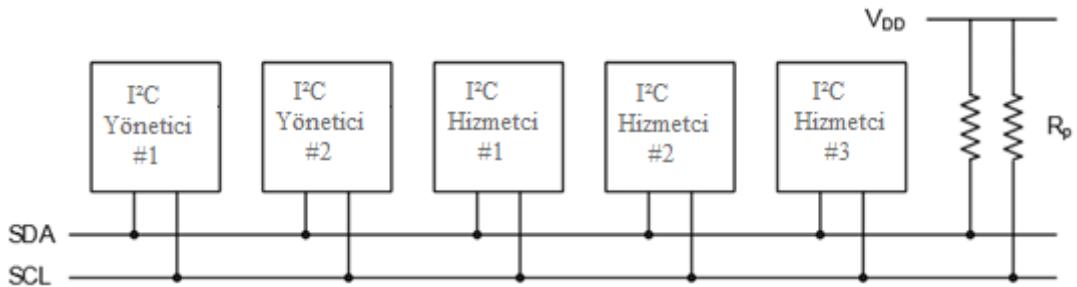
2.1 Haberleşme Protokolleri

Sayısal sistemlerde haberleşme ile ilgili birçok standart görülebilmektedir. SPI, I²C, UART bunlardan bir kaçıdır. Bu standartlarda haberleşmeyi sağlamak için farklı sayıarda iletişim hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Protokoller farklı veri yapılarına sahip ve farklı hızlarda haberleşmeyi gerçekleştirmektedir.

2.1.1 I²C haberleşme protokolü

I²C (Inter-Integrated Circuit) iki hatlı orta derecede haberleşme hızına sahip Philips yarıiletkenleri tarafından 1980'lerin başında elektronik ürünlerin üretim maliyetlerini düşürmek için geliştirilmiştir[18]. Bu protokol, 7 bit adresleme kullandığından 128 farklı cihazla tek yönlü olarak haberleşme sağlamak ve 400KHz gibi ihtiyaca göre oldukça hızlı veri aktarımına olanak tanımaktadır. İçerisinde adresleme planı bulundurduğundan Şekil 2-1 de gösterildiği gibi farklı cihazların aynı hatta bağlanması ile birden çok cihaza ulaşım sağlanabilmektedir. Basit, düşük bant genişliğine sahip, kısa-mesafe protokolüdür.

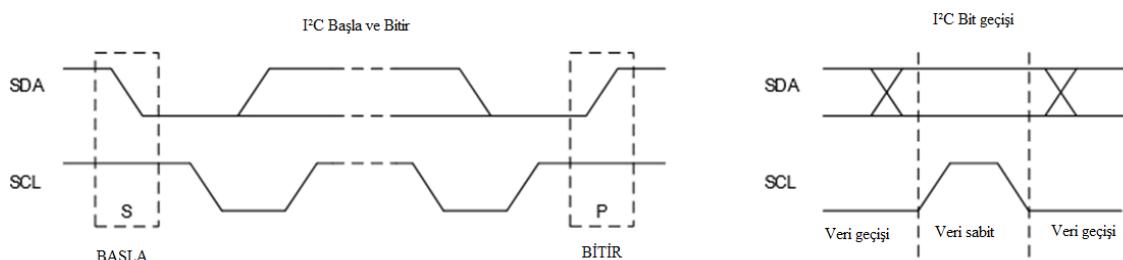
I²C protokolünde iki iletişim hattı ile haberleşme sağlanabilmektedir. Bunlardan biri SCL (SerialClock) veri senkronizasyonu için kullanılan saat darbeleri hattı, diğer ise SDA (SerialDAta) verinin gönderileceği hattır. SCL hattını yalnızca master cihazlar yönetebilir.



Şekil 2-1: I²C cihazlarının bağlılığı şekli

Sistemin alıcı hattında kararsızlığa düşmemesi için fizikselli olarak SCL ve SDA hatları pull-up dirençleri ile desteklenmelidir. Slave cihazların artışı ile hattın kapasitansı artacaktır ve akış hızını yavaşlatacaktır. SCL ve SDA hattına bağlanan pull-up dirençlerinin değeri hattın kapasitansı ve tanımlanan hızın izin verdiği maksimum yükselme zamanı ile hesaplanabilmektedir. 100kHz, 400kHz için maksimum yükselme zamanı 1us, 300ns'dir [19].

I²C protokolünde veri alışverişi cihazlar arasında haberleşmenin başladığını veya tamamlandığını belirten Start ve Stop bitleri ile başlar ve biter, veri alışverişi saat dardesinin lojik 0 seviyelerinde gerçekleşir. Start ve Stop durum bitleri sadece SCL hattının lojik 1 olduğu durumda gönderilir. Bu durum Şekil 2-2 'de gösterilmektedir.



Şekil 2-2: I²C Protokolü haberleşme durumu

SCL hattı lojik 1 iken SDA hattında lojik1'den lojik0'a geçiş start komutu anlamına gelir. Benzer şekilde SCL hattı lojik 1 iken SDA hattında lojik0'dan lojik1'e geçiş stop komutu anlamına gelir ve iki cihaz arasındaki haberleşme tamamlanır.

I²C protokolünde gönderilen veri ve okunan veri aynı hat üzerinden, yani SDA hattından transfer edilir, haberleşme tek taraflı sıralı olarak yapılır. SDA iletim hattı sürekli olarak bir pull-up direnciyle Vcc'ye (TTL için +5V) bağlı olduğundan hattaki start ve stop bitlerinin anlaşılması hatta lojik 0 olup olmamasıyla anlaşılır.

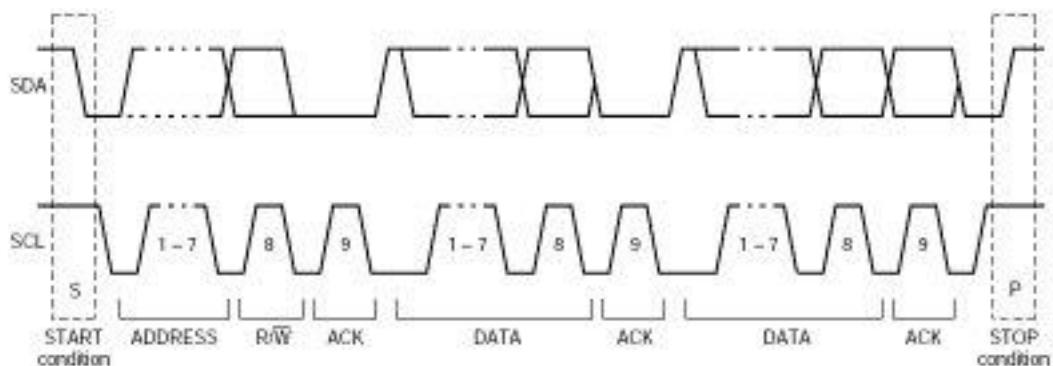
I^2C protokolünde ‘Master’ denilen haberleşmeyi başlatan bir kontrol birimi ve ‘Slave’ denilen veri alış verisi yapılacak cihazlar vardır. I^2C protokolüne göre veri yoluna bağlı her bir slave durumundaki cihazın, en fazla 7 bitten oluşan, kendisine ait bir adresi vardır. Bu cihazlar LCD, EEPROM veya algılayıcılar gibi herhangi bir sayısal sistem olabilmektedir. SDA hattına master tarafından slave cihazın adresi gönderildiğinde o adrese ait slave tarafından SDA hattına ACK yani ‘alındı’ anlamına gelen bir cevap gönderilir. Bu aşamadan sonra slave birimi kullanılmaya hazırır.

Haberleşme master cihazın SDA hattından "Start" biti göndermesi ile başlar. Bu durumda tüm slave cihazlar haberleşilecek adres bilgisinin gelmesini bekler. Master cihaz haberleşmek istediği cihazın adresini ve yapılacak işlemin yazma veya okuma olup olmadığını 1 bayt halinde SDA hattından I^2C veri yoluna aktarır. Haberleşecek cihazlar SDA hattından gelen adres bilgisini alırlar ve kendi adresleri ile karşılaştırırlar.

Master'in gönderdiği adrese sahip slave cihaz haberleşmeye hazır olduğunu bildirmek üzere SDA yoluna bir ACK sinyali gönderir. Diğer slave cihazlar master cihazdan başlamış olan haberleşmenin bittiği anlamına gelecek "Stop" bitini beklerler.

Cihaz seçildikten sonra cihazın ilgili kaydedici adresleri gönderilerek okuma ya da yazma yapılacak slave cihazının kaydedicilerine erişim sağlanır. Transfer tamamlandıktan sonra master stop bitini SDA hattından aktarır ve haberleşme sona erer (Şekil 2-3), bu durumda hatta bağlı tüm slave cihazlar yeni bir haberleşme için hazır durumdadırlar.

Bu tez çalışmasında kullanılan algılayıcılardan; elektronik pusula, jiroskop ve ivmeölçer ile iletişim I^2C protokolü ile gerçekleştirılmıştır.



Şekil 2-3: I^2C haberleşme sinyalleri

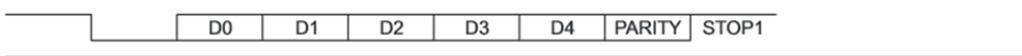
2.1.2 USART haberleşme protokolü

Bilgisayar ile çevre birimlerini haberleşirmede kullanılan bir seri haberleşme standardıdır. USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) yongaların senkron ve asenkron haberleşme sağlayabilecek özelliklere sahip yapıları vardır.

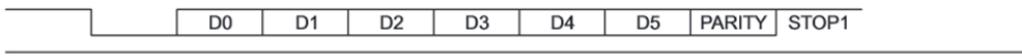
Senkron haberleşme tipinde saat sinyali veri yapısında her bit için ayrı ayrı gönderilir ve start, stop bitleri bu yapıda kullanılmaz. Bu yapı karakter çerçevelene olduğu için uygun kanallarda iletim verimliliğini artırır. Senkron haberleşmede alıcı ve verici arasında senkronizasyonu sağlamak için karakter göndermek gereklidir. Asenkron haberleşmede buna ihtiyaç duyulmayıp veri paketi başında start biti gönderilir.[20]

RS232 ya da RS485 diye tanımlanan UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) asenkron haberleşmeyi sağlayan bir protokoldür. Bağımsız alıcı ve verici katları aynı anda çift taraflı haberleşmeyi mümkün kılmaktadır. UART protokolü veri paketi başla, veri, parite ve bitir bitlerinden oluşmaktadır. Seri protokol veri paketinde gönderilecek veri için normalde 8 bit kullanılır, kullanıcı isteğine göre veri bit sayıları 5, 6, 7, 8, 9 olmak üzere istenilen şekilde ayarlanabilmektedir. Pakette gönderilen parite biti ile basit veri transfer hatalarının önüne geçebilmektedir. Parite tek ve çift parite olmak üzere iki farklı yolla oluşturulabilmektedir(Şekil 2-4).

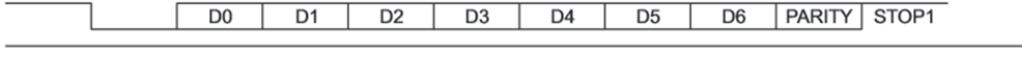
Gönder/A1 5-bit bilgi, parite etkin, 1 Durma biti



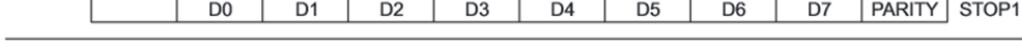
Gönder/A1 6-bit bilgi, parite etkin, 1 Durma biti



Gönder/A1 7-bit bilgi, parite etkin, 1 Durma biti

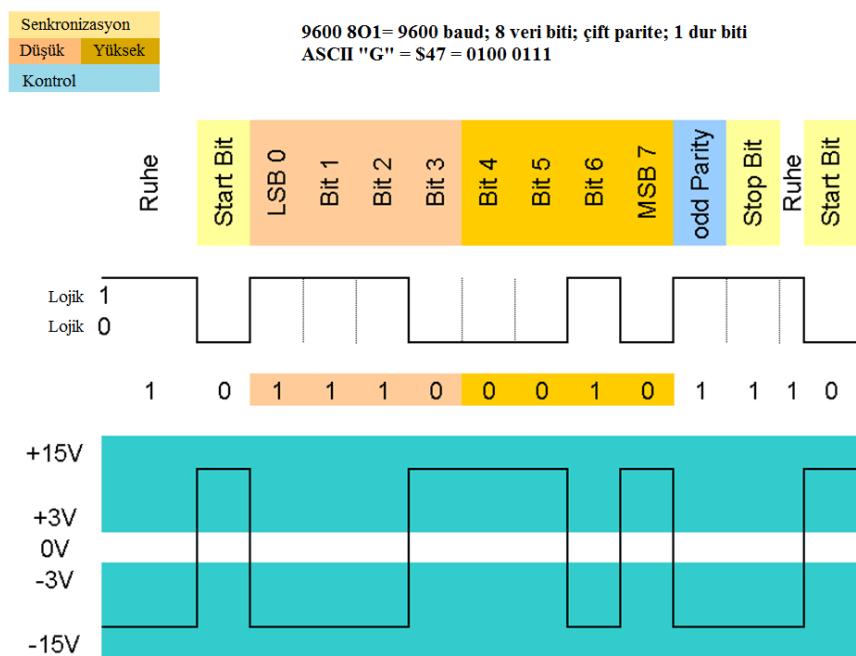


Gönder/A1 8-bit bilgi, parite etkin, 1 Durma biti



Şekil 2-4: UART haberleşmesi veri formatı

Tek parite kullanıldığında veri bitlerinde bulunan 1'lerin sayısı tek ise parite biti 0, çift ise parite biti 1 olacaktır. Benzer şekilde çift parite kullanıldığında veri bitlerinde bulunan 1'lerin sayısı tek ise parite biti 1, çift ise parite biti 0 olacaktır. Donanım Rx (alıcı uç) ve Tx (gonderen uç) olmak üzere minimum iki uç ile çift yönlü haberleşme sağlanabilecek yapıdadır. Haberleşmeye başlanmadan önce yapılması gerekenlerin başında veri formatının şekli ve baud rate diye tanımlanan haberleşme hızını ayarlamak gelir, bu ayarlar hem alıcı hem de verici tarafta yapılması gereklidir.



Sekil 2-5: Seri haberleşme veri formatı sinyal yapısı

UART genellikle aşağıda belirtilen yapılara sahiptir.

- Saat üreticisi
- Giriş ve çıkış kaymalı kaydedicileri.
- Alıcı / verici kontrolü.
- Okuma/yazma mantık birimi.
- Alıcı/Verici tamponu (Opsiyonlu).
- Paralel veri hattı tampon (Opsiyonlu).
- İlk giren ilk çıkar(FIFO) hafiza birimi(Opsiyonlu).

Bu tez çalışmasında; RF haberleşme modülü, Bluetooth haberleşme modülü ve GPS modülü ile iletişim UART protokolü ile gerçekleştirılmıştır.

2.1.3 USB haberleşme protokolü

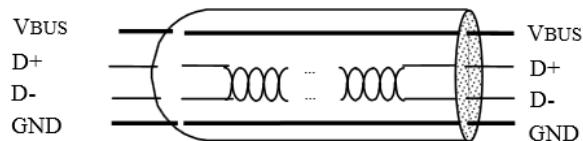
Günümüzde en çok kullanılan haberleşme yöntemlerinden biri USB (Universal Serial Bus) olarak bilinmektedir, tak çalıştır özelliği ile kullanıcı dostu olmuş bir yapıdır. RS232 seri haberleşme teknolojisinin eksikliklerini ortadan kaldırılmış ve günümüzde dizüstü bilgisayarlarda RS232 portu kaldırılmış USB portları yaygınlaşmıştır. Hafıza birimleri, kameralar, yazıcı, tarayıcı, klavye gibi birçok ürün tak çalıştır özelliği ile kolaylıkla kullanılabilmektedir.

Maksimum 127 cihaz ile bağlantı kurulabilmektedir.

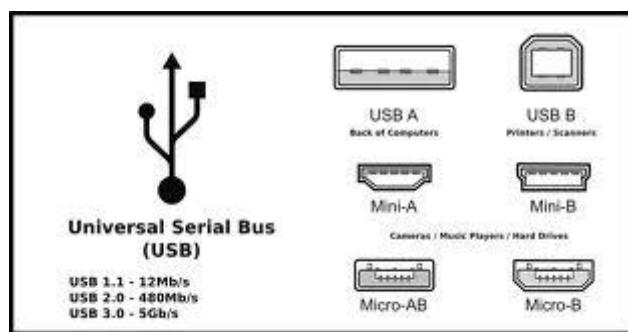
USB 1.1 :12Mbps (1,5MByte/sn) , USB 2.0 :480Mbps (60MByte/sn),

USB 3.0 :4,8Gbps (600MByte/sn), USB 3.1 :10Gbps (1,22Gbyte/sn)

hızlarında haberleşme sağlanabilmektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan USB 2.0 dır. USB 2.0 veri yolu 5V 500mA çıkış verirken, son zamanlarda yeni üretilen bilgisayarlarda anakartların tümünde desteği bulunan USB3.0 ise 900mA çıkış verebilmektedir. Kullanım amacına göre farklı konektör yapıları mevcuttur.



Şekil 2-6: USB Kablosu



Şekil 2-7: USB Port Çeşitleri

Bu tez çalışmasında; RF haberleşme modüllerinden birtanesi, USB/UART çevirici kullanılarak kontrol biriminin USB portuna bağlanmıştır.

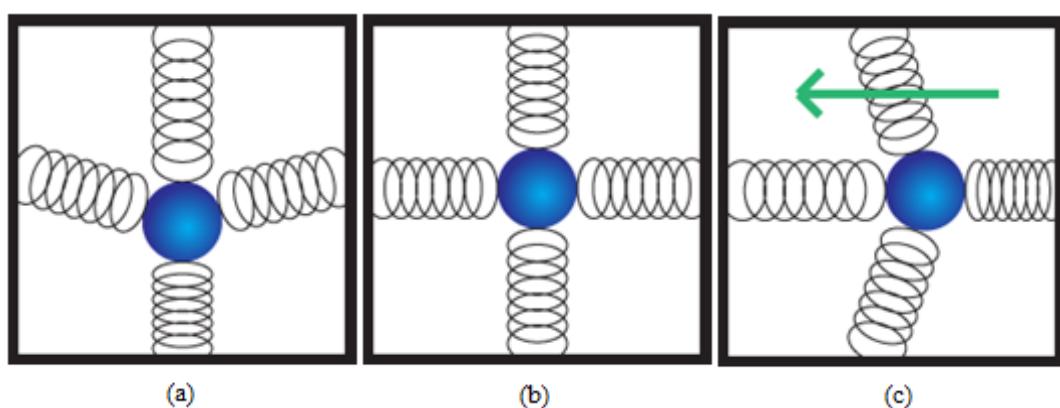
2.2 Otonom Araç Teknolojisinde Kullanılabilecek Donanımlar

Tasarlanacak aracın özelliklerine göre kullanılacak teknolojiler değişmektedir. İlgili ihtiyacı yerine getirmek için birçok ürün imal edilmiştir. Aracın görev ve kabiliyetine uygun donanımlar seçilerek tasarımın gerçekleştirilemesi gereklidir.

2.2.1 İvmeölçer algılayıcıları (Accelerometer)

Akselerometre ya da ivmeölçer algılayıcıları ivmeyi, ivmelenmeyi ölçen algılayıcılardır. Ivmeölçerler tek eksen, iki eksen ve üç eksen olmak üzere üç farklı şekilde ihtiyaca göre üretilmektedir. Statik ve dinamik olmak üzere iki ivme ölçme durumu vardır. Hareketsiz konumlarda yerçekimi ivmesini ölçmesinden dolayı yere göre açı hesabında kullanılabilmektedir, hareketli dinamik durumlarda ise yerçekiminin yanında hareketin de ivmesi hesaba gireceğinden hesaplamalar statik duruma göre daha zor olmaktadır.

Deniz seviyesinde $1g$ 'lik yerçekimi ivmesi vardır, deniz seviyesinde ivmeölçerinin gösterdiği değer 9.81 m/s^2 olurken, yerçekiminin sıfır olduğu uzayda ya da serbest düşen bir cisim üzerinde göstereceği değer 0 m/s^2 olacaktır. Ivmeölçerler bilimsel çalışmalarında birçok alanda kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyete sahip ivmeölçerler füzelerde, uçaklarda, gemilerde ve denizaltılarında seyrüsefer sistemlerinde kullanılan en önemli parçalardan biridir. Günümüzde telefonlarda, tablet bilgisayarlar ve oyun konsolları gibi alanlarda kullanılmaktadır.



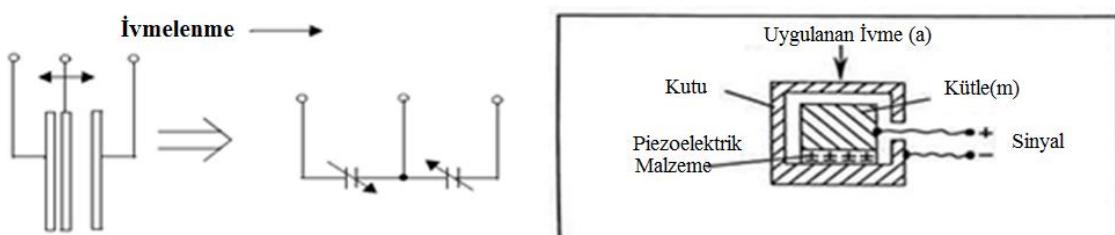
Şekil 2-8: Ivmeölçer çalışma prensibi

Şekil 2-8(a)'da algılayıcının yerçekimi etkisindeki durumu görülmektedir, algılayıcı yere paralel ve sabit durduğunda yalnızca yer çekiminden etkilenir. Şekil 2-8(b)'de

algılayıcı serbest düşme durumunda ya da ivmelenmenin sıfır olduğu uzayda bulunduğu durumdadır. Şekil 2-8(c)'de ise algılayıcının sol tarafa doğru ivme kazandığı durum gösterilmektedir.

İvmeölçerler ölçme tekniğine göre farklı sınıflara ayrırlar.

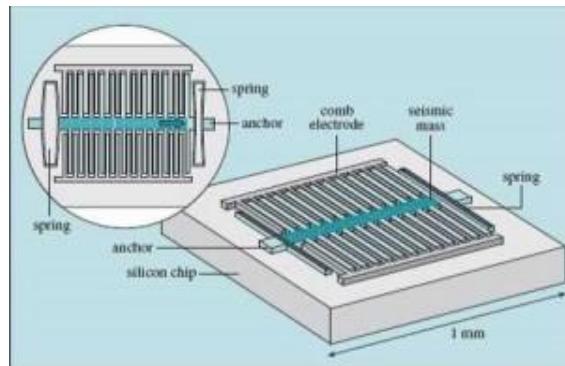
- a) Piezoelektrik ivmeölçerler; çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpması testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılan, küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdülerlerdir. İçerdikleri mikroskopik kristal yapılar ivmesel kuvvetle gerilir; bu da voltaj üretmesini sağlar, algılayıcı değerlerine göre voltaja karşılık gelen ivme değeri bulunur(Şekil 2-9).
- b) Kapasitif ivmeölçerler; düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçümede kullanırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar(Şekil 2-9).



Şekil 2-9: Ivmeölçer örnek iç yapısı

Modern ivmeölçerler genellikle Mikro Elektro-Mekanik Sistem(MEMS) olarak imal edilirler ve oldukça küçük boytlardadırlar. Bir MEMS ivmeölçerlerin yapısı Şekil 2-10'da gösterilmiştir.

MEMS ivmeölçerler genellikle tek bir eksen üzerinde ivmelenme ölçeceğin şekilde imal edilirler. Birden fazla eksende ölçüm yapmak istenirse bu ivmeölçerler birbirine dik eksenlerde bağlanılarak ölçüm alınır.



Şekil 2-10: MEMS iç yapısı

MEMS ivmeölçerlerin bir diğer özelliği çok büyük bir ölçüm aralığına sahip olmalarıdır. Binlerce G ölçülecek yapıda ivmeölçerler mevcuttur. Bunun karşılığında düşük G durumlarında hassasiyet azalmaktadır. Bu yüzden ivmeölçer uygulamada ölçülecek maksimum G ye göre seçilmelidir bu şekilde hassasiyet yüksek tutulmuş olacaktır. MEMS ivmeölçerlerin Analog ve Dijital çıkışlı çeşitleri mevcuttur.

İvmeölçerler hareket etmedikleri durumda yüksek doğruluk ile çalışırlar, yalnız titreşimden ve gürültüden etkilenmektedirler.

Dünya üzerindeki bir noktada sabit durumda bulunan bir ivmeölçerin ölçüceği değer yaklaşık olarak 1 G ve aşağı yönlüdür, çünkü Dünya üzerindeki herhangi bir nokta yerel eksen takımına göre (yere doğru serbest düşüş yapmakta olan bir cisimde yerleştirilmiş eksen takımı) aşağı yönde ivmelenmektedir. Harekete bağlı ivmelenme ölçülmek isteniyorsa, bu yerçekimi ofseti toplam ivmeden çıkarılmalıdır. Bu yüzden harekete bağlı ivmelenme ölçülecek ortamın yerçekimi ivmesinin bilinmesi gerekmektedir.

Kullanım alanları: Medikal göstergeler, oyun konsolları, seyrüsefer cihazları, Hard disk sürücülerini koruma, cep telefonları, açıölçer sistemleri, robotik sistemler.

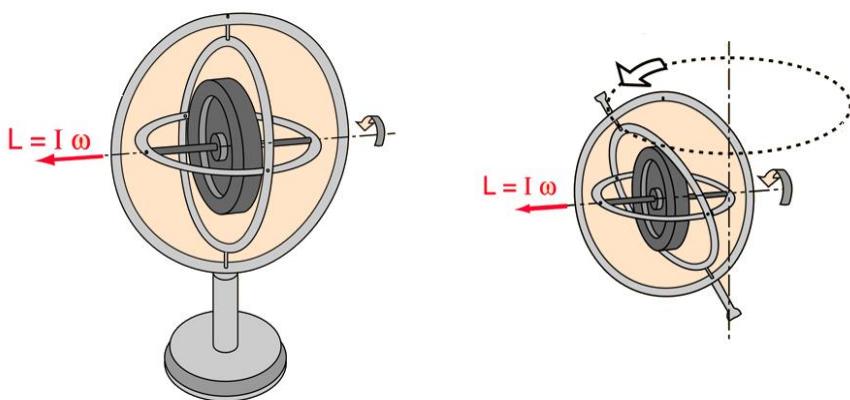
2.2.2 Jiroskop algılayıcı (Gyroscope)

Jiroskop (Gyroscope, Gyro) açısal hızın ölçümünde kullanılan, açısal dengenin korunması ilkesiyle çalışan bir alettir. Jiroskopik hareketin temeli fizik kurallarına ve açısal momentumun korunumu ilkesine dayalıdır. Jiroskop olarak bilinen alet ilk olarak 1817'de J. Bohnenberger tarafından icat edilmiştir ve jiroskop adı 1852'de Dünya'nın dönüş hareketini incelemek üzere yaptığı deneyler sırasında J. Foucault tarafından

verilmiştir. Günlük hayatta, uçak ve gemilerde yön bulmak için, uzay teleskoplarında yönge kararlılığını sağlayabilmek için yaygın olarak jiroskoplardan yararlanılmaktadır.[21][22]

Jiroskop basitçe bir tekerleğin ekseni etrafında hızlıca döndürülmesi sonucu ortaya çıkar. Tekerleğin etrafındaki çembere dik açıyla kenetlenmiş başka bir çember ve bu çemberlere dik açıyla tutturulmuş başka bir çember Jiroskopu modeller.

Jiroskopun öne çıkan iki özelliği vardır. Yatay eksende dönmekte olan bir jiroskopa yatay eksen doğrultusunda bir kuvvet uyguladığımızda yatay eksen etrafında dönmek yerine eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer bir özelliği ise jiroskopun dönmeye başladığı eksenin jiroskopun durduğu yüzey ne açıyla oynatılırsa oynatılsın jiroskopun dönüş eksenini sabit kalır. Bu özelliğinden dolayı uyduların sürekli olarak dünyaya dönük kalması, uçaklarda ve çeşitli araçlarda yapay ufuk oluşturulması ve otopilot gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 2-11: Jiroskop mekanik yapısı

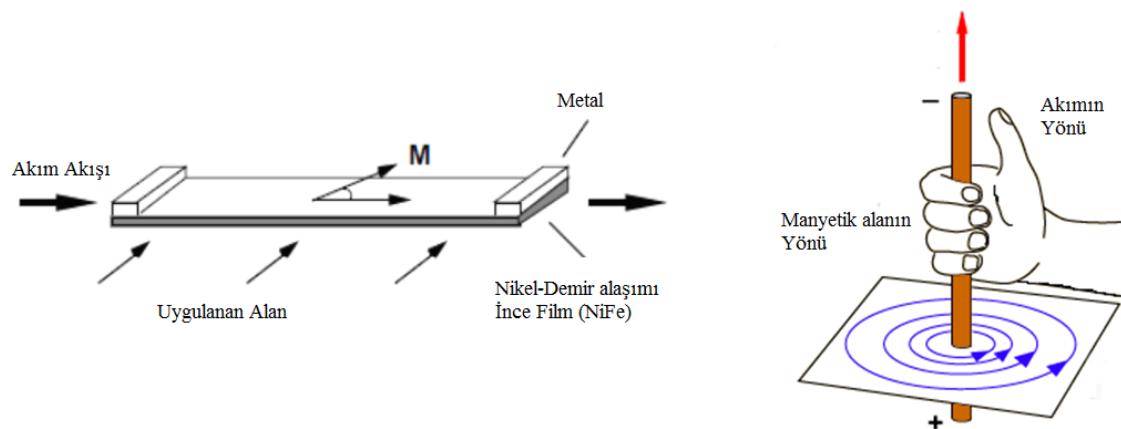
İvmeölçerlerde olduğu gibi MEMS yapıda ve bir, iki veya üç eksende ölçüm yapabilen Analog ve Dijital modelleri vardır.

Algılamacı hareketsiz konumda iken X, Y, Z eksen çıkışlarında sıfır değeri okunmalıdır, algılamacı üretim aşamasında kalibre edilerek üretilmektedir, kullanım amacına göre tekrar kalibre ihtiyacı duyulabilmektedir, hareket esnasında hareket yönüne bağlı olarak yukarıda verilen değerler doğrultusunda ilgili eksenlerde açısal değerler okunur. Algılamacının çıkışlarında yalnızca hareket esnasında bilgi okunur, hareketsiz konumda

iken eksenlerde herhangi bir değer varsa algılayıcı kalibre edilmesi gereklidir. Açı bilgisi için yalnızca jiroskop kullanmak kalibreniz ne kadar iyi olursa olsun uzun vadede hatalara neden olacaktır, bu yüzden ivmeölçer ile beraber kullanılması tavsiye edilmektedir.

2.2.3 Elektronik pusula (Magnetometer)

Manyetik algılayıcılar bulundukları alanın manyetik değerlerini ölçebilen algılayıcılardır. Bu özelliklerinden dolayı mekanik pusulalar yerine kullanılarak yön bilgisi elde edilebilmektedir. Analog ve Dijital çeşitleri mevcuttur, mekanik sistemlerden elektronik sistemlere dönüş ile yön bilgilerinin ortamlara yansıtılması ve bilginin istenilen amaç doğrultusunda kullanılması sağlanabilmektedir. Manyetik algılayıcılar; manyetik alanın varlığını, şiddetini, yönünü hissetmek için kullanılmaktadır.



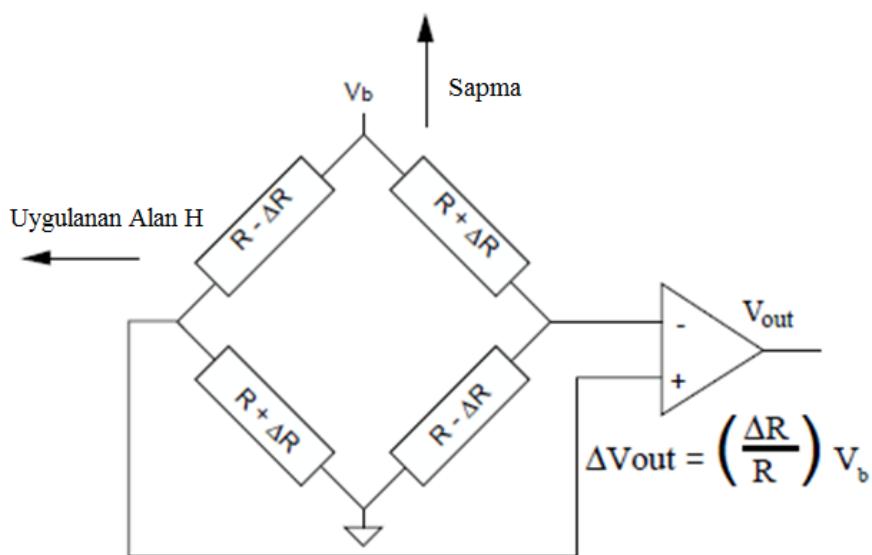
Şekil 2-12: Manyetik alan prensibi.

Bir makinatın manyetik alan oluşturduğu gibi, bir iletkenin içerisinde geçen akım da manyetik alan oluşturabilmektedir. İletken içerisinde geçen manyetik alanın yönü Şekil 2-12'de görüldüğü gibi sağ el kuralı ile belirlenebilir. Dünyanın da kutuplarda daha fazla olmak üzere manyetik alanı vardır. Dünyanın manyetik alanını ve yönünü belirlemede, maden çalışmalarında maden arama amaçlı, arkeolojik alanlarda, denizaltı aramalarında vb. uygulamalarda manyetik algılayıcılar kullanılmaktadır. Algılayıcıların kullanım alanlarına göre farklı hassasiyette çeşitlerini bulmak mümkündür. Manyetik alanı ölçmek için farklı yapılarda algılayıcılar dizayn edilmiştir.

Manyetik algılayıcılar manyetik alanda direnci değişen AMR (Anisotropic Magnetoresistance) malzemeleri barındırırlar. Manyetik alanın yönüne bağlı olarak akımın yönü değişmektedir. Manyetik alanın yönü akımın yönüne göre tayin edilir ve akımın şiddeti de manyetik alanın şiddeti oranında değişir.

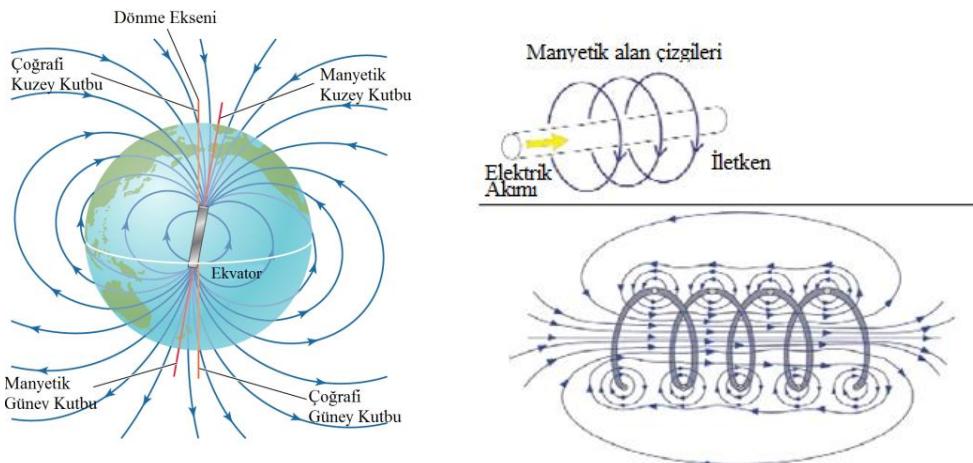
Dünyanın manyetik alanı 0,6 gauss civarındadır, dünya yüzeyinde farklı değerler almaktadır. Dünyanın dönüş ekseni kullanılacak harita referansı için coğrafi kuzey ve güney kutuplarını belirler. Manyetik algılayıcılar ile yön açısını hesaplamak için algılayıcı dünya yüzeyine paralel konumlandırılmalıdır, çevrede dünyanın manyetik alanını etkileyebilecek herhangi bir madde bulunmamalı ve bulunulan konumun manyetik sapması bilinmelidir[23].

Şekil 2-13'de manyetik algılayıcının bağlantı şékli görülmektedir. Algılayıcı elemanlar wheatstone köprüsü şéklinde birleştirilmiştir, bu bağlantı yöntemi ile manyetik alanın şiddeti ve yönü hesaplanabilmektedir.



Şekil 2-13: Manyetik algılayıcı çalışma prensibi

Manyetik alan Gauss ya da Tesla birimleri ile ifade edilmektedir. $1 \text{ Gauss} = 10^{-4}$ Tesla'ya karşılık gelmektedir. Dünyanın manyetik alanı yaklaşık 0.31–0.58 gauss arasında bulunulan konuma göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 2-14: Dünyanın dönüş ekseni ve manyetik alan çizgileri

Bir iletkeden akım geçtiği anda etrafında manyetik alan oluşturur. Benzer şekilde manyetik alana maruz kalan bir iletken üzerinde akım meydana gelmektedir. Manyetik alanı hissetme durumu bu prensip üzerine geliştirilmiştir. Şekil 2-14'de dünyanın kutupları nedeni ile oluşan manyetik çizgiler ve iletkeden akım geçmesi durumunda iletken etrafında oluşan manyetik alan görülmektedir. Algılayıcı bünyesinde eksen sayısına göre değişen manyetik alanı hissedeecek yapılar mevcuttur. Bu yapılar manyetik alana maruz kaldığı durumda üzerinde oluşan akım değerine göre manyetik alanın değerini belirler.

2.2.4 Kablosuz haberleşme modülü

Kablosuz haberleşme adında da anlaşılacağı gibi alıcı ve vericinin herhangi bir kablo bağlantısı olmadan birbirleri ile haberleşmesini sağlayan haberleşme yöntemidir. Haberleşme çatısı altında kablolu olarak gerçekleştirilen haberleşme teknikleri teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçlar doğrultusunda kablosuz olarak gerçekleştiriliyor hale gelmiştir. Kablosuz haberleşme teknolojisi kendi içerisinde gelişerek farklı teknikler ve cihazlar üretilmiş ve farklı haberleşme protokollerini ile haberleşme sağlanabilmektedir. Günümüzde neredeyse her evde en az bir kablosuz haberleşme tekniği kullanılır durumdadır.

Kablosuz haberleşmenin Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, GPRS/GSM, optik, gibi çeşitleri vardır. Teknolojilerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğundan kablosuz haberleşmede kullanılacak yöntem, cihaz, protokol haberleşme yapılacak duruma göre

belirlenmelidir. Bu tez çalışmasında Bluetooth haberleşme birimi ve 433Mhz frekans bandında haberleşme yapabilen RF modül kullanılmıştır.

Bina ve Ev Otomasyonu, güvenlik amacı ile sağlık sektörü, araçlarda, tarım ve endüstride, haberleşme cihazlarında olduğu gibi birçok kullanım alanı vardır. Telsizler, cep telefonları, kablosuz sabit telefonlar, cep bilgisayarları, kablosuz internet ağları, GPS birimleri, kablosuz bilgisayar fareleri, kulaklıklar ve dijital uydular radyo dalgaları ile çalışan uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.

2.2.5 Engel algılayıcılar

Özellikle güvenlik alanında ve üretim bantlarında sıkça bu tür algılayıcılar kullanılmaktadır. Engel algılayıcılar kullanım alanlarına göre farklı yapılardadır, manyetik, ışık ve ses gibi farklı özellikleri kullanarak engeller algılayabilen çeşitler mevcuttur.

2.2.5.1 Optik algılayıcılar

Optik algılayıcılar yüksek performansta ve gittikçe küçülen tasarımları ile ön plana çıkmıştır. Bu algılayıcılar, karşılıklı algılayıcılar, yansıtıcılı algılayıcılar ve cisimden yansımacı algılayıcılar olmak üzere üç farklı algılama ilkesine göre sınıflandırılabilir. Engel algılamayı amaçlayan farklı tiplerde algılayıcılar üretilmiştir.

Robot teknolojisinde engel algılamak yeterli çözüm olamayabilir, engelin mesafesini de bilmek uygulamada kolaylık sağlayacak ve daha güvenli kararlar alınmasına yardımcı olacaktır. Otonom araç teknolojisinde LIDAR (Light Detection and Ranging) adı verilen lazer algılayıcılar tercih edilmektedir. LIDAR taradığı alanın her derecesine (çözünürlüğe göre 0.5° ya da 1°) bir lazer ışını gönderir ve yansıyan ışının süresine göre mesafe hesabı yapar. LIDAR giden ve gelen ışın arasındaki süreyi ölçer ve bu farka göre cısmın uzaklığını saptar.

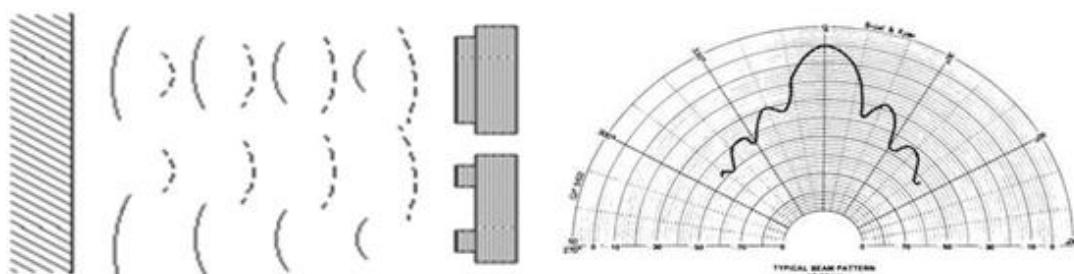
2.2.5.2 Ultrasonik algılayıcılar

Bu tezde tasarlanacak aracın ufak ve prototip olmasından dolayı ultrasonik mesafe algılayıcılar tercih edilmiştir. Ultrasonik algılayıcılar ses dalgalarını kullanarak engel algılamayı sağlayan genellikle robotlarda engellerden kaçmak, bulunan yerin haritasını

çıkarmak amacıyla kullanılan algılayıcı çeşididir. Yakın mesafe ve çok hassas olmayan uygulamalarda genellikle 40 KHz'lik ultrasonik algılayıcılar kullanılmaktadır. Ultrasonik algılayıcıların algılama menzili uygun koşullarda 30 metreye varabilir.

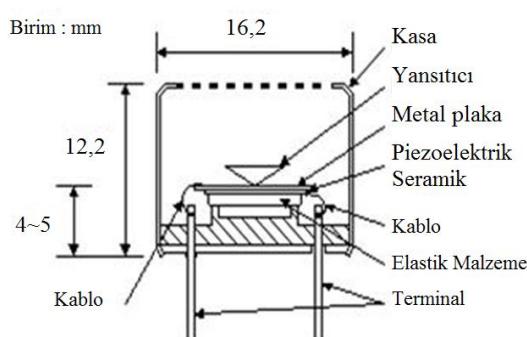
Çalışma Prensibi:

Ultrasonik algılayıcılarında iki adet piezoelektrik transduser bulunur. Bunlardan biri verici diğerisi alıcı görevindedir. Ultrasonik uzaklık algılayıcı, piezoelektrik transduserden 40khz ultrasonik sesin kısa darbelerini yayarak çalışmaktadır. Gönderilen ses dalgaları engele çarpıp yansıyarak alıcı transduserden algılanır, bu gönderilme ve alma arasındaki zaman ölçülür. Ses sinyali engele ulaşmış ve tekrar mesafenin algılanacağı yere geri gelmiştir yani algılanacak mesafe iki kere kat edilmiştir bu yüzden mesafeyi hesaplamak için ölçülen zaman ikiye bölünüp ses hızı ile çarpılarak engelin mesafesi bulunmuş olur(Şekil 2-15).



Şekil 2-15: Ultrasonik ses dalgalarının yayılımı

Ultrasonik uzaklık algılayıcısının avantajları; Hedef cisim dokunulmadan temassız ölçüm saflar, büyük veya küçük cisimleri algılayabilir. Ultrasonik algılayıcılar ortamın ışık seviyesinden, hedefin renginden veya hedefin optik geçirgenlik özelliklerinden etkilenmez. Şekil 2-16'de bir ultrasonik algılayıcının iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2-16: Ultrasonik algılayıcının iç yapısı

Araç alarm sistemleri, Işıklandırma kontrolü, Park destek sistemleri, otomatik kapı kontrolü gibi endüstriyel uygulamalarda da sıkça kullanılmaktadır.

2.2.6 Küresel konum belirleme sistemi

Geçmişte insanlar gökyüzünden ay ve yıldızlardan ya da referans edindikleri cisimlerden yardım alarak yön ve konumlarını bulmaya çalışmışlardır. Teknolojinin gelişmesi ile pusulalar, baz istasyonları gibi yardımcı cihazlarla yön ve konum belirlenmiştir. Günümüzde konum belirleme amacı ile tüm dünyada eş zamanlı çalışan hassasiyeti çok yüksek olan uydu sistemleri kullanılmaktadır.

4 Ekim 1957 de Sputnik isimli Rus uydusunun uzaya fırlatılması ile uzay araştırmaları gelişme göstermiştir[24]. Küresel seyrüsefer uydu sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite System) başlığı altında farklı ülkelerin geliştirmiş ve geliştirmekte olduğu sistemler mevcuttur. 1960'larda ABD Savunma Departmanı (DOD, Department of Defense.), Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi(NASA, National Aeronautics and Space Administration) ve ABD Ulaştırma Bakanlığı (DOT, Department of Transportation) gibi birçok ABD hükümet kuruluşları üç boyutlu pozisyon belirleme sistemleri üzerinde çalışmaya başlamıştır[25]. ABD hükümeti öncülüğünde uydu ile konum belirleme sistemleri gelişim kazanmıştır. ABD hükümetinin geliştirmiş olduğu sistem, Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System GPS) olarak adlandırılmıştır. GPS günümüzde sivil kullanımına açılmış olsa da askeri amaçlar için geliştirilmiş bir konum belirleme sistemidir, bu nedenle farklı ülkeler GPS den bağımsız konum belirleme sistemleri üzerine çalışmalar başlatmıştır. ABD GPS, Avrupa Birliği GALILEO, Rusya GLONASS, Çin BeiDou ile uydu tabanlı konum belirleme sistemleri üzerine çalışmalar göstermektedir[25].

ABD GPS isimli konum belirleme sistemi ile konum belirlemeye öncü ve lider durumdadır. Günümüzde en çok kullanıcıya sahip konum belirleme sistemidir.

1998 de Avrupa Birliği kullanım için GALILEO adını verdiği konum belirleme sistemi üzerine çalışmaya başlamıştır. GALILEO sisteminde konum belirleme için kullanılacak 30 uydu amaçlanmıştır.

Rusya'nın konum belirleme için oluşturduğu sistem GLONASS olarak adlandırılmaktadır. Rusya GLONASS uydu sistemini; ABD ve Avrupa Birliği uydu

sistemleri ile uyumlu olacak şekilde geliştirmektedir[25]. EK-1'de GLONASS, GALILEO ve GPS sistemlerinin karşılaştırma tablosu verilmiştir.

Çin BeiDou-1 ve BeiDou-2 isimli iki farklı konum belirleme sistemi üzerinde durmaktadır, BeiDou-1 askeri ve sivil kullanım için Çin üzerine konumlandırılmış üç adet uydudan oluşmaktadır. BeiDou-2 ise aynı zamanda COMPASS diye isimlendirmektedir küresel konum belirleme sistemi amacı için görev yapacaktır.[26]

Şuan aktif olarak kullanılan GPS ve GLONASS sistemleridir. Aşağıda bu sistemlerin uydu durumları görülmektedir.

Tablo 2-1: GPS uydularının durumu, 16.01.2015[27]

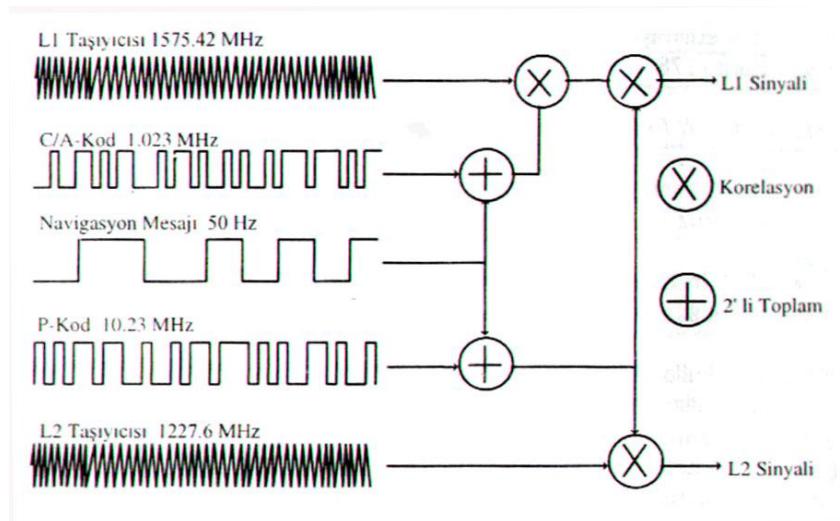
GPS Toplam Uydu Sayısı	31
Aktif Çalışan uydu Sayısı	30
Bakımda Bulunan Uydu Sayısı	1

Tablo 2-2: GLONASS uydularının durumu, 16.01.2015[27]

GLONASS Toplam Uydu Sayısı	29
Aktif Çalışan Uydu Sayısı	24
Bakımda Bulunan Uydu Sayısı	0
Yüklenici Tarafından kontrollü Uydu	1
Yedek Uydu Sayısı	2
Test Durumunda Bulunan Uydu Sayısı	2

2.2.6.1 GPS özelliklerı

GPS uydu tabanlı konum belirleme sistemidir. Kullanıcılarla üç boyutlu konum belirleme hizmeti sunmaktadır. GPS konum belirleme ile birlikte ayrıca hız ve zaman belirlemelerinde de kullanılmaktadır.



Şekil 2-17: GPS Uydu Sinyali

GPS L1(1575,42 MHz), L2(1227,6 MHz) ve L5(1176,45 MHz) olmak üzere üç farklı frekansta sinyal göndermektedir. GPS sivil ve askeri olmak üzere iki farklı hizmet sunmaktadır. GPS 1995 yılında 24 uydu ile gerekli testleri yapılarak tam olarak kullanıma elverişli hale getirildi[25].

Şekil 2-17'de L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerinin taşıdıkları bilgiler kısaca gösterilmektedir. Taşıyıcı dalgalar üzerine kod ve yörünge bilgileri modüle edilmiştir.

C/A kod (Coarse Acquisition) : Sivil amaçlı kullanıcılar için tasarlanmış bir kod türüdür. C/A kod aracılığı ile yürütülen bu hizmete “Standart Positioning Service” (SPS) adı verilir.

P kod (precise): Askeri kullanım için tasarlanmış bir kod türüdür. Askeri amaçlı kullanılacak şekilde şifrelenmiştir.

Küresel konum belirleme sisteminde uydular tarafından Almanak ve Efemeris olarak adlandırılan iki farklı bilgi gönderilir.

Almanak Bilgisi: Almanak verileri her uydu tarafından gönderilen GPS alıcısının ilk açılışta hızlı bir şekilde uydu bağlantısını sağlaması için doğruluğu oldukça düşük uydu koordinatlarını barındıran bir bilgidir. Bu bilgiler uyduların bir kaç aylık bilgisi olabilmektedir. Her uydu yörungedeki tüm uyduların almanak verilerini yaymayıabilir.[28]

Efemeris Bilgisi: Efemeris bilgileri önceden tahmin edilerek yer istasyonlarından uydulara gönderilen ve uydulardan da alıcılara gönderilen tüm uyduların yöringe bilgileridir. Efemeris bilgileri saat hataları giderici olarak kullanılmaktadır bu nedenle doğruluğu oldukça yüksek bilgilerdir. Uydular tarafından her 30 saniyede bir gönderilen ve 30 dakikalık geçerliliği olan bilgilerdir. Uydular yalnızca kendi efemeris bilgilerini yayırlarlar.[28]

Küresel konum belirleme sistemi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

2.2.6.1.1 Uzay bölümü

Sistem en az 24 uyduyu barındıracak şekilde dizayn edilmiştir. Uydular yaklaşık 20200Km yükseklikte altı yörungeye 55 derecelik açıyla konumlandırılmışlardır. Uydular herhangi bir zamanda en az altı uydunun dünya üzerinde görülebileceği şekilde konumlandırılmışlardır. Saatte 7000 mil hızla hareket ederek dünya etrafında bir turu yaklaşık 12 saatte tamamlamaktadır[29]. Uydular bünyelerinde ateşleyiciler ve baryalara sahiplerdir. Enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanmaktadır. Uydular, yalnız yer istasyonları ile çift yönlü, kullanıcı birimi için tek yönlü haberleşme sağlarlar. Tablo 2-3 de güncel GPS uyu bilgileri görülmektedir.

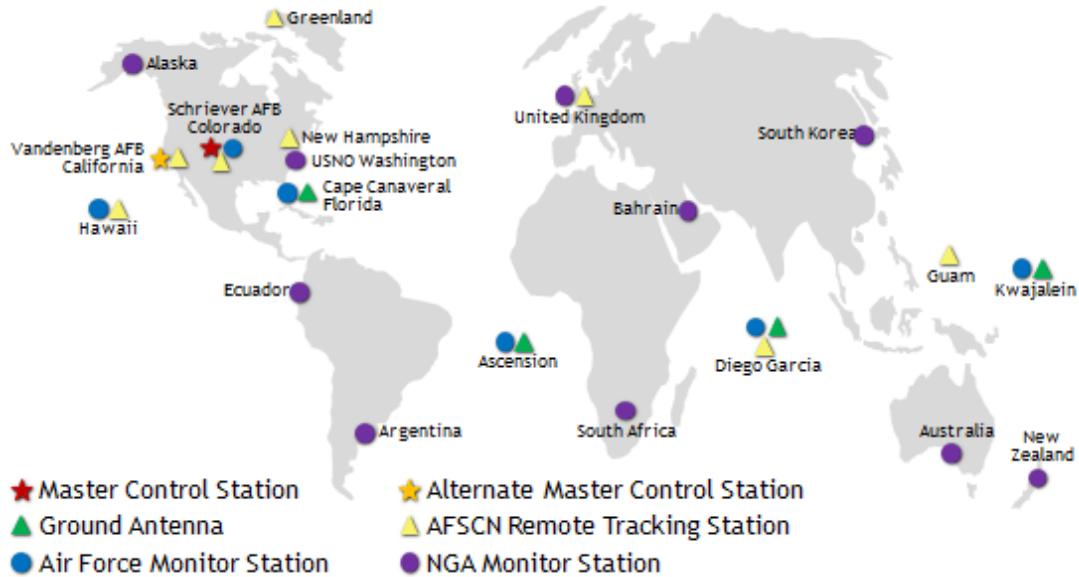
GPS uyduları kendi yöringesine ait bilgileri, düzeltilmiş saat bilgilerini L1 ve L2 taşıyıcı frekansları ile modüle ederek dünyaya gönderirler[30]. Bu sinyaller, uyu içindeki atom saatlerince oluşturulan $f=10,23\text{Mhz}$ temel frekanstan üretilmektedir. Temel frekansı 154 ile çarparak L1 ile ve 120 ile çarparak L2 frekansları elde edilmektedir.

Tablo 2-3: GPS uyduları 16.01.2015[27]

Plane	Slot	PRN	NORAD	Type SC	Launch date	Input date	Outage date	Life-time (months)	Notes
A	2	31	29486	IIR-M	25.09.06	13.10.06		99.2	
	4	7	32711	IIR-M	15.03.08	24.03.08		81.8	
	5	24	38833	II-F	04.10.12	14.11.12		26.1	
	6	30	39533	II-F	21.02.14	30.05.14		7.6	
B	1	16	27663	II-R	29.01.03	18.02.03		143.0	
	2	25	36585	II-F	28.05.10	27.08.10		52.7	
	3	28	26407	II-R	16.07.00	17.08.00		173.1	
	4	12	29601	IIR-M	17.11.06	13.12.06		97.2	
	6		34661	IIR-M	24.03.09				Flight Tests
C	1	29	32384	IIR-M	20.12.07	02.01.08		84.5	
	3	19	28190	II-R	20.03.04	05.04.04		129.5	
	4	17	28874	IIR-M	26.09.05	13.11.05		110.2	
	5	27	39166	II-F	15.05.13	21.06.13		18.9	
D	1	2	28474	II-R	06.11.04	22.11.04		121.9	
	2	1	37753	II-F	16.07.11	14.10.11		39.1	
	3	21	27704	II-R	31.03.03	12.04.03		141.3	
	4	4	22877	II-A	26.10.93	22.11.93		254.0	
	5	11	25933	II-R	07.10.99	03.01.00		180.6	
	6	6	39741	II-F	17.05.14	10.06.14		7.2	
E	1	20	26360	II-R	11.05.00	01.06.00		175.6	
	2	22	28129	II-R	21.12.03	12.01.04		132.2	
	3	5	35752	IIR-M	17.08.09	27.08.09		64.7	
	4	18	26690	II-R	30.01.01	15.02.01		167.1	
	5	32	20959	II-A	26.11.90	10.12.90		289.4	
	6	10	23953	II-A	16.07.96	15.08.96		221.2	
	1	3	40294	II-F	29.10.14	12.12.14		1.2	
F	1	14	26605	II-R	10.11.00	10.12.00		169.3	
	2	15	32260	IIR-M	17.10.07	31.10.07		86.6	
	3	13	24876	II-R	23.07.97	31.01.98		203.6	
	4	23	28361	II-R	23.06.04	09.07.04		126.3	
	6	9	40105	II-F	02.08.14	17.09.14		4.0	

2.2.6.1.2 Kontrol bölümü

Uyduların kontrolü yer istasyonları tarafından gerçekleştirilir. Yer istasyonları uyduların sağlıklı çalışmasından ve uydu durumlarından sorumludur. Uydular izlenerek uyduların yörüngeinden çıkış gibi herhangi istenmeyen bir durumla karşılaşıldığında gerekli düzeltme sinyalleri göndерilerek istenilen durum sağlanmış olur. Uyduların donanımsal özellikleri kontrol birimi tarafından izlenerek gerekli tedbirler alınır. Ayrıca uydu konumları, saat bilgileri ve seyrüsefer mesajları gibi bilgiler güncellenir[25]. Kontrol bölümü yeryüzünde farklı yerlere yerleştirilmiş antenler vasıtasyyla GPS uyduları hakkında bilgi edinirler (Şekil 2-18).



Şekil 2-18: GPS uyduları kontrol birimlerinin konumları

2.2.6.1.3 Kullanıcı bölümü

Kullanıcı Bölümü GPS alıcılarının bulunduğu bölümdür. GPS sisteminin sunduğu imkânlar doğrultusunda kullanıcılar farklı amaçlar için sistemi kullanabilmektedir. Kullanıcıların sahip olması gereken tek şey GPS alıcılarıdır. Kullanım amacına göre, tek frekanslı veya çift frekanslı, kanal sayısı ve sinyal izleme mimarisi, anten tipi yazılım özellikleri gibi farklı özelliklerde alıcılar mevcuttur. GPS alıcısı, uydulardan gönderilen kodlanmış sinyalleri alıp uygun formata çevirerek kullanıcıya sunmaktadır.

GPS alıcıları kullanıcılarla NMEA(National Marine Electronics Association) formatında farklı bilgiler içeren cümleler sunmaktadır. NMEA formatındaki cümleler; uydı kimlikleri, o anda bağlantı kurulan uydu sayısı, UTC saat ve tarih bilgileri, enlem, boylam ve yükseklik olarak konum bilgisi, alıcının konumlandırıldığı platformun hız bilgisi ve yönü gibi bilgileri içermektedir.

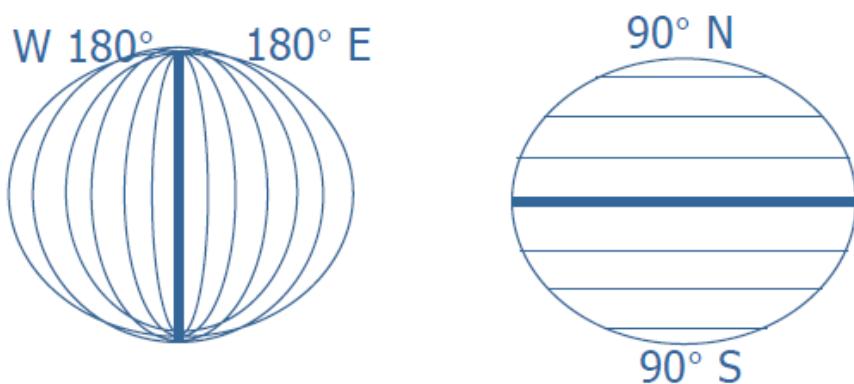
2.2.6.2 Koordinat sistemi

Koordinat sistemi, arazi veya harita üzerindeki bir noktanın kabul edilen bir başlangıç sistemine göre yerini bulmak için haritalara çizilen çizgilerle gösterilen sistemdir. [31] Koordinatlar, bir noktanın belirli bir referans sisteminde konumunu tanımlayan doğrusal ve açısal büyüklüklerdir.

Koordinat sistemlerinin bir kısmı temel prensip ile aşağıda açıklanmıştır.

2.2.6.2.1 Coğrafi koordinat sistemi:

Yeryüzü üzerindeki bir noktanın konumunun referans noktasına göre enlem ve boylam büyülükleri ile tanımlandığı sistemdir. Dünyanın yüzeyi 180 adet paralel ve 360 adet meridyen dairesi ile parçalara bölünmüştür. Şekil 2-19 da oluşturulan enlem ve boylam çizgileri görülmektedir.

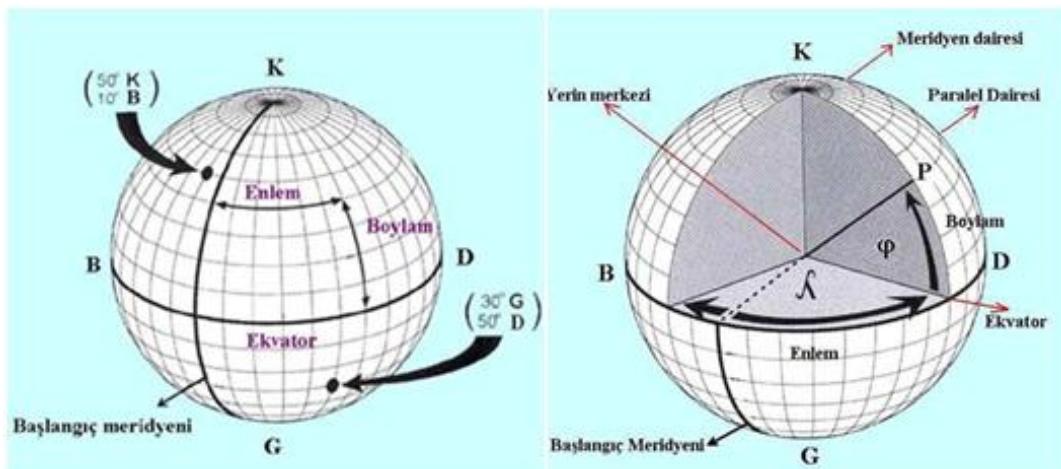


Şekil 2-19: Enlem ve Boylam çizgilerinin dünya üzerindeki konumları

Londra Greenwich Gözlemevi başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Başlangıç meridyeninin doğusundakiler doğu meridyenleri, batısındakiler batı meridyenleridir. Ekvatorun kuzeyindeki paraleller kuzey paralelleri, güneyindekiler güney paralelleri olarak tanımlanmıştır(Şekil 2-18Şekil 2-19).

Enlem ve Boylam Daireleri: Dünyayı kuzey ve güney yarımküre diye ikiye ayıran ekvatora paralel dairelere paralel ya da enlem daireleri denir. Ekvatorun kuzeyindeki paraleller kuzey paraleli, güneyindeki paraleller ise güney paraleli olarak ifade edilir. Paralel daireleri kuzey ve güneyde 1° aralıklı 90'ar tane olmak üzere toplam 180 tanedir. Ekvatora dik ve kutuplarda birleşen daireler meridyen ya da boylam daireleri olarak ifade edilmektedir. Boyamlar başlangıç meridyeninden itibaren doğu yönünde ve batı yönünde artarlar. Londra'da Greenwich'teki gözlem evinden geçen meridyen, başlangıç meridyenidir. Başlangıç meridyeninin doğusundaki meridyenler doğu, batısındaki meridyenler ise batı meridyeni olarak adlandırılır. Meridyenler 1° aralıklı 180 doğu ve 180 batı meridyeni olmak üzere toplam 360 tanedir.

Bir noktadan geçen enlem dairesinin ekvatora olan uzaklığına, diğer bir deyişle bir noktanın ekvatora olan uzaklığını yerin merkezinden gören açıya o noktanın enlemi denir. Bir noktadan geçen meridyen dairesi ile başlangıç meridyeni arasındaki açıya, diğer bir deyişle bir noktanın meridyeni ile başlangıç meridyeni arasındaki uzaklığa yerin merkezinden gören açıya o noktanın boylamı denir.[31]

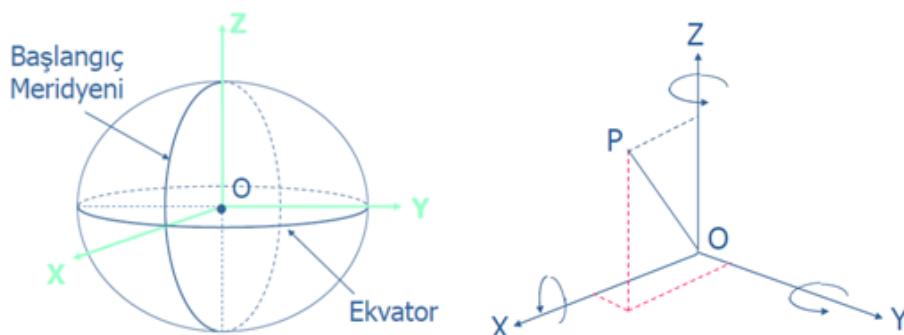


Şekil 2-20: Enlem ve Boylam gösterimleri

Bir noktadan geçen paralel dairesinin ekvatora olan açısal uzaklığına boylam, bir noktadan geçen meridyenin başlangıç meridyeni düzlemi ile arasındaki açıya enlem denir.

2.2.6.2.2 Kartezyen koordinat sistemi:

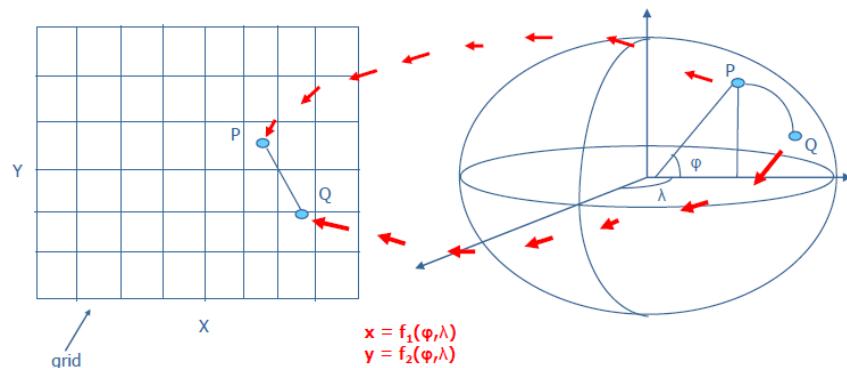
Uzayda yer alan noktaların tanımlandığı karşılıklı birbirine dik 3 referans düzlemi tarafından tanımlanan ve bir koordinat sistemidir[32]. Şekil 2-21 de koordinat dönüşümü görülmektedir.



Şekil 2-21: Üç boyutlu kartezyen koordinatlar (X,Y,Z)

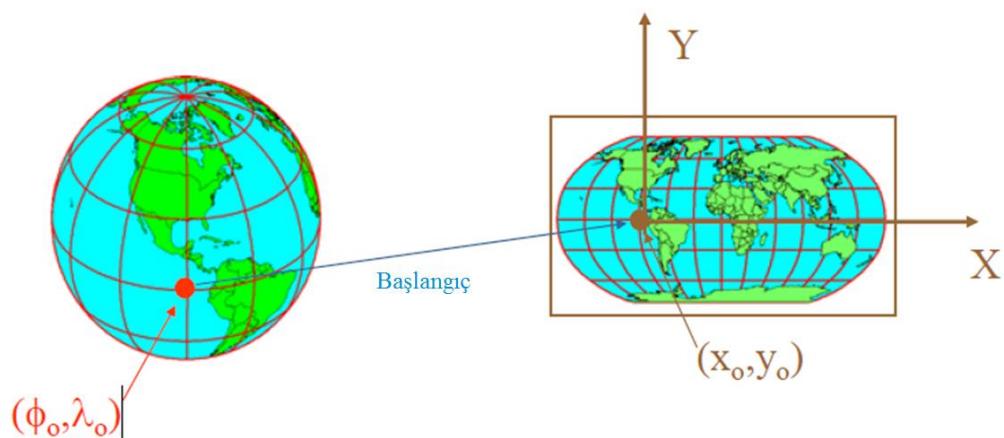
2.2.6.2.3 Projeksiyon koordinat sistemi:

Projeksiyon, fiziksel yeryüzünün geometrik bir yüzey üzerine izdüşümünü ifade eden sistemdir. Yerkürenin tamamı veya bir bölümü harita üzerine aktarılırken projeksiyon sistemleri kullanılır[32]. Şekil 2-22 de koordinat dönüşümü görülmektedir.



Şekil 2-22: Projeksiyon koordinat sisteminde bir noktanın gösterilmesi

Projeksiyon Koordinat Sistemi, Coğrafi Koordinat Sisteminin bir projeksiyon metodu ve ona ait parametreler kullanılarak yapılan transformasyonunun sonucudur. Projeksiyon Koordinat Sistemi, 2 boyutlu düzlem yüzeydir.



Şekil 2-23: Projeksiyon koordinat sisteminin aktarılması

Projeksiyon yöntemi küresel görünümün düz zemin üzerindeki yansımasıdır. Dünyanın elipsoit şeklinde düz zemin üzerine yansması ile oluşturulan harita üzerinde şekil farklılıklarından dolayı kaymalar yaşanabilmektedir[33].

Koordinatların kullanım yerleri:

Yeryüzünde bir noktanın ya da bir bölgenin yerinin tarifinde,

Harita üzerinde bir noktanın yerini belirtmekte,

Koordinatları hesaplanmış noktaları haritaya geçirmekte,

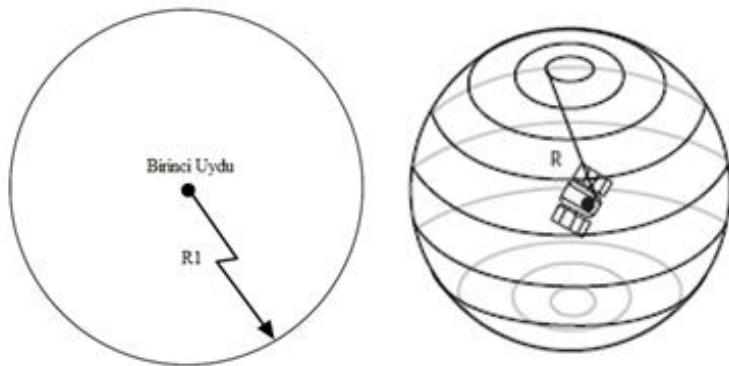
Koordinatları belli noktalar arasındaki kenar uzunluğu ve bu kenarın kuzeyden olan açıklığını hesaplamakta,

İki nokta arasındaki yerel saat farkının hesaplanmasıında, kullanılır.[31]

2.2.6.3 Konum belirleme prensibi

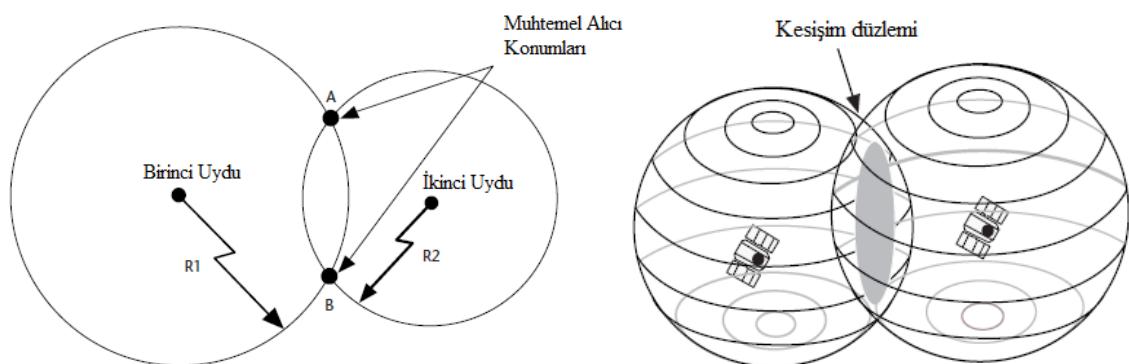
GNSS sistemlerinde alıcı konumu; GPS uyduları ile alıcı arasındaki mesafe dikkate alınarak hesaplanır. Uydu ile alıcı arası mesafe ise GPS uydularından gönderilen sinyallerin alıcılara ulaşması sırasında geçen süre baz alınarak hesaplanır. Uydulardan gönderilen sinyaller alıcıya gecikmeli olarak gelmektedir. GPS alıcısı yerini belirlemek için, öncelikle uyduların kesin yerini bilmelidir ve onlara ne kadar uzaklıkta olduğunu bulmalıdır. GPS' in uyduların yerini nasıl öğrendiğini inceleyecek olursak; Alıcı uydudan iki çeşit bilgi alır. Bunlardan birisi, uyduların konumlarını bildiren "almanac data" almanak bilgisidir. Almanak bilgisi sürekli olarak yollanır ve GPS' in hafızasında saklanır. Bu sayede GPS her uyduyun yörünnesini bilir ve olması gereken konumu hesaplar. Uydular konum değiştiğinde almanak bilgisi yenilenir.

Gönderilen sinyalin süresi alıcı tarafından hesaplanır hesaplanan süre sinyal hızı olarak kabul edilen hız ile çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe hesaplanır ($\text{Geliş Süresi} \times \text{Hız} = \text{Mesafe}$). Şekil 2-24'de tek uydudan sinyal alındığı durumda muhtemel konumu iki boyutlu olarak gösterilmektedir. Uydu ile alıcı arasındaki mesafe R_1 olarak hesaplandığında alıcı konumu uydudan R_1 uzaklıkta herhangi bir yerde olabilir. Bu durum konumun uydu etrafında R_1 yarıçaplı çember üzerinde olduğunu gösterir. Tek uydu ile bağlantı kurulduğunda konum hesabı yapılamamaktadır. Her uydu aynı zamanda zaman bilgisini de gönderdiğinde alıcı modülü zaman bilgisini edinmiş olmaktadır.



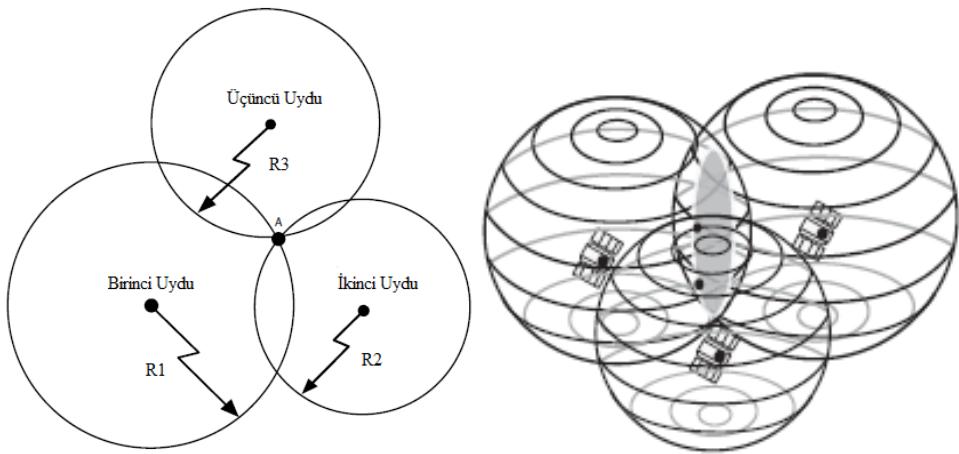
Şekil 2-24: Tek uydu sinyali ile konum belirleme

Şekil 2-25 'da alıcının iki uydu ile bağlantı kurması durumunda muhtemel konumu görülmektedir. Birinci uydu durumu yukarıda anlatıldığı gibidir. Sisteme R2 uzaklığındaki ikinci uydu eklendiğinde iki uydu için olacak çemberler iki noktada kesişirler. Alıcı konumu şekilde belirtilen A ve B noktalarından birindedir. Şekilden de görüldüğü gibi iki uyudan alınan bilgiler konum tespiti için yeterli değildir.



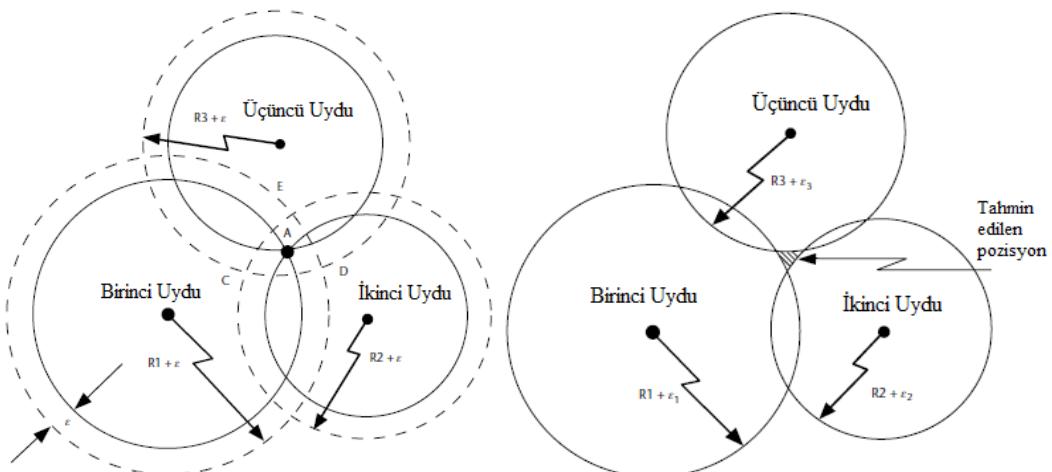
Şekil 2-25: İki uydu sinyali ile konum belirleme.

Şekil 2-26 da GPS alıcısının üç uydu ile bağlantı kurması durumu gösterilmektedir. İki uydu ile haberleşme durumunda GPS alıcısı iki farklı noktada olabilmektedir, üçüncü uydu ile bağlantı kurularak bu durum tek noktaya indirgenir. Alıcı üç uydu ile haberleşerek uyuduların alıcı antenine olan uzaklıklarını hesaplanır ve şekildeki gibi sistem oluşturularak konum belirlenir.



Şekil 2-26: Üç uydu sinyali ile konum belirleme.

GPS alıcısının üç uydu ile haberleşmesi tam olarak konum belirleyebileceğinin anlamına gelmez. Uydudan gönderilen bilgi sinyalleri farklı nedenlerle olması gerekenden daha uzun sürede alıcıya ulaşabilmektedir. Bu durumda üç uyduyunun mesafesi farklı hesaplanacak ve dolayısıyla alıcı konumunda hatalı hesaplamlar gerçekleşecektir. Bu durum Şekil 2-27 de gösterilmiştir. Uyduların gönderdiği sinyaller uyduların uzaydaki konumlarını da içermektedir, dolayısıyla hatalı hesaplanan uydu mesafeleri sonucu oluşan sistemde üç çemberin kesim noktası meydana gelemez. GPS alıcısı bu hatayı gidermek için Şekil 2-27 de gösterildiği gibi arada kalan alan içerisinde konum tahmini gerçekleştirir. Saat hatalarının etkisini azaltmak için daha fazla uydu ile haberleşme sağlanması gerekmektedir. Uydu sayısı arttıkça belirlenen konumun doğruluğu artacaktır.

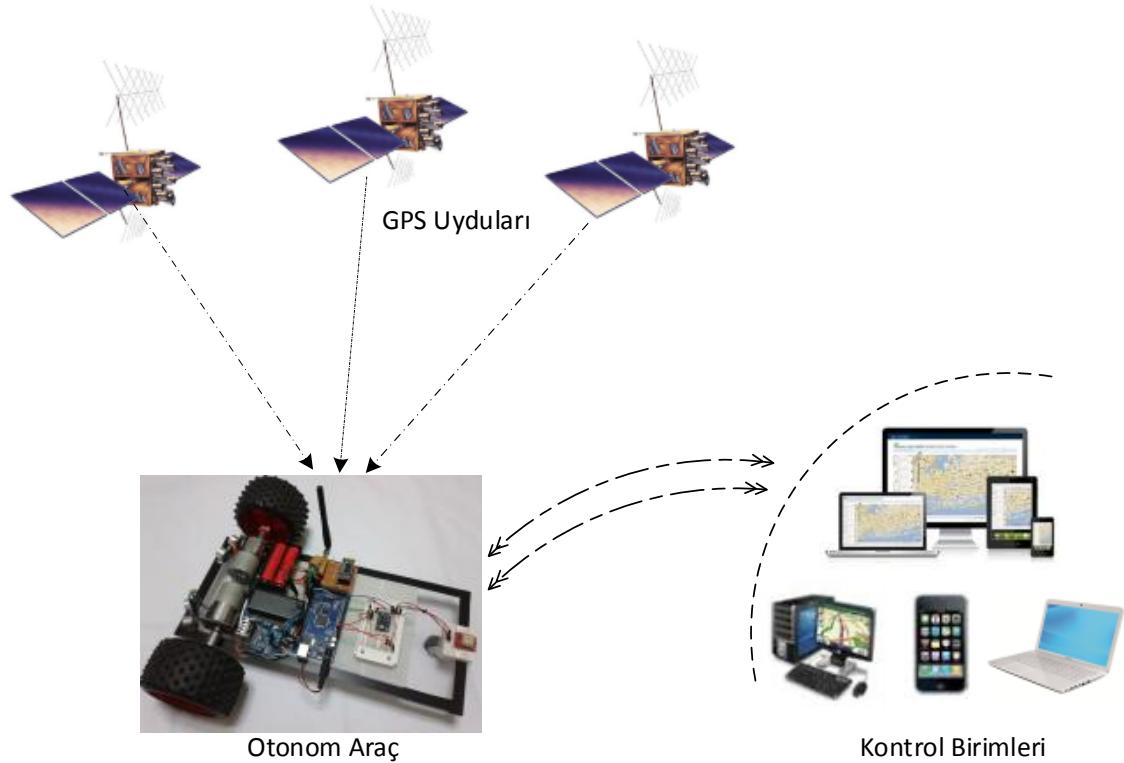


Şekil 2-27: GPS konum belirlemede saat hatası.

Konum belirleme sistemi iki boyutlu olarak anlatılmıştır, bu şekilde enlem ve boylam koordinatları hesaplanabilir üç boyutlu düşünüldüğünde yükseklik verisinin de hesaplanabilmesi için en az dört uydu ile bağlantı kurulmalıdır. Konum belirleme sisteminde uydu sayısının artışı konum hesabında hata oranını azaltmaktadır.

3. GNSS DESTEKLİ PROTOTİP OTONOM ARAÇ TASARIM SÜRECİ

GNSS destekli prototip otonom araç tasarımında, araç konumunu belirleme, hedef için baş açısını hesaplama, engel algılama, kontrol birimleri ile haberleşmeyi sağlama gibi farklı amaçlar için çeşitli donanımlar belirlenmiş ve sisteme dahil edilmiştir. Tasarım araç üzeri donanımlar ve kontrol birimleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.



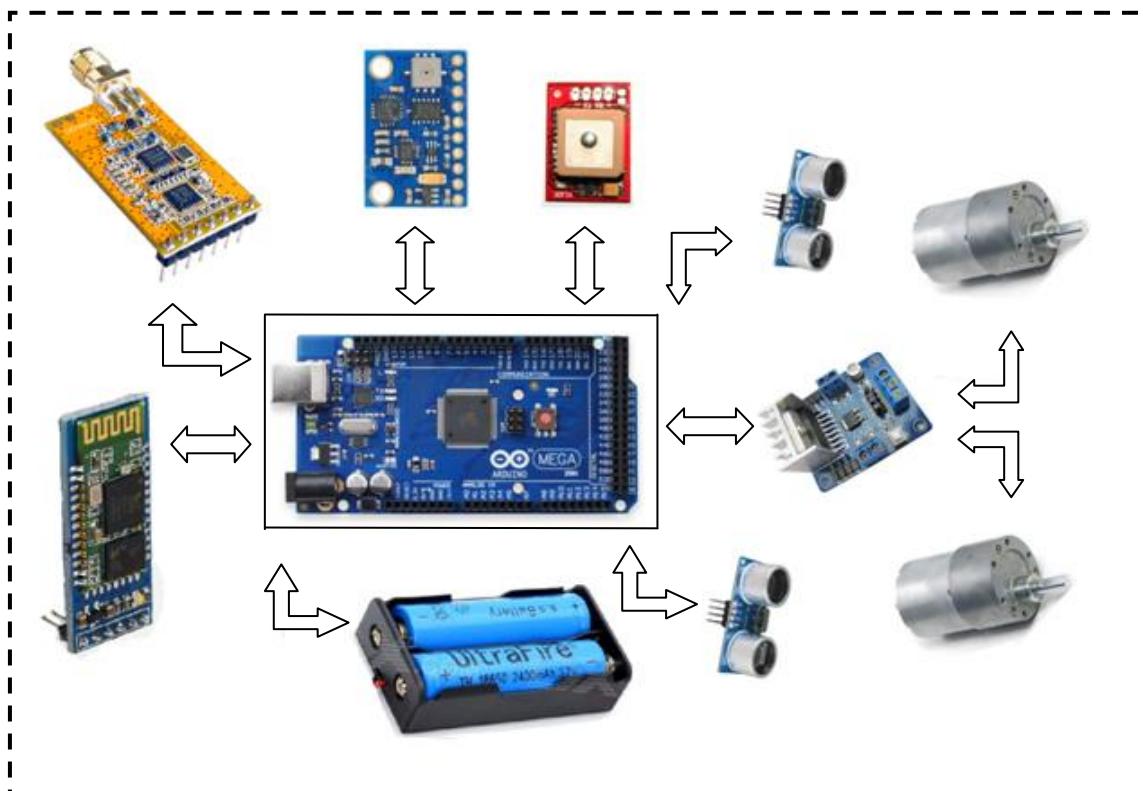
Şekil 3-1: GNSS destekli otonom araç sistemi

Şekil 3-1'de GNSS destekli otonom araç sistemi görülmektedir. Araç GPS uyduları yardımı ile dünya üzerinde bulunduğu konumu belirlemekte ve RF modül yardımı ile kontrol birimlerinden aldığı hedef koordinatları doğrultusunda üzerinde bulundurduğu akselerometre, jiroskop, manyetik algılayıcı gibi yardımcı donanımlar ile hedefe yönelmektedir. Bu başlık altında GNSS destekli prototip otonom araç tasarımı için belirlenmiş donanımlar ve bu donanımların kullanım biçimleri anlatılmıştır.

3.1 Otonom Araç Tasarımında Kullanılan Araç İçi Donanımlar

Otonom araç tasarımında kullanılan donanımlar bu başlık altında tanımlanmıştır. Şekil 3-2 'de araç üzerinde bulunan donanımlar gösterilmiştir.

Araç üzerinde motorlar, motor sürücü, batarya, mesafe algılayıcı olarak ultrasonik algılayıcılar, kablosuz haberleşme için RF modül ve Bluetooth modülü, baş açısı hesabı için jiroskop, ivmeölçer, elektronik kumpas, konum belirleme amacı ile GPS modülü ve bu malzemeleri kontrol edecek mikro denetleyici kullanılmıştır.



Şekil 3-2: Otonom araç içi donanımlar.

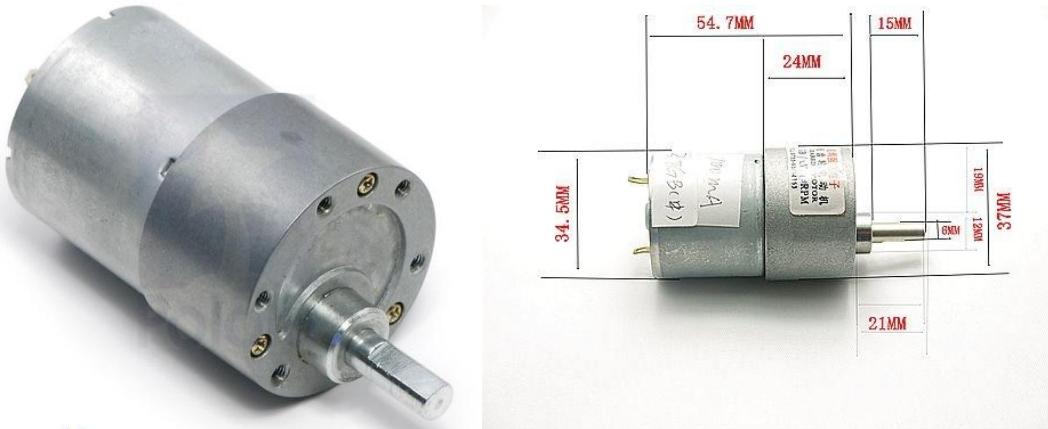
Şekil 3-3 ' de otom araç kontrol birimleri gösterilmiştir. Kontrol birimi olarak bilgisayar ve akıllı telefon tercih edilmiştir.



Şekil 3-3: Otonom araç kontrol birimleri.

3.1.1 Motor

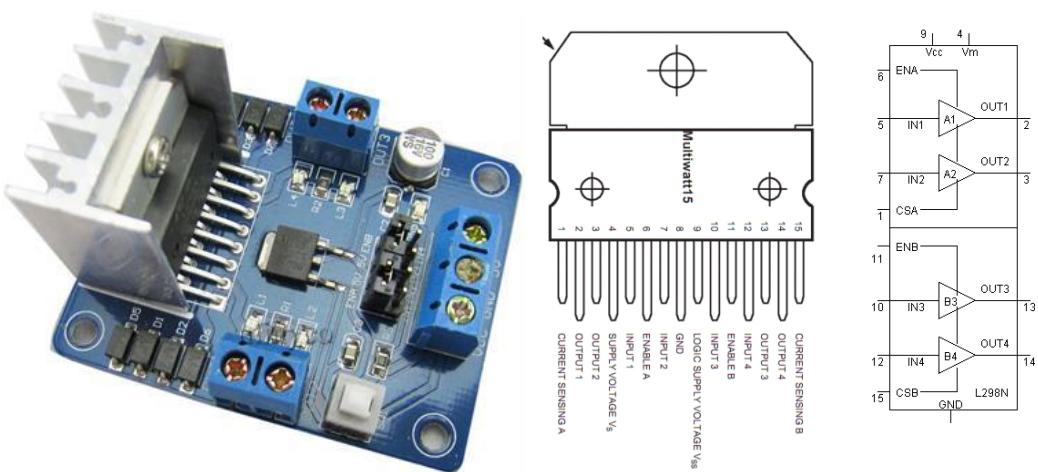
Araç üzerinde hareketi sağlamak amacıyla sağ ve sol tarafta olmak üzere iki adet eş özelliklere sahip Şekil 3-4'de gösterilen redüktörlü ve 100RPM hızında 6V ile çalışan motorlar tercih edilmiştir.



Şekil 3-4: DC Motor

3.1.2 Motor sürücü

Motorlar işlemci birimi tarafından kontrol edilmektedir. İşlemci birimi çıkışları motorları sürecek kadar yüksek akıma sahip değildir. Motorları sürmek için, işlemci birimi çıkışları yeterli olmayacağından motor sürücü devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için L298 sürücü entegresi seçilmiştir. Şekil 3-5' de L298 sürücü entegresi görülmektedir.



Şekil 3-5: Motor sürücü devresi

L298 dâhilinde A ve B olmak üzere 2 adet H köprüsü barındıran 2 Ampere kadar çıkış verebilen bir motor sürücü entegresidir. Besleme voltajı maksimum 46V tur, kontrol uçlarına uygulanacak gerilim ise 5V ~ 7V arasında olmalıdır. IN1, IN2, OUT1, OUT2, ENA, SENSA A köprüsü içini, IN3, IN4, OUT3, OUT4, ENB, SENS B köprüsü için tahsis edilmiştir. ENA ve ENB uçları ile motor sürücü hatlarının kontrolü yapılmaktadır. ENA ve ENB uçları ile A ve B köprüleri aktif edilerek bağlı bulunan motorlar kontrol edilebilmektedir. A köprüsü için IN1, IN2 ve B köprüsü için IN3, IN4 girişleri motorların yönlerini belirleyecek şekilde tahsis edilmiştir. Bu uçlara 5V uygulanarak motora yön verilebilmektedir, kontrol uçlarından yalnızca biri 5V a bağlanmalıdır, iki uca birden aynı anda 5V verilmemesi gereklidir, motorun yönü değiştirilmek istendiğinde girişlerin yer değiştirilmesi yeterli olmaktadır. Motorların hızları girişlere uygulanacak PWM sinyalleri ile ayarlanabilmektedir. SENSA ve SENS B uçları akım kontrolü için kullanılmaktadır.

Aracımız iki adet motor ile kontrol edileceğinden bir adet L298 motor sürücü entegresi uygun görüлerek araç üzerinde kullanılmıştır. 2 Amperden daha fazla akım çeken bir motor sürüleceкse A ve B köprüleri paralel bağlanarak akım köprüler arasında paylaştırılabilir, bu durumda yalnızca bir adet motor sürülebilmektedir.

3.1.3 Batarya

Araç için iki farklı kaynak kullanılmaktadır. Birinci kaynak motorların beslemesinde kullanılırken diğer kaynak ise işlemci birimi ve işlemci birimine bağlı çevre birimlerini beslemek amacıyla kullanılmaktadır. Kaynakların ayrılması sistemin sağlıklı çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 3-6: 3.7V değerinde Batarya

Araç üzerinde motor beslemesi amacı ile Şekil 3-6(a)'da gösterilen 18650 model 3.7V 5000mA bataryadan iki adet, motorlar dışında kalan algılayıcıları, çevre birimlerini ve kontrol birimini beslemek amacı ile Şekil 3-6(b)'de gösterilen 14500 model 3.7V 1600mA bataryadan iki adet kullanılmıştır.

3.1.4 Ultrasonik mesafe algılayıcı

Araç seyir halinde iken çevre şartlarını dikkate alarak muhtemel engelleri algılaması ve buna göre işlem yapabilmesi için engel algılayıcılarının kullanılması gereksinimi doğmaktadır. Aracımız prototip model olduğundan ultrasonik engel algılayıcılar gereksinimi karşılamaktadır.

Aracın engelleri algılama noktasında ultrasonik engel algılayıcılarından HC-SR04 modülü tercih edilmiştir. Modül 2cm ile 400cm arasında 3mm'lik doğrulukla ve 15 derecelik görüş açısıyla çalışabilmektedir.

Tablo 3-1: HC-SR04 Parametreleri

Çalışma Voltajı	DC 5V
Çalışma Akımı	15mA
Çalışma Frekansı	40kHz
Maksimum Ölçüm Mesafesi	4m
Minimum Ölçüm Mesafesi	2cm
Görüş Açısı	15°
Tetikleme Giriş Sinyali	10uS TTL pulse
Çıkış Sinyali	TTL Seviye

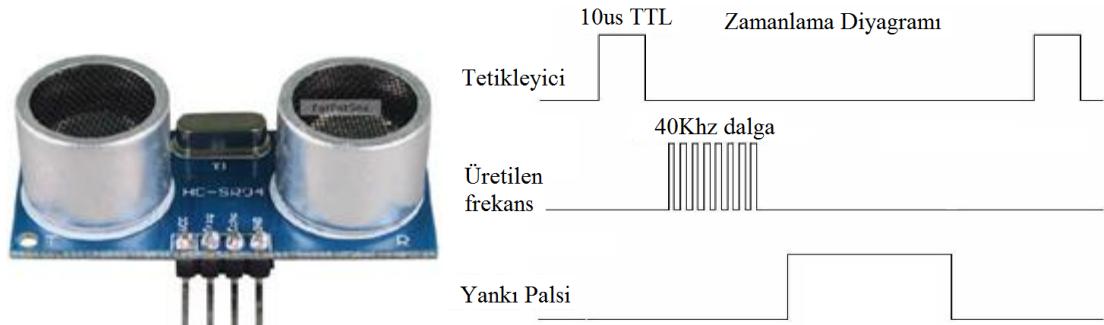
HC-SR04 Çalışma prensibi:

Algılayıcı; besleme (Power), tetikleyici (Trigger), yankı (Echo) ve toprak (Ground) olmak üzere dört uca sahiptir. Algılayıcı 5V ile çalışmaktadır, ölçüm işlemini başlatmak için tetikleyici ucuna en az 10us lojik 1 seviyesinde sinyal uygulanır, tetikleyici ucunda lojik 1 seviyesi algılandığında modül otomatik olarak sekiz adet 40kHz'lik sinyal gönderir ve yankı ucunu lojik 1 seviyesine getirir, bu durumda modül algılayıcı durumunda gönderilen sinyali bekler, yansıyan sinyal algılandığında yankı ucu lojik 0 seviyesine çekilir. Yukarıda anlatılan işlemler Şekil 3-7 de gösterilmiştir. Yankı ucunun lojik 1'de kalma süresi sinyalin gönderilmesi ve algılanması sırasında geçen süreyi belirlemeye kullanılır. Sinyal engelle çarparak geri yansıldığından mesafe hesabında algılanan sürenin yarısı dikkate alınmalıdır. Engelin cihaza olan uzaklışı 3.1 ve 3.2 denklemleri ile hesaplanmaktadır. Modülün sağlıklı çalışması için iki ölçüm arasında en az 60ms ara verilmelidir.

$$Mesafe = \frac{\Delta t * 340m/s}{2} \quad (3.1)$$

Δt = Sinyalin gidip gelmesi sırasında geçen süre

$$Mesafe(cm) = \frac{\Delta t_{us}}{58} \quad (3.2)$$



Şekil 3-7: HC-SR04 görünümü ve zamanlama diyagramı

3.1.5 Kablosuz haberleşme modülleri

Araç ile iletişimini sağlayacak iki farklı kablosuz haberleşme modülü kullanılmıştır. Bunlardan biri Windows işletim istemi kullanan kontrol cihazı ile iletişimini sağlarken diğerinin Android tabanlı kontrol cihazı ile iletişimini sağlamaktadır.

3.1.5.1 Kablosuz haberleşme modülü (RF Modül)

Aracımıza gitmesi gereken koordinatları göndermek ve aracın konum bilgilerini edinmek için araç ile haberleşmeyecek olan kablosuz haberleşme birimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Projede araç ile kontrol cihazı arasında haberleşmeyi sağlamak amacıyla DORJİ RF modüllerinden Şekil 3-8 'de gösterilmiş olan DRF4463D20 seçilmiştir.



Şekil 3-8: DRF4463D20 RF Modülü

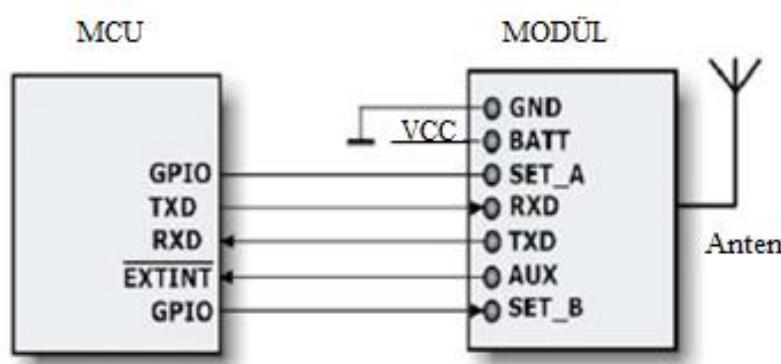
DRF4463D20 RF Modül özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- GFSK kablosuz modül
- 433Mhz ISM (Industrial Scientific Medical) bandı.
- 40Kbps RF veri oranı
- Çoklu kanal
- 20dBm Maksimum çıkış gücü
- -121dBm hassasiyet @ 1k bps
- Boştaki akımı <2.5 uA
- Besleme gerilimi @A1(2.1 ~ 3.6V)/ @A2(3.5 ~ 5.5V)/

Şekil 3-8 'de gösterilen modülün bağlantı hatları Tablo 3-2'de açıklanmıştır.

Tablo 3-2: DRF4463D20 bağlantı tablosu

Pin	İsim	Fonksiyon	Tanımlama
1	GND	Şase	Şase
2	VCC	Besleme	Besleme voltajı
3	SETA	Giriş	47Kohm pull-up yapılmış, parametre ayar hattı A
4	RxD	Giriş	47Kohm pull-up yapılmış TTL seviyeli UART girişi
5	TxD	Çıkış	TTL seviyeli UART çıkışı
6	AUX	Çıkış	Veri Giriş/Çıkış gösterge hattı
7	SETB	Giriş	10Mohm pull-up yapılmış, parametre ayar hattı B



Şekil 3-9: DRF4463D20 Bağlantı Şekli

Modül Şekil 3-9' de gösterildiği gibi sisteme dâhil edilmektedir. DRF4463D20 RF modülü haberleşme formatı sırasıyla, hazırlık (PREAMBLE), Senkronizasyon (SYNC WORD), Veri+FEC+CRC şeklindedir. DRF4463D20 RF modülü SETA ve SETB hatları ile ayarlanabilen dört farklı çalışma durumuna sahiptir. Çalışma durumları Tablo 3-3'de verilmiştir.

Tablo 3-3: DRF4463D20 Çalışma durum seçim tablosu

SETA	SETB	DURUM
0	0	Normal
0	1	Uyandırma
1	0	Güç
1	1	Uyku

1. Normal çalışma durumu: SETA=0 & SETB=0

Modül RXD hattından ilk baytı aldıktan sonra, AUX hattını alçak seviyeye çeker ve SETB hattının durumuna bakar. Veri paketinin son baytını aldıktan sonra kısa bir süre(2~3 bayt) bekler veri gelmezse AUX hattını yüksek seviyeye çeker ve CRC ve FEC ten sonra 40bit başlangıç, senkronizasyon ve verileri gönderir. Tüm veriler kablosuz olarak gönderildikten sonra SETA ve SETB hatlarına göre ilgili moda geçer. Kullanıcı 2~3 baylıklı gecikmeyi azaltmak için AUX hattını kontrol ederek modüle veri gönderebilir.

Bu çalışma durumunda gönderilen veri paketindeki başlangıç verisi çok uzun olmadığından alıcı Mod1 ya da Mod2 de (sürekli alıcı modu) çalışmalıdır.

Veri transferi bittikten sonra, modül bu çalışma durumunda sürekli alıcı durumda çalışır. Modül kablosuz kanalında veri hissederse kod çözümünden sonra veriyi kontrol eder, AUX hattını düşük seviyeye çeker UART biriminden veriyi gönderir. Veri gönderimi bittiğinde AUX hattını yüksek seviyeye alır.

2. Uyandırma çalışma durumu: SETA=0 & SETB=1

Mod1 ile Mod2'nin çalışma mantığı benzer şekildedir. MOD2 de FEC 'den sonra başlangıç (1 uyanma periyodu + ekstra 32bit), senkronizasyon ve verileri gönderir. Tüm

veriler kablosuz olarak gönderildikten sonra SETA ve SETB hatlarına göre ilgili çalışma durumuna geçer.

Bu çalışma durumunda gönderilen veri paketindeki başlangıç verisi yeterli uzunlukta olduğundan alıcı Mod1, Mod2 ya da Mod3'de çalışabilir. Veri transferi bittikten sonra, modül bu çalışma durumunda sürekli alıcı durumunda çalışır.

3. Güç tasarrufu çalışma durumu: SETA=1 & SETB = 0

Bu çalışma durumunda seri bağlantı noktası aktif değildir. Alıcı belirlenen aralıklarla uyanır ve kablosuz kanalında haberleşme için gönderilen başlangıç verisi olup olmadığına bakar. Eğer veri fark edilirse modül sürekli alıcı moda geçer ve tüm veriyi alır. Tüm veri alındıktan ve kontrol edildikten sonra AUX hattını düşük seviyeye çekerek bağlı olduğu cihazı uyandırır(MCU veya PC), 5ms gecikmeden sonra UART birimi aktif ederek veriyi cihaza gönderir. Veri transferi bittikten sonra UART birimi tekrar kapatılır ve AUX hattını yüksek seviyeye alınır. SETA ve SETB seviyelerine göre ilgili moda geçer. Mod3'de çalışan bir alıcı için Mod2 de çalışan bir verici kullanılmalıdır.

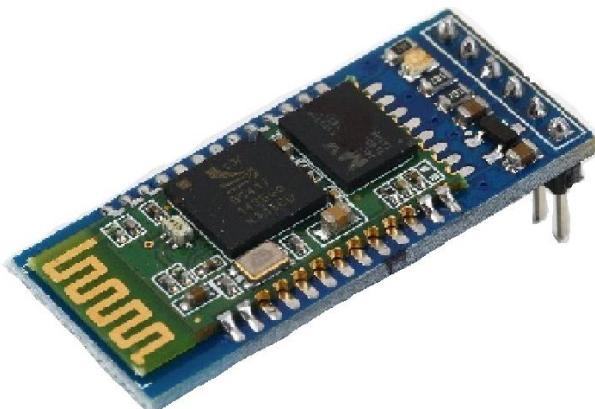
4. Uyku hali çalışma durumu: SETA=1 & SETB=1

Bu çalışma durumunda seri birim aktif değildir. İşlemci birimini uyandıracak ve bekçi köpeğini temizleyecek bekçi köpeği ve düşük frekans saati dışında RF devresi ve ilgili çevre birimleri kapalıdır. DRF4463D20 yazılım kontrollü olarak uyku moduna geçer. Uyku durumunda seri birim durumu uyku moduna girmeden önceki durumunu korur. Modülün uyanması için 20us ye ihtiyaç vardır. SETA hattı 20us den daha fazla düşük seviyeye çekilerek veri seri birime gönderilir. DRF4463D20 güç tasarruf yada uyku durumunda çalıştığı zaman, kullanıcı SETA hattını düşük seviyeye çekerek modülü uyandırır ve RXD hattına veriyi gönderebilir.

Özet olarak SETA hattı lojik bir olduğu sürece modül alıcı durumunda çalışır. SETA hattı lojik sıfır olduğunda SETB hattına göre gönderilecek başlangıç veri uzunluğu değişir.

3.1.5.2 Kablosuz haberleşme modülü (Bluetooth)

Araç ile kontrol birimlerinden biri olan Android tabanlı telefonun Bluetooth üzerinden haberleşmesi için Şekil 3-10'da gösterilen HC-05 Bluetooth modülü kullanılmıştır.



Şekil 3-10: HC-05 Bluetooth modülü

HC-05 Bluetooth modülü V2.0 + EDR(Enhanced Data Rate) özelliğine sahip 2.4Ghz bandında haberleşme sağlayan bir modüldür. Hizmet veren ya da hizmet alan olarak ayarlanabilmektedir.

Modül özellikleri

- Hassasiyeti -80dBm
- +4dBm 'e kadar RF veri transfer gücü
- Düşük güç 1,8V ~ 3,6V
- UART arayüz ayarlanabilir veri transfer hızı
- Dâhili anten
- Temel veri hızı:38400, 8 bit veri,1 stop biti.
- Desteklenen veri hızları: 9600,19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
- Varsayılan görünür modül ismi: HC-05 şifre:1234
- Son cihaza otomatik bağlanma özelliği
- Master ve slave olarak çalışabilmektedir

Modül AT komutları ile istenilen özelliklere ayarlanabilmektedir. Bir kaç AT komutu Tablo 3-4 'de tanımlanmıştır.

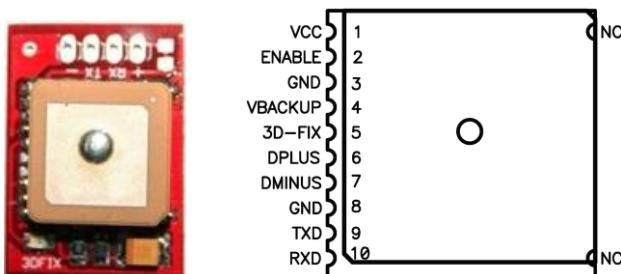
Tablo 3-4: Bluetooth AT komutları

Komut	Modülün Cevabı	Açıklama
AT	OK	Test komutu
AT+ORGL	OK	Varsayılan ayarlara döner
AT+NAME=ARAÇ	OK	Modülün ismini ARAÇ olarak değiştirir
AT+UART=<veri1>,	OK	Veri1: Veri hızı, Veri2: Durma biti,
AT+ROLE=<veri>	OK	Veri; 0: hizmet alan, 1: hizmet veren
AT+PSWD=<Şifre>	OK	Modülün bağlantı için şifresi tanımlanır
AT+<KOMUT>?	+KOMUT:<isim>	Modülün tanımlanan ayarları KOMUT kelimesinin istenilen komut ile değiştirilmesi

AT komutu ile ayarlanan değerleri sorgulamak için AT+"istenilen veri komutu"? şeklinde komut gönderilir. Desteklenen komutlar için modülün özelliklerine bakılabilir. Modül AT+NAME? komutuna karşılık tanımlanmış olan ismini gönderecektir.

3.1.6 GPS konum belirleme modülü

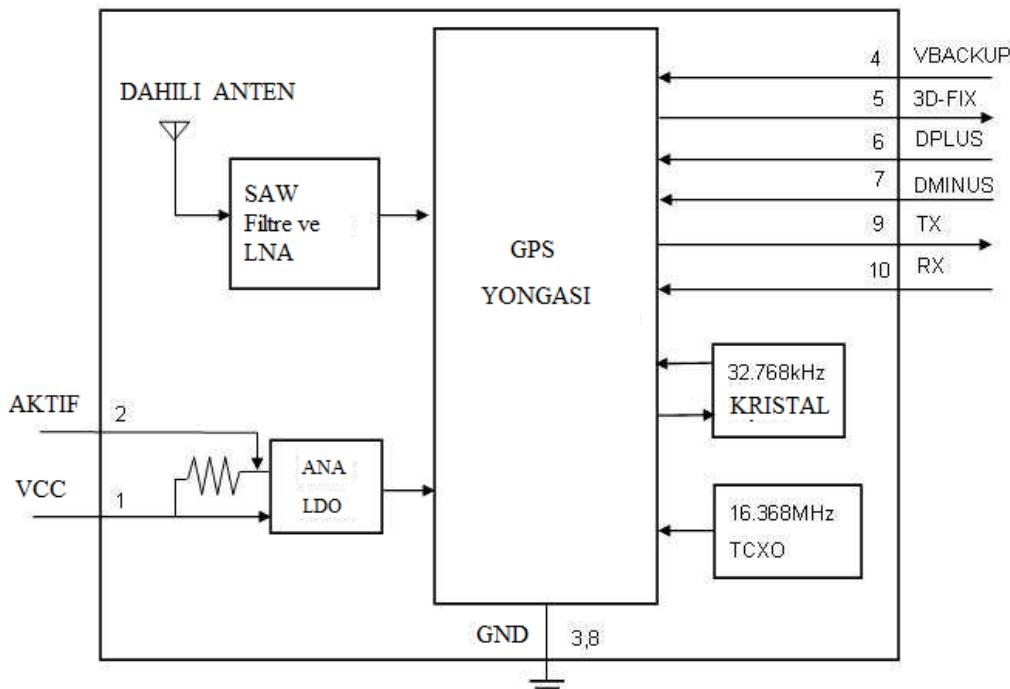
Aracın konum belirleme amacı için Şekil 3-11'da gösterilen GPS modülü kullanılmıştır.



Şekil 3-11: GPS Modülü

GPS Modülü Özellikleri

- Media Tek MT3329 yongası
- L1,(1575,42MHz) Frekansı, C/A (1,023MHz) kodu ve 66 kanal desteği
- 210 PRN kanal desteği
- Dâhili anten, -165dBm'e kadar yüksek hassasiyet
- Yardımsız 3m'ye kadar pozisyon hassasiyeti
- Düşük akım tüketimi bağlantıda 48mA takipte 37ma
- 10Hz e kadar veri hızı



Şekil 3-12: GPS sistem blok diyagramı

Modül 3,2V ile 5V arasında gerilimle çalışabilmektedir. Modül ayarlarının saklanması ve hızlı uydu bağlantısı için VBACKUP hattı bir pil ile desteklenmelidir. Bu şekilde GPS modülünün enerjisi kesilse bile GPS yongası beslenmiş olacaktır. Modül USB ve UART birimine sahiptir. Projede UART birimi kullanılmıştır. UART biriminin varsayılan değeri 9600bps, 8 veri, parite yok, 1 durma biti şeklindedir. UART birimi desteklenen hızlar 4800/ 9600/ 38400/ 57600/ 115200 şeklindedir.

Modül NMEA 0183v3.01 protokolünü kullanmaktadır ve MTK NMEA komutlarını desteklemektedir. GPS modülü NMEA cümlelerinden GLL, GSA, GSV, RMC, VTG ve GGA cümlelerini sağlamaktadır. Bu cümleler farklı bilgiler içermektedir.

Bu cümlelerden GLL, RMC ve GGA cümleleri ihtiyacımız olan konum bilgilerini içermektedir.

Örnek bir GGA cümlesi şu şekildedir.

\$GPGGA,064951.000,2307.1256,N,12016.4438,E,1,8,0.95,39.9,M,17.8,M,,*65

Tablo 3-5: GGA cümle formatı

İsim	Örnek	Birim	Tanım
Mesaj ID	\$GPGGA		GPGGA Protokol başlığı
UTC saat	064951.000		hhmmss.sss
Enlem	2307.1256		ddmm.mmmm
N/S göstergesi	N		N=Kuzey, S=Güney
Boylam	12016.4438		dddmm.mmmm
E/W göstergesi	E		E= Doğu, W=Batı
Pozisyon düzeltme	1		0=düzeltme yok, 1=GPS, 2=DGPS
Uydu sayısı	8		Görülen Uydu sayısı
HDOP	0.95		HDOP(Horizontal Dilution of Precision)
MSL yükseklik	39.9	Metre	Antenin deniz seviyesi yüksekliği
Birim	M	Metre	Anten yükseklik birimi
Geoidal ayırma	17.8	Metre	
Birim	M	Metre	Geoidal ayırma birimi
Farksal doğrulama		Saniye	DGPS kullanılmadığında boştur
Sağlama	*65		
<CR><LF>			Mesaj sonunu bildirir

GPS ayarları MTK komutları ile yapılmaktadır. GPS modülünün haberleşme hızı, vereceği cümleler, hangi cümlenin hangi sıklıkla gönderileceği, DGPS gibi yardımcı kaynakların kullanılıp kullanılmaması izni, açılısta Efemeris verilerinin kullanılıp kullanılmayacağı, GPS modülünün sürümünü sorgulama gibi birçok işlem MTK komutları ile gerçekleştirilebilmektedir.

MTK NMEA Paket formatı aşağıdaki gibidir.

Başlangıç	ID	Paket tipi	Veri alanı	*	Sağlama	CR	LF
-----------	----	------------	------------	---	---------	----	----

Tüm paket uzunluğu 255 baytta sınırlandırılmıştır.

Paket başlangıç adı verilen '\$' karakteri ile başlar, bir bayt uzunluğundadır. ID olarak tanımlanan kısım dört baylıklı "PMTK" karakterlerinden oluşur. Paket tipi "000" dan

"999" a kadar değer alabilen kısımdır, kod çözucusüne paketi nasıl çözeceğini bildirmek için kullanılır. Veri alanı komut bilgisini içerir, farklı uzunluklarda olabilmektedir. Sağlama kısmı verinin karşı tarafa doğru şekilde gönderildiğinden emin olmak için gönderilen iki baylıklı veridir. CR ve LF paketin sonunu bildirir.

\$PMTK000*32<CR><LF> örnek bir test paketidir. Gönderilen PMTK komutlarına GPS modülü karşılık olarak aldığıni belirten ilgili komuta uygun cevabı verir. \$PMTK001,604,3*32<CR><LF> komutu GPS in cevap olarak gönderebileceği bir örnek olarak gösterilebilir. '*' dan önceki karakter bayrak olarak gönderilir ve işlem durumunu gösterir. '0' geçersiz paketi, '1' desteklenmeyen paketi, '2' geçerli fakat hata olduğunu, '3' paketin geçerli olduğunu ve uygulamanın başarılı olduğunu bildiren karakterlerdir. MTK komutlarının tümü geçici olarak GPS tarafından saklanır ve uygulanır. GPS' in beslemesi kesildiğinde GPS fabrika ayarları ile çalışmaya hazır olacaktır. Ayarların kalıcı olarak değiştirilmesi için GPS yazılımı güncelleştirilebilir yada GPS' in VBACKUP hattı bir batarya ile desteklenebilir. PMTK örnek komutlarının bir kısmı aşağıdaki gibidir.

1. NMEA cümle komutu:

2. GPS sıcak haslama komutu:

\$PMTK101*32<CR><LF> Bu komut GPS alıcısının açılışta sahip olduğu verileri kullanabileceğini belirten komuttur, bu şekilde uydulara bağlantı süresi kısaltılabilir.

3. GPS soğuk baslatma komutu:

\$PMTK103*30<CR><LF> Bu komut GPS alıcısının açılışta saat, Almanak, Efemeris gibi hafızasında bulunan herhangi bir bilgisi kullanmaması gerektiğini belirtir.

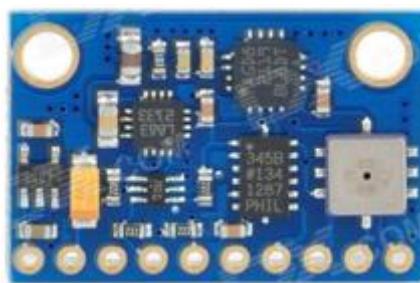
Bu komuttan sonra GPS alıcısı uyduların tahmini konumlarını bilmemişinden GPS alıcısının uydulara bağlantısı daha uzun sürecektir.

4. GPS UART haberleşme hızı belirleme komutu:

\$PMTK251,38400*27<CR><LF> GPS UART biriminin haberleşme hızının belirlendiği komuttur. Modül 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200 hızlarını destekler.

3.1.7 IMU algılayıcı bloğu

Şekil 3-13'de Üzerinde ivmeölçer, jiroskop, manyetik algılayıcı ve barometrik basınç algılayıcısının bulunduğu IMU kartı görülmektedir. Kart üzerindeki gereksinim duyulan ivmeölçer, jiroskop ve manyetik algılayıcılar kullanılmaktadır.



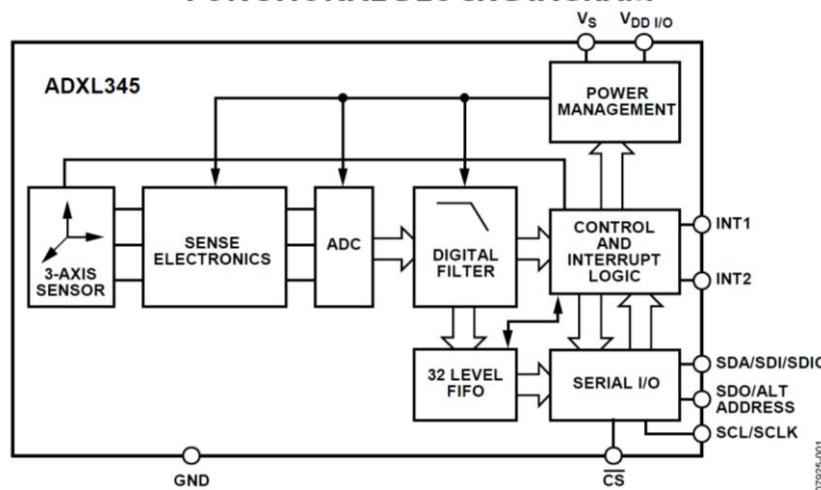
Şekil 3-13: IMU Kartı

IMU kartı kullanılarak algılayıcılardan alınan bilgiler yardımcı ile aracın baş açısı hesaplanmıştır.

3.1.7.1 İvmeölçer (ADXL345)

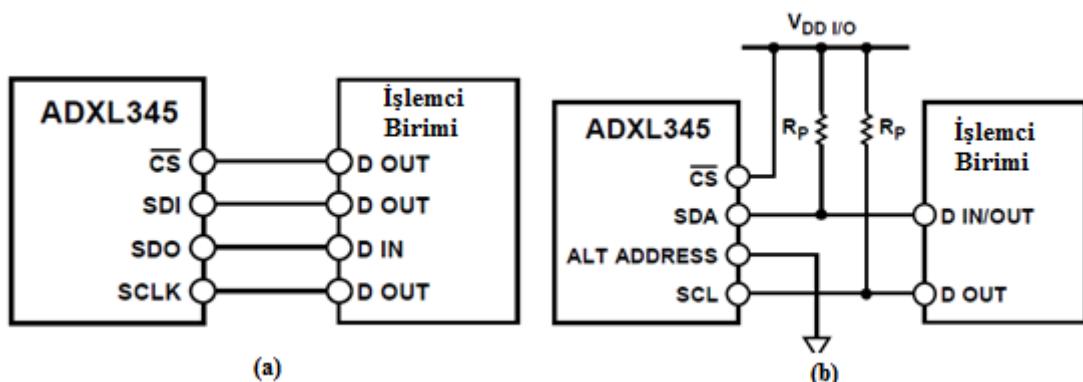
Araç üzerinde baş açısı bilgisi için yardımcı algılayıcı olarak Analog Device üretimi olan ADXL345 dijital ivmeölçer kullanılmıştır. Algılayıcı 13 bit çözünürlük ile $\pm 16g$ ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Bu durumda 3,9/LSB gibi bir oranla 1° 'den daha düşük ölçümler yapılabilmektedir. Bilgisayarlarda kullanılan fareler gibi tek tıklama ve çift tıklama durumunu algılayabilmektedir, bu tıklama tabirinde buton bulunmamakta algılama algılayıcının bulunduğu platformun ivmelenmesi ile gerçekleşmektedir. Serbest düşme hissetme özelliğine sahiptir. 2V ile 3,6V arasında gerilim ile beslenmektedir. SPI ve I²C haberleşme birimlerine sahiptir.

Şekil 3-14 de görüldüğü gibi dâhilinde üç adet ivme algılayıcı, ADC, dijital filtre, her algılayıcı için 32 birimlik hafiza alanı, seri haberleşme birimlerine sahiptir. Haberleşme birimleri ile işlemci birimi arasındaki bağlantı Şekil 3-15'de görülmektedir.[34]



Şekil 3-14: ADXL345(İvmeölçer) Blok diyagramı

Algılayıcı ± 2 , ± 4 , ± 8 , $\pm 16g$ olarak dört farklı aralıkta ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm aralıklarına göre farklı çözünürlüklerde çalışmaktadır. Ölçüm aralığı çalıştırılacak ortamın maksimum ivmelenme durumuna göre seçilmelidir.



Şekil 3-15: ADXL345 ile İşlemci biriminin SPI (a) ve I²C (b) ile bağlantısı

Algılayıcı üreticisi I²C adresi olarak 7bit 0x1D adresini tanımlamıştır. Bu adrese eklenecek okuma ve yazma durumunu belirten bit ile okuma adresi 0x3B, yazma adresi 0x3A olacaktır. Algılayıcı I²C haberleşmesi için alternatif bir adreste sunmaktadır. Bu adres 0x53 olarak tanımlanmıştır iletişim için bu adres kullanıldığından okuma adresi 0xA7 yazma adresi ise 0xA6 olmaktadır.

EK-2'de ADXL345 ivmeölçerin adresleri gösterilmiştir, haberleşme ve ayarlamalar tabloda gösterilen ilgili adresler ile gerçekleştirilmektedir.

Tabloda gösterilen adreslerin tümüne erişim var fakat tümüne yazma izni verilmemiştir. Örnek olarak 0x32 ile 0x37 arasındaki adreslerde X, Y, Z eksenlerinin verileri bulunmaktadır ve 8bit olarak verilmektedir X(MSB)=0x33, X(LSB)=0x32 gibi.

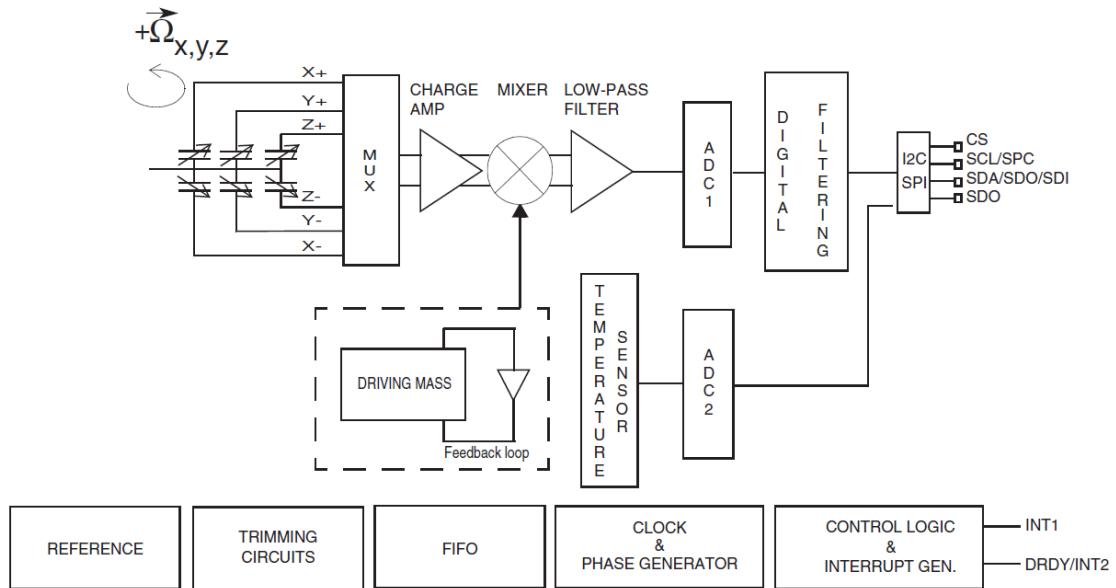
3.1.7.2 Jiroskop (L3GD4200D)

Projemizde L3G4200D üç eksen 16bit dijital çıkış verebilen modül tercih edilmiştir. Modül I²C ve SPI arayüze sahip, I²C ile 400kHz SPI ile 10MHz'e kadar haberleşme hızlarına ulaşılabilmektektir. Kullanıcının seçebileceği ±250/±500/±2000dps olmak üzere üç farklı ölçme aralığı mevcuttur. 8 bitlik dâhili sıcaklık algılayıcı ile ortam sıcaklığı algılanabilmekte ve sıcaklık değişiminden oluşabilecek hatalar giderilebilmektedir. Farklı amaçlarla kullanılabilecek kesmeler barındırmaktadır, bu kesme durumları ile istenilen durum gerçekleştirildiğinde çevre birimlerini uyaracak sistemler kurulabilmektedir. L3G4200D modülü her eksen için 32 birimlik FIFO prensibi ile çalışan saklama birimine sahiptir, farklı çalışma modları ile FIFO kullanılmayarak veri direk çıkışa yönlendirilebilir. Bu özellikler Şekil 3-16' de algılayıcı blok diyagramında görülmektedir. Modül Güç tasarruf modu, uykı modu ve normal mod olmak üzere üç farklı modda çalışabilmektedir.

Güç tasarruf modu: Modül güç tasarruf modunda çalıştırıldığı zaman çevre birimleri ile haberleşmeyi sağlayacak olan I²C ve SPI çıkışları dışında tüm dahili bloklar güç tasarrufu için kapalı konumdadır.

Uykı modu: Modül uykı modunda çalıştırıldığımda modül hareketi hisseder yalnız alınan verileri çıkışlara iletmez, modul normal moda geçerek veriler ilettilir.

Normal mod: Normal modda çalıştırılan algılayıcı ayarlanan veri hızı ile hissedilen açı bilgilerini çıkışa gönderir.



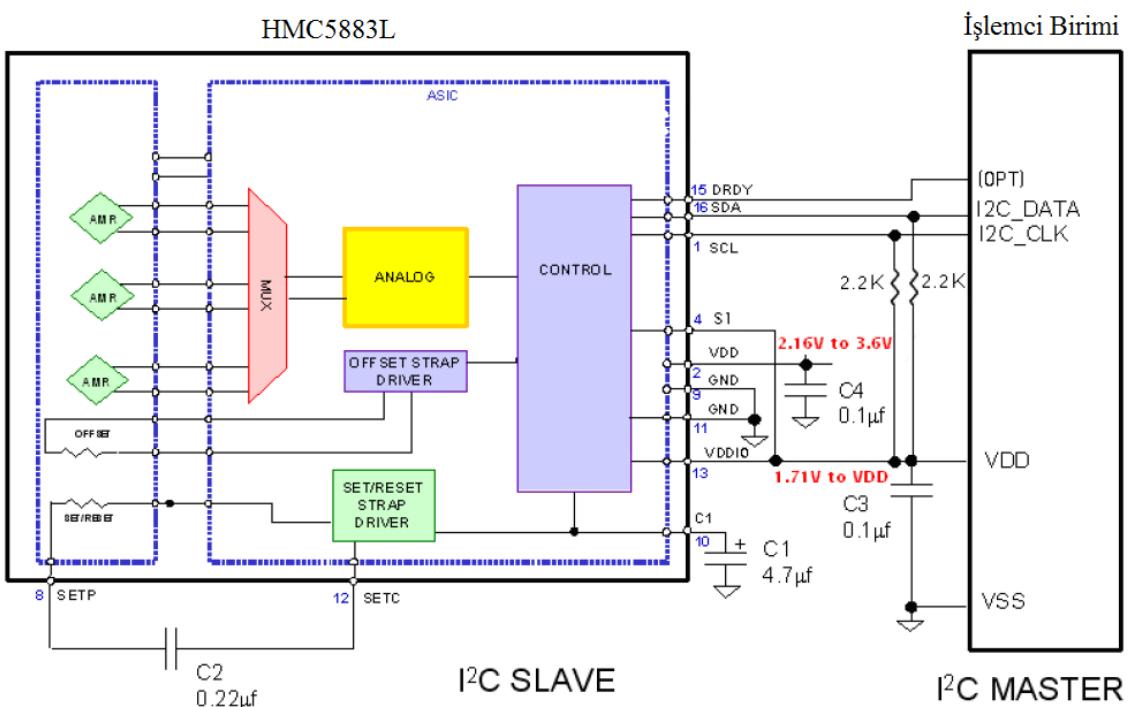
Şekil 3-16: L3G4200D(Jiroskop) blok diyagramı

Algılayıcı üreticisi I2C adresi olarak 7bit 0x69 adresini tanımlamıştır. Bu adrese eklenecek okuma ve yazma durumunu belirten bit ile okuma adresi 0xD1, yazma adresi 0xD0 olacaktır. Algılayıcı I2C haberleşmesi için alternatif bir adreste sunmaktadır. Bu adres 0x68 olarak tanımlanmıştır iletişim için bu adres kullanıldığında okuma adresi 0xD3 yazma adresi ise 0xD4 olmaktadır.

EK-3'de L3G4200D adresleri gösterilmiştir, haberleşme ve ayarlamalar tabloda gösterilen ilgili adresler ile gerçekleştirilmektedir.

3.1.7.3 Manyetik algılayıcı (HMC5883L)

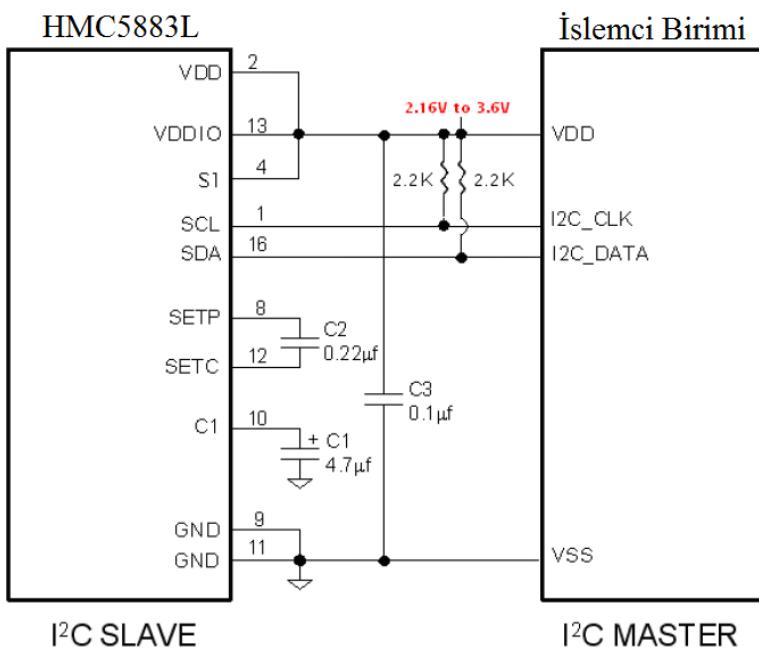
Aracın baş açısını hesaplayabilmek için Honeywell firmasının üç eksende ölçüm yapabilen HMC5883L manyetik algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcı blok diyagramı Şekil 3-17' da gösterilmiştir.



Şekil 3-17: HMC5883L(Manyetik Algılayıcı) Blok diyagramı

Manyetik algılayıcı magneto-resistive malzemelerden yapılmış üç eksen algılayıcı bloğuna sahiptir. 12bit ADC ile ± 8 gauss ölçüm aralığında 2 mili gauss $1^\circ\text{-}2^\circ$ çözünürlüğe sahiptir. 2,6V ile 3,6V arası besleme gerilimi ile çalışabilmektedir. 160Hz maksimum veri çıkış hızına sahiptir. I²C protokolü ile haberleşmektedir.

Şekil 3-18' de HMC5883L ile işlemci biriminin I²C ile bağlantı şekli verilmiştir. Algılayıcı ile iletişim SCL ve SDA hatları üzerinden I²C ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3-18: HMC5883L İşlemci birimi bağlantısı

Algılayıcı ile haberleşmek için belirtilen I²C adresi 7 bit şeklinde 0x1E olarak tanımlanmıştır, adrese eklenecek okuma/yazma komutunu belirten 1 bit ile adres 8 bit olmaktadır. Okuma için 0x3D, yazma için 0x3C adresleri kullanılır. Algılayıcı adresleri Tablo 3-6' de verilmiştir, ilgili adreslerden veriler alınarak işlem yapılabilir.

Tablo 3-6: HMC5883L Adresleri

Adres	İsim	Ulaşım
00	Ayarlar kaydedicisi A	Okuma/Yazma
01	Ayarlar kaydedicisi B	Okuma/Yazma
02	Mod kaydedicisi	Okuma/Yazma
03	X ekseni (MSB) Çıkış	Okuma
04	X ekseni (LSB) Çıkış	Okuma
05	Z ekseni (MSB) Çıkış	Okuma
06	Z ekseni (LSB) Çıkış	Okuma
07	Y ekseni (MSB) Çıkış	Okuma
08	Y ekseni (LSB) Çıkış	Okuma
09	Durum Kaydedicisi	Okuma
10	Kimlik kaydedicisi A	Okuma
11	Kimlik kaydedicisi B	Okuma
12	Kimlik kaydedicisi C	Okuma

3.1.8 İşlemci birimi

Yukarıda tanımlanan tüm donanım malzemelerinin kontrolünü yapacak ve çevre birimlerinden aldığı bilgilere göre ilgili görevleri yerine getirecek işlemci birimi olarak Şekil 3-19 'de görülen Atmel ürünlerinden ATmega2560 mikro denetleyicisini barındıran board kullanılmıştır.



Şekil 3-19: İşlemci birimi

ATmega2560 mikrodenetleyici genel özellikleri olarak 256KB program belleği, 4Kb EEPROM, 8KB RAM, 86 Genel amaçlı giriş çıkış hattı, 12 adet 16bit PWM, 4 USART, 16 ADC kanalı, 2 adet 8 bit sayıcı/karşılaştırıcı, 4 adet 16 bit sayıcı/karşılaştırıcı ve gerçek zamanlı sayıcıya sahiptir.

ATmega2560 kullanılarak tasarlanan board donanımsal olarak 15'i PWM olarak kullanılabilen 54 dijital giriş/çıkış, 16 analog giriş, 4 USART, 1 SPI ve 1 I²C birimine sahiptir. 16Mhz frekansında çalışabilmektedir.

Üzerinde bulundurduğu programlama birimi ve USB kanalı ile kolay programlamaya imkân tanımaktadır. Board 5V ile beslenmekte ayrıca 6 ile 20V arasında giriş gerilimine izin veren regülatöre sahiptir. Çevre birimleri için her giriş çıkış hattı 40mA çıkış sağlayabilmektedir, board üzerinde çevre birimleri için 50mA sağlayabilen 3,3V besleme noktası bulunmaktadır.

3.2 Otonom Araç Tasarım Bölümü

3.2.1 Manyetik algılayıcı ayarları ve algılayıcı bilgilerinin alınması

Manyetik algılayıcı ile iletişime geçmeden önce gereksinimlere uygun ayarların yapılması gereklidir. Manyetik algılayıcı ile iletişim I²C hattı ile yapılmıştır.

3.2.1.1 HMC5883L manyetik algılayıcı ayarları

Kullanım amacımıza uygun ayarları yapmak için algılayıcının kaydedicilerinden ilgili kaydediciler Tablo 3-7 de gösterilmiştir. Diğer kaydedicilerin normal durumları çalışma amacımıza uyduğundan değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 3-7: Manyetik algılayıcı ile ilgili kullanılan kaydediciler

Kaydedici İsmi	Ulaşım Tipi	Hex Adres	Başlangıç değeri
Konfigürasyon A	r/w	0x00	00010000
Konfigürasyon B	r/w	0x01	00100000
Çalışma Modu	r	0x02	00000001
OUT_X_MSB	r	0x03	Output
OUT_X_LSB	r	0x04	Output
OUT_Z_MSB	r	0x05	Output
OUT_Z_LSB	r	0x06	Output
OUT_Y_MSB	r	0x07	Output
OUT_Y_LSB	r	0x08	Output

1. Konfigürasyon A kaydedicisi:

Tablo 3-8: Konfigürasyon A kaydedicisi tanımlama

KA7	KA6	KA5	KA4	KA3	KA2	KA1	KA0
-	MA1	MA0	DO2	DO1	DO0	MS1	MS0

Tablo 3-8 de gösterilen kaydedici bitlerinden MA1 ile MA0 çıkışlara verilecek değerlerin kaç örnekte bir olacağını belirtir. Bu sürede alınan örneklerin ortalaması alınarak çıkışa verilir. MA1 ve MA0 bitlerinde "00" için 1, "01" için 2, "10" için 4, "11" için 8 örneğin ortalaması çıkışlara verilir. DO2 ile DO0 arası bitler veri çıkış hızını belirten bitlerdir. 0,75 Hz ile 75 Hz arası seçim yapılmaktadır. MS1 ve MS0 bitleri test aşamasında kullanılan bitlerdir, normal ölçüm için "00" değeri girilir.

Konfigürasyon A kaydedicisi için 0x74 değeri atanmıştır, bu şekilde algılayıcı 30hz de çalışacak ve çıkışlarına 8 örnek ortalamasını yansıtacaktır.

2. Konfigürasyon B kaydedicisi:

Tablo 3-9: Konfigürasyon B kaydedicisi tanımlama

KB7	KB6	KB5	KB4	KB3	KB2	KB1	KB0
GN2	GN1	GN0	-	-	-	-	-

Tablo 3-9 de Konfigürasyon B kaydedicisinin bitleri görülmektedir. GN2 ile GN0 arası bitler algılayıcının ölçüleceği maksimum manyetik değeri belirtir.

Tablo 3-10: Manyetik algılayıcı ölçüm alanı

GN2	GN1	GN0	Ölçüm Alanı (Gauss)	Kazanç (LSB/Gauss)	Çözünürlük (mG/LSB)
0	0	0	$\pm 0,88$	1370	0,73
0	0	1	$\pm 1,3$	1090	0,92
0	1	0	$\pm 1,9$	820	1,22
0	1	1	$\pm 2,5$	660	1,52
1	0	0	$\pm 4,0$	440	2,27
1	0	1	$\pm 4,7$	390	2,56
1	1	0	$\pm 5,6$	330	3,03
1	1	1	$\pm 8,1$	230	4,35

Çözünürlüğün yüksek olması için ölçüm alanı çalışılacak yere göre en uygun değere ayarlanır. Ölçüm değerinin ihtiyaçtan yüksek olması hassasiyeti düşürür. Konfigürasyon B kaydedicisi için 0x60 değeri atanarak algılayıcının ölçüleceği maksimum değer olarak 2,5gaus tanımlanmıştır.

3. Çalışma modu kaydedicisi:

Tablo 3-11: Manyetik algılayıcı ölçüm modu

MK7	MK6	MK5	MK4	MK3	MK2	MK1	MK0
YH	-	-	-	-	-	MD1	MD0

HMC5883L manyetik algılayıcının üç farklı ölçüm modu vardır. Tablo 3-11 de verilen YH biti modül ile yüksek hızda iletişim kurmak için kullanılır. YH biti 1 ise yüksek hız

olarak I²C ile 3400kHz hızında iletişim kurulabilir. MD1 ile MD0 bitleri ölçüm modunu belirler. Bu bitler "0" iken algılayıcı sürekli ölçüm modunda çalışır. Bu modda çıkışlar sürekli yeni ölçüm değerleri ile güncellenir. MD1 "0", MD0 "1" iken tek ölçüm modu aktiftir. Bu modda algılayıcı çıkışlarını aktif ettikten sonra çıkışlardaki veriler okunana kadar boşta bekler. Çıkış kaydedicilerindeki veriler işlemci birimi tarafından okunduğunda modül yeni değerler ile çıkışları günceller. MD1 "1" ve MD0 "0" yada "1" iken modül boşta bekler. Çalışma modu kaydedicisine 0x00 değeri atanarak algılayıcının sürekli ölçüm modunda çalışması sağlanmıştır.

4. HMC5883L veri çıkış kaydedicileri:

Tablo 3-7 de gösterilen kaydedicilerden OUT_X_MSB ile OUT_Y_LSB arasında bulunan altı adet kaydedici eksenlerin manyetik algılayıcı değerlerinin sunulduğu sekizer bit kaydedicilerdir. Her eksen için iki adet sekiz bit kaydedici kullanılır. Sekizer bit kaydediciler MSB ve LSB olarak birleştirilerek on altı bitlik değer elde edilir. 16 bitlik değer ikinin tümleyeni şeklinde sunulur bu şekilde algılayıcı pozitif ve negatif değerler verebilmektedir. Modül 12-bitlik olduğundan verebileceği değer 0xF800 ile 0x07FF (-2048, 2047) arasındadır. Modül dâhilinde bulunan ADC girişinde aşırı yüklenme olursa çıkış değeri -4096 olacaktır. Bu değer ölçüm aralığının değiştirilmesi gerektiğinin göstergesidir. Çıkış kaydedicilerinden bir kaçi işlemci birimi tarafından okunduğunda tüm veri çıkış kaydedicileri okunmadan çıkışlar güncellenmemektedir. Bu durumda çıkışların güncellenmesi için tüm veri çıkışlarının okunması beklenir.

3.2.1.2 Manyetik algılayıcı verilerinin kullanılması

Dünyanın kuzey ve güney kutbu arasındaki manyetik akımdan faydalananak manyetik algılayıcılar ile yön hesabı yapılmaktadır. Algılayıcı üzerinde X ve Y eksenlerinde bulunan algılayıcı birimleri birbirlerine 90° açıyla konumlandırılmışlardır. Bulundukları platform yeryüzüne paralel şekilde konumlandırılmalıdır. Bu şekilde algılayıcı kendi etrafında döndürüldüğünde dünyanın manyetik değeri nedeni ile X ve Y çıkışlarında değişen değerler görülür. X maksimum değerinde iken Y sıfır, Y maksimum değerinde iken X sıfır olmalı aynı şekilde X minimum değerinde iken Y sıfır, Y minimum değerinde iken X sıfır değerini almalıdır. Ölçüm prensibinde dünyanın manyetik kuzeyi

referans noktasıdır. Tüm algılayıcılarda olduğu gibi manyetik algılayıcı verilerini kullanmadan önce kalibre işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

Kalibre işleminden önce algılayıcının ölçüceğİ manyetik alan değeri belirlenmelidir. Manyetik algılayıcının ölçübileceği manyetik alan değerleri Tablo 3-9 de verilen konfigürasyon B kaydedicisinin GN2, GN1 ve GN0 bitleri ile ayarlanabilmektedir. Manyetik algılayıcı Tablo 3-8 de verilen konfigürasyon A kaydedicisinin MS1 ve MS0 bitleri ile pozitif ve negatif beslemeli test modlarında çalıştırılarak ayarlanan manyetik ölçüm sınırının uygun olup olmadığı test edilmiştir.

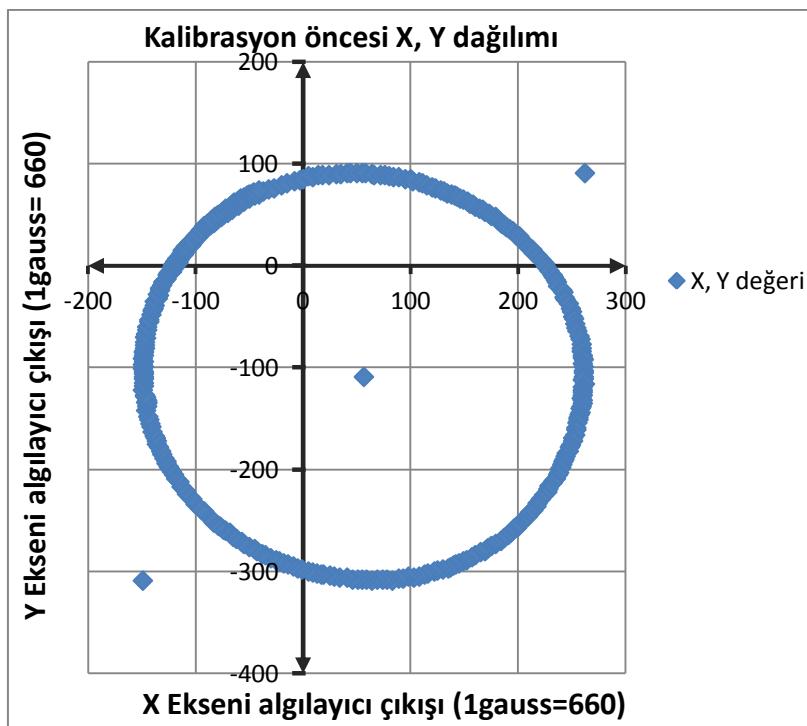
Test durumunda Manyetik algılayıcı iki ölçüm yaparak ölçümlerin farkını çıkışlarına sunmaktadır. İlk ölçümde çevrenin o anki manyetik değeri ölçülür. Sonraki ölçümde algılayıcı o anki ortamın manyetik alanı üzerine yaklaşık 1,1gauss ekleyerek ikinci ölçümü gerçekleştirir ve ikinci ölçüm değerinden ilk ölçüm değerini çıkartarak sonucu çıkışa verir. Bu değer üreticinin vermiş olduğu belli değerler ile hesaplanan minimum ve maksimum değerleri arasında olmalıdır. Yapılan test manyetik algılayıcıların uygun çalışıp çalışmadığını göstermektedir ayrıca ortamın manyetik alan değerinden 1,1gauss'luk daha fazla manyetik alanı ölçübileceğini gösterir.

Konfigürasyon B de ayarlanacak uygun manyetik alan sınırı pozitif ve negatif besleme test modları ile çalıştırılarak belirlenmiştir. Test sonuçları Tablo 3-12 de verilmiştir. Tablonun "test sonucu" adlı sütununda görüldüğü gibi tüm değerler bulunduğuuz alanda kullanılabilmektedir. Çözünürlüğün yüksek olması istenilen durumlarda, düşük manyetik alan değeri seçilmelidir. Ölçülecek manyetik alan değeri belirlendikten sonra kalibre işlemine gerçekleştirilir.

Tablo 3-12: Manyetik algılayıcı pozitif ve negatif besleme modu test sonuçları

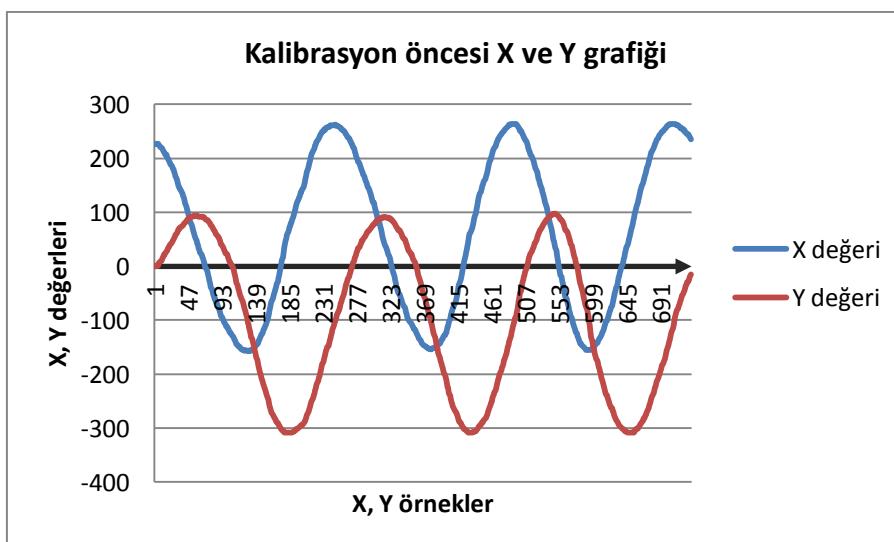
Konfigürasyon					LSB/Gauss (gauss)	Veri çıkış kaydedicileri			Sınırlar		Test
B		A				Xmag	Ymag	Zmag	Min	Max	
MS1	MS0	GN2	GN1	GN0							Sonucu
0	1	0	0	0	1370(± 0.88)	1688	1564	1558	854	2020	Uygun
1	0	0	0	0	1370(± 0.88)	-1643	-1586	-1490	-854	-2020	Uygun
0	1	0	0	1	1090(± 1.3)	1344	1242	1235	679	1607	Uygun
1	0	0	0	1	1090(± 1.3)	-1303	-1259	-1186	-679	-1607	Uygun
0	1	0	1	0	820(± 1.9)	1040	964	957	511	1209	Uygun
1	0	0	1	0	820(± 1.9)	-1013	-978	-920	-511	-1209	Uygun
0	1	0	1	1	660(± 2.5)	819	758	755	411	973	Uygun
1	0	0	1	1	660(± 2.5)	-796	-769	-724	-411	-973	Uygun
0	1	1	0	0	440(± 4.0)	552	510	508	274	649	Uygun
1	0	1	0	0	440(± 4.0)	-538	-518	-488	-274	-649	Uygun
0	1	1	1	1	390(± 4.7)	492	455	452	243	575	Uygun
1	0	1	1	1	390(± 4.7)	-478	-462	-433	-243	-575	Uygun
0	1	1	1	0	330(± 5.6)	406	375	373	206	487	Uygun
1	0	1	1	0	330(± 5.6)	-396	-382	-359	-206	-487	Uygun
0	1	1	0	1	230(± 8.1)	285	263	261	143	339	Uygun
1	0	1	0	1	230(± 8.1)	-278	-269	-252	-143	-339	Uygun

Kalibrasyon yapabilmek için bir dizi X, Y değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerleri elde etmek için manyetik algılayıcı yeryüzüne paralel konumlandırılır ve kendi etrafında bir tur attırılarak Xmag ve Ymag değerleri kaydedilir. Manyetik algılayıcının kalibrasyon öncesi Xmag ve Ymag değerleri kullanılarak Şekil 3-20 de dağılım grafiği oluşturulmuştur. İdeal bir manyetik algılayıcının Xmag, Ymag değerleri ile oluşturulan dağılım grafiği bir çember şeklinde görülmeli ve çemberin merkezi "0" değerinde olmalıdır. Şekil 3-20 de görüldüğü gibi tam olarak çember oluşturulmamış ve oluşan şeklin merkezi eksenlerin kesim merkezi olan "0" değerinde olmadığı görülmektedir. Bu şekilde kullanılacak veriler yanlış açı değerlerinin hesaplanması neden olmaktadır.



Şekil 3-20: Kalibrasyon öncesi manyetik algılayıcı X, Y değerleri dağılım grafiği

Aynı şekilde ideal bir manyetik algılayıcının X_{mag} , Y_{mag} değerleriyle oluşturulan çizgi grafiğinde 90° lik faz farkı ile iki sinüzoidal sinyal şekli olmalıdır. X_{mag} dizisinin grafiğini kosinüs sinyali olarak kabul edersek, Y_{mag} dizisinin grafiği sinüs sinyali şeklinde olmalıdır. Kalibrasyon öncesi aynı X, Y değerleri için oluşturulan çizgi grafiği Şekil 3-21 de görülmektedir.



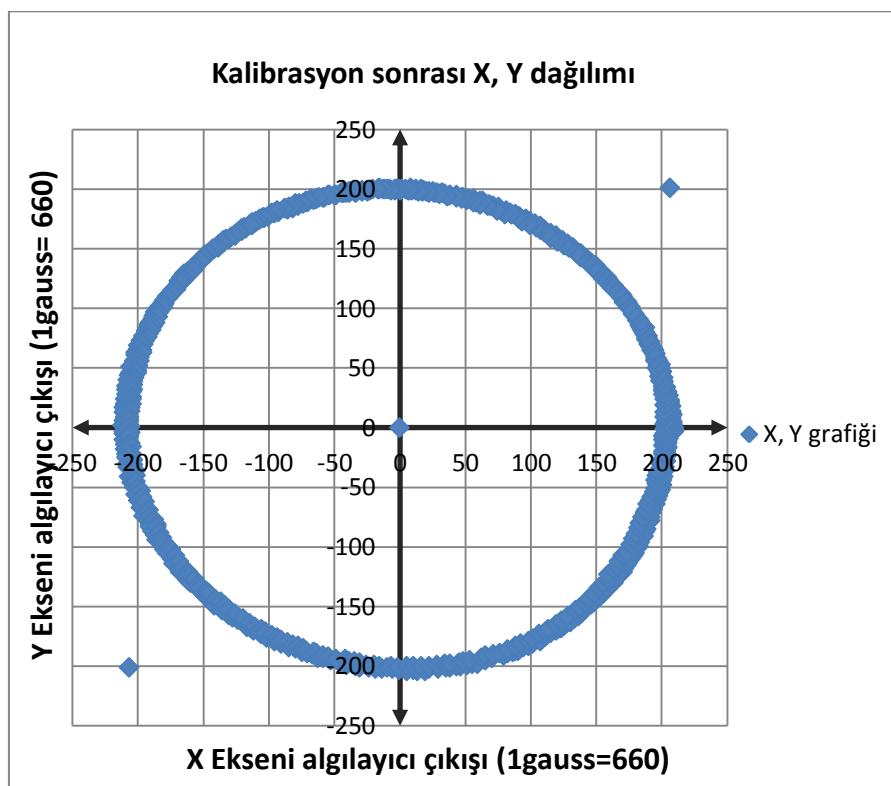
Şekil 3-21: Kalibrasyon öncesi manyetik algılayıcı X, Y değerleri çizги grafiği

Algılayıcının konumlandırıldığı yerin manyetik etkisine göre grafikteki kaymalar değişimektedir. Bu nedenle kalibrasyon için kullanılacak örnekler algılayıcı kullanılaceği yerde iken alınmalıdır. Şekil 3-20 de oluşan şekildeki merkezden kaymayı engellemek için yapılan kalibrasyon yöntemi şu şekildedir; algılayıcı yer yüzüne paralel bir şekilde konumlandırılarak bir tur attırılır aynı anda Xmag ve Ymag değerleri kaydedilir. Xmag ve Ymag dizilerinin maksimum(Xmak, Ymak) ve minimum(Xmin, Ymin) değerleri belirlenir. Belirlenen X ve Y maksimum minimum değerlerinin ortalaması alınır. Elde edilen değer her Xmag ve Ymag değerinden çıkartılarak açı hesabında kullanılacak değerler elde edilir. Bu değerler 3.3 ve 3.4 denklemleri ile hesaplanmaktadır.

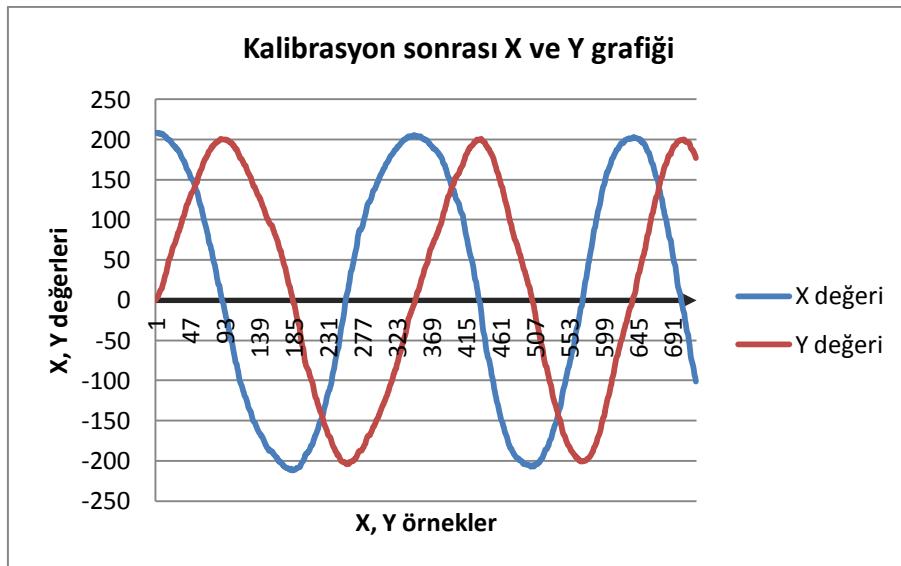
$$X_{\text{ort}} = \frac{X_{\text{mak}} - X_{\text{min}}}{2}, \quad X_{\text{Mmag}} = X_{\text{mag}} - X_{\text{ort}} \quad (3.3)$$

$$Y_{\text{ort}} = \frac{Y_{\text{mak}} - Y_{\text{min}}}{2}, \quad Y_{\text{Mmag}} = Y_{\text{mag}} - Y_{\text{ort}} \quad (3.4)$$

Kalibrasyon sonrası alınan değerlerin Şekil 3-22 de X, Y değerlerinin dağılım grafiği ve Şekil 3-23 de X, Y değerlerinin çizgi grafiği verilmiştir.



Şekil 3-22: Kalibrasyon sonrası manyetik algılayıcı X, Y değerleri dağılım grafiği



Şekil 3-23: Kalibrasyon sonrası manyetik algılayıcı X, Y değerleri çizgi grafiği

Bu şekilde çevresel etkilerden dolayı oluşan sapmalar giderilmiştir. Kalibrasyon sonrası elde edilen X ve Y değerleri ile açı hesabı yapılır. Elde edilen değerler ile açı 3.5 denklemine göre hesaplanır.

$$\text{Açı} = \tan^{-1} \frac{YM_{mag}}{XM_{mag}} \quad (3.5)$$

Şu ana kadar baş açısını hesaplamak için kullanılan manyetik algılayıcının aracımızın üzerine sürekli yeryüzüne paralel olacak şekilde konumlandırılacağı düşünülmüştür. Manyetik algılayıcı ne kadar iyi kalibre edilirse edilsin yeryüzüne göre paralel olan konumunu kaybederse algılayıcıdan alınan bilgiler ile elde edilecek baş açısı yanlış hesaplanmış olacaktır. Araç sürekli yere paralel olmayacağından muhtemel baş açı hatalarını gidermek için yere göre açısını belirleyip, belirlenen açıya göre manyetik algılayıcı çıkışlarını uygun değere uyarlamamız gerekmektedir. Bu amaç için ivmeölçer kullanılmıştır.

3.2.2 İvmeölçer ayarları ve alınan verilerin kullanılması

İvmeölçeri kullanabilmek için öncelikle kullanım amacımıza uygun ayarları yapmamız gereklidir. İvmeölçer ile iletişim I²C hattı ile yapılmıştır.

3.2.2.1 ADXL345 ivmeölçer ayarları

Kullanım amacımıza uygun ayarları yapmak için ivmeölçerin kaydedicilerinden ilgili kaydediciler Tablo 3-13 da gösterilmiştir. Diğer kaydedicilerin normal durumları çalışma amacımıza uyduğundan değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 3-13: Ivmeölçer ile ilgili kullanılan kaydediciler

Adresler		Adres İsmi	Erişim Type	Reset Değeri	Açıklama
Hex	Dec				
0x1E	30	OFSX	R/W	00000000	X Ekseni Offset
0x1F	31	OFSY	R/W	00000000	Y Ekseni Offset
0x20	32	OFSZ	R/W	00000000	Z Ekseni Offset
0x2D	45	GÜÇ_KONTROL	R/W	00000000	Güç kontrol
0x31	49	VERİ_FORMAT	R/W	00000000	Veri format
0x32	50	VERİ_X_L	R	00000000	X Ekseni Veri L
0x33	51	VERİ_X_H	R	00000000	X Ekseni Veri H
0x34	52	VERİ_Y_L	R	00000000	Y Ekseni Veri L
0x35	53	VERİ_Y_H	R	00000000	Y Ekseni Veri H
0x36	54	VERİ_Z_L	R	00000000	Z Ekseni Veri L
0x37	55	VERİ_Z_H	R	00000000	Z Ekseni Veri H

1. OFSX, OFSY, OFSZ kaydedicileri:

OFsx, OFSY ve OFSZ kaydedicileri dengeleme kaydedicileri olarak görev yapar. Dengeleme kalibrasyonu sonucu elde edilen verilerin kaydedildiği birimlerdir. Kalibrasyon değerleri bu kaydedicileri kullanmadan yazılımsal olarak hesaba katılabilir. Dengeleme kaydedicileri kullanılarak işlemin algılayıcı tarafından yapılması sağlanmaktadır. Ivmeölçer ilgili kaydedicilere kaydedilmiş dengeleme değerlerini otomatik olarak çıkışlarına ekleyerek gönderir. Tablo 3-14 da ADXL345 ivmeölçerin üretici garantili sınır değerleri görülmektedir.

Tablo 3-14: ADXL345 üretici değerleri dengeleme değer aralığı

Parametre	Min	İdeal	Max	Birim
0g X ve Y çıkışları	-150	0	+150	mg
0g Z çıkışı	-250	0	+250	mg

2. GÜÇ_KONTROL kaydedicisi:

GÜÇ_KONTROL kaydedicisi algılayıcının uyku modu, beklemede modu ya da ölçüm modunda olacağına karar verilen kaydedicidir. Bu kaydediciye 0x08 değeri gönderilerek ölçüm modunda çalışması sağlanmıştır.

3. Veri format kaydedicisi:

Veri format kaydedicisi Tablo 3-13 da gösterilen 0x32 ile 0x37 arası kaydedicilerinin nasıl sunulacağını tanımlar. Tablo 3-15 de veri format kaydedicisinin yapısı görülmektedir.

Tablo 3-15: Veri format kaydedicisi

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
D_TEST	SPI	KESME_ALGI	0	FUL_ÇÖZ	VERİ_SIRA		ARALIK

Bu kaydedicide D7 test bitidir, 1 iken test durumunda 0 iken test durumunda olmayacağı gösteren bittir. D6 haberleşmenin SPI mi I2C mi olacağını belirler, D6 1 ise SPI 0 ise I2C formatını kullanır. D5 kesmenin hangi durumda (0' da ya da 1'de aktif) olacağını belirtir. D3 biti çözünürlüğün ayarlandığı bittir. Algılayıcı D3 biti 1 ise tam çözünürlükte 4mg/LSB değerinde çalışır. D2 biti MSB bitinin verinin sağında mı solunda mı olacağına karar veren bittir. D1 ve D0 bitleri ölçülecek ivme büyüklüğünün belirlendiği bitlerdir.

Tablo 3-16: ADXL345 ölçüm aralığı

Ayarlar		g Ayarı
D1	D0	
0	0	±2g
0	1	±4g
1	0	±8g
1	1	±16g

Bu bitler ile ayarlanabilecek durumlar Tablo 3-16 gösterilmiştir. Veri format kaydedicisine 0x08 verisi gönderilerek ±2g ölçüm aralığında tam çözünürlük ile çalışması sağlanmıştır.

4. ADXL345 veri çıkış kaydedicileri

VERİ_X_L ile VERİ_Z_H kaydedicileri arasında bulunan altı adet kaydedici X, Y, Z eksenlerinde oluşan ivmelenmeyi temsil eden 8 bitlik kaydedicilerdir. Her eksen için iki adet sekiz bit kaydedici kullanılır. Sekizer bit kaydediciler MSB ve LSB olarak birleştirilerek on altı bitlik değer elde edilir. 16 bitlik değer ikinin tümleyeni şeklinde sunulur bu şekilde algılayıcı pozitif ve negatif değerler verebilmektedir. Bu kaydedicilerden alınan bilgiler doğrultusunda açı hesabı yapılmaktadır.

3.2.2.2 İvmeölçer verilerinin kullanılması

İvmeölçer durağan şekilde yalnızca yer çekimini ölçmektedir. Bu durumda konumlandırmaya göre değişecek şekilde X ve Y eksenleri için 0g Z eksenin için 1g değerini gönderecektir. X, Y ve Z değerlerinin vektörel büyüklüğü Z ekseninde 1 g olacaktır. Açı hesabı sistemin durmakta olduğu düşünülerek sistemin referans pozisyonu dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Araç üzerine konumlandırılan ivmeölçerin referans pozisyonu; X ve Y eksenleri yer yüzüne paralel, Z eksenin ise yer yüzüne dik konumlandırılmış şekildedir.

Hareketli durumda hareket yönüne göre yerçekimi dışında farklı ivmeler ölçüleceğinden sağlıklı değerler elde edilememektedir. Bu durumda ivmeölçer tek başına yeterli görülmeyip jiroskop ile birlikte kullanılmıştır.

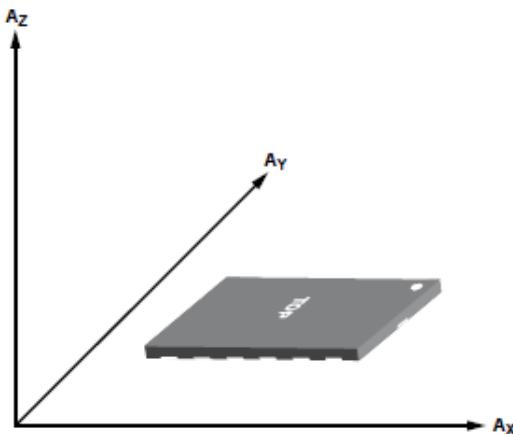
İvmeölçer verileri ile açıyı hesaplamadan önce kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Kalibrasyonda kullanılan basit yöntem şu şekildedir. Algılayıcı Şekil 3-24 de olduğu gibi yere paralel şekilde konumlandırılır. Bu konumda X ve Y eksenleri 0g Z eksenin ise 1g değer alacaktır. 0g çıkışlarının Tablo 3-14 da gösterildiği gibi 0 değerini alması beklenir. Bu durumda algılayıcı X ve Y eksenlerinden en az 10 adet örnek alınarak örneklerin ortalaması alınır. Elde edilen Xort ve Yort değerleri OFSX ve OFSY kaydedicilerine eklenerek hatalar ölçümlerde giderilebilmektedir. Aynı işlem Z eksenin için tekrarlanır. Eksenlerin ham verileri Xacc, Yacc ve Zacc iken kalibre edilmiş değerler; XAacc, YAacc ve ZAacc olarak gösterilmiştir. Kalibre işlemi 3.6, 3.7 ve 3.8 denklemleri ile gerçekleştirilmiştir.

$$XA_{acc} = X_{acc} - OFS_X \quad (3.6)$$

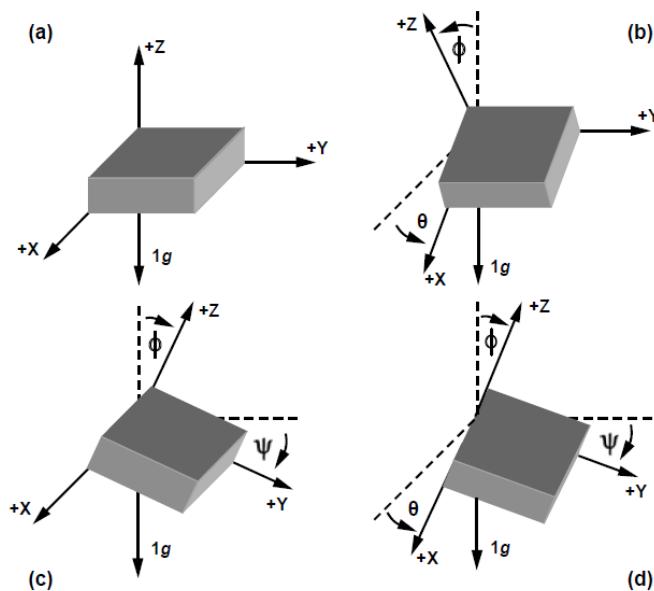
$$YA_{acc} = Y_{acc} - OFS_Y \quad (3.7)$$

$$ZA_{acc} = Z_{acc} - OFS_Z \quad (3.8)$$

ADXL345 enerjisi kesildiğinde, deneleme değerlerini kaybeder ve normal değeri 0x00 olarak tanımlanır. Açılışa bu değerler ilgili kaydedicilere kaydedilmelidir.



Şekil 3-24: ADXL345 Kalibrasyonu



Şekil 3-25: İvmeölçer algılayıcı konumları açı hesabı

Şekil 3-25' de gösterilen konumlarda θ yüzey ile ivmeölçerin X ekseni arasındaki açıyı, Ψ yüzey ile ivmeölçerin Y ekseni arasındaki açıyı, Φ yerçekimi ile ivmeölçerin Z ekseni arasındaki açıyı ifade etmektedir. Şekil 3-25 (a) 'da tüm açılar Φ , Ψ , θ 0° olmaktadır.

Açıların hesaplanması için basit trigonometrik formüller kullanılmıştır. İvmeölçer ile açı hesabı için kullanılan formüller denklem 3.9, 3.10 ve 3.11'de[35] verilmiştir.

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{A_{x,out}}{\sqrt{A_{y,out}^2 + A_{z,out}^2}} \right\} \quad (3.9)$$

$$\Psi = \tan^{-1} \left\{ \frac{A_{y,out}}{\sqrt{A_{x,out}^2 + A_{z,out}^2}} \right\} \quad (3.10)$$

$$\Phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{A_{x,out}^2 + A_{y,out}^2}}{A_{z,out}} \right\} \quad (3.11)$$

Manyetik algılayıcıdaki konum değişikliklerinden kaynaklanacak baş açısı hatalarını gidermek için ivmeölçer kullanılmıştır. Ancak İvmeölçer ile açı hesabında algılayıcının hareketsiz konumu dikkate alınmıştır. Bu durum hareketli olacak aracımız için uygun değildir bu nedenle yere açıyi belirlemeye kullanılan ivmeölçere yardımcı eleman olarak jiroskop kullanılmıştır.

3.2.3 Jiroskop ayarları ve algılayıcı bilgilerinin alınması

Jiroskop ile iletişime geçmeden önce ayarlarının yapılması gereklidir. Jiroskop ile iletişim I^2C hattı ile yapılmıştır.

3.2.3.1 L3G4200D jiroskop ayarları

Kullanım amacımıza uygun ayarları yapmak için algılayıcının kaydedicilerinden ilgili kaydediciler Tablo 3-17de gösterilmiştir. Diğer kaydedicilerin normal durumları çalışma amacımıza uyduğundan değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 3-17: Jiroskop ile ilgili kullanılan kaydediciler

Kaydedici İsmi	Erişim Tipi	Hex Adres	Başlangıç değeri
KNT_KAYIT1	r/w	0x20	00000111
KNT_KAYIT4	r/w	0x23	00000000
OUT_X_L	r	0x28	Output
OUT_X_H	r	0x29	Output
OUT_Y_L	r	0x2A	Output
OUT_Y_H	r	0x2B	Output
OUT_Z_L	r	0x2C	Output
OUT_Z_H	r	0x2D	Output

1. KNT_KAYIT1 kaydedicisi

Tablo 3-18: KNT_KAYIT1 kaydedici bilgileri

DR1	DR0	BW1	BW0	PD	Zen	Yen	Xen
-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----

Tablo 3-18 de KNT_KAYIT1 kaydedicisinin içeriği görülmektedir. DR1 ve DR0 veri çıkış hızının belirtildiği bitlerdir. BW1-BW0 bant genişliğinin ayarlandığı bitlerdir. PD algılayıcıların güç modunun belirtildiği bittir, PD 0 iken algılayıcı aktif değildir 1 iken aktiftir. Açılışa PD biti 0 olarak başlatılır bu nedenle algılayıcıdan veri alabilmemiz için bu bitin 1 yapılması gereklidir. Zen, Yen, Xen bitleri eksenlerin aktif ya da pasif olacağını belirten bitlerdir.

Bu adres için algılayıcıya 0x1F bilgisi gönderilmiştir. Bu ayarlar ile algılayıcı 100Hz veri hızında 12,5 bant genişliğinde çalışacak ve tüm eksenleri aktif olacaktır.

2. KNT_KAYIT4 kaydedicisi

Tablo 3-19: KNT_KAYIT4 kaydedici bilgileri

BDU	BLE	FS1	FS0	-	ST1	ST0	SIM
-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----

Tablo 3-19 de KNT_KAYIT4 kaydedicisin bilgileri görülmektedir. BDU (Block Data Update) veri çıkışının nasıl olacağını belirtir. BDU 0 ise sürekli çıkış verir, 1 ise çıkışa verilen MSB ve LSB değerleri okunmadan çıkış güncellemez. BDU varsayılan olarak 0 dır. BLE çıkışa önce MSB'nin mi yoksa LSB'nin mi gönderileceğini belirtir. BLE biti 0

ise önce 8 bit LSB gönderilir. FS1, FS0 bitleri jiroskopun ölçüm ayarının yapıldığı yerdir (00: 250dps, 01: 500dps, 10: 2000dps, 11: 2000dps). ST1, ST0 self test bitleridir. SIM haberleşme biriminin seçildiği bittir. KNT_KAYIT4 kaydedicisine atanan değer 0x03 olarak belirlenmiştir. Bu şekilde algılayıcı 2000dps ile sürekli çıkış modunda çalışmaktadır.

3. L3G4200 veri çıkış kaydedicileri

OUT_X_L ile OUT_Z_H arasında bulunan adresler eksenlerin açısal hızlarının saklandığı 8 bitlik kaydedici adresleridir. Her eksen için iki adet sekiz bit kaydedici kullanılır. Sekizer bit kaydediciler MSB ve LSB olarak birleştirilerek on altı bitlik değer elde edilir. 16 bitlik değer ikinin tümleyeni şeklinde sunulur bu şekilde algılayıcı pozitif ve negatif değerler verebilmektedir. Bu kaydedicilerden alınan bilgiler doğrultusunda açı hesabı yapılmaktadır.

3.2.3.2 Jiroskop verilerinin kullanılması

Jiroskop ile açı hesabında eksenlerdeki açısal hız verileri birim zamanda alınarak işleme katılmaktadır. İvmeölçerden farklı olarak jiroskop durağan haldeyken X, Y, Z eksenlerinde birim zamanda açısal hız gerçekleşmediğinden "0" değeri görülmesi gereklidir. Durağan halde iken algılayıcı çıkışlarında "0" değeri görünmüyorsa kalibre işlemi yapılması gereklidir. Kalibre yapılmadan hareketsiz haldeki algılayıcıdan alınan değerler Tablo 3-20 da verilmiştir.

Tablo 3-20: Jiroskop kalibre öncesi veri değerleri

Örnek Sayısı	Okunan değerler		Hesaplanan Açılar		Örnekleme mikrosaniye	Geçen Süre
	X	Y	X	Y		
1	-16	8	0,00	0,00	1684	1684
156	-12	13	-1,78	3,00	1844	2566584
318	-18	5	-3,63	6,01	1796	5250652
426	-14	12	-4,82	8,00	1844	7040236
532	-13	14	-6,07	10,00	1892	8797568
637	-19	11	-7,31	12,01	1908	10547220

Tablo 3-20'de okunan X, Y değerleri algılayıcı çıkışından alınan dijital değerlerdir. Hesaplanan X, Y açıları ise derece cinsinden eksenlerin açısını ifade etmektedir.

Kalibre yapılmadan Tablo 3-20 da görüldüğü gibi algılayıcıdan 637 örnek alınmış ve X, Y eksenleri için açı değerleri hesaplanmıştır. Örneklemme aralığı tablodaki değerler için ortalama 1828 mikro saniyedir. Örneklemme süresi algılayıcının desteklediği derecede mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Örneklemme süresi sabit tutulabileceği gibi yazılımın çevrim süresi de örneklemme süresi olarak kullanılabilir. Örneklemme süresinin sabit tutulması açı hesabının daha kararlı olmasına yardımcı olacaktır. 637 veri yaklaşık 10,5 saniyede alınmıştır. İlk örnekte X ve Y açıları "0" iken yaklaşık 10,5 saniye sonra $X=-7,31$ ve $Y=12,01$ derece olduğu görülmektedir. Görüldüğü gibi kalibresiz kullanımda kısa bir sürede büyük hatalar oluşmaktadır.

Kalibre işlemi algılayıcı durağan halde iken tüm eksenlerden istenilen değerde alınan örneklerin ortalaması hesaplanarak yapılır. Tüm eksenler için hesaplanan ortalama değer daha sonra algılayıcıdan alınacak her veriden çıkarılarak yeni eksen değerleri oluşturulur ve bu değerler dikkate alınır.

Tablo 3-21: Jiroskop kalibre değerleri

X Eksenİ		Y Eksenİ		Z Eksenİ	
X:	-21	Y:	11	Z:	-5
	-16		12		4
	-16		9		-1
	-18		13		-2
	-17		8		-1
	-17		10		-5
	-18		8		-6
	-11		10		-1
	-14		12		0
	-19		11		0
	-14		10		-5
Ortalama		Ortalama		Ortalama	
-16		10,25		-2,5	

Tablo 3-21 da Jiroskop hareketsiz konumda iken X, Y, Z eksenlerinin değerleri alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler algılayıcıdan alınan her X, Y, Z değerlerinden çıkarılır ve hesaplanan yeni X, Y, Z değerleri dikkate alınır.

Tablo 3-22: Jiroskop kalibre sonrası veri değerleri

Örnek Sayısı	Okunan değerler		Hesaplanan Açılar		Örnekleme mikrosaniye	Geçen Süre
	X	Y	X	Y		
1	-16	10	0,00	0,00	1732	1732
156	-14	9	-0,06	-0,01	1784	2567660
318	-17	12	-0,06	-0,01	1836	5251668
426	-19	8	-0,06	-0,04	1776	7040216
532	-21	13	-0,01	-0,03	1832	8796352
637	-17	15	0,02	-0,07	1828	10537760
1207	-18	9	0,04	-0,06	1768	20009136
1809	-13	15	0,00	0,03	1808	30007556
2411	-22	7	-0,11	0,08	1776	40009056
3013	-17	10	-0,22	0,01	1840	50016000
3614	-13	13	-0,17	-0,14	1852	60010184

Tablo 3-22'de Jiroskopun kalibre sonrası veri değerleri görülmektedir. Okunan X, Y değerleri algılayıcı çıkışından alınan dijital değerlerdir. Hesaplanan X, Y açıları ise derece cinsinden eksenlerin açılarını ifade etmektedir. 60 saniyelik sürede jiroskop hareketsiz konumda iken 3614 örnek alınarak test gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında X ekseninde 0,17 Y ekseninde ise 0,14 derecelik sapmalar yaşanmıştır. Kalibre aşamasında örnek sayısının fazla olması daha hassas değerler elde etmemizi sağlayacaktır. 2000 adet örnek ile X, Y, Z eksenleri için kalibre değerleri hesaplanan algılayıcının test sonuçları Tablo 3-22'de gösterildiği gibidir. Kalibre aşamasında algılayıcının bulunduğu platformun hareket etmemesine dikkat edilmelidir. Jiroskopta açısal hız birim zamanda algılayıcıdan alınan değerlerin toplanması ile elde edilir. Jiroskop tek başına kullanılacaksa açı hesabı için başlangıç açısı belirlenmelidir. Toplama ve çıkartma belirlenen referans açı üzerinden gerçekleştirilir. Açı hesabına geçmeden önce bilinmesi gereken bir değer daha vardır. Bu değer algılayıcının farklı ölçüm aralığına göre değişen hassasiyet değeridir. Bu değerler Tablo 3-23'de verilmiştir.

Tablo 3-23: Jiroskop hassasiyet değerleri

Ölçüm Değeri	Hassasiyet Değeri	Birim
FS=250dps	8,75	
FS=500dps	17,5	
FS=2000dps	70	mdps bit

Ayarlanan ölçüm aralığına göre hassasiyet değeri kullanılır. Uygulamada 2000dps seçildiğinden hassasiyet olarak 70mdps (0,07dps) değeri dikkate alınır. Açısal hızı hesaplamak için bilinmesi gereken son şey örnekler arasındaki zaman farkıdır. Bu değer programın işleyişine göre her döngüde değişim olabilir bu yüzden yazılımsal olarak iki değer arası süre hesaplanır.

Her eksen için algılayıcıdan alınan değerlere sırasıyla gx , gy , gz , hesaplanan kalibre değerlerine xd , yd , zd diyelim. Örmekler arası süreye Δt diyelim bu durumda eksenlerin açısal değerleri 3.12, 3.13 ve 3.14'de görüldüğü gibi olacaktır.

$$XG_g = gx - xd , X_{açısı} = XG_g * 0,07 * \Delta t \quad (3.12)$$

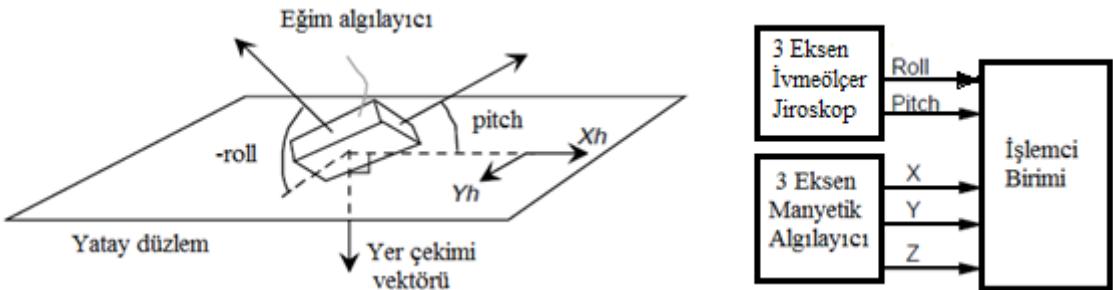
$$YG_g = gy - yd , Y_{açısı} = YG_g * 0,07 * \Delta t \quad (3.13)$$

$$ZG_g = gz - zd , Z_{açısı} = ZG_g * 0,07 * \Delta t \quad (3.14)$$

Jiroskop ile açı hesabında başlangıç değerine ihtiyaç duymaktadır. Jiroskop ile açı çıkışlarının sürekli toplanması ile elde edilir ve uzun vadede hatalarında toplanarak artması sonucu açı değeri doğruluğunu kaybedecektir. Bu yöntemde eksen açılarını birbirlerinden bağımsız hesaplanmaktadır. İstenmeyen durumları ortadan kaldırmak için İvmeölçer ve Jiroskop birlikte kullanılır.

3.2.4 İvmeölçer, Jiroskop, Manyetik algılayıcılarının birleştirilmesi

İvmeölçer ile Jiroskop çeşitli yöntemlerle birleştirilebilmektedir. En iyi yöntem olarak kalman滤resi bilinmektedir. Kalman滤resi dışında oransal birleştirme yöntemleri de mevcuttur. Bu tezde İvmeölçer ile Jiroskop birlikte kullanılarak pitch ve roll denilen X ve Y eksenlerinde oluşan açılar oransal birleştirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen açılar ile manyetik algılayıcı çıkışlarında oluşan istenmeyen durum değerleri normalleştirilmiştir.



Şekil 3-26: İvmeölçer, Jiroskop, Manyetik algılayıcıların birleşim blok diyagramı

Öncelikle Şekil 3-26 de gösterilen pitch(Φ) ve roll(θ) açılarının hesaplanması gereklidir. Bu hesaplama İvmeölçer ve Jiroskop ile hesaplanan açıların oransal birleştirilmesi ile yapılmaktadır. İvmeölçer ve Jiroskop algılayıcılarının anlatıldığı bölümlerde bu algılayıcılar ile açıların nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. İvmeölçer ve jiroskop açılarının birleştirilmesi 3.15 ve 3.16 denklemlerine göre yapılmaktadır.

$$Pitch = (oran * (Pitch + Gyro_{pitch})) + ((1 - oran) * Acc_{Pitch}) \quad (3.15)$$

$$Roll = (oran * (Roll + Gyro_{Roll})) + ((1 - oran) * Acc_{Roll}) \quad (3.16)$$

$Gyro_{pitch}$ ve $Gyro_{Roll}$ Jiroskop ile hesaplanan açıları Acc_{Pitch} ve Acc_{Roll} ivmeölçer ile hesaplanan açıları ifade etmektedir. Formülde katsayı olarak verilen "oran" hangi algılayıcıya ne kadar güvenileceğini belirten katsayıdır. uygulamamızda 0,93 olarak belirlenmiştir.

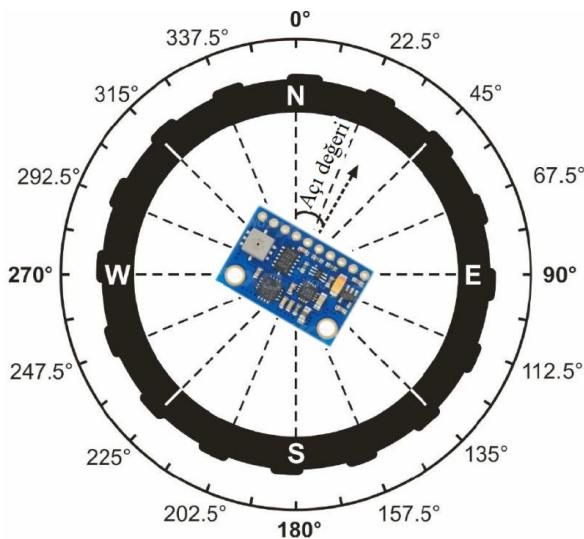
Şekil 3-26 de gösterilen pitch(Φ) ve roll(θ) açıları hesaplandıktan sonra bu açılar kullanılarak manyetik algılayıcıdan alınan X ve Y değerlerinin yeni değerleri denklem 3.17 ve 3.18'e göre hesaplanmıştır.

$$XEM_{mag} = XM_{mag} * \cos \Phi + YM_{mag} * \sin \theta * \sin \Phi - ZM_{mag} * \cos \theta * \sin \Phi \quad (3.17)$$

$$YEM_{mag} = YM_{mag} * \cos \theta + ZM_{mag} * \sin \theta \quad (3.18)$$

Elde edilen X ve Y manyetik algılayıcı değerleri ile baş açısı hesabı denklem 3.19'a göre hesaplanmıştır.

$$\text{Baç açısı} = \tan^{-1} \frac{YEM_{mag}}{XEM_{mag}} \quad (3.19)$$



Şekil 3-27: İvmeölçer, jiroskop ve manyetik algılayıcı ile baş açısı belirleme

Manyetik algılayıcı, jiroskop ve ivmeölçer birleştirilmeden önce algılayıcı modülüne paralel konumlandırılmış ve baş açısı 270° olacak şekilde sabit tutulmuş. Bu durumda algılayıcı modül sırasıyla yere göre X ve Y eksenlerinde $\pm 35^\circ$ ye kadar eğim verilmiş ve baş açısından sapmalar izlenmiştir. Yalnızca kalibresi yapılmış manyetik algılayıcı ile hesaplanan açı örnekleri Tablo 3-24'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3-24: Algılayıcı birleşimi öncesi ölçüm tablosu

X eksen açısı	Y Eksen açısı	Baş açısı		X eksen açısı	Eksen açısı	Baş açısı
0	0	273		0	0	273
0	-5	268		0	5	273
0	-10	266		0	10	273
0	-15	263		0	15	274
0	-20	261		0	20	274
0	-25	259		0	25	274
0	-30	252		0	30	275
0	-35	240		0	35	275
0	0	270		0	0	270
5	0	261		5	0	275
10	0	254		10	0	281
15	0	247		15	0	289
20	0	243		20	0	294
25	0	239		25	0	299
30	0	236		30	0	304
35	0	234		35	0	309

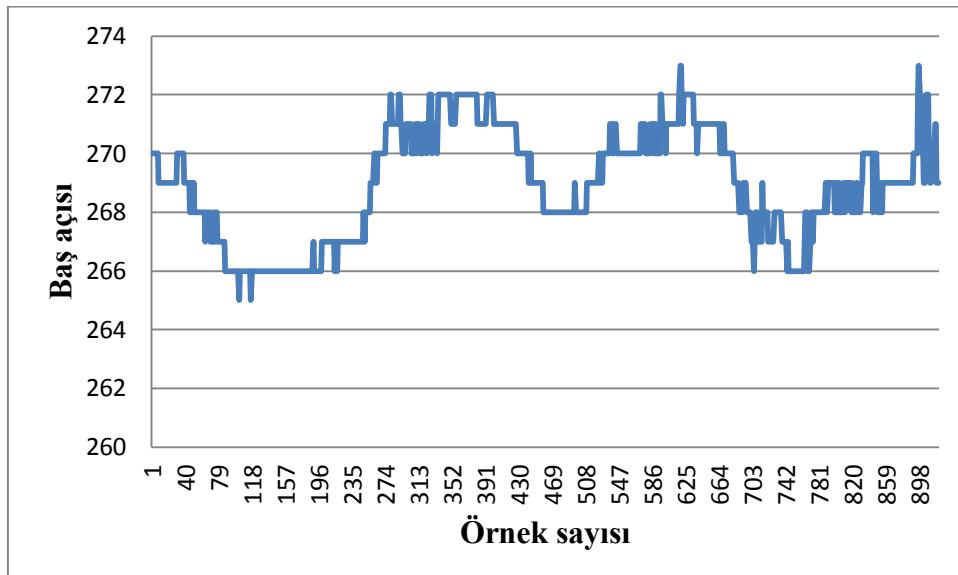
Tablo 3-24'de görüldüğü gibi platformda oluşan eğimler manyetik algılayıcı ölçüm sonucunu büyük oranda etkilemektedir.

Birleşimden sonra algılayıcı modülü yeryüzüne paralel konumlandırılmış ve baş açısı 270° olacak şekilde sabit tutulmuş. Bu durumda algılayıcı modül sırasıyla yere göre X ve Y eksenlerinde $\pm 50^\circ$ ye kadar eğim verilmiş ve baş açısından sapmalar izlenmiştir. Test sonuçları Tablo 3-25'de gösterilmektedir. Manyetik algılayıcı, jiroskop ve ivmeölçer birleştirilmesi sonucunda yaklaşık $\pm 30^\circ$ ye kadar eğimde yaklaşık $\pm 3^\circ$, yaklaşık $\pm 50^\circ$ ye kadar eğimde yaklaşık $\pm 6^\circ$ derece sapma görülmüştür.

Tablo 3-25: Algılayıcı birleşimi sonrası ölçüm tablosu

X eksen açısı	Y eksen açısı	Baş açısı	X eksen açısı	Y eksen açısı	Baş açısı
0	0	270	270	0	270
3	-5	270		0	270
3	-10	270		0	270
4	-15	270		0	269
4	-20	269		0	269
6	-25	268		0	270
6	-30	268		0	269
4	-35	267		0	269
4	-40	265		0	268
5	-45	265		-1	268
5	-50	264		-1	267
<hr/>					
0	0	270	270	4	272
-5	0	269		5	274
-10	-1	269		10	274
-15	-2	269		15	274
-20	-1	269		20	273
-25	0	269		25	273
-30	0	271		30	275
-35	0	271		35	274
-40	0	272		40	275
-45	0	274		45	275
-50	0	276		50	276

Test sonucu elde edilen Tablo 3-25 de gösterilen değerlerin grafiksel gösterimi yaklaşık 1000 örnek ile Şekil 3-28 de gösterilmiştir. Testler iki eksen için iki yönlü olarak yapılmıştır.



Şekil 3-28: Algılayıcıların birleşim sonrası test sonuç grafiği

3.2.5 GPS cümlelerinden enlem boylam bilgilerinin alınması

GPS modülü ile seri haberleşme birimi üzerinden haberleşme sağlanmıştır. GPS Modülünden alınan cümleler arasında GLL, RMC ve GGA cümleleri konum bilgilerini içermektedir. Örnek bir GGA cümlesi Tablo 3-5'de açıklanmıştır.

\$GPGGA,122702.000,4059.1457,N,02903.2191,E,2,8,1.11,112.2,M,39.6,M,0000,0000 *52 GPGGA cümlesinde görüldüğü gibi GPS cümleleri ‘\$’ karakteri ile başlar ‘*’ karakteri ile biter. Aradaki her bilgi ‘,’ karakteri ile ayrılmıştır. İstenilen bilgi ilgili GPS cümlelerinden ayırtırılarak elde edilmektedir. Araç için enlem ve boylam konum bilgileri GPS cümlelerinden elde edilmiştir. Örnekte verilen cümleden 4059.1457 Kuzey, 02903.2191 Doğu olarak koordinat bilgileri elde edilmektedir.

3.2.6 Araç hedef koordinatlarının alınması ve baş açısının hesaplanması

Araç, hedef koordinatlarını üzerinde bulundurduğu RF modül üzerinden almaktadır. Koordinatlar, dizüstü bilgisayarda çalıştırılan uygulama ile araca gönderilmektedir. Uygulamanın kurulum dosyası C# ile oluşturulmuştur, bu şekilde istenilen bilgisayara

kurulumu gerçekleştirilebilir. araca gönderilen koordinatların veri formatı GPS cümlelerine benzetilmiştir, '#' karakteri ile başlar '*' karakteri ile biter. Alıcı tarafında RF modül ile alınan koordinat cümlesi GPS cümleleri gibi çözümlenerek hedef enlem ve hedef boylam bilgileri elde edilir. Hedef bilgilerini içeren örnek cümle : #E40.9857619369801B29.0536665916443* şeklinde "#" cümle başlangıç karakteridir. "E" Enlem bilgisinin geleceğini bildiren karakterdir, bu karakterden sonra enlem bilgi karakterleri gelmektedir. "B" boylam bilgisinin geleceğini bildiren karakterdir, bu karakterden sonra boylam bilgi karakterleri gelmektedir. "*" hedef koordinat bilgilerini içeren cümlenin son karakteridir, cümlenin bittiğini bildirir. Bu cümle yapısı ile hedef enlem boylam bilgisi araca gönderilmiştir.

Hedefe yönelik için araç üzerinde bulunan GPS alıcısından alınan koordinatları ile kontrol biriminden gönderilen hedef koordinatları arasındaki açının hesaplanması gereklidir, bu hesap bir kaç trigonometrik formül ile yapılabilmektedir. Hedef açısı 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23 denklemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplar araç üzerinde bulunan işlemci birimi tarafından gerçekleştirilmektedir.

$$Bf = B2 - B1 \quad (3.20)$$

$$Yk = \sin Bf * \cos E2 \quad (3.21)$$

$$Xk = \cos E1 * \sin E2 - \sin E1 * \cos E2 * \cos Bf \quad (3.22)$$

$$K_{aç} = \tan^{-1} \frac{Yk}{Xk} \quad (3.23)$$

Formüllerde kullanılan "B1" araç üzerinde bulunan GPS alıcısı tarafından hesaplanan noktanın boylamını, "B2" kontrol birimi tarafından araca gönderilen hedef koordinatın boylamını ifade etmektedir. "E1" araç üzerinde bulunan GPS alıcısı tarafından hesaplanan noktanın enlemini, "E2" kontrol birimi tarafından araca gönderilen hedef koordinatın enlemini ifade etmektedir. "Bf" boyamlararası fark, "Yk", Y ekseni "Xk", X ekseni bileşkeleri ve son olarak "K_aç" koordinatlararası açıyı ifade etmektedir.

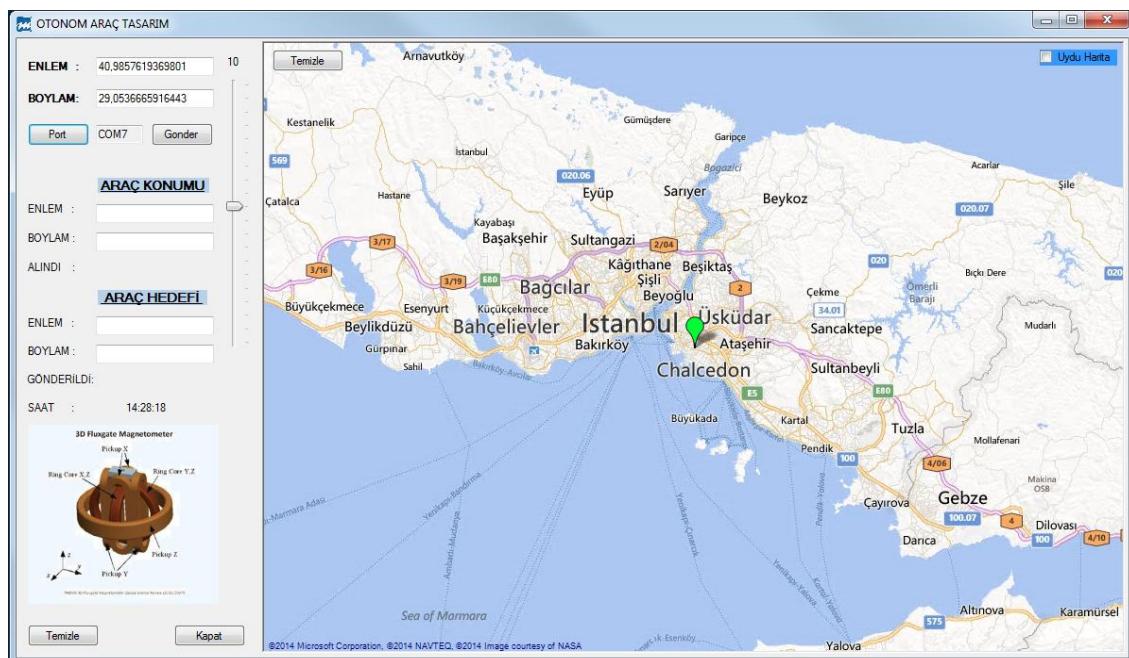
Koordinatlararası açı hedef açayı ifade etmektedir ve aracın hedefe yönelikimi, hedef açı ile araç baş açısı kıyaslanarak aynı doğrultuda olacak şekilde motorlara gerekli hareket bilgisi verilerek gerçekleştirilmektedir.

3.2.7 Otonom araç kontrol birimi yazılımları

Aracı yönlendirebilmek için iki farklı sistem gerçekleştirilmiştir. Birincisi sistem için üzerinde Android işletim sistemi çalışan telefon tercih edilmiştir. İkinci sistem için üzerinde Windows işletim sistemi çalışan dizüstü bilgisayar tercih edilmiştir.

Android işletim sistemleri için geliştirilmiş uygulama ile aracın manuel olarak hareketi sağlanmıştır. Kullanılan telefon ile araca yön kontrol bilgileri gönderilmiş ve aracın hareketi Bluetooth haberleşmesi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İkinci kontrol birimi olarak seçilen bilgisayar için Windows işletim sisteminde çalışacak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama arayüzü C Sharp (C#) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin araç ile haberleşmesi RF modül ile gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ile yalnızca otonom yönlendirme işlemlerine izin verilmiştir. Kontrol birimi görünümü Şekil 3-29 de görülmektedir.



Şekil 3-29: Otonom araç kontrol birimi uygulaması

Kontrol birimi hedef koordinatların belirleneceği uygulamanın sağ tarafına yerleştirilmiş bir harita ve araç bilgilerinin, çeşitli ayarlamaların yapıldığı sol tarafa yerleştirilmiş bilgi kutularından oluşmaktadır. Uygulama ile ilgili daha ayrıntılı resimler EK-4'de verilmiştir.

3.3 GNSS Destekli Prototip Otonom Aracın Çalışma Prensibi

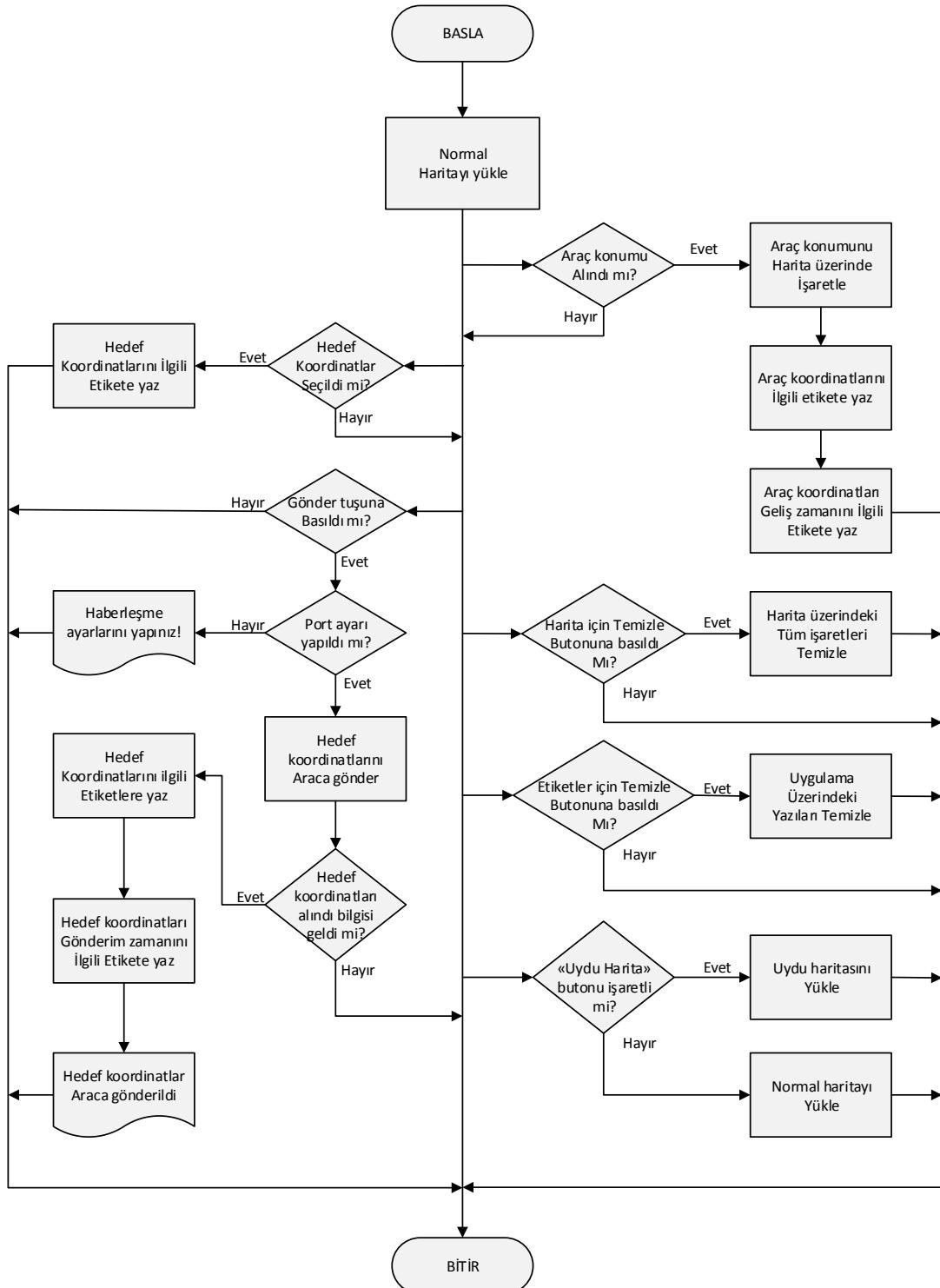
GNSS destekli prototip otonom araç tasarımını; kontrol birimi ve araç üzeri donanımlar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

3.3.1 Kontrol birimi yazılımları çalışma prensibi

Android tabanlı cihaz üzerinde çalışan kontrol yazılımı yardımcı ile aracı manuel ve otonom çalışma moduna sokabiliyoruz. Araç manuel modda iken yalnızca Android tabanlı yazılımının bulunduğu kontrol cihazıyla kontrol edilebilmektedir. Diğer kontrol cihazı ile manuel kontrol yapılmaması istenmiş ve tasarım buna göre yapılmıştır. Bu durum güvenlik gerekçesi ile tercih edilmiştir. Android tabanlı kontrol cihazı ile araç hız ayarı yapılabilmekte ve yön kontrolü sağlanabilmektedir. Kontrol cihazı tasarımında dört ana yöne ek olarak dört ara yön tuşları da eklenerken aracın daha hassas dönüşümleri gerçekleştirılmıştır. Var olan açık kaynak kodlu Android tabanlı bir yazılım otonom aracın manuel kontrolünü gerçekleştirecek şekilde uyarlanmıştır. Tasarımda manuel kontrol için Bluetooth haberleşme birimi kullanılmaktadır.

Uygulamada kullanılan diğer kontrol birimi Windows tabanlı kontrol birimidir. Kurulum dosyası C# yazılımı ile gerçekleştirılmıştır ve Windows tabanlı bilgisayarlara kurulumu gerçekleştirilebilmektedir. Windows tabanlı işletim sistemlerinde çalışan C# ile yazılımı gerçekleştirilen kontrol yazılımının akış diyagramı Şekil 3-30'de görülmektedir.

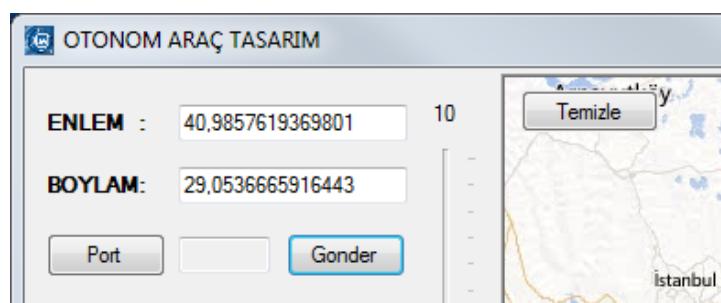
Uygulama ile kontrol işleminde kullanılacak seri haberleşme birimi ayarları yapılmakta ve hedef konumu olarak araca gönderilecek koordinatlar uygulama üzerinde bulunan harita yardımcı ile belirlenebilmektedir. Ayrıca seri haberleşme biriminden araç konum bilgileri alınarak harita üzerinde gösterilmektedir. Uygulamanın iki farklı harita görünümü vardır, harita görünümünü değiştirmek için sağ üst köşede bulunan radyo butonuna tıklanması gerekmektedir. Harita görüntülerini EK-4'de verilmiştir.



Şekil 3-30: GNSS destekli prototip otonom aracın kontrol yazılımı akış diyagramı

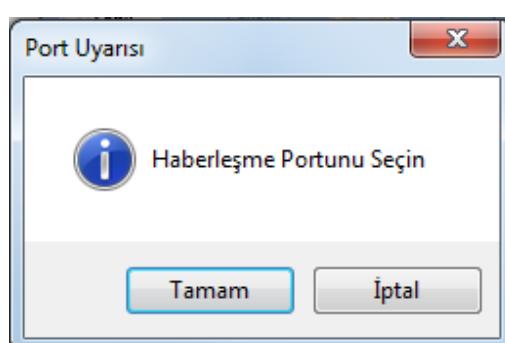
Araç Windows tabanlı kontrol birimi tarafından kontrol edilebilmesi için Android tabanlı kontrol birimi ile öncelikle araç otonom moda alınmalıdır. Windows tabanlı

kontrol birimi ile araç konum bilgileri alınarak bulundurduğu harita üzerinde konum belirleme işlemini gerçekleştirilebilmektedir. Aracın konumu harita üzerinde araç görünümüne benzer bir resim ile gösterilmektedir. Araç otonom modda iken hedef koordinatları bu birim tarafından araca gönderilmektedir. Hedef koordinatlar kontrol birimi üzerinde bulunan haritadan seçilir. Harita üzerinde istenilen hedef işaretlenir. Uygulama üzerinde bulunan haritada işaretlenen koordinatın enlem ve boylam değerleri Şekil 3-31 da görüldüğü gibi sol üst köşede bulunan ilgili etiketlerin yanında gösterilmektedir.



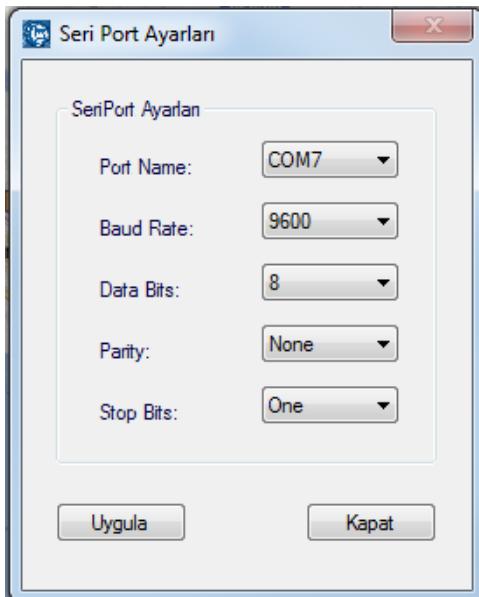
Şekil 3-31: Uygulama penceresinden örnek kesit

Hedef belirlendikten sonra "Gönder" tuşu ile koordinatlar araca yönlendirilir. Araca yönlendirme işlemi RF modül vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Hedef koordinatları gönderme işleminden önce RF modül için haberleşme ayarları yapılmalıdır. Ayarlar yapılmadan bilgi gönderilmek istendiğinde Şekil 3-32'da görüldüğü gibi bir uyarı mesajı belirecektir.



Şekil 3-32: Haberleşme birimi ayarları uyarısı

Kontrol birimi üzerinde bulunan "Port" tuşuna basıldığında RF modül seri haberleşme birimi ayarları için ilgili pencere Şekil 3-33 görüldüğü gibi açılır.

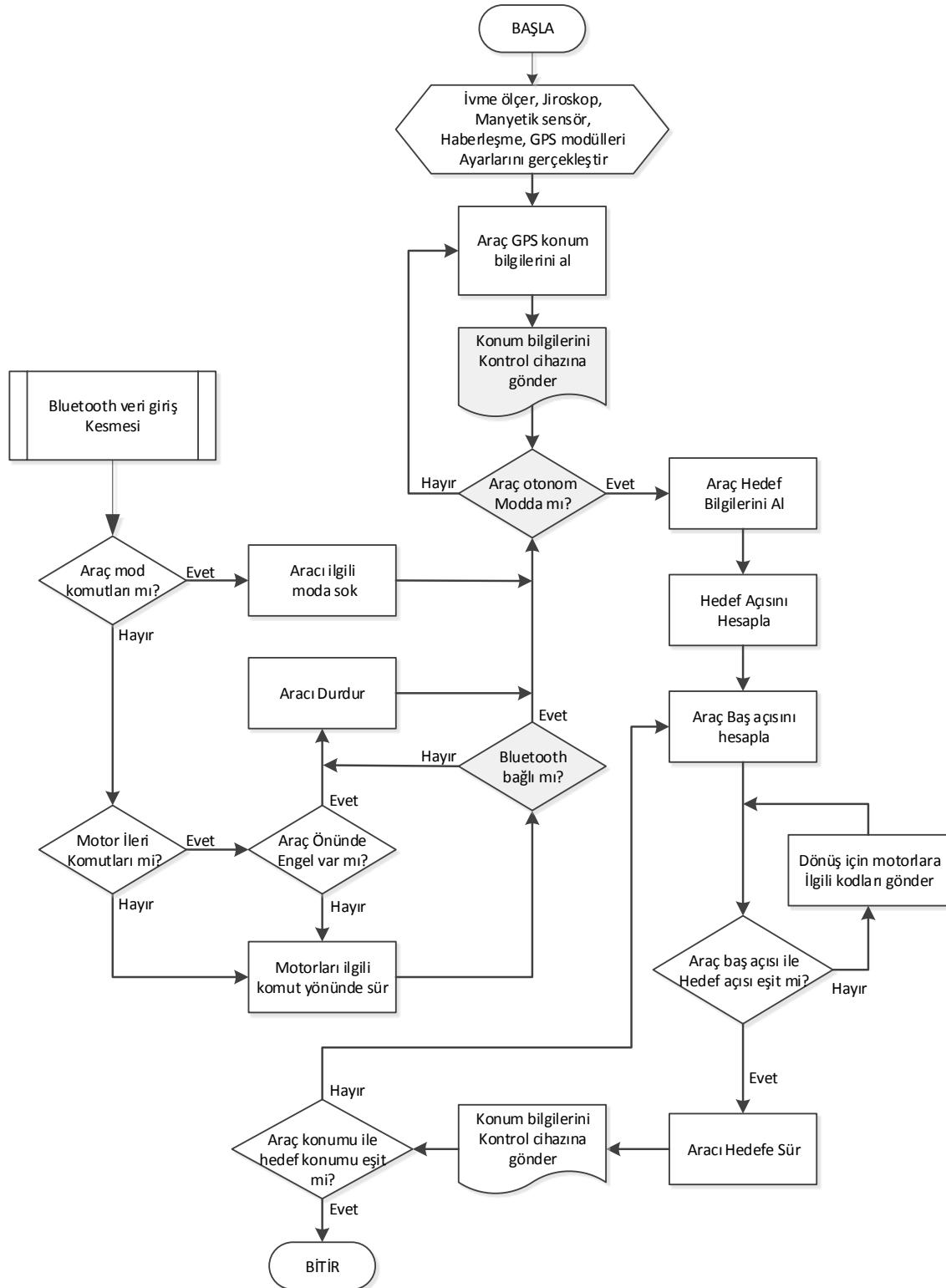


Şekil 3-33: Seri haberleşme birimi ayarları

Bu pencerede görülen yerler uygun değerler seçilerek doldurulur. Haberleşme birimi ayarları tamamlandıktan sonra araç ile iletişim gerçekleştirilir. "ARAÇ KONUMU" etiketinin altında bulunan enlem ve boylam etiketlerinin karşılarında aracın o anki enlem ve boylamı görmekte ve harita üzerinde işaretlenmektedir. "ARAÇ HEDEFİ" etiketinin altında bulunan değerler araca gönderilen son enlem ve boylam bilgilerini gösterir. Harita üzerindeki işaretçileri ve koordinat verilerini temizlemek için haritada ve koordinat verilerinin yazılı olduğu kısımda iki farklı "Temizle" butonu mevcuttur bu butonlar haberleşme birimi ayarları dışında tüm verileri ve işaretleri temizler.

3.3.2 GNSS destekli otonom aracın çalışma prensibi

GNSS destekli otonom araç çeşitli algılayıcılar ile donatılarak otonom görevin yerine getirilmesi sağlanmıştır. Tasarımda konum belirleme için GPS modülü, yön belirleme için elektronik pusula, açıölçer ve ivmeölçer, engel algılama amacıyla ultrasonik algılayıcılar, kablosuz haberleşmeyi sağlamak için RF ve Bluetooth modülleri, sistemin bütünlüğünü sağlayacak mikro denetleyici ve yardımcı elemanlar kullanılmıştır. Otonom aracın çalışma mantığını anlatan yazılım blok diyagramı Şekil 3-34' de gösterilmiştir.



Şekil 3-34: GNSS destekli prototip otonom aracın çalışması blok diyagramı

Araç çalıştırıldığı durumda ilk görevi algılayıcıların ve haberleşme birimlerinin ayarlarını yapmaktadır. Algılayıcıların kalibreleri test aşamasında yapılmış ve ilk açılısta işleme katılmaktadır. Araç üzerinde bulundurduğu GPS modülü ile konumunu belirleyerek koordinatlarını kontrol birimine göndermektedir. Araç ilk anda manuel modda çalışmaktadır, Android tabanlı kontrol birimi ile çalışma modu manuel ve otonom olarak değiştirilebilmektedir. Manuel modda iken Android tabanlı kontrol birimi ile araç bluetooth haberleşme birimi üzerinden manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Android tabanlı kontrol cihazı ile aracın çalışma modu değiştirilebilmekte, aracın hız ayarı yapılmakta ve sekiz kademeli yön kontrolü sağlanmaktadır.

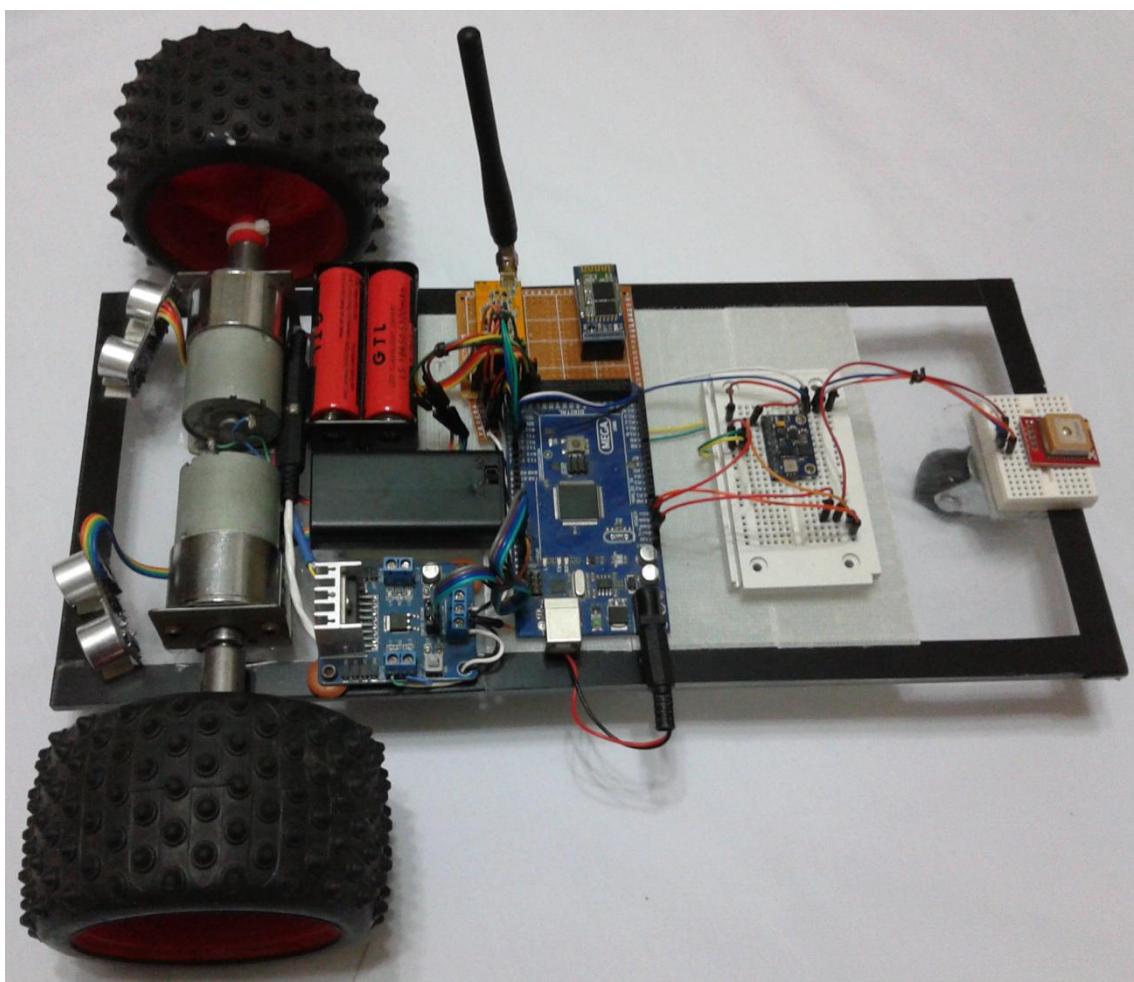
Araç otonom modda iken Windows tabanlı kontrol cihazı aktif olmaktadır. Kontrol cihazından hedef koordinatlar araca gönderilir ve aracın istenilen koordinata yönelmesi sağlanır. Aracın hedefe yönelmesi için hedef açısını bilmesi gereklidir. Araç, üzerinde bulundurduğu GPS yardımıyla belirdiği kendi koordinatları ile kontrol cihazından gönderilen hedef koordinatları arasındaki açıyı hesaplayarak yönelmesi gereken açıyı belirler. Aracın belirlenen hedef açısına yönelebilmesi için kendi yönünü yani baş açısını bilmesi gereklidir. Aracın baş açısı üzerine yerleştirilen 9 serbestlik dereceli ataletsel ölçüm ünitesi, 3 eksenli ivme ölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetik algılayıcı yardımı ile hesaplanır, hesaplanan açıda referans olarak kuzey yönü 0 derece kabul edilmektedir ve saat yönünde açı değeri artarak devam eder.

Hedefe yönelim sağlandıktan sonra araç hedefe doğru harekete başlar. Hareket halinde aracın konumu sürekli değişmektedir ve kendi konumu ile hedef konumu koordinatlarını sürekli karşılaştırır. Karşılaştırma belirlenen toleransta eşit görüldüğü durumda hedefe ulaşılmıştır. Bu süreçte aracın baş açısı beklenmedik sebeplerden dolayı değişimektedir, araç sürekli hedef açısını ve baş açısını hesapladığından muhtemel baş açısı değişikliklerinde araç tekrar hedef açısına yönlendirilmektedir. Bu şekilde aracın sürekli güzergah üzerinde ve hedef doğrultusunda olması sağlanmış olur. Aracın konumu, takip amacıyla sürekli Windows tabanlı kontrol birimine gönderilir. Araç hareket durumlarında önünde bulunan mesafe algılayıcıları ile sürekli engel taraması yapmaktadır, yazılımsal olarak belirlenen mesafe kadar engele yaklaşıldığında olası çarpışmaları önlemek için araç durdurulur.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 SONUÇ

GNSS destekli prototip otonom araç tasarımında belirlenen hedefler proje sonunda gerçekleştirilmiştir. Araç üzerinde bulunan algılayıcılar yardımı ile aracın belirlenen hedefe ulaşması 3.3.2' de belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4-1'de aracın son hali görülmektedir.



Şekil 4-1: GNSS destekli prototip otonom aracın görünümü

Araç üzerinde; hareketi sağlamak için iki adet motor ve motorlara bağlı iki adet tekerlek, motorlara hareketi sağlayacak gücü iletmek için motor sürüyü devresi, motorları ve diğer çevre birimlerinin beslemesini sağlamak amacıyla iki adet bağımsız kaynak, araç önünde oluşabilecek muhtemel engelleri algılayabilmek amacıyla iki adet ultrasonik mesafe algılayıcı, araç ile kontrol birimleri arasında haberleşmeyi sağlamak

amacı ile RF modül ve Bluetooth modül, aracın baş açısını hesaplamak için elektronik kumpas ve elektronik kumpas konum hatalarını gidermek amacı ile jiroskop ve ivmeölçer, aracın konumunu belirleme amacı ile GPS modülü ve bu birimleri koordineli olarak çalıştıracak ve kontrol edecek işlemci birimi kullanılmıştır.

Aracın kontrolü, manuel ve otonom olmak üzere İki şekilde yapılmaktadır. İki farklı çalışma modu için iki farklı kontrol birimi kullanılmaktadır.

Manuel kontrol için üzerinde Android işletim sistemi bulunan akıllı telefon kullanılmıştır. Akıllı telefon ile manuel kontrol komutlarını araca göndermek için telefonun Bluetooth haberleşme birimi kullanılmıştır. Manuel kontrol durumunda akıllı telefondan gönderilen kontrol komutlarının araç tarafından alınabilmesi için araç üzerinde bulunan Bluetooth haberleşme birimi aktif olarak görev yapmaktadır. Aracı hareket ettirecek komutlar Bluetooth birimi üzerinden alınarak ilgili komuta göre motorlar sürülmektedir.

Bluetooth haberleşmesinde oluşabilecek herhangi bir kesinti durumunda kontrollsüz hareketi engellemek için güvenlik önlemleri alınmıştır. Araç manuel modda iken, Bluetooth biriminin bağlı bulunduğu haberleşme hattından araç kontrol komutlarının alınması 1sn' den daha fazla sürmesi durumunda Bluetooth haberleşmesinde yada kontrol cihazında bir arıza durumu olduğu düşünülerek olası kazaların önüne geçmek için araç durdurulmaktadır.

Aracın diğer çalışma modu ise otonom hareketin gerçekleştireceği otonom çalışma modudur. Otonom hareketin gerçekleştirilebilmesi için ilk şart aracın otonom moda alınması gereklidir, araç Android kontrol birimi ile otonom yada manuel moda alınabilmektedir. Araç otonom görevde başlayabilmesi için gereken ikinci şart hedef koordinatlarının alınmasıdır. Bu şartı sağlamak amacıyla Windows işletim sisteminde çalışan kontrol uygulaması aracılığı ile araca hedef koordinatların gönderilmesi gereklidir. Araç otonom modda iken, otonom hareketin gerçekleştirilebilmesi için ayrıca aracın baş açısının ve araç konumunun bilinmesi gerekmektedir.

Aracın konum belirleme sistemi herhangi bir moda bağımlı olmadan araç üzerinde bulunan GPS alıcısı ile iki saniyelik aralıklarla hesaplanarak Windows işletim sisteminde çalışan kontrol uygulamasına gönderilerek aracın takibi yapılmaktadır.

Araç otonom modda iken, araç üzerinde bulunan işlemci biriminin her çevriminde ivmeölçer, jiroskop ve elektronik pusula'nın verileri alınarak araç baş açısı hesaplamaktadır. Ayrıca aracın hedef açısını belirlemek için yine her çevrimde araç üzerinde bulunan GPS ten alınan araç konum koordinatları ile kontrol biriminden gönderilen hedef koordinatlarının oluşturduğu doğrunun açısı hesaplanmaktadır. Hesaplanan baş açısı ile hedef açı kıyaslanarak aracın hedefe yönelik motorların sürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler işlemci biriminin her çevrimde hesaplanarak kontrol edilmektedir. Bu şekilde güzergah üzerinde herhangi bir etkeden dolayı aracın baş açısının değişmesi durumunda araç tekrar hedefe yönelebilmektedir.

Aracın GPS sinyalini kaybetmesi durumunda hatalı yönelik engellemek için güvenlik önlemleri alınmıştır. Araç otonom modda iken GPS sinyalinin alınamaması altı saniyeden daha fazla sürmesi durumunda hatalı yönelik engellemek için araç durdurulmaktadır. GPS sinyalinin tekrar alınması durumunda araç otonom harekete tekrar devam etmektedir.

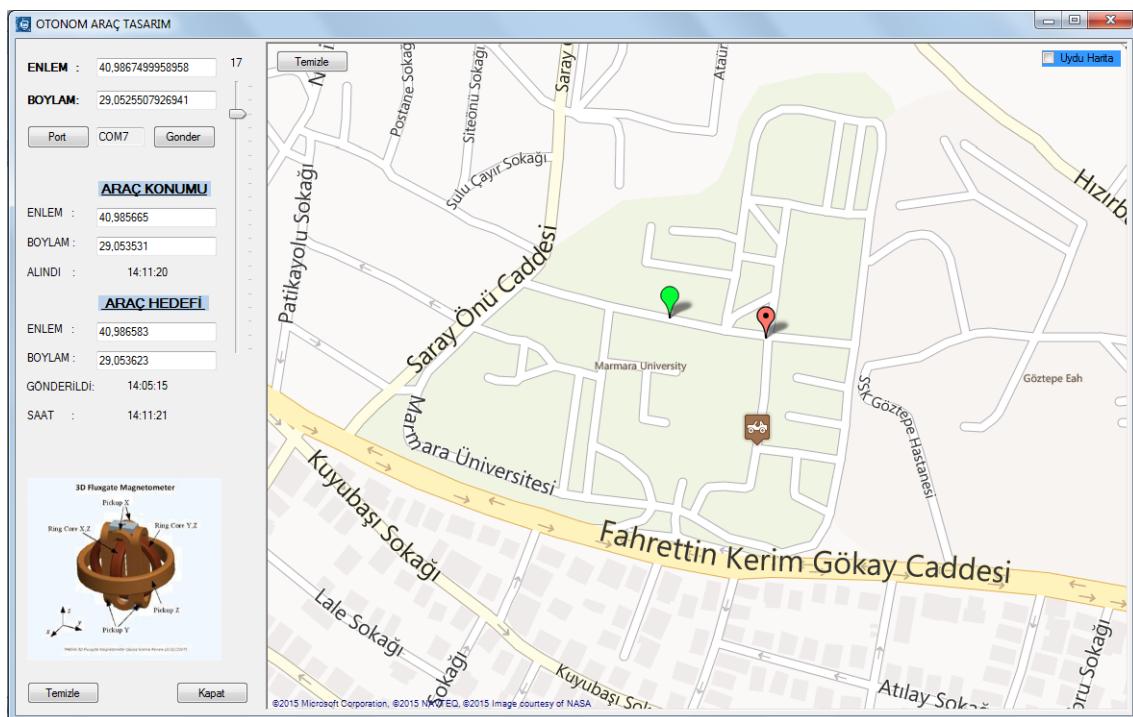
Otonom ve manuel modda araç hareket halinde iken aracın önündeki engellerin algılanması için ultrasonik mesafe algılayıcılar kullanılmıştır. Araç önünde 30cm lik mesafede engel algılandığı durumda araç durdurulmaktadır.

Şekil 4-2'de aracın kontrol yazılımı ekran görüntüsü görülmektedir. Aracın konumu araç şeklindeki ikon ile harita üzerinde belirtilmektedir. Araca gönderilen hedef koordinatlarının bulunduğu yer kırmızı renkte damla şeklinde belirlenmiştir. Harita üzerinde seçilen bölge ise yeşil renk ile belirtilmektedir. Harita üzerinde seçilen bölge araca gönderildiği anda kırmızı rengi almaktadır, araç haritada kırmızı renkte damla şeklinde belirtilen noktaya hareket etmektedir.

Gönderilen hedef koordinatların araç tarafından sağlıklı olarak alınıp alınmadığı kontrol edilerek haberleşmenin durumu doğrulanmaktadır. Bu durum araca gönderilen bilginin araç tarafından farklı formatta tekrar kontrol birimine gönderilmesi ile sağlanmaktadır.

Şekil 4-2'de kontrol birimi arayüzünde sol orta kısımda "ARAÇ KONUMU" ve "ARAÇ HEDEFİ" etiketleri görülmektedir. Kontrol birimi tarafından araca hedef koordinatları gönderildikten ve veri transferinin sağlıklı olduğu kontrol edildikten sonra "Araç Hedefi" etiketinin altında bulunan ilgili koordinat kutuları araca gönderilen koordinatlar

ile doldurulmaktadır. Hedef koordinatlarının araca gönderilme saatı gönderilme süresini belirtmek amacıyla bir alt satırda "GÖNDERİLDİ" etiketinin yanına kaydedilmektedir.



Şekil 4-2: GNSS destekli otonom araç kontrol ve takip programı

"ARAÇ KONUMU" etiketinin bulunduğu alan kontrol birimi tarafından aracın konum bilgileri alındığı anda güncellenmektedir. "ALINDI" etiketinin yanında araçtan alınan koordinatların geliş saati yazılmaktadır. "ALINDI" ve "GÖNDERİLDİ" etiketlerinde yazılı olan süreler "saat:dakika:saniye" şeklinde yazılmaktadır. Bu sürelerin kıyaslanabilmesi için sistemin saatini gösterecek şekilde "SAAT" etiketinin yanına sistem saatı yazılmaktadır.

Bu ve benzeri sistemlerle donatılmış araçların arttırılması ile trafik insanlar için stres kaynağı olmaktan çıkacak, araçlar insan hatalarından arındırılmış ortamda hızlı ve hassas algılayıcılar ile daha güvenli sürüş gerçekleştirebilecektir. Otonom sistemi araçlar ile yolların kapasitesi verimli kullanılabilecek ve trafikteki düzen hızlı ulaşımı da beraberinde getirecektir. Gelişmiş sistemlerle donatılmış araçlar kendi aralarında haberleşerek diğer araçlar hakkında araç durumları, güzergâh bilgileri gibi bilgileri kullanarak gerekli önlemleri alabilecek ve bu şekilde güvenli sürüs gerçekleştirebileceklerdir.

4.2 ÖNERİLER

Araç prototip şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle ihtiyacı karşılayacak şekilde çevre birimleri seçilmiştir, yeni tasarımlarda çevre birimleri güçlendirilebilir. Araç için konum belirleme amacı ile GPS modülü kullanılmıştır. GPS hatalarını indirmek ve daha hassas konum elde etmek için GSM modüller ile AGPS özelliği kullanılabilir. Bu şekilde GSM şebekelerinin bilgileri de kullanılarak hassas konumlar elde edilmektedir. Ayrıca konum belirleme amacı ile GLONASS gibi farklı konum belirleme sistemlerinin alicları da kullanılarak konum kararlığı arttırılabilir. GLONASS ve GPS sistemlerini kullanı tek yonga içinde alicilar üretilmektedir.

Engel algılama amacı ile ultrasonik algılayıcılar kullanılmıştır, daha hassas ve kararlı ölçümler için lazer ışınları ile ölçüm yapabilen LIDAR algılayıcılar kullanılabilir. LIDAR ile üç boyutlu ölçümler yapılarak derinlik algısı oluşturulabilir. Araçta kullanılan motorlar 100rpm 6V ile çalışmaktadır, istenilen hız değerlerine göre uygun tasarımlar gerçekleştirilebilir. Araç mekanığında dönüş amacı ile kullanılan iki motor mevcuttur ve dönüş hareketi motorların farklı değerde yönlendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir, aracın dönüş mekanığı yönelen tekerlekler kullanılarak geliştirilebilir.

Araçta kullanılan haberleşme birimlerinin sınırlı kullanım mesafeleri vardır, bu sınırlardan kurtulmak için GPRS modülleri kullanılarak GSM sistemleri ile araç kontrolü sağlanabilir. Araç üzerine yerleştirilecek kamera ile gerçek zamanlı görüntüyü takip sistemi oluşturulabilir. Ayrıca eklenecek kamera ile görüntü işleme yöntemleriyle aracın çevre birimlerini tanımı kolaylaştırılabilir ve yol üzerindeki yol çizgileri, kaldırım gibi referans noktalar dikkate alınarak aracın yolun istenilen konumunda yol alması sağlanabilir.

Araç üzerine yerleştirilen 9 serbestlik dereceli ataletsel ölçüm ünitesi, 3 eksenli ivme ölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetik algılayıcı ile araç GPS sinyalini kaybettiği durumda konum hesabını yapacak sistemler geliştirilebilir. Araç üzeri algılayıcıların arttırılması ile aracın kararlılığı artırılarak güvenli yol alması sağlanabilir. Araç üzerinde bulunan işlemci birimi üzerindeki donanımlar için yeterli durumdadır, arttırlacak donanımlara göre yeni sistemler oluşturulması gerekecektir.

KAYNAKLAR

- [1] E. BAYRAKTAR, DESIGN AND CONTROL OF AN AUTONOMOUS BLIMP, İstanbul, 2013.
- [2] H. BAYKUT., A. ÖZKAN. ve E. USTA.: «Arçelik A.Ş. ATGM Tuzla,» İstanbul.
- [3] K. Jung-Ha, M.-W. Park ve Y.-J. Son, «Design of the Real Time Control System for Controlling Unmanned Vehicle,» içinde International Conference on Control, Automation and Systems 2007, Seoul, Korea, (2007).
- [4] J. Niccolai, «<http://www.computerworld.com>,» IDG News Service, 25 09 2012.
http://www.computerworld.com/s/article/9231707/Self_driving_cars_a_reality_for_39 Ordinary_people_39_within_5_years_says_Google_39_s_Sergey_Brin.
[23 11 2014 tarihinde erişilmiştir].
- [5] D. P, «Advanced Research with Autonomous Unmanned Aerial Vehicles,» Proceedings of the 9th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, (2004).
- [6] E. H., «A Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV):System Overview and Image Acquisition,» International Workshop on processing and Visualization Using High resolution Imagery,, Pitsanulook, Thailand., (2004).
- [7] L. Bayraktar. ve N. Kundak.: «İnsansız Hava Araçları İçin Uçuş Kontrol Sistemleri ve Test Edilmiş Bir Uygulama,» İstanbul, (2005).
- [8] Havacılık ve Uzay Teknolojileri, cilt 4, no. (1-10), OCAK (2009).
- [9] S. BİLDİK, DESIGN OF AUTONOMOUS VEHICLE FOR GREENHOUSES, Degree of Master of Science in Mechanical Engineering, İzmir, 2013.

- [10] K. N. M. Szabo, M. Juberts, S. A. Legowik, M. Nashman, H. Schneiderman, H. A. Scott ve Sandor, «Ground Vehicle Control at NIST: from Teleoperation to Autonomy,» Robot Systems Division National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, (1993).
- [11] M. R. Kurjanowicz, DARPA Grand Challenge October 8, 2005, 2005.
- [12] D. T. Tether, Grand Challenge 2005, Defence Advanced Research Projects Agency, 2005.
- [13] DARPA, «<http://www.darpa.mil>,»
<http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2014/06/26.aspx>.
[23 Kasım 2014 tarihinde erişilmiştir].
- [14] P. D. Ü. Özgüler, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Columbus,, İstanbul, (2012).
- [15] D. S. E. Sebastian Thrun, Google, 09 10 2010.
<http://googleblog.blogspot.com.tr/2010/10/what-were-driving-at.html>.
[03 07 2014 tarihinde erişilmiştir].
- [16] ASELSAN, «www.aselsan.com.tr,»
<http://www.aselsan.com.tr/content.aspx?mid=375&oid=477>.
[21 10 2012 tarihinde erişilmiştir].
- [17] ASELSAN,«www.aselsan.com.tr,»
<http://www.aselsan.com.tr/tr-tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/insansiz-araclar/kaplan-insansiz-kara-araci-ailesi>. [23 11 2014 tarihinde erişilmiştir].
- [18] A. S. M. C. E. Lunca, Implementing The I2C Communication Protocol In Labview, Romanya.

- [19] SINGLE-CHIP USB to UART Bridge, Austin, Teksas: Silicon Labs, 2010.
- [20] Texas Instruments, KeyStone Architecture Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART), Texas: Texas Instruments Incorporated, 2010.
- [21] S.K.R.a.J.Mullins,«solarsystem.nasa.gov,»
https://solarsystem.nasa.gov/scitech/display.cfm?ST_ID=327.
[17 01 2015 tarihinde erişilmiştir].
- [22] «<http://www.gyroscopes.org/>,»
<http://www.gyroscopes.org/history.asp>. [17 01 2015 tarihinde erişilmiştir].
- [23] Honeywell, COMPASS HEADING USING MAGNETOMETERS, Honeywell.
- [24] D. H. L. D. E. W. Dr. Bernhard Hofmann-Wellenhof, GNSS – Global Navigation Satellite Systems, Avusturya: ISBN 978-3-211-73012-6 SpringerWienNewYork, 2008.
- [25] C. J. H. Elliott D. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, Boston/London: Artech House, 2006.
- [26] China Satellite Navigation Office, «www.beidou.gov.cn,»
<http://www.beidou.gov.cn/2012/10/30/201210300e67037a54b24289b8eb97324d02569e.html>. [17 01 2015 tarihinde erişilmiştir].
- [27] «Federal Space Agency, Information-Analytical Centre,» Federal Space Agency,
<https://glonass-iac.ru/en/GPS/>. [16 01 2015 tarihinde erişilmiştir].
- [28] R. C. Kristina Dems, «www.brighthub.com,»
<http://www.brighthub.com/electronics/gps/articles/73766.aspx>.
[17 01 2015 tarihinde erişilmiştir].

- [29] «NAVIGATION CENTER,» U.S Department of Homeland Security,
<http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPSmain>.
[23.11.2014 tarihinde erişilmiştir].
- [30] N. Ersoy, İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS Ölçüleri ile Değerlendirilmesi Ve Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üni., İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, 1997.
- [31] «www.hgk.msb.gov.tr,» Harita Genel Komutanlığı,
http://www.hgk.msb.gov.tr/egitim/konular/koordinat_sis/koordinat_sis.htm.
[09 07 2014 tarihinde erişilmiştir].
- [32] B. Üniversitesi, «Jeodezi nedir? Datum, Koordinat Sistemleri, Harita Projeksiyonları,» jeodezi.boun.edu.tr, İstanbul, 2014.
- [33] D. A. El-Rabbany, Introduction to GPS Global Positioning System, Toronto, Canada: Artech House, 2002.
- [34] Analog Device, ADXL345 Data Sheet, U.S.A.: www.analog.com, 2013.
- [35] C. J. Fisher, Using an Accelerometer for Inclination Sensing, USA: Analog Devices, 2010.
- [36] DARPA, «<http://www.darpa.mil/>,»
<http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>. [23 11 2014 tarihinde erişilmiştir].

EKLER

EK-1. GPS, GLONASS ve Galileo Özellikleri[24]

Characteristic	GPS	GLONASS	Galileo
First launch	February 22, 1978	October 12, 1982	December 28, 2005
Full operational capability	July 17, 1995	January 18, 1996	2012/2013 ⁽¹⁾
Funding	public	public & private	
Nominal number of SV	24	24	27
Orbital planes	6	3	3
Orbit inclination	55°	64.8°	56°
Semimajor axis	26 560 km	25 508 km	29 601 km
Orbit plane separation	60°	120°	120°
Phase within planes	irregular	±30°	±40°
Revolution period	11h 57.96 min	11h 15.73 min	14h 4.75 min
Ground track repeat period	~1 sidereal day	~8 sidereal days	~10 sidereal days
Ground track repeat orbits	2	17	17
Ephemerides data	Kepler elements, correction coefficients	position, velocity, acceleration vectors	Kepler elements, correction coefficients
Geodetic reference system	WGS-84	PE-90	GTRF
Time system	GPS time, UTC (USNO)	GLONASS time, UTC(SU)	Galileo system time
Leap seconds	no	yes	no
Signal separation	CDMA	FDMA	CDMA
Number of frequencies	3 – L1, L2, L5	one per two antipodal SV	3(4) – E1, E6, E5(E5a, E5b)
Frequency [MHz]	L1: 1 575.420 L2: 1 227.600 L5: 1 176.450	G1: 1 602.000 G2: 1 246.000 G3: 1 204.704 ⁽¹⁾ 6 ⁽¹⁾	E1: 1 575.420 E6: 1 278.750 E5: 1 191.795 10
Number of ranging codes	11	No (GPS III: yes)	No (GLONASS-K: yes ⁽¹⁾)
Integrity transmission	No	Yes	Yes

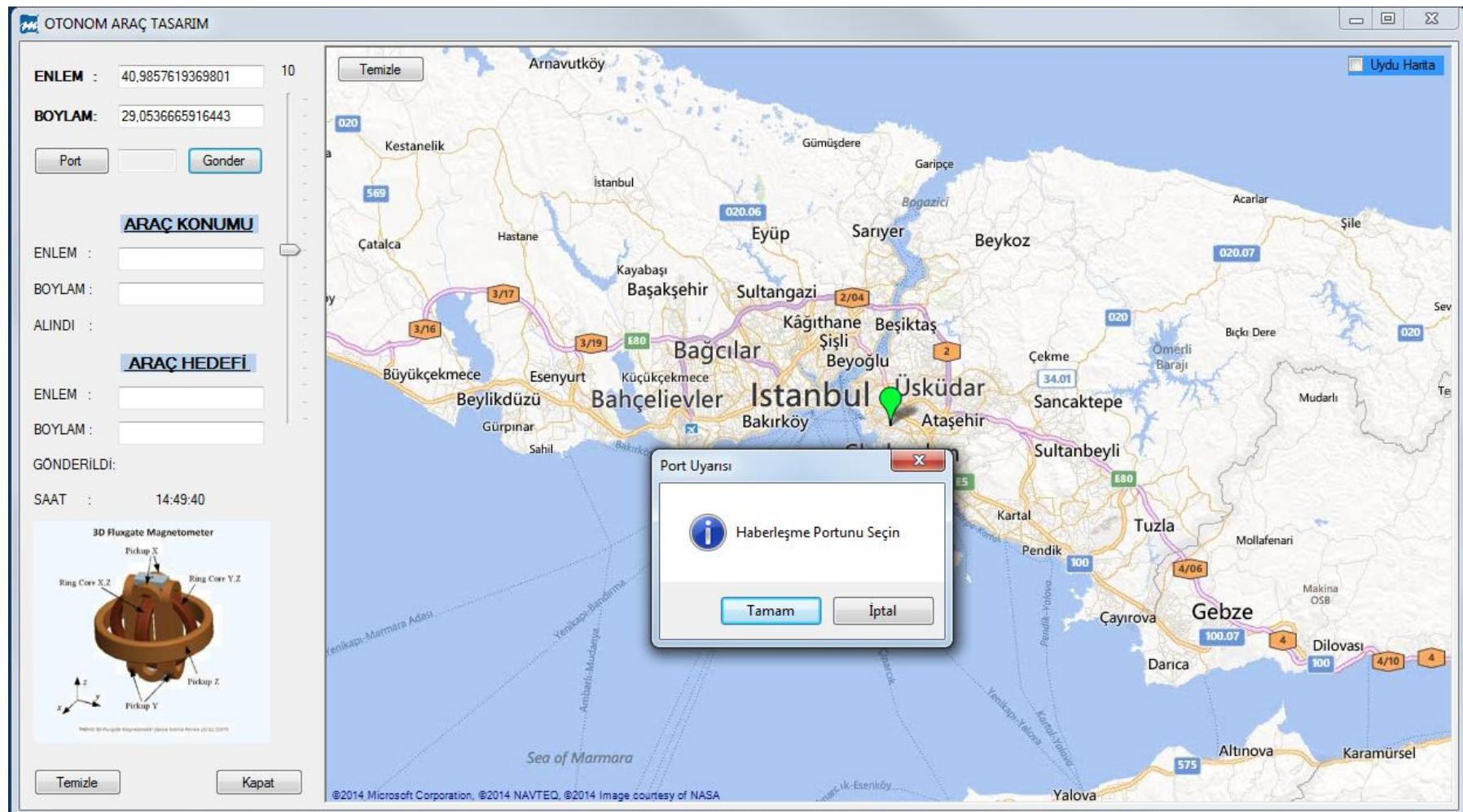
EK-2. ADXL345 adresleri

Address		Name	Type	Reset Value	Description
Hex	Dec				
0x00	0	DEVID	R	11100101	Device ID
0x01 to 0x1C	1 to 28	Reserved			Reserved; do not access
0x1D	29	THRESH_TAP	R/W	00000000	Tap threshold
0x1E	30	OFSX	R/W	00000000	X-axis offset
0x1F	31	OFSY	R/W	00000000	Y-axis offset
0x20	32	OFSZ	R/W	00000000	Z-axis offset
0x21	33	DUR	R/W	00000000	Tap duration
0x22	34	Latent	R/W	00000000	Tap latency
0x23	35	Window	R/W	00000000	Tap window
0x24	36	THRESH_ACT	R/W	00000000	Activity threshold
0x25	37	THRESH_INACT	R/W	00000000	Inactivity threshold
0x26	38	TIME_INACT	R/W	00000000	Inactivity time
0x27	39	ACT_INACT_CTL	R/W	00000000	Axis enable control for activity and inactivity detection
0x28	40	THRESH_FF	R/W	00000000	Free-fall threshold
0x29	41	TIME_FF	R/W	00000000	Free-fall time
0x2A	42	TAP_AXES	R/W	00000000	Axis control for single tap/double tap
0x2B	43	ACT_TAP_STATUS	R	00000000	Source of single tap/double tap
0x2C	44	BW_RATE	R/W	00001010	Data rate and power mode control
0x2D	45	POWER_CTL	R/W	00000000	Power-saving features control
0x2E	46	INT_ENABLE	R/W	00000000	Interrupt enable control
0x2F	47	INT_MAP	R/W	00000000	Interrupt mapping control
0x30	48	INT_SOURCE	R	00000010	Source of interrupts
0x31	49	DATA_FORMAT	R/W	00000000	Data format control
0x32	50	DATAX0	R	00000000	X-Axis Data 0
0x33	51	DATAX1	R	00000000	X-Axis Data 1
0x34	52	DATAY0	R	00000000	Y-Axis Data 0
0x35	53	DATAY1	R	00000000	Y-Axis Data 1
0x36	54	DATAZ0	R	00000000	Z-Axis Data 0
0x37	55	DATAZ1	R	00000000	Z-Axis Data 1
0x38	56	FIFO_CTL	R/W	00000000	FIFO control
0x39	57	FIFO_STATUS	R	00000000	FIFO status

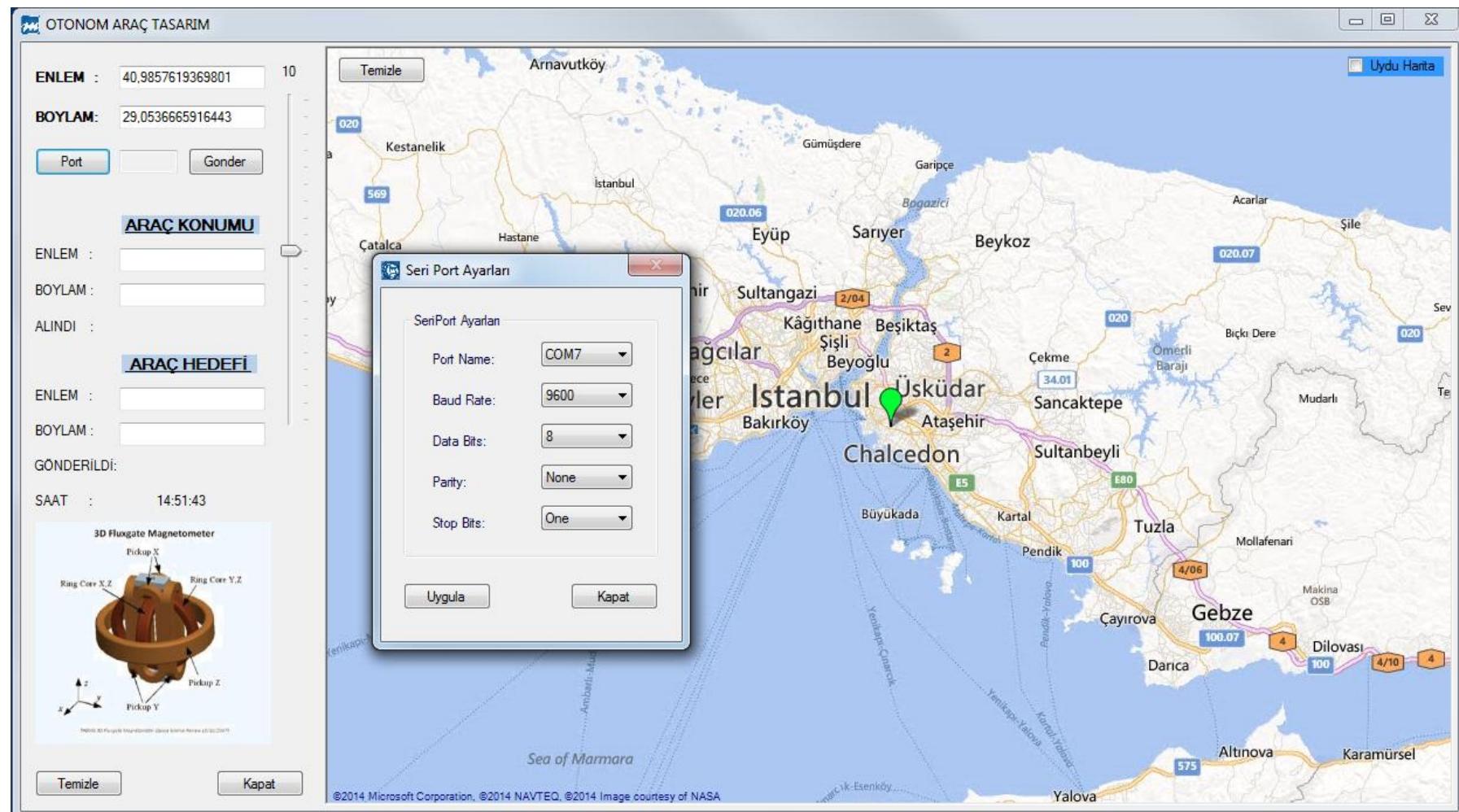
EK-3. L3G4200D Adresleri

Name	Type	Register address		Default	Comment
		Hex	Binary		
Reserved	-	00-0E	-	-	
WHO_AM_I	r	0F	000 1111	11010011	
Reserved	-	10-1F	-	-	
CTRL_REG1	rw	20	010 0000	00000111	
CTRL_REG2	rw	21	010 0001	00000000	
CTRL_REG3	rw	22	010 0010	00000000	
CTRL_REG4	rw	23	010 0011	00000000	
CTRL_REG5	rw	24	010 0100	00000000	
REFERENCE	rw	25	010 0101	00000000	
OUT_TEMP	r	26	010 0110	output	
STATUS_REG	r	27	010 0111	output	
OUT_X_L	r	28	010 1000	output	
OUT_X_H	r	29	010 1001	output	
OUT_Y_L	r	2A	010 1010	output	
OUT_Y_H	r	2B	010 1011	output	
OUT_Z_L	r	2C	010 1100	output	
OUT_Z_H	r	2D	010 1101	output	
FIFO_CTRL_REG	rw	2E	010 1110	00000000	
FIFO_SRC_REG	r	2F	010 1111	output	
INT1_CFG	rw	30	011 0000	00000000	
INT1_SRC	r	31	011 0001	output	
INT1_TSH_XH	rw	32	011 0010	00000000	
INT1_TSH_XL	rw	33	011 0011	00000000	
INT1_TSH_YH	rw	34	011 0100	00000000	
INT1_TSH_YL	rw	35	011 0101	00000000	
INT1_TSH_ZH	rw	36	011 0110	00000000	
INT1_TSH_ZL	rw	37	011 0111	00000000	
INT1_DURATION	rw	38	011 1000	00000000	

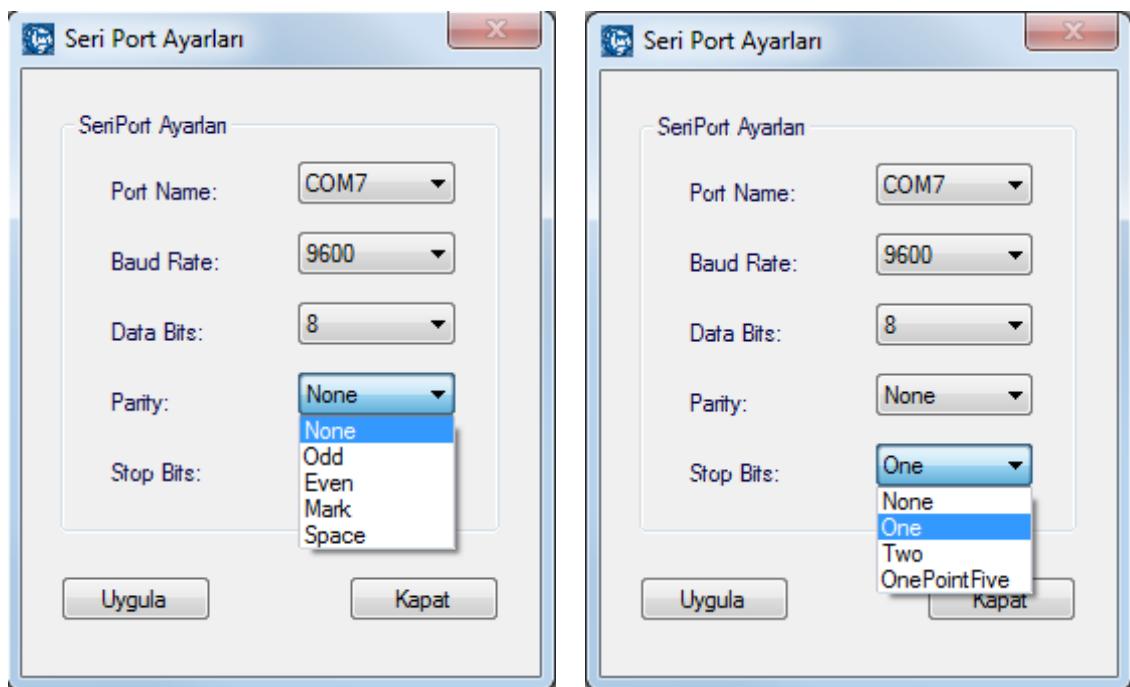
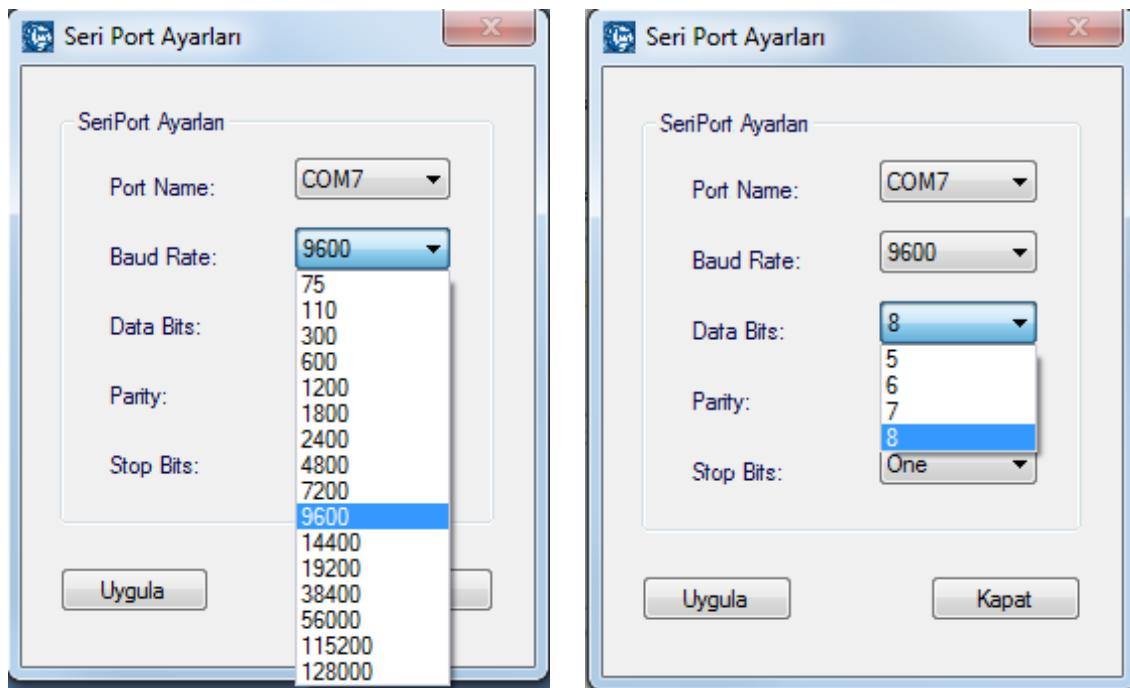
EK-4. Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü.



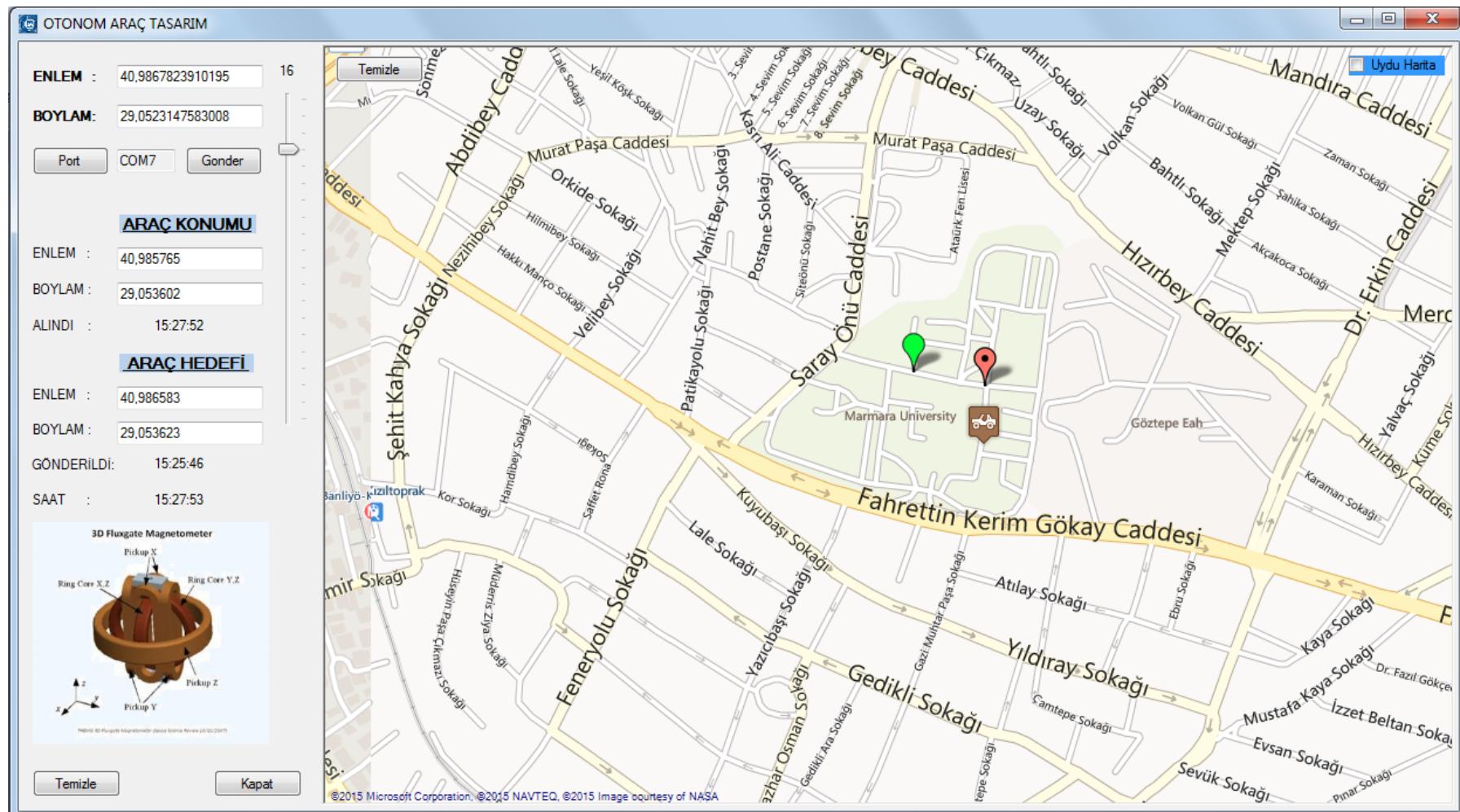
EK-4 Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü. (Devam)



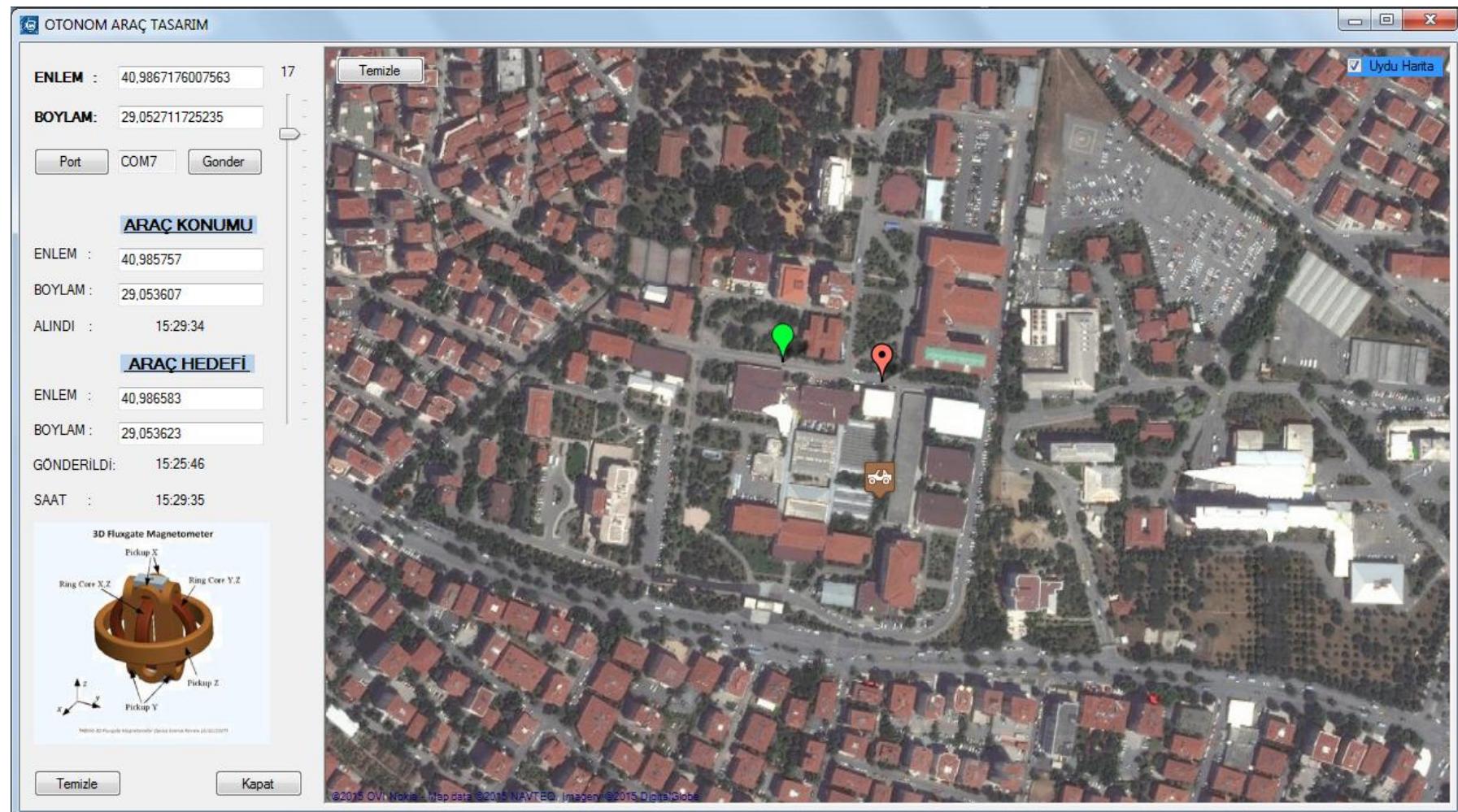
EK-4 Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü. (Devam)



EK-4 Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü. (Devam)



EK-4 Windows tabanlı kontrol birimi arayüzü. (Devam)



EK-5. Yazılım Parçaları

"Kontrol birimi tarafından gönderilen hedef koordinatlarının alınması;"

```
while(Serial2.available() > 0) // RF portu üzerinden Hedef koordinatlar Alınıyor.
```

```
{ // data format ("#E" + textBox1.Text + "B" + textBox2.Text + "*")  
if (Serial2.read() == '#')  
{ if (Serial2.read() == 'E')  
{  
Serial2.readBytesUntil ( 'B', RF_Slat, 20 ); //string_lat  
Serial2.readBytesUntil ( '*', RF_Slong, 20 ); //string_long  
Hedef_lat = atof(RF_Slat);  
Hedef_long = atof(RF_Slong);  
Hedef = true; // Hedefe ulaşılınca False yapılacak  
memset(RF_Slat, 0, sizeof(RF_Slat)); memset(RF_Slong, 0, sizeof(RF_Slong));  
Serial2.print("#K"); Serial2.print(Hedef_lat,6); Serial2.print("G");  
Serial2.print(Hedef_long,6); Serial2.println("*"); // gelen araca gönderildi  
}  
}  
}  
}
```

"Koordinatlar arası açının hesabında kullanılan program parçası;"

```
int GPS_ACISI(float point_lat1,float point_lon1,float point_lat2,float  
point_lon2)
```

```
{ float dLon = (point_lon2 - point_lon1) / 57.3248;  
float lat1 = point_lat1 / 57.3248;  
float lat2 = point_lat2 / 57.3248;  
float y = sin(dLon) * cos(lat2);  
float x = cos(lat1)*sin(lat2) - sin(lat1)*cos(lat2)*cos(dLon);  
float bearing = atan2(y, x) *57.3248;  
bearing = int (bearing + 360)%360;  
return bearing;
```

```
}
```

EK-5. Yazılım Parçaları (Devam)

"Araç baş açısının belirlenmesinde kullanılan program parçası;"

```
*****Magnetometer_açı_hesabı*****
int Get_Heading()
{
    ACCEL_Pitch = 57.295*atan((float)(ax-Acc_zeroValue[0]) /
        sqrt(pow((float)az,2) + pow((float)(ay-Acc_zeroValue[1]),2)));
    ACCEL_Roll = 57.295*atan((float)-(ay-Acc_zeroValue[1]) /
        sqrt(pow((float)az,2) + pow((float)(ax-Acc_zeroValue[0]),2)));
    double gyroXrate = -((gx-GyrozeroValue[0]) *0.07);
    double gyroYrate = -((gy-GyrozeroValue[1]) *0.07);
    compAngleX = (0.93 * (compAngleX + gyroYrate *(float)((micros()
        - timer_gyro) / 1000000))) + (0.07 * ACCEL_Pitch);
    compAngleY = (0.93 * (compAngleY + gyroXrate *(float)((micros() -
        timer_gyro) / 1000000))) + (0.07 * ACCEL_Roll); //(gyroYrate
    *((double)(micros() - timer_gyro) / 1000000))
    timer_gyro = micros();
    int tiltheading = HeadingTilt(mx, my, mz, compAngleX,compAngleY);
    return (tiltheading);
}*****Magnetometer_açı_hesabı*****
```

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Kemal YUMRUKTAY 1986 Ekim ayında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Atatürk Teknik Lisesi Elektronik Bölümünü birincilik ile bitirdi. Marmara Üniversitesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı İngilizce Lisans eğitimini 2010 yılında tamamlandı. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

2011 Ağustos ayında Türk Hava Yolları Uçak bakımı Aviyonik biriminde görev almaya başladı. 2014 yılı Ağustos ayından itibaren Türk Hava Yolları Teknik A.Ş AR-GE biriminde görev almaktadır.