

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GPS DESTEKLİ UZAKTAN KOMUTALI SABİT SİLAH PLATFORMUNUN
TASARIMI VE YÖNLENDİRİLMESİ**

Osman ECEOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GPS DESTEKLİ UZAKTAN KOMUTALI SABİT SİLAH PLATFORMUNUN
TASARIMI VE YÖNLENDİRİLMESİ**

Osman ECEOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GPS DESTEKLİ UZAKTAN KOMUTALI SABİT SİLAH PLATFORMUNUN
TASARIMI VE YÖNLENDİRİLMESİ**

Osman ECEOĞLU

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

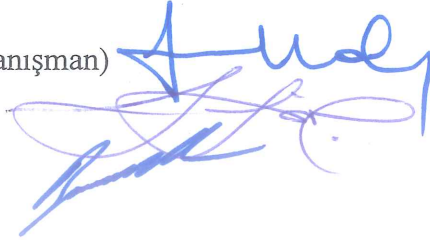
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 24/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜNAL (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Fırat YÜCEL

Dr. Öğr. Üyesi Bayram KILIÇ



ÖZET

GPS DESTEKLİ UZAKTAN KOMUTALI SABİT SİLAH PLATFORMUNUN TASARIMI VE YÖNLENDİRİLMESİ

Osman ECEOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜNAL

Haziran 2019; 71 sayfa

Bu çalışmada, GPS verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen bilgiler dâhilinde otonom ve manuel olarak çalıştırılabilen bir mobil silah platformunun yazılımı geliştirilmiştir.

Sabit noktaya konumlandırılacak olan silah platformu, geliştirilen yazılım sayesinde harici bir ortamdan gönderilecek olan konum bilgisine göre yönünü belirleyebilecek ve 2 ekseninde hedefe yönlenebilecektir. Yazılım, platformun sağ-sol ekseninde 360 derece, yukarı-aşağı ekseninde 90 derece hareket etmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca geliştirilen navigasyon yazılımı sayesinde GPS’den alınan veriler işlenebilmektedir. Motor kontrolü için geliştirilen yazılım sayesinde 1 kW’a kadar iki adet DC motorun platformun hareket sisteminde kullanılması mümkün kılınmıştır. DC motorlar motor kontrol kartı yardımı ile taşınabilir bir bilgisayara bağlanabilmektedir.

Platformu istenilen noktaya yönlendirmek için heading ve azimuth açıları ile bulunulan noktanın hedef noktaya olan mesafe bilgisi kullanılmıştır. Herhangi bir ortamdan hedef nokta için gönderilen koordinatta hedefin enlem ve boylam bilgileri yer almaktadır. Platforma ait koordinat bilgileri ve heading açı değerleri ile tespit edilen hedef noktanın koordinat bilgileri arasındaki matematiksel ilişkiye göre yönlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Platformun heading açısı, hedef noktaya ait azimuth açısı ve iki noktanın birbirine uzaklığı endüstriyel bilgisayar üzerinde yer alan yazılım ile anlık olarak hesaplanmaktadır. Heading ve azimuth açıları eşit olana kadar platform hedef noktaya doğru doğrultusunu değiştirmektedir. Geliştirilen yazılım silah platformu üzerine termal kamera yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede internet bağlantısı üzerinden silah platformu uzaktan izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Gps, Navigasyon, Termal kamera, Uzaktan komutalı silah platformu

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜNAL

Dr. Öğr. Üyesi Fırat YÜCEL

Dr. Öğr. Üyesi Bayram KILIÇ

ABSTRACT

DESIGN AND DIRECTION OF THE GPS AIDED REMOTE CONTROLLED FIXED WEAPON PLATFORM

Osman ECEOĞLU

MSc Thesis in Remote Sensing and Geography Information Systems

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlker ÜNAL

June 2019; 71 pages

In this study, the software of a mobile weapon platform which can be operated autonomously and manually has been developed within the scope of the information obtained as a result of the processing of GPS data.

The weapon platform that will be positioned at the fixed point will be able to determine its direction according to the position information to be sent from an external environment by the developed software and it will be directed to the target in 2 axes. The software enables the platform to move 360 degrees in the right-left axis and 90 degrees in the up-down axis. Furthermore, the data from the GPS can be processed with the navigation software developed. Thanks to the software developed for motor control, it is possible to use two DC motors up to 1 kW in the movement system of the platform. DC motors can be connected to a portable computer with the help of the motor control board.

To direct the platform to the desired point, the heading and azimuth angles with the information of distance between the destination point and current point was used. The coordinates sent from any environment for the destination point include the latitude and longitude information of the target. The orientation process is carried out according to the coordinate information of the platform and the heading angle values with the mathematical relationship between the coordinate information of the target point determined. The heading angle of the platform, the azimuth angle of the target point and the distance of the two points to each other are calculated instantaneously with the software on the industrial computer. The platform changes its direction to the target point until heading and azimuth angles are equal. The developed software enables the installation of thermal cameras on the weapon platform. In this way, the platform can be monitored and controlled remotely via the internet connection.

KEYWORDS: GPS, Navigation, Remote controlled weapon platform, Thermal camera

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. İlker ÜNAL

Asst. Prof. Dr. Fırat YÜCEL

Asst. Prof. Dr. Bayram KILIÇ

ÖNSÖZ

Savaşlar tam otonom silahlara doğru ilerlemektedir. Gelecekteki tam otonom silahlar, insan müdahalesi olmadan hedefleri araştırıp tanımlayabilecektir. Uzaktan Komutalı Silah İstasyonu şu anda piyade savaşında çokça vurgulanmaktadır. Gelecek trend, verimliliği artırmak için otomatik hedefleme prosedürüne odaklanacak ve bu arada operatörü düşman ateşinden koruyacaktır.

Yüksek Lisans çalışmalarımın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜNAL'a, tez izleme komitesi üyelerine, Uzaktan Algıma ve CBS bölümü öğretim üyesi hocalarıma ve bu süreçte benden desteğini esirgemeyen eşim ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. GPS (Global Positioning System)	4
2.2.1. GPS sisteminin bölümleri	6
2.1.1.1. Uzay bölümünün özellikleri.....	7
2.1.1.2. Kontrol bölümü.....	9
2.1.1.3. Kullanıcı bölümü	10
2.1.2. GPS navigasyon mesajı	12
2.1.3. GPS yardımı ile bir noktanın konumunun hesaplanması	13
2.1.4. GPS'in hataları.....	17
2.1.5. Konum belirlemede kullanılan GPS yöntemleri.....	18
2.1.5.1 Statik ölçme yöntemi	20
2.1.5.2. Hızlı statik ölçme yöntemi	20
2.1.5.3. Dur - git ölçme yöntemi.....	20
2.1.5.4. Kinematik ölçme yöntemi.....	21
2.1.5.5. Pseudo kinematik ölçme yöntemi	21
2.1.5.6. Diferansiyel GPS (DGPS).....	21
2.1.5.7. RTK (Gerçek zamanlı kinematik) GPS	22
2.1.5.8. RTK GPS'in referans istasyon ağı ile ölçümü.....	24
2.1.6. GPS alıcısı ve veri iletişim formatları	25
2.1.6.1. NMEA veri iletişim formatı.....	26
2.1.6.2. RTCM SC – 104 veri iletişim formatı	27

2.1.7. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS).....	27
2.1.7.1. Universal transverse marcator (UTM)	29
2.1.8. Navigasyon metodolojisi	30
2.2. Termal Kameralar.....	30
2.1.1. Termal kameraların kullanım alanları.....	32
2.1.2. Termal kamera kalibrasyonu	34
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Endüstriyel bilgisayar	35
3.1.2. Besleme ünitesi	36
3.1.3. Motor kontrol ünitesi	38
3.1.4. GPS alıcısı	41
3.1.5. Termal kamera	43
3.1.6. 4.5G modem	44
3.1.7. El kumandası	45
3.1.8. Yazılım geliştirme ortamı	45
3.1.9. Elektronik pusula	45
3.2. Metot	47
3.2.1. Yazılımsal çözümler	48
3.2.1.1. Motorların kontrol algoritması.....	49
3.2.1.2. GPS verilerinin işlenmesi ve silah platformunun navigasyonu	50
3.2.1.3. Silah platformunun el kumandası ile kontrol algoritması.....	54
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	56
5. SONUÇLAR	59
6. KAYNAKLAR	60
7. EKLER.....	63

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GPS Destekli Sabit Silah Platformunun Tasarımı ve Yönlendirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/06/2019

Osman ECEOĞLU



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
µm	: Mikrometre
bps	: bit per second
°C	: Derece santigrat
CF	: Korelasyon Faktörü
cm	: Santimetre
g	: Gram
JS	: Joystick Sinyali
km	: Kilometre
KS	: Kontrol Sinyali
kW	: Kilowatt
Mbps	: Mega Bits Per Second
MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
ns	: Nanosaniye
ppm	: Milyonda bir birim

Bu tezde kullanılan ondalık ayırıcı nokta (“.”)’dır.

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current
ADC	: Analog Digital Converter
ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
B	: Batı
BPSK	: Bi Phase Shift Keying
CDMA	: Code Division Multiple Access

CORS	: Continuously Operating Reference Station
D	: Doğu
DARPA	: Defense Advanced Research Projects Agency
DC	: Direct Current
DGPS	: Differential Global Positioning System
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum Modulation
EDGE	: Enhanced Data rates for GSM Evolution,
FAA	: Federal Aviation Administration
G	: Güney
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
İHA	: İnsansız Hava Aracı
K	: Kuzey
LCD	: Liquid Crystal Display
LED	: Liquid Crystal Display
LTE	: Long Term Evolution
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NMEA	: National Marine Electronics Association
OTF	: On The Fly
PDGPS	: Phase Differential Global Positioning System
PID	: Proportional Integral Derivative
PPS	: Precision Positioning Service
PRN	: Pseudo Random Noise Code
PSR	: Pseudo Range

PWM	: Pulse Width Modulation
RF	: Radio Frequency
RTCM	: Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	: Real Time Kinematic
SD	: Secure Digital
SPS	: Standart Positioning Service
USB	: Universal Serial Bus
UTC	: Universal Coordinated Time
UTM	: Universal Transverse Marcator
VHF	: Very High Frequency
WAAS	: Wide Area Augmentation System
Wifi	: Wireless Fidelity

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yörüngeleri üzerindeki GPS uydularının durumları.....	4
Şekil 2.2. GPS'in ana fonksiyonu	5
Şekil 2.3. Enlem ve boylamın belirlenmesi	5
Şekil 2.4. Dikey hassasiyet arttırılmış 2 boyutlu konum tespiti	6
Şekil 2.5. 3 boyutlu konum tespiti	6
Şekil 2.6. Küresel konumlama sisteminin bölümleri	7
Şekil 2.7. Sinyal gönderim süresinin tespiti.....	7
Şekil 2.8. PRN bilgisi	8
Şekil 2.9. GPS uydusunun detaylı blok şeması	9
Şekil 2.10. GPS kontrol bölümü	10
Şekil 2.11. Sinyal aktarım süresinin belirlenmesi.....	11
Şekil 2.12. 30 bit üzerinden korelasyon işlemi	11
Şekil 2.13. Navigasyon mesajının bütünleşik yapısı	12
Şekil 2.14. 4 farklı uydunun konum belirleme için kullanımı	13
Şekil 2.15. 3D kartezyen koordinat sistemi	14
Şekil 2.16. Taylor serilerinin dönüşümü.....	15
Şekil 2.17. Bir noktanın coğrafi konumunun tahmini	16
Şekil 2.18. Konum belirlemede kullanılan GPS yöntemleri.....	19
Şekil 2.19. Konum belirleme için DGPS yöntemi	22
Şekil 2.20. Gerçek zamanlı kinematik GPS.....	23
Şekil 2.21. CORS sisteminin yapısı.....	25
Şekil 2.22. GPS alıcısına ait blok şema	26
Şekil 2.23. Koordinat sistemleri için referans noktalar.....	28
Şekil 2.24. Bir noktanın coğrafi koordinatlarının belirlenmesi	29
Şekil 2.25. UTM koordinat sistemi.....	29

Şekil 2.26. Bir insanın termal kamera görüntüsü.....	31
Şekil 2.27. Termal kamera ile ekran kartının görüntüsü.....	31
Şekil 2.28. El tipi termal görüntüleyici.....	32
Şekil 3.1. Lilliput 7" PC-700 endüstriyel panel bilgisayar	35
Şekil 3.2. Güç kaynağı	37
Şekil 3.3. Akü şarj cihazı	37
Şekil 3.4. 1000 W inverter/converter	37
Şekil 3.5. AX3500 marka motor kontrol ünitesi.....	38
Şekil 3.6. AX3500 Motor kontrol ünitesi blok şeması; a) bilgisayar bağlantısı; b) motor ve güç bağlantıları	39
Şekil 3.7. a) Promark 500 GPS alıcısı; b) SIM kart yerleşimi	41
Şekil 3.8. a) Fluke Ti 125 ön görüntüsü b) Fluke Ti 125 arka görüntüsü	43
Şekil 3.9. Turkcell 4.5G Internet modem	44
Şekil 3.10. Uzaktan kontrol için kullanılan el kumandası	45
Şekil 3.11. Elektronik pusula	46
Şekil 3.12. Silah platform sisteminin blok şeması.....	47
Şekil 3.13. Platform yazılımı	48
Şekil 3.14. Kontrol yazılımı.....	49
Şekil 3.15. Motor kontrol işlemine ait blok şema.....	49
Şekil 3.16. GPS verilerinin çözümlenmesi	51
Şekil 3.17. Heading ve Azimuth açıları	52
Şekil 3.18. Platformun yönlendirilmesi için kullanılacak olan akış şeması	53
Şekil 3.19. El kumandası kullanımına ait akış şeması	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Standart sivil kullanım için hassasiyet değerleri	13
Çizelge 2.2. GPS hata kaynakları	18
Çizelge 3.1. Lilliput 7" PC-700 endüstriyel bilgisayar teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.2. Motor kontrol ünitesi teknik özellikleri.....	40
Çizelge 3.3. Promark 500 GPS alıcısına ait teknik özellikler.....	42
Çizelge 3.4. Turkcell 4.5G WINN Wifi MW40V1 modem özellikleri	44
Çizelge 3.5. Honeywell HMR3000 elektronik pusula özellikleri.....	46
Çizelge 3.6. Motor kontrol algoritması verileri	50
Çizelge 3.7. El kumanda kolunun ürettiği veriler	54
Çizelge 3.8. Motor kontrol ünitesi ve el kumandası oranlama	54

1. GİRİŞ

Ateşli silahların başlangıç noktası, bazı atık organik maddelerin çürümesi sonucu açığa çıkan potasyum nitratın bazı bileşenler ile karıştırılarak yanıcı ve patlayıcı bir madde olarak kullanılmaya başlanması olarak gösterilebilir.

Barutun ilk bulunduğu zamanlar araştırıldığında, savaş için ya da yanıcı madde olarak kullanılmadığı, simyacıların iksiri bulma çalışmaları sonucunda ortaya çıktığı görülmektedir.

Sülfür ve odun kömürü ile barutu oluşturan güherçile karıştırıldığında ortaya patlayıcı, alev alıcı ve fırlatıcı özelliği olan bir savaş aracı ortaya çıkmaktadır. İlk ateşli silah olarak bilinen topla kara barutun keşfinin aynı döneme rastladığı söylenebilir. Çünkü top da aynı mermide olduğu gibi yanmayla oluşan gazların tüp şeklindeki namlu içindeki mermiyi yüksek hızla fırlatması prensibinde dayanmaktadır.

Barutun ilk başlarda gürültü çıkarmak ve yanıcı madde olarak farklı amaçlar doğrultusunda kullanıldığı daha sonra Çinliler tarafından bir silah olarak kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. XIII. yüzyıldan itibaren Çinliler, barutlu humbaraların ilk örneklerini kullandılar. XIV. yüzyılda ise tüccarların ve gezginlerin ülkelerine döndüklerinde doğu seyahatleri esnasında gördüklerini anlatmaları sonucu barutun ateşli silahlarda kullanılması örneği Avrupa’da görüldü. Çinlilerin çeşitli sert parçacıkları barutla karıştırıp bunları kâğıtlara veya metallerin içine koyarak bomba niyetine elle ve mancınıklarla düşmanlara fırlattıkları bilinmektedir. Çinliler, çeşitli nesnelerin fırlatılmasında barutun genleşmesiyle ortaya çıkan gazların etkili olduğunu bildiği gibi aynı zamanda bu nesnelerin içerisine şarapnel gibi parçacıklarda konulduğunda bunların etrafa saçıldığını bilmekteydi. Çok zaman geçmeden gülle fırlatabilmek için metal boruların içine doldurulan baruttan faydalanmaya başladıkları da bilinmektedir. Çinlilerden sonra Araplar, Moğollar ve Hintlilerde barutun alev alıcı ve patlayıcı özelliğini keşfetmişlerdir.

İngiliz rahip Roger Bacon (1219-1292) ve Alman rahip Barthold Schvvantz (1310-1348) Avrupa’da barutla ilgili bilenen ilk çalışmaları yapmışlardır. Kara barutu oluşturan maddeleri rafine etmenin metot ve formülü Roger Bacon’un 1252 yılında yazmış olduğu “concerning the Marveleous of art and nature and concerning the mullity of magic” adlı eserinde yer almaktadır. 1377 yılında Venedik’te Barthold Sachvvantz’ın tunç top tasarladığı ve top dökümü dışında kara barutla ilgili de araştırmalar yaptığı bilinmektedir.

Doğu ve batı kaynakları incelendiğinde, ateşli silahın ilk defa hangi tarihte kullanılmaya başlandığı, kimin tarafından yapıldığı ve hangi savaşta ilk defa kullanıldığına dair kesin kanıtlar bulunmamaktadır.

Kaynaklara göre 1284’te İtalya’nın Forti kasabasında “sclopi” adı verilen barutlu silahların kullanıldığı 1313 yılında da Fransa’nın Ghant kasabasında barutla kullanılan ilk top örneklerinin olduğu görülmektedir.

İçerisinde büyük bir ok veya mızrak olan ateşli silah minyatürü İngiltere’de bulunan 1327 tarihli bir el yazması eserde yer almaktadır. Yine aynı dönemlere ait küçük

bir topta İsveç'in başkenti olan Stockholm şehrindeki devlet tarih müzesinde bulunmaktadır.

Döküm demir veya dövme demirden vazo biçiminde yapılan ve "potsde-fer" adı verilen ilk barutlu silahlar, ok veya mızrak biçimli nesneleri fırlatmaktaydı.

Ateşli silahların gelişim aşamaları incelendiğinde kullanılan ilk ateşli silahlardan sonra farklı boyutlarda demir ve bronz toplar, ateşleme mekanizması sırasıyla arkebüz, fitilli, zemberekli, çakmak taşlı, kapsüllü ve ıgneli olan tüfek ve tabancalar, makineli tüfekler şeklinde savaş teknolojisinin ihtiyaçlarına göre gelişim süreci olduğu görülmektedir (Gürsoy 2018).

Aralarına Türkiye'nin de bulunduğu az sayıda ülkede yarı otonom silah sistemleri mevcuttur. Bunlardan en bilineni de dronlar, yani pilotsuz uçaklar, İHA (insansız hava aracı)'lardır. Kendi başlarına kalkış yapabilmekte, hedef tespit edebilmekte ve yerdeki pilotuna elde ettiği verileri aktarabilmektedir. Bilindiği gibi bunlardan bazıları silahlı, bazılarıysa silahsızdır. Silahlı olan insansız hava araçları uzakta bulunan, hatta dünyanın öbür ucundaki pilotundan aldığı emir doğrultusunda hedefini vurma kabiliyetine sahiptir.

Dronlar özellikle terörizmle mücadelede oldukça etkili araçlardır. Uzun süre havada kalabilmekte, maliyetleri düşük, riskleri azdır. Ancak hata yapmaları olasılığı pilotlu uçaklara göre daha yüksektir. Özellikle de ABD dronlarının Afganistan, Pakistan ve Yemen gibi yerlerde sivil halka verdiği zararın yüksek olduğu vurgulanmaktadır.

Dronu kullanan pilotun her zaman en doğru kararı veremediği, eğitimleri gereği ve doğrudan temas hissetmedikleri için verilebilecek sivil zayıtı iyi düşünmediği söylenmektedir. Ancak yine de dronu bir pilot, yani yaptığı hatalar sonucunda yasalar önünde hesap vermek zorunda kalabilecek bir insan yönetmektedir.

Birçok ülkede otonom sistemler üzerine çalışmalar başlamıştır, büyük kaynaklı yatırımlar yapılmaktadır. İngiltere Savunma Bakanlığı otonom sistemler için 800 milyon poundluk, yaklaşık 1 milyar dolarlık, bütçe ayırmıştır. Çin 18 yaş altı bir ekip kurmuştur. ABD'de de İleri Savunma Araştırmaları Projeleri Ajansı (DARPA) robot şirketi Boston Dynamics ile çalışmaktadır.

Bu tür sistemlere ihtiyacı olan Türkiye'nin düzenleme faaliyetlerinin dışında kalmaması hem ulusal güvenliği açısından hem de ileride doğabilecek hukuki sorumlulukları açısından önem arz etmektedir (Akgün 2017).

Bu anlamda, tez çalışmasının birincil amacı; askeri alanlarda, sınır bölgesindeki sıcak noktalarda, karakol ve nöbet noktalarında, güvenlik güçlerinin ihtiyaç duyabileceği birçok yerde kullanılabilecek, uzaktan kontrollü, can güvenliğini sağlayan bir güvenlik sistemi tasarlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, optimum sistem tasarımı yapılmıştır. Silah platformunun otomatik yönlendirilmesi için GPS teknolojisi kullanılmıştır. Silah platformunun yazılımsal mimarisi gerçekleştirilmiş, sistem için uygun bilgisayar sistemi tasarlanmıştır.

Silah teknolojisi konusunda araştırmacıların üzerinde çalışmaya başladığı konulardan birisi, elde edilen veriler doğrultusunda silahın otonom olarak hareket

etmesini sağlayan sistemlerin tasarlanmasıdır. Bu bağlamda, tez çalışmasının ikincil amacı; harici bir ortamdan gönderilecek olan konum bilgisine göre silah platformu yönünü belirleyerek 2 eksende hedefe yönlendirilmesi olmuştur.

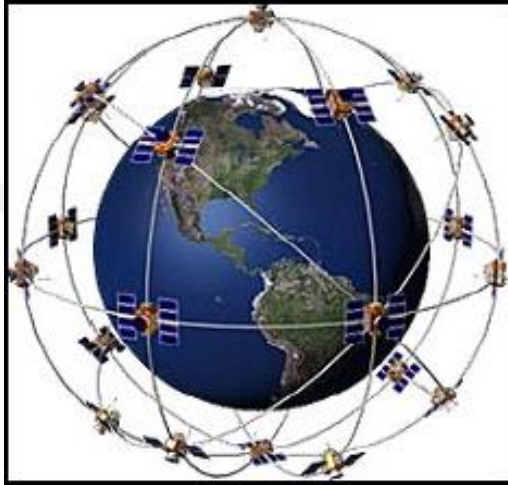
Literatür araştırmaları sonucunda, gizlilikten dolayı pek fazla bilgiye ulaşılmayan fakat tasarlanması için gelişmiş ülkelerin çok büyük miktarda kaynak aktardığı bilinen otonom bir silah platformu yazılımı ülkemizde GPS verilerine göre hareket edebilen şekilde ilk defa tasarlanmıştır. Geliştirilen platform yazılımı tam otonom silahlar için temel altyapı oluşturacaktır. Aynı zamanda, geliştirilen yazılım silah platformu üzerine termal kamera yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. GPS (Global Positioning System)

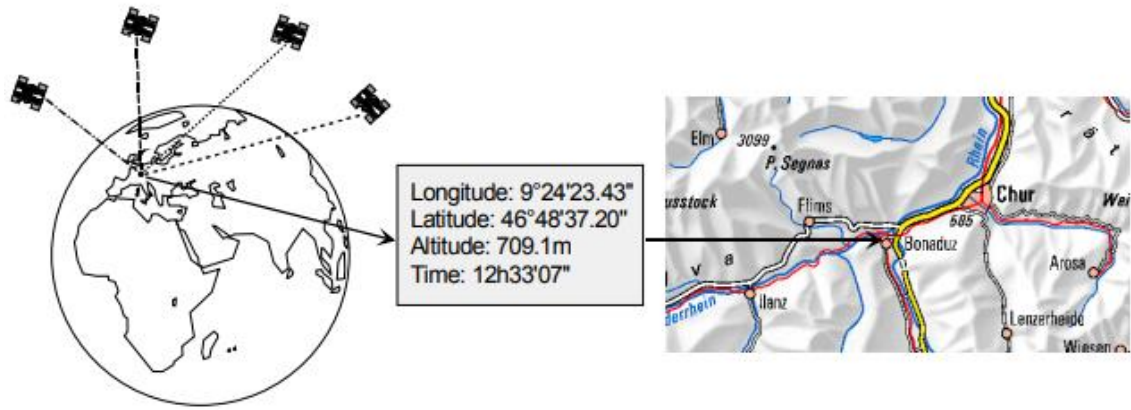
Uydu tabanlı bir navigasyon sistemi olan GPS, dünyadaki herhangi bir noktanın coğrafi konumu belirlemek için kullanılmaktadır. Dünyadan 20,180 km yüksekte bulunan 24 adet uydunun zaman ve konum bilgilerini kodlayarak dünyaya yayan bir sistemdir. Bu uydular, şekil 2.1’de görüldüğü gibi tüm yörüngelerinde 4 uydu olacak şekilde toplam 6 yörüngede dünyanın çevresinde dönerler. Her uydu, yörüngesini 12 saatte tamamladığından dolayı 1 gün içerisinde aynı noktadan 2 kez geçmektedir (Ünal 2012).



Şekil 2.1. Yörüngeleri üzerindeki GPS uydularının durumları

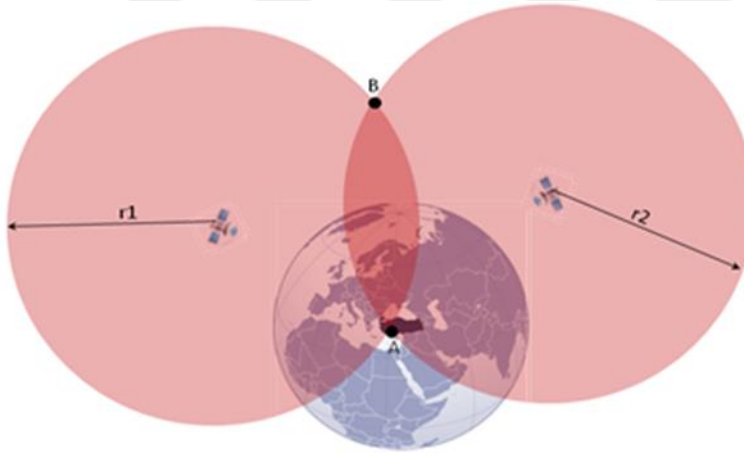
Şekil 2.2’de görüldüğü gibi dünya üzerindeki bir noktanın farklı 2 coğrafi bilgisi GPS kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu bilgiler;

- i) Rakım, enlem ve boylam bilgisi olarak noktanın dünya üzerindeki yeri, yaklaşık 20 m – 1 mm hassasiyetle.
- ii) Tam zaman (Universal Time Coordinated, UTC), yaklaşık 60 ns–5 ns hassasiyetle.



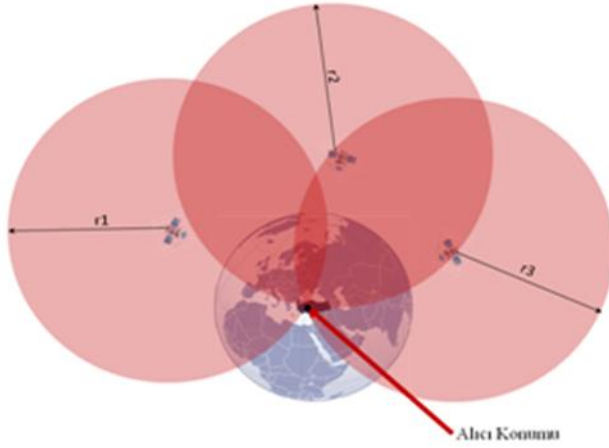
Şekil 2.2. GPS'in ana fonksiyonu

Üçgenleme yöntemini kullanılarak dünya üzerindeki bir noktanın konumu belirlenebilmektedir. Tüm uydular, yarıçapı r olan bir çember oluşturarak saat ve konum bilgilerini mikrodalga radyo sinyalleri ile yayınlar. İki uydu ile herhangi bir noktanın enlem ve boylam konumu belirlenebilir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi uydular tarafından oluşturulan çemberler iki noktada kesişmektedirler (Ünal 2012).



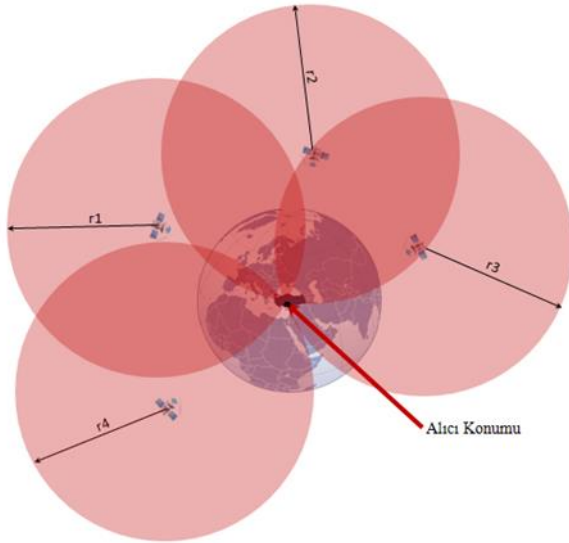
Şekil 2.3. Enlem ve boylamın belirlenmesi (Ünal 2012)

Fakat birbirlerinden çok uzak mesafelerde olan bu iki noktanın dikey konum ölçüm bilgisi oldukça düşük olduğundan bu hassasiyeti artırabilmek için şekil 2.4'de görüldüğü üzere üçüncü bir uydu kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Dikey hassasiyet arttırılmış 2 boyutlu konum tespiti (Ünal 2012)

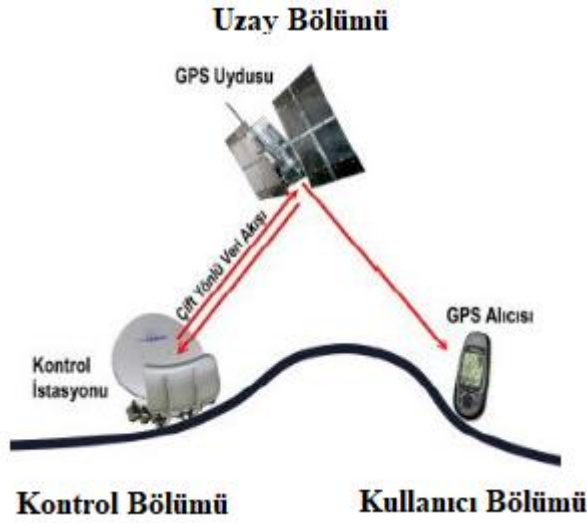
Enlem, boylam ve yükseklik bilgilerini içeren üç boyutlu sistemlerde konumu tespit edebilmek için şekil 2.5’de görüldüğü gibi dördüncü bir uydudan yararlanılmıştır. Ölçüm hassasiyetini arttırmak için uydu sayısını da arttırmak gerekmektedir. Bundan dolayı koordinatların belirlenebilmesi için GPS alıcılarına en az dört uydudan sinyal gelmesi gerekmektedir (Zogg 2002).



Şekil 2.5. 3 boyutlu konum tespiti (Ünal 2012)

2.2.1. GPS sisteminin bölümleri

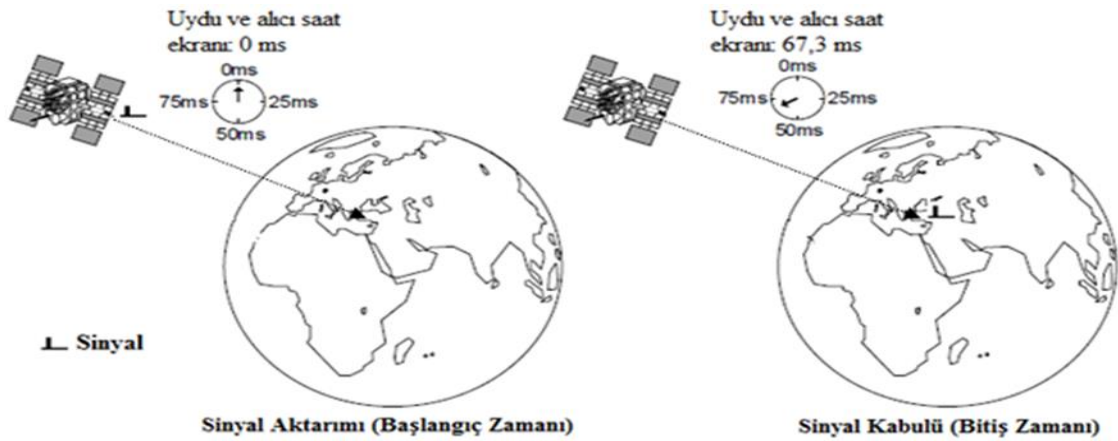
Küresel Konumlama Sistemi şekil 2.6’da görüldüğü gibi; uzay, kullanıcı ve kontrol olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.



Şekil 2.6. Küresel konumlama sisteminin bölümleri

2.1.1.1. Uzay bölümünün özellikleri

Yeryüzünden yaklaşık 20,180 km, yer merkezinden yaklaşık 26,500 km uzaklıkta bulunan 24 uydu uzay bölümünü oluşturmaktadır. Uydular yer yüzeyindeki büyük bir alana sinyal gönderebilmek için bu yükseklikten faydalanmaktadırlar. Bütün uyduların içerisinde hata yapma ihtimali çok düşük olan toplam 4 adet hassas atomik saat bulunmaktadır. Dünya üzerindeki kontrol noktalarından sürekli olarak ayar ve senkronizasyonları yapılarak atomik saatlerin hassasiyetinin artırılması amaçlanmaktadır. Yörüngedeki atomik saat ve koordinat sinyali her uydu tarafından L1 (1575.42 MHz) ya da L2 (1227.60 MHz) frekansında dünya üzerine yayınlanmaktadır. Bu sinyaller şekil 2.7’de görüldüğü gibi 300,000 km/h hız (ışık hızı) ile 67.3 ms’lik bir sürede dünya yüzeyine ulaşmaktadır (Zogg 2002).

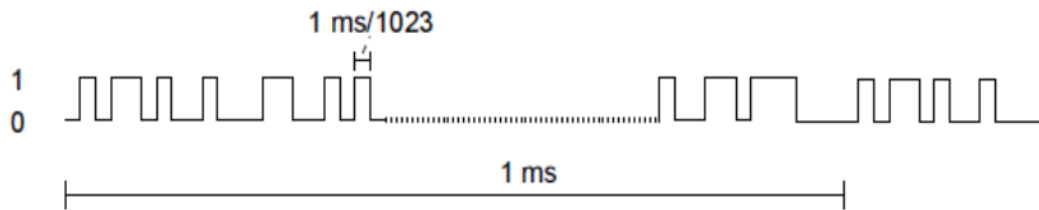


Şekil 2.7. Sinyal gönderim süresinin tespiti (Zogg 2002)

Uydu sinyalinin gönderilmesi ile alıcı tarafından bu sinyalin alınması arasında geçen süreye sinyal aktarım süresi denir. İçerisinde 2 önemli kodlanmış bilgi bulunduran uydular, düzenli olarak bu bilgileri yayınlamaktadırlar. Uydu navigasyon bilgisi bunlardan birincisidir ve bu bilgi, 50 bps hızında kodlanarak içerisinde aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır:

- Uydu zamanı ve senkronizasyon sinyalleri
- Hassas yörünge verisi (efemeris)
- Tam uydu zamanını belirleyebilmek için saat düzeltme bilgisi
- Tüm uydular için yaklaşık yörünge bilgileri (almanak)
- Sinyal aktarım süresinin hesaplanabilmesi için düzeltme sinyalleri
- İyonosfer verisi
- Uydunun durumu hakkında veri

12.5 dakikalık süre içerisinde yukarıda maddeler halinde sıralanan tüm veriler uydular tarafından gönderilebilmektedir. Navigasyon mesajı kullanılarak uyduların aktarım esnasındaki gerçek konumları ve uydu sinyallerinin aktarım süresi belirlenebilmektedir. Kendilerini tanımlayan imza sinyali bunlardan ikincisidir ve bu sinyalinin içerisinde şekil 2.8’de gösterildiği gibi, toplam 1023 adet 0 ve 1 bitlerinden oluşan PRN (Pseudo Random Noise Code) bilgisi yer almaktadır.



Şekil 2.8. PRN bilgisi

1 ms aralıkta tekrar eden PRN bilgisi uyduyu tanımlamaktadır. Alıcılar, hangi uydu ile haberleştiğini tespit edebilmek için imza sinyalinin kullanılmaktadır. Bu sinyal yardımı ile aynı zamanda sinyal aktarım süresi de tespit edilebilmektedir.

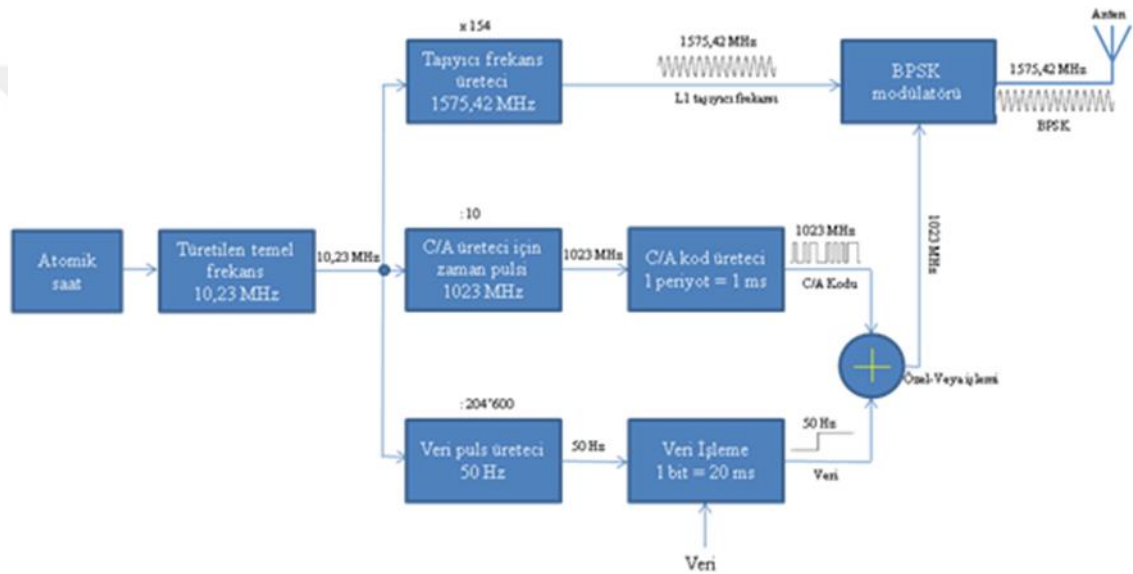
Günlük çalışma için zorunlu olan frekans ve zaman darbelerinin türetilmesi için uydu gövdesinde bulunan 4 adet atomik saatten bir tanesinin rezonans frekansı kullanılmaktadır. L bandında 1575.42 MHz L1 ile 1227.60 MHz L2 taşıyıcı frekansları uydu navigasyon sinyalleri tarafından yayınlanır. Aşağıda maddeler halinde gösterilen iki farklı amaç için bu iki farklı frekans kullanılmaktadır:

- SPS (Standart Positioning Service), standart yer tespit hizmeti.
- PPS (Precision Positioning Service), hassas yer tespit hizmeti,

Ticari amaçlı GPS alıcıları tarafından çözülen ve standart yer belirleme hizmetlerinde kullanılan C/A (Coarse Acquisition Code) kodu ve P (Precise) kodu L1 sinyali içerisine yerleştirilmiştir. P (Precise) kodu ise L2 sinyaline entegre edilmiştir. İzinsiz sivil kullanımları engellenmek için L1 sinyali içerisinde bulunan P kodu karıştırılmaktadır. C/A kodu ile P kodunu çözebilen küresel konumlama sistemi alıcıları

tarafından, askeri amaçlı hassas yer tespiti için kullanılan, L2 sinyali çözülebilmektedir. Standart yer tespit işlemlerinde ise L1 sinyali kullanılmaktadır.

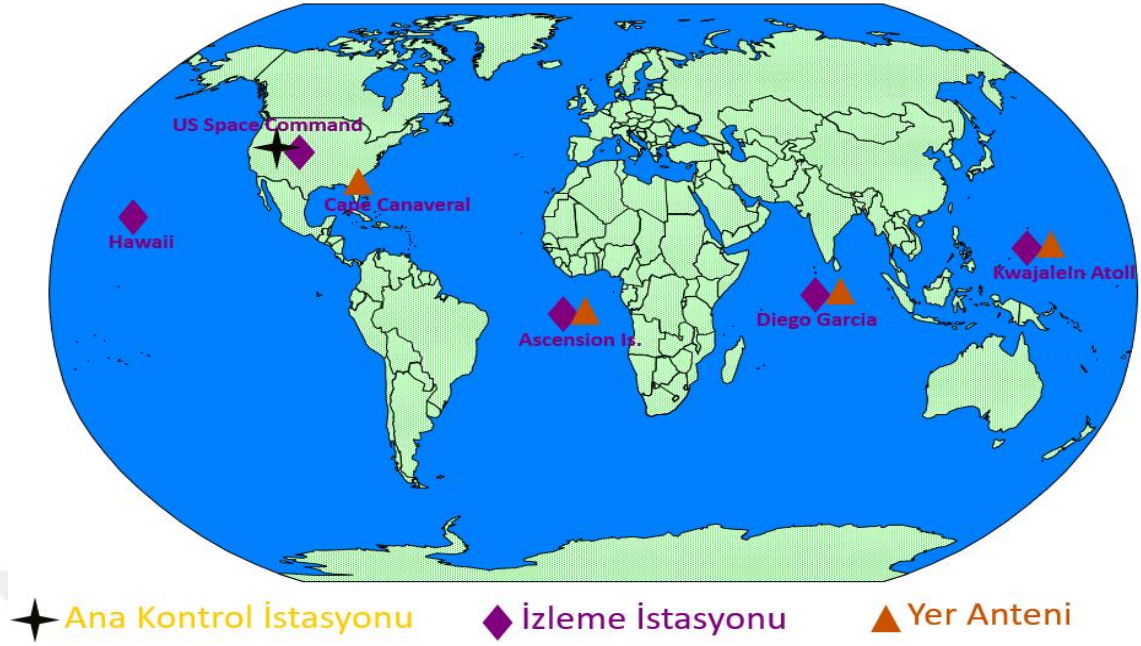
Sistem için gerekli olan 10.23 MHz'lik frekans atomik saatin rezonans frekansından oluşturulur ve uydu üzerinde bulunan bu atomik saat kararlılık bakımından 2.10^{-13} seviyesinden daha iyidir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi bu temel frekanstan C/A kodları, PRN, veri frekansı ve taşıyıcı frekans türetilmektedir. CDMA Multiplex (Code Division Multiple Access) tüm uydular tarafından sinyallerini göndermek için kullanılmaktadır. DSSS modülasyonu (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation) yöntemi kullanılarak uydu navigasyon bilgisi (Veri - Data) iletilmektedir. Her bir uydu için farklı olan C/A kodu 1023 MHz hıza sahip olan bir üretici tarafından oluşturulmaktadır. Taşıyıcı sinyale BPSK (Bi Phase Shift Keying) anahtarlama yöntemi kullanılarak modüle edilen veri C/A kodu tarafından modüle edilmektedir (Zogg 2002).



Şekil 2.9. GPS uydusunun detaylı blok şeması

2.1.1.2. Kontrol bölümü

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi uyduların veri aldığı yer antenleri, atomik saatlerin bulunduğu gözlem istasyonları ve Amerika Birleşik Devletlerinin bir eyaleti olan Colorado'da bulunan bir merkez kontrol istasyonu kontrol bölümünü oluşturmaktadır.



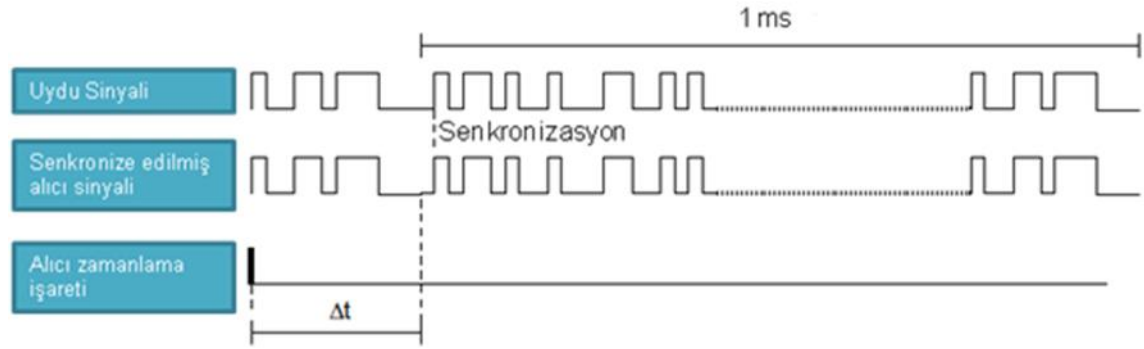
Şekil 2.10. GPS kontrol bölümü

Uydulara ait kesin saat ve yörünge bilgileri gözlem istasyonlarında incelenen mikrodalga sinyalleri sayesinde hesaplanmaktadır. Uyduların atomik saatlerinin doğruluğu gözlem istasyonlarındaki sezyum saatler ile test edilmektedir. Yörünge ve saat hataları, merkez kontrol istasyonuna modem aracılığı ile gönderilen test sonuç bilgileri ile belirlenmektedir. Yeryüzü antenlerine, navigasyon mesajına çevrilip gönderilen veriler merkez istasyonunda elde edilmektedir. Güncellenmiş navigasyon mesajları ise yeryüzü antenleri ile güçlendirilerek uydulara gönderilmektedir. Kontrol bölümünün en önemli görevleri aşağıda maddeler halinde gösterilmektedir (Ünal 2012).

- Toplanan verileri inceleyerek uydu yörüngelerini belirlemek (efemeris)
- Uydu saatlerini izleyerek davranışlarını tahmin etmek
- Uydu zamanını senkronize etmek
- Tüm uydulara ait yaklaşık yörünge verilerini aktarmak (almanak)
- Daha kapsamlı veriler olan uydu durumu ve saat hatalarını aktarmak
- Hassas yörünge verilerini haberleşme halindeki uydulardan alarak aktarmak.

2.1.1.3. Kullanıcı bölümü

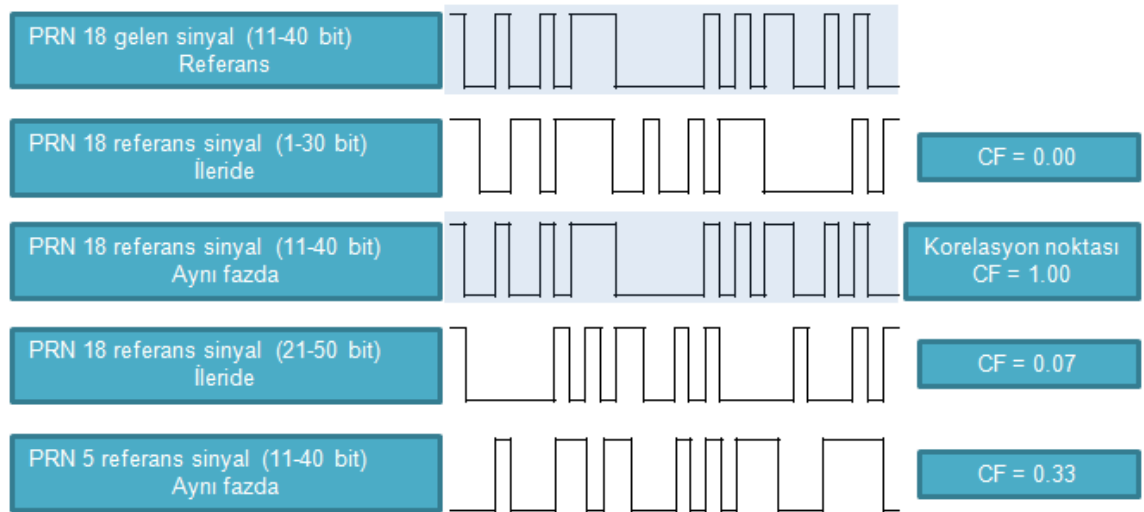
Kullanıcı bölümü, GPS uyduları tarafından gönderilen verileri alabilen GPS alıcıları ve bunların fonksiyonel parçalarından oluşmaktadır. Sınırsız sayıda kullanıcı GPS sistemini eş zamanlı olarak kullanabilir. GPS alıcılarına uydudan gönderilen sinyaller yaklaşık olarak 67.3 ms süre zarfında ulaşmaktadır. Uydular ile kullanıcı arasındaki uzaklığa göre ışık hızında gelen uydu sinyallerinin gönderim süreleri değişmektedir. 4 farklı sinyal, birbirinden farklı dört uydudan gelen sinyaller için GPS alıcısı tarafından üretilmektedir. Üretilen sinyal ile gelen sinyal birbirleri ile senkronize edilerek, şekil 2.11’de görüldüğü gibi (Δt) zamanlama işareti olarak gelen sinyallerin zaman kaymaları ölçülmektedir. Sinyal geçiş süresinin hesaplanabilmesi için, 4 uydu sinyali için ölçülerek tespit edilen zaman kaymaları (Δt) kullanılmaktadır (Zogg 2002).



Şekil 2.11. Sinyal aktarım süresinin belirlenmesi

GPS alıcısı en az dört farklı uydu ile haberleşerek bir noktanın dünya üzerindeki enlem, boylam ve yükseklik (3D) konum bilgisini ve hızını tespit edebilmektedir. Sinyalin aktarım süresi yardımıyla, dünya üzerindeki bir noktanın uydulara olan mesafesi hesaplanabilmektedir. GPS alıcısı ile uydu arasındaki mesafe (d), genel olarak ışık hızı (c) ile sinyal geçiş süresi (τ)'nin çarpılması sonucu bulunmaktadır.

Yörüngede bulunan tüm uyduların aynı frekanstaki sinyali (L1) farklı C/A kodu ile yayınlaması işlemine CDMA Multiplex (Code Division Multiple Access) denir. Korelasyon ile uyduların belirlenmesi ve sinyal kurtarma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kullanımda olan bütün uyduların C/A kodları tüm GPS alıcıları içerisinde yüklüdür. GPS alıcısına uydu sinyali geldiğinde oluşturulan referans sinyaline, gelen sinyal ile tamamen eşleşinceye kadar kaydırma (shifting) işlemi uygulanır. İşlem tamamlandığında, referans sinyal ile gelen sinyal birebir eşlenir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi eşleşme sonucunda korelasyon noktası oluşur ve Korelasyon Faktörü (CF) = 1 olur. Sinyali gönderen uydunun tanımlanabilmesi ve gerçek sinyal aktarım süresinin ölçülebilmesi için korelasyon noktası kullanılmaktadır (Zogg 2002).



Şekil 2.12. 30 bit üzerinden korelasyon işlemi

Korelasyon kalitesi, korelasyon faktörü (CF) olarak da tanımlanmaktadır (eşitlik 2.1) ve bu korelasyon faktörü +1 ile -1 aralığında değerler almaktadır. Alıcının ürettiği referans sinyal ile uydu sinyali tamamıyla eşlendiği zaman +1 değerini almaktadır.

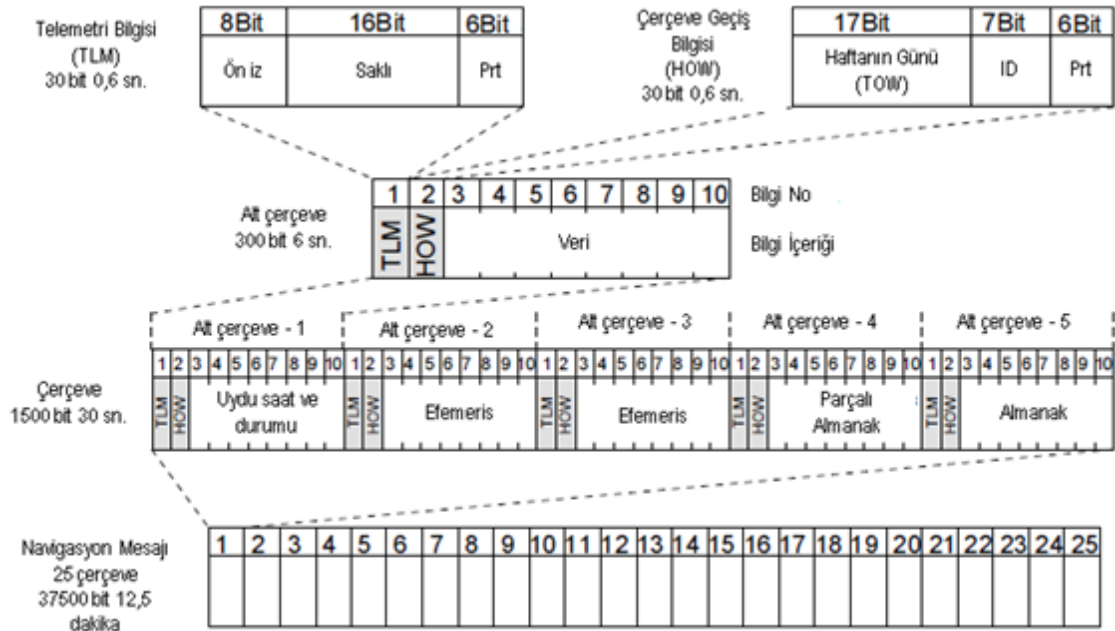
$$CF = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N [(mb) - (ub)] \quad (2.1)$$

Burada:

- mb: eşleşen bütün bitlerin sayısı
- ub: eşleşmeyen bütün bitlerin sayısı
- N: incelenen bitlerin sayısı

2.1.2. GPS navigasyon mesajı

Sinyal aktarım sürelerinin hesaplanabilmesi ve uyduların anlık konumlarının tespit edilebilmesi için GPS navigasyon mesajı gereklidir. Uydulardan gelen veriler, yüksek frekanslı (High Frequency) taşıyıcı dalga üzerine modüle edilerek gerçekleştirilmektedir. Veriler, 30 saniye aktarım süresi ve 1500 bit uzunluğunda olan mantıksal olarak gruplandırılmış çerçeve (frame) veya sayfa (page) olarak tanımlanan yapılar içerisinde aktarılmaktadır. Çerçeveler, uzunlukları üç yüz bit ve aktarım süreleri altı saniye olan 5 alt çerçeveye (subframe) ayrılırlar. 25 farklı çerçeve ile tüm almanak bilgisi aktarılabilmektedir. Bütün almanak bilgisinin aktarılabilmesi için şekil 2.13’de görüldüğü gibi 12.5 dakikalık süre gerekmektedir. Bütün almanak bilgisini en az bir defa toplayarak bir GPS alıcısı tam anlamıyla fonksiyonlarını yerine getirebilmektedir. GPS alıcısının ilk kullanıma başlandığı anda bu işlem gerçekleştiği için GPS alıcılarının çalışmaya başlaması ve uyduları görmesi uzun sürmektedir. Daha sonraki çalışmalarda, açılış hızı ilkinde göre daha çabuk gerçekleşmektedir (Zogg 2002).



Şekil 2.13. Navigasyon mesajının bütünlük yapısı (Ünal 2012)

2.1.3. GPS yardımı ile bir noktanın konumunun hesaplanması

Küresel konumlandırma sisteminin ilk kullanımı askeri amaçlı olmasına rağmen, günümüzde deniz, hava ve kara araçlarının navigasyonunda, topografya, konumlandırma, sabit ve hareketli cisimlerin takip edilmesi ve hızlarının tespiti gibi sivil uygulamalarda da kullanılmaktadır. Sivil kullanımlar için çizelge 2.1’de gösterilen hassasiyet değerleri sistemi işleten servis tarafından % 95 doğruluk oranında garanti edilmektedir.

Çizelge 2.1. Standart sivil kullanım için hassasiyet değerleri

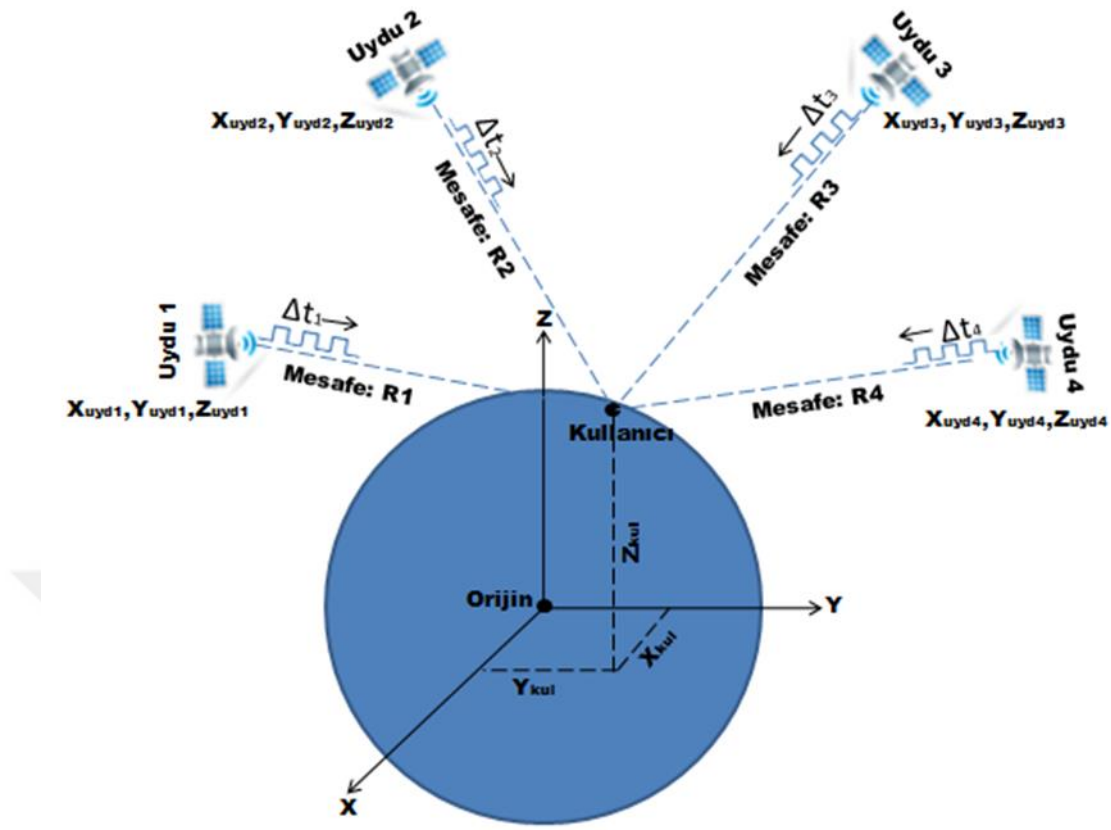
Yatay Hassasiyeti	Dikey Hassasiyeti	Zaman Hassasiyeti
≤ 13 m	≤ 22 m	~ 40 ns

DGPS (Diferansiyel GPS) gibi ek donanımlar ve faz ölçümü gibi özel ölçme yöntemleri kullanarak yukarıdaki çizelgede gösterilen hassasiyet değerleri santimetrenin altında değerlere indirilebilmektedir. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi zaman sinyallerini ($\Delta t_1 \dots \Delta t_4$) birbirinden farklı en az dört uydudan (Uydu1... Uydu4) alan GPS alıcısı herhangi bir noktanın konumu hesaplayabilmektedir.



Şekil 2.14. 4 farklı uydunun konum belirleme için kullanımı

Yerküre merkezli üç boyutlu bir koordinat sistemi olan kartezyen şekil 2.15’de görüldüğü gibi konumu belirlemek için yapılan hesaplamaları etkilenmektedir. Sinyal aktarım süreleri ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ ve Δt_4) ve yeryüzünde bulunan küresel konumlama sistemi alıcısı ile dört uydu arasındaki mesafe (R_1, R_2, R_3 ve R_4) yardımıyla kartezyen belirlenebilmektedir. Bu sayede kullanıcının (GPS alıcısı) koordinatları, koordinatları önceden bilinen 4 uydu yardımıyla da hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.15. 3D kartezyen koordinat sistemi

Sinyal aktarım süresi, uyduların üzerinde yer alan atomik saatler vasıtası ile hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Tüm uydularda bulunan saatler, birbirleri ile senkronize edilmesine karşılık, GPS alıcıları, eş güdümlü evrensel zaman (UTC - Universal Time Coordinated) ile senkronize olmadığından dolayı, alıcı saati ile uydu saati arasında Δt_0 'lık zamansal bir fark oluşmaktadır. Bu fark, alıcı Δt_0 'dan daha hızlı ise pozitif eğilimli, daha yavaş ise negatif eğilimlidir. Sahte mesafe olarak bilinen (PSR - Pseudo Range) hatalı mesafe ölçümü, uydu ile alıcı arasındaki mesafenin hesaplanmasında ve sinyal aktarım süresinin ölçümünde, Δt_0 'ın bileşke zaman hatasından dolayı hatalara neden olmaktadır. Aşağıdaki eşitliklerden bu sahte mesafe değerini belirlemede yararlanılmaktadır (Zogg 2002).

$$\Delta t_{ölçülen} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (2.2)$$

$$PSR = \Delta t_{ölçülen} \times c = (\Delta t + \Delta t_0) \quad (2.3)$$

$$PSR = R + \Delta t_0 \times c \quad (2.4)$$

Burada;

- R: uydu ile kullanıcı arasındaki gerçek mesafe bilgisi
- c: ışık hızı
- Δt : kullanıcı ile uydu arasındaki sinyalin aktarım süresi
- Δt_0 : kullanıcı saati ile uydu saati arasındaki zaman farkı
- PSR: sahte mesafe (hatalı mesafe)

Kartezyen sistemde kullanıcı ile uydu arasındaki mesafe aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$R = \sqrt{(X_{uydu} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu} - Z_{kul})^2} \quad (2.5)$$

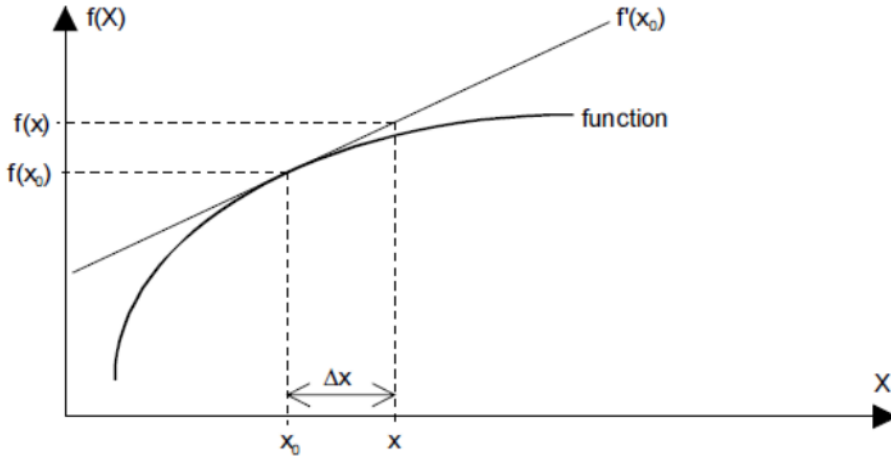
PSR (sahte mesafe) değerini bulmak için:

$$PSR = \sqrt{(X_{uydu} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu} - Z_{kul})^2} + c \times \Delta t_0 \quad (2.6)$$

Koordinatı bilinen dört uydu ($i=1 \dots 4$) için yukarıdaki eşitlikler tekrar yazılırsa:

$$PSR_i = \sqrt{(X_{uydu_i} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu_i} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu_i} - Z_{kul})^2} + c \times \Delta t_0 \quad (2.7)$$

Birbirinden farklı 4 uydu için yazılan 4 eşitliğin oluşturduğu doğrusal olmayan bir eşitlik kümesini çözmek için, şekil 2.16'da görüldüğü gibi ilk önce Taylor modelinin ilk parçası kullanılarak kök fonksiyonu doğrusallaştırılmaktadır.



Şekil 2.16. Taylor serilerinin dönüşümü

Taylor modelinde;

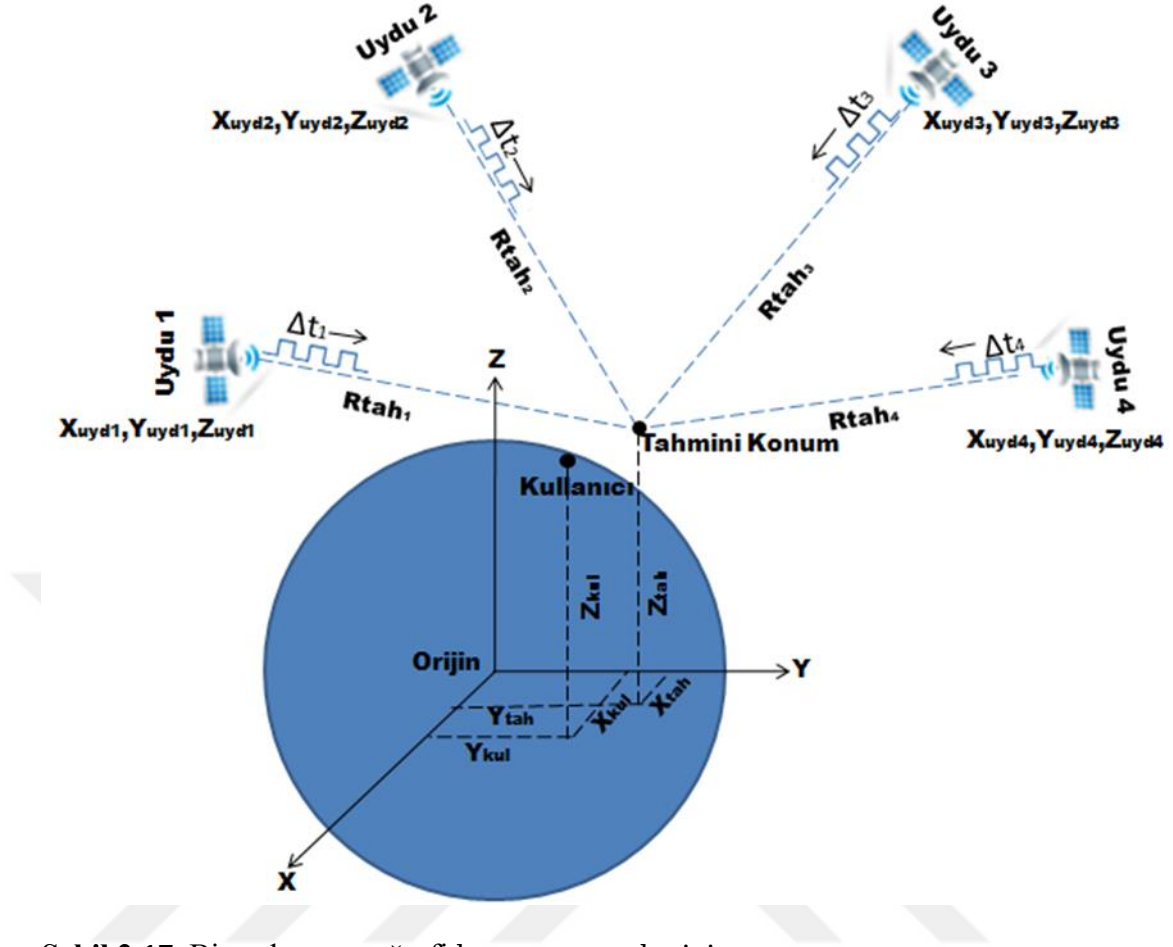
$$\Delta x = x - x_0 \quad (2.8)$$

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \times \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} (\Delta x)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!} (\Delta x)^3 + \dots \quad (2.9)$$

Sadece birinci parçaya göre sadeleştirilmiş hali:

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \times \Delta x \quad (2.10)$$

Dört eşitliği doğrusallaştırabilmek için, rastgele bir değer verilen x_0 , x değerine benzer bir değer olacak şekilde işleme dâhil edilmelidir. Küresel konumlandırma sistemi için bu işlem, şekil 2.17'de görüldüğü gibi doğrudan gerçek koordinatlar hesaplanması yerine, başlangıçta tahmini koordinatların kullanılması anlamına gelmektedir.



Şekil 2.17. Bir noktanın coğrafi konumunun tahmini

Hesaplamalarda tahmin edilen bu konum, Δx , Δy ve Δz gibi değeri bilinmeyen değişkenler tarafından üretilen bir hata içermektedir.

$$X_{kul} = X_{tah} + \Delta x \quad (2.11)$$

$$Y_{kul} = Y_{tah} + \Delta y \quad (2.12)$$

$$Z_{kul} = Z_{tah} + \Delta z \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.2'ye benzer biçimde dört uydunun tahmini konumları kullanılarak kullanıcı ile uydular arasındaki mesafe (R_{tah}) hesaplanabilmektedir.

$$R_{tah} = \sqrt{(X_{uydu_i} - X_{tah})^2 + (Y_{uydu_i} - Y_{tah})^2 + (Z_{uydu_i} - Z_{tah})^2} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14, Eşitlik 2.7 ve 2.9 ile birleştirilerek sahte uzaklık hesaplanır.

$$PSR_i = R_{tah_i} + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial x} \times \Delta x + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial y} \times \Delta y + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial z} \times \Delta z + c \times \Delta t_0 \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15 üzerine kısmi türev uygulanırsa:

$$PSR_i = R_{tah_i} + \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta x + \frac{Y_{tah} - Y_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta y + \frac{Z_{tah} - Z_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta z + c \times \Delta t_0 \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16 üzerine transpoze işlemi uygulandıktan sonra, eşitlikler, lineer cebir kullanılarak çözülebilmektedir:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{tah1} \\ PSR_2 - R_{tah2} \\ PSR_3 - R_{tah3} \\ PSR_4 - R_{tah4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{tah1} \\ PSR_2 - R_{tah2} \\ PSR_3 - R_{tah3} \\ PSR_4 - R_{tah4} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

X_{tah} , Y_{tah} ve Z_{tah} sonuçlarının tekrar hesaplanabilmesi için eşitlik 2.18’de bulunan Δx , Δy ve Δz , değerleri kullanılmaktadır. Δx , Δy ve Δz değerleri 0.1 m gibi istenilen hata miktarı düşene kadar, normal iterasyon yöntemi kullanılarak tekrar hesaplanan X_{tah} , Y_{tah} ve Z_{tah} değerleri, eşitlik 2.18’in içerisine eklenerek devam edilir. İterasyon işleminin en az 3 kez tekrar edilmesi ile ilk tahmine bağlı olmak şartıyla, Δx , Δy ve Δz değerleri 1 cm’nin altına düşürülebilmektedir.

2.1.4. GPS’in hataları

Küresel konumlama sistemi çok avantajlı ve ayrıntılı bir sistem olmasına rağmen, zeminin geometrisi, atmosferik etkiler, uydu ve alıcının üzerinde bulunan saatlerden dolayı bazı hatalar vermektedir (Vega 2001). Küresel konumlama sisteminde oluşan hatalar aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

- Uydu saatleri: Tüm uydularda 4 adet atomik saat bulunmasına rağmen, 3 metrelik bir ölçüm hatası 10 ns’lik bir saat hatasından oluşmaktadır.
- Uydu yörüngeleri: Uydu yörüngelerindeki sapmalar, uyduların dünya, güneş ve ayın çekim kuvveti etkisi altında hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Yeryüzünde bulunan kontrol istasyonları tarafından gönderilen yörünge sinyalleri

bu sapmaları düzeltmeye çalışılmasına rağmen yaklaşık bir ile beş metre arasında uydu yörüngelerinde sapmalar meydana gelmektedir. Uydu yörüngelerinde meydana gelen sapmalar konum ölçümlerinde yaklaşık iki metre civarında hataya sebebiyet vermektedir.

- Işık hızı: Uydu sinyalleri, kullanıcılara ulaşana kadar Troposfer ve İyonosfer gibi farklı atmosferik ortamlardan geçmek zorundadır. Bu geçiş esnasında troposferdeki su buharı miktarından ve iyonosferdeki elektron hareketlerinden dolayı sinyalde gecikme meydana gelmektedir (Corrigan vd. 1999).
- Sinyal aktarım süresinin ölçümü: GPS alıcısı yaklaşık 10-20 ns arasında bir sürede uydudan gelen sinyali işleme alıp, konumunu belirleyebilmektedir. Üç ile altı metre arasında ölçüm hatasına sebep olan bu süreyi karasal yansımalar da olumsuz etkileyerek ölçüm hatalarını daha da artmasına neden olmaktadır.
- Uydu geometrisi: Yeryüzündeki küresel konumlama sistemi alıcıları tarafından görülen küresel konumlama sistemi uydularının, yörüngede bulunan geometrik konumlarıdır. Ölçüm hassasiyeti üzerinde, uyduların bu geometrik duruşunun önemli etkileri vardır (Wells vd. 1987).

Çizelge 2.2’de çeşitli etkenlerden dolayı kaynaklanan GPS hataları görülmektedir.

Çizelge 2.2. GPS hata kaynakları

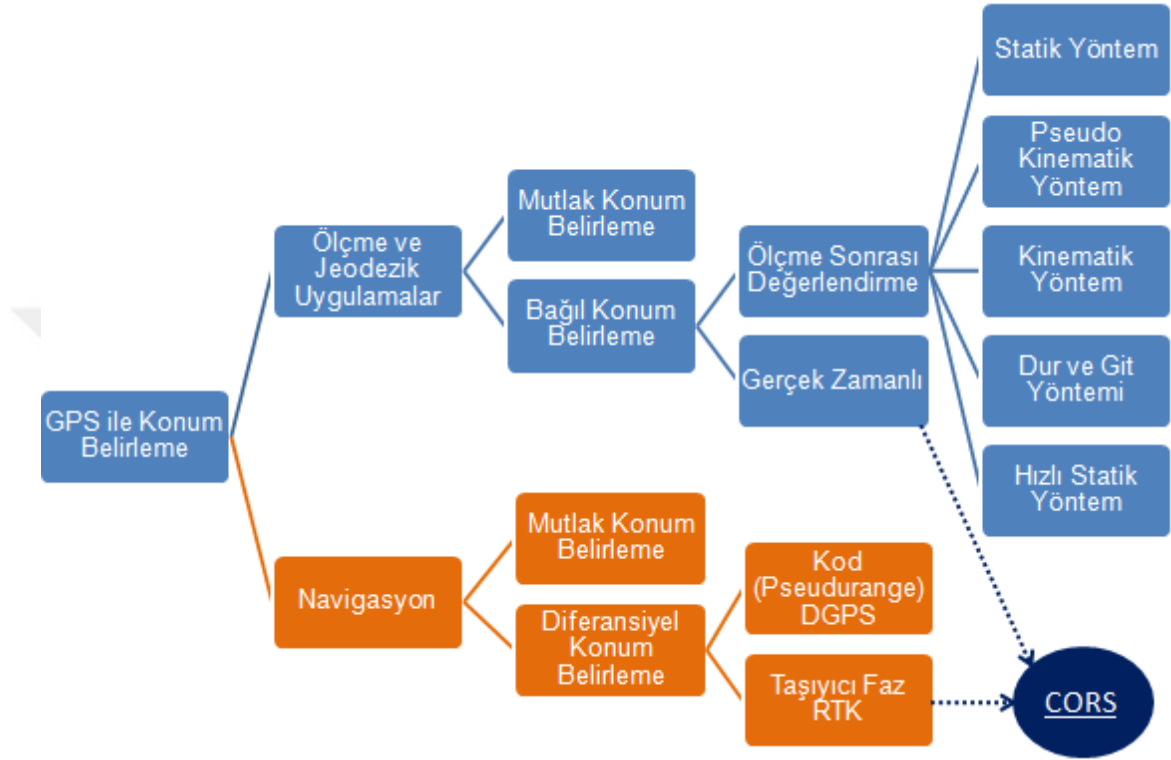
Hata Kaynağı	Hata Miktarı
İyonosfer etkisi	4 metre
Uydu saatleri	2.1 metre
Alıcı ölçümleri	0.5 metre
Efemeris verisi	2.1 metre
Troposfer etkisi	0.7 metre
Değişken rota hatası	1.4 metre

24 saatlik süre içerisinde yapılan her ölçümün % 95’lik güven seviyesinde olması şartıyla dikeyde 9 metrenin altında yatayda 7.4 metrenin altında ölçüm hatası olduğu Amerikan Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından yapılan ölçümlere göre bildirilmiştir (Parkinson ve Spilker 1995). Ölçüm hatalarını santimetre altı seviyelere indirilebilmek için hata kaynaklarının sayısı azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bunun için DGPS gibi uygun yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

2.1.5. Konum belirlemede kullanılan GPS yöntemleri

Şekil 2.18’de görüldüğü gibi bağıl ve mutlak konum belirleme olmak üzere 2 farklı, GPS ile konum belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Mutlak konumda, bir nokta için ölçülen doğruluk seviyesi 10 metre civarında olup ölçüm esnasında sadece bir GPS alıcısı kullanılmaktadır. Bir noktanın mutlak konumunun küresel anlamdaki doğruluğu $\pm$

100 m’lik bir alan içindedir (Shaw vd. 2000). En az 2 alıcı kullanılarak elde edilen bağıl konum belirlemede, alıcıların birbirlerine göre olan konumlarından yararlanılmaktadır. Bu sayede milimetre seviyesine kadar hassas konum belirlemek mümkün olmakla birlikte mutlak konumu bilinen noktalardan hareket etmek suretiyle bağıl konum belirleme yöntemlerinden birisi kullanılarak da mutlak konum belirlenebilmektedir (Hoffmann vd. 2001).



Şekil 2.18. Konum belirlemede kullanılan GPS yöntemleri (Ünal 2012)

Uzunluk (Pseudorange) ve faz ölçüm teknikleri olmak üzere 2 farklı ölçme tekniği küresel konumlama sisteminde konum belirlemek için geliştirilmiştir. Uzunluk ölçme yöntemi ile alıcıyla uydu arasındaki mesafe tespit edilmektedir. Bunun için GPS sinyalinin alıcıya varış zamanı ile sinyallerinin uydudan çıkış zamanı arasındaki süre hesaplanarak ışık hızı ile çarpılır. Navigasyon için gerekli olan hassasiyet, uzunluk ölçme yöntemi ile sadece bir yeryüzü alıcısı kullanılarak sağlanabilir. Daha fazla hassasiyet istenilen yerlerde, taşıyıcı dalga faz farkını ölçmek için en az iki tane alıcı kullanılmaktadır. Uydu ve yeryüzü alıcısı arasındaki ilk haberleşme anından itibaren L1 ve L2 taşıyıcı dalgalarının alıcıya gelen tepe noktaları sayısı ölçülerek suretiyle santimetre hassasiyetinde gerçek zamanlı ölçüm yapılmaktadır (Langley 1998). Faz ölçmeleri sonucundaki matematiksel modellemeler vasıtasıyla uydu ve alıcı saat hataları tamamen çözülmesine rağmen tamsayı belirsizlikleri tamamen çözülmemeyip önemli düzeyde azaltılmaktadır. Sinyal yansımaları ile faz sıçramaları gibi istenmeyen hatalar göz önüne alınmadığında atmosferik gecikme hatalarının bir kısmı giderilmek suretiyle öngörüle bulunan hassasiyet değerine ulaşılmaktadır (Remondi 1984).

Pratik olarak anında konum belirlemede istenilen gerekli doğruluk için uzunluk

ölçme yöntemi yeterli olmasına rağmen daha fazla duyarlılığa ihtiyaç duyulan mühendislik hizmetlerinde faz ölçümleri kullanılmaktadır. Genel olarak bağıl konum 5 farklı faz ölçüm yöntemi kullanılarak bulunmaktadır.

2.1.5.1 Statik ölçme yöntemi

Yüksek hassasiyetin önemli olduğu çalışmalarda, troposfer ve iyonosfer gibi sistematik etkilerin hesaba katılması gerektiğinde, ölçülecek baz vektörlerinin uzun olduğu durumlarda, farklı bir ölçme yönteminin mevcuttaki uydu geometrisi yüzünden kullanılamadığı durumlarda ve ölçülmesi gereken baz vektörlerinin uzun olması gibi koşullarda uydulardan alınan veriler bağıl yaklaşımla hesaplanarak statik GPS ölçme gerçekleştirilir. Troposferik ve iyonosferik (atmosferik hatalar) hataları minimize etmek ve alıcı ile uydu saat hatalarını tamamen giderebilmek için bağıl değerlendirme yöntemi kullanılmaktadır. Statik ölçme yönteminde, 30 ile 60 dakika arası ölçüm süresi ile milimetre düzeyinde hassasiyet, baz vektörünün uzunluğuna bağlı olarak, elde edilmektedir. Genel olarak statik ölçme ile 5 mm + 1 ppm civarı doğrulukta ölçümler yapılabilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2001).

Taşıyıcı fazı ölçümlerine bağlı olan bu yöntem bir bağıl konumlama tekniğidir (Hoffmann vd. 2001). En az 2 alıcıyla yapılan gözlemlerde süre uzundur. Bu süre, yeryüzündeki iki alıcı arasındaki uzaklığa ve beklenen doğruluğa göre değişmektedir. Gözlem süresi genellikle 30 dakika ve bu sürenin üstü olarak belirlenir. Deformasyon ölçmeleri, yatay kontrol ağlarını (nirenge ağları) oluşturan noktaların konumları ve yüksek doğrulukta ölçümler çalışmalar bu yöntemle yapılabilir (El-Rabbany 2002).

2.1.5.2. Hızlı statik ölçme yöntemi

Statik GPS ölçme yönteminden çok daha kısa sürede istenilen hassasiyetle ölçüm yapabilen hızlı statik GPS ölçme yönteminde, yeryüzü koordinatları önceden bilinen sabit bir referans noktasında alıcılardan birisi devamlı olarak veri toplamaktadır. Ölçüm yapılacak olan diğer noktalardan ikinci veya daha fazla sayıdaki alıcılarda beş ile otuz dakikalık süreler zarfında veriler toplanıp, tüm noktalardan toplanan veriler ile referans noktasından elde edilen veriler bağıl yaklaşım yöntemine göre değerlendirilmek suretiyle çözüm yapılmaktadır. Yirmi kilometreden düşük baz vektörlerinin hızlı statik GPS ile ölçümlerinde, ölçüm süresine, uydu geometrisine ve uydu sayısına bağlı olarak 0-5 milimetre + 1 ppm civarlarında doğrulukla sonuç alınmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.3. Dur - git ölçme yöntemi

Dur – git ölçüm yönteminde, sabit bir referans istasyonunda alıcılardan birisi durmakta iken ölçülmek istenilen lokasyonları ikinci alıcı veya diğer alıcılar gezmektedir. Dur ve git ölçümünde faz belirsizliğini ortadan kaldırmak için birinci lokasyonda bir iki dakika statik ölçüm yapılır ve alıcıyla aynı uydular izlenirken diğer lokasyonlar da birkaç epokluk veri ile ölçülebilmektedir. Eğer uydu sayısı 4'ün altına düşerse faz belirsizliğinin tekrar çözümlenerek hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için ilk noktadan itibaren ölçümlere tekrar başlanır ya da bir sonraki lokasyonda daha uzun süre beklemek suretiyle faz belirsizliği tekrar belirlenir. Bu yöntem doğruluğu yaklaşık 1-2 cm + 1 ppm olan birbirine çok yakın lokasyonların ölçülmesinde kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.4. Kinematik ölçme yöntemi

Dur ve Göt GPS ölçme yöntemiyle benzerlik göstermesine rağmen, bu yöntemde her bir nokta ölçülmez. Onun yerine yeryüzündeki gezici alıcının takip ettiği güzergâh tespit edilmektedir. Kinematik ölçme yönteminde de ölçüme faz belirsizliği çözülerek başlanır. Yaklaşık 1-2 cm + 1 ppm doğruluğa sahip olan bu yöntem oldukça hızlı ve ekonomik bir ölçüm yöntemi olup genellikle hareket halindeki araçları takip etmede ve hidrografik ölçümlerde kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.5. Pseudo kinematik ölçme yöntemi

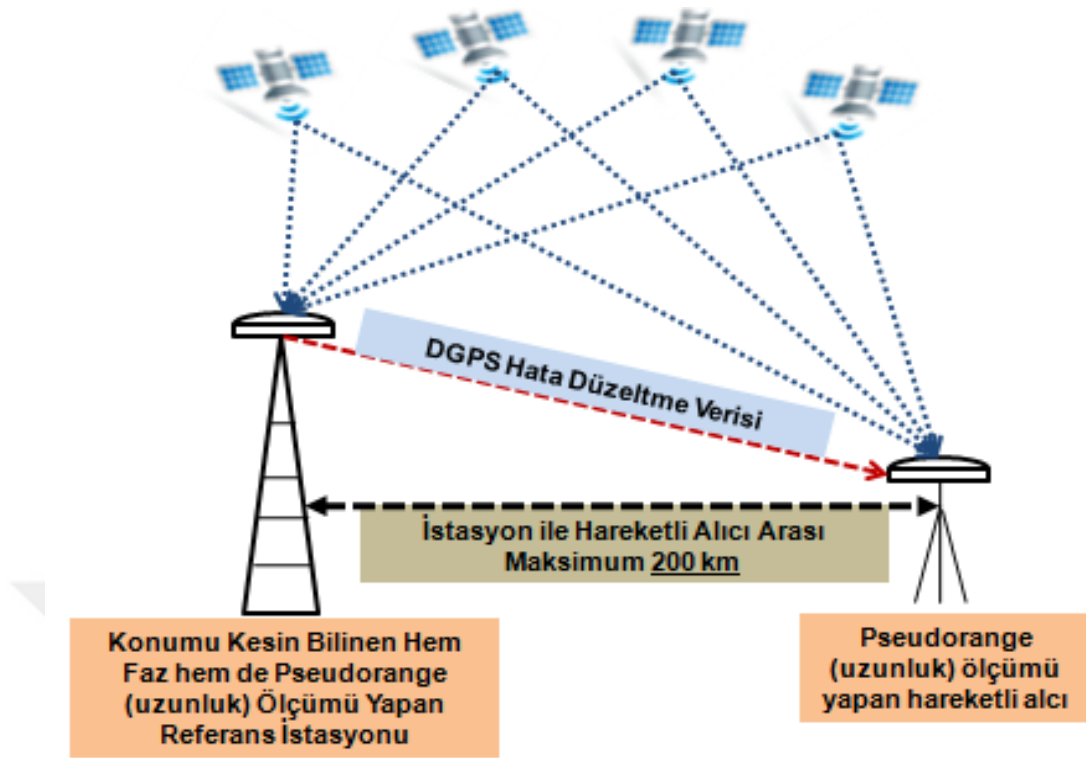
Ölçüm yapılacak olan lokasyonların, birkaç dakikalık süreler ile bir ile dört saatlik zaman zarfında, değişen uydu geometrisinden yararlanmak suretiyle en az 2 kez ölçülmesi işlemidir (Eren ve Uzel 1995). Kinematik ve statik yöntemlerle benzer yanları bulunan bu GPS ölçme yöntemi genellikle tek frekanslı ve uydu geometrisinin zayıf olduğu şartlarda uygun sonuçlar verdiği için kullanılmaktadır. Merkezsel baz ve travers yöntemi olarak 2'ye ayrılan bu yöntemde, yeryüzündeki alıcılardan bir tanesinin sabit kalarak ikinci alıcı veya diğer alıcıların ölçüm yapılacak olan noktalarda gezdirilerek hızlı statik ölçme yönteminde olduğu gibi ölçüm yapılan noktalar ile referans istasyonu arasındaki baz vektörlerinin elde edilmesi işlemine merkezsel baz yöntemi denir. Her 2 alıcının da hareketli olduğu, sabit bir alıcının olmadığı ölçüm yöntemi Travers yöntemidir. Bu ölçüm yönteminde birbirine komşu ardışık baz vektörlerinin ölçümü atlamalı olarak yapılmaktadır. İki yöntemde de alıcıların homojen olmamasından kaynaklanabilecek hataları en aza indirmek için ölçüm tekrarları esnasında aynı alıcının aynı lokasyonda bulunması gerekmektedir. Bu ölçüm yönteminde doğruluk 5-10 mm + 1 ppm civarlarındadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.6. Diferansiyel GPS (DGPS)

Kara, hava ve deniz araçlarının navigasyonunda yüksek anlık doğruluklara ihtiyaç duyulduğundan dolayı GPS ile elde edilen doğruluk bu gibi durumlarda yeterli olmamaktadır. Böyle durumlarda mevcut GPS sisteminin kullanımı kısıtlı kalmakta ve navigasyon için istenilen anlık doğruluklara Diferansiyel GPS gibi spesifik teknikler kullanılarak ulaşılabilmektedir.

Bazı özel durumlarda milimetre seviyesindeki hassasiyetle konum bilgisi gerektiği için yatayda yirmi metre civarında elde edilen hassasiyet bu uygulamalar için yeterli olmamaktadır. Bu sistemde yeryüzündeki alıcıya ek olarak şekil 2.19'da görüldüğü gibi koordinatları önceden kesin olarak bilinen ikinci bir referans alıcısı kullanılır. Hassasiyeti azaltan hataları giderebilmek için yeryüzündeki kullanıcı alıcısı ile referans alıcısı sürekli olarak birbirleriyle karşılaştırılır. Bu alıcıların karşılaştırılması sonucunda elde edilen farklılıklara DGPS denilmektedir. Karşılaştırma işlemi aşağıda maddeler halinde görüldüğü gibi 2 farklı yöntemle yapılabilmektedir:

- Sinyal aktarım süresi ölçülerek yapılan DGPS (erişilebilir hassasiyet yaklaşık 1 m)
- Taşıyıcı sinyalin faz ölçümü yapılan DGPS (erişilebilir hassasiyet yaklaşık 1 cm)

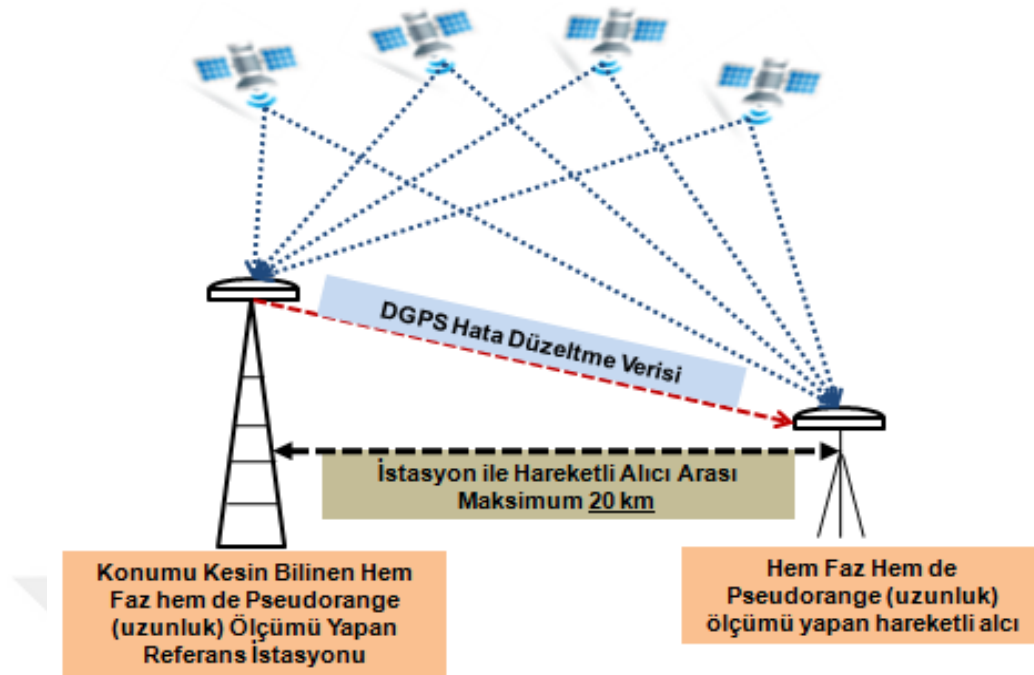


Şekil 2.19. Konum belirleme için DGPS yöntemi

Bütün uydulardan alınan sinyallerin aktarım süreleri koordinatları tam olarak bilinen bir referans istasyonu tarafından ölçülür. Uydular ile istasyon arasındaki sahte mesafe bu ölçüm sonrasında tespit edilir. Bu esnada, uydular ile istasyon arasındaki gerçek uzaklık mesafesi de referans alıcısının koordinatlarının tam olarak bilinmesinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Elde edilen gerçek mesafeler ile sahte mesafeler arasındaki fark alınarak düzeltme değeri hesaplanır. Bulunan bu düzeltme değeri, tüm uydular için farklı olmakla birlikte belli bir km^2 bir yarıçap içerisindeki bütün GPS alıcıları için geçerli olmaktadır. Hesaplanan düzeltme değerleri, verici, radyo, telefon gibi uygun bir iletim ortamından yayınlanmak suretiyle geniş bir alan içerisinde bulunan diğer hareketli GPS alıcılarının sahte mesafe ölçüm değerlerinin düzeltilmesinde kullanılır. Hareketli GPS alıcıları düzeltme sinyalini aldıktan sonra, kendi elde ettiği ölçümlerdeki sahte mesafe bilgisini de kullanarak gerçek mesafeleri belirlemek suretiyle tam konumu hesaplayabilir (Ünal 2012).

2.1.5.7. RTK (Gerçek zamanlı kinematik) GPS

RTK GPS, eş zamanlı ölçümlerde kullanılmak için tasarlanmış bir ölçüm yöntemidir (Aydın vd. 2005). İşleyiş ve tasarlanış bakımından DGPS (Diferansiyel GPS)'e benzediğinden dolayı buna PDGPS (Presizyonlu DGPS) de denilmektedir (Alkan 1998). DGPS yönteminde yaklaşık 1 m hassasiyetle ölçüm yapılabilmesine rağmen gerçek zamanlı kinematik GPS yönteminde taşıyıcı dalga faz gözlemleri kullanılarak santimetre altında hassasiyetle anlık ölçüm yapılabilir. Gerçek zamanlı kinematik GPS uygulamalarında, şekil 2.20'de görüldüğü gibi hareketli GPS alıcısı konum çözümü yaparken diğer koordinatları kesin olarak bilinen bir noktada sabit olarak sürekli gözlem yapmaktadır.



Şekil 2.20. Gerçek zamanlı kinematik GPS (Ünal 2012)

Taşıyıcı faz uzunluğu, sabit GPS alıcısı ile uydu arasındaki herhangi bir zamanda ölçülür. GPS alıcısı ile uydu arasındaki koordinat farklarının hesaplanması sonucu elde edilen geometrik uzunluk ile taşıyıcı faz uzunluğu karşılaştırılarak bu faz ölçülerine yapılacak düzeltme oranı hesaplanmak suretiyle radyo dalgaları aracılığı ile gezici GPS alıcılarına iletilir (Aydın vd. 2005). Gezici GPS alıcılarının hassas olarak konumlarını belirleyebilmek için radyo dalgaları üzerine kodlanarak modüle edilmiş olan düzeltmeleri alması ve kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirmesi gerekmektedir.

RTK uygulamalarında genellikle taşıyıcı faz modunda çalışmalar yapılır. Hareketli GPS alıcıları ile uydular arasındaki dalga boyunun tam sayı değeri bulunmak suretiyle taşıyıcı faz ölçümlerinde yüksek hassasiyette doğruluk elde edilebilmektedir. Ölçmeden önce, statik ölçümler yapılarak kinematik uygulamalarda bu değer çözümlenmekle birlikte ölçüm sonrası, değerlendirme programları yardımıyla çözüm yapılmaktadır. Ancak GPS alıcısının hareketli olduğu araç navigasyonu gibi uygulamalarda On-The-Fly (OTF) tekniği kullanılarak tam sayı bilinmeyi çözümlenmektedir. Sürekli hareket halindeki bir araçta bulunan GPS alıcısıyla yapılan ölçümlerde kinematik OTF tekniği kullanılarak, statik olarak başlangıçtaki tam sayı belirsizliğini çözmeye gerek kalmadan, bu tam sayı belirsizliği tespit edilebilmektedir. Atmosferik hatalara, hareketli GPS alıcıları ile sabit alıcıların arasındaki mesafeye, uydu geometrisine, uyu sayısına, kutlanılacak olan verinin türü ve kalitesine bağlı olarak OTF yönteminin çözüm başarısı değişmektedir. Sinyal yansıması ise On-The-Fly çözümünün başarısını azaltan en önemli faktördür (Alkan 1998). Yansıma etkisi, modellenmek suretiyle ölçümlerden uzaklaştırılabilir veya bu yansıma etkisini azaltan antenler kullanılarak minimum seviyeye indirilebilir.

Gezici ve referans istasyonlarında çift frekanslı GPS alıcılarının kullanıldığı RTK GPS yönteminde, diferansiyel GPS'te olduğu gibi kinematik ve statik GPS ölçüm tekniklerinde kullanılan donanımlardan farklı olarak bazı ek donanımlar

kullanılmaktadır. Hesaplaması yapılan taşıyıcı dalga faz ölçüm düzeltmelerini yayımlayan radyo vericisi sabit istasyonda, gönderilen bu faz ölçüm düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı da gezici istasyonda bulunmaktadır (Mekik 2001). RTK GPS'te kullanılan radyo modem ile diferansiyel GPS'te kullanılan radyo modem birbirlerinden farklıdır. Verinin sabit alıcıdan gezici alıcıya en fazla 2 saniye aralıklarla gerçek zamanlı kinematik GPS'te kullanılacak radyo modemi vasıtasıyla gönderilmesi gerekmektedir. Veri hacmi bu güncelleme oranının sık tekrarından dolayı artar. Bu sebeple RTK GPS veri linki için saniyede en az 2400 bitlik hız gerekmesine rağmen olması gereken veri gönderim hızı 19200 bps (Bit Per Second) dir. Bu orandaki bir veri radyo spektrumunun, yasalar gereği kullanım lisansı gerektirdiği 30-300 MHz (VHF) veya 300-3000 MHz (VHF) frekans aralığında desteklenebilir (Langley 1998). GSM teknolojisindeki gelişmelerle birlikte bu sorun ortadan kalkmıştır. GPS alıcısı üreten firmalar mobil telefonların internet hizmeti vermesi özelliğinden faydalanarak en son üretilen RTK GPS alıcıları içerisine sim kart yerleştirilmekte ve bu sayede internet üzerinden düzeltme sinyalleri alıcılara gönderilmektedir.

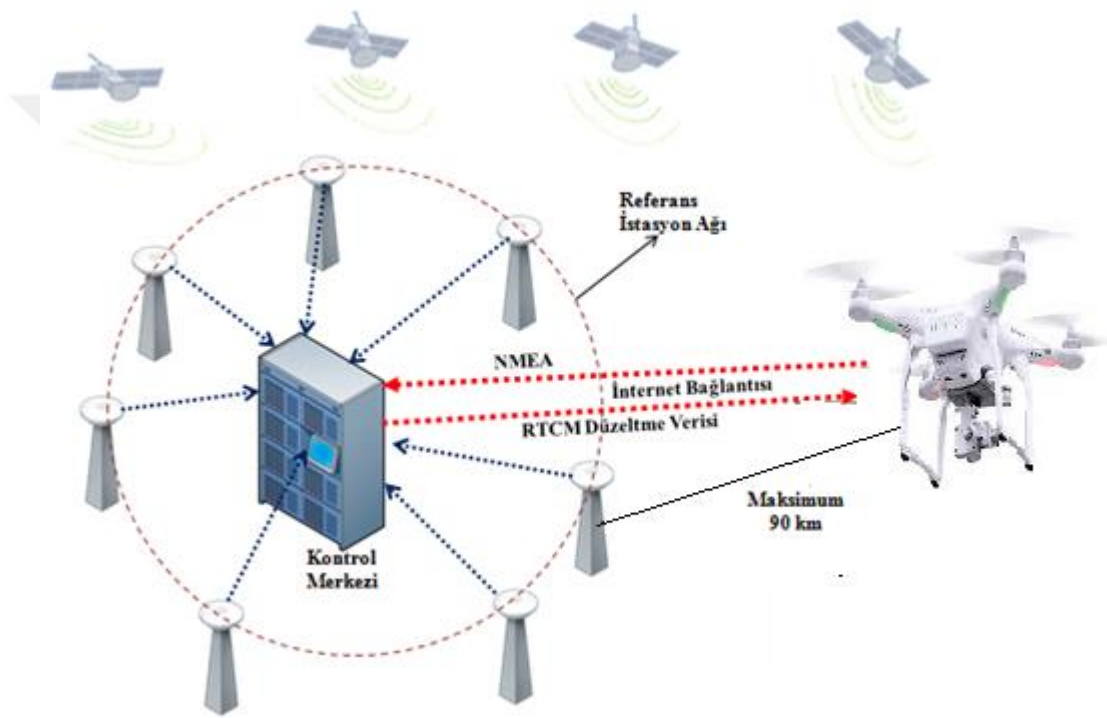
Gezici istasyonların ve sabit istasyonun izlediği uydu sayısı RTK ölçme yönteminde hassasiyeti değiştirmektedir. Bu sistemde ölçüm hassasiyeti izlenilen uydu sayısının artmasıyla da artmaktadır. Ülkeler bazında referans istasyon ağları kurularak sistemin çok daha fazla sayıda uyduyu devamlı olarak izleyebilmesine olanak sağlanmıştır. Bu sayede, daha hassas düzeltme bilgileri, ölçüm yapan gezici istasyona, bir referans istasyonundan değil ağdaki tüm istasyonlardan gelmektedir.

2.1.5.8. RTK GPS'in referans istasyon ağı ile ölçümü

Faz ölçüm yöntemi ve iki eş zamanlı GPS ölçüm alıcısı kullanılarak jeodezik doğruluk elde edilebilir. Bu alıcılardan ilki koordinatını tespit etmeye çalışan hareketli GPS alıcısı ikincisi ise koordinatları önceden kesin olarak bilinen referans istasyonudur. Bu sistem ile faz ve uzunluk ölçümü yapılabilir. Sistemde doğruluk, ölçüm yapılan tekniğe göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak bir metredir. Burada, gerçek zamanlı kinematik sistemindeki referans istasyon ile alıcı istasyonu arasındaki yirmi kilometrelik mesafe diferansiyel GPS yönteminde maksimum iki yüz kilometredir. Hassasiyet 2 etkenden olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunlardan birincisi alıcıların izlediği uydu sayısı diğeri de alıcı ile istasyon arasındaki mesafedir. Ülkeler referans istasyon ağları kurarak kendi bünyelerinde devamlı olarak izlenebilir uydu sayısını arttırmayı hedeflemektedir. Bu sayede iki olumsuzluğu da çözmek mümkün olmaktadır. Bu sisteme, sürekli gözlem yapan referans istasyonu (CORS - Continuously Operating Reference Station) adı verilmiştir.

Tek bir referans istasyonundan veri alma zorunluluğu bu CORS sisteminde ortadan kalkarak birçok referans istasyonuna ait verilerden yararlanmak suretiyle bir bölgenin atmosferik modellemesi yapılabilir. GPS ölçümlerini olumsuz yönde etkileyen troposfer ve iyonosfer hataları bu modelleme sonucunda konum belirleme uygulamaları için oldukça düşük seviyelere indirilebilmektedir (Kahveci 2009). Bu sistem sayesinde kurulum maliyetleri de kullanıcılar için azalmıştır. Sadece teknik donanımına sahip alıcı kullanmak yeterli olduğu için bu sistemde kurulum maliyetleri kullanıcılar için azalmıştır.

CORS sisteminde, GPRS/EDGE/3G/LTE, ADSL veya leased line üzerinden kontrol merkezine gönderilen veriler GPS alıcıları tarafından çalışma bölgesindeki koordinatları bilinen uydulardan alınmaktadır. Aynı zamanda, şekil 2.21’de görüldüğü gibi gezici istasyon tespit ettiği konum bilgisini A.B.D. Ulusal Deniz Elektronik Birliği’nin geliştirdiği NMEA (National Marine Electronics Association) formatında kontrol merkezine iletir. Gerçek zamanlı kinematik ve diferansiyel GPS düzeltmeleri kontrol merkezinde, alınan veriler yardımıyla atmosferik modellemeler yapılmak suretiyle hesaplanarak, konumlama için gezici GPS alıcılarına GPRS/EDGE/3G/LTE üzerinden RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatında gönderilmektedir. CORS sisteminde sabit istasyon ile gezici istasyon arasındaki mesafe maksimum 90 km arasında olmasına rağmen bu mesafe RTK ölçme yönteminde maksimum 20 km idi.



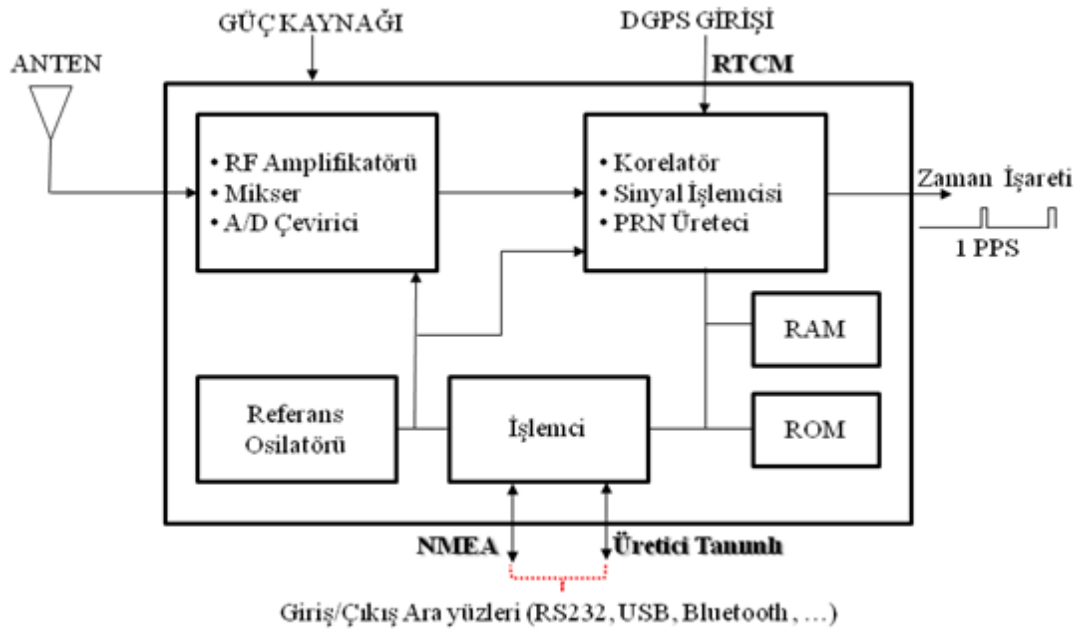
Şekil 2.21. CORS sisteminin yapısı

Tez çalışmasında dikey ve yatay konumda cm altı hassasiyet elde edilebilen CORS sistemi yararlanılmış olup düzeltme sinyalleri için CORS ağından faydalanılmıştır. Bunun için CORS sistemini destekleyen özelliklere sahip bir hareketli GPS alıcısı kullanılmıştır.

2.1.6. GPS alıcısı ve veri iletişim formatları

GPS alıcılarının konumlarını hassas bir şekilde belirleyebilmeleri için en az 4 adet uydudan gelen zayıf anten sinyallerini değerlendirmeleri gerekmektedir. GPS alıcıları, gerçek zaman ve konum bilgileri ile birlikte fiziksel değişkenler olan ivme ve hız bilgileri de tespit edebilirler. Bu alıcılar aynı zamanda izlenen uyduların durumları ve sayıları hakkında da bilgi aktarmaktadır.

L1 ve L2 sinyalleri daha düşük bir ara frekansa dönüştürülmeden önce küresel konumlama sisteminin anteni yardımıyla alınır ve radyo frekans (RF - Radio Frequency) amplifikatörü ile güçlendirilir. Analog yapıda olan bu ara frekans, iki bitlik analog dijital dönüştürücü (ADC - Analog Digital Converter) yardımıyla sayısal sinyale çevrilir. Frekans çevriminde kullanılacak olan taşıyıcı dalga sinyali referans osilatörü tarafından üretilir. Bu osilatör aynı zamanda işlemci ve korelatör için gereken saat frekansını da üretmektedir. PRN (Pseudo Random Noise) üreticinin oluşturduğu sinyal ve gelen PRN (Pseudo Random Noise) sinyalinin korelasyonu arasındaki zaman farkı GPS alıcısına uydudan gelen sinyalin aktarım süresini belirler. Eş zamanlı olarak en fazla 16 uydu sinyali, GPS alıcısının da özelliklerine bağlı olmak koşuluyla sinyal işlemcisi tarafından işlenebilmektedir. İşlemci, değişkenleri hesaplama ve konum belirleme işlemlerini gerçekleştirir. RTCM ve NMEA olmak üzere iki önemli veri iletişim formatı GPS alıcıları için standart hale gelmiştir. RTCM formatı DGPS düzeltme sinyalleri için kullanılır. NMEA formatı ise, GPS alıcısı vasıtasıyla hesaplanan verilerin farklı ortamlara ulaştırılmasını sağlar. Bunlar dışında kullanılan diğer veri iletişim formatları olmakla birlikte kullanımları üretici şirketlere göre farklılık göstermektedir. GPS alıcılarının blok yapısı şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. GPS alıcısına ait blok şema (Zogg 2002)

2.1.6.1. NMEA veri iletişim formatı

GPS alıcıları tarafından hesaplanan konum, hız, rota gibi değişkenler RS232, USB, Bluetooth gibi ara yüzler vasıtasıyla bilgisayar, ekran, verici gibi çevre birimlere iletilir. Bu değişkenlerin, sorunsuz bir şekilde aktarılabilmesi için Amerika Ulusal Deniz Elektroniği Birliği (NMEA) tarafından standartlaştırılan özel bir format kullanılır. GPS verileri günümüzde NMEA – 0183 formatına göre yayınlanmaktadır. GPS verileri genel olarak aşağıda maddeler halinde gösterilen yedi veri seti yardımıyla iletilmektedir (NMEA 0183 1998).

- GGA (GPS için sabit veri)
- GGL (Coğrafik pozisyon, enlem - boylam)
- GSA (Aktif olan uyduların durumları hakkında bilgiler)
- GSV (İzlenen uydular hakkında bilgiler)
- RMC (Önerilen minimum navigasyon bilgileri)
- VTG (Yatay seyir, ilerleme hızı, yer hızı ve hız bilgileri)
- ZDA (saat, tarih bilgileri)

2.1.6.2. RTCM SC – 104 veri iletişim formatı

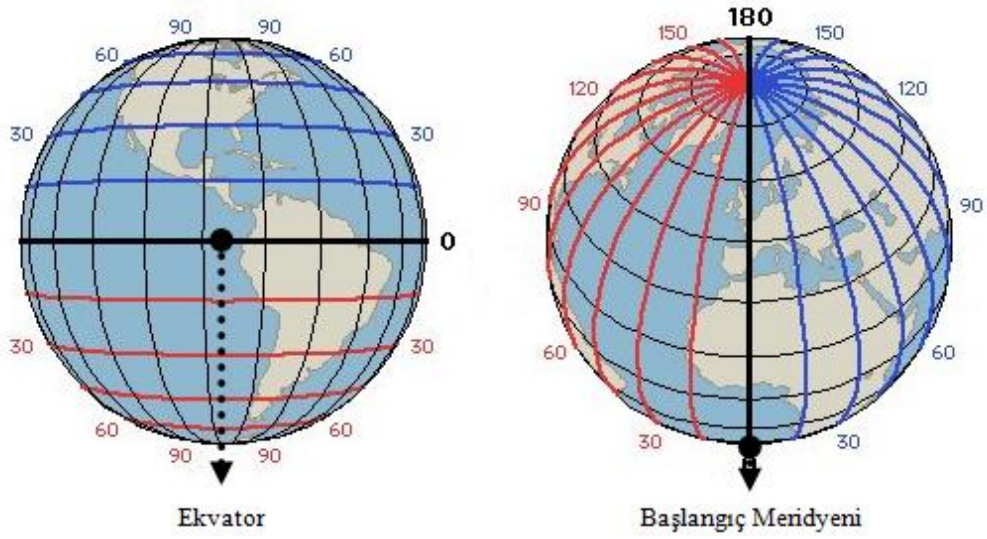
Düzeltilme sinyallerinin aktarımında kullanılmakta olan RTCM SC – 104 Denizcilik Hizmetleri Radyo Teknik Komisyonu (Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104) tarafından standart hale getirilen özel bir formattır ve dünya çapında endüstriyel bir standart olarak kabul görmektedir (RTCM 104 1990). RTCM veri aktarım formatının farklı versiyonları aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir.

- RTCM 2.0
- RTCM 2.1
- RTCM 2.2
- RTCM 2.3
- RTCM 2.4
- RTCM 3.0
- RTCM 3.1
- RTCM SAPOS

RTCM formatı farklı marka ve farklı tipteki GPS alıcılarıyla birlikte çalışabilen bir veri iletişim formatıdır. Uzunluk ölçme uygulamalarında özellikle RTCM V2.x versiyonunu kullanılırken, faz ölçümü uygulamalarında V3.x versiyonu kullanılmaktadır.

2.1.7. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS)

Coğrafi bilgi sistemleri, navigasyon uygulamalarına destek olmak, coğrafi konumları tanımlamak ve harita oluşturmak için kullanılmaktadır. Harita üzerindeki bir konumun belirlemede kullanılan hayali çizgilerin birbirleri kesişmesi ile koordinat sistemleri oluşur. Bu sistemler nümerik veya alfa nümerik karakterlerle belirtilen coğrafi değerleri kullanırlar. Coğrafi konumların tanımlanmasında bu değerler kullanılmaktadır. Koordinat sistemlerinde referans noktaları baz alınarak konum ölçümü yapılmaktadır. Koordinat sistemlerinde şekil 2.23’de görüldüğü gibi başlangıç meridyeni boylam için, ekvator da enlem için referans olarak alınmaktadır.

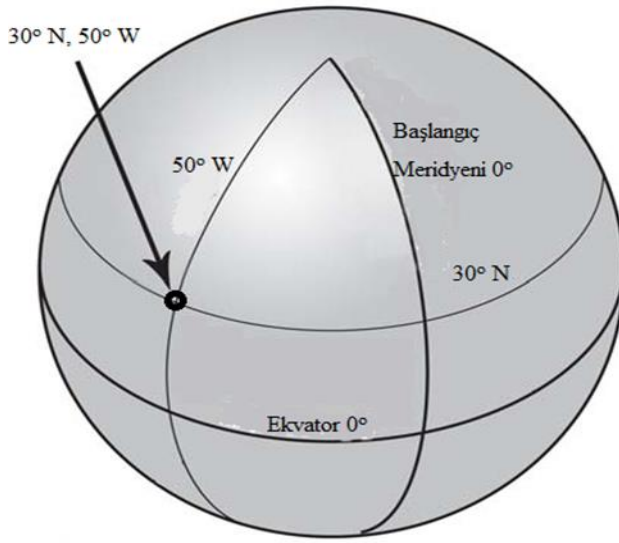


Şekil 2.23. Koordinat sistemleri için referans noktalar

Dünyayı doğudan batıya doğru ekvator çizgisine paralel olarak saran yüz seksen tane çember, enlem çizgilerini oluşturur. Ekvator çizgisinin kuzeyindeki veya güneyindeki konumlarına göre bu enlem çizgileri adlandırılmaktadır. Güney kutbu 90° G, Ekvator 0° ve Kuzey kutbu 90° K olarak tanımlanır. 0° – 90° K ve 0° – 90° G aralıklarında ise diğer enlem çizgileri tanımlanırlar. Aralarındaki mesafe eşit olan tüm enlem çizgileri birbirlerine 111 km uzaklıktadır.

Dünya'daki herhangi bir noktanın başlangıç meridyeni (Greenwich)'ne olan mesafesinin merkezdeki açısal değerine boylam denir. Başlangıç meridyeninden geçtiğinde sıfır derece olarak kabul edilen boylam çizgileri ekvator çizgisine dik açı yapacak şekilde yerküreyi 360 eşit parçaya bölmektedir. Boylam çizgilerinin tanımlanmasında başlangıç meridyeninin doğusunda mı yoksa batısında mı olduğuna bakılır. Aralarında 4'er dakikalık yerel saat farkı olan boylam çizgileri 0° – 180° D ve 0° – 180° B aralıklarında tanımlanırlar.

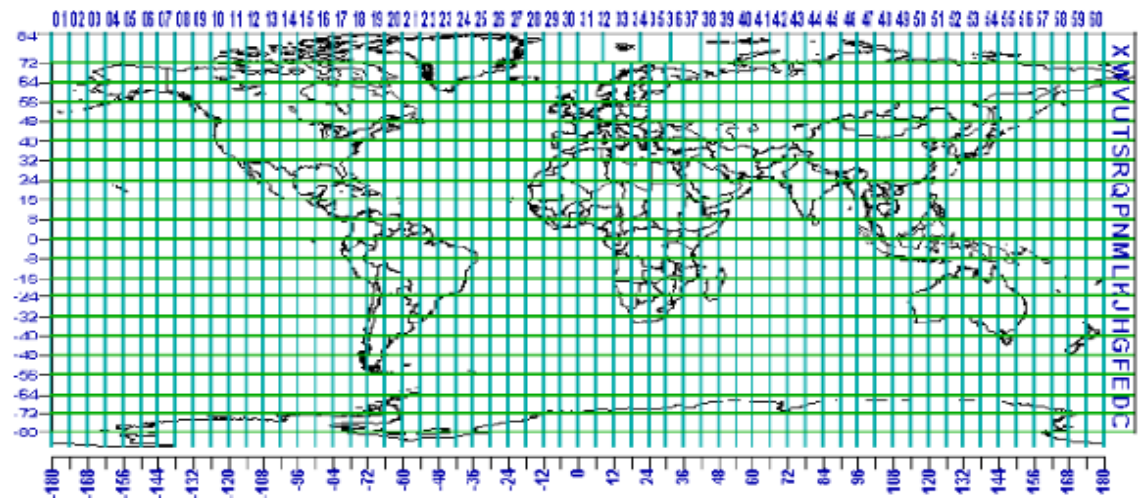
Yerküre üzerindeki bir noktanın coğrafi koordinatı şekil 2.24'de görüldüğü gibi enlem ve boylam çizgilerinin konumuna göre belirlenir.



Şekil 2.24. Bir noktanın coğrafi koordinatlarının belirlenmesi

2.1.7.1. Universal transverse marcator (UTM)

UTM, kürenin, kendisine ekvatora teğet olan silindir izdüşümüdür. Bir objenin yerinin mesafe (metre) formatına göre belirlenmesinde kullanılan UTM, küresel bir koordinat sistemidir. Coğrafi konumların çok hassas bir şekilde tanımlanmasında kullanılan bu metotta dünya, şekil 2.25’de görüldüğü gibi 80° G ve 84° K enlemleri arasında altmış eşit parçaya bölünmüştür. Tüm dilimlerin arasında 6° fark olan UTM metodu CBS ve GPS uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Doğu – batı yönleri için referans noktaları, X eksenini olarak adlandırılan dilimin başlangıç boylamı ve kuzey – güney yönleri için ise Y eksenini olarak adlandırılan ekvator çizgisidir. UTM koordinatları bilinen iki noktanın yön açısı (bearing) ve noktalar arasındaki mesafe düzlemsel trigonometri yöntemlerinin kullanılması sayesinde UTM koordinat sisteminde kolaylıkla hesaplanabilir. Sonuç olarak, yeryüzündeki bir noktanın UTM sistemindeki konumu, X ve Y eksenlerine metre cinsinden uzaklığı olarak tanımlanabilir (Ünal 2012).



Şekil 2.25. UTM koordinat sistemi

2.1.8. Navigasyon metodolojisi

Bir araç veya kişinin bir lokasyondan başka bir lokasyona olan hareketinin izlenmesi ve kontrol edilmesi işlemine navigasyon denir. Karada yön bulma ve güzergah belirleme, hava ve denizde rota belirleme gibi uygulamalarda navigasyon işlemine gerek duyulmaktadır. Bu sebeple isimlendirilmesi kullanılacağı alanlara (kişisel, uçak, gemi, araç navigasyonu vb.) göre değişiklik göstermektedir. Bu navigasyon yöntemleri, uygulama ortamı ve amaca göre farklılıklar gösterse de tüm yöntemlerinin ana amacı yol bulma isteğidir (Doğru ve Uluğtekin 2005).

Navigasyonun, bütün uygulama alanlarındaki temel gereksinimleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- İşlem başlangıç noktasının konumu,
- Kullanıcının anlık konumu,
- Varış noktasının konumu,
- İşlem sırasında kullanılacak yöntem(ler)
- Kullanılacak metoda göre yapılacak hesaplamalar (Nissen vd. 2003).

Aşağıdaki 4 ana bileşenden oluşan yapı oluşturularak silah platform navigasyonu gerçekleştirilebilir.

- Kullanım şartlarına bağlı olarak tercih edilecek GPS,
- Sistemin doğru bir şekilde çalışmasını sağlamak için GPS ile elde edilen verilerin ilişkilendirileceği geometrik ve geometrik olmayan veri,
- Yön bulma işlemi için bütün verileri işleme katarak gerekli hesap ve analizlerin yapılması sonucu yönlendirme işlemi yapabilecek bir yazılım,
- Bu işlemlerin gerçekleştirileceği platform içi donanım olarak sıralanabilir.

2.2. Termal Kameralar

Elektromanyetik spektrumun 7,5–13 μm dalga aralığındaki (kızıl ötesi) kızılötesi ışıınımları kayıt etme özelliğine sahip termal kameralar termografik görüntülerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Cisimlerin sıcaklık modellerini tespit eden bir cihaz olan termal kameralar, bu işlemi doğrudan temas gerçekleştirmeden yaparlar.(Soldan vd. 2011).

Infrared (kızılötesi) enerjiye göre oluşan şekil ve renklerin tespit edildiği bir görüntüleme sistemi olan termal kameralar, gözle görülmesi mümkün olmayan infrared ısıyı (enerjiyi) temel alır.

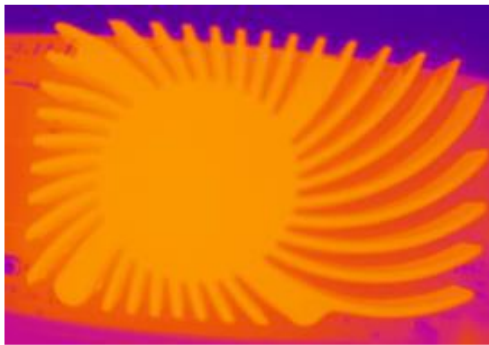


Şekil 2.26. Bir insanın termal kamera görüntüsü

Termal enerji gözle görülemeyen kızılötesi aralıkta (IR) yayılır. Bu kızılötesi aralık kırmızı ışık ve mikrodalga ışınları arasındadır. Termal kameralar çıplak gözle görülmeyen bu ışık dalga boylarını algılar ve ciddi sonuçlar doğurabilecek problemleri net olarak görebilmeyi sağlar.

Elektromanyetik ışınlardan resim oluşturan termal kameralar, 7500–13000 nanometre aralığındaki (elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölümü) elektromanyetik ışınları tespit ederler. Cisimlerdeki enerjiden salınan infared ışınlamayı kayıt eden termal alıcılar bu yönleriyle diğer dijital kameralardan ayrılmaktadır. Sıcaklığın artması cisimlerden salınan ışınlamının miktarının artmasını sağlayarak termografik sıcaklıktaki farkların görülmesini sağlar. Sıcakkanlı hayvanlar veya insanlar daha soğuk geri planların yanında termografik kamera ile görüntülendiklerinde gece veya gündüz fark etmeksizin rahatlıkla tespit edilebilirler. Savunma sanayi, elektrikli ekipmanların kontrolünde, sağlık alanında, süreç ekipmanlarının kontrolünde, bina tanılamaları gibi uygulamalarda termal kameraların kullanım alanı yaygındır.

İzlenecek cismin konumu ve problemin kaynağını bulmada, termal kamera ile elde edilen görüntülerin soğuk noktalarının koyu renkle sıcak noktalarının ise açık renkle görülmesinden faydalanılır. Çekim yapılan ortamın durumunu, termal kameralar tarafından renkli ya da siyah - beyaz olarak gösterirler. Ortamın durumu renkli olarak gösterildiğinde, görüntü işleme programlarında, genellikle kırmızı, sarı ve mavi renk kullanılmaktadır. Şekil 2.27’de görüldüğü gibi en sıcak bölgeler de sarı renk, sarıdan maviye geçerken kırmızı renk ve en soğuk bölgelerde de mavi renk kullanılmıştır (Durgut ve Akçay 2016).



Şekil 2.27. Termal kamera ile ekran kartının görüntüsü (Durgut ve Akçay 2016)

2.1.1. Termal kameraların kullanım alanları

Gece çalışma kabiliyeti ve tüm hava koşullarında iyi performans gösterme yeteneğinden dolayı termal görüntüleme, ordu, donanma ve hava kuvvetleri gibi silahlı kuvvetler için çok yaygın kullanım alanına sahiptir. Termal dedektörler, mutlak sıfır sıcaklığının üzerindeki tüm nesneler tarafından yayılan kızılötesi radyasyonu yakalarlar. Yakalanan sahnenin sıcaklık değişimleri bir termogram olarak gösterilir. Çeşitli avantajlarından dolayı termal görüntüleme, askeri ve savunma alanında çok sayıda uygulamaya sahiptir. Genellikle ordu ve donanma tarafından sınır gözetleme işlemlerinde kullanılır. Aynı zamanda gemi çarpışmalarından kurtulma ve rehberlik sistemlerinde kullanılır. Havacılık endüstrisinde düşük ışık ve gece koşullarında uçaklardaki uçuş riskini büyük ölçüde azaltmıştır. Askeri havacılıkta düşman kuvvetlerini belirlemek, yerlerini tespit etmek ve hedef almak için yaygın olarak kullanılırlar. Aynı zamanda uçakların sağlıklı bir şekilde izlenebilmesi için sivil havacılığa dâhil edilmiştir (Akula vd. 2011).



Şekil 2.28. El tipi termal görüntüleyici

Bilgisayar ortamına aktarılacak analizleri yapılabilen çevresel olay ve cisimlerin dayanıklı ve hafif termal kameralar ile görüntülerinin alınmasının önemi günümüzde giderek artmaktadır. Burada en önemli gereksinim bilgisayar ortamına aktarılan görüntülerin koordinat sisteminde metrik biçimde gösterilmesidir. Elde edilen hedef cisimlere ait görüntülerin 2B (2 boyutlu) değil ölçekli bir 3B (3 boyutlu) model olması istenmektedir. 3B görüntüleme, inşaat projelerinde, dijital arazi modellerinin görselleştirilmesinde, sinema ve televizyon sektörü gibi birçok farklı alanda algılamayı kolaylaştırmasıyla birlikte veri analiz ihtimallerini de arttırmaktadır. Üretilen sistemlerde oluşabilecek sorunların tespit edilmesinde, inşaat projelerinin bitmeden önce gösterilebilmesinde 3B modelleme kullanılmaktadır. İstenilen hassasiyette görüntüler ve nokta bulutları 3B modelleme ile elde edilebilmektedir.

Termal kameralarla elde edilen görüntülerden istenilen yüksek hassasiyette görüntüler elde edebilmek için kameranın uygun biçimde kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı termal kameraların kalibrasyonu üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Yang (2011), termal kamera kalibrasyonunda diğer klasik yöntemlerin uygulanamayacağını savunduğu için çalışmada 3 adet kalibrasyon deseni kullanarak 3 boyutlu yüzey sıcaklık dağılımlarının verimli ve yüksek doğrulukta tespit edilebileceğini göstermiştir.

Konu ile ilgili literatür taraması yapıldığında, genellikle binalara ait termal 3 boyutlu modellemenin yapıldığı görülmüştür. Weinmann vd. (2014) tarafından iç mekânlarda kullanımının daha uygulanabilir olduğu savunulan ve dört aşamadan oluşan bir 3 boyutlu modelleme yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde termal bilginin, 3 boyutlu nokta bulutunun, geometrik düzeltmenin ve radyometrik düzeltmenin birleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Oreifej vd. (2014) tarafından bu konu ile yapılan başka bir çalışmada tavan, taban ve duvarların 3 boyutlu termal nokta bulutundan otomatik olarak modellenmesi önerisi sunulmuştur. Bu yaklaşımda optik kamera ile 3 boyutlu nokta bulutu oluşturmak, lazer tarama ile 3 boyutlu geometri oluşturmak, termal kamera, yardımı ile termal 3B nokta bulutunu oluşturmak amaçlanmıştır. Başka bir 3B modelleme Ham ve Fard (2012) tarafından yoğun bir termal nokta bulutu oluşturacak şekilde yeni bir modelleme algoritması kullanılarak yapılmıştır.

Isı kaçaklarını termal kameralar ile tespit etmek mümkün olduğu için binaların termal modelleri oluşturulmuştur. Bu konuyla ilgili bazı çalışmaları örnek vermek gerekirse; Borrman vd. (2012) tarafından binaların 3 boyutlu modeli oluşturularak yapıların soğutma ve ısıtma sistemlerindeki enerji kayıplarının tespiti amaçlanmıştır. Stockton (2010) tarafından 3B görüntüleme sistemi kullanılarak bir veri merkezinin soğutma işlemlerinin ve güç tüketiminin takibi amaçlanmıştır. Alba (2011) tarafından tanımlanan yeni prosedür ile binaların 3 boyutlu modeli termal görüntülerin dokulandırılması sertiyle elde edilmiştir. Ayrıca kızılötesi alıcılar kullanarak farklı odak uzaklıklarının özellikleri üzerine çalışmıştır.

Cho ve Wang (2011) tarafından 3 boyutlu termal bir model, termal kamera ve LIDAR tarayıcı kullanarak elde edilmiştir. Bu işlemin ilk aşamasında bina lazer tarayıcı ile taranmış ve sonraki aşamada termal kamera ile binanın dış yüzey sıcaklık değerlerin alınmıştır.

Nüchter (2012) tarafından yapılan benzer bir çalışmada termal kamera ve lazer tarayıcı ile donatılan bir robotun bina içerisinde dolaştırılması sonucunda enerji ve bina bilgileri toplanarak 3B boyutlu model oluşturulmuştur.

Başka kameralarda 3 boyut model oluşturabilmek için termal kameranın yanında kullanılmıştır. Pelagottia (2009) ve Aguilera (2010) tarafından 3 boyutlu model sadece birkaç termal kamera ile lazer tarama kullanılmadan oluşturulmuştur. Rangel (2014) tarafından yapılan başka bir çalışmada otomatik 3 boyutlu termal görüntünün, derinlik kamerası ve termal kamera ile farklı açılardan alınan görüntülerin birleştirilmesi ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Vidas ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan bir çalışmada klima ve kalorifer kazanları gibi sistemlerin RGB kamera ve termal kamera kullanarak düşük maliyetlerle 3 boyutlu modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Termal modelleme ile insanlarda binalar gibi 3 boyutlu modellenmiştir. İnsan yüzlerinin modelini oluşturan Zhang (2001), bu işlemi bir kamera yardımıyla bilgisayarda bir nesnenin hareketini gösteren geometrik bir model oluşturarak yapmıştır. Markov ve Birk (2007) çalışmalarında insanların 2 boyutlu termal görüntülerini 3 boyutlu hale getirerek sonuçların arama ve kurtarma operasyonlarında kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Koshan vd. (2006) araç bileşenlerinin ısı görüntülerini kullanarak termal 3 boyutlu model oluşturmuş ve araçları oluşturan parçaların simülasyon sorununu ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir. Bu işlemi yaparken MuSES (Multi Service Elektro-Optic signature) isimli bir program kullanmışlardır. Salem vd. (2005) tarafından termal görüntüleme ile diyot ve MOSFET'lerin yüksek gerilime maruz kaldıkları anlardaki karakteristikleri görüntülenmiştir (Durgut ve Akçay 2016).

Durgut ve Akçay (2016) yaptıkları bir çalışmada bilgisayar donanımlarına ait 3 boyutlu modelleri termal kameralar yardımıyla oluşturarak bu donanımlarda meydana gelen arızaları tespit etmenin kolaylaşacağını ve bu sürenin kısılacağını savunmuşlardır.

2.1.2. Termal kamera kalibrasyonu

Doğruluğu bilinen bir ölçüm standardını kullanarak belirli koşullar altında diğer ölçüm aletlerinin sapmalarının belirlenmesi ve doğruluğunun ölçülmesi için kullanılan ölçümler dizisine kalibrasyon denilmektedir. Dünya koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde kurabilmek için kamera kalibrasyonu hassas bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Düzenli olarak laboratuvar ortamında kalibrasyona tabi tutulan termal kameraların kalibrasyon işleminde sistemin içyapısını en iyi belirleyen distorsiyon, odak uzaklığı, ve ana noktanın koordinatları olarak da adlandırılan bu geometrik parametrelerin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ana noktanın izdüşüm merkezine olan uzaklığına odak uzaklığı (c) denilmektedir. İdeal şartlarda, resim düzleminin orta noktası odak uzaklığının izdüşümü olmalıdır. Fakat istenilen şartlar gerçekleşmeyerek ana nokta (x_0, y_0) denilen sapma olur. Mercek kusurlarından kaynaklanan diğer parametre ise eksen eğiklikleri, teğetsel, radyal olmak üzere 3 farklı polinom katsayılarıyla modellenen distorsiyondur (Luhmann vd. 2010).

Yüksek doğrulukta fotogrametrik ölçmelerin gerçekleştirilmesi için termal kamera kalibrasyonu çok önemlidir. kalibrasyon parametrelerinin laboratuvar ortamında tespit edilmesinin yanında kendi kendine kalibrasyon (self-calibration) yöntemiyle de fotogrametrik değerlendirme esnasında iyileştirilebilir (Luhmann vd. 2010).

3. MATERYAL VE METOT

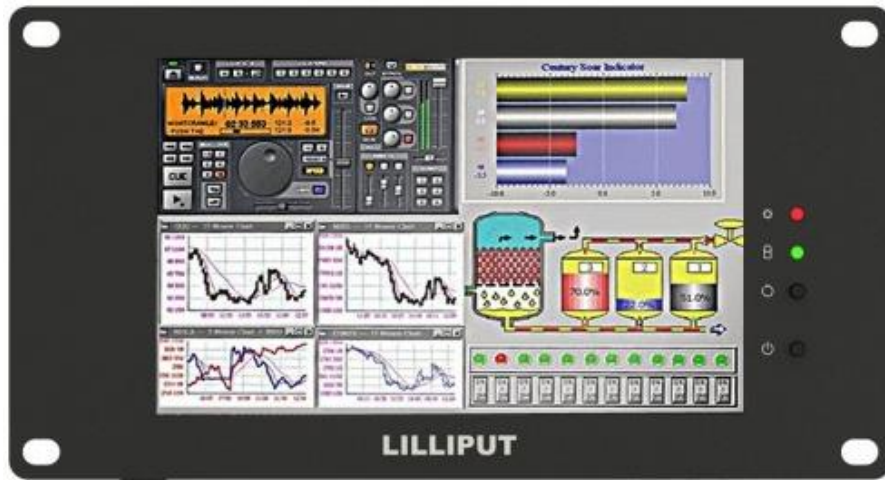
3.1. Materyal

Bu çalışmada, otonom ve manuel olarak çalıştırılabilecek bir mobil silah platformunun yazılımı tasarlanmıştır. Sabit noktaya konumlandırılacak olan silah platformunun konumu önceden bilindiğinden dolayı geliştirilen yazılım sayesinde harici bir ortamdan gönderilecek olan konum bilgisine göre platform yönünü belirleyebilecek ve 2 eksende hedefe yönlenebilecektir. Yazılım, platformun sağ-sol ekseninde 360 derece, yukarı-aşağı ekseninde 90 derece hareket etmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca geliştirilen navigasyon yazılımı sayesinde GPS sisteminden alınan veriler işlenebilmektedir. Motor kontrolü için geliştirilen yazılım sayesinde de, 1 kW kadar iki adet DC motorun platformun hareket sisteminde kullanılması mümkün kılınmıştır. DC motorlar motor kontrol kartı yardımı ile taşınabilir bir bilgisayara bağlanabilmektedir. Geliştirilen yazılım silah platformu üzerine termal kamera yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede internet bağlantısı üzerinden silah platformu uzaktan izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

3.1.1. Endüstriyel bilgisayar

Tasarlanan sistemdeki bütün elektronik cihazların yönetilmesi ve birbirleri arasındaki haberleşmenin sağlanması için şekil 3.1’de görüldüğü gibi dokunmatik 7" PC-700 PC model Lilliput marka endüstriyel panel bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayar üzerindeki iletişim portlarının yeterli sayıda olması, satın alma bedeli ve all – in – one teknolojisinden dolayı bu endüstriyel bilgisayar tercih edilmiştir. Çizelge 3.1’de endüstriyel bilgisayara ait teknik özellikler görülmektedir. Kullanılan bilgisayarın görevleri;

- GPS alıcısının gelen verileri toplamak ve depolamak
- Navigasyon verilerinin oluşturulduğu yazılımı çalıştırmak
- DC motorları çalıştırmak ve bu motorların kontrol verilerinin üretmek
- Termal kameranın yazılımsal olarak kontrolünü sağlamak
- Uzak bilgisayara internet üzerinden elde edilen verileri göndermektir.



Şekil 3.1. Lilliput 7" PC-700 endüstriyel panel bilgisayar

Çizelge 3.1. Lilliput 7" PC-700 endüstriyel bilgisayar teknik özellikleri

Özellik	Değer
İşlemci	Intel N2800, dual-core 1.86GHz
Chipset	Intel NM10 chipset
Hard disk	PCIe mSATA SSD 32G, 128G'a kadar çıkarılabilir
RAM	2G DDR3
Ekran	7" LED
Güç tüketimi	≤24W
USB	2 adet Usb 2.0
LAN, LPT	2 adet LAN, 1 adet LPT
RS232	5 adet seri port (RS-232)
Ebat (LWD)	200 x 117x 46 mm
Ağırlık	1225g
Besleme voltajı	DC 12V
Çözünürlük	800x480
En-Boy oranı	16:9

3.1.2. Besleme ünitesi

Elektromekanik bileşenler yardımı ile mobil platformun otomasyonu sağlanacaktır. AC ve DC güç kaynakları vasıtasıyla motorlar, panel bilgisayar, GPS alıcısı, termal kamera gibi bileşenlerin çalıştırılmıştır. Bu sebeple, besleme için iki tane 12 volt 72 Ah kuru akü kullanılmıştır. Bu akülerin belirlenmesinde, bakım özellikleri ve sistem gereksinimleri göz önüne alınmıştır. Ayrıca, mobil (hareketli) uygulamalar için de akünün güç kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülerek tercih sebebi olmuştur. Sistemin çalışabilmesi için gerekli olan doğru akım güç gereksinimi bu akülerden sağlanmıştır. Sistem içerisinde kullanılan motorlar 24 V'luk bir besleme gerilimine ihtiyaç duyacağından dolayı şekil 3.2'de görüldüğü gibi iki tane akü birbirine seri bağlanmak süratiyle istenilen gerilim elde edilmiştir.



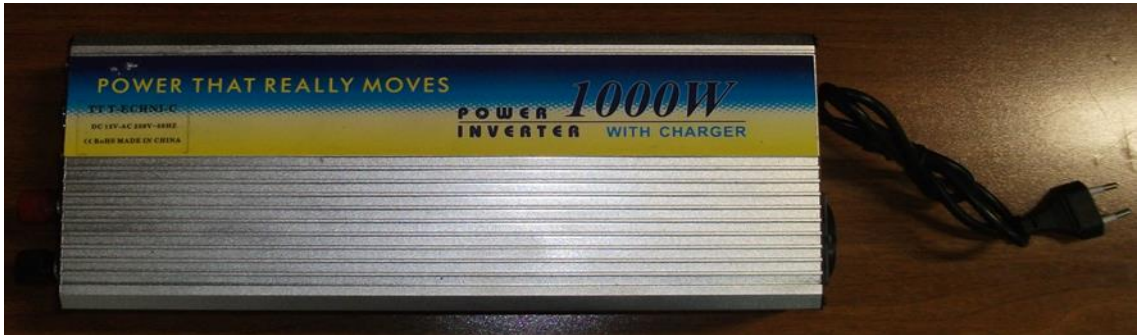
Şekil 3.2. Güç kaynağı

Motorlar dışındaki diğer donanımların da beslenmesi için DC ve AC güce gereksinim duyulduğu için 1000 W'lık inverter / converter kullanılmıştır. Çalışma haricinde motorlara bağlı olan akülerin şarj edilebilmeleri için şekil 3.3'de görüldüğü gibi akü şarj cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Akü şarj cihazı

Motorlar dışındaki sistemlerin güç ihtiyacını karşılayan akünün şarj edilebilmesi için şekil 3.4'de görüldüğü gibi 1000 W'lık inverter/converter kullanılmıştır.



Şekil 3.4. 1000 W inverter/converter

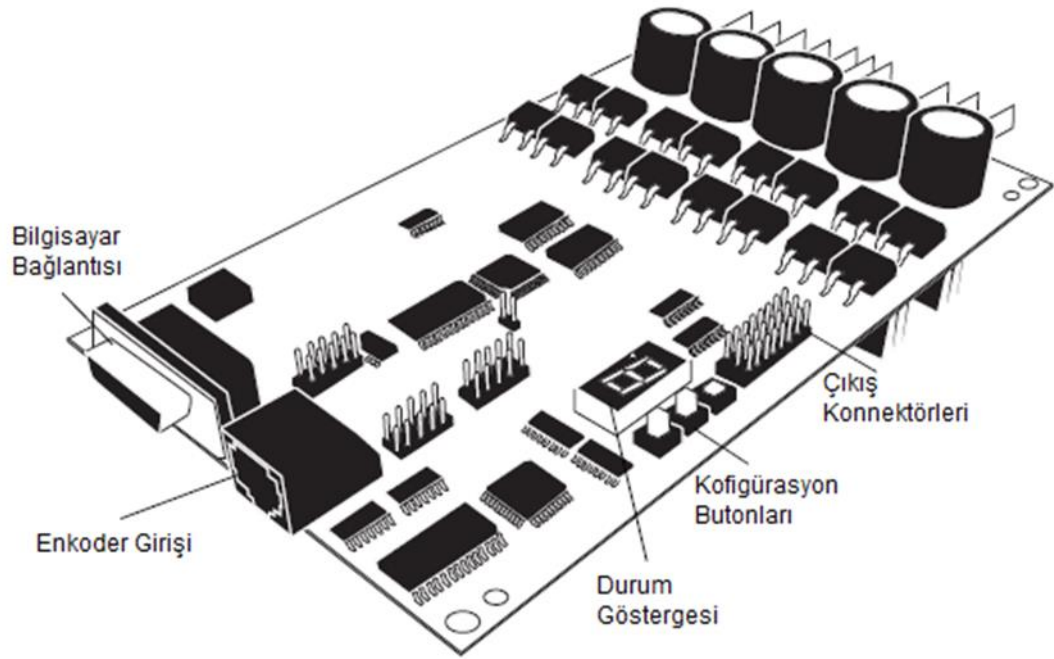
3.1.3. Motor kontrol ünitesi

Roboteq AX3500 marka motor kontrol kartı ile sistemdeki 2 adet DC motorun yönü ve çalışma hızı kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol kartı şekil 3.5’de görüldüğü gibi çift kanala sahiptir. Endüstriyel bilgisayara RS232 iletişim kuralını kullanarak seri port üzerinden bağlanan motor kontrol ünitesine, endüstriyel bilgisayar içerisinde yüklü olan platform yazılımı vasıtasıyla motorun çalışma verileri gönderilmektedir.

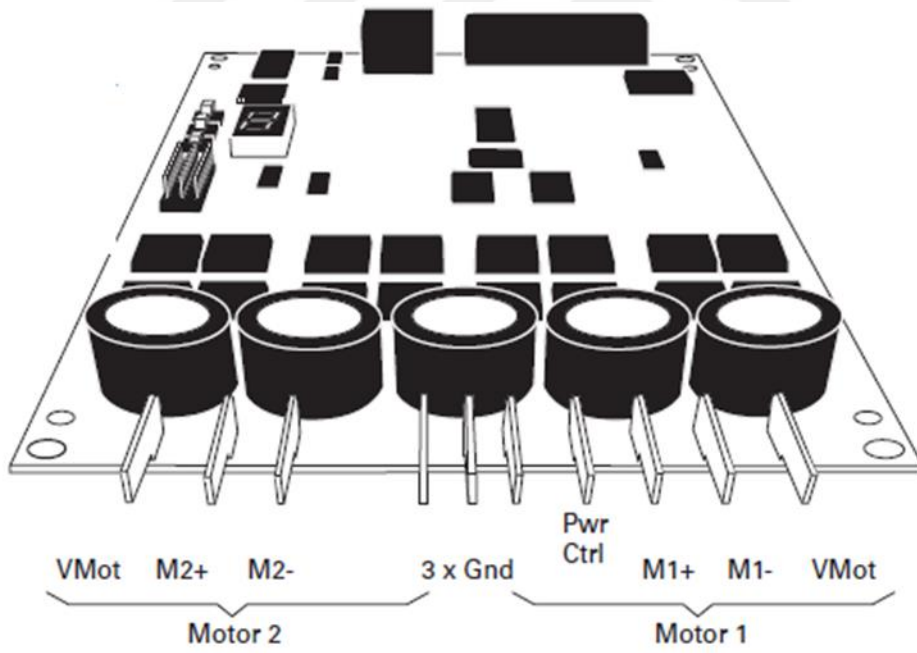


Şekil 3.5. AX3500 marka motor kontrol ünitesi

Darbe genlik modülasyonu (PWM - Pulse Width Modulation) yöntemi ile motor hızlarının denetimi ve ayarlanması sağlanmaktadır. Ayarlanabilir bir doğru gerilim ile doğru akım motorlarının hız kontrolü yapılmaktadır. Motoru istenilen hızda çalıştırabilmek için belirli aralıklarda, motora, darbe genlik modülasyonu yöntemi ile darbe işaretleri gönderilerek enerji verilmektedir. Motorun enerjili kalma süresini azaltıp arttırabilmek için darbe işaretlerinin genliği ayarlanmaktadır. Bu sayede motorun çalışma hızını ayarlamak mümkün olmaktadır. Motorlara uygulanan akımın yönünü değiştirmek suretiyle motorların ileri ya da geri yönde dönmesi sağlanmaktadır. Kullanılan motor kontrol ünitesine ait blok şema şekil 3.6’da görülmektedir. Çizelge 3.2’de projede kullanılan motor kontrol ünitesine ait teknik özellikler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.6. AX3500 Motor kontrol ünitesi blok şeması; **a)** bilgisayar bağlantısı; **b)** motor ve güç bağlantıları

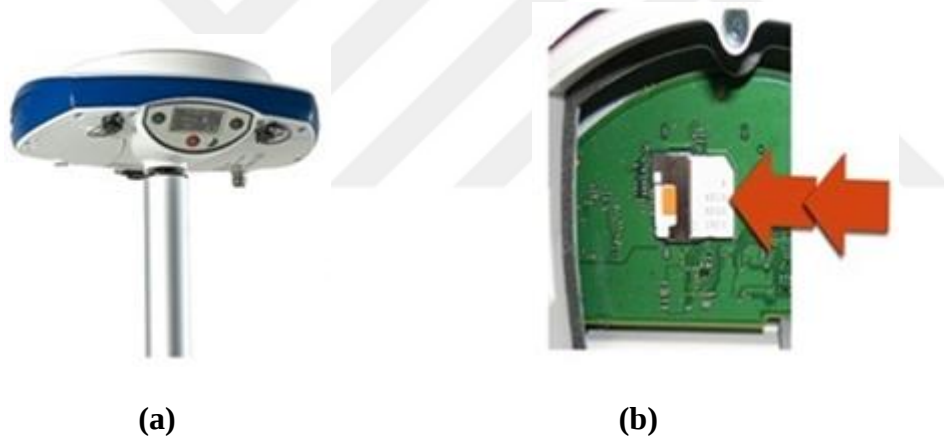
Çizelge 3.2. Motor kontrol ünitesi teknik özellikleri

Güç Katı	
Çalışma Gerilimi	12 V – 40 V DC
Kanal Sayısı	2
Maksimum Akım	-
30 sn.	60 A
1 dak.	50 A
3 dak.	40 A
1 sa.	40 A
Anlık Akım	>250 A
Ön Direnç	5 mOhm
Akım Sınırlama	Yük ve geçen zamana bağlı olarak otomatik çıkış gücü azalımı
Gerilim Koruma	12 V altı ve 43 V üstü otomatik kapanma
Komut	
R/C Girişleri	2 giriş(1.0 ms - 1.5 ms merkez – 2 ms, ayarlanabilir)
Seri Arayüz	RS232. 9600 baud
Analog Arayüz	2 giriş (0 V - 2.5 V merkez – 5 V)
Giriş ve Çıkışlar	
Optik Enkoder Girişi	2 artırımı enkoder için 4 giriş. 125 kHz max
RC Çıkışları	RC servo motorlar için 8 çıkış
Analog Giriş	2 giriş, 8-bit çözünürlük
Dijital Çıkış	1 çıkış, 24 V 2 A max
Dijital Giriş	2 genel amaçlı giriş
5V Besleme Çıkışı	100 mA max Radio veya diğer aygıtlar
Çalışma Modları	
Open Loop Hız	İleri & Geri Hız Kontrol. Ayrı veya Karışık
Closed Loop Hız	Analog girişler için takometre kullanımı & PID
Pozisyon Modu	Analog girişler için potansiyometre kullanımı & PID
Fiziksel	
Çalışma Sıcaklığı	-40 ile +85 derece
Boyut	4.2" En (106 mm)
	6.75" Boy (172 mm)
	1.2" Yükseklik (30 mm)
Kablolar	10" (25 cm) RC Kablo. 4' (1 m) RS232 kablo
Ağırlık	212 g

3.1.4. GPS alıcısı

Platformun bulunduğu noktaya ait koordinat verileri sayesinde mobil platformun otonom olarak yönlendirilmesi yapılabilecektir. Coğrafi koordinat verilerinin elde edilebilmesi için, Promark 500 marka GNSS alıcısı kullanılmıştır. 75 kanallı olan bu GPS alıcısının veri çıkış hızı 20 Hz'e kadar ayarlanabilmektedir. Bu cihaz, haberleşme modülü (UHF, GSM/GPRS, EDGE), çoklu işletim modu, konfigürasyon, ve protokol sunabilen GPS alıcısıdır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi cihaz, içine takılan GSM sim kartı vasıtasıyla Corse-TR (Continuously Operating Reference Stations - Turkey) sistemine bağlanıp düzeltme sinyallerini alabilmektedir. % 99 güvenli ölçüm yapabilen bu cihazın konum hassasiyeti, katalogda belirtilen bilgilere göre düzeltme sinyallerini kullanarak milimetre seviyelerine inmektedir. GPS alıcısı ile diğer elektronik cihazlar arasındaki veri transferi NMEA 0183 formatında USB portu, RS-232 ve Bluetooth aracılığıyla sağlanmaktadır. Alıcı vasıtasıyla ölçüm yapılan noktanın heading (doğrultu) açısı, coğrafi koordinatı gibi bilgiler GPS alıcı vasıtası ile endüstriyel bilgisayarın seri portuna gönderilmektedir.

Endüstriyel bilgisayar ile GNSS alıcısı arasında 9600 baud haberleşme hızı ve RS-232 seri haberleşme protokolünü kullanan bir yazılım geliştirilmiştir. GPS alıcısının teknik özellikleri çizelge 3.6'da verilmiştir.



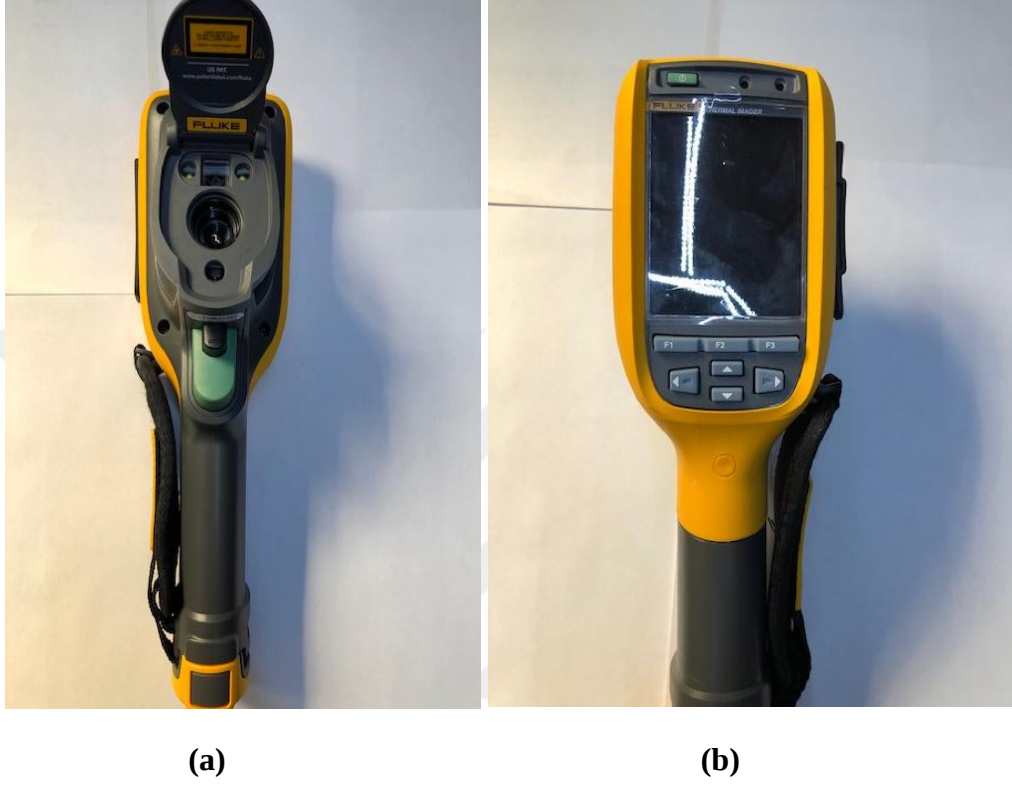
Şekil 3.7. a) Promark 500 GPS alıcısı; b) SIM kart yerleşimi

Çizelge 3.3. Promark 500 GPS alıcısına ait teknik özellikler

ÖZELLİK	DEĞER
Uygulama	Jeodezik Alım Aplikasyon Uygulamaları, İnşaat Jeoloji, Jeofizik Uygulamaları, Hassas GIS Çalışmaları
Alıcı Tanımı	Çift frekanslı GNSS alıcısı
Kanal Sayısı	75
RTK Çözüm Menzili	100 km
Init Süresi	2 sn.
RTK Init. Güven Düzeyi	% 99
İzlenebilen Sinyaller	GPS: L1 C/A kod, L1/L2 P kod ve L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı, GLONASS: L1 kod, L2 P kod, L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı, SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS) : kod ve taşıyıcı
RTK Hassasiyeti (Fix)	Yatay: 10 mm + 1 ppm Düşey: 20 mm + 1 ppm
RTK Hassasiyeti (Flying)	Yatay: 50 mm + 1 ppm Düşey: 200 mm + 1 ppm
Statik Ölçü Hassasiyeti	Yatay: 5 mm + 0.5 ppm Düşey: 10 mm + 1 ppm
Kinematik Ölçü Hassasiyeti	Yatay: 10 mm + 1 ppm Düşey: 20 mm + 1 ppm
SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS)	Yatay < 1 m
Radyo Modem	Magellan 430-470 Mhz
GSM/GPRS Modem	Magellan 4 bantlı GPRS/EDGE modem
Portlar	1 x RS-232, 1 x RS-422, 1 x USB, 1 x Bluetooth, PPS ve Event Marker
Veri Kayıt Aralığı	0.1-999 sn
Veri Giriş-Çıkış Tipleri	RTCM 2.3, RTCM 3.1, CMR, CMR+, Magellan ATOM, NMEA 0183, NTRIP, DBEN
Veri Çıkış Hızı	10 Hz (20 Hz'e kadar arttırılabilir)

3.1.5. Termal kamera

Hedefleri izlemek için gece ve gündüz anlık görüntü aktarımı gerekmektedir. Bu çalışmada, yapılacak işlemin özellik ve ihtiyaçlarına göre termal kameraların tercih edilmesi gerekmektedir. Çalışma için şekil 3.8’de görüldüğü gibi Fluke Ti 125 termal kamera kullanılmıştır.



Şekil 3.8. a) Fluke Ti 125 ön görüntüsü b) Fluke Ti 125 arka görüntüsü

Termal görüntüleyici, yüksek görünürlük özellikli LCD ekranda termal görüntüleri görüntüler ve görüntüleri bir SD bellek kartına kaydedebilmektedir. Kaydedilen görüntüler ve veriler, SD bellek kartıyla veya bilgisayara yapılan doğrudan USB bağlantısıyla bilgisayara aktarılabilir.

Görüntüleyici, SmartView yazılımını içerir. Bu yazılım, analiz ve raporlama olanağı sağlayan yüksek performanslı profesyonel bir yazılım paketidir.

İnfrared görüntüler, her görüntüleyici üzerinde farklı renk paletleri görüntüler.

Sıcaklık ölçüm aralığı:

- Ti125 -20 °C ile +350 °C arasında

Görüntüleyicinin gücünü sağlam bir şarj edilebilir lityum-iyon akıllı pil sağlamaktadır. Birlikte verilen AC güç adaptörü ile doğrudan AC gücü erişimi de sağlanabilmektedir.

Fluke Ti 125 ürünü IR-OptiFlex odak sistemini kullanmaktadır. IR-OptiFlex, görüntüleyicinin dört feet'ten uzak mesafelerde düzgün bir şekilde odakta kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yakın çekim içeren durumlarda görüntünün ince ayarını yapmak için tek dokunuşla manuel odak esnekliği sağlamaktadır.

3.1.6. 4.5G modem

İnternet bağlantısı sayesinde endüstriyel bilgisayar ile ofis ortamında bulunan bilgisayar arasında veri aktarımı yapılabilmektedir. Bunun için, endüstriyel bilgisayara şekil 3.9'da görüldüğü gibi kablosuz internet ortamı sağlayan Turkcell 4.5G WINN Wifi MW40V1 modem yerleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Turkcell 4.5G Internet modem

İnternet bağlantısı aşağıda sıralanan görevlerin başarılabilmesi için kullanılmıştır.

- Herhangi bir olumsuzluk durumunda platforma ofis ortamından müdahale edilebilmesi,
- Termal kamera ile elde edilen görüntülerin ofis ortamındaki bilgisayara aktarımı,

Çizelge 3.7'de Turkcell 4.5G WINN Wifi MW40V1 modeme ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.4. Turkcell 4.5G WINN Wifi MW40V1 modem özellikleri

Özellik	Bilgiler
İndirme Hızı	150 Mbps
Yükleme Hızı	50 Mbps
SMS	Var
Mikro SD Kart Yuvası	Var
Boyutlar	87.6x59.6x12.9 mm
Ağırlık	78 gr
Firewall Desteği	Var

3.1.7. El kumandası

Mobil platformun ofis ortamındaki bilgisayar üzerinden kontrolünü sağlamak için şekil 3.10’da görüldüğü gibi USB el kumandası kullanılmıştır. El kumandası üzerinde on bir adet tuş kontrolü ve kumanda kolu bulunmaktadır. Bunlar farklı amaçlar için programlanabilmektedir.



Şekil 3.10. Uzaktan kontrol için kullanılan el kumandası

3.1.8. Yazılım geliştirme ortamı

Mobil platform için tasarlanan sistemlerin çalıştırılması ve uzak bilgisayar ile iletişim kurulabilmesi için iki farklı yazılım geliştirilmiştir. Endüstriyel bilgisayar ve ofis ortamında bulunan bilgisayar için Platform / Kontrol yapısında iki farklı yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılımlar için, Visual Studio.NET 2015 platformu kullanılmıştır. Elde edilen verilerin depolanması için SQL Server 2017 Database platformu kullanılmıştır.

3.1.9. Elektronik pusula

Anlık olarak endüstriyel bilgisayara silahın doğrultu açısını (heading) göndermek için şekil 3.11’de görüldüğü gibi elektronik pusula kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Elektronik pusula

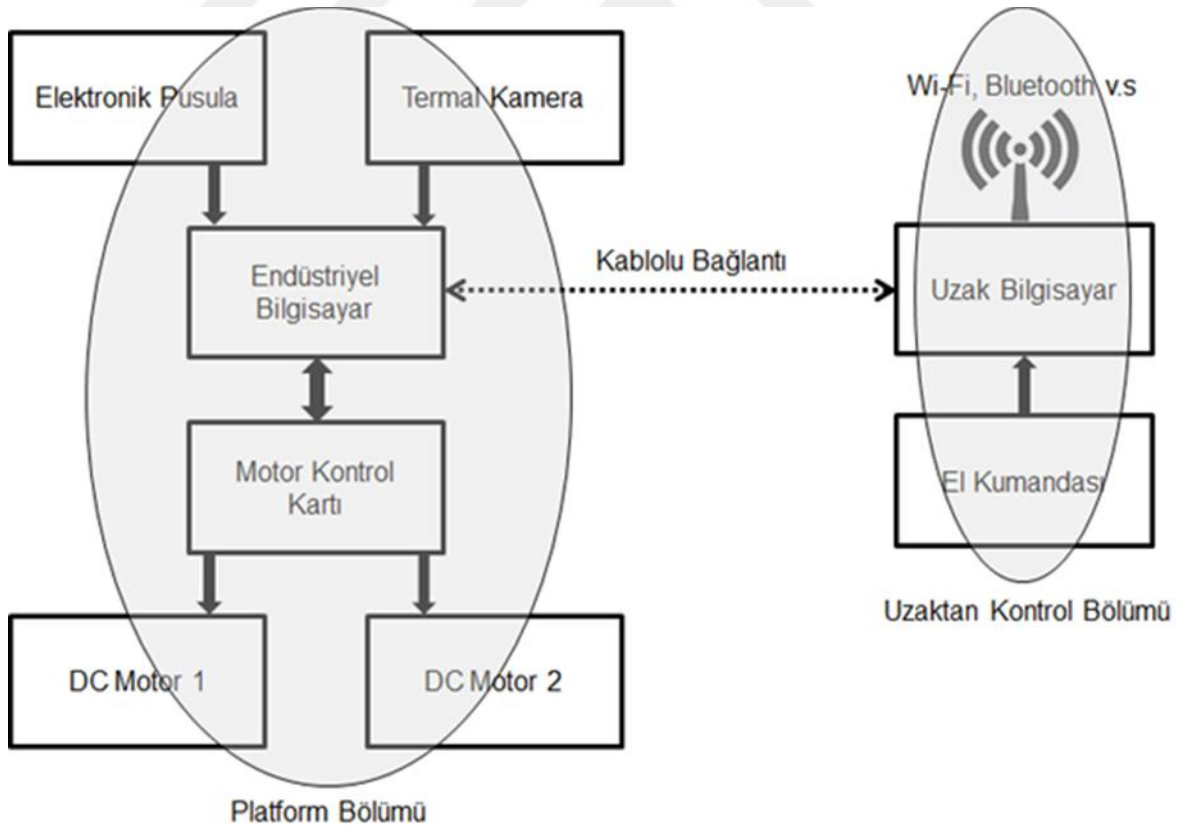
Çizelge 3.5’de Honeywell HMR3000 elektronik pusulaya ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.5. Honeywell HMR3000 elektronik pusula özellikleri

Özellik	Bilgiler
Eksen	X,Y,Z
Ölçüm Aralığı	± 1 Gauss, $\pm 40^\circ$
Kararlılık	1 mGauss, 0.1°
Arayüz	RS-232
Çalışma Sıcaklığı	$-20^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ (TA)

3.2. Metot

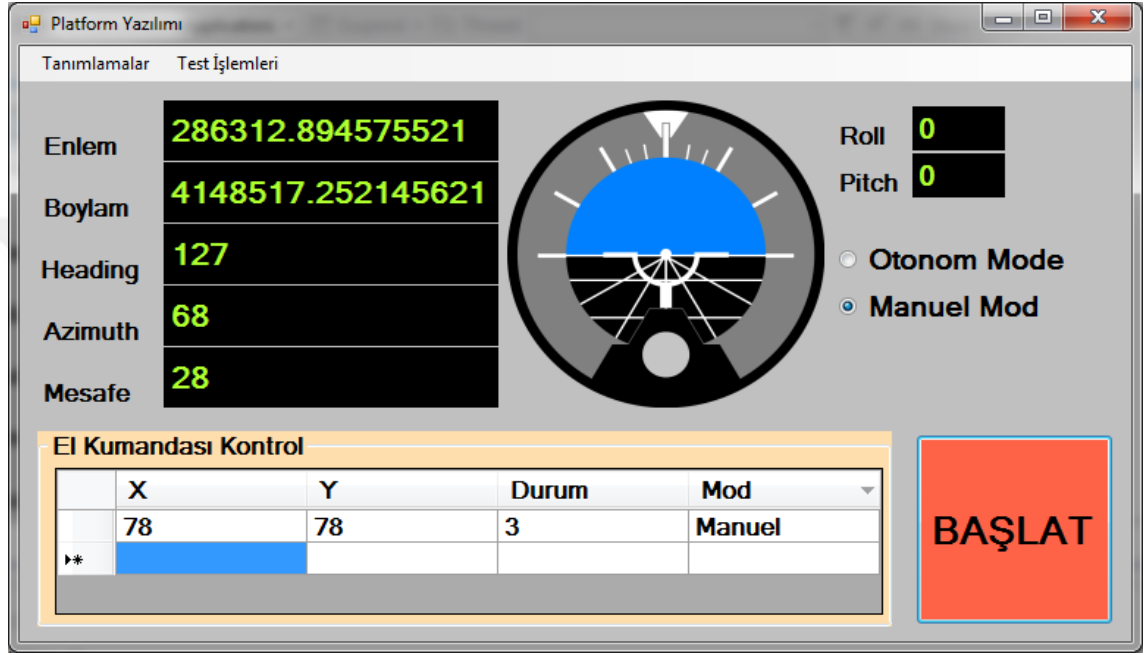
Bu çalışmada, GPS verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen bilgiler dâhilinde otonom ve manuel olarak çalıştırılabilen bir mobil silah platformunun yazılımının tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elektronik ve bilgisayar donanımlarını da kapsayan elektromekanik yapı ile birlikte sistemin bir bütün olarak çalışmasını sağlayan yazılımsal yapı da oluşturulmuştur. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi sistem iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde silah platformunu oluşturacak sistemler, ikincisinde ise platformun uzaktan kontrolü için kullanılacak materyaller görülmektedir. Endüstriyel bilgisayar, platformun yönlendirilmesi için kullanılacak olan elektronik pusula, termal kamera ve motor kontrol kartının çalıştırılması için gerekli olan yazılımı (platform yazılımı) üzerinde bulundurmaktadır. Elektronik pusula anlık olarak endüstriyel bilgisayara silahın doğrultu açısını (heading) göndermektedir. Termal kameradan alınan görüntüler ise anlık olarak uzak bilgisayara gönderilmektedir. Motor kontrol kartı platformun sağ-sol ve yukarı-aşağı yönlendirilmesi için DC motorların çalıştırılmasında kullanılmaktadır. Uzaktan kontrol bölümünde bulunan bilgisayar ile platform yazılımında elde edilen tüm verilere ulaşılması sağlanmaktadır. Bunun için uzak bilgisayarda çalışacak olan kontrol yazılımı oluşturulmuştur. Ayrıca geliştirilen yazılım platformun, uzak bilgisayarda bağlı olan el kumandası ile manuel şekilde çalıştırılabilmesine olanak tanımaktadır. Tasarlanan sistem sayesinde uzak bilgisayar platforma kablolu bağlanabileceği gibi kablolu şekilde de bağlanabilecektir.



Şekil 3.12. Silah platform sisteminin blok şeması

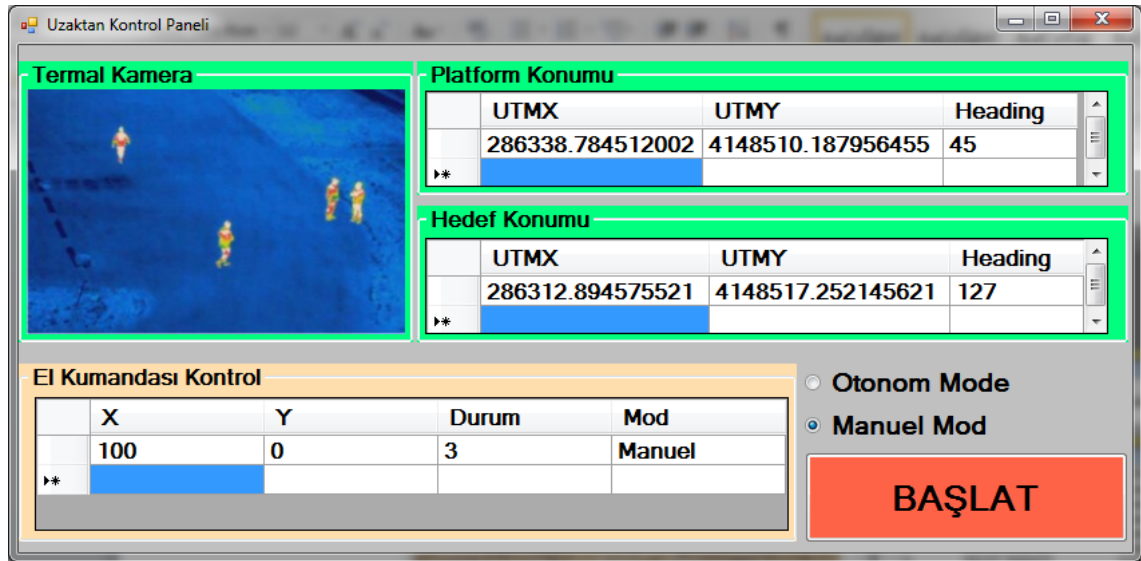
3.2.1. Yazılımsal çözümler

Geliştirilen iki program aracılığıyla mobil platformun çalıştırılması, izlenmesi ve kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Termal kameradan alınan görüntülerin ofis ortamına aktarılması, motorların çalıştırılması ve kontrolü, elde edilen GPS verilerinin işlenmesi ve navigasyonun sağlanması amacıyla şekil 3.13’de görüldüğü gibi Platform yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım, mobil platform üzerine yerleştirilecek olan endüstriyel panel bilgisayarda çalıştırılmaktadır. Geliştirilen yazılıma ait kodlar Ek-1’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Platform yazılımı

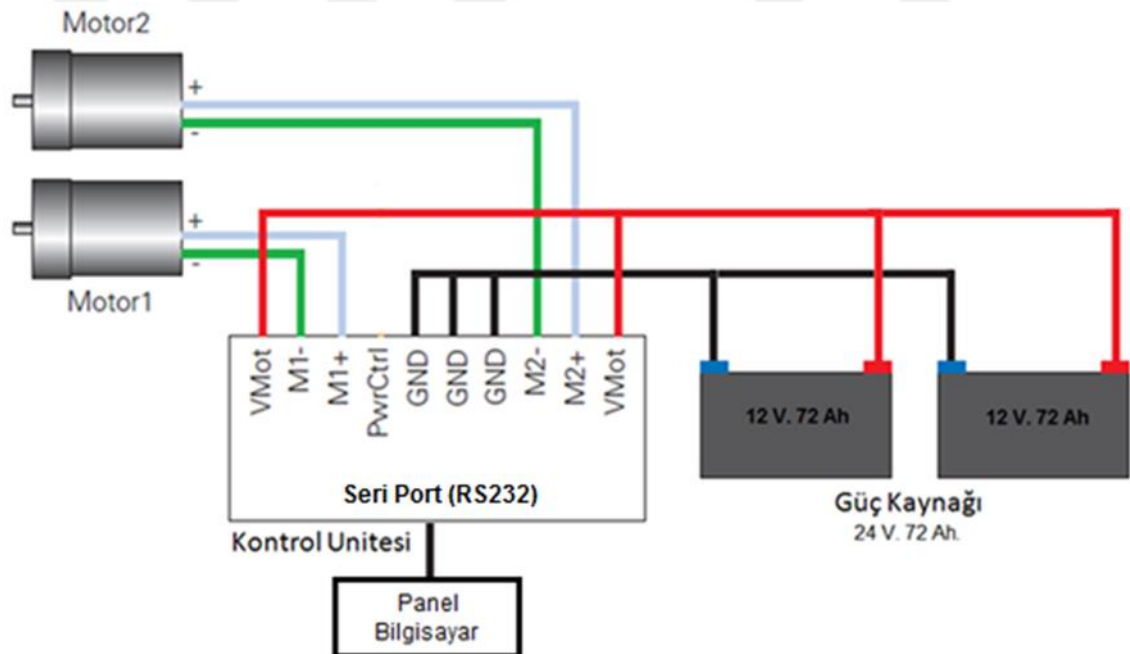
Ofis ortamından mobil platformun izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla şekil 3.14’de görüldüğü gibi Kontrol yazılımı geliştirilmiştir. Mobil platform çalışma sürecinde kontrol yazılımı vasıtasıyla takip edilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Yazılımın yüklendiği ofis ortamındaki bilgisayara takılan USB el kumandası yardımıyla mobil platform, manuel olarak çalıştırılabilmektedir. Geliştirilen yazılıma ait kodlar Ek-2’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kontrol yazılımı

3.2.1.1. Motorların kontrol algoritması

Çift kanallı motor kontrol kartı sistemde yer alan iki adet DC motoru kontrol edebilmek için kullanılmaktadır. Motor kontrol kartı ile endüstriyel bilgisayara yüklenen motor kontrol yazılımı arasındaki haberleşme motor kontrol kartının endüstriyel bilgisayara seri port üzerinden bağlanması vasıtasıyla sağlanacaktır. Şekil 3.15’de motor kontrol işlemi için kullanılacak sistemin blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Motor kontrol işlemine ait blok şema

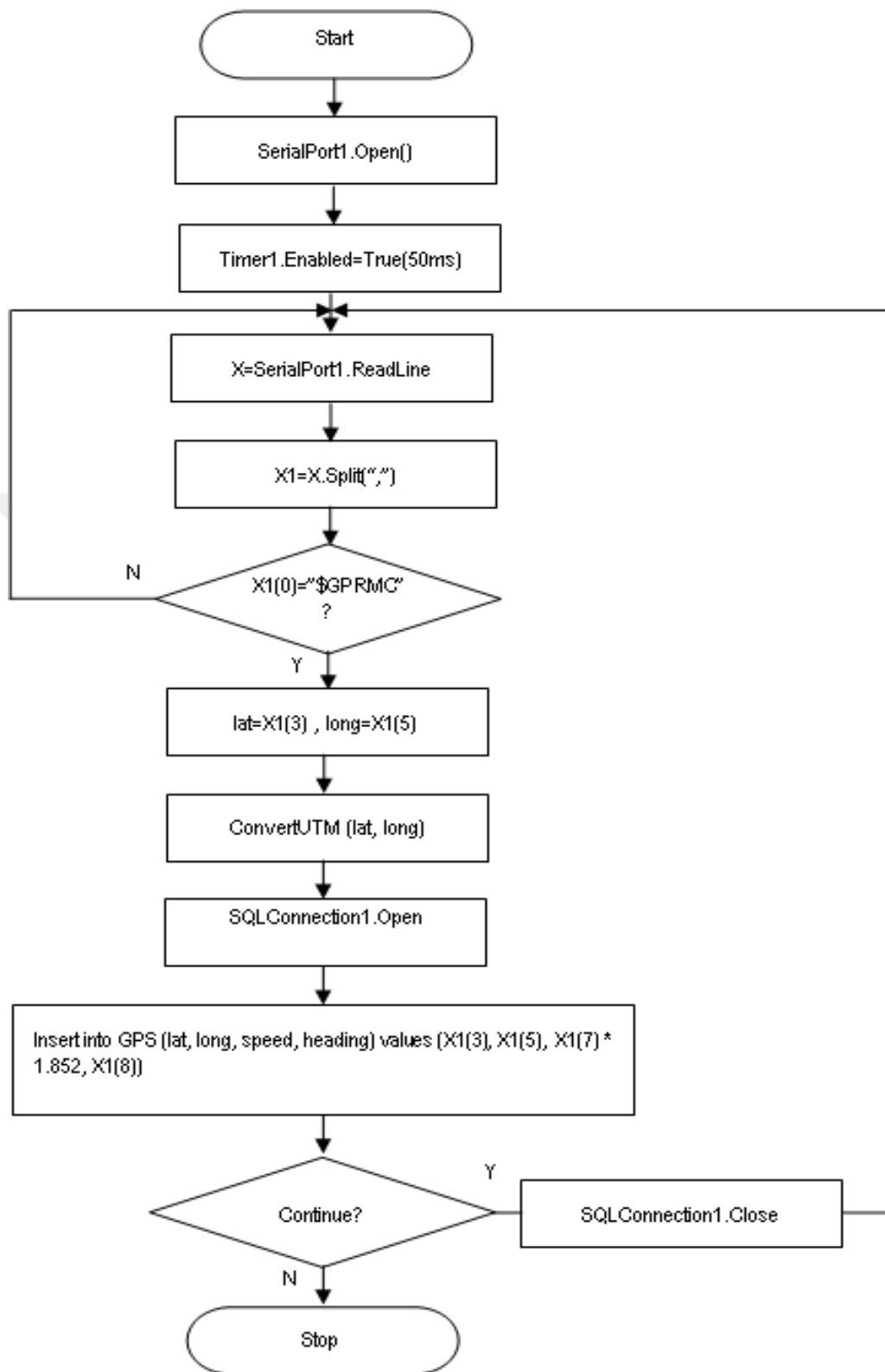
Geliştirilen yazılım, motor kontrol işlemini, ofis ortamındaki uzak bilgisayardan ve silah platformu üzerine yerleştirilecek olan endüstriyel bilgisayardan çalıştırmaya imkân tanımaktadır. Platformun sağa–sola ve aşağı–yukarı doğru hareket ettirilmesi motor kontrol kartına yazılım üzerinden gönderilen 0 – 127 arasındaki heksadesimal sayısal verilerle sağlanmıştır. Çizelge 3.6’da motoru kontrol etmek için kullanılan veriler verilmiştir.

Çizelge 3.6. Motor kontrol algoritması verileri

Durum	Kontrol Sinyali	Komut		Motor Hızı	
		Motor 1	Motor 2	Motor 1	Motor 2
Motor İleri	!A00 – 7F	!A7F ↑	!A3F ↑	İleri Hızlı	İleri Yavaş
Motor Geri	!a00 – 7F	!a3F ↓	!A7F ↑	Geri Yavaş	İleri Hızlı
Motor Stop	!A00 veya !a00	!A00	!a3F ↓	Stop	Geri Yavaş

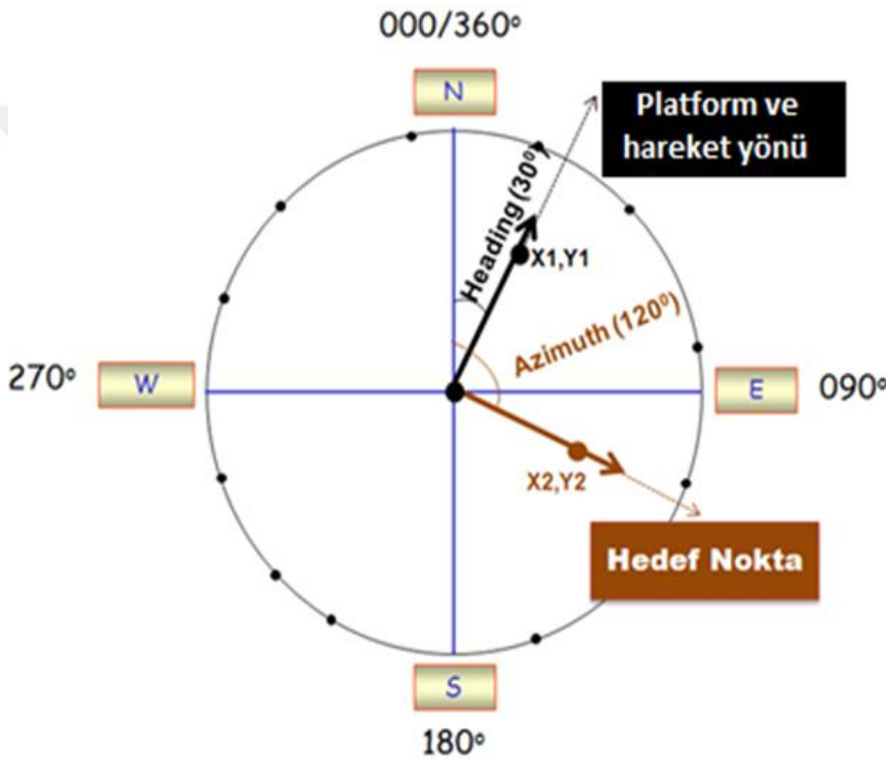
3.2.1.2. GPS verilerinin işlenmesi ve silah platformunun navigasyonu

Silah platformunun sağ-sol ve yukarı-aşağı hareketlendirilmesi, coğrafi koordinatlara bağlı olarak gerçekleştirileceği için sistemde GPS alıcısından alınacak olan koordinatlardan faydalanılacaktır. Platformun yerleştirildiği noktaya ait coğrafi koordinat bilgileri kesin olarak bilinmesine rağmen hedef noktaya platformun yönlenebilmesi için hedefin koordinatlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durumda, platform üzerindeki bilgisayarın uzaktan gönderilecek olan (drone, uzak bilgisayar v.s.) koordinat verilerini işlemesi gerekmektedir. Gönderilen NMEA 0183 formatındaki koordinat verilerinin UTM formatına çevrilmesi ve veri tabanına depolanması için Şekil 3.16’ daki akış şeması kullanılacaktır.



Şekil 3.16. GPS verilerinin çözümlemesi

Platformu istenilen noktaya yönlendirmek için heading ve azimuth açıları ile bulunulan noktanın hedef noktaya olan mesafe bilgisi kullanılacaktır. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi Heading açısı, platform doğrultusunun kuzey kutbuna göre bulunduğu açıdır. Azimuth açısı ise hedef noktanın platforma ve kuzey kutbuna göre açısıdır. Herhangi bir ortamdan hedef nokta için gönderilen koordinatta “\$GPRMC” başlığı ile başlayan veri içerisinde hedefin enlem ve boylam bilgileri yer almaktadır. Platforma ait koordinat bilgileri ve heading açı değerleri ile tespit edilen hedef noktanın koordinat bilgileri arasındaki matematiksel ilişkiye göre yönlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Platformun heading açısı, hedef noktaya ait azimuth açısı ve iki noktanın birbirine uzaklığı endüstriyel bilgisayar üzerinde yer alan yazılım ile anlık olarak hesaplanmaktadır. Heading ve azimuth açısı eşit olduğunda platform hedef noktaya doğru doğrultusunu değiştirmiş olmaktadır.



Şekil 3.17. Heading ve Azimuth açıları

Platformun bulunduğu nokta (X1,X2) ile hedefin bulunduğu nokta (X2,Y2) arasındaki mesafe platform üzerindeki yazılım tarafından;

$$\text{Mesafe} = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2} \quad (3.1)$$

eşitliğiyle hesaplanacaktır.

Burada;

X1: Platformun bulunduğu noktanın enlemi (m)

Y2: Platformun bulunduğu noktanın boylamı (m)

X2: Platformun yönleneceği hedef noktanın enlemi (m)

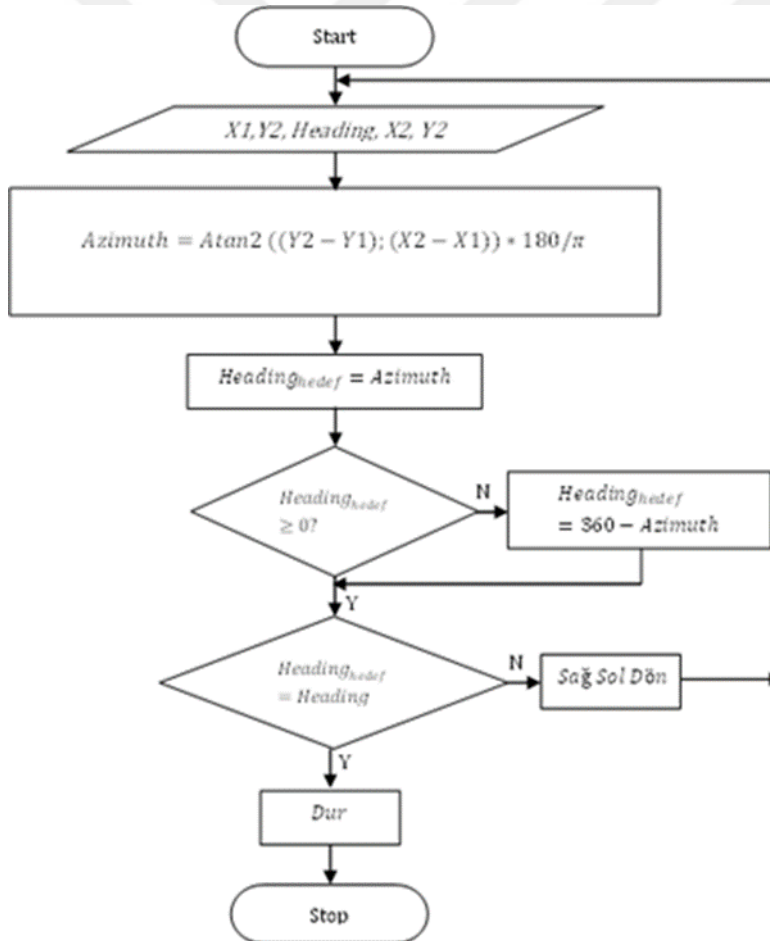
Y2: Platformun yönleneceği hedef noktanın boylamı (m)

Hedef nokta ile hedef in bulunduğu noktanın kuzey kutbuna göre konum açısı olan azimuth açısı ise;

$$\text{Azimuth} = \text{Atan2}((Y2 - Y1); (X2 - X1)) * 180/\pi \quad (3.2)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır.

Navigasyon metodolojisinde, platformun yönü olan heading açısı ile hedef noktanın yönü olan azimuth açısı aynı doğrultuda olana kadar platformun sağa veya sola yönlendirilmesi gerekmektedir. Platformun yönü ile hedef noktanın yönü aynı doğrultuda olduğu anda sistemin çalışması ile silah ateşleme moduna geçecektir. Eşitlik 3.1'e göre her iki noktanın coğrafi koordinat bilgileri arasındaki ilişki yardımı ile platformun ile hedef arasındaki mesafe bilgisi hesaplanmaktadır. Platformun yönlendirilmesi için kullanılacak olan akış şeması şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Platformun yönlendirilmesi için kullanılacak olan akış şeması

3.2.1.3. Silah platformunun el kumandası ile kontrol algoritması

İçerisine yüklenen koordinat dosyası vasıtasıyla otonom olarak hareket edebilen silah platformunda oluşabilecek herhangi bir istenmeyen durum karşısında platforma uzaktan müdahale edilmesi gerekmektedir. Bu gibi olumsuz durumlarda mobil platformun el kumandası vasıtasıyla yönlendirilebilmesi için kontrol ve platform yazılımları içerisine bir yapı yerleştirilmiştir. Bu yapı mobil platformun, her iki modda da el kumandasındaki buton ve kumanda kolu aracılığıyla çalıştırılabilmesine ve yönlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Birinci modda, üzerine yüklenen koordinat verilerine göre hareket edebilen mobil platform ikinci modda ise manuel olarak el kumandası yardımı ile uzaktan çalıştırılabilmektedir.

X, Y ve Z düzlemleri için 0–65536 arasındaki sayısal bilgi kumanda kolu sayesinde el kumandasının bağlı olduğu yazılıma gönderilmektedir. El kumandası üzerinde bulunan tüm butonlar da 1–11 arasındaki sayısal veriyi bu yazılımlara göndermektedir. Çizelge 3.7’de el kumandasındaki kumanda kolundan iletilen veriler ve hareket yönleri verilmiştir.

Çizelge 3.7. El kumanda kolunun ürettiği veriler

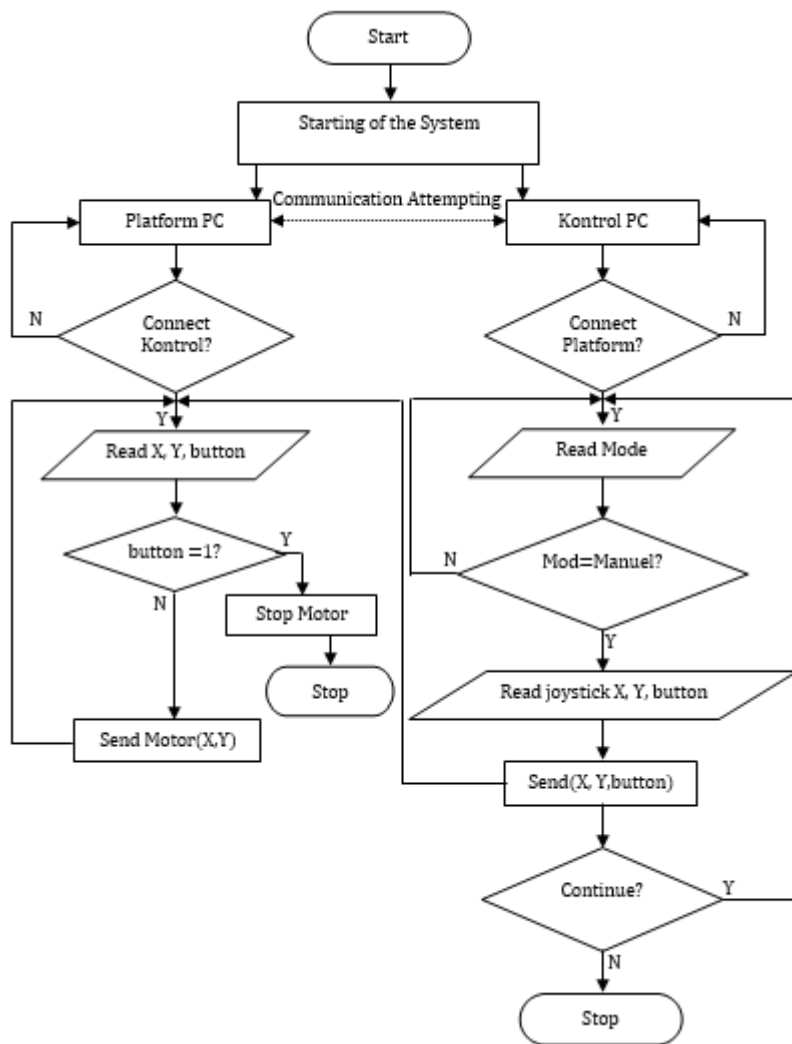
Kontrol	Y Düzlemi		X Düzlemi	
	Yukarı	Aşağı	Sağ	Sol
Kumanda Kolu	32769-65536	-32767	32769-65536	0-32767

Çizelge 3.6’da motor kontrol ünitesinin çalışmasına ait veriler yer almaktaydı. El kumandası tarafından üretilen veriler ile motor kontrol ünitesinin çalışmasını sağlayacak olan sayısal bilgiler arasındaki uyumsuzluğun giderilmesi için el kumanda kolunun üretmiş olduğu sayısal verilerin bir oranlamaya tabi tutulması gerekmektedir. Gerçekleştirilmiş olan oranlama işlemi çizelge 3.8’de gösterilmiş.

Çizelge 3.8. Motor kontrol ünitesi ve el kumandası oranlama

Durum	Kontrol Sinyali (KS)	Joystick Sinyali (JS)	Oranlama
Motor İleri	1-127	32769-65536	$(100 - \text{FIX}(\text{JS} / 330)) + 16$
Motor Geri	-1–127	0-32767	$(100 + (\text{FIX}(\text{JS} / 330) * -1)) - 16$
Motor Stop	0	32768	0

Mobil platformun el kumandası kullanılarak çalıştırılabilmesi için platform ve kontrol yazılımları birbirine bağlanmalıdır. Yazılımlar arasında bağlantı sağlandıktan sonra kontrol yazılımı üzerinden mobil platformunun hangi modda çalışacağı seçilir. Manuel mod seçildiği takdirde mobil platform el kumandası ile yönlendirilmektedir. Otonom modu seçildiği takdirde ise platform, gelen koordinat verilerine göre otonom olarak yönlendirilmektedir. Her iki modda da çalışırken acil durumlarda silah platformunun durdurulabilmesi için el kumandası üzerinde bulunan 1 numaralı butona basmak suretiyle platform yazılımına 1 değeri gönderilir ve mobil platform durdurulması sağlanır. Ayrıca, bu iki yazılım arasındaki iletişimin kopması halinde mobil platform yine aynı yöntemle durdurulabilmektedir. Şekil 3.20’de mobil platformun kontrol yazılımı üzerinden el kumandası kullanılarak çalıştırılması için kullanılan yazılıma ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.19. El kumandası kullanımına ait akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, mobil bir silah platformunu otonom ve manuel olarak çalıştırılabilen yazılım tasarlanmıştır. Bu yazılım sayesinde platform GPS verilerine göre hedef noktanın yerini tespit ederek o yöne doğru hareket etmektedir. Silah platformunun sağ-sol ve yukarı-aşağı hareketlendirilmesi, coğrafi koordinatlara bağlı olarak gerçekleştirileceği için sistemde GPS alıcısından alınacak olan koordinatlardan faydalanılmıştır. Platformun yerleştirildiği noktaya ait coğrafi koordinat bilgileri kesin olarak bilinmesine rağmen hedef noktaya platformun yönlenebilmesi için hedefin koordinatlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durumda, endüstriyel bilgisayara uzaktan gönderilecek olan (drone, uzak bilgisayar v.s.) koordinat verilerinin işlenmesi gerekmektedir. Bu sistemin çalışabilmesi için gereken tüm elektronik bileşenler ve yazılımlar tasarlanmıştır.

Silahlar savaş alanında çok önemli bir unsurdur. Ağır silahlar hedefe ateşlendiğinde sabit olmalı ve titrememelidir. Ancak, hedef hareket ettiğinde, silah atıcının hedefe kilitlenmesine zorluk çıkarmaya başlar, atıcı hareket halindeyken de aynı durum geçerlidir. Ölü sayısının artması ve parasal kaynak rezervlerinin azalmasının önlenmesi için doğruluk ve hassasiyet şarttır. Bu nedenle, Telen ve Guimardo (2017) tarafından yapılan bir çalışmada hedefe sabit nişan almak için uzaktan kontrol edilen bir silah yuvası tasarlanmıştır. Yön ve stabilizasyonun değiştiğini göstermek ile sorumlu jiroskop olarak adlandırılan sensörler kullanmıştır. Atıcının hedefe daha iyi doğrulukta nişan almasını ve kilitlenmesini sağlayan adım açısı ve sapma açısı için bir el kumandası, uzaktan kumanda olarak kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar gyro ve el kumandasından toplanmış ve stabilizasyon kontrolörünün düzeltilmesi için sistemdeki hataları ve yanlışlıkları kaydederek araştırmacılara yardımcı olmuştur.

Kartal (2017) tarafından insansız bir sualtı gözlem aracının altı serbestlik dereceli doğrusal olmayan modeli Newton-Euler denklemleri kullanılarak elde edilmiş ve ardından aracın otopilot tasarımında PID kontrol yaklaşımından yararlanılmıştır. Çalışmada ataletsel ölçüm sistemi ile akustik ve görüntülemeye dayalı ölçüm sistemi ile de yardımcı algılayıcıların birleştirilmesi sonucu navigasyon problemine çözüm bulunmuştur. Ayrıca Kalman filtresi kullanılarak navigasyon verisi iyileştirilmiştir.

Kumru (2015) tarafından insansız bir su üstü aracının matematiksel modeli Newton-Euler formülasyonundan yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada, navigasyon sisteminin tasarlanması için "Küresel Navigasyon Sistemi", "Ataletsel Navigasyon Sistemi" ve manyetometre çözümlerini birbirine entegre edilmiştir.

Takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning), bulunduğu ortamı algılayan ve kendi kendine kararlar alabilen bir sistemin, hedefine ulaşabilmesinde doğru kararlar almayı nasıl öğrenebileceğini gösterir. Bu yöntem robotik, oyun programlama, hastalık teşhisi ve fabrika otomasyonu gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılır. Altuntaş (2013) tarafından gezgin robot navigasyonu için takviyeli öğrenme metotlarından olan Sarsa ve Q seçilmek suretiyle çözümler önerilmiştir. Bu sayede gezgin robotun engellerden kaçması ve istenilen hedefe doğru yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Temel (2013), kanal içerisinde yüzen mikro robotların navigasyonunu gerçekleştirmek için robotların çeşitli frekanslarda gösterdikleri davranış farklılıklarından

ve hareket mekanizmalarından yararlanmıştır. Bu çalışmada mikro robotların kanal ağ yapıları içindeki yönünü ve pozisyonunu kontrol etmek için dışardan uygulanan manyetik alanın şiddeti, yönü ve frekansı girdi olarak kullanılmış ve konumlarının tespiti için Hall-etki sensörleri kullanılmıştır.

Canan (2006) tarafından tasarlanan açık ortamlarda hareket edebilen mobil robotun yönlendirilmesi için yapay sinir ağları ile GPS destekli navigasyon sisteminden yararlanılmıştır.

GNSS (Küresel konumlandırma uydu sistemi)'den genelde askeri araçların, teçhizatların, insansız uçakların ve akıllı bombaların konumlandırılması gibi askeri alanlarda ve CBS uygulamaları, uzaktan algılama çalışmaları, jeoloji çalışmaları, haritacılık, jeodezik ölçümler gibi bilimsel araştırmalarda yararlanılmaktadır. Aynı zamanda güvenlik uygulamalarında, ulaşım sistemlerinde, arama kurtarma işlemlerinde, tarımsal faaliyetlerde, sportif aktivitelerde ve madencilik faaliyetlerinde bu gibi sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Sevindi 2005).

Silah platformunun navigasyon uygulamaları kullanıcı destekli otomatik navigasyon ve otonom navigasyon (kullanıcı desteği olmadan hareket edebilen) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Kullanıcı destekli otomatik sistemde, geliştirilen yazılım sayesinde bir operatör platformun çalışmasını sürekli izleyerek gerekli durumlarda platformun çalışmasını manuel hale getirebilmekte silah platformunu yönlendirmektedir. Kullanıcı bulunmayan otonom sistemde ise platform, coğrafi koordinat bilgilerine göre kendiliğinden hedefe yönelmektedir. Otomatik sistemlerin maliyeti otonom sistemlere göre daha düşük olmasına rağmen güvenlik açısından otonom sistemlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Otonom olarak hareket edebilen platformun içerisinde platform kontrolcülere, GPS, pusula, vb. gibi konum sensörleri ve hareketlendiriciler olmak üzere üç temel donanım bulunmaktadır. Platformun tespit edilen hedefe doğru yönelmesi konum sensörleri vasıtasıyla sağlamaktadır. Platform kontrolcülere, platformun dönüşleri, yukarı aşağı hareketi ve durması için kullanılan komutları sağlayan elektronik ve yazılımlardan oluşan yapılardır. Platformun çalıştırılmasını sağlayan motorlar ve bağlı elektronik bileşenler ise hareketlendiricileri oluşturur. Otonom olarak çalışan bir platformun yönlendirilmesi işleminde, konum sensörlerinden platform kontrolcülerine gönderilen konum bilgileri bir algoritma tarafından işlenerek platformun hareket planı belirlenmekte ve bu plana göre, hareketlendiricilere giden komutlar vasıtasıyla platformun yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Otomatik yönlendirme işlemi, koordinatları tespit edilen hedefe doğru platformun otomatik olarak hareket ettirilmesini amaçlamaktadır. Otomatik yönlendirme işleminde, platformun duruş yönünü tespit ederek hedefe dönmek için gerekli olan hareket komutlarını belirleyen bir rehberlik sisteminden faydalanılmıştır. Otomatik olarak yönlendirilen diğer sistemler incelendiğinde; optik, mekanik, radyo ve ultrasonik tabanlı rehberlik sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Tüm bu rehberlik sistemleri birbirlerinden farklı teknolojilere sahip olmasına rağmen genellikle birçoğu, heading (istikamet) ve azimuth (kurtiz) açısı ile mesafe gibi rehberlik parametrelerinden faydalanmaktadır. Heading açısı, manyetik kuzey ile platformun merkez hattı arasındaki açıdır. Azimuth açısı, manyetik kuzey ile platformun yönelmesinin istendiği nokta

arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. Mesafe ise, platformun bulunduğu nokta ile hedefin arasındaki uzaklık miktarıdır. Platformun sağa veya sola dönüşleri belirleyebilmek için açısal parametreler üzerinde gerçekleştirilen matematiksel işlemlerden yararlanılmıştır.



5. SONUÇLAR

GPS destekli uzaktan komutalı sabit silah platformu, manuel ve otonom olarak hareket edebilen, yönlendirme işlemini üzerinde bulunan GPS alıcısı ve elektronik pusuladan gelen verilere göre otonom, üzerine yerleştirilen alıcı-verici sistemine göre el kumandası ile uzaktan manuel gerçekleştiren bir donanımdır.

Uzaktan komutalı silah sistemleri, deniz ve kara platformlarında, asimetrik tehditlere karşı yakın savunma amacıyla, küçük ve orta kalibre silahlar için geliştirilmiştir. Sistemler; zırh korumalı, güvenli bir alandan veya silah platformuna uzak mesafeden kullanım imkânı sunması sebebiyle sahada kullanıcıya büyük avantajlar sağlamaktadır. Zırhlı araçlardan kritik tesislerdeki sabit platformlara, ana muharebe tankından karakol botlarına, çıkarma gemilerinden ani müdahale botlarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada, tehlikeli alanda güvenlik güçlerimizin can güvenliğini sağlamak amacıyla uzaktan kontrol edilebilen bir silah platformunun yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sayesinde silah platformu, karakol ve nöbet noktalarında, sınır bölgesindeki sıcak noktalarda, güvenlik güçlerinin ihtiyaç duyabileceği birçok yerde rahatlıkla kurularak kullanılabilir. Burada amaç; özellikle askeri alanda, doğu sınırimızda nöbet tutulan karakol ve sıcak çatışma bölgelerinde askerimizin can güvenliğini sağlayarak daha güvenli bir ortam oluşturmaktır. Tasarlanan bu yazılım sayesinde asker güvenli bir ortamdan, nöbet noktasındaki silahı hareket ettirebileceği gibi bölgede güvenlik taraması yapabilecek ve ihtiyaç halinde ise silahı ateşleyerek ortamın güvenliğini sağlayabilecektir. Aynı zamanda geliştirilen yazılım silah platformu üzerine termal kamera yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede internet bağlantısı üzerinden silah platformu uzaktan izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

Tasarlanan bu sisteme, entegre termal, gündüz görüş kameraları, lazer mesafe bulucu eklenerek gece ve gündüz koşullarında; otomatik hedef tespit ve hedef takip imkânı ve yüksek doğrulukta balistik çözüm ile sabit ve hareketli hedeflere isabetli atış imkânı sağlanabilir. Sistemin kullanıcı ekranında, nişangâh, taret yan ve yükseliş ekseni açı bilgileri, kameraların görüş açıları, kalan mermi sayısı gibi özellikler eklenerek kullanıcının sistemi kolay ve etkin bir şekilde kullanabilmesi için gerekli bütün bilgiler görüntülenebilir.

Sonuç olarak, literatür araştırmaları sonucunda, gizlilikten dolayı pek fazla bilgiye ulaşılmayan fakat tasarlanması için gelişmiş ülkelerin çok büyük miktarda kaynak aktardığı bilinen otonom bir silah platformu yazılımı ülkemizde GPS verilerine göre hareket edebilen şekilde ilk defa tasarlanmıştır. Geliştirilen platform yazılımı tam otonom silahlar için temel altyapı oluşturacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Aguilera, D., Gonzalvez, P. and Lahoz, J. 2010. Camera and laser robust integration in engineering and architecture applications. *Sensor Fusion and its Applications*.
- Akgün, M. 2017. Otonom silah sistemleri <https://www.karar.com/yazarlar/mensur-akgun/otonom-silah-sistemleri-4736/> [Son erişim tarihi: 17.05.2019].
- Akula, A., Ghosh, R. Sardana, HK. 201. AIP conference proceedings 1391 (1), pp.333-335
- Alkan, R.M. 1998. Prezisyonlu Hidrografik Çalışmalar için GPS Yöntemi ile Bat-Çık (Heave) Etkisinin Giderilmesi. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 150 s.
- Altuntaş, N. 2013. Takviyeli öğrenme tabanlı gezgin robot navigasyonu. Y. lisans tezi, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 63 s.
- Gürsoy, H. ve Gürsoy, M. E. 2018. <https://www.bilgiustam.com/atesli-silahlarin-icadi-ve-tarihsel-gelisimi/> [Son erişim tarihi: 17.05.2019].
- Alba, L. B. M. I. 2011. Mapping Infrared Data on Terrestrial Laser Scanning 3D Remote Sensing, Milan.
- Aydın, Ö., Aykut, N.O., Akpınar, B. ve Ata, E. 2005. RTK GPS Yöntemiyle Kıyı Çizgisinin Ölçülmesi. 5.Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 5-7 Mayıs, Bodrum.
- Borrmann, D., Nüchter, A., Đakulović, M. ve Maurović, I. 2012. The Project ThermalMapper – Thermal 3D Mapping of Indoor Environments for Saving Energy, *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4538-4539.
- Cho, Y. and Wang C. 2011. 3D Thermal Modeling for Existing Buildings Using Hybrid LIDAR System. ASCE Int Workshop on Computing in Civil Eng.
- Corrigan, T.M., Hartranft, J.F., Levy, L.J., Parker, K.E, Pritchett, J.E., Pue, A.J., Pullen, S. and Thompson, T. 1999. GPS Risk Assessment Study Final Report, The Jhon Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Laurel, MD.
- Doğru, A.Ö. ve Uluğtekin, N. 2005. CBS Uygulaması Olarak Araç Navigasyon Sistemleri. Ege Üniversitesi CBS Sempozyumu, İzmir, ss.175-181.
- Durgut, A. ve Akçay, Ö. 2016. Termal kamera ile ekran kartının 3 boyutlu modelinin oluşturulması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 17(1): 51-63.
- El-Rabbany, A. 2002. Introduction To GPS: Global Posistioning System. Artech House, Boston, Londra, 1, 76 p.
- Eren, K., Uzel, T. 1995. GPS Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No: 301, İstanbul.
- Ham, Y. ve Fard, M.G. 2012. Rapid 3D Energy Performance Modeling of Existing Buildings using Thermal and Digital Imagery, Construction Research Congress, pp. 991-1000.
- Hoffmann, W., Lichtenegger, H. and Collins, J. 2001. GPS - Theory and Practice.

- Springer. Netherlands. Cilt No: 42, Sayı No: 4, 572 s.
- Kahveci, M. 2009. Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları. Zerpa Yayıncılık, Ankara.
- Kahveci, M. ve YILDIZ, F. 2001. GPS (Global Konum Belirleme Sistemi), Teori ve Uygulama. Nobel Yayın, Ankara, 182 ss.
- Kartal, S. 2017. Bir insansız sualtı gözlem aracının navigasyonu ve sistem tanılması. Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 187 s.
- Koschan, A., Govindasamy, P., Sukumar, S., Page, D. And Abidi, M. 2006. Thermal Modeling and Imaging of As-built Vehicle Components, SAE World Congress,
- Kumru, M. 2015. Bir insansız su üstü aracının navigasyonu ve denetimi. Y. lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 147 s.
- Langley, R.B. 1998. RTK GPS. GPS World, September, 70 p.
- Luhmann, T., Ohm, J., Johannes P. ve Roelf, T. 2010. Geometric calibration of thermographic cameras, International Archives of Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 411-416.
- Markov, S. and Birk, A. 2007. Detecting Humans in 2D Thermal Images by Generating 3D Models, 30th Annual German Conference on AI, Bremen, Germany.
- Mekik, Ç. 2001. Gerçek Zamanlı Kinematik GPS, Seminer Çalışması, ZKÜ, Zonguldak.
- Nissen, F., Hvas, A., Swendsen, J. and Brodersen, L. 2003. Small-Display Cartography, GiMoDig Scientific Report.
- Nmea 0183 1998. Standard for Interfacing Marine Electronic Devices, Version 2.30, National Marine Electronics Association
- Oreifej, O. Cramer J. ve Zakhori, A. 2014. Automatic Generation of 3D Thermal Maps of Building Interiors, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., pp. C1-C8.
- Parkinson, B. and Spilker, J.J. 1995. GPS: Theory and Applications. Vols. 1. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Washington D.C.
- Pelagottia, A., Mastio, A., Uccheddu, F. and Remondino, F. 2009. Automated multispectral texture mapping of 3D models. The 17th European Signal Conference, Glasgow, Scotland.
- Rangel, J., Soldan, S. and Kroll, A. 2014. 3D Thermal Imaging: Fusion of Thermography and Depth Cameras, Robotics and Automation, IEEE International Conference on, pp. 2311 – 2318.
- Remondino, B.W. 1984. Using The Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy Modelling Processing and Results. Ph.D.Thesis (unpublished), The University of Texas.
- Rtcm 1990. Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service, Version 2.0, Radio Technical Commission for Maritime Services, Paper No. 134-89/CS 104-68, January.
- Shaw, M., SANDHOO, K. and TURNER D. 2000. Modernization of the Global Positioning System. *GPS World.*, 11(9): 36-44.

- Soldan, S., Rangel, J., Kroll, A. 2011. An Overview of Calibration Boards for the Geometric Calibration of Thermal Cameras. *InfraR&D*. pp.79-83.
- Stockton, G. 2010. Using thermal mapping at the data center. Proc., InfraMation.
- Telen, M., and Guirnaldo, A. 2017. Mindanao journal of science and technology, pp: 103-112, Volume: 15, Jan-Dec.
- Temel, F. 2013. Kanal içinde yüzen mikro robotların tasarımı, karakterizasyonu, görüntülenmesi ve navigasyonu. Doktora tezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 175 s.
- Ünal, İ. 2012. Gps yönlendirmeli tarımsal bir robotun geliştirilmesi ve anız yoğunluğunun belirlenmesi örneğinde kullanımı üzerine bir araştırma. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 208 s.
- Vega, A. N. 2001. Development Of A Real-Time Proximity Warning and 3D Mapping System Based On Wireless Networks, Virtual Reality Graphics, And Gps To Improve Safety In Open-Pit Mines. Mining Engineering Department Colorado School of Mines Golden, CO, U.S.A., 149 p.
- Vidas, S., Moghadam, P. And Bosse, M. 2013. 3D Thermal Mapping of Building Interiors using an RGB-D and Thermal Camera, *Robotics and Automation*. pp. 2311 – 2318.
- Weinmann, M., Leitloff, J., Hoegner, L., Jutzi, B., Stilla U., ve Hinz, S. 2014. Thermal 3d mapping for object detection in dynamic scenes, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 53-60.
- Wells, D.E., Beck, N., Delıkaraoğlu, D., Kleusberg, A., Krakıwsky, E. J., Lachapelle, G., Langley, R.B., Nakıboğlu M, Schwarz, K.P., Tranquilla, J. M., and Vanıcek, P. 1987. Guide To GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton. New Brunswick, 503 p.
- Yang R. ve Chen, Y. 2011. Design of a 3-D Infrared Imaging System Using Structured Light, *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, pp. 608-617.
- Zhang, Z. 2001. Image-Based Modeling of Objects and Human Faces,
- Zogg, J.M. 2002. GPS Basics – Introduction to the System Application Overview. U-Blox AG, Switzerland, 94 p.

7. EKLER

EK-1. Geliştirilen platform yazılımına ait kodlar

```
Imports System.Threading.Thread
<Microsoft.VisualBasic.ComClass(> Public Class Form1

    Dim sistemkontrol As String
    Dim motorjoystick As SByte
    Dim motorjoystickdurum As Byte

    Dim baglan As New
    SqlConnection("Server=188.59.58.17;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")
    Dim baglanjostick As New
    SqlConnection("Server=188.59.58.17;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")
    Dim adapjoystick As New SqlConnection.SqlDataAdapter("select * from
mk", baglanjostick)
    Dim dsjoystick As New DataSet
    Dim adap As New SqlConnection.SqlDataAdapter("select * from
hedef_nesne", baglan)
    Dim kom As New SqlConnection.SqlCommand
    Dim kom1 As New SqlConnection.SqlCommand
    Dim ds As New DataSet
    Dim cbul As New SqlConnection.SqlCommandBuilder(adap)
    Dim gelen As String
    Dim heading, hız As Double
    Dim azimuth As Double
    Dim utmx, utmy As Double
    Dim hedefx, hedefy As Double
    Dim kayıt As Boolean = False
    Const A = 6378137 'a (earth radius-m)
    Dim PI As Double = 3.1415927
    Const k0 = 0.9996 'coeff.d'aplatissement de la terre
    Const e = 0.081819190842 '0.8 excentricité
    Const eccSquared = 0.00669437999 '0.0064 carré de
1'excentricité
    Const eccPrimeSquared = 0.006739496742 '0.007
    Const North_South_Offset = 1000000 'décalage NS pour toujours
manipuler des données positives l'équateur a la valeur
'10000km quand on va vers le Sud
    Const East_West_Offset = 500000 'Le
    Dim Deg_Long As Double
    Dim Min_Long As Double
    Dim Sec_Long As Double
    Dim Deg_Lat As Double
    Dim Min_Lat As Double
    Dim Sec_Lat As Double
    Dim DirEW
    Public DirNS
    Dim Zone_Number
    Dim X_North_south
    Dim Y_East_West
    'Intermediate data
```

```

    Dim b, f, deg_RAD, longrad, FormuleLong, FormuleLat, FormuleNS
    As Double
    Dim longi, longo, lat, longdeg_origin, longradorigin As Double
    Dim sinlat, sin2lat, coslat, tanlat, n1, n2, n3, n4, n5, T, C,
    A0 As Double
    Dim Aprime, Bprime, Cprime, Dprime, Eprime, M, N As Double

    Public Sub ConvUTM3(ByVal DirEW, ByVal DirNS, ByVal Deg_Long,
    ByVal Min_Long, ByVal Sec_Long, ByVal Deg_Lat, ByVal Min_Lat, ByVal
    Sec_Lat)
        'Intermediate
        b = A - A / 298.2572
        deg_RAD = (2 * PI) / 360
        FormuleLong = ((Deg_Long) + (Min_Long) / 60 + (Sec_Long) /
3600) * deg_RAD
        FormuleLat = ((Deg_Lat) + ((Min_Lat) / 60) + ((Sec_Lat) /
3600)) * deg_RAD
        'Détermination du signe de longitude
        If DirEW = "E" Then
            longi = FormuleLong
        Else
            longi = -1 * FormuleLong
        End If
        'Détermination du signe de latitude
        If DirNS = "N" Then
            lat = FormuleLat
        Else
            lat = -1 * FormuleLat
        End If
        'Calcul du numéro de la Zone
        If Deg_Long = 180 Then
            Zone_Number = 1
        Else
            If DirEW = "E" Then
                Zone_Number = Int((Deg_Long / 6) + 31)
            Else
                Zone_Number = Math.Abs(Int((Deg_Long) / 6) - 30)
            End If
        End If
        'Calcul de l'origine (centre) de la Zone
        longdeg_origin = ((Zone_Number - 1) * 6) - 180 + 3
        longo = (longdeg_origin) * deg_RAD
        'Calculs de géométrie
        sinlat = Math.Sin(lat)
        sin2lat = Math.Sin(lat) * Math.Sin(lat)
        coslat = Math.Cos(lat)
        tanlat = Math.Tan(lat)
        T = Math.Tan(lat)
        N = A / Math.Sqrt(1 - eccSquared * sin2lat)
        C = eccPrimeSquared * coslat * coslat
        A0 = coslat * (longi - longo)
        n1 = (A - b) / (A + b)
        n2 = n1 * n1
        n3 = n2 * n1
        n4 = n3 * n1
        n5 = n4 * n1
    End Sub

```

```

        Aprime = A * (1 - n1 + (5 / 4) * (n2 - n3) + (81 / 64) *
(n4 - n5))
        Bprime = (3 * A * n1 / 2) * (1 - n1 + (7 / 8) * (n2 - n3) +
(55 / 64) * (n4 - n5))
        Cprime = (15 * A * n2 / 16) * (1 - n1 + (3 / 4) * (n2 -
n3))
        Dprime = (35 * A * n3 / 48) * (1 - n1 + (11 / 16) * (n2 -
n3))
        Eprime = (315 * A * n4 / 51) * (99 / 144) * (n2 - n3)
        M = Aprime * lat - Bprime * Math.Sin(2 * lat) + Cprime *
Math.Sin(4 * lat) - Dprime * Math.Sin(6 * lat) + Eprime *
Math.Sin(8 * lat)
        FormuleNS = (k0 * (M + N * tanlat * (A0 * A0 / 2 + (5 - T +
9 * C + 4 * C * C) * A0 * A0 * A0 * A0 / 24 + (61 - 58 * T + T * T
+ 600 * C - 330 * eccPrimeSquared) * A0 * A0 * A0 * A0 * A0 * A0 /
720)))
        'Output data
        If lat < 0 Then
            X_North_south = North_South_Offset + FormuleNS
        Else
            X_North_south = FormuleNS
        End If
        Y_East_West = (k0 * N * (A0 + (1 - T + C) * A0 * A0 * A0 /
6 + (5 - 18 * T + T * T + 72 * C - 58 * eccPrimeSquared) * A0 * A0
* A0 * A0 * A0 / 120) + East_West_Offset)
    End Sub
    Public Sub hareket_kaydet()
        Try
            kom1.Connection = baglan1
            kom1.CommandText = "update hareket set utmx=" & utmx &
",utmy=" & utmy & ",hız=" & hız & ",heading=" & heading
            baglan1.Open()
            kom1.ExecuteNonQuery()
            baglan1.Close()
        Catch
            baglan1.Close()
        End Try
    End Sub

    Private Sub MotorTestİşlemiToolStripMenuItem_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
MotorTestİşlemiToolStripMenuItem.Click
        Dim f2 As New Form2
        f2.Show()
    End Sub

    Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick
        'resim işleme
        Timer2.Enabled = False
        Call res_isle_aniz_bul()
        System.Threading.Thread.Sleep(15000)
        Call sonrakisıra()
        Call listeyukle()

```

```

        Button3_Click(sender, New System.EventArgs()) 'yeni hedef
        için hareketin başlamsı
    End Sub
    Dim otokontrol As Boolean = False
    Private Sub Timer3_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
    As System.EventArgs) Handles Timer3.Tick
        If My.Computer.Network.IsAvailable = False Then
            Timer4.Enabled = False
            Label18.Text = "bağlantı yok"
            Call dusmandur()
        Else
            'Label18.Text = hedefx & " " & hedefy
            'joystick kontrolü
            Try
                Call listeyukle()
                dsjoystick.Clear()
                adapjoystick.Fill(dsjoystick, "mk")
                DataGridView1.DataSource = dsjoystick.Tables("mk")
                sistemkontrol = DataGridView1(4, 0).Value.ToString
                motorjoystick = DataGridView1(2, 0).Value.ToString
                motorjoystickdurum = DataGridView1(3,
0).Value.ToString
                If sistemkontrol = "Manuel" Then
                    If motorjoystickdurum = 3 Then
                        Timer4.Enabled = False
                        otokontrol = False
                        Call motorverigonder(motorjoystick,
motorjoystick)

                        ElseIf motorjoystickdurum = 4 Then
                            Call motorverigonder(40, 127)
                        ElseIf motorjoystickdurum = 5 Then
                            Call motorverigonder(127, 40)
                        ElseIf motorjoystickdurum = 2 Then
                            Call motorverigonder(0, 0)
                        End If
                    ElseIf sistemkontrol = "Auto" Then
                        If otokontrol = False Then
                            Button3_Click(sender, New
System.EventArgs()) 'yeni hedef için hareketin başlamsı
                        End If
                    End If
                End If
            Catch
                Label18.Text = (Err.Description)
            End Try
        End If
    End Sub

    Private Sub Timer4_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
    As System.EventArgs) Handles Timer4.Tick
        Try
            Call hedefal()
            Call dusmanquadrantbul()
            Call hedefquadrantbul()
            Call hareketbelirle()
            'Call dogrugit()

```

```

        Call mesafebul()
    Catch
        Label18.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

Dim dusmanquadrant As Byte
Dim hedefquadrant As Byte

Public Sub dusmanquadrantbul()
    If heading >= 0 And heading < 90 Then
        dusmanquadrant = 1
    ElseIf heading >= 90 And heading < 180 Then
        dusmanquadrant = 2
    ElseIf heading >= 180 And heading < 270 Then
        dusmanquadrant = 3
    ElseIf (heading >= 270 And heading < 360) Then
        dusmanquadrant = 4
    Else
        dusmanquadrant = 5
    End If
End Sub

Dim azimuthx As Double
Dim acıfarkı As Double
Dim hedefmesafe As Double

Public Sub hedefquadrantbul()
    azimuthx = Math.Atan2((hedefx - utmx), (hedefy - utmy)) *
(180 / Math.PI)
    If azimuthx < 0 Then
        azimuth = 360 + azimuthx
    Else
        azimuth = azimuthx
    End If
    Label7.Text = azimuth
    If azimuth >= 0 And azimuth < 90 Then
        hedefquadrant = 1
    ElseIf azimuth >= 90 And azimuth < 180 Then
        hedefquadrant = 2
    ElseIf azimuth >= 180 And azimuth < 270 Then
        hedefquadrant = 3
    ElseIf azimuth >= 270 And azimuth < 360 Then
        hedefquadrant = 4
    Else
        hedefquadrant = 5
    End If
End Sub

Public Sub hareketbelirle()
    If (dusmanquadrant = 1 And hedefquadrant = 2) Or
(dusmanquadrant = 1 And hedefquadrant = 3) Or (dusmanquadrant = 2
And hedefquadrant = 3) Or (dusmanquadrant = 2 And hedefquadrant =
4) Or (dusmanquadrant = 3 And hedefquadrant = 1) Or (dusmanquadrant
= 3 And hedefquadrant = 4) Or (dusmanquadrant = 4 And hedefquadrant
= 1) Or (dusmanquadrant = 4 And hedefquadrant = 2) Then

```

```
        Call sagadon()
    ElseIf (dusmanquadrant = 1 And hedefquadrant = 4) Or
(dusmanquadrant = 2 And hedefquadrant = 1) Or (dusmanquadrant = 3
And hedefquadrant = 2) Or (dusmanquadrant = 4 And hedefquadrant =
3) Then
        Call soladon()
    Else
        If (heading > azimuth) Then
            Call soladon()
        ElseIf (heading < azimuth) Then
            sagadon()
        Else
            Call dogrugit()
        End If
    End If
End Sub

Public Sub sagadon()
    ' motor1 sol motor2 sağ ise motor1 40 motor2 15 devirde
    çalışacak.
    Call motorverigonder(127, 40)
    acıfarkı = azimuth - heading
    'Label9.Text = acıfarkı
    'Label18.Text = "sağa dön"
    If (acıfarkı >= -2) And (acıfarkı <= 2) Then
        Call dogrugit()
    End If
End Sub

Public Sub soladon()
    ' motor1 sol motor2 sağ ise motor1 127 motor2 40 devirde
    çalışacak.
    Call motorverigonder(40, 127)
    acıfarkı = azimuth - heading
    'Label9.Text = acıfarkı
    'Label18.Text = "sola dön"
    If (acıfarkı >= -2) And (acıfarkı <= 2) Then
        Call dogrugit()
    End If
End Sub
```

EK-2. Geliştirilen kontrol yazılımına ait kodlar

```

Imports Microsoft.DirectX.DirectInput
Imports Microsoft.DirectX

Public Class Form1
    Dim alet As Device
    Dim durum As JoystickState
    Dim x, x1 As Integer
    Dim y, y1 As Integer
    Dim z, z1 As Integer
    Dim durum1() As ButtonState
    Dim aletstr() As String
    Dim joystickdevice As Device
    Dim cps As DeviceCaps
    Dim xx As DeviceList
    Dim buton() As Byte
    Dim buton1() As Boolean

    Dim b As New
    SqlConnection("Server=OSMAN;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")
    Dim a As New SqlConnection.SqlDataAdapter("select * from mk", b)
    Dim k As New SqlConnection.SqlCommand
    Dim ds As New DataSet
    Dim ds1 As New DataSet
    Dim ds2 As New DataSet
    Dim c As New SqlConnection.SqlCommandBuilder(a2)
    Dim k3 As New SqlConnection.SqlCommand

    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Try
            xx = Manager.GetDevices(DeviceClass.GameControl,
EnumDevicesFlags.AttachedOnly)
            If (xx.Count > 0) Then
                Dim systemJoysticks(xx.Count) As String
                Dim i As Integer = 0
                For Each deviceinstance As DeviceInstance In xx
                    joystickdevice = New
Device(deviceinstance.InstanceGuid)
                    joystickdevice.SetCooperativeLevel(Me,
CooperativeLevelFlags.Background +
CooperativeLevelFlags.NonExclusive)
                    systemJoysticks(i) =
joystickdevice.DeviceInformation.InstanceName
                    i = i + 1
                Next

                joystickdevice.SetDataFormat(DeviceDataFormat.Joystick)
                joystickdevice.Acquire()
            End If
            ds.Clear()
            a.Fill(ds, "mk")
            DataGrid1.DataSource = ds.Tables("mk")
        Catch

```

```

        End Try
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
        Try
            cps = joystickdevice.Caps
            joystickdevice.Poll()
            durum = joystickdevice.CurrentJoystickState
            x = durum.X
            y = durum.Y
            z = durum.Z
            If y > 0 And y <= 30000 Then
                y1 = (100 - Fix(y / 330)) + 16
            End If
            If y >= 35534 And y <= 65534 Then
                y1 = (100 + (Fix(y / 330) * -1)) - 16
            End If
            If y > 30000 And y < 35534 Then
                y1 = 0
            End If

            Dim motormod As Byte
            Dim mmod As String = ""
            buton = durum.GetButtons
            Dim j As Integer
            For j = 0 To 10
                If buton(j) >= 128 Then
                    ListBox1.Items.Clear()
                    ListBox1.Items.Add(j + 1)
                End If
            Next
            Try
                motormod = ListBox1.Items.Item(0)
                If motormod = 11 Then
                    mmod = "Auto"
                Else
                    mmod = "Manuel"
                End If

                k.Connection = b
                k.CommandText = "update mk set x=" & x1 & ",y=" &
y1 & ",durum=" & ListBox1.Items.Item(0) & ",mod='" & mmod & "'
where id=1"

                b.Open()
                k.ExecuteNonQuery()
                b.Close()

                ds.Clear()
                a.Fill(ds, "mk")
                DataGrid2.DataSource = ds.Tables("mk")
            Catch
            End Try
        Catch
        End Try
    End Sub
End Sub

```

```
Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick
    Try
        ds1.Clear()
        a1.Fill(ds1, "hareket")
        DataGrid1.DataSource = ds1.Tables("hareket")
        Label5.Text = DataGrid1(0, 1).ToString
        Label6.Text = DataGrid1(0, 2).ToString
        Label7.Text = DataGrid1(0, 3).ToString
        Label8.Text = DataGrid1(0, 4).ToString
        ds2.Clear()
        a2.Fill(ds2, "hedef_nesne")
        DataGrid2.DataSource = ds2.Tables("hedef_nesne")
    Catch
    End Try
End Sub

Private Sub CheckBox1_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
CheckBox1.CheckedChanged
    If CheckBox1.Checked = True Then
        Timer2.Enabled = False
    Else
        Timer2.Enabled = True
    End If
End Sub
End Class
```

ÖZGEÇMİŞ

OSMAN ECEOĞLU

osmaneceoglu@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve CBS Bölümü, Antalya
Yüksek Lisans 2011-2013	Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İşletme Bölümü, Antalya
Lisans 2004-2009	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Bölüm Koordinatörü 2018-Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Kontrol Otomasyon Bölümü, Antalya
Öğretim Görevlisi 2017- Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Kontrol Otomasyon Bölümü, Antalya