



**ULAŖTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŖME
BAKANLIĞI**

**KÜRESEL VE BÖLGESEL KONUMLAMA
SİSTEMLERİ, TEKNOLOJİLERİ VE
UYGULAMALARI**

HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ UZMANLIĞI TEZİ

Emre İÇEN, Uzman Yardımcısı

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Haziran, 2018

ANKARA



**ULAŖTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŖME
BAKANLIĞI**

**KÜRESEL VE BÖLGESEL KONUMLAMA
SİSTEMLERİ, TEKNOLOJİLERİ VE
UYGULAMALARI**

HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ UZMANLIĞI TEZİ

Emre İÇEN, Uzman Yardımcısı

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Alim Rüstem ASLAN, Prof. Dr.

Haziran, 2018

ANKARA

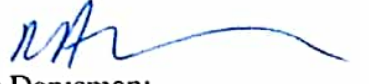
Görev Yaptığı Birim: Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Tezin Teslim Edildiği Birim: Personel ve Eğitim Dairesi Başkanlığı

T.C.

ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI

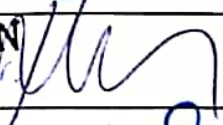
Emre İÇEN tarafından hazırlanan ve sunulan “Küresel ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri ve Uygulamaları” başlıklı bu tezin uzmanlık tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Tez Danışmanı

Prof. Dr. Alim Rüstem ASLAN

2. / 06 / 2018

Bu çalışma, tez savunma komisyonumuz tarafından Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlık tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	 Ahmet Selçuk SERT Müsteşar Yardımcısı
Üye	
Üye	Gündüz SENGÜL Genel Müdür V. 
Üye	Hasan PEHLİVAN Genel Müdür 
Üye	Ergün ÖZGÜR Genel Müdür Yardımcısı 
Üye	Dr. Bülent DOĞAN Genel Müdür Yardımcısı V. 
Tarih 05.07.2018	

Bu tez, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tez yazım kurallarına uygundur.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR.....	i
BEYAN.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
SİMGE LİSTESİ.....	x
KISALTMA LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. UYDU TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNİN YAPISI VE BİLEŞENLERİ	6
2.1. Uzay Segmenti	7
2.2. Kontrol Segmenti	10
2.3. Kullanıcı Segmenti.....	12
3. UYDULARLA KONUM BELİRLEME	16
3.1. Uydu Navigasyonunun Temel Prensipleri	17
3.2. Sinyal Yayılma Süresinin Ölçülmesi	18
3.3. Konum Belirleme için Gereken Uydu Sayısı.....	20
3.4. Konum Belirleme Doğruluğu.....	22
3.5. Uydu Haberleşme ve Navigasyon Frekansları	25
4. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMLERİ.....	26
4.1. GPS (Global Positioning System).....	26
4.1.1. GPS Uzay Segmenti	27
4.1.1.1. GPS Uydu Takımı	27
4.1.1.2. GPS Uyduları.....	30
4.1.1.3. GPS Sinyalleri	34
4.1.2. GPS Kontrol Segmenti	37
4.1.3. GPS Geliştirme Planı.....	39
4.1.4. GPS ile Sunulan Temel Hizmetler.....	41
4.2. GLONASS	42
4.2.1. GLONASS Uzay Segmenti	44
4.2.1.1. GLONASS Uydu Takımı	44
4.2.1.2. GLONASS Uyduları	47
4.2.1.3. GLONASS Sinyalleri	50
4.2.2. GLONASS Kontrol Segmenti	54
4.2.3. GLONASS Geliştirme Planı.....	56
4.2.4. GLONASS ile Sunulan Temel Hizmetler.....	57
4.3. Galileo	59

4.3.1. Galileo Uzay Segmenti	60
4.3.1.1. Galileo Uydu Takımı	60
4.3.1.2. Galileo Uyduları	62
4.3.1.3. Galileo Sinyalleri	64
4.3.2. Galileo Kontrol Segmenti	65
4.3.3. Galileo ile Sunulan Temel Hizmetler	66
4.4. BeiDou	68
4.4.1. BeiDou Uzay Segmenti	69
4.4.1.1. BeiDou Uydu Takımı	69
4.4.1.2. BeiDou Uyduları	73
4.4.1.3. BeiDou Sinyalleri	76
4.4.2. BeiDou Kontrol Segmenti	77
4.4.3. BeiDou ile Sunulan Temel Hizmetler	78
5. BÖLGESEL KONUMLAMA SİSTEMLERİ	81
5.1. QZSS	81
5.1.1. QZSS Uzay Segmenti	82
5.1.1.1. QZSS Uydu Takımı	82
5.1.1.2. QZSS Uyduları	92
5.1.1.3. QZSS Sinyalleri	93
5.1.2. QZSS Kontrol Segmenti	96
5.1.3. QZSS Geliştirme Planı	98
5.1.4. QZSS ile Sunulan Temel Hizmetler	101
5.2. NavIC (IRNSS)	104
5.2.1. NavIC Uzay Segmenti	105
5.2.1.1. NavIC Uydu Takımı	105
5.2.1.2. NavIC Uyduları	107
5.2.1.3. NavIC Sinyalleri	109
5.2.2. NavIC Kontrol Segmenti	109
5.2.3. NavIC ile Sunulan Temel Hizmetler	110
6. UYDU TABANLI KONUMLAMA UYGULAMALARI VE PAZARI	112
6.1. Konum Tabanlı Hizmetler	114
6.1.1. Navigasyon Uygulamaları	115
6.1.2. Ticari Uygulamalar	116
6.1.3. Acil Durum ve Afet Yönetimi Uygulamaları	116
6.1.4. Arama ve Kurtarma Uygulamaları	117
6.1.5. Sağlık ve Spor Uygulamaları	118
6.1.6. Kişi ve Hayvan Takip Uygulamaları	118
6.1.7. Oyunlar ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları	119
6.1.8. Altyapı Uygulamaları	119
6.1.9. Konum Tabanlı Hizmetler Değer Zinciri	120
6.1.10. Konum Tabanlı Hizmet Pazarı	121

6.2. Karayolu.....	123
6.2.1. Karayolu Değer Zinciri.....	126
6.2.2. Karayolu Pazarı	126
6.3. Havacılık	129
6.3.1. Havayolu Değer Zinciri	130
6.3.2. Havayolu Pazarı.....	131
6.4. Demiryolu	133
6.4.1. Demiryolu Değer Zinciri	133
6.4.2. Demiryolu Pazarı	134
6.5. Denizcilik	136
6.5.1. Denizcilik Değer Zinciri	137
6.5.2. Denizcilik Pazarı.....	138
7. TÜRKİYE’NİN MEVCUT DURUMU	141
7.1. Teknolojik Altyapı	141
7.2. Türkiye’nin Uydu Tabanlı Konumlama İhtiyacı.....	145
7.3. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	146
8. TESPİT VE ÖNERİLER	149
8.1. Konumlama Sistemi Tercihi ve Getirisi.....	149
8.2. Bölgesel Konumlama Sisteminin Kurulumuna İlişkin Zamanlama	150
8.3. Bölgesel Konumlama Sisteminin Yönetsel Yapısı	151
8.4. Uydu Yapısı	153
8.5. Haberleşme Uydularının Konumlama Sisteminde Kullanılması	154
8.6. Yeni Nesil Uydu Teknolojileri.....	155
8.7. Bilgi Birikiminin Artırılması ve Uluslararası İşbirliği.....	156
8.8. Kullanıcı Ekipmanı Geliştirme ve Üretme Kabiliyeti.....	156
8.9. Uydu Tabanlı Konumlamaya Geçiş	157
9. SONUÇ	159
KAYNAKLAR	167
ÖZGEÇMİŞ	176

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Alim Rüstem ASLAN'a, amirlerime ve aileme gösterdikleri sabır ve destek için teşekkür ederim.

BEYAN

Bu belge ile sunduğum uzmanlık tezimidaki bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplayıp sunduğumu; ayrıca, bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmamda bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi beyan eder, tezimle ilgil iyaptığım beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ise, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

... / 06 / 2018

Emre İÇEN

Havacılık ve Uzay Teknolojileri

Uzman Yardımcısı

ÖZET

Dünya çevresinde tam kapasite ile çalışan ya da kurulumu devam eden 4 küresel (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) ve 2 bölgesel (QZSS, NavIC) konumlama sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler; uzay, kontrol ve kullanıcı segmenti olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Uydularla konum belirleme, uydudan yayınlanan konumlama sinyallerinin yayılma zamanı ölçülerek yapılır. 3 boyutlu hassas konumlama için alıcının aynı anda en az 4 uydudan sinyal alması gerekmektedir. Küresel sistemlerde MEO uydu kullanılırken, bölgesel sistemlerde GEO ve IGSO uydular tercih edilmektedir. Konumlama uydularının başlıca bileşenleri atomik saat ve radyo navigasyon görev yüküdür. Konumlama sinyallerinde ağırlıklı olarak L bant kullanılmaktadır. GPS ve Galileo'nun yer istasyonları küresel yayılıma sahipken diğer sistemlere ait istasyonlar genellikle kendi ülke sınırları içerisindedir. Her sistem, sivil ve askeri kullanıcılara yönelik hizmetler sunmaktadır. Zamanla oldukça çeşitlenen uydu tabanlı konumlama uygulamaları, büyük bir ticari pazarın oluşmasını sağlamıştır. Ulaştırma ve haberleşme sektörleri, pazarın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Türkiye'nin mevcut durumu ve fayda maliyet oranı dikkate alındığında bölgesel bir sistemin ülkemiz için daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye ve Bakanlığımız için tespit ve öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT

There are 4 global (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) and 2 regional (QZSS, NavIC) positioning systems that operate at full capacity around the world or continue to be installed. These systems consist of three elements called space, control and user segments. Positioning with satellites are made by measuring the propagation time of positioning signals emitted from the satellite. For 3-dimensional precise positioning, the receiver must receive signals from at least 4 satellites at the same time. While MEO satellites are used in global systems; in regional systems, GEO and IGSO satellites are preferred. The main components of positioning satellites are atomic clock and radio navigation payload. L band is used predominantly in positioning signals. GPS and Galileo's ground stations are globally distributed, while the stations of other systems are usually within their own country borders. Each system provides services for civilian and military users. Over time, highly diversified satellite-based positioning applications have made it possible to create a large commercial market. Transportation and communication sectors constitute an important part of the market. By considering Turkey's current situation and the benefit-cost ratio it has been evaluated that a regional system would be more appropriate for our country. Within this scope, findings and suggestions have been presented for Turkey and our Ministry.

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.	Uydu haberleşme ve navigasyon frekansları.....	25
Tablo 2.	GPS uyduları	32
Tablo 3.	GPS modernizasyonu	39
Tablo 4.	GLONASS Sinyalleri.....	52
Tablo 5.	Quasi-zenith uyduların izlediği yörüngeler.....	84
Tablo 6.	QZSS uydularının hizmet verdiği sinyaller.....	94
Tablo 7.	GNSS gelirlerinin sektöre göre dağılımı.....	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Konumlama sistemi bileşenleri	6
Şekil 2.	Uzay segmenti	7
Şekil 3.	GPS uydu takımı (a), Galileo uydu takımı (b), GLONASS uydu takımı (c)	8
Şekil 4.	Kontrol Segmenti	10
Şekil 5.	Kullanıcı Segmenti	13
Şekil 6.	Uzaklık Hesabının Kavramsal Gösterimi	16
Şekil 7.	Yayılma Süresi Ölçülerek Uzaklığın Hesaplanması	17
Şekil 8.	Kısa Tekrarlayan PRN Kod Örneği	18
Şekil 9.	Uzaklık Ölçümünün Sinyal Bazında Gösterimi	19
Şekil 10.	Yalancı Uzaklık Küreleri	21
Şekil 11.	Enlem, boylam, yükseklik ve zamanın belirlenmesi için 4 uydu	22
Şekil 12.	Genişletilebilir 24 slotlu GPS uydu takımı	28
Şekil 13.	24 uydulu GPS uydu takımının yörünge dizilimi	28
Şekil 14.	GPS uydularının yer izi	29
Şekil 15.	GPS IIF uydusu	33
Şekil 16.	GPS III uydusu	34
Şekil 17.	L1 ve L2 sinyallerinin oluşturulması	35
Şekil 18.	GPS Sinyallerinin Gelişimi	36
Şekil 19.	GPS kontrol segmenti	37
Şekil 20.	GPS kontrol segmenti bileşenleri	38
Şekil 21.	GLONASS uydu takımı	44
Şekil 22.	GLONASS yörünge düzlemlerindeki uydu pozisyonları	45
Şekil 23.	GLONASS uydu yer izdüşümleri	46
Şekil 24.	GLONASS uydu serileri	48
Şekil 25.	Aynı frekanslı kullanan zıt uydular	51
Şekil 26.	GLONASS Sinyallerinin Modernizasyonu	54

Şekil 27.	GLONASS Yer Segmenti	55
Şekil 28.	Galileo Uydu Takımı.....	60
Şekil 29.	Galileo Yörünge Slotları	61
Şekil 30.	Galileo FOC uydusu.....	63
Şekil 31.	Galileo sinyalleri ve sunulan hizmetler.....	64
Şekil 32.	Galileo kontrol segmenti	65
Şekil 33.	BeiDou-1 kapsama alanı	68
Şekil 34.	BeiDou-2 bölgesel uydu navigasyon sistemi kapsama alanı	70
Şekil 35.	BeiDou-2 uydu yer izdüşümleri	71
Şekil 36.	BeiDou faz III uydu takımı	72
Şekil 37.	BeiDou-2 GEO uydusu	74
Şekil 38.	BeiDou-3 MEO uydusu	75
Şekil 39.	BeiDou-3 GEO uydusu (solda), IGSO uydusu (sağda)	75
Şekil 40.	BeiDou Faz 2 ve Faz 3 Sinyalleri	76
Şekil 41.	BeiDou kontrol segmenti	78
Şekil 42.	Quasi-zenith yörünge yer izdüşümü.....	81
Şekil 43.	En az bir quasi-zenith uydu her zaman Japonya üzerinde	82
Şekil 44.	QZSS yörüngeleri	83
Şekil 45.	Quasi-zenith uydu yörüngeleri ve yer izleri.....	84
Şekil 46.	QZSS uydularının yer izdüşümleri.....	85
Şekil 47.	Quasi-zenith uydu hareketlerinin Tokyo yakınlarından görünüşü.....	86
Şekil 48.	Quasi-zenith yörüngeli uydu, GPS uydusu ve yer-sabit yörüngeli uydu yükseklik açısı kıyaslaması	87
Şekil 49.	QZSS uydu yer izi.....	88
Şekil 50.	Quasi-zenith yörüngeli 3 uydunun kapsama performansı.....	89
Şekil 51.	4 uydulu QZSS Asya-Pasifik Bölgesi kapsama performansı.....	90
Şekil 52.	Tokyo, Singapur, Bangkok ve Sidney şehirleri için QZSS uydularının görülebilirliğinin zamanla değişimi	91
Şekil 53.	QZS-1 uydusu	92

Şekil 54.	QZS-2 ve QZS-4 uydularının yapısı	93
Şekil 55.	QZS-3 uydusunun (yer-sabit yörüngeli uydu) yapısı.....	93
Şekil 56.	QZSS sinyallerinin diğer konumlama sistemi sinyalleri ile karşılaştırılması	95
Şekil 57.	QZSS hizmet alanı L1C/A sinyali önceliklendirmesi	96
Şekil 58.	QZSS kontrol istasyonları	97
Şekil 59.	QZSS telemetri, izleme ve komut istasyonları.....	97
Şekil 60.	GPS ve QZSS hassas yörünge belirleme istasyonları	98
Şekil 61.	QZSS'nin Gelişimi.....	99
Şekil 62.	QZSS planlanan gelişim takvimi	100
Şekil 63.	7 uydudan oluşan QZSS planı.....	100
Şekil 64.	SLAS konumlama tutarlılığı ve menzili	102
Şekil 65.	CLAS kapsama alanı.....	103
Şekil 66.	NavIC birincil ve ikincil hizmet alanı.....	105
Şekil 67.	NavIC uydu takımı	106
Şekil 68.	NavIC uydu takımı yer izdüşümü	107
Şekil 69.	NavIC Uydusu.....	108
Şekil 70.	NavIC Kontrol Segmenti.....	110
Şekil 71.	Örnek konum tabanlı hizmet ekipmanları.....	114
Şekil 72.	Konum tabanlı hizmetler değer zinciri.....	120
Şekil 73.	Konum tabanlı hizmet gelirlerinin bölgesel dağılımı	121
Şekil 74.	Konum tabanlı hizmet gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı	122
Şekil 75.	Araç içi navigasyon sistemi	123
Şekil 76.	Singapur'daki GNSS tabanlı yol ücretlendirme sistemi	125
Şekil 77.	Karayolu değer zinciri.....	126
Şekil 78.	Karayolu gelirlerinin bölgesel dağılımı	127
Şekil 79.	Karayolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı.....	128
Şekil 80.	Havayolu değer zinciri	130
Şekil 81.	Havayolu gelirlerinin bölgesel dağılımı.....	131
Şekil 82.	Havayolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı	132

Şekil 83.	Demiryolu değer zinciri	134
Şekil 84.	Demiryolu gelirlerinin bölgesel dağılımı	135
Şekil 85.	Demiryolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı	136
Şekil 86.	Denizcilik değer zinciri	138
Şekil 87.	Denizcilik gelirlerinin bölgesel dağılımı.....	139
Şekil 88.	Denizcilik gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı	140
Şekil 89.	TÜRKSAT bölgesel konumlama sistemi.....	147
Şekil 90.	TUSAŞ bölgesel konumlama sistemi	148
Şekil 91.	Bölgesel Konumlama Sistemi Yönetmelik Yapısı	152

SİMGE LİSTESİ

c	: Işık Hızı (300.000 km/s)
D	: Uzaklık
$\Delta\tau$	: Yayılma Süresi

KISALTMA LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADAS	: Advanced Driver Assistance Systems (Gelişmiş Sürücü Yardım Sistemleri)
ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayını)
AIS	: Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi)
AIS-EPIRB	: Automatic Identification System – Emergency Position Indicating Radio Beacon (Otomatik Tanımlama Sistemi – Acil Durum Konumu Belirten Radyo Vericisi)
AIS-MOB	: Automatic Identification System – Man Overboard (Otomatik Tanımlama Sistemi – Denize Düşen Kişi)
AIS-SART	: Automatic Identification System – Search and Rescue Transponder (Otomatik Tanımlama Sistemi – Arama ve Kurtarma Aktarıcısı)
BEYOND	: Building EGNSS capacity On EU & Neighbouring multimodal Domains (AB ve Komşu Çok Modlu Etki Alanları Üzerinde EGNSS Kapasitesi İnşa Etme)
BM	: Birleşmiş Milletler
BOC	: Binary Offset Carrier (İkili Ofset Taşıyıcı)
CAS	: China Academy of Sciences (Çin Bilimler Akademisi)
CAST	: China Academy of Space Technology (Çin Uzay Teknolojisi Akademisi)
C/A	: Coarse/Acquisition (Kaba/Kazanım)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Ayrımlı Çoklu Erişim)
CLAS	: Centimeter Level Augmentation Service (Santimetre Seviyesi Destek Hizmeti) - QZSS

CORS	: Continuously Operating Reference Stations (Sürekli Çalışan Referans İstasyonları)
CubeSat	: Cube Satellite (Küp Uydu)
DAS	: Driver Advisory System (Sürücü Danışma Sistemi)
DOP	: Dilution of Precision (Hassasiyetin Azalması)
DGPS	: Differential GPS (Diferansiyel GPS)
eCall	: Emergency Call (Acil Çağrı)
EGNOS	: European Geostationary Navigation Overlay Service (Avrupa Yer-sabit Navigasyon Kapsama Hizmeti) – Avrupa Birliği
EGNSS	: European GNSS (Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)
ELT	: Emergency Locator Transmitter (Acil Durum Konum Vericisi)
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı) - Avrupa Birliği
FOC	: Full Operational Capabiliy (Tam Operasyonel Kabiliyet)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Ayrımlı Çoklu Erişim)
GAGAN	: GPS Aided Geo Augmented Navigation (GPS Destekli Yer Destekli Navigasyon) – Hindistan
GCC	: Ground Control Center (Yer Kontrol Merkezi) - Galileo
GCS	: Ground Control Segment (Yer Kontrol Segmenti) - Galileo
GLONASS	: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) - Rusya
GMS	: Groung Mission Segment (Yer Görev Segmenti) - Galileo
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri)
GEO	: Geostationary Earth Orbit (Yer-Sabit Yörünge)
GEOSAR	: GEO Search and Rescue (Yer-Sabit Yörüngeli Arama ve Kurtarma Uydusu)

GEONET	: GNSS Earth Observation Network System (GNSS Yer Gözlem Ağı Sistemi) - Japonya
GIOVE	: Galileo In Orbit Validation Element (Galileo Yörüngede Doğrulama Bileşeni)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi) - ABD
GSA	: European Global Navigation Satellite Systems Agency (Avrupa Küresel Küresel Uydu Navigasyon Sistemleri Ajansı) - Avrupa Birliği
GSO	: Geosynchronous Orbit (Yer Eşzamanlı Yörünge)
GSS	: Ground Sensor Stations (Yer Algılama İstasyonları) - Galileo
HUTGM	: Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü
ICG	: International Committee on GNSS (Uluslararası GNSS Komitesi)
IGSO	: Inclined Geosynchronous Orbit (Eğik Yer Eşzamanlı Yörünge)
IOV	: In Orbit Validation (Yörüngede Doğrulama)
IRNSS	: Indian Regional Navigational Satellite System (Hint Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi) - Hindistan
ISRO	: Indian Space Research Organization (Hindistan Uzay Araştırmaları Organizasyonu) - Hindistan
ITU	: International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
IVS	: In-Vehicle Systems (Araç içi Sistemler)
IWW	: Inland Waterways (İç Su Tolları)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İTÜ-USTTL	: İstanbul Teknik Üniversitesi - Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarı
JAXA	: Japan Aerospace Exploration Agency (Japon Hava-Uzay Keşif Ajansı) - Japonya
KKTC	: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti

LEO	: Low Earth Orbit (Alçak Yörünge)
LEOSAR	: LEO Search and Rescue (Alçak Yörüngeli Arama ve Kurtarma Uydusu)
MBOC	: Multiplexed Binary Offset Carrier (Çoklanmış İkili Ofset Taşıyıcı)
MEO	: Medium Earth Orbit (Orta Yörünge)
MEOSAR	: MEO Search and Rescue (Orta Yörüngeli Arama ve Kurtarma Uydusu)
MSAS	: MTSAT (Multi-functional Transport Satellite - Çok-fonksiyonlu Ulaşım Uydusu) Satellite Augmentation System (Uydu Destek Sistemi) - Japonya
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) - ABD
NavIC	: Navigation with Indian Constellation (Hint Uydu Takımı ile Navigasyon) - Hindistan
OBU	: On-Board Units (Tümleşik Birimler)
PBN	: Performance Based Navigation (Performansa Dayalı Navigasyon)
PDA	: Personal Digital Assistant (Kişisel Dijital Asistan)
PLB	: Personal Location Beacon (Kişisel Konum Vericisi)
PND	: Personal Navigation Devices (Kişisel Navigasyon Aygıtları)
PNT	: Positioning, Navigation and Timing (Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama)
POD	: Precise Orbit Determination (Hassas Yörünge Belirleme)
PPS	: Precise Positioning Service (Hassas Konumlama Hizmeti) - GPS
PRN	: Pseudo Random Noise (Yalancı Düzensiz Gürültü)
RDSS	: Radio Determination Satellite Service (Radyo Belirleme Uydu Hizmeti) - BeiDou
RNSS	: Radio Navigation Satellite Service (Radyo Navigasyon Uydu Hizmeti) - BeiDou

RS	: Restricted Service (Kısıtlı Hizmet) - NavIC
RTK	: Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik)
RUC	: Road User Charging (Karayolu Kullanıcısının Ücretlendirilmesi)
SA	: Selective Availability (Seçici Bulunabilirlik)
SBAS	: Satellite Based Augmentation Systems (Uydu Tabanlı Destek Sistemleri)
SDCM	: System of Differential Corrections and Monitoring (Diferansiyel Düzeltme ve İzleme Sistemi) - Rusya
SI	: International System of Units (Uluslararası Birimler Sistemi)
SIS	: Signal-In-Space (Uzaydaki Sinyal)
SLAS	: Sub-Meter Level Augmentation Service (Metre-altı Seviye Destek Hizmeti) - QZSS
SoL	: Safety of Life (Hayat Güvenliği)
SOLAS	: Safety of Life at Sea (Denizde Can Güvenliği) Uluslararası Sözleşmesi
SPS	: Standard Positioning Service (Standart Konumlama Hizmeti) – GPS & NavIC
TAI	: Temps Atomique International (Uluslararası Atomik Zaman)
TAI	: TUSAŞ - Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TT&C	: Telemetry, Tracking and Control (Telemetri, İzleme ve Kontrol)
TTCF	: Telemetry, Tracking and Control Facility (Telemetri, İzleme ve Komut Tesisi) - Galileo
ULS	: Up-link Local Station (Yukarı Yönlü Yerel İstasyon) - Galileo
URE	: User Range Error (Kullanıcı Uzaklık Hastası)
USET	: Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test Merkezi

UTC	: Universal Time Coordinated (Eşgüdümlü Evrensel Zaman)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying (Karesel Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System (Quasi-Zenith Uydu Sistemi) - Japonya
VFR	: Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)
WAAS	: Wide Area Augmentation System (Geniş Alan Destek Sistemi) - ABD

1. GİRİŞ

İnsanoğlu olarak tarih öncesi çağlardan günümüze kadar büyük bir dönüşüm ve gelişim yaşadık. Merak duygumuz, öğrenme arzumuz ve yaratıcılığımız; çevresel etkenler ve ihtiyaçlarımızla şekillenerek yeni bilgiler ve buluşlar ortaya çıkardı. Her bir yenilik ile birlikte tarihsel birikimimiz arttı ve sahip olduğumuz teknoloji gelişti. Önceleri mağaralarla, çadırlarla ve kerpiç evlerle giderdiğimiz barınma ihtiyacını sonraları tahta ve taştan evlerle, beton ve çelikten binalarla gidermeye başladık. Hayvanlarla kolaylaştırdığımız karasal ulaşımı motorlu taşıtlarla sağlar hale geldik. Denizlerde kürekli ve yelkenli gemilerden çok daha büyük buharla ve petrol türevi yakıtlarla çalışan gemilere geçiş yaptık. Uçaklar sayesinde uçmayı ve uçarak seyahat etmeyi öğrendik. Telefonu ve kablosuz haberleşmeyi bularak uzak mesafelerden iletişimi mümkün kıldık. Uzaya ilk kez insan yapımı bir nesne göndererek insanoğlunun binlerce yıllık rüyasını gerçeğe dönüştürdük. Şimdilerde, Dünya etrafında dönen uzay istasyonlarında deneyler yapmaya ve uzayın derinliklerini keşfetmeye devam ediyoruz. Uzaya gönderdiğimiz uyduları yeryüzünü gözlemlemede, haberleşmede ve konum belirlemede kullanıyoruz.

Tarih öncesi çağlarda bir mağarada yaşadığınızı düşünün. Mağaradan avlanma amaçlı dışarı çıktınız ve geriye dönebilmek için mağaranın konumunu bilmeniz gerekiyor. Ne yaparsınız? Mağara konumunu belirlemek için çevredeki bir kayayı, ağacı ya da akarsuyu nirengi noktası olarak alabilirsiniz. Söz konusu noktaların çevreye göre ayırt edici çok baskın bir özelliği yoksa konumunuzu belirlemeniz için sadece biri yeterli olmayacaktır. Bu nedenle, birbirine göre konumu belirli en az iki noktaya ihtiyaç duyacaksınız. İki noktayı belirlediyseniz artık mağaranın 2 boyutlu konumunu biliyorsunuz demektir. Gözlemlediğiniz üçüncü bir nokta ise hafızanızda mağaranın konumuna ilişkin 3 boyutlu bir görüntü oluşturacaktır. Bunlar dışında fazladan seçeceğiniz her bir dayanak nokta mağara konumunu doğrulamanızı sağlar ve konum belirleme hassasiyetinizi artırma görevi görür. Geri dönüş yolunu bulabilmek içinse benzer bir yöntem kullanarak geçtiğiniz yerleri hafızanızda işaretleyebilir ve işinizi kolaylaştırmak adına geçtiğiniz yerlere izler bırakabilirsiniz. Bu gibi yöntemleri farkında olmasak da insan olmanın verdiği bir içgüdü ile tarih öncesi çağlardan beri kullanıyoruz.

Şimdi de günümüze gelelim. Yabancıyı olduğunuz bir şehirde gezintiye çıktığınızı düşünün. Çevreyi öğrenirken aşağı yukarı aynı yöntemi izleyecek; bu kez binalardan, dükkanlardan, otobüs duraklarından ya da sokak numaralarından birer nirengi noktası atamaya çalışacaksınız. Bu nirengi noktalarından ne kadar çok yararlanırsanız kaybolma ihtimalini de o kadar azaltırsınız. Ancak, bunun da bir dezavantajı var: fazladan her bir nokta hafızanızda daha fazla yer kaplayacak bu da karıştırma ihtimalinizi artıracaktır. Diyelim ki bu şehrin akışına kendinizi o kadar kaptırdınız ki kayboldunuz. Gideceğiniz yeri nasıl bulursunuz? Her insanın binlerce yıldır yaptığı gibi diğer insanlara sorabilirsiniz. Ya çevrede hiç insan yoksa? Cebinizden akıllı telefonunuzu çıkarır, bir konum belirleme uygulaması açarsınız. Bu uygulama sizin nerede bulunduğunuzu saniyeler içerisinde gösterir; gideceğiniz yeri işaretlemeniz durumunda alternatif dönüş yolu güzergahlarını çıkarabilir ve hatta navigasyon özelliği bulunuyorsa yol boyunca sizi yönlendirerek hedefinize ulaşmanızı sağlayabilir.

Tüm bunları uydu tabanlı konum belirleme sistemlerine ve bu sistemleri kurmamıza olanak tanıyan tarihsel bilgi birikimimize borçluyuz. Tarihte keşfettiğimiz, bilinçli ya da bilinçsiz kullandığımız birçok yöntem, bilgi ve araç günümüz teknolojisinin birer parçasıdır. Bunların bazılarını biraz farklı biçimde olsa da hala kullanmaya devam ediyoruz. Çizdiğimiz haritalar, tanımladığımız koordinat sistemleri, tarih öncesi çağlardan beri yararlandığımız konum belirleme tekniği ve daha birçok buluş sayesinde günümüzde uyduları kullanarak konum belirleyebiliyor, gideceğimiz yerlere çok daha kısa sürede ulaşabiliyoruz.

Günümüzde konumlama sistemlerinden konum bilgisinin yanı sıra hassas zaman ve hız bilgisinin de elde edilebilmesi, navigasyonu mümkün kılmıştır. Konum belirleme ya da konumlama; bir nesnenin bir referans sistemine ya da sabit bir noktaya göre konum koordinatlarının belirlenmesidir. Navigasyon ise konumlama işleminin hareketli bir nesne için aralıklarla tekrarlanması, elde edilen koordinatlardan hedef noktaya alternatif yolların çıkarılması, nesnenin hareketiyle ilgili hız, kalan yol ve varış zamanı gibi bilgilerin hesaplanması, seçilen rotaya göre yolun tarif edilmesidir. Söz konusu terimler yakın anlama sahip olduğundan zaman zaman birbirinin yerine kullanılmaktadır.

Konumlama sistemlerinin hizmet alanı yerel, bölgesel ya da küresel olabilir. Yerel sistemlerin kapsama alanı dar olduğundan genelde uydu kullanımına gerek duyulmaz. Konumlama sinyalleri aktarımı uydular yerine yer konuşlu verici istasyonlar kullanılarak yapılır. Bölgesel ve küresel konumlama sistemlerinde ise geniş bir alana konumlama hizmeti verilmesi amaçlandığı için konumlama sinyallerini aktarmada uydular kullanılır. Bu tür konumlama sistemlerine uydu tabanlı konumlama sistemleri denir.

Yeryüzündeki hareketli ya da hareketsiz bir nesnenin tam konumunun belirlenmesi için kullanılan yer konumlama günümüzde, yerküre etrafında dönen uydu takımlarına, radyo navigasyon sinyallerine ve yeryüzündeki alıcılara dayanmaktadır. Uydu tabanlı radyo navigasyon sistemleri; sistemi destekleyen bir alıcıya sahip herhangi bir kullanıcının, kendi konumunu zaman ve uzayda çok doğru biçimde belirlemesine olanak tanımaktadır. Yeryüzündeki bir noktaya ya da referans sistemine göre konumun hesaplanmasını sağlayan alıcılar; yerde, bir aracın, geminin ya da uçağın üzerinde kullanılabilirler.

Soğuk savaş yıllarında donanmanın ve hava kuvvetlerinin anlık konum belirleme ihtiyacının karşılanması için geliştirilen uydu tabanlı konumlama sistemleri, hizmet verdikleri kapsama alanına göre küresel ve bölgesel konumlama sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Konumlama sistemleri zaman içerisinde sivil kullanıma açılmış; kullanım alanları ve uygulamaları hızla artmıştır. Uydu tabanlı konumlama teknolojisi günümüzde havacılıktan bilişime, karayollarından denizcilik sektörüne kadar birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. (European GNSS Agency, 2017)

GPS, Dünya’da aktif olarak kullanılan ilk küresel konumlama sistemidir ve uzun süre tam kapasiteye sahip tek sistem olma özelliğini korumuştur. Bu nedenle sahip olduğu isim, uydu tabanlı konumlama sistemlerini ifade etmek için yaygın olarak kullanılmıştır. Yeni sistemlerin eklenmesiyle birlikte son yıllarda uydu tabanlı konumlama sistemlerini tanımlamada, açılımı Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri olan “GNSS” kısaltması kullanılmaya başlamıştır. GNSS; küresel ya da bölgesel uydu navigasyon sistemlerini kapsayan genel bir terimdir (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017a).

Günümüzde tam kapasite ile çalışan ya da kurulumu devam eden 6 uydu tabanlı konumlama sistemi bulunmaktadır. GPS ilk uydu tabanlı konumlama sistemidir. GPS programı, 1970’lerde ABD Savunma Bakanlığı tarafından başlatılmıştır. Küresel kapsamaya sahip olan GPS’in uydu takımı 24 uydudan oluşacak biçimde tasarlanmıştır. Ana uydu takımındaki slot sayısı 2011 yılında 27’ye genişletilmiş olan sistemde halen 31 uydu operasyonel durumdadır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018). Rusya tarafından işletilen GLONASS, tam kapasiteye erişen ikinci sistemdir. GLONASS’ın uydu takımı 24 uydudan oluşur ve küresel kapsama sağlar (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 219). Şu an yörüngede bulunan 25 GLONASS uydusundan 1 tanesi test aşamasında, diğer 24 tanesi ise operasyonel durumdadır (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018b). Galileo, Avrupa Küresel Navigasyon Sistemleri Ajansı (GSA) tarafından işletilen bir sivil sistemdir. İlk uydusu 2014 yılında fırlatılan uydu takımının 2020 yılında tamamlanması planlanmaktadır (NovAtel Inc., 2015, s. 8). Tam operasyonel kabiliyete sahip küresel sistem, 24 ana 6 yedek 30 uydudan oluşacaktır (NURMI, LOHAN, SAND, & HURSKAINEN, 2015). BeiDou, Çin’e ait navigasyon uydu sistemidir. Aralık 2012’de bölgesel hizmet vermeye başlamıştır (NovAtel Inc., 2015, s. 8). 30 uydudan oluşacak ana uydu takımının 2020 gibi tamamlanarak küresel kapsamaya ulaşması beklenmektedir (China Satellite Navigation Office, 2017, s. 5). IRNSS, Hindistan ve çevresine hizmet veren bölgesel bir konumlama sistemidir. Uydu takımı 7 uydudan oluşmaktadır. QZSS, Japonya ve Asya-Okyanusya bölgesine hizmet sunan bölgesel bir konumlama sistemidir (NovAtel Inc., 2015, s. 8). Şu anda 4 uydudan oluşan uydu takımı, 2023 sonrasında 7’ye tamamlanacak ve bağımsız bir sistem olarak hizmet verebilecektir (QZS System Services Inc., 2015, s. 15).

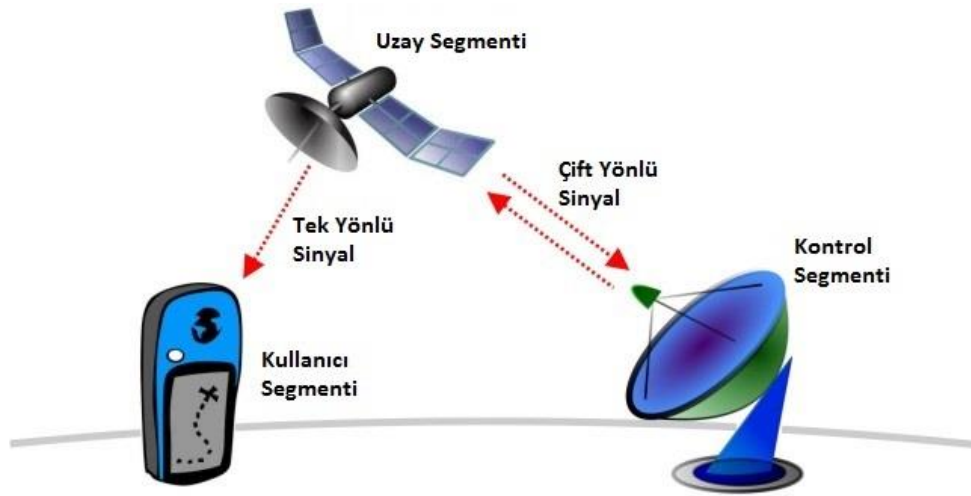
Bu çalışmada öncelikle, uydu tabanlı konumlama sistemlerinin yapısı tanıtılacaktır. Ardından, uydulardan yararlanılarak konum belirlemenin nasıl yapıldığı anlatılacak ve sistemlerin temel çalışma prensipleri hakkında bilgi verilecektir. Sonraki aşamada mevcut küresel ve bölgesel konumlama sistemleri incelenecektir. Devamında, uydu tabanlı konumlama uygulamalarına, uygulama alanı bazında tedarik zincirine ve pazar büyüklüğüne değinilecektir. Takip eden bölümde, Türkiye’deki mevcut durum ve yapılan çalışmalara ilişkin bilgi sunulacaktır. Son kısımda ise Türkiye’ye ve Bakanlığımıza yönelik tespit ve öneriler sıralanacaktır.

Çalışmanın içeriğinde uzay ve konumlama sektörüne özgü aslı İngilizce olan birçok mesleki terim bulunmaktadır. Bu terimlerin Türkçe karşılıklarının yazımında Türkiye Bilimler Akademisinin (TÜBA) hazırlamış olduğu Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğünden yararlanılmıştır. Bu sözlükte yer almayan terimler için anlam kaybının önüne geçebilmek adına birebir çeviri yapmaya özen gösterilmiş, yapılan küçük değişikliklerle anlam açısından en uygun karşılık kullanılmaya çalışılmıştır.

2. UYDU TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNİN YAPISI VE BİLEŞENLERİ

Uydu tabanlı konum belirleme sistemleri birbirini tamamlayan üç temel bileşenden oluşur. Bunlardan ilki sistemin iskeletini oluşturan uzay segmentidir. Dünya etrafında planlanmış belirli yörüngelerde dönen ve dönerken yeryüzüne konumlama sinyali gönderen uydular uzay segmentini oluşturur. Sistemin ikinci temel bileşeni kontrol segmentidir. Kontrol segmenti; yeryüzüne konuşlandırılmış izleme istasyonları, yer kontrol istasyonları ve antenlerden oluşur. Sistemin üçüncü temel bileşeni ise bir tamamlayıcı görevi gören kullanıcı segmentidir. Kullanıcı segmenti, uydulardan yayınlanan konumlama sinyallerini yakalayan ve bu sinyalleri işleyerek konum bilgisi üreten elektronik kullanıcı ekipmanları ile konum bilgisi kullanıcılarını kapsar.

Şekil 1. Konumlama sistemi bileşenleri



Kaynak: (KAUR, 2012)

Uzay segmenti ile kullanıcı segmenti arasında tek yönlü, uzay segmenti ile kontrol segmenti arasında ise çift yönlü iletişim söz konusudur. Uzay segmenti yeryüzüne doğru konumlama sinyalleri ve sistem bilgisi içeren sinyaller yayımlar. Kullanıcı segmenti, sadece konumlama

sinyallerini yakalayıp konum hesaplamasında kullanır; uzay segmentine bir geri bildirimde bulunmaz. Kontrol segmenti ise hem konumlama sinyallerini hem de sistem bilgisi içeren sinyalleri izler; bunları analiz eder; hataların azaltılması ve sistem devamlılığının sağlanması amacıyla uzay segmentine bildirimde bulunur. Kullanıcı ve kontrol segmentleri arasında doğrudan iletişim gerçekleştirilmez.

2.1. Uzay Segmenti

Uzay segmenti, konumlama sisteminin merkezinde yer alır. Hem kontrol segmenti hem de kullanıcı segmenti ile etkileşim halindedir. Konumlama hizmeti, uzay segmentinden yayınlanan konumlama sinyalleri ile verilir. Hizmet alanı, hizmetin niteliği ve devamlılığı doğrudan uzay segmentine bağlıdır. Dünya çevresinde sisteme özel yörüngelere yerleştirilmiş, radyo navigasyon sinyali yayınlayan bir dizi uydudan oluşan uzay segmentinin temel niteliklerini uydu takımı, uydu takımını oluşturan uydular ve uydulardan yerküreye doğru aktarılan konumlama sinyalleri belirler.

Şekil 2. Uzay segmenti



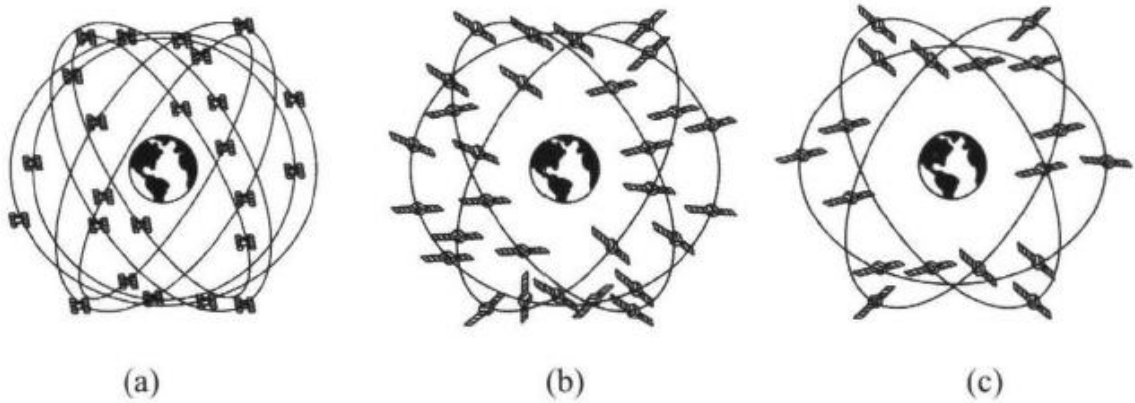
Kaynak: (ESA, 2014d)

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinden hizmet alan yerküredeki bir kullanıcının hassas biçimde konumunu belirleyebilmesi için en az 4 konumlama uydusundan sinyal alması gerekmektedir. Tek bir uydudan alınan sinyal, kullanıcı ile uydu arasındaki uzaklığı hesaplanmasına yardımcı olsa da konum belirleme işlemi için yeterli değildir. Bu nedenle; konumlama uyduları, tek başına çalışan haberleşme ve uzaktan algılama uydularından farklı olarak takım halinde hizmet verirler. Konumlama uyduları hizmet alanına uygun olarak tasarlanmış yörüngelere bir uydu takımı oluşturacak biçimde yerleştirilirler. Uzay

segmentinin ve dolayısıyla tüm sistemin hizmet kapsama alanı ile sağlanan hizmetin niteliği planlanan uydu takımına bağlıdır. Uydu takımına özgü yörüngeler ve uyduların bu yörüngeler üzerindeki dizilimi verilecek hizmetin kapsama alanını belirler ve niteliğini etkiler. Bu sistemlerde hizmetin sürekliliği esas olduğundan, yörüngeler ve uyduların yörüngelerdeki dizilimi, seçilen hizmet alanına devamlı hizmet verecek biçimde kurgulanır. Dikkatlice tasarlanmış uydu takımı, yeryüzündeki yerin anlık olarak hesaplamasında yerdeki alıcılara yardımcı olur.

Konumlama uyduları, birbirini tamamlayan uydulardır. Sistemlerin küresel kapsamaya sahip olabilmesi için farklı yörüngelerde birden çok uydu kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Küresel kapsamaya sahip konumlama sistemlerinde uydular genel olarak Orta Yörüngeye yerleştirilmiştir. Yaklaşık 20.000 km olan yörünge yükseklikleri, her sistemin uydu takımında farklılık gösterir. Uyduların bu gibi yüksek bir irtifada işletilmesi sinyallerin geniş bir alanı kapsamaya izin verir. Uydular gökyüzünde, yeryüzündeki bir GNSS alıcısının herhangi bir zamanda en az 4 uydudan sinyalleri ve bilgiyi devamlı alabileceği şekilde düzenlenmiştir (BHATTA, 2010, s. 27). Uydu takımlarının sahip olduğu yörünge düzlemi sayısı, yörünge eğiklik açıları ve her yörüngedeki uydu sayısı sistemden sisteme değişiklik gösterir. Ağırlıklı olarak bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemlerinde olmakla birlikte, konumlama uydu takımlarında yer eş zamanlı yörüngeler de kullanılmaktadır.

Şekil 3. GPS uydu takımı (a), Galileo uydu takımı (b), GLONASS uydu takımı (c)



Kaynak: (BHATTA, 2010, s. 29)

Uyduların izlediği yörüngeler ve yörüngedeki dizilimleri hizmetin kapsama alanını; navigasyon uydularının yapısı, bileşenleri ve sahip olduğu kabiliyetler ise hizmet niteliğini şekillendirir. Uzay segmentini oluşturan uyduların birincil görevi, konumlama sinyallerini belirli bir sinyal yapısı ile yerküreye aktarmaktır. İkincil görevleri ise yerde konuşlu kontrol segmentinden gelen düzeltmeleri ve navigasyon mesajlarını toplayarak tekrar yayınlamaktır. Konumlama uydularının yapmış olduğu yayınlar, uydular üzerinde bulunan son derece kararlı atomik saatler tarafından kontrol edilir. Konumlama uydu takımında yer alan her uydu; kendini tanımlayan ve kendisine ait zaman, yörünge ve durum bilgisini içeren bir sinyal yayınlar. Uydunun aktardığı kimlik, zaman, yörünge ve durum bilgisi yerde kontrol segmenti tarafından işlenir ve gerekli düzeltmeler uyduya aktarılır.

Konumlama uyduları yörüngede çok yüksek hızla döner. Orta Yörüngede dönen uyduların hızları sistem bazında çeşitlilik göstermekle birlikte 13000 km/saat'ten fazladır (BHATTA, 2010, s. 27). Konumlama uyduları güçlerini güneş enerjisinden sağlarlar ve uzun yıllar dayanacak biçimde inşa edilirler. Tutulma vb. faktörlerden dolayı güneş enerjisi üretilemediği durumlarda, çalışmaya devam etmeleri için üzerlerinde yerleşik yedek bataryalar bulunur. Yörünge bozunumlarını gidermek için üzerlerinde yer alan küçük roket iticileri kullanırlar. Her uydu en az 3 yüksek hassasiyetli atomik saat bulundurur (BHATTA, 2010, s. 28).

Konumlama uyduları, elektromanyetik spektrumun mikrodalga kuşağında birçok frekansta düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlar. Konumlama sinyalleri görüş hattında, birbirini doğrudan gören iki anteni birleştiren doğru boyunca, seyahat eder. Sinyaller; bulut, cam ve plastikten geçebilir; fakat bina ve dağ gibi daha katı nesnelerin içinden geçemez. (BHATTA, 2010, s. 28) GNSS alıcıları bu sinyalleri almak üzere tasarlanmıştır. Uydulardan alıcıya yayınlanan navigasyon mesajı; uydunun yörünge ve saat bilgisini, genel sistem durum mesajlarını ve bir iyonosferik gecikme modelini içerir.

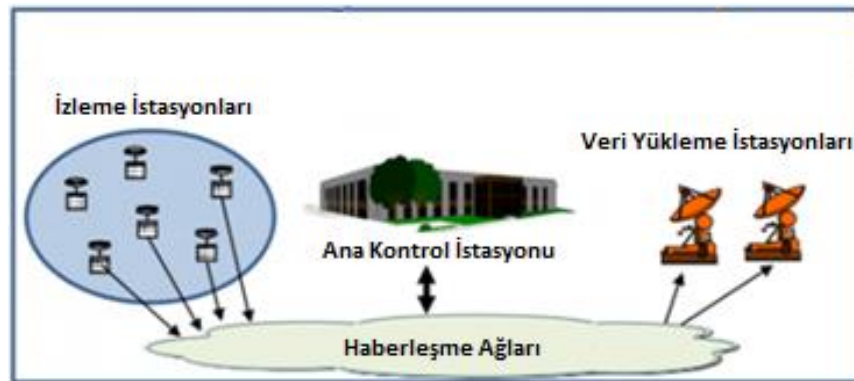
Her sinyal “yalancı düzensiz kod” adında karmaşık bir dijital kod örüntüsü içerir. Bu kodlanmış sinyallerin ana amacı, uydudan kullanıcı alıcısına giden sinyalin seyahat süresinin hesaplanmasına olanak sağlamaktır. Sinyalin seyahat süresi, varış ya da yayılma süresi olarak da adlandırılır. Seyahat süresinin ışık hızıyla çarpımı uydunun alıcıya olan uzaklığına eşittir.

Işık hızı 3×10^8 m/s olduğundan dolayı, küçük bir hata oranı son derece yanlış uzaklık ölçümü üretebilir. Bu nedenle uydu sinyalleri, son derece doğru atomik saatler kullanılarak zamanlanır.

2.2. Kontrol Segmenti

Yer segmenti olarak da adlandırılan kontrol segmenti, konumlama sisteminin beynidir. Uzak segmenti ile iki yönlü haberleşir. Kullanıcı segmenti ile doğrudan bağlantısı bulunmaz. Konumlama uydularının sinyallerini, konumlarını ve üzerlerinde bulunan atomik saatleri izler; uyduların, sinyallerin ve atomik saatlerin sağlık durumunu değerlendirir; hataları tespit eder; uyduların hassas yörüngelerini hesaplar; gerekli düzeltmeleri yapar; bağımsız zaman ölçeğini oluşturur; saatleri senkronize eder; almanak ve gök günlüğünü günceller; navigasyon mesajını üretir; bunları uydulara yükleyerek konumlama sisteminin düzgün işlemlerini ve sunulan hizmetin devamlılığını sağlar. Kontrol Segmenti; yeryüzüne konuşlandırılmış izleme istasyonları, bir ya da iki ana kontrol istasyonu ve veri yükleme istasyonları ağından oluşur. Kontrol segmenti bileşenleri konumlama sisteminin hizmet alanı üzerine dağıtılmıştır. İzleme istasyonları ve veri yükleme istasyonları genellikle aynı yerleşkede bulunduğundan ikisi birlikte telemetri, izleme ve kontrol istasyonu (TT&C) olarak da anılmaktadır. Ana kontrol istasyonları ise zaman zaman sistem kontrol istasyonu ya da kısaca kontrol istasyonu olarak isimlendirilmektedir (BHATTA, 2010, s. 41).

Şekil 4. Kontrol Segmenti



Kaynak: (ESA, 2014d)

Navigasyon uydularını takip etmek için kullanılan izleme istasyonları, geniş bir coğrafi alana yayılmıştır. Uydu konumları ve sinyalleri bu istasyonlar tarafından sürekli izlenir. İzleme istasyonlarının çoğu sadece uydulardan yayınlanan sinyalleri yakalama işlevi görür. Bu istasyonlar, yayınlanan radyo navigasyon sinyallerini ve uydulara ait durum bilgisini içeren aşağı yönlü haberleşme sinyallerini alır. Uydunun ve alt bileşenlerinin durumuna ilişkin bilgiler aşağı yönlü haberleşme sinyalleri ile yere aktarılır. Aslen kullanıcı segmenti için yayınlanan radyo navigasyon sinyalleri ise konumlama sinyallerinin sağlıklı olup olmadığının takip edilmesi ve uydu konumlarının tahmin edilmesi için kullanılır. Uydu konumları genellikle uyduların yayınladığı radyo navigasyon sinyallerinden yararlanılarak belirlenir. Bazı konumlama sistemlerinde ise uydu konumlarının daha hassas tespit edilebilmesi için izleme istasyonlarının yanısıra lazerli ölçüm istasyonlarından da yararlanılmaktadır.. Lazerle uzaklık ölçümü yapılabilmesi için bu konumlama uydularına lazer yansıtıcılar yerleştirilmiştir. Küresel kapsamaya sahip sistemlerin izleme istasyonları genellikle yerkürenin dört bir yanına yayılmıştır. Lazerli ölçüm istasyonları ise daha çok, izleme istasyonları dar bir alana yayılmış olan sistemlerde kullanılmaktadır. İzleme istasyonları ve lazerli ölçüm istasyonları topladıkları verileri işlenmek üzere ana kontrol istasyonuna gönderir.

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde bir ya da iki tane ana kontrol istasyonu bulunur. İki ana kontrol istasyonuna sahip sistemlerde bunlardan biri aktif olarak kullanılırken diğeri tedbir amaçlı yedekte bekletilir. Ana kontrol istasyonu, izleme istasyonlarından ve lazerli ölçüm istasyonlarından gelen verileri alır; bu verileri değerlendirir; uydunun, uydu tarafından aktarılan sinyallerin ve uydu üzerindeki atomik saatlerin durumunu inceler; hataları bulur; düzeltmeleri yapar; her uydunun yörüngesini belirler; kaba uydu konumlarını ve hassas yörünge parametrelerini tahmin ederek sırasıyla almanak ve gök günlüğüne işler; sisteme ait bağımsız zaman ölçeğini belirler; uzay ve yer segmentindeki atomik saatlerin zamanlarını eşleştirir; konumlama sinyalinde kullanılacak mesajı türetir; elde edilen çıktıları uydulara aktarılacak üzere veri yükleme istasyonlarına iletir. Yer segmentinin merkezinde yer alan ana kontrol istasyonu, sistemin sürüdürülebilir biçimde yönetilmesini sağlar.

Veri yükleme istasyonları, uydulara yukarı yönlü sinyal gönderen yer antenlerinden oluşmaktadır. Tek başına konuşlandırılmış veri yükleme istasyonları olabildiği gibi, diğer yer

segmenti bileşenleriyle aynı yerleşkeyi paylaşan veri yükleme istasyonları da mevcuttur. Veri yükleme istasyonları da izleme istasyonları gibi geniş bir alana dağıtılmıştır. Veri yükleme istasyonları, ana kontrol istasyonundan gelen çıktıları alarak üzerinden geçen uydulara aktarır. Navigasyon mesajı ve düzeltmeler veri yükleme istasyonları aracılığıyla uydulara yüklenir. Yerden sıklıkla yapılan yüklemeler ve düzeltmeler, uydu bileşenlerinin neden olduğu saat hatalarını ve atmosferin neden olduğu sinyal hatalarını azaltır (BITKO, GHASHGHAİ, KENNEDY, & LEWIS, 2005, s. 16). Düzeltme verileri, her uyduya günde en az bir kez gönderilir ve uydular, yörünge bilgisini yayınladıkları konumlama sinyalleri ile kullanıcı segmenti alıcılarına iletir (BHATTA, 2010, s. 41) Veri yükleme istasyonları, genellikle hizmet alanının tamamına dağıtılmıştır ve bu durum uydulara veri aktarımını kolaylaştırır.

Kontrol segmenti, sistem gereksinimleriyle orantılı olarak tekrara ve fazlalığa düşmeden kurgulanmalı ve yer bileşenleri hizmet alanına uygun biçimde dağıtılmalıdır. Konumlama hizmeti, sağlıklı bir uydu davranışını ve sinyalin doğru üretilmesini gerektirmektedir. Sistem içindeki her tutarsızlık hizmeti etkilemeyecek biçimde halledilmelidir. Sistemin düzgün işlemesi, hizmet gereksinimlerinin etkili biçimde karşılandığı anlamına gelir.

2.3. Kullanıcı Segmenti

Kullanıcı segmenti, uydu tabanlı konumlama sistemlerinin tamamlayıcı unsurudur. Uzak segmenti ile arasında tek yönlü bağlantı bulunan bu segmentin kontrol segmenti ile doğrudan bağlantısı bulunmaz. Kullanıcı segmenti, uzak segmentinden yerküreye aktarılan konumlama sinyallerini alır; sinyal ile aktarılan verileri işler; yer ve zaman bilgisi üreterek çeşitli hizmetlere dönüştürür ve üretilen hizmetlerden yararlanır. Kullanıcı Segmenti, hizmet kullanıcıları ve kullanıcı ekipmanlarından oluşmaktadır.

Konumlama hizmeti kullanıcıları genellikle sivil/yetkisiz ve askeri/yetkili kullanıcılar olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Sivil/yetkisiz kullanıcılar, konumlama sistemini destekleyen bir cihaza sahip olmaları durumunda herkese açık konumlama sinyallerinden ücretsiz olarak yararlanabilen kullanıcılarıdır. Bu kullanıcılara sunulan konumlama hizmetinin hassasiyeti düşüktür. Askeri/yetkili kullanıcılar ise, sistem yönetiminden sorumlu makamlar tarafından yetkilendirilen profesyonel kullanıcılarıdır. Askerler, devlet yetkilileri ve ticari kullanıcılar bu gruba girer. Bu kullanıcılara sunulan konumlama hizmetinin hassasiyeti

oldukça yüksektir. Yetkilendirilmiş kullanıcılar ağırlıklı olarak askerlerden ve devlet yetkililerinden oluşmaktadır. Konumlama sistemlerinin zaman içerisinde ticarileşmesi ile birlikte, hassas konumlama sinyallerinden ücret karşılığında yetkilendirilmiş ticari kullanıcıların da faydalanması mümkün hale gelmiştir. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin sağladığı hizmetin içeriği ve niteliği kullanıcı profiline göre farklılık göstermektedir.

Şekil 5. Kullanıcı Segmenti



Kaynak: (ESA, 2014d)

Konumlama sistemlerinde frekans ya da içerik yönünden farklı birden fazla konumlama sinyali kullanılır. Hedeflenen kullanıcı kitlesi konumlama sinyallerinin çeşitlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Konumlama uyduları, kullanıcı segmenti alıcıları için genellikle iki tür sinyal yayınlırlar. Bu sinyallerden biri sivil kullanıcılara kaba konumlama sağlayan şifrelenmemiş sinyal, diğeri ise yetkilendirilmiş kullanıcılara hassas konumlama sağlayan şifrelenmiş sinyaldir. Sivil/yetkisiz konumlama sinyallerinde kullanılan yalancı düzensiz kodun hassasiyeti, askeri/yetkili sinyallerde kullanılan koda göre daha düşüktür.

Kullanıcı ekipmanları, GNSS alıcılarından ve tamamlayıcı donanımlardan oluşmaktadır. GNSS alıcılarının yapısında anten, alıcı saati ve işlemciler bulunur. Alıcılar, uydulardan yayınlanan konumlama sinyallerini alır; sinyallerin sağlıklı olup olmadığını değerlendirir; görüş hattındaki uyduları seçer; Doppler kayması ölçümlerini gerçekleştirir; yalancı uzaklıkları hesaplar; uzaklık hatasının tahmin eder; navigasyon eşitliklerini çözerek konum,

hız ve zaman bilgisi türetir (BHATTA, 2010, s. 46). Konumlama ve hizmet konusunda alıcılara destek olan her türlü nesne, elektronik bileşen ve cihaz ise tamamlayıcı donanım kapsamına girer. Tamamlayıcı donanımlar alıcıyı destekler ve alıcıda üretilen konumlama bilgilerini yazılı, sesli ya da görsel hizmetlere dönüştürürler. Konumlama işlemi GNSS alıcılarında gerçekleştirilir. Tamamlayıcı donanımlar ise hizmet çeşitliliği sağlar. Piyasada alıcıların ve tamamlayıcı donanımların tümleşik ya da harici olarak kullanıldığı aygıt türleri bulunmaktadır. Kullanıcı ekipmanlarının, kablolu ya da kablosuz bağlantı yoluyla bilgisayar vb. cihazlara bağlanması mümkündür. Bu sayede, elde edilen konumlama verileri aktarılabilmekte ve kullanıcı ekipmanının hafızasındaki haritalar güncellenebilmektedir.

Yıllar içerisinde GNSS kullanım alanlarının artmasına paralel olarak pazardaki alıcı çeşitliliği de oldukça artmıştır. GNSS alıcıları zamanla arabalara, telefonlara ve saatlere entegre edilmiştir. Akıllı telefonlardan hassas haritacılığa kadar çok çeşitli alanlarda kullanılan alıcıların kabiliyetleri ve hassasiyetleri birbirinden farklıdır. Alıcılar; destekledikleri uydu tabanlı konumlama sistemleri, yalancı uzaklık hesaplama kabiliyetleri, izleyebildikleri frekans ve kanal sayısı ile tanımlanırlar (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER, & WASLE, 2008, s. 7). Alıcının desteklemiş olduğu uydu tabanlı konumlama sistemleri, sinyal bulunabilirliği açısından oldukça önemlidir. Alıcı, ne kadar çok sistemi desteklerse sinyal yakalama olasılığı da artar. Günümüzde yeni üretilen alıcıların çoğu birden fazla uydu tabanlı konumlama sistemini desteklemektedir (BHATTA, 2010, s. 46). Alıcıların yalancı uzaklık hesaplama kabiliyeti verilen hizmetin niteliği ile ilişkilidir. Bu kabiliyeti etkileyen en önemli bileşen alıcı üzerinde kullanılan saatlerdir. Her ne kadar kullanıcı saatlerinin hassasiyeti uydularda kullanılan atomik saatlere göre düşük olsa da profesyonel alıcılarda daha kararlı saatlerin kullanılması, sivil alıcılara göre daha doğru hesaplama yapılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca profesyonel alıcıların işlem yetenekleri, sivil alıcılara göre çok daha iyidir. Alıcıların izleyebildiği frekans sayısı aygıtın hata azaltma yeteneği hakkında bilgi verir. Alıcılar bir, iki ya da daha fazla frekansı destekleyebilmektedir. Tek frekanslı alıcılar, konumlama uyduları tarafından yayınlanan iyonosfer modelini kullanıcı konumu ve gün içindeki zamana göre uygulayarak iyonosferik gecikmeyi yaklaşık olarak hesaplarlar ve bu değeri hatanın azaltılmasında kullanırlar (BITKO, GHASHGHAI, KENNEDY, & LEWIS, 2005, s. 17). İki frekanslı alıcılar ise atmosferik modele ek olarak, bir uydunun iki farklı

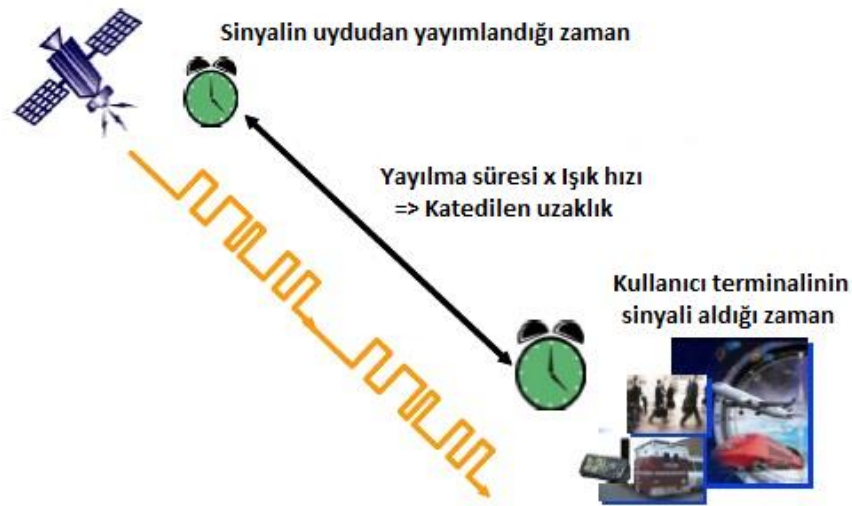
frekans üzerinden aktardığı iki yalancı düzensiz kod arasındaki faz farkını hata düzeltiminde kullanarak çok daha hassas konumlama yapabilir. Günümüz sistemleri, kullanıcılarına genellikle iki frekans üzerinden hizmet vermektedir. Gelecekte bu sayının artırılmasına yönelik sistem bazında geliştirme planları mevcuttur. Alıcının desteklediği kanal sayısı hata azaltma kapasitesi açısından belirleyici özelliklerden biridir. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin kullanıldığı ilk yıllarda alıcılar aynı anda en fazla 4 ya da 5 uydudan sinyal alıp işleyebilirken bu kabiliyet zaman içinde gelişmiştir. Günümüzde, destek sinyalleri de dahil olmak üzere 48'den fazla kanalı destekleyen profesyonel alıcılar mevcuttur (BHATTA, 2010, s. 46).

Kullanıcı ekipmanları, sinyal alma özelliği bulunan kullanıcı terminalleridir. Uydu tabanlı konum belirleme, uydulardan gelen sinyaller işlenerek yapılır. Kullanıcı ekipmanlarından uydulara bir geri bildirimde bulunulmasına gerek yoktur. Bu nedenle, temel işlevi konumlama olan aygıtların birçoğunda sinyal gönderme özelliği bulunmaz. Sinyal gönderme özelliği bulunanlarda bu özellik uydular aracılığıyla kısa mesaj ve konum bilgisi gönderiminde kullanılmaktadır. Ancak uydulara sinyal gönderme özelliği, fazladan güç ve donanım gerektirdiği için kullanıcı ekipmanlarının daha karmaşık olmasına ve boyut olarak büyümesine neden olmaktadır. Cep telefonu gibi karma aygıtlarda durum biraz daha farklıdır. Bu tür aygıtlar, telekominkasyon şebekesi ya da kablosuz yerel ağlar üzerinden konumlama desteği alabilmekte aynı zamanda haberleşme hizmeti de sunabilmektedir.

3. UYDULARLA KONUM BELİRLEME

Uydu tabanlı navigasyon hizmetlerinde, kullanıcı uydudan yayınlanan sinyal ile etkileşime girerek konumunu belirleyebilmelidir. Kullanıcının kendi konumunu elde edebilmesi için referans uydunun konumunu ve alıcının uyduya olan uzaklığını bilmesi gerekmektedir. Uzaklık, sinyalin uydudan yayınlanması ve alıcıya ulaşması arasında geçen yayılma zamanı kullanılarak hesaplanır. Bu yüzden, yayınlama zamanının elde edildiği uydu saatinin son derece kararlı ve doğru olmasına ihtiyaç duyulur. Uydudaki önemsiz bir saat kaymasının bile alıcıda konum tahmini sırasında düzeltilmesi gerekir.

Şekil 6. Uzaklık Hesabının Kavramsal Gösterimi



Kaynak: (DUMESNIL, 2007, s. 9)

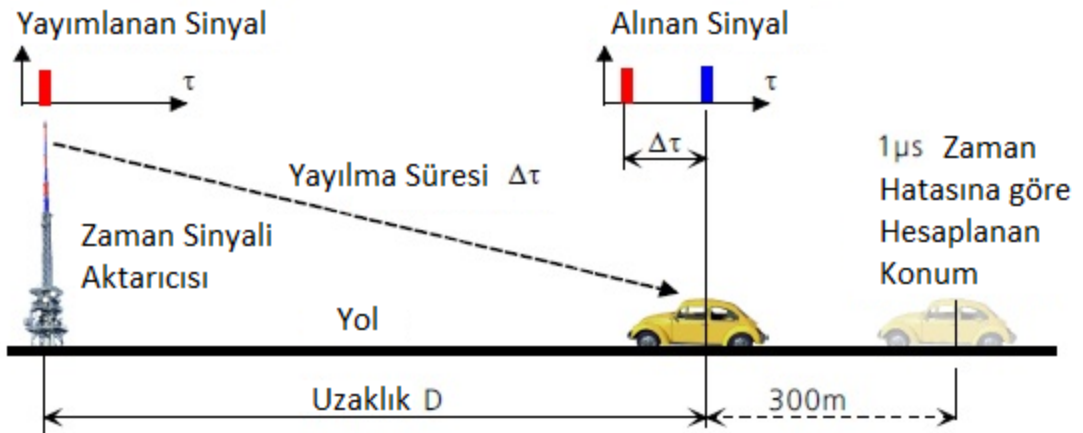
Uydu takımını oluşturan uydular zamansal doğruluğu çok yüksek olan atomik saatlerle donatılmıştır. Uydular bu saatler sayesinde, sinyalin uydudan çıktığı kesin zamanı hassas biçimde belirten kendilerine özel sinyaller yayınlar. Cep telefonu gibi aygıtlara yerleştirilmiş olan yer alıcılarının hafızasında ise, uydu takımındaki tüm uyduların hassas yörünge detayları bulunmaktadır. Alıcılar, gelen sinyali okuyarak hangi uyduya ait olduğunu ayırt edebilir. Konumlama sinyalinin içeriğinde yer alan sinyal yayımlanma zamanını ve uydu konum

bilgisini kullanarak, sinyal yayımlandığı sırada uydunun nerede olduğunu tespit edebilir. Sinyal yayılma süresini (sinyalin uydudan yayımlanma ve alıcıya ulaşma zamanları arasındaki farkı) saptayarak uyduya olan uzaklığını hesaplayabilir. Bir yer alıcısının tam konumunu hesaplayabilmesi için en az 4 uydudan eş zamanlı olarak sinyal alması gerekmektedir. Dünya çevresinde dönen uydulardan elde edilen bu değerlerden seyahat yönü ve hız türetilebilir. Seyahat hızı ayrıca doğrudan Doppler kayması ölçümleri yardımıyla belirlenebilir (ZOGG, 2009, s. 10).

3.1. Uydu Navigasyonunun Temel Prensipleri

Uydu tabanlı konumlama sistemleri, sistem bileşenleri ve kullandıkları sinyaller farklılık gösterse de yeryüzündeki bir nesnenin konumunu belirlemede aynı yöntemi kullanırlar. Sistemin işleme prensibi oldukça basittir. Konumu bilinen uydulardan yeryüzüne doğru zaman bilgisi içeren düzenli konumlama sinyali yayınlanır. Elektromanyetik dalgaların uzayda 300.000 km/s olan ışık hızı ile hareket ettiği bilinmektedir (299,792,458 m/s tam değer). Bu durumda, radyo dalgalarının seyahat süresini ölçerek alıcının uyduya olan uzaklığını hesaplamak mümkündür. Yöntemin işleyişi Şekil 7’de görselleştirilmiştir. Şekilde uydu yerine yer konumlu bir sinyal aktarım istasyonu kullanılmaktadır. Arabaya yerleştirilmiş olan alıcının saati, zaman sinyali gönderen aktarım istasyonunun saati ile senkronize edilmiştir. Sinyalin aktarıcından arabaya ulaşmaya kadar geçirdiği yayılma süresi ölçülerek arabanın yoldaki konumu belirlenebilir.

Şekil 7. Yayılma Süresi Ölçülerek Uzaklığın Hesaplanması



Kaynak: (ZOGG, 2009, s. 13)

Uzaklık, sinyal yayılma süresi ve ışık hızı çarpılarak hesaplanır:

$$D = \Delta\tau \cdot c \quad (3.1)$$

Aktarıcı saati ile araba üzerindeki saat, tam olarak eş zamanlı değilse gerçek uzaklık ile hesaplanan uzaklık arasında farklılık olabilir. Şekil 7’de, sinyal yayılma süresinde 1 µs hata olması durumunda araba konumunun 300 metre farklı hesaplandığı gösterilmiştir.

3.2. Sinyal Yayılma Süresinin Ölçülmesi

GNSS uyduları kendi tam konumlarını ve yerleşik saat zamanlarını, yayımladıkları sinyallerle Yerküreye aktarırlar. Işık hızında seyahat eden bu sinyallerin Orta Yörüngede bulunan GPS gibi bir uydu takımından Yerküreye ulaşması yaklaşık olarak 67.3 ms sürer (ZOGG, 2009, s. 15). Her 1 km yolu 3.33 µs içerisinde kateden bu sinyaller Yerkürede alıcılar tarafından yakalanır ve yayılma süreleri belirlenerek konum hesaplamasında kullanılır.

Her konumlama uydusu, konumlama sisteminin zaman referansı ile eşzamanlı bir yalancı düzensiz gürültü kodu yayımlar. Kısaca “PRN” olarak adlandırılan bu kod, “0”lar ve “1”lerden oluşan uzun bir bit serisidir. Dijital “0” ve “1”lerden oluşan seri rastgele dağıtılmış gürültü gibi görünse de tıpatıp üretilebilir. GPS için kullanılan kod dizimi 1023. bitten sonra kendini tekrarlar (DUMESNIL, 2007, s. 10). Bu kodların en önemli özelliği, tamamen örtüşüklerinde gecikme ve duraklamaların kod dizilişine uyma olasılığının oldukça düşük olmasıdır.

Şekil 8. Kısa Tekrarlayan PRN Kod Örneği



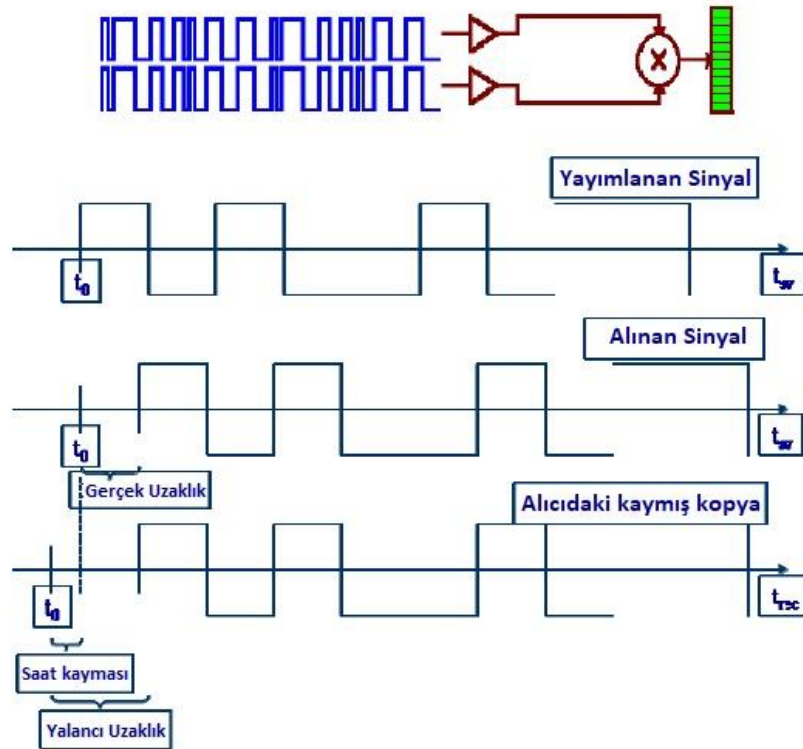
Kaynak: (DUMESNIL, 2007, s. 10)

CDMA (Kod Ayrımlı Çoklu Erişim) teknolojisinin kullanıldığı sistemlerde her konumlama uydusunun kendine özgü bir PRN kodu bulunmaktadır. Bu sayede alıcı, aldığı sinyalin hangi uyduya ait olduğunu ayırt edebilir. Her alıcı terminali, uydular tarafından yayımlanan bu

kodların birer kopyasını kendi zaman referansı ile eşzamanlı olarak üretir. Bundaki temel amaç, birbirinin aynı olan iki kod dizimi arasındaki kaymayı tespit ederek sinyalin seyahat ettiği süreyi bulmaktır. Alıcı terminali, uydudan aldığı kod ile kendi ürettiği kodu karşılaştırır; kod dizilişindeki kayma miktarından sinyal yayılma süresini elde eder. Sinyal yayılma süresi, sinyalin uydudan çıkışı ile alıcıya girişi arasında geçen zaman farkıdır. Yayılma süresi, ışık hızı (300.000 km/s) ile çarpıldığında uydu ve alıcı terminali arasındaki yalancı uzaklık değeri hesaplanmış olur.

FDMA (Frekans Ayrımlı Çoklu Erişim) teknolojisinin kullanıldığı sistemlerde durum biraz farklıdır. Her uydunun kendine özgü sinyal yayma frekansı bulunur. Sinyal içeriğinde bulunan PRN kod ise aynıdır; uydudan uyduya değişmez. Sinyalin hangi uydudan geldiği sahip olduğu frekanstan anlaşılır. Kullanılan uzaklık hesaplama yöntemi ise aynıdır. Farklı frekansa sahip birden fazla sinyalin alıcıda aynı anda işlenebilmesi için uydu frekansları birbirine yakın seçilir.

Şekil 9. Uzaklık Ölçümünün Sinyal Bazında Gösterimi



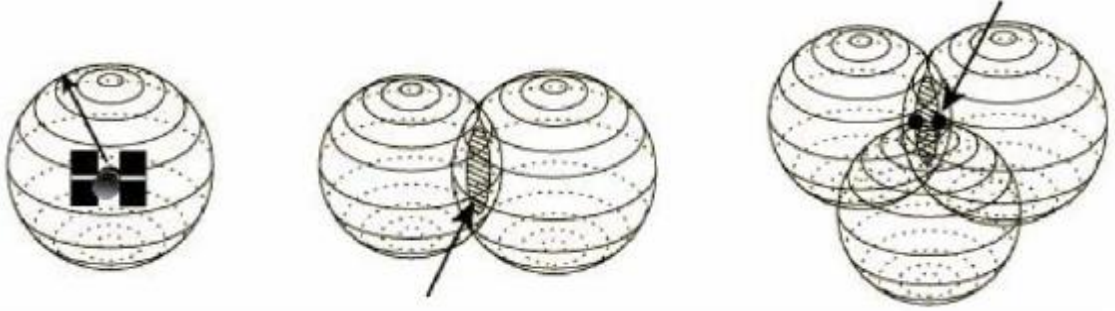
Kaynak: (DUMESNIL, 2007, s. 11)

Teoride herşey kusursuz olsa da gerçek uygulamalarda zaman senkronizasyonu ile ilgili sorunlar mevcuttur. Kontrol segmentinin uydularda bulunan atomik saatleri, uydular arasında kusursuz bir eş zamanlama sağlayacak biçimde senkronize etmesi gerekmektedir. Ayrıca, uydulardaki atomik saatler ile kullanıcı alıcılarında bulunan görece daha ucuz saatler arasında zaman kayması kaçınılmazdır. Süre hesabındaki çok küçük bir kayma bile sonuçlarda ciddi hatalara yol açabildiğinden, uydu tabanlı konumlama sistemlerinde hesaplanan uydu ve kullanıcı arasındaki mesafe “yalancı uzaklık (pseudo-range)” olarak adlandırılır.

3.3. Konum Belirleme için Gereken Uydu Sayısı

Her uydunun sinyal gönderirken bulunduğu konum ve kullanıcı alıcısına olan uzaklığı farklı olduğundan yalancı uzaklık değerleri her bir uydu için ayrı ayrı hesaplanır. Tek bir uydudan alınan sinyal ile yapılan konum hesaplarında elde edilen yalancı uzaklık, sadece uydu ve alıcı arasındaki mesafeyi tanımlar. Bu mesafenin hangi yönde olduğuna ilişkin vektörel bir bilgi içermez. Bu da alıcının, merkezinde uydu bulunan ve yarıçapı yalancı uzaklık kadar olan bir küre üzerinde herhangi bir noktada olabileceği anlamını taşır. Birden fazla uydu sinyali kullanıldığında, her bir uydu için ayrı ayrı hesaplanan yalancı uzaklık kürelerinin kesişimi alıcının bulunabileceği bölgeyi verir. Konum belirlemede yararlanılan uydu sayısı arttıkça, alıcının bulunabileceği bölge daralır. Bir uydu kullanıldığında bu bölge bir küre, iki uydu kullanıldığında iki çemberin kesişimi olan çember, üç uydu kullanıldığında ise üç kürenin kesiştiği iki adet nokta olarak tanımlanır. Üç uydunun yalancı uzaklık kürelerinin kesiştiği iki noktadan anlamsız olan ayrıştırıldığında alıcının üç boyutlu konumu elde edilir. Diğer bir deyişle; 3 farklı uydudan alınan sinyallerle elde edilen 3 farklı yalancı uzaklık denklemi, alıcının bilinmeyen 3 konum koordinatının belirlenebilmesi için yeterlidir.

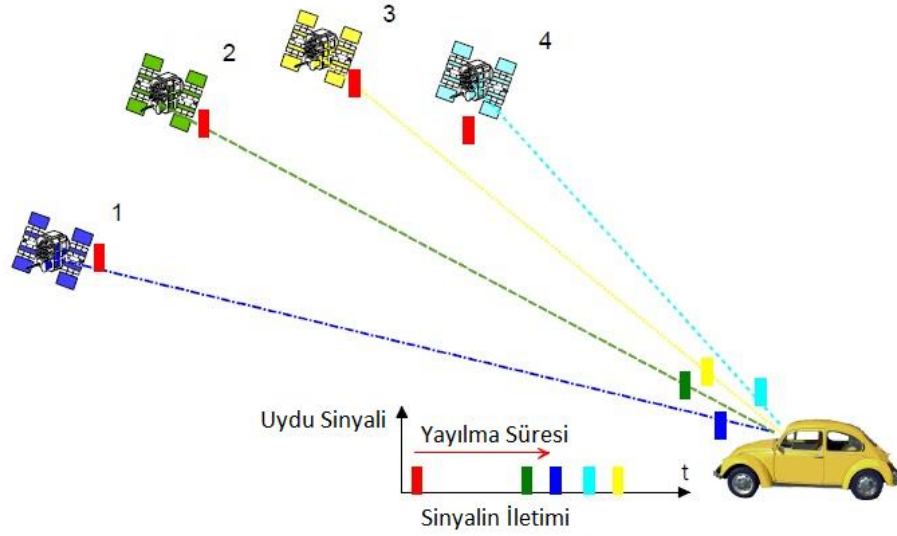
Şekil 10. Yalancı Uzaklık Küreleri



Kaynak: (DUMESNIL, 2007, s. 11)

Uydu tabanlı konum belirleme problemlerinde aslında 4 bilinmeyen bulunur. Bilinmeyenlerin üçü kullanıcı konumuna ait üç eksenli konum bilgisi, diğeri ise kullanıcı saatinden kaynaklı zaman hatası bilgisidir. Kullanıcı segmentindeki alıcı saatlerinin doğruluğu uydulardaki atomik saatlere göre zayıftır. Bu nedenle sistemde, senkronizasyon eksikliğinden kaynaklı bir zaman belirsizliği oluşur. Kullanıcı saati ile uyduların atomik saatleri arasında mükemmel bir senkronizasyonun olduğu ideal durumda, kullanıcı konumunun hesaplanması için sadece 3 uydu sinyali yeterli olur. Gerçek uygulamalarda ise, kullanıcı saatindeki zaman kaymasının giderilmesi için fazladan 1 uydu sinyaline daha ihtiyaç duyulur. 3 uydu kullanılarak yapılan konum belirleme işleminde alıcıdaki zaman kayması hesaba katılmadığından konumlama tutarlılığı oldukça düşer. Bu sebeple, doğruluğu yüksek konumlama için en az 4 uyduya ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı anda dört ya da daha fazla uydu sinyalinin izlenmesiyle, kullanıcı saatindeki hata miktarı bulunur; uydulardan gelen sinyallerin yayılma süreleri hassas biçimde tahmin edilebilir.

Şekil 11. Enlem, boylam, yükseklik ve zamanın belirlenmesi için 4 uydu



Kaynak: (ZOGG, 2009, s. 14)

Kontrol ve uzay segmentinde son derece hassas atomik saatler kullanılırken kullanıcı segmenti alıcılarında doğruluğu düşük olan saatlerin kullanılması sistem senkronizasyonunda belirgin bir zaman hatası oluşturur. Bu zaman hatası, kullanıcı saatinden kaynaklandığından her uydu sinyali için aynıdır; değişmez. Bu durum, çözülmesi gereken üç boyutlu konum denkleminde fazladan bir bilinmeyen daha oluşturur. Kullanıcı saatinden kaynaklı hatanın giderilmesi için 3 eksenli konum bilgisinin yanında bu hata değerinin de hesaplanması gerekir. Söz konusu 4 bilinmeyenli denklem ancak aynı anda en az 4 uydudan sinyal alınırsa çözülebilir. Dördüncü uydu kullanıcı saatinden kaynaklı zaman hatasının tespit edilerek konum doğruluğunun sağlanması için gereklidir.

3.4. Konum Belirleme Doğruluğu

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde konum belirleme doğruluğunu etkileyen birçok hata kaynağı bulunmaktadır. Uydu ve alıcı zamanları arasındaki fark en belirgin hata kaynağı olmakla birlikte; anten vb. alt donanımlardaki duraklama, gecikme gibi sorunlar, uydunun izlediği yol ve sinyal yansıması da konum belirleme doğruluğunu etkilemektedir. Bu altyapısal faktörlerinin yanında konumlama sinyalinin aktarıcından alıcıya ulaşmaya kadar yol aldığı ortam da sonuca etki eder. Hassasiyeti yüksek konum belirleme hizmeti sunulabilmesi için, söz konusu hataların devamlı olarak düzeltilmesi gerekir.

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde, sistem bileşenleri arasındaki zaman senkronizasyonu, konum belirleme hassasiyetini etkileyen en önemli altyapısal faktörlerden biridir. Sinyal yayılma süreleri, uydu ve kullanıcı aygıtında bulunan saat zamanları baz alınarak ölçülmekte; uzaklık ve konum hesapları da ölçülen bu süreler ile yapılmaktadır. Sinyal yayılma sürelerinin ölçümünde yapılan 10 nano saniyelik bir fark bile uzaklık hesabında 3 metre hata yapılmasına sebep olur. Zamansal hatanın 100 nano saniye olması durumunda konumlama hatası 30 metreye çıkar. Yüksek doğruluklu konumlama hizmeti vermeyi amaçlayan uydu tabanlı konumlama sistemlerinde bu nedenle hassasiyeti en az 10 nano saniye olan gelişmiş saatlere ihtiyaç duyulur. Gerek duyulan bu hassasiyet, atomik saatler ile sağlanır. Piko saniye mertebesinde hassas atomik saatlerin geliştirilmesi son derece hassas konumlamayı mümkün kılmıştır.

Her konumlama uydusu, hassasiyeti oldukça yüksek olan atomik saatler ile donatılmıştır. Atomik saat, sayaç olarak atomik titreşim frekansı standardını kullanan en doğru saat türüdür. Bilinen en hassas zaman ölçüm aleti olan atomik saatler, her 30.000 - 1.000.000 yıl aralığında en fazla 1 saniye kaybetmektedir (ZOGG, 2009, s. 15). Donanım eklenmiş maserler (microwave amplification by stimulated emission of radiation - uyarılmış radyasyon yayımı ile mikrodalganın güçlendirilmesi) ilk atomik saatlerdir. Ulusal standart ajansları 10^{-9} s/gün' lük doğruluğu ve maseri pompalayan radyo vericisinin frekansına eşit bir hassasiyeti sürdürür (BHATTA, 2010, s. 28). Atomik saatler, sürekli ve kararlı zaman ölçeğinin (TAI – Uluslararası Atomik Zaman) devamlılığını sağlarlar. Ancak; zaman güçlü yerçekimi altında daha yavaş aktığından uydularda bulunan saatler yeryüzündeki saatlere göre daha hızlı çalışmaktadır. Ayrıca, uydulardaki saatler yeryüzündeki saatlere göre hareket ettiği için daha yavaş çalıştıkları görülür. Görelilik Kuramının öngördüğü bu etkiler, uydularda ve yeryüzünde bulunan özdeş saatler arasında fark oluşturacağından eşzamanlanmada dikkate alınmalıdır. (IOP Institute of Physics, t.y.) Bu nedenle, doğruluğu daha da artırmak için uydularda bulunan atomik saatler yeryüzündeki çeşitli kontrol noktalarından düzenli olarak ayarlanır ve senkronize edilir.

Kullanıcı segmenti alıcılarında genellikle atomik saat kullanılmaz. Bu eğilimin oluşmasını sağlayan en temel faktör atomik saatlerin pahalı olmasıdır. Hassasiyeti oldukça yüksek olan bu saatler içerdikleri teknoloji bakımından oldukça maliyetlidir. Ayrıca boyutları büyük

olduğu için görece küçük mobil kullanıcı terminallerinde kullanılmaları mümkün değildir. Katlanılacak maliyete kıyasla, sağlayacağı artı son derece kısıtlı olduğundan atomik saatler kullanıcı segmentinde tercih edilmez. Maliyet ve işlevsellik açısından kullanıcı segmenti alıcılarında daha basit saatler kullanılır. Doğruluğu daha düşük olan bu saatlerin senkronizasyonundan kaynaklı hata, alıcıda gerçekleştirilen konum belirleme işlemi sırasında fazladan bir uydu sinyali daha kullanılarak tespit edilir ve giderilir. Sistemde hata olasılığının en aza indirilebilmesi için hizmetin sunulduğu uzay ve kontrol segmentinde hassasiyeti oldukça yüksek olan atomik saatler kullanılırken, kullanıcı segmentindeki sıradan saatlerin yol açtığı hata doğru zaman bilgisi içeren bir başka uydu sinyalinin işleme katılmasıyla berteraf edilir.

Sadece uydulardan alınan verilerle hesaplanan konum her zaman yanlıştır. Bunun temel nedeni, başta iyonosfer ve troposfer olmak üzere atmosferik katmanların sinyallerde bozunuma ve gecikmeye yol açmasıdır. Sistematik hatanın ana kaynaklarından biri iyonosfer ve troposferden geçen taşıyıcı sinyalin gecikmesidir. Atmosferden kaynaklı hataların giderilmesinde iki farklı yöntem kullanılır. İki frekanslı teknikte kod iki farklı frekans üzerinde taşınır. Aradaki faz gecikme farkı hesaplanarak hatanın azaltılmasında kullanılır. Tek frekanslı teknikte ise her bir uydudan yayınlanan iyonosferik model kullanıcı konumu ve zamana göre uygulanır. Bu sayede iyonosferik gecikme yaklaşık olarak belirlenir ve konum belirleme hesabına dahil edilir.

Bir GNSS sistemini kullanarak, yeryüzündeki tam konumu (enlem, boylam ve yükseklik koordinatları) 20 m ile yaklaşık 1 mm arasında doğrulukla, kesin zamanı (UTC) 60 ns. ile yaklaşık 5 ns. arasında doğrulukla belirlemek mümkündür (ZOGG, 2009, s. 10). Standart GNSS konumlama hizmeti 10 metreye kadar hassasiyet sağlamaktadır. Diferansiyel yöntemde hassasiyet 1 metreye, RTK’da ise birkaç santimetreye kadar düşer. (WENTING, t.y., s. 9) Bu hizmet seçenekleri arasındaki herşey bütçeye bağlıdır. Daha fazla para, daha yüksek hassasiyet demektir. Daha iyi sonuç almak için ortalama alma yöntemine başvurulabilir; yer-sabit yörüngeli bir uydudan yararlanarak (WAAS, EGNOS, SDCM ve MSAS benzeri uydu tabanlı destek sistemlerinde olduğu gibi) düzeltme yapılabilir; uzak mesafeli radyo sinyalinden ya da kısa mesafede konumu bilinen bir baz istasyonundan yararlanılabilir.

3.5. Uydu Haberleşme ve Navigasyon Frekansları

Uydu tabanlı navigasyon ve haberleşme sistemlerinde bilgi aktarımı, sistem bileşenleri arasında radyo sinyali yayınlanarak yapılmaktadır. Bilgi aktarımlarının hangi sistem bileşenleri arasında hangi yönde gerçekleştirildiğinin kolayca anlaşılabilmesi için hem bilgi alışverişini gerçekleştiren sistem bileşenleri bazında hem de sinyal aktarım yönü bazında adlandırma yoluna gidilmiştir. Bilgi aktarımı; uydu ve kullanıcı arasındaysa “Kullanıcı Bağlantısı”, uydu ve yer kontrol istasyonu arasındaysa “Besleme Bağlantısı”, doğrudan uydular arasındaysa “Uydulararası Bağlantı” olarak adlandırılmaktadır. Sinyal aktarımı; yeryüzündeki bir istasyon ya da kullanıcı terminalinden uyduya doğru gerçekleştiriliyorsa “Yukarı Yönlü (Yer-Uydu Bağlantısı ya da Ters Bağlantı)”, uydulardan yeryüzündeki bir istasyon ya da kullanıcı terminaline doğru gerçekleştiriliyorsa “Aşağı Yönlü (Uydu-Yer Bağlantısı ya da İleri Bağlantı)” olarak isimlendirilmektedir.

Uydu sinyali aktarım frekansları, ITU tarafından tahsis edilmiş ve düzenlenmiştir. Uydu haberleşmesi ve navigasyonunda kullanılan mikrodalga elektromanyetik aktarım frekans aralıkları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Uydu haberleşme ve navigasyon frekansları

Bant	Frekans (GHz)
L	1,0 - 2,0
S	2,0 - 4,0
C	4,0 - 8,0
X	8,0 - 12,0
Ku	12,0 - 18,0
K	18,0 - 27,0
Ka	27,0 - 40,0
V	40,0 - 75
W	75 - 110

Kaynak: (ZOGG, 2009, s. 40)

4. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMLERİ

4.1. GPS (Global Positioning System)

Tam adı NAVSTAR GPS (NAVigation System with Timing And Rangind Global Positioning System) olan GPS, hem sivil hem de askeri kullanımın amaçlandığı ilk küresel konumlama sistemidir. ABD'ye ait olan sistem, 20200 km yükseklikte 6 farklı yörünge düzleminde dönen 24 operasyonel uydudan oluşacak biçimde planlanmıştır. Yörüngeler ve uydu dizilimleri dünya üzerindeki herhangi bir noktadan herhangi bir anda en az 4 uydu ile radyo haberleşmesi sağlanmasına olanak tanır. İlk uydusu 1978 yılında fırlatılan GPS' in 24 uydudan oluşan ana uydu takımı 1993 yılı sonlarında tamamlanmış; sistem tam operasyonel kabiliyete 1995 yılında ulaşmıştır. ABD Hava Kuvvetleri tarafından kontrol edilen sistemin işleticileri Savunma Bakanlığı, Ulaştırma Bakanlığı, Ticaret Bakanlığı, Dışişleri Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı, Adalet Bakanlığı, Tarım Bakanlığı, Genel Kurmay Başkanlığı ve NASA'dır (SHEHAB, t.y., s. 3).

GPS kurulurken; ABD askeri birliklerine navigasyon hizmeti verilmesi, radyo dalgaları girişiminden etkilenmeden gerçek zamanlı 3 boyutlu konumlama yapılması ve sistemin makul enlemlerde her türlü hava koşulunda sürekli işlevsel olması amaçlanmıştır. Bununla birlikte kullanıcılara hareketli ya da hareketsiz konum, hız ve zaman belirleme yeteneği sağlamasına ve sivil kullanım potansiyeli olmasına da dikkat edilmiştir (ZOGG, 2009, s. 10). Günümüzde sistem kullanıcılarının %95'i sivilidir (SHEHAB, t.y., s. 3).

GPS ile iki tür temel hizmet sunulmaktadır. Standart Konumlama Hizmeti (SPS) halkın geneli tarafından ücretsiz olarak kullanılabilir. Hassas Konumlama Hizmeti (PPS) ise sadece yetkilendirilmiş devlet ajanslarının kullanımına açıktır. GPS kullanıcıları sadece sinyal alır; sinyal göndermez. Konum belirleme işlemi ise alıcıda yapılır ve bu işlemin yapımında uydular yer almaz. Yer kontrol istasyonları tahrip olsa bile sistem işlemeye devam eder.

4.1.1. GPS Uzay Segmenti

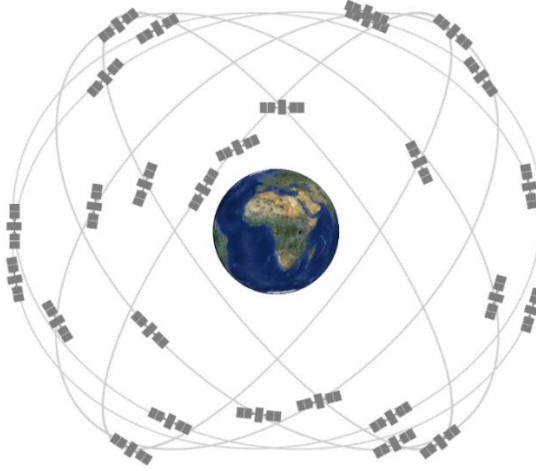
4.1.1.1. GPS Uydu Takımı

GPS, küresel kapsamaya sahip bir uydu tabanlı konumlama sistemidir. Tam işlevsel uydu takımı 24 orta yörüngeli uydudan oluşmaktadır. Yedekler ve görev ömrünü tamamladığı halde çalışmaya devam eden uydular nedeniyle yörüngedeki mevcut uydu sayısı bundan çok daha fazladır. Sistemin hizmet dışı bırakılan uydulardan etkilenmemesi ve kapsama alanının korunması için yörüngede 24'ün üzerinde aktif GPS uydusu bulundurulur. Ek uydular fazladan ölçüm sağlayarak hesaplanan konum hassasiyetinin iyileştirilmesine katkıda bulunurlar. Her ne kadar GPS performansını artırırsalar da çekirdek uydu takımının bir parçası sayılmazlar (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018).

GPS uydu takımındaki uydular, yerküre merkezli dairesel yakın 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiştir. 24 uydu 6 yörünge düzlemine, her birinde 4 uydu bulunacak biçimde dağıtılmıştır. Yörünge düzlemlerinin yörünge eğiklik açısı 55 derecedir. Söz konusu 6 yörünge düzlemi, yükselme düğüm noktaları arasında 60 derecelik eş aralıklar bulunacak şekilde konumlandırılmıştır.

GPS uyduları yer merkezli dairesel yakın yörüngelerde dönerler. Yörünge yükseklikleri 20200 km, yörünge yarıçapları ise yaklaşık olarak 26600 km'dir. Sinyalin uydudan alıcıya kadar seyahat ettiği mesafe uydu zenith doğrultusunda yaklaşık 20200 km, uydu ufuktaysa yaklaşık 25600 km'dir. (BHATTA, 2010, s. 29) Uydular, yörüngedeki bir turunu yaklaşık olarak 11 saat 58 dakikada tamamlarlar ve bir günde Dünya etrafında iki tur atarlar.

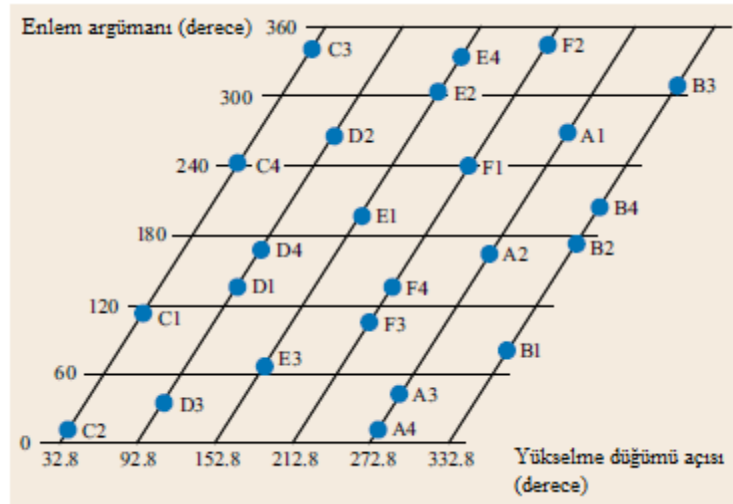
Şekil 12. Genişletilebilir 24 slotlu GPS uydu takımı



Kaynak: (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018)

2011 yılında ABD Hava Kuvvetleri “Expandable (Genişletilebilir) 24” konfigürasyonu olarak bilinen bir GPS dizilimi genişletme işlemini başarı ile tamamlamıştır. Bu işlem sırasında 24 slottan 3’ü genişletilmiş; 6 uydu tekrar konuşlandırılarak ek 3 uydunun temel uydu takımına katılması sağlanmıştır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018). Bu sayede GPS, Dünya’nın birçok bölgesinde daha iyi kapsamaya sahip 27 slotlu bir uydu takımı haline gelmiştir.

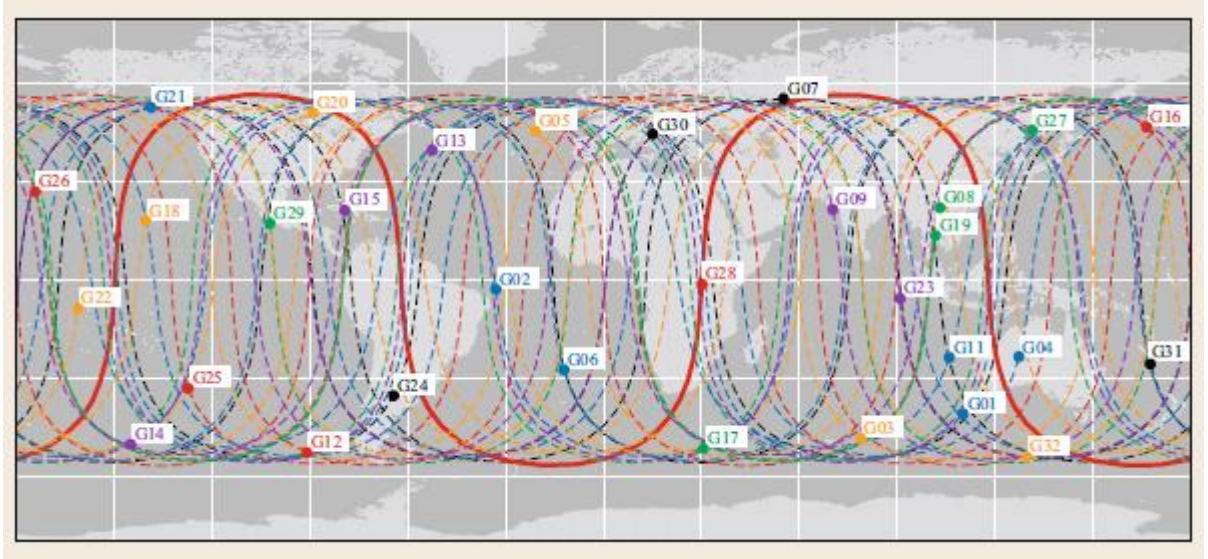
Şekil 13. 24 uydulu GPS uydu takımının yörünge dizilimi



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 198)

Her yörünge düzleminde asıl işlevi gören uyduların yerleşebileceği dörder slot bulunur. Uyduların yerleşeceği slotlar olası uydu arızalarına karşı dayanıklılığı sağlamak için yörünge düzlemleri üzerine asimetrik olarak yerleştirilmiştir. 24 uydunun yerleşmesine imkan tanıyan bu yörünge düzenlemesi sayesinde Dünya'nın herhangi bir yerinde en az 4 uydu sürekli görünür durumdadır. (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018) Son yıllarda yörüngede 31 operasyonel GPS uydusu bulunmaktadır. Ana uydu takımını oluşturan 24 uydu dışındaki ilk 3 uydu genişletilen B1, D2 ve F2 slotlarına yerleştirilmiştir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 198). Geriye kalan 4 uydu ise, bozulanların yerini almak üzere uydu takımındaki uydulara yakın pozisyonlarda tutulmaktadır.

Şekil 14. GPS uydularının yer izi



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 199)

GPS uydularının tamamı, 55 derece eğikliğe sahip orta yörüngelerde dönmektedir. Dairesel olan bu yörüngelerin periyodu yaklaşık 12 saat olduğu için, Dünya kendi etrafında bir tur atarken uydular yörüngede iki tur atmış olur. Bu nedenle uyduların dönüşleri sırasındaki yer izdüşümleri 55 derece kuzey ve 55 derece güney enlemleri arasında dalgaya benzer bir salınım hareketi gerçekleştirir. Uydular günde iki kez 55 derece kuzey enlemi, iki kez de 55 derece güney enlemi üzerinden geçer. Kuzeyden güneye ya da güneyden kuzeye doğru gerçekleşen dalgalı salınım hareketi yaklaşık her 90 derece boylamda bir yön değiştirir. Her GPS uydusu yeryüzü üzerinde aynı dalga hareketini yapar. Aynı yörünge düzlemini paylaşan

uydular aralıklarıyla aynı yörünge izi üzerinde hareket ederler. Diğer yörünge düzlemlerindeki uyduların yer izleri arasında yükselme düğüm açıları arasındaki fark kadar (60 derece boylamlık) faz farkı bulunur. Yörünge takımı ve uydu dizilimi birbirini tamalar ve sisteme küresel kapsama alanı sağlar.

4.1.1.2. GPS Uyduları

GPS; ilk uydunun fırlatıldığı 1978 yılından bu yana sürekli geliştirilen, yeni nesil uydular ile takviye edilen bir uydu tabanlı navigasyon sistemidir. 2018 yılına kadar 73 GPS uydusundan 67'si başarılı şekilde fırlatılmış ve yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu uydulardan 31 tanesi halen operasyonel durumdadır. Uydu yapıları gelişen teknolojiye paralel olarak zaman içerisinde yenilenmiştir. Farklılaşan uydu yapılarını birbirinden ayırt etmek için seri ve konfigürasyon belirteçleri kullanılmaktadır. Birinci nesil GPS uydularının sahip olduğu yapı Block I olarak adlandırılmıştır. GPS ikinci nesil uydu serileri ise, “Block II Harf” şeklinde isimlendirilmektedir. “II” uydunun 2. nesil olduğunu ifade eder. Seri numarasından sonra kullanılan her harfin farklı açılımları vardır. “A” harfi “Gelişmiş (Advanced)” kelimesinin, “R” harfi “Yenileme (Replenishment)” kelimesinin, “M” harfi “Modernleştirilmiş (Modernized)” kelimesinin, “F” harfi ise “Devamı (Follow-on)” kelimesinin kısaltmasıdır. Üçüncü nesil GPS uydularının isimlendirilmesinde ise farklı bir yol izlenmiş; uydular doğrudan GPS III ve GPS IIIF olarak adlandırılmıştır.

İlk GPS uydu serisi Block I'lerden toplam 11 adet üretilmiştir. Fırlatımı başarısız olan 7. uydu haricindeki 10 uydu 1978-1985 yılları arasında başarıyla yörüngeye yerleştirilmiştir. Ağırlığı 450 kg olan bu uydular 400W güç üretebilmektedir. Block I serisi uyduların tamamında 3 rubidyum atomik saat kullanılmıştır. Son 8 uyduya ayrıca bir sezyum saat de eklenmiştir. Tasarım ömrü 5 yıl olan uydulardan bazıları 10 yıldan fazla görev yapmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 200). Bu uyduların en sonuncusu 1995 yılında görev dışı bırakılmıştır.

Bir sonraki aşamada Block II'lerden 9 adet, Block IIA'lardan 19 adet olmak üzere toplamda 28 GPS uydusu üretilmiştir. Block II'ye göre daha yeni kabiliyetlere sahip olan Block IIA yer segmenti ile bağlantı kurmadan 180 gün boyunca görev yapabilmektedir. Uyduların tamamı 1989-1997 yılları arasında fırlatılmıştır. Ağırlığı 850 kg'dan fazla olan bu uydular 700W güç

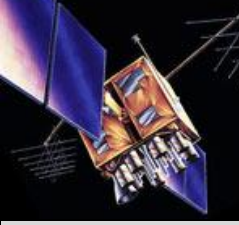
üretebilmektedir. Bu uyduların her birinde 2 rubidyum ve bir sezyum saat bulunmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 200). Tasarım ömrü 7,5 yıl olan uyduların sonuncusu 2016 yılında görevini tamamlamıştır.

Sonraki kontrat kapsamında 21 adet yeni uydu üretilmiştir. Bu uyduların 13 tanesi Block IIR, 8 tanesi Block IIRM'dir. Fırlatımı başarısız olan ilk uydu dışındaki Block IIR uyduları 1997-2004 yılları arasında yörüngeye yerleştirilmiştir. 2005-2009 yılları arasında fırlatılan Block IIRM uyduların yedincisi taşıdığı deneysel görev yükü nedeniyle bozulmuştur. Ağırlığı 1080 kg olan bu uydular 1140W güç üretebilmektedir. Bu uyduların her birinde 3 rubidyum saat kullanılmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 201). Tasarım ömrü 7,5 yıl olan uydulardan 12 adet Block IIR ve 7 adet Block IIRM operasyonel olarak görevlerini sürdürmektedir.

Devamında 12 adet Block IIF tedarik edilmiş ve 2010-2016 yılları arasında fırlatılmıştır. Ağırlığı 1630 kg olan bu uydular 2610W güç üretebilmektedir. Block IIF uydularda 2 rubidyum ve bir sezyum atomik saat bulunmaktadır. Tasarım ömrü 12 yıl olan bu uyduların tamamı operasyonel durumdadır. Üretimi devam eden yeni nesil GPS III serisi uydulardan 10 adet tedarik edilecektir. İlk GPS III uydusunun 2018 yılında fırlatılması planlanmaktadır. Ağırlığı 2200 kg olan bu uydular 3,4 m x 2,5 m x 1,8 m boyutlara sahiptir ve 4480W güç üretebilecektir. Her GPS III uydusunda 3 adet rubidyum saat kullanılacaktır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 201). Uyduların tasarım ömrü 15 senedir. Bir sonraki seri GPS IIIF uydularında en son Block IIA'da kullanılan lazer geri yansıtıcılarının geri gelmesi beklenmektedir. Ayrıca, bu uydularda Uluslararası Cospas-Sarsat Sistemi ile uyumlu bir arama kurtarma görev yükünün kullanılması planlanmaktadır.

GPS uydu takımına ait eski ve yeni uyduların temel özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. GPS uyduları

Eski Uydular		Yeni Uydular		
				
Block IIA	Block IIR	Block IIR-M	Block IIF	GPS III/IIIF
0	12	7	12	Üretimde
operasyonel	operasyonel	operasyonel	operasyonel	
• Sivil kullanıcılar için L1 frekansında Kaba Kazanım (C/A) kodu • Askeri kullanıcılar için L1 & L2 frekansında Hassas P(Y) kodu • 7,5 yıllık tasarım ömrü • 1990-1997 yılları arasında fırlatılmıştır. • Sonuncusu 2016'da hizmetten alınmıştır.	• L1 üzerine C/A kodu • L1 & L2 üzerine P(Y) kodu • Yerleşik saatin izlenmesine olanak tanır. • 7,5 yıllık tasarım ömrü • 1997-2004 yılları arasında fırlatılmıştır.	• Tüm eski sinyaller • L2 üzerine 2. sivil sinyal (L2C) • Artırılmış karıştırma dayanımı için yeni askeri M kod sinyalleri • Askeri sinyaller için esnek güç seviyeleri • 7,5 yıllık tasarım ömrü • 2005-2009 yılları arasında fırlatılmıştır.	• Tüm Block IIR-M sinyalleri • L5 frekansında 3. sivil sinyal (L5) • Gelişmiş atomik saat • İyileştirilmiş doğruluk, sinyal gücü ve kalite • 12 yıllık tasarım ömrü • 2010-2016 yılları arasında fırlatılmıştır.	• Tüm Block IIF sinyalleri • 4th civil signal on L1 üzerine 4. sivil sinyal (L1C) • Artırılmış sinyal güvenilirliği, doğruluk ve bütünlük • Seçici Bulunabilirlik yok. • IIIF: lazer yansıtıcılar; arama ve kurtarma görev yükü • 15 yıllık tasarım ömrü • Planlanan ilk fırlatma tarihi: 2018

Kaynak: (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2018)

Şubat 2018 itibariyle GPS uydu takımında 31 uydu operasyonel durumdadır. Bu sayıya yörüngede bulunan yedek uydular ve görev dışı bırakılanlar dahil değildir.

Şekil 15. GPS IIF uydusu

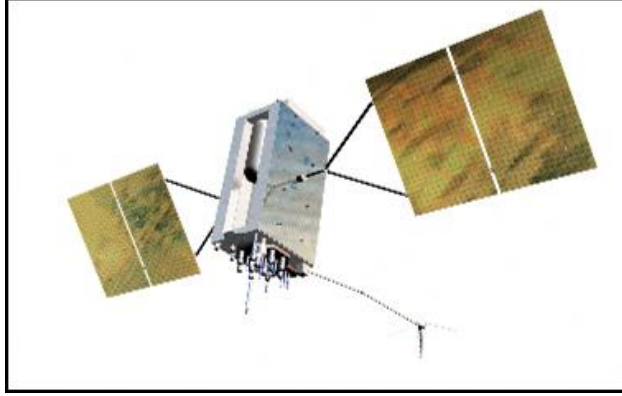


Kaynak: (The Aerospace Corporation, 2010)

Ana yüklenici Lockheed Martin tarafından üretimi tamamlanan ilk GPS III uydusunun 2018 yılında fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018). GPS III uyduları, üç kat daha iyi doğruluğa, karıştırmaya karşı 8 kata kadar iyileştirilmiş yeteneğe sahip olacaktır. Sahip oldukları 15 yıllık görev ömrü, günümüzde yörüngede bulunan en yeni GPS uyduları olan GPS IIF serisine göre %25 daha uzundur. GPS III, Galileo gibi diğer uluslararası küresel navigasyon sistemleriyle uyumlu olan yeni L1C sivil sinyalini yayınlayacak olan ilk GPS uydu serisidir. (Lockheed Martin Corporation, 2018)

GPS III serisi uydular, yeni teknolojik gelişmeler ve görev ihtiyaçlarındaki değişimlerden kaynaklı yeni kabiliyetlerin doğrudan düşük risk ile eklenmesine olanak tanıyan esnek modüler bir yapıya sahiptir. Ayrıca, bu uydular yeni nesil Operasyonel Kontrol Sistemi ve mevcut GPS uydu takımı ile uyumludur.

Şekil 16. GPS III uydusu



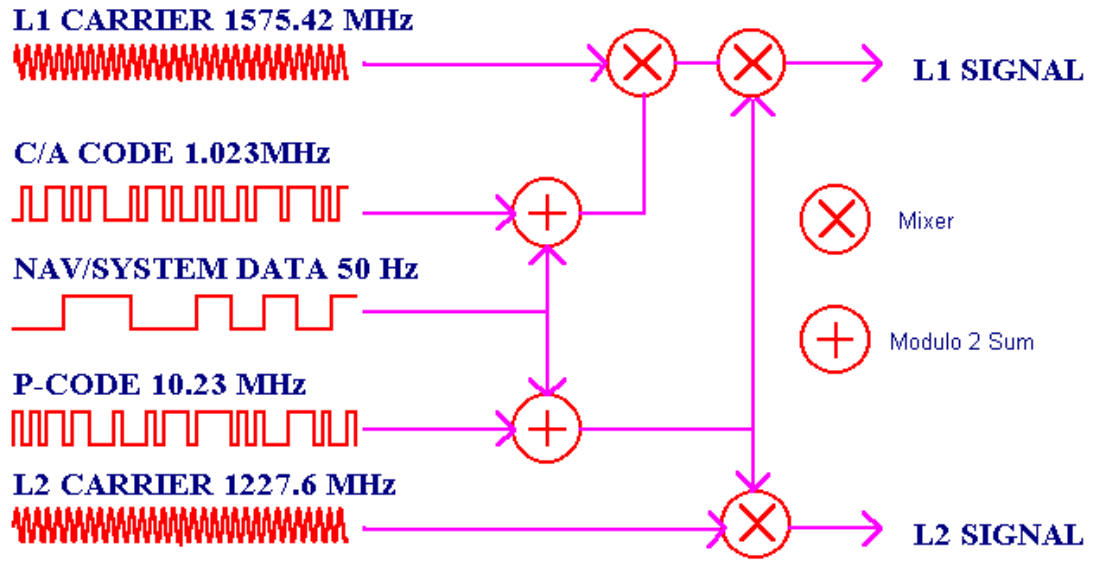
Kaynak: (Verdict Media Limited, 2018)

GPS III serisi uyduların üretiminden sorumlu ana yüklenici olan Lockheed Martin bu uydulardan 10 adet üretecektir. Geçmişte 12 adet GPS IIR serisi uydu ve 8 adet GPS IIR-M serisi uydu üreterek teslim eden şirket, GPS III serisi uyduların üretimine devam etmektedir. 2018 yılında fırlatılması planlanan GPS III uydularından ilkinin üretimi tamamlanmış olup Şubat 2018 itibariyle fırlatmaya hazır durumdadır. (Lockheed Martin Corporation, 2018) Bu uydunun Ekim 2018’de fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018). Bu uyduların devamı niteliğinde olan GPS IIIF uydularının üretimi için Şubat 2018’de Teklif İstek Duyurusu yayınlanmıştır. Bu kapsamda, 22 adet GPS IIIF uydu üretilmesi ve ilk uydunun 2026 yılında teslim edilmesi planlanmaktadır. (U.S. Air Force, 2018)

4.1.1.3. GPS Sinyalleri

GPS uyduları; L1, L2 ve L5 bantta CDMA teknolojisine dayalı sinyaller yayınlamaktadır. 1757,42 MHz frekanslı L1 sinyali hem C/A kod ile hem de askeri ve diğer yetkili kullanıcılar için şifrelenmiş olan P kod ile ayarlanmaktadır. 1227,60 MHz frekanslı L2 sinyali, P kod ile modüle edilmektedir. GPS Block IIR-M uyduları ile birlikte sivil kod içeren L2C adlı yeni bir sivil sinyal yayımlanmaya başlamış; bu sayede iki sivil koda erişim sağlanmıştır. L2C sinyalinin kullanıcı segmenti tarafından izlenmesi daha kolaydır ve iyileştirilmiş navigasyon doğruluğu sağlar. Ayrıca; L1 ve L2 sivil sinyallerinin birlikte kullanılması, belirli bir uydu için iyonosferik gecikme hatasının doğrudan hesaplanmasını ve giderilmesini mümkün kılmaktadır. L2C sinyali yayımlayabilen uydu sayısının 2018 yılında 24’e ulaşması beklenmektedir.

Şekil 17. L1 ve L2 sinyallerinin oluşturulması



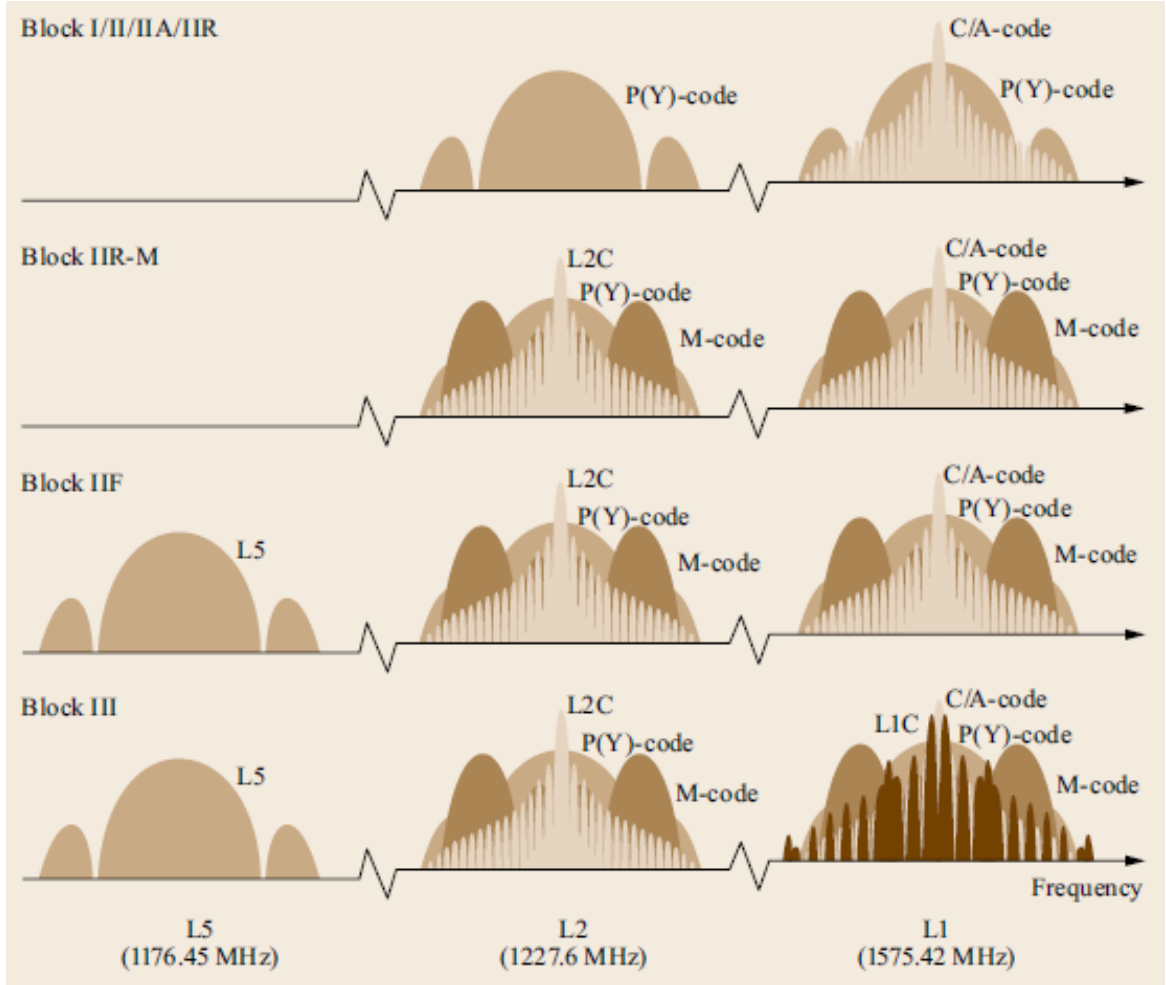
Kaynak: (WENTING, t.y., s. 7)

GPS Block IIF serisi uydularla yayımlanmaya başlanan 1176,45 MHz frekanslı L5 sinyali ile sivil navigasyon mesajı aktarılan sinyal sayısı üçe çıkarılmıştır. İyileştirilmiş iyonosferik düzeltme, sinyal fazlalığı, iyileştirilmiş sinyal doğruluğu ve iyileştirilmiş girişim reddi sağlayan L5 sinyali kritik hayat güvenliği uygulamaları ve sivil havacılık için ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamaktadır. L5 sinyali yayımlayan uydu sayısının 2021 yılında 24'e ulaşması beklenmektedir. GPS Block III serisi yeni nesil uydularla verilmesi planlanan L1C sinyali, dördüncü sivil GPS sinyalidir. Önceki L1 sinyali ile uyumlu olacak L1C sinyali, Galileo ile çok daha iyi sivil birlikte çalışabilirlik sağlayacaktır. Japon QZSS, Hintli NavIC ve Çinli BeiDou da L1C sinyali yayımlamayı planlamaktadır (NovAtel Inc., 2015, s. 34). Bu durum L1C sinyalini uluslararası birlikte çalışabilirliğin gelecekteki standardı haline getirecektir. L1C şehirlerde ve diğer zorlu ortamlarda küresel konumlama hizmeti alınmasını iyileştirecek yeni bir modülasyon düzeni içermektedir.

Sivil sinyallere ek olarak, karıştırma ve aldatmaya karşı daha iyi koruma sağlanması amacıyla askeri sinyallerde M kod kullanımına geçilerek L1M ve L2M sinyallerinin yayımlanması planlanmaktadır. Block IIR-M uydularından itibaren yeni nesil uydular M-kod

kullanabilmektedir. Altyapının tamamlanmasının ardından 2019 yılında bu sinyallerin ön kullanımına başlanması amaçlanmaktadır.

Şekil 18. GPS Sinyallerinin Gelişimi



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 207)

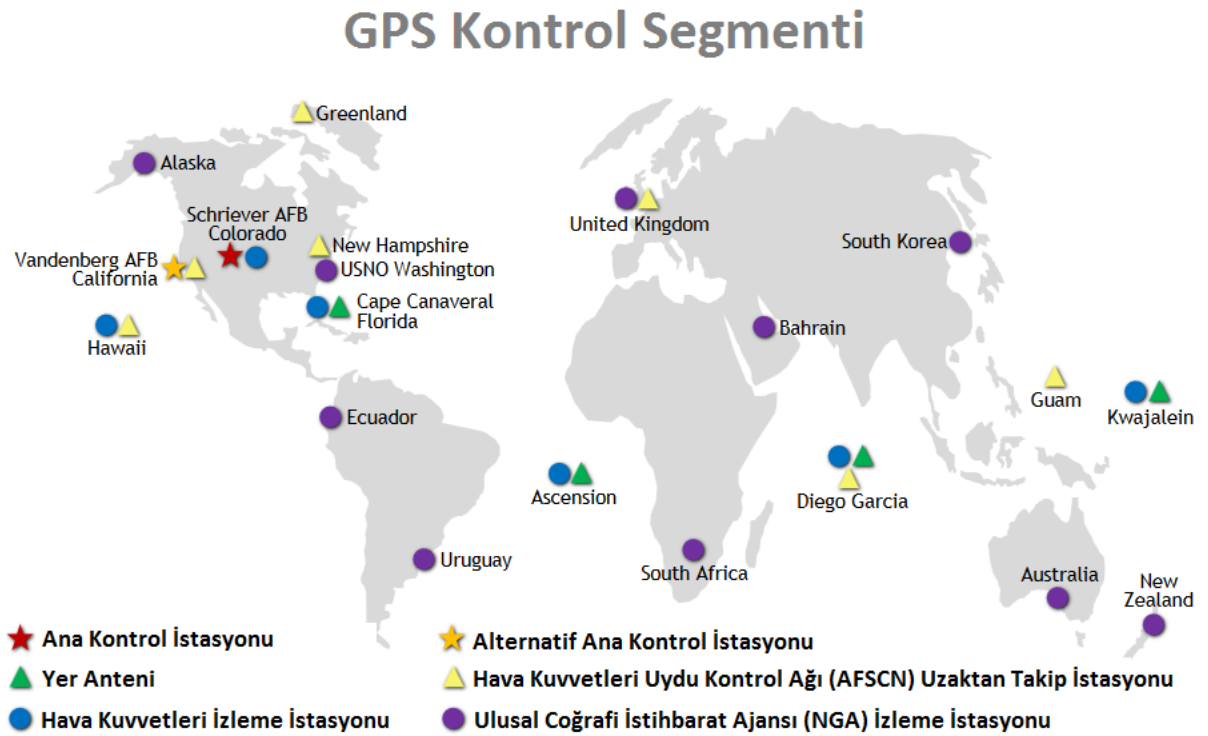
2000 yılında ABD hükümeti, GPS'in dünya çapındaki sivil ve ticari kullanıcıların ihtiyaçlarına daha fazla cevap vermesi amacıyla Seçici Bulunabilirlik (SA) kullanımını sonlandırmıştır. SA, halka açık GPS sinyallerinin ulusal güvenlik sebepleri için kasıtlı olarak bozulmasıdır. ABD'nin SA'yı tekrar kullanma gibi bir niyeti bulunmamaktadır. 2007 yılında ABD hükümeti, yeni nesil GPS III uydularının SA özelliği olmadan tedarik edileceğini duyurmuştur. Bu tutum, 2000 yılında alınan politik kararın kalıcı olmasını sağlayarak dünya

çapında sivil GPS kullanıcıları için bir endişe kaynağı olan GPS performansındaki belirsizliği ortandan kaldırmıştır. (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2016)

4.1.2. GPS Kontrol Segmenti

GPS Kontrol Segmenti, GPS uydularını takip etmekte, yayınlarını izlemekte, analiz etmekte, uydu takımına komut ve veri göndermekte kullanılan yer konuşlu tesislerden oluşan küresel bir ağıdır. Mevcut operasyonel altyapı; bir ana kontrol istasyonu, bir yedek ana kontrol istasyonu, 11 komuta kontrol anteni ve 16 izleme yerleşkesinden oluşmaktadır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b). Bu tesislerin konumları Şekil 19'daki harita üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 19. GPS kontrol segmenti



Kaynak: (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b)

GPS uydu takımı, Colorado'da bulunan Schriever Hava Üssü'ndeki ABD Hava Kuvvetleri 2. Uzay Operasyonları Birliği ile Hava Kuvvetleri Yedek Kuvvetlerine bağlı 19. Uzay Operasyonları Birliği tarafından yönetilmektedir. Blackjack olarak adlandırılan bu takım, milyarlarca sivil ve askeri kullanıcı için 7 gün 24 saat GPS uydularının devamlı bulunabilirlik

ve yüksek doğrulukla uçmasını sağlar (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b).

Şekil 20. GPS kontrol segmenti bileşenleri



Kaynak: (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b)

 zleme  stasyonları, ileri düzey GPS alıcıları kullanarak üzerinden geçen GPS uydularını takip eder; navigasyon sinyallerini, uzaklık/taşıyıcı ölçümlerini ve atmosferik verileri toplar; gözlemlerini ana kontrol istasyonuna iletir. 2008 yılından önce 6 adet olan izleme istasyonu sayısı Ulusal Coğrafi  stihbarat Ajansı (NGA) tarafından i letilen 10 istasyonun daha eklenmesiyle 16'ya çıkarılmıştır. Böylelikle GPS uydu yörüngelerinden toplanan veri 3 katına çıkılmış; bu da GPS uydu takımından yayınlanan bilginin doğruluğunda %10-15 arasında iyileşme sağlamıştır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b).

Ana Kontrol  stasyonu, GPS uydu takımının komuta kontrolünü sağlar; küresel izleme istasyonlarından alınan veriyi uyduların yerleri hassas biçimde hesaplamada kullanır; uydulara yüklenecek navigasyon mesajlarını üretir; uydu takımının sağlıklı ve doğru çalışmasını sağlamak için uyu yayınlarını ve sistem bütünlüğünü izler; en uygun uydu takımı diziliminin devamlılığını sağlamak için uyduları tekrar konumlandırma dahil uydu bakımını ve anomali çözümünü gerçekleştirir; operasyonel ve operasyonel olmayan uyduları kontrol eder.

Yer Antenleri, uydulara komut, navigasyon verisi ve işlemci programları gönderir; telemetri toplar; anomali çözümü ve erken yörünge desteği sağlamak için S bant ile haberle ir ve S bant ile uzaklık ölçümü gerçekleştirir. Yer antenlerinden 4 tanesi sadece GPS sistemine ayrılmış

olup diğer 7 tanesi Hava Kuvvetleri Uydu Kontrol Ağı'nın (AFSCN) uzaktan takip istasyonlarıdır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b).

4.1.3. GPS Geliştirme Planı

GPS uyduları ömürlerinin sonuna geldiğinde bir hata oluşması ihtimaline karşı hizmet dışına çıkarılırlar. Eski uydular görevlerini tamamlarken hizmetin aksamaması ve konumlama kabiliyetinin geliştirilmesi için sistemin yeni uydularla planlı olarak takviye edilmesi gerekir.

Bu kapsamda, 2010-2016 yılları arasında L5 sinyali yayınlayan ikinci nesil Block IIF serisi uydular fırlatılmış; konumlama hassasiyeti daha zayıf olan ikinci nesil Block IIA uydular sırasıyla emekliye ayrılmıştır. Hizmete alınan yeni uydularla birlikte 0,8 metre olan GPS hata büyüklüğünün 2018 yılında 0,4 metreye düşürülmesi öngörülmektedir (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018e). GPS uydularının yenilenmesi ve sistemin modernizasyonuna ilişkin bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. GPS modernizasyonu

GPS Yenileme Çalışmaları									
		L1C/A	L1C	L2C	L5	Hata	2014	2018	2020
Tek frekans	II A	⊙				1 – 2 metre	8 uydu		
	II R	⊙				0,5 metre	12 uydu	10 uydu	6 uydu
Çift frekans veya çoklu frekans	II RM	⊙		⊙		0,5 metre	7 uydu	7 uydu	7 uydu
	II F	⊙		⊙	⊙	0,3 metre	5 uydu	12 uydu	12 uydu
	III	⊙	⊙	⊙	⊙	0,3 metre		2 uydu	6 uydu
							Toplam 32 uydu	Toplam 31 uydu	Toplam 31 uydu

Kaynak: (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018e)

Tablo 3 oluşturulurken her yıl 2 GPS uydusunun fırlatılacağı varsayılmıştır. Ayrıca, tabloda verilen hata değeri, sistem bazında değil tek bir uydunun yayınladığı sinyalden kaynaklı hata değeridir (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018e).

Üretim çalışmaları devam eden üçüncü nesil GPS uydularının fırlatımına 2018 yılında başlanması planlanmaktadır. L1C sinyali de yayınlayabilecek olan bu uydularda Seçici Bulunabilirlik (SA) özelliği bulunmamaktadır.

ABD Hava Kuvvetleri yer segmentini GPS modernizasyon programının bir parçası olarak devamlı geliştirmektedir. Bu iyileştirmeler, yeni uyduların komuta kontrolü ve siber güvenliğin geliştirilmesi için gereklidir. Geliştirme çalışmaları devam eden Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sisteminin tamamlanmasıyla birlikte eski ve modernize edilmiş tüm GPS uydularının kontrol edilmesi, tüm sivil ve askeri navigasyon sinyallerinin yönetilmesi, yeni nesil GPS operasyonları için iyileştirilmiş siber güvenlik ve direnç sağlanması amaçlanmaktadır. Ana kontrol segmenti bileşenlerinin yanında GPS sistem simülatörü ve standartlaştırılmış uzay eğiticisi de bulunduracak olan sisteme geçiş için 3 aşamalı bir yükseltme programı uygulanmaktadır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017b):

- 1) Block 0, GPS III uydularının Fırlatma ve Erken Yörünge (LEO) operasyonları ile yörüngede kontrolünün yapılmasını sağlayacak olan Fırlatma ve Kontrol Sistemidir. Block 0, Block 1 için gerekli donanım, yazılım ve siber güvenlik temelini sağlayacaktır. Bu fazın kabulü Kasım 2017’de gerçekleştirilmiştir.
- 2) Block 1; tüm eski uyduların, sivil sinyallerin (L1C/A), askeri sinyallerin (L1P(Y), L2P(Y)), GPS III uydularının, modernize edilmiş sivil sinyalin (L2C) ve havacılık uçuş güvenliği sinyalinin (L5) kontrol edilmesine yönelik operasyonel kabiliyeti kazandıracak; modernize edilmiş askeri sinyallerin (L1M ve L2M (M-Kod)) ve küresel olarak uyumlu sinyalin (L1C) kontrolü için temel oluşturacaktır. Ayrıca siber savunma gereksinimlerini tam olarak karşılayacaktır.
- 3) Block 1 ile eş zamanlı olarak geçilecek olan Block 2, modernize edilmiş askeri sinyallerin (L1M ve L2M (M-Kod)) ileri düzey özelliklerinin kontrol edilmesine olanak tanıyacaktır.

Yer segmenti Block 1 fazına geçene kadar GPS III uydularının PNT ve Nükleer Patlama Tespit Sistemi görev yüklerinin yönetilmesi ve sınırlı M-Kod test kabiliyetinin sürdürülmesi için şimdiki yer segmentinin bir modifikasyonu olan GPS III Beklenmedik Durum Operasyonlarından yararlanılacaktır. Çünkü mevcut sistem, GPS III uydularını işletme kabiliyetine sahip değildir. GPS III uydularının fırlatımı, ana anomali ve görev dışı bırakma işlemlerinde Operasyonel Kontrol Sistemi Block 0'a dayanan Beklenmedik Durum Operasyonları, aynı zamanda operasyonel yörüngeye getirme, mevcut performans seviyelerini sürdürme ve yörünge kaymasını önleme görevi de üstlenecektir.

ABD Hava Kuvvetleri, Block 1 fazının tesliminden önce askeri kullanıcıların GPS karıştırma ve aldatma tehditlerine karşı daha iyi korunması ve modernize edilmiş askeri GPS sinyalinin temel yeteneklerinin sağlaması için M-Kod Ön Kullanımı adında bir geliştirme programı yürütmektedir. 2019 yılında tamamlanması beklenen sistem operasyonel hale geldiğinde, askeri GPS kullanıcı ekipmanlarının test edilmesine destek olacaktır.

4.1.4. GPS ile Sunulan Temel Hizmetler

GPS, Standart Konumlama Hizmeti (SPS) ve Hassas Konumlama Hizmeti (PPS) olmak üzere iki tür hizmet sunmaktadır. SPS, sivil kullanıcılar için sağlanmaktadır. PPS ise sadece yetkilendirilmiş kullanıcılara (birincil olarak ABD ordusu ve müttefiklerine) açıktır. PPS, GPS L1 bandı 1575,42 MHz frekansında ve L2 bandı 1227,6 MHz frekansında sunulmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 16). Her iki frekansta, yetkilendirilmiş kullanıcılar için bir navigasyon veri mesajı ile Y-kod olarak da bilinen şifrelenmiş hassas (P) kod uzaklık ölçüm sinyali bulunur. GPS L1 frekansında sunulan SPS ise, sivil kullanıcılar için bir navigasyon veri mesajı ile C/A kod içerir.

SPS doğruluğu daha önceleri Seçici Bulunabilirlik (SA) adı verilen bir teknik kullanılarak kasıtlı biçimde düşürülmekteydi. Uydu saatinin yalancı rastgele titretilmesi ile uygulanan SA, sadece PPS alıcıları tarafından üretme algoritması ve şifreleme anahtarları bilgisi ile giderilebiliyordu. Bu kasıtlı bozma, 2000 yılında kaldırılmıştır. Yeni nesil GPS III uydularında SA özelliği bulunmayacaktır.

GPS ile sunulan SPS' nin belirtilen doğruluğu yatay konumlamada 13 m (%95), dikey konumlamada ise 22 m (%95)'dir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 216). Bu değerler küresel ortalama dayalı uzaydaki sinyal değerleridir. Atmosfer, yansıma, kullanıcı ekipmanı gibi nedenlerden kaynaklı hataları içermez. Gerçek performans sıklıkla bu değerlerden daha iyidir. PPS kullanıcıları için sunulan doğruluk ise yatayda ve dikeyde 1-2 m (%95) mertebesinde. Diferansiyel teknikler kullanan GPS kullanıcıların, 1 cm' den daha iyi hassasiyet elde etmesi mümkündür (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 217).

Planlanan bir hizmet olmamakla birlikte birçok sivil kullanıcı, L1 ve L2 bandındaki şifrelenmiş P(Y) kod sinyallerini şifreleme anahtarları olmadan kodsuz ya da yarı kodlu tekniklerle takip etmektedir. ABD, 2020 yılına kadar GPS P(Y) sinyallerini kodsuz ya da yarı kodlu erişime açmayı planlamaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 217).

4.2. GLONASS

Açılımı “**GLO**bal'naya **NA**vigatsionnaya **S**putnikovaya **S**istema (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)” olan GLONASS, Rusya Hava-Uzay Savunma Kuvvetleri tarafından işletilen hem sivil hem de askeri hizmet sunan uzay tabanlı bir uydu navigasyon sistemidir. 19100 km yükseklikte 3 farklı yörünge düzleminde dönen 24 operasyonel uydudan oluşacak biçimde planlanmıştır. GPS'e alternatif olan sistem; küresel kapsamaya ve karşılaştırılabilir düzeyde bir hassasiyete sahip ikinci uydu tabanlı navigasyon sistemidir. GLONASS'ın geliştirilmesi biraz gecikmeli de olsa GPS ile paralellik göstermektedir. 1970'lerde başlatılan GLONASS projesi kapsamında ilk uydu 1982 yılında fırlatılmıştır. 1993 yılından itibaren 12 uydu ile askeri hizmet vermeye başlamış olan sistem, 1995 yılında 24 uydudan oluşan ana uydu takımının tamamlanmasıyla tam operasyonel kabiliyete erişmiştir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 219).

İlk nesil GLONASS uydularının operasyonel ömürlerinin oldukça kısa olması, Sovyetler Birliği'nin yıkıldığı dönemde yaşanan maddi sıkıntılarla birleşince uydu takımının yeterince takviye edilememesine yol açmıştır. Bu nedenle, sistemdeki aktif uydu sayısı 2001 yılında 7 uyduya kadar düşmüştür (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 220). 2002 yılından itibaren GLONASS sistem performansının geliştirilmesi ve tekrar tam kapasiteye ulaştırılması için düzenli biçimde bütçe ayrılmaya başlanmıştır. Yeni konumlama uydularının düzenli

olarak fırlatılması ve GLONASS-M serisi yeni uyduların daha uzun ömre sahip olması sayesinde sonraki 10 yıllık dönemde operasyonel uydu sayısı kademeli olarak artmış; 24 uydudan oluşan küresel kapsamaya sahip ana uydu takımı 2011 yılında tekrar oluşturulmuştur. 2002-2011 arası dönemde, GLONASS sistemi korunmuş; uzay ve yer segmenti modernize edilmiştir. Sistem şimdilerde GLONASS-K uydularını da içeren tam operasyonel kapasite ile çalışan küresel bir uydu tabanlı navigasyon sistemi haline gelmiştir. GLONASS günümüzde, GPS ile birlikte tam operasyonel kabiliyetle hizmet veren iki küresel uydu tabanlı konumlama sisteminden biridir.

GLONASS'ın temel tasarımı GPS'ten oldukça farklıdır. Özgün bir uydu takımı tasarımına sahiptir ve sistemin işleyişi CDMA yerine FDMA teknolojisine dayalıdır. Sistemde basınçlandırılmış uydular kullanılmaktadır ve yerdeki izleme istasyonları sadece eski Sovyetler Birliği ülkeleri üzerine dağılmış durumdadır. Yürütülen modernizasyon çalışmaları kapsamında yeni uydularda basınçsız bir yapıya geçiş yapılmış; FDMA sinyallerine ek olarak CDMA sinyalleri de yayınlanmaya başlanmıştır. Ayrıca, küresel çapta yeni izleme istasyonlarının kurulmasına yönelik çalışmalar söz konusudur.

GLONASS sistemini destekleyen sivil ve özel kullanıma yönelik kullanıcı bileşenleri geliştirme çalışmaları artarak devam etmektedir. GLONASS'ın tam operasyonel hizmet vermeye başladığı 2012 sonrasındaki dönemde, GLONASS uydu takımının sistem kabiliyetinin yeni nesil GLONASS-K uyduları ile geliştirilmesi ve yer segment bileşenlerinin özellikle saat ve yörünge bazında iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (IAC PNT, 2018b). Ayrıca, diferansiyel destek sistemi kurularak sivil kullanıcılara daha hassas gerçek zamanlı navigasyon, yörünge ve zaman bilgisi sunulması planlar dahilindedir.

4.2.1. GLONASS Uzay Segmenti

4.2.1.1. GLONASS Uydu Takımı

GLONASS, ana uydu takımı 24 orta yörüngeli uydudan oluşan küresel kapsamaya sahip bir uydu tabanlı konumlama sistemidir. GLONASS uydu takımındaki uydular, yerküre merkezli dairesele yakın 3 yörünge düzlemine yerleştirilmiştir. 24 uydu 3 yörünge düzlemine, her birinde 8 uydu bulunacak biçimde dağıtılmıştır. Yörünge düzlemlerinin yörünge eğiklik açısı 64,8 derecedir. Yüksek yörünge eğiklik açısı, uyduların birçoğu operasyonel olmasa dahi sistemin Rusya üzerinde tam kapsama ile hizmet verilmesini sağlar (IAC PNT, 2018b).

GLONASS uyduları; yerden yükseklikleri 19100 km, yörünge yarıçapları ise yaklaşık 25500 km olan dairesele yakın yörüngelerde dönerler. Yörüngedeki teğetsel dönüş hızları yaklaşık olarak 4 km/s'dir. Her uydu yörüngedeki bir turunu 11 saat 15 dakika 44 saniyede tamamlar (IAC PNT, 2018b). Yörüngelerin yer izi her 17 turda (8 günde) bir tekrarlanır (SHEHAB, t.y., s. 6). Seçilen yörünge periyodu, uyduların aktif ömürleri boyunca yörünge düzeltmesine gerek duymamalarını sağlamış; GPS'ten farklı olarak sürdürülebilir bir yörünge sisteminin oluşturulmasına olanak tanımıştır (IAC PNT, 2018b).

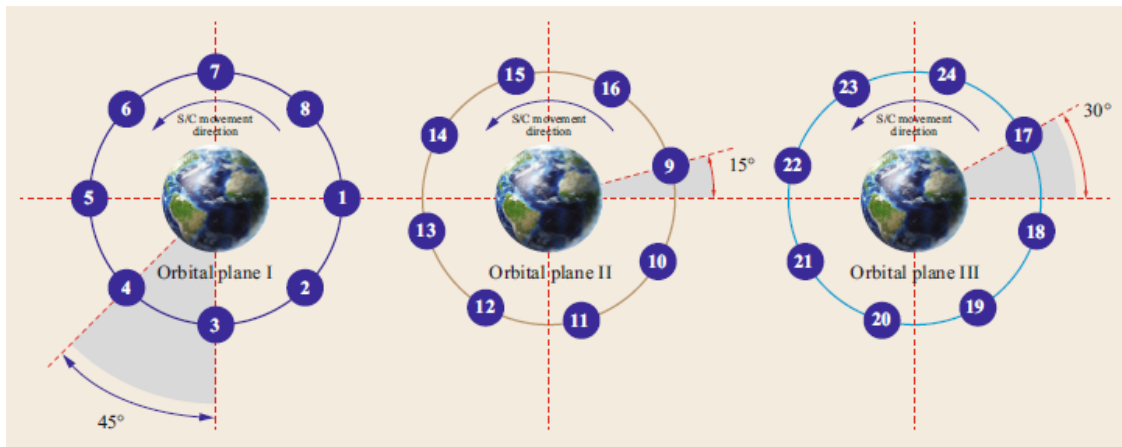
Şekil 21. GLONASS uydu takımı



Kaynak: (ESA, 2014c)

Söz konusu 3 yörünge düzlemi, yükselme düğüm noktaları arasında 120 derece eş aralık bulunacak biçimde konumlandırılmıştır. Her yörünge düzleminde 8 uydu bulunur. Aynı yörüngede dönen 8 uydu, 45 derece eş aralık bırakılarak yerleştirilmiştir. Bu dizilim her yörünge düzleminde aynı olmakla birlikte farklı yörünge düzlemlerindeki uydu dizilimleri arasında 15 derecelik faz farkı bulunmaktadır. Her yörünge düzleminde 8 uydu bulunması ve uyduların homojen biçimde dağıtılması sayesinde, her gün aynı yerden aynı zamanda gökyüzüne bakıldığında uydulardan bir tanesi aynı yerde görünür (BETZ, 2016, s. 214).

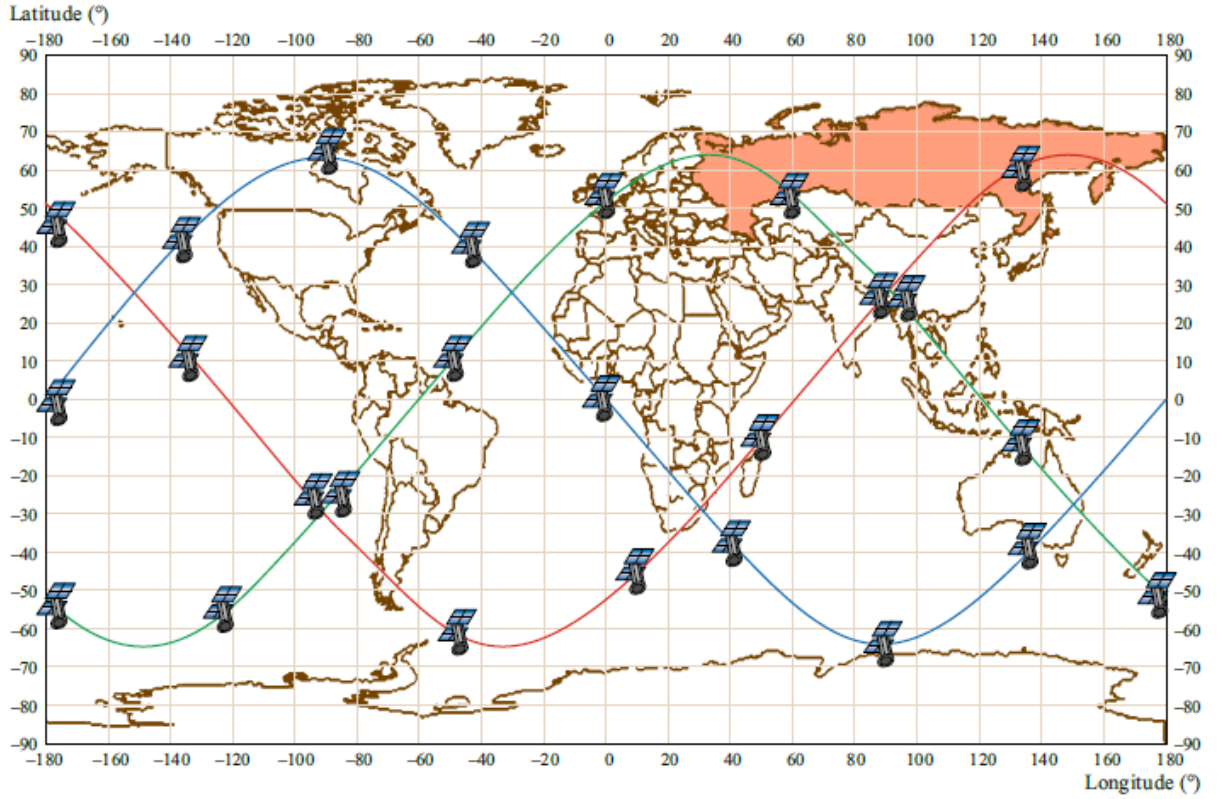
Şekil 22. GLONASS yörünge düzlemlerindeki uydu pozisyonları



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 221)

GLONASS uydularının uydu takımındaki konumunu tanımlamak için slot numaralarından yararlanılmaktadır. Üç yörünge düzlemine sıralı biçimde paylaştırılmış olan slot numaraları, uydunun hangi yörünge düzleminde nerede bulunduğuna ilişkin bilgi vermektedir. Uyduları tanımlamak için birinci yörünge düzleminde 1-8, ikinci yörünge düzleminde 9-16 ve üçüncü yörünge düzleminde de 17-24 slot numaraları kullanılmıştır. Nisan 2018 itibariyle yörüngede 25 GLONASS uydusu bulunmaktadır. Uydulardan 24'ü operasyonel durumdadır. 20. Slotta bulunan iki uydudan biri uçuş test aşamasındadır.

Şekil 23. GLONASS uydu yer izdüşümleri



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 222)

GLONASS'ın yüksek enlemlerde kullanılabilirliği ve kapsama kabiliyeti, orta yörüngeli uydu kullanan diğer uydu tabanlı navigasyon sistemlerine göre daha iyidir. Bunun temel nedeni, GLONASS yörüngelerinde kullanılan eğiklik açısının diğer sistemlere göre yaklaşık 10 derece fazla olmasıdır. Sahip olduğu yörünge eğiklik açısından dolayı GLONASS uydularının yer izi $64,8^\circ$ kuzey ve $64,8^\circ$ güney enlemleri arasında dalgasal salınım hareketi yapar. Aynı yörüngede dönen uydular sırasıyla aynı yer izi üzerinde hareket ederler. Bir GLONASS uydusunun yeryüzünde çizdiği yer izi her 17 turda bir tekrarlanır. Uyduların yörüngede 17 tur atması 8 gün sürer (NovAtel Inc., 2015, s. 36).

4.2.1.2. GLONASS Uyduları

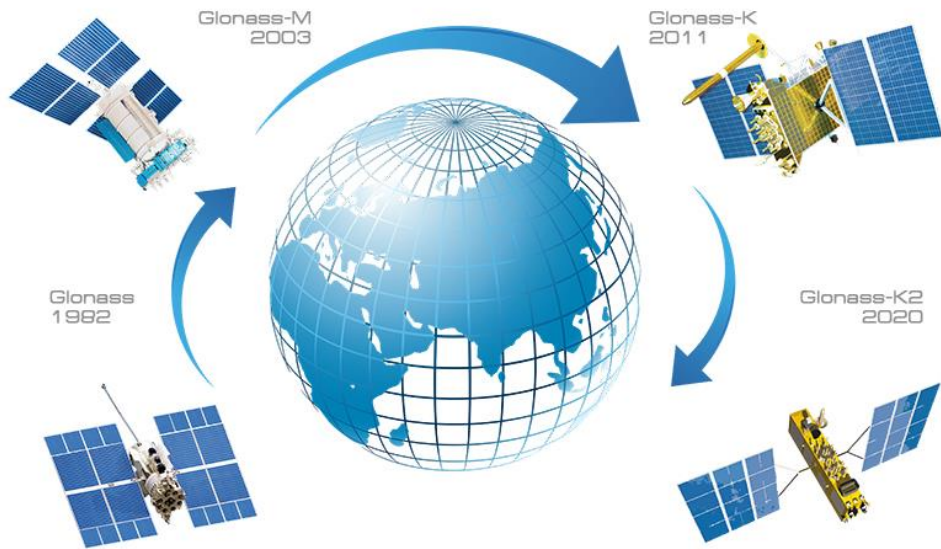
GLONASS; Sovyetler Birliği tarafından GPS'e paralel biçimde geliştirilen uydu tabanlı konumlama sistemidir. İlk uydunun fırlatıldığı 1982 yılından 2018 yılına kadar 137 GLONASS uydusu yörüngeye yerleştirilmiştir. Günümüzde bu uydulardan 25 tanesi yörüngede aktif olarak görevini sürdürmektedir. GLONASS ana uydu takımı ilk olarak 1995 yılında tamamlanmıştır. 24 uydudan oluşan sistemin devamlılığının sağlanması için yılda ortalama 8 uydu fırlatılması gerektiğinden Soğuk Savaş sonrası finansman sıkıntısı yaşanmıştır (SHEHAB, t.y., s. 6). Bu nedenle, yörüngedeki aktif uydu sayısı 2001 yılında 7'ye kadar düşmüştür. 2002 yılından itibaren yapılan yeni fırlatımlarla ana uydu takımının tekrardan oluşturulması 2011 yılını bulmuştur. Birinci ve ikinci nesil GLONASS uydularında basınçlandırılmış uydu yapısı kullanılmış; üçüncü nesilden itibaren basınçsız uydu yapısına geçilmiştir. Birinci nesil GLONASS uydularında 3.5 sene olan tasarım ömrü, sonraki nesillerde kademeli olarak artırılmıştır. GLONASS uydu yapıları gelişen teknolojiye paralel olarak zaman içerisinde iyileştirilmiştir. GPS uydularından bazıları 21 yıldan fazla hizmet vermiştir (BETZ, 2016, s. 213). GLONASS uydularında ise şimdiye kadar ulaşılan en uzun görev süresi yaklaşık 12 yıldır.

Farklılaşan uydu yapılarını adlandırmada GPS'e benzer biçimde seri ve konfigürasyon belirteçlerinden yararlanılmıştır. Ancak, kullanılan isimlendirme yöntemi biraz farklıdır. Birinci nesil uydular "GLONASS" ya da "Uragan" olarak adlandırılmaktadır. Rusça bir kelime olan Uragan, "Kasırga" anlamına gelmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 233). Birinci nesil uydularda iki farklı seri bulunmaktadır. Bu seriler, "Block I" ve "Block II" olarak isimlendirilmektedir. Bu doğrultuda birinci nesil uydular, "GLONASS I" ve "GLONASS II" şeklinde ifade edilmektedir. Sistem adından sonra kullanılan roma rakamları nesil numarası değil seri numarasıdır. Block I serisine ait tek konfigürasyon bulunduğu uydunun yapısını tanımlamada ek belirteç kullanılmamıştır. Block II serisinde ise 3 ayrı konfigürasyonu tanımlamak için en sona "a, b ya da v" harfi eklenmiştir. İkinci nesil uydulardan itibaren uydu nesillerini belirtmek için harf kullanılmaya başlanmıştır. Sistem adından sonra gelen "-M" belirteci uydunun ikinci nesil olduğunu, "-K" belirteci ise uydunun üçüncü nesil olduğunu gösterir. İkinci nesil uydularda tek seri bulunduğu ayrıca seri belirteci kullanılmaz. Uydu adları, "GLONASS-M" şeklindedir. Üçüncü nesil uydularda ise

iki seri bulunur ve seri numarası harfin sonunda yer alır. Uydu isimleri, “GLONASS-K2” şeklindedir. İkinci ve üçüncü nesil uydu yapılarına herhangi bir ekleme yapılmışsa en sona “+” belirteci getirilir.

Birinci nesil GLONASS I ve II uydularından toplam 87 adet üretilmiştir. Fırlatımı başarısız olan 6 adet uydu haricindeki 81 uydu 1982-2005 yılları arasında başarıyla yörüngeye yerleştirilmiştir. Uydular yaklaşık 3,3 metre boyunda silindirik bir uydu yapısına sahiptir. Uydu platformu, görev yükünü uzay şartlarından korumak için basınçlandırılmıştır. Ağırlıkları ortalama 1415 kg olan birinci nesil GLONASS uyduları, 1000 W güç üretebilmektedir. GLONASS I serisi uydularda 2 rubidyum atomik saat, II serisi uydularda ise 3 sezyum saat kullanılmıştır. Ortalama ömürleri 1,5 yıl olan ilk atomik saatler, uyduların görev ömürlerini ciddi biçimde kısıtlamıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 235). Birinci nesil GLONASS uydularının tasarım ömrü 3,5 yıldır (IAC PNT, 2018b). Başlangıçta yaklaşık 1 yıl olan operasyonel uydu ömürleri son üretilen uydularda 5 yıla kadar çıkarılmıştır. Bu uyduların en sonuncusu 2008 yılında görev dışı bırakılmıştır. Birinci nesil uydular sadece geleneksel FDMA sinyalleri yayınlama kabiliyetine sahiptir. Bu uydular ile güvenli hizmet sinyali hem L1 hem de L2 bant üzerinden yayınlanırken açık hizmet sinyali sadece L1 bant üzerinden aktarılmıştır.

Şekil 24. GLONASS uydu serileri



Kaynak: (IAC PNT, 2018b)

İkinci nesil GLONASS-M uyduları, 2003 yılından itibaren birinci nesil uyduların yerini almaya başlamıştır. 2018 yılına kadar 38 GLONASS-M ve 2 GLONASS-M+ olmak üzere toplamda 40 adet ikinci nesil uydu başarıyla yörüngeye yerleştirilmiştir. Fırlatımı başarısız olan 6 uydu ile birlikte üretilen ikinci nesil uydu sayısı 46'yı bulmaktadır. GLONASS-M uydularında 2,4 metre çapa ve 3,7 m yüksekliğe sahip, 7,2 metre panel açıklığına sahip basınçlandırılmış uydu yapısı kullanılmıştır (CAMACHO-LARA, MADRY, & PELTON, 2013, s. 629). GLONASS-M gibi basınçlandırılmış uydularda basınç kaybı ek bir hata nedenidir. Ağırlığı 1415 kg olan bu uydular 1450 W güç üretebilmektedir (IAC PNT, 2018b). Daha hassas yörünge tahmini için GLONASS-M uydularının üzerine lazer yansıtıcılar yerleştirilmiştir. Bu uyduların her birinde 3 sezyum saat bulunmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 236). GLONASS-M, birinci nesil uydulara göre daha iyi atomik saatlere ve daha uzun uydu ömrüne sahiptir (BETZ, 2016, s. 213). İkinci nesil GLONASS-M uydularının tasarım ömrü 7 yıldır. Şu an yörüngede aktif olarak görev yapan en eski GLONASS-M uydusu 2006 yılının sonunda fırlatılmıştır ve yaklaşık 12 yıldır görevini sürdürmektedir. Şimdiye dek 17 uydu emekliye ayrılmıştır. Sisteme en son katılan uydu, 2017 yılında fırlatılan bir GLONASS-M'dir. 2018 yılı içerisinde 3 adet GLONASS-M uydusunun daha fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018). GLONASS-M serisi uydular, sadece FDMA sinyalleri yayınlatabilmektedir. CDMA sinyali yayınlama özellikleri yoktur. L2 bant üzerinden açık hizmet sinyalinin aktarımına GLONASS-M serisi uydular ile başlanmıştır. GLONASS-M uyduları, birinci nesil uydulardan farklı olarak iki taşıyıcı frekans üzerinden sivil sinyal yayınlarlar. Bu da iyonosferik hataların giderilmesi için çift sinyal kullanımını mümkün kılmaktadır. GLONASS-K uydusunun tasarımında karşılaşılan sorunlar çözülmeye devam ederken, modernize edilmiş sinyal yayınlatabilen uydu sayısının artırılması amacıyla son yıllarda fırlatılan GLONASS-M serisi uydulara CDMA görev yükü eklenerek L3OC sinyali yayınlama kabiliyeti kazandırılmıştır (BETZ, 2016, s. 213). GLONASS-M serisi uydulardan daha ağır olan bu uydular GLONASS-M+ olarak isimlendirilmiştir. Halen uydu takımında görev yapan 2 GLONASS-M+ uydusu bulunmaktadır. Uydulardan ilki 2014 yılında, ikinci ise 2016 yılında fırlatılmıştır.

Üçüncü nesil GLONASS-K uyduları, K1 ve K2 olmak üzere iki seriden oluşmaktadır. K serisi uydularla birlikte GLONASS, basınçsız uydu yapısına geçiş yapmıştır. 2018 yılına

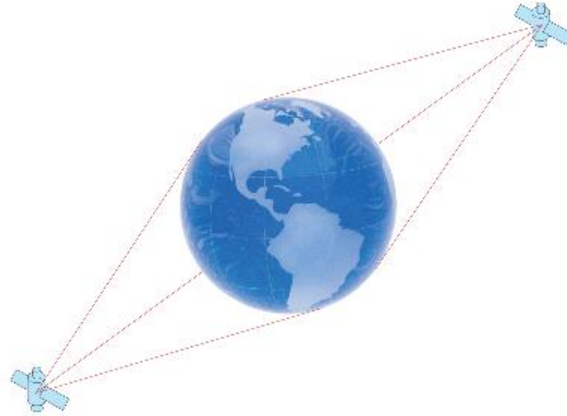
kadar sadece 2 adet GLONASS-K1 uydusu üretilmiş olup bu uydular 2011 ve 2014'te yörüngeye yerleştirilmiştir. Geliştirme süreci devam eden GLONASS-K2 serisi uyduların fırlatımına yaklaşık 2020 yılından itibaren başlanması amaçlanmaktadır. Ağırlığı 935 kg olan GLONASS-K1 serisi uydular 2,53 m x 3,01 m x 1,43 m boyutlara sahiptir ve 1270 W güç üretebilmektedir (IAC PNT, 2018b). K1 serisi uyduların ağırlığı önceki serilere göre oldukça düşüktür. K1 serisi uydularda 2 sezyum ve 2 rubidyum atomik saat kullanılmıştır. Önceki serilere göre daha kararlı atomik saat taşıyan bu uydular ayrıca Cospas-Sarsat arama ve kurtarma işlevine sahiptir (BETZ, 2016, s. 213). K2 serisi uyduların boyutları, ağırlığı ve kapasitesi K1 serisine göre oldukça fazladır. Bu uydular, 1600 kg ağırlığa sahip olacak ve 4370 W güç üretebilecektir (IAC PNT, 2018b). K1 ve K2 serisi uydular ile tasarım ömrü 10 yıllı çıkarılmıştır. 2018 yılı içerisinde 1 adet GLONASS-K1 uydusunun daha fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018). K1 serisi uydularla GLONASS ilk defa CDMA tabanlı sinyal yayınlamaya başlamıştır. Tüm K1 uyduları L3 bandında CDMA sinyali yayınlatabilmektedir. Yeni K2 serisi uyduların hizmete girmesiyle yayınlanan CDMA tabanlı sinyal sayısının artırılması planlanmaktadır. K2 serisi uydular L1 ve L2 bandında da CDMA sinyali yayınlatabilecektir. İlerleyen yıllarda K1 serisi uydulara L1 ve L2 bandında CDMA sinyali aktarma kapasitesi kazandırılması durumunda geliştirilmiş yeni uydu yapısının GLONASS-K1+ olarak adlandırılması öngörülmektedir.

4.2.1.3. GLONASS Sinyalleri

GLONASS, FDMA tabanlı bir uydu navigasyon sistemidir. Diğer uydu tabanlı konumlama sistemlerinde CDMA teknolojisi kullanılırken GLONASS sinyallerinde geleneksel olarak FDMA teknolojisi kullanılmaktadır. FDMA teknolojisini kullanan sistemlerde uydular aynı uzaklık ölçüm kodunu uyduya özgü frekanslar üzerinden aktarırken, CDMA teknolojisini kullanan sistemlerde uydular kendilerine özgü uzaklık ölçüm kodları aynı frekans üzerinden aktarırlar. Alıcıya gelen sinyalin hangi uyduya ait olduğu FDMA'da sinyal frekansından, CDMA'da ise uzaklık ölçüm kodundan ayırt edilir. FDMA teknolojisi her ne kadar bir iki uyduyu etkileyen dar-bant girişimlere karşı daha dayanıklı olsa da CDMA teknolojisine göre daha karmaşıktır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 227). Ayrıca, sinyalleri aktarmada farklı frekanslar kullanıldığı için daha geniş bir bant aralığına ihtiyaç duyar. Bu durum, frekans çakışma riskini artırır.

GLONASS ana uydu takımında bulunan 24 uydu, FDMA sinyallerini yayınlamak için her bir bantta birbirine yakın 12 farklı frekans kullanmaktadır. Aslında GLONASS tasarlanırken ana uydu takımını oluşturan 24 uydunun her biri için ayrı frekans ve test için bir yedek kanal ayrılması planlanmıştır. Ancak; 1610,6 – 1613,8 MHz frekans aralığındaki radyo astronomi bandı, L bandın üst bölümündeki frekansların kullanımını ciddi biçimde kısıtlamıştır (BETZ, 2016, s. 222). Radyo astronomi sinyalleri ile yaşanan çakışmadan dolayı GLONASS'ın kullanılabilir kanal sayısı 12-14 ile sınırlanmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 227). Bu kısıtlama, birbirine göre yerkürenin zıt taraflarında bulunan iki uydunun aynı frekansı kullanmasıyla aşılmıştır. Zıt uydular, aynı yörünge düzleminin karşılıklı slotlarında yer alır ve aralarında 180 derece fark bulunur. Yeryüzündeki bir alıcının her iki uyduyu aynı anda görmesi mümkün olmadığından zıt uydularda aynı frekanslar kullanılabilir (NovAtel Inc., 2015, s. 37).

Şekil 25. Aynı frekansı kullanan zıt uydular



Kaynak: (NovAtel Inc., 2015, s. 37)

GPS ve Galileo gibi diğer uydu tabanlı konumlama sistemleri ile birlikte çalışabilirliğin sağlanması GLONASS'ın sürdürülen sistem modernizasyon hedeflerinden biridir. Bu doğrultuda GLONASS, 2011 yılından itibaren CDMA sinyalleri de yayınlamaya başlamıştır. CDMA sinyalleri ile konumlama doğruluğunun ve girişimlere karşı dayanıklılığın artırılması, açık ve güvenli hizmet ayrımının geliştirilmesi amaçlanmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 229). Yeni nesil uyduların fırlatılmasıyla CDMA sinyali yayınlayabilen uydu sayısının zaman içerisinde artırılması planlanmaktadır. CDMA sinyalleri

FDMA sinyalleri tamamlayıcı niteliktedir. Eski kullanıcı ekipmanlarının sistemle uyumlu çalışabilmesi için FDMA sinyallerinin yayınlanmasına gelecekte de devam edilecektir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 226).

Tablo 4’te, GLONASS uydu serilerinin sahip olduğu sinyal yayınlama kabiliyetleri verilmiştir. Tabloda yer alan spektral bant adlarının yanlarında kısaltmalar kullanılmıştır. “O” ve “S” harfleri sağlanan hizmet türünü (O: Open - Açık, S: Secure - Güvenli), “F” ve “C” harfleri ise kullanılan modülasyonu (F: FDMA, C: CDMA) ifade etmektedir.

Tablo 4. GLONASS Sinyalleri

	FDMA		CDMA		
	L1	L2	L1	L2	L3
GLONASS	L1OF L1SF	L2SF			
GLONASS-M	L1OF L1SF	L2OF L2SF			(L3OC)
GLONASS-K1	L1OF L1SF	L2OF L2SF			L3OC
GLONASS-K2	L1OF L1SF	L2OF L2SF	L1OC L1SC	L2OC L2SC	L3OC

Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225)

GLONASS’ın geleneksel FDMA sinyalleri L1 ve L2 bandı üzerinden yayınlanmaktadır. FDMA tabanlı açık hizmet sinyali GLONASS-M serisi uydular operasyonel oluncaya kadar sadece L1 bandında verilmiş; L2 bandında sağlanmamıştır. FDMA sinyallerinde L3 bandı kullanılmaz. K serisi GLONASS uyduları ile yayınlanmaya başlanan yeni L3 sinyalinde sadece CDMA modülasyonu kullanılmaktadır. Sistem performansının iyileştirilmesi için 755-761 numaralı GLONASS-M serisi uyduların üzerine de L3 bant CDMA navigasyon görev yükü yerleştirilmesine karar verilmiştir (Inside GNSS Media & Research LLC., 2018). Nisan 2018 itibariyle GLONASS uydu takımında L3 sinyali yayınlatabilen 2 GLONASS-K1 serisi uydu ve 1 GLONASS-M+ serisi uydu bulunmaktadır (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018b). GLONASS, K2 serisi uydularla birlikte L1 ve L2 bandında da CDMA sinyali yayınlama kabiliyetine erişecektir.

GLONASS’ın FDMA tabanlı L1 sinyalleri 1598,0625 – 1609,37 MHz frekans aralığında, L2 sinyalleri ise 1242,9345 – 1251,625 MHz frekans aralığında yayınlanmaktadır. FDMA

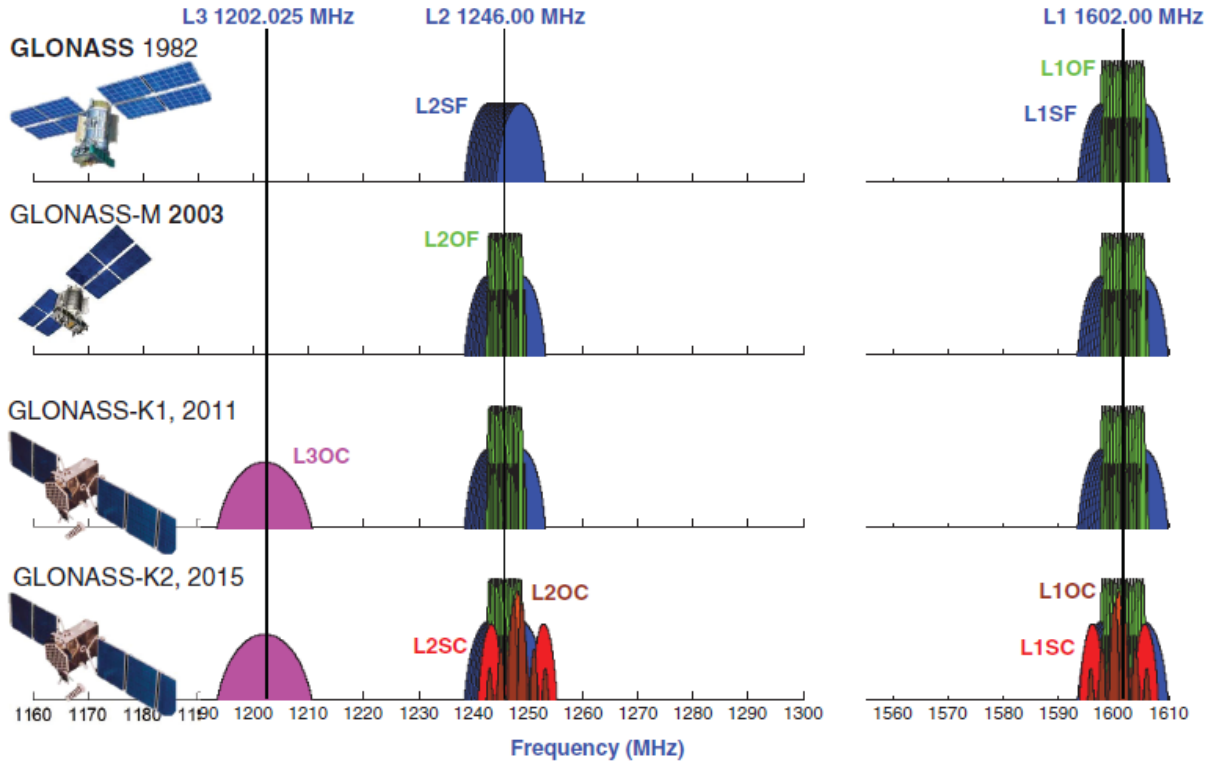
sinyallerinin yayınlanması için her bantta kullanılabilir 14 taşıyıcı frekans tanımlanmıştır. Bu tanımlama L1 bandındaki sinyaller arasında 0,5625 MHz, L2 bandındaki sinyaller arasında ise 0,4375 Mhz eş aralık bırakılarak gerçekleştirilmiştir (BETZ, 2016, s. 216). Zıt uydular aynı frekans üzerinden aktarım yapabildiği için tahsis edilen bu frekansların iki katı kadar uydu tarafından kullanılması mümkündür.

L1 ve L2 sinyalleri üzerinden C/A kod (standart hassasiyetli kod) ile açık hizmet, P kod (yüksek hassasiyetli kod) ile güvenli hizmet sunulmaktadır (NovAtel Inc., 2015, s. 37). Standart kod kullanan açık hizmet sinyalleri L1OF ve L2OF, yüksek hassasiyetli kod kullanan güvenli hizmet sinyalleri ise L1SF ve L2SF olarak adlandırılmaktadır. L1OF ile aynı standart koda ve sinyal yapısına sahip olan L2OF, GLONASS-M uyduları ile yayınlanmaya başlamıştır. Bir GLONASS uydusu L1SF ve L2SF sinyallerini yayınlamada L1OF ve L2OF sinyalleri aynı taşıyıcı frekansları kullanmaktadır (BETZ, 2016, s. 220).

2011 yılında fırlatılan ilk GLONASS-K1 uydusu ile birlikte GLONASS ilk defa yeni L3 sinyalinde CDMA teknolojisini kullanmaya başlamıştır. GLONASS'ın CDMA tabanlı L3 sinyalinde 1202,025 MHz merkezi frekansı kullanılmaktadır. Bu frekans Galileo E5b, BeiDou B2 bandına oldukça yakındır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 229). L3 bant üzerinden sadece açık hizmet sinyali L3OC sunulmaktadır.

Devam eden modernizasyon kapsamında, diğer uydu tabanlı konumlama sistemleri ile birlikte çalışabilirliğin iyileştirilebilmesi için L1 ve L2 bantlarında da CDMA sinyallerinin yayınlanması planlanmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225). L1 ve L2 bandında hem FDMA hem de CDMA sinyalleri yayınlayacak olan GLONASS-K2 serisi uydular, sinyal aktarımını aynı frekans bandında bulunan farklı taşıyıcı frekanslar üzerinden gerçekleştirecektir (BETZ, 2016, s. 217). L1OC ve L1SC sinyallerinin aktarımında 1600,995 MHz taşıyıcı frekansının, L2OC ve L2SC sinyallerinin aktarımında ise 1248,06 MHz taşıyıcı frekansının kullanılması beklenmektedir. Sinyal yapısı aynı olacak bu yeni CDMA tabanlı sinyallerin yaydıkları kod ve mesajların aynı olup olmayacağı bilinmemektedir (BETZ, 2016, s. 222).

Şekil 26. GLONASS Sinyallerinin Modernizasyonu



Kaynak: (BETZ, 2016, s. 223)

GLONASS'ta sinyallerin yetkisiz kullanımı öncelikli bir konu değildir ve standart kodlu sinyaller bariz bir biçimde sivil kullanıcılara açıktır. GPS'ten farklı olarak GLONASS sinyallerinde yapay bozma hiçbir zaman gerçekleştirilmemiştir. Bu durumun politik kararlardan mı yoksa teknik nedenlerden mi kaynaklandığı bilinmemektedir (SHEHAB, t.y., s. 6). Yetkilendirilmiş kullanıcılara sunulan sinyallerin yapısı resmi olarak açıklanmamış olmakla birlikte sistematik araştırma yapılarak uzaklık ölçüm koduna ilişkin bilgi edinilmesi mümkündür (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 228).

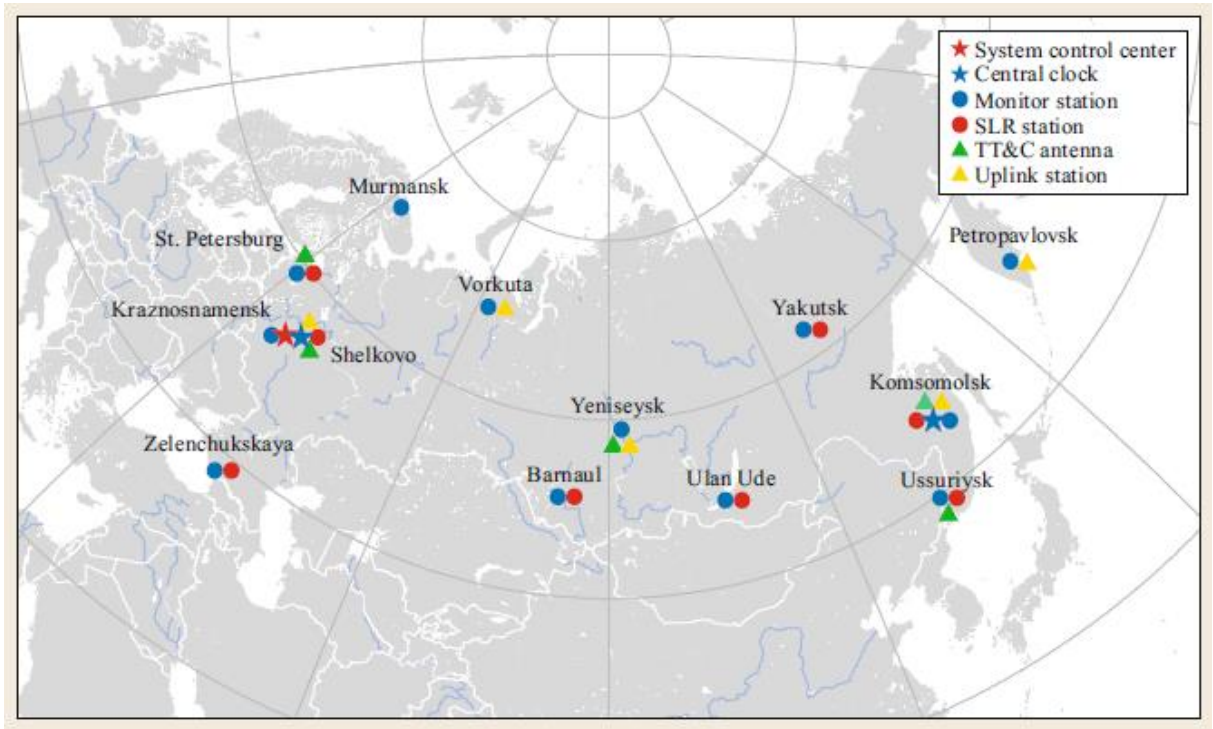
4.2.2. GLONASS Kontrol Segmenti

GLONASS kontrol segmenti, bir sistem kontrol merkezi, iki merkezi saat tesisi ile Rusya üzerine dağıtılmış komut ve takip istasyonları ağından oluşur. Komut ve takip istasyonları ağında; telemetri, izleme ve komut istasyonları (TT&C), yukarı yönlü veri gönderme istasyonları, tek yönlü izleme istasyonları ve lazerli mesafe ölçüm istasyonları (SLR) bulunmaktadır. GLONASS kontrol segmenti, uyduların sağlığını izler; gök günlüğü

düzeltilmelerini ve uydu saatlerinde oluşan kaymaları belirler. Güncellemeler uydulara günde iki kez yüklenir (NovAtel Inc., 2015, s. 37).

Tüm yer segmenti bileşenlerinin planlama ve koordinasyonundan sorumlu olan sistem kontrol merkezi Moskova yakınlarında yer alan Kraznosnamensk'te kuruludur. Merkezi saat ise Shelkovo'da bulunan ana tesis ile Komsomolsk'te bulunan tamamlayıcı tesisten oluşmaktadır. Bu tesislerin her birinde GLONASS sistem zamanının devamlılığı için 4 hidrojen maser kullanılmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 239).

Şekil 27. GLONASS Yer Segmenti



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 239)

Rusya'nın doğusuna merkezine ve batısına yerleştirilmiş toplam 5 adet telemetri, izleme ve komut istasyonu bulunmaktadır. Telemetri, izleme ve komut istasyonları; uydulardan durum bilgisi almada; uydulara kontrol komutları göndermede ve uydu yörüngelerinin belirlenmesi için iki yönlü uzaklık ölçümü yapılmasında kullanılır. Bu istasyonlar toplam 5 adet yukarı yönlü veri gönderme istasyonu ile tamamlanmıştır. Her birinde iki tane anten bulunur. Bu durum, her GLONASS uydusuna günde üç kez yörünge ve saat bilgisi yüklenebilmesine olanak tanır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 239).

Toplamda 13 izleme ve 9 lazerli mesafe ölçüm istasyonu, Rusya ve eski Sovyetler Birliği ülkeleri üzerine dağılmış durumdadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 240). Bu istasyonların birçoğu birlikte konuşlandırılmıştır. İzleme istasyonları, yörünge ve saat bilgisini elde etmek için tek yönlü yalancı uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümleri gerçekleştirir; uyduların çevrimdışı performansını ve entegrasyonunu izler. Lazerli uydu mesafesi ölçüm istasyonları ise iki yönlü optik uzaklık ölçümü yapılmasında kullanılır. Yapılan ölçümler yörünge belirlemede, hassasiyetin doğrulanmasında ve radyometrik uzaklık hesaplamalarının kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Bu istasyonlar, sistemin ayrılmaz bir parçasıdır. GLONASS, lazerli mesafe ölçüm istasyonlarını rutin olarak operasyonlarında kullanan tek uydu navigasyon sistemidir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 240). GLONASS'ta kullanılan geleneksel radyometrik izleme istasyonlarının coğrafi yayılımının sınırlı olması doğruluğu düşüren bir etkidir. Yüksek doğruluğa sahip lazerli uzaklık ölçümleri, doğruluğun iyileştirilmesine yardımcı olur. Bununla birlikte Rusya, son yıllarda GLONASS izleme ağını genişletmek için küresel çapta yeni istasyonlar kurmaktadır.

4.2.3. GLONASS Geliştirme Planı

Rusya, GLONASS için GPS III modernizasyonuna benzer bir yükseltme programı yürütmektedir. Daha fazla güç üretebilen yeni nesil uydularla hizmet sunulan frekans sayısının ve konumlama hassasiyetin artırılması planlanmaktadır. Ayrıca sistemin GPS ve Galileo ile daha uyumlu olması sağlanacaktır. Bu uydularda Cospas-Sarsat sistemine yardımcı arama ve kurtarma görev yükü de bulunacaktır (MADRY, 2015, s. 47).

Mevcut GLONASS-M uyduları hizmet ömürlerinin sonuna geldiklerinde yeni nesil GLONASS-K uyduları ile değiştirilecektir. İlki 2011 yılında fırlatılan GLONASS-K1 serisi uydular L3 bandında CDMA tabanlı sinyal yayınlamaktadır. Ayrıca GLONASS-M serisi bazı yeni uydulara da L3 bant görev yükü eklenmesi kararlaştırılmıştır. GLONASS'ın CDMA tabanlı sinyalleri, GPS ve Galileo ile birlikte çalışmasını kolaylaştıracaktır. Yeni uyduların fırlatılmasıyla CDMA tabanlı L3 sinyali yayınlayabilen yörüngedeki uydu sayısı artacaktır. GLONASS-K2 serisi uydular, L1 ve L2 bandında CDMA tabanlı sinyallerin yayınlanmasını mümkün kılacak; GLONASS-KM ise L5 sinyali yayınlama kabiliyetini sisteme kazandıracaktır.

4.2.4. GLONASS ile Sunulan Temel Hizmetler

GLONASS, iki tür temel hizmet sunmaktadır. Bunlardan biri, küresel çapta ücretsiz olarak sivil kullanıcılara sunulan Açık Hizmet, diğeri ise devlet çalışanlarına ve askeri kullanıcılara sunulan Güvenli Hizmettir (BETZ, 2016, s. 214). Açık Hizmet kapsamında standart konumlama sinyali, Güvenli Hizmet kapsamında hassas konumlama sinyali yayınlanmaktadır (CAMACHO-LARA, MADRY, & PELTON, 2013, s. 633). Literatürde kesin bir adlandırma olmadığı için bu hizmet türlerini tanımlamada Standart Konumlama Hizmeti ve Yüksek Hassasiyetli Hizmet ifadeleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225). GLONASS temel hizmet türlerinden her ikisi de birden çok sinyal tarafından desteklenmektedir.

Açık hizmet, kısıtlama olmaksızın ulusal ve uluslararası tüm kullanıcılara açıktır. GLONASS'ın sistem tasarımında hiçbir zaman açık hizmet sinyallerinin kasıtlı bozulmasına yönelik bir seçenek üzerinde durulmamıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225). Küresel bazda herkes tarafından kullanılabilen Açık Hizmet; L1, L2 ve son zamanlarda L3 olmak üzere üç farklı frekans bandında şifresiz sinyallerle verilmektedir. Açık hizmet sinyalleri birinci nesil GLONASS uyduları tarafından sadece L1 bandında yayınlamış olup, GLONASS-M serisi uyduların hizmete girmesiyle L2 bandında, GLONASS-K serisi uyduların kullanılmasıyla da L3 bandında yayınlanmaya başlanmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 226). Rusya Federasyonu, standart konumlama sinyallerinin doğrudan kullanıcı ücreti olmadan sunulmasına yönelik bir politika izlemektedir (CAMACHO-LARA, MADRY, & PELTON, 2013, s. 633). Herkese açık olarak yayınlanan GLONASS Arayüz Kontrol Dokümanında (ICD) herhangi bir kullanıcının sivil GLONASS sinyal alıcısı üretebilmesi için gerekli tüm teknik bilgi mevcuttur (BETZ, 2016, s. 212).

Güvenli Hizmet, ağırlıklı olarak federal yetkililer tarafından ulusal güvenlik amacıyla kullanılmaktadır. Bu hizmetin öncelikli kullanıcıları askerlerdir. Yetkilendirilmiş kullacılara sunulan Güvenli Hizmet; L1 ve L2 frekans bandında şifreli sinyaller ile sağlanmaktadır. Yetkilendirme için Rusya Federasyonu Savunma Bakanlığının onayı gerekmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225). Bu hizmet kapsamında yetkilendirilmiş sivil kullanıcılara çok hassas ticari konumlama hizmeti de sağlanmaktadır.

GLONASS'ın geliştirilmesi sırasında iki ana zorlukla karşılaşmıştır. Bunlardan biri çok sayıda uydu zamanının nanosaniye mertebesinde senkronize edilmesi, diğeri ise uydu yörünge parametrelerinin yüksek hassasiyetle belirlenmesidir (IAC PNT, 2018b). Başta uydularda kullanılan atomik saat hassasiyetinin ve uyduların yayınladığı yörünge verisi doğruluğunun düşük olması, sistemin 2000'li yıllardaki performansının oldukça zayıf kalmasına neden olmuştur (ESA, 2014b). 2002-2011 yılları arasında yürütülen sistem iyileştirme çalışmaları kapsamında; segment bileşenleri modernize edilerek GPS'e yakın bir performans sağlanması amaçlanmıştır. Uydularda 10^{-13} hassasiyetli sezyum, yerde ise 10^{-14} hassasiyetli hidrojen atomik saatlerin kullanılması, yer tesislerinde zaman ölçeği karşılaştırma hatasının 3-5 ns mertebesine düşürülmesi ve yörüngede bozunumlarına yol açan etkenler üzerine yapılan bilimsel araştırmalar sayesinde sistemin performansı önemli ölçüde artırılmıştır (IAC PNT, 2018b). 2006 yılında % 68 oranla (σ) 35 metre civarında olan konum belirleme doğruluğu, 2011'de 3 metrenin altına düşürülmüştür. Sistemin 2012 yılındaki konumlama hatası yatayda 4-7 metre, dikeyde ise 10-15 metredir (ESA, 2014b). GLONASS'ın belirtilen Açık Hizmet performans değerlerine göre küresel konum belirleme hata ortalaması % 95 oranı ile (2σ) yatayda 5 metre, dikeyde ise 10 metredir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 225).

GLONASS günümüzde, Temel Açık Hizmet, Gelişmiş Güvenilirlik ve Doğruluk Hizmeti, Yüksek Hassasiyetli Hizmet ve Bağlı Navigasyon Hizmeti adı altında dört adet sivil hizmet sunmaktadır. Temel Açık Hizmete ait konumlama hataları, günlük bazda ölçüldüğünde zaman zaman 1,2 metrenin de altına düşmektedir. (ROSCOSMOS, 2017, s. 9). Bölgesel ve yerel destek sistemleriyle diferansiyel düzeltmenin yapıldığı Gelişmiş Güvenilirlik ve Doğruluk Hizmetinde konumlama hatası 1 metreye çekilebilmektedir. Yetkili kullanıcılara verilen Güvenli Hizmetin konumlama doğruluğu Açık Hizmetten çok daha yüksektir. Ticari temelli faz ölçümleri ile daha hassas navigasyon, yörünge ve zaman bilgisinin sağlandığı Yüksek Hassasiyetli Hizmetin güncel hata değeri 0,1 metredir. Faz ölçümlerinin yanısıra bir referans istasyonun da kullanıldığı Bağlı Navigasyon Hizmetinde bu değer 0.03 metreye düşmektedir (ROSCOSMOS, 2017, s. 9).

4.3. Galileo

Galileo, Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından inşa edilmekte olan bir küresel navigasyon uydu sistemidir. Sistem adını İtalyan astronom Galileo Galilei'den almaktadır. 1999 yılında Galileo için Almanya, Fransa, İtalya ve İngiltere tarafından sunulan farklı tasarımlar karşılaştırılarak bir tanesinde karar kılınmıştır. AB ve ESA, ABD'nin baskısı ve ekonomik zorluklar nedeniyle 2002 başlarında neredeyse durma noktasına gelen projeyi fonlama konusunda anlaşarak 2003 yılında bir gözden geçirme çalışması gerçekleştirmiştir. Devamında ilk test uyduları GIOVE-A 2005 yılında, GIOVE-B ise 2008 yılında fırlatılarak Galileo programının ilk fazı başlatılmıştır. İkinci aşamada, 2011 ve 2012 yıllarında 4 IOV uydusu fırlatılmış; 2013 yılında teknoloji gösterim ve sistem doğrulama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Faz 3, uydu takımının tamamlanmasını amaçlamaktadır. Sistemdeki uydu sayısı 2014'ten beri fırlatılan FOC uyduları ile kademeli olarak artırılmaktadır. Galileo'nun yaklaşık 202 yılında tam operasyonel kabiliyete erişmesi beklenmektedir.

Galileo sistemi, yörünge yükseklikleri 23222 km olan 24 aktif ve 6 yedek olmak üzere toplam 30 uydudan oluşmaktadır. Uydular yörünge eğiklik açısı 56° olan ve yükselme noktaları arasında 120° eş açı bulunacak biçimde konumlandırılan 3 farklı yörünge düzlemine eşit şekilde dağıtılmıştır. Her yörüngede 8 operasyonel uydunun yanı sıra 2 de yedek uydu bulunur.

ESA; Avrupa Komisyonu adına sistemin tasarımından, mühendisliğinden ve temininden sorumludur. GSA ise sistemin kontrolünden ve işletiminden sorumludur. ESA; ikinci nesil Galileo uydularının teminine başlamak üzere Avrupa Komisyonu ve GSA ile araştırma, geliştirme ve sistem tasarımı konularında çalışmaya devam etmektedir. Galileo küresel navigasyon uydu sisteminin sahibi, projeyi fonlayan Avrupa Birliği'dir. Sistem, Avrupa Komisyonu tarafından işletilmektedir. Sistemin tüm yüklenicileri Avrupalı şirketlerdir.

4.3.1. Galileo Uzay Segmenti

4.3.1.1. Galileo Uydu Takımı

Küresel kapsamaya sahip bir konumlama sistemi olan Galileo'nun uydu takımı, 24 ana ve 6 yedek olmak üzere toplamda 30 orta yörüngeli (MEO) uydudan oluşmaktadır. Galileo uydu takımı başlangıçta Hayat Güvenliği (SoL) hizmet gereksinimlerinin karşılanması amacıyla 27 aktif, 3 yedek uydudan oluşacak biçimde planlanmıştır. 2012 yılında söz konusu hizmetler yeniden düzenlenmiş ve sistemde 24 aktif, 6 yedek uydu kullanılması kararlaştırılmıştır (NURMI, LOHAN, SAND, & HURSKAINEN, 2015, s. 17). Yörüngelerdeki uydu dizilimleri bu doğrultuda değiştirilmiştir.

Ana uydu takımını oluşturan 24 uydu, 3 farklı yörünge düzlemine homojen biçimde dağıtılmıştır. Yörünge düzlemlerinin her biri 56° yörünge eğiklik açısına sahiptir. A, B ve C olarak adlandırılan 3 yörünge düzlemi, yükselme düğüm açıları arasında 120 derece eş aralıklar bulunacak biçimde dizilmiştir. Her bir yörünge düzlemindeki 8 uydu, 45 derece eşit açısal aralıklarla yerleştirilmektedir. Yedek uydular her yörünge düzlemine ikişerli dağıtılmıştır. Bu uydular, ana uydu takımını oluşturan iki uydu arasına yerleştirilecektir.

Şekil 28. Galileo Uydu Takımı

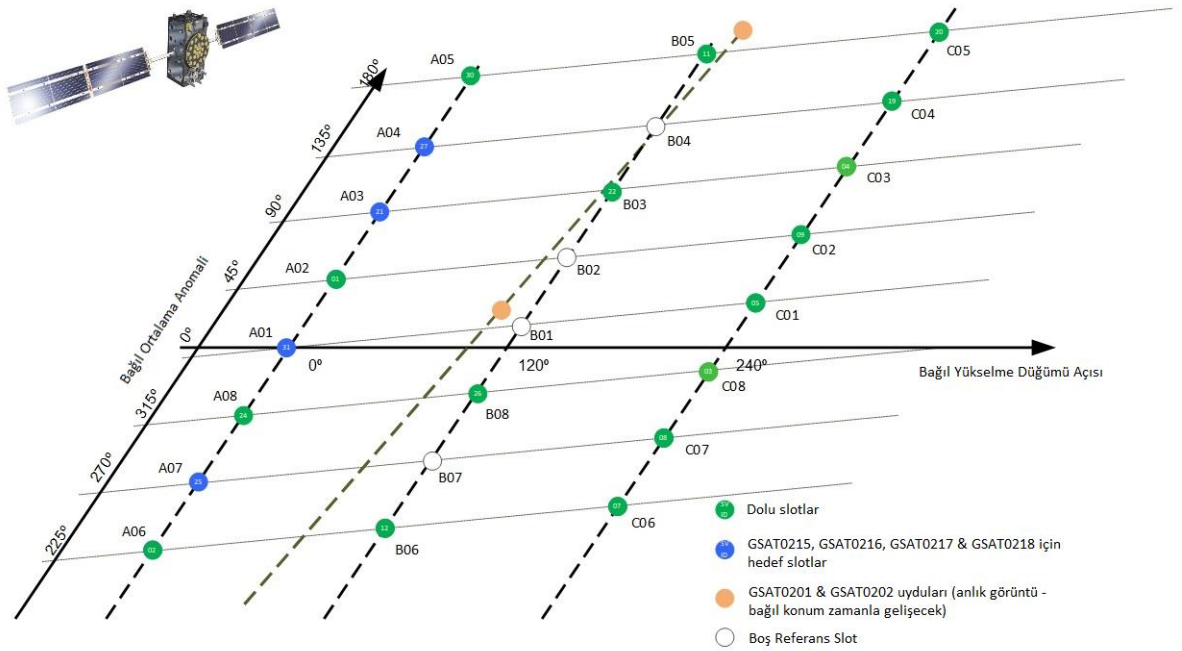


Kaynak: (BLONSKI & VENTURA-TRAVERSE, 2017, s. 5)

Galileo uyduları; yörünge yarıçapları yaklaşık 29600 km olan dairesele yakın yörüngelerde dönerler. Yörüngedeki teğetsel dönüş hızları yaklaşık olarak 4 km/s'dir. Her uydu yörüngedeki bir turunu 14 saat 4 dakika 42 saniyede tamamlar. Yörüngelerin yer izi her 17 turda (10 günde) bir tekrarlanır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 249).

İlk iki FOC (Tam Operasyonel Kabiliyet) uydusu, GSAT0201 ve GSAT0202, 2014 yılında gerçekleştirilen fırlatmada yaşanan arızadan dolayı yanlış yörüngelere yerleştirilmiştir. Bu uyduların yörüngeleri 2015 yılında mümkün oldukça düzeltilmiştir. Uydular sağlıklı durumda olsa da normal yörüngelerine yerleştirilmedikleri için konum belirlemede kullanılmaları mümkün değildir. ESA bu uyduların yer bileşenlerine destek amaçlı kullanılmasına yönelik çalışmalar yürütmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 265).

Şekil 29. Galileo Yörünge Slotları



Kaynak: (European GNSS Agency, 2018)

2017 yılında fırlatılan GSAT0215, GSAT0216, GSAT0217 ve GSAT0218 ile yörüngedeki uydu sayısı 22'ye ulaşmıştır. GSAT0201 ve GSAT0202 istenen yörüngeye yerleştirilemediğinden bu uyduların doğrudan konumlama hizmeti vermesi mümkün değildir. Bu nedenle, ana uydu takımının tamamlanması için 4 uydunun daha fırlatılması gerekmektedir.

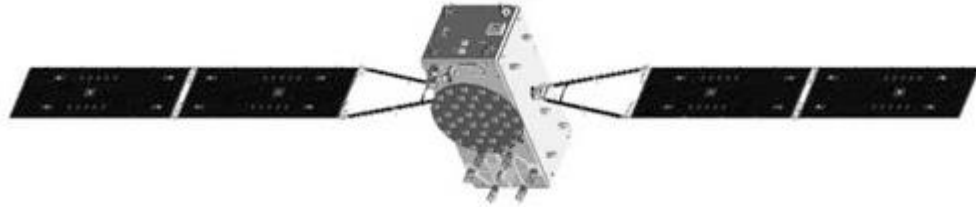
4.3.1.2. Galileo Uyduları

Galileo'nun kurulumu için üç aşamalı bir program izlenmiştir. İlk aşamada frekans hakkının elde edilmesi; atomik saat ve konumlama sinyallerinin üretilmesi gibi temel teknolojilerin denenmesi için 2 adet GIOVE (Galileo Yörüngede Doğrulama Bileşeni) uydusu fırlatılmıştır. 2005 ve 2008 yıllarında fırlatılan söz konusu test uyduları, sırasıyla GIOVE-A ve GIOVE-B olarak adlandırılmıştır. Bu uyduların görevi 2012 yılında sonlanmıştır. İkinci aşamada, uydu tabanlı konumlama sisteminin yörüngede doğrulanması amacıyla 4 adet IOV (Yerinde Doğrulama) uydusu fırlatılmıştır. "IOV-uydu numarası" şeklinde adlandırılan doğrulama uyduları, 2011 ve 2012'de ikişerli olarak yörüngeye yerleştirilmiştir. Sistem çalışabilirliğinin gösterilmesi ve yerinde doğrulama yapılması amacıyla kullanılan bu uydular aynı zamanda operasyonel Galileo uydu takımının birer parçasıdır. 2013 yılında Galileo sinyalleri kullanılarak konum belirlenmesine yönelik testler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise, ana uydu takımının kurulumuna geçilmiştir. Bu doğrultuda 2014 yılından itibaren FOC (Tam Operasyonel Kabiliyet) uyduları fırlatılmaya başlamıştır. Söz konusu uydular, "FOC-uydu numarası" şeklinde isimlendirilmektedir. Sistem 2016 yılından itibaren başlangıç hizmetleri vermeye başlamıştır. Uydu takımı tamamlandığında kıymetlendirme fazına geçilecektir. Galileo uydu takımının yaklaşık olarak 2020 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Galileo ana uydu takımı tamamlandığında 24 uydudan oluşacaktır. Aralık 2017'de gerçekleştirilen fırlatımla birlikte yörüngedeki uydu sayısı 22'ye ulaşmıştır. Bir sonraki Galileo fırlatımı 2018 yılının ortalarında gerçekleştirilecektir. 2018 yılında 4 yeni Galileo uydusunun fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018).

GIOVE-A ve GIOVE-B, konumlama uydusu alt bileşenlerinin test edilmesi amacıyla üretilen deneysel uydulardır. GIOVE-A, SSTL tarafından; GIOVE-B ise Astrium tarafından üretilmiştir. Ağırlığı 600 kg olan GIOVE-A 1,5 m x 1,8 m x 1,65 m boyutlara sahiptir ve 700 W güç üretebilmektedir. 530 kg ağırlığa ve 0,9 m x 0,95 m x 2,4 m boyutlara sahip olan GIOVE-B ise, 1100W güç sağlayabilmektedir. GIOVE-A'da 2 rubidyum atomik saat, GIOVE-B'de ise 1 pasif hidrojen maser ile 2 rubidyum atomik saat kullanılmıştır (NURMI, LOHAN, SAND, & HURSKAINEN, 2015, s. 12). Her iki uydunun da tasarım ömrü 27 aydır. Sırasıyla 2005 ve 2008 yıllarında fırlatılan uyduların görevlerini 2012 yılında tamamlamıştır.

IOV 1-4, konumlama sisteminin küçük çaplı teknoloji gösteriminin ve doğrulamasının yapılmasıyla üretilen uydulardır. Ağırlığı 730 kg olan IOV uyduları 2,7 m x 1,2 m x 1,1 m boyutlara sahiptir ve 1980 W güç üretebilmektedir. Uyduların tasarım ömrü 12 yıldır. IOV-1 ve IOV-3 uydularında pasif hidrojen maşer, IOV-2 ve IOV-4'te rubidyum atomik saat standardı kullanılmıştır. İlk iki uydu 2011 yılında, sonraki iki uydu 2012 yılında fırlatılmıştır. 4 uydudan oluşan uydu takımı ile 2013 yılından itibaren uydu tabanlı konum belirleme çalışmaları yapılmaktadır. IOV uyduları tam kapsamaya sahip Galileo uydu takımında görev yapmaya devam edecektir. IOV uyduları, o dönemki adı Astrium olan Airbus Savunma ve Uzay şirketi tarafından üretilmiştir.

Şekil 30. Galileo FOC uydusu



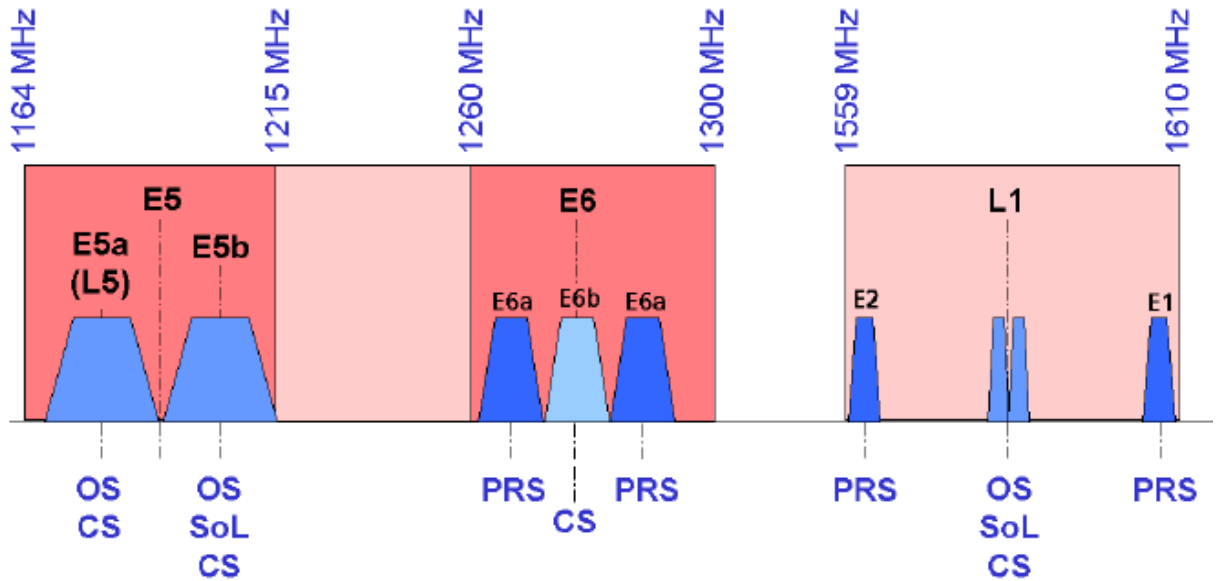
Kaynak: (NURMI, LOHAN, SAND, & HURSKAINEN, 2015, s. 20)

FOC uyduları, Galileo uydu takımının tamamlanması ve tam operasyonel kabiliyete ulaştırılması için üretilen uydulardır. Ağırlığı 732,8 kg olan FOC uyduları 2,5 m x 1,2 m x 1,1 m boyutlara sahiptir ve 1900 W güç üretebilmektedir. Uyduların tasarım ömrü 12 yıldır. FOC uyduları, IOV uydularıyla oldukça yakın özelliklere sahiptir. FOC uydularında 2 rubidyum saat ve 2 pasif maser bulunmaktadır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 267). İlk aşamada 22 adet FOC uydusunun üretilmesi planlanmıştır. Bu uyduların imalatından OHB-System AG sorumludur. 2017 yılının Aralık ayında gerçekleştirilen son fırlatımla birlikte yörüngedeki FOC uydusu sayısı 18'e yükselmiştir. 2018 yılında FOC 19-22 uydularının fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018).

4.3.1.3. Galileo Sinyalleri

Galileo'nun E1, E5 ve E6 olarak adlandırılan başlıca 3 farklı frekans bandı üzerinden hizmet vermesi planlanmıştır. Aslında E2, L1 ve E1 olmak üzere üç farklı sinyal için ayrılmış olan üst L bant zamanla E1 olarak adlandırılmaya başlamıştır. E1 bandında bulunan E1 ve E2 sinyalleri ile Kamu Hizmeti (PRS) sağlanmaktadır. 1575,42 MHz frekanslı L1 sinyali ise Açık Hizmet (OS), Hayat Güvenliği (SoL) ve Ticari Hizmet (CS) sunulmaktadır. E1 bandından biraz düşük frekanslara sahip olan E6 bandı, alt L bandının biraz üstünde bulunmaktadır. 1278,75 MHz merkezi frekanslı bu banttan E6a ve E6b adında iki farklı sinyal yayınlanmaktadır. Galileo E6a sinyali ile kamu hizmeti, E6b sinyali ile ticari hizmet sağlamaktadır. L bandının alt bölümüne tanımlanan E5 bandı, 1191,696 MHz merkezi frekansa sahiptir. E5 bandı altında E5a ve E5b olmak üzere iki farklı sinyal üzerinden hizmet verilmektedir. E5a sinyali ile 1176,45 MHz taşıyıcı frekansı üzerinden açık hizmet ve ticari hizmet verilmektedir. E5a sinyalinin frekansı, GPS'in L5 sinyali ile aynıdır (BETZ, 2016, s. 230). Merkezi 1207,14 MHz taşıyıcı frekansına sahip E5b sinyali ise açık hizmet, hayat güvenliği hizmeti ve ticari hizmet sunmaktadır. Galileo uyduları aynı zamanda Cospas-Sarsat sistemi kapsamında 1544,5 MHz frekansa sahip L6 sinyali üzerinden aşağı yönlü arama kurtarma hizmeti sağlamaktadır.

Şekil 31. Galileo sinyalleri ve sunulan hizmetler



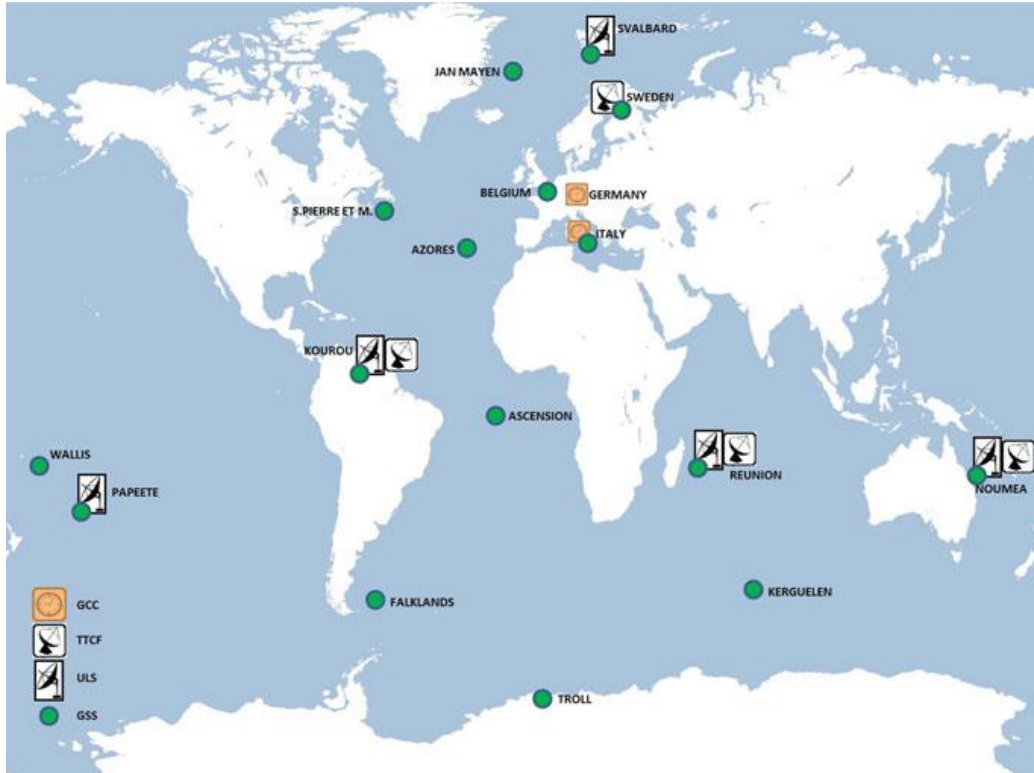
Kaynak: (ZOGG, 2009, s. 78)

4.3.2. Galileo Kontrol Segmenti

Galileo kontrol segmenti; 2 yer kontrol merkezi ile küresel yayılıma sahip 3 farklı istasyon ağından oluşmaktadır. Galileo kontrol segmentinde iki ayrı alt segmente paylaştırılmıştır. Uydu takımının kontrolü Yer Control Segmenti (GCS) tarafından, hizmete ilişkin görevler ise Yer Görev Segmenti (GMS) tarafından yerine getirilmektedir. Kurulumu devam eden Galileo yer segmenti Thales-Alenia Space (Fransa, İtalya) ve Airbus Defence and Space (İngiltere, Fransa) ortaklığı ile inşa edilmektedir.

Yer Control Segmenti (GCS); uydu takımının komuta kontrolüyle ilgili tüm işlemleri yapar. Yer Control Segmenti (GCS); bir Yer Kontrol Merkezi (GCC) ile Telemetri, İzleme ve Komut Tesislerinden/İstasyonlarından (TTCF/TT&C) oluşmaktadır. Merkezi Oberpfaffenhofen Almanya'da bulunan bu segment; dünya çapına yayılmış TT&C istasyonları aracılığıyla S bant üzerinden konumlama uydularıyla iletişim kurar ve uyduların komuta edilmesini sağlar.

Şekil 32. Galileo kontrol segmenti



Kaynak: (NURMI, LOHAN, SAND, & HURSKAINEN, 2015, s. 12)

Yer Görev Segmenti (GMS); konumlama sinyallerinin ve dolayısıyla hizmetin devamlılığını sağlar. Yer Görev Segmenti (GMS); bir Yer Kontrol Merkezi (GCC) ile Yer Algılama İstasyonları (GSS) ve Yukarı Yönlü Yerel İstasyonları (ULS) ağından oluşmaktadır. Merkezi Fucino İtalya’da bulunan bu segment; Galileo’nun navigasyon sinyallerini izler, navigasyon mesajına ilişkin verileri hesaplar ve bunları uydulara dağıtır. Bunun için, dünya çapında iki istasyon ağından yararlanmaktadır. Yer Algılama İstasyonları (GSS), yörünge belirleme ve eş zamanlamanın yapılabilmesi için L bant sensörler ile Galileo uzay segmentinden yayınlanan konumlama sinyallerini yakalar ve merkeze aktarır. Yukarı Yönlü Yerel İstasyonlar (ULS) ise, merkezden aldığı düzeltme verilerini uydulara yükler.

4.3.3. Galileo ile Sunulan Temel Hizmetler

Galileo’nun sunacağı hizmetleri dört başlık altında toplamak mümkündür: Sadece Galileo uydularıyla sunulan hizmetler, Galileo yerel yardım hizmetleri, EGNOS hizmeti ve Galileo bileşik hizmeti. Sadece uydularla sunulacak hizmetler şunlardır: Galileo Açık Hizmeti (OS), Hayat Güvenliği (SoL) Hizmeti, Kamu Hizmeti (PRS) ile Arama ve Kurtarma Hizmeti (SAR). Bunlardan Hayat Güvenliği (SoL) hizmeti ancak 2020 yılından sonra sağlanabilecektir. (SHEHAB, t.y., s. 8)

Galileo uydu ve yer istasyonu altyapı inşaa çalışmaları devam etmektedir. Başlangıç Hizmetleri, kurulum ve test aşamasındaki sistem tam operasyonel hale gelinceye kadarki geçiş sürecinde verilecektir. Başlangıç Hizmetleri, Galileo etkin yonga seti taşıyan kitle pazar aygıtlarının Galileo sinyallerini konumlama, navigasyon ve zamanlama için kullanabilmesini sağlayacaktır. Galileo Başlangıç Hizmetleri, tam operasyonel kapasiteye doğru ilk adım niteliği taşımaktadır. Kurulumu devam eden Galileo’nun sistem performansı ve Dünya çapındaki kapsama alanı yeni uyduların fırlatılmasıyla artmaya devam etmektedir. Uydu takımının yaklaşık 2020 yılına kadar tamamlanması beklenmektedir. Galileo Başlangıç Hizmetleri kapsamında kullanıma sunulacak olan hizmetler şunlardır: Açık Hizmet (OS), Kamu Hizmeti (PRS) ile Arama ve Kurtarma (SAR) Hizmeti.

Galileo Açık Hizmeti (OS); Galileo etkin yonga seti taşıyan akıllı telefon, araba navigasyon cihazı gibi kullanıcı segmenti aygıtlarına konumlama, navigasyon ve zamanlama sağlayan

ücretsiz bir kitle pazar hizmetidir. Hizmete erişim için yetkilendirmeye ihtiyaç duyulmaz. Bu hizmet türü E1 ve E5 bantları üzerinden sağlanmaktadır.

Gelileo Kamu Hizmeti (PRS); sivil koruma, itfaiye, gümrük memurları ve polis gibi devlet tarafından yetkilendirilmiş kişiler tarafından kullanılabilir. Ulusal acil durum ya da kriz anlarında devlet kullanıcıları için hizmet devamlılığının sağlanması çok önemli olduğundan sinyaller tamamen şifrelenmiştir. Söz konusu hizmet, E1 ve E6 bantları üzerinden sağlanmaktadır.

Ticari Hizmet (CS) kapsamında sivil kullanıcılara ücret karşılığında yüksek doğruluklu ve güvenilir konumlama hizmeti sunulacak katma değer sağlanması amaçlanmaktadır. Halen geliştirme çalışmaları devam eden bu hizmet türü, E6 bandı üzerinden sağlanacaktır.

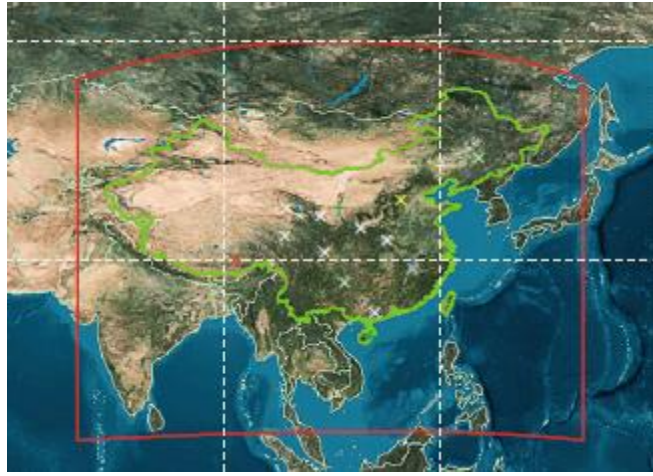
Galileo Arama ve Kurtarma (SAR) Hizmeti; AB'nin bir uluslararası acil durum işaret vericisi yer belirleme sistemi olan "Cospas-Sarsat"a katkısıdır. Galileo Galileo Arama ve Kurtarma Hizmeti sayesinde, tehlike işareti yer belirleme kapasitesi önemli derecede gelişecektir. Örneğin; denizde ya da dağda bir kişi tehlike işaretini aktifleştirdiğinde, onu bulma süresi 3 saatten 10 dakikaya kadar düşecektir. Ek olarak, 10 km olan güncel yer belirleme doğruluğu 5 km'ye düşecek; tehlike işaretinin yeri daha hassas biçimde belirlenebilecektir.

Hayat Güvenliği (SoL) Hizmeti; özellikle denizcilik, havacılık ve demiryolu sektöründe insanların can güvenliği tehlikeye düştüğünde gerekli uyarının yapılması için kullanılacaktır. Küresel kapsamaya sahip diğer sistemlerle entegrasyon sağlandıktan sonra sunulabilecek olan söz konusu hizmet, Galileo programının ileri aşamalarında devreye alınacaktır. Bu hizmet, sadece sertifikalandırılmış çift frekanslı alıcılara L1 ve E5 bantları kullanılarak verilecektir.

4.4. BeiDou

BeiDou, Çince’de “Büyük Ayı Takım Yıldızı” anlamına gelmektedir. Büyük Ayı, insanların kuzey yarımkürede yön bulmasını sağlayan en önemli yıldız takımı olarak kabul görmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 273). Çin kendi uydu tabanlı navigasyon sistemini kurmaya karar verdiğinde doğal olarak bu isim seçilmiş olmakla birlikte sistemin İngilizce adı olarak uzun yıllar COMPASS adı kullanılmıştır.

Şekil 33. BeiDou-1 kapsama alanı



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 277).

Kendi bağımsız uydu tabanlı konumlama sistemini geliştirmeye 1980’lerde karar veren Çin, sistemin inşasını üç aşamada planlamıştır. İlk aşama olan BeiDou Navigasyon Uydu Gösterim Sistemi BeiDou-1 olarak adlandırılmaktadır. BeiDou-1’in kurulmasına 1994 yılında başlanmıştır. Bu kapsamda, 2000 ve 2003 yılları arasında toplam 3 adet deneysel navigasyon uydusu fırlatılmıştır. Böylece Çin, ABD ve Rusya’dan sonra bağımsız uydu tabanlı navigasyon sistemi kuran üçüncü ülke olmuştur. BeiDou-2 olarak adlandırılan ikinci aşamada bölgesel bir uydu tabanlı konumlama sistemi kurulması amaçlanmıştır. Uygulamasına 2004 yılında başlanan BeiDou-2’nin ilk uydusu 2007 yılında Orta Yörüngeye fırlatılmıştır. 2012 sonlarında Çin ve Asya-Pasifik bölgesinin büyük bölümüne operasyonel navigasyon hizmeti sağlandığı duyurulmuştur. BeiDou-2 uydu takımı toplam 14 uydudan oluşmaktadır. Uyduların 5 tanesi yer-sabit yörüngeye, 5 tanesi eğik yer eş-zamanlı yörüngeye ve 4 tanesi orta yörüngeye sahiptir. BeiDou-3 olarak adlandırılan üçüncü aşamada küresel kapsamaya sahip

BeiDou Uydu Navigasyon Sistemi kurma çalışmaları devam etmektedir. 27 orta yörüngeli, 3 eğik yer eş-zamanlı yörüngeli ve 5 yer-sabit yörüngeli toplam 35 uydudan oluşacak sistemin yaklaşık olarak 2020 yılında tamamlanması beklenmektedir.

İlk aşama olan BeiDou Faz I uydu sisteminin konumlama doğruluğu 100 metredir. Yer ve uzay tabanlı diferansiyel yöntemler kullanılarak 20 m doğruluğa ulaşılması mümkündür (ESA, 2018a). BeiDou Faz II kapsamında kurulan bölgesel konumlama sistemi; 10m konumlama doğruluğu, 20 ns zamanlama doğruluğu ve 0.2 m/s hız doğruluğu sağlamaktadır. Sistemin doğruluğu her geçen gün artmaktadır. BeiDou ile sağlanan gerçek zamanlı yatay konumlama tutarlılığı 6 metreden (%95), dikey konumlama tutarlılığı ise 10 metreden (%95) daha iyidir (BARBOSA, 2018).

4.4.1. BeiDou Uzay Segmenti

4.4.1.1. BeiDou Uydu Takımı

BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi, üç aşamalı olarak geliştirilmektedir. Teknoloji gösterimi yapılmasını amaçlayan BeiDou Faz I'de 3 adet deneysel konumlama uydusu fırlatılmıştır. BeiDou Faz II kapsamında ise bölgesel bir uydu tabanlı konumlama sistemi kurulmuştur. Küresel kapsamaya sahip olması planlanan BeiDou Faz III' ün kurulumu devam etmektedir. Uydu takımı tamamlandığında toplamda 35 uydudan oluşacaktır (National Coordination Office for Space-Based PNT., 2017a).

BeiDou Uydu Tabanlı Konumlama Sisteminin ilk aşaması olan Faz I'de BeiDou 1A, 1B ve 1C adında üç uydu fırlatılmıştır. Her üç uydu da yer-sabit yörüngeye sahiptir. 2000 yılında fırlatılan ilk iki uydu, 1A ve 1B, sırasıyla 83 derece doğu ve 140 derece doğu boylamlarına; yedek uydu olması amacıyla 2003 yılında fırlatılan 1C ise 110,5 doğu boylamına yerleştirilmiştir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 275). Bu uydular tasarım ömürlerinin sonuna geldiklerinde ikinci nesil uydularla değiştirilmiştir.

Şekil 34. BeiDou-2 bölgesel uydu navigasyon sistemi kapsama alanı

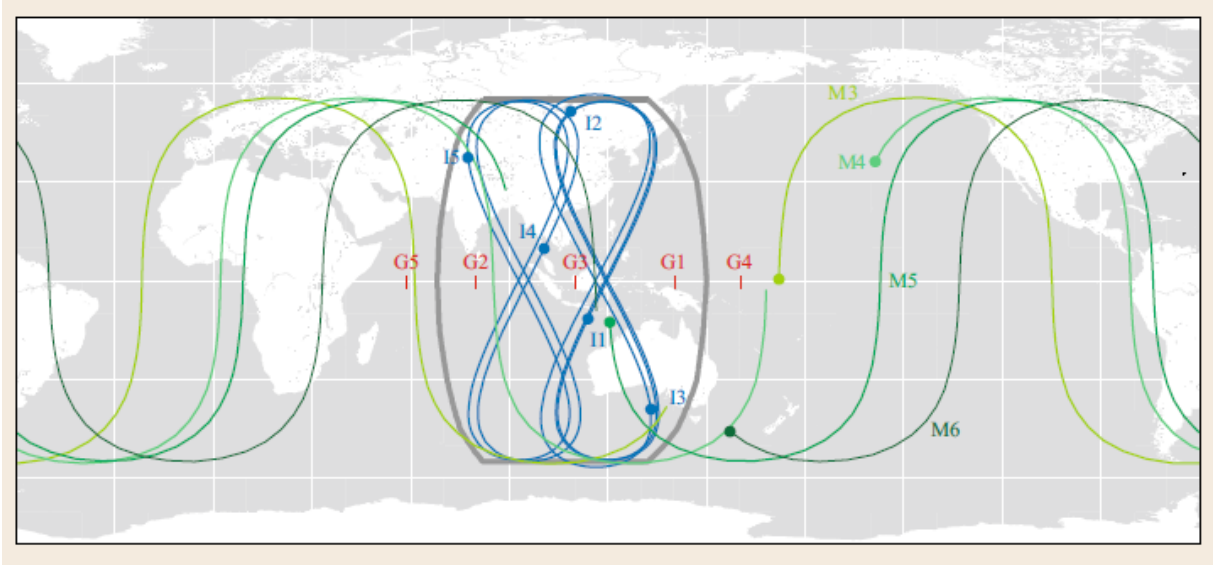


Kaynak: (Spaceflight101, 2018a)

Asya-Pasifik bölgesini kapsayan BeiDou Bölgesel Konumlama Sistemi, BeiDou Faz II, 2012 yılı sonlarında operasyonel hale gelmiştir. BeiDou Bölgesel Konumlama Sisteminin uzay segmenti; 5 yer-sabit yörüngeli uydu, 5 eğik yer eş-zamanlı uydu ve 4 orta yörüngeli uydudan oluşmaktadır. Kullanılan yörünge türlerinin hepsi daireseldir. Yer-sabit yörüngeli uydular 58,75 derece doğu, 80 derece doğu, 110,5 derece doğu, 140 derece doğu ve 160 derece doğu boylamlarına yerleştirilmiştir (BETZ, 2016, s. 256). Eğik yer eş-zamanlı yörüngeler ile orta yörüngelerin eğiklik açısı 55'er derecedir ve bu yörüngedeki uydular bir turlarını yaklaşık 23 saat 56 dakikada tamamlar. Dairesel yer eş-zamanlı yörüngeler, yeryüzü üzerinde simetrik bir “8” şekli çizerler. Bu şeklin merkez boylamı, aynı zamanda ekvatoru kestiği boylamdır. Eğik yer eş-zamanlı yörüngede bulunan uydulardan üçünün yer izleri (I1, I2 ve I3) 118 derece doğu boylamı, ikisinin yer izleri (I4 ve I5) ise 95 derece doğu boylamında ekvatoru kesmekte ve aynı boylamları merkeze alarak “8” şekli çizmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 280). Aynı şekli çizen uydular 120 derecelik aralıklarla dizilmiştir. Orta yörüngedeki 4 uydu ise küresel genişlemeye fırsat verecek biçimde yükselme düğüm açıları arasında 120

derece bulunan iki yörünge düzlemine dağıtılmıştır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 281).

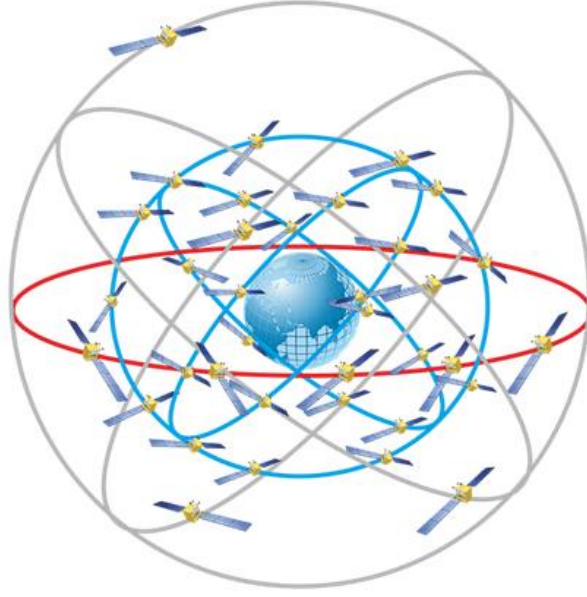
Şekil 35. BeiDou-2 uydu yer izdüşümleri



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 280).

Çin, yaklaşık olarak 2020 yılında BeiDou-3 fazına geçmeyi planlamaktadır. Küresel kapsamaya sahip BeiDou Faz III tamamlandığında; orta yörüngede 27, eğik yer eş-zamanlı yörüngede 3 ve yer-sabit yörüngede 5 tane olmak üzere toplam 35 uydudan oluşacaktır. BeiDou Faz III uydu takımı, BeiDou Faz II uydu takımı üzerinden geliştirildiği için bazı özellikleri benzerlik göstermektedir. Her iki uydu takımı da aynı dairesel yörünge türlerini kullanmaktadır. Yer-sabit yörüngeli uyduların yörünge pozisyonları ile eğik yer eş-zamanlı yörüngelerin ve orta yörüngelerin yörünge eğiklik açıları aynıdır. Öte yandan, uydu sayıları farklılık gösterdiği için kullanılan yörünge düzlem sayıları arasında farklılıklar mevcuttur. BeiDou Faz II'de 5 olan eğik yer eş-zamanlı uydu sayısı 3'e düşürülmüş; 14 olan orta yörüngeli uydu sayısı ise 27'ye çıkarılmıştır. Bu nedenle, eğik yer eş-zamanlı yörünge düzlemi sayısı 5'ten 3'e düşmüş; orta yörünge düzlemi sayısı 2'den 3'e çıkmıştır.

Şekil 36. BeiDou faz III uydu takımı



Kaynak: (IAC PNT, 2018a)

BeiDou Faz III uydu takımında, yer-sabit yörüngeli uydular BeiDou Faz II’de olduğu gibi 58,75 derece doğu, 80 derece doğu, 110.5 derece doğu, 140 derece doğu ve 160 derece doğu boylamlarında yer alır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 297). Yörünge eğiklik açıları 55’er derece olan eğik yer eş-zamanlı 3 yörünge düzlemi, yükselme düğüm açıları arasında 120 derece açı bulunacak biçimde düzenlenmiştir. Bu yörüngelerde dönen uydular arasında eşit faz aralıkları bulunur. Yer izleri ekvatoru 118 derece doğu boylamında keser ve aynı boylamı merkez alarak “8” şekli çizer. Her 8 saatte bir uydulardan biri ekvatordan geçer. BeiDou Faz II’de 95 derece doğu boylamı etrafında dönen uydular BeiDou Faz III’te yer almamaktadır. BeiDou Faz II’de iki orta yörünge düzlemi yer alırken, BeiDou Faz III’te bu sayı üçe tamamlanmıştır. Her yörünge düzleminin yükselme düğüm açıları arasında 120 derece eş aralıklar bulunmaktadır. Yerden yükseklikleri yaklaşık 21.525 km olan orta yörüngelerin yörünge yarıçapları 27.900 km’dir. Orta yörüngeli bir uydu, yörüngedeki bir turunu yaklaşık olarak 12 saat 52 dakikada tamamlar. Uydunun teğetsel hızı yaklaşık olarak 3,8 m/s’dir (BETZ, 2016, s. 257).

BeiDou Faz III kapsamında 2 IGSO ve 2 MEO uydudan oluşan deneysel bir sistem kurularak tamamlanmıştır. 2018 yılı sonuna kadar 18 MEO ve 1 GEO uydudan oluşan temel sistemin

kurulması ve RNSS hizmetlerine başlanması amaçlanmaktadır. 24 MEO, 3 GEO ve 3 IGSO uydudan oluşan ana uydu takımının 2020 yılından önce tamamlanarak küresel hizmetlerin verilmeye başlanması planlanmaktadır (China Satellite Navigation Office, 2017, s. 5).

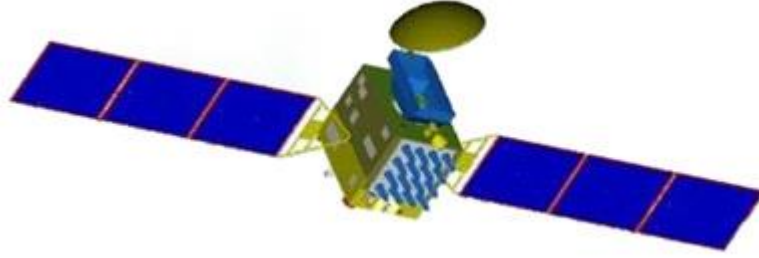
4.4.1.2. BeiDou Uyduları

BeiDou uydu tabanlı konumlama sisteminin; uydu tabanlı konumlama teknolojisi gösterim sistemi (Faz I) , bölgesel uydu tabanlı navigasyon sistemi (Faz II), küresel kapsamaya sahip uydu navigasyon sistemi (Faz III) olmak üzere üç aşamada geliştirilmesi planlanmıştır. BeiDou uydularını isimlendirmede kullanılan yöntemler her üç aşamada da farklılık göstermektedir. Faz I aşamasında sadece GEO izleyen uydular bulunurken, Faz II ve Faz III uydu takımında GEO, IGSO ve MEO izleyen uydular yer almaktadır. Faz I aşamasındaki teknoloji gösterim uyduları BeiDou 1A, 1B ve 1C olarak adlandırılmıştır. Faz II aşamasında farklı yörünge türlerinde dönen uydular bulunduğu için isimlendirmede yörünge adlarından yararlanılmıştır. Yer-sabit yörüngeli uydular için “G”, eğik yer eş-zamanlı yörüngeye sahip uydular için “IGSO”, orta yörüngeli uydular için “M” harfi ilk belirteç olarak kullanılmış; ardından uydu numarası eklenmiştir. Faz II aşamasındaki uydu isimleri “BeiDou-IGSO3” şeklindedir. Faz III’te, yer eş-zamanlı uydu adlarında kullanılan “IGSO” belirteci kısaca “I” olarak değiştirilmiş; yer-sabit yörüngeli uydular için “G” ve orta yörüngeli uydular için “M” belirteci aynen kullanılmaya devam etmiştir. Uzun yıllar sistemin İngilizce adı olan COMPASS kullanıldığı için bu uydular BeiDou yerine COMPASS olarak adlandırılmıştır. Faz III’e geçiş sürecinde deneysel amaçlı 2 IGSO ve 3 MEO uydu fırlatılmıştır. Bu yeni uydularda S bant sinyal aktarım kabiliyeti olduğundan uydu numarasının sonuna bir de “-S” belirteci eklenmiştir. 5 adet fırlatılan Faz III deneysel uydularının isimleri “BeiDou-M1-S” şeklindedir. Faz III’e tam geçiş sürecinde, uyduların neslini belirtmek üzere yörünge türü kısaltma harflerinin önüne “3” rakamı eklenmiş; uydu numarasından sonra gelen “-S” belirteci ise kaldırılmıştır. Bu uyduların isimleri “BeiDou-3M5” şeklindedir.

Uyduları 2000-2003 yılları arasında fırlatılan BeiDou Faz I, 2004 yılından itibaren hizmet vermeye başlamıştır. BeiDou Faz II uyduları ise 2007-2012 yılları arasında fırlatılmış; 2012 yılının sonlarından itibaren tam operasyonel hizmet sunmaya başlamıştır. BeiDou Faz III’ün

inşa çalışmaları devam etmekte olup uydu takımının yaklaşık olarak 2020 yılında tamamlanması planlanmaktadır.

Şekil 37. BeiDou-2 GEO uydusu

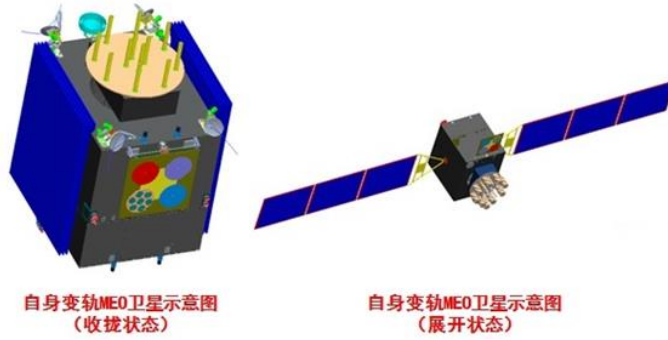


Kaynak: (Spaceflight101, 2018a)

BeiDou uydularının tamamı, Çin Uzay Teknolojisi Akademisi (CAST) tarafından geliştirilen DFH-3 uydu platformuna dayanmaktadır. 2200 kg fırlatma ağırlığına sahip olan uydu yapısının boyutları 2,2 m x 1,72 m x 2,0 m, güneş paneli açıklığı ise 18,1 m'dir. Bu platform BeiDou-1 uydularından itibaren kullanılmaktadır (China Space Report, 2018). Uydu yapısı zaman içerisinde geliştirilmiş ve modifiye edilmiştir. BeiDou-2 GEO ve IGSO uyduları DFH-3B uydu yapısını kullanmaktadır (IGS, 2018). DFH-3B uydu yapısı 2,2 m x 2,0 m x 3,1 m boyutlara sahiptir (Spaceflight101, 2018a). GEO ve IGSO uyduların fırlatma ağırlıkları sırasıyla 4600 kg ve 4200 kg'dır (ESA, 2018a). BeiDou-2 MEO uydularda ise DFH-3 platformu kullanılmıştır. Tasarım ömrü 8 yıl olan uydunun kuru ağırlığı 800 kg, fırlatma ağırlığı ise 2200 kg'dır (BETZ, 2016, s. 256). DFH-3 uydu yapısının normalde 8 yıl olan tasarım ömrü gelişen yapıyla birlikte 12-15 yıla çıkarılmıştır (IAC PNT, 2018a).

BeiDou uydu navigasyon sisteminin 30 ve 31 numaralı uyduları, BeiDou-3MEO5 (BeiDou-30) ve BeiDou-3MEO6 (BeiDou-31), 29 Mart 2018'de fırlatılmıştır. MEO uydular, BeiDou Uydu Navigasyon Sisteminin üçüncü fazının Orta Yörünge bileşenleri olarak sistemin küresel kapsama yeteneği geliştirecektir. Üçüncü nesil bu uydularda navigasyon sinyali için faz dizili anten ve bir lazer geri yansıtıcısı bulunan yeni bir uydu yapısı kullanmaktadır (BARBOSA, 2018). BeiDou-3 MEO uyduları 1014 kg fırlatma ağırlığına ve 2,25 m x 1,0 m x 1,22 m boyutlara sahiptir (IGS, 2018). 2018 yılı içerisinde 2 adet yeni BeiDou-3 MEO uydunun fırlatılması planlanmaktadır (North Coast Media LLC, 2018).

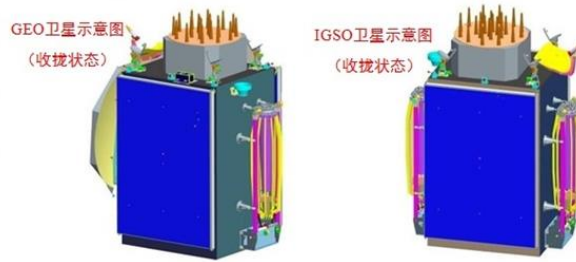
Şekil 38. BeiDou-3 MEO uydusu



Kaynak: (Spaceflight101, 2018b)

BeiDou uydu tabanlı konumlama sistemini oluşturan birinci ve ikinci nesil uyduların tamamı CAST tarafından üretilmiştir. Üçüncü nesil uyduların tedarikinde farklı bir yöntem izlenmiş; ana yüklenici olarak CAST ve Çin Bilimler Akademisi (CAS) ile sözleşme yapılmıştır. Üçüncü nesil GEO uyduların tamamı CAST tarafından üretilmektedir. IGSO ve MEO uyduların üretimi ise CAST ve CAS arasında paylaştırılmıştır. İlk 6 MEO uydunun üretilmesinden CAST, sonraki 6 MEO uydunun üretilmesinden CAS sorumludur (Spaceflight101, 2018b).

Şekil 39. BeiDou-3 GEO uydusu (solda), IGSO uydusu (sağda)



Kaynak: (Spaceflight101, 2018b)

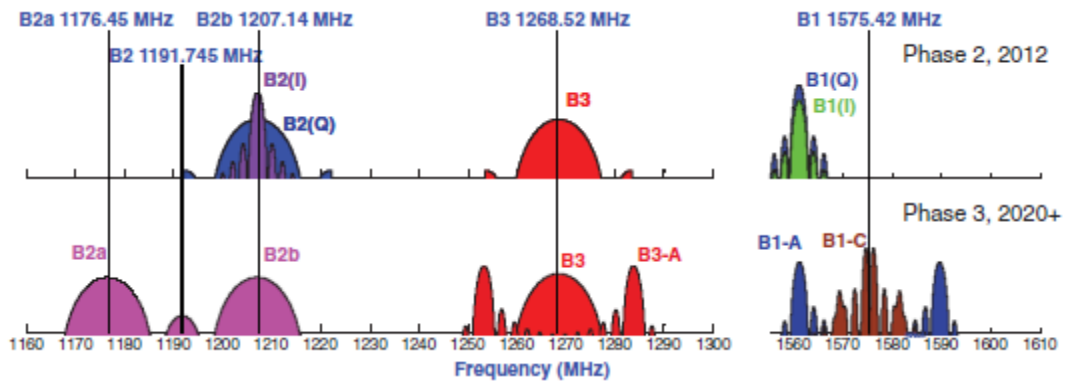
Çin küresel kapsamaya geçişte, birinci nesil yer terminalleri ile uyumu sağlamak ve gelişmiş BeiDou-3 sistemi tarafından sunulan hizmetleri desteklemek üzere GEO ve GSO segmentini korurken MEO uydu takımını GPS ve Galileo'ya benzer biçimde genişletmeyi planlamıştır. Bu nedenle; BeiDou-3 mimarisi, eski ve yeni nesil görev yükü barındıran karma bir yapıya sahiptir. Üçüncü nesil BeiDou uydularında iki tür görev yükü kullanılmıştır. Bunlardan biri eski nesil BeiDou uyduları ve alıcılarıyla uyumlu olan Radyo Belirleme Uydu Hizmeti

(RDSS) görev yükü, diğeri ise BeiDou-3'ün bir parçası olan Radyo Navigasyon Uydu Hizmeti (RNSS) görev yüküdür. BeiDou-3 GEO ve IGSO uydularda hem RDSS hem de RNSS görev yükü, MEO uydularda ise sadece RNSS görev yükü bulunur (Spaceflight101, 2018b). Sadece GEO ve IGSO uydularda bulunan RDSS görev yükü BeiDou-1'den bu yana kullanılan eski sistem bileşenleri ile çalışabilmektedir. BeiDou-3 serisi her uyduda bulunan yeni RNSS görev yükü ise; diğer GNSS sistemlerine benzer şekilde L bant frekansında oldukça yüksek zamanlama hassasiyetine sahip kodlanmış sinyaller aktarmaktadır. MEO uydularda sadece RNSS görev yükü kullanılması, uydunun boyut ve ağırlık açısından daha küçük olmasını sağlamıştır.

4.4.1.3. BeiDou Sinyalleri

BeiDou uydu takımının yaydığı sinyaller sistemin ilk harfi olan “B” ile adlandırılmıştır. BeiDou-2 bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi; yerküreye B1, B2 ve B3 bandında navigasyon sinyalleri aktarmaktadır. B1 sinyali 1561,098 MHz frekansta, B2 sinyali 1207,140 MHz frekansta açık hizmet ve yetkili hizmet sinyalleri sunmaktadır. B3 sinyali ise 1268,520 MHz frekansta sadece yetkili hizmet sinyalleri sağlamaktadır.

Şekil 40. BeiDou Faz 2 ve Faz 3 Sinyalleri



Kaynak: (BETZ, 2016, s. 263)

BeiDou Faz II B1 açık hizmet sinyali, 4.092 MHz bant genişlikli 1561,098 MHz merkezi frekanslı QPSK modülasyonunu kullanmaktadır. BeiDou Faz III kapsamında, GPS L1 ve Galileo E1 sivil sinyallerinde olduğu gibi, B1 sinyalinin ortalanan frekansı 1561,098 MHz iken 1575,42 MHz olarak değiştirilecek ve gelecekteki GPS L1C ve Galileo E1 sinyallerine

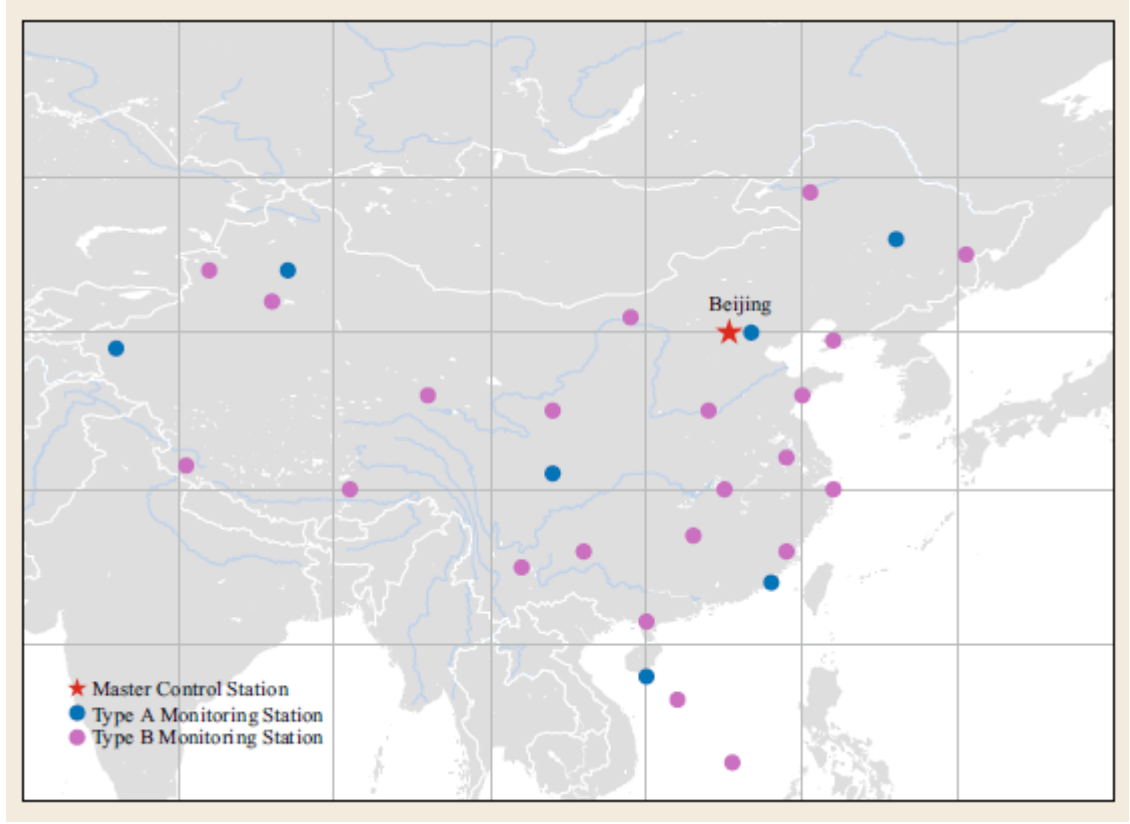
benzer şekilde karesel faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) modülasyonundan çoklanmış ikili ofset taşıyıcı (MBOC) modülasyonuna geçilecektir (BARBOSA, 2018).

BeiDou Faz III ile dört frekans bandında açık ve yetkili hizmet verilmesi planlanmaktadır. 1575,42 MHz merkezli 1559-1610 MHz aralığında B1 sinyali, 1191.795 MHz merkezli 1164-1219 MHz aralığında B2 sinyali, 1268,52 MHz merkezli 1164-1219 MHz aralığında B3 sinyali yayımlanacaktır. Yeni fırlatılan uydular ayrıca 2483,5-2500 MHz frekans aralığında Bs olarak adlandırılan yeni bir S bant sinyali yayımlama kabiliyetine sahiptir. Diğer GNSS sistemleri ile daha iyi performans, uygunluk ve birlikte çalışabilirlik göstermesi için bölgesel sisteme göre geliştirilmiş yeni sinyal yapıları kullanılacaktır. B1 frekans aralığında, B1-A ve B1-C olmak üzere iki tür sinyal aktarımı yapılacaktır. Yetkili hizmet sinyali B1-A ikili ofset taşıyıcı (BOC) modülasyonu, açık hizmet sinyali B1-C ise MBOC modülasyonu kullanacaktır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 298). Faz II'de kullanılan B2Q sinyali Faz III'te kullanılmayacaktır. Açık B2I sinyali AltBOC modülasyonu kullanan B2 sinyali ile değiştirilecektir. Galileo E5 sinyali ile aynı tasarıma sahip olan bu sinyal, 1176,45 MHz frekanslı (B2a) ve 1207,14 MHz frekanslı (B2b) iki yan lob oluşturduğundan iki ayrı sinyalmış gibi ayrıştırılabilir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 298). B3 sinyali Faz III'te de korunacak; aynı frekanslı B3-A adında ikinci bir yetkili sinyal eklenecektir (BETZ, 2016, s. 262).

4.4.2. BeiDou Kontrol Segmenti

Operasyonel Kontrol Segmenti (OCS) olarak adlandırılan BeiDou yer segmentinin bileşenleri Çin ana karası üzerine dağılmış durumdadır. BeiDou kontrol segmenti; 1 ana kontrol istasyonu, 29 adet izleme istasyonu ve 2 yukarı yönlü veri gönderme istasyonundan oluşur. Pekin'de bulunan ana kontrol istasyonu; uydu yörüngelerinin belirlenmesinden, iyonosferik düzeltmeden, kullanıcı konumunun belirlenmesinden ve kayıtlı kullanıcılara kısa mesaj gönderilmesinden sorumludur (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 276) Sistemde iki tür izleme istasyonu bulunur. A türü izleme istasyonları, yörünge ve iyonosferik gecikmelerin izlenmesinde kullanılır. Bu istasyonlardan 7 adet bulunmaktadır. Geriye kalan 22 izleme istasyonu ise B türündedir. Bu istasyonlar; destek hizmeti ve entegrasyon hizmeti verirler. Veri gönderme istasyonları ise zaman senkronizasyonu ve veri yüklemede kullanılır.

Şekil 41. BeiDou kontrol segmenti



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 289)

4.4.3. BeiDou ile Sunulan Temel Hizmetler

BeiDou kademeli olarak geliştirilen bir uydu tabanlı konumlama sistemidir. 2012 yılı sonlarında hizmet vermeye başlayan bölgesel BeiDou-2 sisteminden küresel BeiDou-3 sistemine yükseltme çalışmaları devam etmektedir. BeiDou-3'ün 2018 yılının sonlarında başlangıç hizmeti vermeye başlaması ve yaklaşık olarak 2020 yılında tam operasyonel kabiliyete erişmesi beklenmektedir. BeiDou-3 uydu takımının tamamı ile Açık Hizmet ve Yetkili Hizmet olmak üzere iki tür küresel navigasyon hizmeti sunulması planlanmaktadır. Bu hizmetlerin yanı sıra BeiDou-1'e dayanan bölgesel Geniş Alan Diferansiyel Hizmeti ve Kısa Mesaj Hizmeti geliştirilerek verilmeye devam edilecektir. BeiDou-3 ile ayrıca uluslararası Arama ve Kurtarma (SAR) hizmeti sağlanması amaçlanmaktadır.

Açık Hizmet, diğer GNSS sistemlerinde olduğu gibi herkesin kullanımına açık olan sivil bir kamu hizmetidir. Bu hizmet; B1I, B3I, B1C, B2A ve B2b sinyalleri ile verilecektir (China

Space Report, 2018, s. 11). Açık Hizmet kapsamında, BeiDou ile uyumlu bir alıcı terminali olan her kullanıcı herhangi bir ücret ödemeden konumlama, hız ve zamanlama hizmetlerinden yararlanabilir. Açık Hizmetin konumlama doğruluğu 10 m, zamanlama doğruluğu 20 ns ve hız doğruluğu 0,2 m/s' dir (ESA, 2018a). Asya Pasifik bölgesinde GEO ve IGSO uyduların sağladığı iyileştirme ile zaman doğruluğu 10 ns'ye, hız doğruluğu ise 0,1 m/s'ye düşürülecektir (China Space Report, 2018, s. 12).

Yetkili Hizmet, Çin devlet ve askeri kullanıcılarına sunulan lisanslı bir hizmet türüdür. Karmaşık durumlarda bile yüksek güvenilirlik sunmayı amaçlar ve Açık Hizmetten çok daha hassastır. Söz konusu hizmet; B1A, B3Q ve B3A sinyalleri ile verilecektir (China Space Report, 2018, s. 11). Yetkili Hizmet kapsamında, yetkilendirilmiş kullanıcılara doğruluğu yüksek konumlama, hız ve zamanlama hizmetleri sağlanmaktadır. Bu hizmet aynı zamanda sistem durumu hakkında bilgi içermekte ve iki yönlü kısa mesaj hizmeti sunmaktadır. Abonelikle kullanılabilen lisanslı hizmet, konumlama doğruluğunu 2 metreye kadar iyileştirmektedir (NovAtel Inc., 2015, s. 39).

BeiDou diğer GNSS sistemlerinden farklı olarak tümleşik bir uydu tabanlı destek sistemine sahiptir. GEO uydulardan elde edilen düzeltme verileri yer konuşlu istasyonlar yardımı ile Çin ana karası üzerine dağıtılarak konumlama hassasiyetinin artırılmasını sağlar. Bu kapsamda sunulan Geniş Alan Diferansiyel Hizmeti, BeiDou-1 altyapısına dayanan bölgesel bir uydu tabanlı destek hizmetidir. Sadece yetkilendirilmiş kullanıcılara verilen hizmetin konumlama doğruluğu 1 metredir (CAMACHO-LARA, MADRY, & PELTON, 2013, s. 639). Üçüncü nesil BeiDou-3 sistemi ile uydu tabanlı destek hizmetinin hem açık hem de yetkili hizmet şeklinde verilmesi planlanmaktadır. Açık destek hizmeti B1C ve B2a sinyalleri, yetkili destek hizmeti ise B1A sinyali ile verilecektir (China Space Report, 2018, s. 11). Ayrıca, GEO uydular ile Kısa Mesaj Hizmeti verilmeye devam edilecektir.

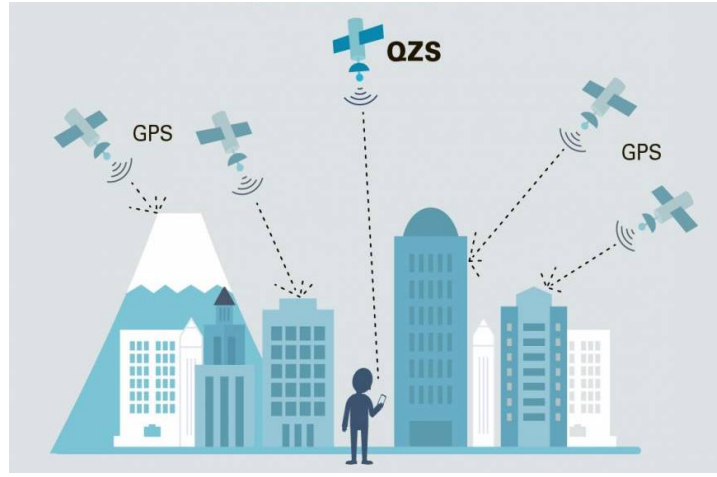
Kısa Mesaj Hizmeti, kullanıcıların kendi aralarında ya da ana kontrol istasyonu ile GEO uydular üzerinden iki yönlü mesaj alışverişi yapmasını sağlayan ve sadece yetkilendirilmiş kullanıcılara sunulan bir hizmet türüdür. BeiDou-2 kapsamında verilmekte olan bölgesel kısa mesaj hizmeti, istasyon ile kullanıcı arasında karşılıklı konum bilgisi aktarımında kullanıldığı için Konum Raporlama Hizmeti olarak da adlandırılır (ESA, 2014a). Mesaj başına boyut 120

Çince karakter ile sınırlıdır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 395). BeiDou-3 ile kısa mesaj kapasitenin geliştirilmesi ve konum raporlarına ek olarak kısa mesaj haberleşme hizmeti sunulması planlanmaktadır. GEO uyduların RDSS görev yükü ile sunulacak olan bölgesel kısa mesaj haberleşme hizmetinde L bant gelen sinyal ve S bant giden sinyal kullanılacaktır. Kısa mesaj haberleşme hizmeti küresel çapta da verilmesi için 14 MEO uydunun haberleşme ve RNSS görev yükünden yararlanılacaktır. Yukarı yönlü L bant sinyali ve aşağı yönlü B2b sinyali kullanılacaktır (China Satellite Navigation Office, 2017, s. 11). Mesaj boyutu bölgesel hizmet için 1000, küresel hizmet için 40 Çince karakterden azdır. Konum Raporlama hizmeti kapsamında 10 m seviyesinde hassas konum bilgisi GEO uyduların B2b sinyali ile aktarılacaktır (China Satellite Navigation Office, 2017, s. 12).

BeiDou-2 ile ayrıca uluslararası Arama ve Kurtarma (SAR) hizmeti verilmesi amaçlanmaktadır. Bu hizmeti sunacak olan 6 MEO uydu yukarı yönlü sinyal göndermede 406 MHz frekansını, aşağı yönlü sinyal göndermede 1544-1545 MHz frekansını kullanacaktır (China Satellite Navigation Office, 2017, s. 11).

QZSS uydularının üretiminden Mitsubishi Electric Corporation (MELCO) sorumludur. Uyduların tedarikçisi konumunda olan Japonya Hükümeti Kabine Ofisi, uydu tabanlı konumlama sisteminin oluşturulması ve işletilmesi amacıyla Quasi-Zenith Satellite Systems Services Inc. adında bir özel girişim şirketi kurmuştur. Bu şirket tarafından yapılan iş paylaşımına göre; NEC Corporation tüm sistemin tasarımından, doğrulanmasından ve QZSS operasyonundan sorumludur. Yer sisteminin inşası ve bakımı ise Mitsubishi Electric Corporation (MELCO) ve NEC Corporation tarafından gerçekleştirilmektedir.

Şekil 43. En az bir quasi-zenith uydu her zaman Japonya üzerinde



Kaynak: (NAGATA, 2016)

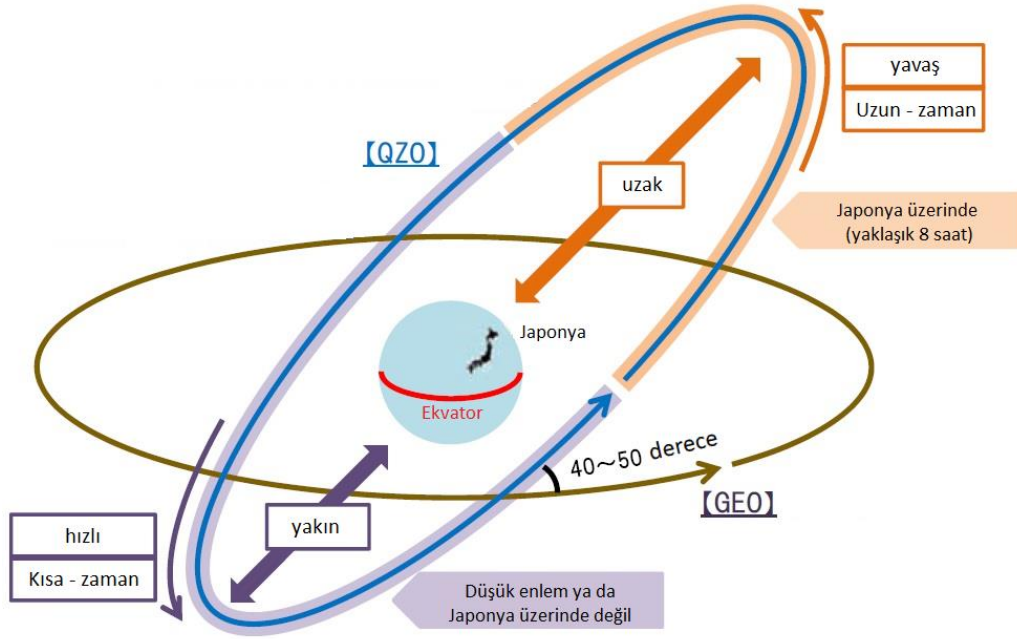
5.1.1. QZSS Uzay Segmenti

5.1.1.1. QZSS Uydu Takımı

QZSS, 3 Quasi-Zenith yörüngeli (QZO) uydu ile bir Yer-Sabit yörüngeli (GEO) uydudan oluşmaktadır. Yer-Sabit yörüngeli uydu, ekvator üzerinde yaklaşık 36000 km yükseklikte dairesel bir yörünge izlemektedir. Yaklaşık 3 km/s sabit bir hıza sahip olan uydunun yörünge periyodu yaklaşık 24 saattir ve yerküre ile eşzamanlı olarak dönmektedir. Bu nedenle; yerden bakıldığında sabitmiş gibi görünür. Bu yörünge türü, haberleşme ve meteoroloji uyduları tarafından kullanılır. Quasi-Zenith yörüngeli uydular ise, Yer-Sabit yörüngeye göre 40-50 derece arasında eğiklik açısına sahip eliptik yörüngelerde hareket ederler (SHOZAKI, 2018, s. 9). Uyduların yörüngedeki hızları, 3 km/s civarındadır. Yaklaşık 24 saat olan yörünge periyotları, Yer-Sabit yörüngede olduğu gibi yerkürenin dönüşü ile eşzamanlıdır. Bunun

sonucu olarak, hareketleri sırasında yerküre üzerindeki izdüşümleri “8” şekli çizer. Yerden bakıldığında da “8” şeklinde bir yörüngesel yol izledikleri görülür. Quasi-Zenith yörünge, uyduların Japonya üzerinde uzun süre kalması için ayarlanmıştır.

Şekil 44. QZSS yörüngeleri



Kaynak: (SHOZAKI, 2018, s. 9)

Yer-sabit yörüngeli QZS-3 dışındaki uydular; yükselme düğüm açıları farklı, diğer yörünge parametreleri birbirinin aynı olan 3 farklı eliptik yörüngede dönmektedir. Sahip oldukları yörüngeler birbirini tamamlar niteliktedir ve her zaman Japonya üzerinde en az bir adet uydunun bulunmasını sağlar. Bu nedenle sisteme Quasi-Zenith ismi verilmiştir. Diğer bir deyişle, sistem ismini bu özel yörünge takımından almaktadır. Quasi-Zenith yörünge izleyen uyduların yörünge parametreleri Tablo 5’te verilmiştir.

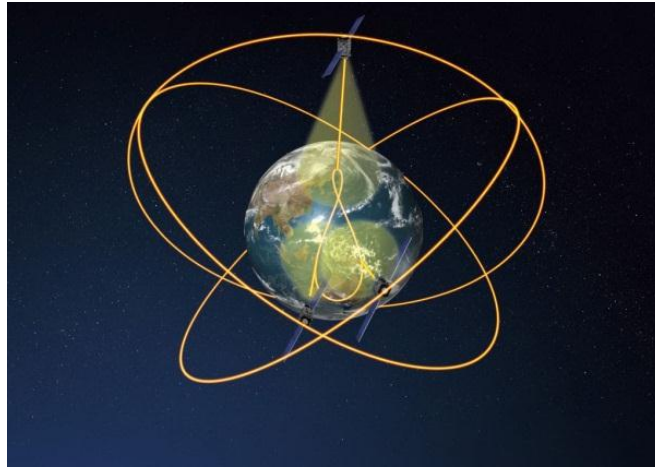
Tablo 5. Quasi-zenith uyduların izlediği yörüngeler

Quasi-Zenith Yörünge Parametreleri	
Yörünge Parametresi	Temsili Yerleşim
Yarıbüyük Eksen Uzunluğu	42164 km
Basıklık	0,075
Yörünge Eğiklik Açısı	41 derece
Yerberi Noktası	270 derece
Yükselme Düğümü Açısı	Block IQ (QZS-1): 117 derece
	Block IIQ (QZS-2 & QZS-4): 117 ± 130 derece
Merkezi Boylam	136 derece

Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 7)

Quasi-Zenith yörüngelerde dönen uydular, yörüngedeki bir tam turlarını yaklaşık olarak 24 saatte tamamlarlar. Bu uydular yörüngedeki dönüşleri sırasında yeryüzü üzerinde 136 derece boylamına göre simetrik kuzey kısmı daha basık olan bir “8” şekli çizerler. Yerberi noktaları güneye denk geldiği için Güney yarımkürede daha hızlı hareket ederler. Japonya üzerinde ise daha yavaş hareket ettikleri yeröte noktası bulunduğu için görece daha uzun zaman geçirirler. Bu uyduların kuzey yarımkürede geçirdiği süre yaklaşık 13 saat, güney yarımkürede geçirdikleri süre ise yaklaşık 11 saattir (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018d).

Şekil 45. Quasi-zenith uydu yörüngeleri ve yer izleri

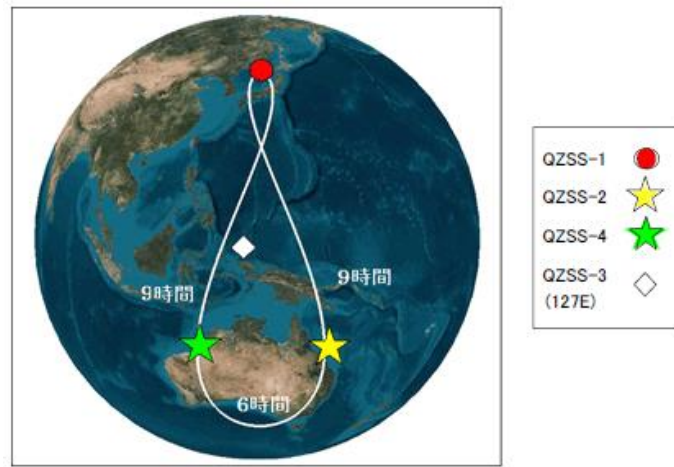


Kaynak: (QZS System Services Inc., 2015, s. 9)

Halihazırda 4 uydudan oluşan QZSS uydu takımında, 3 uydu Quasi-Zenith yörüngede dönmektedir. Bu 3 uydu neredeyse eşit aralıklarla güney-doğu kuzey-batı doğrultusunda

yükselir; Japonya üzerinden dönerek kuzey-doğu güney-batı doğrultusunda alçalır; Avustralya üzerinden dönerek aynı hareketi tekrarlarlar. Yer-sabit yörüngeli uydu ise 127° doğu boylamında bulunmaktadır. Bu uydunun yörüngesi ekvator düzelmünde bulunduğu ve Dünya ile aynı açısal hıza sabit olduğundan yerden bakıldığında sabitmiş gibi görünür. QZSS uydu takımını oluşturan 1,2 ve 4 numaralı uydular quasi-zenith yörüngeye, 3 numaralı uydu ise yer-sabit yörüngeye yerleştirilmiştir.

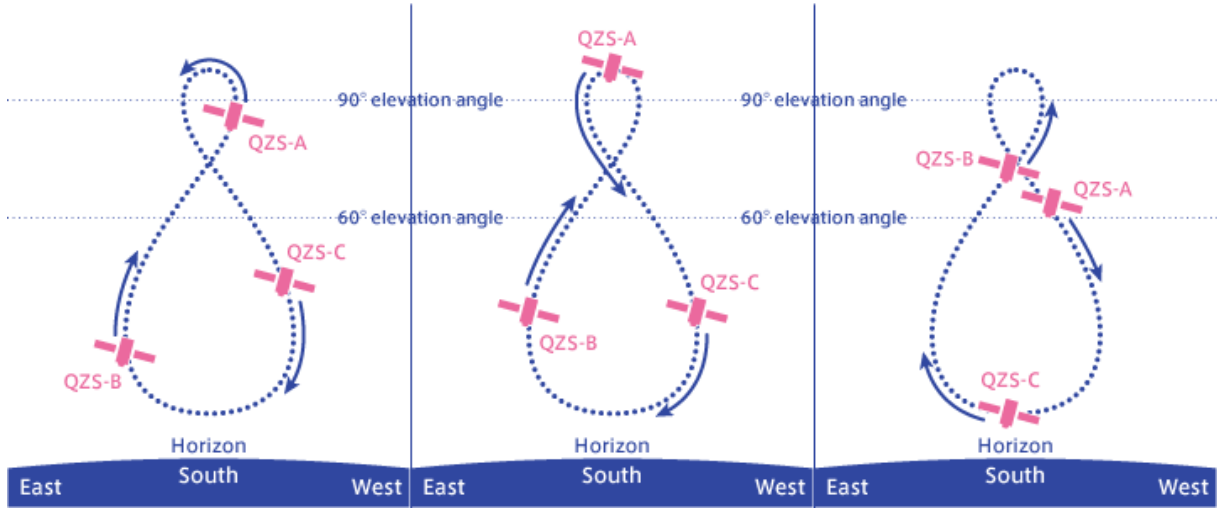
Şekil 46. QZSS uydularının yer izdüşümleri



Kaynak: (SHOZAKI, 2018, s. 10)

Konumlama sinyali yayınlayan uyduların yeryüzündeki bir kullanıcıya göre yükseklik açıları, konum belirleme işleminin tutarlılığı ve hassasiyeti açısından oldukça önemlidir. Yükseklik açısı arttıkça atmosfer ve gölgelemeden kaynaklı hatalar azalır. Bu nedenle yükseklik açısı, sistem performansının değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. 3 uydulu Quasi-Zenith yörünge takımı sayesinde Japonya üzerinde daima 60 derece üzeri yükseklik açısına sahip en az bir uydu, 20 derece yükseklik açısının üzerinde ise ikiden fazla uydu bulunur (KOGURE, 2016, s. 10). Şekil 47'de, Tokyo yakınlarındaki bir kullanıcının gözünden Quasi-Zenith uyduların gökyüzünde izlediği yol ve üç farklı durumda sahip oldukları yükseklik açıları gösterilmiştir.

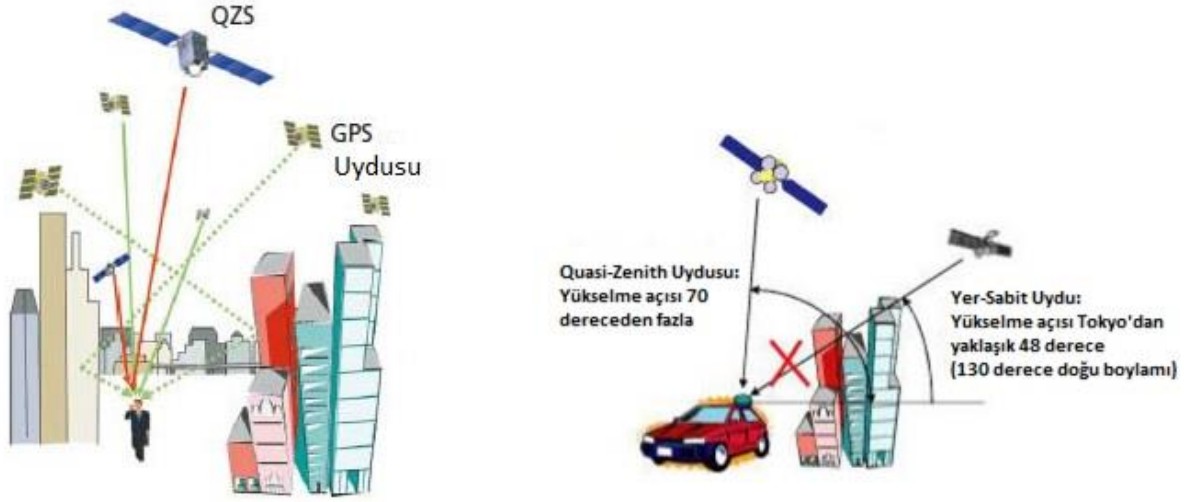
Şekil 47. Quasi-zenith uydu hareketlerinin Tokyo yakınlarından görünüşü



Kaynak: (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018d)

Tokyo örneğinde, Quasi-Zenith yörünge izleyen uyduların her biri farklı yükseklik açıları ile de olsa sürekli görülebilmekte; ufuk çizgisinin altına düşmemektedir. Bu uydulardan biri izlenecek olursa; yükseklik açısının 8 saat boyunca 70 derece ve üzerinde olduğu, 12 saat boyunca 50 derece ve üzerinde olduğu, 16 saat boyunca ise 20 derece ve üzerinde olduğu görülür (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018d). Ayrıca, 70 derecelik yükseklik açısının üzerinde her daim en az bir uydu bulunur. 8 saatte bir Quasi-Zenith yörüngeli 3 uydudan biri dönüşümlü olarak 70 derece ve üzeri yükseklik açısına ulaşır ve başucu noktası yakınlarında dolanır; ancak sürekli başucu doğrultusunda bulunmaz (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018d). Bu özellikten dolayı sisteme “hemen hemen başucu noktasında” anlamına gelen “quasi-zenith” ismi verilmiştir.

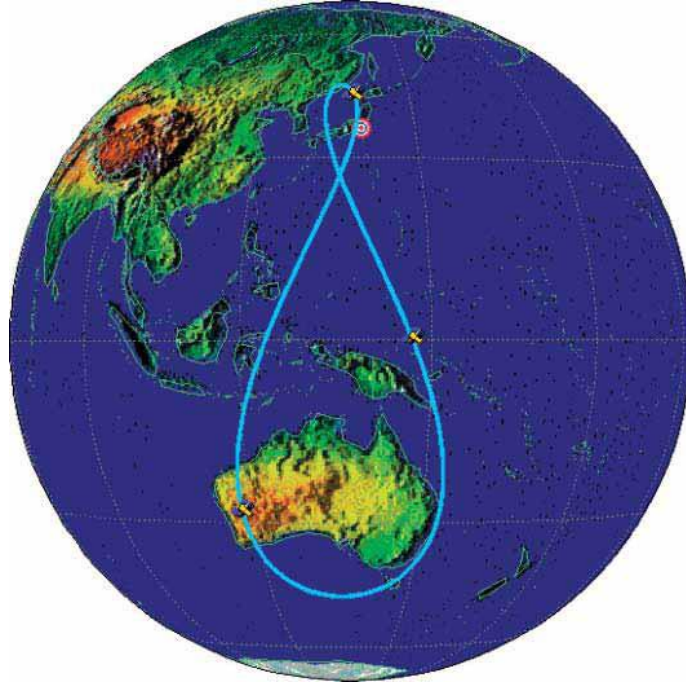
Şekil 48. Quasi-zenith yörüngeli uydu, GPS uydusu ve yer-sabit yörüngeli uydu yükseklik açısı kıyaslaması



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 13) (DUNPHY, 2016, s. 40)

QZSS, Japonya ana karası üzerinde hassas konumlama hizmeti vermeyi amaçlayan bir bölgesel konumlama sistemidir. Bunun için en ideal durum uyduların başucu doğrultusunda konumlandırılarak yükseklik açılarının en büyük değerde tutulmasıdır. Japonya, 24-46 derece kuzey enlemleri ile 123-146 derece doğu boylamları arasında yer alır. Ekvator düzleminde yer almadığı için Japonya üzerinde sabit uydu konuşlandırılması mümkün değildir. Ekvator düzlemine yerleştirilecek olan yer-sabit yörüngeli uyduların ise Japonya'dan bakıldığında yükseklik açısı oldukça düşüktür. Bu nedenle odak noktasında Japonya olacak biçimde tasarlanan sistem, Japonya'nın güneyinde yer alan Asya Pasifik bölgesini de kapsamaktadır.

Şekil 49. QZSS uydu yer izi

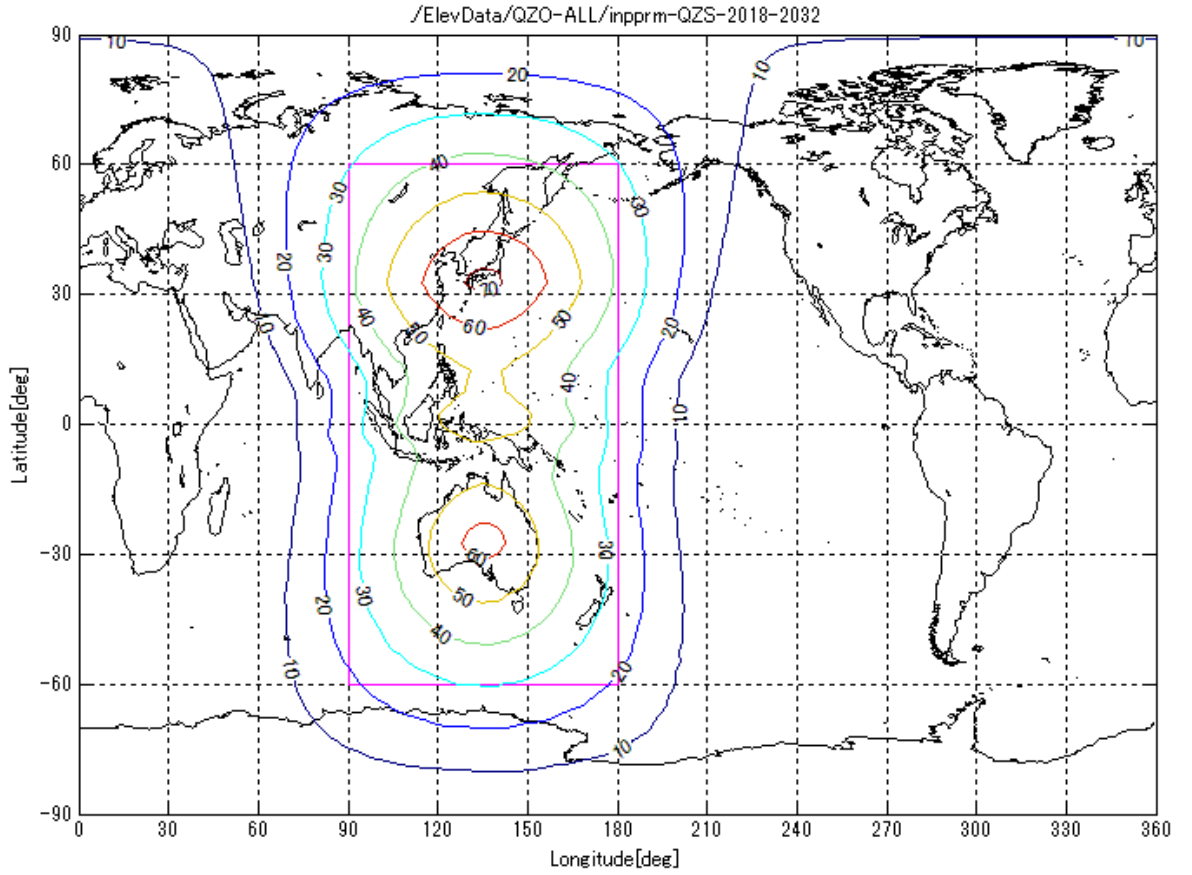


Kaynak: (QZSS Strategy Office, 2016, s. 6)

Uydu yükseklik açıları, konumlama sinyali kullanıcısının bulunduğu enlem ve boylama göre değişir. Uydu yükseklik açısı azaldıkça konumlama sinyalinin atmosferde izlediği yol artar ve alıcıya doğrudan ulaşma olasılığı azalır. Atmosferik gecikmeden ve sinyal yansımından kaynaklı hatalar artacağından bu durum konum belirleme hassasiyetinin düşmesine neden olur. Dolayısıyla sistem performansı ve verimliliği sadece uydu takımına değil; kullanıcı konumuna da bağlıdır. Yörünge izdüşümünden uzaklaştıkça uydu yükseklik açıları azalacağından konumlama tutarlılığı düşer.

Şekil 50’de Quasi-Zenith yörünge izleyen 3 uydunun Asya-Pasifik Bölgesi kapsama performansı gösterilmiştir. Şekilde yer alan çizgi değerleri, Quasi-Zenith yörüngeli uyduların sahip olduğu yükseklik açılarından en büyüğünün alacağı minimum değeri ifade etmektedir. Örneğin; kırmızı renkli bölge içerisinde yer alan bir kullanıcı için her zaman gökyüzünde yükseklik açısı 60 dereceden fazla olan en az bir adet Quasi-Zenith yörüngeli uydu bulunur. 10 derece üzerindeki bölgeler sistemin kapsama alanının oluşturur.

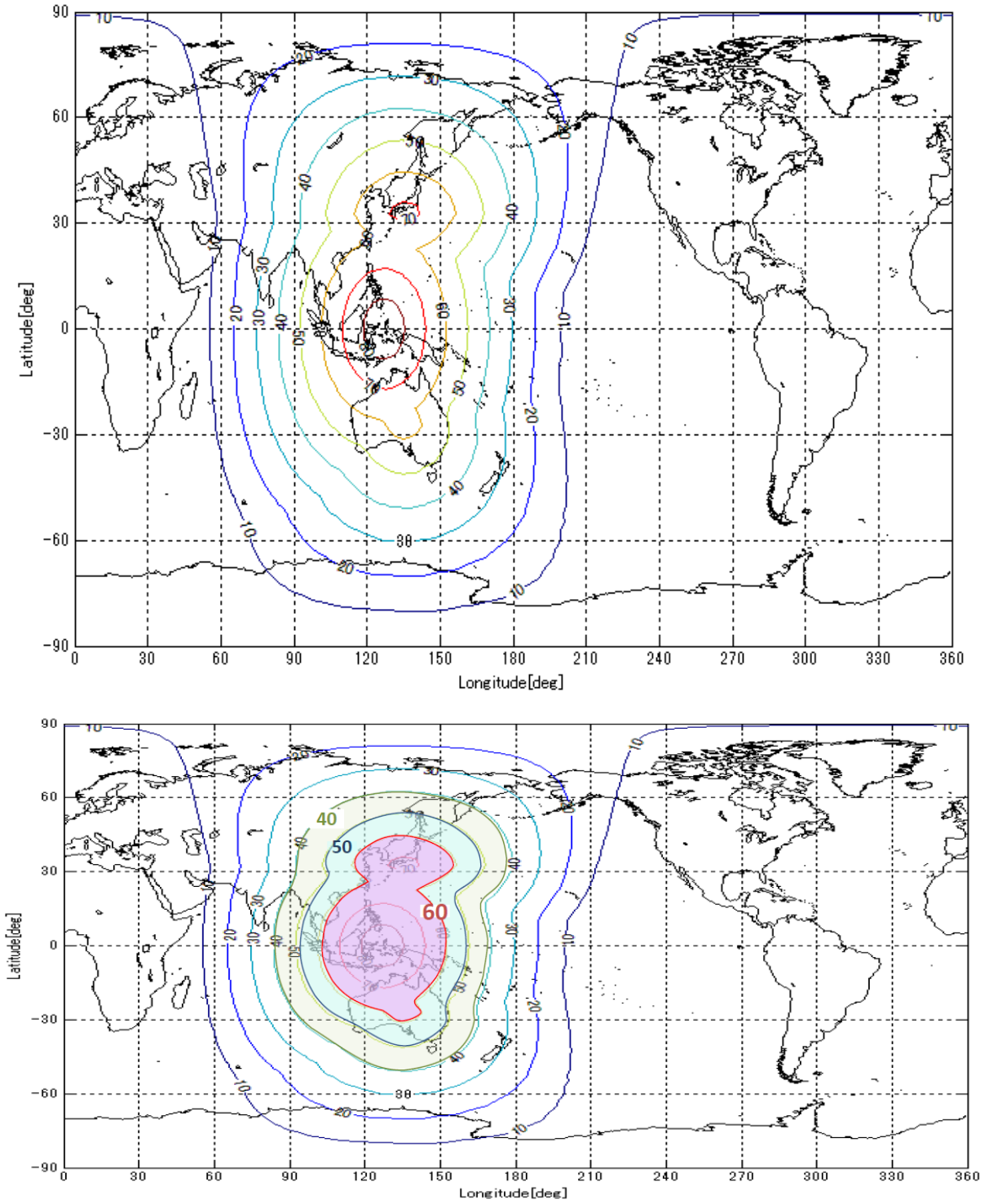
Şekil 50. Quzasi-zenith yörüngeli 3 uydunun kapsama performansı



Kaynak: (QZSS Strategy Office, 2016, s. 3)

Ancak, sistem sadece Quasi-Zenith yörüngeli uydulardan oluşmamaktadır. Yer-sabit yörüngeli QZS-3 uydusu da QZSS sisteminin bir parçasıdır ve ekvatora yakın bölgede kapsama alanının artmasına katkıda bulunur. Yer-sabit yörüngeli uydunun da dahil edildiği, 4 uydulu QZSS sisteminin kapsama kabiliyeti Şekil 51’de gösterilmiştir. Japonya’yı da içine alan kırmızı bölge konumlama hassasiyetinin en yüksek olduğu bölgedir ve bu bölgede 60 derece üzeri yükseklik açısına sahip en az bir uydudur. Görüldüğü gibi Ekvator bölgesindeki kapsama yer-sabit yörüngeli uydunun eklenmesiyle ciddi biçimde artmıştır.

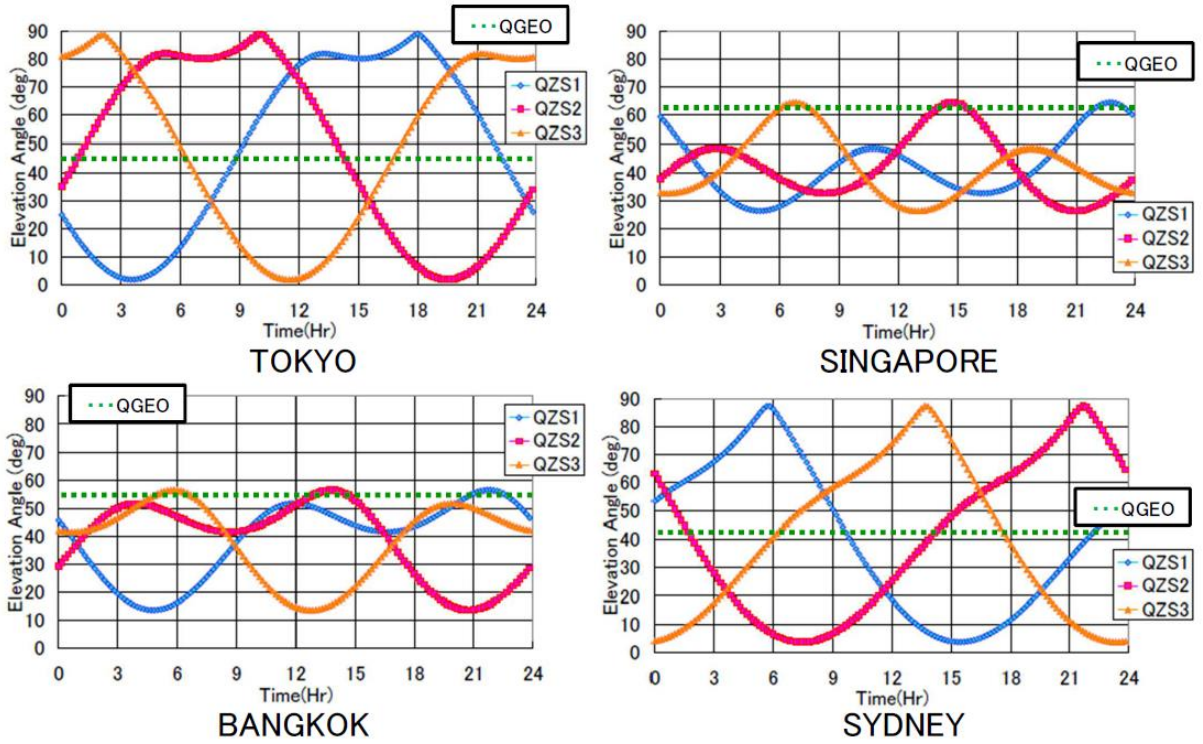
Şekil 51. 4 uydulu QZSS Asya-Pasifik Bölgesi kapsama performansı



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 12)

4 uydulu kapsama alanının simetrik olmayışının nedeni, yer-sabit yörüngeli QZS-3 uydusunun 127 derece doğu boylamına yerleştirilmiş olmasıdır. Yer-sabit yörüngeli uydu, quasi-zenith yörünge merkez boylamı olan 136 derece doğu boylamı üzerine yerleştirilmiş olsaydı simetrik bir kapsama alanı performansı elde edilirdi. Ancak, ekvatorial bölgedeki kapsama alanının 10 derece kadar doğuya kayması, karanın daha az olduğu okyanus bölgesi üzerinde hassasiyeti artırırken ada yoğunluğunun fazla olduğu batıda hassasiyetin azalmasına sebep olur.

Şekil 52. Tokyo, Singapur, Bangkok ve Sidney şehirleri için QZSS uydularının görülebilirliğinin zamanla değişimi



Kaynak: (KOGURE, 2016, s. 11)

Şekil 52'deki grafikte, Asya-Pasifik bölgesinde bulunan dört önemli şehir için QZSS uydu yüksekliklerinin değişimi gösterilmiştir. Birincil hizmet alanında yer alan Tokyo'da en büyük uydu yükseklik açısının alacağı en düşük değer 80 derecenin altına düşmemektedir. Asya Pasifiğin batısında ekvatora yakın bir bölgede bulunan Singapur'da bu değer 60 derecenin üzerindedir. Singapur'un daha kuzeyinde bulunan Bangkok'ta ve güney yarımkürede bulunan Sidney'de ise, 55 derecenin üzerinde en az bir QZSS uydusu bulunur.

5.1.1.2. QZSS Uyduları

QZSS uydu takımı; Quasi-Zenith yörüngede dönen 3 uydu ile 127° doğu boylamında bulunan bir adet yer-sabit yörüngeli uydudan oluşmaktadır. İlk QZSS uydusu olan “Michibiki-1” 2010 yılında fırlatılmıştır. Devamında QZSS uydu takımına ait 2. uydu Haziran 2017’de, 3. uydu Ağustos 2017’de ve 4. uydu ise Ekim 2017’de fırlatılmıştır (TAKIZAWA, 2017, s. 5-6). QZSS uydu takımına ait uydular, “QZS-uydu numarası” şeklinde isimlendirilmektedir. Uydu numaraları ise fırlatım sırasına göre belirlenmektedir. Örneğin; 2 numaralı uydu QZS-2 olarak adlandırılmaktadır.

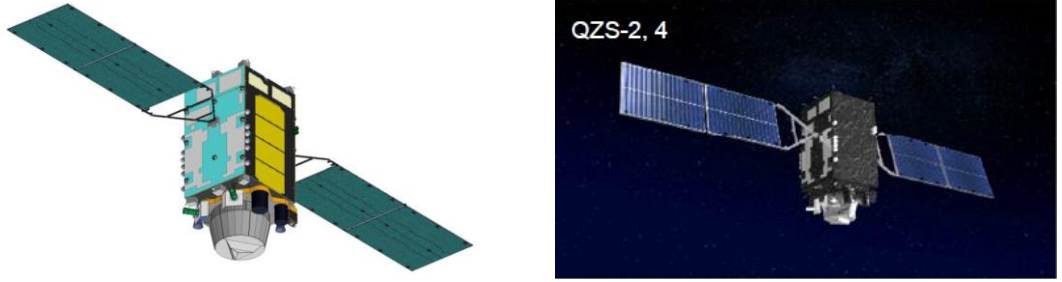
Şekil 53. QZS-1 uydusu



Kaynak: (SHOZAKI, 2018, s. 3)

QZS-1, QZS-2 ve QZS-4 Quasi-Zenith yörüngeye sahiptir. QZSS uydu takımının ilk uydusu olan QZS-1, Block IQ olarak adlandırılan ilk seri konfigürasyonuna sahiptir. Birbirinin aynısı olan yeni nesil QZS-2 ve QZS-4 uyduları ise Block IIQ serisidir. Bu uyduların uç kısmında L-bant anten bulunur. Kuru ağırlığı 1,8 ton, fırlatma ağırlığı ise 4,1 ton olan Block IQ serisinin beklenen görev ömrünün 10 yıldan fazladır (ESA, 2018c). Block IIQ serisi uyduların ise kuru ağırlığı 1,6 ton, fırlatma ağırlığı 4,0 tondur. Uydu ömürlerinin 15 yıldan fazla olması beklenmektedir (TAKIZAWA, 2017, s. 7).

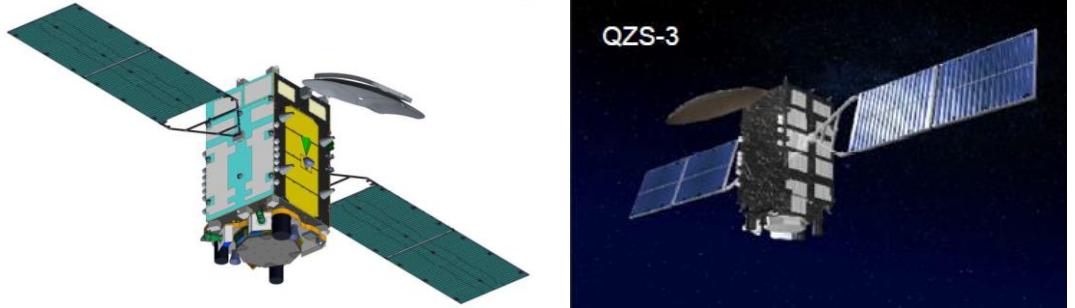
Şekil 54. QZS-2 ve QZS-4 uydularının yapısı



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 7) (SHOZAKI, 2018, s. 3)

Sistemin tek yer-sabit yörüngeli uydusu olan QZS-3, 127 derece doğu boylamında yer almaktadır. Uydunun kuru ağırlığı 1,8 ton, fırlatma ağırlığı ise 4,7 tondur. Uydunun ömrünün 15 yıldan fazla olması beklenmektedir. Quasi-Zenith yörüngeli uydulardan farklı olarak bu uydu üzerinde, acil durumlarda güvenlik durumunun raporlanması için iki yönlü haberleşmeye imkan sağlayan bir S-bant anten bulunur. Bu uydudan ayrıca yayınlanacak L1b sinyali ile SBAS hizmeti verilmesi planlanmaktadır. (TAKIZAWA, 2017, s. 8).

Şekil 55. QZS-3 uydusunun (yer-sabit yörüngeli uydu) yapısı



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 8) (SHOZAKI, 2018, s. 3)

5.1.1.3. QZSS Sinyalleri

QZSS uydu takımında yer alan uyduların yeryüzüne aktardığı/aktaracağı sinyaller ve bu sinyallerin sunmuş olduğu hizmetler Tablo 6'da verilmiştir.

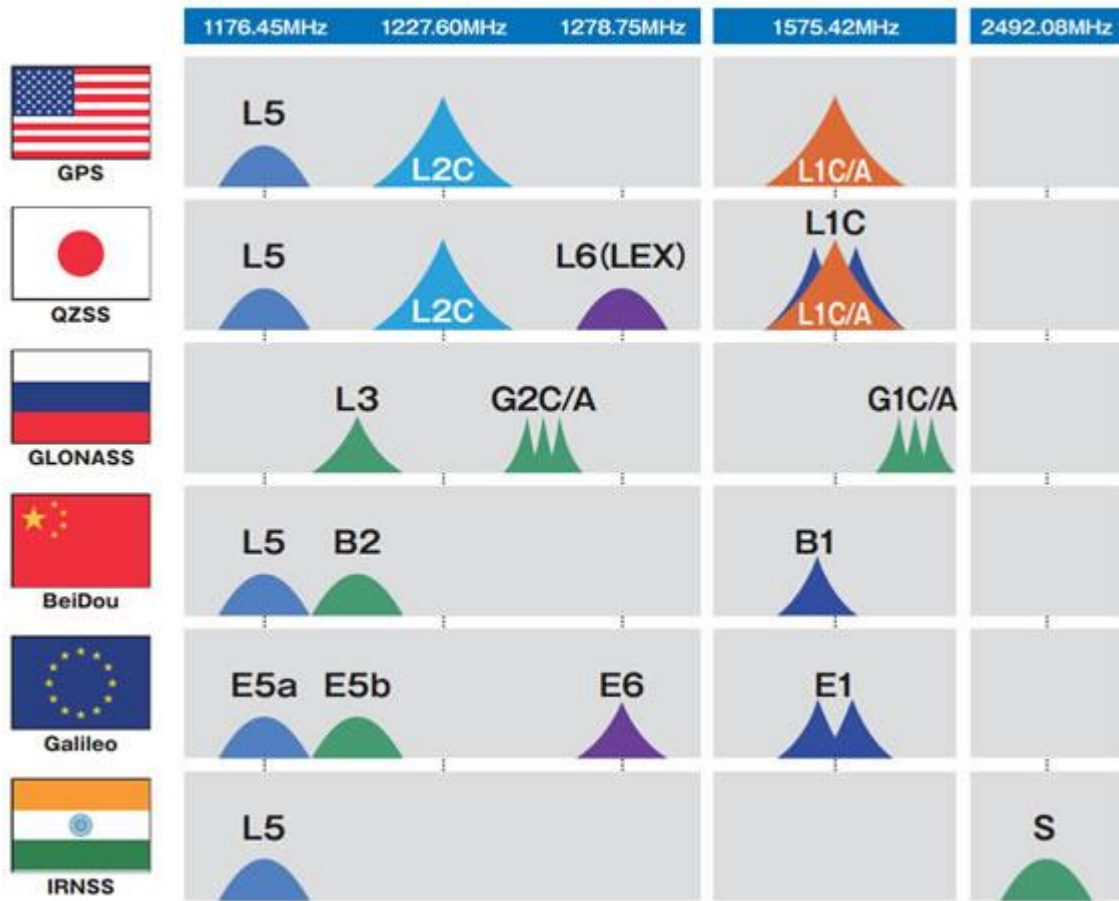
Tablo 6. QZSS uydularının hizmet verdiği sinyaller

Sinyal adı	QZS-1	QZS-2 - QZS-4		İletim hizmeti	Merkez frekans
	Block IQ	Block IIQ	Block IIG		
	Quasi zenith uydu yörüngesi (QZO)	Quasi zenith uydu yörüngesi (QZO)	Yer-sabit yörünge (GEO)		
	Bir uydu	İki uydu	Bir uydu		
L1C/A	☉	☉	☉	Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT)	1575.42 MHz
L1C	☉	☉	☉	Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT)	
L1S	☉	☉	☉	Metre-altı Seviye Destek Hizmeti (SLAS)	
				Afet ve Kriz Yönetimi için Uydu Raporu (DC Report)	
L1Sb	-	-	☉ Yaklaşık 2020 yılından itibaren	SBAS İletim Hizmeti	1227.60 MHz
L2C	☉	☉	☉	Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT)	
L5	☉	☉	☉	Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT)	1176.45 MHz
L5S	-	☉	☉	Konumlama Teknolojisi Doğrulama Hizmeti	
L6	☉	☉	☉	Santimetre Seviyesi Destek Hizmeti (CLAS)	1278.75 MHz
S bandı	-	-	☉	QZSS Güvenlik Onay Hizmeti	2 GHz band

Kaynak: (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018f)

Japonya tarafından geliştirilen QZSS, ABD tarafından geliştirilen GPS ile bütünleşmiş biçimde çalışabilen tek konumlama sistemidir. Bu özelliği QZSS'yi diğer konumlama sistemlerinden üstün kılmaktadır. QZSS uyduları GPS sinyalleri gönderebildiği için QZSS ve GPS'i tek bir uydu grubu gibi kullanmak mümkündür. Bu durum, gökyüzünde aynı anda bulunan ve konumlama sinyali gönderen GPS uydusu sayısının artması gibi düşünülebilir. Bu sayede, konumlama hataları azalır; hassasiyet ve tutarlılık artar. Şekil 56'da, QZSS ve diğer konumlama sistemlerinin kullanmış olduğu sinyaller gösterilmiştir.

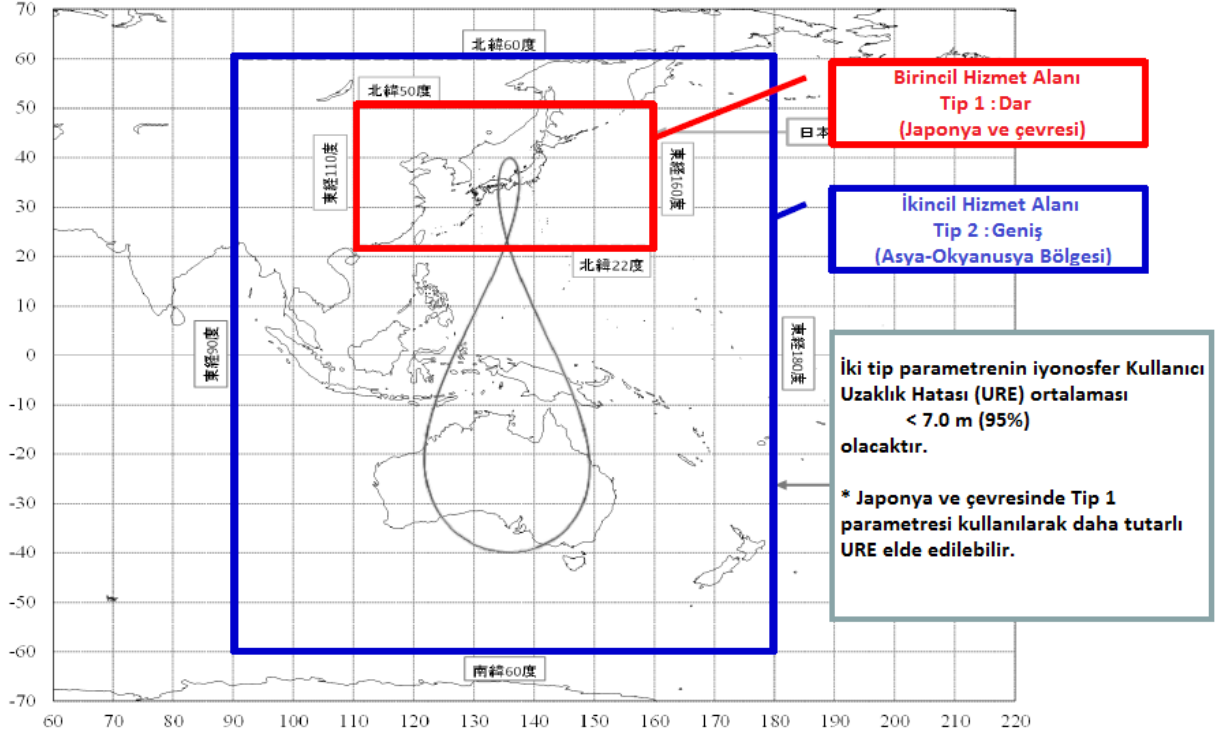
Şekil 56. QZSS sinyallerinin diğer konumlama sistemi sinyalleri ile karşılaştırılması



Kaynak: (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018a)

QZSS uyduları tarafından konumlama hizmeti verme amacıyla aktarılan L1C/A, L1C, L2C ve L5 sinyalleri; GPS sinyallerini destekleyerek tümleme işlevi görecektir. Bu sinyallere ek olarak uydu yörüngesi, zamanı ve iyonosfer düzeltme bilgisi destek bilgisi olarak aktarılacaktır.

Şekil 57. QZSS hizmet alanı L1C/A sinyali önceliklendirmesi



Kaynak: (QZS System Services Inc., 2015, s. 20)

5.1.2. QZSS Kontrol Segmenti

QZSS'nin yer segmenti, 2 ana kontrol istasyonu, 7 uydu kontrol istasyonu ve Dünya çevresindeki 30'un üzerinde izleme istasyonundan oluşmaktadır. QZSS'nin iki adet ana yer istasyonu bulunmaktadır. Kontrol merkezi görevi gören bu istasyonlar iki farklı yerleşkeye kurulmuştur. Operasyonun yönetildiği ana istasyon Hitachi-Ota'da bulunmaktadır. Kobe'deki yerleşke ise yedek istasyon olarak görev yapmaktadır. (TAKIZAWA, 2017, s. 9).

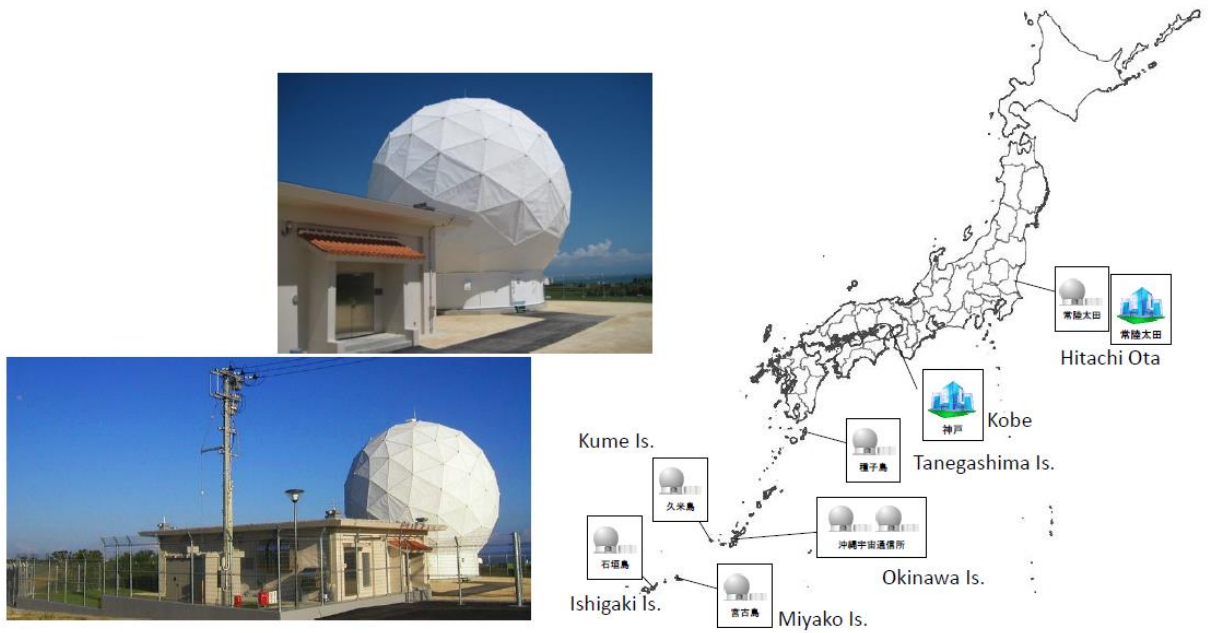
Şekil 58. QZSS kontrol istasyonları



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 9)

Uyduların devamlı olarak görülebilmesi amacıyla, çoğunluğu Japonya'nın güney bölgelerinde kurulu toplam 7 adet Telemetri, Takip ve Komut İstasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların tamamı 2016 yılı sonu itibariyle faaliyete alınmıştır (TAKIZAWA, 2017, s. 10).

Şekil 59. QZSS telemetri, izleme ve komut istasyonları

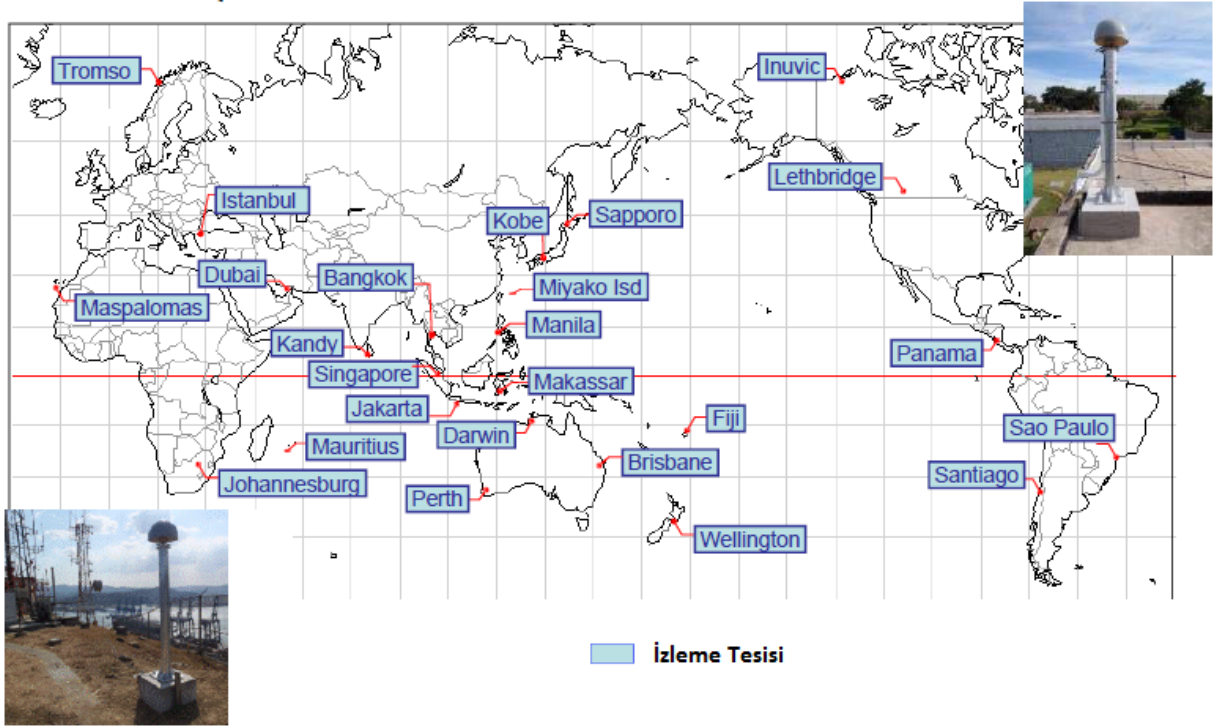


Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 10)

Dünya çevresinde GPS ve QZSS uyduları için 25 Hassas Yörünge Belirleme istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların 3'ü Japonya'dadır. Ayrıca, Japonya'da 10 adet Metre-altı Seviye Destek Hizmeti (SLAS) istasyonu bulunmaktadır. QZSS'nin Santimetre Seviyesi

Destek Hizmeti (CLAS) içinse, 1300'den fazla istasyona sahip Japonya'nın Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (CORS) ağı GEONET (GNSS Yer Gözlem Ağı Sistemi) kullanılmaktadır (TAKIZAWA, 2017, s. 11)

Şekil 60. GPS ve QZSS hassas yörünge belirleme istasyonları



Kaynak: (SHOZAKI, 2018, s. 13)

5.1.3. QZSS Geliştirme Planı

QZSS, sadece GNSS sinyal bulunabilirliğini değil aynı zamanda doğruluğunu ve güvenilirliğini de iyileştirmeyi amaçlayan Japonya'ya ait bölgesel bir uydu navigasyon sistemidir. Toplamda 4 uydudan (eğik yer-eşzamanlı yörünge izleyen 3 uydu ile yer-sabit yörünge izleyen 1 uydu) oluşan şu anki sistem; GPS tümleme, GNSS destek ve mesaj hizmeti sağlamaktadır. Sistemin 2018 yılında işlevsel olarak hizmet vermeye başlaması planlanmaktadır. Çoklu sensör ve çoklu GNSS ile birçok uygulamada hassas konumlama hizmeti kullanılabilecektir (TAKIZAWA, 2017, s. 29).

QZSS için şu ana kadar birçok gösterim, değerlendirme ve doğrulama gerçekleştirilmiştir. Sistemin ilk uydusu olan QZS-1 MICHIBIKI'nin teknik doğrulaması JAXA tarafından

uygulama doğrulması ise özel şirketler tarafından yapılmıştır (QZS System Services Inc., 2015, s. 15). 2011 yılında JAXA ve MELCO'nun Tokyo'da gerçekleştirdiği ortak araştırma deneyinde QZS-1 MICHIBIKI uydusunun uydu sinyali bulunabilirliğini nasıl artırdığı test edilmiştir. Tek frekanslı DGPS konumlama yapılarak gerçekleştirilen bu deney, sadece GPS kullanıldığında % 39,5 olan bulunabilirliğin GPS+QZSS kullanıldığında % 69,1'e çıktığını ortaya koymuştur (QZS System Services Inc., 2015, s. 29). Ekvatorial bölgedeki yoğun alanlarda çift frekanslı konumlamanın etkili olacağı değerlendirilmektedir (KOGURE, 2016, s. 26).

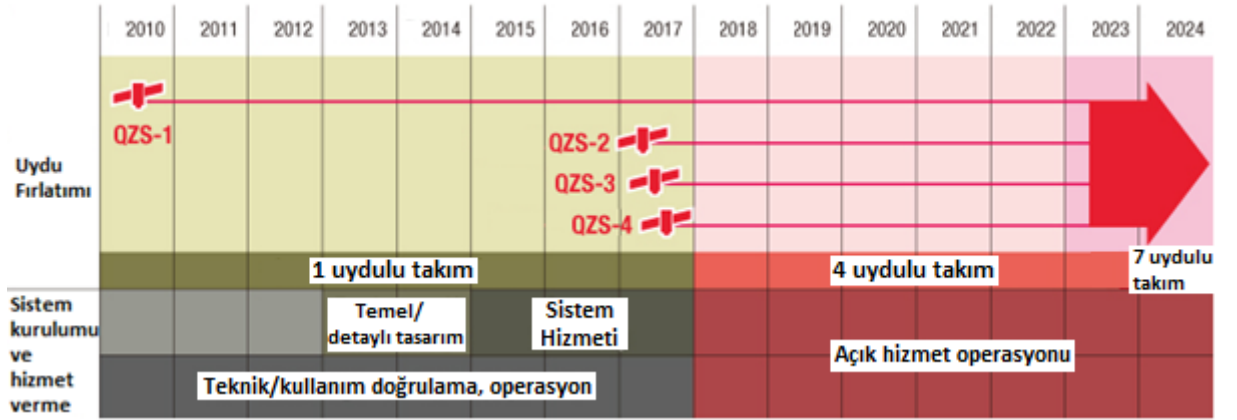
Şekil 61. QZSS'nin Gelişimi



Kaynak: (QZSS Strategy Office, 2016, s. 7)

Konumlama sistemleri alanında Japonya ve ABD arasındaki işbirliğinin ilk somut adımı 1998 yılında “GPS kullanımında işbirliğine ilişkin Ortak Bildiri” imzalanarak atılmıştır. 2012 yılında yayınlanan “ABD-Japonya GPS kullanımı Ortak Duyurusu” ile ABD, Japonya’nın QZSS sistemini genişleterek 7 uydudan oluşan bölgesel bir sisteme yükseltme fikrini olumlu karşıladığını belirtmiş; genişletilmiş sistemin Asya-Pasifik bölgesindeki uzay tabanlı konumlama ve navigasyon hizmetlerine önemli katkı sunacağını kabul etmiştir (QZS System Services Inc., 2015, s. 13). 2013 yılında yayınlanan GPS işbirliği konusundaki başka bir ortak duyuruda ise her iki devlet GNSS konusunda devam eden işbirliğinin Asya-Pasifik bölgesinin gelişimi ve küresel ekonomik büyümenin artırılmasına katkı sağlayacağını, barışçıl amaçlı temel GNSS hizmetlerine açık erişimin doğrudan kullanıcı ücreti olmadan sağlanmasının önemini teyit etmiştir (QZS System Services Inc., 2015, s. 14).

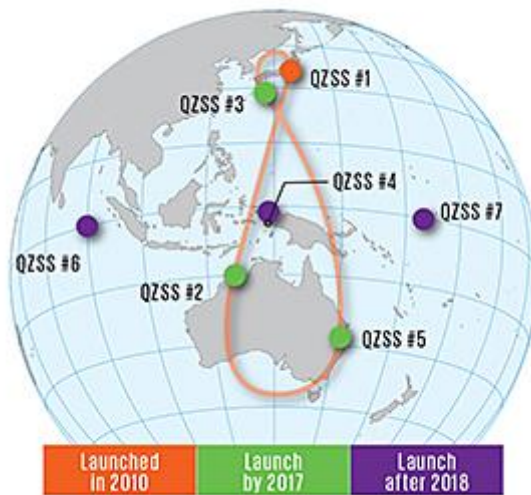
Şekil 62. QZSS planlanan gelişim takvimi



Kaynak: (Cabinet Office, Government Of Japan, 2018c)

SBAS hizmeti verilmesi amacıyla yaklaşık 2020 yılından itibaren yer-sabit yörüngeli QZS-3 uydusundan L1Sb sinyali yayınlanmaya başlayacaktır. Japonya Hükümeti 2015 yılında aldığı kararla, 4 uydudan oluşan QZSS takımının 2023 yılı civarında 7 uyduya tamamlanmasını kararlaştırmıştır (QZS System Services Inc., 2015, s. 15). Uydu takımındaki uydu sayısının 7'ye çıkarılması, devamlı ve sürdürülebilir konumlama hizmeti verilmesini mümkün kılacaktır. Uydu takımına eklenecek olan yeni uydulardan birinin quasi-zenith yörüngeye diğer ikisininse yer-sabit yörüngeye sahip olması planlanmaktadır.

Şekil 63. 7 uydudan oluşan QZSS planı



Kaynak: (BOYD, 2014)

Yeni nesil QZSS yükseltme planında gürbüz uydu sistemi tasarımı yoluyla sinyal bulunabilirliğinin artırılması, L-band sinyalin yörünge boyunca izlenerek entegrasyonun geliştirilmesi, yeni gözlem verisi eklenerek yörünge ve saat tahmin doğruluğunun iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçların gerçekleştirilmesinde iki önemli teknoloji ön plana çıkmaktadır. İlki yer ve uydu arasında iki yönlü uzaklık ölçümü yapılmasıdır. Bu sayede iyonosfer ve troposferden kaynaklı hatalar giderilecektir. İkincisi ise uydular arasındaki uzaklığın ölçümüdür. Böylece, hassasiyet kaybı azaltılarak yörünge tahmin doğruluğu iyileştirilecektir.

5.1.4. QZSS ile Sunulan Temel Hizmetler

QZSS'in üç ana fonksiyonel kabiliyeti bulunur:

1) GPS Tümleme:

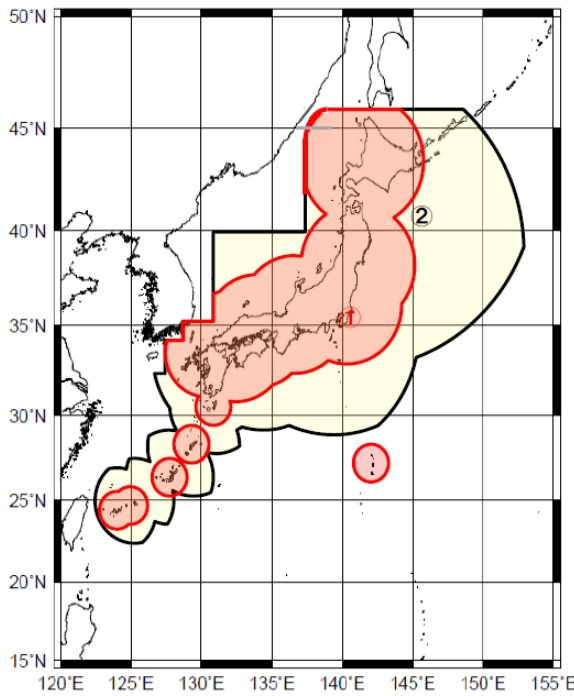
Büyük yükseklik açısıyla gönderilen L1-C/A, L1C, L2C ve L5 navigasyon sinyalleri GPS'e destek olarak konumlamamanın mümkün olduğu zaman yüzdesini iyileştirir. GPS uydusu ile yüksek birlikte çalışabilirlik konumlama hatalarının azaltılmasına katkı sağlar.

2) GNSS Desteği:

GNSS konumlama sinyalleri çeşitli ülkelerde günlük yaşam çözümleri için kullanılmaktadır. Bu çözümlerde elde edilebilecek konumlama hassasiyeti; iyonosferik ve troposferik gecikmeler gibi yerel doğal faktörler ile uydu yörüngeleri, saatleri ve sapmalarından kaynaklı hatalar nedeniyle birkaç metre ile sınırlıdır (Mitsubishi Electric Corporation, 2017). Hassasiyeti iyileştirmek için yer istasyonları ağına ihtiyaç duyulur. Küresel İzleme Ağı ve Japonya ait GNSS Yer İstasyonları Ağı GEONET bu amaçla, QZSS uydularından konum destek verisi üretilmesi için yayınlanan L1C/A sinyalindeki değişimleri takip eder. İstasyonlardan alınan veriler bir merkezde toplanarak konumlama destek verisi üretilir. Yer segmentinde üretilen metre-altı ve santimetre destek verisi QZSS uydularına gönderilir. QZSS uyduları, metre-altı destek verisini L1S (250bps) sinyali ile, santimetre destek verisini ise L6 (2000bps) sinyali ile kullanıcılara aktarır (TAKIZAWA, 2017, s. 15-16).

Metre-altı Seviye Destek Hizmeti (SLAS) için yayınlanan L1S sinyali, konumlama destek verisi üretmek için kullanılan L1C/A sinyali ile aynı frekans modülasyonuna sahiptir ve DGPS düzeltme verisini içerir (QZS System Services Inc., 2015, s. 21-22). QZSS metre-altı destek sinyali ile sadece GPS kullanılarak elde edilebilecek ~10m’lik hassasiyeti ~2m’ye kadar düşürmek mümkündür (TAKIZAWA, 2017, s. 15). Çift frekanslı alıcılar pahalı ve kısa batarya ömrüne sahip olduğundan bu hizmete uygun kullanıcılar özel tüketicilerdir. Metre-altı Destek Hizmeti (SLAS) gezi, alışveriş, acil durum gibi özel navigasyon uygulamalarında; gemi, otobüs ve taksi operasyonlarının yönetilmesi gibi toplu ulaşım navigasyon uygulamalarında; arama faaliyetleri ve yerel güvenlik gibi afet ya da kriz yönetim uygulamalarında kullanılabilir.

Şekil 64. SLAS konumlama tutarlılığı ve menzili



	Tutarlılık (95%) [m]	
	Yatay	Dikey
Bölge ①	1.0	2.0
Bölge ②	2.0	3.0

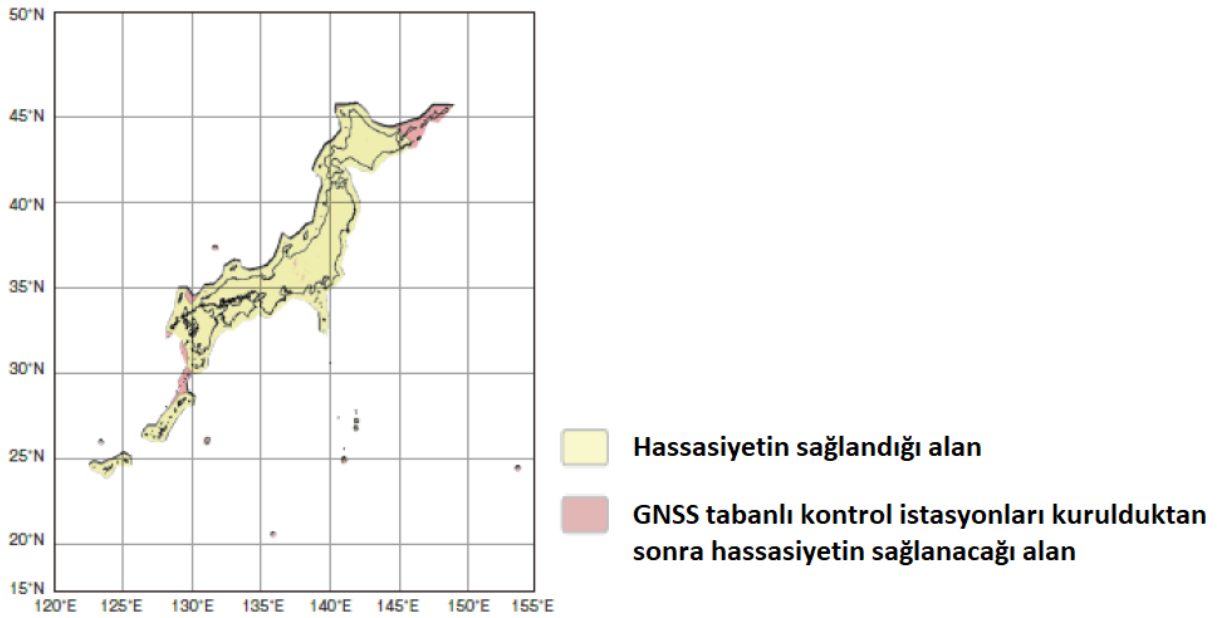
➡ DGPS düzeltmeleri ile daha tutarlı konumlama gerçekleştirilebilir.

Kaynak: (QZS System Services Inc., 2015, s. 23)

Santimetre Seviyesi Destek Hizmeti (CLAS) için yayınlanan L6 sinyali, GPS uyduları tarafından desteklenmeyen farklı frekansa sahip ayrıcalıklı bir sinyaldir. Konumlama tutarlılığı yaklaşık olarak 10 cm mertebesinde olan CLAS, bu hassasiyetin sağlanabilmesi için referans istasyonlarına (GEONET) gerek duyar (QZS System Services Inc., 2015, s. 24). CLAS, Japonya Coğrafi Bilgi Kurumu tarafından yönetilen Sürekli Çalışan Referans

İstasyonları (CORS) ağından (GEONET) aldığı konumlama destek verisini kullanarak hassasiyeti artırır. Bu hizmetin hedeflediği kullanıcılar, yüksek hassasiyetli konumlamaya ihtiyaç duyan profesyonellerdir. Santimetre-altı destek verisi, otomatik inşaat ve tarım makinaları ile gerçekleştirilen bilgisayar destekli sürüş navigasyonu ve hassas arazi etüdü uygulamalarında kullanılabilir. CLAS kapsama alanı, Japonya'nın her bir yanına kurulu, referans noktası görevi gören GNSS tabanlı istasyonları çevreleyen 20 km yarıçaplı alanlardan oluşur. Hizmet, 2000 metre irtifaya kadar olan yüksekliklerde kullanılabilir (QZS System Services Inc., 2015, s. 25).

Şekil 65. CLAS kapsama alanı



Kaynak: (QZS System Services Inc., 2015, s. 25)

3) Mesaj Hizmeti:

QZSS sistemi aynı zamanda Afet ve Kriz Yönetimi için uydu raporu mesaj gönderim hizmeti sağlar. Japon Meteoroloji Ajansı tarafından sağlanan Tsunami, Volkanik patlama, hava uyarısı gibi afet bilgileri yer kontrol segmenti aracılığıyla QZSS uydularına gönderilir. QZSS uyduları ise L1S 1575,42 MHz sinyalinin 4 slotundan birini kullanarak her 4 saniyede bir 250 bitlik kısa kod ile afet yönetim bilgisini uygulama bölgesine aktarır. QZSS uydularının aktardığı Kriz ve Afet Raporuna GNSS aygıtlarından ulaşmak mümkündür. Bu hizmet, GPS tümleme hizmetiyle aynı kapsama alanına sahiptir.

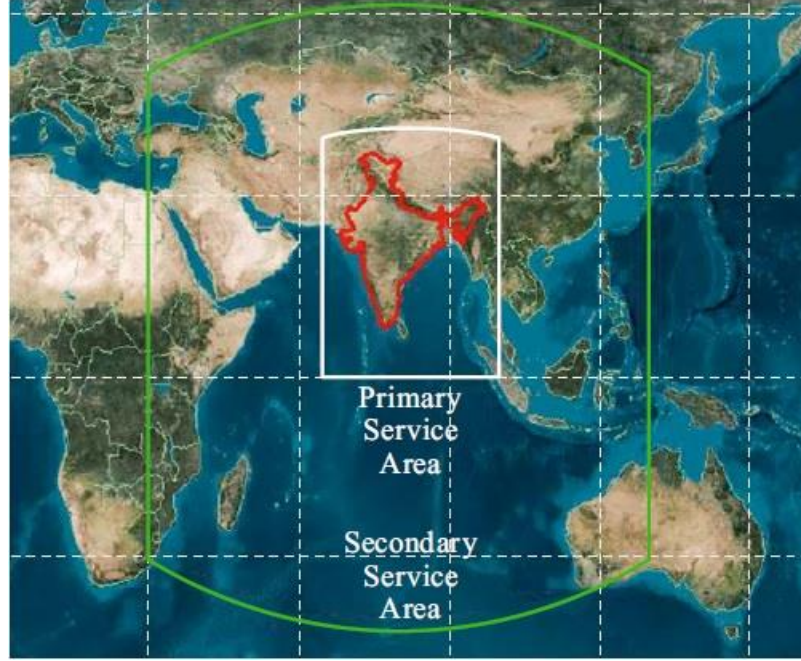
Bu üç ana kabiliyetin yanısıra afet sırasında sığınakların boşaltılmasına ilişkin bilginin QZSS Güvenlik Onay Hizmetini (Q-ANPI) kullanılarak yer sabit yörüngeli QZSS uyduları tarafından toplanması ve kontrol istasyonlarına iletilmesi gündemdedir. Q-ANPI'yi destekleyen S-bant aygıtlara ihtiyaç duyan bu sistem sadece Japonya ve kıyılarında kullanılabilecektir. Afet sırasında tahliye sığınaklarının yeri, açılması, sığınakların durumu ve sığınmacı sayısı gibi bilgiler uydular aracılığıyla gönderilecektir. Afetin ve mahsur kalan insanların durumunu da içeren bu gibi bilgiler, gerçekleştirilecek kurtarma operasyonları açısından oldukça önemlidir.

5.2. NavIC (IRNSS)

Eski adı IRNSS olan sistem, Hindistan'a ait uydu tabanlı bölgesel konumlama sistemidir. ISRO tarafından geliştirilen sistemin yedinci ve son uydusu 2016 yılında fırlatılmıştır. Son uydu olan IRNSS-1G'nin fırlatımı sırasında Hindistan eski Cumhurbaşkanı Narendra Modi sistemin adını NavIC olarak değiştirmiştir. Açılımı "Navigation with Indian Constellation (Hint Uydu Takımı ile Navigasyon)" olan NavIC Sanskritçe'de denizci/seyrüseferci anlamına gelmektedir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 321).

NavIC, belirlenen birincil hizmet alanındaki kullanıcılara tutarlı konum bilgisi hizmeti sağlamak için tasarlanan bağımsız bir sistemdir. Birincil hizmet alanı, Hindistan'ı ve Hindistan sınırlarından dışa doğru 1500 km kadar uzanan bölgeyi kapsar. 30 derece güney ve 50 derece kuzey enlemleri ile 30 derece doğu ve 130 derece doğu boylamları arasında kalan dikdörtgen ile birincil hizmet alanı arasında kalan alan ise genişletilmiş hizmet alanını oluşturur (ISRO, 2017a). IRNSS'nin Standart Konumlama Hizmeti (SPS) ve Kısıtlı Hizmet (RS) olarak adlandırılan iki tür hizmet vermesi öngörülmüştür. Sistem, birincil hizmet alanında 20 metreden daha iyi bir konumlama hassasiyeti sağlamaktadır (ISRO, 2018a, s. 33).

Şekil 66. NavIC birincil ve ikincil hizmet alanı



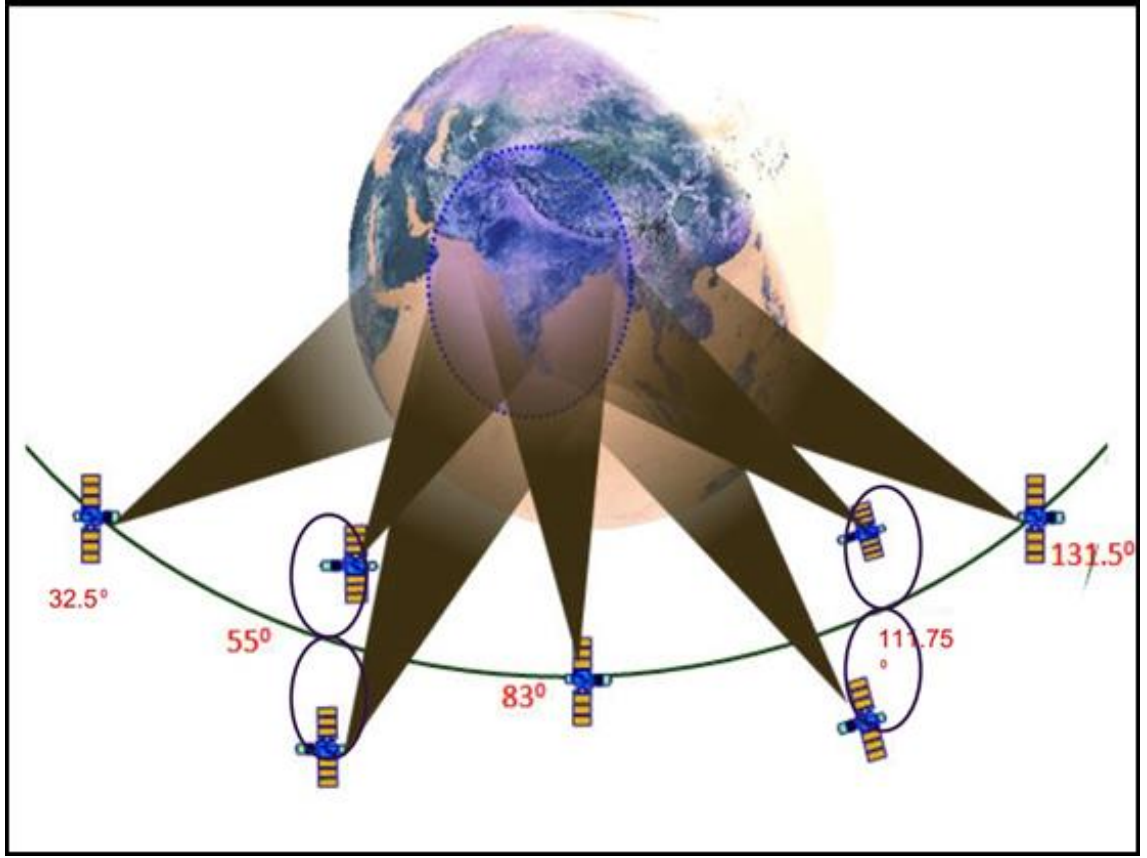
Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 322)

5.2.1. NavIC Uzay Segmenti

5.2.1.1. NavIC Uydu Takımı

NavIC uydu takımı, 7 uydudan oluşur. Uyduların 3 tanesi yer-sabit yörüngede, 4 tanesi ise eğik yer-eşzamanlı yörüngede dönmektedir. Yer-sabit yörüngeli uydular 32.5° , 83° ve 131.5° doğu boylamlarına yerleştirilmiştir. Yer-eşzamanlı yörüngelerdeki uydular ise ekvator düzlemini 55° ve $111,75^\circ$ doğu boylamlarında kesen 29° eğiklik açısına sahip yörüngelere bulunur. Söz konusu uydu takımı tasarlanırken; hassasiyet kaybının (DOP değerinin) en aza indirilmesine, hedeflenen alan üzerinde görülebilen uydu sayısının maksimize edilmesine, mümkün olan en az sayıda uydu kullanılmasına, uydulardan birinin arızalanması durumunda sistem sürdürülebilirliğinin sağlanmasına ve kullanılacak yörünge pozisyonlarının müsait olmasına dikkat edilmiştir (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 322). NavIC uydu takımındaki uyduların tümü, Hindistan bölgesinden sürekli görünür durumdadır.

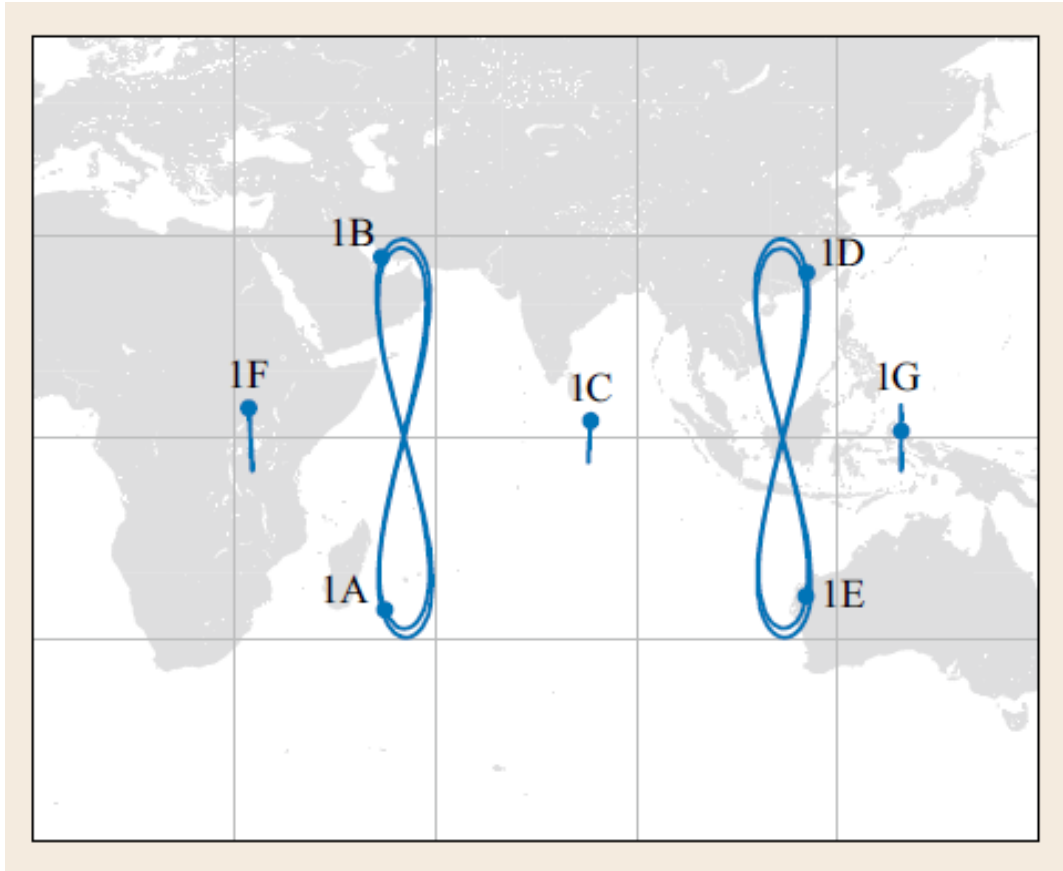
Şekil 67. NavIC uydu takımı



Kaynak: (Spaceflight101, 2015)

Doğu ve batı uçlara yerleştirilen yer-sabit yörüngeli uydular, Afrika'nın merkezinden Endonezya'ya kadar yaklaşık 100° boylam aralığında bir kapsama alanı sunmaktadır. Eğik yer-eşzamanlı yörüngeye sahip uydulardan ikisi 55° doğu boylamını, diğer ikisi ise $111,75^\circ$ doğu boylamını merkeze alarak yaklaşık 30° kuzey ve güney enlemleri arasında yer üzerinde “8” şekli çizecek biçimde hareket ederler. Aynı yörüngedeki iki uydu arasında 180° bulunur. Bu uyduların aynı anda ekvatoru geçmesi durumunda hassasiyet kaybı yaşanabileceği için uydular yörüngeye faz farkı oluşacak biçimde yerleştirilmiştir. Şekil 68’de, NavIC uydu takımına ait uyduların yer izdüşümlerinin yerküre üzerinde çizdiği şekiller gösterilmiştir.

Şekil 68. NavIC uydu takımı yer izdüşümü



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 323)

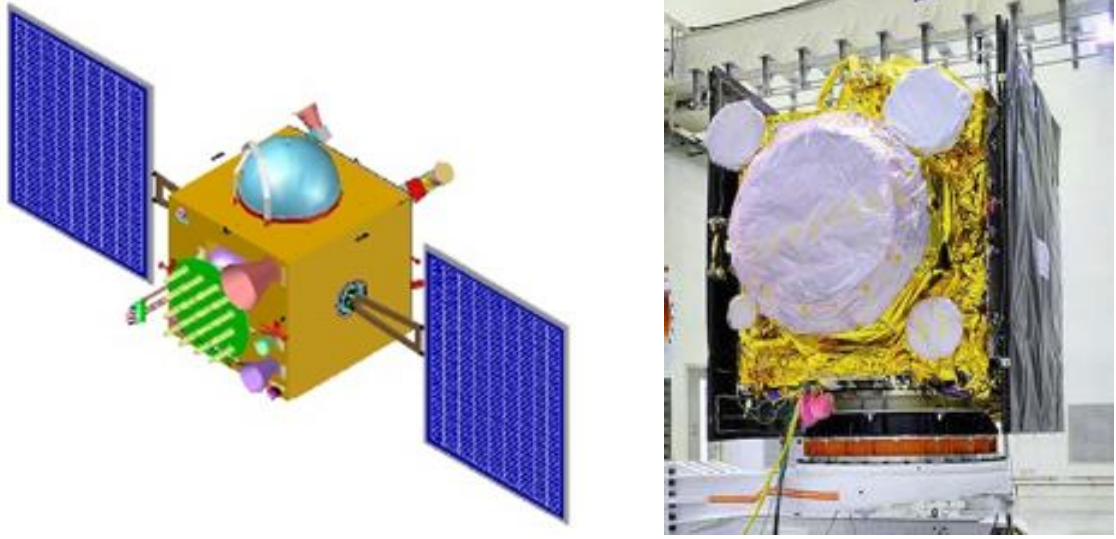
Şekil 68’de görüldüğü gibi yer-sabit yörüngeli uydular aynı boylam üzerinde kuzey güney doğrultusunda gitme gelme hareketi gerçekleştirmektedir. Eğik yer-eşzamanlı yörüngedeki uydular ise yer üzerinde “8” çizmektedir. 55° doğu boylamını merkez alan IRNSS-1A ve 1B ile 111,75° doğu boylamını merkez alan IRNSS-1D ve 1E uyduları arasında faz farkı mevcuttur.

5.2.1.2. NavIC Uyduları

IRNSS uyduları, standart I-1K uydu yapısını kullanmaktadır. Başarılı biçimde fırlatılan ve operasyonel olan yedi uydu aynı özdeş konfigürasyona sahiptir (ISRO, 2018a, s. 34). Fiziksel boyutları 1,58 x 1,5 x 1,5 m olan uydunun fırlatma ağırlığı 1425 kg’dır. İki güneş panelinden 1660W güç üretebilen uyduda 90 Ah kapasiteye sahip bir adet lityum iyon batarya bulunmaktadır. Uyduda 440 N’luk yeröte motoru ile 12 tane 22 N’luk iticiden oluşan sıvı

yakıtlı itki sistemi kullanılmaktadır. Uydudan yönelim belirlemek için güneş sensörleri, yıldız sensörleri ve jiroskoplar yer almaktadır. Yönelim kontrolü ise sıvı yakıtlı iticiler, tepki tekerleri ve manyetik burucularla sağlanır. Uydunun görev ömrü 10 yıldır (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 328).

Şekil 69. NavIC Uydusu



Kaynak: (Spaceflight101, 2015) (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 328)

IRNSS uydularında, birincil öneme sahip iki tür görev yükü bulunmaktadır. Uydunun navigasyon görev yükü L5 ve S bant konumlama sinyali yayınlanmasını, bir adet C bant transponderdan oluşan uzaklık ölçüm görev yükü ise uydu uzaklığının doğru biçimde belirlenmesini sağlar (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 328). Uydunun köşelerinde ayrıca lazerle uzaklık ölçümünü mümkün kılan küp geri yansıtıcılar bulunmaktadır. Uydunun kalbinde navigasyon sinyallerini üretmede kullanılan bir adet Rubidyum atomik saat bulunur (Spaceflight101, 2015).

IRNSS-1A, şimdilik sadece mesajlaşma hizmetlerinde kullanılmaktadır. Planlanan iki yedek uydudan biri olan IRNSS-1H, Ağustos 2017’de fırlatılmış olsa da doğru yörüngeye yerleştirilememiştir. Diğer yedek uydu IRNSS-1I ise, Nisan 2018’de başarılı biçimde fırlatılmıştır (ISRO, 2018b). Her iki uydu da mevcut IRNSS uydu yapısı ve navigasyon görev yükü ile benzer yapıdadır.

5.2.1.3. NavIC Sinyalleri

IRNSS uyduları için sadece L5 ve S bant frekansları tahsis edilmiştir. Navigasyon hizmeti sunan geleneksel L1 ve L2 frekans bantları tamamen mevcut GNSS hizmet sağlayıcıları tarafından kullanılmaktadır. IRNSS sinyallerini L1 ve L2 bantlarına yerleştirmek zor olduğu için bant doluluğunun daha az olduğu L5 bant tercih edilmiştir. L5 bandında diğer GNSS sinyallerinin de bulunması bu frekans aralığında birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmaktadır. Çift frekanslı alıcılar kullanarak konumlama tutarlılığının iyileştirilmesi için başka bir banda daha ihtiyaç duyulmuş ve bunun için de S bant seçilmiştir. S bandın doluluğu da L5 bandında olduğu gibi azdır. Ayrıca, L banda göre iyonosferik bozuntulardan daha az etkilenir.

NavIC uyduları, 1176.45 MHz merkezi frekanslı ve 24 MHz bant genişliğine sahip L5 bant sinyali ile 2492.028 MHz merkezi frekanslı ve 16.5 MHz bant genişliğine sahip S bant sinyali yayımlar. Uydularda bulunan C bant transponder ise yukarı yönlü 6700-6725 MHz frekanslı sinyal ve aşağı yönlü 3400-3425 MHz frekanslı sinyal ile hassas uzaklık ölçümü yapılmasına olanak tanır.

5.2.2. NavIC Kontrol Segmenti

Yer segmenti, IRNSS uydu takımının işletilmesinden ve devam ettirilmesinden sorumludur. Bu kapsamda; 15 adet IRNSS Uzaklık ve Bütünlük İzleme İstasyonu (IRIMS), 4 adet IRNSS CDMA Uzaklık Ölçüm İstasyonu (IRCDR), 2 adet IRNSS Uzay Aracı Kontrol Tesisi (IRSCF), 1 adet IRNSS Ağ Zamanlama Tesisi (IRNWT), 1 adet IRNSS Navigasyon Merkezi (INC) kurulmuştur.

Şekil 70. NavIC Kontrol Segmenti



Kaynak: (MONTENBRUCK & TEUNISSEN, 2017, s. 331)

Yer segmentinin ve bileşenlerinin tamamı kurulmuştur ve segment operasyonel durumdadır. Yeterli yedek altyapının sağlanması amacıyla IRIMS, IRNWT ve INC kurulmaya devam etmektedir.

5.2.3. NavIC ile Sunulan Temel Hizmetler

Ana görevi Hindistan ve çevresindeki kullanıcılara makul derecede tutarlı, güvenilir PNT hizmeti vermek olan NavIC, bağımsız bir uydu tabanlı konumlama sistemidir. Sistem, Standart Konumlama Hizmeti (SPS) ve Kısıtlı Hizmet (RS) adı altında iki tür hizmet sağlayacaktır. SPS, tüm kullanıcılara açık bir hizmetken, RS sadece yetkilendirilmiş olan kullanıcılara sunulan şifreli bir hizmettir. SPS için BPSK modülasyonu, RS için BOC modülasyonu kullanılmaktadır. RS hassasiyet ve performansını iyileştirmek için ek bir BOC pilot sinyali sağlanmaktadır (ESA, 2018b). Tek frekanslı alıcılar sadece Standart Konumlama

Hizmeti (SPS) kullanabilirken, çift frekanslı alıcılar hem Standart Konumlama Hizmeti (SPS) hem de Kısıtlı Hizmetten (RS) yararlanabilecektir. Çok modlu alıcıların bu hizmetlere ek olarak diğer GNSS sağlayıcıları ile de çalışması mümkündür (ISRO, 2017b).

Dünya çapındaki uygulamada olduğu gibi diğer GNSS operatörleriyle birlikte ISRO da kullanıcı alıcılarının üretimini mümkün kılmak üzere tüm ilgili bilgi ve detayları Arayüz Kontrol Dokümanı (ICD) formunda kamuya açmıştır. ISRO; kullanıcı aygıtlarının ve alıcılarının geliştirilmesini ve gerçekleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla imalatçılar, sistem entegratörleri ve diğer paydaşlar ile etkileşim halindedir. ISRO ve endüstri tarafından farklı tipte kullanıcı alıcıları geliştirilmiştir. Gelecek yıllarda kullanıcıların artmasıyla birlikte daha fazla sayıda Hintli tedarikçinin kullanıcı alıcılarının üretimine katılması beklenmektedir.

ISRO, Standart Konumlama Hizmeti (SPS) için kendi imkanlarıyla 180nm teknolojiye NavIC tabanlı bant işlemci çipi geliştirmiştir. Alıcıları üretmek için beş endüstriyel şirket kayıt yapmıştır. NavIC'in benimsenmesi için çeşitli bakanlıklar ve kullanıcı ajanslarıyla irtibat kurmaya devam edilmektedir. İlk nesil alıcıların kullanımı ve sistem kabiliyetleri başarılı biçimde test edilmiş; yol, demiryolu, balıkçılık ve havacılık sektöründeki çeşitli kullanıcılar tarafından kanıtlanmıştır.

ISRO ve Hindistan Havaalanları Otoritesi (AAI) ortaklaşa, GAGAN (GPS Yardımlı Yer Destekli Navigasyon) adında bir uydu tabanlı destek projesi yürütmektedir. GAGAN, ekvatoryal bölgede hizmet veren Dünya'daki ilk Uydu Tabanlı Destek Sistemidir. GAGAN'da GSAT-8, GSAT-10 ve GSAT-15 uyduları kullanılmaktadır. GSAT 8 (PRN 127) ve GSAT 10 (PRN 128) GAGAN sinyallerini 7 gün 24 saat yayınlar. Hindistan Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, GAGAN'ı hassas yaklaşma ve yer operasyonları için sertifikalandırmıştır. Böylelikle Hindistan Dünya'da bu gibi bir yeteneğe sahip üçüncü ülke olmuştur. Sistem, sivil havacılık uygulamaları için gerek duyulan hassasiyet ve bütünlükte uydu tabanlı navigasyon hizmeti vermekte; ayrıca Hindistan Hava Sahası üzerinde verimli hava trafik yönetim hizmeti sağlamaktadır.

6. UYDU TABANLI KONUMLAMA UYGULAMALARI VE PAZARI

Deneme ve test çalışmalarına 1970’li yılların sonlarında başlanan uydu tabanlı konumlama sistemleri, GPS uydu takımının 1995 yılında tam operasyonel faaliyet kapasitesine erişmesiyle birlikte aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk uydu tabanlı navigasyon sistemi olan GPS, 2011 yılında GLONASS faaliyete geçene kadar küresel çapta tam kapasite ile uydu tabanlı konumlama hizmeti veren tek sistem olma özelliğini korumuştur. Askeri kara, deniz ve hava unsurlarına 3 boyutlu konum, hız ve zaman bilgisi sağlanması amacıyla geliştirilen sistemin, kurulum sırasında sivil kullanıma da açılması kararlaştırılmıştır (FOSSUM, et al., 1995, s. 248).

GPS’in sivil sinyalleri güvenlik endişeleri nedeniyle 2000 yılına kadar SA adı verilen bir teknikle kasıtlı olarak bozulmuştur. Konumlama hassasiyetini ciddi biçimde düşüren bu uygulama nedeniyle uydu tabanlı konumlama sinyallerinin sivil amaçlarla kullanımı başlangıçta oldukça sınırlı kalmıştır. SA’nın kaldırılmasıyla sivil kullanımda ciddi bir hareketlilik yaşanmaya başlamıştır. GPS’in uzun yıllar küresel kapsama alanına sahip tek uydu tabanlı navigasyon sistemi olması, tüm Dünya’daki konum belirleme ihtiyacı ile birleşerek alıcı üreten ABD’li şirketlerin önemli bir pazar kazanmasını sağlamıştır (European GNSS Agency, 2017, s. 12).

2000’li yıllardan itibaren günlük hayatımıza girmeye başlayan uydu tabanlı konum belirleme sistemleri günümüzde tüm ulaşım modlarından haritacılığa, tarımdan balıkçılığa kadar birçok alanda kullanılmaktadır. GNSS sinyallerinin küresel çapta 7 gün 24 saat erişilebilir ve ücretsiz olması uydu tabanlı konumlamanın bu derece yaygınlaşmasında oldukça etkilidir. Bununla birlikte, GNSS sinyallerini işleyerek konum bilgisi üreten alıcılar lisans altında üretildiği için kullanım ücretinin cihaz satın alma aşamasında verildiğini söylemek mümkündür. Kısacası, GNSS alıcıları ücretli, GNSS sinyallerinin kullanımı ise ücretsizdir. Gelişen teknolojiyle birlikte GNSS alıcı boyutlarının küçülmesi ve ucuzlaması pazarın gelişimine katkı yapmaktadır.

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin sunduğu hizmet, sadece konum belirlemeden ibaret değildir. GNSS verisi diğer verilerle birleştirildiğinde büyük bir kullanım potansiyeli sunmaktadır. Bu nedenle uydu tabanlı konumlama verisi, oldukça geniş kullanım alanlarına ve çok sayıda farklı uygulamalara sahiptir. Yerleşim alanlarının hassas konumlarının çıkarılması, yol tarifi, araç takibi ve haberleşme ağlarının senkronizasyonu bu uygulamaların çok küçük bir kısmıdır. GNSS uygulamalarını; konum tabanlı hizmetler, karayolu, havacılık, demiryolu, denizcilik, tarım, haritacılık ile zamanlama ve senkronizasyon ana başlıkları altında toplamak mümkündür. Tablo 7’de, GNSS verilerinin sektörlere göre dağılımı gösterilmiştir. Söz konusu tablo, Avrupa GNSS Ajansının (GSA) 2017 yılında yayınladığı pazar araştırması raporundan derlenmiştir.

Tablo 7. GNSS gelirlerinin sektöre göre dağılımı

	2016 yılı		2025 yılı	
	Dünya Toplamı (Milyar Euro)	Orta Doğu ve Afrika (Milyar Euro)	Toplam (Milyar Euro)	Orta Doğu ve Afrika (Milyar Euro)
Konum Tabanlı Hizmetler	> 40	< 5	> 115	> 12
Karayolu	> 45	2,00	> 85	> 4
Havacılık	> 1,2	0,04	<1,2	0,05
Demiryolu	> 0,13	0,01	0,43	0,01
Denizcilik	> 0,9	0,05	> 1,4	0,14
Tarım	> 1	0,05	2,80	0,50
Haritacılık	> 3	0,20	> 6,2	0,80
Zamanlama ve Senkronizasyon	> 1,27	0,25	1,30	0,30

Kaynak: (European GNSS Agency, 2017)

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin çeşitli uygulama alanlarında yarattığı pazar, alt bileşen üreticilerinden son kullanıcıya kadar uzanan geniş bir değer zincirinden oluşmaktadır. Değer zincirinde; aygıt üreticileri, sistem entegratörleri, uygulama geliştiricileri gibi birçok grup yer alır. Değer zincirini oluşturan gruplar ve bu grupları oluşturan başlıca aktörler, uygulama alanlarına göre farklılık göstermektedir. Bundan dolayı, ilerleyen bölümlerde öncelikli olarak Bakanlığımızın çalışma alanına giren temel GNSS uygulamaları hakkında bilgi verilecektir.

Ardından uygulama alanı bazındaki değer zinciri gösterilerek, pazarın durumu ve pazar öngörülerine ilişkin bilgiler paylaşılacaktır.

6.1. Konum Tabanlı Hizmetler

GNSS etkin konum tabanlı hizmetler, farklı kullanım şartları ve gereksinimlerini karşılamak üzere hazırlanmış çok sayıda uygulamadan oluşmaktadır. Bu uygulamalar, başta akıllı telefonlar ve tabletler olmak üzere taşınabilir bilgisayarlar, kişisel takip cihazları, giyilebilir aygıtlar ve kameralar gibi çok çeşitli aygıtlar tarafından desteklenmektedir. Herhangi bir aşamasında uydu tabanlı konum bilgisi kullanılarak sunulan her türlü hizmet bu alana girer.

şekil 71. rnek konum tabanlı hizmet ekipmanları



(QZS System Services Inc., 2015, s. 33)

Kullanılan cihazlardan da anlaşılacağı üzere konum tabanlı hizmetlerden yararlananlar ağırlıklı olarak kişisel kullanıcılarıdır. Her geçen gün konum bilgisi kullanan yeni ve farklı uygulamalar ortaya çıkmaktadır. Bu alandaki uygulama türleri o kadar geniştir ki, sadece hayal gücü ile sınırlı olduğunu söylemek çok da yanlış olmayacaktır. Bu bölümde bahsedilecek olan uygulama türleri, söz konusu uygulama alanında sunulan hizmetlerden sadece birkaçıdır.

6.1.1. Navigasyon Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin günümüzde en belirgin uygulama alanı yaya ve motorlu araç navigasyonudur. Artık hemen hemen her akıllı telefonda GNSS destekli yonga setleri bulunmaktadır. Yine birçoğunda temel navigasyon uygulamaları mevcuttur ya da uygulama mağazasından ücretli veya ücretsiz indirilebilmektedir. Uygulamalar ile sunulan hizmet içeriği yazılımdan yazılıma farklılık göstermekle birlikte genel olarak birbirine benzerdir. Kimi yazılımlarda, uygulama içerisindeki bazı gelişmiş özelliklerin kullanılabilmesi için ek ücret talep edilmektedir. Akıllı telefonların yanı sıra temel navigasyon cihazları da pazarda yer almaya devam etmektedir. Bu aygıtların araçlara ve kişisel kullanıma uygun çeşitleri bulunmaktadır. Sadece navigasyon amaçlı tasarlanmış olduklarından sağladıkları konumlama doğruluğu ve destek fonksiyonları çok daha iyidir. Sivil konumlama hizmetinin verilmeye başlandığı ilk yıllardan beri kullanılan bu cihazların boyutları zaman içerisinde küçülmüştür. Bu tür cihazlar, son yıllarda taşınabilir bilgisayar teknolojisi ile birleşme eğilimindedir. Örneğin; yerleşik araç bilgisayarları ile tümleşik araç navigasyon hizmeti verilmekte, tablet bilgisayar ve akıllı telefonlar yavaş yavaş kişisel cihazların yerini almaktadır.

Coğrafi haritalar, navigasyon uygulamalarının olmazsa olmaz bir parçasıdır. İhtiyaç duyulan bölgenin haritası telefon hafızasında depolanabilmekte ya da uygulama tarafından anlık olarak indirilebilmektedir. Haritaların anlık olarak indirilebilmesi için, kablosuz internet şebekesinin çevrimiçi desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu haberleşme altyapısının sağladığı anlık veri desteği aynı zamanda konum belirleme süresinin kısalmasını ve konumlama doğruluğunun artmasını sağlar. Kişisel ve araç tipi navigasyon cihazlarında ise genellikle telekomünikasyon ağı desteği bulunmaz. Haritalar cihazın hafızasında tutulur ve bölgesel olarak yüklenir. Kablo bağlantısı üzerinden gerçekleştirilen harita güncellemelerini kablosuz olarak gerçekleştirmek de mümkündür.

Navigasyon cihazları, kullanıcı konumu belirleyebilmekte; gidilecek yerin harita üzerinde işaretlenmesi durumunda alternatif gidiş rotaları çıkarabilmektedir. Bu cihazların rotaların uzunluğunu ve kullanılacak ulaşım yöntemine göre hedefe ortalama ulaşma süresini hesaplayabilme yetenekleri de mevcuttur. Esas işlevleri olan navigasyon hizmetini yolculuk

sırasında sunarlar. Uydulardan elde edilen konum, hız ve zaman bilgisi sayesinde kullanıcıya yolu tarif ederler. Seçilen rota üzerinde bir sonraki dönemecin ne kadar uzaklıkta olduğunu, dönemece varıldığında hangi yöne dönülmesi gerektiğini vs. sesli ya da görsel olarak bildirirler.

Günümüzde navigasyon hizmeti, ağırlıklı olarak kara araçlarında yol destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Hizmet kapsamında sunulan destekleyici özellikler sayesinde en kısa rota seçilebilmekte, yol tarifi ile zamandan ve yakıttan tasarruf sağlanmaktadır. Navigasyon hizmetinden doğa yürüyüşlerinde ve şehir gezilerinde de yararlanılabilmektedir. Uydu tabanlı veri, kaybolma olasılığını azalttığı gibi gezi planlaması yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, kullanıcının geçtiği yerlerin kaydedilmesi ve bu veriden dijital harita çıkarılması da mümkündür.

6.1.2. Ticari Uygulamalar

Uydu tabanlı konumlama verisi, araçların ve çalışanların konumunun anlık olarak takip edilmesine olanak tanır. Bu uygulama, özellikle mobil çalışanları bulunan şirketlerin işgücü yönetimine katkı sağlar ve verimliliğini artırır. Uydu tabanlı konumlama sistemleri, pazarlama ve reklam şirketleri için de fırsat sunmaktadır. Kullanıcılara ait konum verisi, kullanıcı tercihleri ile birleştirildiğinde potansiyel müşterilere yönelik tanıtımlar yapılabilir. İlerleyen yıllarda konumlama sistemleri sayesinde, teslimatların sabit olmayan adreslere yapılması mümkün olacaktır. Örneğin; bir kargo paketi ya da yemek siparişi parkın içinde oturan bir müşteriye teslim edilebilecektir.

6.1.3. Acil Durum ve Afet Yönetimi Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama sistemlerini ağ tabanlı haberleşme yöntemleriyle birlikte kullanarak acil durum çağrısının yapıldığı yerin konum bilgisi alınabilir, afetten etkilenen bölgeler belirlenebilir ve afetin son durumu hakkında güncellemeler anlık olarak paylaşılabilir. Bu tür uygulamalar; afetle mücadelede, afet anındaki paniğin önlenmesinde, insanların tahliyesi ve yönlendirilmesinde kurtarma ekiplerinin işini kolaylaştırdığı gibi halkın bilgilendirilmesi açısından da oldukça işlevseldir.

BeiDou ve QZSS uydu tabanlı navigasyon sistemlerinde verilen kısa mesaj hizmeti, acil durum ve afet uygulamalarını destekler niteliktedir. Örneğin; QZSS afet ve kriz yönetimi uydu raporlarını kullanan otomatların yerleşik elektronik göstergelerinde afet bilgisinin paylaşılması mümkün olacaktır. Japonya’da ayrıca, afet durumunda otomatlardaki içeceklerin ücretsiz olarak sunulması planlanmaktadır.

6.1.4. Arama ve Kurtarma Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin sağlamış olduğu küresel kapsama kabiliyeti, insani arama ve kurtarma uygulamaları açısından oldukça yararlıdır. Bazı konumlama sistemi uydularına arama ve kurtarma görev yükü eklenerek bu faaliyetlerde kullanılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir. ABD, Sovyetler Birliği, Fransa ve Kanada tarafından 1970’li yıllarda ortak Cospas-Sarsat adında bir arama kurtarma uydu sistemi geliştirilmiştir. Sistem; tehlike durumunda kara deniz ve havadaki kullanıcıların tehlike uyarısını ve konum bilgisini acil durum aktarıcıları ve uyduları kullanarak arama kurtarma yetkililerine bildirmesini sağlamaktadır. Cospas-Sarsat’ın uzay segmenti, arama ve kurtarma görev yükü taşıyan alçak yörüngeli ve yer-sabit yörüngeli uydulardan (LEOSAR ve GEOSAR) oluşmaktadır. İlk uydusu 1982 yılında fırlatılan sistem, 1985 yılında tam operasyonel hale gelmiştir. Sistemin arama kurtarma performansının orta yörüngelerde dönen GPS, Galileo ve GLONASS konumlama uyduları ile iyileştirilmesi planlanmaktadır. Yeni nesil GPS ve GLONASS uyduları ile Galileo uydularına bu amaçla arama ve kurtarma görev yükü bulunmaktadır. Orta yörüngeli uydular, alçak yörüngeli uydulara göre daha yüksek bir irtifada döndüğü için yerküre üzerindeki daha geniş bir alandan acil durum sinyali alabilmektedir. Ayrıca, söz konusu GNSS sistemlerinin sahip olduğu küresel kaplama, acil durum sinyallerinin daha çabuk tespit edilmesini ve konumlanmanın daha doğru yapılmasını sağlayacaktır. 2020 yılı civarında alçak yörüngeli uyduların (LEOSAR) yerini orta yörüngeli uyduların (MEOSAR) alması beklenmektedir. Uydu tabanlı konumlama sistemleri ilerleyen yıllarda, arama ve kurtarma faaliyetlerinde de aktif olarak kullanılacaktır.

6.1.5. Sağlık ve Spor Uygulamaları

Konum bilgisi diğer teknolojilerle birleştirildiğinde bireysel sağlık durumunun izlenmesinde ve hasta takibinde kullanılabilir. GNSS ile koşu rotası izlenerek antrenörlük, hız ölçümü ve rota stratejisi belirleme gibi hizmetler verilebilmektedir. Günümüzde bu benzeri amaçlarla kullanılabilen akıllı telefon uygulamaları ve bileklik gibi giyilebilir cihazlar mevcuttur. Sağlık gereksinimleri ve spor aktiviteleri, giyilebilir GNSS ekipmanlarının gelişmesi ve çeşitlenmesi açısından önemli bir etkidir.

Uydu tabanlı konumlama uygulamaları aynı zamanda görme engellilerin ve tekerlekli sandelye kullanıcılarının günlük hayatlarının kolaylaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Örneğin; Bakanlığımıza bağlı Haberleşme Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Gören Göz” projesi kapsamında görme engelli vatandaşlara sesli yol tarifi yapan cihaz dağıtımı yapılmakta ve akıllı telefon uygulaması geliştirilmektedir (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı , 2018). Son yıllarda sağlık sektöründe kullanıcı profiline göre navigasyon hizmeti verilmesine yönelik yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Karma navigasyon hizmeti sayesinde; çalışanlar, hastalar, ziyaretçiler ve tekerlekli sandelye kullanıcılarına yönelik özel yol planlaması yapılabilecektir (European GNSS Agency, 2017, s. 28).

6.1.6. Kişi ve Hayvan Takip Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama bilgisi, inovatif izleme çözümlerini mümkün kılmaktadır. Yüksek doğruluğa sahip konumlama teknolojisi, coğrafi bilgi ile birleştirildiğinde herhangi bir canlının konumsal değişimi gece gündüz izlenebilmektedir. Günümüzde bu gibi uygulamalar, genellikle doğa bilimciler tarafından hayvanların ve sürülerin takip edilmesinde kullanılmaktadır. Üzerine GNSS alıcısı takılan hayvanlar takip edilerek hayvanların göç yolları, yaşam alanları ve davranış biçimleri analiz edilmeye çalışılmaktadır. Köpek balıkları, kuşlar, ayılar ve büyük kediler üzerine GNSS takip sistemi takılan hayvanlardan bazılarıdır.

Gelişen teknoloji ile takip ekipmanlarının küçülmesi bu teknolojinin günlük yaşama uyarlanmasına olanak tanımıştır. Bu teknoloji günümüzde insanların ve evcil hayvanların takip edilmesinde de kullanılabilir. Örneğin; ev hapsindeki mahkumların bulunmaları gereken alanı terk edip etmedikleri uydu tabanlı konumlama verisi kullanan bileklikler ile

kontrol edilebilmekte, bir ihlal durumunda bileklik alarm vermekte ve ilgili birimlere bildirimde bulunmaktadır. Konum bilgisi aynı zamanda yaşlılar ve çocukların takip edilmesine de olanak tanımaktadır. Bu amaçla, konumlama bilgisi sağlayan bileklik ve saatler üretilmektedir. Bu aygıtlar; konum ve yön tayininde zorluk yaşayan, kaybolma olasılığı yüksek çocuklar ile unutkanlık yaşayan yaşlıların bulunması açısından oldukça yararlıdır. Evcil hayvanlar için de benzer uygulamalar bulunmaktadır. Kedi, köpek gibi evcil hayvanların kaybolmasını önlemek için GNSS destekli tasmalar kullanılmaktadır.

6.1.7. Oyunlar ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama, konum bilgisi kullanan çok çeşitli akıllı telefon ve tablet oyununun yaratılmasına olanak tanımıştır. Son yıllarda konuma dayalı artırılmış gerçeklik uygulamalarında artış gözlenmektedir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarında, konum ve sanal bilgi kullanıcıyı eğlendirmek için harmanlanır. Animasyon ve çizgi-film sektörünün oldukça gelişmiş olduğu Japonya’da oyunlar ve animasyon karakterleri konum bilgisi kullanılarak gerçek hayata uyarlanmaya başlanmıştır. Bu tarz uygulamalarda oyunlar konum bilgisine dayalı olarak oynanmakta, animasyon karakterleri belli bölgelerde görüntülenebilmektedir. (KOGURE, 2016, s. 25) (European GNSS Agency, 2017, s. 26)

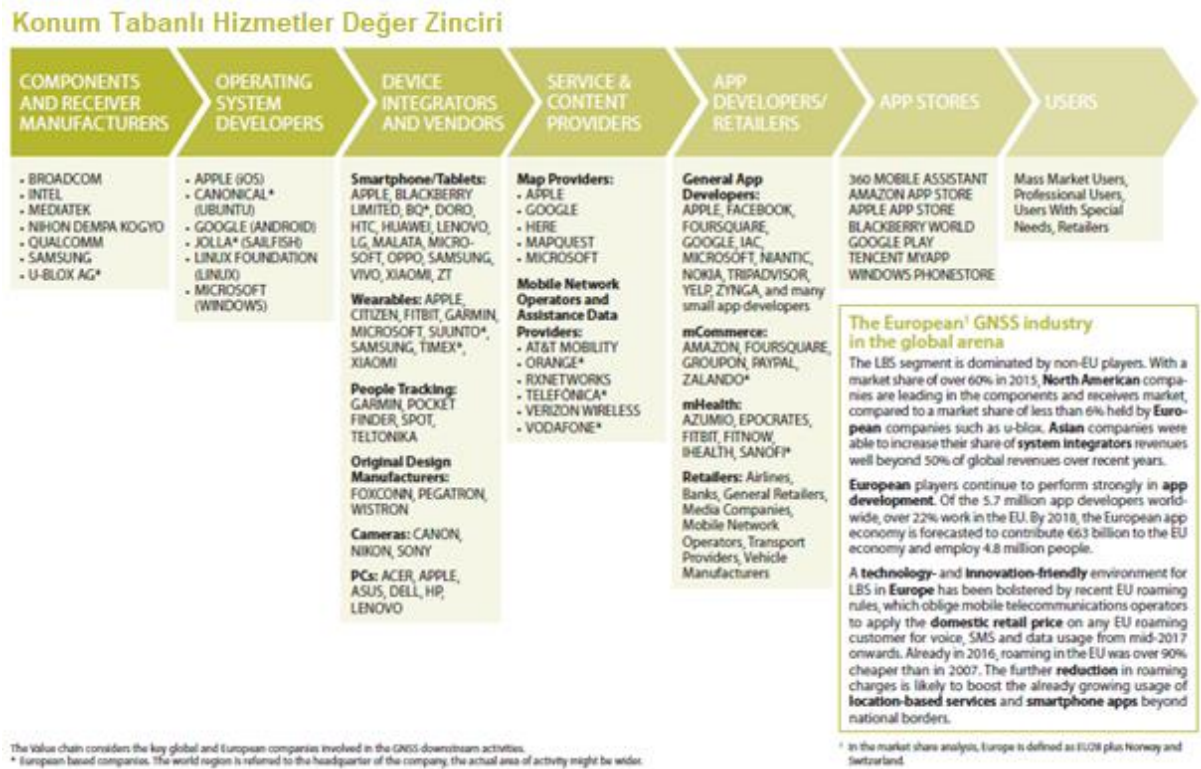
6.1.8. Altyapı Uygulamaları

Uydu tabanlı konumlama teknolojisi, altyapı varlıklarının hassas haritalarının çıkarılması ve takip edilmesi açısından oldukça yararlıdır. Konum verisi, coğrafi bilgi sistemleri ve altyapının durumuna ilişkin ölçümler gerçekleştiren diğer sistemlerle kullanıldığında yapıya ait sorun ya da değişiklik varlığının bulunduğu yere gitmeden uzaktan tespit edilebilmektedir. Erken müdahaleye imkan tanıyan bu tür uygulamalar aynı zamanda yerinde tespitin zor olduğu altyapıların izlenmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu kapsamda, yüksek doğruluğa sahip konumlama teknolojisi kullanılarak köprü ve otoyol gibi altyapı bileşenlerinin hassas haritalarının çıkarılması, operasyon ve bakım hizmetleri verilmesi mümkündür. (KOGURE, 2016, s. 25)

6.1.9. Konum Tabanlı Hizmetler Değer Zinciri

Konum tabanlı hizmetlerin değer zinciri sırasıyla; bileşen ve alıcı üreticileri, işletim sistemi geliştiricileri, aygıt entegratörleri ve satıcıları, hizmet ve içerik sağlayıcıları, uygulama geliştiricileri/perakendecileri, uygulama mağazaları ile kullanıcılardan oluşmaktadır. Şekil 72’de, konum tabanlı hizmetlerin değer zincirinde yer alan başlıca aktörler verilmiştir.

Şekil 72. Konum tabanlı hizmetler değer zinciri



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 29)

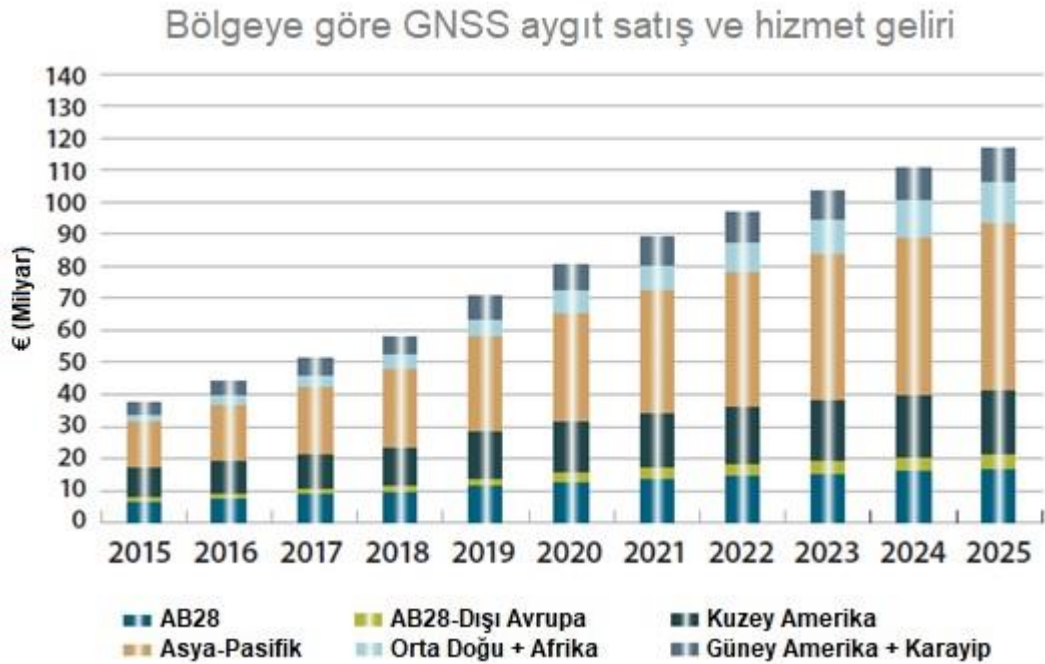
2015 verilerine göre konum tabanlı hizmetlerde, Kuzey Amerikalı şirketler %60’tan fazla pazar payına sahiptir. Avrupalı şirketlerin payı ise %6’dan azdır. Asyalı şirketlerin, sistem entegrasyon gelirlerindeki payının ilerleyen yıllarda %50’yi geçmesi beklenmektedir. Uygulama geliştirme alanında ise Avrupalılar oldukça aktiftir. Dünyada çapındaki 5,7 milyon uygulama geliştiricisinin %22’den fazlası Avrupada bulunmaktadır. Avrupa’daki uygulama pazarının 2018 yılında 4,8 milyon kişiye iş sağlaması ve 63 milyar euro gelir sağlaması beklenmektedir. Telekomünikasyon operatörlerinin yurtdışı dolaşım ücretlerini düşürmelerinin

konum tabanlı hizmet ve uygulamaların kullanımında ciddi biçimde artış sağlaması öngörülmektedir.

6.1.10. Konum Tabanlı Hizmet Pazarı

Şekil 73'teki grafikte konum tabanlı hizmet sunmada kullanılan GNSS aygıtlarının son yıllardaki satışından elde edilen gelirler ve gelecekteki gelir öngörülleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla gelir sırasıyla Asya-Pasifik, Kuzey Amerika ve Avrupa bölgelerinden elde edilmektedir. 2016 yılında Asya-Pasifik bölgesindeki satışlardan elde edilen gelir 15 milyar eurodan fazladır. Türkiye' nin de dahil olduğu Ortadoğu ve Afrika bölgesinden elde edilen gelir ise 5 milyar eurodan azdır. Konum tabanlı hizmetlerin zaman içerisinde gelişmesiyle birlikte gelirlerde de artış beklenmektedir. Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelirlerin 2025 yılı civarında 12 milyar euroyu aşması beklenmektedir.

Şekil 73. Konum tabanlı hizmet gelirlerinin bölgesel dağılımı

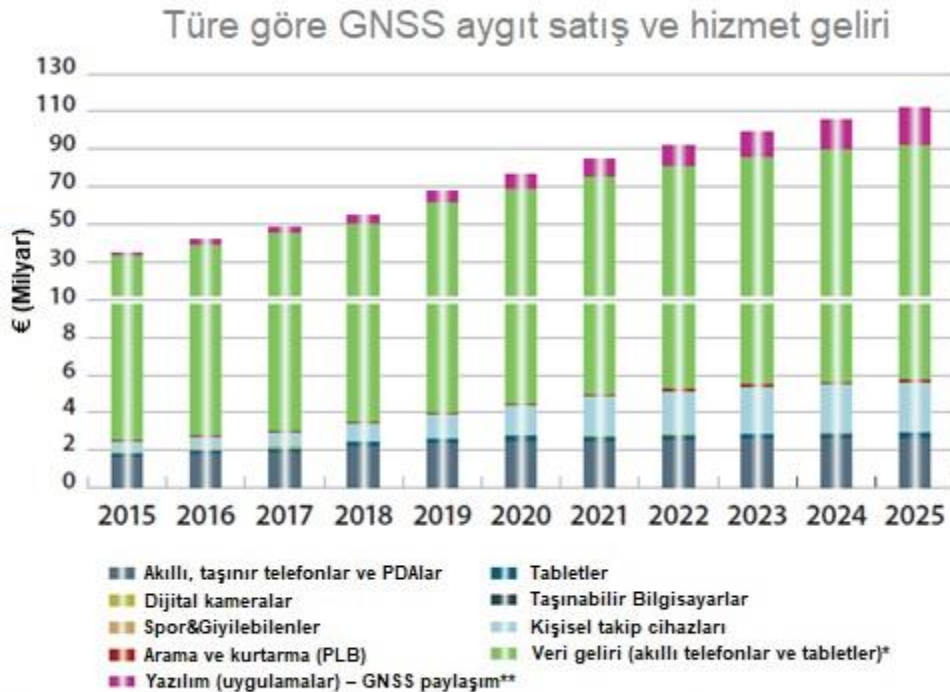


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 33)

Konum tabanlı hizmetlerden elde edilen gelirlerin kullanılan GNSS cihazı ve hizmet türü bazında dağılımı Şekil 74'teki grafikte gösterilmiştir. Grafik, konum tabanlı hizmet

gelirlerinde ağırlığı bulunan alanlar hakkında da bilgi vermektedir. Konum tabanlı hizmetlerde en fazla gelir görüldüğü gibi veri satışından elde edilmektedir. Veri satış geliri sadece akıllı telefonlar ve tabletler üzerinden sunulan konum tabanlı hizmetlerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. İkinci büyük gelir kaynağı, kişisel bilgisayarlardır. Yazılım uygulamalarından ve GNSS paylaşımından elde edilen gelirler ise üçüncü sıradadır. Bu gelir türünün içerisinde indirme ödemeleri, uygulama içi satın almalar ile sosyal, takip, arama ve oyun uygulamalarından kazanılan gelirler yer alır. Dördüncü sırada kişisel takip cihazlarından sağlanan gelirler bulunmaktadır. 2016 yılında konum tabanlı hizmet verisi satışından elde edilen gelir yaklaşık olarak 27 milyar eurodur. Kişisel bilgisayarda kullanılan GNSS aygıtlarından 2 milyar euro kadar gelir elde edilmiştir. Yazılım uygulamalarından ve GNSS paylaşımından sağlanan gelir 1-2 milyar euro kişisel takip cihazlarından sağlanan gelir ise yaklaşık 500 milyon eurodur. Konum tabanlı hizmet cihazı ve ilgili veri satışından elde edilen gelir 2016 yılında yaklaşık 40 milyar eurodan fazla iken bu rakamın 2025 yılında 115 milyar euroyu geçmesi beklenmektedir.

Şekil 74. Konum tabanlı hizmet gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı



*Sadece Konum-tabanlı hizmetlerin kullanımından doğan veri geliri dikkate alınmıştır.

**İndirme ödemeleri, uygulama içi satın almalar ile sosyal, takip, arama ve oyun uygulamalarından kazanılan gelir

Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 33)

6.2. Karayolu

Uydu tabanlı navigasyon sistemleri; karada bulunan sabit ya da hareketli herhangi bir nokta için gerçek zamanlı konum, hız ve zaman bilgisi sağlar. Bu bilgilerin anlık olarak türetilmesi ve devamlılığı, karayolu gibi dinamik bir ulaşım modunda kullanım için oldukça önemlidir. Konumlama hassasiyetiyle birlikte zaman içerisinde harita ve navigasyon uygulamalarının da gelişmesi, uydu tabanlı konumlama sistemlerinin karayollarında kullanımının her geçen gün artmasına neden olmuştur. Günümüzde karayollarında sunulan uydu tabanlı hizmetlerin; akıllı mobil uygulamalar, güvenlik açısından kritik uygulamalar, yükümlülük açısından kritik uygulamalar ve kanunen düzenlenmiş uygulamalar olarak sınıflandırılması mümkündür.

Karayolu ulaşımındaki verimliliği artıran akıllı mobil uygulamalar; navigasyon, filo yönetimi ve trafiğin izlenmesinde kullanılmaktadır. Navigasyon hizmeti kapsamında kişisel navigasyon cihazları (PND) ve araç içi sistemlerle (IVS) sürücüye gerçek zamanlı yol tarifi verilmektedir. Filo yönetim uygulamalarında ise araçlardaki tümleşik birimler (OBU), GNSS konumlama bilgisini haberleşme ağları üzerinden yönetim merkezine bildirerek aracın ve ulaştırma performansının takip edilmesini sağlarlar. Günümüzde araç kiralama ve otobüs şirketleri bu uygulamalardan yaygın olarak yararlanmaktadır. Trafik izleme uygulamalarında ise araçlara ait konum verileri; kişisel navigasyon cihazları, araç içi sistemler ve mobil aygıtlar aracılığıyla toplanır. Toplanan veriler işlenerek birleştirilir ve trafik bilgisi çıkarılır. Elde edilen trafik bilgisi kullanıcılara ve diğer ilgili taraflara dağıtılır. Bu gibi uygulamalar gerçek zamanlı yol durumunun sürücülere aktarılmasında, ideal seyahat rotasının belirlenmesinde ve trafik sıklığının azaltılmasında oldukça yararlıdır.

Şekil 75. Araç içi navigasyon sistemi



Kaynak: (QZS System Services Inc., 2015, s. 33)

İnsanlara, doğaya ve diğer sistemlere zarar verme olasılığı olan güvenlik açısından kritik uygulamalar; akıllı ulaşım sistemlerinde, gelişmiş sürücü yardım sistemlerinde (ADAS) ve tehlikeli mal takibinde kullanılmaktadır. Araçların diğer araçlarla, trafik ışıklarıyla, yol kenarındaki destek altyapılarıyla ve diğer yol kullanıcılarıyla haberleşmesini sağlayan akıllı ulaşım sistemi teknolojilerinde uydu tabanlı konumlama verisinden yararlanılmaktadır. Otonom araçlara geçişte önemli bir aşama olan gelişmiş sürücü yardım sistemlerinde; elde edilen GNSS verisi ile sürücüye yol takibi, yarı otonom sürüş vb. konularda destek sağlanmaktadır. Uydu tabanlı navigasyon sistemlerinin sağladığı yüksek hassasiyetli konum bilgisi, şerit koruma ve değiştirme gibi araç kontrol uygulamalarını mümkün kılmaktadır. Tehlikeli mal taşıyan araçlarda ise; çevreye zarar vermesi muhtemel yükün durumu konumlama bilgisiyle birlikte haberleşme ağları üzerinden ilgili merkeze gönderilerek sevkiyatın izlenmesini mümkün kılmaktadır.

Karayolu kullanıcılarının ücretlendirilmesi (RUC) ve sigorta bildirimleri, önemli hukuki ya da ekonomik sonuçlar doğurabilecek yükümlülük açısından kritik uygulamalardır. Araçlarda tümleşik GNSS birimlerinin kullanılması ile uydu tabanlı hassas konumlama bilgisine dayalı, trafik akışını etkilemeyen gişesiz yol ücretlendirme sistemlerinin kurulması mümkün hale gelmiştir. Bu uygulamalarda, her araçtan toplanan konum verisi analiz edilerek seyahat rotası ve mesafeye dayalı esnek ücretlendirme gerçekleştirilebilmektedir. Sigorta bildirim uygulamalarında ise kara kutular, sigortacılar ve kayıtlı aboneler arasında araç motorlarının garantisine ilişkin hakkaniyetin sağlanması için sürüş bilgilerinin yanında GNSS konumlama verisini de sigorta şirketlerine aktarmaktadır.

Şekil 76. Singapur'daki GNSS tabanlı yol ücretlendirme sistemi



Kaynak: (TAKIZAWA, 2017, s. 28)

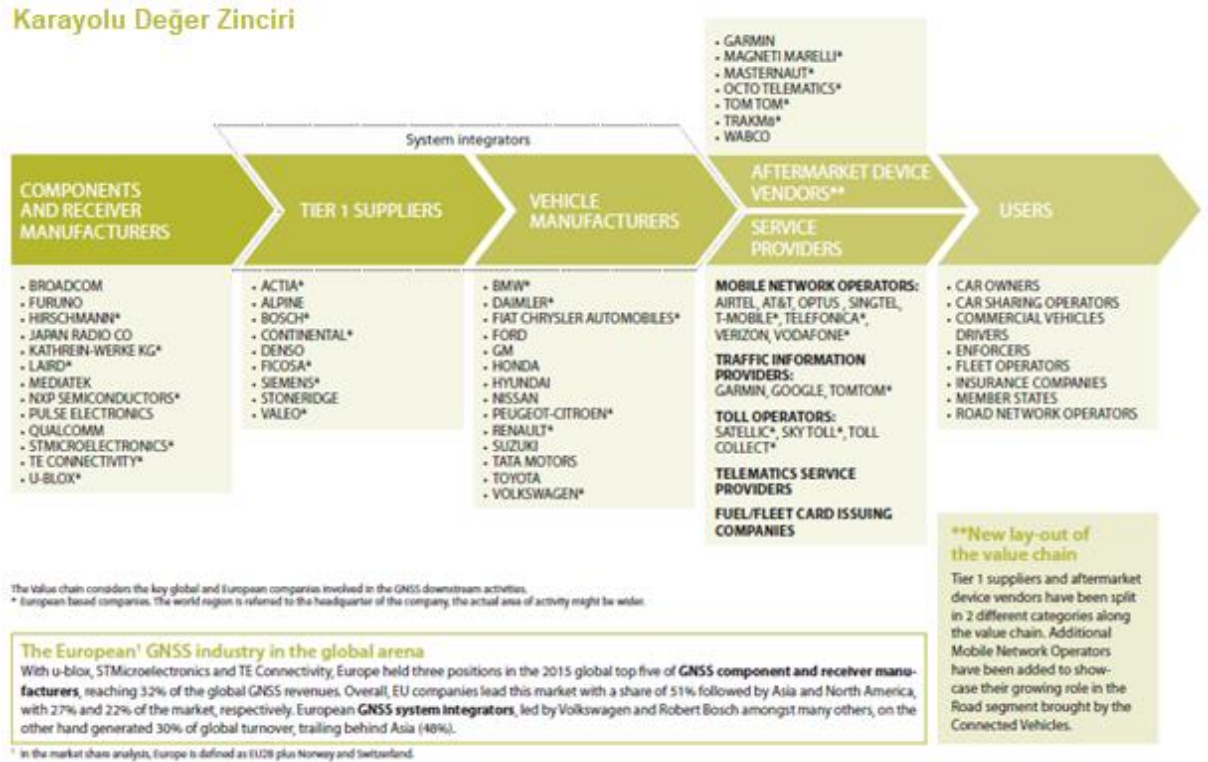
Ulusal ve uluslararası kanunlar ile düzenlenmiş ulaştırma politikalarına dayanan uygulamalar, acil çağrı (eCall) ve akıllı takograflardır. eCall; uydu tabanlı konumlama kabiliyetli araç içi sistemlere dayanan ve bir kaza olması halinde acil durum çağrısı göndererek yardım gelmesini hızlandıran bir destek sistemidir. GNSS konumlama bilgisini kullanan akıllı takograflar ise, belirli aralıklarla aracın bulunduğu konumu kaydederek denetleyicilere destek sağlamaktadır.

Otonom sürüş gelecek trafik teknolojileri arasında en ön plana çıkan yeniliklerden biridir. Dinamik harita, araç üzerindeki yerleşik bağlı sensörler ve uydu tabanlı veri otonom sürüşün ana bileşenlerini oluşturur. Sistemde dijital harita ve yol durumu ortama ilişkin genel bilgi sunarken GNSS aracın konumunun ve hızının tespit edilmesinde kullanılır. Kamera ve radar gibi yerleşik sensörler ise yakın ortam bilgisi sağlarlar. Günümüzde trafikte aktif olarak kullanılan yarı otonom sürüş sistemleri bulunmaktadır. Trafiğe kapalı ya da kontrollü alanlarda teknoloji gösterim amaçlı kullanılan tam otonom araçlar olmakla birlikte, bu sistemlerin karayoluna uyarlanmasına yönelik teknoloji geliştirme ve test çalışmaları devam etmektedir.

6.2.1. Karayolu Değer Zinciri

Karayolu değer zinciri sırasıyla; bileşen ve alıcı üreticileri, birinci kademe tedarikçiler, araç üreticileri, ardıl pazar aygıt satıcıları ve hizmet sağlayıcıları ile kullanıcılardan oluşmaktadır. Şekil 77’de, karayolu değer zincirinde yer alan başlıca aktörler verilmiştir.

Şekil 77. Karayolu değer zinciri



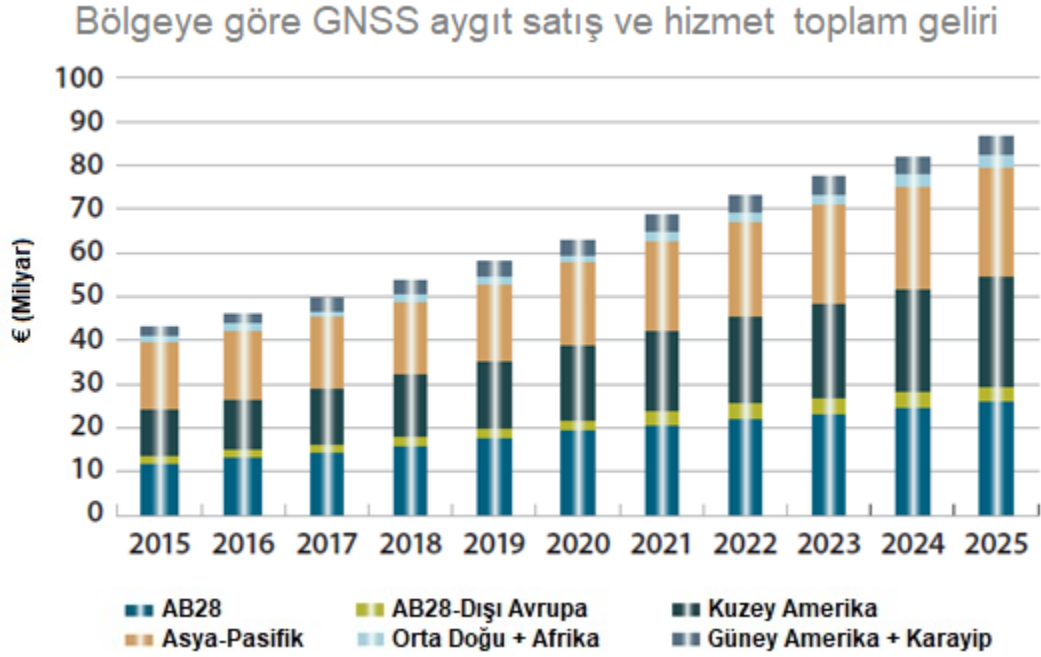
Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 37)

6.2.2. Karayolu Pazarı

Şekil 78’deki grafikte karayolu sektöründe GNSS aygıt satışlarından ve hizmetlerinden son yıllarda elde edilen gelirler ve gelecekteki gelir öngörülleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla gelir sırasıyla Asya-Pasifik, Avrupa ve Kuzey Amerika bölgelerinden elde edilmektedir. 2016 yılında Asya-Pasifik bölgesindeki satışlardan elde edilen gelir yaklaşık 15 milyar euro civarındadır. Türkiye’ nin de dahil olduğu Ortadoğu ve Afrika bölgesinden elde edilen gelir ise yaklaşık 2 milyar euro kadardır. Gelecek yıllarda, karayollarında GNSS kullanımının ve dolayısıyla aygıt satışından elde edilen gelirlerin artması beklenmektedir.

Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelirlerin 2025 yılı civarında 4 milyar euroyu aşması öngörülmektedir.

Şekil 78. Karayolu gelirlerinin bölgesel dağılımı

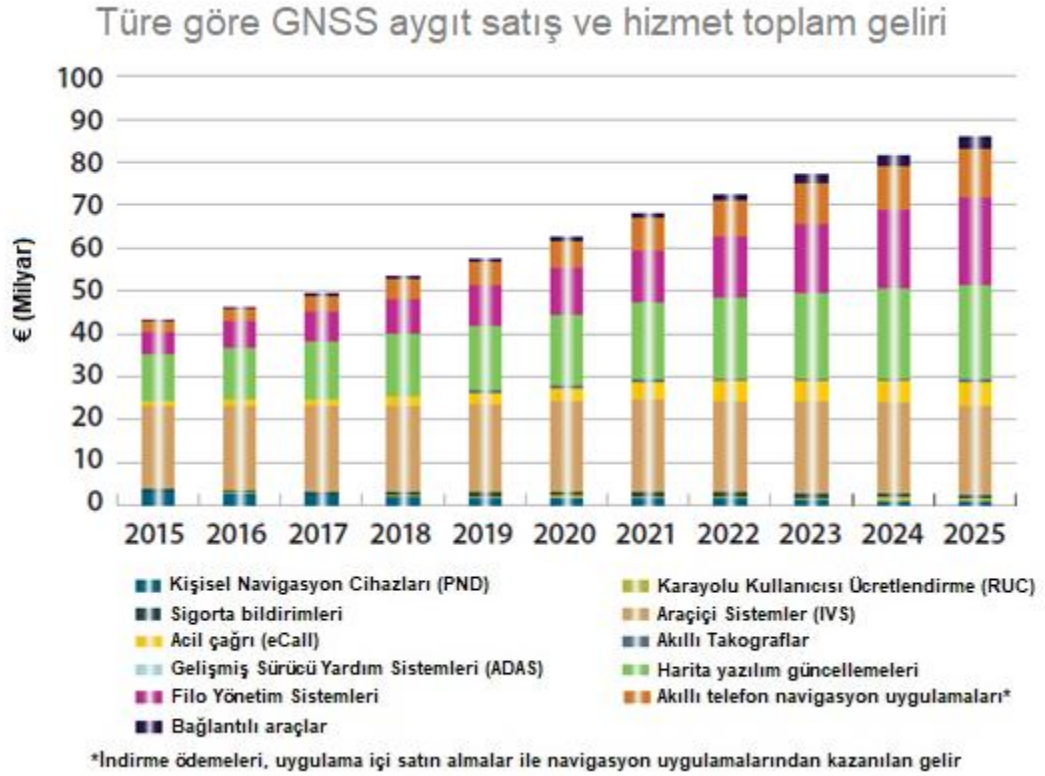


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 41)

Karayolu sektöründe GNSS cihazı satışı ve hizmetlerinden elde edilen gelirler Şekil 79'daki grafikte gösterilmiştir. Grafik, gelirlerde ağırlığı bulunan alanlar hakkında da bilgi vermektedir. Karayolu alanında en fazla gelir görüldüğü gibi araç içi sistemlerden elde edilmektedir. İkinci büyük gelir kaynağı, harita yazılımı güncellemeleridir. Filo yönetim sistemlerinden elde edilen gelirler ise üçüncü sıradadır. Dördüncü sırayı sağlanan gelir değerleri birbirine oldukça yakın olan kişisel navigasyon cihazları ve akıllı telefon navigasyon uygulamaları paylaşmaktadır. Akıllı telefon navigasyon uygulamaları gelirleri indirme ödemeleri, uygulama içi satın almalar ile navigasyon uygulamalarından kazanılan gelirlerden oluşmaktadır. 2016 yılında araç içi sistem satışından elde edilen gelir 20 milyar euroya yakındır. Harita yazılım güncellemelerinden 10 milyar eurodan fazla gelir elde edilmiştir. Filo yönetim sistemlerinden sağlanan gelir 7 milyar euro civarındadır. Birbirine yakın gelir değerlerine sahip kişisel navigasyon cihazları ve akıllı telefon navigasyon uygulamalarından sağlanan gelirler ise her biri için yaklaşık 2 milyar eurodur. İlerleyen yıllarda kişisel

navigasyon cihazlarının satışından elde edilen gelirin giderek azalması, akıllı telefon navigasyon uygulamalarından elde edilen gelirlerin ise artması beklenmektedir. Karayolu GNSS cihazı ve uygulama içi satışlardan elde edilen gelir 2016 yılında yaklaşık 46 milyar euro iken bu rakamın 2025 yılında 85 milyar euroyu geçeceği öngörülmektedir.

Şekil 79. Karayolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 41)

6.3. Havacılık

Uydu tabanlı navigasyon sistemleri; her türlü hava platformu için 3 boyutlu ve gerçek zamanlı konum, hız ve zaman bilgisi sağlar. Konumlama verisi; hava araçlarının konumlarının tespit edilmesi, uçuş rotasının izlenmesi hava sahası kontrolü ve ihlallerin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Sivil havacılıkta ilk olarak hava sahası ihlallerinden kaynaklı düşürülme riskinin azaltılması amacıyla kullanılan uydu tabanlı konumlama zamanla havacılık sektöründe yaygınlaşmıştır. Günümüzde havacılık sektöründe sunulan uydu tabanlı hizmetlerin, ticari ve amatör uygulamalar olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılması mümkündür.

Güvenliğin ve verimliliğin sağlanması amacıyla lisanslı ekipmanların kullanıldığı ticari havacılık sektöründeki GNSS uygulamaları; performansa dayalı navigasyon (PBN), arama ve kurtarma operasyonları ve hava sahası gözetiminden oluşmaktadır. Performansa dayalı navigasyonda hava araçları uydu tabanlı konumlama verilerinden yararlanarak tüm uçuş boyunca belirli bir süreci veya rotayı takip ederler. Arama ve kurtarma operasyonları için her hava aracının acil durum konum vericileri (ELT) ile donatılması gerekmektedir. Acil durum konum vericilerinin birçoğu, bir kaza olması durumunda uydu tabanlı konumlama sistemlerini kullanarak konum bildiriminde bulunmaktadır. Hava sahası gözetiminde ise, hava araçları otomatik bağımlı gözetim yayını (ADS-B) kullanarak yerdeki hava trafik kontrolörlerine ve diğer hava araçlarına bulunduğu konumu otomatik olarak bildirir.

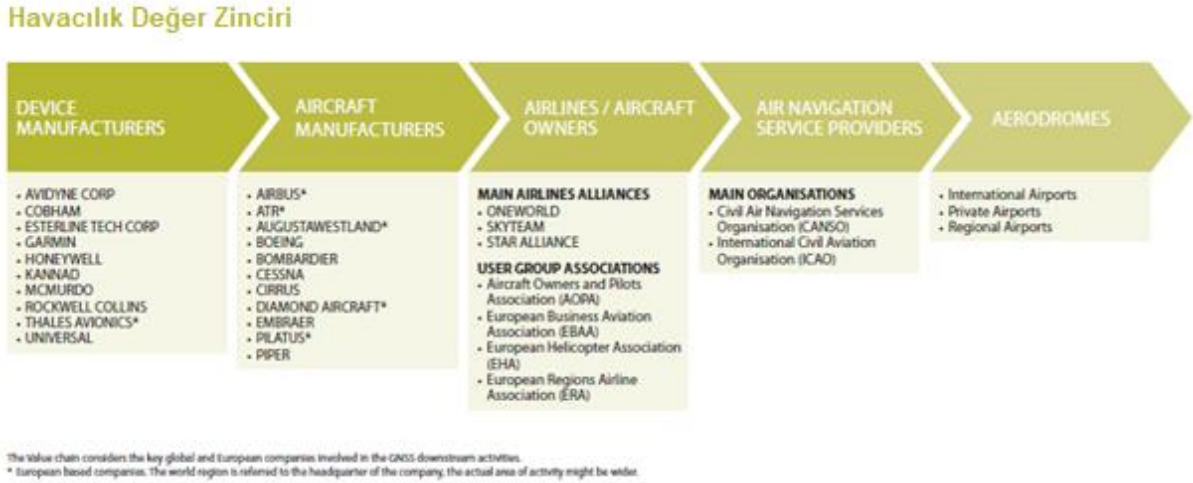
Görerek Uçuş Kurallarını (VFR) kullanarak uçan birçok pilotun görsel navigasyon tekniklerini desteklemede GNSS uygulamalarından yararlandığı amatör uygulamalarda; uydu tabanlı konumlama verisi hareketli haritalarda, ihlal alarmlarında, durumsal farkındalığın geliştirilmesinde ve kişisel konum vericilerinde (PLB) kullanılmaktadır. Hareketli haritalar, çevre hava sahasına göre güncel konumun ve uçuş planındaki ilerlemenin gösterilmesini sağlar. İhlal alarmları ise, yasaklı hava sahalarına çok yaklaşıldığında pilotları uyarmaktadır. Son yıllarda havacılıkta durumsal farkındalığın geliştirilmesi amacıyla, diğer hava araçlarını kendi yayınlamış oldukları ADS-B sinyallerine dayanarak hareketli haritalar üzerinde gösteren yeni uygulamalar geliştirilmektedir. GNSS destekli kişisel konum vericileri ise acil durumlarda kurtarma ekiplerine konum bildirmek için kullanılmaktadır.

Uydu tabanlı konumlamanın havacılık sektöründeki uygulamaları her geçen gün çeşitlenerek artmaya devam etmektedir. Günümüzde sivil uçakların otomatik pilot uygulamalarında sıklıkla kullanılan GNSS verilerinin gelecekte apron yönetiminde, uçakların iniş ve kalkışında destek amaçlı kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin havacılık alanındaki uygulamaları havayolu ulaşımı ile sınırlı değildir. Uydu tabanlı konumlama verileri atmosferik araştırmalarda ve insansız hava araçlarında da yoğun biçimde kullanılmaktadır. Son yıllarda, kargo paketlerinin insansız hava araçları ile teslim edilmesine yönelik yenilikçi fikirler ortaya çıkmıştır. Test ve denemeleri devam etmekte olan bu gibi uygulamaların ilerleyen yıllarda yaygınlaşması beklenmektedir.

6.3.1. Havayolu Değer Zinciri

Havayolu değer zinciri sırasıyla; aygıt üreticileri, hava aracı üreticileri, havayolları / hava aracı sahipleri, hava navigasyon hizmeti sağlayıcıları ve havaalanlarından oluşmaktadır. Şekil 80’de, havayolu değer zincirinde yer alan başlıca aktörler verilmiştir.

Şekil 80. Havayolu değer zinciri

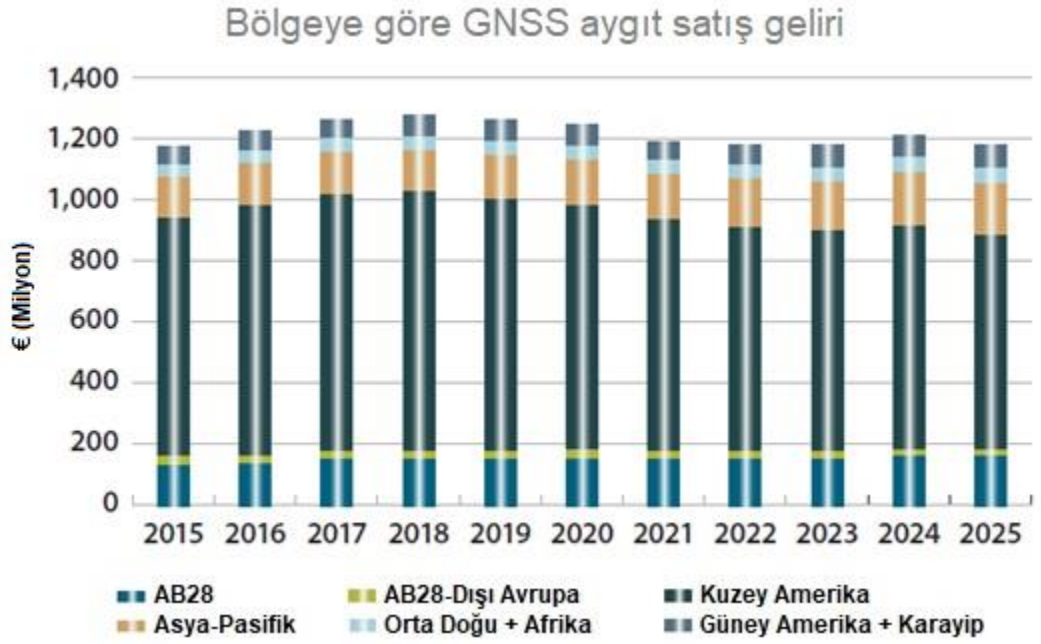


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 45)

6.3.2. Havayolu Pazarı

Şekil 81'deki grafikte havayolu sektöründe kullanılan GNSS aygıtlarının son yıllardaki satışından elde edilen gelirler ve gelecekteki gelir öngörülleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla gelir Kuzey Amerika bölgesinden elde edilmektedir. Kuzey Amerika bölgesini birbirine oldukça yakın gelir değerleriyle Asya-Pasifik ve Avrupa bölgeleri izlemektedir. 2016 yılında Kuzey Amerika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelir 1 milyar eurodan fazladır. Türkiye' nin de dahil olduğu Ortadoğu ve Afrika bölgesinden elde edilen gelir ise yaklaşık 40 milyon euro kadardır. Gelecek yıllarda, hava araçlarında GNSS kullanımının ve dolayısıyla aygıt satışından elde edilen gelirlerin artması beklenmektedir. Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelirlerin 2025 yılı civarında yaklaşık olarak 50 milyon euroyu bulması öngörülmektedir.

Şekil 81. Havayolu gelirlerinin bölgesel dağılımı

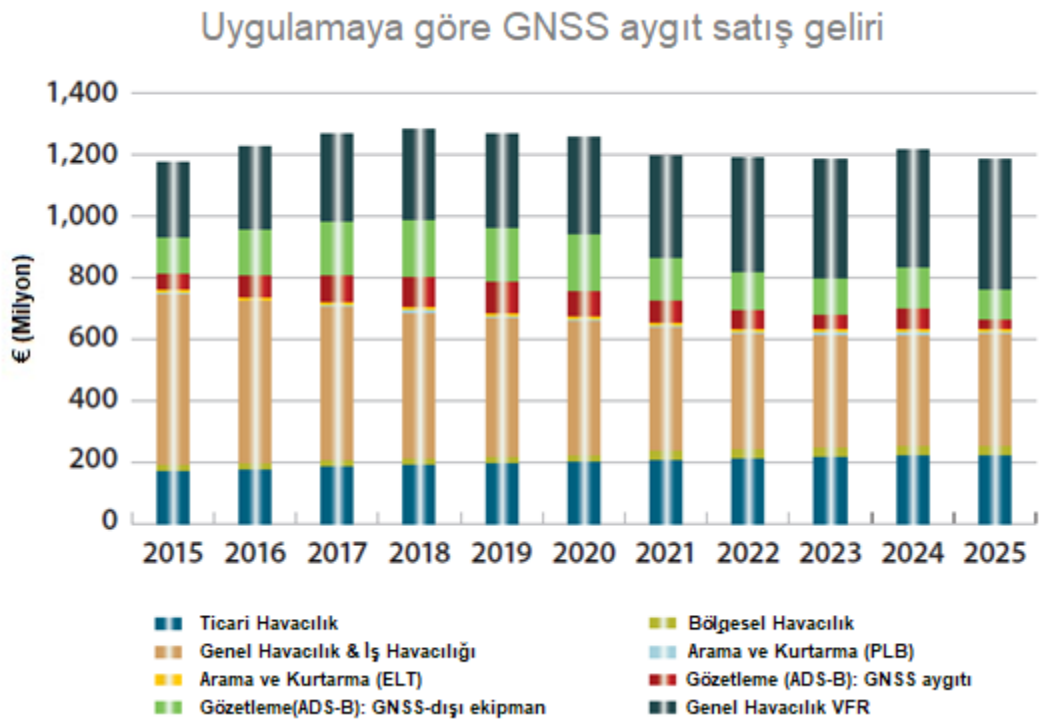


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 49)

Havayolu sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelirler Şekil 82'deki grafikte gösterilmiştir. Grafik, havayolu sektöründen sağlanan gelirlerin uygulamalara göre dağılımı hakkında da bilgi vermektedir. Havayolu alanında en fazla gelir görüldüğü gibi genel havacılık ve iş havacılığında elde edilmektedir. İkinci büyük gelir kaynağı, genel havacılık

Görerek Uçuş Kuralları (VFR) kapsamında gerçekleştirilen uydu tabanlı konumlama uygulamalarıdır. Ticari havacılık uygulamalarından elde edilen gelirler ise üçüncü sıradadır. Dördüncü sırada GNSS harici Otomatik Bağımlı Gözetim Yayını (ADS-B) ekipmanlarından sağlanan gelirler bulunmaktadır. 2016 yılında genel havacılık ve iş havacılığından elde edilen gelir 570 milyon euroya yakındır. Genel havacılık VFR uygulamalarından 240 milyon euro civarında gelir elde edilmiştir. Ticari havacılıktan sağlanan gelir yaklaşık 160 milyon eurodur. Hava aracı gözetim ekipmanlarından elde edilen gelir ise 100 milyon euro civarındadır. İlerleyen yıllarda genel havacılık ve iş havacılığından elde edilen gelirin azalması beklenmektedir. Havayolu sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelir 2016 yılında 1.2 milyar eurodan fazla iken bu rakamın dalgalı bir hareket izleyerek 2025 yılında 1.2 milyar euronun altında olacağı öngörülmektedir.

Şekil 82. Havayolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 49)

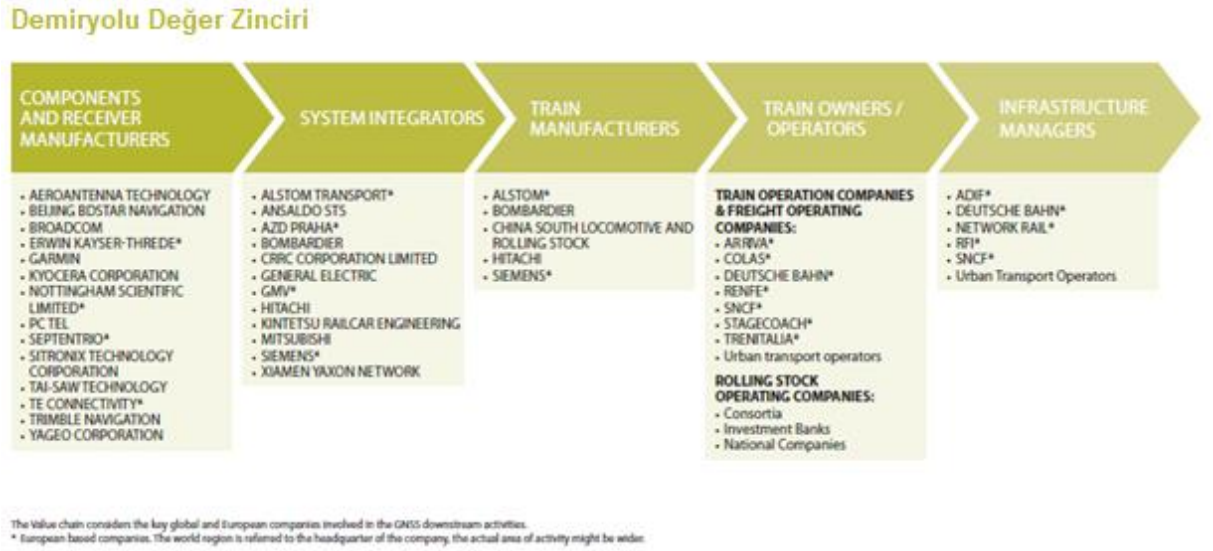
6.4. Demiryolu

Demiryolu sektöründe uydu tabanlı konumlama sistemleri; ana ve düşük yoğunluklu hatların komuta kontrolünde, varlık yönetiminde, yolcu bilgilendirme sistemlerinde ve sürücü danışma sistemlerinde (DAS) kullanılmaktadır. Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu ana demiryolu hatlarında akışın düzenli biçimde sağlanması için özel olarak tasarlanmış komuta kontrol sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemlerde trenlerin komuta kontrolüne destek amaçlı kullanılan uydu tabanlı konumlama verilerinin daha yeni uygulamalarda da ek girdi olarak kullanılması mümkündür. Hizmet devamlılığı açısından maliyetten tasarrufun çok önemli olduğu, daha çok kırsal bölgelerde bulunan, trafik yoğunluğu düşük ve orta seviyeli demiryolu hatlarında ise komuta kontrol sistemleri tamamen GNSS destekli sinyalizasyon kabiliyeti sunmaktadır. Filo yönetimi, gereksinime dayalı bakım, altyapı kullanımının ücretlendirilmesi ve ulaşım türleri arasında aktarma gibi varlık yönetim sistemi uygulamalarında uydu tabanlı konum ve zaman bilgisinin bir standart olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır. GNSS'in demiryolu sektöründeki bir diğer kullanım alanı olan yolcu bilgilendirme sistemlerinde bir trenin gerçek zamanlı konum ve hız bilgileri trenlerdeki tümleşik ekranlardan ve internet tabanlı platformlar üzerinden yolculara sunulmaktadır. Demiryollarındaki tren trafiğinin optimize edilmesini amaçlayan sürücü danışma sistemleri ise makinistlere tren hakkında gerçek zamanlı konumlama bilgisi sağlayarak sürüş yardım desteği vermektedir. Yüksek doğruluklu konumlama teknolojisinin ilerleyen yıllarda trenlerin uzaktan kontrol edilmesine ve otomatik kontrollü sürücüsüz trenlerin geliştirilmesine olanak tanınması beklenmektedir.

6.4.1. Demiryolu Değer Zinciri

Demiryolu değer zinciri sırasıyla; bileşen ve alıcı üreticileri, sistem entegratörleri, tren üreticileri, tren sahipleri / işleticileri ile altyapı yöneticilerinden oluşmaktadır. Şekil 83'te, demiryolu değer zincirinde yer alan başlıca aktörler verilmiştir.

Şekil 83. Demiryolu değer zinciri

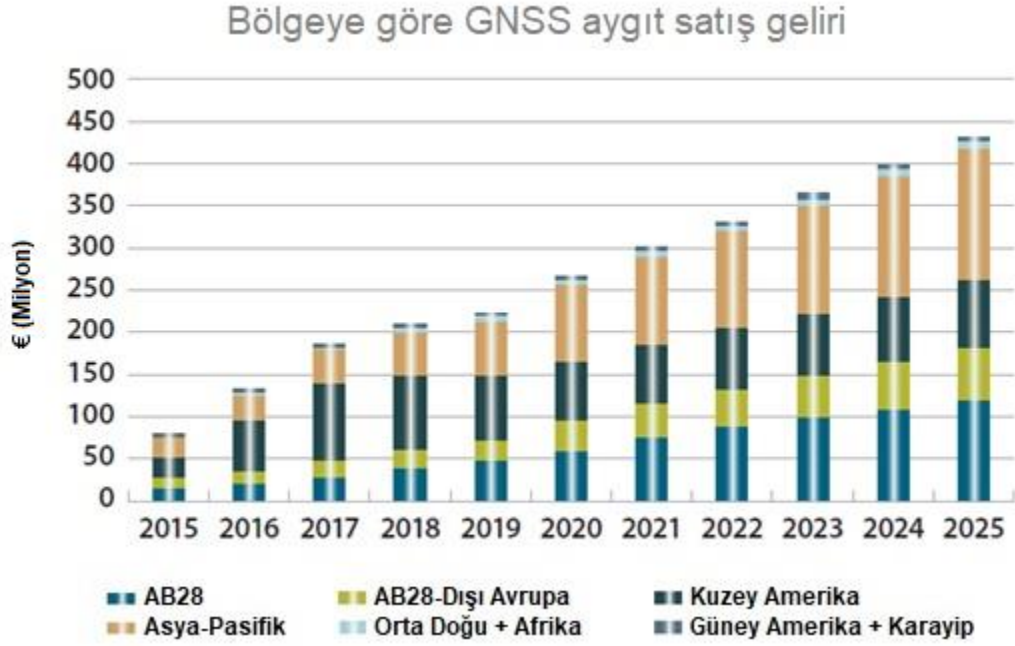


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 53)

6.4.2. Demiryolu Pazarı

Şekil 84'teki grafikte demiryolu sektöründe kullanılan GNSS aygıtlarının son yıllardaki satışından elde edilen gelirler ve gelecekteki gelir öngörülleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla gelir sırasıyla Kuzey Amerika, Asya-Pasifik ve Avrupa bölgelerinden elde edilmektedir. 2016 yılında Kuzey Amerika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelir 50 milyon eurodan fazladır. Türkiye' nin de dahil olduğu Ortadoğu ve Afrika bölgesinden elde edilen gelir ise yaklaşık 5 milyon euro kadardır. Gelecek yıllarda, demiryolu sektöründe GNSS kullanımının ve dolayısıyla aygıt satışından elde edilen gelirlerin artması beklenmektedir. Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelirlerin 2025 yılı civarında yaklaşık olarak 10 milyon euroyu bulması öngörülmektedir.

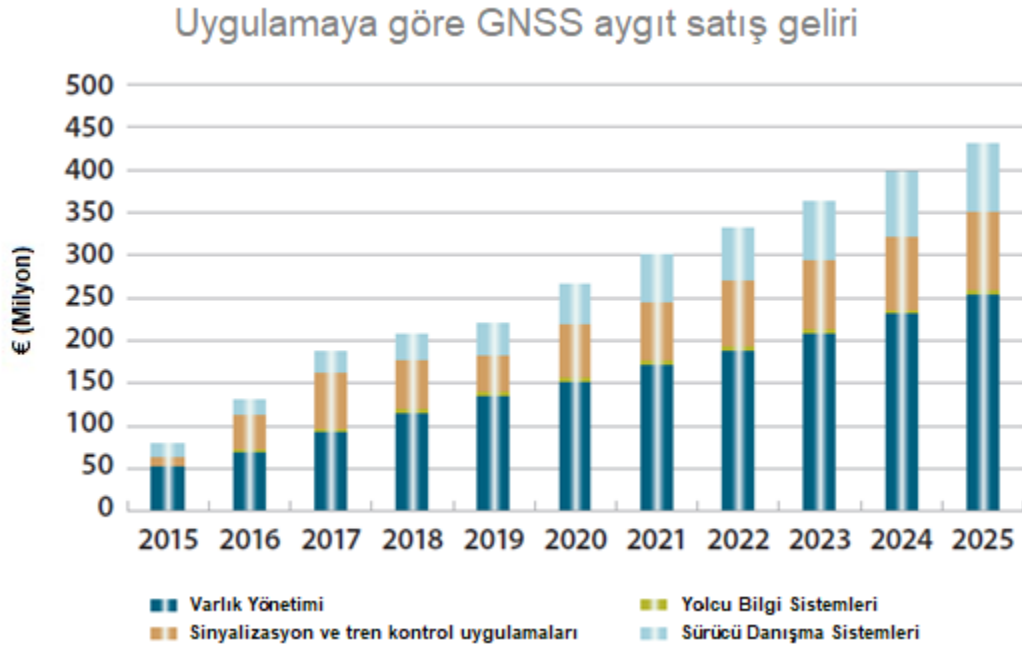
Şekil 84. Demiryolu gelirlerinin bölgesel dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 57)

Demiryolu sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelirler Şekil 85'teki grafikte gösterilmiştir. Grafik, demiryolu sektöründen sağlanan gelirlerin uygulamalara göre dağılımı hakkında da bilgi vermektedir. Demiryolu alanında en fazla gelir görüldüğü gibi varlık yönetiminden elde edilmektedir. İkinci büyük gelir kaynağı, sinyalizasyon ve tren kontrol uygulamalarıdır. Sürücü danışma sistemlerinden elde edilen gelirler ise üçüncü sıradadır. Dördüncü sırada yolcu bilgi sistemlerinden sağlanan gelirler bulunmaktadır. 2016 yılında varlık yönetiminden elde edilen gelir 70 milyon euroya yakındır. Sinyalizasyon ve tren kontrol uygulamalarından 40 milyon euro civarında gelir elde edilmiştir. Sürücü danışma sistemlerinden sağlanan gelir yaklaşık 20 milyon eurodur. Yolcu bilgi sistemlerinden elde edilen gelir ise 5 milyon euro civarındadır. Demiryolu sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelir 2016 yılında 130 milyon eurodan fazla iken bu rakamın 2025 yılında yaklaşık 430 milyon euro olacağı öngörülmektedir.

Şekil 85. Demiryolu gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 57)

6.5. Denizcilik

Uydu tabanlı navigasyon sistemleri; deniz, göl vb. su kütleleri üzerinde bulunan herhangi bir nokta için gerçek zamanlı konum, hız ve zaman bilgisi sağlar. Bu sistemler; iç sular ve denizlerde deniz araçlarının izlenmesi, gemi adamlarına navigasyon desteği sunulması, küresel ve bölgesel taşımacılıkta ticari yüklerin takip edilmesi ve arama kurtarma faaliyetlerinin koordine edilmesi açısından oldukça faydalıdır. Günümüzde uydu tabanlı konumlama verileri denizcilik sektöründe faaliyet gösteren şirketler, organizasyonlar ve kamu otoriteleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Denizcilik sektöründe sunulan uydu tabanlı konumlama hizmetlerini, navigasyon uygulamaları ve konumlama uygulamaları olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür.

Denizcilik sektöründeki uydu tabanlı navigasyon uygulamaları, deniz ve iç su yolu navigasyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Denizlerdeki uygulamalarda ticari yük ve yolcu gemilerinin navigasyonu ağırlıklı olarak uydu tabanlı konumlama sistemlerine dayanmaktadır. Ticari gemilerin yanı sıra amatör gezi tekneleri de deniz aşırı ulaşımda ve trafik yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda GNSS tabanlı verilerinden yaygın olarak

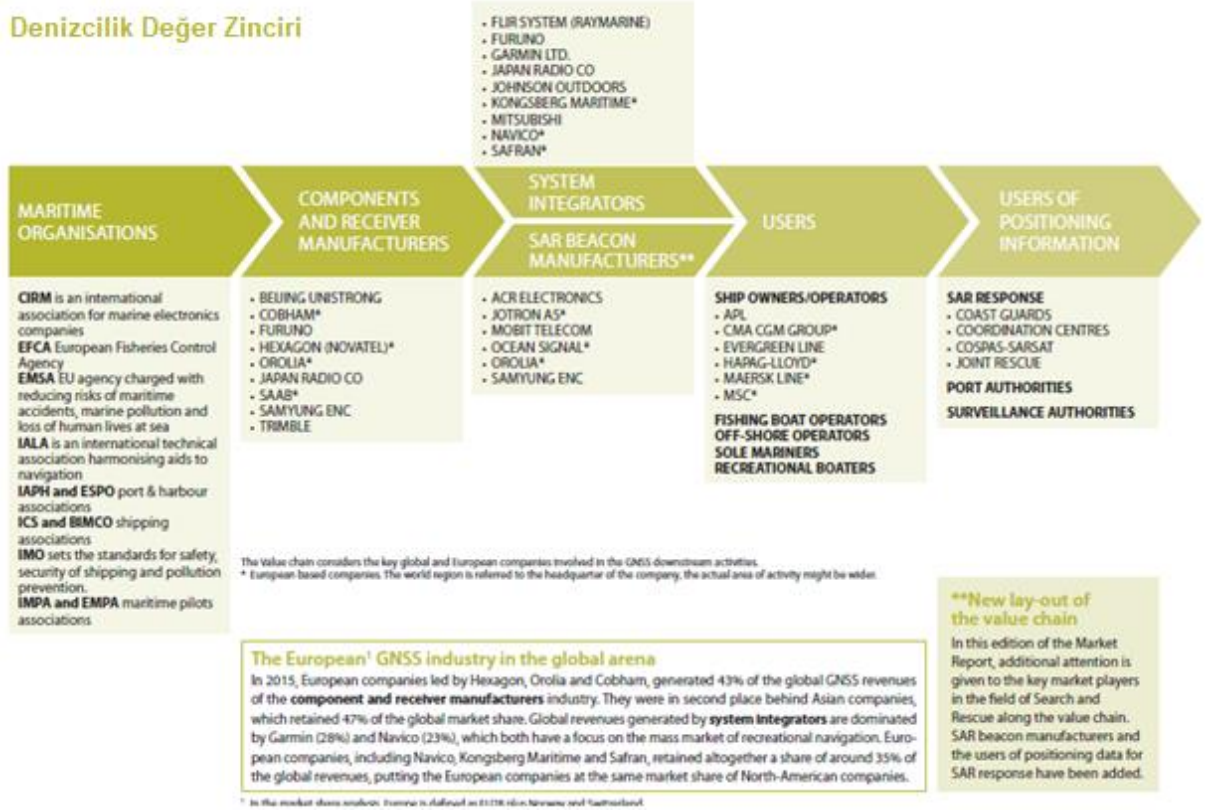
yararlanmaktadır. Nehir, kanal, göl gibi iç su yollarında ise uydu tabanlı konumlama navigasyon güvenliğinin sağlanmasında kullanılır.

Denizcilik sektöründeki konumlama uygulamaları daha çok; trafik gözetimi ve yönetimi, arama ve kurtarma, balıkçı gemilerinin kontrolü, liman operasyonları ve denizcilik mühendisliğinden oluşmaktadır. Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) ve Uzak Mesafe Tanımlama ve İzleme (LRIT) dahil olmak üzere deniz trafiğinin yönetimi ve gözetimi GNSS tabanlı sistemlere dayanmaktadır. Tehlike anında yardımın hızla ulaştırılmasını amaçlayan arama ve kurtarma uygulamalarında uydu tabanlı konum verisi kullanan farklı türde aygıtlar kullanılmaktadır. Cospas-Sarsat programı çerçevesinde, gemiye ve kişiye kayıtlı olan Acil Konum Bildiren Radyo Vericisi (EPIRB) ve Kişisel Konum Vericileri (PLB) çalıştırıldığında kurtarma operasyonu için gerekli bilgileri uydular aracılığıyla yetkililere göndermektedir. AIS Arama ve Kurtarma Aktarıcıları (AIS-SART) ve AIS Denize Düşen Kişi (AIS-MOB) aygıtları ise çalıştırıldığında tanımlama numarası ile birlikte GNSS tabanlı konumunu içeren bir uyarı mesajını Çok Yüksek Frekans (VHF) üzerinden devamlı olarak yayınlar ve kapsama alanındaki AIS donanımlı gemilerde alarmı tetikler. Balıkçı gemilerinin kontrolünde ise uydu tabanlı konumlama verisi kullanan gemi izleme sistemleri, gemilerin uluslararası ve yabancı sular ile korunan alanlarda ne kadar süre geçirdiğini kontrol edebilmektedir. Liman operasyonlarında GNSS tabanlı teknolojiler kullanılarak ulaştırma sürecindeki gelişim, geminin limana yanaşma durumu ile yükleme ve boşaltma süreçleri izlenebilmektedir. Denizcilik mühendisliği uygulamalarında ise uydu tabanlı konumlama verisi, kablo ve boru hattı döşeme gibi deniz inşaa faaliyetlerinin desteklenmesinde kullanılmaktadır.

6.5.1. Denizcilik Değer Zinciri

Denizcilik değer zinciri sırasıyla; denizcilik organizasyonları, bileşen ve alıcı üreticileri, sistem entegratörleri ve arama kurtarma (SAR) vericisi imalatçıları, kullanıcılar ile konumlama bilgisi kullanıcılarından oluşmaktadır. Şekil 86'daki, denizcilik değer zincirinde yer alan başlıca aktörler verilmiştir.

Şekil 86. Denizcilik değer zinciri

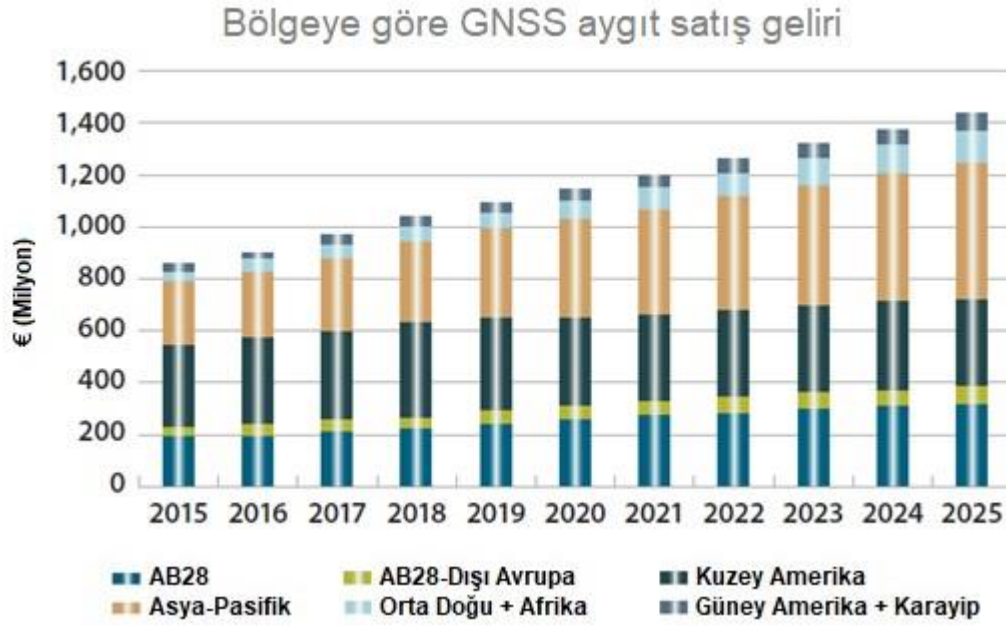


Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 61)

6.5.2. Denizcilik Pazarı

Şekil 87'deki grafikte denizcilik sektöründe kullanılan GNSS aygıtlarının son yıllardaki satışından elde edilen gelirler ve gelecekteki gelir öngörülleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla gelir sırasıyla Kuzey Amerika, Asya-Pasifik ve Avrupa bölgelerinden elde edilmektedir. 2016 yılında Kuzey Amerika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelir 300 milyon eurodan fazladır. Türkiye' nin de dahil olduğu Ortadoğu ve Afrika bölgesinden elde edilen gelir ise yaklaşık 50 milyon euro kadardır. Gelecek yıllarda, denizcilik sektöründe GNSS kullanımının ve dolayısıyla aygıt satışından elde edilen gelirlerin artması beklenmektedir. Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki satışlardan elde edilen gelirlerin 2025 yılı civarında yaklaşık olarak 140 milyon euroyu bulması öngörülmektedir.

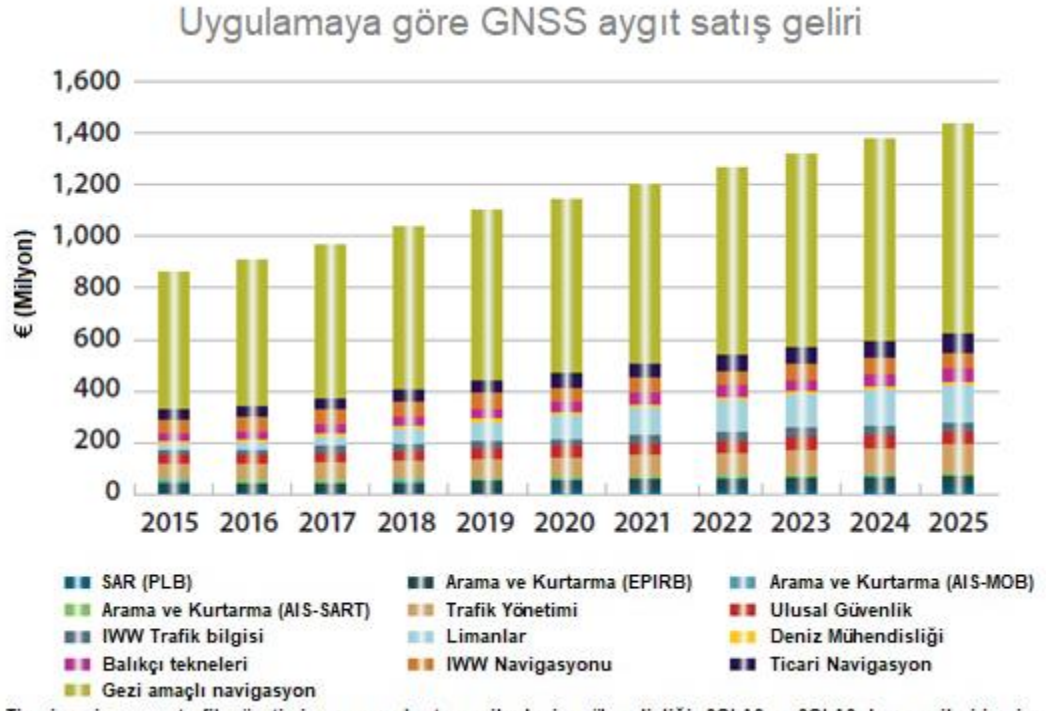
Şekil 87. Denizcilik gelirlerinin bölgesel dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 65)

Denizcilik sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelirler Şekil 88'deki grafikte gösterilmiştir. Grafik, denizcilik sektöründen sağlanan gelirlerin uygulamalara göre dağılımı hakkında da bilgi vermektedir. Denizcilik alanında en fazla gelir görüldüğü gibi gezi amaçlı navigasyon uygulamalarından elde edilmektedir. Sağlanan gelir değerleri birbirine oldukça yakın olan trafik yönetimi ve iç su yolları navigasyon uygulamaları ikinci sırayı paylaşmaktadır. Üçüncü sırada yine gelir değerleri birbirine oldukça yakın olan kişisel arama ve kurtarma konum vericisi (PLB) satışları ile ulusal güvenlik uygulamaları bulunmaktadır. 2016 yılında gezi amaçlı navigasyon uygulamalarından elde edilen gelir 550 milyon euroya yakındır. Trafik yönetimi ve iç su yolları navigasyon uygulamalarından ayrı ayrı 60 milyon euro civarında gelir elde edilmiştir. Kişisel arama ve kurtarma konum vericisi (PLB) satışları ile ulusal güvenlik uygulamalarından sağlanan gelirler ise her biri için yaklaşık 40 milyon euro civarındadır. İlerleyen yıllarda gelirlerdeki en büyük oransal artışın liman uygulamaları alanında gerçekleşmesi beklenmektedir. Denizcilik sektöründeki GNSS cihazı satışlarından elde edilen gelir 2016 yılında 900 milyon eurodan fazla iken bu rakamın 2025 yılında 1.4 milyar euroyu geçeceği öngörülmektedir.

Şekil 88. Denizcilik gelirlerinin aygıt ve hizmet türüne göre dağılımı



Kaynak: (European GNSS Agency, 2017, s. 65)

7. TÜRKİYE’NİN MEVCUT DURUMU

7.1. Teknolojik Altyapı

Türkiye, uzay teknolojileri alanında nispeten kısa bir tarihi geçmişe sahiptir. Türkiye’nin uydu teknolojileri alanındaki çalışmaları, 1979 yılında, Türkiye’de ilk yer istasyonu AKA-1’in hizmete girmesiyle başlamıştır. İlk haberleşme uydumuz TÜRKSAT-1A, 1994 yılında, fırlatma sırasında roket arızası nedeniyle okyanusa düşmüştür. TÜRKSAT-1B, 1994 yılında yörüngeye yerleştirilerek Türkiye’nin ilk aktif haberleşme uydusu olmuştur (KUYUCU, 2015, s. 91). Bunu 1996 yılında TÜRKSAT-1C, 2001 yılında TÜRKSAT-2A, 2003 yılında TÜRKSAT-3A, 2014 yılında TÜRKSAT-4A ve 2015 yılında TÜRKSAT-4B uyduları izlemiştir. Söz konusu haberleşme uydularının tamamı, yurtdışından hazır alım yoluyla tedarik edilmiştir. Bakanlığımızın katkılarıyla başlatılan, ilk yerli üretim haberleşme uydumuz olması planlanan TÜRKSAT 6A’nın geliştirme çalışmaları ve yurtdışından sipariş edilen TÜRKSAT 5A ve 5B’nin üretimi devam etmektedir.

Türkiye’nin ilk uzaktan algılama uydusu BİLSAT, TÜBİTAK’ta başlatılan Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilmiş ve 2003 yılında uzaya fırlatılmıştır. Bu uyduda, Türkiye’de tasarlanarak üretilen ÇOBAN ve GEZGİN adında iki görev yükü kullanılmıştır (ÖZALP, 2009, s. 232). Sonraki uzaktan algılama uydularımızdan RASAT 2011 yılında, GÖKTÜRK-2 2012 yılında yörüngeye yerleştirilmiştir. Her iki uydu da Türkiye’de geliştirilmiştir. RASAT, ülkemizin ilk yerli uzaktan algılama uydusudur. Yurtdışından hazır alım yoluyla tedarik edilen GÖKTÜRK-1 ise 2016 yılında fırlatılmıştır. İlerleyen yıllarda GÖKTÜRK-3 adında yeni bir uzaktan algılama uydusunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürmektedir.

Ülkemizin tam kapsamlı ilk ve tek Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test Merkezinin (USET) inşası, GÖKTÜRK-1 Programı kapsamında Bakanlığımızın büyük katkıları ile tamamlanmış ve 2015 yılında hizmete alınmıştır. Yatırım maliyetleri Savunma Sanayii Müsteşarlığı ve Bakanlığımıza bağlı TÜRKSAT A.Ş. tarafından karşılanan tesis, TUSAŞ tarafından

işletilmektedir. Temiz oda ve yer destek ekipmanlarına sahip olan bu merkezde; kütlesi 5 tona kadar olan birden fazla uydunun aynı anda montaj, entegrasyon ve test faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir. Ankara'da TUSAş tesislerinde bulunan USET; yer gözlem, haberleşme ve benzeri özelliklerdeki tüm uzay sistemlerinin, fırlatılmaya hazır hale gelene kadar, yapılması gereken çevresel test süreçlerine hizmet verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Üretimi TUSAş'ta gerçekleştirilen ilk yerli haberleşme uydumuz TÜRKSAT 6A'nın geliştirme çalışmalarında USET'teki altyapıdan yararlanılmaktadır. Bu altyapıdan konumlama uydularının üretim süreçlerinde yararlanılması da mümkün olacaktır.

1 Kasım 2011 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanan “Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında 655 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname” ile Bakanlığımızın hizmet birimi şeklinde Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü (HUTGM) kurulmuş; 2012 yılında fiilen faaliyete başlamıştır. Aynı KHK'nın 14. Maddesinin (1) numaralı fıkrasının d) bendine göre, “Uydu ve hava araçları tasarım ve test merkezleri, uydu, fırlatma araç ve sistemleri, hava araçları, simülatörler, uzay platformları dahil havacılık sanayi, uzay teknolojileri ve uzayla ilgili her türlü ürün, teknoloji, sistem, araç ve gereçleri yapmak, yaptırmak, kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettirmek, geliştirmek ile bunların yurtiçinde tasarımı, üretimi, entegrasyonu ve gerekli testlerinin yapılmasını sağlamak amacıyla plan, proje ve çalışmalar yapmak, bu amacın gerçekleşmesini uygun teşviklerle desteklemek, bu teşviklere ilişkin usul ve esasları belirlemek, bu hususlarda ilgili ticari, sanayi ve eğitim kuruluşları ile kamu kurum ve kuruluşları arasında gerekli işbirliği ve koordinasyonu sağlamak” Genel Müdürlüğümüzün görevleri arasında yer almaktadır. HUTGM, bu maddeye dayanarak, UBAKUSAT deneysel küp uydusunun geliştirilmesini ve fırlatılmasını sağlamış, AB destekli BEYOND projesi kapsamında Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sisteminin (EGNSS) Türkiye'de kullanımı için fizibilite çalışması gerçekleştirmiş; işbirliğinin geliştirilmesi için Japonya ve Almanya ile çalıştaylar düzenlemiş; Uluslararası Uzay İstasyonunda malzeme deneyi yapılmasını koordine etmiştir. Genel müdürlüğümüz halen TÜRKSAT 6A projesine gözlemci olarak katkı sağlamaya devam etmektedir.

Türkiye, küp uydular konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi - Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarında (İTÜ-USTTL) başlatılan ve sürdürülen ciddi bir deneyim ve altyapıya sahiptir. İTÜ’de geliştirilen Türkiye’nin ilk küp uydusu ITUpSAT1, 1 birimlik (10 cm x 10 cm x 10 cm) boyutlara sahiptir ve 2009 yılında fırlatılmıştır. Devamında; 2013 yılında 3 birimlik (10 cm x 10 cm x 30 cm) TÜRKSAT 3USAT, 2017 yılında 2 birimlik (10 cm x 10 cm x 20 cm) BeEagleSat ve HAVELSAT, 2018 yılında da Bakanlığımızın desteğiyle 3 birimlik (10 cm x 10 cm x 30 cm) UBAKUSAT uzaya gönderilmiştir (ASLAN, 2018, s. 14). Genel Müdürlüğümüzün, Bakanlığımız adına JAXA ile imzalamış olduğu anlaşma sayesinde UBAKUSAT’ın Uluslararası Uzay İstasyonuna fırlatımı ve buradan yörüngeye yerleştirilmesi bedelsiz olarak gerçekleştirilmiştir. Üzerinde yüksek çözünürlüklü bir kamera taşıyacak olan ASELSAT’ın 2019 yılında fırlatılması planlanmaktadır (ASLAN, YANARTAS OZYILDIRIM, & et.al., First High Resolution High Speed CubeSat of Turkey, 2017). PİRİREİS projesi kapsamında üzerinde S bant aktarıcı bulunan 6 birimlik (10 cm x 20 cm x 30 cm) AIS uydusu ve LAGARİ projesi kapsamında yüksek çözünürlüklü kamera taşıyan bir mikro uydu geliştirme çalışmaları devam etmektedir (ASLAN, 2018, s. 67-68).

Ülkemizde, navigasyon uyduları ve navigasyon teknolojileri alanında çok kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Kendine ait bir uydu tabanlı konumlama sistemi bulunmayan Türkiye, 2011 yılında “Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA) – Aktif” adını taşıyan kendi Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (CORS) ağını hizmete almıştır. TUSAGA-Aktif sistemi, Türkiye ve KKTC üzerine dağıtılmış 146 adet sabit GNSS istasyonu ile 2 adet kontrol merkezinden oluşmaktadır (BAKICI, ERKEK, İLBAY, & KULAKSIZ, 2017, s. 109). GNSS tabanlı bir yerel destek sistemi olan TUSAGA-Aktif ile üyeliği bulunan abonelere ücret karşılığında Diferansiyel GPS (DGPS) ve Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) konum belirleme hizmeti verilmektedir. TUSAGA-Aktif istasyonlarında GPS, GLONASS ve Galileo destekli GNSS alıcıları bulunur. Bu istasyonlardan alınan verilerle, kontrol merkezlerinde atmosferik gecikme ve hassas düzeltme parametreleri hesaplanarak internet ağı üzerinden abonelere dağıtılır. TUSAGA-Aktif sistemi; tek frekanslı alıcıların metre altı doğrulukla, çift frekanslı alıcıların ise 1-13 santimetre doğrulukla konum belirlemesine olanak tanır (Harita Genel Komutanlığı, t.y.). TUSAGA-Aktif, bir konum belirleme sistemi değildir.

Doğrudan konumlama hizmeti vermez. Uydulardan ve GNSS kullanıcılarından aldığı konumlama verilerini işleyerek konum belirleme doğruluğunun artırılmasını sağlar.

Ülkemiz adına bugüne kadar yörüngeye 6 iletişim uydusu, 4 yer gözlem uydusu ve 5 küp uydu gönderilmiştir. Haberleşme uydularımızdan üçü (TÜRKSAT 3A, 4A ve 4B), yer gözlem uydularımızdan üçü (RASAT, GÖKTÜRK - 1 ve GÖKTÜRK - 2), küp uydularımızdan ITUpSAT 1, BeEagleSAT, HAVELSAT ve UBAKUSAT olmak üzere toplamda 10 uydumuz aktif durumdadır. Uydu üretim, entegrasyon ve test altyapısına sahip olan ülkemiz; yurtiçinde uzaktan algılama uydusu ve deneysel küp uydu geliştirerek üretebilmektedir (ASLAN, 2018). İlk yerli haberleşme uydumuz TÜRKSAT 6A'nın üretim çalışmaları devam etmektedir. Ülkemizin henüz konumlama uydusu geliştirilmesine yönelik başlamış bir projesi bulunmamaktadır.

Öte yandan; ülkemizin uydu tabanlı konumlama altyapısının geliştirilmesi ve bilgi birikiminin artırılması amacıyla Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü (HUTGM) tarafından gerçekleştirilen bazı uluslararası işbirliği çalışmaları mevcuttur. Genel Müdürlüğümüz, AB tarafından sağlanan HORIZON 2020 destek programı kapsamında, kısaca BEYOND olarak adlandırılan projeye Türkiye adına katılım sağlamıştır. Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sisteminin (EGNSS = Galileo + EGNOS) kapasitesini geliştirmeyi amaçlayan söz konusu proje kapsamında, AB'ye ait uydu tabanlı destek sistemi EGNOS'un kapsama alanının ve uygulamalarının Doğu Avrupa ve Akdeniz ülkelerine genişletilmesine yönelik bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Proje 2017 yılında tamamlanmıştır. Halihazırda; Türkiye'de, TÜRKSAT'ın Gölbaşı tesislerinde, bir adet EGNOS istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyon sayesinde Türkiye'nin batısı EGNOS kapsama alanına girdiğinden, bu bölgelerde Galileo'nun konumlama doğruluğu artırılabilir. Türkiye'nin tamamının kapsanabilmesi için doğu sınırlarımıza ya da Azerbaycan'a ek istasyon kurulması gerekmektedir. Yerli sistemde destek unsuru olarak bu altyapıdan yararlanılması olasılık dahilindedir. Ayrıca HUTGM, Japonya ile birlikte periyodik olarak uzay alanında işbirliği çalışmaları düzenlemektedir. Bu çalıştaylarda, Japonya'nın bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi, QZSS, hakkında bilgi alınmakta; yapılabilecek olası işbirlikleri hakkında görüş alışverişinde bulunulmaktadır.

7.2. Türkiye'nin Uydu Tabanlı Konumlama İhtiyacı

Tarihsel süreçte uydu tabanlı konumlama sistemlerinin geliştirilmesini sağlayan birincil kullanıcılar, askeri kullanıcılarıdır. Bu açıdan kurulacak sistemin planlanmasında, askeri kullanıcıların ve askeri tedarik makamlarının bakış açısı önemlidir. TUSAGA-Aktif GNSS tabanlı yerel konumlama destek sistemi, sahip olduğu santimetre düzeyindeki doğruluk ile Türk Silahlı Kuvvetlerinin Türkiye ve yakın çevresindeki ihtiyaçlarını fazlasıyla karşılamaktadır. Bu nedenle askeri tedarik makamları, bir uydu tabanlı konumlama sistemi inşa etmenin yüksek maliyetli ve gereksiz olduğunu düşünmekte; yer tabanlı bir konumlama sistemine daha sıcak bakmaktadır. Bu kanaatin oluşmasında muhtemelen Türk Silahlı Kuvvetlerinin kara kuvvetleri ağırlıklı bir yapıya sahip olması da etkilidir. Oysa uydu tabanlı konumlama sistemleri, donanma ve hava kuvvetlerinin konumlama ihtiyacı sayesinde ortaya çıkmıştır. TUSAGA-Aktif; Türkiye ve KKTC'yi kapsayan yerel bir destek sistemidir. GPS, GLONASS ve Galileo'ya bağımlı olan sistem, yerel düzeyde konum belirleme hassasiyetinin artırılmasını sağlar. Türk Silahlı Kuvvetleri kara unsurlarının Katar ve Sudan' daki üslerinde bu olanaktan yararlanması mümkün değildir. Aynı durum Afrika açıklarındaki bir savaş gemimiz ve uçağımız için de geçerlidir. Başka uydu tabanlı konumlama sistemlerine bağımlı kalınması, deniz ve hava kuvvetlerinin bölgesel manevra kabiliyetini ciddi anlamda kısıtlamaktadır. Ülkemizin günümüzde Çok Maksatlı Amfibi Hücum Gemisi üreterek etki alanını genişletmeye çalıştığı düşünülecek olursa, bağımsız uydu tabanlı bir konumlama sistemimizin olmaması ilerleyen dönemde Türk Silahlı Kuvvetlerinin bölgesel kabiliyetleri açısından bir dezavantaj yaratacaktır.

Uydu tabanlı konumlama sistemi kuran her ülke ya da ülkeler topluluğunun öncelikli hizmet alanı kendi topraklarıdır. Söz konusu sistemler küresel kapsamaya sahip olsalar dahi, sistem sağlayıcısı devletler uydu tabanlı destek sistemleri ya da yerel referans istasyonları ağı kurarak kendi toprakları üzerindeki uydu tabanlı konumlama hassasiyetini artırmaktadır. Bir uydu tabanlı konumlama sistemi kurmamız halinde, sistemin birincil hizmet alanı benzer şekilde Türkiye olacaktır. Türkiye üzerindeki konum belirleme hassasiyetinin iyileştirilmesi için sıfırdan ağ kurulumuna gerek yoktur. Mevcut TUSAGA-Aktif referans istasyonları ağının altapısından, güncelleme yapılarak yararlanılabilir. Türkiye'nin TUSAGA-Aktif gibi bir konumlama destek sistemine sahip olması, uydu tabanlı konumlama sisteminin

kurulumunu gereksiz kılmaz. Aksine, Türkiye üzerindeki konum belirleme hassasiyetini etkin biçimde artıracığı için avantaj sağlar.

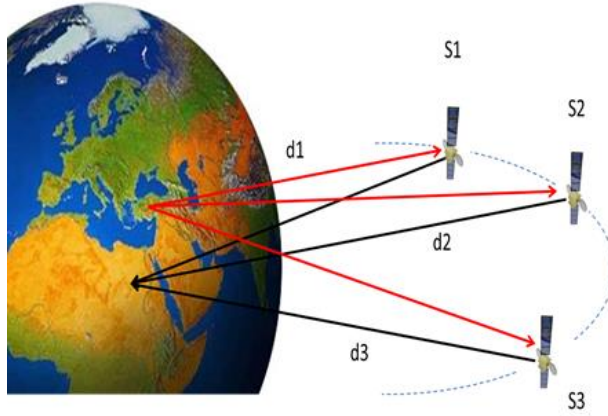
Kurulması hedeflenen bir konumlama sisteminin küresel ya da bölgesel olmasını belirleyen en önemli etkenler, sistem kurulumu için yapılacak harcama tutarının büyüklüğü ve sağlanacak faydaya değip değmeyeceğidir. Günümüzde bir konumlama uydusunun üretim ve fırlatma maliyeti, üretici ve fırlatıcı bazında farklılık göstermekle birlikte ortalama 300 milyon dolar civarındadır. Bu rakamın yaklaşık 100 milyonu fırlatma, geriye kalan 200 milyonu ise uydu üretim masrafıdır. 300 milyon dolarlık birim uydu fiyatı, 24 uydudan oluşan bir küresel sistemin kurulumu için en az 7,2 milyar dolar gerektiği anlamına gelir. Diğer yandan bir bölgesel konumlama sistemi, 8 uydudan oluşması durumunda yaklaşık 2,4 milyar dolara mal olacaktır. Sadece sistem kurulum tutarını içeren bu rakamlara hizmet devamlılığının sağlanması amacıyla fırlatılacak ek uydular dahil değildir. Mevcut GNSS örneklerinden de görüldüğü gibi küresel bir sistemin kurulması, sağlayıcıya maddi açıdan büyük bir finansal yük getirmektedir. Fayda maliyet eksenli düşünülecek olursa; küresel bir sistemden ziyade bölgesel bir uydu tabanlı konumlama sisteminin kurulması, Türkiye için hem kurulum maliyetinin azaltılması hem de bölgesel konumlama ihtiyacının karşılanması açısından daha verimli olacaktır. Kurulacak olan bölgesel konumlama sistemi, mümkün olan en az sayıda uydu ile mümkün oldukça geniş bir alana hassas konumlama hizmeti vermelidir. Bu nedenle, sistemde Türkiye'yi sürekli görececek IGSO ve GEO uydular kullanılmalıdır.

7.3. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de son yıllarda, bölgesel bir uydu tabanlı konumlama sistemi kurulmasına yönelik bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. TÜRK SAT, kendi işlettiği haberleşme uyduları üzerinden konumlama hizmeti verilmesine yönelik bir benzetim çalışması yapmıştır. Benzetimde 31 derece doğu, 42 derece doğu ve 50 derece doğu boylamlarına yerleştirilmiş 3 uydudan oluşan bir bölgesel konumlama sistemi kullanılmıştır (TURKSAT, 2017, s. 6). Elde edilen sonuçlara göre, yatayda elde edilen konum belirleme doğruluğu 80-120 metredir. Sisteme bir uydu daha eklenmesi durumunda hassasiyetin 1 metreye kadar düşeceği ifade edilmektedir (TURKSAT, 2017, s. 11). Bir uydu üzerinde sinyal çakışma testi gerçekleştiren TÜRK SAT, yer segmenti kurulum çalışmasını tamamlayarak 2 ve 3 uydulu testlere başlamayı planlamaktadır. Konum

belirleme doğruluğunun bu denli az olmasının temel nedeni, tasarlanan sistemde 3 uydu kullanılmasıdır. Ayrıca, uyduların geometrik diziliminden kaynaklı Hassasiyet Azalma (DOP) hatası dikkate alınmamıştır.

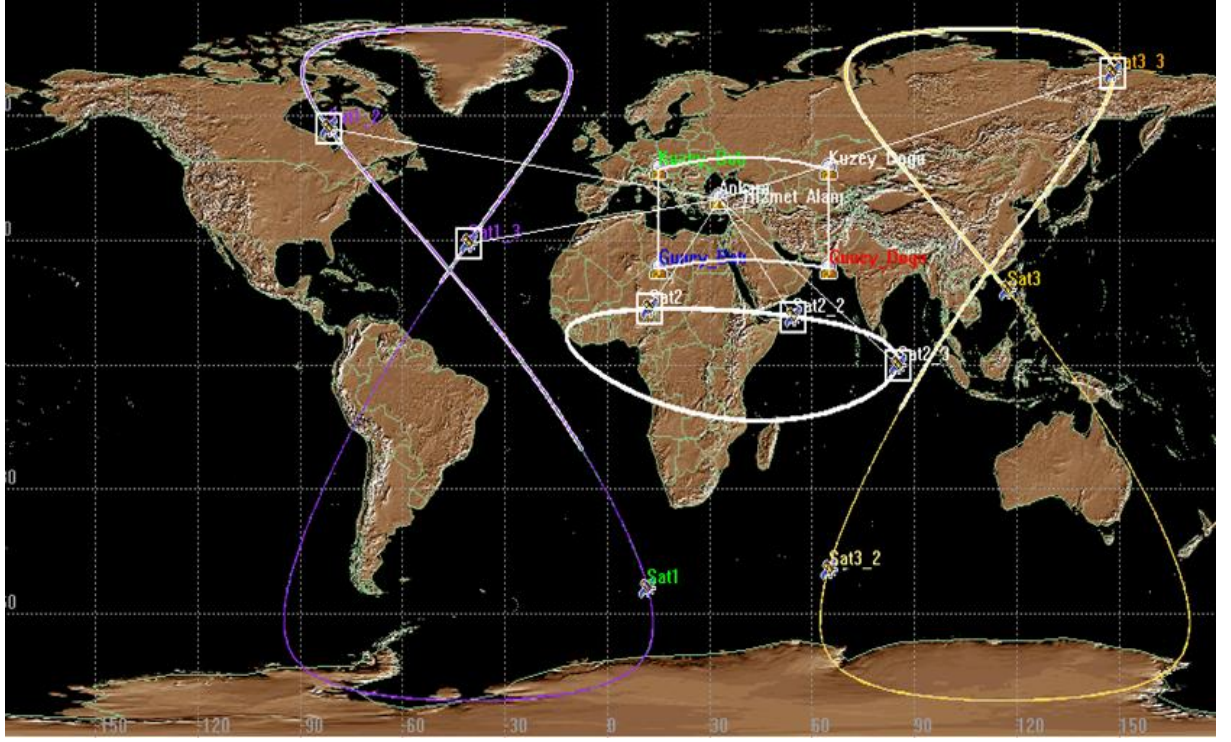
Şekil 89. TÜRKSAT bölgesel konumlama sistemi



Kaynak: (TURKSAT, 2017, s. 6)

Ülkemizde uydu tabanlı konumlama sistemleri konusunda çalışma yürüten bir diğer kurum ise TUSAŞ - Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.'dir (TAI, 2017). TUSAŞ, bir bölgesel konumlama sistemi uydu takımının ön kavramsal tasarımını yapmıştır. Tasarlanan sistemin öncelikli hizmet alanı, Türkiye ve yakın çevresindeki ülkelerdir. 9 IGSO uydudan oluşan uydu takımı üçerli gruplara ayrılmıştır. Yüksek yörünge eğiklik açısına sahip uydulardan üçü Türkiye'nin yaklaşık 100 derece boylam batısında, diğer üçü ise yaklaşık 100 derece boylam doğusunda "8" şeklinde yer izi çizmektedir. Geriye kalan üç uydu ise, bu iki yer izinin ortasında evkatora yakın bölgede düşük yörünge eğiklik açısı ile dönmektedir.

Şekil 90. TUSAŞ bölgesel konumlama sistemi



Kaynak: (TAI, 2017, s. 34)

8. TESPİT VE ÖNERİLER

8.1. Konumlama Sistemi Tercihi ve Getirisi

Sahip olunan altyapı, sistem alternatifleri ve kurulum için gereken yatırım tutarı dikkate alındığında; Türkiye'nin GEO ve IGSO uydulardan oluşan bir bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi kurmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Kurulması muhtemel Türkiye merkezli bölgesel konumlama sistemi; Avrupa ve Afrika'nın büyük bir kısmını, Orta Doğu'nun tamamını ve Orta Asya'nın batısını kapsayacaktır. Söz konusu kapsama alanının genişliği ve sınırları tasarlanacak sisteme göre değişiklik gösterir. Avrupa ve Rusya'nın kendi uydu tabanlı konumlama sistemlerinin olduğu ve Asya'nın büyük bir bölümünün kapsama alanı dışında kalacağı göz önüne alındığında; Türkiye'nin kuracağı bölgesel konumlama sisteminin hedefleyeceği öncelikli pazarın Türkiye, Orta Doğu ve Afrika olacağı görülmektedir. Henüz bu bölgeyi kapsayan bir bölgesel konumlama sistemi bulunmamaktadır. Kurulacak sistem bu pazarda GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou'dan oluşan 4 farklı küresel konumlama sistemi ile rekabet edecektir. 2016 yılındaki GNSS gelir pastasından Türkiye'nin de içinde bulunduğu Orta Doğu ve Afrika bölgesinin aldığı pay yaklaşık 7 milyar eurodur. 2025 yılında bu rakamın 16 milyar euroyu aşması beklenmektedir. Türkiye; kuracağı bölgesel konumlama sistemi ile Orta Doğu ve Afrika pazarından %10'luk pay almayı başarabilirse, 2025 yılı öngörüsüne göre yılda 1,6 milyar euro gelir elde edebilir. Bu tutar, 8 uydudan oluşan bir bölgesel konumlama sisteminin maliyetini 2 yıl içerisinde karşılar. Günümüzdeki konumlama uydularının görev ömrünün 15 yıl olduğu dikkate alınır, sistemin sonraki 13 yıl boyunca kar getireceği ortadadır. Pastadan daha fazla pay alınması durumunda, kar oranı artar. Sistemi oluşturan uydu sayısı ve uydu başına düşen maliyet azaltılabilirse, kurulum maliyetinin karşılanma süresi kısalmır. Yaratacağı pazar büyüklüğü ve ülkemize kazandıracakları göz önüne alındığında, bölgesel konumlama sistemi oldukça karlı bir yatırımdır.

8.2. Bölgesel Konumlama Sisteminin Kurulumuna İlişkin Zamanlama

Bölgesel konumlama sisteminin yapılabilirliği ve verimliliği ile ilgili kritik olan husus, sistemin ne zaman kurulmasının daha uygun olacağıdır. Ülkemizin yürütmekte olduğu uydu programları dikkate alındığında; 2025 yılına kadar olan sürenin kısa vade, 2025 yılından 2035 yılına kadar olan sürenin orta vade, 2035 yılından sonraki dönemin ise uzun vade olarak tanımlanması mümkündür. Bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi; kısa vadede çok pahalı, uzun vadede vazgeçilemez, orta vadede ise gerekli bir programdır.

Bölgesel konumlama sisteminin kısa vadede (2025 yılına kadar) mantıklı olmamasının birkaç nedeni vardır. Sistem kısa vadede kurulmak istenirse, henüz konumlama uydusu üretme kabiliyetimiz olmadığından uyduların tamamı yurtdışından tedarik edilecektir. Bu da, oldukça yüklü bir meblağın doğrudan yurtdışına gitmesi anlamına gelir. Harcanan tutar, yabancı bir şirketin finanse edilmesini sağlar. Uydular için ödenecek paranın önemli bir bölümü yurtiçinde tutulabilirse, Türkiye'deki uydu üretim sektörünün gelişimi desteklenmiş olur. Bu nedenle hazır alım yöntemi, konumlama sisteminde kullanılacak uydular için öncelikli bir tercih olmamalıdır. Ayrıca; küresel kapsamaya sahip GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou sistemleri günümüz konumlama ihtiyacının karşılanmasında aktif olarak kullanılmaktadır. Bunlardan GPS ve GLONASS tam kapasite ile hizmet verirken, Galileo ve BeiDou sistemlerine ait uydu takımlarının 2020 civarında tamamlanması beklenmektedir. Birbirine alternatif 4 konumlama sisteminin olması, hizmet devamlılığı açısından bir avantaj sağlamaktadır. Türkiye, kendi bölgesel konumlama sistemini kurana kadar bu sistemlerden faydalanabilir. Bu sebeplerle, bölgesel konumlama sisteminin kısa vadede kurulması mantıklı değildir. Ancak bu durum, konumlama sistemi ve kullanıcı ekipmanları konusunda yabancı sistemlere bağımlı olduğumuz ve onlara para kazandırdığımız gerçeğini değiştirmez.

Sistemin uzun vadede (2035 yılından sonra) vazgeçilemez olması doğrudan ülkenin fırlatma ve uzay programı ile ilişkilidir. Türkiye, henüz fırlatma kapasitesine sahip olmadığı için uyduların yörüngeye yerleştirilmesi konusunda yurtdışına bağımlı durumdadır. Kısa ve orta vadede, yer-eşzamanlı yörüngeye görev yükü taşıyabilecek bir fırlatma sisteminin geliştirilmesi mümkün değildir. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde hizmetin devamlılığı esastır. Günümüzde uydu ömürlerinin 15 yıl olduğu dikkate alınırsa, sistemi oluşturan

uyduların her 15 yılda bir kademeli olarak yenilenmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle; bölgesel konumlama sistemi, devamlılığı olan büyük bir projedir. Hem kurulacak uzay ajansının ana programlarından biri olacak; hem de fırlatma programının sürdürülebilirliğini sağlayacaktır. Fırlatma programının verimliliği, bu gibi uydu programlarına doğrudan bağlıdır. Sistem, uzun vadede uzay programının devamlılığını sağlayacağı için olmazsa olmazdır. Bu durum, fırlatma programı ile konumlama programının paralel gitmesi gerektiği anlamına gelmez.

Orta vade (2025 yılından 2035 yılına kadar) bir geçiş sürecidir. Uydu üretim kabiliyetimiz görece daha önden gittiğinden, sektörün gelişimi için konumlama uydularının yerli olanaklarla üretimi desteklenebilir. Sisteme ait birinci nesil konumlama uyduları, yutdışından alınacak fırlatma hizmeti ile yörüngeye yerleştirilebilir. Uyduların 15 yıllık görev ömrü zarfında fırlatma teknolojisinin geliştirilmesi, oldukça makul bir yaklaşımdır. Tüm bunlara ek olarak; sistemin yaratacağı pazar büyüklüğü ve sağlayacağı getiri, konumlama programını oldukça mantıklı bir yatırım haline getirmektedir. Bu nedenlere dayanarak, orta vadede bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi kurulmasının bir gereklilik olduğu değerlendirilmektedir.

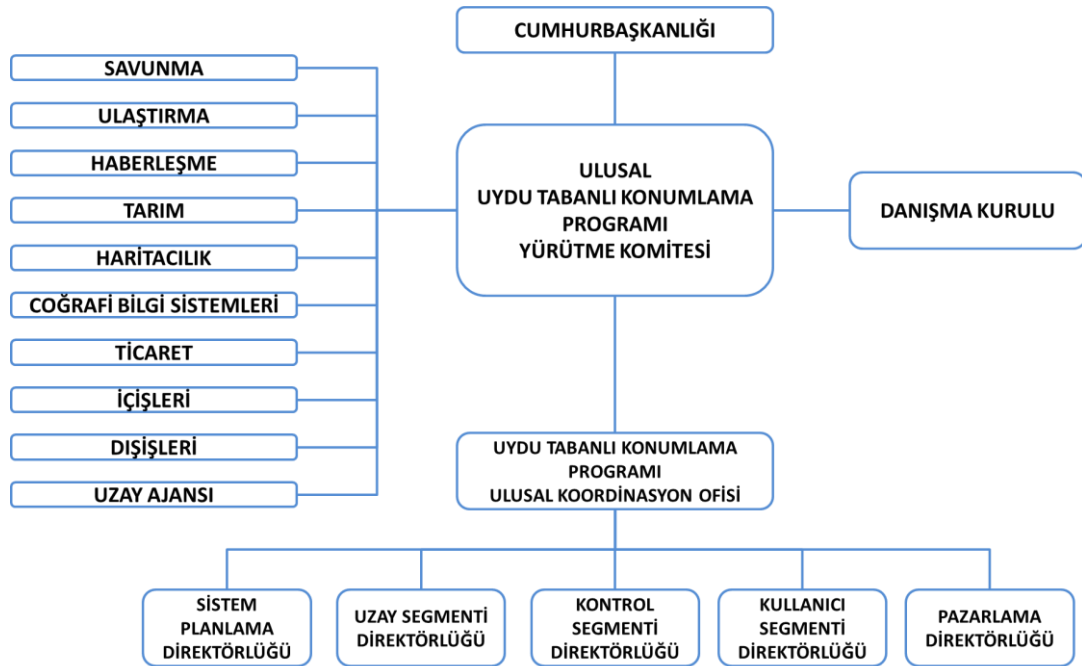
Özetle, orta ve uzun vadede bir bölgesel konumlama sisteminin kurulması ülkemizin stratejik ve ekonomik çıkarları açısından önem arz etmektedir. Ancak; uydu tabanlı konumlama programının ve programa hazırlık aşamasının düzen içerisinde yönetilebilmesi için öncelikli olarak bir planlama yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda Bakanlığımız, askeri tedarik makamları ve ilgili sivil kurumlarla koordinasyon içerisinde konumlama programı yol haritası oluşturabilir.

8.3. Bölgesel Konumlama Sisteminin Yönetsel Yapısı

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde sunulan hizmetin devamlılığı esastır. Sistemin planlanması, işletilmesi, geliştirilmesi, sürekliliğin sağlanması, kullanıcı ekipmanlarının geliştirilmesi ve pazarlanması gerekir. Türkiye'nin kuracağı bölgesel konumlama sistemi, bunun için bir yönetsel yapıya ihtiyaç duyacaktır. Bu kapsamda; GPS, GLONASS, Galileo ve QZSS'nin organizasyon yapıları incelenmiş; bu örneklerden yararlanarak bir yönetim modeli önerisi hazırlanmıştır. Söz konusu model, Şekil 91'de verilmiştir.

Önerilen yapıda; sistemin yönetiminden, Cumhurbaşkanlığı'na doğrudan bağlı olan “Ulusal Uydu Tabanlı Konumlama Programı Yürütme Komitesi” sorumludur. Sistemle ilgili tüm kararların bu komite tarafından alınması öngörülmektedir. Yürütme Komitesinde, konumlama sistemi ile bağlantılı tüm kamu kurum ve kuruluşlarının yanı sıra özel sektörün de temsil edilmesi planlanmaktadır. Komiteye; başta Savunma, Ulaştırma ve Haberleşme olmak üzere Tarım, Haritacılık, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Ticaret, İçişleri ve Dışişlerinden sorumlu bakanlıklar, kurum ve kuruluşlar ile Uzay Ajansı'nın katılmasının yerinde olacağı değerlendirilmektedir. Komite'nin bir diğer önemli bileşeni, akademisyen ve özel sektör temsilcilerinden oluşması planlanan Danışma Kurulu'dur. Kamu kurum ve kuruluşlarının gönderdiği temsilciler gibi Danışma Kurulu üyelerinin de komitede temsil edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Savunma, Ulaştırma ve Haberleşme'den sorumlu temsilcilerin komitede ağırlıklı olması ve Yürütme Komitesi başkanlığının bu temsilciler tarafından yapılması sağlanabilir.

Şekil 91. Bölgesel Konumlama Sistemi Yönetsel Yapısı



Önerilen yönetsel yapıya göre, Komite’de alınan kararların doğrudan Cumhurbaşkanı’nın onayına sunulması planlanmaktadır. Onaylanan kararların uygulanmasından “Uydu Tabanlı Konumlama Programı Ulusal Koordinasyon Ofisi” sorumludur. Ofis; kamusal bir kurum

olarak düşünülse de, TÜRKSAT A.Ş. benzeri bir kamu şirketi olarak da planlanabilir. Koordinasyon Ofisi de Komitenin katılımcıları arasındadır. Koordinasyon Ofisi'nin Sistem Planlama, Uzay Segmenti, Kontrol Segmenti, Kullanıcı Segmenti ve Pazarlama Direktörlüklerinden oluşmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Önerilen yönetsel yapının ihtiyaç ve tercihe göre geliştirilmesi ya da değiştirilmesi mümkündür. İlgili tüm paydaşları biraraya getiren bu yapı aynı zamanda konumlama programı yol haritasının oluşturulmasını sağlayabilir.

8.4. Uydu Yapısı

İlk yerli haberleşme uydusu üretme çalışmalarına devam eden Türkiye, ilerleyen yıllarda konumlama uydusu geliştirmeye başlayabilecek altyapıya sahiptir. Mevcut konumlama sistemleri incelendiğinde, kullanılan uyduların önemli bir kısmının haberleşme uydusu platformları üzerinden geliştirildiği görülmektedir. Türkiye'nin TÜRKSAT 6A projesi kapsamında geliştirmekte olduğu yerli haberleşme uydusu platformu, yerli konumlama uydularına temel oluşturabilir. Sözleşmesi 2014 yılında imzalanan TÜRKSAT 6A'nın geliştirilmesi ve fırlatılması için 9 yıllık bir süreç öngörülmüştür. Bu örnek ışığında uydu tabanlı konumlama programı 2020 yılında başlatılırsa 2030 yılına kadarki 10 yıllık süre, konumlama uydularının yerli imkanlarla geliştirilmesi ve üretime hazır hale getirilmesi için yeterlidir. Bakanlığımız, yerli konumlama uydularının TÜRKSAT 6A platformu üzerinden geliştirilmesini destekleyebilir. Ayrıca; TUSAŞ'ın küçük GEO uydu projesi (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., 2017) kapsamında geliştirmekte olduğu uydu platformunun, konumlama uydularında kullanıma uygun olması için gerekli girişimlerde bulunabilir. Konumlama uydularının üretim, montaj, entegrasyon ve test süreçlerinde TUSAŞ tesislerinde bulunan USET'ten yararlanılabilir.

Yerli konumlama sistemi için gerekli kritik elemanlar/alt sistemler atomik saatler ve radyo navigasyon görev yükleridir. Bu açıdan atomik saat geliştirme projesi başlatılmasının yerinde olacağı değerlendirilmektedir. Konumlama uydularına ayrıca arama ve kurtarma (SAR) görev yükü eklenebilir. Böylece, sisteme ek özellik kazandırılmış olur ve hizmet kapasitesi geliştirilir. Ancak; bu hizmet de konumlama hizmetinde olduğu gibi sadece bölgesel konumlama sisteminin kapsama alanları içerisinde kullanılabilecektir. Örneğin; Karadeniz,

Akdeniz, Kızıldeniz ve Afrika açıklarındaki gemiler bu olanaktan faydalanabilirken; Pasifikte bulunan gemiler yararlanamayacaktır.

8.5. Haberleşme Uydularının Konumlama Sisteminde Kullanılması

Türkiye'nin halen yörüngede aktif olarak hizmet veren 3 haberleşme uydusu bulunmaktadır. Önümüzdeki dönemde fırlatılacak 3 adet uydunun üretimi ise devam etmektedir. Söz konusu haberleşme uydularının görev ömürleri 15 yıldır. Yörüngedeki uydulardan TÜRKSAT 3A'nın görev ömrü 2023 yılında, TÜRKSAT 4A'nın 2029 yılında ve TÜRKSAT 4B'nin 2030 yılında dolacaktır (Gunter Dirk Krebs, 2017). Üretim çalışmaları süren uydulardan TÜRKSAT 5A ve 6A'nın 2020 yılında, 5B'nin ise 2021 yılında fırlatılması planlanmaktadır. Bu uyduların görev ömürleri ise sırasıyla 2035 ve 2036 yıllarında sonlanacaktır (Airbus S.A.S, 2018).

Haberleşme uyduları, periyodik olarak yenilenen uydulardır. Dolayısıyla Türkiye'nin 2023-2030 yılları arasında 3 adet, 2030-2036 yılları arasında 3 adet olmak üzere önümüzdeki 20 yıllık süreçte toplamda 6 yeni uydu tedarik etmesi gerekmektedir. Yenileme uyduları, bölgesel konumlama sistemine başlangıç için önemli bir fırsattır. Bakanlığımız, yeni üretilecek haberleşme uydularının konumlama sisteminde kullanılma olasılığını göz önünde bulundurabilir. Bu kapsamda, haberleşme uydularından konumlama desteği verilmesine yönelik çalışmalar teşvik edilebilir. Bakanlığımız mümkünse, tedarik edeceği uydu yapılarının konumlama hizmeti verecek şekilde geliştirilmesini sağlayabilir; gerekirse uydunun haberleşme yayın kapasitesini tekrar planlayabilir.

Haberleşme uydularının güç kapasiteleri, konumlama uydularından çok fazladır. Bu uydulara radyo navigasyon görev yükü eklenirse, uydular hem haberleşme hem de navigasyon amaçlı kullanılabilir. Görev yükünün entegrasyonundan kaynaklı ek maliyet, uydu üretim ve fırlatma maliyetine göre oldukça düşüktür. Konumlama sisteminin bir parçası olarak haberleşme uydularından yararlanılırsa, üretilmesi gereken konumlama uydusu sayısı azalacağından sistem kurulum tutarından tasarruf sağlanır. TÜRKSAT'ın gelecekte üretilecek haberleşme uydularına radyo navigasyon görev yükü eklenmesi, haberleşme yayın kapasitesi ihtiyacı ve ek maliyet gerektirip gerektirmeyeceği dikkate alınarak değerlendirilebilir. Ayrıca Türkiye, ilerleyen yıllarda birkaç adet askeri haberleşme uydusu üretmeyi amaçlamaktadır (ASLAN, A.R.; ÇELEBİ, M.; HACIOĞLU, A., 2015, s. 5). Askeri tedarik makamlarıyla istişare

edilerek bu uyduların da konumlama sistemi planlamasına dahil edilmesi mümkündür. Maliyet, bazı konumlama uydularına haberleşme görev yükü eklenerek de azaltılabilir.

8.6. Yeni Nesil Uydu Teknolojileri

Son yıllarda uyduların boyutlarında ve kütlelerinde azalma eğilimi söz konusudur (BUCHEN, OLDS, & SNOW, 2014, s. 7). Bu eğilimin oluşmasındaki temel etken, uydu fırlatma maliyetlerinin yüksek olması ve söz konusu tutarın uydu kütlesine ve büyüklüğüne paralel olarak artmasıdır. Konumlama uyduları; hizmet devamlılığı esas olan, yaklaşık 15 yıl kesintisiz görev yapmaları beklenen uydulardır. Bu uydularda güvenilirlik ön planda olduğu için genellikle daha geleneksel, güvenilir ve dolayısıyla daha ağır bileşenler kullanılmaktadır. Uydunun kuru ağırlığı arttıkça ve görev ömrü uzadıkça, yörünge düzeltimi için gerekli olan yakıt miktarı da artmakta; yakıt tanklarının boyutları büyümektedir. Bu nedenle konumlama uyduları, boyut ve kütle açısından iri uydulardır. Teknolojinin gelişmesi, uzay sistem ve alt sistemlerinin küçülmesi ile birlikte özellikle fırlatma maliyetinden tasarruf sağlanması amacıyla daha küçük uyduların getirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Deneysel çalışmalarla ortaya çıkan CubeSat teknolojisi; oldukça küçük, işlevsel uyduların üretilmesine olanak sağlamıştır. Küp uyduların yapıları, yaklaşık 10 cm x 10 cm x 10 cm boyutlarındaki kübik birimlere dayanmaktadır. Birim sayısı artırılarak 2, 3 ya da 6 birimlik küp uydular üretilbildiği gibi ihtiyaç doğrultusunda daha büyük uyduların oluşturulması da mümkündür. Hemen hemen 20 yıllık bir geçmişe sahip olan küp uydu teknolojisi, gelecekteki uydu pazarını şekillendirmeye başlamıştır. Küp uydular günümüzde; görev yüklerine tarihçe kazandırma, radyo haberleşme, atmosferik araştırma, uzaktan algılama gibi birçok görevde aktif olarak kullanılmaktadır. Şimdilerde daha çok alçak yörünge görevlerinde yararlanılan bu uyduların ilerleyen yıllarda görev ömrünün ve dayanımının geliştirilerek daha üst yörüngelerde de kullanılması amaçlanmaktadır. Mayıs 2018'de NASA MARS INSIGHT görevi kapsamında, 6U boyutlarında 2 küp uydu Mars'a doğru yola çıkmış; ilk yörünge düzeltme manevralarını başarı ile yapmıştır (Jet Propulsion Laboratory, 2018). Konumlama uydularında benzer teknolojilerin kullanılması, uydu ağırlıklarının ve dolayısıyla fırlatma maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır.

Küp uydular konusunda halihazırda sahip olduğumuz altyapıdan konumlama sistemine hazırlık aşamasında yararlanılması mümkündür. Alçak yörüngeye yerleştirilecek küp uydular ile Doppler tekniğine dayalı anlık konum belirleme hizmeti verilebilir. Yine 4-6 uyduluk bir küp uydu takımı fırlatılarak uydu tabanlı konumlama teknolojisi test edilebilir ve teknoloji gösterimi yapılabilir. Bakanlığımız, küp uydu üretim altyapısının konumlama sistemlerinde kullanımını destekleyebilir; bu doğrultuda uydu ve alt bileşen geliştirilmesini teşvik edebilir.

8.7. Bilgi Birikiminin Artırılması ve Uluslararası İşbirliği

Bakanlığımız, bilgi birikiminin artırılması ve diğer ülkelerle uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi amacıyla uydu tabanlı konumlama sistemleri alanında faaliyet gösteren uluslararası organizasyonlarda ülkemizi aktif olarak temsil edebilir. Bu kapsamda Uluslararası GNSS Komitesinin (ICG) alt çalışma grubu toplantılarına gözlemci statüsünde katılım sağlanabilir, uydu tabanlı konumlama programı başladığında üyelik için başvuruda bulunulabilir. ICG; uydu tabanlı konumlama programı yürüten ülkelerin ve ilgili kuruluşların oluşturduğu, BM şemsiyesi altında faaliyet gösteren bir açık tartışma ve bilgi alışveriş platformudur. ICG'nin “Sistemler, Sinyaller ve Hizmetler”, “GNSS Performansının, Yeni Hizmetlerinin ve Yeteneklerinin Geliştirilmesi”, “Bilginin Dağıtılması ve Kapasite İnşası”, “Referans Arayüzler, Zamanlama ve Uygulamalar” olmak üzere dört alt çalışma grubu bulunmaktadır (UNOOSA, 2018). Alt çalışma gruplarına katılım; sistemde kullanılacak frekansların belirlenmesi, diğer sistemlerle uyumluluğun sağlanması, hizmet ve yeteneklerin geliştirilmesi gibi konularda bilgi birikimimizi artırarak sistem planlama aşamasına katkı sağlayacaktır. Uydu tabanlı konumlama programı başladığında, aynı zamanda ICG gözlemcisi olan Uluslararası Telekomünikasyon Örgütüne (ITU) frekans tahsisi konusunda girişimlerde bulunulabilir.

8.8. Kullanıcı Ekipmanı Geliştirme ve Üretme Kabiliyeti

Türkiye'nin kendi konumlama sistemini kurmadan sistem işletme deneyimi kazanma olanağı oldukça kısıtlıdır. Bununla birlikte sistem kurulana kadar, zayıf olduğu kullanıcı ekipmanı geliştirme ve üretme konusundaki kabiliyetlerini ve kapasitesini artırabilir. Hatta küp uydulardan oluşmuş maliyet etkin bir sistem ile bunun ilk çalışmalarını yapabilir. Bölgesel konumlama sistemi kurulduğunda, mevcut kullanıcıların sistemin sunduğu hizmetlerden

yararlanabilmesi için eski alıcıları ve terminalleri yenileriyle değiştirmesi gerekecektir. Ekipmanlarını periyodik olarak yenileme ihtiyaçı duymayan ve yeni ekipman satın alma konusunda isteksiz olan kullanıcıların motive edilmesi için bu kapsamda teşvik uygulanabilir. Ortalama 2-3 yılda bir yenilenen cep telefonu gibi cihaz ve araçlarda ise yeni sistemi destekleyen alıcıların kullanılması oldukça önemlidir. Üretilcek alıcıların aynı zamanda diğer sistemleri de desteklemesi, hem ürün kabiliyetini hem de ürünün tercih edilirliliğini artıran bir özelliktir. Türkiye; kendi bölgesel konumlama sistemini kurduğunda GNSS pazarından yeterince pay almak istiyorsa, alıcı ve ekipman üretme kabiliyetini geliştirebilir. Aksi takdirde, konumlama sistemi karşılığını yeterince vermeyen ve zarar ettiren bir yatırım haline gelir. Ülkemizdeki şirketlerin kullanıcı ekipmanı geliştirme ve üretim deneyimleri ne kadar fazla olursa, sistemden elde edilecek gelir potansiyeli de o oranda artar. Bakanlığımız; Türk şirketlerinin, mevcut konumlama sistemleri için GNSS alıcısı ve tamamlayıcı donanım geliştirmesini teşvik ederek bu alana yatırım yapmalarını sağlayabilir. Mevcut sistemlerle çalışılması aynı zamanda Türkiye'nin kuracağı konumlama sisteminin bileşik GNSS alıcılarına eklenmesini kolaylaştıracaktır. Ayrıca Bakanlığımız, yerli şirketleri güçlendirmek için sahip olduğu yetki ve yaptırım gücünü azami seviyede kullanabilir; sorumluluk alanına giren haberleşme sektörü ve ulaşım modlarında yerli üretim cihazların kullanımını yaygınlaştırabilir.

8.9. Uydu Tabanlı Konumlamaya Geçiş

Türkiye; uydu tabanlı konumlama sistemine geçiş aşamasında hassas yörünge belirleme yeteneği kazanabilir, yer istasyonlarını planlayabilir ve uydulardaki yerlilik oranını artırabilir. Bu kapsamda Bakanlığımıza bazı görevler düşmektedir. Her konumlama uydusu; yayınladığı navigasyon mesajında, sisteme ait uyduların kaba konumlarını ve uydunun hassas yörüngesini alıcılara aktarır. Konum belirleme doğruluğu, uydu yörüngelerinin ne kadar hassas tahmin edildiğine bağlıdır. Uydu yörüngeleri yeterli hassasiyette belirlenemezse, konumlama doğruluğu düşer. Bu nedenle Bakanlığımız, hassas yörünge belirleme tekniklerine yönelik araştırmaları destekleyebilir. Diğer yandan, uzay segmenti ile iletişimin sağlanması ve sistemin kontrol edilmesinde yer istasyonlarının dağılımı oldukça önemlidir. Yer istasyon ağının, konumlama uyduları fırlatılmadan hazır olması ya da önemli bölümünün tamamlanması gerekmektedir. Kontrol segmentini oluşturacak olan bu istasyonlar, diğer

bölgesel sistemlerde olduğu gibi ülke sınırlarımız içerisine dağıtılacaktır. Halihazırda TÜRKSAT A.Ş.'nin Gölbaşı tesislerinde bulunan altyapıdan yararlanılması mümkün olmakla birlikte, ihtiyaç duyulan iyileştirmelerin ve yeni inşa edilecek istasyon konumlarının belirlenmesi için bir fizilite çalışması yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bakanlığımız bu doğrultuda, yer istasyonlarının dağılımını ve kurulumunu planlayabilir. Bölgesel konumlama sisteminin karlılığı, yurtiçi olanaklardan en üst seviyede yararlanılmasına bağlıdır. Türkiye; kendi uydularını geliştirme, üretme ve test kabiliyetlerine sahip olsa da halen birçok uydu alt bileşeninde yurtdışına bağımlı durumdadır. Konumlama sistemine hazırlık aşamasında, uydulardaki yerlilik oranı mümkün olduğunca artırılabilir. Yurtdışı harcamaların azaltılması için Bakanlığımız; uydu itki sistemi, radyo navigasyon görev yükü vb. alt sistemlerle güneş hücresi, atomik saat vb. alt donanımların yerli imkanlarla geliştirilmesi ve üretilmesine yönelik projeleri destekleyebilir.

9. SONUÇ

Uydu tabanlı konumlama sistemleri; soğuk savaş yıllarında geliştirilmeye başlanan, öncelikli olarak askeri ihtiyaçlar dikkate alınarak tasarlanmış, aynı zamanda sivil kullanımı da destekleyen sistemlerdir. ABD tarafından geliştirilen NAVSTAR GPS, 1995 yılında tam operasyonel kabiliyete erişerek hizmet sunmaya başlayan ilk uydu tabanlı konumlama sistemi olmuştur. Sistemin birincil kullanıcısı askerler ve devlet görevlileridir. Sistem, ABD Hava Kuvvetleri tarafından kontrol edilmektedir. Savaş vb. durumlarda hizmetin kesilmeyeceğinin ya da sinyallerde karıştırma yapılmayacağının bir garantisi bulunmamaktadır. Ayrıca, sivil konum belirleme doğruluğu askeri konum belirleme doğruluğundan çok daha düşüktür.

GPS'in kurulum aşamasından itibaren askeri sinyaller aktif olarak kullanılsa da sivil sinyallerde SA adı verilen teknikle kasıtlı bozma yapılması, sistemin sivil amaçlarla kullanımını oldukça kısıtlamıştır. 2000 yılında SA'nın kaldırılmasıyla birlikte, GPS'in sivil ve ticari kullanımında ciddi bir ivmelenme yaşanmış; balıkçılıktan taşımacılığa birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Sivil GPS sinyalleri, küresel çapta, uyumlu bir alıcı taşıyan herkesin kullanımına açıktır. Küresel büyüklükteki pazar ve konumlama ihtiyacı sayesinde, GPS destekli cihazlar tüm Dünya'ya hızla yayılmış ve ticari açıdan ciddi bir başarı elde edilmiştir.

GPS'in sağlamış olduğu askeri kabiliyet ve ticari başarıyı göz önünde bulunduran birçok ülke, kendi uydu tabanlı navigasyon sistemlerinin kurulum çalışmalarını hızlandırmış ya da sıfırdan sistem geliştirmeye başlamıştır. Tam operasyonel kabiliyete erişen ikinci uydu tabanlı navigasyon sistemi, Rusya'ya ait olan GLONASS'tır. Geliştirme çalışmaları GPS'e paralel biçimde sürdürülen GLONASS uydu tabanlı konumlama sistemi ilk olarak 1995 yılında tam operasyonel kabiliyete erişse de Sovyetler Birliği'nin dağılmasından sonra büyük sekteye uğramış, 24 uydudan oluşan uydu takımı tekrardan ancak 2011 yılında tamamlanabilmiştir. Diğer yandan, bir ülkeler topluluğu olan Avrupa Birliği'nin Galileo küresel uydu tabanlı konumlama sistemini kurma çalışmaları devam etmektedir. Sistemin 2020 civarında

tamamlanması beklenmektedir. Uydu tabanlı konumlama sistemi kurma çalışmalarını aşamalı olarak yürüten Çin, BeiDou-2 bölgesel uydu navigasyon sistemini 2012 yılında hizmete almıştır. Küresel kapsamaya sahip olacak BeiDou-3 uydu navigasyon sisteminin yaklaşık olarak 2020 yılında tamamlanması beklenmektedir. Bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi kuran bir diğer ülke Hindistan, NavIC sistemini 2016 yılında tamamlamıştır. NavIC; 30 derece güney ve 50 derece kuzey enlemleri ile 30 derece doğu ve 130 derece doğu boylamları arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Japonya ise farklı bir yol izlemiş, ABD ile anlaşarak GPS sinyalleri kullanabilen QZSS adlı bir bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi kurmuştur. 2018 yılında hizmet vermeye başlayacak olan sistem, Japonya üzerinde GPS uydularına destek olarak konumlama performansını artıracaktır. QZSS, Doğu Asya ve Okyanusya bölgesini kapsamaktadır. Japonya QZSS'deki uydu sayısını artırarak yaklaşık 2023 yılında bağımsız çalışabilen bir bölgesel navigasyon sistemi kurmayı amaçlamaktadır. 2020 yılında, planlanan sistemler de tamamlandığında, Dünya çevresinde toplam 4 küresel ve 2 bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemi hizmet veriyor olacaktır.

Uydu tabanlı konumlama sistemleri; uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç segmente ayrılır. Konumlama sinyali yayınlayan uydulardan oluşan uzay segmenti, sistemin merkezinde yer alır. Konumlama hizmeti bu uydulardan yayınlanan sinyaller aracılığıyla verilir. Yer konuşlu izleme istasyonları, ana kontrol istasyonu ve komut gönderme istasyonlarından oluşan kontrol segmenti; uzay segmentini takip ederek gerekli güncellemeleri uydulara yükler. Sistemin ve hizmetin devamlılığı kontrol segmenti tarafından sağlanır. Kullanıcı ekipmanlarından ve kullanıcılardan oluşan kullanıcı segmentinde ise, uydulardan yayınlanan konumlama sinyalleri yakalanır ve işlenir. İşlenen sinyallerden konum, hız ve zaman bilgisi elde edilir. Konumlama işlemini gerçekleştiren ve elde edilen verileri çeşitli hizmetlere dönüştüren, kullanıcı segmentidir.

Uydu tabanlı konum belirleme, uydulardan yayınlanan sinyallerin yayılma süresi ölçülerek yapılır. Sinyal yayılma süresinin ölçülebilmesi için konumlama sinyallerinin yapısında kısaca PRN olarak adlandırılan yalancı düzensiz kod bulunur. Kullanıcı ekipmanlarının konumlama özelliği açıldığında, GNSS alıcıları, sistemin diğer bileşenleriyle eş zamanlı olarak aynı PRN kodu çalıştırır. Alıcıdaki kod ile sinyaldeki kod arasında oluşan faz farkı, sinyalin yayılma süresini verir. Yayılma süresi, ışık hızı ile çarpıldığında uydunun kullanıcıya olan uzaklığını

ifade eden yalancı uzaklık değeri elde edilir. Konumlama sinyallerinin yapısında ayrıca, sisteme ait uyduların kaba konumları ve sinyali yayınlayan uydunun hassas yörüngesine ilişkin bilgi bulunur. Sinyalleri alan alıcı, uyduların konumlarından ve yalancı uzaklık değerlerinden yararlanarak kullanıcının konumunu hesaplar. Yayılma süresi ölçümünden kaynaklı çok küçük bir zaman hatası bile yalancı uzaklık değerinde ciddi miktarda sapmaya yol açar. Bu nedenle, konumlama uyduları üzerinde çok hassas atomik saatler kullanılır. Alıcı saatleri atomik saatler kadar hassas olmadığından, 3 boyutlu konumun belirlenebilmesi için 4 uydudan sinyal alınması gerekmektedir.

Mevcut uydu tabanlı konumlama sistemlerinin uzay segmentlerinde Orta Yörünge (MEO), Eğik Yer-Eşzamanlı Yörünge (IGSO) ve Yer-sabit Yörünge (GEO) olmak üzere üç farklı yörünge tipi kullanılmaktadır. Küresel sistemlerde MEO, bölgesel sistemlerde ise IGSO ve GEO tercih edilmektedir. GPS uydu takımında; 56 derece yörünge eğiklik açısına sahip 6 yörünge düzleminde 27 aktif, 4 yedek toplam 31 MEO uydu bulunmaktadır. GLONASS uydu takımında ise 24 aktif, 1 yedek toplam 25 MEO uydu; 64,8 derece yörünge eğiklik açısına sahip 3 yörünge düzlemine dağıtılmıştır. Galileo uydu takımı; 56 derece yörünge eğiklik açısına sahip 3 yörünge düzlemine paylaştırılmış 24 aktif, 6 yedek toplam 30 MEO uydudan oluşacaktır. Karma bir sistem olan BeiDou'da ise; MEO, IGSO ve GEO uydular kullanılmıştır. Küresel kapsamayı sağlayan 24 aktif, 3 yedek toplam 27 MEO uydu; 55 derece yörünge eğiklik açısına sahip 3 yörünge düzlemine konuşlandırılmaktadır. BeiDou uydu takımında ayrıca; Çin ve yakın çevresinde konumlama hassasiyetinin artırılması için 3 aktif, 2 yedek toplam 5 GEO uydu ve 55 derece yörünge eğiklik açısına sahip 3 IGSO uydu yer alır. QZSS uydu takımı, 1 GEO uydu ile 43 derece yörünge eğiklik açısına sahip 3 IGSO uydudan oluşmaktadır. NavIC uydu takımında ise, 3 GEO uydu ile 29 derece yörünge eğiklik açısına sahip 4 IGSO uydu bulunmaktadır. 2018 yılında 1 GPS, 4 GLONASS, 4 Galileo ve 2 BeiDou uydusunun fırlatılması planlanmaktadır.

Sistemlerde kullanılan konumlama uydularının yapısı ve özellikleri birbirinden farklı olmakla birlikte her uydu atomik saat ve radyo navigasyon görev yükü taşımaktadır. Basınçlandırılmış uydu yapısı sadece GLONASS uydularında kullanılmıştır. Yeni nesil GLONASS uydularında basınçsız uydu yapısına geçilmiştir. Konumlama uydularının görev ömürleri zamanla artmıştır. Günümüzde fırlatılan konumlama uydularının 15 yıl görev yapması beklenmektedir.

GEO ve IGSO uyduların ağırlıkları, MEO uydulara göre daha fazladır. Yeni nesil uydularla birlikte güç kapasitesinin ve sunulan sinyal çeşitliliğinin artırılmasına yönelik bir eğilim söz konusudur.

Uydu tabanlı konumlama sinyalleri ağırlıklı olarak CDMA teknolojisine dayanmaktadır. FDMA teknolojisinden yararlanan tek sistem GLONASS'tır. GLONASS geleneksel sinyallerinde bu tekniği kullanmaya devam etse de CDMA'ya geçiş aşamasındadır. Konumlama sinyallerinin bir tanesi haricinde tamamı L bant frekans aralığını kullanmaktadır. L bant frekans aralığındaki yoğunluktan dolayı NavIC'in ikinci konumlama sinyali S bant üzerinden yayınlanmaktadır. Küresel sistemlerde kullanılan sinyallerin tamamı L bantta yer alsa da, kullanılan frekanslar birbirinden farklıdır. GPS ve GLONASS sinyallerini isimlendirmede "L" harfi kullanılmaktadır. Her iki sistemde kullanılan L1 ve L2 sinyallerinin frekansları birbirinden farklıdır. GPS'te kullanılan üçüncü sinyal L5, GLONASS'taki üçüncü sinyal ise L3 olarak adlandırılmıştır. BeiDou ve Galileo'da ise sinyalleri isimlendirmede sırasıyla "B" ve "E" harfi kullanılmaktadır. BeiDou sinyalleri B1, B2 ve B3 olarak isimlendirilmektedir. Galileo'da kullanılan sinyallerin adları ise E1, E5a, E5b ve E6'dır. QZSS; GPS'in L1, L2 ve L5 sinyallerine ek olarak Galileo'nun E6 sinyali ile aynı frekansa sahip L6 sinyali yayınlamaktadır. NavIC ise, kendi L5 sinyali ile birlikte S sinyali kullanmaktadır. GPS ve NavIC'teki L5 sinyallerinin yapıları farklı, merkezi frekansları aynıdır.

Uydu tabanlı konumlama sistemlerinin yer istasyon ağı olarak tanımlanabilecek olan kontrol segmenti, konumlama uydularının izlenmesini sistemin kontrol edilmesini sağlar. Küresel sistemlerde istasyonlar genellikle Dünya'nın çevresine yayılmış durumdadır. GPS ve Galileo'nun küresel çapta istasyonları bulunmaktadır. GLONASS ve BeiDou'da ise yer istasyonlarının çoğu kendi ülke toprakları üzerindedir. Bu durum, GLONASS'ta, uydu yörüngelerinin hassas biçimde tespitini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, GLONASS yer segmentinde lazerli uzaklık ölçüm istasyonları kullanılmış ve son yıllarda deniz aşırı izleme istasyonları ağı eklenmiştir. Bölgesel sistemlerde ise GEO ve IGSO uydular kullanıldığından, yer segmenti bileşenleri hizmet alanı içerisinde bulunur. QZSS yer istasyonları, Japonya üzerine; NavIC yer istasyonları ise, Hindistan üzerine dağıtılmıştır.

Her uydu tabanlı konumlama sistemi, yayınladığı sinyallerin yapısına bağlı olarak hedef kitleye ya da alana yönelik temel hizmetler sunmaktadır. Şifresiz sivil kullanıcı hizmetleri ve ağırlıklı olarak askerler tarafından kullanılan yetkili kullanıcı hizmetleri, farklı adlar altında da olsa tüm sistemler tarafından sağlanmaktadır. Bu iki temel hizmet dışında, bazı sistemlerde, ihtiyaca yönelik ek hizmetler de bulunmaktadır. GPS ve GLONASS; sivil kullanıcılar için Standart Konumlama Hizmeti, yetkilendirilmiş kullanıcılar içinse Hassas Konumlama Hizmeti sunmaktadır. BeiDou; sivil kullanıcılara Açık Hizmet, yetkilendirilmiş kullanıcılara Yetkili Hizmet sağlamaktadır. BeiDou bu hizmetlerin yanısıra, Açık Alan Diferansiyel Hizmeti ve Kısa Mesaj Hizmeti de sunmaktadır. Galileo; siviller için Açık Hizmet ve Ticari Hizmet, yetkilendirilmiş kullanıcılar için Kamu Hizmeti sağlamaktadır. QZSS bölgesel sistemi ise; sivil kullanıcılara GPS Tümleme ve GPS Destek Hizmeti, yetkilendirilmiş kullanıcılara Kamu Hizmeti sunmaktadır. QZSS’de ayrıca, Erken Uyarı ve Mesaj Hizmeti de bulunmaktadır. NavIC; sivil kullanıcılar için Standart Konumlama Hizmeti, yetkilendirilmiş kullanıcılar içinse Kısıtlı Hizmet sağlamaktadır.

Uydu tabanlı konumlama verisinin sivil ve ticari uygulama çeşitliliği her geçen gün artmakta ve kullanım alanları genişlemektedir. 2016 yılında, tüm dünyada, sivil GNSS uygulamalarından elde edilen toplam gelir 110 milyar euro dolaylarındadır. Bu rakamın 2025 yılında 230 milyar euroyu aşması beklenmektedir (European GNSS Agency, 2017, s. 11). Gelirlerin yaklaşık % 90’lık bir kısmı; konum tabanlı hizmetler ile karayolu, havacılık, demiryolu ve denizcilik sektöründeki uygulamalardan elde edilmektedir. 2016 yılında 90 milyar eurodan fazla gelir sağlanan bu sektörlerden, 2025 yılında 210 milyar euro civarında gelir elde edilmesi beklenmektedir. Bu oran; sivil uygulama alanlarının, ağırlıklı olarak Bakanlığımızın görev alanına giren ulaşım modları ve haberleşme sektöründen oluştuğunu göstermektedir. İlgili sektörlerin geliştirilmesi ve uydu tabanlı konumlama sistemlerinin gelir pastasından daha fazla pay alınması için Bakanlığımıza büyük görev düşmektedir. Bu nedenle, uydu tabanlı konumlama sistemleri konusunda en fazla sorumluluğa sahip sivil kurumlardan başlıcası Bakanlığımızdır.

Uzay teknolojilerinde kısa bir geçmişi olan Türkiye, kendi uydu üretim ve test altyapısına sahip durumdadır. Bakanlığımızın desteği ile kurulan USET, 5 tona kadar olan uyduların montaj, entegrasyon ve testine olanak tanımaktadır. Uzaktan algılama ve deneysel küp uydu

retme yeteneği bulunan ülkemiz, ilk yerli haberleşme uydusu TÜRK SAT 6A'yı geliştirme aşamasındadır. Türkiye'nin 2011 yılında hizmete aldığı, TUSAGA-Aktif adında, GNSS tabanlı bir yerel destek sistemi bulunmaktadır. Türkiye ve KKTC sınırları içerisinde ücret karşılığında hizmet sunan bu sistem, GNSS kullanıcılarının konum belirleme doğruluğunu artırmaktadır. Ülkemizin henüz konumlama uydusu geliştirilmesine yönelik planlanmış bir projesi bulunmamaktadır.

Askeri tedarik makamları daha ucuz olacağı için yerel bir konumlama sistemine daha sıcak bakmaktadır. Ülkemizin ok Maksatlı Amfibi Hücum Gemisi tedarik ederek etki alanını genişletmeye çalıştığı göz önüne alındığında, özellikle deniz ve hava unsurları ile Türkiye dışındaki üsler için ilerleyen yıllarda bağımsız konumlama ihtiyaçı oluşacak; söz konusu yerel sistem bu ihtiyaçı karşılayamayacaktır. Ülkemizde TUSAGA-Aktif adında bir yerel destek sistemi bulunduğundan, Türkiye üzerinde konum belirleme doğruluğunun artırılması için yeniden bir ağ kurmaya gerek yoktur; mevcut altyapıdan güncelleme yapılarak yararlanılabilir. Küresel sistemler, en az 24 uydu gerektirdiğinden oldukça maliyetlidir. Yaklaşık 8 uydudan oluşacak bir bölgesel sistem, Türkiye'nin bölgesel ihtiyaçlarının karşılanması için yeterlidir. Türkiye'de, uydu tabanlı konumlama sistemi planlanmasına yönelik olarak, TÜRK SAT ve TAI tarafından yapılan bazı çalışmalar mevcuttur. TÜRK SAT, kendi işlettiği haberleşme uydularından konumlama hizmeti verilmesini ngren bir benzetim çalışması gerçekleştirmiştir. TAI ise, 9 uydudan oluşan bir bölgesel konumlama sistemi tasarlamıştır.

Uydu tabanlı konumlama sistemleri; küresel ve bölgesel geniş kapsama alanlarına, yerel ağlardan bağımsız devamlı konumlama hizmeti sunabilmektedir. Günümüzde bu sistemler, ulaşım ve haberleşme sektörü başta olmak üzere hayatımızın hemen hemen her alanında etkin biçimde kullanılmaktadır. Diğer ülkelere ait mevcut küresel sistemler (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou) ile sağlanan hizmetlerin kesilmeyeceğinin ya da sinyallerde karıştırma yapılmayacağının bir garantisi bulunmamaktadır. Kurulacak yerli bir sistem ülkemize, diğer devletlerden bağımsız konumlama kabiliyeti kazandıracaktır. Ayrıca Türkiye, Dünya'nın ilk 10 büyük ekonomisi arasına girme hedefi ve ekonomik çıkarları doğrultusunda bu büyük ticari pazardan pay almalı; yurtdışına ürün ve hizmet satmalıdır. Yerel bir sistem kurulması halinde, gelir elde edilebilecek pazar büyüklüğü sadece Türkiye ile sınırlı kalacak;

yurtdışından gelir elde edilemeyecektir. Hizmet; geniş bir alana yayılamadığından, ülke sınırları dışında kullanılamayacaktır. Tüm bu nedenlere dayanarak, Türkiye'nin yerel bir sistem değil; uydu tabanlı konumlama sistemi kurmasının yerinde olacağı değerlendirilmektedir.

Kurulacak uydu tabanlı konumlama sisteminin yapılabilir ve verimli olması, Türkiye açısından oldukça önemlidir. Mevcut uydu tabanlı konumlama sistemlerinin incelenmesi sonucunda, küresel bir sistem için en az 24 uydu gerektiği ve bağımsız çalışabilen bölgesel sistemlerde 7-14 arasında uydu kullanıldığı görülmüştür. Yaklaşık 8 uydudan oluşan bölgesel bir sistemle; Türkiye, Ortadoğu, Avrupa ve Afrika'nın büyük bölümü ile Asya'nın batısına konumlama hizmeti verilebilir. 2025 yılı gelir öngörülerine göre Orta Doğu ve Afrika pazarından %10'luk pay alınabilirse, yıllık 1,6 milyar euro gelir elde edilebilir. Yaklaşık 2,4 milyar dolar tutacak olan sistem kurulum maliyeti, iki yıl içinde karşılanır ve sistem kar getirmeye başlar.

Bölgesel konumlama sisteminin kurulumuna ilişkin zamanlama, fayda maliyet oranının artırılması için kritiktir. Bölgesel sistemin, 2025 yılına kadarki kısa vadede yurtdışından hazır alım gerektireceği için pahalı; 2035 sonrası uzun vadede fırlatma ve uzay programının devamlılığını sağlayacağı için vazgeçilemez; 2025'ten 2035'e kadarki orta vadede ise ülkemize kazandıracak kabiliyet ve ekonomik getiri göz önüne alındığında gerekli bir yatırım olacağı değerlendirilmektedir. Bölgesel konumlama sisteminin planlanması, kurulması, işletilmesi, sürdürülmesi, kullanıcı terminallerinin geliştirilmesi, ürün ve hizmetlerin pazarlanması ve konumlama programı yol haritasının belirlenebilmesi için bir yönetsel yapıya ihtiyaç duyulması muhtemeldir. Buna yönelik olarak Cumhurbaşkanlığı'na bağlı, ilgili tüm paydaşların biraraya gelerek çalışabileceği bir yönetsel yapı önerilmiştir.

Türkiye, ilerleyen yıllarda konumlama uydusu geliştirebilecek altyapıya sahiptir. Konumlama uydusunda TÜRK SAT 6A platformunun ya da TUSAŞ'ın geliştirmekte olduğu küçük GEO uydu yapısının kullanılabileceği, uydu üretiminde USET altyapısından yararlanılabileceği, uydu görev yüküne yönelik atomik saat geliştirme projesi başlatılabileceği ve uydulara arama kurtarma özelliği eklenebileceği değerlendirilmektedir. Konumlama sisteminde, haberleşme uydularından destek amaçlı ya da sistem bileşeni olarak faydalanılması mümkündür.

TÜRKSAT'a ait uyduların bu amaçla kullanılabileceği ve planlanabileceği düşünülmektedir. Gelecekte ön plana çıkması beklenen küp uydu teknolojisinin gelişimi ve sahip olduğumuz altyapı, küp uydulardan oluşan bir konumlama sisteminin yapılabilirliğini göstermektedir.

Bilgi birikiminin artırılması ve uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi için ICG'nin alt çalışma grubu toplantılarına gözlemci statüsünde katılım sağlanabileceği ve konumlama programı başladığında üyelik başvurusu yapılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, konumlama sistemi kurulmadan, yerli şirketlerin kullanıcı ekipmanı geliştirme ve üretme kabiliyetlerinin iyileştirilebileceği; yerli ürün kullanım oranının yükseltilebileceği düşünülmektedir. Konumlama programına geçiş aşamasında ise; hassas yörünge belirleme yeteneğinin kazanılabileceği, yer istasyon dağılımının ve kurulumunun planlanabileceği, uydu alt bileşen ve sistemlerindeki yerlilik oranlarının artırılabilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Airbus S.A.S. (2018). *Airbus to build Türksat 5A and 5B satellites*. AIRBUS: <http://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/AirbusbuildTurksat5Aand5Bsattellites.html> adresinden alınmıştır

ASLAN, A. (2018). International Cooperation Between ITU and Other Academic/research Institutions. *Workshop on Satellite and Space Technologies and International Cooperation Between Japan & Turkey*. Ankara: Space Systems Design and Test Laboratory.

ASLAN, A., YANARTAS OZYILDIRIM, A., & et.al. (2017). First High Resolution High Speed CubeSat of Turkey. *Joint Conference: 31stISTS, 26thISSFD 8thNSAT*. Maysuyama, Japan: Space Systems Design and Test Laboratory.

ASLAN, A.R.; ÇELEBİ, M.; HACIOĞLU, A. (2015). *7'inci UTEB Toplantısı Sonuç Raporu*. Afyonkarahisar: Uzak Teknolojileri ve Eğitimi Birliği.

BAKICI, S., ERKEK, B., İLBEY, A., & KULAKSIZ, E. (2017). BUSINNES MODEL OF CORS-TR (TUSAGA-AKTIF) . *SPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W4 , 109-116.

BARBOSA, R. (2018). *Long March 3B launches pair of Beidou-3 MEO satellites*. NASASpaceflight.com: <https://www.nasaspaceflight.com/2018/03/long-march-3b-beidou-3-meo-satellites/> adresinden alınmıştır

BETZ, J. (2016). *Engineering Satellite-Based Navigation and Timing*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

BHATTA, B. (2010). *Global Navigation Satellite Systems : Insights into GPS, Glonass, Galileo, Compass, and Others*. Hyderabad: B.S. Publications.

BITKO, G., GHASHGHAI, E., KENNEDY, M., & LEWIS, R. (2005). *Building a Multinational Global Navigation Satellite System - An Initial Look*. Santa Monica, Arlington, Pittsburgh: RAND Corporation.

BLONSKI, D., & VENTURA-TRAVERSE, J. (2017). Fostering GNSS Science with Galileo and Galileo Satellite Metadata. *12th meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-12)*. Kyoto, Japan: ESA.

BOYD, J. (2014). *Japan's Plan for Centimeter-Resolution GPS*. IEEE Spectrum: <https://spectrum.ieee.org/aerospace/satellites/japans-plan-for-centimeter-resolution-gps> adresinden alınmıştır

BUCHEN, E., OLDS, J., & SNOW, A. (2014). *Trends in Average Earth*. Atlanta: SpaceWorks Enterprises Inc.

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018a). *Advantages of QZSS*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/superiority.html> adresinden alınmıştır

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018b). *List of Positioning Satellites*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): <http://qzss.go.jp/en/technical/satellites/index.html> adresinden alınmıştır

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018c). *Overview of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html adresinden alınmıştır

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018d). *Quasi-Zenith Satellite Orbit (QZO)*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/orbit.html> adresinden alınmıştır

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018e). *The Modernization of GPS*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/modern.html> adresinden alınmıştır

Cabinet Office, Government Of Japan. (2018f). *Transmission Signals*. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv03_signals.html adresinden alınmıştır

CAMACHO-LARA, S., MADRY, S., & PELTON, J. (2013). *Handbook of Satellite Applications*. New York: Springer Science+Business Media.

China Satellite Navigation Office. (2017). Update on BeiDou Navigation Satellite System. *12th meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-12)*. Kyoto, Japan: China Satellite Navigation Office.

China Space Report. (2018). *Beidou Navigation Satellite System*. China Space Report - News and analysis on China's space programme: <https://chinaspacereport.com/spacecraft/beidou/> adresinden alınmıştır

DUMESNIL, N. (2007). *All you need to know to do business with GNSS*. Capital High Tech.

DUNPHY, R. (2016). *Space Industry Business Opportunities in Japan: Analysis on the Market Potential for EU SMEs Involved in the Earth-Observation Products & Services*. Tokyo: EU-Japan Centre for Industrial Cooperation.

ESA. (2014a). *BeiDou Services*. Navipedia: http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Services adresinden alınmıştır

ESA. (2018a). *CNSS (Compass/BeiDou Navigation Satellite System)*. Earth Observation Portal: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/cnss> adresinden alınmıştır

ESA. (2014b). *GLONASS Performances*. Navipedia: http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Performances adresinden alınmıştır

ESA. (2014c). *GLONASS Space Segment*. Navipedia: http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Space_Segment adresinden alınmıştır

ESA. (2014d). *GPS Architecture*. Navipedia: http://www.navipedia.net/index.php/GPS_Architecture adresinden alınmıştır

ESA. (2018b). *IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System)*. Earth Observation Portal: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/irnss> adresinden alınmıştır

ESA. (2018c). *QZSS*. Earth Observation Portal: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/q/qzss> adresinden alınmıştır

European GNSS Agency. (2017). *GNSS Market Report - Issue 5*. Luxembourg: European Union.

European GNSS Agency. (2018). *Orbital and Technical Parameters*. European GNSS Service Centre: <https://www.gsc-europa.eu/system-status/orbital-and-technical-parameters> adresinden alınmıştır

FOSSUM, D., FRELINGER, D., FROST, G., LACHOW, I., PACE, S., PINTO, M., et al. (1995). *The Global Positioning System - Assesing National Policies*. Santa Monica: RAND.

Gunter Dirk Krebs. (2017). *Spacecraft: Communication - Turkey*. Gunter's Space Page: http://space.skyrocket.de/directories/sat_com_turk.htm adresinden alınmıştır

Harita Genel Komutanlığı. (t.y.). Ulusal Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonlarının Kurulması ve Hücresel Dönüşüm Parametrelerinin Belirlenmesi (TUSAGA-Aktif/CORS-TR) Projesi. <https://www.hgk.msb.gov.tr/images/projeler/ce0bf019443e0a2.pdf> adresinden alınmıştır

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., & WASLE, E. (2008). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. Wien: Springer Science+Business Media.

IAC PNT. (2018a). *Beidou Global Navigation Satellite System*. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php> adresinden alınmıştır

IAC PNT. (2018b). *GLONASS HISTORY*. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php> adresinden alınmıştır

IGS. (2018). *BeiDou*. International GNSS Service: http://mgex.igs.org/IGS_MGEX_Status_BDS.php adresinden alınmıştır

Inside GNSS Media & Research LLC. (2018). *About GLONASS*. Inside GNSS: <http://www.insidegnss.com/aboutglonass> adresinden alınmıştır

IOP Institute of Physics. (t.y.). *How does GPS work?* . physics.org: <http://www.physics.org/article-questions.asp?id=55> adresinden alınmıştır

ISRO. (2018a). *Annual Report 2017-2018*. Department of Space, Government of India.

ISRO. (2017a). *Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) : NavIC*. Department of Space Indian Space Research Organization: <https://www.isro.gov.in/irnss-programme> adresinden alınmıştır

ISRO. (2018b). *IRNSS-1I*. Department of Space Indian Space Research Organization: <https://www.isro.gov.in/Spacecraft/irnss-1i> adresinden alınmıştır

ISRO. (2017b). *Satellite Navigation*. Department of Space Indian Space Research Organization: <https://www.isro.gov.in/spacecraft/satellite-navigation> adresinden alınmıştır

Jet Propulsion Laboratory. (2018). *NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) - Space Mission and Science News, Videos and Images*. jpl.nasa.gov: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7147> adresinden alınmıştır

KAUR, K. (2012). *Understanding the Global Positioning System*. AZoSensors: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=29> adresinden alınmıştır

KOGURE, S. (2016). Status Update on the Quasi-Zenith Satellite System. *UN-Nepal GNSS Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems*. Katmandu: National Space Policy Secretariat.

KUYUCU, M. (2015). History of Satellite TV Broadcasting and Satellite Broadcasting Market in Turkey. *International Journal of Science Culture and Sport (IntJSCS)* , 85-107.

Lockheed Martin Corporation. (2018). *Global Positioning System (GPS III)*. Lockheed Martin: <https://www.lockheedmartin.com/us/products/gps.html> adresinden alınmıştır

MADRY, S. (2015). *Global Navigation Satellite Systems and Their Applications*. New York: Springer Science+Business Media LLC.

Mitsubishi Electric Corporation. (2017). *Mitsubishi Electric Field Testing World's First Autonomous Driving System Using CLAS from Quasi-Zenith Satellite System*. Mitsubishi Electric: <http://www.mitsubishielectric.com/news/2017/0926.html> adresinden alınmıştır

MONTENBRUCK, O., & TEUNISSEN, P. (2017). (Editörler). *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Cham: Springer International Publishing AG.

NAGATA, K. (2016). *Japan moves to develop homegrown GPS*. The Japan Times: <https://www.japantimes.co.jp/news/2016/01/11/national/science-health/breaking-away-japan-pursues-homegrown-gps/#.WoKR3aJKXQn> adresinden alınmıştır

National Coordination Office for Space-Based PNT. (2017b). *Control Segment*. GPS: The Global Positioning System: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/> adresinden alınmıştır

National Coordination Office for Space-Based PNT. (2017a). *Other Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*. GPS: The Global Positioning System: <https://www.gps.gov/systems/gnss/> adresinden alınmıştır

National Coordination Office for Space-Based PNT. (2016). *Selective Availability*. GPS: The Global Positioning System: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/> adresinden alınmıştır

National Coordination Office for Space-Based PNT. (2018). *Space Segment*. GPS: The Global Positioning System: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations> adresinden alınmıştır

North Coast Media LLC. (2018). *Upcoming GNSS satellite launches*. GPS World: <http://gpsworld.com/resources/upcoming-gnss-satellite-launches/> adresinden alınmıştır

NovAtel Inc. (2015). *An Introduction to GNSS (Secod edition)*. Alberta: NovAtel Inc.

NURMI, J., LOHAN, E., SAND, S., & HURSKAINEN, H. (2015). *Galileo Positioning Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands.

ÖZALP, T. (2009). Space as a strategic vision for Turkey and its people. *Space Policy* , 224-235.

QZS System Services Inc. (2015). Project Overview of The Quasi-Zenith Satellite System.

QZSS Strategy Office. (2016). Introduction of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS). *RNSS Symposium*. National Space Policy Secretariat, Cabinet Office, Government of Japan.

ROSCOSMOS. (2017). GLONASS system development and use. *12th meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-12)*. Kyoto, Japan: ROSCOSMOS State Space Corporation.

SHEHAB, A. (t.y.). GNSS. United Nations Economic Commission For Europe.

SHOZAKI, M. (2018). Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) - Service, System, Applications. *Workshop on Satellite and Space Technologies and International Cooperation Between Japan & Turkey*. Ankara: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).

Spaceflight101. (2018a). *Beidou 3 (Compass Navigation Satellite System)*. Spaceflight101.com: <http://spaceflight101.com/spacecraft/beidou-3/> adresinden alınmıştır

Spaceflight101. (2015). *Indian Regional Navigation Satellite System*. Spaceflight101 Space News and Beyond: <http://www.spaceflight101.net/irnss-1.html> adresinden alınmıştır

Spaceflight101. (2018b). *Long March 3B Thunders off from China with Beidou Navigation Satellite Pair*. Spaceflight101.com: <http://spaceflight101.com/long-march-3b-meo-5-6-launch/> adresinden alınmıştır

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı . (2018). *Gören Göz Projesi*. Haberleşme Genel Müdürlüğü: <http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/32> adresinden alınmıştır

TAI. (2017). GNSS Systems in Turkey: An Industry Perspective. *BEYOND Workshop for Turkey - EGNSS Applications of interest and Roadmap for Turkey*. Ankara: Turkish Aerospace Industries, Inc.

TAKIZAWA, G. (2017). Status Update on the Quasi-Zenith Satellite System. *12th meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-12)*. Kyoto: QZSS Strategy Office, National Space Policy Secretariat, Cabinet Office, Government of Japan.

The Aerospace Corporation. (2010). *What GPS Might Have Been—and What It Could Become*. Aerospace: <http://www.aerospace.org/crosslinkmag/spring-2010/what-gps-might-have-been-and-what-it-could-become/> adresinden alınmıştır

TURKSAT. (2017). Current EGNOS Status in Turkey. *BEYOND Workshop for Turkey - EGNSS Applications of interest and Roadmap for Turkey*. Ankara: TURKSAT Company.

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (2017). *Small-GEO Haberleşme Uyduları* . TAI - Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.: <https://www.tai.com.tr/urun/small-geo-haberlesme-uydulari> adresinden alınmıştır

U.S. Air Force. (2018). *18 – GPS IIIF Request For Proposal (RFP) Release*. Federal Business Opportunities:
<https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=4558d7970433205d0191ff88f3361ef7&tab=core> adresinden alınmıştır

UNOOSA. (2018). *International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG): Working Groups*. UNITED NATIONS Office for Outer Space Affairs:
<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/working-groups.html> adresinden alınmıştır

Verdict Media Limited. (2018). *Global Positioning System III (GPS III) Military Satellite*. Airforce Technology: <https://www.airforce-technology.com/projects/gps-iii-military-satellite/> adresinden alınmıştır

WENTING, P. (t.y.). GNSS Web-simulation. Wageningen University.

ZOGG, J. (2009). *GPS - Essentials of Satellite Navigation*. U-Blox.

<http://www.tubaterim.gov.tr>: Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) - Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü

ÖZGEÇMİŞ

- Adı : Emre
- Soyadı : İÇEN
- Doğum Tarihi : 23/03/1987
- Doğum Yeri : ANTALYA
- Lise : (2001-2005), Antalya 75.Yıl Cumhuriyet Lisesi
- Lisans : (2005 – 2010), İstanbul Teknik Üniversitesi – Uzay Mühendisliği
(2008 – 2011), İstanbul Teknik Üniversitesi – Meteoroloji Mühendisliği (Çift Anadal)
- Yüksek Lisans : (2010 – Devam Ediyor), İstanbul Teknik Üniversitesi – Uçak ve Uzay Mühendisliği Disiplinlerarası Yüksek Lisans Programı
- Çalıştığı Kurum : (2015 – Devam Ediyor), Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı
- Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü