



T.C.

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**MOBİL CİHAZLARIN DEĞİŞİK HARİCİ ANTENLER
KULLANILARAK MÜHENDİSLİK ÖLÇMELERİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil İbrahim YILDIZ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK

TOKAT – 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK danışmanlığında hazırlamış olduğum "Mobil Cihazların Değişik Harici Antenler Kullanılarak Mühendislik Ölçmelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması" adlı Yüksek Lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../2025

Halil İbrahim YILDIZ

JÜRİ KABUL VE ONAY

Halil İbrahim YILDIZ tarafından hazırlanan “**Mobil Cihazların Değişik Harici Antenler Kullanılarak Mühendislik Ölçmelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.07.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği’nde Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Başkan) :

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında büyük emeği geçen tecrübelerini esirgemeyip rehberlik ederek çalışmam sırasında katkıda bulunan ve hoşgörüsünü hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK'a uygulama çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ömer YILDIRIM hocama teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, benim bu günlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan, her zaman yanımda olan babam Ahmet YILDIZ, annem Nurten YILDIZ'a teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulama aşamasında her türlü donanım ve yazılım desteği sağlayan değerli abim Pin Teknik Cihazlar Mühendislik Müşavirlik Tic. Ltd. Şti yöneticisi Murat ÖZKAN'a, Fırat ÖZKAN'a ve firma çalışanlarına, GNSS Harita Teknik Dan. San. Ve Tic. A.Ş. şirketi yöneticisi Ufuk R. Özbey'e ve şirket çalışanlarına, Atay Mühendislik Teknik İşlemler San. ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına verdiği desteklerden dolayı çok teşekkür ederim.

İTHAF (ADAMA)



Meslektaşlarıma...

ÖZET

MOBİL CİHAZLARIN DEĞİŞİK HARİCİ ANTENLER KULLANILARAK MÜHENDİSLİK ÖLÇMELERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yıldız, Halil İbrahim
Yüksek Lisans, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Servet Yaprak
Temmuz 2025, 112 Sayfa

Bu çalışma, mobil cihazların harici antenlerle birlikte mühendislik ölçümlerinde kullanılabilirliğini ve elde edilen konum doğruluklarını incelemektedir. Gelişen GNSS teknolojileri ile birlikte, farklı işletim sistemlerine sahip mobil cihazların ve çeşitli harici antenlerin konum doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Uygulama kapsamında Android ve IOS tabanlı mobil cihazlarla, harici anten takılı ve takılı olmayan durumlarda konum verileri toplanmış ve bu veriler hassas GNSS alıcıları ile elde edilen referans koordinatlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmada D10 Rugged tablet, CHCNAV LT800H tablet, Xiaomi Mi 11 Lite 5G, Apple iPad Pro ve iPhone 15 Pro gibi cihazlar kullanılmış; anten olarak ise u-blox, unicore ve ViDoc RTK tercih edilmiştir. Cihazlarla yapılan antensiz ölçümlerde hata değerleri metre seviyesinde, anten entegrasyonu sağlanan ölçümlerde ise santimetre seviyesinde sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle ağaçlık, yapı yoğunluğu fazla olan ya da sinyalin zayıf olduğu alanlarda antensiz cihazların hata oranları ciddi şekilde artmıştır.

Elde edilen bulgular, mobil cihazların harici anten ve düzeltme sistemleri ile birlikte kullanıldığında haritacılık sektöründe kullanılan GNSS alıcılarına yakın koordinat değerlerini sağlayabilmektedir. Yüksek doğruluk gerektirmeyen uygulamalarda uygun bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ancak, deformasyon ölçümleri gibi yüksek hassasiyet gerektiren mühendislik projelerinde GNSS alıcıları tercih edilmelidir. Bu bağlamda mobil cihazlar, taşınabilirlik, düşük maliyet ve kullanım kolaylığı gibi avantajlarıyla geniş bir uygulama alanı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Mobil Telefon, Anten, Ölçüm

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF MOBILE DEVICES IN ENGINEERING MEASUREMENTS USING VARIOUS EXTERNAL ANTENNAS

Yıldız, Halil İbrahim

Master's Thesis, Department of Geomatics Engineering

Advisor: Assistant Prof. Dr. Servet Yaprak

Temmuz 2025, 112 Pages

This study examines the usability of mobile devices with external antennas in engineering measurements and the location accuracies obtained. With the developing GNSS technologies, the effects of mobile devices with different operating systems and various external antennas on location accuracy were evaluated. Within the scope of the application, location data were collected with Android and IOS based mobile devices, with and without external antennas, and these data were compared with the reference coordinates obtained with sensitive GNSS receivers.

Devices such as D10 Rugged tablet, CHCNAV LT800H tablet, Xiaomi Mi 11 Lite 5G, Apple iPad Pro and iPhone 15 Pro were used in the study; u-blox, unicore and ViDoc RTK were preferred as antennas. In the measurements made with the devices without antennas, the error values were at the meter level, and in the measurements with antenna integration, the error rates of the antenna-free devices increased significantly. Especially in areas with woods, high density of structures or weak signals, the error rates of the antenna-free devices increased significantly.

The findings obtained indicate that when mobile devices are used with external antennas and correction systems, they can provide coordinate values close to GNSS receivers used in the mapping sector. It shows that it can be a suitable alternative in applications that do not require high accuracy. However, GNSS receivers should be preferred in engineering projects that require high precision, such as deformation measurements. In this context, mobile devices offer a wide range of applications with their advantages such as portability, low cost and ease of use.

Keywords: GNSS, Mobile Phone, Antenna, Measurement

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME	ii
TEŞEKKÜR	iv
İTHAF (ADAMA).....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)	3
2.1. Giriş	3
2.2. GPS Küresel Navigasyon Sistemi (Global Positioning System).....	6
2.3. GLONASS.....	10
2.4. GALILEO.....	15
2.5. BEIDOU / BDS	17
2.6. QZSS	19
2.7. IRNSS (NavIC)	20
2.8. GNSS İle Konum Belirleme Yöntemleri.....	21
2.9. GNSS İle Konum Belirlemede Hata Kaynakları.....	26
3. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ.....	31
3.1. Giriş	31
3.2. Anten ve Özellikleri.....	32
3.3. Devre Elemanı Olarak Antenler ve Empedans Uyumu.....	33
3.4. Temel Anten Parametreleri.....	35
3.4.1. Işıma diyagramı.....	35
3.4.2. Voltaj duran dalga oranı (VSWR).....	35
3.4.3. Geri dönüş kaybı (RL).....	36
3.4.4. Bant genişliği.....	36
3.4.5. Yönlendiricilik	36

3.4.6.Güç kazancı	36
3.4.7.Anten verimi.....	37
3.4.8.Polarizasyon	37
3.5.Anten Tipleri	37
3.5.1.Tel antenler.....	38
3.5.2.Açıklık antenleri.....	39
3.5.3.Mikroşerit antenler	39
3.5.4.Dizi antenler	40
3.5.5.Yansıtıcı antenler.....	41
3.5.6.Lens antenler	42
3.6.GPS Antenlerinin Genel Özellikleri.....	42
3.6.1.Polarizasyon	43
3.6.2.Eksenel oran	44
3.6.3.Rezonans frekansı ve bant genişliği.....	44
3.7.GNSS Antenleri için Hedeflenen Gereksinimler.....	45
4. AKILLI TELEFONLARDA KULLANILAN GNSS TEKNOLOJİSİ	46
4.1. Giriş	46
4.2.Akıllı Telefonlarda Kullanılan GNNS Teknolojisinin Gelişimi ve Temel İlkeleri	46
4.3.Akıllı Telefonlarda Bulunan GNSS Yazılım Bilgileri	51
4.4.Akıllı Telefonlarda Bulunan GNSS Antenleri ve Özellikleri.....	53
4.5.Akıllı Telefonlara Entegre Edilebilen GNSS Antenleri ve Özellikleri	56
5. UYGULAMA.....	64
5.1. Giriş	64
5.2. Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri	65
5.3. Arazi Çalışması	65
5.4. Ölçü Farkları.....	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....	91

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 2. 1 Eski ve modernize edilmiş GPS uyduları (URL 2, 2024).....	8
Tablo 2. 2 GLONASS uzay aracı türleri (URL 5, 2024).....	14
Tablo 2. 3 IGS yörünge doğrulukları ve elde etme süreleri (IGS, 2024)	30
Tablo 3. 1 GNSS uydu sinyalleri bilgileri (Erdemir, 2013; Aktaş, 2019).....	43
Tablo 4. 1 Akıllı telefonlarda bulunan GNSS çipleri (Mahato ve ark., 2023).....	54
Tablo 5. 1 GNSS alıcısı ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri.....	68
Tablo 5. 2 D10 Rugged tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri.....	69
Tablo 5. 3 D10 Rugged tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları.....	70
Tablo 5. 4 CHC LT700H tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri ..	72
Tablo 5. 5 CHC LT700H tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları	72
Tablo 5. 6 CHC LT800 tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri	74
Tablo 5. 7 LT800 tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları	75
Tablo 5. 8 viDoc RTK anteni ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri.....	77
Tablo 5. 9 viDoc RTK anteni ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları	77
Tablo 5. 10 Ölçüm yapılan cihazlar ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları.....	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 2. 1 GNSS uydularının çalışması (Bilgiç, 2011: 7).....	4
Şekil 2. 2 Genişletilebilir 24 yuvalı uydu takımıyıldızı (URL 1, 2024).....	7
Şekil 2. 3 GPS kontrol istasyonları haritası (URL 3, 2024)	9
Şekil 2. 4 GLONASS yörünge ve uyduları (URL 4, 2024).....	12
Şekil 2. 5 Galileo sahaları ve yer istasyonları (URL 9, 2024).....	17
Şekil 2. 6 QZSS'nin mevcut olduğu alan (URL 12, 2024)	19
Şekil 2. 7 Uydu konum belirleme yöntemleri (Kahveci & Yıldız, 2018)	21
Şekil 2. 8 Mutlak konum belirleme yöntemi	22
Şekil 2. 9 Göreli konum belirleme yöntemi	23
Şekil 2. 10 Alıcılara gelen sinyaller.....	28
Şekil 2. 11 Alıcılara gelen sinyaller (URL 14, 2024).....	29
Şekil 3. 1 Alıcı ve verici anten sistemi.....	32
Şekil 3. 2 Alıcı antenin eşdeğer devresi	33
Şekil 3. 3 Verici antenin eşdeğer devresi (Sevgi, 2005).....	34
Şekil 3. 4 Örnek tel anten çeşitleri (Balanis, 2016).....	38
Şekil 3. 5 Sırasıyla piramit huni, konik huni ve dikdörtgen dalga	39
Şekil 3. 6 Mikroşerit anten temel birim yapısı	40
Şekil 3. 7 Sırasıyla Yagi-Uda dizi ve mikroşerit yama dizi anten örnekleri	40
Şekil 3. 8 FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope).....	41
Şekil 3. 9 Sağ el dairesel polarizasyonlu bir düzlem dalga (Erdemir, 2013)	44
Şekil 4. 1 Xiaomi Mi8 modeli.....	48
Şekil 4. 2 GEO++ RINEX Logger ve GNSSLogger uygulamaları.....	53
Şekil 4. 3 Broadcom BCM47755 çipi	55
Şekil 4. 4 LT700H çift frekanslı Cors ve Rtk özellikli endüstriyel tablet (URL 21, 2024)	57
Şekil 4. 5 LT800H çift frekanslı Cors ve Rtk özellikli endüstriyel tablet (URL 22, 2025)	58
Şekil 4. 6 E Survey G659 GNSS alıcısı (URL 23, 2024).....	59
Şekil 4. 7 E Survey HP50 yüksek hassasiyetli GNSS modülü (URL 24, 2024)	60

Şekil 4. 8 viDoc RTK anteni (URL 25, 2024).....	61
Şekil 4. 9 GNSS X5 Mobile ve GNSS X5 Mobile PRO (URL 26, 2024)	62
Şekil 4. 10 D10 tablet (URL 27, 2025).....	63
Şekil 5. 1 Çalışma alanı ve ölçüm noktaları.....	66
Şekil 5. 2 Çalışma alanında yapılan alım işlemleri	67
Şekil 5. 3 D10 Rugged tablet ile alım işlemleri.....	69
Şekil 5. 4 CHC LT700H tablet ile alım işlemleri.....	71
Şekil 5. 5 CHC LT800 tablet ile alım işlemleri.....	74
Şekil 5. 6 viDoc RTK anteni ile alım işlemleri	76
Şekil 5. 7 1 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	79
Şekil 5. 8 2 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	80
Şekil 5. 9 3 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	81
Şekil 5. 10 4 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	82
Şekil 5. 11 5 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	83
Şekil 5. 12 6 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	84
Şekil 5. 13 7 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	84
Şekil 5. 14 8 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	85
Şekil 5. 15 9 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	86
Şekil 5. 16 10 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi	87

KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklamalar
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
İHA	İnsansız Hava Aracı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
C/A	Coarse/Acquisition, Clear Access
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
QZZS	Quasi-Zenith Satellite System
NAVIC	Navigation Indian Constellation
WAAS	Wide Area Augmentation System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
SDCM	System for Differential Correction and Monitoring
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System
MSAS	MTSAT Satellite-based Augmentation System
GAGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System / GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
PPP	Precise Point Positioning
RTK-CORS	Real Time Kinematic Continuously Operating Reference Station
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DoD	Department of Defence
SA	Selective Availability
AS	Anti Spoofing
PNT	Positioning, Navigation and Timing
MEO	Medium Earth Orbit
OCS	Operational Control Segment

AEP	Architecture Evolution Plan
LADO	Launch, Anomaly and Disposal Operations
ITRF	International Terrestrial Reference System
WGS84	World Geodetic System 1984
ERA	Emergency Response
FDMA	Frequency Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
ESA	European Space Agency
GIOVE	Galileo In-Orbit Validation Element
IOV	In-Orbit Validation
FOC	Full Operational Capability
OS	Open Service
CS	Commercial Service
PRS	Public Regulated Service
BDS	BeiDou Navigation Satellite System
GEO	Geostationary Earth Orbit
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit
MCS	Ana Kontrol İstasyonu
BDCS	BeiDou Coordinate System
RNSS	Regional Navigation Satellite System
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
L1	Link 1
L2	Link 2
L5	Link 5
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
SPS	Standard Positioning Service
ISRO	Indian Space Research Organization
RS	Restricted Service
PPS	Precise Positioning Service
GZK	Gerçek Zamanlı Kinematik
SA	Seçimli Doğruluk Erişimi
SI	Uluslararası Birimler Sistemi

VSWR	Voltaj Duran Dalga Oranı
RL	Geri Dönüş Kaybı
FAST	Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope
RHCP	Right-Hand Circular Polarized
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
IGS	International GNSS Service
SFDF	Satellite and Field Data Fusion
IMU-GNSS	Inertial Measurement Unit - Global Navigation Satellite System
IAR	Integer Ambiguity Resolution
API	Application Programming Interface
NMEA	Ulusal Deniz Elektronik Birliği
A-GPS	Yardımcı GPS
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
NAVSTAR/GPS	NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System/ Global Positioning System

1. GİRİŞ

GNSS (Global Navigation Satellite System) ölçü aletleri, konum belirlemek için kullanılan ve profesyonel olarak harita mühendisliği alanında kullanılan önemli ölçme teknolojilerden biridir. Bu teknoloji ile çalışan GNSS alıcıları; yeryüzünden yaklaşık 20 bin km yukarıda bulunan GPS, GLONASS, GALILEO ... gibi aktif uyduların göndermiş olduğu sinyalleri kullanarak yeryüzü üzerinde kara ve denizlerle kaplı alanlardaki noktaların konumlarının belirlemelerini sağlarlar. GNSS ölçüm cihazları ilk kullanılmaya başlandığı 1990 ların başından günümüze hem değişen teknoloji ile kendilerini modernize ederek hem de yeni oluşturulan GNSS uydu sistemlerini ve augmentation sistemlerini kullanarak zamanla daha hassas konum bilgisi sağlayan, daha kompakt ve daha işlevsel kullanıma sahip hale gelmiştir.

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle yeni nesil alıcılar, daha fazla uydu sistemini izleyebilir, daha hızlı ve daha hassas konum belirleme sağlayabilir ve daha geniş kullanım senaryolarına uyum sağlayabilir hale gelmiştir.

İlk olarak askeri amaçla geliştirilen Global Positioning System (GPS) kullanılarak konum belirlemesi yapılmıyordu. Ancak günümüzde GLONASS (Rusya), BEIDOU/Compass (Çin), QZSS (Japonya), IRNSS/Gagan (Hindistan), GALILEO (Avrupa Birliği) gibi diğer uydu sistemlerinin entegrasyonu ile birlikte çoklu uydu sistemlerini destekleyen cihazlar yaygınlaşmıştır. Uydu sistemlerinde yapılan modernizasyon çalışmaları ile uydu sayıları arttırılmış, uydulara yeni sivil sinyaller eklenmiş, yeryüzünde daha fazla izleme/kontrol sistemi tesis edilmiştir. Aynı şekilde GNSS alıcıları da ilk kullanımdan günümüze kanal sayıları arttırılarak, anten yapıları ve verimlilikleri arttırılarak ve batarya ömürleri uzatılıp daha kompakt ve kolay taşınır hale getirilerek geliştirilmişlerdir. Bu durumda GNSS alıcıları daha fazla uydu sinyaline erişim sağlayarak daha hassas konum belirleme imkânı sağlayabilir duruma gelmiştir. Ayrıca daha kısa sürede daha hassas konum belirleme amacıyla farklı ölçüm yöntemleri de geliştirilerek daha kısa sürede daha hassas konum bilgisi elde edilmesi sağlanmıştır.

GNSS alıcıları sinyal işleme tekniklerini dinamik olarak ayarlayabilir. Bu, farklı ortamlarda ve koşullarda daha iyi performans sağlar. Örneğin, alıcılar, yüksek binalar veya yüksek gürültü seviyeleri gibi engellerle karşılaştığında, sinyal işleme tekniklerini uygun şekilde ayarlayarak konum belirleme doğruluğunu artırabilir.

GNSS alıcıları teknolojinin gelişmesiyle giderek daha küçük ve kompakt hale gelmektedir. Bu gelişme sayesinde GNSS alıcıları mini ve hafif cihazlar haline gelerek otomotiv uygulamalarında, (İHA) insansız hava araçlarında ve mobil telefonlara entegre edilmek sureti ile daha kolay kullanılabilir hale getirilmiştir.

Günümüzde çoğu akıllı telefon, dahili olarak GNSS alıcısı bulundurmaktadır. GNSS alıcıları sayesinde kullanıcılar günlük yaşamlarında konum tabanlı hizmetlerden faydalanmaktadır. Ancak, bu dahili GNSS alıcılarının hassasiyeti genellikle profesyonel veya hassas ölçüm uygulamaları için yeterli değildir. Yeni gelişen teknolojiler ve yazılım güncellemeleri ile birlikte, cep telefonları üzerinde GNSS alıcıları giderek daha hassas konum bilgisi sağlayabilir hale gelmektedir. Böylece cep telefonları ile hassas GNSS ölçümlerinin yapılabilmesi mümkün olabilecektir. Özellikle, çift frekanslı GNSS alıcıları ve gelişmiş sinyal işleme teknikleri, cep telefonlarının konum belirleme yeteneklerini artırmıştır. Eğer cep telefonları ile hassas GNSS ölçümleri yapılabilirse, bu durumda pahalı ölçüm aletlerine olan gereksinim azalarak pahalı ve büyük ölçüm cihazlarına olan bağımlılık azalacaktır. Bu durum hem maliyet hem de kullanılabilirlik açısından önemli avantajlar sağlayacaktır. Kullanıcılar, ellerindeki mevcut cep telefonları ile hassas GNSS ölçümleri yaparak kullanıcıların mobilite ve esneklik kazanmasını sağlar ve daha verimli çalışmalarına olanak tanır.

Mobil cihazlarda bulunan standart GNSS alıcıları genellikle yeterli hassasiyete sahip değildir. Bu alıcılar, genellikle yalnızca genel konum belirleme ve navigasyon için tasarlanmıştır ve santimetre hassasiyetinde konum bilgisi sağlayamazlar. Ancak, sonradan entegre edilecek harici antenler yardımı ile mobil cihazlarda santimetre düzeyinde hassas konum bilgisi elde edilebilmesi mümkün olacaktır. Mobil cihazlara sonradan entegre edilecek olan harici antenler ile deformasyon ölçüleri gibi yüksek hassasiyet gerektiren mühendislik uygulamalarda kullanım imkânı sunarsa dahi mm düzeyinde yüksek hassasiyet gerektirmeyen günlük mühendislik ölçmelerinde (CBS, kadastro ve orman sınır ölçmeleri) kullanılabilir olacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında değişik antenlerle bu uygulamaların ne kadar gerçekleştirilebileceğine ilişkin bir çalışma yapılacaktır.

2. UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)

2.1. Giriş

Doğal gök cisimleri yerine yapay uyduların kullanılması fikrinden hareket edilerek ilk yapay uydu Sputnik-I (4 Ekim 1957) ve Sputnik-II (3 Kasım 1957) uzaya fırlatması ile uzay teknolojisinde yeni bir devir başlamış ve bu uyduyu değişik amaçlı diğer uydular izlemiştir.

Jeodezinin temel ödevlerinden olan global, bölgesel ve yerel kontrol ağlarının yeterli doğrulukta belirlenmesi, yer çekim alanının ve bu alanın lineer fonksiyonlarının belirlenmesi, jeodinamik olayların belirlenmesi, modellenmesi ve ölçülmesi artık uydu jeodezisi yöntemleri ile çözülmektedir.

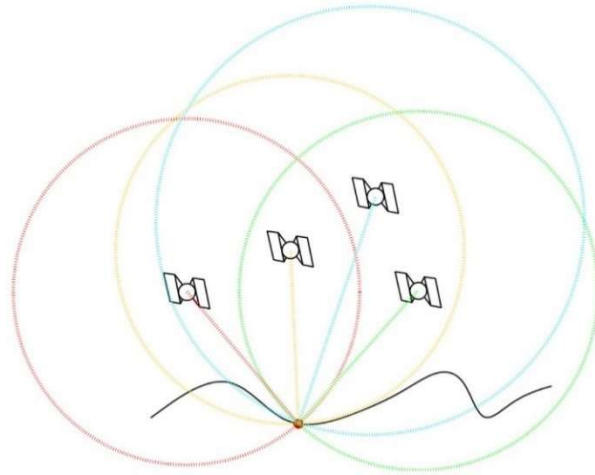
Uydu jeodezisindeki gelişmeler, hızla klasik jeodezik uygulamaların yerini almış ve uydu tekniklerinin ve özellikle Global Konum Belirleme Sisteminin (GNSS) sağladığı olanaklar, global yersel ağlara bağlı bölgesel ağlar ve ülke ağlarının oluşturulmasını kolaylaştırmıştır. (Aksoy vd,1999).

Dünya üzerinde bulunan bir noktanın enlem, boylam ve yükseklik değerlerinin bilgisini koordinatlandırarak tespitini yapabilmektedir (Bilgiç, 2011: 5). Çalışmalara ilk olarak ABD Deniz Kuvvetleri tarafından uygulamaya konulan TRANSIT (Doppler) sisteminin ilk uydusu 1961 yılında fırlatılan sistem 1967-1994 yılları arasında askeri ve sivil amaçlar için hizmet vermiştir. TRANSIT uydu sistemi zamanla yerini ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) sistemine bırakmıştır (Yaprak, 1998). GPS ile başlayan ve daha önce sadece ABD askerleri tarafından kullanılan sistem, bir sivil uçağın düşürülmesi sonrasında 1983 yılı itibariyle sivil kullanıma da açılmıştır. GPS ve navigasyon cihazlarının hassasiyeti söz konusu olduğunda, sivil kullanıcılar askeri kullanıcılar kadar yüksek hassasiyete sahip değildir (Bilgiç, 2011: 5). Bu sorunun önüne geçebilmek ve GPS sisteminin ABD'nin tek taraflı bağımlılığının önüne geçmek amacıyla teknoloji ve kaynakları yeterli olan özellikle Rusya ve Avrupa gibi ülkeler, kendi konum belirleme sistemlerini oluşturmuştur. Bu ülkelerin uydu sistemlerinin de katılımıyla birlikte ABD'nin sistemdeki hakimiyetini yansıtan GPS yerine GNSS terimi kullanılmaya başlamıştır. Uydu sistemleri, siyasi, askeri ve teknolojik altyapılar için giderek vazgeçilmez bir unsur haline gelmektedir. Ülkeler, kendi çıkarları doğrultusunda (askeri, siyasi, ekonomik) GNSS sistemlerini

sürdürmekte ve aynı zamanda çatışmayı önlemeye yönelik uluslararası iş birliği yapmaya da özen göstermektedirler (Kahveci ve ark., 2011b). Yıllar içerisinde sürekli olarak eklenen ve geliştirilen yeni uydular sayesinde doğruluğu arttırılmıştır. Bugün GNSS cihazları, hassas bir şekilde dünya üzerindeki bir yerin koordinatlarını tespit edebilmektedir. Son yıllarda GNSS cihazlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, çeşitli izleme ve takip sistemleri hem akademik hem de ticari alanlarda uygulanmakta ve geliştirilmektedir (Bilgiç, 2011: 1-5).

GNSS çalışmalarında kod gözlemleri ve faz gözlemleri olmak üzere iki farklı ölçme yöntemi kullanılmaktadır. Kod gözlemlerine bağlı ölçülerden doğruluğu düşük navigasyon bilgisi elde edilirken, taşıyıcı faz gözlemlerine bağlı ölçüler ile daha yüksek hassasiyetli konum bilgisine sahip olunmaktadır (Akar, 2021).

GNSS alıcıları, konum bilgilerini GNSS uydularından gelen radyo sinyalleri yardımıyla hesaplarlar. Bu hesaplamının doğru yapılabilmesi için sinyallerin alınma sürelerinin yüksek doğrulukla hesaplanması gerekmektedir. GNSS uyduları yörüngelerinde hareket ederken yeryüzüne ışık hızıyla sürekli sinyal gönderirler. Yeryüzünde bulunan GNSS alıcısına gelen sinyalin gelme süresi ile sinyalin hızı olan ışık hızının çarpılmasıyla uydu ile alıcı arasındaki mesafenin ölçümü yapılır. Alıcıya gelen sinyalin gelme süresinde yapılan küçük bir zamanlama hatası önemli yanlışlara neden olabilmektedir. Örneğin uydu sinyalinin alıcıya gelmesinde yapılan 1 mikro saniyelik bir hata gelen sinyallerin hızının ışık hızı ile çarpılmasıyla 300 m hataya neden olmaktadır. Bu yüzden sinyalin gelme zamanı mümkün olduğunca yüksek doğrulukla ölçülmesi gerekir (Bilgiç, 2011: 7).



Şekil 2. 1 GNSS uydularının çalışması
(Bilgiç, 2011: 7)

Uluslararası platformlarda etkili olma çabaları devam eden ülkeler arasında Çin (Compass / BeiDou), Japonya (QZSS) ve Hindistan (IRNSS / GAGAN) öne çıkmaktadır. Günümüzde, tüm dünyayı kapsayacak şekilde tasarlanmış dört küresel konumlama sistemi (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) ve iki bölgesel konumlama sistemi (QZSS, NaVIC) bulunmaktadır. Bu sistemler, dünya çapında kullanıcılara güvenilir ve hassas konum belirleme imkânı sunarak, küresel navigasyon ve konumlandırma teknolojilerinin gelişimine önemli katkılarda bulunmaktadır (Pırtı ve ark., 2022).

GNSS yöntemleriyle konum belirlenirken bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Bu hatalar, uydu ve saat hataları ile uydu konumundan kaynaklanan hatalar gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanır ve konum doğruluğunu olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, ABD; WAAS, AB; EGNOS, Rusya; SDCM, Çin; SNAS, Japonya; MSAS, Hindistan ise GAGAN adını verdikleri sistemleri geliştirerek konum doğruluğunu artırmayı amaçlamıştır (Akkamış & Çalışkan, 2019). Bu sistemler, konum belirleme sürecindeki hata değerlerini azaltarak kullanıcıların daha güvenilir ve hassas konum bilgilerine ulaşmasını sağlamayı hedeflemektedirler. Bu şekilde, GNSS teknolojisinin kullanımı daha güvenilir hale getirilerek daha doğru konum bilgileri sunulması amaçlanmaktadır. GNSS sistemlerini sürekli geliştirme çabasında olan bu ülkelerin ortak özelliği askeri amaçlar olarak görülmektedir. ABD'nin GPS sistemi, Hava ve Deniz Kuvvetlerinin birlikte çalışmasıyla kurulmuşken, Rusya'nın GLONASS sistemi öncelikle Rus Deniz Kuvvetlerinin talebi doğrultusunda geliştirilmiştir. Benzer şekilde, Çin'in uydu sistemini kurma amacı, bağımsız askeri operasyonlar gerçekleştirebilme kapasitesine sahip olma arzusundan kaynaklanmaktadır. Bu durumlar, ülkelerin askeri güçlerini arttırmak ve operasyonel bağımsızlık sağlamak amacıyla GNSS sistemlerini geliştirdiklerini göstermektedir (Kahveci ve ark., 2011b). Mevcut uydu sistemleri arasında yalnızca GALILEO, askeri olmayan ve sivil/ticari amaçlar için kullanılan bir konum belirleme sistemidir (Karataş, F., 2023).

Günümüzde, GNSS verilerinin gerçek zamanlı iletimi için kullanılan ve sürekli olarak geliştirilen çeşitli veri iletim protokolleri, veri formatları ve endüstri standartları, özellikle mutlak konum belirleme alanında gerçek zamanlı PPP (Real-Time Precise Point Positioning) uygulamaları ile birlikte, diferansiyel konum belirleme kapsamında RTK ve DGNSS uygulamaları için büyük öneme sahiptir (Öcalan & Soycan, 2011).

2.2. GPS Küresel Navigasyon Sistemi (Global Positioning System)

GPS projesi, öncelikle 1960'larda başlayan ve navigasyon sistemlerinin sınırlı işlevselliğini aşma ihtiyacından doğmuş bir girişimdir. Askeri ve sivil kullanıma yönelik navigasyon ihtiyaçlarının artmasıyla ve mevcut sistemlerin yeterince güvenilir olmamasından dolayı bir dizi gizli mühendislik çalışması yürütülmüştür. 1960'larda, ABD Savunma Bakanlığı (DoD) ve diğer ilgili kuruluşlar tarafından yürütülen gizli mühendislik çalışmaları, farklı görüşlerin birleştirilmesini sağladı. 1973 yılında, ABD Savunma Bakanlığı (DoD) bu çalışmaların bir sonucu olarak Global Positioning System (GPS) projesini resmen başlattı. İlk olarak askeri amaçlar için geliştirilen bu sistem, zamanla sivil kullanım için de kullanılabilir hale getirildi. Soğuk savaşın bitmesi SSCB'nin dağılması sonrası sistem kısıtlı olarak (SA ve AS kısıtları ile) 1994 yılında, sistem dünyanın her yerinde uygun donanıma sahip kullanıcılara sahip sivil kullanıcılarının tam işlevsel halde kullanımına açıldı (Koca & Ceylan, 2018).

WGS-84 koordinat sistemini kullanan bu sistem anlık konum, hız ve zaman bilgisi sağlayarak bir noktanın WGS-84 koordinat sistemindeki enlem, boylam ve yükseklik bilgilerinin belirlenmesini amaçlar (Yaprak, 2021).

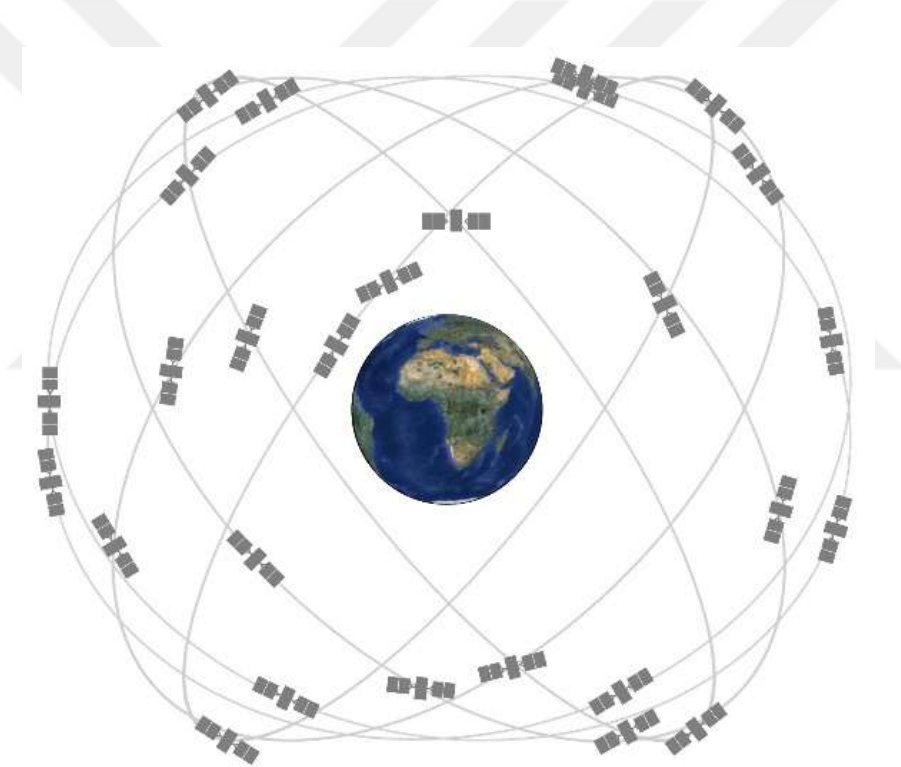
Amerika Birleşik Devletleri'ne ait bir teknolojik altyapı olan GPS, kullanıcılara navigasyon ve zamanlama (PNT) hizmetleri sunar. Bu sistem, uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç temel bölümden oluşur. Amerika Birleşik Devletleri Uzay Kuvvetleri, uzay ve kontrol bileşenlerinin geliştirilmesi, bakımı ve yönetimiyle ilgilenir (GPS Overview, 2021)

GPS uzay bölümü, kullanıcılarına radyo sinyalleri ileten uydu takımyıldızından oluşur. Amerika Birleşik Devletleri, genellikle zamanın %95'inde en az 24 faal GPS uydusunun kullanılabilirliğini sağlama hedefini taşımaktadır. Bu hedefini yerine getirmek için ABD Uzay Kuvvetleri, on yıldan fazla bir sürede 31 operasyonel GPS uydusunu uzayda bulundurmaktadır.

GPS uyduları, ortalama Dünya yörüngesinde (MEO) bulunur ve yaklaşık 20.200 kilometre (12.550 mil) yükseklikte seyrederek. Her bir uydu, Dünya'nın etrafını günde iki kez tamamlar, yani bir gün içinde iki kez dünya etrafında dönerler. GPS takımyıldızındaki uydular, Dünya'yı saran altı eşit aralıklara ayrılmış yörünge düzlemine göre düzenlenmiştir. Her bir düzlemde, temel uyduların yer aldığı dört uydu vardır. Bu 24 uydulu düzenleme, kullanıcıların dünya üzerinde neredeyse her yerden en az dört

uyduya erişim sağlayabilecek şekilde görüntüleyebilmesini mümkün kılar. Uzay kuvvetleri, temel uydulara servis verilmesi durumunda veya hizmet dışı bırakılabilecek temel uyduların kapsama alanını koruyabilmek için 24 yuvaya 24'ten fazla GPS uydusunu yörüngeye göndermiştir. Bu sayede alıcıların fazla uydu görmesi, GPS performansını artırma imkânı sunmuştur.

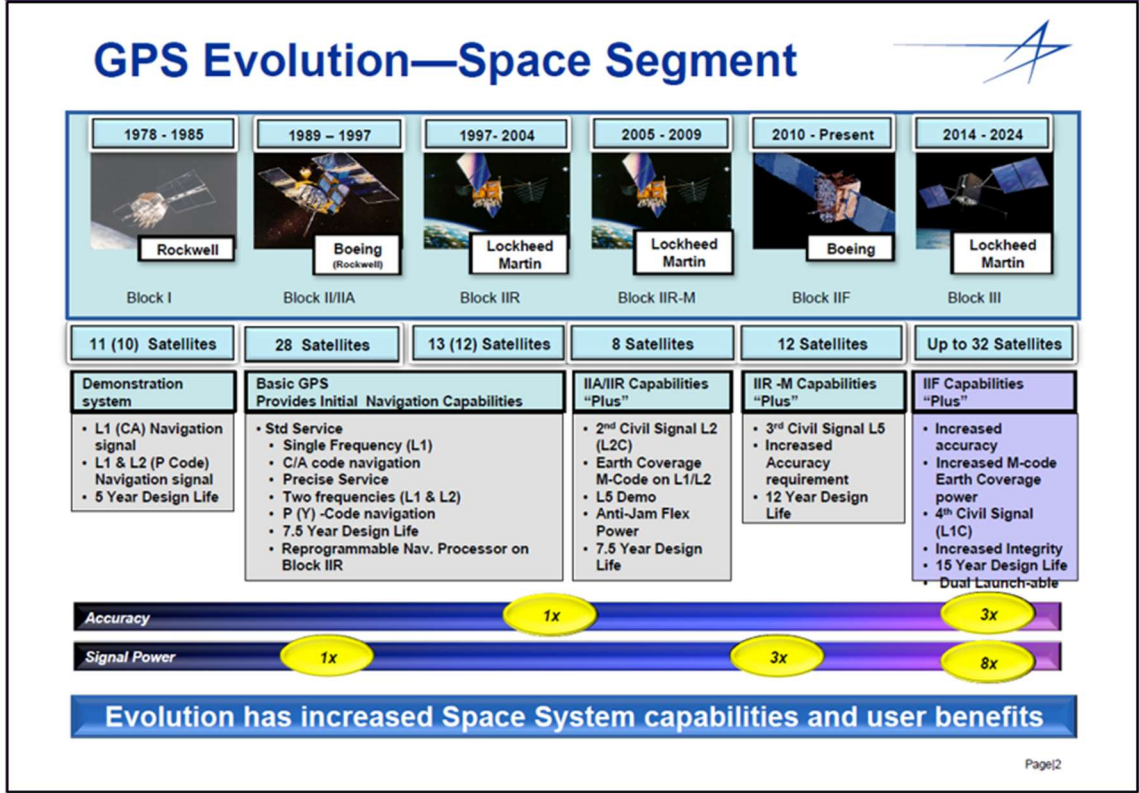
ABD Hava kuvvetleri Haziran 2011'de GPS uydu takımyıldızı genişletmesi ile 24 yuvadan oluşan takımyıldızlarına üç adet daha ekleyerek genişletildi. Yapılan çalışmalarla GPS projesi, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi Dünya'nın her noktasını kapsayacak şekilde 27 yuvalı bir uydu takımyıldızı olarak çalışır hale getirildi (URL 1, 2024).



Şekil 2. 2 Genişletilebilir 24 yuvalı uydu takımyıldızı
(URL 1, 2024)

GPS projesinde bulunan eski ve yeni uydular GPS takımyıldızını oluşturur. Günümüzde geçerliliği olan uydular eski ve yeni uydular olacak şekilde Tablo 2.1'de gösterilmiştir (URL 2, 2024).

Tablo 2. 1 Eski ve modernize edilmiş GPS uyduları



(URL 2, 2024)

GPS kontrol bölümü, GPS uydularının takibini gerçekleştiren, bu uyduların iletimlerini sürekli olarak izleyen, kapsamlı analizler yapabilen uydu kümesine komutlar ile veriler gönderebilen küresel yer tesisleri ağından meydana gelir. GPS projesinin mevcut operasyonel kontrol segmenti (OCS) bir ana kontrol istasyonu, bir alternatif kontrol istasyonu, 11 komuta ve kontrol anteni ve 16 izleme bölgesinden oluşmaktadır. Tesisleri gösteren harita Şekil 2.3 üzerinde gösterilmiştir (URL 3, 2024).

GPS Kontrol Segmenti



Şekil 2. 3 GPS kontrol istasyonları haritası
(URL 3, 2024)

Kontrol istasyonlarının bir parçası olan izleme istasyonları 16 tesis aracılığıyla yörüngelerinde hareket eden GPS uydularını gelişmiş GPS alıcıları kullanarak takip eder. Navigasyon sinyallerini, uydular ile arasındaki ölçümleri ve atmosferik verileri toplar. Bu bilgileri ana kontrol istasyonuna aktarır (URL 3, 2024).

Ana kontrol istasyonları GPS projesinin beyin rolünü üstlenir. Yörüngedeki GPS uydularının komuta ve kontrol işlemlerini yerine getirir. Uyduların kesin konum bilgilerini izleme istasyonlarından gelen verilere göre hesaplayarak uydulara yüklemek için navigasyon mesajları üretir. GPS uydularının yayınlarını ve sistem bütünlüğünü izleyerek uyduların doğruluğunu ve sağlığını sürekli kılmaya çalışır. Uyduların yeniden konumlandırılması gibi uydu güncellemelerini yaparak yeni çözümlerler gerçekleştirir. Günümüzde uyduların kontrolünü yapmak için AEP ve LADO açılım sistemleri kullanılmaktadır. Alternatif ana kontrol istasyonları ana kontrol istasyonlarına destek vermek amacıyla aktif olarak çalışmaktadır (URL 3, 2024).

Yer antenleri 4 adet özel GPS yer anteni ve 7 adet hava kuvvetlerinin ağı olan uzaktan izleme istasyonundan oluşmaktadır. Bu yer antenleri uyduların izlenilmesi kontrol

edilmesi ve analiz edilmesini sağlayarak uydulara gönderilecek komutlar, navigasyon verilerini gönderimini sağlar. Anormallik çözümü ve uydu yörüngelerindeki değişiklikleri erken belirleyebilmek S bandı aracılığı ile sağlanır. GPS modernizasyon çalışmalarıyla ABD Hava Kuvvetleri, GPS kontrol bölümünü uzun yıllardır sürekli olarak geliştirmeye devam etmektedir. Yapılan modernizasyon çalışmaları ile yeni sistemler gelişmektedir (URL 3, 2024).

2.3. GLONASS

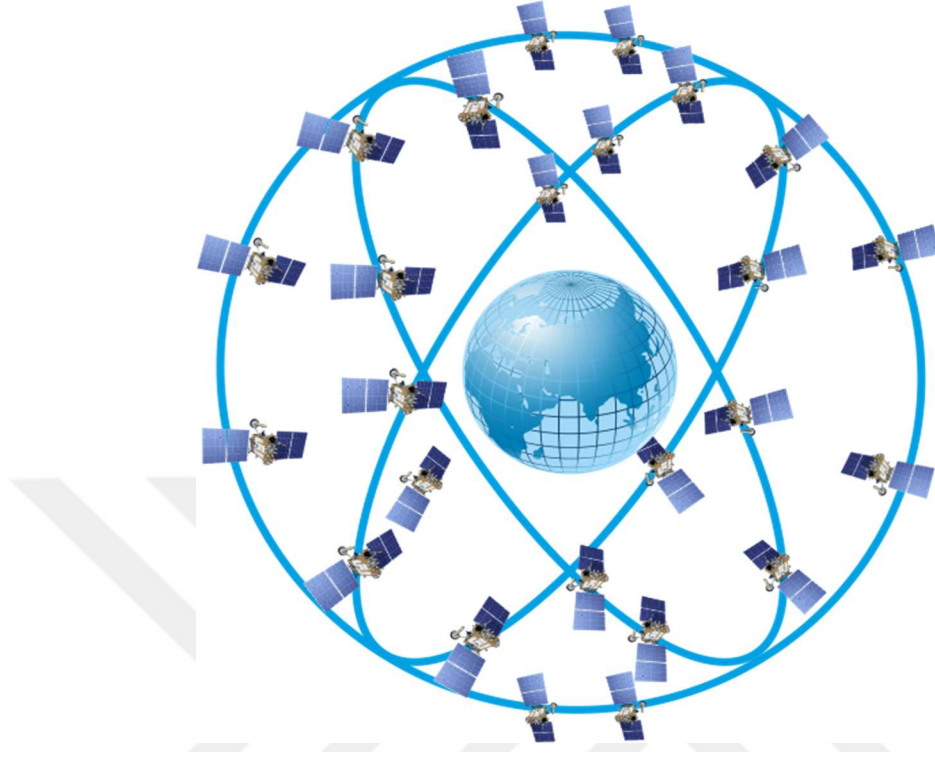
Konum belirlemek için uyduları kullanma fikri radyo astronomik yöntemlerin uçak navigasyonunda uygulamalarını incelerken 1957’de Prof. VS. Şebşayevîç tarafından keşfedilmiştir. Daha sonra Sovyet Enstitüsünde yapılan çalışmalarda konum doğruluklarının artırılması, her türlü hava koşulunda, her zaman, Dünya’nın her yerinden ulaşılabilme konularında araştırmalar yapıldı. Yapılan araştırmalar, 1963 yılında ilk Rus düşük yörüngeli sistem "Cicada (Ağustos böceği)" üzerindeki geliştirme çalışmaları sırasında kullanıldı. 1967 yılında, çalıştığı süre boyunca 150 ve 400 MHz frekanslarında sürekli bir radyo navigasyon sinyalinin yayılmasını sağlayan ilk yerli navigasyon uydusu Cosmos-192 yörüngeye fırlatıldı (URL 4, 2024).

Cicada sistemi 1979 yılında dört uyduyla devreye girdi. Böylece kullanıcıların ortalama her 1,5 – 2 saatte bir uydulardan biriyle radyo bağlantısı kurmasına ve 5-6 dakikaya kadar süren bir oturum yapılmasıyla yeryüzündeki bir noktanın koordinatlarının belirlenmesine imkân sağlanmıştır. 2008 yılından sonra Cicada ve Cicada-M sistemleri işletimlerini durdurarak GLONASS sistemine devredilmiştir (URL 4, 2024).

Araştırmalar sonrasında yapılan geliştirmeler ile orta irtifa dairesel yörüngelerde, nominal rakım değeri 19100 km, eğim $64,8^{\circ}$ ve periyot 11 saat 15 dakika 44 s olan 24 uydudan oluşan GLONASS isimli bir sistem belirlendi. Günümüzde iki adet uydu test aşamasındadır. Belirlenen sistemin orta irtifa dairesel yörüngede olması ve rakım değeri sayesinde aktif olduğu süre boyunca beklenmedik düzeltmelerin gerek olmayacağı ve düzenli bir yörünge sistemi oluşturmasını mümkün kılmıştır. Sistemdeki uyduların eğim açısı sayesinde bir uydu hedeften çıksa bile Rusya Federasyonu topraklarında konum erişimi sağlanabilir şekilde belirlenmiştir. GLONASS adı verilen yüksek yörüngeli sistemin uçuş testleri, Ekim 1982’de Kosmos-1413 uydusunun fırlatılmasıyla başladı. 1993 yılında deneme olarak başlayan sistem 1995 yılında birinci nesil 24 GLONASS

uydusunun tam olarak konuşlandırılmasıyla sistem normal bir şekilde çalışmaya başlamıştır. 1990 yılında başlayan ekonomik sorunların ortaya çıkmasıyla GLONASS sistemi 2002 yılında 7 uydu ile çalışmasına devam etmiştir. Sistemin doğruluğunun düşük olması ve kullanılabilirliğinin sağlanamamasından dolayı sistem hizmet dışı kalmıştır (URL 4, 2024).

GLONASS sisteminin bozulması sonrasında 2002 yılında federal bir hedef programı belirlenerek GLONASS sistemi korunmuş, modernizasyon aşamasından geçmiş ve GLONASS-M uydusu tam zamanlı olarak yörüngeye yerleştirilmiştir. Uydu hareketlerindeki sistem özelliklerinin doğruluğunu ve GPS sistemiyle karşılaştırılabilmesini sağlayan yer kontrol kompleksi modernize edilerek zaman ve frekans araçları ve Dünya'nın dönüş parametrelerini belirleme araçlarında modernizasyon çalışmaları yapılmıştır. 2012'den itibaren yapılan çalışmalar ile GLONASS sistemi navigasyon alanı olarak diğer sistemler ile rekabet etmeyi hedefleyerek diğer sistemlerle eşitliği sağlamak için teknik özelliklerinde iyileştirme ve geliştirmeler yapmıştır. Kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla koordinat sistemini ITRF koordinat sistemini olarak değiştirmiştir. Geliştirme çalışmalarıyla GLONASS yörünge takımyıldızı yapısını genişleterek yeni nesil uzay araçları kullanmış ve diğer yörüngelerine eklemeler yapmıştır. Ayrıca GLONASS sisteminde efemeris-zaman iyileştirilmesi dahil olmak üzere yer kontrol bölümünün geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. İşlevsel eklentilerin geliştirilmesi adına sivil kullanıcılar için gerçek zamanlı konum ve efemeris-zaman bilgilerinin yüksek hassasiyetle belirlenmesine yönelik GNSS navigasyon alanlarının geniş alan diferansiyel düzeltme ve izleme sistemi (SDCM) geliştirilmiştir GLONASS uydular ve yörüngeleri Şekil 2.4 üzerinde gösterilmiştir (URL 4, 2024).



Şekil 2. 4 GLONASS yörünge ve uyduları
(URL 4, 2024).

GLONASS sisteminin geliştirilmesi ve kullanılmasını sağlayan kuruluş Rus Uzay Sistemleri JSC'dir. Rusya Federasyonu Devletinin otomatik bilgi sistemi "ERA-GLONASS"ın operatörü JSC GLONASS'tır. Navigasyon faaliyetleri alanındaki federal ağ operatörü NP GLONASS'tır. GLONASS navigasyon alanının özelliklerinin 24 saat operasyonel izlenmesi ve doğrulanması, TsNIIMash JSC'nin IAC KVNO'su tarafından gerçekleştirilir (URL 5, 2024).

Rusya Federasyonu'nun GNSS alanında yürüttüğü uluslararası iş birliği, GLONASS projesinin diğer sistemler ile eşzamanlı olarak çalışabilmesine imkân sağlamıştır. GLONASS sistemi, sürdürülebilir gelişimini teşvik etmek ve küresel uydu navigasyon anlaşmalarına etkin katılımı genişletmek için tasarlanmıştır. GLONASS sisteminin diğer GNSS ile uyumluluğunu ve tamamlayıcılığını sağlamak ve yurt dışında kullanımını teşvik etmek için, IAC KVNO JSC TsNIIMash uzmanları tarafından bağımsız olarak uluslararası etkinliklere katılmaktadır (URL 5, 2024).

Rusya Federasyonu Devlet otomatik bilgi sistemi bünyesinde olan "ERA-GLONASS" sistemi Rusya Federasyonu'ndaki trafik kazaları gibi acil durum gerektiren bilgilerin anında alınmasını, depolanmasını, işlenmesini ve acil müdahale hizmetlerine iletilmesini

sağlayan sistemdir. Temmuz 2013'te sistem Rusya'nın 15 bölgesinde deneme işletimine alınarak 1 Ocak 2015 tarihinde sistem ticari işletmeye başlamıştır. Rus markası olan Lada, Vesta modelinde ERA-GLONASS sistemini kullanarak bu sistemi kullanan ilk üretim otomobili olmuştur. 2018 yılından sonra Rusya'da satışı yapılan tüm araçlara sistemin kullanıcı terminalleri kuruldu (URL 5, 2024).

GLONASS sistemi kullanıcılarına standart ve yüksek doğruluk olmak üzere iki tür hizmet sunar. L-bant frekanslarında standart hassas sinyaller iletilerek kullanıcılara standart hassas hizmetler sağlanır. Bütün GLONASS-M uyduları L1 (1,6 GHz) ve L2 (1,25 GHz) olmak üzere iki bantta radyo sinyallerini iletir. Yerli ve yabancı bütün sivil kullanıcıların kullanabilmesini amaçlayan 0,511 MHz saat frekansında standart doğruluk sinyali görünürlük aralığında GLONASS sistem uydularının bulunduğu uygun ekipman ile donatılmıştır. GLONASS sistem uydularının açık erişim ve yetkili erişime sahip sinyaller Tablo 2.2'de gösterilmiştir (URL 5, 2024).

Tablo 2. 2 GLONASS uzay aracı türleri

Özellikleri	SC "GLONASS"	SC "GLONASS-M"	SC "GLONASS-K"	SC "GLONASS-K2"
Durum	Hizmet dışı	Kullanımda	Kullanımda	Gelişmekte
Dağıtım yılları	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017'den sonra
Kullanılan ekstraksiyon ortamı	LV "Soyuz-2.1b", LV "Proton-M"			
Garantili aktif varoluş süresi, yıllar	3.5	7	10	10
BSU'nun teknik spesifikasyonlara / gerçeklere uygun olarak günlük dengesizliği	$5 \cdot 10^{-13}$ / $1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-13}$ / $5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-13}$ / $5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$ / $5 \cdot 10^{-15}$
Sinyal türü	FDMA	Esas olarak FDMA (KA 755-761'de CDMA)	FDMA ve CDMA	FDMA ve CDMA
Açık erişim sinyalleri (FDMA sinyalleri için merkez frekansı verilir)	L1OF (1602 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz) L2OC (1248 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L1OC (1600 MHz) L2OC (1248 MHz) L3OC (1202 MHz)
Yetkili erişime sahip sinyaller	L1SF (1602 MHz) L2SF (1246 MHz)	L1SF (1602 MHz) L2SF (1246 MHz)	L1SF (1602 MHz) L2SF (1246 MHz) L2SC (1248 MHz)	L1SF (1602 MHz) L2SF (1246 MHz) L1SC (1600 MHz) L2SC (1248 MHz)

(URL 5, 2024)

2.4. GALILEO

Galileo uydu sistemi, AB ve ESA (European Space Agency) destekleriyle ABD'nin yarı askeri olan GPS sistemine bir alternatif olarak tamamı ile sivil kullanım için tasarlanan konum belirleme amaçlı konum belirleme ve navigasyon sistemidir (Pırtı ve ark., 2022). Galileo sisteminin GNSS sistemlerine katılmasıyla GNSS alıcılarının kapsama alanı sorunu nerede ise ortadan kalkmıştır. Gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda sistem faz belirsizlikleri kısa zamanda çözülerek kısmen kapalı alanlarda kullanılabilme imkânı sağlanmış olup atmosferik modellemelerde yeni algoritmalar elde edilmesi imkânı sağlanmıştır. Böylece gerçek zamanlı RTK uygulamalarında kesintisiz, güvenilir ve daha yüksek doğruluklu konum bilgileri elde edilmiştir (Kahveci ve ark., 2011a).

Galileo uydu sistemi 2005 yılında ilk olarak GIOVE-A uydusu ve 2008 yılında deneme uydusu olarak GIOVE-B uydularını fırlatmıştır. 27 aylık bir görev için tasarlanan GIOVE-A uydusu tasarım ömrünün iki katından fazla bir süre başarılı bir şekilde çalışmıştır. Hala çalışmakta olan uydu 2012 yılında resmi kullanımdan kaldırılmıştır. GIOVE-B uydusu, 2008 ve 2012 yılları arasında hizmet verdikten sonra durdurulmuştur. Yapılan geliştirme çalışmalarıyla Yörünge İçi Doğrulama (IOV) uydularından ilk iki operasyonel Galileo uydusu olan GSAT0101 ve GSAT0102 2011'de fırlatıldı. İkinci çift olan GSAT0103 ve GSAT0104 uyduları ise Ekim 2012'de fırlatıldı. Yörünge içi doğrulama uydularının test aşaması tamamlandıktan sonra geri kalan uydular Tam Operasyonel Yeteneğe (FOC) ulaşmak için düzenli aralıklar ile yörüngeye yerleştirilmiştir (URL 6, 2024).

Galileo'nun FOC uyduları, önceden gönderilen IOV uydularıyla aynı yetenekleri vardır. Fakat FOC uydularının daha yüksek iletim gücüne sahip olması daha gelişmiş bir performans sağlamıştır. FOC uydularının ilk çifti olan GSAT0201 ve GSAT0202, Ağustos 2014'te fırlatılmıştır. Yanlış bir yörüngeye yerleşen bu uydular 2015 yıllarının başında geliştirilmiş bir yörüngeye taşınmıştır (URL 6, 2024).

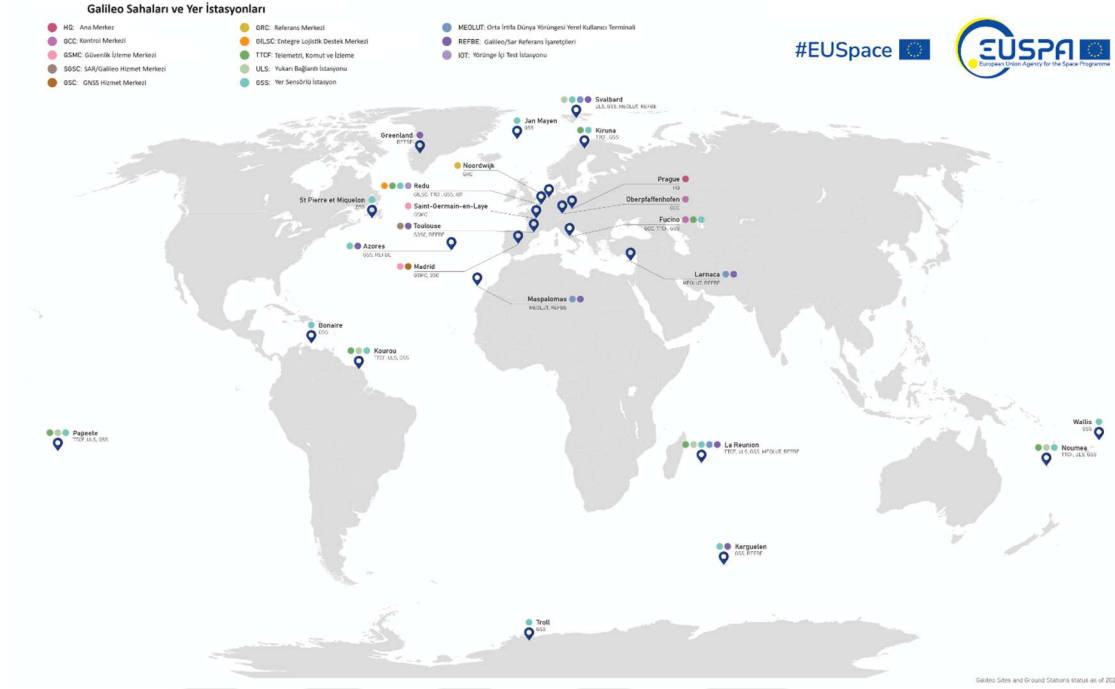
Galileo sistemi diğer GNSS sistemleri gibi uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

Galileo uzay bölümü 28 uydudan oluşur. Bu uydulardan 5 tanesi yedek uydular olup aktif kullanılabilir olarak 23 uydu mevcuttur (URL 7, 2024). Uydular Dünya'dan 23.222 km yukarıda ve yörünge düzlemlerinin ekvatora 56 derecelik eğimle üç dairesel Orta Dünya Yörüngesi (MEO) düzlemine yerleştirilmiştir. Dikkatlice optimize edilerek

tasarlanmasından dolayı uyduların navigasyon sinyalleri Avrupa'nın en kuzey noktalarında bile iyi kapsama alanı sağlamaktadır (URL 8, 2024).

Galileo uyduları sivil hizmet (OS:Open Service) ve acil durum ve güvenlik (Safety Of Life) hizmetleri, ticari kullanıcılar için (CS:Commercial Service) ve kamu kurum ve kuruluşları (PRS: Public Regulated Service) için farklı sinyaller yayınlar. Galileo sistemi E1, E5 ve E6 olarak 3 farklı frekans bandını kullanmaktadır. Aynı frekans değerlerine sahip L bandı bir süre sonra E1 bandı olarak adlandırılmıştır. E5 sinyali, E5a ve E5b sinyallerine ayrılmıştır (Pırtı ve ark., 2021).

Galileo kontrol bölümü Avrupa'da iki adet ana kontrol merkezi olan Galileo Kontrol Merkezinden (GCC) oluşmaktadır. Küresel olarak çalışan Galileo Sensör İstasyonları (GSS) ağı, Galileo uydularından gelen verileri toplar ve bu verileri yedekli bir iletişim ağı üzerinden Galileo kontrol merkezlerine iletir. Galileo Kontrol Merkezleri (GCC'ler), bu sensör istasyonlarından gelen verileri kullanarak uyduların konum bütünlüğünü hesaplar ve tüm uyduların zaman sinyallerini yer istasyonu saatleriyle senkronize eder. Kontrol Merkezleri ile uydular arasındaki veri alışverişi up-link istasyonları aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu, uydulardan kontrol komutlarının alındığı ve uydulara yönlendirildiği bir iletişim sürecidir. Bu sistem, Galileo uydularının doğru konumlandırılmasını sağlamak ve zamanlama uyumluluğunu korumak için kritik öneme sahiptir. Galileo sisteminin dünya üzerinde bulunan yer sahaları ve istasyonları Şekil 2.5 üzerinde gösterilmiştir (URL 9, 2024).



Şekil 2. 5 Galileo sahaları ve yer istasyonları
(URL 9, 2024).

Sivil kullanım amacıyla tasarlanan Galileo sistemi gelişmiş konumlandırma ve zamanlama bilgileri sağlayarak kullanıcıların yüksek hassasiyetle konum bilgileri elde etmesine imkân tanır. Kritik, acil müdahalelerde Galileo'dan yararlanılır. Ulaşım imkanlarını daha verimli ve güvenli hale gelmesini sağlar (URL 9, 2024).

Galileo projesine Avrupa Birliği üyesi bütün ülkeler 2007 yılında dahil olmuştur. Avrupa Birliği dışında bulunan farklı ülkelerden 2003 yılında Çin, 2004 yılında İsrail, 2005 yılında Ukrayna, Hindistan ve Fas, 2006 yılında ise Güney Kore ve Norveç dahil olmuştur. 2006'da Çin, Galileo yerine kendi sistemini geliştirmek için BeiDou uydu konumlandırma sistemini oluşturma kararı almıştır (Koca & Ceylan, 2018).

2.5. BEIDOU / BDS

BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS), Çin ulusal güvenlik ve ekonomik-sosyal kalkınma gereksinimlerini göz önünde bulundurarak, kendi başına BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi'ni (BDS) kurmuş ve yönetmektedir. Sistemin hizmet sağlamasıyla BDS, ulaşım, tarım, ormancılık, balıkçılık, hidrolojik izleme, meteorolojik tahmin, iletişim,

enerji dağıtımı, afet yardımı, kamu güvenliği gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılarak ülkesine ekonomik ve sosyal faydalar sağlamaktadır (URL 10, 2024).

BDS, üç aşamalı bir şekilde geliştirilmiştir. 1994 yılında ilk çalışmalar BDS-1'in yapımıyla başlamış olup 2000 yılında sistem faaliyete geçerek kullanıcılarına aktif konumlandırma hizmetleri sağlamıştır. 2004 yılında BDS-2'nin yapımına başlanmış olup 2012 yılında kullanıma sunulmuştur. Teknik olarak BDS-1 ile uyumlu olacak şekilde tasarlanan BDS-2, Asya-Pasifik bölgesindeki kullanıcılara konum belirleme, hız ölçümü, zamanlama ve kısa mesaj iletişimi gibi hizmetler sunmak için pasif bir konumlandırma şemasını da içermiştir. BDS-2'yi temel almış olan BDS-3 hizmet performansını arttırmayı ve hizmet fonksiyonlarını genişletmeyi amaçlayarak 2009 yılında yapılmaya başlanmış olup 2020 yılında tamamlanmıştır. BDS-3, kullanıcılarına konum belirleme, zamanlama, küresel kısa mesafe, mesaj iletişimi ve uluslararası arama ve kurtarma hizmetleri gibi çeşitli hizmetler sağlamaktadır (URL 11, 2024).

BDS-3, takımyıldızı 3 GEO (Geostationary Earth Orbit: Jeostatik Dünya Yörüngesi) uydusu, 3 IGSO (Inclined Geosynchronous Satellite Orbit: Eğik Jeosenkron Uydu Yörüngesi) uydusu ve 24 MEO (Medium Earth Orbit: Orta Dünya Yörüngesi) uydusundan oluşur. GEO uyduları 35.786 kilometre yükseklikteki yörüngelerde görev yapmaktadır. IGSO uyduları, 35.786 km yükseklikte ve yörünge düzlemleri ekvator düzlemine göre 55° eğimli yörüngelerde çalışmaktadır. MEO uyduları, 21.528 kilometre yükseklikteki yörüngelerde ve ekvator düzlemine göre yörünge düzlemleri 55° eğimde çalışmakta ve Walker 24/3/1 takımyıldızına dağılmışlardır (URL 11, 2024).

BeiDou sisteminin yer kontrol bölümü, ana kontrol istasyonundan (MCS), zaman senkronizasyonu ve yükleme istasyonlarından (TS/US) ve izleme istasyonlarından (MS) oluşur. BeiDou sisteminin operasyon ve kontrol merkezi olan ana kontrol istasyonları (MCS), her bir yükleme istasyonları (TS/US) ve izleme istasyonlarından (MS) gelen navigasyon sinyalleri ve gözlem verilerini toplar ve bu verileri işleyerek uydu navigasyon mesajlarını oluşturur. Uydu saati sapmalarını hesaplar. Uydu yüklerini izleyerek anormallikleri analiz eder. Yükleme istasyonları (TS/US) uydu saati sapmalarını ölçer ve uydu navigasyon mesajlarının yüklenmesi işlemini yapar. İzleme istasyonları (MS) uydu navigasyon mesajlarını izleyerek ana kontrol istasyonuna (MCS) gerçek zamanlı veriler sağlar. Kullanıcı bölümü çeşitli tiplerdeki kullanıcı terminallerinden oluşmaktadır (URL 11, 2024). BDS, Çin Jeodezik Koordinat Sistemi 2000 (CGCS2000) tarafından

tanımlanan BeiDou Koordinat Sistemini (BDCS) kullanmaktadır. BDCS, Uluslararası Dünya Döndürme ve Referans Sistemleri Hizmeti (IERS) ile uyumlu olan bir sistemdir. Bu sistem, en son Uluslararası Dünya Referans Çerçevesi (ITRF) ile tutarlı olan ve her yıl güncellenen referans elipsoid parametrelerini kullanır. BDS, zaman sistemi olarak 1 Ocak 2006'da başlayan BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi Saatini (BDT) kullanır (URL 11, 2024). BDS, kullanıcıların konum, hız ve zaman belirlemelerini yapabilmeleri için B1C, B2a, B2b, B1I ve B3I açık sinyallerini kullanan radyo navigasyon uydu hizmetini (RNSS) sağlamaktadır. Günümüzde RNSS hizmetlerini BDS-2 ve BDS-3 takımyıldızı tarafından ortaklaşa sağlamaktadır (URL 11, 2024).

2.6. QZSS

QZSS QZSS (Michibiki), genelde yarı zenit yörüngelerdeki (QZO) uydulardan oluşan Japon uydu konumlandırma sistemidir. GPS uyduları ile uyumlu QZSS uydularının kullanılmasıyla birlikte görüş alanındaki uydu sayısı artarak uydu konumlandırma hizmetleri gelişmiştir. Japonya ve yakınında bulunan Asya-Okyanusya bölgelerinde kullanılabilecek olan sistemin Japonya komşu ülkelerinde kullanımı yaygınlaşacaktır. QZSS'nin mevcut olduğu alan Şekil 2.6 üzerinde gösterilmiştir (URL 12, 2024).



Şekil 2. 6 QZSS'nin mevcut olduğu alan
(URL 12, 2024)

İlk Quasi-Zenith Uydusu (QZS-1) 2010 yılında fırlatılmıştır. Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (JAXA), QZSS'nin işletmesini yapmıştır. 2011 yılında Japonya Hükümeti dört QZS takımyıldızı kurulmasına gelecekte yedi uydulu QZS takımyıldızı olarak tamamlanmasına karar vermiştir. Uydu sayısını arttırmaya yönelik çalışmalar ile ikisi yarı zenit yörüngesine (QZO) sahip ve biri sabit yörüngede (GEO) olacak şekilde üç uydu ilave edilerek sistem Kasım 2018'den itibaren dört uydulu bir takımyıldız olarak hizmet sunmaktadır. 2023 yılında Uzay Politikası Temel Planı Uygulama Planı revize edilmiştir. Planda yedi uydulu bir takımyıldız oluşturmak amacıyla 2025 yılına kadar uydular fırlatılacak olup bakım ve geliştirme çalışmaları sürekli olarak sağlanacaktır. GPS uyduları ilk zamanlarında tek bir frekansa sahipti. Yeni GNSS uyduları iyonosferik hataların çözümü için birden fazla frekans (L1 ile L2 veya L5) kullanımına geçmiştir. Kullanımda olan dört QZS uydularının hepsinde birden fazla frekans iletilir (URL 12, 2024).

2.7. IRNSS (NavIC)

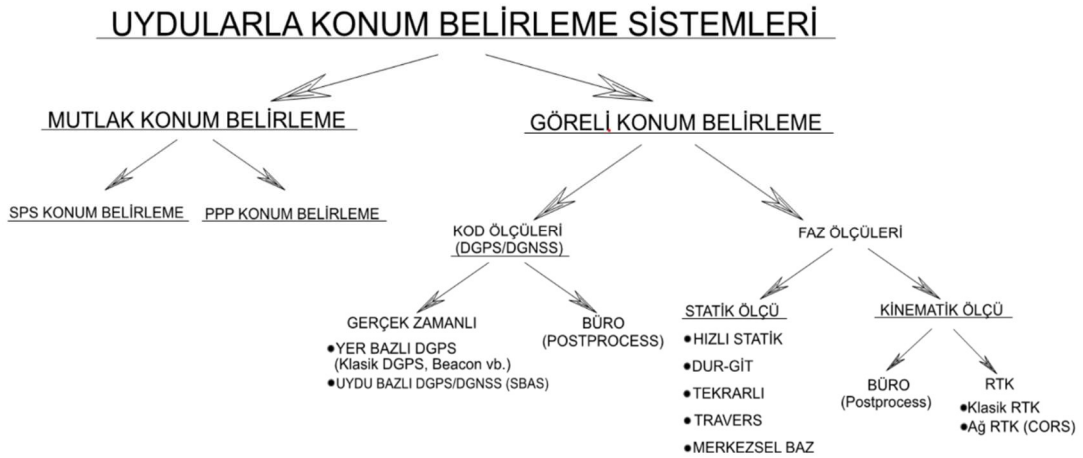
Hint Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi (IRNSS), Hindistan'ın bölgesel olarak uydu konum belirleme amacıyla oluşturmuş olduğu sistemdir. Proje, Hint Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO: Indian Space Research Organization) tarafından başlatılmış olup halen yürütülmektedir. İlk IRNSS uydusu 2013 yılında fırlatılmıştır. 2016 yılında IRNSS olan ismi Hindistan Başbakanı Narendra Modi tarafından Navigation Indian Constellation (NavIC) olarak değiştirilmiştir (URL 13, 2024).

NavIC sistemi 7 uydudan ve kesintisiz çalışan bir yer istasyon ağından oluşur. Uydular ekvator düzlemine 29 derecelik eğimle yörünge düzleminde hareket etmektedir. Yer kontrol bölümü, kontrol merkezi, hassas zamanlama tesisi, menzil ve bütünlük izleme istasyonları, iki yönlü menzil istasyonlarından oluşur. NavIC sistemi kullanıcılarına, sivil kullanıcılar için Standart Konum Hizmeti (SPS: Standard Positioning Service) ve stratejik kullanıcılar için sınırlı hizmet (RS: Restricted Service) sunmaktadır. Sunulan iki hizmette L5 (1176,45 MHz) ve S bandı (2498,028 MHz) üzerinden sağlanmaktadır. NavIC sinyalleri, 20 m'den daha iyi bir konum doğruluğu sağlamaktadır. NavIC sistemi Hindistan ve Hindistan sınırından 1500 km genişliğindeki bir bölgeyi kapsamaktadır. Sistemin Standart Konum Hizmeti (SPS: Standard Positioning Service) sinyalleri diğer sistem sinyalleriyle birlikte çalışabilecek şekilde oluşturulmuştur (URL 13, 2024).

2.8. GNSS İle Konum Belirleme Yöntemleri

Konum belirlemede GNSS teknolojisinin gelişmesi ölçme işlemlerini, Dünya üzerinde herhangi bir yer ve zaman fark etmeksizin kolay bir şekilde yapılmasını sağlamıştır. GNSS ile konum belirlerken uydu dağılımı ve ölçü süresine bağlı olarak ölçülen noktaların cinsine, istenilen hassasiyete ve amaca göre farklı ölçme metotları kullanılır (Yaprak, 2021).

1978 yılında yörüngeye yerleştirilmiş ilk GPS uydusundan elde edilen gerçek zamanlı konum doğruluğu yaklaşık olarak 150 m olmuştur. Konum doğruluğunu düşürerek güvenilir konum belirleme amacıyla kısa zamanda yapılan çalışmalarla birçok yöntem ortaya çıkmıştır. Klasik RTK yöntemi ile cm düzeyinde konum belirlenebilmiştir. 1990 yılında CORS sistemi uygulanarak zamanla sabit GPS/GNSS ağı (Ağ-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Günümüzde Ağ-RTK, anlık konum belirleme ve yüksek doğruluk gerektiren işlemler için sıkça kullanılmaktadır (İnal ve ark., 2014). Uydularla konum belirleme yöntemleri Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi mutlak ve bağıl konum belirleme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır (Kahveci & Yıldız, 2018).

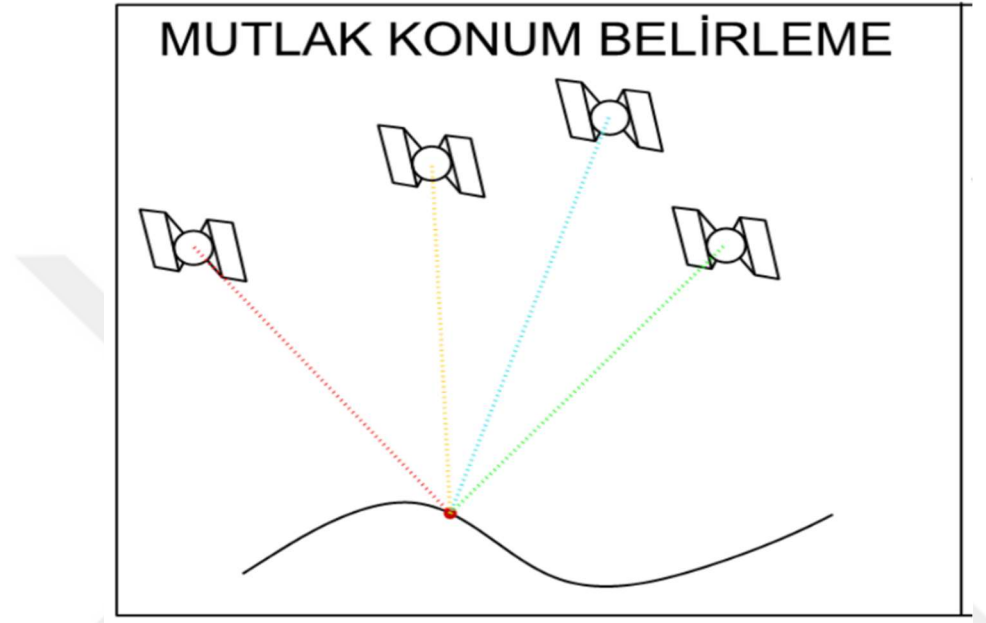


Şekil 2. 7 Uydu konum belirleme yöntemleri
(Kahveci & Yıldız, 2018)

Mutlak konum belirleme, yeryüzündeki tek bir alıcı tarafından en az 4 uydudan elde edilen gözlemler ile sağlanır. Bu gözlemler alıcı ve uydular arası uzaklıklarını kullanarak alıcı anteni koordinatlarını ve alıcı saat hatasını hesaplamak için kullanılır. Mutlak konum

belirleme yöntemi navigasyon çözümü ve tek nokta konum belirleme olarak da adlandırılır (Van Sickle, 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018).

Konum doğruluğu, kod verilerine ve uydu geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Alıcı sabit olduğunda statik, hareketli olduğunda ise kinematik konum belirleme olarak adlandırılır (Cansız, 2013).



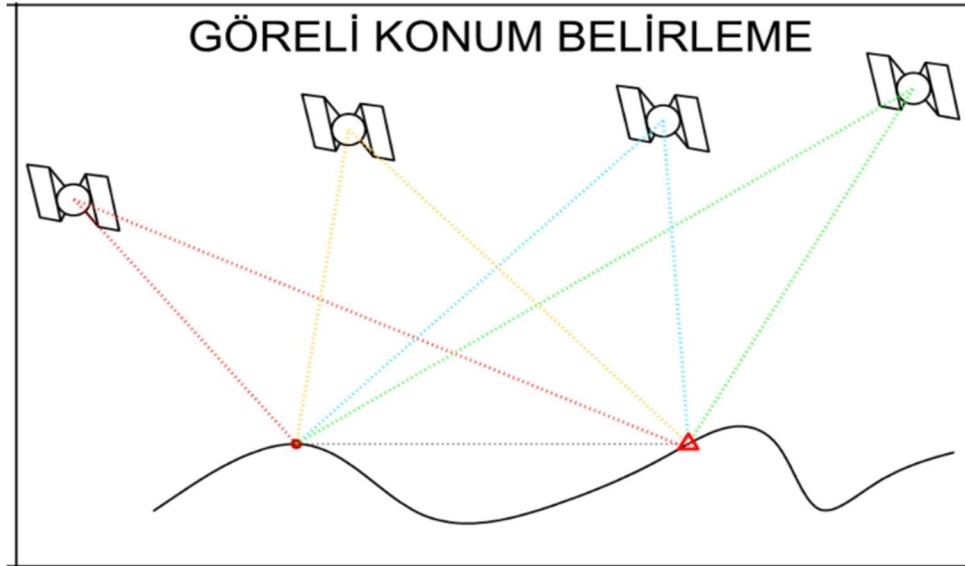
Şekil 2. 8 Mutlak konum belirleme yöntemi

Mutlak konum belirleme, türü kapsamında GPS tarafından sivil kullanıcıların erişebileceği Standart Konum Belirleme Hizmeti (Standart Positioning Service, SPS) ve yetkili kullanıcıların erişebileceği Hassas Konum Belirleme Hizmeti (Precise Positioning Service, PPS) 7/24 konumlandırma ve zamanlama hizmeti sağlamaktadır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018; ESA ve GMV, 2020).

Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS) tüm GPS kullanıcılarına L1, L2 ve L5 frekanslarında hizmet sağlar. Hassas Konum Belirleme Hizmeti (PPS) kullanıcılarına L1 ve L2 frekanslarında yüksek doğruluklu bir askeri konumlandırma, hız ve zaman hizmeti sağlar. SPS kullanıcı performansı yatayda 100 m, düşeyde 156 m'den az olacak şekilde iken PPS kullanıcı performansı yatayda 36 m, düşeyde 77 m'den az olacak şekilde belirtilmiştir. Gerçek kullanıcı performansları bu değerlerden daha iyi çıkabilmektedir. (ESA ve GMV, 2020).

GNSS modernizasyon çalışmaları sonucunda International GNSS Service (IGS), Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi

kuruluşlar hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerini hizmete sunmuştur. Böylece ölçü yapan tek bir GNSS alıcısının konumu, yüksek doğruluklu uydu ve saat bilgileri yardımıyla hesaplanmasıyla Hassas Nokta Konum Belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi ortaya çıkmıştır. Bir mutlak konum belirleme yöntemi olan PPP yöntemine ait ilk çalışmalar Zumberge ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Zumberge ve ark., 1997). PPP yöntemiyle uzun süreli gözlemler yapılarak bağıl konum belirleme hassasiyetine yakın hassasiyet sağladığı görülmüştür. PPP yöntemi ilk zamanlarda sadece GPS uyduları kullanılarak gerçekleştirilebiliyordu. Günümüz teknolojisindeki gelişmeler ile GLONASS uydularının da hassas yörünge bilgileri hesaplanarak sadece GPS uyduları yerine GPS ve GLONASS uydularının birlikte kullanılmaya başlanmıştır (Yiğit, Kızıllarslan & Çalışkan, 2016). Bağıl konum belirleme yöntemiyle koordinatları belli olan bir noktaya kurulan alıcının konumuna göre koordinatı bilinmeyen noktadaki alıcının koordinatları belirlenir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Bu yöntemle iki adet GNSS alıcısı eş zamanlı kod gözlemleri veya faz ölçüleri gerçekleştirdiğinden mutlak konum belirleme yöntemine göre daha yüksek doğruluk sağlamaktadır (Mutlu, 2019).



Şekil 2. 9 Görelî konum belirleme yöntemi

Bağıl konum belirleme yöntemlerinden DGNSS (Diferansiyel GNSS) yöntemiyle kod ölçüleri ile anında konum belirleme, metre hassasiyetinde yeterli doğruluk sağlanarak koordinat elde edilir. Daha hassas konum belirleme uygulamalarında, kod ölçümleri

yerine faz ölçümleri tercih edilir. Ancak faz ölçümlerinde faz belirsizliği sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu belirsizliklerin giderilmesi için gerekli düzeltmeler yapılarak hassasiyet artırılmalıdır (Mutlu, 2019).

DGPS, atmosferik olaylar ve sistem hatalarını düzelterek konum belirleme hassasiyetini artıran bir tekniktir. Bu teknik, bilinen kesin koordinatlara sahip bir referans istasyonunda sürekli işletilen bir alıcı yardımıyla gerçekleştirilir. Uyduların yer merkezinden uzaklığı göz önüne alındığında, yeryüzündeki noktalarda hataların yaklaşık olarak aynı olacağı kabul edilir. Referans istasyonundaki alıcı, anlık konum bilgilerini hesaplar ve daha önceden belirlenmiş kesin koordinatlarla karşılaştırır. Böylece, uydulardan gelen sinyallerin ve diğer bozucu etkilerin neden olduğu hataları belirleyerek düzeltme miktarını hesaplar. Bu düzeltme miktarı, uygun bir telsiz sistemiyle anlık diğer alıcılara yayınlanır. Anında (Real Time) DGPS olarak adlandırılan bu yöntem, konum belirleme işlemi sırasında gerçek zamanlı olarak düzeltme sağlar. Düzeltmeleri gönderecek veya alacak alıcılar mevcut değilse, düzeltmeler ölçme işlemin sırasında ana istasyonda, manyetik ortamda depolanır ve büro ortamında işlenerek hatalar büyük ölçüde giderilir. Bu yöntem Oturum Sonrası (Post processing) DGPS denir. Diferansiyel GPS sisteminin doğruluğu, birçok faktöre bağlıdır. Bunlar arasında ana istasyonların sayısı ve koordinat doğruluğu, alıcıların referans istasyonuna uzaklığı, düzeltmelerin yayınlandığı ortam ve hızı, kod veya faz ölçüsü kullanımı, düzeltmelerin anlık veya sonradan getirilmesi gibi faktörler bulunur. DGPS, kod ölçüleri kullanıldığında metrenin altında, faz ölçüleri kullanıldığında ise santimetre ve hatta milimetre seviyesinde konum belirleme hassasiyeti sağlar (Kurt, 1997).

Statik ölçme yöntemi, alıcılar arasında uzun bazlar olduğunda ve yüksek doğruluk gerektiren durumlarda kullanılır. Mevcut uydu geometrisi başka ölçüm tekniklerine olanak sağlamadığında ve sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda statik ölçme yöntemi tercih edilir. Tam sayı belirsizliğinin çözülebilmesi için baz uzunluğunun durumuna göre uzun süreli gözlemler yapılır. Gözlem periyotları, baz uzunluğu, görülen uydu sayısı ve uyduların geometrik dağılımına göre farklılık göstermektedir. Baz uzunluğuna göre konum belirlemenin doğruluğu değişmektedir. 100 km üzerindeki bazlarda 1 ± 0.01 ppm arasında doğruluk elde edilir. 20 km ve üzeri bazlarda, 4 en az uydu gözlenebildiği, iyi geometri ve normal atmosferik koşullardaki statik ölçümlerde L1 sinyal frekansındaki alıcılar için 30 dakika+3 dakika/km, L1 ve L2 sinyal frekansındaki

alıcılar için ise 20 dakika+2 dakika/km oturum süresi gerekir (Hofmann vd., 2001). Kullanılan alıcının kalitesine ve değerlendirme yazılımına göre değişen konum doğruluğu, yatayda yüksek hassasiyet sağlamakta iken düşeyde yatay konum doğruluğunun iki katı daha kötü hassasiyet sağlamaktadır. Statik ölçü yöntemi $5\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ duyarlık ile ölçüm sonuçları vermektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Daha kısa bazların ölçülmesi için hızlı statik yöntemi tercih edilir. Hızlı statik yöntemiyle statik ölçüye göre daha kısa sürede ölçüler yapılarak daha hızlı ve ekonomik bir şekilde duyarlı ölçmeler gerçekleştirilir (Kalaycı, 2003). 20 km altındaki bazlarda, 4 uydu gözlenebildiği, iyi geometri ve normal atmosferik koşullardaki statik ölçümlerde L1 sinyal frekansındaki alıcılar için 20 dakika+2 dakika/km, L1 ve L2 sinyal frekansındaki alıcılar için ise 10 dakika+1 dakika/km oturum süresi gerekir. 4 uydu ile yapılan ölçümler 20 dakikadan fazla olacak şekilde, 5 uydu ile yapılan ölçümler 10-20 dakika arasında, 6 ve daha fazla uydu ile yapılan ölçümler ise 5-10 dakika olmalıdır. Yapılan ölçülerde $5\text{-}10\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ arasında doğruluk elde edilir (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hofmann vd., 2001).

Statik ölçü yönteminin çalışma prensibine dayanarak Kinematik ölçü yöntemi, Yarı Kinematik ölçü yöntemi, Dur-Git (Stop and Go) ölçü yöntemi ve RTK (Real Time Kinematic) ölçü yöntemleri türetilmiştir. Bu yöntemlerden RTKRTK (Real Time Kinematic) ölçü yöntemi ticari çalışmalarda, ekonomik ve hızlı olmasından dolayı genellikle tercih edilen bir yöntemdir (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hofmann vd., 2001; Rizos, 1999)

Pseudokinematik, pseudostatik gibi farklı isimleri olan Tekrarlı Ölçü yöntemi, kinematik ve statik arasında bir yöntemdir (Karadağ, 2019). Uzaydaki uyduların dağılımlarının sürekli olarak değişmesinden dolayı bir noktanın bir veya iki saat aralıkla birkaç dakika süre ile iki kez ölçülmesiyle tekrarlı ölçü yöntemi uygulanır. Böylece aynı noktadaki faz belirsizliği farklı zamanlarda farklı uydu dağılımlarına göre çözülmüş olur (Deveci, 2006).

Dur ve git ölçü yönteminde bir referans istasyonunda bir alıcı sabit olarak sürekli gözlem yapar. Bilinen bir noktadaki gezen alıcı bilinen bir bazdan başlamış olup bu noktadaki faz başlangıç belirsizliklerini çözmek için 10 saniye aralıklarla 2 dakika gözlem yapar. Daha sonra gezici alıcı diğer noktalar için en az 4 uydu görececek şekilde 10 saniye gözlem yapar. Bu yöntem yaklaşık $10\text{-}20\text{ mm}\pm 1\text{ppm}$ doğruluk sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Kinematik ölçü yönteminde koordinatları bilinen bir noktada alıcı sabit olarak sürekli gözlem yapar. Gezici alıcı tam sayı belirsizliğini çözebilmek için koordinatları bilinen bir noktada en az 5 dakikalık gözlem yapar (Eren ve Uzel, 1995). Daha sonra hareketli gezici alıcı koordinatı bilinmeyen noktaların konumunu belirlemek için sürekli açık olacak şekilde 5 saniye aralıklarla geçtiği noktaların konumunu belirler. Bu yöntem yaklaşık 10-2 mm+1ppm doğruluk sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

1980'li yıllarda geliştirilen DGPS yöntemiyle kod ölçüleri kullanılarak 1 metre hassasiyetinde konumsal doğruluk elde edilmektedir. 1990'lı yıllarda kod ölçüleri yerine taşıyıcı dalga faz gözlemleri ile DGPS hassasiyetinin 100 kat daha iyi olan Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK/RTK) yöntemi geliştirilmiştir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003). Bu ölçüm yöntemi için öncelikle sabit bir istasyonda hesaplanan düzeltmeleri yayınlayan bir radyo vericisi olan alıcı ve gezici birimde bu radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısı olan bir alıcıya ihtiyaç vardır. Ayrıca RTK ile yazılımların işletilip sistem ayarlarının yapılarak anlık konum bilgilerini ulaşan bir hata kontrol ünitesine ihtiyaç vardır. Hassasiyeti $10-20 \text{ mm}+2*10^{-6}*S$ (S referans ile gezici arasındaki km cinsinden mesafedir.) olan yöntem $S<50$ olduğunda doğru sonuçlar vermektedir (Gökalp ve Güngör, 1999). Günümüzde gerçek zamanlı nokta konum belirlemeleri Klasik RTK veya Ağ-RTK (CORS) ile yapılmaktadır (İnal ve ark., 2014). Ağ-RTK yöntemi tek frekans istasyonu yerine çok sayıda referans istasyonundan gelen düzeltme bilgileriyle belirli bölgenin atmosferik modellenmesinin yapılmasını sağlar (Kahveci, 2009). Konum doğruluğunu arttırmak ve mesafe sınırı olan sabit alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafe sınırını kaldırmak için GNSS referans istasyonları sürekli statik ve gerçek zamanlı ölçüler yaparak Ağ-RTK tasarımları ve veri işleme algoritmalarıyla GNSS kullanıcılarına sağladıkları hizmetle iyonosfer ve troposfer gibi GNSS ölçülerini etkileyen hata kaynaklarını en aza indirerek hız ve maliyet açısından katkı sunar (Gümüş, 2016; İnal ve ark., 2014).

2.9. GNSS İle Konum Belirlemede Hata Kaynakları

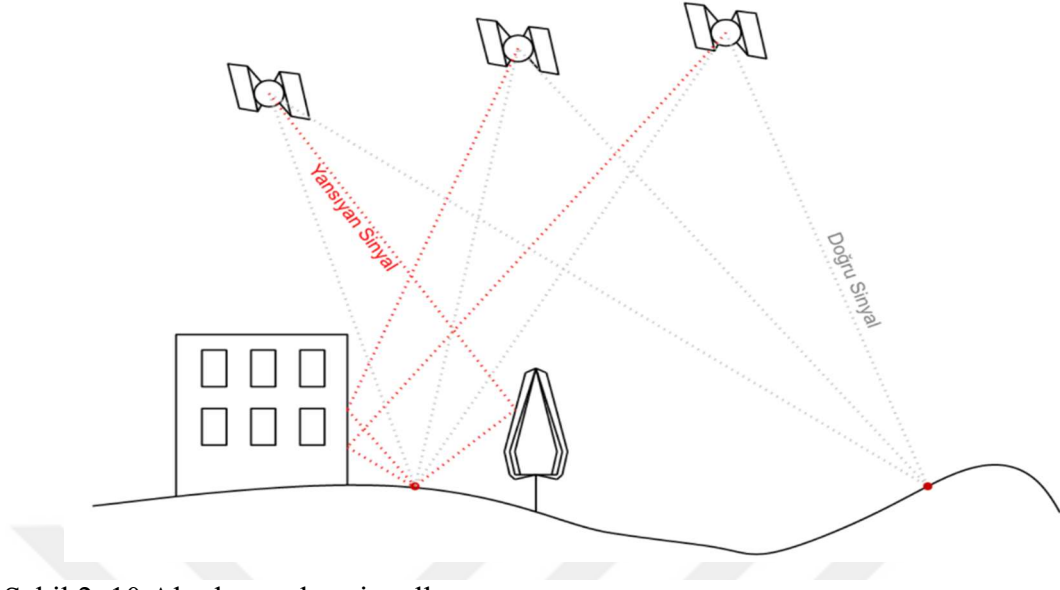
GNSS ölçüleri uydulardan yeryüzündeki alıcılara ve antenlere gelen sinyaller aracılığıyla yapılmaktadır. Uydulardan alıcılara gelen sinyaller geldiği süre boyunca belirli etkilere maruz kalarak gecikmeler yaşar. Gecikmelerle birlikte ölçü hataları meydana

gelmektedir. Atmosfer katmanlarının dışında bulunan uydulardan alıcılara gelen sinyaller ilk olarak iyonosfer tabakasında karşılaşırlar. (Tut, 2009; Mutlu 2019).

İyonosfer tabakası, güneş ışığına bağlı olarak hava moleküllerinin yoğunlaşıp iyonosfer atomlardan kopmuş elektronlar ile yüklenmesiyle yüksek elektrik iletkenliği kazandığı ve elektromanyetik dalgaların yayılmasını olumsuz etkileyen bir bölgedir (Karadağ, 2019; Mutlu, 2019). Elektromanyetik etki yaklaşık olarak gece 0,5 ppm, öğle vakti 2 ppm olduğu belirlenmiştir. İyonosferi etkileyen diğer faktörler mevsim, alıcının konumu ve alıcının bakış doğrultusudur. Bu etkiler çift frekanslı GNSS alıcıları kullanılarak giderilebilir (Yaprak, 2021).

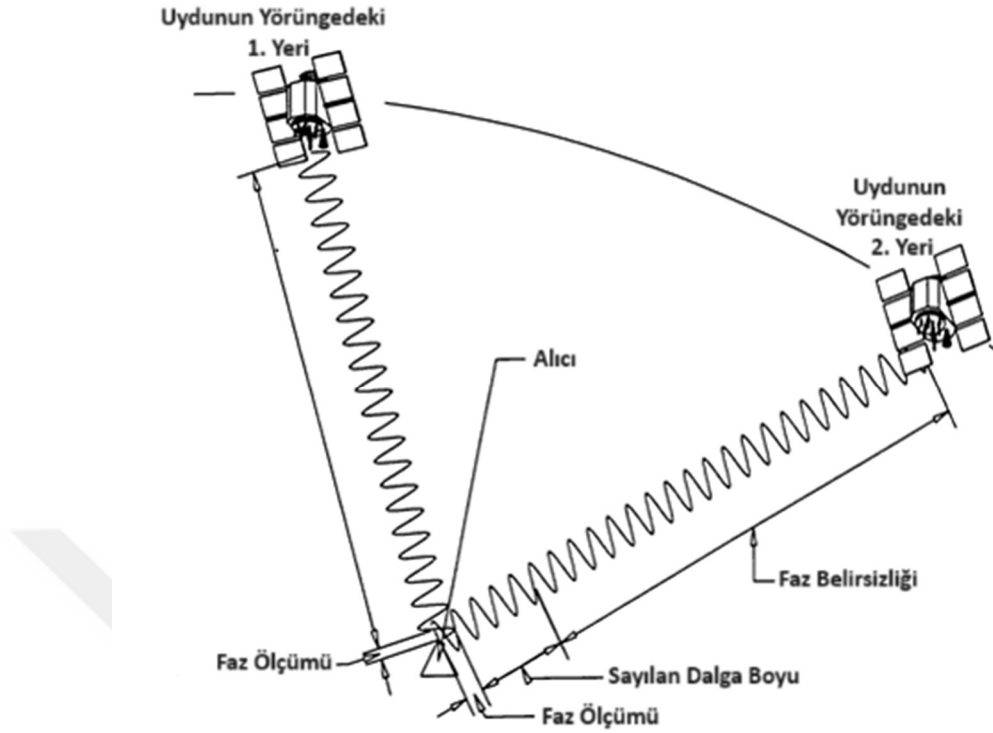
İyonosfer tabakasını geçen uydu sinyalleri sırasıyla mezosfer, stratosfer tabakalarından sonra yeryüzüne temas eden en alt tabaka olan troposferden geçerek alıcıya ulaşır (Karadağ, 2019). İyonosfer tabakasındaki gibi elektrik yükü bulunmayan troposfer tabakasının 3-4 km altında hava olayları yaşanmasından dolayı uydu sinyalleri olumsuz etkilenmektedir. Sinyallerin yayılma hızı frekansa bağlı olmadığından farklı frekanslı alıcılar kullanmak troposferik gecikme etkisini giderememektedir. Bu etki matematiksel modelleme ve hesaplamalar ile giderilebilir (Kahveci ve Kırtıl, 2022; Yaprak, 1998). Uydu sinyali yükseklik açısı, troposfer gecikmesindeki önemli parametrelerden biridir. Uydu sinyali yükseklik açısı zenitten, gözlemci ufku doğrultusunda azaldıkça sinyalin atmosferde kat ettiği yol artar. Bu durum troposferik gecikme etkisini artırarak ölçümü olumsuz yönde etkiler (Kahveci & Yıldız, 2018).

GNSS sinyallerinin alıcı anteninin çevresindeki su yüzeyleri, yapı ve ağaç gibi yüzeylerin neden olduğu yansımalar ve uyduların neden olduğu yansılardan dolayı alıcıya iki ya da daha fazla yol izleyip esas sinyalle birlikte eş zamanlı olarak gelmesine Sinyal yansıması (Multipath) etkisi denir. Sinyal yansıma etkisi, sinyal yükseklik açısına ve alıcı anteninin bulunduğu arazinin yapısına bağlı olarak değişmektedir (Tiryakioğlu ve ark., 2005; Karadağ, 2019). Ölçüm sırasında multipath etkisinin gidermek için multipath önleyici alıcılar seçilmeli ve yansıtıcı yüzeylerden uzak durulmalıdır. Alıcılara gelen, yansıyan sinyaller ve diğer sinyaller Şekil 2.10. üzerinde gösterilmiştir (Yaprak, 2021).



Şekil 2. 10 Alıcılara gelen sinyaller

Alıcılar ölçüme başladığında uydudan alıcıya gelerek kaydedilen ilk sinyalin (sıfır epoku) tam dalga boyu sayısı (N) bilinmemektedir (Yaprak, 1998). Bu durum Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıcı Belirsizliği (Initial Phase Ambiguity) olarak adlandırılır. Taşıyıcı dalga faz gözlemlerinde temel olarak kod ile faz gözlemleri aynıdır. Kod gözlemlerinde kodun 'chip' uzunluğu ölçülür. Faz gözlemlerinde ise taşıyıcı dalga faz boyları sayılır (Kahveci ve Yıldız, 2018). Taşıyıcı dalga faz belirsizliği Şekil 2.11.'de gösterilmiştir (URL 14, 2024).



Şekil 2. 11 Alıcılara gelen sinyaller
(URL 14, 2024)

Taşıyıcı faz gözlemleri, kod gözlemlerinden daha hassas olduğu için yüksek doğruluk gereken çalışmalarda kod gözlemleri yerine taşıyıcı faz gözlemleri kullanılması daha uygun olur. Fakat taşıyıcı faz gözlemlerinin bilinmeyen belirsizlikleri bulunur. Bu belirsizlikler çözülebildiğinde mm hassasiyetinde doğruluk elde edilir (URL 15, 2024).

GNSS GNSS gözlemleri sırasında uydu sinyalinin alınmasında meydana gelebilecek herhangi bir sinyal kesintisi, faz kayıklıkları veya faz kesiklikleri (Cycle slips) olarak tanımlanır. Bu tür bir durumda, faz kesikliği olduğu epok ve sonrasını etkiler. Sinyal kesikliğin meydana geldiği andan itibaren, sonraki gözlemlerde oluşan kayma miktarı kadar düzeltme getirilmelidir (Karadağ, 2019). Faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için klasik yöntem, P kod destekli yöntem, modern Quasi Ionosphere Free (QIF), On The Fly (OTF) gibi yöntemler geliştirilmiştir (Öcalan, 2020).

GNSS Navigasyon mesajları içerisinde Uydu Yörünge Bilgileri (Kepler yörünge parametreleri) bulunur. Bu bilgilerin doğruluğu az veya hatalı yayımlanması gibi durumlarda oluşan hataya Efemeris hatası denir. Uydu yörünge bilgilerinin modellenmesiyle giderilebilen bu hata kullanıcılara ilave bir yük olmakla birlikte uzmanlık gerektiren bir işlemdir. Yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda GNSS servisi

IGS (International GNSS Service) tarafından internet üzerinden yayınlanan hassas efemeris bilgileri kullanılarak cm hassasiyetinde doğruluk elde edilmektedir (IGS, 2021). Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS), 300'den fazla GNSS istasyonundan oluşan IGS küresel izleme ağı, hassas yörünge ve saat çözümleri gibi ürünlerini IGS veri merkezlerinde toplamaktadır. IGS veri doğrulukları ve elde etme süre bilgileri Tablo 2.3.'de gösterilmiştir (IGS, 2024).

Tablo 2. 3 IGS yörünge doğrulukları ve elde etme süreleri

Yörünge	Doğruluk	Elde Etme Süresi
Yayın Efemerisi (Broadcast)	~100 cm	Gerçek zamanlı (günlük)
IGS Ultra Hızlı (Hesaplanmış)	~5 cm	Gerçek zamanlı (15 dk aralıklı)
IGS Ultra Hızlı (Gözlenmiş)	~3 cm	3-9 saat sonra (15 dk aralıklı)
IGS Hızlı	~2,5 cm	17-41 saat sonra (15 dk aralıklı)
IGS Sonuç	~2,5 cm	12-19 gün sonra (15 dk aralıklı)

(IGS, 2024)

GNSS uydularında atomik saatler bulunur. Bu saatler GNSS zamanına göre 30 yaklaşık nanosaniyelik senkronizasyon sağlanamadığında uydu saati hatası meydana gelir. Bu hata uyduların kontrol bölümü tarafından sürekli olarak izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmeleri de navigasyon mesajıyla her gün kaydedilmektedir. Düzeltmelerin kullanılmasıyla uydu ile alıcı arasındaki mesafedeki hata en aza indirilir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Alıcı antenin faz merkezi GNSS sinyallerinin antene ulaştığı noktadır. Bu nokta anten türüne göre değişecek şekilde genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır (Kahveci & Yıldız, 2018). Birkaç mm ile 1-2 cm arasında değişen bu farka alıcı anteni faz merkezi hatası denir. Hassas ölçüm yapılan çalışmalarda bu hataya dikkat edilmelidir (Mutlu, 2019).

GPS'in yetkisi olmayan kullanıcılarına sağlamış olduğu doğruluklara erişimini engellemek amacıyla bu doğrulukları ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesine Seçimli Doğruluk Erişimi (SA/Selective Availability) denir. SA, 2000 yılından sonra uygulamadan kalkmış olup artık günümüzde uygulanmamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

Gelişmekte olan Dünya üzerinde sürekli olarak yeni yapılar, detaylar ve yeni yerleşimler oluşmaktadır. Bu yüzden karmaşık Dünya üzerinde yaşamı kolaylaştırmak için teknoloji de sürekli bir gelişim gereksinimini doğuruyor. İnsanlar, günlük yaşamlarında karşılaştıkları karmaşık navigasyon zorluklarıyla başa çıkabilmek ve yeni yerlerde kendilerini daha rahat hissedebilmek için güvenilir konum belirleme sistemlerine ihtiyaç duyuyorlar. Bu ihtiyaçları karşılamak için GNSS teknolojisi, sürekli olarak iyileştirilip güncellenerek kullanımı kolay bir hale geliyor. Günümüzde GNSS aktif olarak askeri ve sivil birçok alanda kullanılmaktadır. Taşıtlarda, cep telefonlarında, akıllı saatlerde, uçak ve gemiler gibi birçok yerde GNSS cihazları bulunmaktadır. Uydu sinyallerini alıcılara ileten antenler GNSS alıcılarının vazgeçilmez bir parçasıdır.

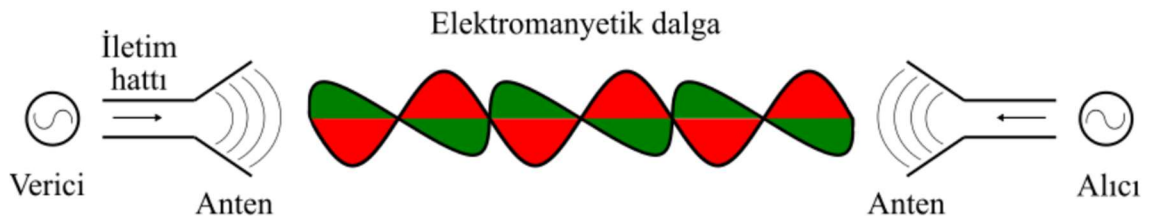
Kablosuz iletişim alanındaki ilk adımları, İskoç teorik fizikçi ve matematikçi James Clerk Maxwell, elektrik ve manyetizmayı birleştirerek formüle etmiştir. Oluşturduğu denklem olan Maxwell denklemleriyle elektromanyetizmanın temel yasalarını tanımlayan ve radyo dalgalarının varlığını öngören önemli bir adım atılmıştır. Bu çalışmaların üstüne 1888 yılında Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz, radyo dalgalarını deneysel olarak keşfetmiştir. Hertz, ilk antenleri üreten kişi olarak da bilinir. Hertz'in adı, Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kapsamında frekans birimine verilen isimdir. 1985 yılında İtalyan mucit Guglielmo Marconi radyo dalgalarını uzak mesafelere taşıma amacıyla yapmış olduğu deneysel çalışmalarla önce 4-6 km'ye en son 122 km uzağa ulaştırmayı başarmıştır. Çalışmalarına devam eden Marconi 150 m bir alıcı anten ile yaklaşık 3500 km uzaklığına Mors alfabesindeki S harfini göndermiştir. Bu çalışma sonrasında antenler ile ilgili araştırmalara başlanmıştır. Antenler, elektriksel sinyallerini iletim hatlarında taşıyarak bu sinyalleri elektromanyetik dalgalar haline dönüştüren ve bu dalgaları boşluğa yayan bir cihazlardır. Antenler, elektrik dalgalarını elektriksel sinyallerine dönüştürme yeteneğine de sahiptirler (Çayan, 2022).

ABD ve Rusya başta olmak üzere GNSS teknolojisine sahip ülkeler diğer ülkelere karşı askeri, ekonomik ve politik bir avantaj kazanmışlardır. Böyle bir avantajı ele geçirmek isteyen ülkeler kendi uydu sistemlerini geliştirmek istemişler ve bu gelişim uydu alıcı ve anten sistemlerindeki gelişimi büyük ölçüde etkilemiştir (Erdemir, 2013).

GNSS alıcı antenleri, tek bir uydu sisteminden veya çoklu GNSS uydularından gönderilen sinyalleri toplayarak alıcılara ileten elemandır. Konumlandırma sistemlerinde sivil uygulamalarda genel olarak GPS L1 frekansında çalışan antenler kullanılmaktadır. Sadece GPS uydularında meydana gelebilecek bir hatanın veya sistemin kullanımında yaşanabilecek bir kısıtlama, yalnızca bu uydu sistemi için tasarlanmış antenlere sahip sistemlerin işlevsiz hale gelmesini sağlar. GNSS alıcı antenleri geniş bant frekans aralığında tasarlandıklarında GNSS uydularına ait uyduların sinyallerini toplayabileceklerdir (James ve Hall, 1989; Fang, 2010). Antenlerin tasarım aşamasında frekans aralığı kadar kazanç, yönelim, polarizasyon gibi diğer kriterler de önemlidir. GNSS uydu sinyalleri dairesel polarizasyona (DP) sahiptir. Tasarlanacak GNSS antenlerinde bu durum düşünülerek hareket edilmelidir (Gao ve ark., 2014). Geniş bantlı antenler kullanılmak istendiğinde yapılan tasarımların istenen bant genişliğine uygun olması gerekir. Antenin altındaki alttaşın kalınlığı, yama tasarımının şekli, besleme tekniği yöntemi ve bazı çoklu yöntemler bant genişliğini arttırabilir (Garg ve ark., 2001). Antenlerin elektriksel performansını koruma amacıyla kaplanan ve dış etkilere karşı koruyan malzemelere radom denir. Radomların antenleri koruma amaçları farklılık gösterebilmektedir. (Geterud, 2012).

3.2. Anten ve Özellikleri

Antenler bir dizi iletken metal yardımıyla elektromanyetik dalgaların iletim hattı içerisinde yayılmasını sağlayan veya iletim hattından gelen sinyalleri elektromanyetik dalgalar halinde boşluğa yayan cihazlardır (Yi ve Boyle, 2008). Antenler, alıcı (receiver), verici (transmitter) ve verici-alıcı antenler olarak kullanılabilir. Yapı bakımından birbirine benzeyen alıcı ve verici anten sistemi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir (Çayan, 2022).



Şekil 3. 1 Alıcı ve verici anten sistemi
(Çayan, 2022)

Veri kaynağından gelen bilgiler, önce modülasyon işlemine tabi tutularak yükseltilir ve ardından iletim hattı vasıtasıyla verici antene aktarılır. Verici anten, bilgi taşıyan bu elektriksel sinyalleri elektromanyetik dalgalar haline dönüştürerek boşluğa gönderimini sağlar. Daha sonra, alıcı anten tarafından toplanan bu dalgalar, bir başka iletim hattı aracılığıyla alıcıya iletilir. Son adımda, alınan sinyaller demodülasyon işlemine tabi tutularak asıl mesaj elde edilir. Tüm bu süreçlerde, iletim hatlarının karakteristik empedanslarına uyum sağlanarak iletim verimliliği maksimum düzeye çıkarılır (Yi ve Boyle, 2008).

3.3. Devre Elemanı Olarak Antenler ve Empedans Uyumu

Her anten bağlı olduğu devrenin ucunda iki kapılı bir devre elemanı olarak görev yapar. Bu durumda anten bağlanacağı noktada bir empedans değeri gösterir. Bu empedans değerine Anten Empedansı denir. Anten empedansı, antenin türü, boyutu ve yerleştirilme şekline bağlı olarak değişebilir. Genel bir anten devresinin matematiksel formülleri aşağıda gösterilmektedir (Erdemir, 2013).

$Z_A = R_A + jX_A$: Anten empedansı (Ω)

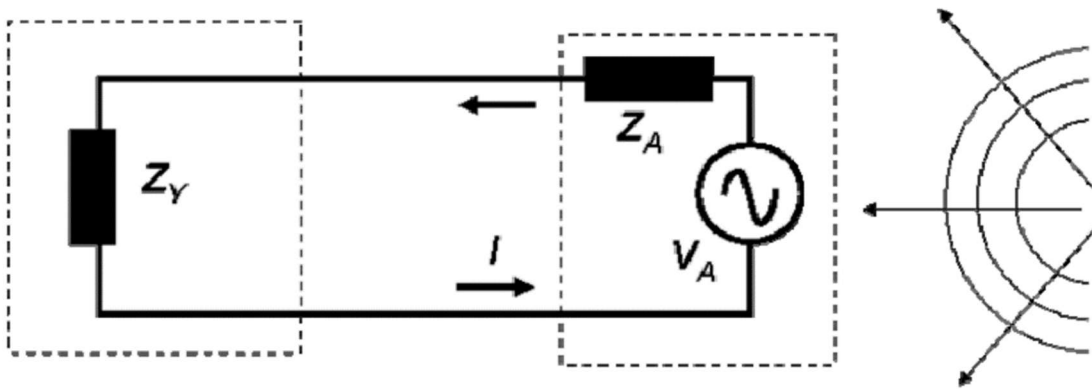
$R_A = R_L + R_r$: Anten direnci (Ω)

R_r : Işıma rezistansı, Radyasyon direnci (Ω)

R_L : Ohmic kayıplar, Kayıp direnci (Ω)

X_A : Anten reaktansı (Sanal) (Ω)

Şekil 3.2’de alıcı antenin eşdeğer devresi gösterilmiştir (Sevgi, 2005).

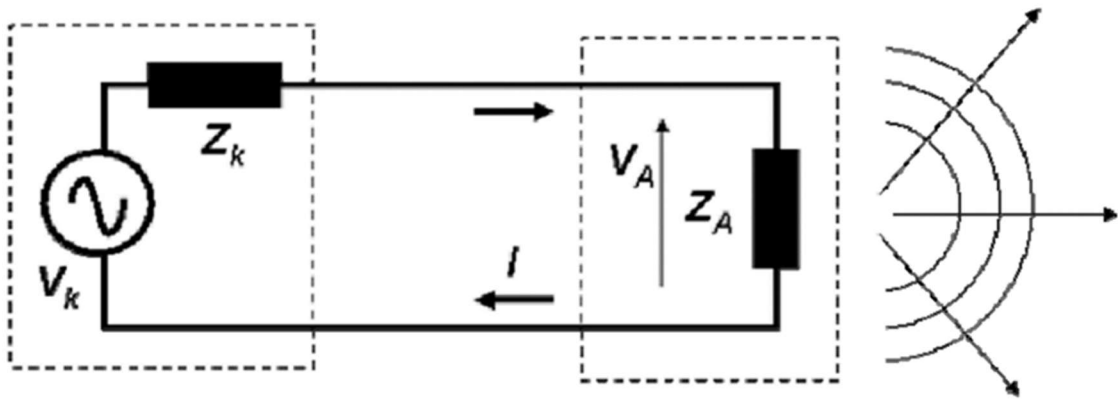


Şekil 3. 2 Alıcı antenin eşdeğer devresi
(Sevgi, 2005)

Aldığı elektromanyetik dalgayı bağlandığı devreye V_A geriliminde aktaran alıcı anten, karakteristik empedansı Z_0 olan bir hat üzerinden bağlandığı devreyi temsil eden Z_Y yük empedansı üzerinde enerji harcamaktadır.

$$Z_Y = R_Y + jX_Y$$

Yükün gördüğü anten empedansı Z_A 'dır. Yük empedansı, iletim hattının karakteristik empedansı ve anten empedansı arasında uyum olması durumunda anten, ortamdan aldığı elektromanyetik gücü alıcı devreye kayıpsız bir şekilde aktarabilir. Empedans uyumu, yük ve hat empedansı ile anten empedansının sanal kısımlarının birbirlerini sıfırlayacak şekilde seçilmesiyle mümkün olur (Erdemir, 2013). Şekil 3.3'de verici antenin eşdeğer devresi gösterilmiştir (Sevgi, 2005).



Şekil 3. 3 Verici antenin eşdeğer devresi

(Sevgi, 2005)

Işıma yaparken anten uçlarında oluşan gerilimin, anten üzerinden geçen akıma oranı anten empedansını Z_A 'yı verir. Empedansı Z_K olan kaynak, karakteristik empedansı Z_0 olan bir hat üzerinden anteni beslemektedir. Yük empedansı, iletim hattının karakteristik empedansı ve anten empedansı arasında uyum olması durumunda antene, maksimum çıkış gücü aktarılabilir. Aksi takdirde gönderilen sinyalin bir kısmı antenden yayılmadan geri döner ve kayıplar oluşur. Gücün bir kısmı yayılım yapıp bir kısmı geri yansıdığı için haberleşme mesafesi büyük ölçüde düşer. Empedans uyumu yük ve hat empedansı ile anten empedansının sanal kısımlarının birbirlerini sıfırlayacak şekilde seçilmesiyle mümkün olur (Erdemir, 2013).

3.4. Temel Anten Parametreleri

Antenlerin doğru tasarlanması ve etkili performans sağlaması için belirli parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu parametreler, antenlerin doğru çalışmasını sağlar ve istenen sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, antenler tasarlanırken anten parametrelerinin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir (Çayan, 2022).

3.4.1. Işıma diyagramı

Antenlerin ışıma diyagramı, antenin hangi yöne ne kadar ışıma aldığını veya yaydığını gösteren kutupsal koordinatlara göre belirlenen eğri ve yüzeylerdir. Işıma diyagramı genel olarak üç boyutlu veya polar koordinatlarda gösterilebilmektedir. Işıma diyagramı, anten yönlendiriciliğine bağlı olarak ana kulak, arka kulak ve yan kulaklardan oluşmaktadır. Ana kulak antenin en güçlü ışıma yaptığı ve topladığı bölgedir. Arka kulak, ana kulağın 180° zıt yönünde bulunur. Yan kulaklar, antenin ışıma yaptığı yönün dışında yayılan elektromanyetik dalgaları oluşturan kulaktır (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

Bir antenin kalitesini belirleyen hüzmeye (demet) genişliği, ışıma diyagramı ile ilişkilidir. Hüzmeye genişliği, dağılan veya toplanan ışıma şiddetinin maksimuma ulaştığı durumdaki noktalar arası uzaklıktır (Balanis, 2013). Hüzmeye genişliği daraldıkça yan kulak seviyeleri artar (Yi ve Boyle, 2008). Hüzmeye genişliği, ışıma şiddetinin yarıya düştüğü durumda Yarı Güç Hüzmeye Genişliği (HPBW), Işımanın ilk anında İlk Sıfır Hüzmeye Genişliği (FNBW) olarak adlandırılmaktadır (Çayan, 2022).

3.4.2. Voltaj duran dalga oranı (VSWR)

Antene verilen gücün yüke aktarılırken empedans uyumsuzluğundan dolayı yansyarak yitirildiği miktara Voltaj Duran Dalga Oranı (VSWR) denir. Empedansı uyumsuz olan antenlerde empedans uyumlandırılması yapılması gerekir. Aksi takdirde antene gelen ve yansyan dalgalar üst üste binerek duran dalgalar oluşur. Voltaj Duran Dalga Oranı (VSWR), duran dalga geriliminin maksimum değerinin minimum değerine bölünmesi ile elde edilir. Bu oran sonucunda 1 ile ∞ arasında bir değer ortaya çıkar. Empedans uyumu tam olan bir antenin Voltaj Duran Dalga Oranı 1'e eşit olur. Olmadığı takdirde sonuç sonsuza kadar gider (Çalışkan, 2014; Erdemir, 2013).

3.4.3. Geri dönüş kaybı (RL)

Bir anten sinyali iletim hattı üzerinden iletilirken antendeki uyumsuzluklardan dolayı sinyal gücünün bir kısmı yansıtılarak kayıp oluşturur. Voltaj duran dalga oranıyla da ilişkili olarak yansıyan bu güce geri dönüş kaybı (RL) denir. Uydulardan alınan GNSS sinyallerinin genellikle zayıf olmasından dolayı, geri dönüş kaybı anten tasarımında oldukça önemlidir. Geri dönüş kaybı, yansıyan sinyal gücünün gelen güce oranı ile desibel (dB) cinsinden hesaplanır (Çayan, 2022; Pozar, 2005).

3.4.4. Bant genişliği

Bir antenin doğru verimli çalıştığı aralığa bant genişliği denir. Bu aralık anteni kullanacak kişiye ve alana göre belirlenir. Antenin sağlıklı çalışabilmesi için duran dalga oranının - 10 dB'den düşük olduğu frekans aralığında olması gerekir. Ticari anten tasarımlarında bant genişliği, duran dalga oranının 1.5:1 sınırını aşmadığı aralık olarak alınır. Bant genişliği, etkili çalışılan frekans aralığının merkez frekansa oranının yüzdesel olarak değerinin bulunması ile hesaplanmaktadır. Bant genişliği, diyagram bant genişliği ve empedans bant genişliği olmak üzere ikiye ayrılabilir. Diyagram bant genişliği kazanç, yan kulak seviyesi, kutuplanma ve hüzme yönü ile ilişkili olup empedans bant genişliği giriş empedansı ve ışıma verimi ile ilişkilidir (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

3.4.5. Yönlendiricilik

Yönlendiricilik (directivity), bir antenin bir yöndeki ışıma yoğunluğunun, diğer bütün yönlerdeki ışıma yoğunluklarının ortalamasına oranıdır. Yönlendiricilik, antendeki enerjinin belirli bir yönde ne derece iyi yönlendirildiğini gösterir. Yönlendiricilik, ışıma şiddetinin 4π ile çarpılmasıyla elde edilen sonucun toplam güce bölünmesiyle hesaplanır. Hesaplamalarda yön belli olmadığı durumda ana ışıma lobu kullanılır (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

3.4.6. Güç kazancı

Güç kazancı (Gain), bir antenin ne kadar başarılı çalıştığını gösterir. Anten kazancı, antenin belirli bir yöndeki ışıma yoğunluğunun, diğer bütün yönlerdeki ışıma

yoğunluğunun ortalamasına oranı olarak ifade edilir. Kazanç ile yönlendiricilik birbiri ile bağıntılıdır. Fakat anten kazancı, uzaydaki elektrik alanlardan anten uçlarına ne kadar güç aktarıldığı bilgisini kullanarak hesaplanır (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

3.4.7.Anten verimi

Antenin yapısından kaynaklı olarak kaynaktan aldığı gücün bir bölümünü kaybeder. Bu kayıplar anten verimi olarak ifade edilir. Işıma gücü ile ısı kayıpların toplamı kaynaktan alınan güce eşittir. Isıl kayıplar; Ohmic kayıplar, yansıma kayıpları ve anten yapısından kaynaklı kayıplardan oluşmaktadır. Anten verimi ışıma gücünün kaynaktan çekilen güce oranı olarak da ifade edilir. Bu oran sonucunda 0 ile 1 arasında bir değer ortaya çıkar ve değer 1'e yakın olması istenir. Isıl kayıpların fazla olması anten verimini düşürür (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

3.4.8.Polarizasyon

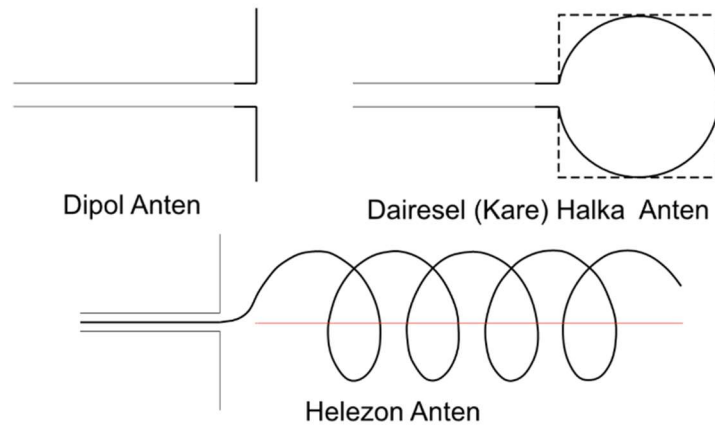
Bir antenden yayılan elektromanyetik dalganın elektrik alanının vektör cinsinden yönüne polarizasyon denir. Elektromanyetik dalgalar Doğrusal, dairesel ve ekliptik polarizasyonlu olabilir. Alıcı anten ile verici antenin kutuplanmalarının aynı olması enerji kaybını düşürerek başarılı bir veri iletimi sağlar (Çayan, 2022; Erdemir, 2013).

3.5.Anten Tipleri

Kablosuz iletişimi sağlayan antenler elektronik cihazların veri alıp verme işlemleri için çeşitli türlerde tasarlanmaktadır. İşlevlerine ve kullanım amaçlarına göre farklı anten çeşitleri bulunmaktadır. Antenler basit olarak bant genişliği açısından, polarizasyon açısından, eleman sayısı bakımından ve rezonans bakımından sınıflandırılır. Bant genişliği bakımından antenler geniş bantlı ve dar bantlı antenler olmak üzere ikiye ayrılır. Polarizasyon bakımından doğrusal, dairesel, ekliptik polarize antenler bulunur. Eleman sayısı bakımından tek ve dizi antenler, rezonans bakımından yürüyen dalga antenleri ve rezonans antenleri bulunur (Çayan, 2022).

3.5.1.Tel antenler

Tel antenler, antenler içerisinde en çok kullanılan bir anten çeşididir. Tel antenlerin dipol, halka veya helezon şekilleri gibi farklı tasarımları bulunur. Bunlar arasında basit bir yapısı olmasından dolayı en çok kullanılan dipol antenlerdir. Aynı doğrultuda duran iki iletken metalin iletken olmayan bir yapı desteğiyle tutturulması ile dipol anten yapısı oluşur. Dipol antenlerde en çok yarım dipol antenler kullanılmaktadır. Anten uzunluğu, istenen frekansa göre değişiklik gösterir. Halka tel antenler, çok yönlü olarak kullanılan basit tasarımlı antenlerdir. Açık uçlu iletim hattından geliştirilmiş bir yapılandırma olan dipol antenlerden farklı olarak halka tel antenler, kısa uçlu iletim hattından geliştirilmiş bir anten yapılandırmasıdır. Büyük ve küçük halka antenler olmak üzere iki şekilde tasarlanmaktadır. Yüksek radyasyon verimliliğine sahip olan büyük halka (rezonans) antenleri amaçlanan dalga boyuna eşit denilecek kadar yakın bir uzunluğa sahiptir. Bu antenin ana parametresi, yaklaşık bir dalga boyu olan ve kapalı bir halka olması gereken çevre uzunluğudur. Halka boyunu küçültmek ve halkayı kıvrımlı hale getirmek anten verimini düşüreceğinden tercih edilmez. Genellikle alıcı anteni olarak kullanılan küçük (manyetik) halka antenleri büyük halka antenlerine göre daha az rezonans gösterir. Küçük halka antenleri dalga boyunun onda biri büyüklüğünde tasarlanır. Helezon antenler sarmal bir şekilde tasarlanan dairesel/ekliptik polarize antenlerdir (Soylu 2023; Yi ve Boyle, 2008). Tel anten çeşitlerine örnekler Şekil 3.4’de verilmiştir (Balanis, 2016).



Şekil 3. 4 Örnek tel anten çeşitleri
(Balanis, 2016)

3.5.2.Açıklık antenleri

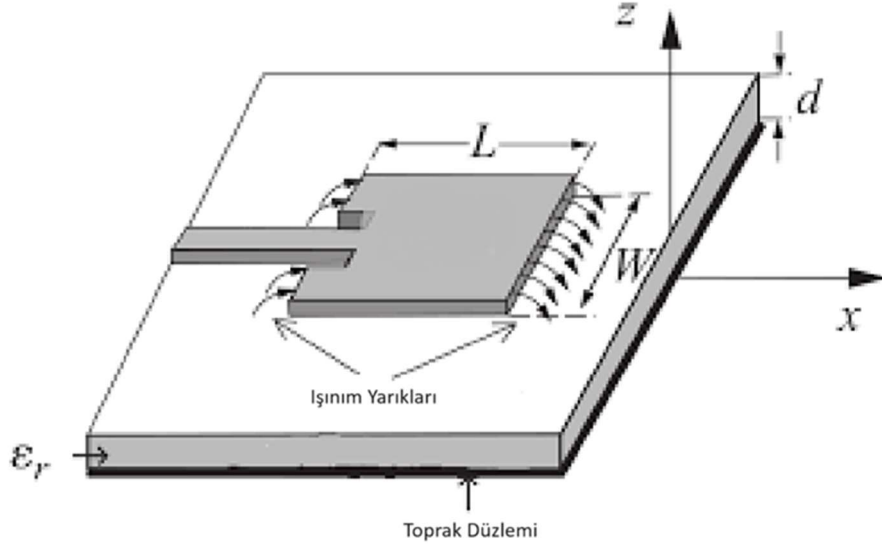
Karmaşık yapılı ve yüksek frekansta çalışabilen açıklık antenleri günümüzde yüksek frekanslarda çalışabilen antenlere olan ihtiyacın artmasıyla daha fazla kullanılmaktadır. Açıklık antenleri, uzay ve hava araçlarında sıkça kullanılmaktadır. Genel olarak bütün bir iletken den oluşan ve radomsuz tiplerinde dış etkilerden koruma amacıyla yalıtkan malzeme ile kaplanabilir (Soylu, 2023). Dörtgen dalga kılavuzu, konik huni, piramit huni şekillerinde açıklık anteni tasarımları Şekil 3.5'te bulunmaktadır (Balanis, 2016).



Şekil 3. 5 Sırasıyla piramit huni, konik huni ve dikdörtgen dalga kılavuzu açıklık anten yapıları (Balanis, 2016)

3.5.3.Mikroşerit antenler

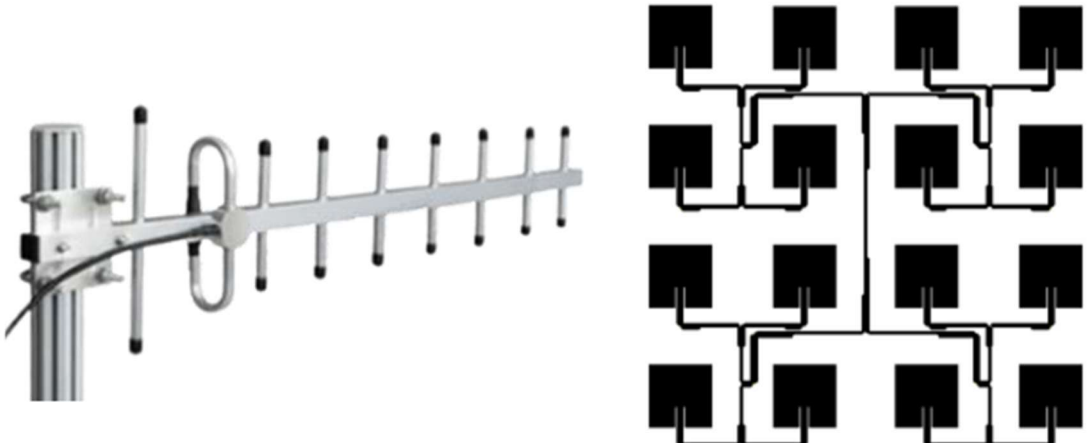
Mikroşerit antenler, toprak düzlemi ile iletken bir yama ile oluşan anten türüdür. 1970 yılında uzay ve havacılık uygulamaları için sıkça kullanılmaya başlanan bu antenler günümüzde de sıkça kullanılmaya devam edilmektedir (Balanis, 2016). Mikroşerit antenlerde daire ve dikdörtgen şeklinde mikroşerit yama antenler sıkça kullanılmaktadır. Yüksek performans, düşük maliyet, düzlemsel olan ve olmayan yüzeylere sağladığı uyum ve rezonans farkı gibi birçok özelliği ile çok yönlü antenlerdir. Cep telefonlarında mikroşerit antenler kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da mikroşerit antenin temel birim yapısı gösterilmiştir (Soylu, 2023).



Şekil 3. 6 Mikroşerit anten temel birim yapısı (Soylu, 2023).

3.5.4.Dizi antenler

Birçok uygulama için tek bir eleman ile ışıma özelliklerinin karşılanamaması durumunda elektriksel ve geometrik düzende ışıma elemanları (dizi) bir araya getirilerek istenen ışıma özellikleri sağlanabilir. Dizi elemanlarının düzenlenmesine göre ışıma belli bir yönde veya yönlerde maksimum, diğer yönlerde minimum ya da istenilen şekillerde oluşturulabilmektedir (Balanis, 2016). Bu türlere örnek olarak bir dizi eleman ile tasarlanan Yagi-Uda anteni, birkaç yamanın bir araya gelmesiyle oluşan mikroşerit yama anten dizisi, açıklık dizileri ve yarıklı dalga kılavuzu dizileri verilebilir (Çayan, 2022). Şekil 3.7’de dizi anten örnekleri gösterilmiştir (Soylu, 2023).



Şekil 3. 7 Sırasıyla Yagi-Uda dizi ve mikroşerit yama dizi anten örnekleri

3.5.5.Yansıtıcı antenler

Uzayın keşfedilmesi ve uydu teknoloji çalışmalarıyla çok uzak mesafelerden veri iletişimi sağlamak için yeni anten tasarımı çalışmaları yapılmıştır. Böylece diğer antenlere göre çok daha uzak mesafelerden (milyon kilometre) yapılacak olan iletişimin sağlanması amacıyla Yansıtıcı Antenler geliştirilmiştir. Bu tarz uygulamalar için en fazla parabolik yansıtıcı antenler kullanılmaktadır. Uzak mesafeler ile veri iletişiminin sağlamak amacıyla yüksek anten kazancı sağlamak için antenlerin çaplarının büyük olması gerekir. Çanak çapı 500 metre olan anten örnekler bulunmaktadır (Brinks, 2016). FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope), yeryüzünde inşa edilmiş en büyük teleskop antenlerinden biridir ve evrenin gizemlerini çözmek için heyecan verici bir araçtır. 500 metre çapında devasa bir çanağa sahip olan FAST, dünyanın dört bir yanından radyo sinyallerini toplayarak evrenin derinliklerine bakma imkânı sunar. FAST, gökyüzündeki milyarlarca yıldızın arasındaki uzak ilişkileri ve çeşitli gök cisimlerinin dinamiklerini de inceleyerek, evrenin büyük ölçekli yapısının keşfedilmesine yardımcı olur. Ayrıca, gezegen dışı yaşam arayışlarında da önemli bir rol oynar, uzaydan gelen potansiyel sinyalleri alarak uzaydaki yaşam olasılıklarının araştırılmasına imkân sağlar. Şekil 3.8’de FAST teleskopik anteninin görüntüsü verilmiştir (Soylu, 2023).



Şekil 3. 8 FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope)

3.5.6.Lens antenler

Lens antenler sinyallerin istenmeyen yönler yayılmamasını istenen yönler yayınlanmasını sağlamak amacıyla kullanılan antenlerdir. Farklı geometrik biçimlendirme teknikleri ile uygun materyaller kullanılarak, ıraksak enerjinin düzlem dalgalar haline getirilmesi mümkün olmaktadır. Özellikle yüksek frekanslarda, parabolik yansıtıcıların kullanıldığı uygulamalarda kullanılabilir. Düşük frekanslarda tasarlanan lens antenlerinin boyutları ve ağırlıkları çok büyüktür. Kullanılan materyal ve geometrik şekillerine göre ince lens anten ve kalın lens anten olarak adlandırılırlar (Balanis, 2016).

3.6.GPS Antenlerinin Genel Özellikleri

GPS ölçümleri ile elektromanyetik dalgalar kullanılarak yeryüzüne yaklaşık 20.000 km uzaklıktaki uydulardan kullanıcılara veri iletimini sağlanır. GNSS sinyalleri bulut, cam, plastik gibi maddelerden geçebilirken duvar, dağ gibi katı cisimlerden geçemezler. Binalardan yansıyan sinyalleri konum hassasiyetini önemli ölçüde düşürebilir ve tünel gibi kapalı alanlarda sinyal elde edilemez. Hatalı sinyallerin elde edilebileceği ya da sinyal elde edilemeyen yerlerde kullanılması için geliştirilen Diferansiyel GPS'ler hatayı en aza indirerek hassas ölçümler yapabilir. Normal radyo istasyonları ile L1 frekansı kıyaslandığında FM radyo istasyonları 88-108 Mhz yayın yaparken L1 ise 1575.42 Mhz kullanır. FM radyo sinyalleri 100 kW gücünde iken L1 sinyali 20-50 W gibi düşük bir güce sahiptir. Bu yüzden GPS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir. GNSS uyduları tarafından gönderilen elektromanyetik dalgaların iyonosferik ve troposferik etkilerden dolayı oluşan bükülmelerin hesaplanabilmesi için birden fazla bant kullanılmaktadır. GPS alıcı antenlerin asıl amacı uydulardan yayılan sinyalleri, çevresindeki objelerden yansıyan sinyalleri (multipath) ayıklayarak almaktır. Bazı özel antenler diğer kaynaklardan karışan sinyallerin (interface signals) ayıklanmasını yapabilmektedir. GPS alıcı anteni, uzaydan yayılan elektromanyetik dalgaları alır ve bu dalgalardaki enerjiyi toplar. Daha sonra, bu enerjiyi elektrik akımına dönüştürür ve güçlendirir (amplify). Güçlendirilmiş sinyal, alıcı elektrik devrelerine iletilir ve işlenerek konum belirleme işlemi gerçekleştirilir (Erdemir, 2013).

GNSS uydu sinyallerinin kullanıcıya ulaşması belirli bir sırayla gerçekleşir. İlk olarak yörünge ve zamanlarını yüksek hassasiyet ile bilen uydular dünya yörüngesinde belirli

bir şekilde hareket etmektedir. Uydulardan yayılan sinyallerde yörünge, zaman ve durum bilgileri bulunur. Alıcılara ulaşana kadar atmosferden geçen zayıf güçteki sinyaller alıcılar tarafından toplanır. Burada her uydudan gelen farklı sinyallerdeki bilgiler ile alıcıya ulaşan zaman ve süre bilgisi işlenir. Bu bilgilere göre alıcı tarafından zaman ve konum bilgileri oluşturulur (Aktaş, 2019). Başlıca kullanılan GNSS uydu sinyallerinin özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir (Erdemir, 2013; Aktaş, 2019).

Tablo 3. 1 GNSS uydu sinyalleri bilgileri

Sistem	Taşıyıcı Frekans		Bant Genişliği F _{min} -F _{max}	Dalga Boyu (cm)	Bant Genişliği (MHz) k=0.24 (MHz)	
GPS	L1	1575.42	1563-1587	19	24	
	L2	1227.6	1215-1237	24.4	24	
	L5	1176.45	1164-1191	25.5	24	
GLONASS	G1	1602	1593-1612	18.7	1602+k*0.5625	
	G2	1246	1238-1255	24.1	1246+k*0.4375	
	G3	1204.704	1198-1213	25.9	-	
GALİLEO	E1	1575.42	1559-1591	19	32	
	E6	1278.75	1260-1300	23.4	40.9	
	E5	E5a	1176.45	1164-1191	25.5	24
		E5b	1207.14	1195-1219	24.8	24

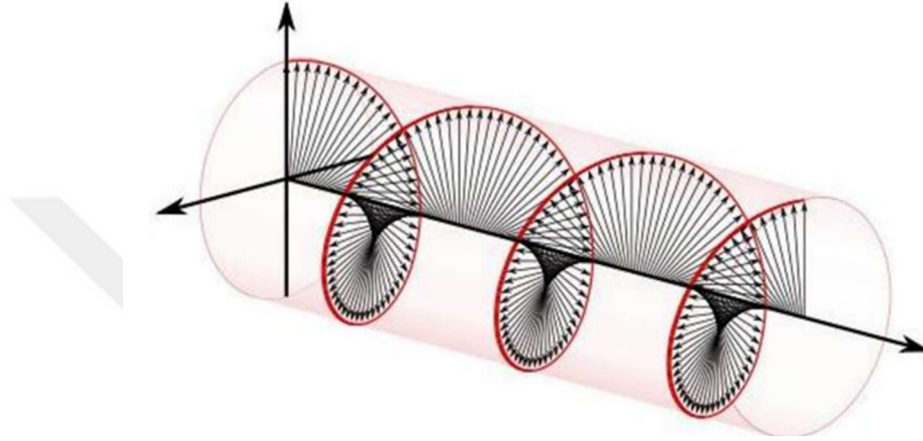
(Erdemir, 2013; Aktaş, 2019)

Bunların yanında Çin’e ait olan BeiDou bölgesel uydu sisteminde B1 bandı 1561.098 MHz merkez frekansında sivil uygulamalar için kullanılır. B2 bandı 1207.14 MHz merkez frekansında yetkili kullanıcılar tarafından kullanılabilir. B3 bandı 1268.52 MHz merkez frekansında askeri alanlarda kullanılmaktadır (NovAtel, 2015).

3.6.1.Polarizasyon

GNSS uydularından yayılan sinyaller, RHCP (Right-Hand Circular Polarized; Sağ-El Dairesel Polarizasyonlu) dalgalarıdır. İyonosferden geçen elektromanyetik dalgalar, ışık gibi davranan ve manyetik alanlardan etkilenen bir olgu olan Faraday etkisine maruz kalır. Faraday etkisi, dairesel çift kırınım olarak isimlendirilen, sol el ve sağ el polarize olmuş dalgaların çok az bir hız farkıyla yayılım yapar. Lineer polarize olmuş bir dalga, dairesel polarize iki dalgaya ayrışabilir ve aralarında Faraday etkisiyle meydana gelen faz farkı ile dalgaın polarizasyon eksenini döndürür. Faraday etkisini en aza indirmek

amacıyla GPS uydularından yayılan sinyallerde dairesel polarizasyon kullanılır. Uyduların yaymış olduğu RHCP özellikli sinyallerden en yüksek gücü alabilmek için kullanıcıların RHCP sinyallerini alabilen anten özellikli terminallerinin olması gerekir. Lineer polarizasyonlu antenler kullanıldığında alınan güçte büyük ölçüde kayıplar meydana gelir. Şekil 3.9’da sağ el dairesel polarizasyonlu bir düzlem dalga gösterilmiştir (Erdemir, 2013).



Şekil 3. 9 Sağ el dairesel polarizasyonlu bir düzlem dalga (Erdemir, 2013)

3.6.2.Eksenel Oran

Polarizasyon elipsinin eksenleri arasındaki orana Eksenel oran (Axial Ratio) denir. Lineer polarizasyonda bu oran ∞ (eksenlerden birinin büyüklüğü 0’dır), tam olarak dairesel polarizasyonda ise 1’dir (0 dB). GNSS uygulamalarında kullanılan antenlerde eksenel oranın 3 Db altında bir değeri olması arzu edilen durumdur (Erdemir, 2013).

3.6.3.Rezonans Frekansı ve Bant Genişliği

Antenin rezonans frekansına çalışma frekansı da denilmektedir. Çalışma frekansının yayılan dalgalar ile aynı frekansta olması gerekir. Anten tasarımlarında imalat sürecinde bu frekans değeri olması gerekenden 5 MHz kadar kayabilir. Bu yüzden yapılacak olan tasarımlarda bu duruma dikkat edilmesi gerekir. Tablo 2.1’de farklı uydu sistemlerinin frekans bantları ve diğer özellikleri gösterilmiştir. Yapılacak olan tasarımlarda bu özelliklere dikkat etmek gerekir. GNSS antenlerinde L1 ve L2 frekanslarının her ikisi de kullanılacaksa her iki frekans aralığını da kapsayacak şekilde geniş bir bant aralığına (genişliği) sahip ya da L1 ve L2 frekanslarını ayrı ayrı kapsayan iki dar bant aralığına

sahip bir tasarım yapılması gerekir. İki dar bant aralıklı bir anten kullanımında iki frekans arasındaki sinyal girişim etkilerinden kaçınılacağından, GNSS antenlerinin dar bant aralıklarına sahip olmaları istenir (Erdemir, 2013).

3.7.GNSS Antenleri için Hedeflenen Gereksinimler

GNSS anteni tasarımı için anten parametreleri bölümünde verilmiş olan özellikleri sağlayan antenlerin seçilmesi yeterli olmayıp GNSS uygulamalarında farklı yapılarda anten tipleri kullanılmaktadır. GNSS uygulamalarında en çok kullanılan antenler mikroşerit, dipol ve helix model antenlerdir. Mikroşerit antenler, çift bantta ölçü yapabilmekte olup dayanıklı ve basit yapısıyla günümüzde en çok tercih edilen anten modelidir. Dipol antenler tek bantlı kullanıma sahip anten modelidir. Helix anten modeli mikroşerit antenler gibi L1 ve L2 frekanslarının ikisinde de sinyal toplayabilirken büyük yapılarından dolayı kullanım kolaylığı sağlamamaktadır. Daha farklı tiplerde tasarlanmış GNSS antenleri de mevcut olup bunlardan yaygın olarak kullanılan modelleri spiral ve choke ring (tıkama halkalı) antenlerdir (Kahveci ve Yıldız, 2012).

GNSS antenlerinin etkili çalışması için antenlerin alıcılarla uyumlu bir şekilde entegre edilmesi veya ayırık bir yapıda olması gerekmektedir. Ayırık yapıdaki antenler, alıcı cihazlara kablo aracılığıyla bağlanır. Bu kabloların uzunluğu, veri kaybını minimumda tutmak için mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.

GNSS antenlerinin verimli çalışmasını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında ısı ve nemin etkisi, tuzlu ortamlar, titreşim ve mekanik şoklar öne çıkar. Bu etkenler, antenlerin performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve dolayısıyla konum belirleme doğruluğunu azaltabilir. Bu nedenle, GNSS antenlerinin kurulumunda bu faktörler göz önünde bulundurulmalı ve uygun önlemler alınmalıdır. Kullanım amacına yönelik pratik üretim imkânı sağlaması, monte edildiği yüzeyin aerodinamik yapısını bozmaması ve çevresel faktörlere karşı dayanıklı olmasından dolayı GNSS antenleri mikroşerit yapıda tercih edilir (Erdemir, 2013).

Özet olarak GPS alıcı anteninde olması gereken özellikler frekans olarak L1 bandında 1575.42 ± 2 MHz minimum, ± 10 MHz arzulanan, L2 bandında 1227.60 ± 2 MHz minimum, ± 10 MHz arzulanan ve L5 bandında 1176.45 ± 2 MHz minimum, ± 10 MHz arzulanan olacak şekilde kazanç 4 dBiC üstü, Sağ-El Dairesel Polarizasyonlu (RHCP) ve eksenel oranı 3 dB altında olacak şekilde tasarlanmalıdır (Erdemir, 2013).

4. AKILLI TELEFONLARDA KULLANILAN GNSS TEKNOLOJİSİ

4.1. Giriş

Akıllı telefonlar günümüzde herkesin kullandığı çağımızın vazgeçilmez bir parçası olan teknolojik araçlardan birisi haline gelmiştir. Bu cihazlar iletişimden eğlenceye, navigasyondan iş dünyasına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. GNSS teknolojileri, mobil telefonların en önemli kullanım alanlarından birisidir. GNSS teknolojisi, uzaydan yayılan sinyaller yardımıyla kullanıcıların konumunun belirlmesini sağlar. GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou gibi birçok GNSS sistemi bulunmaktadır. Mobil telefonlar genellikle bu sistemlerden en az birini veya birkaçını desteklemektedir. Mobil telefonlardaki GNSS teknolojisi ile kullanıcılara harita hizmetleri, konum tabanlı hizmetler, navigasyon uygulamaları ve acil durum hizmetlerine erişim sağlanarak kullanıcılar, konumlarını hızlı ve doğru bir şekilde belirleyebilir, hedeflerine ulaşmak için en uygun rotayı planlayabilir ve çevrelerindeki bilmedikleri mekanları keşfedebilirler. GNSS teknolojisinin mobil telefonlardaki kullanımı, hassas konum belirleme, daha hızlı sinyal alımı ve daha güvenilir navigasyon sağlamak için sürekli olarak gelişmekte ve yeniliklerle desteklenmektedir.

Yüksek hassasiyetli konumlandırma hizmetleri sağlama potansiyeline sahip olabilecek akıllı telefonlar düşük ağırlık, düşük güç tüketimi, taşınabilirlik ve elde hazır bulunuşluğu gibi avantajları nedeniyle büyük pazar uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Akıllı telefonların sinyal yansıma ve kesintileri nedeniyle zayıf sinyaller olarak kalitesiz konum bilgisi alması, yüksek pil ve hafıza tüketimleriyle aşırı ısınmaları dezavantajları arasındadır.

4.2. Akıllı Telefonlarda Kullanılan GNSS Teknolojisinin Gelişimi ve Temel İlkeleri

İçerisinde birçok sensör bulunduran akıllı telefonları kullanan kullanıcılar için en önemli sensörlerden birisi farklı doğruluk seviyelerinde PNT hizmeti sağlayan gömülü GNSS çipleridir. PNT uygulamaları için 1999 yılında ilk olarak akıllı telefonlara GPS çipleri eklenmiştir. Günümüzde akıllı telefonlarda kullanılan GNSS teknolojisi genellikle GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS gibi farklı uydu konumlandırma

sistemlerinin kombinasyonunu içerir. Bu sistemler, kullanıcıların dünya üzerindeki konumlarını belirlemek için uydu sinyallerini kullanır (Banville ve Diggelen, 2016).

1999 yılında Benefon (Günümüzde Twig Com) firmasının üretmiş olduğu ticari kullanılabilir GPS özellikli akıllı telefonu tanıtmasıyla akıllı telefonlarda konum belirleme sağlanabilmiştir. GNSS alıcılarına göre düşük performans gösteren akıllı telefonlarda yazılım ve antenler üzerine yapılan çalışmalarla konum hassasiyeti düşürmeye çalışılmıştır (Mahato ve ark., 2023)

2016 yılında yapılmış olan “I/O 2016” konferansında Google, Android 7.0 (Nougat) işletim sisteminde akıllı telefonlardan elde edilen ham GNSS ölçümlerini kullanıcıların erişimine açacağını duyurmuştur. Bu karar ile ham GNSS verileri işlenebilecek ve uydulara ait kod, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemleri sağlanarak metre altında bir hassasiyetle konum bilgisi sağlama konusunda önemli adım atılmıştır. Açıklama sonrasında Banville ve Diggelen (2016) yaptıkları çalışmalarında Broadcom 4774 model gömülü GNSS çipe sahip Samsung Galaxy S7 marka akıllı telefonda L1 frekansında GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydu sistemlerine ait kod, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemlerini ham olarak kaydederek GNSS veri kalitesini incelemişler ve sadece GPS gözlem verilerinin değerlendirildiği akıllı telefonlarda GNSS anten kalitesi ve sinyallerdeki sıçramaların konum doğruluğunu olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Siddakatte, Broumandan ve Lachapelle (2017) yaptıkları çalışmada Samsung Galaxy S7 ile aynı GNSS çipine sahip olan Huawei Mate 9 marka akıllı telefonda, dahili ve harici antenler kullanarak ham ölçülerdeki kalite ve konum doğruluklarını incelemiştir (Caneren ve ark., 2021).

2018 yılında Xiaomi, Mi8 modelinde dünyanın ilk çift frekanslı telefonunu kullanıcılara sunmasıyla akıllı telefonlardaki GNSS teknolojisinde ikinci önemli gelişme yaşanmıştır. Önceden kullanılan GNSS çiplerine göre yeni bir teknoloji kullanılan Mi8 içerisinde gömülü olarak bulunan Broadcom BCM47755 GNSS çipi, GPS L1/L5 ve Galileo E1/E5a sinyallerini kaydederek akıllı telefonlarda cm hassasiyetinde konum doğruluğu elde etmenin başlangıcını oluşturmuş ve konum ölçmelerinde jeodezik alıcılar yerine daha pratik ve ucuz olan akıllı telefonların kullanılabilirliği hakkındaki çalışmalara kaynak olmuştur (Robustelli ve ark., 2019). 2018’de Xiaomi’den sonra Huawei, One Plus, Lenovo gibi farklı markalar da birçok modellerinde çift frekanslı GNSS çiplerine sahip akıllı telefonlarını üreterek piyasaya sunmuşlardır (Caneren ve ark., 2021). Yüksek

maliyetli jeodezik alıcılardan farklı olarak bu telefonlarda kullanılan doğrusal (lineer) polarizasyonlu GNSS anten çipleri, yüzeylerden yansıyan GNSS sinyallerini de alarak düşük kaliteli ölçümler yapmaktadır. Bu durum konum hassasiyetini olumsuz yönde etkilemesine rağmen GNSS konumlama çalışmaları devam etmiştir (Robustelli ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2018; Pathak ve ark. 2003). Sade ve şık bir tasarıma sahip olan Mi8 rahatlıkla kullanılabilecek bir boyutta tasarlanmıştır. Mi8 modeli Şekil 4.1’de gösterilmiştir (www.mi.com).



Şekil 4. 1 Xiaomi Mi8 modeli

GNSS konumlama çalışmaları olarak Wu vd. (2019), Xiaomi Mi8 akıllı telefonunun konum belirleme performansını statik ve kinematik hassas nokta mutlak konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi ile ölçmeler yapıp RTKLIB ve GAMP yazılımlarında değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda tek frekanslı jeodezik alıcı ile akıllı telefonun statik PPP konum belirleme performansının birbirlerine yakın, kinematik PPP sonuçlarında 3-5 m fark olduğu sonucunu elde etmişlerdir (Caneren ve ark., 2021).

Robustelli vd. (2019), Topcon GRS-1 jeodezik alıcı ve Topcon PG-A1 anten ile Xiaomi Mi8 akıllı telefonu arasında sinyal yansıması olabilecek ve olmayan açık ortamlarda çok yolluluk etkilerini kod ve taşıyıcı faz ölçüleri ile ayrı ayrı değerlendirmeler yapmışlardır. TEQC yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada kod ölçülerinin çok yolluluk etkileri kestirilmiş olup 3600 epöğa sahip 1 saatlik verinin 900 epöğunda büyük ölçüde çok

yolluluk etkisi görülmüştür. Akıllı telefonların jeodezik alıcılara göre daha düşük taşıyıcı gürültü oranı (Carrier-to-Noise Ratio, C/N0) yapısına sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Jeodezik alıcılarla kıyaslanan akıllı telefonlarda düşük çok yolluluk etkilerine sahip ortamlarda 1.02 m, yüksek çok yolluluk etkilerine sahip ortamlarda ise 1.95 m doğrulukla konum bilgisi elde edilmiştir (Caneren ve ark., 2021).

Kulikov, Chugunov ve Zamolodchikov (2019), araç ve yayaların yapmış olduğu manevraları sırasında jeodezik alıcı ve Samsung Galaxy S8 akıllı telefonu ile ölçümler yaparak ölçüm değerleri arasında 1-3 m farklar elde etmişlerdir (Caneren ve ark., 2021).

Elmezayen ve El-Rabbany (2019), yaptıkları çalışmada Trimble R9 jeodezik alıcı ve Xiaomi Mi8 akıllı telefon ile yapılmış olan statik ve kinematik ölçüm verilerinde Trimble Business Center (TBC) yazılımında bağlı çözümler yapmışlardır. Daha sonra geliştirilen özel bir yazılım ile gerçek zamanlı (NAVCAST servisi ile) ve sonradan PPP değerlendirmesi yaparak çözümleme gerçekleştirilmiş olup gerçek zamanlı ve sonradan değerlendirilen statik çözümlerde desimetre düzeyinde, kinematik çözümlerde ise m düzeyinde doğruluk elde edilmiştir (Caneren ve ark., 2021).

Aggrey, Bisnath, Naciri, Shinghal ve Yang (2019), yaptıkları çalışmada SwiftNav Piksi ve Topcon NET-G3A jeodezik alıcılar ile Xiaomi Mi8, Google Pixel 3, Huawei Mate 20 ve Samsung Galaxy S9 cihazlarının çoklu-GNSS PPP performanslarında değerlendirmeler yapmışlardır. Çalışmada alıcılar 6 saat statik gözlem yapmıştır. Ayrıca araç üzerine yerleştirilen SwiftNav Piksi alıcısı ve araç ön kısmına yerleştirilen akıllı telefonlar ile belirli bir güzergahta kinematik ölçümler yapılmıştır. Sonuç olarak akıllı telefonlarda jeodezik alıcılara göre daha yüksek çok yolluluk etkisi ve daha düşük C/N0 görülmüş olup çift frekanslı alıcıya sahip telefonlarda, 38 dakikalık gözlemlerle statik modda desimetre, kinematik modda ise birkaç metre seviyesinde doğruluk elde edildiği belirtilmiştir (Caneren ve ark., 2021).

Gül, Doğan ve Öcalan (2021), yaptıkları çalışmalarda, Topcon Hiper SR jeodezik alıcısı referans alınarak Xiaomi Mi8 akıllı telefonu ile 2 gün tekrarlı olarak 2 saatlik statik GNSS ölçümlerini farklı uydu yükseklik açılarına göre RTKLIB ve GipsyX yazılımlarında epok epok kinematik modda PPP tekniği ile değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak RTKLIB yazılımında uydu yükseklik açısının artmasıyla yatay konum doğruluğunun düştüğü ve en iyi yatay konum doğruluğunun en düşük yükseklik açısında elde edilmiş olup GipsyX için, uydu yükseklik açısı ile yatay konum doğrulukları arasında doğrudan bir ilişki

bulunmamıştır. RTKLIB ve GipsyX yazılımlarından elde edilen konum doğrulukları arasındaki fark 4 m olduğu belirlenmiştir (Caneren ve ark., 2021).

Bahadır (2022), Xiaomi Mi8, Google Pixel 4 ve Pixel 4 XL akıllı telefonlarında kinematik modda tek frekanslı kod gözlemlerini kullanarak gerçek zamanlı ve bağımsız konumlandırma doğruluklarını araştırmışlardır. Araştırmada ultra hızlı ve IGS gerçek zamanlı hizmetinin (IGS-RTS) karşılaştırılması ve varyans bileşeni tahmin yöntemini kullanan geliştirilmiş bir ağırlıklandırma modelinin konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine çalışmıştır. Yaptığı testler sonucunda IGS-RTS ürün geliştirmelerinin kullanımının, ultra hızlı ürünlere göre daha iyi performansı olduğunu belirtmiş ve çoklu GNSS gözlemlerinin gerçek stokastik özelliklerinin eklenmesi, akıllı telefon konumlandırma performansını ortalama %11,0 oranında artırdığını belirtmiştir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Li, Cai ve Xu (2022), akıllı telefonlarda PPP ölçüm sonuçlarını taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı C/N_0 'dan türetilmiş varyansları, yükseklik açısından türetilmiş varyansların ölçeğine normalleştirerek birleşik bir yükseklik açısı ve (C/N_0) ağırlıklandırma yöntemiyle yükseklik açısı ve taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı (C/N_0) karşılaştırılarak üç boyutlu konumlandırma doğruluğunda açık gökyüzü alanında %22,7 ve %24,2 ve kısıtlı görüş alanında %52,0 ve %26,0 oranında bir iyileşme olduğunu gösterdi (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Li ve Cai (2022), bütün GNSS gözlemlerinden faydalanan karma tek ve çift frekanslı dördü takımyıldız PPP modelini statik ve kinematik testler ile araştırmıştır. Araştırma sonucunda karma frekans modelinin çift frekanslı PPP ve tek frekanslı PPP ile karşılaştırıldığında konumlandırma performansının geliştirilebilir olduğu belirlenmiştir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Li ve ark. (2022) harici, düşük maliyetli sarmal anten kullanarak atmosferik güçlendirme ile hızlı tamsayı belirsizliğine ulaşmak amacıyla birleştirilmemiş bir PPP-RTK modeli kullanmıştır. Sonuç olarak akıllı telefonların düşük maliyetli sarmal antenler ile GNSS ham gözlemlerinde PPP hızlı belirsizlik çözümünün elde edilebileceğini göstermiştir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Yi ve ark. (2022), akıllı telefonlarda atalet sensörlerini kullanarak PPP ve akıllı telefonlar için tek ve çift frekanslı (SFDF) optimizasyon şemasıyla birleştirilmiş yeni bir sensör

füzyon tekniği kullanmış olup çoklu GNSS PPP/IMU entegrasyonu durumunda <2 m RMS'lik yatay konumlandırma doğruluğu sağlamıştır (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Miao, Li ve Gao (2022), yaptıkları çalışmalarda ilk olarak, L5/E5a/B2a sinyallerinin kalitesini, IAR'deki üstünlüklerini ve GPS, QZSS, Galileo ve Beidou-2/3 uydularından gelen L1/E1/B1 sinyallerine göre hassas konumlandırmayı araştırdılar. Daha sonra C/N0 varyasyon aralığını hesaba katan, geleneksel ağırlıklandırma modelinden daha etkili bir ağırlıklandırma modeli sağlayan ve böylece konumlandırma doğruluğunu artıran yeni bir ağırlıklandırma modeli önerdiler. Sonuç olarak L5/E5a/B2a sinyallerinin genellikle L1/E1/B1 sinyallerinden daha yüksek IAR sabitleme hızı ve konumlandırma doğruluğu elde edebildiğini gösterdi (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Li, Miao, Li ve Chen (2022), akıllı telefon için faz belirsizliklerinin tamsayı özelliği, veri kalitesi, IAR verimliliği ve konumlandırma doğruluğu gibi konularda araştırmalar yaparak akıllı telefon markalarının, işletim sistemlerinin ve akıllı telefon tutumlarının, faz belirsizliklerinin tamsayı özelliğini ve veri kalitesini etkileyeceğini sonucuna vardı. Yine buldukları kinematik konumlandırma sonuçlarında, gömülü antenle metre düzeyinde, harici antenlerin ise cm-dm doğruluğu olduğunu belirtti (Zangenehnejad ve ark., 2023).

Google'ın Android GPS ekibi, 2021 ve 2022 yıllarında akıllı telefon konumlandırma doğruluklarını belirlemek amacıyla gerçek araç uygulamalarına ait çeşitli akıllı telefon GNSS veri kümelerinin kullanıldığı iki adet Google akıllı telefon desimetre yarışması (GSDC) yaptı. Yarışmanın liderleri metrenin altında bir konum hassasiyeti elde edebilmiş olsalar da bu hassasiyetler jeodezik alıcılara göre yeterli değildir. Konum hassasiyetlerini daha da geliştirmek için akıllı telefon GNSS gözlemlerinin dikkatli bir şekilde analiz edilmesi, çevre etkisinin ve akıllı telefon tutma modlarının araştırılması ve konumlandırma algoritmasının ve uygulamasının iyileştirilmesine dikkat edilmelidir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

4.3.Akıllı Telefonlarda Bulunan GNSS Yazılım Bilgileri

Android'in Google Konum Hizmetleri Uygulama Programlama Arayüzü (API), androida telefonlarda kullanılan uygulamalar ile sensörler arasındaki bağlantıyı sağlar. İlk Android telefonlar için geliştirilen API sürümlerinde kullanıcıların konum hizmetlerini sağlayabilmeleri için “Android.Location” paketi bulunmaktaydı. Bu paket sayesinde diğer uygulamalarda konum bilgilerini güncel olarak elde edebilmekteydi. Kullanıcılar

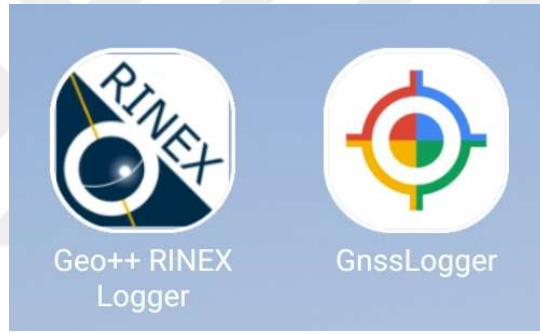
konum bilgilerini uydu verilerinden “LocationManager.GPS_PROVIDER” ve hücresel ağ tarafından “LocationManager.NETWORK_PROVIDER” olmak üzere iki şekilde hizmet almaktaydı. Google Konum Hizmetleri Uygulama Programlama Arayüzü (API), sayesinde daha yüksek doğrulukla verimli ve basit bir arayüz hizmete sunulmuştur.

Android işletim sistemi çıkardığı her yeni sürümle yeni bir konum API oluşturmuştur (Mahato ve ark., 2023).

Android işletimli telefonlar için kullanılacak uygulamaların marketi olan Google Play Store içerisinde ücretsiz olarak satın alınabilen birçok GNSS uygulaması bulunmaktadır. Bu uygulamalar gereksinimlerine uygun bir şekilde kategorize edilerek beş seviyede değerlendirilebilir. Temel konum, hız ve zaman ve uydu bilgilerini gösteren genellikle ücretsiz olan uygulamalar birinci seviye uygulamalar olarak sınıflandırılabilir. Bu uygulamalara GPS Info, GPS Essentials, GNSS View, GNSS Status örnek verilebilir. Temel konum, hız ve zaman ve uydu bilgilerini gösterme ve bu verileri Ulusal Deniz Elektroniği Birliği (NMEA) formatında telefonun hafızasına kayıt altına alabilen uygulamalar ikinci seviye uygulamalar olarak sınıflandırılabilir. İkinci seviye uygulamalara NMEA Tools Pro, GNSS Compare, Ultra GPS Logger, PPM Commander uygulamaları örnek olarak verilebilir. İkinci seviye uygulamalardan çok daha güçlü olarak görülen üçüncü seviye uygulamalarla akıllı telefonlarda ham GNSS verileri kaydedilebilir ve analiz edilebilmektedir. Bu uygulamalara örnek olarak GNSS Logger, Geo++RINEX Logger, Galileo PVT, Rınex on verilebilir. Üçüncü seviye uygulamalarla elde edilen verilerin işlenebilmesi için uygun yazılımların kullanılması gerekir. Android tabanlı bir telefonun kablo, bluetooth, wifi veya farklı bir yöntemle harici bir GNSS alıcısına bağlanarak verileri toplayabildiği uygulamalar dördüncü seviye uygulamalardır. Dördüncü seviye uygulamalara ilaveten hücresel ağ veya farklı bir yöntem ile farklı bir GNSS alıcısından gelen düzeltmeleri kullanarak verileri işleyebilen uygulamalar beşinci seviye uygulamalardır (Mahato ve ark., 2023).

Google, yayınladığı yeni uygulama programlama arayüzü (API), yani android.location (API seviye 24) ile GNSS ham ölçümlerine erişimi sağlamıştır. Fakat yeni API, kullanıcıların kendileri tarafından oluşturulması gereken tipik GNSS gözlemlerini (örneğin, sözde mesafe, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemleri) doğrudan sağlamamaktadır. Akıllı telefon GNSS gözlemlerinin yapılması ve verilerinin kaydedilmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. 2016 yılında Google, android.location API'sinden

GnssClock ve GnssMeasurement sınıflarının ham ölçümelerini günlüğe kaydeden GnssLogger App adında açık kaynaklı bir uygulama yayınladı. Çalışmaların geliştirilmesiyle GPS zamanı, sözde menzil, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemleri oluşturmak için kullanıcıların kendileri tarafından kullanılabilir. 2017 yılında, Geo++ GmbH Şirketi, Alıcıdan Bağımsız Değişim (RINEX) formatında GNSS sözde menzili, taşıyıcı fazı ve Doppler gözlemlerini sağlayabilen Geo++ RINEX Logger App adlı açık kaynaklı bir uygulama yayınladı. Yaygın olarak kullanılan ve RINEX formatında GNSS gözlemlerini kaydedebilen GNSSLogger ve GEO++ RINEX Logger uygulamalarından elde edilen GNSS gözlem çıktılarının kalitesi farklı açılardan birbirleriyle tutarsız bulunmuştur (Zangenehnejad ve ark., 2023). Uygulamaların telefon içerisindeki görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4. 2 GEO++ RINEX Logger ve GNSSLogger

Xiaomi Mi8, Google Pixel 5 ve Samsung S20 akıllı telefonlarından alınan veri setine dayanarak yapılan bir araştırmada, sözde mesafe ve taşıyıcı faz gözlemlerinin birinci derece farklılıklarının, üç akıllı telefon için Doppler gözlemlerinin aynı eğilimini takip etmediği bulunmuştur. Sonuçlar ayrıca Xiaomi Mi8 ve Samsung S20 akıllı telefonlarından elde edilen Doppler gözlemlerinin, sözde mesafe ve taşıyıcı faz gözlemlerine göre önyargılı olduğunu göstermiştir (Zangenehnejad ve ark., 2023).

4.4.Akıllı Telefonlarda Bulunan GNSS Antenleri ve Özellikleri

Günümüzde akıllı telefonlar sayesinde rotaları belirlemek, bilinmeyen yerlerde kaybolmamak veya trafik durumunu takip etmek için GNSS sıklıkla kullanılır. Tüm bu imkanlar, akıllı telefonlardaki GNSS'in hayatımızdaki önemini ve kullanımını göstermektedir. GNSS, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve

insanların günlük aktivitelerini daha kolay, verimli ve güvenli bir hale getirmiştir. GNSS teknolojisi sürekli gelişmekte olup gelecekte, GNSS teknolojisinin daha da gelişmesiyle birlikte daha hassas konum bilgileri elde edilerek akıllı telefonların sunduğu bu rehberlik ve konum belirleme özellikleri daha da önem kazanacaktır.

Akıllı telefonlarda konum belirleme amacıyla GNSS çipleri telefon içerisinde gömülü olarak bulunur. İlk olarak 2018'de, Broadcom BCM47755 çipi, Xiaomi Mi8 modelinde kullanılmasıyla dünyanın ilk çift frekanslı Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) akıllı telefonu üretilmiştir. Bu telefon GPS, Galileo, Beidou ve GLONASS uydularından L1/E1/ ve L5/E5 sinyallerini alabilmektedir. Bu sayede akıllı telefondan toplanan çoklu takımyıldızı, çift frekanslı sözde aralık ve taşıyıcı faz ham verileri kullanarak telefonun konumu elde edilmekte ve çift frekanslı ham veriler sayesinde cihazın çok yönlü performansının değerlendirilmesi sağlanabilmektedir (Robustelli ve ark., 2019).

Akıllı telefonlarda bulunan çeşitli GNSS çipleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir (Mahato ve ark., 2023).

Tablo 4. 1 Akıllı telefonlarda bulunan GNSS çipleri

GNSS Çip Model No	Üretici	Frekans	Desteklenen Uydular
BCM4774	Broadcom	Tek	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, SBAS, QZSS
BCM47755	Broadcom	Çift	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS
Snapdragon 675	Qualcomm	Tek	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS
Snapdragon 865	Qualcomm	Çift	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Exynos 8895	SAMSUNG	Tek	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Exynos 990	SAMSUNG	Çift	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Kirin 970	Huawei	Tek	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Kirin 990	Huawei	Çift	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Helio P95	MediaTek	Tek	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou

(Mahato ve ark., 2023)

Broadcom BCM47755 çipi 2017 yılında Broadcom firması tarafından üretilen kullanıcılara konum tabanlı hizmet sağlamak amacıyla santimetre doğruluğuna sahip dünyanın ilk çift frekanslı GNSS alıcısı akıllı telefonlarda, giyilebilir cihazlarda ve tabletlerde kullanılmaktadır. BCM47755 yongası iki L1 ve L5 frekanslarını

desteklemektedir. Çift frekans desteklemesi sayesinde dış mekanlarda şerit düzeyinde doğruluk elde eder ve çok yollu ve yansıyan sinyallere karşı çok daha yüksek direnç elde eder ve ayrıca daha yüksek parazit ve parazite karşı bağışıklık sağlar. Bu çiplerin kullanılmasıyla konum belirlemelerinde eski akıllı telefonlara göre daha düşük enerji tüketimi sağlanmaktadır. BCM47755 çipi GPS L1 ve L5, GLONASS L1, BeiDou (BDS) B1, QZSS L1, Galileo E1 ve E5a, QZSS L5 sinyallerini alabilmektedir. Broadcom BCM47755 çipi Şekil 4.3'te gösterilmiştir (URL 16, 2024).



Şekil 4. 3 Broadcom BCM47755 çipi

Bu alıcı A-GPS (Yardımcı GPS) sunucu desteğini de sağlamaktadır. A-GPS sunucusu, WWRN (Kablosuz Geniş Alan Ağı) tarafından toplanan GNSS uydu verilerini kullanarak hem MS tabanlı hem de MS destekli modları destekleyen yardım verileri üretir, el cihazlarından hesaplama konumuna kadar ölçümleri işler ve kontrol düzlemi veya kullanıcı düzlemi konum sunucularına sorunsuz bir şekilde bağlanır. Uzun süreli yörünge bilgilerini kullanarak, bir haftaya kadar geçerli olan gelecekteki ephermeris yardım verilerini akıllı telefonlara sağlar. Geçici olarak mobil operatörün ağ kapsama alanı dışında kalması durumunda AGPS teknolojisi büyük fayda sağlar (URL 17, 2024).

Akıllı telefonlarda kullanılan çiplerin geliştirilmesiyle eşzamanlı izleme ile görüş hattı ve her uydudan gelen çoklu yansımalar önemli ölçüde düşürülerek daha hassas ve hızlı konum belirleme, daha düşük güç tüketimi, daha küçük boyutlarda yeni çipler üretilmektedir (URL 18, 2024).

4.5.Akıllı Telefonlara Entegre Edilebilen GNSS Antenleri ve Özellikleri

Akıllı telefonlarda gömülü olarak bulunan GNSS çipleri ile yapılan ölçümler, çoklu frekansları alamadığından ve belirli bir anteni olmaması ve GNSS alıcısının her yönden farklı şekillerde sinyaller toplamasından dolayı yeterli hassasiyet sağlanamamaktadır. Bu yüzden harici antenlerin kullanılması bu sorunları gidererek daha hassas ölçümlerin yapılmasına imkân sağlar. Günümüzde, bu tip antenler kullanılarak telefonlar sadece iletişim araçları olmanın yanında artık hassas konum belirleme yetenekleri sağlayarak elde hazır bulunan telefonlar sayesinde kolay ve hızlı bir şekilde gerekli ölçümler yapılabilir.

GNSS modülü ve anten üreticileri arasında öne çıkan U-blox ve Unicore firmaları, farklı mimari ve performans özelliklerine sahip GNSS anten çözümleri sunmaktadır. U-blox, İsviçre merkezli bir firma olup, düşük güç tüketimli ve kompakt GNSS modül tasarımları ile öne çıkmaktadır. U-blox antenleri genellikle patch (yama) tipi seramik anten yapısına sahip olup, modül ile entegre çalışan GNSS çözümlerine yönelik optimize edilmiştir. U-blox modüllerinde u-center yazılımı ile uyumlu, konfigüre edilebilir yapıdadır. U-blox antenleri çoğunlukla GPS, GLONASS ve Galileo sistemleri ile çalışmak üzere optimize edilmiştir. Bazı yeni nesil U-blox modülleri ise BeiDou desteğini de sunmaktadır. Bununla birlikte, çift frekans desteği genellikle daha sınırlıdır. U-blox antenleri, çoğunlukla otomotiv, kişisel navigasyon cihazları gibi düşük maliyetli ve düşük güç tüketimi gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Küçük boyutlu olmaları nedeniyle mobil sistemlerde kolay entegrasyon avantajı sunar. (URL 18, 2021).

Unicore, Çin menşeli bir GNSS donanım üreticisidir ve daha çok yüksek hassasiyetli uygulamalara yönelik çok frekanslı ve çoklu takımyıldızı destekli GNSS modülleri ve antenleri ile öne çıkmaktadır. Unicore antenleri genellikle daha büyük boyutlu, L1/L2 veya L1/L5 çift frekanslı GNSS sinyallerini destekleyebilen aktif antenlerdir. Unicore antenleri genellikle GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS sistemlerini çoklu takımyıldızı destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Özellikle yüksek doğruluk gerektiren RTK ve PPK uygulamalarda tercih edilen bu antenler, L1/L2/L5 gibi çoklu frekans bantlarında çalışabilmektedir. Unicore antenleri jeodezik ölçümler, hassas tarım, otonom araçlar ve drone tabanlı haritalama sistemleri gibi yüksek doğruluk gerektiren profesyonel uygulamalarda daha yaygın kullanılmaktadır. (URL 19, 2020).

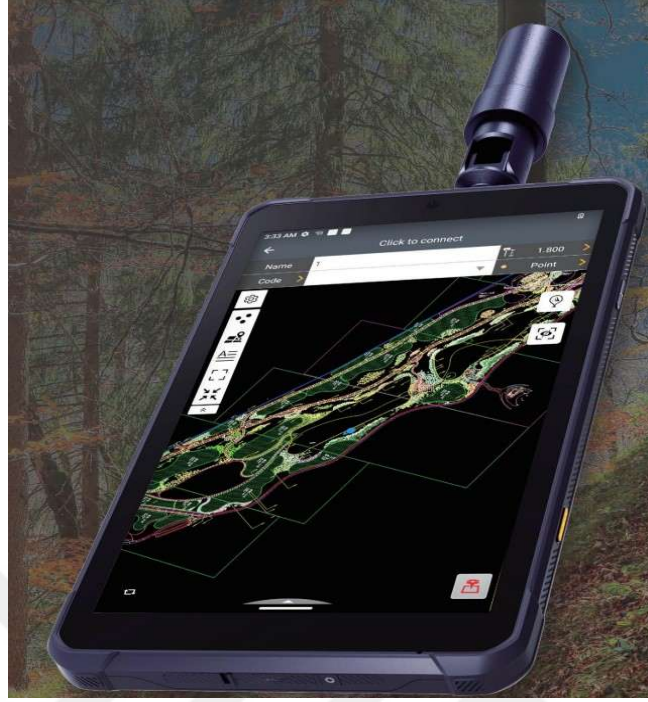
Ülkemizde birçok firma tarafından üretilen harici antenlerin satışı bulunmaktadır. Telefonlara entegre edilebilen bu antenlerden bazıları telefon bataryalarının pil sağlığını korumak amacıyla tabletler ile birlikte satışa sunulmaktadır. Ülkemizde satışı bulunan antenlerin birkaçı özellikleri ile birlikte anlatılacaktır.

CHCNAV firmasının üretmiş olduğu U-blox anten entegre edilebilen LT700H Çift Frekanslı CORS ve RTK Özellikli Endüstriyel Tablet, 184 kanallı çift frekanslı L1 ve L2 frekanslarını destekleme özelliğine sahiptir. Android işletim sistemine sahip bu tabletin içerisinde 4G dahili GPRS GSM modem bulunmaktadır. CORS-TR den yayınlanacak düzeltmeyi kullanıp, RTCM 2.x ve 3.x formatlarını desteklemektedir. Cihazın konum hassasiyeti tek başına kullanımda 1 metrenin altında olup CORS-TR ile 5 cm altında ve RTK ile 2 cm olarak satıcı firma tarafından belirtilmektedir. Tablet ve anten Şekil 4.4'te gösterilmiştir (URL 21, 2024).



Şekil 4. 4 LT700H çift frekanslı Cors ve Rtk özellikli endüstriyel tablet (URL 21, 2024)

CHCNAV firması LT700H modelinden sonra daha yüksek dayanıklılığa sahip, daha güçlü bir işlemci ve ram özellikleri ile daha geniş yazılım desteği ve uyumluluğu sağlayan LT700H modeline göre daha yüksek konum doğruluğu sağlayan çift frekanslı GNSS alıcılı, Unicore anten entegre edilebilen LT800H modelini üreterek piyasaya sunmuştur. Güncellenmiş yeni tablet ve anteni Şekil 4.5'te gösterilmiştir (URL 22, 2025).



Şekil 4. 5 LT800H çift frekanslı Cors ve Rtk özellikli endüstriyel tablet (URL 22, 2025)

E Survey firması el tipi GPS alıcısı görünümlü G659 GNSS alıcısı 64 kanallı, tek frekanslı (L1) özellikleri ile sabit anten tasarımıyla küçük boyutlu bir model üretmiştir. Bu cihaz içerisinde 4G dahili GPRS GSM modem bulundurarak Android işletim sistemine sahip olup bir telefon görevi görebilmektedir. TUSAGA-AKTİF ile çalışabilen bu cihaz tek başına 2-5 m, DGNSS ile yarım metrenin altında, RTK ile yaklaşık 5 cm hassasiyetinde konum bilgisi elde ettiği satıcı firma tarafından belirtilmiştir. Cihaz Şekil 4.6'da gösterilmiştir (URL 23, 2024).



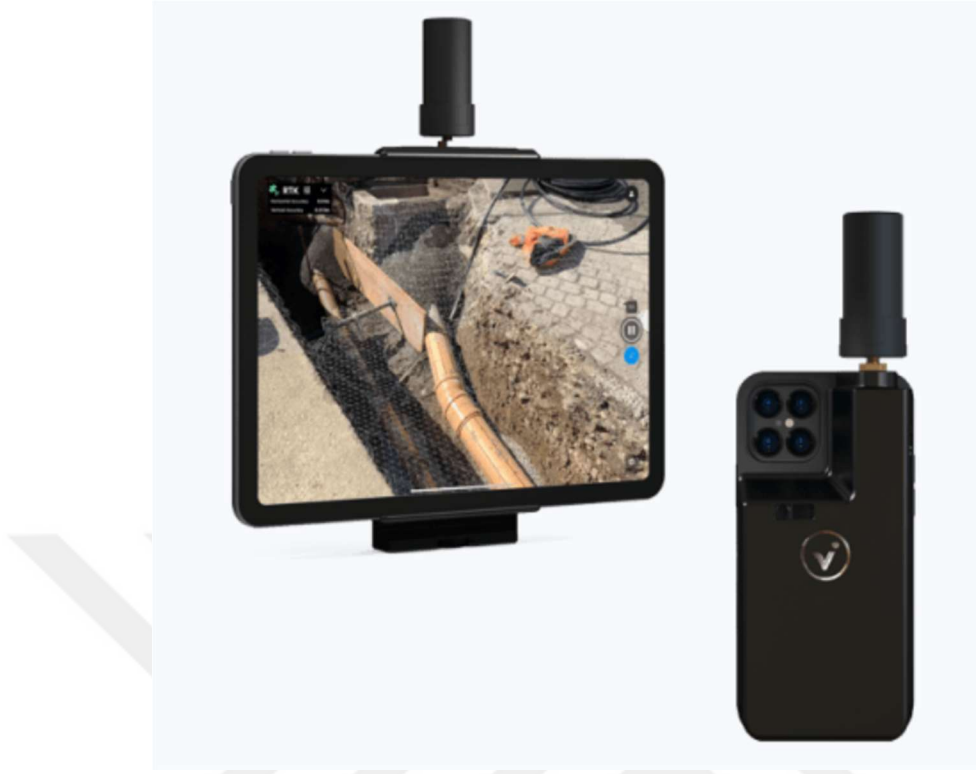
Şekil 4. 6 E Survey G659 GNSS alıcısı
(URL 23, 2024)

E Survey firmasının üretmiş olduğu tablet modeline uygun üretmiş olduğu HP50 yüksek hassasiyetli GNSS modülü ile hassas konum bilgisi sağlanabilmektedir. Daha iyi anten faz merkezi ölçümleri sağlayan harici bir GNSS antenine bağlanabilen bu modül GNSS ve CBS çalışmalarında cm düzeyinde konum doğruluğu sağlayabilmektedir. Yüksek doğrulukta konum bilgisi elde etmek için kullanıcılar NTRIP kullanan CORS servislerine veya L-Bant servisine abone olabilme imkânı sağlar. GPS uydularından L1C/A, L1P, L2P, L2C, L5, BDS uydularından B1I, B2I, B3I, B1C, B2a, B2b, GLONASS uydularından G1/G2, Galileo uydularından E1, E5a, E5b, ALTBOC, E6, QZSS uydularından L1C/A, L1C, L2C, L5 frekanslarını alabilen 800 kanallı bu modülün RTK’da Yatay:8mm+1ppm, Düşey:15mm+1ppm, Kod farklılığında Yatay:0,3m, Düşey:0,6m ve SBAS için Yatay:0,3 m, Düşey:0,6m konum hassasiyeti olduğu satıcı firma tarafından belirtilmiştir. Cihaz Şekil 4.7 üzerinde gösterilmiştir (URL 24, 2024).



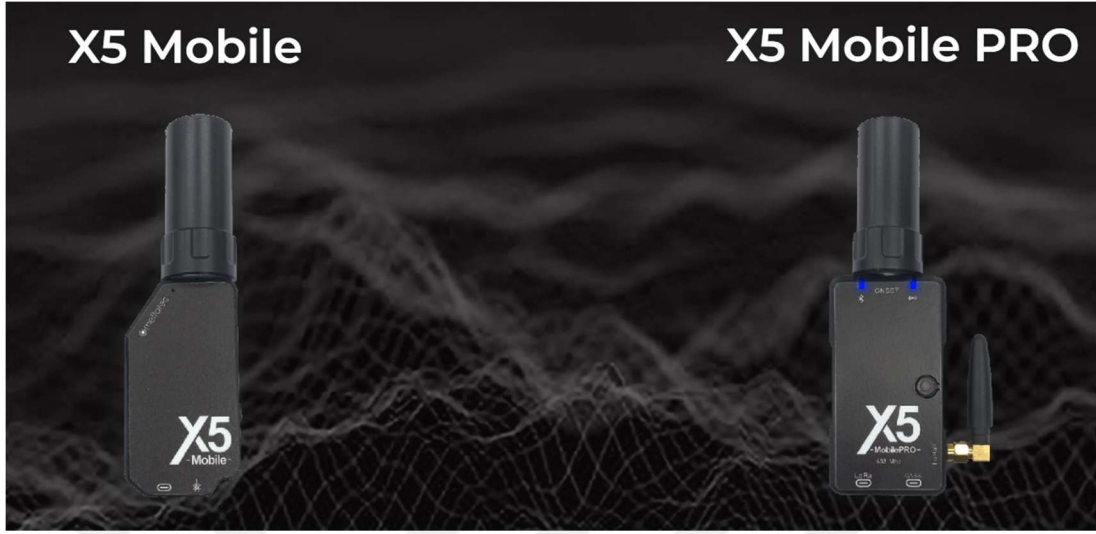
Şekil 4. 7 E Survey HP50 yüksek hassasiyetli GNSS modülü
(URL 24, 2024)

viDoc RTK anteni, lidar sensörlü telefon ve tabletlere referans konum bilgisi sağlama amacıyla Android ve IOS işletim sistemli akıllı telefonlara takılabilen bir RTK antenidir. Herhangi bir NTRIP hizmetine bağlıken gerçek zamanlı olarak RTK doğruluğunda konum bilgisi elde eder. Satıcı firma tarafından yapılan araştırmalar viDoc RTK ile 5 cm'den daha az mutlak doğruluk ile 3D modeller elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Alman viGram GmbH. Şirketi tarafından tasarlanan viDoc RTK, GPS:L1/L2, GLONASS:G1/G2, Beidou:B1/B2/B3, Galileo:E1/E5b frekanslarını alabilmektedir. Cihaz Şekil 4.8 üzerinde gösterilmiştir (URL 25, 2024).



Şekil 4. 8 viDoc RTK anteni
(URL 25, 2024)

Mettatec firması tarafından üretilmiş cep telefonu veya tablete bağlı olarak çalışan yüksek hassasiyetli GNSS alıcıları PPK ve CORS ölçümleri yapabilen GNSS X5 Mobile ve PPK, CORS ve RTK ölçümleri yapan GNSS X5 Mobile PRO, çok bantlı sarmal şekilde olan HeliX5 GNSS antenini kullanarak jeodezik alıcılarda bulunan GNSS L1/L2/e5 teknolojisinin aynısını kullanır. Hızlı yakınsama süreleri ve güçlü performansla çok bantlı PPK ve NTRIP düzeltmeleri, Fix çözümüyle saniyeler içinde santimetre düzeyinde doğruluk sunar. Antenler, USB portu ve bluetooth üzerinden veri aktarım bağlantısı sağlamaktadır. Kolay ve hızlı bir şekilde akıllı telefonlardan hassas konum bilgisi elde edebilen bu antenler ülkemizde yaygın olarak kullanılmadığından satışı bulunmamaktadır. Bu antenler İHA'lara da entegre edilerek hassas konum bilgisi elde edilebilmektedir. Antenler Şekil 4.9 üzerinde gösterilmiştir (URL 26, 2024).



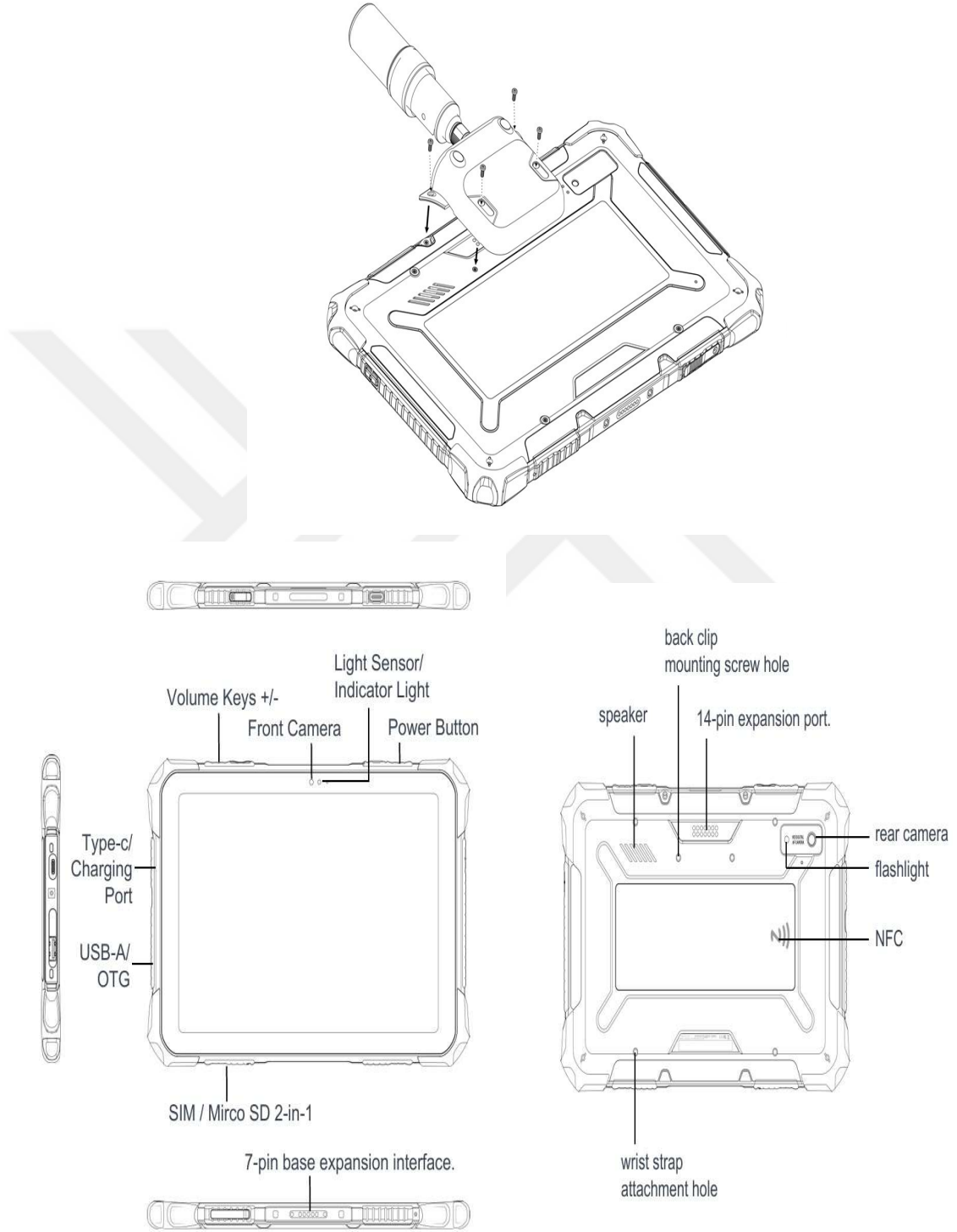
Şekil 4. 9 GNSS X5 Mobile ve GNSS X5 Mobile PRO
(URL 26, 2024)

D10 rugged tablet, dayanıklı yapısı ve üstün özellikleriyle zorlu çalışma koşullarında kullanılmak üzere tasarlanmış bir cihazdır. Bu tabletin en dikkat çekici yönlerinden biri, u-blox GNSS anteni entegrasyonuna olanak sağlamasıdır. U-blox anten teknolojisi, cihazın konum belirleme performansını önemli ölçüde artırır NTRIP hizmetine bağlanabilir ve gerçek zamanlı olarak RTK ölçümleri yapabilirken özellikle saha çalışmalarındaki ölçümler için güvenilir bir çözüm sunar.

Tablete entegre edilen u-blox anten, GNSS (Global Navigation Satellite System) sinyallerini işleyerek yüksek doğrulukta konum verileri sağlar. Ayrıca, taşınabilir yapısı ve darbelere, toza ve suya karşı dayanıklılığı sayesinde hem açık alanlarda hem de zorlu ortamlarda güvenilir bir performans sergiler.

D10 rugged tablet, esnek bağlantı seçenekleri ve u-blox entegrasyonu sayesinde kullanıcıların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. GNSS teknolojisinin yanı sıra, cihazın uzun pil ömrü ve güçlü donanım özellikleri de sahada verimliliği artırır. Bu sayede kullanıcılar, karmaşık ölçüm ve veri toplama süreçlerini hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirebilirler.

Sonuç olarak, D10 rugged tablet ve entegre edilebilen u-blox anten, dayanıklılık ile teknolojiyi bir araya getirerek düşük hassasiyetli konum doğruluğu gerektiren projelerde ideal bir çözüm sunmaktadır. Cihaz Şekil 4.10 üzerinde gösterilmiştir (URL 27, 2025).



Şekil 4. 10 D10 tablet
(URL 27, 2025)

5. UYGULAMA

5.1. Giriş

Bu uygulamanın amacı, farklı mobil cihazların ve harici anten sistemlerinin konum doğruluğuna olan etkilerini incelemek ve GNSS tabanlı hassas konum belirleme süreçlerine yönelik rehberlik sağlamaktır. Çalışma sonuçları, özellikle arazi çalışmaları, haritalama ve mühendislik projeleri gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalardan ziyade coğrafi bilgi sistemleri, kadastro sınır ölçmeleri gibi yüksek hassasiyet gerektirmeyen işlemler için bir kaynak sunmayı hedeflemektedir.

Gelişen GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) teknolojileri ile hassas konum belirleme gereksinimleri daha hızlı, kolay ve doğru çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, farklı işletim sistemleri ile çalışan akıllı mobil cihazlar ve ekipman kombinasyonlarıyla konum verilerinin doğruluğu değerlendirilmiştir.

Çalışma sahası olarak belirlenen Ankara Şehir Hastanesi batısında bulunan yol hattına 10 adet nokta tesis edilmiş ve bu noktaların koordinatları profesyonel bir GNSS alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Bu koordinatlar, karşılaştırmalarda referans değer olarak kullanılmıştır.

Daha sonra, Apple iPhone 15 Pro, Xiaomi Mi 11 Lite 5G gibi farklı işletim sistemlerine sahip mobil cihazlarla (iOS ve Android) hiçbir harici anten kullanılmaksızın, cihazların kendi entegre GNSS çipleri ile noktalarda çok sayıda ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verileri referans koordinatlarla karşılaştırılarak mutlak konum hataları analiz edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, iOS işletim sistemine sahip Apple iPhone 15 Pro cihazla elde edilen koordinatların, birbirinden farklı konum değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu cihazla elde edilen ölçümler, referans koordinatlara göre incelendiğinde 30 cm ile 6 metre arasında değişen konum farkları tespit edilmiştir.

Benzer şekilde Android işletim sistemine sahip Xiaomi Mi 11 Lite 5G cihazla yapılan ölçümlerde ise, referans GNSS ölçümleriyle karşılaştırıldığında 1 metre ile 15 metre arasında değişen hata değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, Android cihazla yapılan ölçümlerde

bazı noktalarda konum atlamaları (jumping effect) gibi durumlar daha belirgin şekilde görülmüştür.

Bu bulgular, mobil cihazların entegre GNSS alıcılarıyla yapılan konumlamamanın doğruluk açısından profesyonel GNSS cihazlarına göre oldukça değişken ve düşük hassasiyetli olduğunu göstermektedir. Ayrıca işletim sistemine ve donanım kalitesine bağlı olarak ölçüm doğruluğunda önemli farklar ortaya çıkmaktadır.

Bu durum, cihazların kendi entegre GNSS çipleri ile yapılan ölçümlerde gerçek koordinat değerlerine yakın olmayan değerler elde ettiği ve farklı zamanlarda aynı noktadan yapılan ölçümlerin birbiriyle tutarsız değerler olduğu görülmektedir. Bu yüzden sonradan entegre edilebilen antenlerin bu cihazlarda kullanılamasıyla birlikte hata değerlerinin düşebileceği görülmüştür.

Çalışmada daha sonrasında Android cihaz, harici bir u-blox anten ile entegre edilerek veri toplama performansı incelenmiştir. Benzer şekilde, Apple cihaz üzerinde ViDoc RTK anten entegre edilerek konum bilgileri elde edilmiştir.

5.2. Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri

Çalışma kapsamında Android ve IOS işletim sistemli cihazlar ve antenler kullanılmıştır. Android işletim sistemli cihazlar için Xiaomi Mi 11 Lite 5G cep telefonu, D10 Rugged akıllı tablet ve Chc markasının LT700H ve LT800H modeli akıllı tabletleri kullanılmıştır. Android işletimli tablet ve telefonların işletim sistemleri ve özellikleri aynı olmasından dolayı iki modelde aynı işlemi yerine getirebilecek şekilde düşünülmüştür. IOS işletim sistemli cihazlar için Apple İpad pro tablet ve İphone 15 pro akıllı cep telefonu kullanılmıştır.

Anten olarak android işletim sistemli cihazlar için u-blox ve unicore anten ve IOS işletim sistemli cihazlar için ViDoc RTK anteni kullanılmıştır.

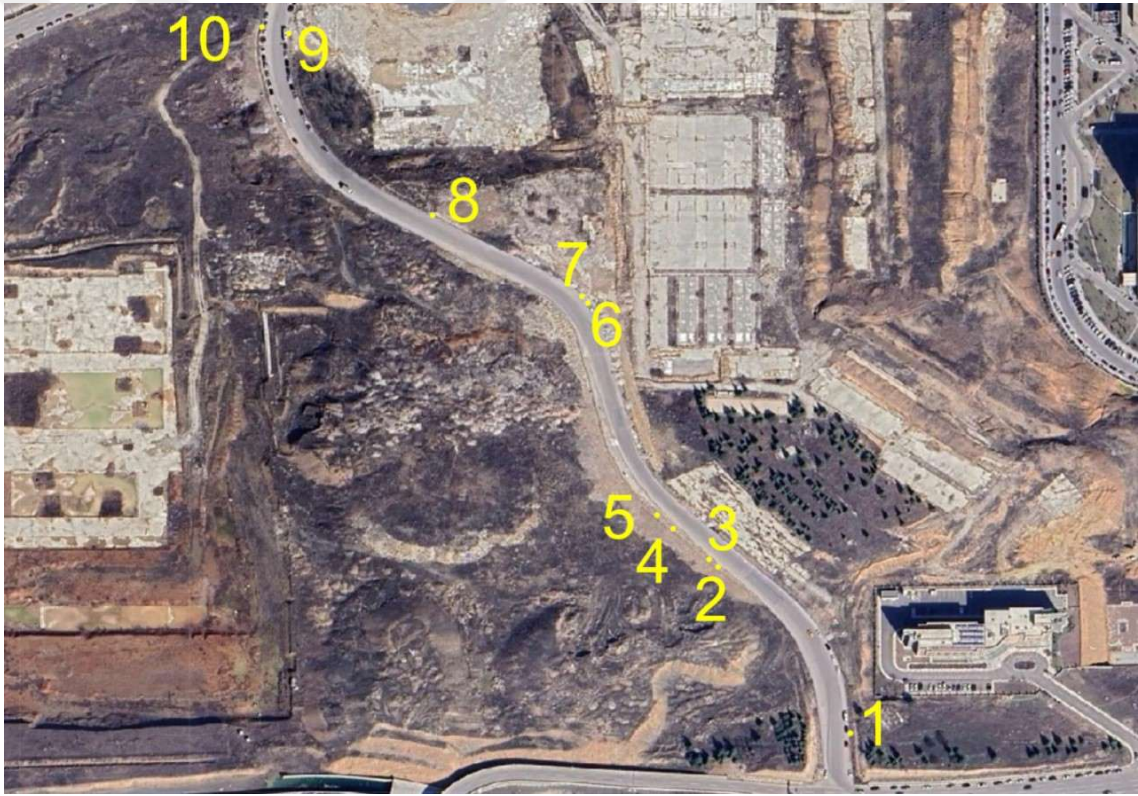
Referans olarak alınacak olan hassas koordinatların elde edilmesi için CHCNAV I80 serisi GNSS alıcısı kullanılmıştır.

5.3. Arazi Çalışması

Çalışma alanı olarak Ankara Şehir Hastanesi batısında bulunan 39,901° enlem 32,750 boylamı ile 39,895° enlem 32,753 boylamı arasında bulunan yol hattının kenarlarında olacak şekilde 10 adet nokta tesis edilmiştir. 1 numaralı ölçü noktası asfalt zemine boya

ile tesis edilmiş olup boyanın tam orta noktasına çivi ile işaret edilmiştir. Bu nokta diğer noktalardan farklı olarak zemin kotunda ve iki tepenin arasında kalacak şekilde bir konumda bulunmaktadır. Diğer noktalar için yol kotundan yaklaşık 1m yükseklikte beton üzerinde gömülü olarak bulunan demir borular kullanılmıştır. Demir borular boyanarak kaba yeri belli edilmiş olup boruların tam ortaları yapılacak ölçümlerin hatalı olmaması için çivi ile işaret edilmiştir. Şekil 5.1 üzerinde çalışma alanı ve ölçüm noktalarının konumları gösterilmiştir.

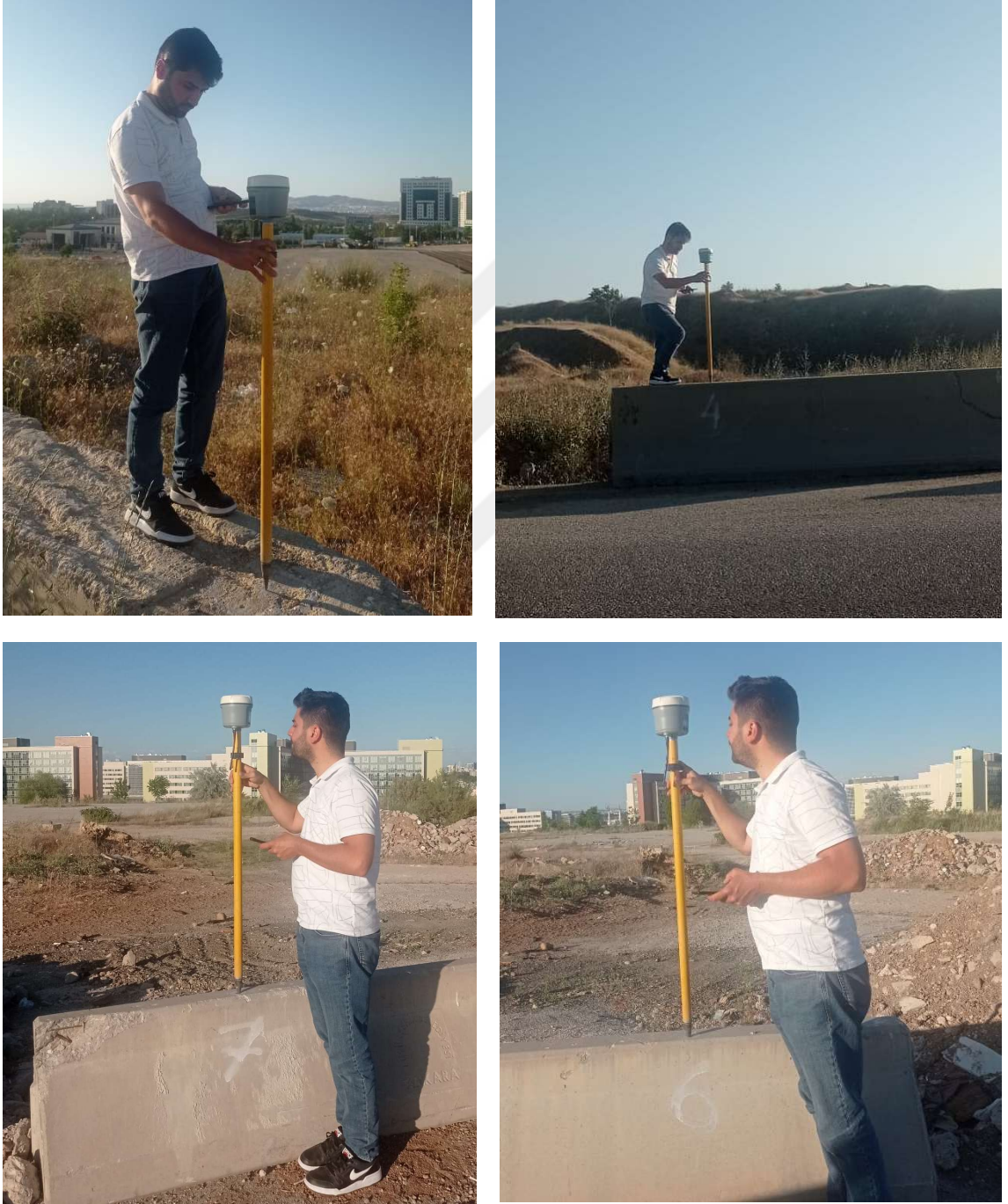
Çalışma kapsamında belirlenen ölçü noktalarının hassas koordinatları, CHCNAV markasının İ80 modeli olan çift frekanslı GNSS alıcısı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 1 Çalışma alanı ve ölçüm noktaları

Ölçümler sırasında, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif (TUSAGA-Aktif) sisteminden faydalanılmış; sistemden sağlanan gerçek zamanlı RTK düzeltmeleri aracılığıyla ölçümler yapılmıştır. Yapılan bu ölçümde ve uygulama içerisinde yapılacak bütün ölçümlerde koordinat sistemi ortak bir şekilde olacak şekilde ITRF96 (Uluslararası Dünya Referans Sistemi 1996) esas alınmış, çalışma bölgesi için geçerli olan 33 numaralı

meridyen dilimi kullanılmıştır. GNSS alıcısı ile yapılan ölçümlerde 1 metrelik GPS jalonu kullanılmış olup İ80 modeline uygun anten bilgisi alım öncesi el ünitesinden tanımlanmıştır. Çalışmadaki bütün noktalarda en az 5 epok olacak şekilde okumalar yapılmıştır. GNSS alıcısı ile farklı zamanlarda iki okuma yapılmıştır. Çalışma bölgesinde GNSS alıcısı ile yapılan alımlar Şekil 5.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. 2 Çalışma alanında yapılan alım işlemleri

Elde edilen koordinatların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu koordinatlar referans koordinat olarak kullanılmıştır. Kullanılacak referans noktaların koordinatları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 1 GNSS alıcısı ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri

GNSS ÖLÇÜLERİ KOORDİNATLARI			
Nokta Adı	X	Y	h
1	478867.677	4417969.349	928.5968
2	478799.369	4418081.507	935.1890
3	478794.692	4418086.609	935.2504
4	478776.163	4418107.378	935.1884
5	478767.787	4418116.625	935.1811
6	478732.379	4418259.389	934.2330
7	478729.266	4418264.000	934.1912
8	478651.977	4418318.827	932.2959
9	478577.781	4418441.468	921.4158
10	478563.879	4418445.818	921.6115

D10 Rugged tablet android işletim sistemli bir cihazdır. Entegre edilebilen U-blox anten sayesinde yüksek doğrulukta koordinat bilgileri elde edebilmektedir.

D10 Rugged tablete U-blox anten entegre edilerek yapılan ölçümlerde jalon kullanılmamış olup tableten anten bilgisi bölümünden “NONE” seçeneği seçilerek herhangi bir anten tanımı yapılmamıştır. Tabletten eni ile entegre edilen antenin orta noktasının uzunluğu ölçülerek bu ölçüler toplanmış olup 0.25 m anten yüksekliği bölümünde tanımlanmıştır. Çalışmadaki bütün noktalarda en az 5 epok olacak şekilde farklı zamanlarda en az iki okuma yapılmıştır. Ölçüm esnasında tabletin yeri, tablete entegre edilen antenin alt hizasında ölçüm noktası olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde D10 Rugged tablet ile yapılan alımlar Şekil 5.3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. 3 D10 Rugged tablet ile alım işlemleri

D10 Rugged tablet ile yapılan ölçümlerden elde edilen koordinatların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatlar ve D10 Rugged tablet ile elde edilen koordinatlar Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 2 D10 Rugged tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri

GNSS ÖLÇÜ KOORDİNATLARI				D10 TABLET ÖLÇÜ KOORDİNATLARI		
Nokta Adı	X	Y	Z	X	Y	Z
1	478867.677	4417969.349	928.5968	478867.685	4417969.324	928.6154
2	478799.369	4418081.507	935.189	478799.391	4418081.489	935.1867
3	478794.692	4418086.609	935.2504	478794.705	4418086.597	935.2717
4	478776.163	4418107.378	935.1884	478776.172	4418107.376	935.2033
5	478767.787	4418116.625	935.1811	478767.7757	4418116.614	935.189
6	478732.379	4418259.389	934.233	478732.378	4418259.377	934.283
7	478729.266	4418264.000	934.1912	478729.2713	4418263.994	934.2337
8	478651.977	4418318.827	932.2959	478651.9853	4418318.832	932.265
9	478577.781	4418441.468	921.4158	478577.7758	4418441.487	921.4495
10	478563.879	4418445.818	921.6115	478563.9005	4418445.825	921.641

D10 Rugged tablet ile elde edilen koordinatlardan GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatları çıkardığımızda koordinat farkları hesaplanmıştır. Hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri hesaplanmıştır.

2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri

- **2B fark vektörü** = $\sqrt{(X^2 + Y^2)}$
- **3B fark vektörü** = $\sqrt{(X^2 + Y^2 + h^2)}$

Formülleri ile hesaplanmıştır.

Hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri Tablo 5.3 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 3 D10 Rugged tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları

	D10 - GNSS FARKLARI			2B Fark Vektörü	3B Fark Vektörü
Nokta Adı	X	Y	Z		
1	0.008	-0.026	0.019	0.027	0.033
2	0.022	-0.018	-0.002	0.028	0.028
3	0.013	-0.012	0.021	0.018	0.027
4	0.009	-0.001	0.015	0.009	0.018
5	-0.011	-0.011	0.008	0.016	0.017
6	-0.001	-0.011	0.05	0.011	0.051
7	0.005	-0.006	0.042	0.008	0.043
8	0.008	0.004	-0.031	0.009	0.032
9	-0.005	0.019	0.034	0.02	0.039
10	0.021	0.007	0.029	0.022	0.036
ORTALAMA	0.01	0.012	0.025	0.0168	0.0324

Elde edilen veriler incelendiğinde, X ve Y yönlerinde farklar genellikle ± 2 cm sınırları içinde kalırken, h yönünde ± 5 cm'ye kadar farklar gözlenmiştir. h ekseninde daha yüksek farklar, GNSS sistemlerinin düşey bileşende yatay bileşenlere kıyasla daha düşük doğruluk sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ortalama 3B konum farkı yaklaşık olarak 4 cm olup, 2B fark ise yaklaşık 2.3 cm seviyesindedir. Bu da yatay doğruluğun düşey doğruluğa kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilen koordinat değerleri ile yapılan karşılaştırmada D10 tabletin GNSS alıcısına yakın koordinat değerlerini elde ettiği görülmektedir.

CHC LT700H akıllı tablet android işletimine sahip entegre edilebilen U-blox anten sayesinde yüksek doğrulukta koordinat bilgileri elde edebilmektedir. CHC LT700H tablete U-blox anten entegre edilerek yapılan ölçümlerde jalon kullanılmamış olup tabletten anten bilgisi bölümünden “NONE” seçeneği seçilerek herhangi bir anten tanımı yapılmamıştır. Tabletten boyu ölçülerek 0.24 cm, anten yüksekliği bölümünde tanımlanmıştır. Çalışmadaki bütün noktalarda en az 5 epok olacak şekilde farklı zamanlarda birden fazla okuma yapılmıştır. Ölçüm esnasında tabletin yeri, tablete entegre edilen antenin alt hizasında ölçüm noktası olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde CHC LT700H tablet ile yapılan alımlar Şekil 5.4 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. 4 CHC LT700H tablet ile alım işlemleri

CHC LT700H tablet ile yapılan ölçümlerden elde edilen koordinatların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatlar ve CHC LT700H tablet ile elde edilen koordinatlar Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 4 CHC LT700H tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri

GNSS ÖLÇÜ KOORDİNATLARI				LT 700H TABLET ÖLÇÜ KOORDİNATLARI		
Nokta Adı	X	Y	h	X	Y	h
1	478867.677	4417969.349	928.5968	478867.706	4417969.353	928.6440
2	478799.369	4418081.507	935.1890	478799.402	4418081.525	935.1925
3	478794.692	4418086.609	935.2504	478794.717	4418086.618	935.2780
4	478776.163	4418107.378	935.1884	478776.189	4418107.407	935.2160
5	478767.787	4418116.625	935.1811	478767.805	4418116.647	935.2030
6	478732.379	4418259.389	934.2330	478732.422	4418259.422	934.3058
7	478729.266	4418264.000	934.1912	478729.317	4418264.031	934.2570
8	478651.977	4418318.827	932.2959	478651.998	4418318.838	932.3030
9	478577.781	4418441.468	921.4158	478577.821	4418441.528	921.4667
10	478563.879	4418445.818	921.6115	478563.907	4418445.875	921.6440

CHC LT700H tablet ile elde edilen koordinatlardan GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatları çıkardığımızda hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri Tablo 5.5 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 5 CHC LT700H tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları

Nokta Adı	LT700H - GNSS FARKLARI			2B Fark Vektörü	3B Fark Vektörü
	X	Y	Z		
1	0.029	0.004	0.047	0.0293	0.0553
2	0.033	0.018	0.003	0.0376	0.0382
3	0.025	0.009	0.028	0.0266	0.0414
4	0.026	0.029	0.028	0.0388	0.0494
5	0.018	0.022	0.022	0.0284	0.0374
6	0.043	0.032	0.073	0.0536	0.0924
7	0.051	0.031	0.066	0.0597	0.0906
8	0.021	0.011	0.007	0.0237	0.0252
9	0.040	0.060	0.051	0.0721	0.0942
10	0.028	0.057	0.033	0.0636	0.0711
ORTALAMA	0.031	0.027	0.036	0.043	0.060

Elde edilen veriler incelendiğinde, X ve Y yönlerinde farklar genellikle ± 3 cm sınırları içinde kalırken, h yönünde ± 7 cm'ye kadar farklar gözlenmiştir. h eksenindeki bu daha

yüksek farklar, GNSS sistemlerinin düşey bileşende yatay bileşenlere kıyasla daha düşük doğruluk sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Ortalama 3B konum farkı yaklaşık olarak 6 cm, 2B fark ise yaklaşık 4.3 cm seviyesindedir. Bu durum, yatay doğruluğun düşey doğruluğa kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Elde edilen koordinat değerleri ile yapılan karşılaştırmada, LT700H tabletin GNSS alıcısının referans değerlere yakın sonuçlar ürettiği, dolayısıyla mobil CBS uygulamaları, temel arazi ölçmeleri ve orta hassasiyet gerektiren mühendislik çalışmalarında kullanılabilir nitelikte olduğu görülmektedir.

CHC LT800 akıllı tablet android işletimine sahip entegre edilebilen Unicore anten sayesinde yüksek doğrulukta koordinat bilgileri elde edebilmektedir. CHC LT800 tablete Unicore anten entegre edilerek yapılan ölçümlerde jalon kullanılmamış olup tabletten anten bilgisi bölümünden “NONE” seçeneği seçilerek herhangi bir anten tanımı yapılmamıştır. Tabletten boyu ölçülerek 0.22 cm, anten yüksekliği bölümünde tanımlanmıştır. Çalışmadaki bütün noktalarda en az 5 epok olacak şekilde farklı zamanlarda birden fazla okuma yapılmıştır. Ölçüm esnasında tabletin yeri, tablete entegre edilen antenin alt hizasında ölçüm noktası olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde CHC LT800 tablet ile yapılan alımlar Şekil 5.5 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. 5 CHC LT800 tablet ile alım işlemleri

CHC LT800 tablet ile yapılan ölçümlerden elde edilen koordinatların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatlar ve CHC LT800 tablet ile elde edilen koordinatlar Tablo 5.6 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 6 CHC LT800 tablet ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri

GNSS ÖLÇÜ KOORDİNATLARI				LT 700H TABLET ÖLÇÜ KOORDİNATLARI		
Nokta Adı	X	Y	Z	X	Y	Z
1	478867.677	4417969.349	928.5968	478867.700	4417969.373	928.5910
2	478799.369	4418081.507	935.1890	478799.386	4418081.525	935.1430
3	478794.692	4418086.609	935.2504	478794.705	4418086.624	935.2245
4	478776.163	4418107.378	935.1884	478776.182	4418107.412	935.1510
5	478767.787	4418116.625	935.1811	478767.787	4418116.652	935.1360
6	478732.379	4418259.389	934.2330	478732.428	4418259.43	934.2385
7	478729.266	4418264.000	934.1912	478729.302	4418264.044	934.1870
8	478651.977	4418318.827	932.2959	478651.997	4418318.859	932.2260
9	478577.781	4418441.468	921.4158	478577.817	4418441.525	921.4020
10	478563.879	4418445.818	921.6115	478563.895	4418445.845	921.5885

CHC LT800 tablet ile elde edilen koordinatlardan GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatları çıkardığımızda hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri Tablo 5.7 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 7 LT800 tablet ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları

Nokta Adı	LT800 - GNSS FARKLARI			2B Fark Vektörü	3B Fark Vektörü
	X	Y	Z		
1	0.023	0.024	-0.006	0.0332	0.0337
2	0.017	0.018	-0.046	0.0248	0.0521
3	0.013	0.014	-0.026	0.0191	0.0338
4	0.019	0.034	-0.037	0.0389	0.0573
5	0.000	0.027	-0.045	0.027	0.0523
6	0.048	0.041	0.005	0.0628	0.063
7	0.035	0.043	-0.004	0.0555	0.0557
8	0.019	0.032	-0.070	0.0372	0.0792
9	0.036	0.057	-0.014	0.0677	0.0701
10	0.016	0.026	-0.023	0.0304	0.041
ORTALAMA	0.023	0.032	-0.028	0.040	0.054

Elde edilen veriler incelendiğinde, X ve Y yönlerinde farklar genellikle ± 3 cm sınırları içerisinde kalırken, h yönünde ± 7 cm'ye kadar farklar gözlenmiştir. h eksenindeki bu daha yüksek farklar, GNSS sistemlerinin düşey bileşende yatay bileşenlere kıyasla daha düşük doğruluk sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Ortalama 3B konum farkı yaklaşık 5.3 cm, 2B fark ise yaklaşık 4 cm seviyesindedir. Bu da cihazın yatay doğruluğunun düşey doğruluğa kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Elde edilen koordinat değerleri ile yapılan karşılaştırmada, LT800 tabletin GNSS alıcısının, referans değerlere yakın sonuçlar üretebildiği LT700H modeline göre farklı anten tipi kullanılmasından dolayı biraz daha doğru sonuçlar elde edebildiği görülmektedir. Bu yönüyle hassasiyet seviyesi, elde edilen koordinat farkında olabilecek mühendislik çalışmaları için kullanılabilir nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

viDoc RTK anteni, akıllı tablet ve telefonlara entegre edilebilen yüksek doğrulukta koordinat bilgileri elde edilmesini sağlayan bir antendir. viDoc RTK anteni ile yapılan

ölçümlerde GPS jalonu kullanılmış olup tabletten anten bilgisi bölümünden “NONE” seçeneği seçilerek jalon boyu ile jalona takılan tabletin eni ölçülerek bu ölçüler toplanmış olup 1.44 m, anten yüksekliği bölümünde tanımlanmıştır. Çalışmadaki bütün noktalarda 5 epok olacak şekilde tek okuma yapılmıştır. Çalışma bölgesinde viDoc RTK anteni ile yapılan alımlar Şekil 5.6 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. 6 viDoc RTK anteni ile alım işlemleri

viDoc RTK anteni ile yapılan ölçümler ile koordinatlar elde edilmiştir. GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatlar ve viDoc RTK anteni ile elde edilen koordinatlar Tablo 5.8 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 8 viDoc RTK anteni ile yapılan ölçülerde elde edilen koordinat değerleri

Nokta Adı	GNSS ÖLÇÜ KOORDİNATLARI			viDoc RTK ANTENİ ÖLÇÜ KOORDİNATLARI		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	478867.677	4417969.349	928.5968	478867.699	4417969.336	928.4120
2	478799.369	4418081.507	935.1890	478799.382	4418081.476	934.9630
3	478794.692	4418086.609	935.2504	478794.673	4418086.579	935.0400
4	478776.163	4418107.378	935.1884	478776.145	4418107.366	934.9890
5	478767.787	4418116.625	935.1811	478767.756	4418116.581	934.9950
6	478732.379	4418259.389	934.2330	478732.342	4418259.386	934.0550
7	478729.266	4418264.000	934.1912	478729.220	4418264.001	934.0040
8	478651.977	4418318.827	932.2959	478652.027	4418318.809	932.0830
9	478577.781	4418441.468	921.4158	478577.775	4418441.523	921.2240
10	478563.879	4418445.818	921.6115	478563.913	4418445.768	921.3950

viDoc RTK anteni ile elde edilen koordinatlardan GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatları çıkardığımızda hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri Tablo 5.9 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 9 viDoc RTK anteni ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları

Nokta Adı	viDoc RTK - GNSS FARKLARI			2B Fark Vektörü	3B Fark Vektörü
	X	Y	Z		
1	0.022	-0.013	-0.185	0.0256	0.1868
2	0.013	-0.031	-0.226	0.0338	0.2287
3	-0.019	-0.030	-0.210	0.0355	0.2123
4	-0.018	-0.012	-0.199	0.0218	0.2
5	-0.031	-0.044	-0.186	0.0536	0.1937
6	-0.037	-0.003	-0.178	0.0371	0.181
7	-0.046	0.001	-0.187	0.046	0.1926
8	0.050	-0.018	-0.213	0.0532	0.22
9	-0.006	0.055	-0.192	0.0553	0.2
10	0.034	-0.050	-0.216	0.0609	0.2274
ORTALAMA	0.028	0.026	0.199	0.042	0.204

Elde edilen veriler incelendiğinde, X ve Y yönlerindeki konumsal farkların genellikle ± 4 –5 cm sınırları içerisinde kaldığı, h yönünde ise ± 22 cm'ye kadar farkların gözlemlendiği tespit

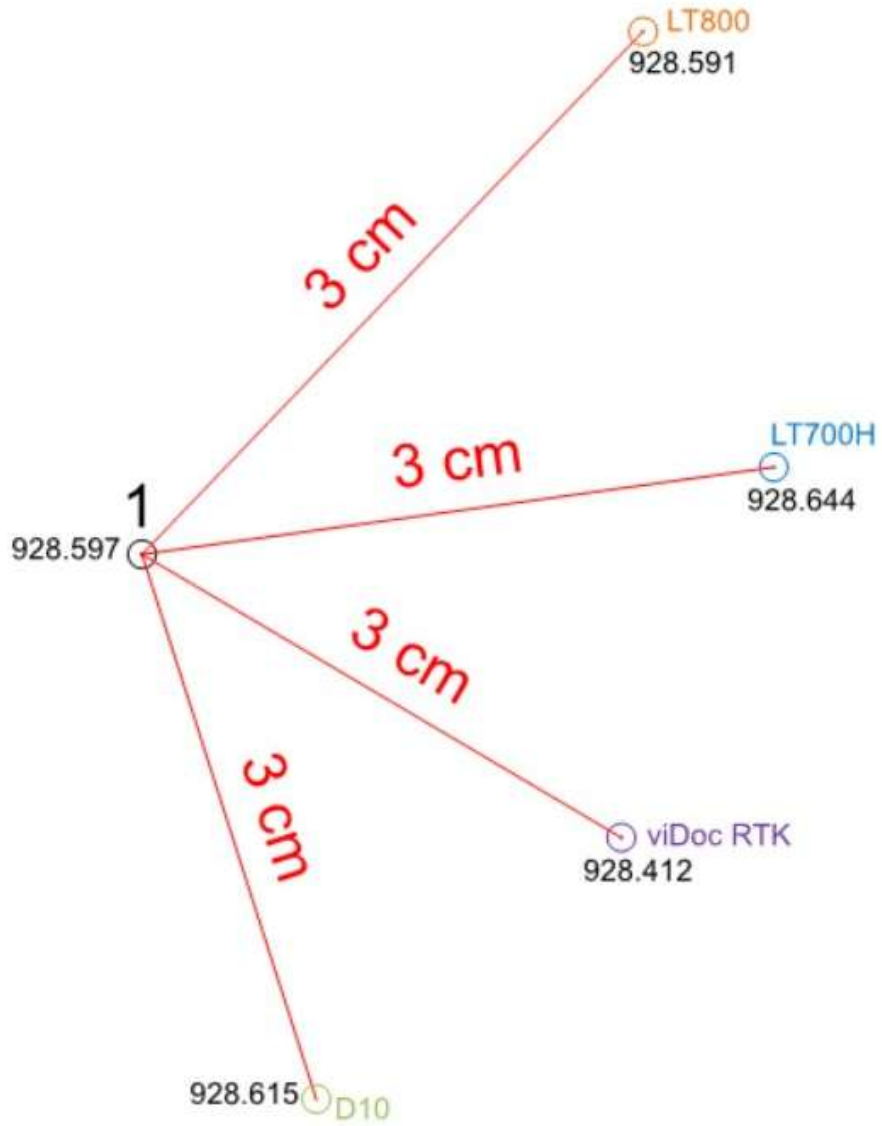
edilmiştir. h eksenindeki bu daha yüksek farklar, GNSS sistemlerinin düşey bileşende yatay bileşenlere kıyasla daha düşük doğruluk sağlamasından ve anten yüksekliğinin daha farklı bir şekilde tanımlanması gerektiğinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan hesaplamalara göre, ortalama 2B konum farkı yaklaşık 4.2 cm, 3B konum farkı ise yaklaşık 20.4 cm seviyesindedir. Bu durum, cihazın yatay konumlamada daha güvenilir sonuçlar ürettiğini; ancak düşey konumlamada belirgin bir hassasiyet kaybı yaşadığını ortaya koymaktadır.

Elde edilen koordinat değerleri ile yapılan karşılaştırma sonucunda, viDoc RTK alıcısının özellikle yatay düzlemde makul doğrulukta sonuçlar verdiği, ancak yüksek hassasiyet gerektiren düşey uygulamalarda dikkatli kullanılmasının gerektiği görülmektedir. Bu yönüyle viDoc RTK cihazı, mobil CBS uygulamaları, bina içi dijital ikiz oluşturma, mimari modelleme ve saha envanterleme gibi alanlarda pratik ve yeterli doğruluk sağlayan bir çözüm sunmaktadır.

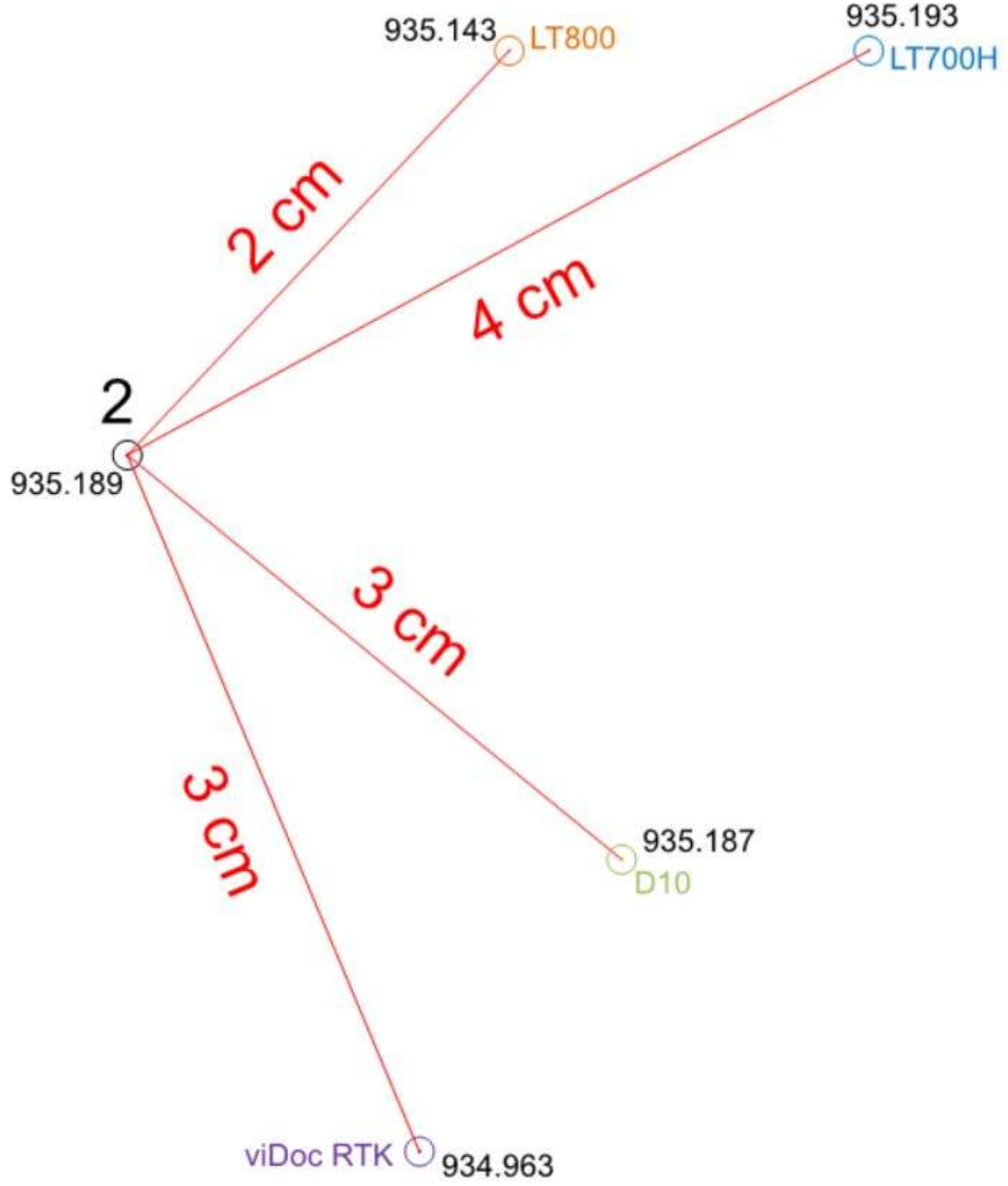
5.4. Ölçü Farkları

Yapılan bu çalışmada, mobil cihazlarda yer alan GNSS tabanlı konum belirleme teknolojilerinin doğruluk düzeyi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, çalışma alanında belirlenen 10 adet ölçü noktası, öncelikle yüksek hassasiyetli GNSS alıcısı kullanılarak ölçülmüş ve referans koordinatlar elde edilmiştir. Daha sonra aynı noktalar sırasıyla D10 tablet, CHC LT700H tablet, CHC LT800 tablet ve viDoc RTK destekli anten ile tekrar ölçülmüştür. Böylece, her cihaz için referans değerlere göre X, Y ve h yönlerinde ortaya çıkan konumsal farklar hesaplanmıştır. Ölçülerin 2 boyutlu çizim ekranı üzerindeki görünümü her nokta için ayrı ayrı şekiller ile gösterilmiştir.



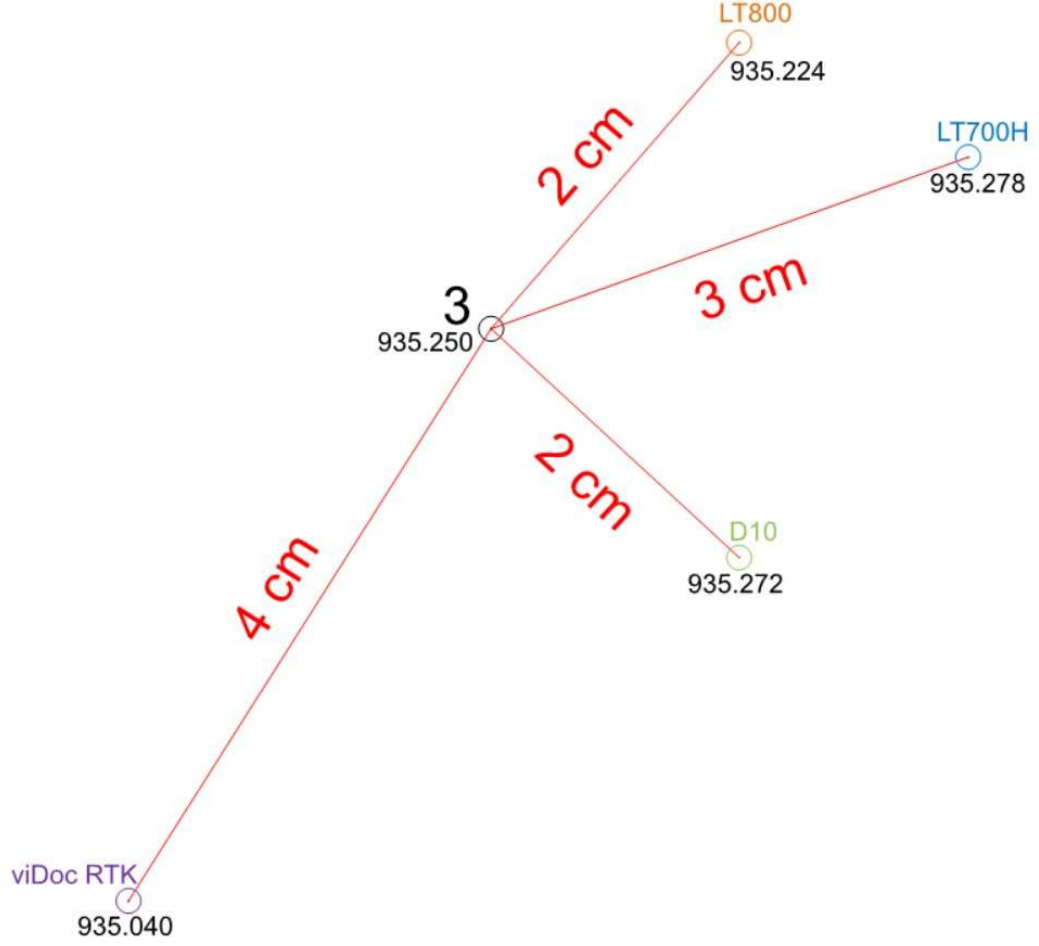
Şekil 5. 7 1 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

1 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde bütün cihazların aynı hata miktarını verdiği görülmüştür. h değerlerinde her cihaz için farklı bir hata değeri görülürken h değerlerinde en yakın ölçüm CHC LT 800 tableti ile yapılmışken en uzak ölçüm ise 18 cm farkla viDoc RTK anteni ile yapılmıştır.



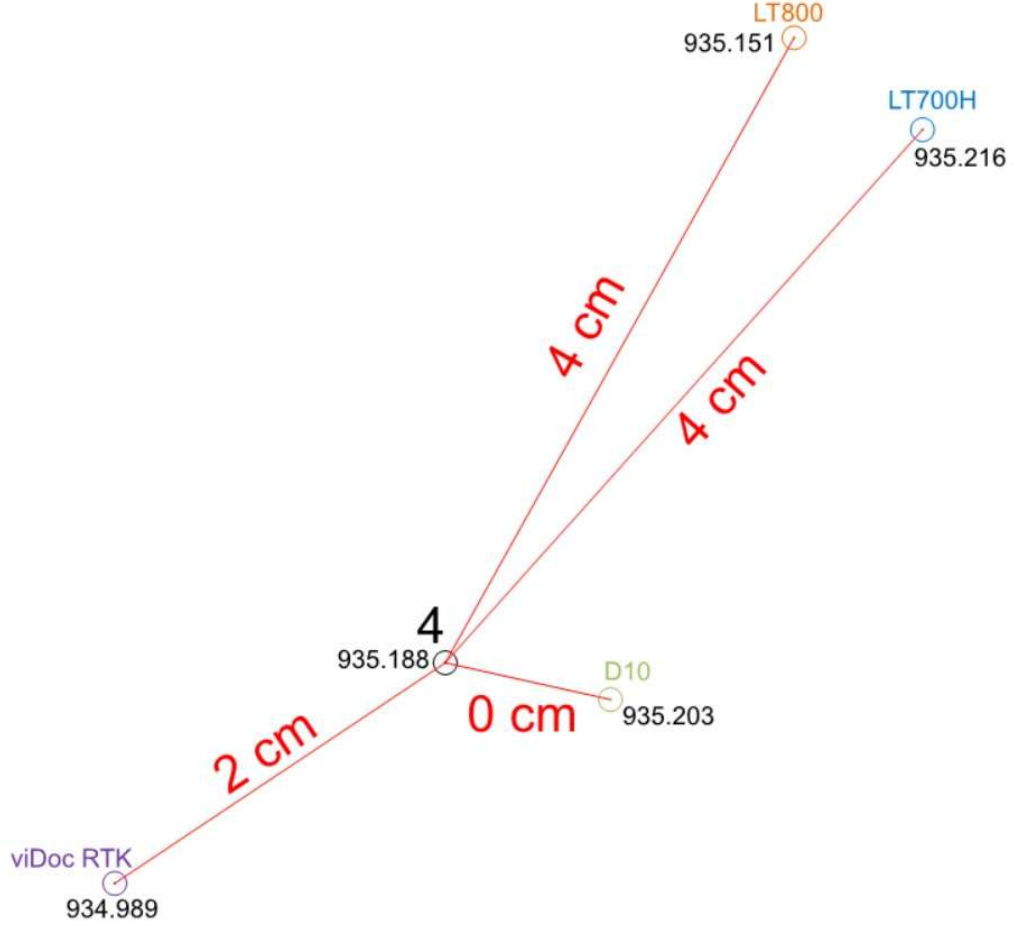
Şekil 5. 8 2 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

2 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde CHC LT 800 tabletin 2 cm hata ile bu nokta için en iyi hata miktarını verdiği ve CHC LT 700H tabletin gerçek noktaya en uzak ölçüm yaptığı görülmüştür. h değerlerinde her cihaz için farklı bir hata değeri görülürken h değerlerinde büyük bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.



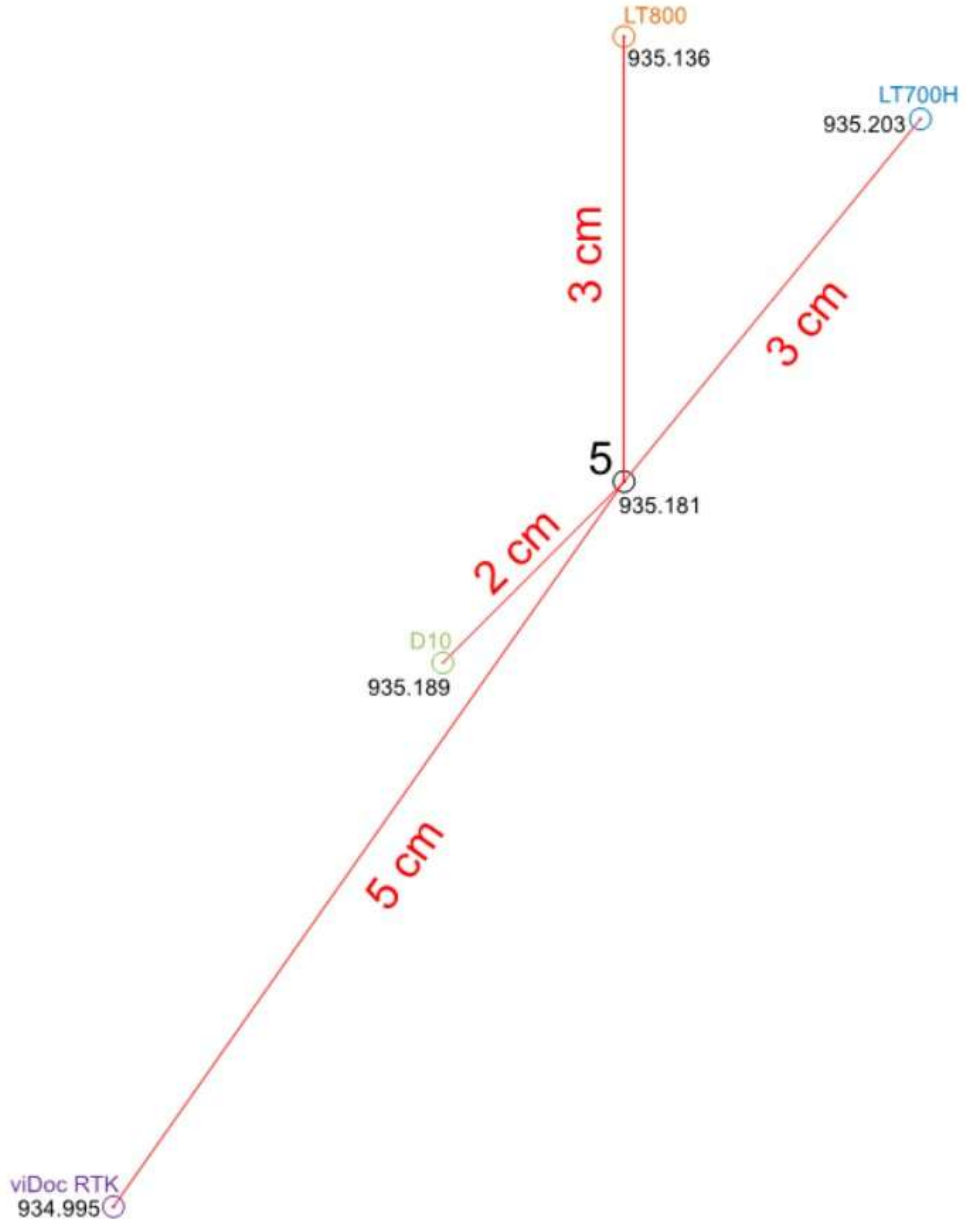
Şekil 5. 9 3 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

3 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde viDoc RTK anteni dışındaki cihazlarda maximum 3 cm fark olduğu görülmektedir. Cihazlarla ölçülen birbrinden farklı h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir. viDoc RTK anteni ile yapılan ölçümlerden elde edilen h değerlerinin farklı çıkması anten bilgilerinin doğru tanımlanamamasından olduğu düşünülmektedir.



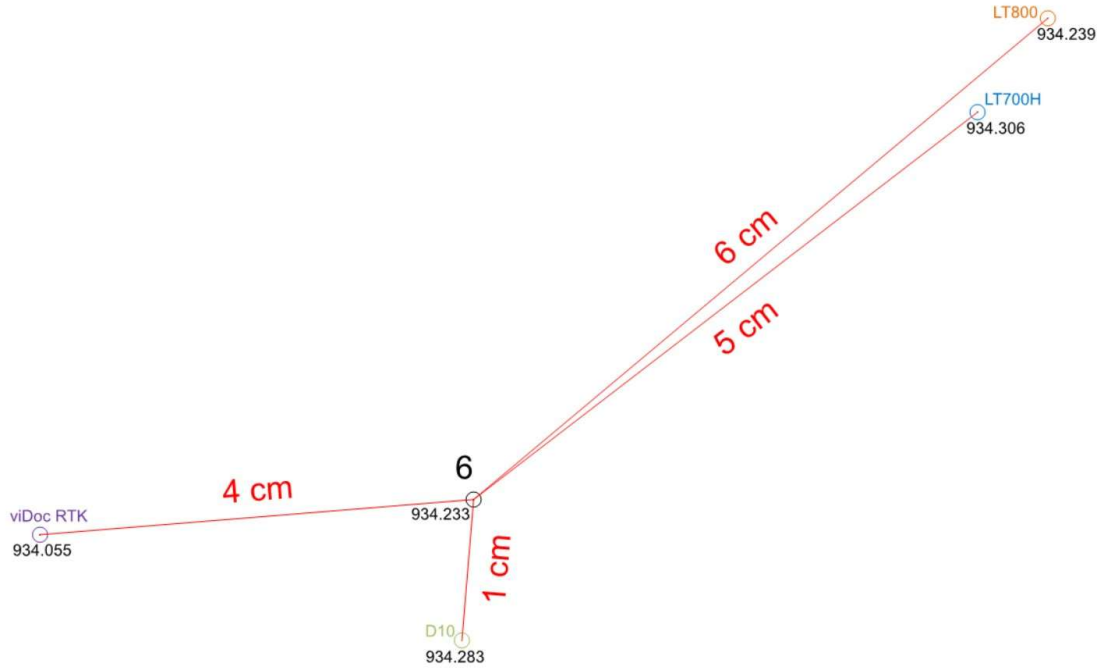
Şekil 5. 10 4 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

4 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde CHC Marka cihazlarında 4 cm fark, viDoc RTK anteninde ise 2 cm fark ortaya çıktığı görülmektedir. D10 tablet ile yapılan ölçülerde GNSS alıcısına çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir.

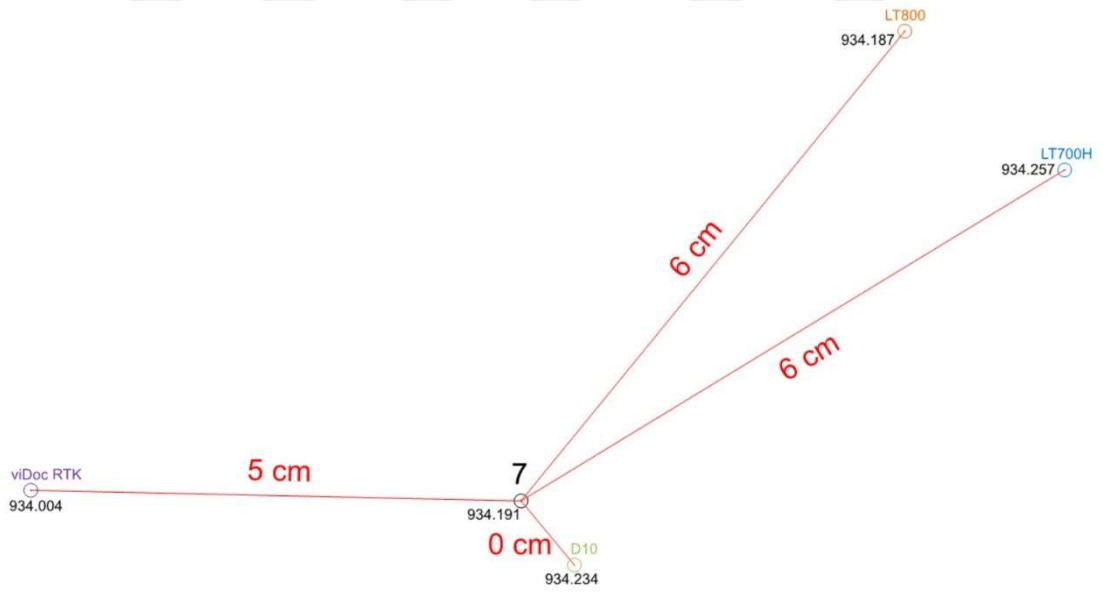


Şekil 5. 11 5 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

5 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde viDoc RTK anteninde 5 cm diğer cihazlarda ise maxiumum 3 cm fark, ortaya çıktığı görülmektedir. h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir.

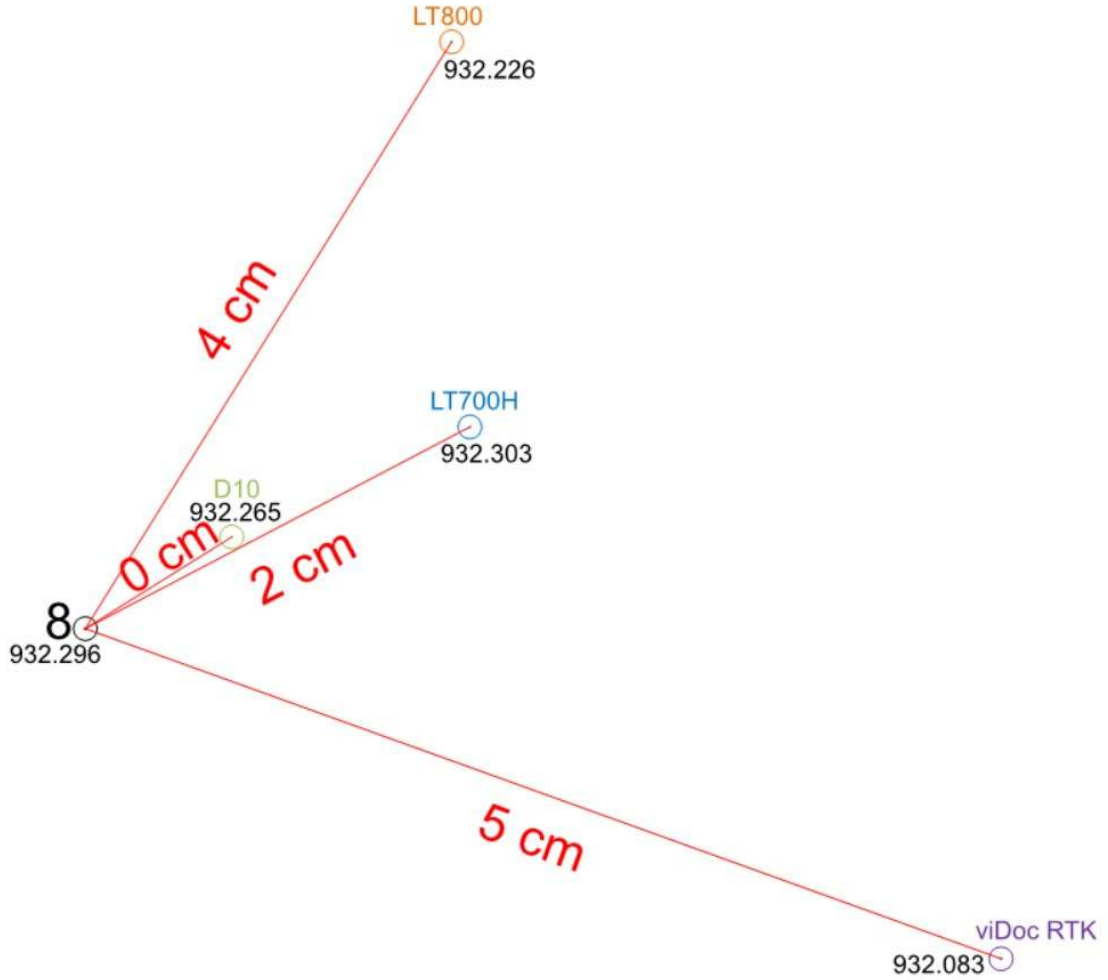


Şekil 5. 13 6 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi



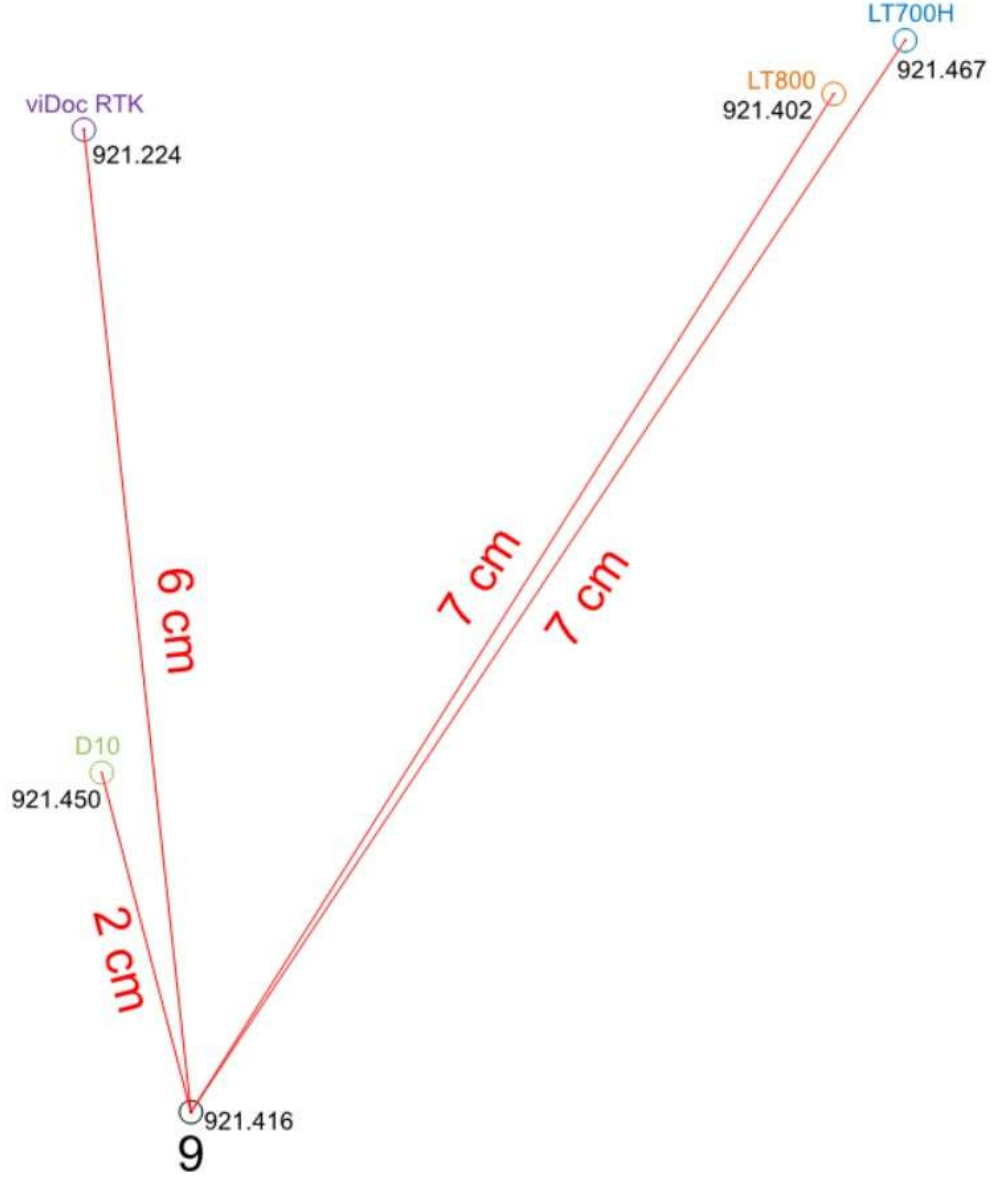
Şekil 5. 12 7 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

5, 6 ve 7 noktalarında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde hataları aynı yönde olduğu gözlenmiştir. viDoc RTK anteninde maximum 5 cm diğer cihazlarda ise maximum 6 cm fark, ortaya çıktığı görülmektedir. Z değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir.



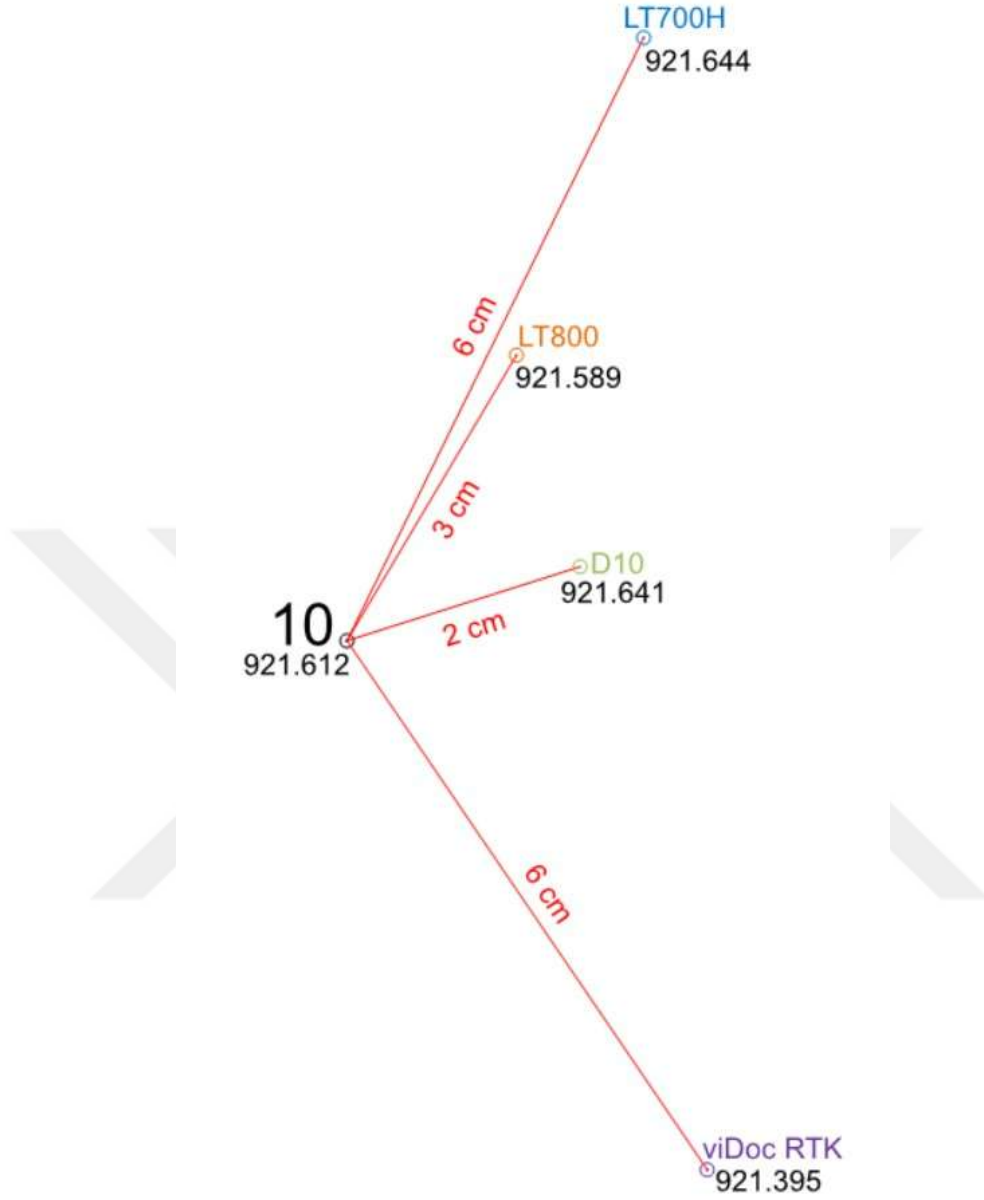
Şekil 5. 14 8 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

8noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde CHC Marka cihazlarda maximum 4 cm fark, viDoc RTK anteninde ise 5 cm fark ortaya çıktığı görülmektedir. D10 tablet ile yapılan ölçülerde GNSS alıcısına çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir.



Şekil 5. 15 9 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

9 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde CHC Marka cihazlarda 7 cm fark, viDoc RTK anteninde ise 6 cm fark ortaya çıktığı görülmektedir. D10 tablet ile yapılan ölçülerde GNSS alıcısına 2 cm gibi yakın değer elde edildiği görülmektedir. h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir.



Şekil 5. 16 10 noktasında yapılan bütün ölçümlerin çizimi

10 noktasında farklı cihazlarla yapılan ölçümlerde X ve Y yönünde CHC Marka cihazlarda maximum 6 cm fark, viDoc RTK anteninde ise yine 6 cm fark ortaya çıktığı görülmektedir. D10 tablet ile yapılan ölçülerde GNSS alıcısına 2 cm gibi yakın değer elde edildiği görülmektedir. h değerleri viDoc RTK anteni dışında GNSS alıcısıyla ölçülerek referans alınan h değerine yakın değerlerdir. Ölçümü yapılan cihazlar ile elde edilen koordinatlardan GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatları çıkardığımızda hesaplanan koordinat fark değerleri ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu fark vektörleri bir arada olacak şekilde Tablo 5.10 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 10 Ölçüm yapılan cihazlar ile GNSS alıcısı ölçü koordinat farkları

Nokta Adı	D10 TABLET			2B Fark	3B Fark	X(cm)	Y(cm)	h(cm)	2B Fark	3B Fark	X(cm)	Y(cm)	h(cm)	2B Fark	3B Fark	X(cm)	Y(cm)	h(cm)	2B Fark	3B Fark	X(cm)	Y(cm)	h(cm)	2B Fark	3B Fark
	X(cm)	Y(cm)	h(cm)	(cm)	(cm)				(cm)	(cm)				(cm)	(cm)				(cm)	(cm)				(cm)	(cm)
1	0.8	-2.6	1.9	2.7	3.3	2.9	0.4	4.7	2.93	5.53	2.3	2.4	-0.6	3.32	3.37	2.2	-1.3	-18.5	2.56	18.68	2.2	-1.3	-18.5	2.56	18.68
2	2.2	-1.8	-0.2	2.8	2.8	3.3	1.8	0.3	3.76	3.82	1.7	1.8	-4.6	2.48	5.21	1.3	-3.1	-22.6	3.38	22.87	1.3	-3.1	-22.6	3.38	22.87
3	1.3	-1.2	2.1	1.8	2.7	2.5	0.9	2.8	2.66	4.14	1.3	1.4	-2.6	1.91	3.38	-1.9	-3	-21	3.55	21.23	-1.9	-3	-21	3.55	21.23
4	0.9	-0.1	1.5	0.9	1.8	2.6	2.9	2.8	3.88	4.94	1.9	3.4	-3.7	3.89	5.73	-1.8	-1.2	-19.9	2.18	20	-1.8	-1.2	-19.9	2.18	20
5	-1.1	-1.1	0.8	1.6	1.7	1.8	2.2	2.2	2.84	3.74	0	2.7	-4.5	2.7	5.23	-3.1	-4.4	-18.6	5.36	19.37	-3.1	-4.4	-18.6	5.36	19.37
6	-0.1	-1.1	5	1.1	5.1	4.3	3.2	7.3	5.36	9.24	4.8	4.1	0.5	6.28	6.3	-3.7	-0.3	-17.8	3.71	18.1	-3.7	-0.3	-17.8	3.71	18.1
7	0.5	-0.6	4.2	0.8	4.3	5.1	3.1	6.6	5.97	9.06	3.5	4.3	-0.4	5.55	5.57	-4.6	0.1	-18.7	4.6	19.26	-4.6	0.1	-18.7	4.6	19.26
8	0.8	0.4	-3.1	0.9	3.2	2.1	1.1	0.7	2.37	2.52	1.9	3.2	-7	3.72	7.92	5	-1.8	-21.3	5.32	22	5	-1.8	-21.3	5.32	22
9	-0.5	1.9	3.4	2	3.9	4	6	5.1	7.21	9.42	3.6	5.7	-1.4	6.77	7.01	-0.6	5.5	-19.2	5.53	20	-0.6	5.5	-19.2	5.53	20
10	2.1	0.7	2.9	2.2	3.6	2.8	5.7	3.3	6.36	7.11	1.6	2.6	-2.3	3.04	4.1	3.4	-5	-21.6	6.09	22.74	3.4	-5	-21.6	6.09	22.74
ORTALAMA	1	1.2	2.5	1.68	3.24	3.1	2.7	3.6	4.3	6	2.3	3.2	-2.8	4	5.4	2.8	2.6	19.9	4.2	20.4	2.8	2.6	19.9	4.2	20.4

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüksek hassasiyetli GNSS alıcılarının kullanılan akıllı cihazlardan farklı model cihazlarla kıyaslayabilmek amacıyla, öncelikle 10 adet sabit nokta üzerinde hassas GNSS alıcısı ile referans koordinatlar elde edilmiştir. Daha sonra aynı noktalar sırasıyla D10 Rugged Tablet, CHC LT700H Tablet, CHC LT800 Tablet ve viDoc RTK Anteni kullanılarak yeniden ölçülmüş ve her cihazın GNSS alıcısına göre oluşturduğu konum farkları detaylı şekilde analiz edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca başlıca Android ve IOS işletim sistemine sahip mobil akıllı cihazlarda antensiz ve düzeltme alınmadan yapılan ölçümler ile anten entegre edilerek ve CORS-TR (TUSAGA-Aktif) sistemiyle yapılan ölçümler, Ticari GNSS alıcılarıyla CORS-TR (TUSAGA-Aktif) sistemiyle yapılan hassas ölçümlere göre incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, mobil cihazların GNSS tabanlı ölçümlerdeki performansını analiz etmek ve anten entegrasyonunun doğruluğa olan etkisini değerlendirmektir.

Cihazlarda yapılan ölçümler sonucunda, anten kullanılmadan yapılan ölçümlerde her yeni ölçümde farklı koordinat değerleri elde edilmiştir. Hata değerlerinin metreler düzeyinde olduğu ve tutarsız değerler olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, anten entegre edilerek yapılan ölçümlerde hata değerlerinin santimetre seviyesine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Antenli ölçümlerde hata değerinin düşmesi, entegre edilen antenlerin uydu sinyallerini daha güçlü ve kararlı bir şekilde toplaması ve aynı zamanda CORS-TR (TUSAGA-Aktif) sisteminden gelen düzeltmelerinin alınmasından kaynaklanmaktadır.

Anten entegre edilen cihazların daha düşük hata değerleri sağladığı, ancak yine de GNSS alıcılarına kıyasla hassasiyetin sınırlı olduğu görülmüştür.

Anten entegre edilen mobil cihazların deformasyon ölçümleri gibi yüksek hassasiyet gerektiren alanlarda, örneğin baraj gövdesi hareketlerinin izlenmesi, tarihi yapıların stabilite analizleri, hassas altyapı izleme çalışmaları veya jeodinamik deformasyon ölçümlerinde kullanılması önerilmemektedir. Bununla birlikte, bu cihazların santimetre düzeyinde doğruluk gerektiren birçok farklı alanda etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Bu alanlar arasında; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamaları, arazi kullanım planlaması, tarım arazisi izleme, taşınmaz sınırlarının belirlenmesi, orman sınırlarının güncellenmesi, kırsal ve kentsel planlama projeleri, hafriyat takip çalışmaları ve çeşitli çevresel izleme projeleri yer almaktadır.

Sonuç olarak, mobil cihazların GNSS ölçümleri, anten entegrasyonu ve CORS-TR düzeltmeleri ile birlikte kullanıldığında, hata değerlerini metrelerden santimetrelere kadar düşürebilmekte ve GNSS alıcıları ile yapılan ölçümlere yakın sonuçlar verebilmektedir. Hata değerlerinin belirli koşullarda artabileceği göz önünde bulundurulmalı ve proje gereksinimlerine uygun bir şekilde değerlendirilmelidir. Mobil cihazların düşük maliyeti, taşınabilirliği ve kullanım kolaylığı, maliyet etkin çözümler sunduğu için geniş bir kullanım alanına sahip olabilir ve özellikle yüksek doğruluk gerektiren çalışmalar dışında birçok mühendislik ve arazi ölçümü uygulamasında değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

- Aggrey, J., Bisnath, S., Naciri, N., Shinghal, G., & Yang, S. (2019). Use of PPP processing for next-generation smartphone GNSS chips: key benefits and challenges. Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019), 3862-3878.
- Akar, A. U., 2021. GNSS Gözlemlerindeki Troposferik Gecikmenin Destek Vektör Makineleri Algoritması ile Kestirimi. (Y. Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Akkamış, M. ve Çalışkan, S., 2019. Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemlerinin Hassas Sulama Uygulamalarında Kullanılabilirliği. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 Nisan, 2019, Erciyes Ün. Kayseri.
- Aktaş, O. (2019). Radomlu, dairesel polarizasyonlu L1 bant GPS VE GNSS anteni tasarımı (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arslanoğlu, M, Mekik, Ç., (2003). Gerçek zamanlı kinematik GPS konumlarının duyarlık analizi ve bir örnek uygulama, 9. Harita Kurultayı, Ankara,
- Bahadur, B. (2022). A study on the real-time code-based GNSS positioning with Android smartphones. Measurement, 194, 111078.
- Balanis, C. A. (2013). Antenna theory (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Balanis, C. A. (2016). Antenna theory: Analysis and design (4th ed., pp. 4–7). John Wiley & Sons.
- Banville, S., & Van Diggelen, F. (2016). Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones. GPS world, 27(11), 43-48
- Başar, K. O. C. A., & CEYLAN, A. (2018). Uydu konum belirleme sistemlerindeki (GNSS) güncel durum ve son gelişmeler. Geomatik, 3(1), 63-73.
- Bilgiç, H. T. (2011). GPS donanımlı telefonlara yönelik konumlandırma sistemi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Brinks, E. (2016, July 11). China opens the aperture to the cosmos. The Conversation. U.S. News & World Report. <https://theconversation.com>
- Caneren, G. Ü. L., Doğan, A. H., & Öcalan, T. (2021). Akıllı mobil telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemleri ile PPP konum belirleme performansının araştırılması. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 8(2), 120-130.
- Cansız, Y., (2013). Ağ-RTK Uygulamalarında Uydu Yükseklik Açısı ve Epok Sayısının Konum Duyarlılığına Etkisi. (Y. Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çalışkan, A. (2014). Geniş bantlı TEM ve ridged horn anten dizisi tasarımı (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çayan, A. M., & Başbuğ, S. (2022). Yüksek kazançlı ve küçük ebatlı U-yuvalı yama anten tasarımı (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
- Fang, D. G. (2010). Antenna theory and microstrip antennas. CRC Press.
- Deveci, B., (2006). Kadastral Ölçmelerde Gerçek Zamanlı GPS (RTK GPS) Yöntemi ile Elektronik Ölçme Yönteminin Karşılaştırılması. (Y.Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Geterud, E. G. (2012). Design and optimization of wideband hat-fed reflector antenna with radome for satellite earth station (Lisans tezi, Chalmers University of Technology, Department of Signals and Systems).
- Erdemir, S., (2013). Üç Bantlı Modern GPS Anteni Analizi ve Tasarımı. (Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara.
- Eren, K., & Uzel, T. (1995). GPS ölçmeleri (s. 75). YTÜ Matbaası.
- European Space Agency (ESA), & GMV. (2011). GPS performances. Retrieved April 4, 2024, from https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Performances
- Gao, S., Luo, Q., & Zhu, F. (2014). Circularly polarized antennas. Wiley.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., & Ittipiboon, A. (2001). Microstrip antenna design handbook. Artech House.
- Gökalp, E., & Güngör, O. (1999). GPS'in kent bilgi sistemi uygulamalarında yeri ve önemi. In Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Sempozyumu (s. 311). Trabzon, Türkiye.
- Gündoğan, T. (2023). Gahleo Uydu Sisteminin Nokta Konumlamaya Etkisi (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- Gümüş, K., (2016). Kalibrasyon Bazında Farklı Yöntemlerin Mesafe Ölçme Hassasiyetlerinin Karşılaştırılması. Niğde Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5 (2), 105-116.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Clins, J.,(2001). "Global Positioning System Theory and Practise", Fifty Revise Edition, Springer, New York.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., (2008). GNSS–Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, Springer Science & Business Media, New York.
- International GNSS Service (IGS). (2021). IGS technical report 2021. Retrieved April 7, 2024, from <https://igs.org/news/igs-technical-report-2021/>
- International GNSS Service (IGS). (n.d.). Products. Retrieved April 7, 2024, from <https://igs.org/products/>
- İnal, C., Gündüz, A. M. ve Bülbül, S., (2014). Klasik RTK ve Ağ RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2 (2), 19-30.
- James, J. R., & Hall, P. S. (1989). Handbook of microstrip antennas (Vol. 2). Peter Peregrinus Ltd.
- Kahveci, M., (2009). Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri. HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1 (100), 13-20.
- Kahveci, M., Dalbay, Ö. ve Oktay, N., (2011b). Uydularla Konum Belirleme Sistemleri ve Türkiye Açısından Önemi. SAREM Stratejik Araştırmalar Dergisi, 9 (17), 157-186.
- Kahveci, M., Karagöz, H. ve Selbesoğlu, M. O., (2011a). Statik ve RTK GNSS Ölçü ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması. HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1 (104), 3-13.
- Kahveci, M., & KIRTIL, S. (2022). GNSS ile Konum Belirlemede Farklı Troposferik Modellerin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 24(71), 475-486.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2001), "Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama",

- Nobel Yayın Dağıtım, Ankara. Kalaycı, İ., 2003. GPS Destekli Detay Alımında Yeni Bir Teknik (GPSSİT)'in Uygulanabilirliğinin Araştırılması. (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. (2012). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori-Uygulama, Nobel Yayıncılık, 225 s., Ankara.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2018). Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori-Uygulama. Nobel Yayın Dağıtım, 10. Basım, 264 s, Ankara.
- Karadağ, L., (2019). GPS'in Genel Esasları. <https://docplayer.biz.tr/105814686-GPS-in-genel-esaslari.html> (05.04.2024).
- Karataş, F., (2023). Kadastro Çalışmalarında İHA, GNSS ve Klasik Ölçülerin Karşılaştırılması. (Y. Lisans Tezi), Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat.
- Kulikov, R., Chugunov, A., & Zamolodchikov, V. (2019). Investigation of collision warning possibilities by means of GNSS receivers of Android smartphones. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 695, No. 1, 12013.
- Elmezayen, A., & El-Rabbany, A. (2019). Precise point positioning using world's first dual-frequency GPS/GALILEO smartphone. Sensors, 19(11), 2593.
- Kurt, M., (1997). Diferansiyel GPS (DGPS) (Master's thesis), Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Li, B., Miao, W., Chen, G. E., & Li, Z. (2022). Ambiguity resolution for smartphone GNSS precise positioning: effect factors and performance. Journal of Geodesy, 96(9), 63.
- Li, X., Wang, H., Li, X., Li, L., Lv, H., Shen, Z., ... & Gou, H. (2022). PPP rapid ambiguity resolution using Android GNSS raw measurements with a low-cost helical antenna. Journal of Geodesy, 96(10), 65.
- Li, Y., & Cai, C. (2022). A mixed single-and dual-frequency quad-constellation GNSS precise point positioning approach on Xiaomi Mi8 smartphones. The Journal of Navigation, 75(4), 849-863.
- Li, Y., Cai, C., & Xu, Z. (2022). A Combined Elevation Angle and C/N0 Weighting Method for GNSS PPP on Xiaomi MI8 Smartphones. Sensors, 22(7), 2804.
- Mahato, S., Dutta, D., Roy, M., Santra, A., Dan, S., & Bose, A. (2023). Common Android Smartphones and Apps for Cost-Efficient GNSS Data Collection: An Overview. IETE Journal of Research, 70(2), 1871–1884.
- Miao, W., Li, B., & Gao, Y. (2022). The superiority of multi-GNSS L5/E5a/B2a frequency signals in smartphones: stochastic modeling, ambiguity resolution, and RTK positioning. IEEE Internet of Things Journal, 10(8), 7315-7326.
- Mutlu, İ., (2019). GNSS Uydu Dağılımının Statik GNSS Ölçülerinde ve Gerçek Zamanlı Konum Belirlemedeki Önemi. (Y.Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- NovAtel. (2015). An introduction to GNSS (2nd ed.). NovAtel Inc.
- Öcalan, T., (2020). Ölçme Bilgisi 3 (GPS ile Konum Belirlemede Temel İlkeler) Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 s, İstanbul.
- Öcalan, T., & Soykan, M. (2011). GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, (104.2), 123-133.

- Pathak, V., Thornwall, S., Krier, M., Rowson, S., Poilasne, G., & Desclos, L. (2003). Mobile handset system performance comparison of a linearly polarized GPS internal antenna with a circularly polarized antenna. IEEE antennas and propagation society international symposium. Digest. Held in conjunction with: USNC/CNC/URSI North American Radio Sci. Meeting Vol. 3, 666-669
- Pırtı, A., Örs Gündoğan, Z. ve Şimşek, M., (2022). QZSS Uyduları ve Sinyal Yapıları. Geomatik Dergisi, 7 (3), 243-252.
- Pırtı, A., Hoşbaş, R. G., Şenel, B., Köroğlu, M. ve Bilim, S., (2021). Galileo Uydu Sistemi ve Sinyal Yapısı. Geomatik Dergisi, 6 (3), 207-216.
- Pozar, D.M. (2005). Microwave Engineering, John Wiley & Sons, 691 s., USA.
- Rizos, C., (1999), "Satellite Navigation and Positioning Group (SNAP): Principles and Practice of GPS surveying".
- Robustelli, U., Baiocchi, V., & Pugliano, G. (2019). Assessment of dual frequency GNSS observations from a Xiaomi Mi 8 Android smartphone and positioning performance analysis. Electronics, 8(1), 91.
- Sevgi, L. (2005). EMC ve Antenler: I – Tanımlar, Endüstriyel & Otomasyon, İstanbul.
- Siddakatte, R., Broumandan, A., & Lachapelle, G. (2017, November). Performance evaluation of smartphone GNSS measurements with different antenna configurations. In Proceedings of the international navigation conference.
- Soylu, Y. (2023). Çeşitli bantlarda minyatürize tel anten tasarımı, üretimi ve karakterizasyonu (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tiryakioğlu, İ., Güllü, M., Baybura, T. ve Erdoğan, S., (2005). GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım, 2005, İTÜ-İstanbul.
- Tut, İ., (2009). Hızlı Statik GPS Çözümlerinin Güvenirliği. (Y. Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Van Sickle, J., (2008). GPS for land surveyors, Third Edition, Crc Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Yaprak, S., (1998). GPS ve GPS'in Detay Alımlarında Kullanılması. (Y. Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yaprak, S., (2021). GNSS Yayınlanmamış Ders Notları. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği, 115 s, Tokat.
- Yi, D., Yang, S., & Bisnath, S. (2022). Native smartphone single-and dual-frequency GNSS-PPP/IMU solution in real-world driving scenarios. Remote Sensing, 14(14), 3286.
- Yi, H., & Boyle, K. (2008). Antennas from theory to practice (1st ed.). Wiley-Interscience.
- YİĞİT, C. Ö., KIZILARSLAN, M., & ÇALIŞKAN, E. (2016). GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının ölçü süresine bağlı olarak değerlendirilmesi. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1), 22-39.

- Zangenehnejad, F., Jiang, Y., & Gao, Y. (2023). GNSS observation generation from smartphone android location API: Performance of existing apps, issues and improvement. *Sensors*, 23(2), 777.
- Zhang, X., Tao, X., Zhu, F., Shi, X., & Wang, F. (2018). Quality assessment of GNSS observations from an Android N smartphone and positioning performance analysis using time-differenced filtering approach. *GPS Solutions*, 22(3), 1-11.
- Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., Webb F.H. (1997). Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, 102(3), 5005-5017.
- Wu, Q., Sun, M., Zhou, C., & Zhang, P. (2019). Precise point positioning using dual-frequency GNSS observations on smartphone. *Sensors*, 19(9), 2189.
- Xu, L., Zha, J., Li, M., Yuan, Y., & Zhang, B. (2022). Estimation of ionospheric total electron content using GNSS observations derived from a smartphone. *GPS Solutions*, 26(4), 138.

- URL 1. (25.03.2024). <https://www.GPS.gov/systems/GPS/space/> adresinden alındı.
- URL 2. (29.08.2024). https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Space_Segment adresinden alındı.
- URL 3. (25.03.2024). <https://www.GPS.gov/systems/GPS/control/> adresinden alındı.
- URL 4. (27.03.2024). <https://glonass-iac.ru/guide/> adresinden alındı.
- URL 5. (28.03.2024). <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php#structure> adresinden alındı.
- URL 6. (30.03.2024). <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/programme> adresinden alındı.
- URL 7. (30.03.2024). <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information> adresinden alındı.
- URL 8. (30.03.2024) https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo adresinden alındı.
- URL 9. (31.03.2024). <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/What-Galileo> adresinden alındı.
- URL 10. (02.04.2024). <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/> adresinden alındı.
- URL 11. (03.04.2024). <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/Officialdocument/202110/P020211014595952404052.pdf> adresinden alındı.
- URL 12. (03.04.2024). https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv02_why.html adresinden alındı.
- URL 13. (03.04.2024). <https://www.isro.gov.in/SatelliteNavigationServices.html> adresinden alındı.
- URL 14. (07.04.2024). <https://aaronboda.wordpress.com/2019/01/31/what-is-ambiguity-resolution/> adresinden alındı.
- URL 15. (07.04.2024). https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Carrier_Phase_Ambiguity_Fixing adresinden alındı.
- URL 16. (29.04.2024). <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-GPS-socs/bcm47755> adresinden alındı.
- Mi 11 Lite 5G, <https://www.mi.com/global/product/mi-11-lite-5g/specs> (26.12.2024)

URL 17. (29.04.2024). <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-GPS-socs/a-GPS-wwrn> adresinden alındı.

URL 18. (06.07.2025). <https://www.u-blox.com> adresinden alındı.

URL 19. (06.07.2025). <https://www.unicorecomm.com> adresinden alındı.

URL 20. (29.04.2024). <https://docs.broadcom.com/doc/4778-PB1> adresinden alındı.

GPS Overview, <https://www.GPS.gov/systems/GPS/> (25.03.2024)

URL 21. (29.04.2024). https://chcnave.com/uploads/LT700H_DS_EN.pdf adresinden alındı.

URL 22. (12.01.2025).
<https://geospatial.chcnave.com/products/chcnave-LT800H> adresinden alındı.

URL 23. (29.04.2024). <https://esurvey-gnss.com/uploads/20201203/973eab9757358c00fb881a132790ec35.pdf> adresinden alındı.

URL 24. (29.04.2024). <https://www.esurvey.com.tr/uf/icerikdosyalar/hp50/hp50-teknik-veriler.pdf> adresinden alındı.

URL 25. (29.04.2024). <https://ataymuhendislik.com/urun/vidoc-RTK-ipad/> adresinden alındı.

URL 26. (29.04.2024) <https://mettatec.com/x5-mobile-ntrip-gnss-for-smartphones/> adresinden alındı.

URL 27. (12.01.2025). <https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9p-module> adresinden alındı.

ÖZGEÇMİŞ

