HAVACILIK NAVİGASYONLARINDA DİFERANSİYEL GPS KULANILMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Hüseyin TOK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2006
ANKARA

HAVACILIK NAVİGASYONLARINDA DİFERANSİYEL GPS KULANILMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Hüseyin TOK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2006
ANKARA

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüseyin TOK

Hüseyin TOK tarafından hazırlanan HAVACILIK NAVİGASYONLARINDA DİFERANSİYEL GPS KULANILMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI
……
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Tarih : 01 / 06 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

HAVACILIK NAVİGASYONLARINDA DİFERANSİYEL GPS KULANILMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)

Hüseyin TOK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006

ÖZET

Küresel Navigasyon Uydu Sistemlerindeki son gelişmeler; hava araçlarının bir noktadan diğer bir noktaya ulaşmalarını sağlayan uçuş yollarının, yer bazlı radyo navigasyon istasyonlarına bağımlı kalmadan belirlenmesine imkan tanımıştır. Ancak GPS'in, birçok hata kaynaklarını üzerinde barındırması sebebiyle, doğruluğunu arttırmak için Diferansiyel GPS uygulaması geliştirilmiştir.

D-GPS; bulunduğu sabit noktadaki koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş GPS alıcısının uydu gözlemleri aracılığıyla yaptığı konum ölçümlerini bilinen gerçek konumuyla karşılaştırarak, tespit etiği konum hata oranlarını, hareketli diğer GPS alıcılarına yayınlayarak bu alıcıların konumlarını daha doğrulukla tespit etmelerini sağlayan bir uygulamadır.

Bu çalışmada Ankara'dan İstanbul'a, VOR, NDB gibi yer bazlı radyo navigasyon yardımcılarından faydalanarak G8 hava yolunu kullanan hava aracının içerisindeki GPS alıcısına ait veriler post-proses metodu kullanılarak yerde kurulu GPS alıcısına ait veriler aracılığıyla diferansiyel düzeltmesi alınmış ve çözümler karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar; hava aracı navigasyonlarında D-GPS uygulamalarının, VOR, NDB gibi klasik yer bazlı radyo navigasyon yardımcılarına nazaran çok daha hassas, emniyetli ve doğruluğu yüksek navigasyon performansı ortaya koyduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 914
Anahtar Kelimeler : Diferansiyel GPS, DGPS, navigasyon, havacılık
Sayfa Adedi : 128
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI

AN APLICATION OF AVIATON NAVIGATIONS USING DIFFERENTIAL GPS
(M.Sc. Thesis)

Hüseyin TOK

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2006

ABSTRACT

With the recent developments in Global Navigation Satellite Systems (GNSS); the aircraft navigations, on the IFR air routes, can be operated by without using ground based navigation stations. On the other hand, since there are many error sources which cause positioning errors while using GPS differential GPS is developed to improve the accuracy of precision positioning with GPS.

DGPS is a method of improving the accuracy of mobile receivers by adding a local reference station whose position is known with high accuracy, and then comparing the known position with the one available from the satellites and broadcasting the error ratios to mobile receivers.

In this study; the GPS observation data obtained from a roving GPS station in an navigating aircraft on G 8 airway by using ground based radio navigation aids like VOR and NDB, was studied using post-process method in which the corrections for the errors are obtained from a ground based reference station and the solutions are compared.

The results show that; GPS with Differential corrections for aircraft operations in airspace navigation would be provided with superior and more precise navigation performance than available from current operations with ground based navigation aids such as VOR or NDB.

Science Code : **914**
Key Words : **Differential GPS, DGPS, navigation, aviation**
Page Number : **128**
Adviser : **Dr. Metin U. SALAMCI**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni sabırla yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK'a, ayrıca büyük desteklerinden dolayı Kara Pilot Binbaşı (E) Rıdvan F. ÖZENÇ'e ve Harita Hava Grup Komutanlığında görevli tüm mesai arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Seda TOK ve oyun vakitlerinden çaldığım zamanlarda sabırla beni bekleyen biricik kızım İNCİLAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv

RESİMLERİN LİSTESİ xvi

HARİTALARIN LİSTESİ xvii

SİMGELER VE KISALTMALAR xviii

1. GİRİŞ 1

2. HAVA ARACI NAVİGASYONUNDA KULLANILAN TEKNİKLER 8

2.1. Hava Aracı Navigasyonunda Kullanılan Uçuş Rotaları ve Haritalar 8

2.2. Kullanımına Göre Radyo Navigasyon Yardımcıları 10

2.2.1. Uzak mesafelerde kullanılan radyo navigasyon yardımcıları 10

2.2.2. Orta mesafelerde kullanılan radyo navigasyon yardımcıları 10

2.2.3. Kısa mesafelerde iniş veya yaklaşmalarda kullanılan radyo navigasyon yardımcıları 11

2.3. Radyo Navigasyon Sistemleri 11

2.3.1. VDF (VHF Direction Finder) 11

2.3.2. ADF Otomotik yön bulucu (Automatic Direction Finder) 12

2.3.3. VOR (VHF Omni Range) 13

Sayfa

2.3.4. DME Mesafe ölçme aleti (Distance Measuring Equipment).... 16
2.3.5. TACAN (Tactical Air Navigation) ve VORTAC 18
2.3.6. OMEGA 19
2.3.7. Radyo altimetresi 19
2.3.8. GPS Global konumlama sistemi 20
2.3.9. INS Bağımsız navigasyon sistemi 21
2.3.10. RNAV Alan seyrüseferi (Area Navigation) 22
2.3.11. FMS Uçuş yönetim sistemi 22
3. UYDU BAZLI NAVİGASYON 23
3.1. GPS'in Tanıtılması 24
3.2. GPS'in Bölümleri 25
3.2.1. Uzay bölümü 25
3.2.2. Kontrol bölümü 26
3.2.3. Kullanıcı bölümü 27
3.3. GPS Sinyali Özellikleri..... 27
3.4. GPS Hata Analizi 30
3.4.1. Efemeris hatası 31
3.4.2. Uydu saat hatası 32
3.4.3. İyonosferik hatalar 32
3.4.4. Troposferik hatalar 34
3.4.5. Multipath hatası 34
3.4.6. Alıcı hataları 35
3.4.7. Uydu geometrisi 35

Sayfa

3.4.8. Standart hata çizelgeleri 37

4. DİFERANSİYEL GPS (DGPS) 41

4.1. DGPS Nasıl Çalışır 41

4.2. DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemleri 43

4.3. Ana DGPS Teknikleri 46

4.3.1. Geniş alan diferansiyel GPS'i (WADGPS) 47

4.3.2. Lokal alan diferansiyel GPS i (LADGPS) 50

4.4. GPS Hata Kaynaklarının DGPS'e Etkilerinin İncelenmesi 55

4.4.1. Alıcı gürültüsü ve multipath hatalarının etkisi 56

4.4.2. Uydu saat hatasının etkisi 57

4.4.3. Uydu efemeris hatasının etkisi 57

4.4.4. İyonosferik hataların etkisi 58

4.4.5. Troposferik hataların etkisi 59

5. ANKARA İLE İSTANBUL ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN NAVİGASYONUN DGPS GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA (POST-PROCESS) METODUYLA YAPILAN UYGULAMASI 61

5.1. Testin Planlama Safhası 62

5.1.1. Kullanılacak rotanın planlanması 62

5.1.2. Testte kullanılan uçak ve teçhizatlar 64

5.1.3. Testte kullanılan DGPS yazılımı 67

5.2. Test Uçuşunun Yapılması 67

5.2.1. Navigasyon rotası 70

5.3. Uçuş Sonrası GPS Verilerinin İşlenmesi 73

5.4. İşlenmiş GPS Verilerinin Yorumlanması 75

Sayfa

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 80

KAYNAKLAR 83

EKLER 86
EK-1 Küresel konumlama sistemleri..... 87
EK-2 Türkiye'de bulunan radyo navigasyon kolaylıkları..... 104
EK-3 Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri 108

ÖZGEÇMİŞ..... 125

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. DOP faktörleri 36

Çizelge 3.2. DOP değerleri 37

Çizelge 3.3. SA kapalı durumdayken hata çizelgesi 38

Çizelge 3.4. SA açık durumdayken hata çizelgesi 39

Çizelge 4.1. DGPS doğrulukları (SPS kullanıcısı için) 43

Çizelge 4.2. DGPS hata kaynakların ve büyüklükleri 59

Çizelge 4.3. DGPS ve GPS hata kaynakları ve büyüklükleri 60

Çizelge 5.1. Testte kullanılan yer bazlı radio navigasyon istasyonları 63

Çizelge 5.2. Ashtech Z-Surveyor GPS alıcısı özellikleri 64

Çizelge 5.3. ICAO R-NAV standartları 75

Çizelge 5.4. Uçuşun safhalarına göre hata oranları 79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. NDB istasyonu ve hava aracındaki istikamet göstergesi 12

Şekil 2.2. VOR istasyonu ve hava aracındaki radyal ve kurs göstergesi 15

Şekil 2.3. DME istasyonu ve hava aracındaki indikatörü 16

Şekil 3.1. GNSS 24

Şekil 3.2. GPS'in bölümleri 25

Şekil 3.3. Mevcut GPS sinyalinin özellikleri 28

Şekil 3.4. Block IIF uydularına ait GPS sinyali özellikleri 29

Şekil 3.5. GPS hata kaynakları 31

Şekil 3.6. SA açıkken nokta konumlama 33

Şekil 3.7. SA kapalıyken nokta konumlama 33

Şekil 3.8. Multipath etkisi 34

Şekil 3.9. Zayıf ve Güzel uydu geometrisi 36

Şekil 4.1. DGPS çalışma prensibi 42

Şekil 4.2. Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı 46

Şekil 4.3. DGPS teknikleri ve doğrulukları 47

Şekil 4.4. Örnek WADGPS ağı 48

Şekil 4.5. Geniş alan DGPS 'leri 49

Şekil 4.6. DGPS referans istasyon kısmı veri iletişim blok diyagramı 51

Şekil 4.7. DGPS uçaktaki kulanıcı kısmı veri iletişim blok diyagramı 53

Şekil 4.8. Efemeris hatası 57

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.1. FMS ve DGPS'in konum hatası oranları.....77

Şekil 5.2. GPS kayıtlarının Doğu ve Kuzey değerlerine göre merkezden sapmaları.....78

Şekil 5.3. DGPS kayıtlarının Doğu ve Kuzey değerlerine göre merkezden sapmaları.....78

Şekil 5.4. 30 sn. gözlem aralıklı DGPS ve 0.5 sn. gözlem aralıklı DGPS'in konum hatası oranları.....79

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. NDB istasyonu 13

Resim 2.2. 360 derece sinyal yayını yapan VOR istasyonu 14

Resim 2.3. VOR istasyonu 15

Resim 2.4. DME istasyonu 17

Resim 2.5. TACAN istasyonu 18

Resim 2.6. OMEGA istasyonu 19

Resim 2.7. Alçak irtifa radyo altimetresi 20

Resim 2.8. INS sistemi ve hava bilgi kompüteri 21

Resim 2.9. FMS sistemi 22

Resim 5.1. JeppView programı uçuş planlama kart görüntüsü 62

Resim 5.2. İstanbul sabit GPS istasyonu hava fotoğrafı 66

Resim 5.3. Avrupa kıtasındaki sabit GPS istasyonları 66

Resim 5.4. SKIP yazılımı ekran görüntüsü 67

Resim 5.5. Çalışılacak GPS kayıtlarının bilgisayara aktarılması 69

Resim 5.6. SKIP yazılımı ekran görüntüleri 73

Resim 5.7. SKIP yazılımı çıktıları (non-dgps) 74

Resim 5.8. SKIP yazılımı 30 sn aralıklarla alınmış çıktıları (non-dgps) 74

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 2.1. Türk hava sahasındaki uçuş yolları 9

Harita 2.2. Ankara ile İstanbul arasındaki VG 8 hava yolu 10

Harita 4.1. Terminal sahasi hava yolları 54

Harita 5.1. Ank. İst. arasındaki G 8 hava yolu ve R.Nav istasyonları 61

Harita 5.2. VG 8 hava yolu 63

Harita 5.3. TUSAGA kapsamında konuşlu GPS istasyonları 65

Harita 5.4. Ankara Esenboğa ayrılış rotası 70

Harita 5.5. TOKER kavşağı 71

Harita 5.6. İstanbul Atatürk varış rotası 72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
Feet	Fit (Amerikan Uzunluk Ölçüsü)
Hz.	Hertz
KHz.	Kilo Hertz
Km.	Kilometre
Kw.	Kilowatt
MHz	Mega Hertz
Nm	Deniz mili
non-dpgs	Diferansiyel düzeltmesiz GPS uygulaması
nötr	İyonize olmamış
psevdorange	Ham Uydu Alıcı Mesafesi
sigma	Sigma (Latin alfabesi)

Kısaltmalar	**Açıklama**
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADF	Otomatik Yön Bulucu (Automatic Direction Finder)
AFS-65	Oto Pilot Kompüteri Model Numarası
APR	Hava araçlarının pistlere yaklaşma safhası (Aproach Phase)
ARR	Hava araçlarının havaalanlarına yaklaşma prosedürleri (Arrival Phase)
C/A	Serbest Erişim Kodu (Clear/Access)
DGPS	Diferansiyel GPS

Kısaltmalar	Açıklama
DME	Mesafe Ölçme Cihazı
DME/P	Hassas Mesafe Ölçme Cihazı
DVOR	Doppler VOR
EGNOS	Avrupa Uydu Navigasyon Kaplama Servisi (European Geostationary Navigation Overlay Service)
EU	Avrupa Birliği
FL	Uçuş Seviyesi
FMS	Uçuş Yönetim Sistemi
G 8	Hava yolu
GALILEO	Avrupa Birliği Küresel Konumlama Uyduları
GDOP	Geometrik Hassasiyet Bozukluğu
GLONASS	Rusya Federasyonu'na ait küresel konumlama uyduları
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)
GNSS-2	GNSS'in 2. Evresi
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
HDOP	Yatay Düzlemdeki Hassasiyet Bozukluğu
HTK	Hava Trafik Kontrol
ICAO	Uluslar Arası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organisation)
IFR	Aletli Uçuş Kuralları
ILS	Aletli İniş Sistemi
IMC	IFR Meteorolojik Şartlar
IMO	Uluslar arası Denizcilik Organizasyonu (International Maritime Organisation)
INMARSAT	Senkron olarak yörüngeye atılan konumlama uyduları
INS	Bağansız Navigasyon Sistemi

Kısaltmalar	Açıklama
JPO	Birleşik Program Ofisi (Joint Program Office)
LADGPS	Lokal Alan DGPS
MF	Orta Frekans
MOD-S	Transponder MOD Kodu
MSAS	Uydu Temelli Kaplama Sistemi (Satellite based Augmentation System)
MSS	Mobil Uydu Sistemleri (Mobile Satellite Systems)
MTSAT	MSAS'ta kullanılan uydu sistemleri
NAVSTAR	Navigasyon uyduları zamanlama ve ölçümlendirme (Navigation Satellite Timing And Ranging)
NVOR	Normal VOR
OCS	Operasyonel Kontrol Sistemi (Operational Control System)
P	Hassas
PDOP	Tüm Boyutlardaki Hassasiyet Bozuklukları Toplamı
PPS	Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (Precise Positioning Service)
RAIM	GPS Tamamlayıcı gözlem teçhizatı
RF	Radyo Frekansı
RNAV	Alan Navigasyonu
RRC	Mesafe Oranı Düzeltmesi (Range Rate Correction)
RTCM-SC 104	Radio Technical Commission for Marine Services Special Commitee 104
SA	Seçici Duyarlılık
SATCOM	Haberleşme Uydusu (Communication Satellite)
SPS	Standart Konum Belirleme Hizmeti (Standart Posıtıoning Service)

Kısaltmalar	Açıklama
TACAN	Taktiki Navigasyon Cihazı
TDOP	Zaman Ölçümündeki Hassasiyet Bozukluğu
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
TVOR	Terminal VOR
UHF	Çok yüksek frekans
UTC	Uluslararası Zaman Düzeltmesi (Universal Time Correction)
UTM	Haritacılıkta Kullanılan Projeksiyon Tipi
VDF	VHF Yön Bulucu
VDOP	Düşey Düzlemdeki Hassasiyet Bozukluğu
VFR	Görerek Uçuş Kuralları
VHF	Yüksek frekans
VLF	Çok düşük frekans
VOR	VHF navigasyon istasyonu (VHF Omni Range)
VOR/DME	VOR ve DME istasyonlarının birleşmiş hali
VORTAC	VOR ve TACAN istasyonlarının birleşmiş hali
WAAS	Geniş Alan Kaplama Sistemi
WADGPS	Geniş alan DGPS
WGS84	Dünyaca Ortak Haritacılık Prokeksiyonu

1. GİRİŞ

Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS), Dünya üzerinde milyonlarca kullanıcıya, denizde, havada ve karada olmak üzere navigasyon amaçlı olarak hizmet vermektedir. Bu uygulamaların bir kısmı, can güvenliğiyle doğrudan ilişkili uygulamaları kapsamaktadır. Hava araçları seyrüseferleri de, bu kapsamda değerlendirilebilecek örneklerdendir.

Havacılık ve uzay teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, uydu bazlı küresel konum belirleme sistemi de sürekli gelişmektedir. Başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere, diğer ülkeler gerek yörüngede bulunan uydular bazında, gerekse uydulardan aldığı sinyalleri işleyerek son kullanıcıya hizmet sunan alıcılar bazında birçok çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların nihai amacı, dünya üzerindeki bir cismin konumumu belirli bir sistematik içerisinde, çok daha hassas şekilde belirlemektedir. Tüm bu gelişmelere paralel olarak, karada ve denizde kurulu olan ve işletmesi ve bakımında birçok güçlüklerle karşılaşılan yer bazlı seyrüsefer yardımcı istasyonları, ilgili kurumlarca hazırlanan icra planları kapsamında kısmen veya tamamen kaldırılmakta ve seyrüseferlerdeki doğruluk arttırılmaktadır [1].

Uzay ve havacılık çalışmalarındaki hızlı gelişmeler 1980'li yılların başlarında Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'in günlük yaşama girmesine neden olmuştur. Günümüzde ise askeri ve sivil alanlarda birçok amaca yönelik kullanılmaktadır.

1980'li yıllara kadar hava araçları seyrüseferlerini yerdeki nirengi ve radyo seyrüsefer cihazlarını kullanarak ya da pilotlar veya seyrüsefer operatörleri tarafından haritalara göre hesaplamalar yaparak gerçekleştirilmekteydi. Bu yöntemlerde çoğu zaman sınırlamalarla karşılaşılması da kaçınılmazdı. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için ABD tarafından Global Konumlama Sistemi (GPS), Rusya federasyonu tarafından ise GLONASS geliştirilmiştir.

GLONASS ve GPS birbirlerine çok benzeyen sistemler olmasına rağmen GPS dünyada en yaygın olarak kullanılanıdır.

GPS, başlangıçta askeri amaçlar için tasarlanmış olmasına rağmen bugün dünya üzerinde sivil kullanıcıların sayısı askeri kullanıcılardan çok daha fazladır.

GPS bugüne kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu küresel konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, diğer sistemlerde olduğu gibi bazı zayıf tarafları vardır. Başka bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları etkileyen bazı sistematik ve rastlantısal sapmalar söz konusudur. Bu sapmaları çok farklı şekillerde sınıflandırmak mümkün olmakla birlikte, müteakip bölümlerde açıklanacaktır.

Sonuç olarak, GPS'in navigasyon amaçlı kullanılması, anlık konum belirleme gibi durumlarda alıcıda hesaplanan ve ekranda okunan konum ve zaman bilgilerinin doğruluğuna bağlıdır.

Hata kaynaklarının özellikle sivil kullanıcılar için aşağı seviyelere çekilerek konum belirleme doğruluğunu yükseltmek amacıyla bazı girişim ve çalışmalar devam etmektedir. Bunlardan birisi 2003 yılından itibaren Block II R-M uydularında L2 frekansı üzerinden C/A kod yayınlanması projesidir. Bu sayede sivil kullanıcıların çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik hata oranını azaltmaları mümkün olmaktadır. Bir diğeri 2005 yılından itibaren fırlatılmaya başlanan Block II F uyduları üzerinden yayınlanacak L5 frekansıdır. L5 sinyalinin asıl amacı hava araçlarının güvenli bir şekilde navigasyon yapmasıdır ve bütün kullanıcılara açık olacağı düşünülmektedir.

Diğer bir girişim ise, çift frekanslı GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 48 uyduya erişim olanağının mevcudiyetidir. GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmaya başlanması navigasyon doğruluklarında önemli iyileşmelere neden olacaktır. Buna benzer diğer bir girişim Avrupa uyduları

(GALILEO) projesidir. GNSS (Küresel uydu navigasyon sistemi) nin tamamlanması ile 2010 yıllarından itibaren uydu bazlı navigasyonda çok daha fazla uyduya ulaşma imkanı ile navigasyon doğruluğunun artacağı değerlendirilmektedir.

GPS ile elde edilen anlık doğruluk birçok amaç için yeterli olmakla birlikte, bazı navigasyon uygulamalarında özellikle bu çalışmada ele alınan hava araçlarının seyrüseferleri için daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple istenen doğruluklara erişebilmek DGPS (Diferansiyel GPS) tekniği ile mümkün olabilmektedir. Birçok DGPS tekniği olmakla birlikte, bunlar çok genel olarak küçük alan DGPS (LADGPS, Yerel alan DGPS) ve büyük alan DGPS (WADGPS, Geniş alan DGPS) tekniği olarak iki ana sınıfta toplanabilir.

Yukarıda değinildiği üzere gelecekte GPS ve diğer uydu sistemlerinin de katılımı ile GPS konum doğruluğunu arttıracak girişimler, DGPS doğruluğunu da direk etkileyen ve konum doğruluğunu arttırıcı etki yapacak girişimler olacaktır.

DGPS tekniği sayesinde hava araçları, GPS'e nazaran çok daha hassas anlık konum doğruluğu elde ederek güvenli navigasyon yapabilmektedirler. Geniş Alan Diferansiyel tekniği günümüzde ABD tarafından geliştirilmekte olup, başlangıçta rotadaki uçuşlar için daha hassas konum belirleme ve navigasyon amacıyla planlanmakta, hassas yaklaşma ve iniş safhası Lokal Alan Diferansiyel tekniği için gelecekteki planlamalarda yer almaktadır.

Konumu daha önceden hassas olarak belirlenmiş sabit GPS alıcısının en az 4 uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yapıp, bu uydulara ait uzaklıkları hesaplayarak elde ettiği konum bilgisini, kendisinin önceden bilinen konumuyla karşılaştırıp, aradaki konum hata farklarını diferansiyel düzeltme olarak lokal alandaki hava araçları üzerinde bulunan GPS alıcılarına

göndererek hava araçlarının konumunu doğru olarak belirlemesi esasına dayanan DGPS tekniği olup bu çalışmanın asıl konusudur.

Son on yılda hava taşımacılığındaki büyüme; mevcut istatistiklere ve kayıtlara göre incelendiğinde, Avrupa kıtasındaki hava trafiğinin 1997 yılına nazaran 2015 yılında iki katına çıkacağını göstermektedir [1]. Hava aracı seyrüseferlerinde kullanılan uçuş rotalar yani hava yolları, yer bazlı radyo navigasyon seyrüsefer kolaylıkları (istasyonları) üzerlerinden geçirilmektedir. Bu durum hava sahasının verimli kullanılmasını engellemekte ve mevcut hava yolları üzerinde ki trafik yükünü arttırmaktadır. Artan bu hava trafiğin karşısında halihazırda kullanılan hava yollarında sıkışmalar meydana gelmekte, mevcut Hava Trafik Kontrol (HTK) hizmeti uygun olarak verilememekte bu da hava ulaştırmasında gecikmelere sebebiyet vererek birçok hizmette ek maliyetler getirmektedir. Asıl önemlisi, gerek pilotlar gerekse hava yolu şirketleri ve hava trafik kontrol hizmeti veren kuruluşlar tarafından prosedür dışı uygulamalar uçuş emniyetini olumsuz yönde etkilemekte ve büyük kazalara sebebiyet verebilmektedir. Oluşabilecek hava aracı kazalarını önlemek veya en aza indirmek maksadıyla alternatif sistemler geliştirme gereğinden hareket ederek DGPS uygulamaları üzerinde çalışmalara başlanmış ve hızla devam etmektedir.

Bu çalışmada, DGPS'in Ankara Esenboğa Havalimanı ile İstanbul Atatürk Havalimanı arasında mevcut hava yolları kullanılarak yapılan bir uçuşun Gözlem Sonrası Hesaplama (post-process) yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Alınan sonuçları hava aracı üzerinde mevcut yer bazlı radyo navigasyon istasyonlardan alınan bilgileri işleyen navigasyon sistemleri ve salt GPS dayalı navigasyon bilgileri ile karşılaştırılmıştır. Post-process DGPS uygulaması yapmak için bir yazılıma ihtiyaç duyulmuş olup, bu çalışmada DGPS yazılımı için SKİP programı kullanılmıştır. Uygulama bu şekilde post-process yapılabildiği gibi, gerçek zamanlı olarak da yapılabilir ancak bu durumda gerçek zamanlı (Real Time) yayın yapan referans istasyonu alıcısına ihtiyaç duyulur. Referans istasyon uydulara yaptığı ölçümlere kendi

hassas konumundan faydalanarak getirdiği düzeltmeleri yayınlama yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilecek birçok alıcı mevcut olup, ülkemizde çalışmada kullanılabilecek yüksek çıkış gücüne sahip alıcılar mevcut değildir.

GPS'in havacılık navigasyonunda kullanılmasıyla ilgili olarak literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bunlardan güncel olan bazı çalışmalar arasında Usanmaz'ın GPS'in havacılıkta kullanılması [2], Scott'ın küçük hava araçları için uydu bazlı navigasyon sistemlerinin dizaynı ve uygulaması [3], Shau'nun modern GPS ve geniş alan diferansiyel sistemlerinin hava araçları yaklaşma ve inişlerinde kullanılması [4], Myron'un aviyonik navigasyon sistemleri [5], Eschenbach'ın genel havacılıkta GPS uygulamaları [6] konulu çalışmaları sayılabilir.

Diferansiyel GPS (DGPS) yaklaşımı ile ilgili olarak, gerek hata analizlerinin incelenmesi gerekse sistemin bütün olarak güvenirliliği ile ilişkin çalışmalara örnek olarak IAOO [7], Hughes'in GPS'in çökertilmesi [8], Hoffmann'ın GPS teori ve uygulamaları [9], Navtech'ın GPS standart konumlama performansı [10], Brown'ın alıcılardaki bağımsız doğrulukların gözlenmesi [11], Parkinson'un küresel konumlama sistemleri içerisinde GPS hata analizleri [12] ve Bayliss'in GNSS yardımı ile DGPS hassas yaklaşmalarının incelenmesi [13]' konulu çalışmaları verilebilir.

Bu çalışmalarda bazı deneysel uygulamalar da yer almakta ve sonuçlar sistemler ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Türkiye'de ise DGPS'in denizcilikte uygulaması ile ilgili olarak Lenk [14]'in çalışmasından bahsedilebilir. Havacılık alanında ise pistlere hassas yaklaşma safhasında DGPS'in kullanılmasına yönelik Özenç [15]' in çalışması vardır. Özellikle ülkemizde DGPS'in havacılık alanında kullanılmasına yönelik olarak yapılmış başka bir yayına rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, hava araçlarının navigasyon esnasında kullandıkları tekniklerden ve yer bazlı radyo navigasyon istasyonlarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, dünyada mevcut uydu bazlı navigasyon sisteminin temel öğesini oluşturan GPS uydu sistemi tanıtılmış ve GPS'in bazı temel hata kaynakları incelenmiştir.

Bu çalışmanın dördüncü ve beşinci bölümlerinde Diferansiyel GPS tanımlanmış, navigasyonda kullanımı açıklanmıştır. Mevcut yer bazlı radyo navigasyon sistemlerine nazaran DGPS'in hava aracı navigasyonundaki performansı, DGPS yazılım programında Gözlem Sonrası Hesaplama yöntemiyle düzeltmeleri yapılarak daha hassas konumlar elde edilmiş ve Ankara Esenboğa havalimanı ile İstanbul Atatürk havalimanı arasında mevcut radyo navigasyon istasyonları ile gerçekleştirilen seyrüseferin matematiksel değerleriyle karşılaştırılmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

Son bölümde ise DGPS Post-Process uygulama ile ilgili sonuçlar verilmiş ve bunlar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Havacılıkta kullanılan birçok terim uluslar arası kullanım niteliği kazanmış İngilizce terimlerdir. Bu tezde uluslararası uyumun korunabilmesi amacıyla, İngilizce terimler aynen kullanılmıştır. Ancak her bir terimin açıklaması kısaltmalar bölümünde verilmiştir.

2. HAVA ARAÇI NAVİGASYONUNDA (SEYRÜSEFERİNDE) KULLANILAN TEKNİKLER

Navigasyon bir aracı veya insanı bir yerden başka bir yere ulaştırma olarak tanımlanmaktadır. Bir uçağı bir noktaya yönetmek ve her an bulunduğu yeri bilmek sanatına ise hava seyrüseferi denir. Her insan günlük hayatta aslında bir tür navigasyon yapmaktadır.

Cisimlerin mevcut pozisyonlarını belirli bir referans noktasına göre konumlanması ise yön bulumun ayrılmaz bir parçasıdır. Yani coğrafi olarak ve yükseklikle beraber konumun üç boyutlu olarak belirlenmesidir. Hava araçları navigasyonlarını iki kurala göre yaparlar. Bunlardan birisi VFR (Visual Flight Rules) denilen görerek uçuş şartları, bir diğeri ise IFR (Instrument Flight Rules) olarak adlandırılan aletli uçuş şartlarıdır. Bundan sonra gelen bölümlerde gece, zayıf görüş ve elverişsiz hava, yani IMC (Instrument Meteorological Conditions) şartlarda hava araçlarının navigasyonlarını ve emniyetli iniş yapabilmelerini sağlayan sistemlerin varlığı ve daha da geliştirilebilmeleri sayesinde kazaların en aza indirilebileceğinden bahsedilmektedir.

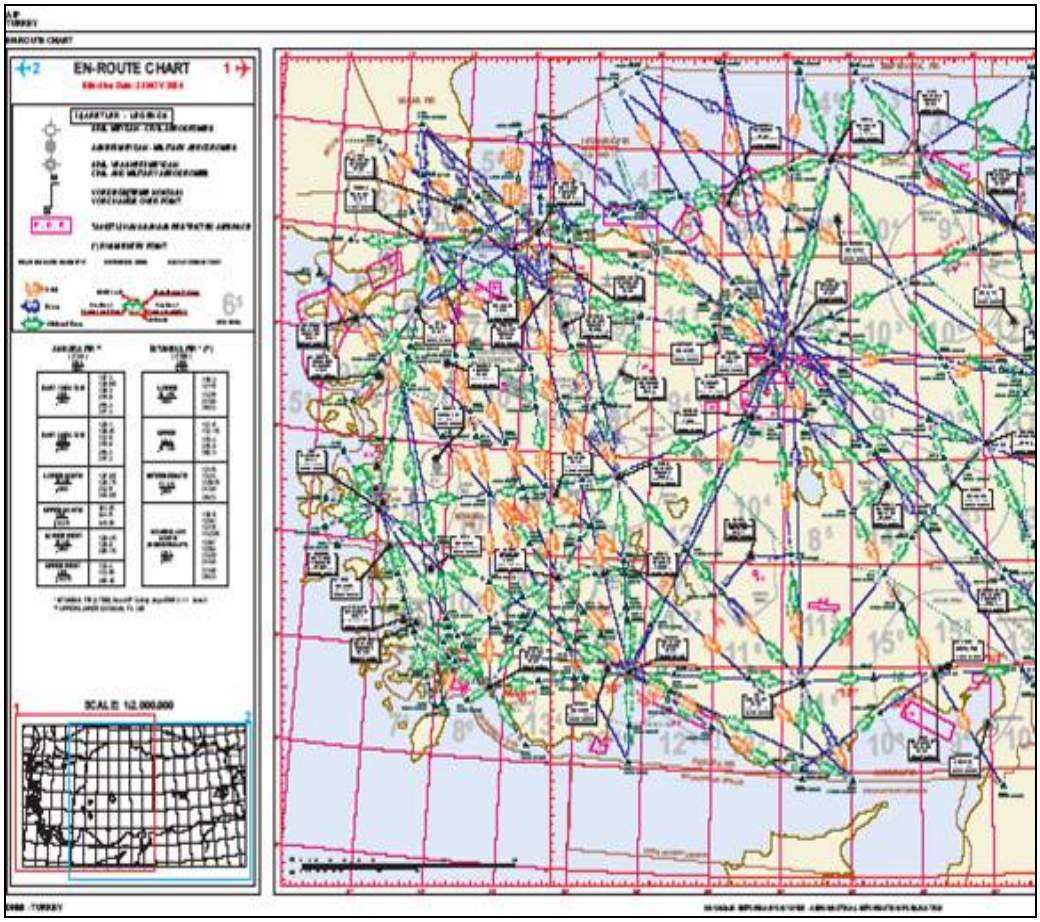
Radyo navigasyon sistemlerinin bazıları yer istasyonlarından alınan verileri, bazıları uydulardan aldığı bilgileri, bazıları da her ikisini de kullanarak pilota yada otopilota, gece, zayıf görüş şartlarında ve elverişsiz hava koşullarında navigasyon imkanı sağlarlar. Bu sayede hem kaza riski, hem de hava ulaştırmasının maliyeti azaltılmış olur.

2.1 Hava Aracı Navigasyonunda Kullanılan Uçuş Rotaları ve Haritalar

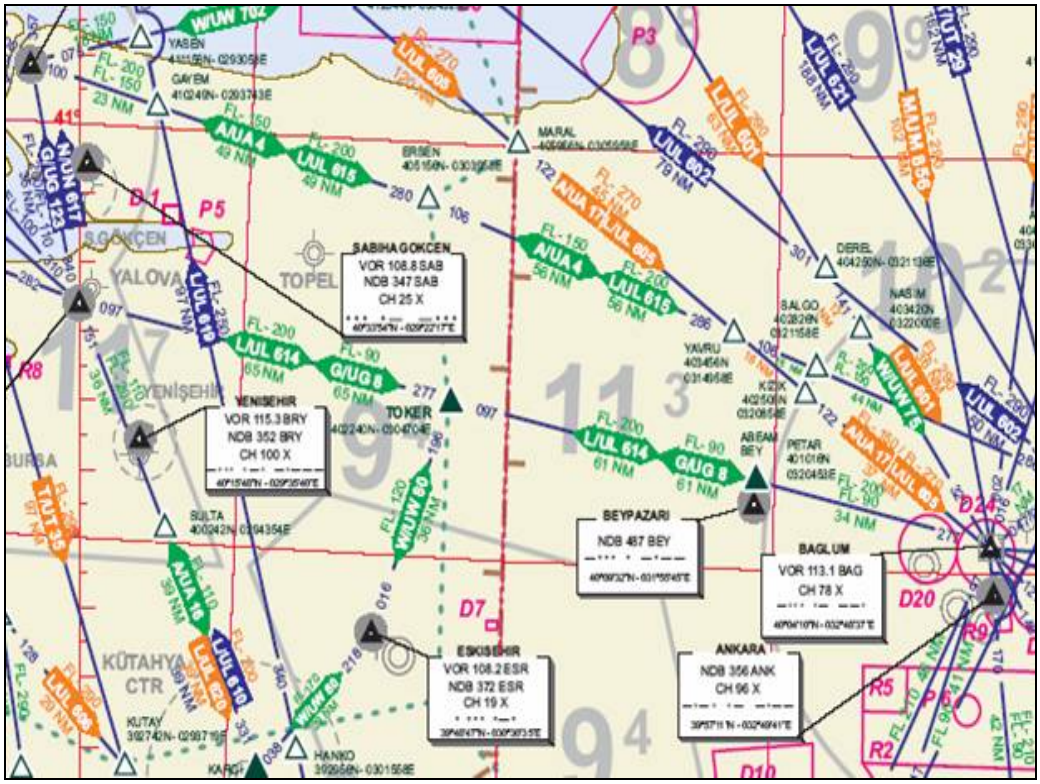
Hava araçları bir noktadan bir noktaya ulaşmak için yer bazlı seyrüsefer kolaylıklarından faydalanırlar. Kalkışlarından inişlerine kadar önceden belirlenmiş ve örnekleri Harita 2.1 ve Harita 2.2'de de görülen hava yollarını takip ederler. Yapılan bu navigasyon;

- Sürekli hareket ihtiyacı,
- Sınırlı havada kalış,
- Yüksek sürat,
- Meteorolojik hadiselerin tesiri,

gibi kısıtlamalara açık özellikler arz eder.



Harita 2.1. Türk hava sahasındaki uçuş yolları



Harita 2.2. Ankara ile İstanbul arasındaki VG 8 hava yolu

2.2. Kullanımına Göre Radyo Navigasyon Yardımcıları

2.2.1. Uzak mesafelerde kullanılan radyo navigasyon yardımcıları

Bu istasyonların menzili 300 NM'dan (deniz mili) fazladır. Genellikle deniz aşırı, çöl üzerindeki veya kıtalar arası uçuşlarda kullanılan seyrüsefer yardımcılarıdır. Hata oranı 5-10 Nm arasında kullanılır. Düşük frekans kullanırlar. Örneğin VLF, LF, MF kullanılır. Kullanım alanı olarak Omega, Loran, alınabilir.

2.2.2. Orta mesafelerde kullanılan radyo navigasyon yardımcıları

Bu istasyonların menzilleri 300 Nm'dan düşüktür. Bu seyrüsefer sistemleri hava trafik yolları üzerinde seyir eden uçaklar tarafından kullanılır. Uçaklara

mesafe, yön ve gerekli seyrüsefer yardımlarını verir. Hata toleransları birkaç derece veya birkaç Nm olabilir. Kullanılan frekanslar MF, VHF, UHF'dir. Bu sistemlere örnek olarak DME, VDF, VOR, ADF verilebilir.

2.2.3. Kısa mesafelerde iniş veya yaklaşmalarda kullanılan radyo navigasyon yardımcıları

Orta mesafelerde kullanılan seyrüsefer yardımcıları kısa mesafeler için de kullanılır. VOR, DME, NDB sayılabilir. Bunun yanında inişte kullanılan ILS, MSL'de vardır. Bunlarda hata payı birkaç yüz metre veya derecenin onda biri söz konusu olabilir.

2.3. Radyonavigasyon Sistemleri

Yer bazlı radyonavigasyon sistemleri şunlardır:

2.3.1. VDF (VHF direction finder)

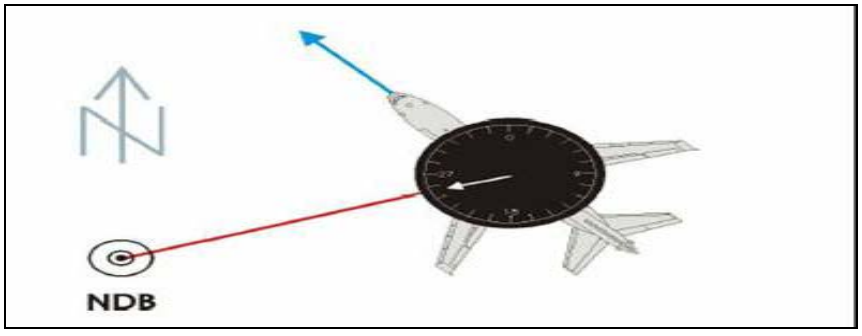
Ya uçağın istasyona yada istasyonun uçağa göre pozisyonunu verir. İlk kullanılan seyrüsefer sistemidir. İki çeşittir. Bunlar; QDM ve QDR'dır. QDM uçağa göre istasyonun pozisyonudur. QDR ise istasyona göre uçağın pozisyonudur. QDM=QDR+180=QDR-180'dir. VDF istasyonunun çalışma prensibi 118 MHz ile 136 MHz arasıdır. Sinyalin alınması irtifaya bağlıdır. Çalışma prensibinde verici uçak, alıcı ise yerdeki istasyondur.

Dezavantajları: Sadece bir uçağa hizmet verebilir. İkincisi irtifaya bağlı olmasıdır. Çok fazla seyrüsefer bilgisi vermez. Sadece açıyı verir. Alet doğru göstermeyebilir. Verici uçak, alıcı kuledir. Bu durum biraz terstir. Çünkü uçaktan gelen sinyali kule görüp, uçağın açısını tekrar uçağa bildirir. Ayrıca insan faktörü olduğu için hata olabilir. Hata olasılığı 5-10 derecedir. Bilgi kopukluğu vardır. Ayrıca Hava Trafik Kontrolörlerinden biri bu alete bağlı kalacağı için iş gücü kaybı da olmaktadır.

Avantajları: Maliyeti düşüktür. Uçak üzerinde sadece bir vericinin olması yeterlidir. Uçakta göstergeye gerek yoktur. Bakımı ve kurulması kolaydır. Sistemin çalışması için kulede sadece telsiz olması yeterlidir. Bu sistem halihazırda kullanılmamaktadır.

2.3.2. ADF otomotik yön bulucu (Automatic direction finder)

Uçakların yayın yapan yer istasyonlarına bağlı olarak yön bulması imkanını sağlayan bir seyrüsefer yardımcısıdır. LF ve MF bandında çalışan bu sistem uçaktaki göstergeler (RMI:Radio Magnetic Indicator) vasıtasıyla, uçağın bulunduğu pozisyona göre istasyonun yönünü gösterir (Şekil 2.1). NDB (Non Directional Beacon) ve L (Locator) olmak üzere iki tür yer istasyonu vardır. Sistemin çalışma frekansı 200-1750 kHz arasında değişir. Avrupada genelde kullanılan 200-420 kHz frekans aralığıdır. Çalışma prensibi VDF ile aynıdır. Her yer istasyonu mors kodunda iki-üç harfli tanıtım sinyali gönderir. NDB için dakikada 2 defa, L için dakikada 6 defa tanıtım sinyali yayınlanır. ADF sistemi normal uçuşta, yaklaşmada ve her uçuş seviyesinde kullanılabilir. NDB daha çok seyrüsefer sırasında, L ise yaklaşmalarda kullanılır. Locator'un verici gücü 10-50 W, NDB'nin ise 1-5 kW mertebelerindedir. Buna bağlı olarak da Locator'un menzili 15-25 NM, NDB'nin 50-100 NM düzeyindedir (Resim 2.1). Sistem hatası +/- 10 derecedir.



Şekil 2.1. NDB istasyonu ve hava aracındaki istikamet göstergesi



Resim 2.1. NDB istasyonu

Avantajları: Sistem basit ve ucuzdur.

Dezavantajları: Meteorolojik şartlara duyarlıdır. Geceleri alınan bilgiler güvenli olmayabilir.

2.3.3. VOR (VHF omni range)

VOR istasyonu kendi etrafında birer derece aralıklarla 360 adet radyal adı verilen doğrusal hat üretir (Resim 2.2). VHF bandında her yönde yayın yapan verici, kullanıcıya manyetik kuzeye göre yönünü, seçilen radyale göre pozisyonunu bildirir (Şekil 2.2). Uçakta alınan VOR bilgisi, uçağın uçuş yönünden bağımsızdır. ADF sistemindeki gibi uçak başını ADF istasyonuna yöneltmek amacına hizmet etmez. Sadece pilota uçuş esnasında yön bilgisi verir.



Resim 2.2. 360 derece sinyal yayını yapan VOR istasyonu

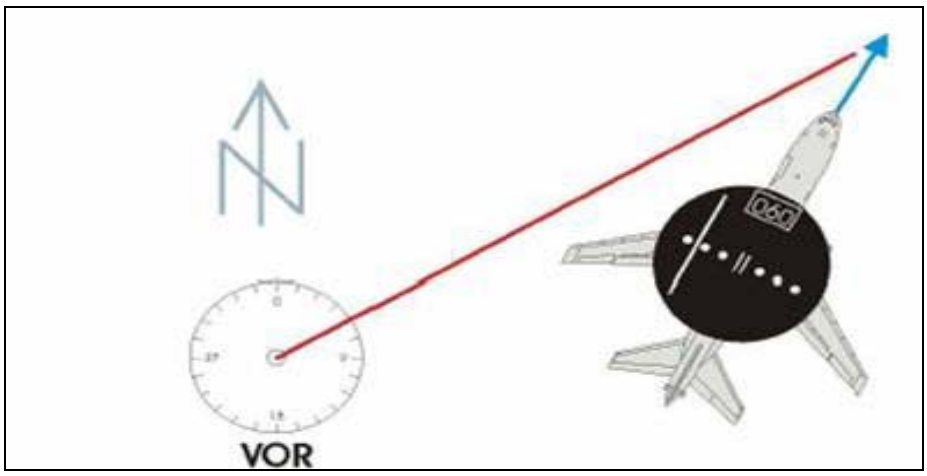
Çalışma prensibi: VOR istasyonunun yayınladığı sinyal bir taşıyıcı dalganın 30 Hz değerinde birbirinden bağımsız, ancak aynı anda iletilen iki dalga tarafından modüle edilmesi prensibine dayanır. 108-118 MHz'lik frekans bandına 0.05 MHz aralıklarla kanallar yerleştirilmiştir. Ancak 108,00-108,05-108,25-108,40 şeklinde 112,00 MHz'e kadar sıralanmıştır. Bunun sebebi 111,90 MHz'e kadar aralarda ILS sisteminin Localizer kanallarının bulunmasıdır.112,00 MHz'den itibaren 118,00 MHz'e kadar ise VOR kanalları 0,05 MHz aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Toplam 160 kanal kullanıma açılmıştır.

VOR Tipleri: Aynı amaca hizmet etmekle beraber üç tip VOR istasyonu ile karşılaşmak mümkündür. Bunlar NVOR(Normal VOR), TVOR(Terminal VOR) ve DVOR(Doppler VOR) şeklindedir (Resim 2.3).

NVOR: Genelde düz uçuşlarda, seyrüsefer esnasında kullanılır. Çalışma frekansı 112-118 MHz arasındadır. Verici gücü 200 W, menzil 200 NM/FL 330 mertebelerindedir.

TVOR: Yaklaşmalarda kullanılır. Çalışma frekansı 108-112 MHz arasındadır. Verici gücü 50 W, menzili 25 NM/FL 50 mertebelerindedir.

DVOR: Çalışma prensibi diğer ikisine göre daha farklıdır. Havaalanı içindeki veya VOR istasyonu çevresindeki metal yapıların veya araçların sebep olduğu yansımalardan kaynaklanan bilgi hatalarının ortadan kaldırılması için geliştirilmiştir.



Şekil 2.2. VOR istasyonu ve hava aracındaki radyal ve kurs göstergesi

Avantajları: Yüksek frekansların kullanılması, NDB'de ortaya çıkan ve meteorolojik koşullardan kaynaklanan gürültü problemini minimuma indirir. Uçak bordosundaki teçhizat basittir, NDB'ye göre daha düşük güç gerekir. Sistemin hata toleransı düşüktür.

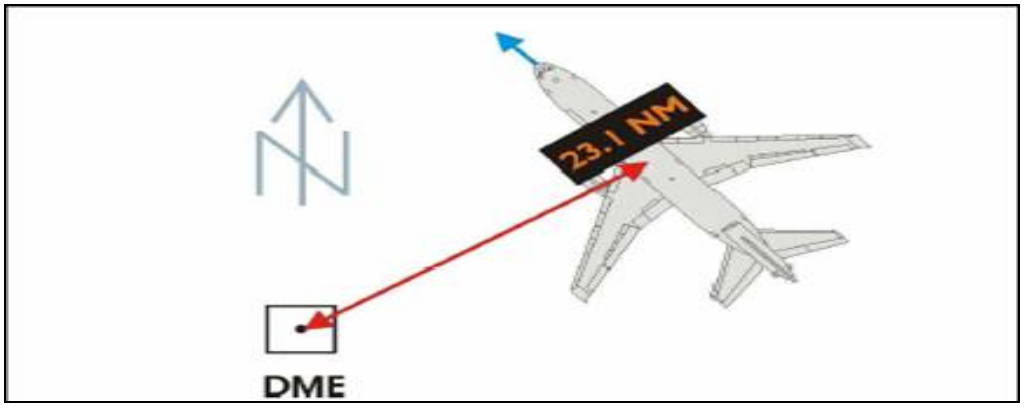
Dezavantajları: Vericinin yerde kurulma zorunluluğu vardır. Vericinin gönderdiği sinyallerin alınması irtifa ile ilgilidir. Direk dalgaların iletimde hakim olması dağların maskeleme etkisini beraberinde getirir.



Resim 2.3. VOR istasyonu

2.3.4. DME Mesafe ölçme aleti (Distance measuring equipment)

Pilota yer istasyonu ile uçak arasındaki uzaklığı veren ve UHF bandında yayın yapan bir sistemdir (Şekil 2.3). Genelde VOR ile birlikte kullanılır. Böylece pilot aynı anda hem yön hemde uzaklık bilgisini elde etmiş olur. Bu tür bir sistemde pilotun VOR frekansını seçmesi otomatik olarak ona bağlı DME frekansında seçmesini sağlar. (VOR/DME) Sistem yaklaşmalarda kullanılıyorsa iki istasyon arasındaki uzaklık 100 feetten fazla, seyrüsefer için kullanılıyorsa 2000 feetten fazla olmamalıdır.



Şekil 2.3. DME istasyonu ve hava aracındaki indikatörü

Çalışma Prensibi: Hem uçakta hem de yer istasyonunda (transponder) alıcı ve verici anteni vardır. Uçağın gönderdiği soru sinyalleri yer istasyonunda değerlendirilir ve farklı bir frekansta cevap sinyali olarak uçağa gönderilir. Yer istasyonunda soru sinyalinin değerlendirilmesi çok çok az bir zamanda gerçekleşir. Soru ile cevap sinyali arasında 63 MHz'lik frekans farkı vardır. Çalışma prensibi, sinyalin gidiş-dönüş süresinin ölçülmesine dayanır. Her DME istasyonunun belirli bir kapasitesi vardır. Yaklaşık 100 uçağa aynı anda hizmet verebilirler. UHF bandında 962-1213 MHz aralığında, toplam 252 kanal vardır. FL 330'da 200 NM menzile sahiptir. İstasyonun tam üzerinden geçildiğinde DME istasyonu uçağın irtifasını gösterecektir. Hata payı ortalama 0,5 NM'dir.



Resim 2.4. DME istasyonu

Avantajları: Kısa menzilli seyrüseferlerde (200 NM ve altı) en yaygın olarak kullanılan uzaklık ölçüm sistemidir. Çoğu aletli yaklaşma prosedürleri VOR/DME istasyonları üzerine kurulur. Yer hızı ve seyahat süresinin hesaplanmasında ana kaynaktır. ILS sisteminde daha doğru uzaklık bilgisi

vermesi sebebiyle markerlerin yerine kullanılır. MLS yaklaşma sisteminde de yine daha geliştirilmiş DME/P (Precision) kullanılır.

2.3.5. TACAN (Tactical air navigation) ve VORTAC

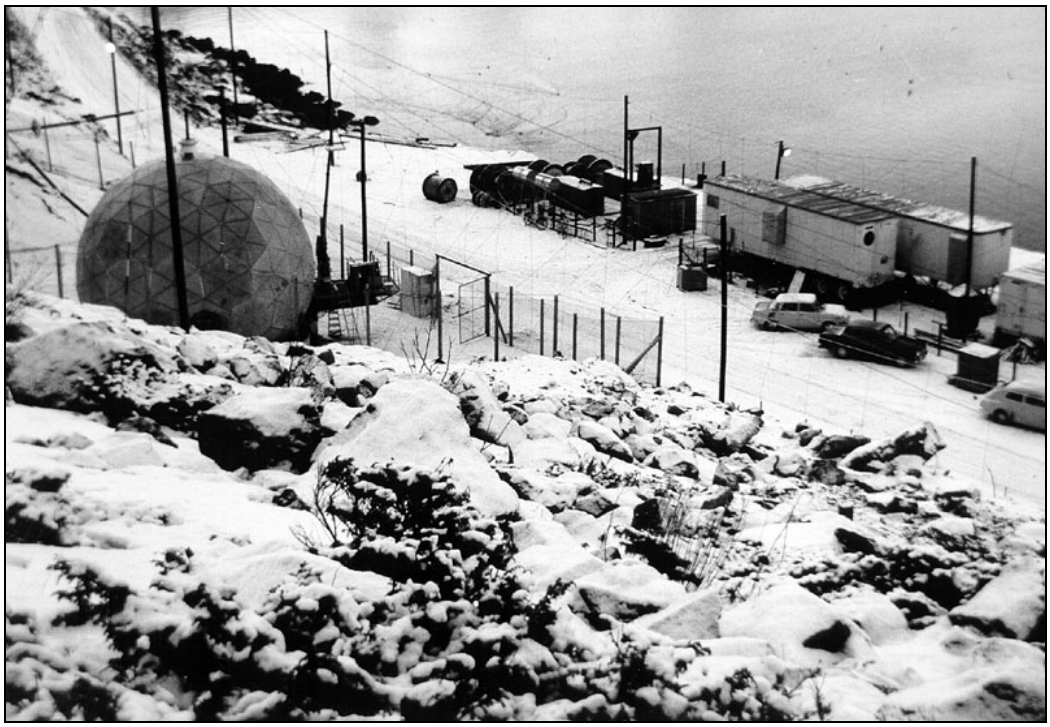
TACAN sadece askeri havacılıkta kullanılan bir radyo seyrüsefer sistemidir (Resim 2.5). VOR/DME sisteminin sivil uçaklar için sağladığı yön ve uzaklık bilgisini TACAN askeri uçaklar için sağlar. Çalışma frekansı DME ile aynıdır. (UHF bandında 1 GHz civarında) Bir DME alıcısı TACAN istasyonunun gönderdiği sinyalleri alabilir ve uzaklık bilgisinden faydalanabilir. Bu nedenle DME alıcısı bulunan sivil uçaklar TACAN istasyonunun uzaklık bilgisini kullanabilirler. Birbirine çok yakın yer istasyonlarının sinyallerinin birbiri ile karışmasını önlemek için, özellikle sivil ve askeri uçakların uçtuğu bölgelerde VORTAC (VOR+TACAN) radyo seyrüsefer yardımcısının kullanılması daha uygundur. Bu sistem hem askeri, hem de sivil uçaklara aynı anda yön ve mesafe bilgisi verir. Sivil uçaklar VOR'dan yön, TACAN'dan mesafe, askeri uçaklarda TACAN'dan mesafe ve yön bilgisi alırlar. VORTAC ve VOR/DME sistemlerinin menzilleri ve toleransları aynıdır. 126 kanalı mevcuttur ve 3 harfli mors kodunda tanıtım sinyali yayınlarlar.



Resim 2.5. TACAN istasyonu

2.3.6. OMEGA

Askeri amaçlı olarak ABD tarafından 1982 yılında kurulmuş ve uzun menzilli uçuşlarda uçağın dünyanın neresinde olduğunu bildiren bir radyo seyrüsefer yardımcısıdır (Resim 2.6). Duyarlı bir sistem olması sebebiyle sivil uçaklar tarafından da tercih edilmiştir. VLF bandında yayın yapan OMEGA sisteminin, dünyanın çeşitli yerlerinde ve birbirinden uzakta 8 tane yer istasyonu vardır. Menzil 10 000-15 000 km'ye kadar ulaşır. Özellikle okyanus aşırı uçuşlarda kullanılabilir.



Resim 2.6. OMEGA istasyonu

2.3.7. Radyo altimetresi

Radyo dalgaları vasıtasıyla uçağın gerçek yüksekliğinin bulunması amacına hizmet eder. Uçaktan düşey olarak gönderilen dalganın yerden yansıyıp dönme süresinin ölçülmesi ve buna bağlı olarak da uçağın irtifasının

bulunması prensibine dayanır. Küçük boyutlu verici ve alıcı antenleri uçak gövdesi veya kanatları altına yerleştirilir. İki türü vardır:

- Yüksek irtifa radyo altımetresi: Düz uçuşlarda, seyrüsefer sırasında kullanılır. 200 feet ile 50000 feet arasındaki yükseklikleri ölçebilir. Hata toleransı +/- 50 feettir.

- Alçak irtifa radyo altımetresi: Daha çok aletli yaklaşmalarda kullanılır. Çalışma frekansı 4 200-4 400 MHz, verici gücü 0,5 W ve menzili 2 500 feettir. 0-500 feet arası hata payı +/- 2 feettir (Resim 2.7).



Resim 2.7. Alçak irtifa radyo altimetresi

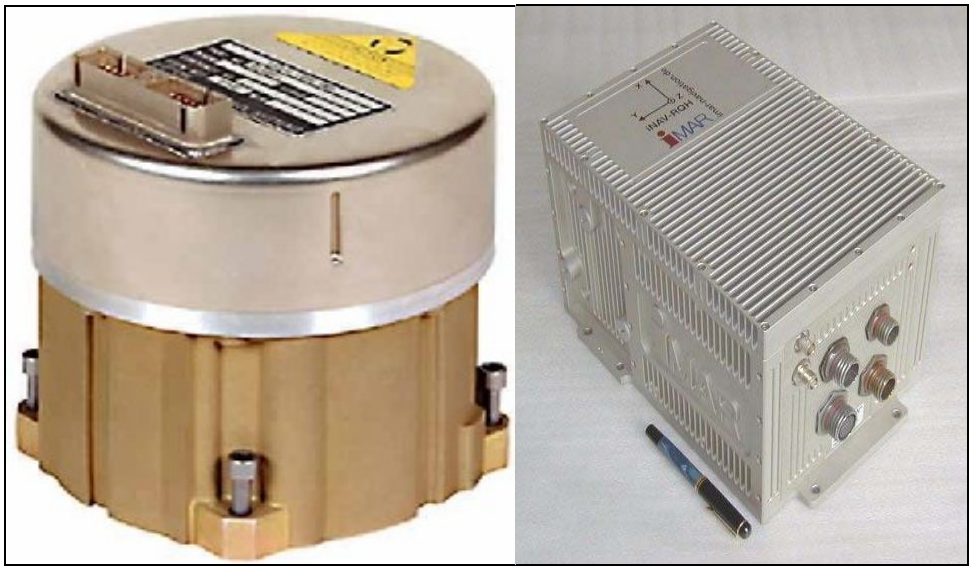
2.3.8. GPS global konumlama sistemi (Global positioning system)

ABD Savunma Dairesi tarafından geliştirilmiş, uyduya dayalı yer belirleme ve zaman transfer sistemidir. Bu çalışmanın temelini oluşturmakla birlikte müteakip bölümde ayrıntılarıyla açıklanacaktır.

2.3.9. INS bağımsız navigasyon sistemi (Inertial navigation system)

Bu sistemin yerde veya uzayda herhangi bir istasyon ile haberleşmesinde veya referans almasına ihtiyacı yoktur. Radyo dalgalarının kullanılmadığı tek uzun menzilli seyrüsefer sistemidir. Bir bilgisayar ile beraber görev yapmakta ve tamamıyla bağımsız olarak çalışmaktadır (Resim 2.8). Uçağın bir noktadan başka bir noktaya en kısa yoldan gidebilmesi, uçuşun herhangi bir anında konumu ve yerinin tespit edilmesi amacına hizmet eder.

Seyrüsefer bilgisayarı ve atalet ölçme sistemi olmak üzere iki alt elemanı vardır. Seyrüsefer bilgisayarı vasıtasıyla uçağın bulunduğu noktanın enlem ve boylamını, uçağın gitmek istediği gerçek başı, uçağın bulunduğu nokta ile varmak istediği nokta arasındaki en kısa yolu, yer hızını hesaplamak mümkündür. Seyrüsefer bilgisayarı bu hesaplamaları yaparken birkaç bilgi kaynağından yararlanır. Bu kaynaklar, atalet ölçme sistemi ve bir başka bilgisayar sistemi olan hava veri bilgisayarıdır. (Air Data Computer) Elde edilen bilgiler ise bir başka sistem olan uçuş yöneltme grubu (Flight Director Group) vasıtasıyla ibre, gösterge ve panellere aktarılır.



Resim 2.8. INS sistemi ve hava bilgi kompüteri

2.3.10. RNAV alan seyrüseferi (Area navigation)

Uzun veya orta menzilli yer istasyonlarından (VOR, DME, OMEGA gibi) INS sisteminden ve daha çok GPS'den aldığı girdileri harmanlayıp değerlendirerek pilota seyrüsefer ile ilgili tüm verileri sağlayan bir bilgisayar sistemidir.

2.3.11. FMS uçuş yönetim sistemi (Flight management system)

Bir uçağın seyrüsefer ve uçuş ile ilgili tüm fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olan bir bilgisayar sistemidir (Resim 2.9). FMS ile uçak üzerindeki elektrik elektronik teçhizatının verdiği bilgilerin hepsini bilgisayar sistemi vasıtasıyla tek bir ekran üzerinde toplamak mümkündür. Bu sayede pilotun iş yükü azalır ve yüksek doğrulukta bilgi transferi sağlanmış olur. Önceleri pilot, haritalara, performans dökümanlarına, kartlara, tablolara veya seyrüsefer ve performans hesap cetvellerine başvururken günümüzde ise FMS ile tüm bu bilgiler bilgisayara yüklenir, tüm gerekli hesaplamalar yapılır ve son olarak da yol boyunca yapılması gerekli tüm manevralar yerine getirilir. Ayrıca en ekonomik hız, irtifa değerleri, bunlara uygun performans bilgileri, kalan yakıt miktarı ve seyrüsefer bilgileri de sağlanır.



Resim 2.9. FMS sistemi

3. UYDU BAZLI NAVİGASYON

Teknolojik gelişmelere paralel olarak konum belirleme ve navigasyon sistemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. NDB, VOR, OMEGA gibi bir önceki bölümde bahsedilen yer bazlı radyo navigasyon istasyonları yardımı ile navigasyonlar daha kolay hale gelmişti, ancak bunlarında sınırlamalarının olması yeni arayışları hep gündemde tuttu. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için geliştirilen en önemli sistem uydu tabanlı radyo navigasyon sistemleridir. Bu sistemler, yüksek yörüngelerde dolaşarak daha fazla kaplama alanı sağlayan uydulara yerleştirildi. Bu sistemlerde uydular referans noktaları gibi hareket etmekte ve üç boyutlu konumlamanın yapılabilmesi için onlara olan mesafeler ölçülmektedir. İlk uydu navigasyon sistemlerinden biri Transit'tir. Transit'ten elde edilen tecrübeler ve bir çok deneysel sistemler yardımıyla Amerika Birleşik Devletleri tarafından Global Konumlama Sistemi (GPS), Rusya Federasyonu tarafından ise GLONASS geliştirilmiştir. GLONASS ve GPS birbirilerine çok benzeyen sistemler olmasına rağmen en fazla GPS, 1980'li yıllardan beri dünyada yaygın olarak günlük yaşama girmiştir [16].

Dünyada kullanılan seyrüsefer amaçlı uydular, *GPS* ve *GLONASS* tır. Gelecekte Avrupa uydularının devreye girmesiyle (GALILEO) ilk sivil kontrollü uydu navigasyonu da başlamış olacaktır. 2008 yılından itibaren Avrupa önderliğinde küresel uydu navigasyon sistemi *(GNSS-2)* yaygın olarak navigasyonun bütün safhalarında kullanılmaya başlanacaktır [17] (Şekil 3.1).

Yaygın olarak kullanılan GPS uyduları ve GPS alıcılarıdır. Aşağıda ayrıntılı olarak bahsedildiği gibi çeşitli sebeplerle, GPS uyduları kullanılarak icra edilecek navigasyonun hassas olarak yapılabilmesi için diferansiyel düzeltmelerin yapılması gerekir. Daha fazla doğrulukla yapılması gereken pistlere hava aracı hassas yaklaşmalarında, diferansiyel yönteminin kullanılması zorunluluğu vardır.



Şekil 3.1. GNSS

3.1. GPS'in Tanıtılması

Transit sisteminin gelişmiş biçimi olan "NAVSTAR/GPS" (Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) ABD savunma dairesi (Department of Defence) tarafından geliştirilen, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren, hem askeri hem de sivil kullanım alanları olan bir radyo navigasyon sistemidir.

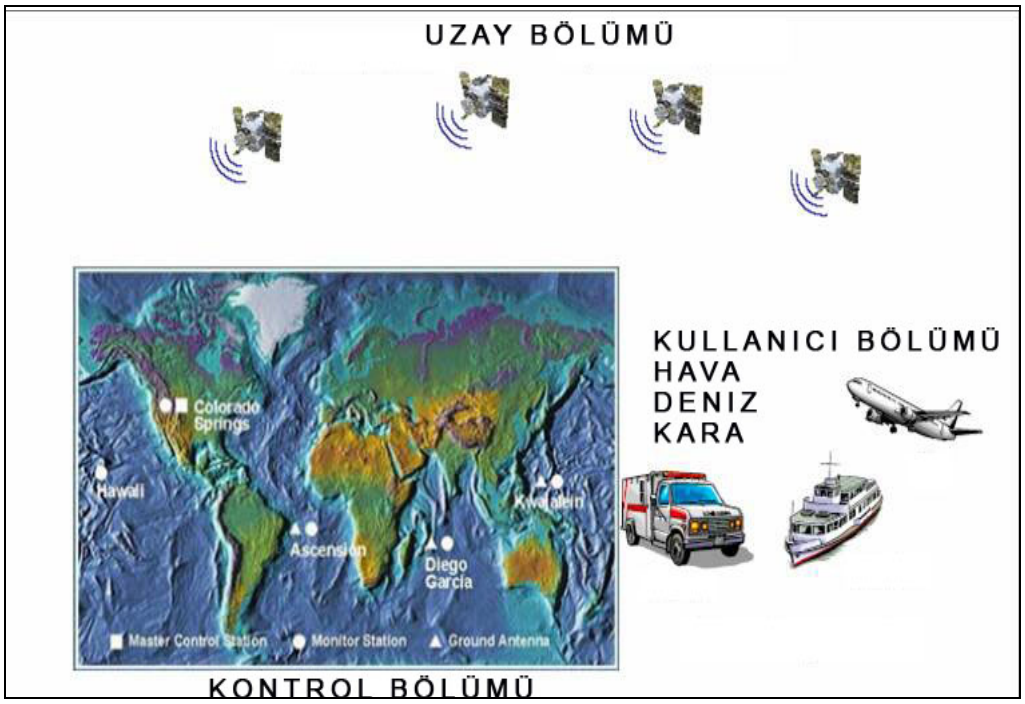
GPS (Global Positioning System) yada Global konum belirleme sistemi, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının uydu sinyalleri yardımıyla;

- Herhangi bir yer ve zaman da
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak

Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

3.2. GPS'in Bölümleri

ABD, Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün (JPO, Joint Program Office) sorumluluğunda geliştirilen GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan Uzay Bölümü, tüm sistemi yöneten Kontrol Bölümü ile hava, deniz ve karada kullanılan platformlardaki alıcıların bulunduğu Kullanıcı Bölümüdür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. GPS'in bölümleri

3.2.1. Uzay bölümü

Uzay Bölümü ekvator ile 55 derecelik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş 21 esas ve 3 yedek olmak üzere toplam 24 uydudan oluşmaktadır. Yedek uyduların amacı, esas (aktif) uydulardan herhangi birinde sorun olması halinde bunun yerine devreye girmektir. Günümüzde 24 uydunun tamamı aktif halde olup GPS gözlemlerinde kullanılmaktadır. Her bir GPS uydusu; Senkronize zaman sinyallerini Tüm diğer uydulara ait konum

bilgilerini Yörünge parametrelerine ait bilgileri iki taşıyıcı frekanstan (L1,L2) yayınlar, Kontrol Bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır. Uzay Bölümünün genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir; Uydular yeryüzünden yaklaşık 20 200 km (yer merkezinden 26 500 km) uzaklıkta olup 11 saat 58 dakikada bir tam devir yaparlar. Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 tür ve her bir uydu yaklaşık 5 saat ufuk hattı üzerinde kalır.

Türkiye bölgesinde enleme göre değişmekle birlikte gözlenebilen en çok uydu sayısı 10' dur. Uydu yörünge zamanı (ortalama yıldız zamanı) ile yer dönmesi (ortalama güneş zamanı) arasındaki yaklaşık 4 dakika /gün fark nedeniyle, yörüngedeki bir gözlemci aynı uyduyu her gün dört dakika erken gözlemektedir. Altı farklı tip GPS uydusu mevcut olup, bunlar; Block I, Block II, Block IIA, Block IIR (BlockIIR-M), Block IIF ve Block III uydularıdır.

3.2.2. Kontrol bölümü

Kontrol Bölümü; Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İşletim Kontrol Sisteminden (OCS ,Operational Control System) meydana gelmektedir. Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Havaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Cape Canavaral ,Kwajelin) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs Ana Kontrol İstasyonu; diğerleri ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Bu istasyonların amacı, günlük olarak uyduların sağlıklı biçimde çalışmalarını sağlamak, toplanan verilerin irdelenmesi ile uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatlerinin düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi, SA (Selective Availability) etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir Uydulara bilgi yükleme işlemleri günde bir yada iki defa yapılmaktadır.

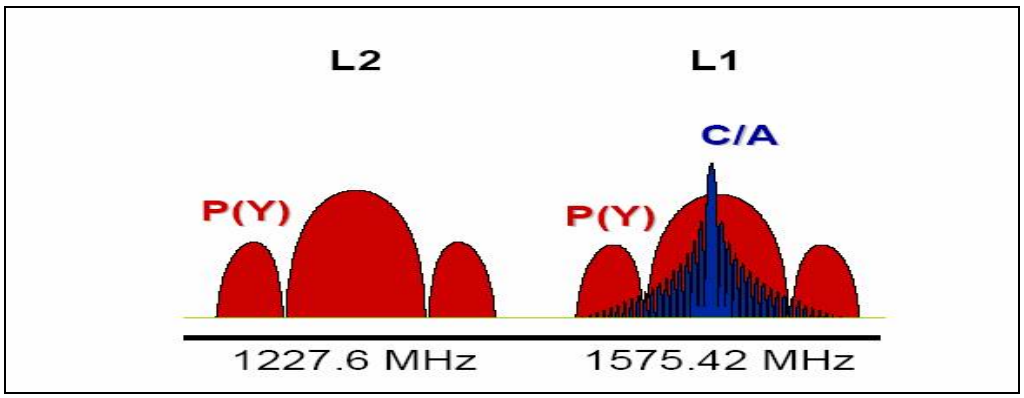
Uydulara yüklenen Navigasyon Mesajı bilgileri, uydu (Block) modeline bağlı olarak en az 14 günlük en fazla 210 günlük bir süreyi kapsamaktadır. Almanak verileri ise efemeris parametrelerinin bir kısmından oluşmaktadır ve 15 efemeris bilgisinin yalnızca 7 tanesini kapsamaktadır. Almanak verileri tüm uyduların yaklaşık konumlarını hesaplamada kullanılmaktadır.

3.2.3. Kullanıcı bölümü

GPS sinyallerini konum belirlenmesine dönüştürmek için gerekli aletlerden (alıcı+ anten sistemi) oluşmaktadır. Anlık konum tespiti için kullanıcı 4 veya daha fazla uydudan (3 uydu konum tespiti ve 1 uyduda uydu-alıcı saat farkının çözümü için) gelen sinyalleri ölçerek hem zamanı hem kendisinin üç boyutlu konumunu ve ilave olarak da, şayet hareket halinde ise hızını hesaplayabilir.

3.3. GPS Sinyali Özellikleri

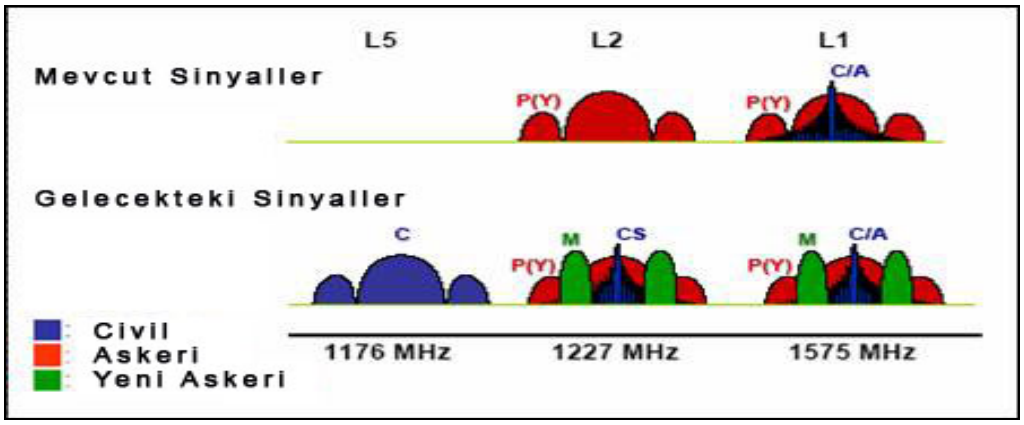
Uydulardan yararlanılarak yapılan GPS ölçmelerinde, elektromanyetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcılara veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS uydusu konum belirleme amaçlı olarak iki temel frekansa sahip olup bunlar L1 (Link 1) ve L2 (Link2)' dir (Şekil 3.3). L1 ve L2 frekansları 10,23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 tam katları alınarak elde edilmiş olup, L1 Frekansı 1575,42 MHz ve L2 frekansı 1227,60 MHz.dir. Bunların dışında Kontrol Bölümü ile uydular arasındaki veri akışı S-Bant (1783,74 ve 2227,5 MHz) üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 3.3. Mevcut GPS sinyalinin özellikleri

GPS sisteminde çift frekans olmasının amaçları; L1 frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi yada elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans (back up) görevi görmesi ve çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlaması olarak sıralanabilir. L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve Navigasyon Mesajı verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları C/A (Coarse/Acqusition, Clear/Access) kod ve P (Precise/Protected Code) kod olarak isimlendirilmektedir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca tek bir PRN kodu (P-kod) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bir başka deyişle sivil kullanıcılara açık olan C/A kod yalnızca L1 üzerinde mevcuttur. “P” kodun askeri kullanıcılara açık olması nedeniyle sivil kullanıcıların tek frekans (L1-C/A kod) kullanabilmeleri ve bu durumda iyonosferik düzeltme olanağı sağlayan çift frekans özelliğinden yararlanamamaları birçok tartışmalara neden olmuştur. (Halihazırda P-kodu gizli değildir ve sivil kullanıma açıktır fakat ABD Hükümeti istediği an bu kodu gizleme hakkını elinde tutmaktadır.) Bu konuda yapılan yoğun çalışmalar sonucunda sivil kullanıcıların da çift frekans üstünlüklerinden yararlanabilmeleri amacıyla 2003 yılından itibaren Block IIR-M uydularında L2 frekansı üzerinden C/A kod yayınlanması söz konusudur. Ayrıca üçüncü ve yeni bir sivil frekans tahsisi söz konusudur. Bu yeni ferkans 2005 yılından itibaren fırlatılmaya başlanan Block IIF uyduları üzerinden yayınlanacak olup buna L5 adı verilmiştir. L5 sinyalinin frekansı 1176,45 MHz olacaktır (Şekil 3.4). Bu sinyalin 2012 yılına kadar 18 uyduda

da olması planlanmıştır. L5 sinyalinin asıl olarak hava araçlarının güvenli navigasyonu amacıyla kullanılması planlanmakla birlikte büyük bir olasılıkla tüm kullanıcılara açık olacaktır [14].



Şekil 3.4. Block IIF uydularına ait GPS sinyali özellikleri

GPS ile konum belirleme ve navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde sunulmaktadır. Bunlar Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS, Standart Posıtıoning Service) ve Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (PPS, Precise Positioning Service) dir.

PPS, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup yalnızca yetkili (Askeri ve güvenlik amaçlı) kullanıcılara açıktır. PPS ile sağlanan konum doğruluğu 16 m. den daha iyi, UTC zaman transferi doğruluğu 100 nanosaniye ve hız doğruluğu 0,1 metre/saniyedir.

SPS ise tüm kullanıcılara açık olup doğruluğu PPS'ten daha düşüktür. SA etkisini 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren kaldırılmasıyla SPS doğruluğu artarak üç boyutlu ortamda, tek alıcı ile 10 –100 m. arasındadır. Global Konumlama Sistemi, şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. İyonosferik ve troposferik gecikmeler, multipath, alıcı saat hatası, yörünge hataları ve uydu sinyal doğruluğunun bilinçli olarak Amerika Birleşik

Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından azaltılması anlamına gelen SA bu hata kaynaklarının en önemlileridir. SA en büyük hata kaynağı olmasına rağmen 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren uygulanmaktan vazgeçilmiştir. Bu hataların bir kısmı Diferansiyel GPS (DGPS) tekniği yardımıyla azaltılabilmekte veya kaldırılabilmektedir. Bu sayede GPS, gemilerin veya uçakların navigasyonu için kullanılan sistem olmasının yanı sıra çok hassas ölçekte konumlandırma yeteneğine sahip en yaygın ölçme sistemi haline gelmiştir.

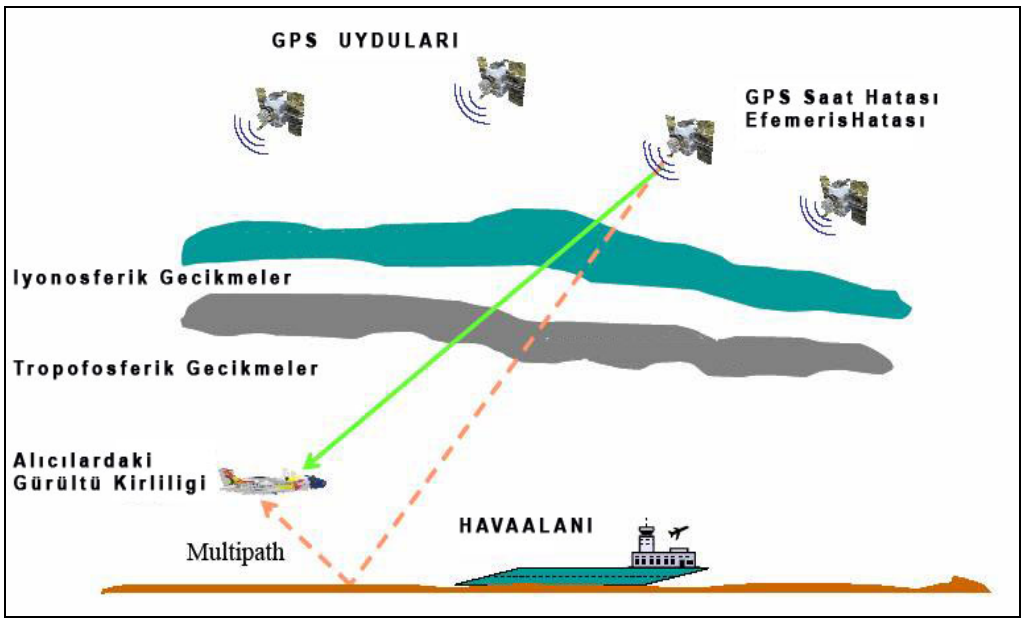
DGPS, yüksek performanslı alıcıların konumları bilinen noktalara konuşlandırılması, uydu sinyallerindeki hataların belirlenmesi ve belirlenen bu hataların diğer alıcılara yayınlanması esasına dayanır. Referans istasyonun görebildiği bütün uydulara yaptığı mesafe ölçümü, referans istasyonunun bilinen koordinatı yardımıyla hesaplanan gerçek uydu alıcı arası mesafeyle karşılaştırılır. Aradaki fark toplam hatadır. Gözlemlenen her bir uyduya ait hata, veri düzeltme mesajı olarak formatlanıp gerçek zamanlı kullanım için kullanıcılara gönderilebilir veya daha sonra bu düzeltmelerin uygulanması için kaydedilebilir (post-process). Bu diferansiyel düzeltmelerin daha sonra gözlemlenen ilgili uydu alıcı arası mesafelere uygulanmasıyla konum doğruluğu arttırılır.

Gerçek zamanlı DGPS uygulaması yapılabilmesi için referans istasyonundaki alıcının bu düzeltmeleri hesaplayıp, yayınlama yeteneğine sahip olması gerekir. Post-process DGPS uygulaması yapmak için ise özel olarak hazırlanmış yazılımlara ihtiyaç vardır.

3.4. GPS Hata Analizi

Global Konum Belirleme Sistemi şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen, hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. Bu hata kaynaklarının yedi grupta incelenebilir. Bunlar;

- Efemeris Hatası,
- Uydu Saat Hatası,
- İyonosferik Hatalar,
- Troposferik Hatalar,
- Multipath Hatası,
- Alıcı Hataları,
- Uydu Geometrisi, hatalarıdır. (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. GPS hata kaynakları

3.4.1. Efemeris hatası

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu ya da kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya denir. Uydu yörüngelerinin çok duyarlı hesaplanması hatayı azaltır. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellenmesine bağlıdır. Efemeris hatası uydu konum kestiriminin bir sonucu olduğu için, kontrol istasyonu tarafından uyduya yapılan en son yükleme zamanından uzaklaştıkça artacaktır. Aynı zamanda

SA'in bir kısmı da efemerise eklenmiş olabilir. Efemeris hatası uydu saatiyle korelasyonludur ve P ve C/A kodları için aynıdır ve genelde 3 m'den azdır.

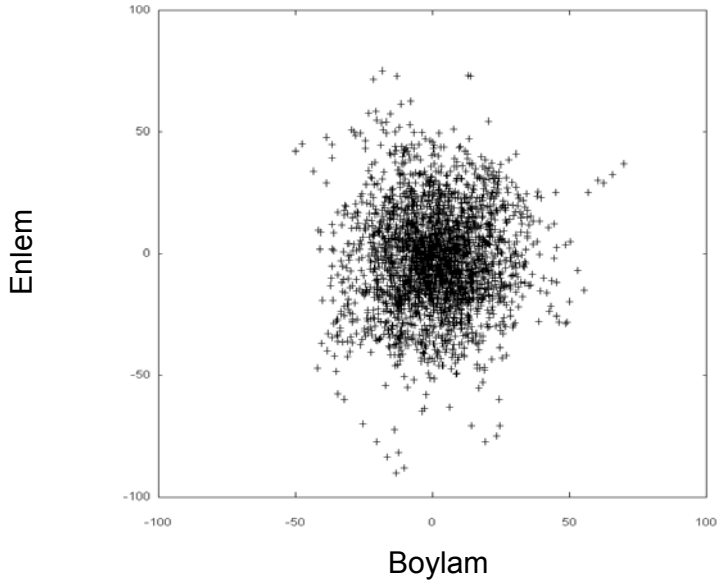
3.4.2. Uydu saat hatası

GPS'in temeli tek yönlü mesafe ölçümüne dayanır ve temelde uydu saatinin tahmin edilebilirliğine bağlıdır. Uydu saat hatası P kod ve C/A kod kullanıcılarını aynı şekilde etkiler. Bu etki uydu doğrultusundan bağımsızdır. Bu diferansiyel GPS tekniği için önemlidir. Çünkü bütün sabit istasyonlar ve kullanıcılar aynı uydu saat hatasını ölçerler (Şekil 3.6) (Şekil 3.7).

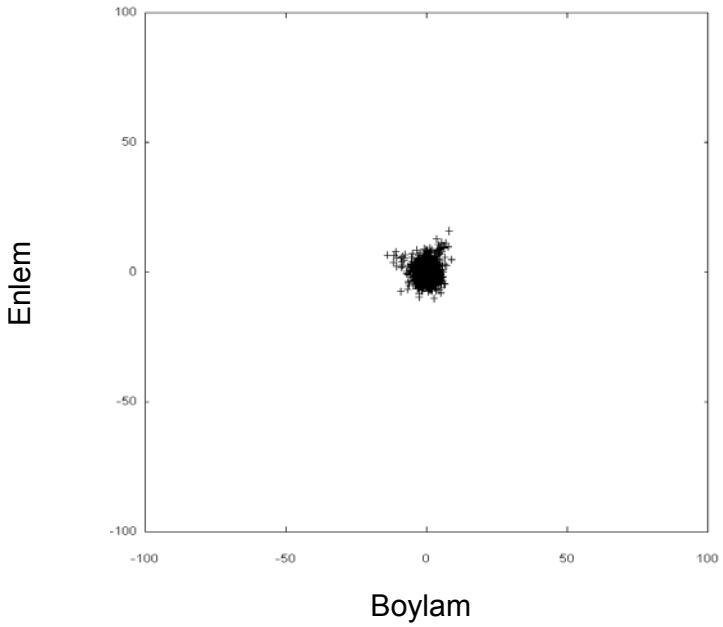
Bu hatanın en büyük kaynağı SA etkisi idi. SA etkisi artık uygulanmadığı ve GPS uydularında stabilitesi yüksek atomik saatler kullanıldığı için, uydu–alıcı uzaklığındaki hataların temel kaynağını uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilememesi oluşturmaktadır.

3.4.3. İyonosferik hatalar

İyonosfer, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakasıdır. (70 - 3 000 km) İyonosferdeki serbest elektronlardan dolayı, GPS sinyalleri iyonosferi geçerken ışığın vakum ortamındaki hızında hareket edemez. Sinyaldeki modülasyonda oluşan gecikme taşıyıcı dalga frekansının tersinin karesi ve karşılaşılan elektron sayısıyla orantılıdır. İyonosfer iklim olarak ılıman bölgelerde çok fazla değişken değildir. Kutuplarda ve ekvatorda ciddi bir şekilde değişkendir.



Şekil 3.6. SA açıkken nokta konumlama



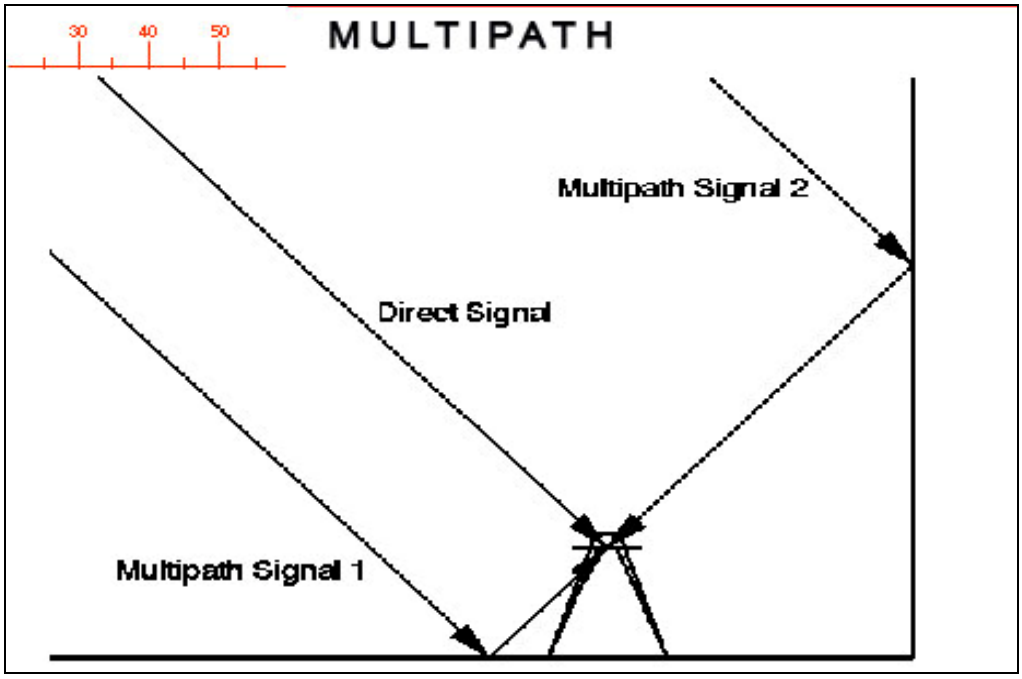
Şekil 3.7. SA kapalıyken nokta konumlama

3.4.4. Troposferik hatalar

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorda yaklaşık 18 km'dir. Hava olayları genel olarak troposfer in 3-4 km lik alt kısımların da görülmektedir. Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirir. Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur.

3.4.5. Multipath hatası

Multipath hatası adından da anlaşılabileceği gibi uydu tarafından yayınlanan sinyalin alıcıya birden fazla yoldan gitmesi demektir. Multipath genellikle alıcı yakınındaki yansıtıcı yüzeyler nedeniyle oluşur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Multipath etkisi

Şekil 3.8'de görülebileceği gibi sinyal alıcıya üç değişik yoldan varmaktadır. Biri direkt, ikisi dolaylı yollardır. Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene, bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma etkisi (multipath) etkisi denir. Farklı geometrik durumlardan dolayı multipath etkinin genel bir modeli yoktur.

3.4.6. Alıcı hataları

Bu kategori termal gürültü, yazılım doğruluğu ve kanallar arası kayıklıklardan kaynaklanan alıcı ölçümlerindeki hataları içermektedir. Modern çip teknolojisiyle birlikte üç veya daha fazla izleme kanalını bir tane ucuz çipe yerleştirme imkanı ortaya çıkmıştır. Boyut ve maliyet düştüğü için yeni teknikler gelişmiş ve 5-6 kanallı alıcılar yaygın hale gelmiştir. Bir çok modern alıcı tekrar oluşturulmuş taşıyıcıyı kullanarak kod izleme döngülerine yardımcı olmaktadır. Bu 0,3 m'den daha iyi bir duyarlılık sağlamaktadır. Kanallar arası kayıklık dijital örnekleme ve tamamen dijital tasarımlar yardımıyla en aza indirgenmiştir.

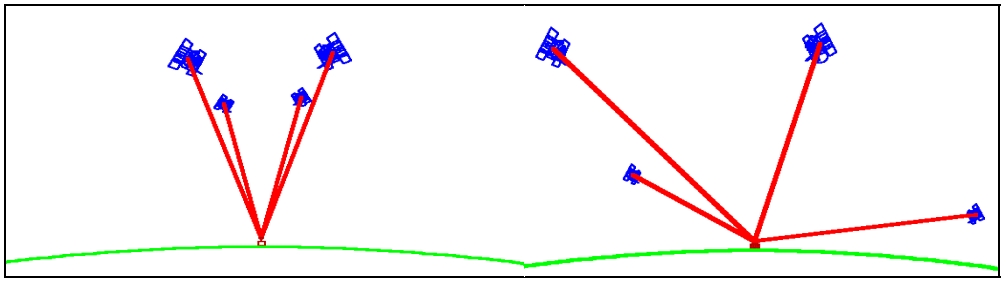
Eski tasarımlardaki alıcı yazılımının sınırlı duyarlılığı hatalara katkıda bulunuyordu. Bu teknoloji 8-bit mikroişlemciye dayanmaktaydı. Uydulara olan 20 milyon metrelik mesafede $1:10^{10}$ veya daha iyi bir duyarlılığa ihtiyaç vardır. Modern mikroişlemciler bu duyarlılığı sağlamaktadır.

3.4.7. Uydu geometrisi

GPS'in doğruluğu, yukarıda bahsedilen mesafe ölçümündeki hataların uydu geometrisinin bozucu etkisiyle çarpımı olarak da görülebilir. Bu yüzden basitleştirilmiş ilişki şu şekilde gösterilebilir.

- Konum Hatası = Geometrik Bozukluk x Mesafe Ölçüm Hatası

Geometrinin etkisi Geometrik Hassasiyet Bozukluğu (GDOP) parametreleriyle ifade edilmektedir. Bu parametreler üç boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan PDOP'u; yatay boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan HDOP'ı; düşey boyutttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan VDOP'ı ve zamandaki hassasiyet bozulmasını yansıtan TDOP'ı içerir. GDOP parametrelerindeki küçük değerler uyduların gökyüzünde uygun dağılımına ve aynı zamanda konum hesaplamasında küçük hatalara işarettir. Şekil 3.9'da zayıf ve güzel uydu geometrisini göstermektedir [18].



Şekil 3.9. Zayıf ve Güzel uydu geometrisi

DOP faktörleri yalnızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, birçok konum belirleme uygulamasında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. DOP faktörleri

Kısa Adı	Acık Adı	Etkilediği Büyüklük	Kullanım Alanı
GDOP	Geometric Dilution Of Precision	Koordinatlar (X,Y,Z) Zaman (T)	Teorik ve Bilimsel Çalışmalarda
PDOP	Position Dılutıon Of Precision	Koordinatlar (X,Y,Z)	3 Boyutlu Konumun önemli olduğu Uygulamalarda (ör. Havacılık)
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision	Yatay Koordinatlar (X,Y)	Denizcilik İle ilgili Uygulamalarda
VDOP	Vertical Dilution Of Precision	Yükseklik (Z)	Yükseklik Bilgisinin önemli Olduğu Uygulamalarda (ör.Havacılık)
TDOP	Time Dilution Of Precision	Zaman (T)	Zaman Transfer Uygulamalarda

NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir

Çizelge 3.2. DOP değerleri

PDOP	İyi Dikkatli olmalı Kullanma	PDOP < 6 PDOP = 6-10 PDOP > 10
HDOP	İyi	HDOP≤ 4
VDOP	İyi	VDOP≤ 4.5
TDOP	İyi	TDOP ≤ 2

Mevcut uydu konfigürasyonuyla herhangi bir kullanıcı, dünya üzerinde aynı anda sekiz veya daha fazla uyduyu aynı anda gözlemleyebilir. Buna rağmen, alıcıların yerleşim alanlarında kullanılması çukur veya vadi içinde kalması gibi durumlarda uydu görünürlülüğünün engellemesi nedeniyle zayıf uydu geometrisiyle karşılaşılabilir.

3.4.8. Standart hata çizelgeleri

Yukarıda belirtilen hata kaynakları aşağıdaki çizelgeler yardımıyla özetlenebilir. Her bir hata sistematik ve rast gele hata olarak ifade edilmiştir. Toplam hata ise bu iki bileşenin karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplanmıştır. Her bir hata bileşeninin birbiriyle korelasyonsuz olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3'de SA'in kapalı olduğunu varsaymaktadır. Sonuç olarak çizelgeden de görülebileceği gibi 2,1 m.'lik uydu saat hatası en büyük hata kaynağı değildir. Görüldüğü gibi en büyük hata kaynağı iyonosferin eksik modellenmesidir (4 m). Bu yüzden bütün dünyadaki sivil konumlama hatası yatayda yaklaşık olarak 10 m.'dir.

Çizelge 3.4 SA'in etkisini göstermektedir. Yanlış modellenmiş uydu saati hata kaynaklarının en büyüğünü oluşturmaktadır. Bu durumda bütün hata kaynakları ihmal edilebilir. Bu durumda yatay konumlamada beklenen hata 41 m dir. Eğer diferansiyel düzeltmeler kullanılırsa, SA hatası tamamen ortadan kaldırılabilir. Fakat düzeltmelerin yeterli sıklıkta ve hızda gönderilmesi gerekir.

Çizelge 3.3. SA kapalı durumdayken hata çizelgesi

Hata Kaynağı	*1-Sigma Hata (m)*		
	Sistematik Hata	*Rastgele Hata*	*Toplam*
Efemeris Verisi	2,1	0,0	2,1
Uydu Saati	2,0	0,7	2,1
İyonosfer	4,0	0,5	4,0
Troposfer	0,5	0,5	0,7
Multipath	1,0	1,0	1,4
Alıcı	0,5	0,2	0,5
Kullanıcı Mesafe Hatası, rms	5,1	1,4	5,3
Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2,5 12,8			
Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2,0 10,2			

Çizelge 3.4. SA açık durumdayken hata çizelgesi

Hata Kaynağı	*1-Sigma Hata (m)*		
	Sistematik Hata	*Rastgele Hata*	*Toplam*
Efemeris Verisi	2,1	0,0	2,1
Uydu Saati	20,0	0,7	20,0
İyonosfer	4,0	0,5	4,0
Troposfer	0,5	0,5	0,7
Multipath	1,0	1,0	1,4
Alıcı	0,5	0,2	0,5
Kullanıcı Mesafe Hatası, rms	20,5	1,4	20,6
Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2,5			51,4
Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2,0			41,1

Mart 1996'da ABD başkanlık karar yönergesi ile GPS'in sivil kullanımına barış zamanında tam ve kesintisiz erişim garantisi verilmiştir. Buna bağlı olarak Mayıs 2000 tarihinden itibaren SA kaldırılmıştır. GPS Sinyallerine kasıtlı veya kasıtlı olmayan parazit ve engellemeler: GPS'lerin kullanılan dar ve geniş radyo frekans bantlarında kasıtlı veya kasıtlı olmayan sinyal karışma problemlerinin bir çok kaynağı vardır. Kasıtlı olarak yapılabilecekler, GPS sinyallerinin zayıf olmasından yararlanarak çeşitli karıştırma ve hayali GPS uydu sinyalleri oluşturarak aldatma şekillerinde olabilir., bunlar bir hayli teknoloji, çaba ve maliyet gerektirir. Kasıtlı olmayan sinyal karıştırmaları ise RF vericileri, (uçaktaki, civar uçaktaki veya yerdeki istasyonlar) uydu haberleşme sistemleri (SATCOM), mobil uydu sistemleri (MSS), VHF, UHF bantlar (iletişim ve radyo TV yayınları), VOR/ILS, FM frekansları, MOD-S Trasponder, GLONASS sinyalleri ve askeri radarlar sayılabilir.

1990 yılından beri, askeri ve ticari organizasyonlar kasıtlı veya kasıtlı olmayan sinyal karışımı ve bozulmalarını önlemek için çeşitli yatırımlar

yaparak bazı önleme teknikleri geliştirdiler. Bunlar arasında filtreleme, korelasyon ve antijam tekniklerinin yanında anten çeşitleri ve antenlerin, özellikle uçaklara monte edilme yerlerinin seçimi de dahil olmak üzere bazı ciddi tedbirler geliştirildi. İlave sivil GPS linklerinin yeni blok uydularda kullanılmaya başlaması ile kasıtlı olmayan karışma ve bozulmaların da azalacağı değerlendirilmektedir [12].

4. DİFERANSİYEL GPS (DGPS)

4.1. DGPS'in Çalışma Sistemi

GPS ile elde edilen anlık doğruluk birçok amaç için yeterli olmakla birlikte bazı navigasyon uygulamalarında (örnek: deniz ve hava araçlarının navigasyonu) daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu durum mevcut GPS sistemlerinden anlık konum belirlemede yararlanabilme olanaklarını kısıtlamaktadır.

DGPS tekniğinde biri sabit (reference base) diğeri gezen (roving) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden duyarlı olarak belirlenmiş bir noktaya kurulur ve gezen alıcının konumu belirlenir. Müteakiben;

- Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yapılmalıdır.

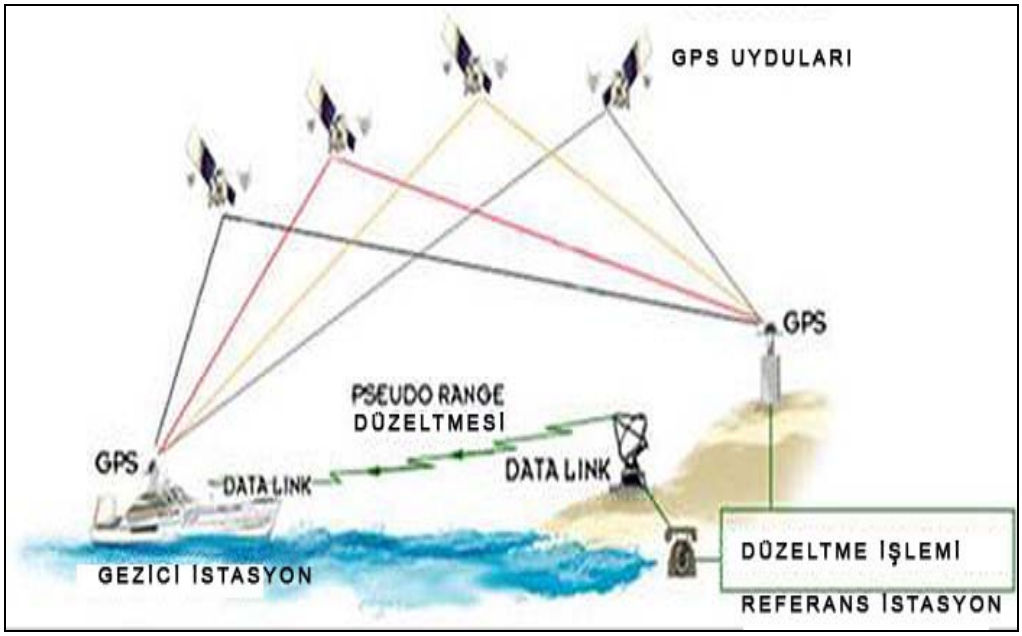
- Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi bilinen konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) uzaklıklarla karşılaştırır.

- Aradaki farklar gözlem hatası olarak yorumlanır ve bu farklar konumu belirlenecek olan noktalardaki gezen alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen gözlemlere diferansiyel düzeltme olarak getirilerek gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir.

- Söz konusu düzeltmelerde gezen alıcıya yayınlanır.

Diferansiyel GPS (DGPS) Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'in doğruluk ve güvenirliğini belirgin bir şekilde arttıran bir tekniktir. DGPS'in en genel hali

Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi, DGPS tekniği konumu bilinen noktalarda yüksek kaliteli referans alıcılara ihtiyacı vardır. Referans istasyon her bir uyduya olan mesafe ölçümündeki hata bileşenini belirler ve görüşündeki bütün GPS uydularına düzeltme hesaplar. Bu düzeltmeler bütün kullanıcılara uygun iletişim aracı kullanılarak gönderilir (Gerçek Zamanlı DGPS) veya daha sonra kullanmak amacıyla kaydedilebilir.



Şekil 4.1. DGPS çalışma prensibi

DGPS ile elde edilen konum doğrulukları, yalın GPS ile elde edilen doğruluklardan çok daha iyidir. Bu teknikte GPS sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki ortak sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur.

Bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve

gezen alıcı arasındaki korelasyonlu (ortak) sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur.

DGPS uygulaması ile elde edilen sonuçlar, SA uygulansın yada uygulanmasın, yalın GPS' den elde edilen doğrulukların çok üzerinde olmaktadır (Çizelge 4.1) de referans istasyonundan yaklaşık 50 km. uzaklıktaki bir SPS kullanıcı için elde edilen DGPS doğrulukları verilmiştir.

Çizelge 4.1. DGPS doğrulukları (SPS kullanıcısı için)

Hata Kaynağı	Hata Büyüklüğü (metre; 1σ)
Efemeris Hatası	0,0
Uydu Saati Hatası	0,7
İyonosfer	0,5
Troposfer	0,5
Sinyal Yansıması (multipath)	1,4
Alıcı Olcu Hatası	0,2
Referans Noktası Konum Hatası	0,4
Pseudorange Hatası; UERE (RMS)	1,8
1σ Düşey Konum Doğruluğu	2,8
1σ Yatay Konum Doğruluğu	2,2

4.2. DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemleri

DGPS tekniğinde düzeltmeler iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. *İlk ve en kolay yöntem doğrudan koordinatlara düzeltme getirmektir*. Buna konum düzeltme yöntemi adı verilmektedir. Bu yöntemde sabit (referans) alıcı, gözlem yaptığı uydulardan yararlanarak kendi konumunu (enlem, boylam, yükseklik) hesaplar, bunu duyarlı olarak bilinen konumu ile karşılaştırır ve aradaki fark gezen alıcı/alıcılar tarafından hesaplanan konumlara düzeltme bilgisi olarak gönderilir. Sabit alıcı ile gezen alıcılarının uzun mesafelerde farklı uydulara gözlem yapma olasılığı nedeniyle bu yöntem uygulamada tercih edilmemektedir. Örneğin, sabit istasyon 8 uyduya eş zamanlı gözlem

yapmışsa 70 değişik 4'lu uydu konfigürasyonu hesaplayıp yayınlamak zorundadır. Bu ise zaman alıcı ve alıcılar için yorucu bir işlemdir.

İkinci ve en çok tercih edilen yöntem, düzeltmelerin her bir uyduya yapılan pseudorange ölçülerine uygulanması yöntemidir. Bu düzeltmelere "delta pseudorange" yada "pseudorange düzeltmeleri" adı verilmektedir. Bu yöntemde kısaca, sabit istasyonda bilinen koordinatlar yardımıyla, gözlem yapılan her bir uyduya olan gerçek uzaklıklar (pseudorange) hesaplanır. Bu uzaklıklardan, gözlem yapılarak elde edilen ölçülmüş uzaklıklar çıkarılarak pseudorange düzeltmeleri hesaplanmış olmaktadır.

Söz konusu diferansiyel düzeltmeler gezen alıcılara iki şekilde uygulanabilmektedir. Bunlar,

- Anlık (real-time) diferansiyel düzeltme
- Gözlem sonrası değerlendirme (post-process) ile diferansiyel düzeltmedir.

Anlık diferansiyel düzeltmelerdeki temel prensip, gözlem sonrası düzeltme ile aynı olup aradaki en önemli fark, gözlem sonrası uygulamalarda kullanılan alıcılardaki gözlemler, büroda hesaplama amacıyla bilgisayarlara aktarılmaktadır. Bu düzeltme değerleri sabit istasyonda anlık olarak hesaplanmakta ve bazı özel yöntemler kullanılarak gezen alıcılara doğrudan aktarılmaktadır.

Kısaca, Anlık DGPS yönteminde sabit noktadaki alıcı gerekli düzeltmeleri her bir uydu için hesapladığı an bunları yayınlar. Bu yayınlar ise gezen alıcılar tarafından alınarak kendi konumlarına düzeltme bilgisi olarak girilir ve böylece çok kısa zaman aralıklarında gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenmiş olur. Bu yöntem özellikle uçak, gemi gibi hareketli (dinamik) platformlardaki kullanımlarda çok önemlidir. Sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeler, diğer alıcılara özel amaçlı radyo modemler veya uydu vb.

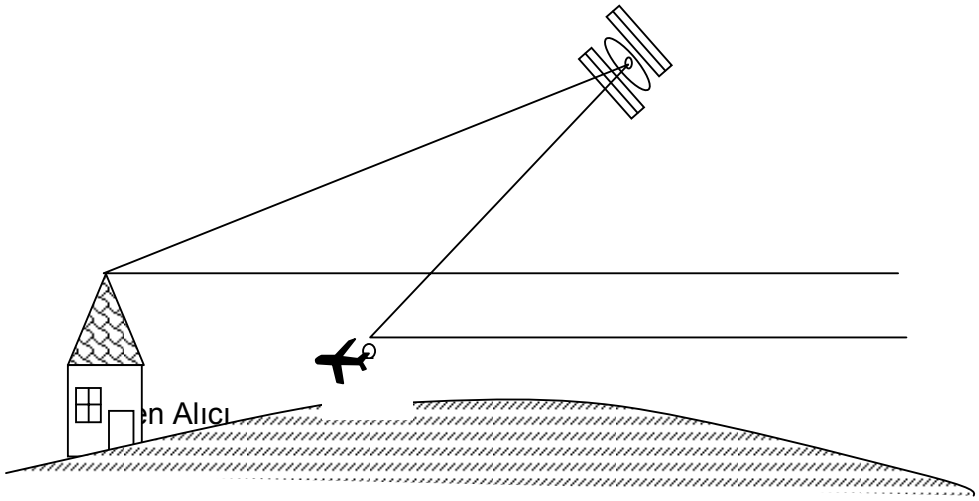
vasıtasıyla gönderilmekte ve bu yayınlar gezen istasyonlardaki mevcut olan aynı özellikteki alıcılar vasıtasıyla alınmaktadır.

Gönderilen düzeltme bilgileri kullanıcının belirlediği bir formatta olabilmektedir. Ancak, bir standart sağlamak amacıyla bu düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM-SC 104 (Radio Technical Commission for Marine Services Special Commitee 104) formatında yayınlanmaktadır. Bu yöntemde, sabit alıcı pseudorange düzeltmelerinin. yanında bunların değişim oranını da (RRC; Range Rate Correction) yayınlamaktadır. Böylece, gezen alıcılar, sabit alıcıdan bir sonraki düzeltme değerini alana kadar arada geçen süre içerisindeki konumlarını da bu orandan yararlanarak hesaplayabilmektedir. İki düzeltme yayını arasındaki süre uygulama alanına göre değişmektedir. Örneğin, sivil yolcu uçakları için bu süre 6 saniyeden az olmalıdır.

Gözlem sonrası değerlendirme yönteminde ise sabit alıcı her bir uydu için hesapladığı düzeltmeleri hafızasına kaydeder. Gezen alıcı da kendi hesapladığı konumları hafızasına kaydeder. Daha sonra her iki alıcı tarafından kaydedilmiş veriler DGPS yazılımı kullanılarak değerlendirilir ve gezen alıcının kaydettiği verilere gerekli düzeltme faktörleri ilave edilir.

DGPS yönteminin daha güvenilir sonuçlar vermesi için sabit alıcının, gezen alıcının gözlem yaptığı aynı uyduları kapsayan bir uydu kümesine gözlem yapması gereklidir. Bunun için sabit alıcının veri toplama yükseklik açısı gezen alıcınınkinden daha düşük olmalıdır. Böylece belirli uzaklıklar için (yaklaşık 50 km) gezen alıcılar tarafından gözlenen tüm uyduların sabit alıcı tarafından da gözlenmesi sağlanacaktır. Genel bir kural olarak gezen alıcının veri toplama açısı, sabit istasyondan olan her 100 km uzaklık için, bir derece arttırılmalıdır. Örneğin sabit istasyonda veri toplama açısı 10 derece ise, buradan 500 km. uzaklıktaki bir gezen alıcı için bu değer en az 15 derece olmalıdır (Şekil 4.2).

DGPS ile elde edilebilecek doğruluklar sabit alıcı ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak 1-10 m arasında değişmektedir. Bu nedenle uygulamada söz konusu doğruluğun sağlanması için bu uzaklığın 500 km.yi geçmemesi istenmektedir. Uzaklık arttıkça elde edilecek doğruluk da aynı oranda düşecektir [14].

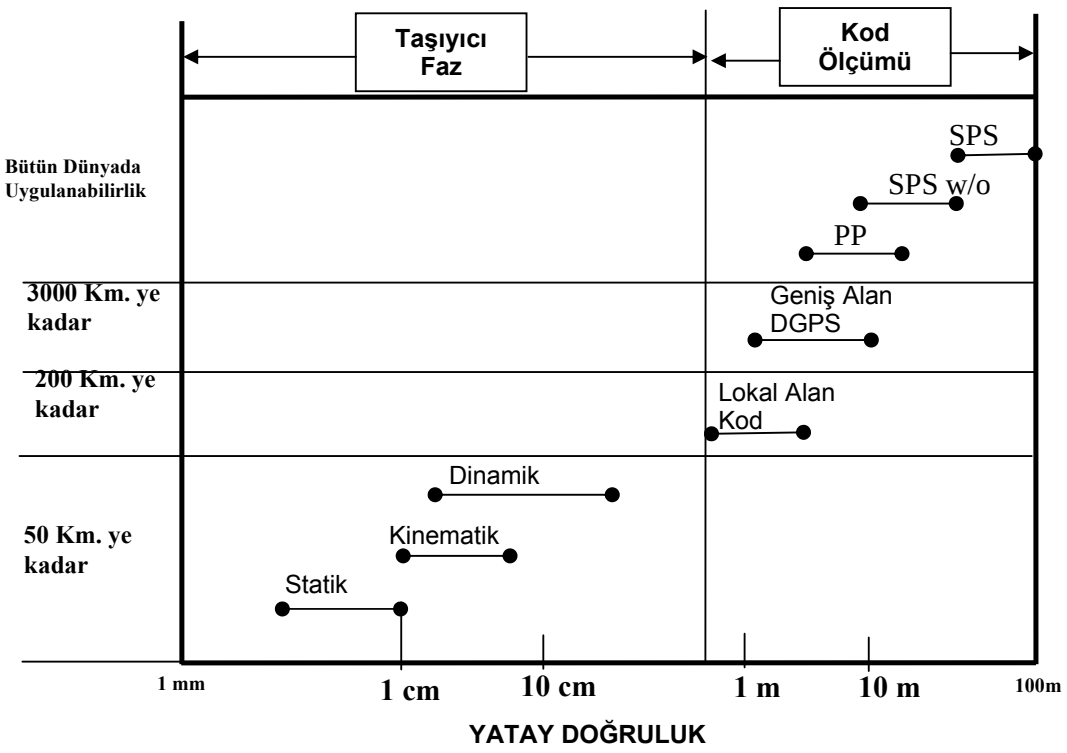


Şekil 4.2..Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı

4.3. Ana DGPS Teknikleri

Birçok DGPS tekniği ve uygulaması olmakla birlikte genel olarak uygulama iki ana sınıfta toplanabilir.

- Geniş Alan Diferansiyel GPS'i
- Lokal Alan Diferansiyel GPS'i



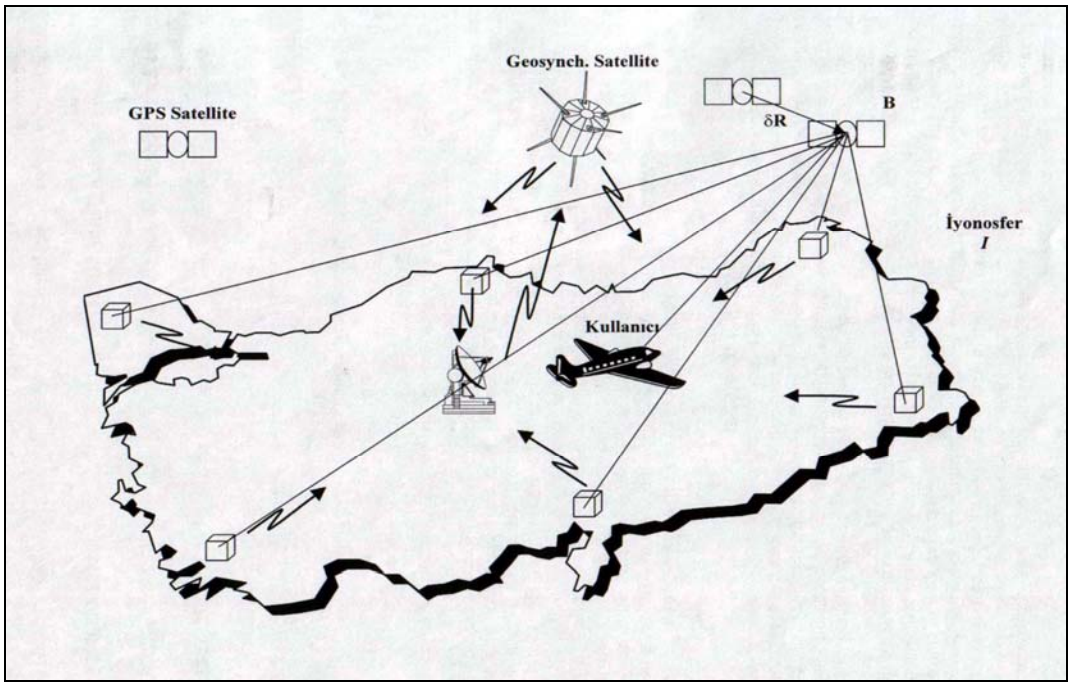
Şekil 4.3. DGPS teknikleri ve doğrulukları

4.3.1. Geniş alan diferansiyel GPS'i (WADGPS)

Örnek bir WADGPS ağı Şekil 4.4'de de görüldüğü gibi en az bir ana merkez istasyon, çok sayıda izleme istasyonu ve haberleşme hatlarından oluşmaktadır. GPS gözlemleri tüm izleme istasyonları tarafından kaydedilerek, ana istasyona gönderilmektedir. GPS hata bileşenleri, istasyonların duyarlı olarak bilinen koordinatları ve toplanan veriler yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan bu düzeltmeler uygun bir haberleşme vasıtasıyla (uydu, radyo modem vs.) kullanıcılara yayınlanır.

Bu sistemde pseudorange hataları bir bütün (skalar bir büyüklük) olarak ele alınmaktadır. Söz konusu hatalar ayrı ayrı bileşenler olarak tüm bölge için geçerli olacak şekilde hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, WADGPS den elde edilecek doğruluk kullanıcının (gezen alıcının) referans istasyona olan

uzaklığına bağlı değildir. WADGPS Ortalama 7 m. civarında hassasiyete ulaşmıştır.



Şekil 4.4. Örnek WADGPS ağı

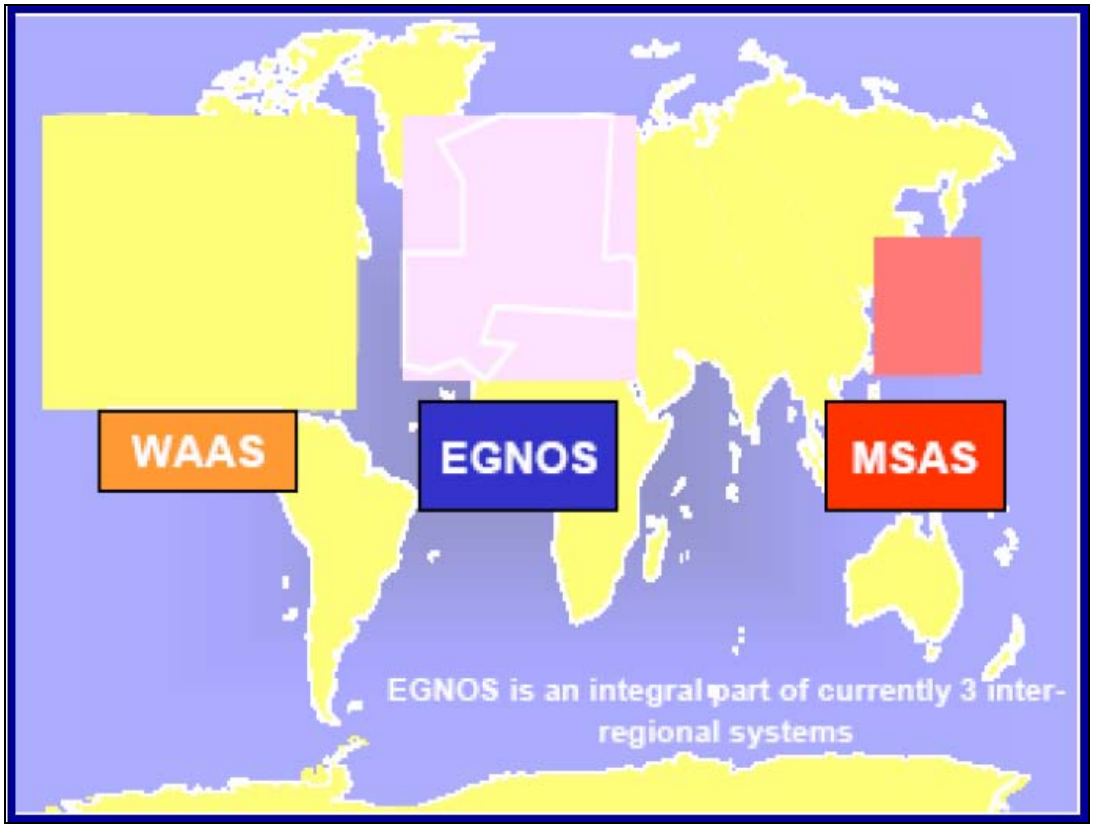
Dünyada geliştirilen ve halada geliştirilmekte olan başlıca geniş alan bütünleşik diferansiyel navigasyon sistemleri;

WAAS (Wide Area Augmentation System) (USA) Amerika Birleşik Devletlerinin FAA direktifinde sivil havacılık için kurduğu sistemdir. 24 GPS uydusu ve 4 INMARSAT uydusu kullanılarak kurulmuş bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon ağıdır.

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) (EU) Avrupa birliği komisyonu Avrupa uzay ajansı ve Euro kontrolün ortak uygulamasıdır. 2005 yılından itibaren kullanılmaya başlanacaktır. WAAS ve MSAS ile bağdaşan ve birlikte kullanılabilecek şekilde geliştirilen bir sistemdir. GPS,

GLONASS, ARTEMIS ve 4 adet INMARSAT uydusu kullanılarak oluşturulacak bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir.

MSAS (MTSAT Satellite based Augmentation System) (Japan) Japonya tarafından uygulanan sistemdir. 2 Adet MTSAT ve GPS uydularını kullanarak faaliyet gösteren geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir. (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Geniş alan DGPS 'leri

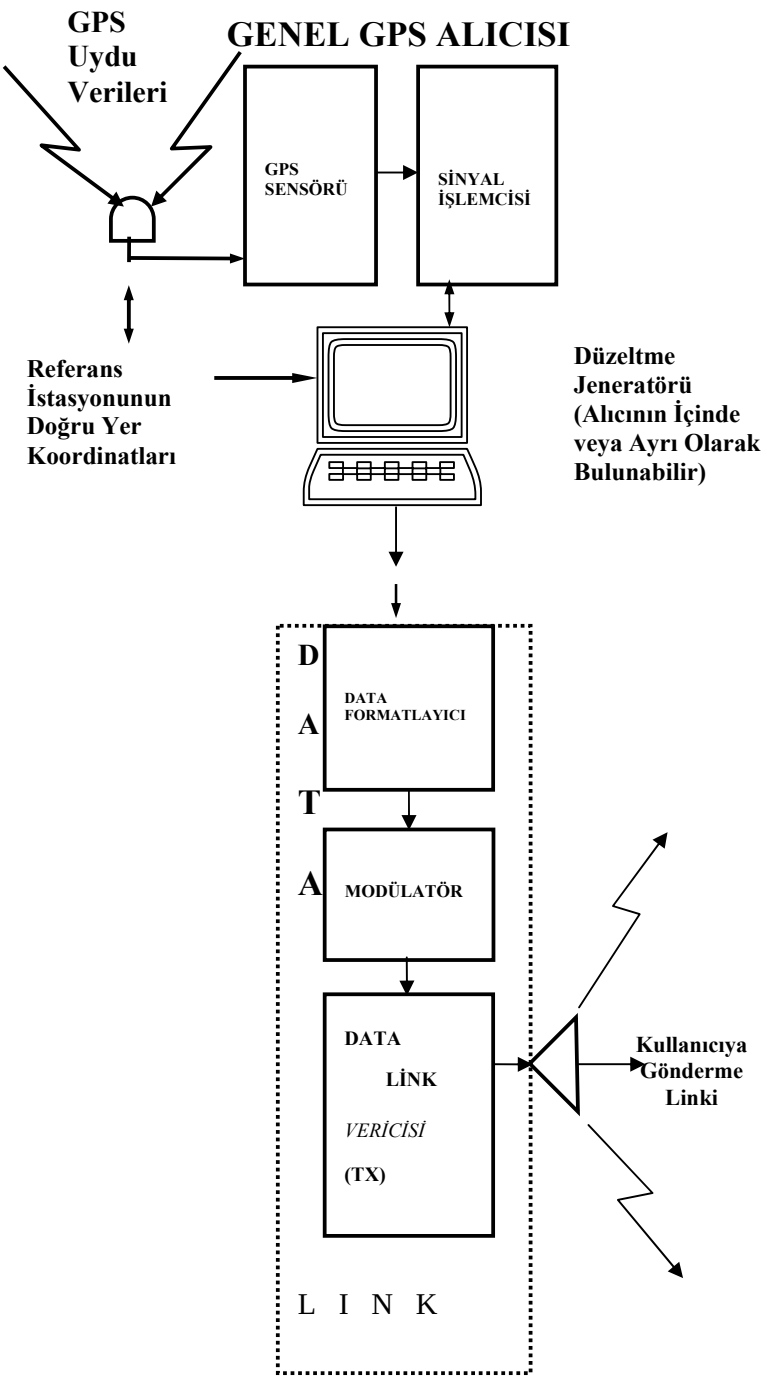
2008 yılında GNSS-2 projesi yani GALİLEO (Avrupa Uyduları) uydularının devreye girmesiyle yukarıda saydığımız sistemlerin hem kapasitesi genişleyecek hem de entegrasyonu tam olarak gerçekleşerek, global anlamda (bütün dünyada) kullanımı sağlanacaktır. Sistemlerin ayrıntıları EK-1'de sunulmuştur [19].

4.3.2. Lokal alan diferansiyel GPS i (LADGPS)

LADGPS tekniğinde tek bir referans istasyon mevcut olup gezen alıcı arasındaki uzaklık veri aktarımını etkileyen önemli bir kısıtlamadır. Buradaki temel prensip, bazı pseudorange hata kaynaklarının küçük alan içindeki tüm alıcılar için yaklaşık aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Gezen alıcı referans alıcıya ne kadar yakınsa bu ortak hatalar o kadar büyük oranda giderilmiş olmaktadır. Başlıca Üç ana elemandan oluşur (Şekil 4.6). Bunlar;

- Referans İstasyon
- Data Link Parçaları
- Uçaktaki Alıcı

Referans istasyon: Yüksek kalitede GPS alıcıları (çok kanallı, sürekli izleyen, RAIM kapasiteli vs.) konumu çok hassas olarak bilinen yere yerleştirilir ki, bunlara referans alıcılar da denir. Bu alıcılar çift frekansa ve yeterli sayıda, istenilen seviyede sıralı girişlere (port) sahiptir. Bu sayede gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu alıcı uzaklıklarını WGS84 Jeodezik sistemde hesaplar. Bu değerleri kendi hassas konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) Pseudorange'lerle karşılaştırır, aradaki farklar düzeltme olarak o anda lokal alandaki hava aracına yayınlanır.



Şekil 4.6. DGPS referans istasyon kısmı veri iletişim blok diyagramı [8]

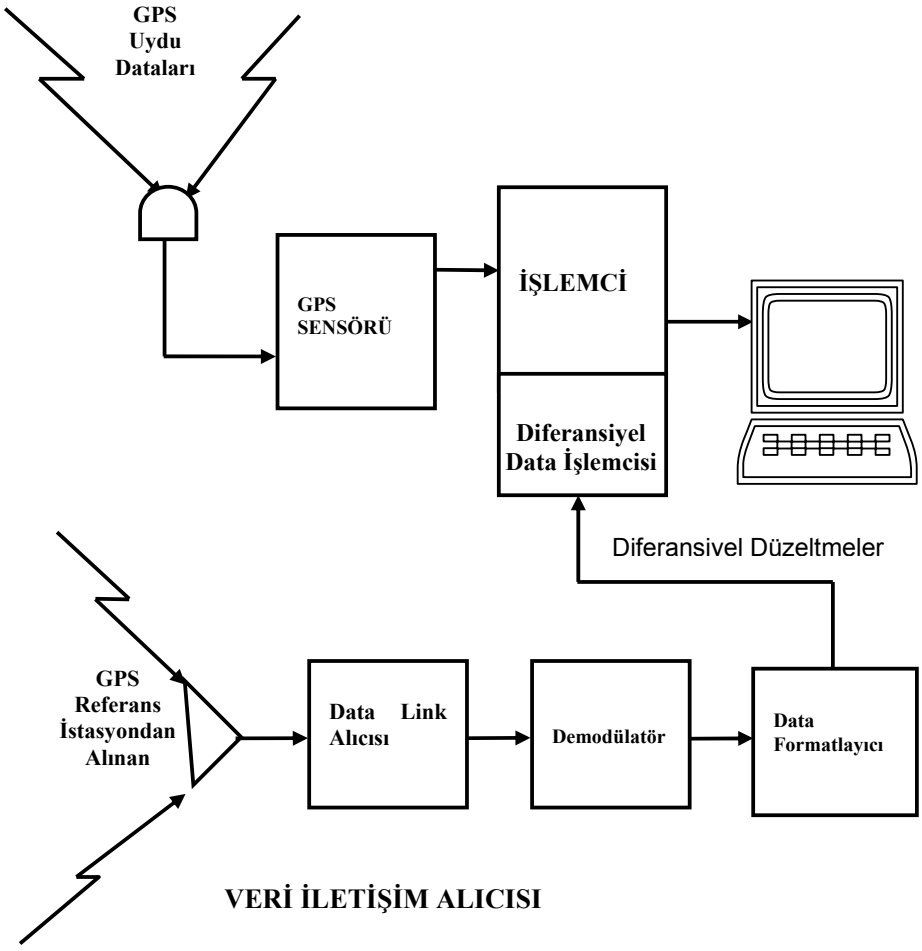
Bu istasyon, hava alanı etrafında uygun bir yere (ufuk hattının açısal olarak görülebildiği en iyi hakim yer) yerleştirilerek, 30 ile 50 km'lik yarıçapta 1 m.'nin altında cm. seviyesinde yaklaşmakta olan uçağa hem piste hassas yaklaşmasında, hem de pist üzerinde taksi esnasındaki navigasyonunda üç boyutlu konum bilgisi sağlamaktadır.

Bu referans istasyonlar, tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile (RAIM) donatılabilir ki bu durumda bunlara gözlem istasyonları adı da verilir. Bu sayede o anda gözlem yapılabilen aktif çalışır durumdaki uydu sayısı ile ilgili daimi uydu geometrisi ve buna ait doğruluk değerleri alınabilir. Bunlar tamamen yer ekipmanından bağımsız olarak çalışır. Yer teçhizatı tarafından oluşturulan bütün verilerin doğruluğu, veri linklerine gönderilmeden önce gözlemlenir ve bu gözlem teçhizatında eğer arıza varsa hemen veri linki kapatılır (Şekil 4.7). Bu işlem 3 sn. içinde pilota iletilmiş olmalıdır [20].

Data link parçaları: Belirlenen hata düzeltmeleri belirli bir formatta ve kabul edilebilir belirli zaman aralıklarında, bir başka deyişle düzeltme verisi bayatlamadan kullanıcılara ulaştırılmalıdır. Standart sağlamak maksadıyla düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM-SC 104 formatında yayınlanmaktadır. Şu anda iki tür veri (data) link bandı kullanılabilir. Birisi VHF band, diğeri Mode S band'tır. İki durumda da yaklaşma pilot tarafından başlatıldığında, frekans otomatik olarak seçilecektir. Bu sayede diğer yaklaşma sistemlerinde olabileceği gibi pilotun yanlış frekans bağlama olasılığı kalmayacaktır. Veri link ekipmanları referans alıcının hemen yanına veya yakın çevresine kurulabilir (Şekil 4.7).

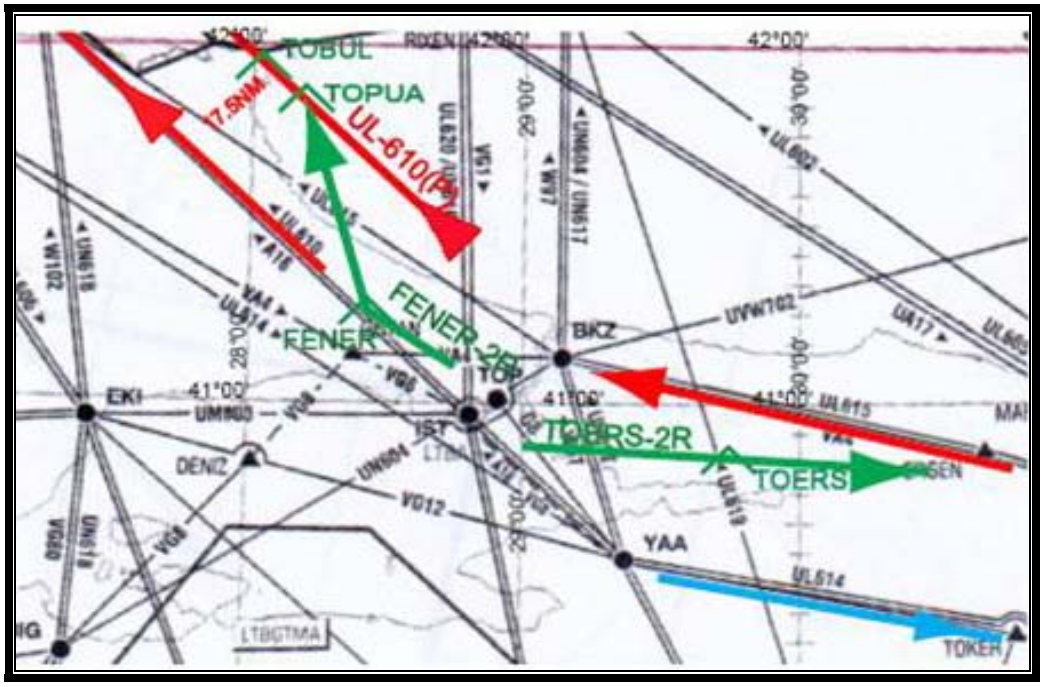
Kullanıcı Platformu: Hangi DGPS sistemi kullanılırsa kullanılsın hava aracı, kendi GPS alıcısına ilave olarak diferansiyel düzeltme bilgilerini alabilecek kapasitede alıcıya ihtiyacı olacaktır. Uçaktaki alıcının başlıca işlevleri; Diferansiyel düzeltmeleri almak, GPS sinyalleri almak, doğru GPS pozisyonu hesaplamak, doğru navigasyonu sağlamak ve navigasyon veri tabanını idare etmek olacaktır. Aynı zamanda tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile entegre

edilerek yine kendi içinde, 3 sn içinde oluşacak veri arızalarını ikaz edecektir. (Böylece herhangi bir işlev bozukluğu sistem içerisinde toplam 6 sn. içinde pilota ikaz edilmiş olacaktır) Bu alıcılar hem uçaktaki GPS, hemde diğer navigasyon teçhizatı (Navigasyon yönetim sistemi, uçuş yönetim sistemi vs.) ile entegre olarak kullanılabilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. DGPS uçaktaki kulanıcı kısmı veri iletişim blok diyagramı [20]

Tamamen bütünleşmiş bir sistem, pilot hatalarını da minimuma indirecektir. Kabul edilmiş basılı GPS yollarında belli başlı kontrol noktaları (Waypoint) belirlenerek pilotun bunların üzerinden geçerek yol alması istenecektir. (Harita 4.1) [21].



Harita 4.1. Terminal sahasi hava yolları

Lokal alan DGPS tekniğinde, özellikle arazinin, ufuk hattında çok sayıda uydu görmeye engel olduğu coğrafyalarda, uydu gibi yayın yapan yalancı uydu (Pseudolite) adı verilen yer istasyonları da kullanılabilir. Pseudoliteler, aynı uydular gibi L1 ve L2 frekanslarında yayın yapan, uydu sinyallerinin yeterli olmadığı yer ve zamanlarda doğruluğu artırmak için yeryüzüne yerleştirilen yer istasyonlarıdır [15].

Pseudolite sinyalleri, uydu sinyallerine benzer şekilde, GPS uyduları gibi aynı modülasyonu, kodu ve frekansı kullanırlar, böylece veriler gerçek uydularla bağdaşacak şekilde yayınlanır. Aynı zamanda diferansiyel düzeltmelerde, aynı uydularda olduğu gibi kullanıcılara yayınlanabilir ve bu diferansiyel

düzeltmeler yine GPS uyduların da olduğu gibi aynı frekansta yayınlandığı için kullanıcı alıcılarının ilave farklı bir antene, data link alıcısına ve interfaza ihtiyacı yoktur. Bu da donanım yönünden bir avantajdır.

Bu sistemde kullanıcılar, uydulara yaptıkları pseudorange ölçüleriyle konum belirlemesine ilave olarak, pseudolitelara da pseudorange ölçüsü yaparak ilave konum doğruluğu sağlamış olurlar ya da o anda uydu geometrisindeki en az 5 uydu olması (DGPS hassas yaklaşma için) şartının yerine gelmediği durumlarda devreye girmiş olurlar. Daha önce bahsedildiği gibi güvenli navigasyon için ufuk hattında aktif durumda en az 3 uydu, üç boyutlu (yükseklik dahil) konum elde edebilmek için en az 4 uydu ve IFR hassas yaklaşma yapabilmek için en az 5 uydu görülebilmelidir. Örnek olarak ufuk hattında, çalışır aktif halde devamlı 4 uydunun görülebildiği bir havaalanında IFR DGPS alçalma ve inişinin yapılabilmesi için, havaalanı etrafına (3-4 km civarına) yerleştirilecek bir veya iki pseudolite ile uydu geometrisi geliştirilecek ve bu sayede daha fazla uydudan ölçüm yapılarak konum doğruluğu cm. seviyesinde olabilecektir. Ancak belirli bir alan içerisinde çok fazla sayıda pseudolite kullanılması sinyal karışıklığına yol açabilir. Bu nedenle RTCA standartlarında söz konusu sakıncayı gidermek için bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Buna göre herhangi pseudolite ile kullanıcı arasındaki uzaklık 50 Km.'den fazla olmayacak, iki pseudolite arasındaki uzaklık ise 54 Km.'den az olmayacaktır.

4.4. GPS Hata Kaynaklarının DGPS'e Etkilerinin İncelenmesi

DGPS ile hataların düzeltilebilmesi için kullanıcı ve referans istasyonundaki hatalar arasında ilişki olmalıdır, diğer bir ifade ile hata kaynakları aynı olmalıdır. Gerçek zamanlı bir DGPS uygulamasında hem yer istasyonunun hem de havadaki gezen istasyonun, belli mesafe içerisinde ölçüm yaptıkları uydularla ilgili, hem aynı uydulara ölçüm yapma hem de düzeltmelerin belli sürelerde iletilmesi ile ilgili zamana bağlı bazı hata kaynaklarının birbiriyle uyuşuyor olması gerekir. Genel olarak referans istasyon coğrafi olarak

kullanıcıdan uzaktır ve bu yüzden hesaplanan düzeltmelerin yayınlanması zaman alır. Kullanıcı ve referans istasyon arasında, mesafeye ve zamana bağımlı olarak dekorelasyon (uyuşmazlık) oluşabilir. Zamana bağımlı olan etki, gerçek zamanlı uygulamalar için geçerlidir. Aynı zamanda kullanıcıların etkilendiği, fakat referans istasyonunda ölçülen hatalarla korelasyonlu olmayan hatalar mevcuttur. Alıcı gürültüsü ve multipath bu hata tiplerinden sayılabilir.

4.4.1. Alıcı gürültüsü ve multipath hatalarının etkisi

Alıcı gürültüsü, karışma ve multipath (sinyal yansıması) hatalarına grup halinde bakmak gerekir .Çünkü bunlar DGPS'in uygulamasına negatif etki yapan parazit gürültü tabanını oluşturur. Bu üç hatanın da çok kısa dekorelasyon mesafesi vardır. Referans istasyondaki bu üç hata, uçaktaki kullanıcı alıcısındaki bu tip etkilerden bağımsızdır. Ancak, Referans istasyonundaki bu tip hataların giderilmesine önem verilmelidir. Çünkü bu tip hataların referans istasyonunda hesaplanan düzeltmelere olan etkisi doğrudan kullanıcıların hatalarına katkıda bulunacaktır. Yani bu hatalar referans istasyon tarafından yayınlanan düzeltmelere de yansıyacaktır. Bu sebeple referans istasyonlar kurulurken bu tip hatalara yol açmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aynı zamanda GPS alıcılarında, "carrier aiding" sinyal tekniği ve "narrow correlator" adı verilen tekniğin kullanılması bu etkileri asgari düzeye indirgemektedir.

Alıcı gürültüsü, Kalman Filtreleme tekniği gibi tekniklerle de azaltılabilmektedir. Bu sayede gürültü hatasının 30 sigma (σ) 'dan 3 σ'ya kadar düşürülebildiği test edilmiştir [15].

Multipath hataları, bilindiği gibi anten çevresindeki zeminin (su ,beton, bina, araç) durumuna göre değişmektedir. Azaltmak için yansıtıcı sinyal reddeden özel tip anten kullanılabilir ve bu sayede hata daha alıcıya girmeden anten

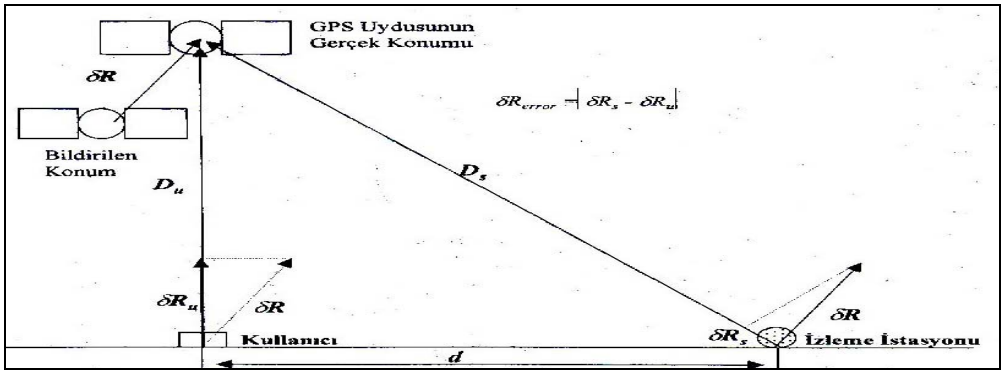
tarafından önlenmiş olur. Ayrıca antenlerin yansıyıcı zeminlere uzak kurulması da yansımanın önlenmesine yardım eder.

4.4.2. Uydu saat hatasının etkisi

Uydu saat hatası; sinyalin gerçek yayın zamanı ile navigasyon mesajında belirtilen yayın zamanı arasındaki farktır. SA'in olmadığı zaman bu hata küçüktür ve yavaş değişir. SA'in uygulanmadığı zamanlar uydu saat hatasının 1-2 m ve korelasyon zamanının 5 dakika olduğu ölçülmüştür. SA'in açık olduğu zamanlar saat hatası 20-30 m arasındadır. Diferansiyel düzeltmeler saat hatalarına karşı çok etkilidirler çünkü saat hatasının geçerliliği sadece zaman ile azalır, mesafenin bir etkisi yoktur. DGPS konumlama hatası, eğer gerçek zamanlı konumlama yapılıyorsa düzeltmelerin kullanıcıya ulaştırma süresindeki gecikmeye bağımlı olarak artar.

4.4.3. Uydu efemeris hatasının etkisi

Navigasyon mesajı hatalar içerir. Uydu saatindeki hataların aksine efemeris hatası kullanıcı ile referans istasyonu arasındaki mesafenin artmasına bağımlı olarak artar. Yani düzeltmelerin geçerliliği mesafeye bağımlı olarak azalır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Efemeris hatası

4.4.4. İyonosferik hataların etkisi

İyonosferin etkisi değişken bir yapıya sahiptir. Sabah erken saatlerde 1-2 m'lik düşey gecikmeye sebep olurken öğle saatlerinde 10-20 m'lik düşey gecikmelere sebep olabilmektedir. Bu düşey gecikme, sinyalin iyonosfer tabakasına giriş açısını temsil eden "eğrilik faktörüyle" çarpılmasını gerektirmektedir.

Bazı özel durumlarda iyonosferden kaynaklanan gecikme çok daha büyük boyutlara ulaşmaktadır: Güneşteki patlamalar, uydular için düşük yükseklik açıları ve öğle saatleri gibi.

Düşey gecikme günün 24 saati ortalama 4-10 m arasındadır. Diferansiyel düzeltme olmaksızın bu hatanın %50-75'i standart modeller ve navigasyon mesajında mevcut katsayılar kullanılarak giderilebilir. Çift frekanslı alıcılar, gecikmeyi doğrudan ölçebilir ve 1 m doğruluk sağlayacak şekilde düzeltme getirebilir. Çift frekanslı alıcı kullanılmaması durumunda DGPS ile sağlanacak doğruluk 100 km'ye kadar olan mesafeler için 1 m'den azdır.

İyonosferik gecikme için Diferansiyel düzeltmenin hata kaynakları şunlardır.

- Referans ve kullanıcı tarafından alınan sinyaller iyonosfer tabakasını farklı noktalardan geçerler.

- İyonosfer tabakasını geçiş açıları farklıdır

- Düzeltmelerin kullanıcıya ulaştırılmasındaki gecikme düzeltmenin geçerliliğini azaltır. (Etkisi küçüktür)

4.4.5. Troposferik hataların etkisi

Düşük uydu yükseklik açılarında (10 dereceden düşük) troposferik kırılma ciddi gecikmelere sebep olmaktadır. Bu hatalanın büyük bir kısmı uydu yükseklik açısına bağlı bir model kullanılarak giderilebilmektedir. Diferansiyel düzeltmeler olmaksızın bu model gecikmenin %90'ını gidermektedir fakat 5 derecelik yükseklik açılarında bu modellenemeyen kısım 2-3 m'ye ulaşmaktadır. Diferansiyel düzeltmeler kullanılarak hata çok küçük değerlere indirilebilmektedir. Fakat sinyal kullanıcıya ve referans istasyona giderken birbirinden meteorolojik parametreleri çok farklı ortamlardan geçiyorsa, yapılan uygulamaya göre oluşabilecek hata kayda değer olabilir. Mesela, eğer referans istasyon ve kullanıcı çok farklı yüksekliklerde ise (binlerce feet) kırılma indisinde farklılar olması kaçınılmazdır. Bu durumda DGPS kullanıcısının yükseklik farkını dikkate alacak troposferik model kullanması daha doğru olacaktır.

Referans istasyonundan 50 km uzaklıktaki bir kullanıcı için DGPS'in hata kaynakları ve miktarları Çizelge 4.2'de gösterilmiş ve Çizelge 4.3'te GPS hata kaynaklarıyla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2. DGPS hata kaynakların ve büyüklükleri

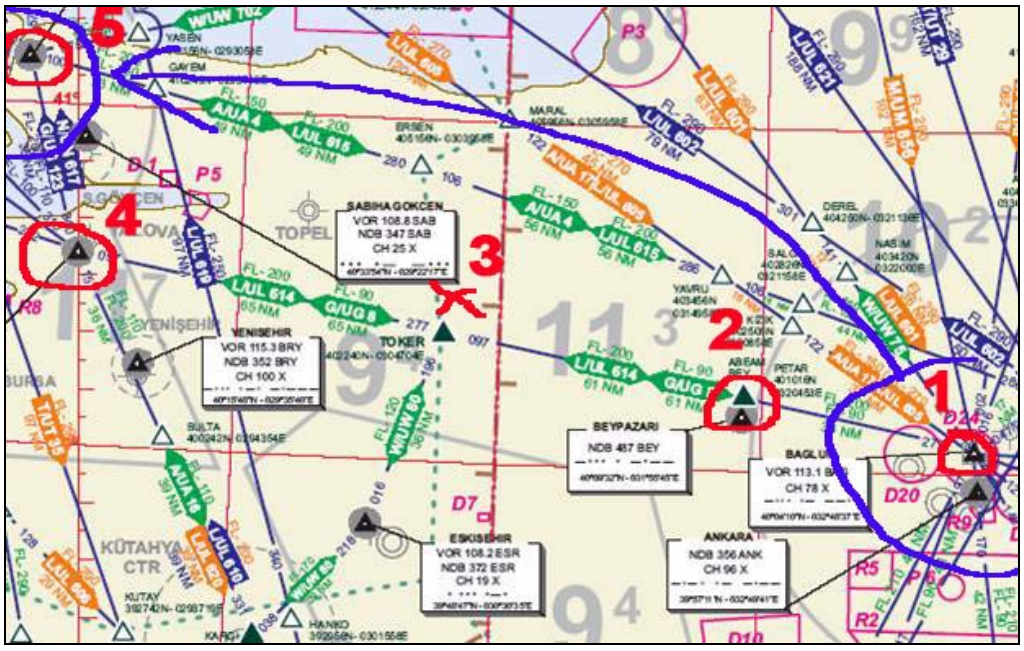
Hata Kaynağı	*Hata (1 σ) (m)*		
	Sistematik	*Rastgele*	*Toplam*
Uydu Saati	0,0	0,7	0,7
İyonosfer	0,0	0,5	0,5
Troposfer	0,0	0,5	0,5
Multipath	1,0	1,0	1,4
Alıcı ölçümü	0,0	0,2	0,2
Referans İstasyon Hataları	0,3	0,2	0,4
UERE (RMS) (Kullanıcı Mesafe Hatası)	1,0	1,4	1,8
1 sigma hata -düşey VDOP=2,5			2,8
-yatay HDOP=2,0			2,2

Çizelge 4.3. DGPS ve GPS hata kaynakları ve büyüklükleri

Hatanın Kaynaklandığı bölüm	*Hata Kaynağı*	*GPS Hatası (m)*	*DGPS Hatası (m)*
Uzay	Uydu Saati	3,0	0
	Yörünge sapması	1,0	0
	SA	32,3	0
	Diğer	0,5	0
Denetim	Yörünge tayini	4,2	0
	Diğer	0,9	0
Kullanıcıl	İyonosferik Gecikme	5,0	0
	Traposferik gecikme	1,5	0
	Almaç gürültüsü	1,5	2,1
	Multipath	2,5	0
	Diğer	0,5	0,5
Toplam (rss)		*33,3*	*3,3*

5. ANKARA İLE İSTANBUL ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN NAVİGASYONUN DGPS GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA (POST-PROCESS) METODU UYGULAMASI

Halihazırda havacılık navigasyonunda kullanılan konvansiyonel yer bazlı radyo navigasyon kolaylıkları olan ADF, VOR, DME, GPS ve FMS kullanılarak, ANKARA-Esenboğa havalimanı ile İSTANBUL-Atatürk havalimanı arasında seyrüsefer yapılmıştır. (Harita 5.1). Türkiye'de bulunan istasyon listesi EK-2'de verilmiştir.



Harita 5.1. Ankara İstanbul arasındaki VG-8 hava yolu ve radyo navigasyon istasyonları

FMS (Uçuş Yönetim Sistemi) ile gerçekleştirilen navigasyon esnasında uçakta uygulama için kurulan GPS alıcısı ile kayıtlar toplanmıştır. Yapılan uçuş sonrasında Ankara, İstanbul ve Gölbaşı/Ankara'da kurulan sabit GPS istasyonlarından alınan kayıtlar ile gözlem sonrası hesaplamalar yapılmış ve DGPS düzeltmeli konumlar ortaya çıkarılmıştır. Diferansiyel düzeltmeli ve

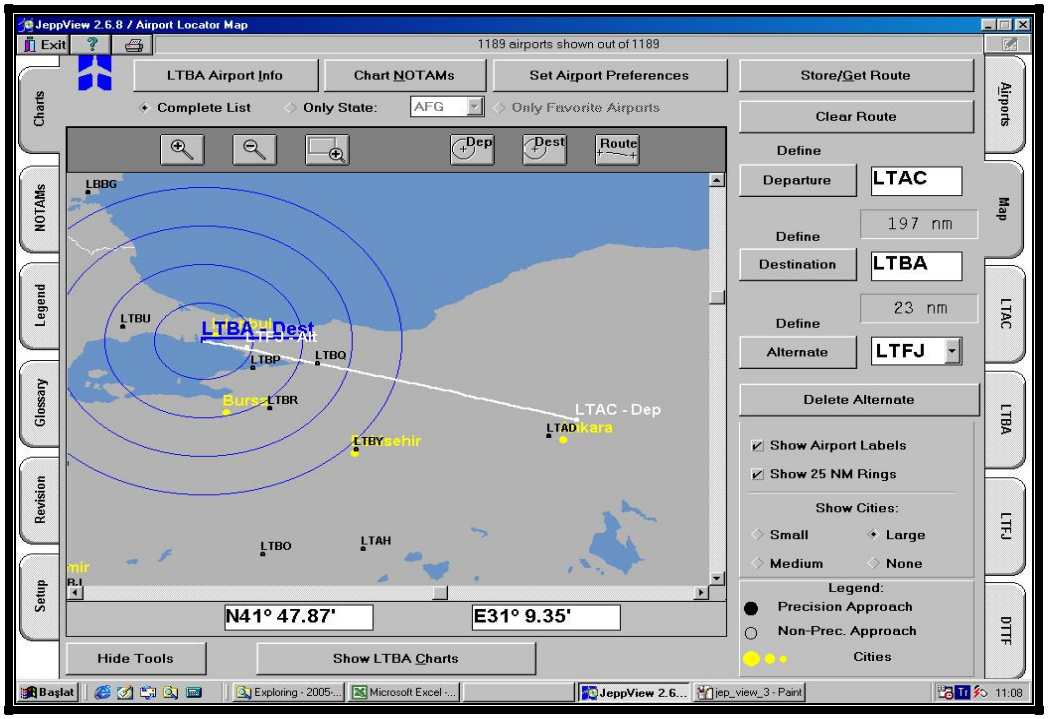
düzeltmesiz konum bilgileri, sayısal verileri bilgisayara geçirilerek çizilmiş nominal hava yoluna göre karşılaştırılmış ve hata oranları çıkarılmıştır. Bu çalışmada, DGPS'in performansı, DGPS yazılım programında gözlem sonrası hesaplama yöntemiyle ortaya çıkarılmıştır.

5.1. Testin Planlama Safhası

Çalışmanın bu bölümünde, gerçekleştirilen test uçuşunun planlama safhası anlatılacaktır.

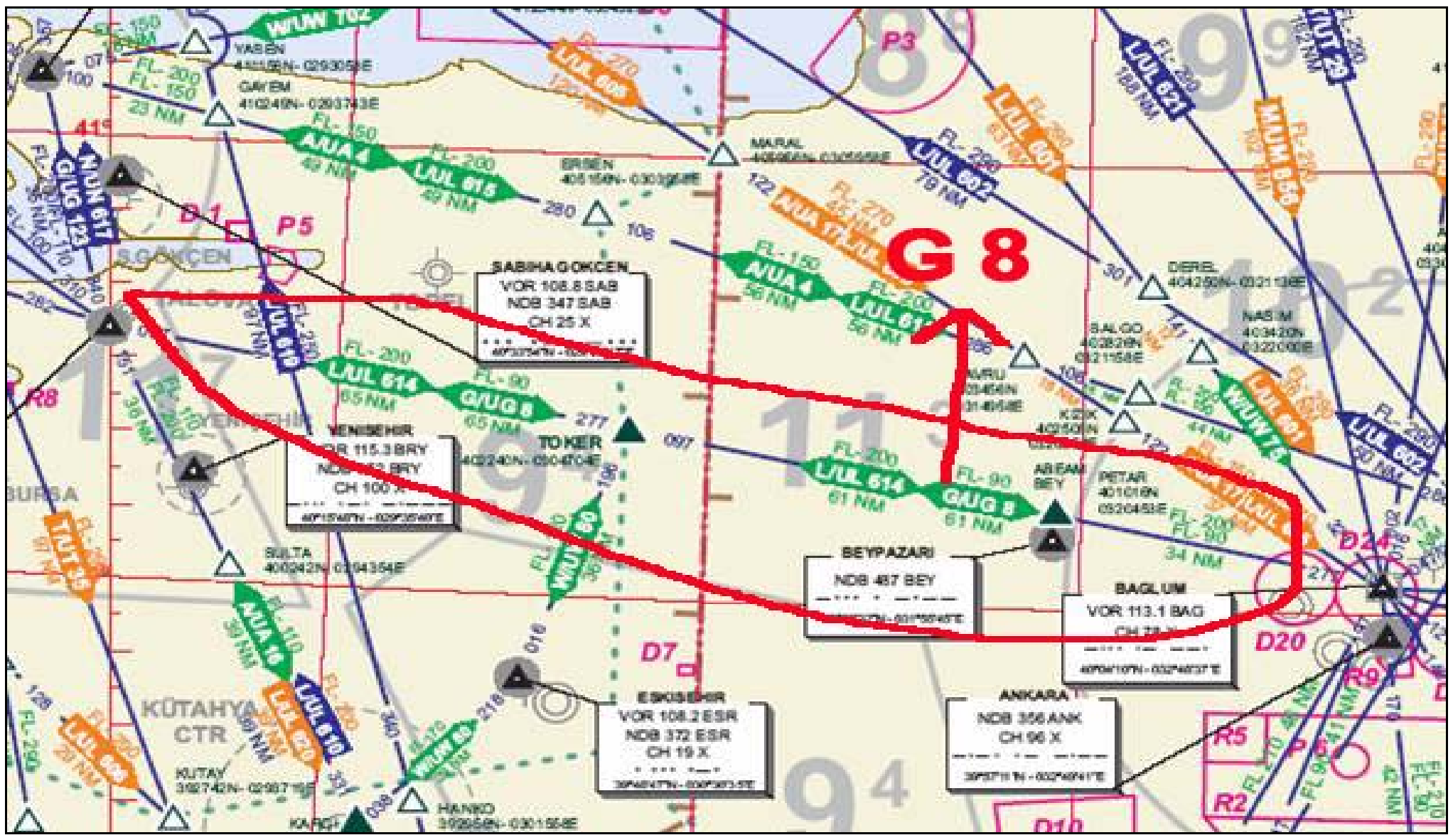
5.1.1. Kullanılacak rotanın planlanması

Ankara ile İstanbul arasında gerçekleştirecek uçuş rotasını JeppView V.2.6.8 programı aracılığıyla planlanmıştır (Resim 5.1). JeppView programı, halen dünyada en geçerli havacılık uçuş ve navigasyon dokümantasyonu sunan Jeppessen şirketi tarafından geliştirilmiştir.



Resim 5.1. JeppView programı uçuş planlama kart görüntüsü [22]

Test için uçuş seviyesi 22 000 feet olarak seçilmiştir. Testte kullanılan VOR yolu G 8 ‘dir (Harita 5.2). Uçuş süresince kullanılacak yer bazlı radyo navigasyon kolaylıklarının listesi Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Harita 5.2. VOR G 8 hava yolu

Çizelge 5.1. Testte kullanılan yer bazlı radio navigasyon istasyonları

İstasyon Adı (VOR/VAR)	*ID*	*Frekansı (CH)*	*Çalışma Saatleri*	**Koordinmatı WGS-84*	*Notlar*
1	2	3	4	5	7
ANKARA NDB/DME	ANK	356 KHZ CH96X	H24	395711N 0324941E	Coverage 100 NM Coverage 100 NM
BAGLUM VOR/DME	BAG	113.1 MHZ CH78X	H24	400410N 0324837E	
BEYKOZ VOR/DME	BKZ	117.3 MHZ CH120X	H24	410737N 0290834E	To Atatürk AD. Coverage 50 NM
BEYPAZARI NDB	BEY	487 KHZ	H24	400932N 0315545E	Coverage 40 NM To NDB ANK
CEKMECE NDB	CEK	328 KHZ	H24	410021N 0283141E	Coverage 75 NM
ISTANBUL VORTAC	IST	112.5 MHZ CH72X	H24	405745N 0284835E	
YALOVA NDB	YAA	305 KHZ	H24	403353N 0292218E	Coverage 75 NM To YALOVA AD.
YALOVA VOR/DME	YAA	117.7 MHZ CH124X	H24	403354N 0292217E	Radials BTN 175 and 200 DEG

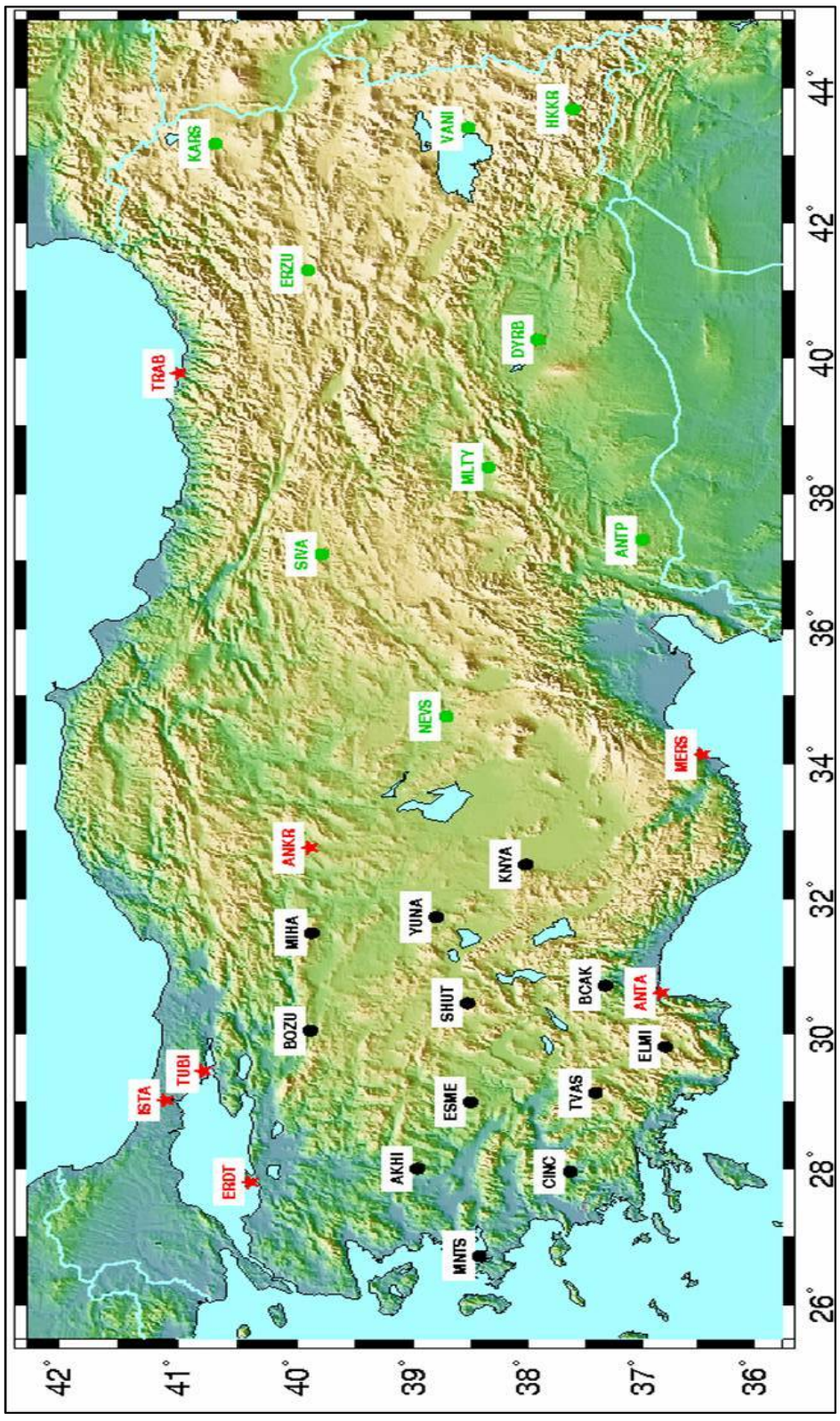
5.1.2. Testte kullanılan uçak ve teçhizatlar

Uçak tipi B-200 (beechcraft) olup ,uçuş boyunca Collins EFİS 85-B elektronik uçuş alet sistemi, AFS-65 otopilot sistemi, Uçuş yönetim sistemi olarak da Litton LTN-450 navigasyon yönetim sistemi kullanılmıştır.

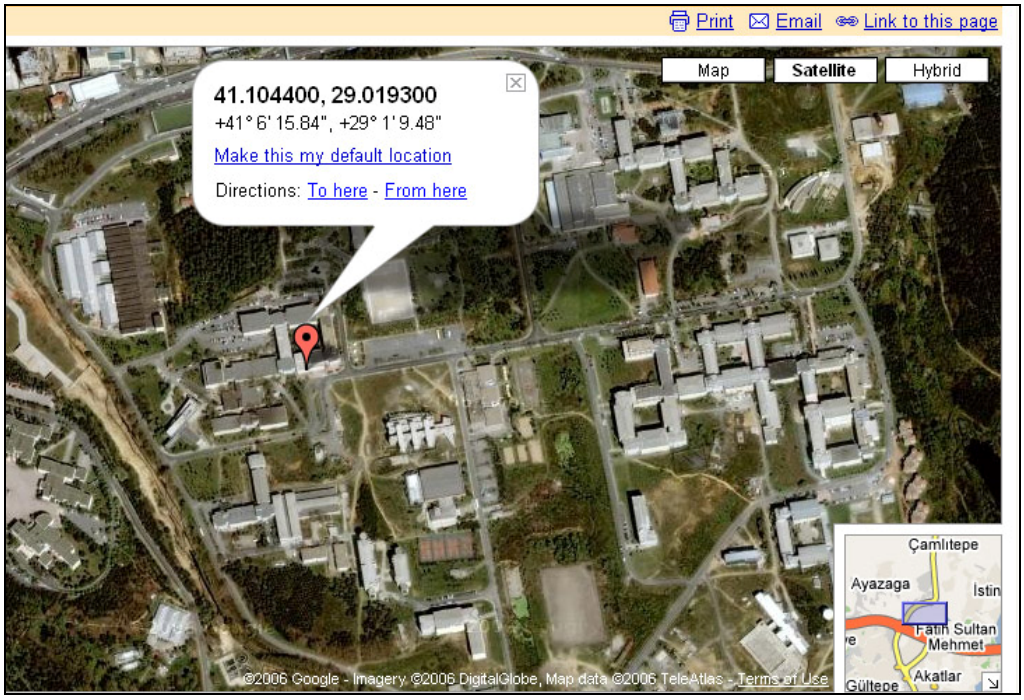
Yerde ve uçakta kullanılan Ashtech Z-Surveyor GPS alıcılarının özellikleri Çizelge 5.1'de belirtilmiştir. Bir tane yer istasyonuna ilave olarak Resim 5.2'de gösterilen, Ankara ve İstanbul'da (Resim 5.3) sabit olarak kurulmuş ve Harita Genel K.lığı tarafından işletilen TUSAGA (Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı) kapsamındaki sabit GPS istasyonlarından da faydalanılmıştır. Bu istasyonlara ait ayrıntılı bilgiler EK-3'te verilmiştir

Çizelge 5.2. Ashtech Z-Surveyor GPS alıcısı özellikleri [23]

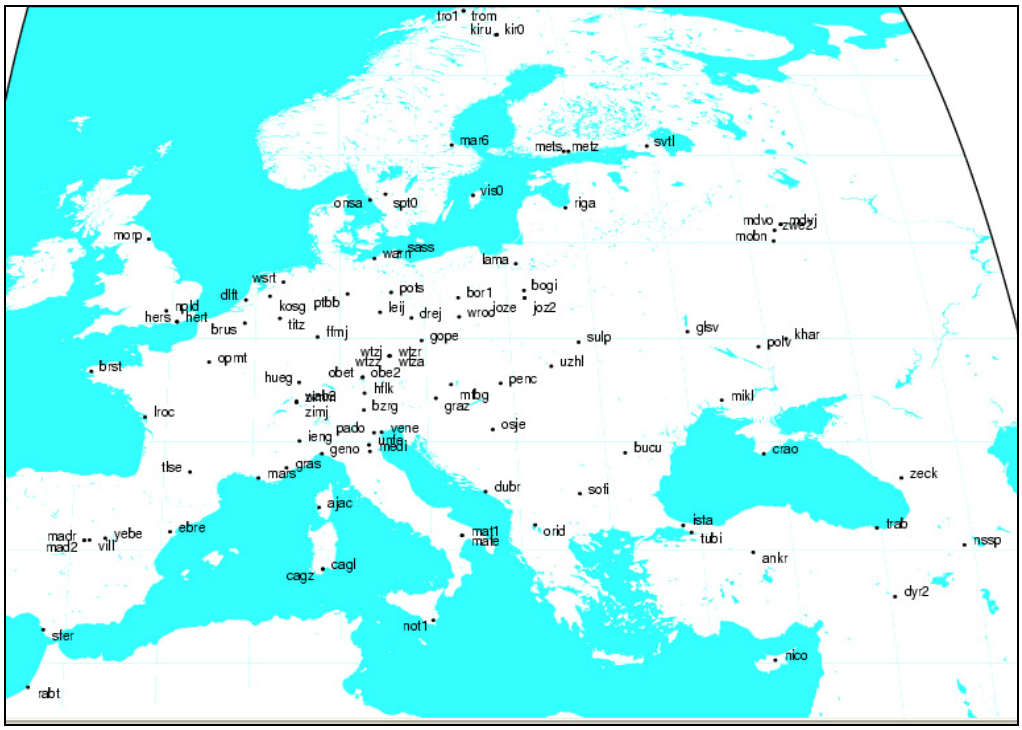
Karakteristik	*Özellikler*
Kilitlenme	12 Kanal L1 CA/P L1 ve P L2
Güç	6,0 Watt
Voltaj	10-28 Volt DC
Ölçüm Hassasiyeti	
C/A (>10 Elevation) Pseudo-range Taşıyıcı Faz	 25 cm/3,6 cm 0,9 mm
P-Code Kapalı (<10 Elevation) L1 Pseudo-range L1 Taşıyıcı Faz L2 Pseudo-range L2 Taşıyıcı Faz	 15 cm/0,9 cm 0,9 mm 21 cm/1/3 cm 0,9 mm
Post-Proses Kinematik	Yatayda 1cm +1ppm Dikeyde 2cm +1ppm



Harita 5.3. TUSAGA kapsamında konuşlu GPS istasyonları



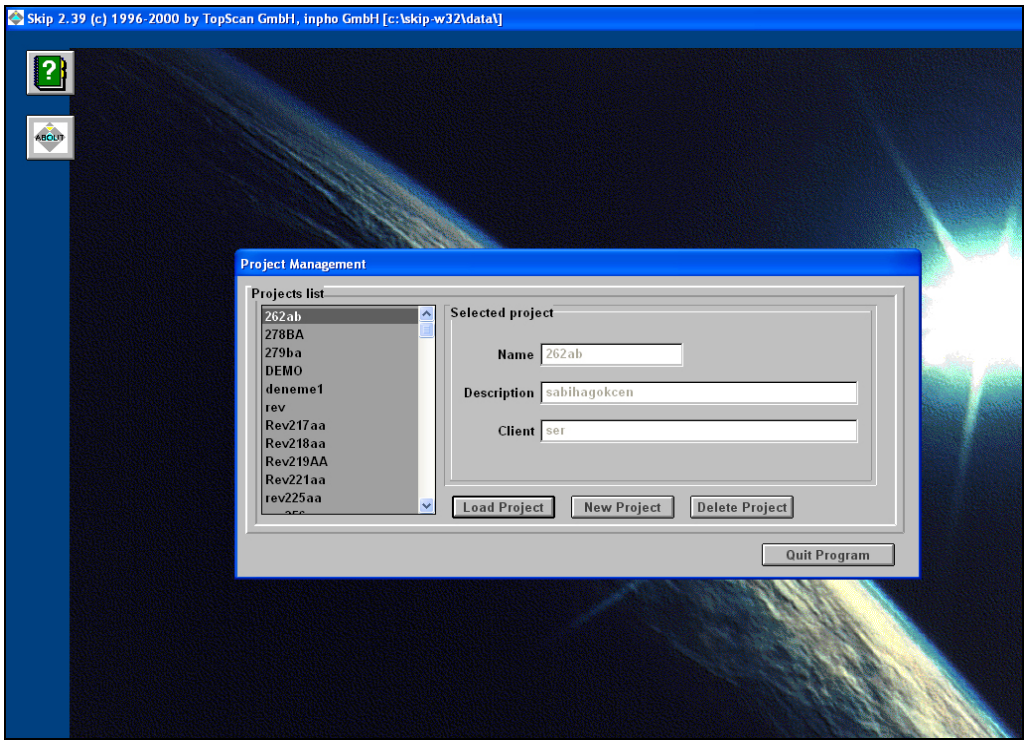
Resim 5.2. İstanbul sabit GPS istasyonu hava fotoğrafı



Resim 5.3. Avrupa Kıtasındaki sabit GPS istasyonları

5.1.3. Testte kullanılan DGPS yazılımı

Testin post-proses işlemlerinde SKIP V.2.39 yazılımı kullanılmıştır. Resim 5.4). Bu yazılıma ilave olarak, kaynak kodları açık ve serbest kullanımda olan birçok küçük dönüşüm yazılımlarından da faydalanılmıştır.



Resim 5.4. SKIP yazılımı ekran görüntüsü

5.2. Test Uçuşunun Yapılması

Test uçuşu 28 Haziran 2005 günü yapılmış ve veri kayıtları tutulmuştur. Teste başlamadan önce uçakta ve yerde kullanılacak ve eş zamanlı olarak ölçüm yapacak 2 adet GPS alıcısı,

- 0,5 sn. zaman aralığında,
- 10° lik Elevatin Maskesi kullanılarak,
- Uçaktaki Kinematik,
- Yerdeki Statik,

ölçüme ayarlı ve konumu hassas olarak bilinen noktaya anteni kurulmuş şekilde gözlem yapılmıştır.

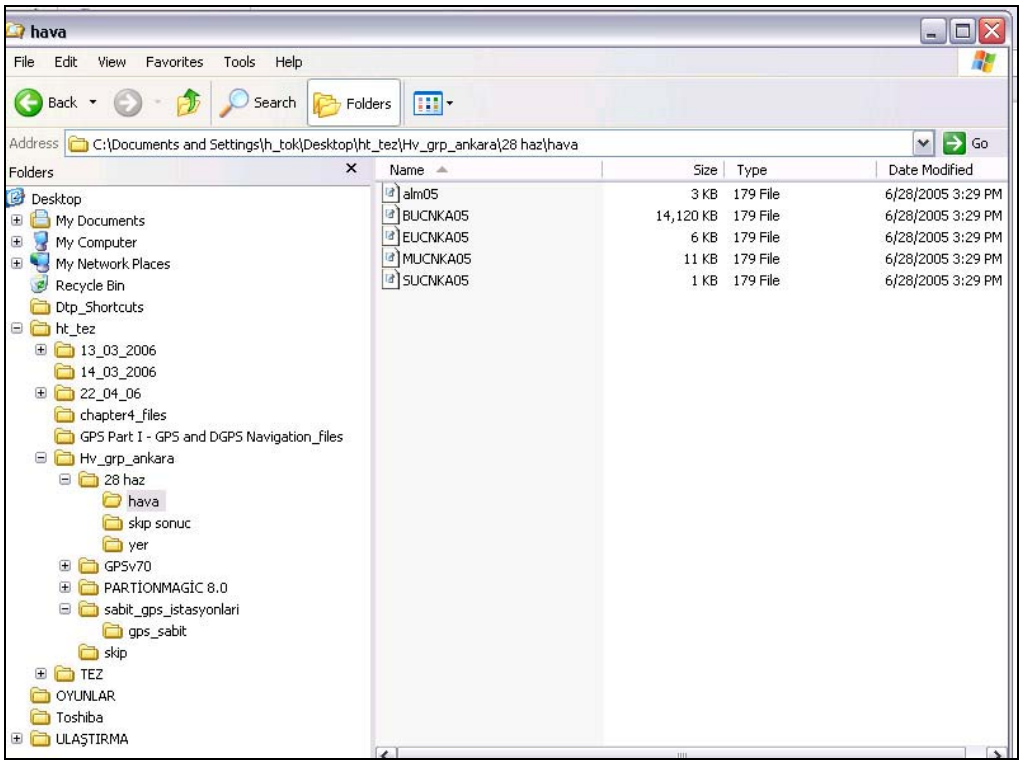
Ankara-Esanboğa havalimanından IFR şartlarda kalkan uçak, İstanbul-Atatürk havalimanına klasik hassas yaklaşma sistemlerinden olan ILS sistemini kullanarak alçalma ve inişini tamamlamasının ardından, müteakiben Ankara-Güvercinlik pistine inerek uçuşunu tamamlamıştır.

Tüm navigasyon boyunca uçakta otopilot kullanılmış olup, meteorolojik koşullar dikkate alınarak uçağın dikey ve yatay olarak hatta, otopilot tarafından tutulabilmesi için kumanda servolarına gönderilen komutlardaki ince hesap detayları (GPS verileri, uçağın yol boyunca uçtuğu noktalara ait verilerdir, gerçekte çizilen G 8 yolu ise, sayısal verilerle bilgisayara geçirilerek çizilmiş nominal yol hattır.) ve uçaktaki radyo navigasyon yardımcılarına ait alıcı antenleri ile GPS anteni arasındaki dikey mesafeler, ve radyo navigasyon istasyonlarının kendi hata kaynakları dikkate alınmamıştır.

Uçuş esnasında uçaktaki GPS alıcısı 0,5 saniye aralıklarla uçuş müddetince uçağın uçtuğu hattın 3 boyutlu koordinat değerlerini kayıt etmiştir. Aynı şekilde gerçek konumu bilinen bir noktaya kurulan sabit GPS de 0,5 saniye aralıklarla ölçüm yapmış ve kendi hafıza kartına (PCMCI kard) verileri kayıt etmiştir.

Uçuşun tamamlanmasını müteakip, uçaktaki ve yerdeki GPS alıcısının PCMCI kartlarına kayıt edilen uçuş anında toplanan veriler, değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Resim5.5.). Bilgisayar ortamına aktarılan ham datalar, kabul edilmiş uluslararası RINEX GPS formatına dönüştürülerek SKIP yazılım programında gözlem zaman periyodu içerisinde ufuk hattında görülebilen her bir uydu için sabit (Yerdeki) GPS istasyonunun topladığı verilerin (enlem,boylam,yükseklik ve zaman) kendi bilinen hassas konumundan faydalanarak düzeltmesi hesaplanmış ve uçağın topladığı verilere düzeltme olarak getirilmiştir. SKIP DGPS yazılım programı

düzeltilebilir hatalar olan efemeris hatası, uydu saati hatası, iyonosferik ve troposferik gecikmeler gibi hataları ortadan kaldıran bir programdır. Alıcı gürültüsü ve multipath (sinyal yansıması) hataları herhangi bir yazılımla düzeltilememektedir. Çünkü bu hatalar her bir alıcı için bağımsız ve farklı hatalardır.

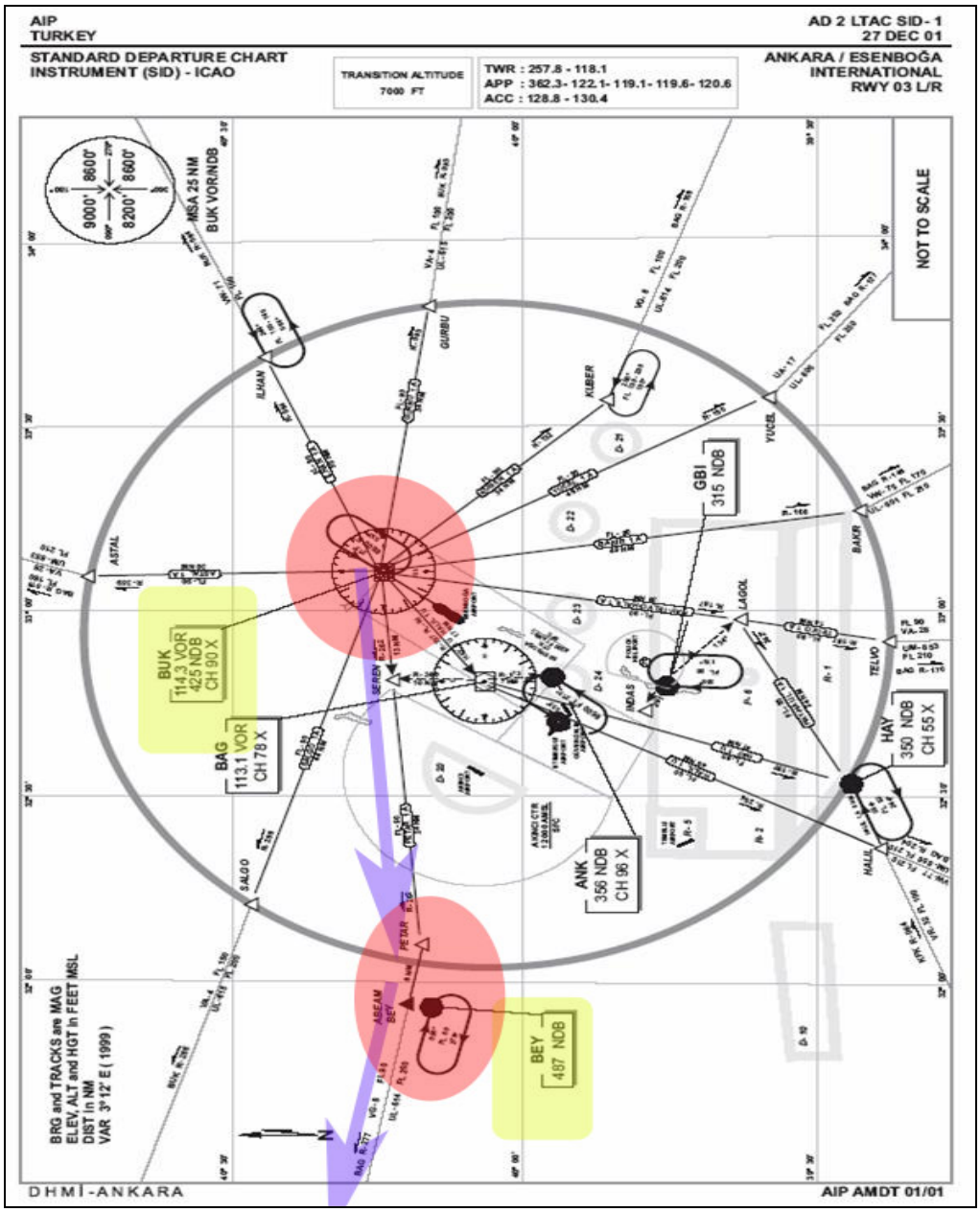


Resim 5.5. Çalışılacak GPS kayıtlarının bilgisayara aktarılması

Hava araçlarının yaptıkları navigasyonlar sırasında dikey yani irtifaca standartlık radar altimetreler aracılığıyla sağlanmaktadır. Tüm hava araçları yol boyunca standart altimetre basıncını kullanırlar ve alçalma esnasında ise hava limanını bulunduğu mahalli basınç kullanılır. Bu sebeple yapılan testte yükseklik faktörü dikkate alınmamış ve elde ettiğimiz sonuçlar yatay eksende değerlendirilmiştir.

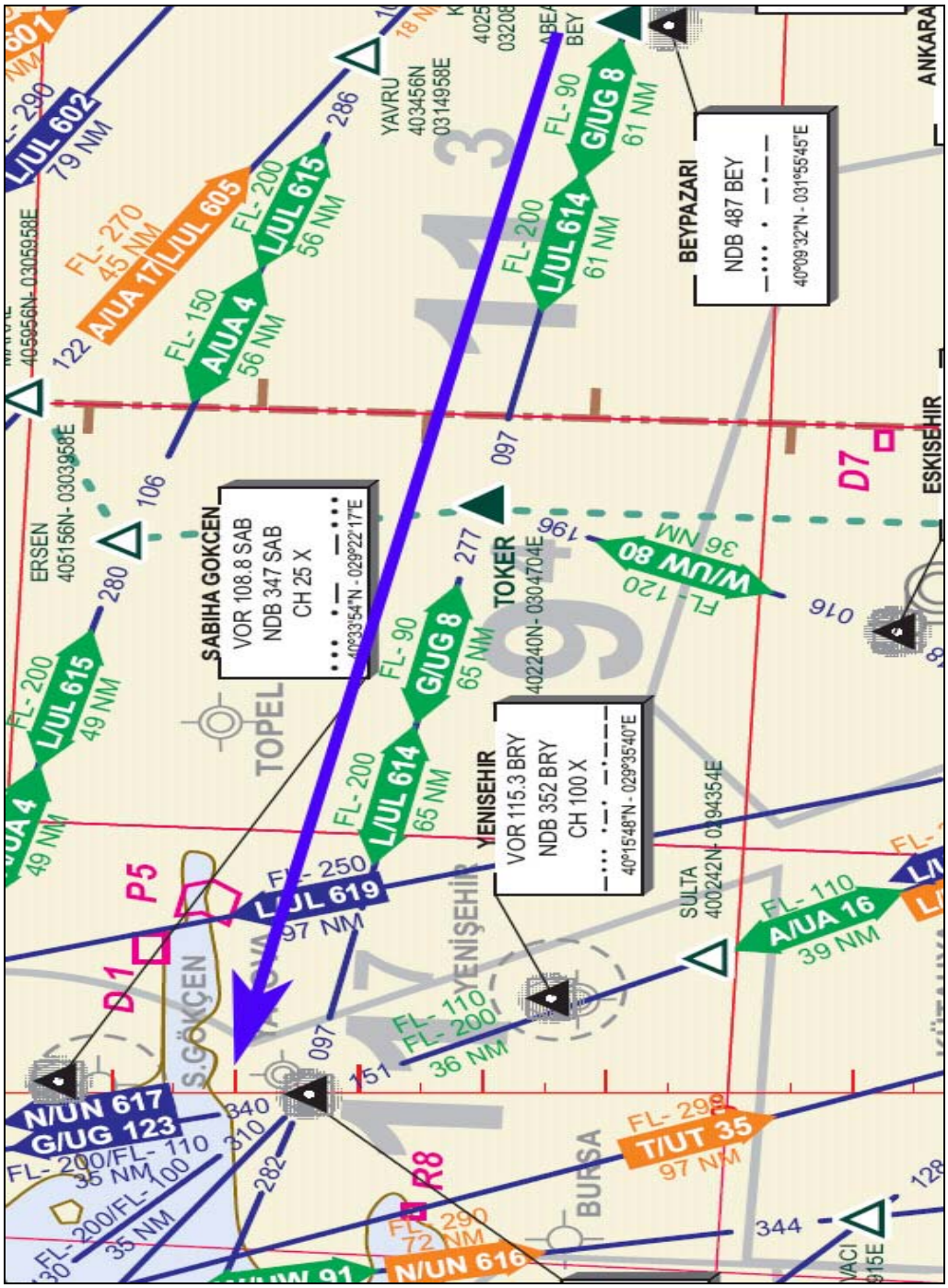
5.2.1. Navigasyon rotası

Navigasyona CUBUK VOR istasyonundan başlanmış ve sonrasında PETAR kavşağı geçilerek BEYPAZARI NDB istasyonundan VG 8 hava yoluna girilmiştir (Harita 5.4).



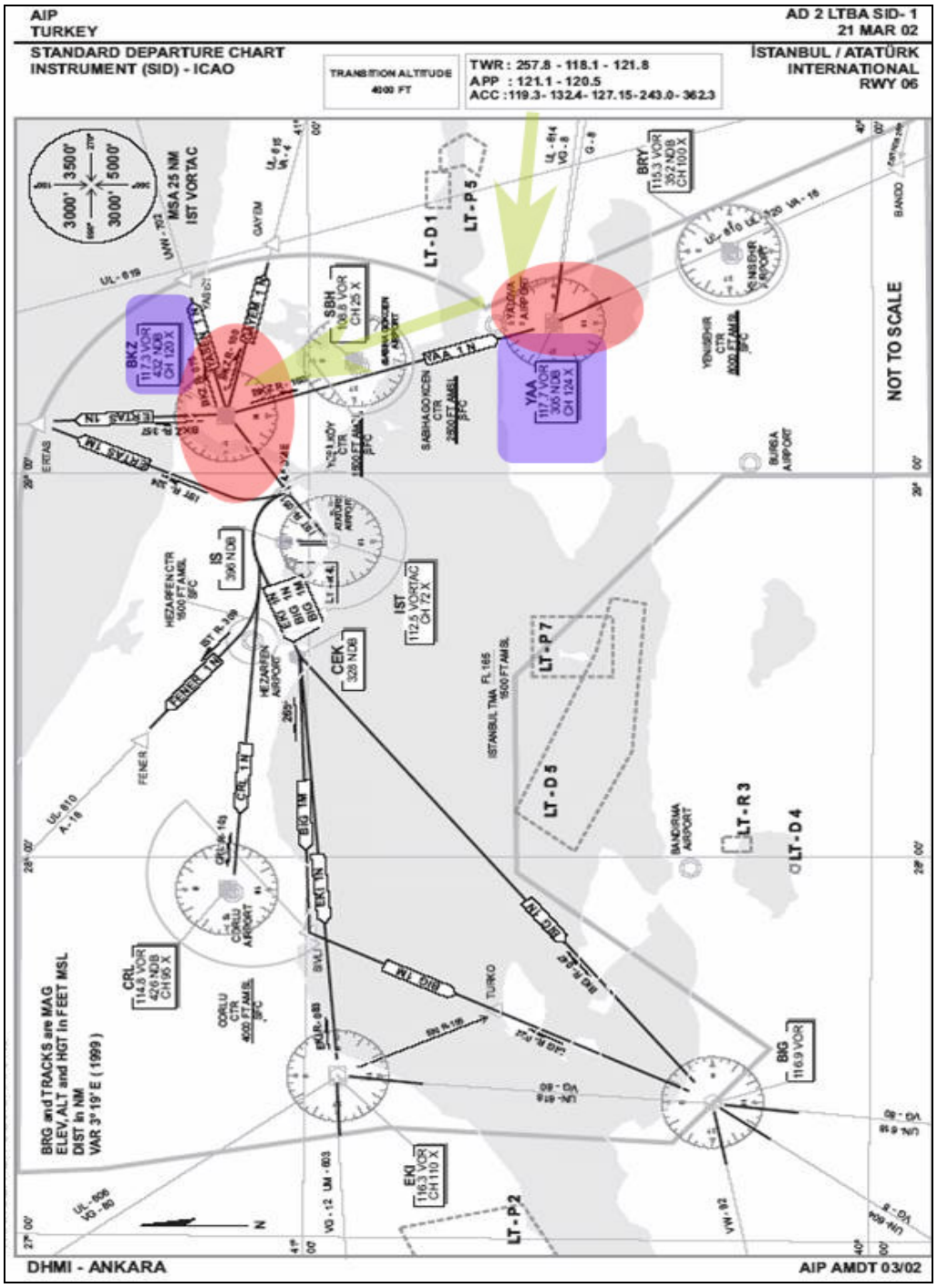
Harita 5.4. Ankara Esenboğa ayrılış rotası

Müteakiben VG 8 hava yolu takip edilerek TOKER kavşağı geçilmiş ve YALOVA VOR istasyonu üzerine gelinmiştir (Harita 5.5).



Harita 5.5. TOKER kavşağı

YALOVA VOR istasyonundan sonra BEYKOZ VOR istasyonuna devam edilmiş ve İstanbul Atatürk havalimanına iniş gerçekleştirilmiştir.



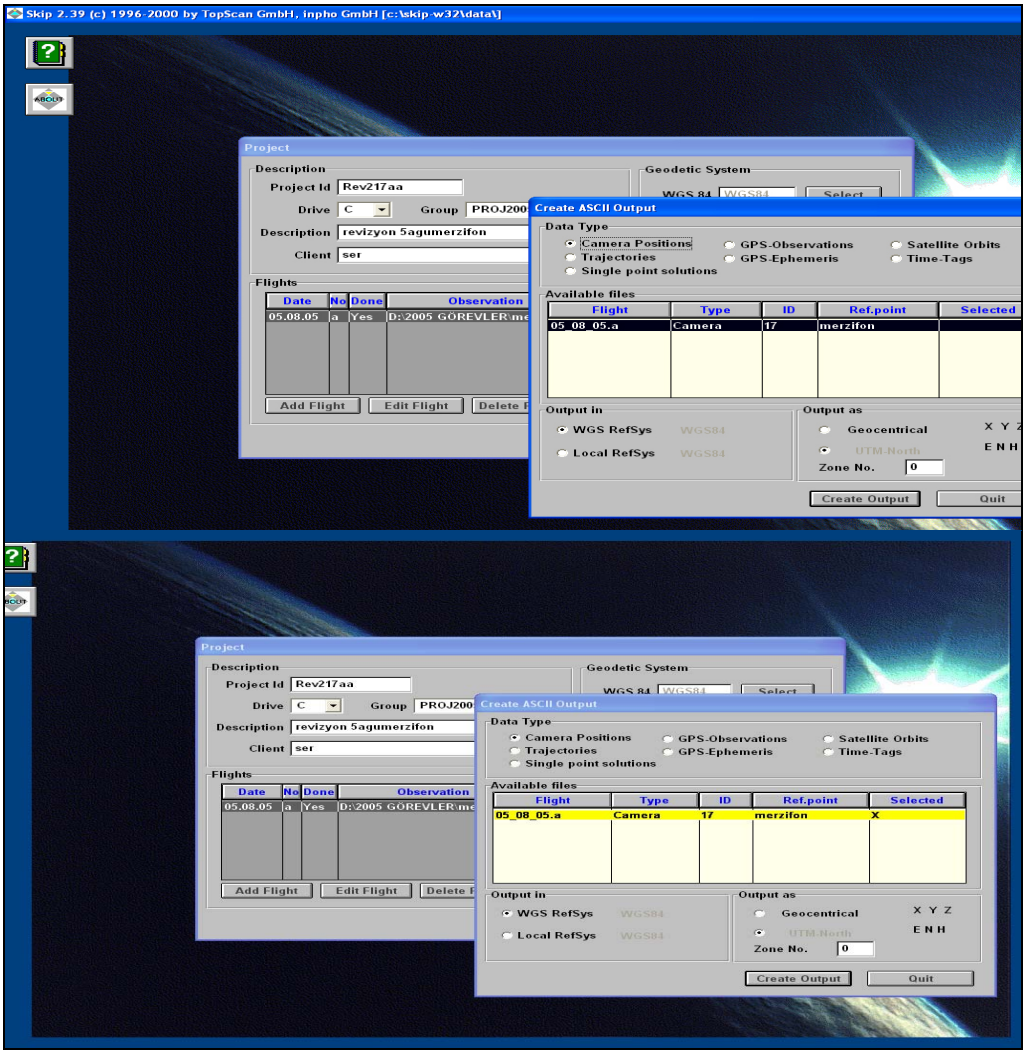
Harita 5.6. İstanbul Atatürk varış rotası

5.3. Uçuş Sonrası GPS Verilerinin İşlenmesi

Uçuş sonrasında toplanan GPS kayıtları,

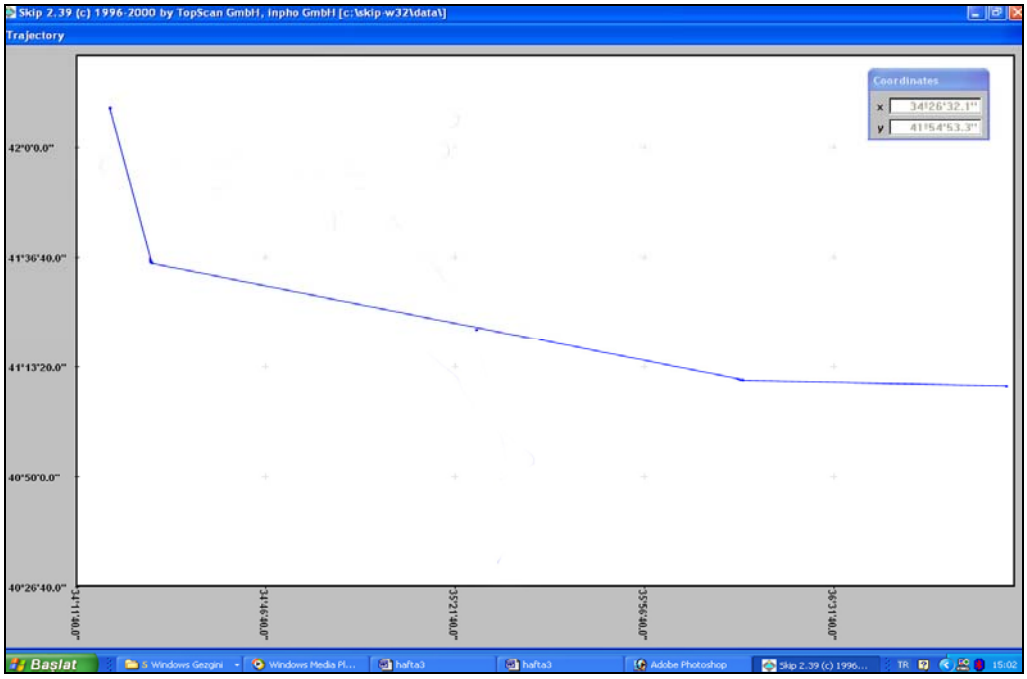
- Testte Kullanılan Ankara GPS İstasyonu > Havadaki alıcı
- Gölbaşı / Ankara sabit GPS istasyonu > Havadaki alıcı

olmak üzere karşılıklı olarak SKIP yazılımdan işlenmiştir (Resim 5.6).

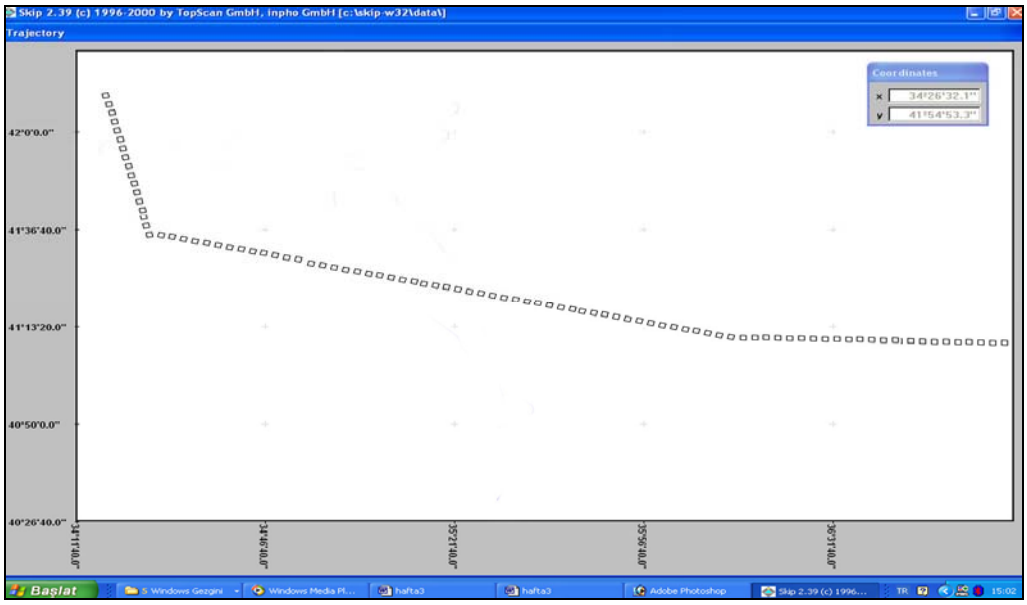


Resim 5.6. SKIP yazılımı ekran görüntüleri

Verilerin işlenmesi sonucunda programdan çıkan dökümler Resim 5.7 ve Resim 5.8'de gösterilmiştir.



Resim 5.7. SKIP yazılımı çıktılar (non-dgps)



Resim 5.8. SKIP yazılımı 30 sn aralıklarla alınmış çıktıları (non-dgps)

5.4. İşlenmiş GPS Verilerinin Yorumlanması

GPS kayıtlarının işlenmesi sonrasında alınan sonuçlar Çizelge 5.3'de verilen ICAO uydu bazlı navigasyon (R-NAV) standartlarına göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3. ICAO R-NAV standartları

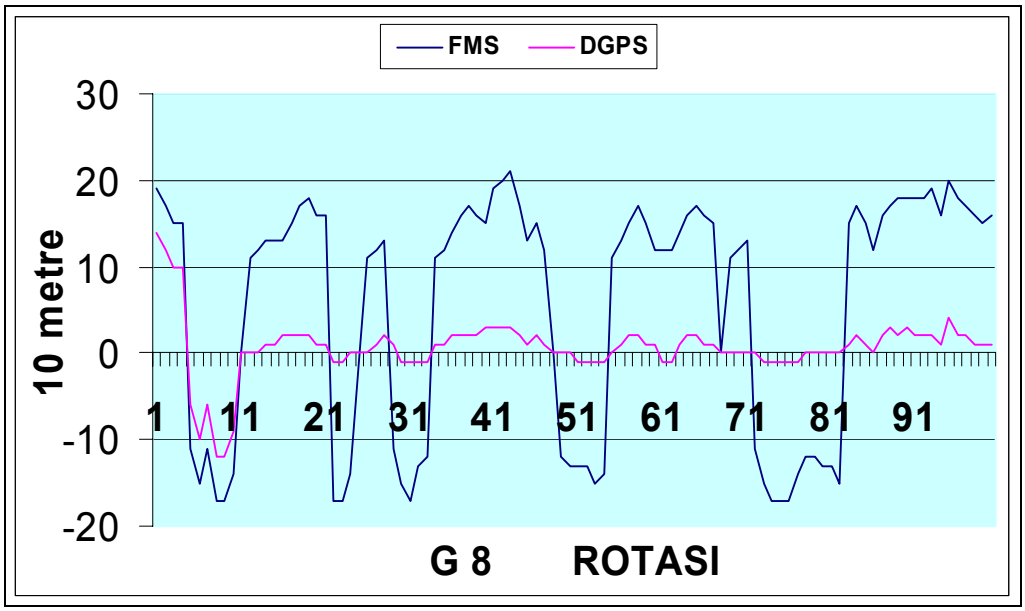
Uçuşun Safhası	*Operasyonun Konsepti*	*Hedeflenen Tarih*	*Mevcut Durumu*	*Gerekli NAV Kabiliyeti*	*Gerekli Konumlama Sistemi*
ARR/DEP (Yaklaşma/ Ayrılış)	Initial P-RNAV in TMA	2006	Uygulanıyor	P-RNAV	GNSS/DME
	P-RNAV in high density TMA	2006-2012	Uygulama/Test	P-RNAV	GNSS/DME
	RNP in high density TMA	2015	Geliştiriliyor	3D RNP	GNSS/DME
APP/LAND (Yaklaşma ve İniş)	APV Baro VNAV	2005	Uygulanıyor	3D RNAV	GNSS/Baro
	APV I/II	2006	Uygulanıyor	3D RNAV	SBAS (EGNOS)
	GBAS Cat I	2008-15	Konsept	3D RNP	GBAS
	GBAS Cat II/III	2012-15	Konsept	3D RNP	GBAS
Yerde	SMGCS	2015	Konsept	2D RNP	GBAS
Tüm Uygulamalar	4D RNAV in integrated environment	2020	Konsept	4D RNP	GNSS

Mevcut Kullanılan Standartlar			
Operasyon Safhası	Minimum İrtifa	*Doğruluk*	
		Yatay	*Dikey*
Rota / Terminal	500	*4 NM*	*500 M*

Navigasyonda kullanılan ana rota yer bazlı radyo navigasyon istasyonlarının kurulu oldukları koordinatların enlem ve boylam bilgileri hesaplanmış ve bu noktalardan bilgisayarda Matlab programı kullanılarak, kullanılan hava yolunun yer izi oluşturulmuş ve çizilmiştir. Uçağın mevcut FMS (Uçuş Yönetim Sistem) 100 NM çaplı bir sahada algıladığı tüm VOR, DME, VOR DME, ADF radyo navigasyon istasyonları algılayacak şekilde ayarlanmıştır. FMS sistemi tüm bu radyo navigasyon istasyonlarından aldığı referans bilgilerini kendine ait GPS alıcısını da kullanılarak harmanlamış ve oto pilota uçağı planlanan G 8 hava yolunda götürmesi için gerekli kumandaları

vermiştir. FMS'e ait GPS alıcısı testte kullanılan havadaki GPS alıcısından bağımsızdır.

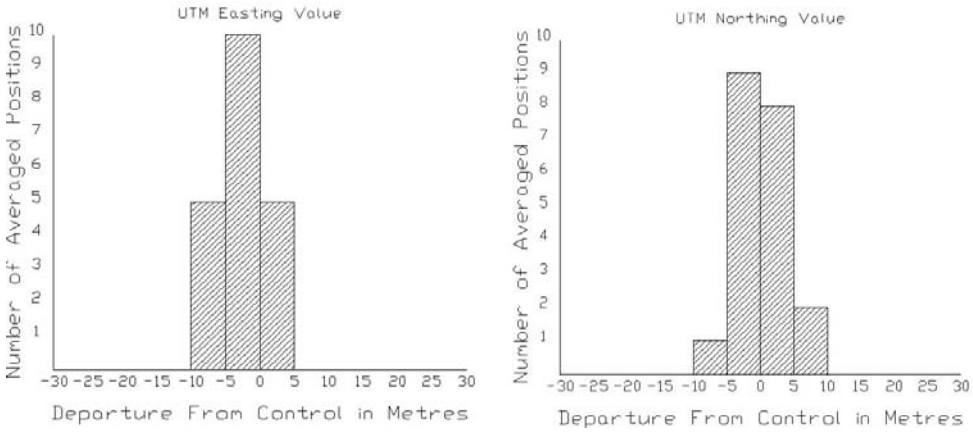
Uçak içerisinde test için kullanılan GPS alıcısı aynı zamanda uçağın G 8 hava yolu üzerinde yapmış olduğu navigasyonun konum bilgilerini elde etmekte kullanılmış olup bu konum bilgileri müteakiben gözlem sonrası hesaplama metoduyla DGPS'ten elde edilen düzeltilmiş veriler ile karşılaştırılmıştır. Uçuşun geneli için GPS ve DGPS 'in konumlama hata oranlarını bindirmeli olarak gösteren grafik Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. FMS ve DGPS'in konum hatası oranları

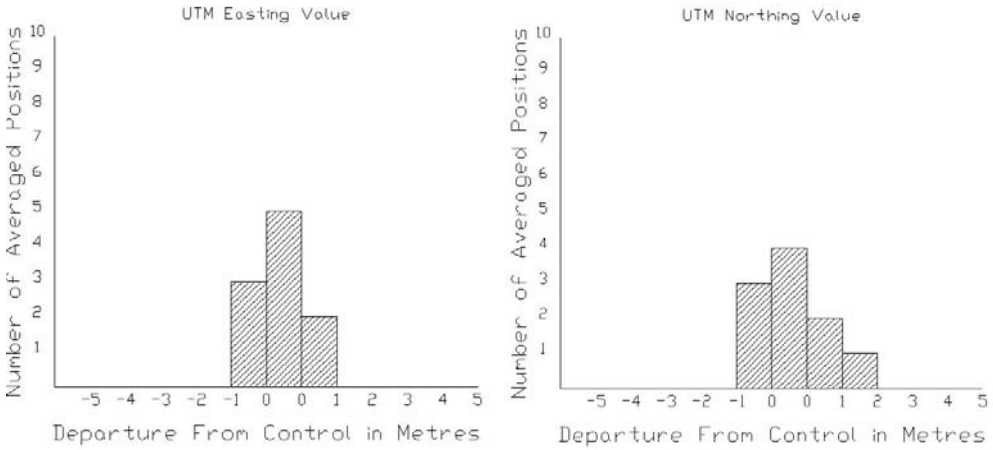
Bu grafikte uçakta mevcut GPS alıcısı ile referans istasyonu olarak konumu daha önceden belirlenmiş yer GPS istasyonuna ait kayıtlar kullanılmıştır.

GPS ve DGPS kayıtlarının UTM projeksiyonunda Doğu ve Kuzey değerlerini incelediğimizde; GPS Doğu değerlerinin -10 ile 5 m. arasında merkezden uzaklaştığı, GPS Kuzey değerlerinin ise -10 ile 10 m. arasında merkezden uzaklaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. GPS kayıtlarının Doğu ve Kuzey değerlerine göre merkezden sapmaları

GPS ile elde edilen bu değerlere karşın, DGPS Doğu değerlerinin -1 ile 1 m. arasında merkezden uzaklaştığı, GPS Kuzey değerlerinin ise -1 ile 2 m. arasında merkezden uzaklaştığı saptanmıştır (Şekil 5.3).

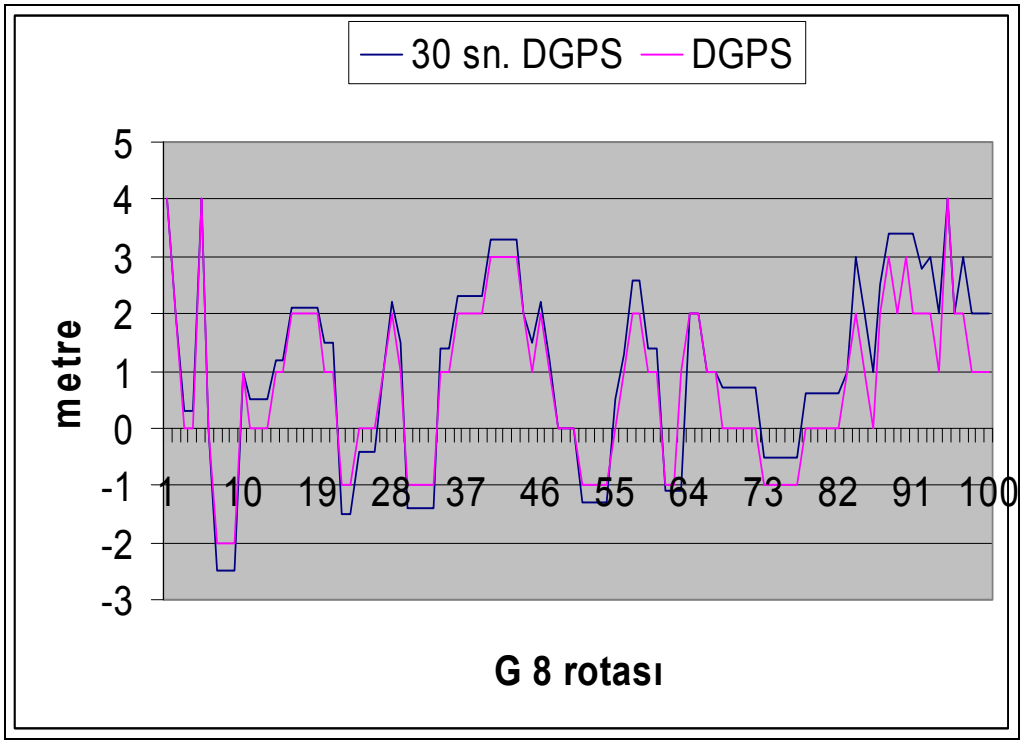


Şekil 5.3. DGPS kayıtlarının Doğu ve Kuzey değerlerine göre merkezden sapmaları

Testte referans istasyonu olarak kullanılan konumu daha önceden belirlenmiş yer GPS istasyonu 0,5 sn. aralıklarla gözlem yapmıştır. Şayet eş zamanlı bir çalışma yapmış olsaydık bu referans istasyonunun uçakta mevcut GPS

alıcısına dakikada 120 defa diferansiyel düzeltme sinyali gönderdiği anlamı gelirdi ki, buda test sonucunda yaklaşık 1 m. hassasiyet elde edilmesi sağlamıştır.

TUSAGA kapsamında kurulan Ankara sabit GPS gözlem istasyonu 30 sn. de bir gözlem yapmaktadır. Testi 30 sn. gözlem aralığında da yapmak ve diferansiyel düzeltme sinyali gönderme periyodunun, konum belirleme hassasiyetini ne oranda etkileyebileceğini gözlemlemek için, testi uçaktaki alıcının gözlem aralığını SKIP yazılımından 30 sn.'ye ayarlayarak tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.4'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. 30 sn. gözlem aralıklı DGPS ve 0,5 sn. gözlem aralıklı DGPS'in konum hatası oranları

Şekil 5.13'de verilen grafik incelendiğinde gözlem periyotları uzadığında, yani referans istasyonunun uçakta mevcut GPS alıcısına dakikada 2 defa diferansiyel düzeltme sinyali gönderdiği varsayıldığında yaklaşık % 0,3 (30 cm.) oranında hassasiyetin azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle G 8 hava

yolunun son 30 NM'lık kısmında referans istasyonundan uzaklaştıkça konumlama hassasiyetinin daha da azaldığı grafikten anlaşılmaktadır.

Test uçuşunun tamamının ve ilk 50 NM'lık ve son 50 NM'lık safhalarının ortalama hata oranları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Referans istasyondan uzaklaştıkça hata oranlarının arttığı gözlemlenmektedir. 30 sn periyotlarla düzeltilmiş DGPS konum doğruluğunda 0,5 sn periyotlarla düzeltilmiş DGPS konum doğruluklarına nazaran azalmamalar gözükmektedir.

Çizelge 5.4. Uçuşun safhalarına göre hata oranları

Uçuşun Safhası	*Ortalama metre cinsinden hata oranı (+/-)*		
	FMS	*0,5 SN DGPS*	*30 SN DGPS*
100 NM'lık yolun tamamı	27,45	3,2	5,18
İlk 50 NM'lık kısım	23,8	2,9	4,64
Son 50 NM'lık kısım	31,1	3,5	5,72
İlk 50 NM'lık kısmın Son 50 NM'lık kısımla karşılaştırılması	7,3	0,6	1,08

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Diferansiyel GPS, havacılık navigasyonu alanında uygulanmış ve yapılan çalışma ile Ankara'dan İstanbul'a G 8 hava yolunu kullanarak navigasyon yapılmıştır. Navigasyon süresince eş zamanlı olarak yerde konumu hassas olarak bilinen bir noktaya yerleştirilen GPS alıcısı ile uçaktaki GPS alıcısına ait konum bilgisi içeren gözlem dosyaları toplanmış ve DGPS yazılımında işlenen veriler sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, navigasyon amaçlı konum belirlemede DGPS'in uluslar arası (FAA ve ICAO) standartları sağlayarak, hava yolları boyunca ve terminal sahası içerisinde gerçekleştirilecek olan hassas alan navigasyonu (P-RNAV) kriterlerini rahatlıkla karşılayabildiği görülmektedir. Gelecekte uydu navigasyon sistemlerinin çok yaygın olarak kullanılacağı da dikkate alınarak, bu çalışmada yapılan uygulama ile Türkiye'de uygulamalı olarak geniş alan DGPS'in kullanılabileceği gösterilmiştir.

Ayrıca, GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla navigasyon doğruluklarında da önemli iyileşmeler olacağı beklenmektedir. Bu amaçla daha şimdiden GLONASS + GPS özellikli alıcılar üretilmeye başlanmıştır.

1999 yılında Japonya, 2001 yılında Çin, navigasyon amaçlı kendi uydularını fırlatarak, gelecekte oluşacak uydu bazlı navigasyon sistemine kendi adımlarını atmışlardır.

Avrupa uzay ajansı (ESA) ve Avrupa Komisyonunun (EC) ortak girişimi olan, 30 adet galileo uydularının da 2008 yılından itibaren devreye girmesiyle ilk sivil kontrollü küresel navigasyon hizmeti başlamış olacaktır. Bu sayede oluşturulacak küresel uydu navigasyon sistemi (GNSS) ile navigasyon doğruluklarının çok daha artacağı değerlendirilmektedir. Buna paralel olarak

diferansiyel uygulamalar çok daha hassas sonuçlar verebilecektir. Günümüzde GNSS + GPS uyumlu alıcılar üretilmeye başlanmıştır.

İster GPS ister GLONASS veya bunların kombinasyonları isterse de hepsini kapsayan GNSS'ler kullanılsın, hassas seyrüsefer uygulamalarının ihtiyaç duyacağı konumlama bilgisini maksimum doğruluğa çıkarmak için her durumda, diferansiyel tekniğine ihtiyaç olacaktır. Yakın gelecekte dünyada seyrüseferlerin her safhasının, uydu bazlı ve diferansiyel düzeltmeli hale geleceği göz önüne alınarak planlamalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, test sonrasında ulaştığımız veriler dikkate alındığında, DGPS tekniği ile klasik yer bazlı radyo navigasyon sistemlerinden çok daha hassas sonuçlar elde etiğimiz bir gerçektir.

Türkiye'de yer şekilleri dikkate alındığında, herhangi bir yerde devamlı gözlenebilen ve ölçüm yapılabilen GPS uydu sayısı her zaman 3 boyutlu konum bilgisi almaya elverişlidir. Gelecekte GNSS geniş alan DGPS sistemlerinin de etkin olarak kullanılmaya başlanmasıyla DGPS'in uçuşun her safhasında kullanılabileceği mümkün görünmektedir.

2015 yılında mevcut hava aracı sayısının, günümüzde kullanılanın iki katı olacağı öngörülmektedir. Artan bu baskı sonucunda havacılıktaki uygulamaları daha riskli hale gelecektir. Bu sebeple mevcut hava sahalarının etkin kullanılmasına ve yeni hava yollarına ve hava sahalarına ihtiyaç vardır. Bu yüzden DGPS'in sağlayacağı servisler özellikle havacılık alanında yoğun bir şekilde kullanılacaktır.

Uçak yoğunluğunun arttığı ve risklerin fazlalaştığı bölgelerin basında gelen havaalanları çevresindeki uçakların sevk ve idaresi daha kesin ve güvenilir bir şekilde yapılabilecektir. Böylelikle hava trafik yönetimi alanında büyük gelişmelerde beraberinde gelecektir.

Yer bazlı radyo navigasyon yardımcıları uçakların emniyetle uçmasını ve iniş kalkış yapmasını sağlayan hayati öneme haiz uçuş yardımcılarıdır. Hava yollarının bu istasyonlara bağlı kalınarak planlanmak zorunda kalınması hava sahasının etkin kullanılamamasına sebep olmaktadır. Global Navigasyon Sistemleri ve DGPS navigasyon, klasik radyo navigasyon yardımcılarının yerini alacak ve gelecekte uydu yaklaşmaları kullanılacak temel uçuş yardımcılarından olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Eurocontrol, “Navigation strategy for ECAC”, ***NAV.ET1.ST16-00***,1-10 (1999).

2. Usanmaz. Ö., “GPS’in havacılıkta kullanılması”, ***A.Ü.Sivil Havacılık Yüksek Okulu***, Eskişehir,1-13 (2001).

3. Scott., M.K., “Design and implemantation of a GPS-BASED navigation system for micro air whicles”, Yüksek Lisans Tezi, ***University of Florida***, 40-46 (2002).

4. Shau. S.J., “Aircraft landing using a modernized GPS and the wide area augmentation systems”, Doktora Tezi, ***Stanford University***, 10-200 (2003).

5. Myron K., Walter R.F., ″ Avionics navigation system ″, ***Theory and Applications*** , 66-73 (1997).

6. Eschenbach R., ″GPS Application in General Aviation, in Global Positioning System” ***Theory and Applications*** , II: 390-395 (1996).

7. IAOO GNSS P IP., “The evolution from area navigation (RNAV), required navigation performance, RNP, to RNP RNAV”, ***GNSS Panel***, Brazil, 1-20 (2001).

8. Hughes, K.,”Hacking GPS”, ***Wiley Publishing, Inc***.,NewYork, 100-123 (2005).

9. Hoffmann,B.W., ″Global Positioning System,Theory and Practice″, ***Springer Verlag***, Wien/Newyork ,149-178 (1994).

10. Navtech, ″GPS standard positioning service performance standarts″, ***GNSS Panel***, England, 1-40 (2001).

11. Brown R.G., ″Receiver autonomous ıntegrity monitoring, in global positioning system ″ , ***Theory and Applications*** , II: 143-146 (1996).

12. Parkinson B.W., ″GPS error analysis, in global positioning system″, ***NYU Laboratory*** ,I:469-482 (1996).

13. Bayliss, E, ″Incorporation Of GNSS Technology in C/N/S Demonstration Of DGPS Precision Approach***″, MIT Lincoln Laboratory*** , 129-138 (1993).

14. Lenk, O., ″Local Area DGPS Aplications; Secure Navigationalong The Bosphorus-İstanbul″ Doktora Tezi, ***Boğaziçi Üniversitesi,*** 40-44 (1997).

15. Özenç R.F., ″Hava Araçlarının Pistlere Emniyetle İnebilmesi İçin DGPS'in kullanılması ve uygulama″, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniv. Fen Blm. Enst.***, Ankara,1-100 (2003).

16. Eurocontrol, "Action plan", ***Navigation Domain***,4-14 (2004).

17. Devlet Hava Meydanları İşletmesi, ″Havaalanları Enformasyon Yayınları(AIP)″ , ***DHMİ-AİP*** (2003).

18. TopScan GmBH., "Skip 2.39 manuel", ***TopScan***, Hamburg (1996).

19. Çınar. T.,"GNSS", ***HUTEM*** , 10-40 (2002).

20. Kahveci M., Yıldız, F., ″Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama″, ***HGK***, Ankara, 10-55 (2001).

21. Şengün, Y., ″Tek alıcılı kullanıcılar için DGPS Düzeltmeleri″ Yüksek Lisans Tezi, ***İTÜ Fen Blm. Enst.***,İstanbul, 30-43 (2002).

22. Jeppesen Sanderson Inc.,″Jeppesen Airway manual″, ***Europe-mediterranean***, I (2003,2005),

23. Ashtech Inc., "Ashtech Z-surveyor GPS users manuel", ***Spesifications*** ,II (2002).

24. Kara Havacılık Okulu Eğitim Merkezi Komutanlığı, ″Radyo Seyrüsefer Ders Kitabı″, ***Öğretim Başkanlığı***, 20-40 (2002).

25. Litton Aero Products, ″LTN-450 and LTN-460 Navigation Management System ″, ***Litton***, 27-30 (1996).

26. The Instıtute Of Navigation, ″Global Positioning System″ , ***Papers Published in Navigation***, 12-18 (1993).

27. Rene Jr. L., Alain R., ″Analysis of Potential İnterference Sources and Assesment of Present Solutıons for GPS / GNSS Receivers″, ***4.Saint Petersburg on INS***, 50-51(1997).

28. Parkinson, B.W.,Enge, P.K, "Differential GPS, in Global Positioning System", ***Theory and Applications,*** II: 3-59, 142-155 (1996).

29. Elrod B.D., Van Dierendonck A. J., ″ Pseudolites, in Global Positioning System ″, ***Theory and Applications***, II:52-60 (1996).

30. JAA, “Alrworthiness and operational approval for precision RNAV operations in designated Europen airspace”, ***IAA Adminstrative and guidance material***, 1-33 (2000).

31. Rabbany. A.,”Introduction to GPS”, ***Ashtech House***, London, 37-42 (2002).

32. Carrigan. T.M., “GPS risk assessment study”, ***The John Hopkins University Report*** , 23-24 (1999).

33. EC DG TOEN, “Manuel fort he validation of GNSS in civil aviations”, ***European Commission RTD Programme*** , 4-5 (2000) .

34. Clarke B., ″Aviator’s Guide to GPS″ , ***McGraw-Hill*** , NewYork ,10 (1996).

35. Kocamanoğlu M., Güçlüer B., ″GPS″, Doküman ,***Geomatics Harita Ltd.Şti.*** ,Ankara, 1-34 (2003).

EKLER

EK-1 Küresel konumlama sistemleri

MEVCUT KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMLERI

1. NAVSTAR GPS

1960 yılı başlarında aralarında A.B.D. Ordusu, NASA ve A.B.D. Ulaştırma Bakanlığının da yer aldıkları A.B.D. hükümet kuruluşları, konum belirleme amaçlı uydu sistemleri geliştirmeye karar verdiler. Sistemin belirlenen temel ölçütleri:

- Küresel kaplama,
- Sürekli ve her hava şartında çalışabilme,
- Dinamik platformlara uygunluk,
- Yüksek doğruluk, olarak saptanmıştı.

1964 yılında Transit çalışmaya başladıktan sonra yukarıda belirtilen sınırlamalarından dolayı Transit sisteminin de geliştiricileri olan John Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizikler Laboratuvari'nca Transitin varyasyonları önerildi. Eşzamanlı olarak 1972 de NRL (Naval Research Laboratory) çok hassas saatli uydu projesi olan Timation'i geliştiriyordu. İlk Timation uydusu quartz-kristal osilatör kullanırken daha sonraki modelleri rubidyum ve cesium atomik saatlerini kullandılar. Transit'le başlayan bu öncü çalışmalar GPS için önemli bir temel oluşturdu. GPS için üçüncü bir temel çalışma da A.B.D. hava kuvvetlerinin 621B isimli üç boyutlu navigasyon sistemi projesi olmuştur.

1973 yılında A.B.D. Savunma Bakanlığı, Hava Kuvvetlerini mevcut çalışmaları birleştirip yukarıda belirtilen temel ölçütleri karşılayacak şekilde geliştirmesi için yetkili kılarak 1 Eylül 1973'te Navstar GPS JPO (Joint Program Office) yönetiminde çalışmalara başlanmıştır. Bu projenin Navstar

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

isminin çağrıştırdığı navigasyon işlevinden daha kapsamlı olduğu gerekçesiyle General Hank Stehling tarafından ismine GPS eklemesi yapıldığı belirtilmektedir.

Proje 1973-1979 döneminde Kuramsal Kanıtlama, 1979-1985 döneminde Geliştirme ve Sistem Test, 1985'ten günümüze Üretim ve Konuşlandırma olmak üzere üç evreye bölünmüş ve 1995 sonbaharında 24 GPS uydusu ile tam olarak işlevsel duruma geçmiştir. NavStar GPS yerine de GPS kısaltması kullanılacaktır.

2. GLONASS

GLONASS, eski SSCB nin kurduğu şuan Rusya Federasyonu tarafından idare edilen halen faal olan bir küresel konumlama sistemidir. Teknik ve ekonomik yetersizlikler sebebiyle ilk planladığı şekilde olmasa da halihazırda 8 uydusuyla faaliyetine devam etmektedir. Teknik özellikleri aşağıdadır:

- Yaklaşık 19000 km yükseklik,
- 3 yörüngede,
- 64.8 derecelik eğim,
- Her birinde 8 adet = 24 adet uydu planlı fakat mevcut 9 tane
- Yörünge yaklaşık 11 saat

3. DGPS

GPS'in kullanımıyla bu teknolojiye bağlı uygulamaların şayisi hızla artmıştır. Değişen kullanıcı ihtiyaçları karşısında GPS'in sağladığı mevcut doğruluk ve hassasiyet değerleri yeterli gelmemeye başlamıştır. GPS hassasiyetini belirleyen hatalar çok çeşitlidir. DGPS bu hataları belirlemeyip ve bu hatalara

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

kullanılan cihaz içinde düzeltme vererek daha hassas konumlama ve yön bulum değerlerine ulaşmak için geliştirilmiş bir yöntemdir.
Bu yöntemde şekilde görüldüğü gibi konumu daha önceden hassas olarak bilinen sabit bir referans istasyon, görebildiği tüm uyduların sinyallerini alarak hataları belirlemekte ve bu bilgileri etki alanındaki GPS alıcılarına, belirli bir formatta bildirerek ölçümlerinin daha doğru olarak yapılması amaçlanmaktadır.

Bununla birlikte kullanıcı ile referans istasyon arasındaki mesafe arttıkça doğruluk değeri düşmektedir Bunun belli baslı nedenleri referans istasyon ile

kullanıcının gördüğü yörünge parametrelerinin ve iyonosfer ve troposfer gecikmelerinin farklılaşması olmaktadır. 100 km'yi asan uzaklıklarda DGPS'in beklenen doğruluğu veremediği belirtilmektedir. Tüm A.B.D. boyunca standart DGPS katkısını sağlamak için 500 den fazla referans istasyona gerek duyulacağı hesaplanmıştır. Bu pratik zorluğu yenmek için bir ana istasyon, yeterince yerel istasyon ve aralarındaki haberleşme ağından oluşan WADGPS (Wide Area DGPS) teknikleri ortaya atılmaktadır. Bu sistemde her yerel istasyon yüksek kaliteli rubidyum saatlerle donatılmış olarak görüş alanındaki uyduları izlemekte ve bilgileri ana istasyona gönderilmektedir. Ana istasyon da bu verileri uygun bir formata sokarak uydu, telefon veya telsiz gibi hatlar aracılığıyla kullanıcılara ulaştırmaktadır. Halihazırda A.B.D.'de özel WADGPS servisleri vardır. Dünyada bunun başka örnekleri de vardır. Diğer DGPS örneklerini gösteren sema aşağıdadır. Ayrıca Hindistan da henüz faaliyete geçmemiş olan Gagan DGPS sistemi vardır:

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri



Şekil 1.1. Dünyadaki geniş alan DGPS servisleri

4. GNSS (GLOBAL NAVİGATİON SATELLİTE SYSTEM)

GNSS, yani Küresel Konumlama Uydu Sistemi, Avrupa'nın, sivillerin kontrolünde olan, yüksek hassasiyetteki garantili ilk küresel konumlama sistemidir. Bu sistem, iki asamaya ayrılmıştır: GNSS1/EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) projesiyle başlamış, GNSS2/GALILEO projesiyle devam etmektedir.

GNSS1/EGNOS: Amerikan GPS ve Rus GLONASS sistemini kullanarak, bu sistemlerin hassasiyetlerini ve doğruluklarını artıran bir DGPS sistemidir. Asil amaç mevcut iki sistemin kullanıldığı tüm uygulamalarda (uçaklar, gemiler, havaalanları, kişisel kullanıcılar) emniyeti ve güvenilirliği artırmaktır. Sistem bu işlemi, GPS ve GLONASS sistemlerinin hatalarını jeosenkron yörüngeye atılacak üç uydu ve dünya üzerindeki istasyon ağı vasıtasıyla belirleyerek ve EGNOS uyumlu kullanıcılara bu hataları bildirerek yapacaktır. Bu sayede konumlama ve konumlamadaki hata 20 metreden 5 metreye kadar düşecektir.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

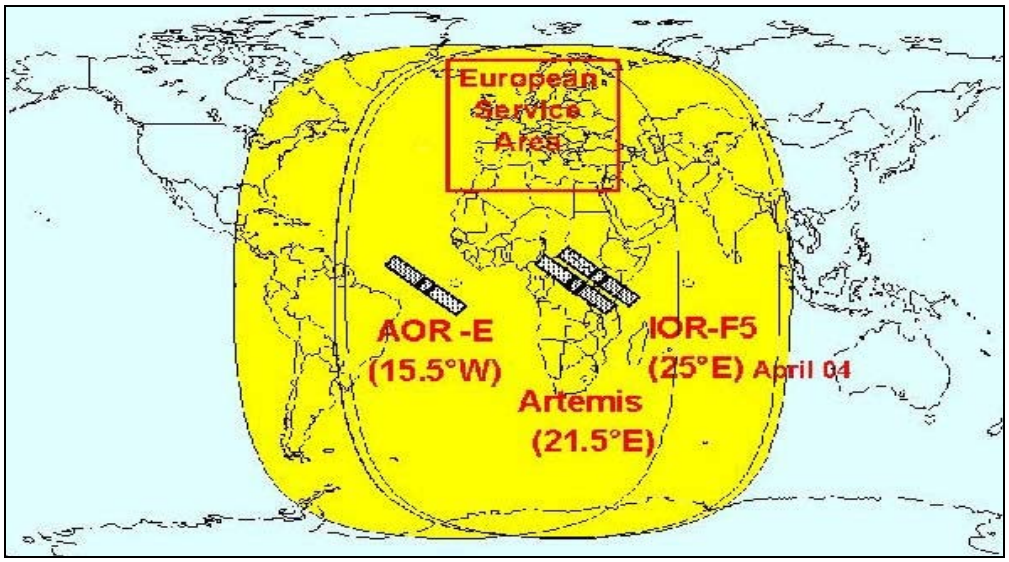
EGNOS benzeri sistemler Amerika'da (WAAS) ve Japonya'da (MSAS) da vardır. EGNOS'un bu sistemlerle uyumlu çalışması öngörülmektedir. 2003 yılı içerisinde EGNOS un birçok aşaması gerçekleştirilmiştir. Bunlar, dört gözlem merkezinden ikisi, altı verici istasyonundan üçü ve 34 referans ve entegrasyon istasyonundan 16 si dünyanın çeşitli bölgelerinde oluşturulmuştur. Fransa, İsviçre, Çin, Akdeniz, Afrika ve Güney Amerika'da birçok deney ve test gerçekleştirilmiştir. Proje tamamlanana kadarki maliyet €310 milyon olarak tahmin edilmektedir. EGNOS, Avrupa'nın uzayla ilgili en büyük projesi olan Galileo'nun ilk aşamasıdır ve aşağıdaki kuruluşların ortaklığında yürütülen bir projedir:



Şekil 1.2. Galileo'ya ortak kuruluşlar

European Space Agency (ESA), European Commission (EC) ve Eurocontrol, European Organisation for the Safety of Air Navigation

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri



Şekil 1.3. EGNOS'un kaplama sahası

EGNOS'un Avantajları

Teknik seviye

- Avrupa Topluluğunun uydu radyo S/S konusunda know-how ve teknik kapasitesini geliştirmesi,
- Diğer DGPS sitemleriyle uyumlu çalışması,
- International Civil Aviation Organisation (ICAO) ve International Maritime Organisation (IMO) standartlarına uyumlu olması,
- Güvenilir olması.

Politik seviye

- Avrupa'nın GNSS projesinin ilk bacağı olduğu için Avrupa her anlamda tecrübe kazanacaktır.
- Tüm Avrupa ülkeleri ve katılımcı ve AB nin genişlemesini de kapsayacak şekilde tasarlanmıştır.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- 3. ülkelere de hizmet verebilecektir.
- Projeye katılmak isteyen tüm diğer ülkelere de servis sağlanabilecektir.
- GPS ve GLONASS uyumlu olduğu için ABD, Rusya işbirliğine yardım edecektir

Sektörel seviye

Avrupa Topluluğunun havayolu taşımacılığındaki radyo S/S tecrübesini artıracak, Airbus ve Boeing arasındaki rekabette Airbus'a avantaj sağlayacaktır. Yeni hassas yaklaşma yöntemleri ve güvenlik imkanları getirecektir. Bu sayede uçaklara daha az yer yardımı gerekecektir. Yerleşim yerleri üzerinde yeni yaklaşma iniş patenleri sayesinde daha az gürültü olacaktır. Bu durum uçuş emniyetine önemli katkılar sağlayacaktır.

5. GNSS2/GALILEO

GALILEO, Avrupa'nın küresel konumlama projesinin ikinci ve en önemli aşamasıdır. Sistem var olan diğer konumlama sistemleriyle (GPS ve GLONASS) beraber ve uyumlu çalışacaktır. Bu sistemde, bir kullanıcı elindeki tek bir alıcıyla herhangi bir kombinasyondaki uydulardan bilgi alabilecek, gerçek zamanda şu ana kadar sivil kullanımda ulaşılamamış bir hassasiyette metre düzeyinde bir doğruluk sağlanacak, en ulaşılmaz durum ve pozisyonlarda bile erişim sağlanabilecek ve bu sistem ayni zamanda herhangi bir uydunun arizasını kullanıcılara, saniyeler içinde bildirecektir.

Böylece, bu durum emniyetin ön planda olduğu hareket halindeki trenlerde, arabalar ve iniş halindeki hava araçlarındaki uygulamaları daha uygun hale getirecektir. Galileo projesini; teknolojik, ekonomik ve politik olmak üzere üç boyutta ele alabiliriz.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

Ekonominin tüm sektörleri ve toplumun birçok biriminin bu uydu seyrüsefer sistemlerinden etkileneceği ve pazarın sürekli büyüyeceği tahmin edilmektedir. Bu teknolojiye bağlı ürün ve servislerin oluşturacağı pazarın su anda yılda €10 milyar büyüklüğünde olduğu, yıllık %25 büyüme potansiyeli olduğu ve 2020 de €300 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir Bütün alanlarda kullanılacak alıcı sayısının da 3 milyara ulaşacağı düşünülmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından Galileo Projesinin araştırma geliştirme, yer kesimi uzay kesimi gibi tüm üniteleriyle maliyetinin € 3.2 milyar olacağı öngörülmektedir. Bunun bir bölümünü EC karşılayacakken geri kalanının uluslar arası özel sektör tarafından karşılanması düşünülmektedir. 20 yıl içinde 100 000 kişiye iş imkanı sağlayacağı tahmin edilmektedir. Yılda € 9 milyar luk bir pazar oluşturacağı ve fayda/maliyet oranının ise 4.6 olacağı hesaplanmaktadır. Programda maliyeti € 3.2 milyar olan üç ayrı aşama aşağıdadır.

- Uyduların ve diğer elemanların geliştirilmesi üretimi ve gerçeklenmesi (uyduları yörüngeye oturtulması ve sistem denemesi dahil) aşaması. Bu bölüm 2002-2005 arasıdır. Bu aşamanın maliyetinin (€100 milyon)yarısı EU dan diğer yarısı ise EC den sağlanacaktır.
- 2006-2007 tüm uyduların ve yer elemanlarının hepsinin konumlandırılacak ve € 2 100 milyon maliyetin karşılanması tüm konsorsiyumca karşılanacaktır.
- 2008 de başlayacak ticari asama. GALILEO, Avrupa ekonomilerini diğer ülkelerin sistemlerine bağımlılıktan kurtaracak ve özellikle sivil kullanımın bu devletler tarafından engellenebilme ihtimalini ortadan kaldıracak ve en önemlisi emniyet ve güvenilirliği artıracaktır.

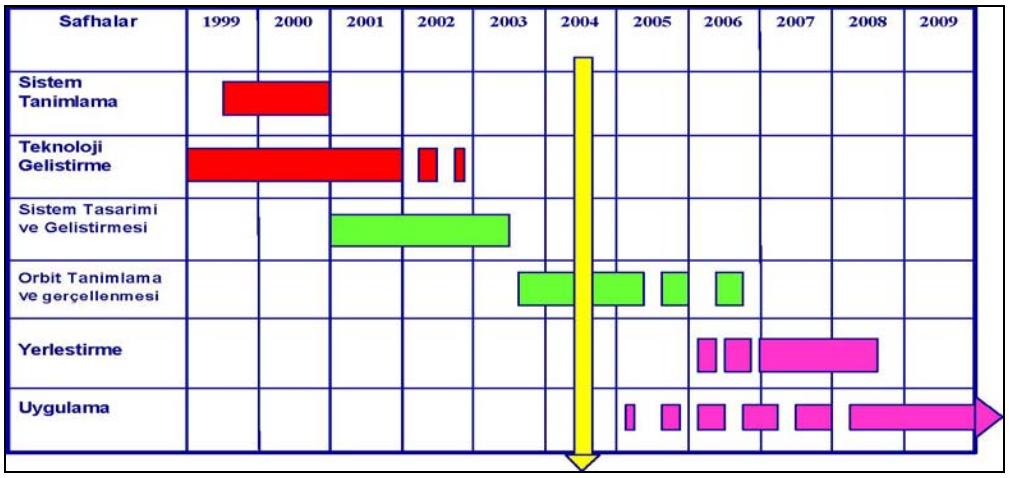
Halihazırda mevcut her iki sistemde GPS ve GLONASS, askeri uygulamalardır ve daha sonra bu sistemler sivil kullanıma da açmışlardır.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

Fakat bu serbestinin geleceğinin bir garantisi yoktur. Üstelik artik küresel konumlama ve konumlama bağlı sivil endüstri öylesine büyümüştür ki askeri kullanımın önüne geçtiği gibi geriye dönüşü ve telafisi de yoktur. GALILEO'nun Avrupa için önemli makro ekonomik getirileri olacaktır. Bunlar: Avrupa'nin bu endüstrideki ekipman ve hizmet payıyla beraber, ucuz ulaşım, daha az trafik, daha az kirlilik ve daha fazla konfor gibi sosyal faydaların da artmasıdır.

Tamamı konumlandırıldığında Galileo, 23 616 km'lik MEO irtifasında 56 derecelik bir eğim açısında 3 ayrı yörüngedeki 30 adet (27 si faal 3 ü yedek) uydudan oluşacak. Bu durum sağlandıktan sonra Galileo 75 derece kuzeyde kalan North Cape ve ötesini bile kapsayabilecek. Uydu sayısının fazla olması yörüngelerin optimizasyonu ve yedek uyduların bulunması sayesinde, herhangi bir uydu kaybında dahi sistemin kullanıcıya fark edilir bir etkisi olmayacaktır.

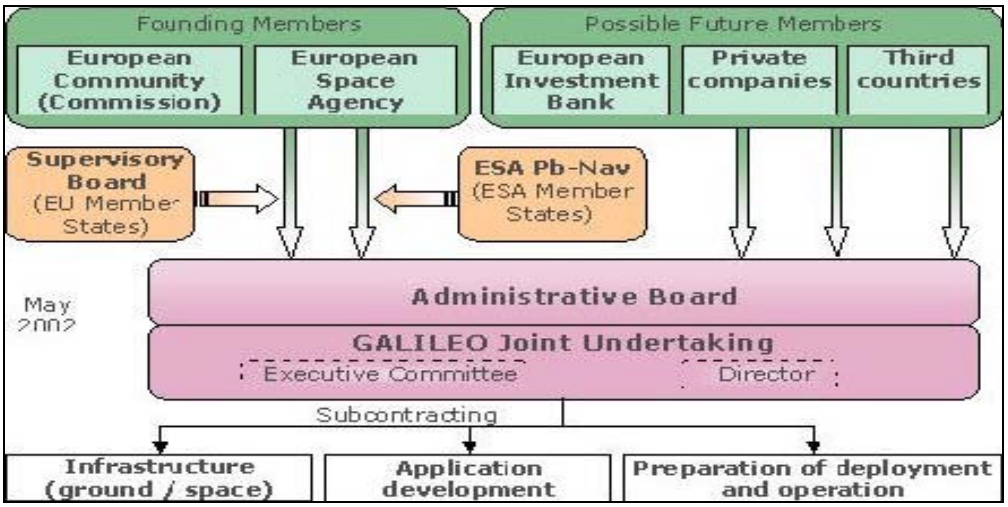
GALILEO Planlaması: Aşağıda verilen şekilde GALILEO planlaması için yıllara göre çıkarılmış icra planı gösterilmektedir.



Şekil 1.4. GALILEO planlaması

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

GALILEO ve Uluslar Arası Ortaklık : Galileo'da Egnos gibi birçok ülke, kuruluş ve şirketin ortaklığıyla oluşturulmuştur. Galilo'nu ortaklık yapısı aşağıdaki semada açıklanmıştır.



Şekil 1.5. Galileo ortaklık yapısı

Bu yönetim ve ortaklık kapsamında yapılan uluslar arası faaliyetler aşağıdadır:

- İki deneysel uydunun Soyuz roketiyle atılacağı bildirildi ve 3 Mart ta anlaşma yapıldı.
- Arianne ve Soyuz arasında işbirliği süreci başlatıldı. İlerde Fransız Guyanasından Soyuz Roketlerinin atılması için çalışma yapılacağı bildirildi.
- Çin araştırma geliştirme aşamasından itibaren Galileo ya destek olacağını bildirdi ve başlangıç için €230 milyon vereceğini taahhüt etti.
- Kanada, Ukrayna, Hindistan ve İsrail de Galileo çalışmalarına katılmak için başvurdular.
- ESA ya bağlı ve bağlı olmayan yüzlerce Avrupa şirketi projeye dahil oldu.
- *Tek Türk şirketi yok* (EuroMed Konsorsiyumu)

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

GALILEO ABD AVRUPA Anlaşması: Galileo projesi 1990'larin basında ortaya atılmasına rağmen gerek Avrupa devletleri arasındaki anlaşmazlıklar gerekse ABD Avrupa anlaşmazlıkları sebebiyle proje başlangıcı 2002'ye bitimi ise 2008 e kadar uzadı. Avrupa kendi içindeki çoğu ekonomik olan anlaşmazlıkları proje başlayana kadar çözdü fakat ABD ile anlaşma en nihayet 2004 yılı baslarında çözüldü. ABD, Avrupa anlaşmazlıklarının sebepleri ve ulaşılan sonuçlar 25 Ocak 2004 ta yapılan bir anlaşmayla neticelendirilmiştir. Bu anlaşmaya göre:

- Amerika yi rahatsız eden hususlardan en önemlisi, GPS ile ilgili teknolojilerin pazarı yıllık 10 milyar dolar olması ve her yıl bu pazarın%25 artıyor olmasından dolayı ABD pastadan pay vermek istememesi.

- ABD'nin itirazı üzerine Avrupa GPS 'in askeri sinyaliyle çakışan bölümünü değiştirmeyi kabul ettiği gibi Galileo nün kriptolu bölümünün hangi amaçlarla kullanılacağı konusunu da şarta bağladı. Burada amaç bu şifreli sinyalin askeri amaçlarla kullanılma ihtimalini araştırmak ve kontrol altında tutmaktır. Avrupa bu konuda da ABD kontrolünü kabul etmiş gözükmektedir.

- ABD Galileo'nun spektrumdaki yerinin GPS in yerinden yeteri kadar uzakta olmasını istiyor ki, çatışma durumunda kendi sinyalini bastırmadan sadece Galileo'ya karıştırma yapabilsin. Avrupa bu durumu kabul etmiştir.

- Avrupa'nın ilerdeki frekans değiştirme ve modifiye etme hakki da pazarlık konusu oldu. Bu durum gelecekte ABD ve Avrupa'nın kontrolünde olacak. Son anlaşmaya göre iki tarafta bu hakkini saklı tutacaktır.

- Yapılan anlaşma da Galileo alıcıları sadece Galileo değil ve GPS kullanıcılarına da hizmet edecektir.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- Amerika Galileo ‘nun kullanacağı modülasyona da itiraz ediyor. Amerika Binary BOC Offset Carrier 1.1 Avrupa ise BOC 1.5 uygun buluyor. ABD ninkinde karar kılınmıştır.

- Bir başka konu ise ABD’nin Avrupa’nın Çin ile yaptığı Galileo işbirliği: Avrupa bu konuda da ABD’ye Çin’i kriptolu Public Related Service teknolojisine ve Galileo’nun güvenlikle ilgili bölümlerine dahil etmeyecekleri garantisini verilmiştir.

- ABD ve Avrupa tarafından iki tarafında eşit olduğu deklere edilse de, anlaşma şartları ABD lehine gözükmektedir.

- Haziran 2004 de yapılan toplantıda ABD’nin ulusal güvenlikle ilgili kaygıları da giderilerek son imzalar atılmıştır.

GALILEO’nun Sağladığı Servisler: Galileo vereceği hizmetler diğer bir deyişle servisler itibarıyla da farklık arz etmektedir. Galileo’da farklı kesimlere hitabeden ve birbirinden bazı özellikleriyle ayrılan 5 ayrı servis vardır.

Açık servis: Bu servis dünyadaki tüm kullanıcılara açık olan ve özellikleri itibarıyla gelecekte planlanan GPS servisiyle benzerlik taşıyacak, konumlama, sürat ve zaman bilgisini tüm pazara ücretsiz olarak sağlanması planlanmıştır. Doğruluk yaklaşık 7 metre olacaktır. Sağlanan servisin garantisi ise verilmeyecektir.

Ticari servis: Bu servis hassasiyet ve doğruluk itibarıyla açık servisten daha iyi hizmet verecek ve ücretli olacaktır. Bu özelliği ile daha çok Profesyonel kullanıcılar ve endüstri için kullanılacağı düşünülmektedir. Geniş bant aktarım

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

hızı ve Sis net'le bağlantı da (internet üzerinden dgps) bu servis üzerinden verilecektir.

Hayatı emniyet servisi (SOL): Bu servis daha çok güvenliğin ön planda tutulduğu havacılık, denizcilik gibi sektörler için tasarlanmıştır. Uydularda veya erişimde bir problem olursa ve hassasiyet belirli değerlerin altında kalırsa alarm sistemi olması planlamıştır.

Toplum düzeni servisi (PRS): Galileo'nun en çok tartışılan bölümlerinden birisi bu servistir. Kriptolu olduğu için kimlerin kullanacağı özellikle ABD tarafından merak ediliyor. En iyi hizmeti verecek olan servisin bu olması planlanmış ve tehditlere karsı korumalı ve ücretli olacak olan bu servis devlet kurumlarına yönelik olarak düşünülmüştür.

Arama kurtarma: Bu servis hâlihazır varılan arama kurtarmaya destek olmak amaçlı kurulan Cospas-Sarsat teşkilatına dahil olmak üzere geliştirilen insani yârdim maksatlı bir servistir. Copsas-Sarsat uydu sistemi, kara, deniz ve hava araçlarına takılan ve bazı profesyonel şahsi kullanıcıların da faydalandığı, acil yardım durumunda devreye giren veya devreye sokulan bir "beacon" vericisidir. Bu verici devreye girdiğinde Geo ve Leo'da bulunan Cospas-Sarsat uyduları vericiyi ve yerini yaklaşık olarak tespit ederek dünyanın her yerindeki arama kurtarma birimlerine bilgi verirler. Böylece tamamen insani amaçlarla, daha çok insanin hayatini kurtarmaya yönelik önemli bir işlevi yerine getirmiş olurlar.

Galileo uyduları Meo'da görev yapacağı için, Cospas-Sarsat sisteminin Meo'daki boşluğu doldurulacak ve arama-kurtarma hizmetinin daha etkin yapılabilmesine olanak sağlayacaktır. Mevcut sistemde "beacon"larin hemen hepsi sadece 121,5/243,0 MHz'de yayın yapacak şekilde üretilmiştir. Zira uluslar arası havacılık ve denizcilik kurallarına göre acil durumlarda bu

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

sinyaller kullanılır. Ancak 1 Şubat 2009 dan itibaren bu sistem yerini 406 – 406,1 MHz bandıyla yer değiştirecektir. Galileo sistemi de bu yeni değişime göre planlanmıştır. Tüm dünya bu dönüşüm ile ilgili çalışmalarına başlamıştır. Galileo'nun diğer sistemlerden farkı kısaca aşağıda belirtilmiştir:

- Daha çok uydu erişimi,
- Yâri gerçek zamanda inzal kaynağını tespit,
- Daha yüksek hassasiyet (2 km altı),
- Galileo alicisi varsa metreler boyutunda tespit,
- Kazazedeye tespit edildiği ve yardim sürecinin başladığı bildirilmesi,
- 150 Beacon'ın aynı anda islenebiliyor olması.

GALILEO Tüm Servisler Ve Farkları

Çizelge 1.5. GALILEO servisler

	Open Service OS	Commercial Service CS		Public related service PRS		Safety of Life Service (SoL)
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Accuracy	15-30 m (single frequency) 5-10 m (dual frequency)	5-10 m (dual frequency)	< 10 cm - 1 m (local augmentation signals)	4-6 m (dual frequency)	1 m (local augmentation signals)	4-6 m (dual frequency)
Availability	99%	99%	99%	99-99.9%	99-99.9%	99-99.9%
Integrity	Not generally required	Value-added services		Mandatory requirement		Yes
Access Control	Free open access	Controlled access of value-added data	Controlled access of local correction data	Controlled access of navigation code and/or value-added data	Controlled access of local correction data	Controlled access of value-added data
Certification and Service Guarantees	No	Guarantee of service possible		Build for certification, guarantee of service possible		Yes
Search and Rescue services	**availability**: 99% **Forward System Latency Time** : 10 min. **capacity:** each satellite up to 150 simultaneous beacons					

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

GALILEO Teknolojik Altyapı Ve Yenilikler: Galilei projesi Galileo'nun uluslar arası bacağıdır. ICAO (International Civil Aviation Organization) ve UIT (Union International des Télécominications) gibi kuruluşlarla radyo seyrüsefer sistemleri ve simülasyonların diğer sistemlerle uyumlu çalışmalarının, bölgesel yapılanmaların özelliklerinin hassas olarak belirlenmeleri ve hizmet ve teknik malzemelerin uluslar arası pazarlardaki ayrımının değerlendirilmeleri konularını takip eden altyapı projesidir.

- GalileoSat Phase B2 Bu proje uzay kesiminin ve yer kesiminin tüm detaylarının belirlenmesi görevinin ESA ya verilmesidir.
- Galieo Teknolojik Gelişmeleri Galileo Avrupa Uzay Ajansı ve Avrupa Komisyonu ortaklığıdır. ESA nın takip ettiği bu programa GalileoSat adi verilmiştir. Bazı teknolojik gelişmeler aşağıda özetlenmiştir.
- Saat Takibi ve kontrol Ünitesi (CMCU) Atomik Frekans Standardını oluşturan arayüz.
- Galileo Haberleşme Ağı Galileo seyrüsefer sinyallerinin kalitesini sağlar.
- Gelişmelerin ve yeni teknolojilerin yazılımları Galileo yer segmentinin anahtar bileşenlerini oluşturur.
- Galileo Uydu filosunun Görev Kontrol Sistemi(GMCS) GMCS nin temelini oluşturacak uyumlu bir görev kontrol sistemi araştırması sürmektedir.
- Galileo Sistem Simülasyonu (GSSF) Galileo nun tüm fonksiyonlarını ve performansını simüle edecek bir yazılım.
- Galileo Sistem Test Versiyonu 1(GTSB-V1) deneysel yörünge Belirleme ve Zaman senkronizasyon ve uyum sürecinde Galileo yer segmentinin risklerini azaltacak.
- Yer Segmenti Data Modeli ve Data Standardı, yer segmentinin alt ünitelerinin arasındaki tutarlılık, uyum ve standardını belirleyen, seyrüsefer alici bilgilerini XML formatına çeviren yazılım.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- Galileo Enterferans Ölçümü, enterferans altında Galileo alıcılarının nasıl çalıştığını ölçen ve araştırır.
- Seyrüsefer Sinyal Üretme Birimi Geliştirilme aşamasında olan bu sistem Galileo için gerekli olan hassas zaman ve ephemeris bilgisini üretir.
- Rubidium Atomik Frekans Standardı , su an dünyada en çok kullanılan saattir ve Galileo Seyrüsefer Payload unda kullanılan iki standarttan birisidir.
- Galileo Alicisi Ön-Geliştirmesi en kritik kullanıcı alıcılarını ve Yer Referans Alıcılarını araştırır ve geliştirir.
- Galileo Kati Hal Güç Yükselticileri Galileo uydularında, iki ayrı frekans bandında dört adet sinyal(taşıyıcı) üretirler. Her bir sinyalin çıkış gücü 50 Watt'tir. Gerekli güç seviyelerini belli verimlilikte sağlamak uyduların Optimizasyonu için anahtar kriter olacaktır.
- İki Modlu TT&C Vericisi gelişmiş ve standart spektrum modunda, Up-link tele kumanda demodulasyonu, Down-link telemetri transmisyonu, frekans turnaround u ve ranging turn around fonksiyonları yerine getirir

6. GALILEO'nun HAVACILIKTAKİ UYGULAMA ALANLARI

2020 de mevcut uçak sayısının, su ankinin iki kati olacağı öngörülmektedir. Bu durum havacılıktaki uygulamaları daha riskli hale getirecek, ve bu yüzden Galileo'nun sağlayacağı servisler özellikle havacılık anlamında yoğun bir şekilde kullanılacaktır. Kullanılacağı alanları su şekilde sıralayabiliriz:

- Hava trafik yönetimi. Bu alanda uçak yoğunluğunun arttığı ve risklerin fazlalaştığı bölgelerin basında gelen havaalanları çevresindeki uçakların sevk ve idaresi daha kesin ve güvenilir bir şekilde yapılabilecektir.
- Emniyetli S/S. Uçakların en önemli görevlerinden birisi olan S/S pilotlar ve hava trafik kontrolörleri tarafından daha emniyetle uygulanacaktır.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- Yaklaşma iniş kalkış yönetimi. ILS, VOR gibi kötü hava koşullarında kullanılan alet usulleri diye tabir edilen radyo navigasyon yardımcıları uçakların emniyetle uçmasını ve iniş kalkış yapmasını sağlayan hayati öneme haiz uçuş yardımcılarıdır. Klasik radyo navigasyon yardımcılarının yerini alacak ve gelecekte uydu yaklaşmaları kullanılacak temel uçuş yardımcılarından olacaktır.

- Her türlü sportif havacılık. Sportif havacılık ta maliyetlerin düşük olması gerektiğinden hareketle kullanılabilecek en ucuz ve emniyetli uçuş yardımcısı Galileo olacaktır.

- Hava araçlarının yerdeki operasyonlar esnasındaki emniyeti. Uçakların havaalanlarında yerde gitmesine verilen isim olan taksi esnasında birçok kaza meydana gelmektedir. Galileo uygulamalarıyla bunların önüne geçilebilecektir.

- Helikopterler için yaklaşma yapılacak her yer için emniyet. Helikopterler dikine iniş ve kalkış kabiliyetleri olan hava araçları oldukları için havaalanları dışındaki bölgelerde özellikle kötü hava koşullarında emniyetle iniş kalkış yapabilmek için Galileo uygulamaları kullanılabilecektir. Acil durumdaki, bir hava aracı için de Galileo'nun arama kurtarma servisi kullanılabilecektir.

7. GALILEO VE ABD'nin BAKIŞ AÇISI

ABD kendi sistemine rakip olarak çıkan Galileo sisteminin etkilerini asgariye indirgeyebilmek için derin pazarlıklar yapmakta ve küresel ekonomik ve stratejik çıkarlarının etkisini azaltabilecek bu uygulamaya karsı olduğunu her seviyede ifade etmektedir. Bu bağlamda beyaz saraydan yapılan açıklamaya

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

göre Galileo'nun "gereksiz" olduğu ifade edilmiştir. ABD'nin Galileo'ya karsı kozlarından bazıları aşağıdadır :

- ABD GPS in ücretsiz olacağı ve Selective Availability'nin kullanılmayacağını belirtmektedir.
- Galileo ya karsı her zaman veto hakkini kullanabileceğini ima etmektedir.
- Galileo projesiyle beraber GPS yenileştirme çalışmalarına hız vermiştir.

8. TÜRKİYE YAKLAŞIMI NE OLMALIDIR? ÇIKARILAN DERSLER

Türkiye Avrupa Birliği ülkeleri ile yakin ticari ilişkiler içindedir. Teknoloji üretmek veya üretilmiş hazır teknolojileri satın almak da bu ticari ilişkilerin bir parçasıdır. Teknoloji üretimi her türlü teknolojiyi ülkeye getiren ve kullanan Türkiye endüstrisi için her zaman teknoloji transferinin yanında ikinci planda kalmış bir konudur. Uydu teknolojileri konusunda da durum bu yönde seyretmektedir. Avrupa veya ABD'de üretilen bir teknoloji için Türkiye her zaman iyi bir pazar olmuştur. Yani Türk şirketleri uydu teknolojilerini kullanmakta fakat ar-ge ve üretimleri ile ilgili çalışmalarda yavaş ve geç kalmaktadırlar. Avrupa Galileo projesiyle bir atilim hamlesi içine girmişken tüm dünyadan birçok hükümet ve şirket bu projeden pay almak ve teknoloji üretimine katkıda bulunabilmek için çaba sarf etmektedir. Türkiye'nin yani başında cereyan eden ve uygulamaları itibarıyla Türkiye'yi de içine alacak olan bu teknolojik hamlede yer alabilmek için basta hükümet çapında ve sonra ülkedeki ilgili şirketler çapında su ana kadar bir girişimde bulunulmamıştır. Bu konuda yapılabilecekler:

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- Sadece Galileo için potansiyel bir pazar değil ayni zamanda üreticide olmak,

- Cospas-Sarsat arama kurtarma sisteminin faaliyetleriyle Türkiye bağlantısını güçlendirmek,

- TSK Arama-Kurtarma teşkilatını Cospas-Sarsat ve 406 Mhz beacon ile ilgili dönüşümler konusunda eğitmek,

- Uçakların ve gemilerin beacon vericilerini yeni sisteme göre yenilemek ve beacon pazarında teknoloji üretmek,

- Aselsan gibi ileri teknoloji üreten şirketlerin Gps konusundaki tecrübelerini de kullanarak Galileo pazarına girmeleri,

- Tübitak gibi kamusal ve özel araştırma geliştirme kurumlarını bu konuda çalışmaya yöneltmek

- Özellikle uydu konusunda çalışan sektörler ve şirketlerin (örn:spacetürk) kamuoyunun bu konuda bilinçlenmesine ve eğitimine katkı sağlayıcı tedbirler alması,

- Galileo yer istasyonları için ekipman üretimi ile ilgili ESA nazlında arayışa girişmek,

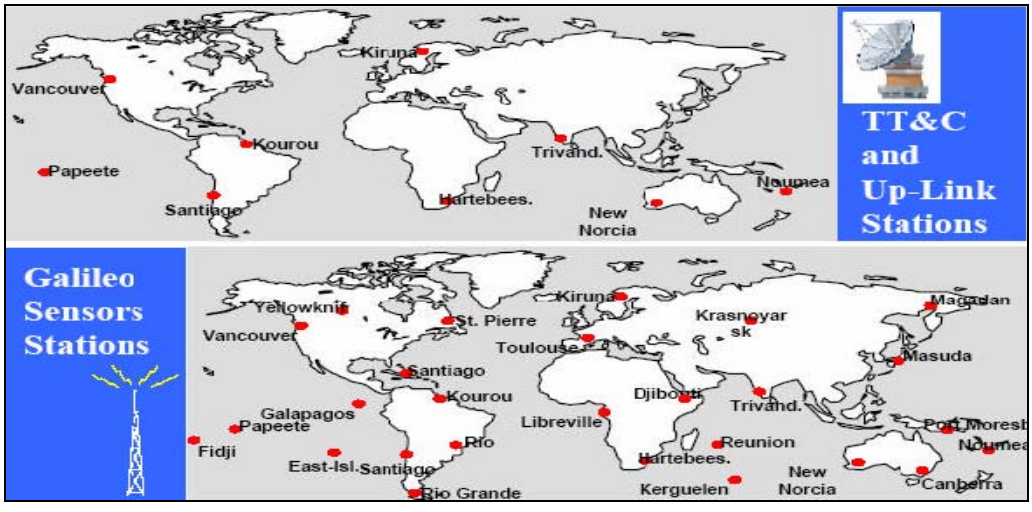
- Cep telefonu şirketlerinin geleceğin en önemli mobil teknolojilerini barındıracak yeni nesil iletişim araçları için Galileo ile ilgili ar-ge faaliyetlerine girmesi ve anlaşmalar yapması.

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri

- GIS ve konumlama entegrasyonu ile ilgili teknolojilerde bu teknolojiyi kullanan ülkelerle eğitim işbirliği yapılarak Galileo için altyapı hazırlamak.

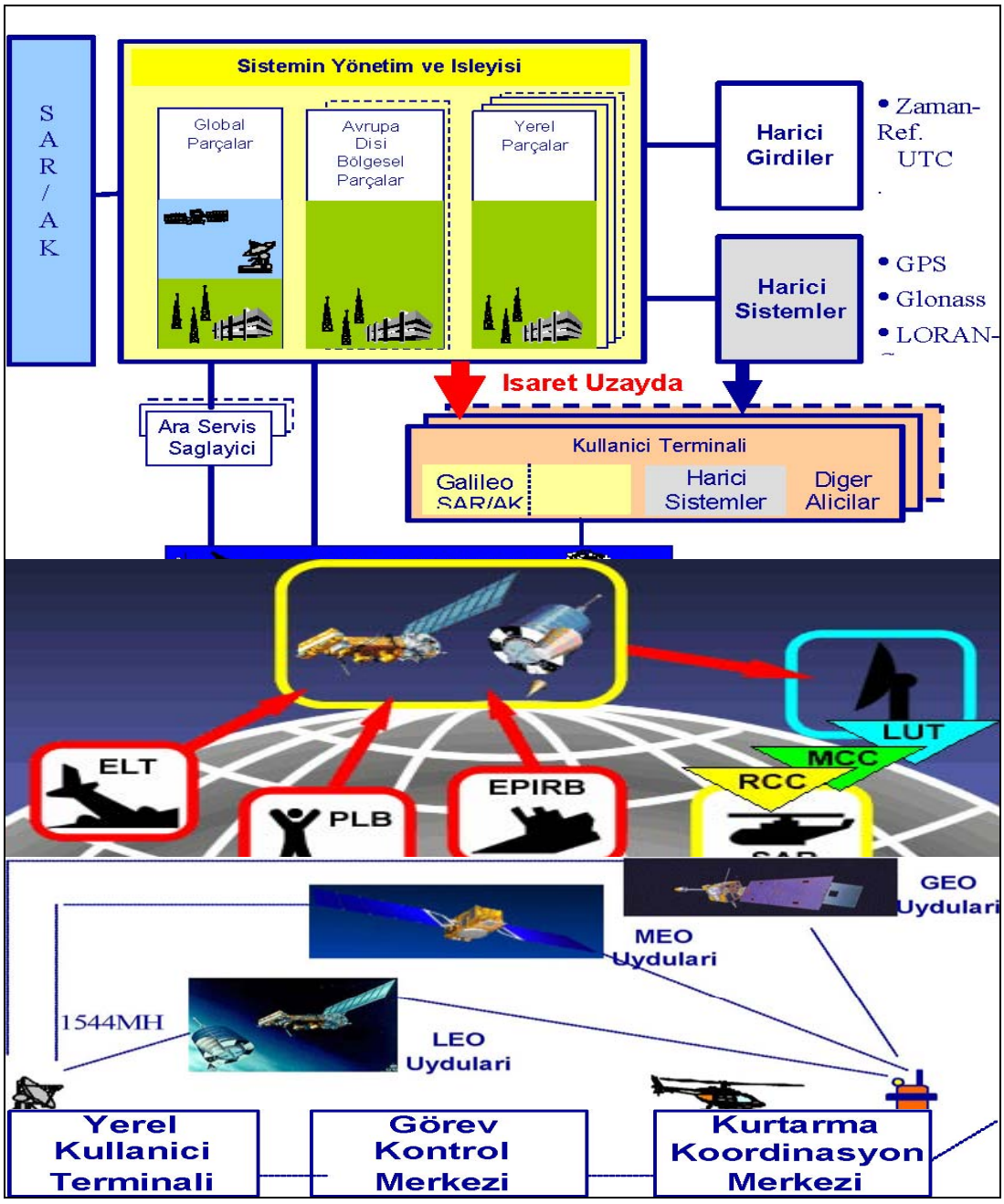
SONUÇ

Uydu destekli konumlama ve konumlama çalışmaları konusunda Gps'ten elde edilen tecrübe Avrupa Birliği ile entegrasyon çalışmaları paralelinde Galileo kaçınılmaz bir ortaklık ve işbirliği projesi olarak karsımıza çıkmaktadır. Dünyanın ve Türkiye'nin Gps konusundaki tecrübe ve birikimleri Galileo'nun, geleceğin kilit teknolojilerinden birisi olacağı ve küresel dengeleri kullananlar lehine çevirebileceği öngörüsünü oluşturmalarını sağlamıştır. Buradan hareketle herhangi bir teknolojiye basından itibaren dahil olmak ve gelişimine katkıda bulunmak gelecekte bu teknoloji konusunda söz sahibi olmayı da beraber getirmektedir. Teknolojileri sonradan adapte etmeye çalışmak veya üretmek büyük maliyetleri ve uzun zaman aralıklarını gerektirmektedir. Bu sebeple geç kalınmadan Galileo projesine gücümüz oranında katılmak ve bunu birana evvel yapmak gereklidir.



Şekil 1.6. GALILEO yer istasyonları

EK-1 (Devam) Küresel konumlama sistemleri



Şekil 1.7. GALILEO mimarisi

EK -2 Radyo navigasyon kolaylıkları listesi

TÜRK HAVA SAHASINDA BULUNAN RADYO NAVIGASYON KOLAYLIKLARI LİSTESİ

İstasyon Adı (VOR/VAR)	ID	Frekansı (CH)	Çalışma Saatleri	*Koordinatı Converted in WGS-84	ELEV DME antenna	Notlar
1	2	3	4	5	6	7
ADANA VOR/DME	ADA	112.7 MHZ CH 74X	H24	365626N 0351237E		
ADIYAMAN NDB/VOR/DME	KHD	381 KHZ 113.6 MHZ CH83X	H24	374327N 0382733E		Coverage 50 NM Coverage 50 NM Coverage 50 NM
AFYON NDB	KFK	324 KHZ	H24	384814N 0303249E		Coverage 50 NM
AFYON VOR/DME	KFK	112.2 MHZ CH 59X	H24	384814N 0303249E		
AGRI VOR/DME	ARI	116.7 MHZ CH 114X	H24	394018N(*) 0430114E		
ANKARA NDB/DME	ANK	356 KHZ CH96X	H24	395711N 0324941E		Coverage 100 NM Coverage 100 NM
ANTALYA VOR/DME	AYT	114.0 MHZ CH87X	H24	365517N 0304749E		
BAGLUM VOR/DME	BAG	113.1 MHZ CH78X	H24	400410N 0324837E		
BATMAN VOR/DME	BAT	116.2 MHZ CH109X	H24	375607N 0410715E		Coverage 70 NM Coverage 70 NM
BEYKOZ VOR/DME	BKZ	117.3 MHZ CH120X	H24	410737N 0290834E		To Atatürk AD. Coverage 50 NM
BEYPAZARI NDB	BEY	487 KHZ	H24	400932N 0315545E		Coverage 40 NM To NDB ANK
BIGA VOR/DME	BIG	116.9 MHZ CH116X	H24	401703N 0272155E		Coverage 50 NM
CANAKKALE NDB/VOR/DME	CNK	422 KHZ 111.2 MHZ CH49X	H24	400827N 0262557E		Coverage 75 NM Coverage 50 NM Coverage 50 NM
CARDAK NDB/VOR/DME	CRD	433 KHZ 112.0 MHZ CH57X	H24	374723N 0294215E		Coverage 50 NM Coverage 50 NM
CARSAMBA VOR/DME	CRM	112.8 MHZ CH75X	H24	411556N 0363257E		
CAYCUMA NDB/DME	CAY	292 KHZ CH33	H24	413027N 0320517E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM

EK -2 (Devam) Radyo navigasyon kolaylıkları listesi

İstasyon Adı (VOR/VAR)	ID	Frekansı (CH)	Çalışma Saatleri	*Koordinatı Converted in WGS-84	ELEV DME antenna	Notlar
CEKMECE NDB	CEK	328 KHZ	H24	410021N 0283141E		Coverage 75 NM
CORLU VOR/DME	CRL	114.8 MHZ CH95X	H24	410908N 0275618E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM
CUBUK NDB/VOR/DME	BUK	425 KHZ 114.3 MHZ CH90X	H24	401430N 0330617E		Coverage 75 NM
DALAMAN NDB/VOR/DME	DAL	346 KHZ 114.7 MHZ CH94X	H24	364122N 0284655E		
DIYARBAKIR NDB/VOR/DME	DYB	330 KHZ 109.4 MHZ CH31X	H24	375215N 0401231E		Coverage 75 NM Coverage 100 NM Coverage 100 NM
EDREMIT VOR/DME NDB	EDR	109.4 MHZ CH31X 368 KHZ	H24	393313N 0270030E		Coverage 50 NM Coverage 50 NM Coverage 75 NM
ELAZIG VOR/DME	EZS	114.7 MHZ CH94X	H24	384225N 0391328E		
ERZINCAN VOR\DME	ERN	112.7 MHZ CH74X	H24	394230N 0393145E		Coverage 80 NM Coverage 100 NM
ERZURUM VOR/DME	ERZ	115.5 MHZ CH102X	H24	395723N 0411225E		
ESKISEHIR/Anadolu NDB	ESR	372 KHZ	H24	394847N 0303116E		Coverage 75 NM
ESKISEHIR/Anadolu VOR/DME	ESR	108.2 MHZ CH19X	H24	394847N 0303035E		Coverage 100 NM Coverage 100 NM
GAZIANTEP VOR/DME	GAZ	116.7 MHZ CH114X	H24	365701N 0372824E		
GEMEREK VOR/DME	GEM	115.1 MHZ CH98X	H24	390914N 0360143E		
GOLBASI NDB	GBI	315 KHZ	H24	394245N 0324912E		Coverage 75 NM
HAYMANA NDB\DME	HAY	350 KHZ CH55X	H24	392611N 0323033E		Coverage 75 NM Coverage 65 NM
INEBOLU VOR/DME	INB	113.3 MHZ CH80X	H24	415705N 0334222E		Coverage 150 NM
ISPARTA VOR/DME	IPT	117.5 MHZ CH122X	H24	375104N 0302130E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM
ISTANBUL VORTAC	IST	112.5 MHZ CH72X	H24	405745N 0284835E		
IZMIR VOR/DME	IMR	113.7 MHZ CH84X	H24	381902N 0270026E		

EK -2 (Devam) Radyo navigasyon kolaylıkları listesi

İstasyon Adı (VOR/VAR)	ID	Frekansı (CH)	Çalışma Saatleri	*Koordinatı Converted in WGS-84	ELEV DME antenna	Notlar
KAHRAMANMARAS NDB/VOR/DME	KHM	374 KHZ 113.9 MHZ CH86X	H24	373217N 0365713E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM Coverage 75 NM
KAYSERI VOR/DME	KSR	116.3 MHZ CH110X	H24	384632N 0353118E		Coverage 100 NM Coverage 100 NM
MALATYA NDB/VOR	ERH	421 KHZ 113.5 MHZ	H24	382740N 0380645E		Coverage 100 NM At field
MARDİN NDB\DME	MRD	403 KHZ CH116X	H24	371340N 0403819E		Coverage 100 NM Coverage 100 NM
MENDERES VOR/DME	MEN	117.9 MHZ CH126X	H24	381742N 0270931E		
MILAS-BODRUM VOR/DME	BDR	116.7 MHZ CH114X	H24	371512N(*) 0274009E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM
M.BODRUM KIYIKISLACIK DVOR/DME	GML	113.9 MHZ CH 86X	H24	371634N 0273304E		Coverage 100 NM Coverage 100 NM
MUS NDB/VOR/DME	MUS	319 KHZ 111.2 MHZ CH49X	H24	384453N 0413940E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM Coverage 75 NM
MUT VOR/DME	MUT	112.3 MHZ CH70X	H24	365146N 0331730E		Coverage 50 NM
SIIRT NDB	SRT	409 KHZ	H24	375837N 0415037E	8 M	Coverage 75 NM
SIIRT VOR/DME	SRT	114.3 MHZ CH90X	H24	375434N 0415256E		Coverage 50 NM
SINOP NDB/VOR/DME	SIN	465 KHZ 114.0 MHZ CH87X	H24	420120N 0350436E	8 M	Coverage 75 NM Coverage 75 NM Coverage 75 NM
SIVAS VOR/DME	SIV	114.2 MHZ CH89X	H24	394722N 0365336E		
TEKIRDAG VOR/DME	EKI	116.3 MHZ CH110X	H24	405703N 0272534E		Unmonitored radial 102 beyond 20 NM unreliable.
TRABZON NDB/VOR/DME	TBN	371 KHZ 114.9 MHZ CH96X	H24	405943N 0394744E		Coverage 75 NM
TUZKOY NDB/VOR/DME	TZK	371 KHZ 115.3 MHZ CH100X	H24	384603N 0343227E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM Coverage 75 NM
URFA NDB	URF	415 KHZ	See NOTAM	370538N 0385041E		Coverage 75 NM
URFA VOR/DME	URF	117.7 MHZ CH124X	H24	370538N 0385041E		Coverage 75 NM Coverage 75 NM

EK -2 (Devam) Radyo navigasyon kolaylıkları listesi

İstasyon Adı (VOR/VAR)	ID	Frekansı (CH)	Çalışma Saatleri	*Koordinatı Converted in WGS-84	ELEV DME antenna	Notlar
VAN VOR/DME	VAN	115.2 MHZ CH99X	H24	382754N 0431932E		
YALOVA NDB	YAA	305 KHZ	H24	403353N 0292218E		Coverage 75 NM To YALOVA AD.
YALOVA VOR/DME	YAA	117.7 MHZ CH124X	H24	403354N 0292217E		Radials BTN 175 and 200 DEG unre-liable unmonitored. To YALOVA AD.
YENİŞEHİR	BRY	115.3 MHZ CH 100X				Coverage 50 NM Coverage 50 NM

EK-3 Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

DÜNYA ÜZERİNDE MEVCUT BAZI SABİT GPS GÖZLEM İSTASYONLARI İLE BU İSTASYONLARDAN İSTANBUL VE ANKARA İSTASYONARININ ÖZELLİKLERİ

IGS Stations Development

IGS Stations
379 stations and 333 active stations as of 02 May 2006.
Designates an site newer than 6 months to the IGS.
Designates a Reference Frame station. Machine-readable list is available.
Designates a site offering hourly data. Machine-readable list is available.
Designates a site offering IGLOS-PP (GPS/GLONASS) data. Machine-readable list is available.
View a list of former IGS sites.
View a list of proposed sites.
Click on any 4-character id for further information.
Dormant sites are lined through

id	City	Location	lon (E)	lat (N)	ht (m)	Agency
aira	Aira	Japan	130.5996	31.8241	314.6400	GSI
ajac	Ajaccio	France	8.7626	41.9275	98.8000	IGN
albh	Victoria	Canada	236.5126	48.3898	32.0000	GSC
algo	ALGONQUIN PARK	CANADA	281.9286	45.9588	202.0000	NRCan/GSD
alic	Alice Springs	Australia	133.8855	-23.6701	603.2650	GA
alrt	Alert (Ellesmere Island)	Canada	297.6595	82.4943	78.1100	NRCan/GSD
amc2	Colorado Springs	U.S.A.	255.4754	38.8031	1911.0870	USNO
ammn	Amman	Jordan	35.8800	32.0300	1055.8300	RJGC
ankr	Ankara	Turkey	32.7586	39.8875	974.8000	BKG and GCM
antc	Los Angeles	Chile	288.4679	-37.3387	745.4000	PGF
aoa1	Westlake	USA	241.1697	34.1574	246.5636	JPL
areq	Arequipa	Peru	288.5072	-16.4655	2488.9318	JPL
aspa	Pago Pago	U.S.A.	189.2776	-14.3261	53.6620	ASPA

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

id	City			Location
lon (E)	lat (N)	ht (m)	Agency	
azu1	Azusa			USA
242.1000	34.1300	144.7500	USGS	
bahr	Manama			Bahrain
50.6081	26.2091	-17.0300	NGA	
baie	BAIE COMEAU			CANADA
291.7367	49.1868	27.4800	NRCan/GFZ	
bake	BAKER LAKE			CANADA
263.9977	64.3178	4.4100	NRCan/GFZ	
bako	Cibinong			Indonesia
106.8500	-6.4900	158.1800	BAKOSURTAN	
ban2	Bangalore			India
77.5116	13.0343	831.9000	GFZ	
barh	Bar Harbor			U.S.A
291.7783	44.3950	7.3680	COA	
bili	Bilibino			Russian
166.4380	68.0761	456.2380	RDAAC-IRIS	
bill	Temecula			USA
242.9400	33.5800	470.0500	SIO	
bjfs	Fangshan			China
115.8925	39.6086	87.4130	NGCC	
blyt	Blythe			USA
245.2900	33.6100	85.9000	SIO	
bogi	Borowa Gora			Poland
21.0352	52.4750	139.9000	IGiK	
bogt	Bogota			Colombia
285.9191	4.6401	2576.8402	JPL	
bor1	BOROWIEC near KORNIK & POZNAN			POLAND
17.0668	52.1002	124.0000	SRC PAS	
bran	Burbank			USA
241.7200	34.1800	246.2600	USGS	
braz	Brasilia			Brazil
312.1222	-15.9474	1106.0413	DGFI	
brew	Brewster			USA
240.3174	48.1315	238.6273	JPL	
brft	Eusebio			Brazil
321.5745	-3.8774	21.7000	NGS	
brmu	Bermuda			U.K.
295.3030	32.3700	-10.6190	NOAA	
brst	Brest			France
355.5034	48.3805	65.8000	IGN	
brus	Brussels			Belgium
4.3592	50.7978	149.7000	ROB	
bucu	Bucuresti			Romania
26.1257	44.4639	143.2000	BKG	
bzrg	Bolzano - Bozen			Italy
11.3368	46.4990	328.8000	GpsBZ	
cagl	Cagliari			Italy
8.9728	39.1359	238.4000	ASI	
cags	Gatineau			Canada
284.1927	45.5850	235.0000	NRCan/GSD	

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

id	City			Location
lon (E)	lat (N)	ht (m)	Agency	
casa	Mammoth Lakes			USA
241.1034	37.6446	2390.4416	NASA/JPL	
cat1	Catalina			USA
241.5200	33.4500	3.9100	USGS	
ccjm	Ogasawara			Japan
142.1846	27.0956	208.8300	GSI	
cedu	Ceduna			Australia
133.8098	-31.8667	144.8021	GA	
cfag	Caucete			Argentina
291.7674	-31.6022	703.0000	CERI	
chan	CHANGCHUN			CHINA
125.4433	43.7905	268.3000	CHO	
chat	Waitangi			New Zealand
183.4342	-43.9558	58.0000	GNS	
chil	San Gabriel Mountains			USA
241.9700	34.3300	1567.5200	USGS	
chpi	Cachoeira Paulista			Brazil
315.0148	-22.6871	617.5951	JPL	
chum	Chumysh			Kazakhstan
74.7511	42.9985	716.3327	JPL	
chur	CHURCHILL			CANADA
265.9113	58.7591	-18.9000	NRCan/GSD	
chwk	Chilliwack			Canada
237.9916	49.1566	170.0000	GSC	
cic1	Ensenada			Mexico
243.3342	31.8707	64.3245	JPL	
cit1	Pasadena			USA
241.8700	34.1400	215.3600	USGS	
clar	Claremont			USA
242.2900	34.1100	373.6400	USGS	
cmp9	Sylmar			USA
241.5900	34.3500	1138.0200	USGS	
cnmr	Saipan			USA
145.7431	15.2297	64.3990	NGS	
coco	Cocos (Keeling) Island			Australia
96.8339	-12.1883	-35.2212	GA	
conz	Concepcion			Chile
286.9745	-36.8438	181.2000	BKG	
copo	Copiapo			Chile
289.6618	-27.3845	479.2000	G2	
cord	Cordoba			Argentina
295.5300	-31.5284	747.0654	JPL	
coso	Coso Junction			USA
242.1900	35.9800	1455.3800	SIO	
coyq	Coyhaique			Chile
288.1079	-45.5143	476.0000	G2/OSU	
crao	Simeiz			Ukraine
33.9906	44.4129	387.5545	UNAVCO	
crfp	Yucaipa			USA
242.9000	34.0400	688.8300	SIO	

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

id	City			Location
lon (E)	lat (N)	ht (m)	Agency	
daej	Daejeon			Korea
127.3745	36.3994	117.0370	KASI	
daka	Dakar			Senegal
342.5352	14.6850	63.1000	GFZ	
darr	Darwin			Australia
131.1327	-12.8438	125.1970	GA	
darw	Darwin			Australia
131.1327	-12.8438	125.1970	GA	
dav1	Davis			Antarctica
77.9726	-68.5773	44.5000	GA	
davr	Davis			Antarctica
77.9726	-68.5773	44.5000	GA	
dgar	Diego Garcia Island			U.K. Territory
72.3702	-7.2697	-64.7482	JPL	
dhlg	Durmid Hill			USA
244.2100	33.3900	-83.0500	SIO	
dlft	Delft			Netherlands
4.3876	51.9860	74.3000	TUD/DEOS	
drag	metzoki dragot			Israel
35.3924	31.5929	120.3000	GSM	
drao	Penticton			Canada
240.3750	49.3226	542.0000	GSC	
drej	Dresden			Germany
14.2270	51.0606	203.6000	BKG	
dubo	Lac du Bonnet			Canada
264.1338	50.2588	251.0000	GSC	
dubr	Dubrovnik			Croatia
18.1104	42.6500	454.3000	BKG	
dwh1	Woodinville			US
237.9198	47.7741	109.1000	DWH	
dyr2	Diyarbakir			Turkey
40.2764	37.9157	500.0000	UNV-JPL-GCM	
ebre	Roquetes			Spain
0.4924	40.8209	107.9000	ICC	
eprt	Eastport			USA
293.0079	44.9087	30.9880	NGS	
escu	Escuminac			Canada
295.2013	47.0734	-16.0200	NRCan/GSD	
esti	Esteli			Nicaragua
273.6380	13.0995	956.5000	NGS/NOAA	
fair	Fairbanks			USA
212.5008	64.9780	319.0002	JPL	
fale	Faleolo			Samoa
188.0005	-13.8322	48.0000	PGPSF	
ffmj	Frankfurt / Main			Germany
8.6650	50.0906	178.2000	BKG	
flin	CFS Flin Flon			Canada
258.0220	54.7256	320.0000	GSC	
geno	GENOVA			ITALY
8.9211	44.4194	137.0000	ASI	

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

ANKARA SABİT GPS İSTASYONU ÖZELLİKLERİ

```
      This page last updated: 13 Apr 2004
      Please send comments about this website to: IGS Central
Bureau.
      ANKR Site Information Form
     International GPS Service for Geodynamics


0.   Form

     Prepared by (full name)  : Dr. Wolfgang Schlueter
                              : Klaus Roettcher
                              : Uwe Hessels
                              : Rudolf Stoeger
     Date Prepared            : 13-JUL-1999
     Report Type              : UPDATE
     Prepared Using           :


1.   Site Identification of the GPS Monument

     Site Name                : Ankara / Turkey
     Four Character ID        : ANKR
     Monument Inscription     : Pillar
     IERS DOMES Number        : 20805M002
     CDP Number               :
     Date Installed           : 21-JUN-1995 00:00 UT
     Geologic Characteristic  : Upper layer = Alluvial (with clay
and
                              : silt).
                              : Layer beneath = Limestone
       Bedrock Type           : Limestone (= layer beneath Alluvial)
       Bedrock Condition      :
       Fracture Spacing       : No fracture spacing info available
       Notes                  :
     Additional Information   : A ROGUE SNR-8000 operates since
                              : 21-JUN-1995 at the Ankara GPS
Permanent
                              : Tracking Station.
                              : Previously, this site was occupied
by
                              : Minimac 2816AT between 11-OCT-1991
and
                              : 16-DEC-1994 and subsequently
occupied by
                              : TRIMBLE 4000 SSE between dates
                              : 08-FEB-1995 and 21-JUN-1995.
Detailed
                              : info and historical data is
available
                              : via anonymous ftp
"ftp.tubitak.gov.tr"
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
                                : or on-site contact point.
                                : ROGUE SNR-8000 S/N T344 upgraded
from
                                : V 3.0 to V 3.2 07-FEB-1996.
                                : ROGUE SNR-8000 S/N T344 V 3.2
replaced
                                : with ROGUE SNR-8000 S/N T318 V 3.2,
and
                                : Dorne Margolin T antenna S/N 393
                                : replaced with Dorne Margolin T
antenna
                                : S/N 404 23-JUL-1996.
                                : ROGUE SNR-8000 S/N T318 V 3.2
replaced
                                : with ROGUE SNR-8000 S/N T319 V
3.2.32.4
                                : and Dorne Margolin T antenna S/N 404
                                : replaced with Dorne Margolin T
antenna
                                : S/N 391 24-JUL-1997.
                                : Dorne Margolin T antenna S/N 391
                                : replaced with Dorne Margolin T
antenna
                                : S/N 290 16-SEP-1998.
                                : ROGUE SNR-8000 S/N T319 V 3.2.32.4
                                : replaced with ROGUE SNR-8000 S/N
T394
                                : V 3.2.32.9 09-JUL-1999.

2.   Site Location Information

     City or Town               : Ankara
     State or Province          :
     Country                    : Turkey
     Tectonic Plate             : Eurasian (Anatolian)
     Approximate Position
       X coordinate (m)         : 4121934.260
       Y coordinate (m)         : 2652189.812
       Z coordinate (m)         : 4069034.911
       Latitude (deg)           : 39.887511567 N
       Longitude (deg)          : 32.758578857 E
       Elevation (m)            : 974.768
     Additional Information     :


3.   GPS Receiver Information

3.1  Receiver Type              : ROGUE SNR-8000
     Serial Number              : T344
     Firmware Version           : 3.0
     Date Installed             : 21-JUN-1995 00:00 UT
     Date Removed               : 07-FEB-1996 00:00 UT
     Additional Information     :
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
4.   GPS Antenna Information

4.1  Antenna Type             : AOAD/M_T        NONE
     Serial Number            : 393
     Antenna Height (m)       : 0.060
     Antenna Reference Point  : ARP
     Degree Offset from North :
     Antenna Radome Type      :
     Date Installed           : 21-JUN-1995 00:00 UT
     Date Removed             : 23-JUL-1996 00:00 UT
     Additional Information   :


5.   Local Site Ties

5.1  Monument Name            : SLR Ankara
     Site Ref CDP Number      : 7589
     Site Ref Domes Number    : 20805M001
     Differential Components from GPS Mark to Site Reference (ITRS)
       dx (m)                 : -14.2608
       dy (m)                 : 2.0499
       dz (m)                 : 11.4556
     Accuracy (mm)            : 0.0075 mm, 0.0079 mm, 0.0048
     Date Measured            : 27-AUG-1992 00:00 UT
     Additional Information   :


6.   Frequency Standard

6.1  Standard Type            : INTERNAL
       Frequency              :
       Effective Dates        : 21-JUN-1995 - now
       Notes                  :



7.   Collocation Information

7.1  Instrumentation Type     : SLR
       Status                 : MOBILE
       Effective Dates        : JAN-1993 - MAR-1993
       Notes                  : at nearby SLR-site 7589


8.   Meteorological Instrumentation

8.1  Humidity Sensor Model    :
       Manufacturer           :
       Data Frequency         :
       Accuracy (% rel h)     :
       Effective Dates        :
       Notes                  :

8.2  Pressure Sensor Model    :
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
       Manufacturer           :
       Data Frequency         :
       Accuracy (mbar)        :
       Height Diff to GPS (m) :
       Effective Dates        :
       Notes                  :

8.3  Temperature Sensor Model :
       Manufacturer           :
       Data Frequency         :
       Accuracy (deg C)       :
       Effective Dates        :
       Notes                  :

8.4  Water Vapor Radiometer   :
       Manufacturer           :
       Distance to GPS (m)    :
       Elev Diff to GPS (m)   :
       Effective Dates        :
       Notes                  :

8.5  Other Instrumentation    :


9.   On-Site, Point of Contact Agency Information

     Agency                   : Harita Genel Komutanligi
                              : General Command of Mapping (GCM)
Mailing Address               : Harita Genel Komutanligi
                              : General Command of Mapping (GCM)
                              : 06100 Dikimevi - Ankara
                              : Turkey
Primary Contact
       Contact Name           : Dr. Maj. Onur Lenk
       Telephone (primary)    : (0090) - 312 - 3638550
       Telephone (secondary)  :
       Fax                    : (0090) - 312 - 3201495
       E-mail                 : harita-g@tr-net.net.tr
       Contact Name           : Mustafa Ocak
       Telephone (primary)    : (0090) - 312 - 3638550
       Telephone (secondary)  :
       Fax                    : (0090) - 312 - 3201495
       E-mail                 : mocak@hgk.mil.tr
     Secondary Contact
       Contact Name           :
       Telephone (primary)    :
       Telephone (secondary)  :
       Fax                    :
       E-mail                 :
     Additional Information   :


10.  Responsible Agency (if different from 9.)
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

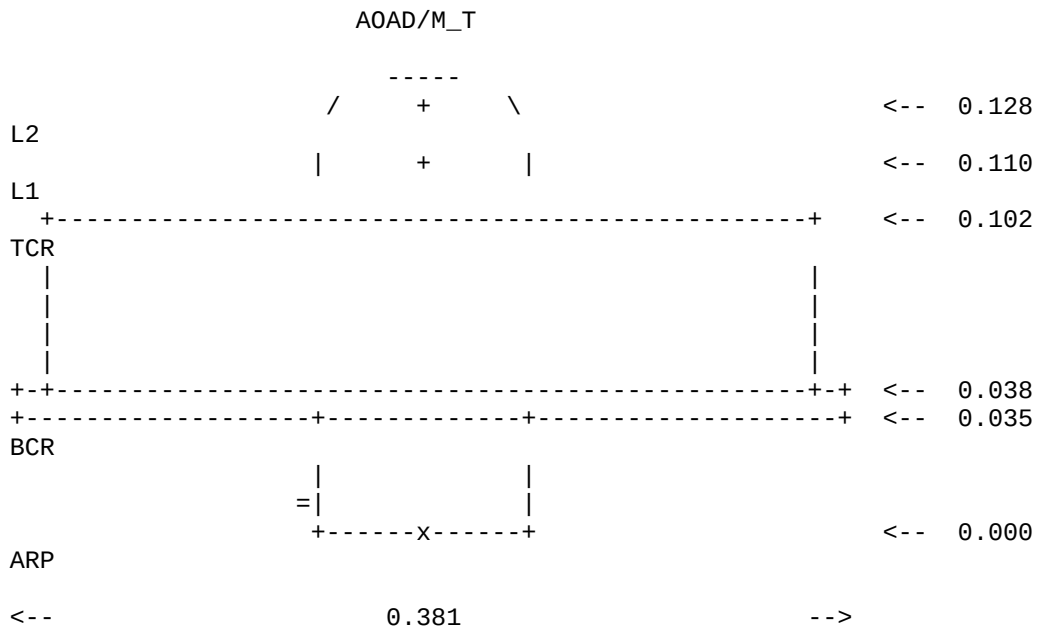
```
     Agency                    : Bundesamt fuer Kartographie
                               : und Geodaesie
                               : Fundamentalstation Wettzell. / and
GCM.
     Mailing Address           : Bundesamt fuer Kartographie
                               : und Geodaesie
                               : Fundamentalstation Wettzell
                               : D-93444 Koetzting
                               : Germany.
                               : and GCM address as in item 9.
     Primary Contact
       Contact Name            : Dr. Wolfgang Schlueter
       Telephone (primary)     : (0049)-9941-603107
       Telephone (secondary)   : (0049)-9941-6030
       Fax                     : (0049)-9941-603222
       E-mail                  : schlueter@wettzell.ifag.de
       Contact Name            : Klaus Roettcher
       Telephone (primary)     : (0049)-9941-603115
       Telephone (secondary)   : (0049)-9941-6030
       Fax                     : (0049)-9941-603222
       E-mail                  : roettcher@wettzell.ifag.de
       Contact Name            : Uwe Hessels
       Telephone (primary)     : (0049)-9941-603204
       Telephone (secondary)   : (0049)-9941-6030
       Fax                     : (0049)-9941-603222
       E-mail                  : hessels@wettzell.ifag.de
       Contact Name            : Rudolf Stoeger
       Telephone (primary)     : (0049)-9941-603114
       Telephone (secondary)   : (0049)-9941-6030
       Fax                     : (0049)-9941-603222
       E-mail                  : stoeger@wettzell.ifag.de
     Secondary Contact
       Contact Name            :
       Telephone (primary)     :
       Telephone (secondary)   :
       Fax                     :
       E-mail                  :
     Additional Information    : And GCM phones, fax and mail
                               : as in item 9.



11.  More Information

     URL for More Information :
     Hardcopy on File
       Site Map                : (Y)
       Site Diagram            : (Y)
       Horizon Mask            : (Y)
       Monument Description    : (Y)
       Site Pictures           : Y
     Additional Information    :
     Antenna Graphics with Dimensions
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri



EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

İSTANBUL SABİT GPS İSTASYONU ÖZELLİKLERİ

```
     ISTA Site Information Form
     International GPS Service
     See Instructions at:

ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/sitelog_instr.txt

0.   Form

     Prepared by (full name)  : Rudi Stoeger
     Date Prepared            : 2002-07-10
     Report Type              : UPDATE
     If Update:
      Previous Site Log       : ista_20010406.log
      Modified/Added Sections : all


1.  Site Identification of the GNSS Monument

     Site Name                : Istanbul / Turkey
     Four Character ID        : ISTA
     Monument Inscription     :
     IERS DOMES Number        : 20807M001
     CDP Number               :
     Monument Description     : CONCRETE PILLAR ON THE ROOF
       Height of the Monument : 1.122
       Monument Foundation    : CONCRETE PILLAR ANCHORED TO THE ROOF
       Foundation Depth       :
     Marker Description       : SURVEY MARKER BOLT WITH THREAD
     Date Installed           : 1999-12-11T00:00Z
     Geologic Characteristic  :
(BEDROCK/CLAY/CONGLOMERATE/GRAVEL/SAND/etc)
       Bedrock Type           : (IGNEOUS/METAMORPHIC/SEDIMENTARY)
       Bedrock Condition      : (FRESH/JOINTED/WEATHERED)
       Fracture Spacing       : (1-10 cm/11-50 cm/51-200 cm/over 200
cm)
       Fault zones nearby     : (YES/NO/Name of the zone)
         Distance/activity    : (multiple lines)
     Additional Information   : The concrete GPS pillar is
                              : anchored on the roof of the
                              : building for the Civil Engineering
                              : Faculty in the Istanbul Technical
                              : University.
                              : The top of the pillar is 24.037 m
                              : above the ground.


2.   Site Location Information

     City or Town             : Istanbul
     State or Province        :
     Country                  : Turkey
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
     Tectonic Plate           : Eurasian
     Approximate Position (ITRF)
       X coordinate (m)       : 4208830.46
       Y coordinate (m)       : 2334850.14
       Z coordinate (m)       : 4171267.18
       Latitude (N is +)      : +410615.84
       Longitude (E is +)     : +0290109.48
       Elevation (m,ellips.)  : 00147.2
     Additional Information   :


3.  GNSS Receiver Information

3.1  Receiver Type            : ASHTECH Z-XII3
     Satellite System         : GPS
     Serial Number            : LP02295
     Firmware Version         : 1K00-1D04
     Elevation Cutoff Setting : 0
     Date Installed           : 1999-12-11T00:00Z
     Date Removed             : CCYY-MM-DDThh:mmZ
     Temperature Stabiliz.    : none
     Additional Information   : Ashtech GPS Receiver XII,
                              : Mdl. Z-12,
                              : P/N 700845-10 (E)

4.  GNSS Antenna Information

4.1  Antenna Type             : ASH700936D_M    SNOW
     Serial Number            : CR13556
     Antenna Reference Point  : BPA
     Marker->ARP Up Ecc. (m)  : 000.0610
     Marker->ARP North Ecc(m) : 000.0000
     Marker->ARP East Ecc(m)  : 000.0000
     Alignment from True N    : 0
     Antenna Radome Type      : SNOW
     Radome Serial Number     :
     Antenna Cable Type       : RG214
     Antenna Cable Length     : 30
     Date Installed           : 1999-12-11T00:00Z
     Date Removed             : CCYY-MM-DDThh:mmZ
     Additional Information   : Ashtech Choke Ring Antenna
                              : P/N 700936 (D) with Dome

5.  Surveyed Local Ties

5.x  Tied Marker Name         :
     Tied Marker Usage        : (SLR/VLBI/LOCAL
CONTROL/FOOTPRINT/etc)
     Tied Marker CDP Number   : (A4)
     Tied Marker DOMES Number : (A9)
     Differential Components from GNSS Marker to the tied monument
(ITRS)
       dx (m)                 :
       dy (m)                 :
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
       dz (m)                :
     Accuracy (mm)           : (mm)
     Survey method           : (GPS
CAMPAIGN/TRILATERATION/TRIANGULATION/etc)
     Date Measured           : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)
     Additional Information  : (multiple lines)


6.   Frequency Standard

6.1  Standard Type           : INTERNAL
       Input Frequency       :
       Effective Dates       : 1999-12-11/CCYY-MM-DD
       Notes                 :

6.x  Standard Type           : (INTERNAL or EXTERNAL H-
MASER/CESIUM/etc)
       Input Frequency       : (if external)
       Effective Dates       : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                 : (multiple lines)


7.   Collocation Information

7.x  Instrumentation Type    :
(GPS/GLONASS/DORIS/PRARE/SLR/VLBI/TIME/etc)
       Status                : (PERMANENT/MOBILE)
       Effective Dates       : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                 : (multiple lines)

8.   Meteorological Instrumentation

8.1.1  Humidity Sensor Model : MP408A-T4-W4W
       Manufacturer          : ROTRONIC
       Serial Number         : 21206 010
       Data Sampling Interval : 900
       Accuracy (% rel h)    : 1.5
       Aspiration            : CAPACITANCE PROBE
       Height Diff to Ant    : -1.15
       Calibration date      : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates       : 2002-06-10/CCYY-MM-DD
       Notes                 : Humidity Sensor is 1.15 m
                             : above the antenna

8.1.x  Humidity Sensor Model :
       Manufacturer          :
       Serial Number         :
       Data Sampling Interval : (sec)
       Accuracy (% rel h)    : (% rel h)
       Aspiration            : (UNASPIRATED/NATURAL/FAN/etc)
       Height Diff to Ant    : (m)
       Calibration date      : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates       : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                 : (multiple lines)
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
8.2.1  Pressure Sensor Model  : APS 9215
       Manufacturer           : L-TEC LEIBENGUTH
       Serial Number          : 0501 4599A
       Data Sampling Interval : 900
       Accuracy               : 1
       Height Diff to Ant     : 3.52
       Calibration date       : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates        : 2002-06-10/CCYY-MM-DD
       Notes                  : Pressure Sensor is 3.52 m
                              : below the antenna

8.2.x  Pressure Sensor Model  :
       Manufacturer           :
       Serial Number          :
       Data Sampling Interval : (sec)
       Accuracy               : (hPa)
       Height Diff to Ant     : (m)
       Calibration date       : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                  : (multiple lines)

8.3.1  Temp. Sensor Model     : MP408A-T4-W4W
       Manufacturer           : ROTRONIC
       Serial Number          : 21206 010
       Data Sampling Interval : 900
       Accuracy               : 0.3
       Aspiration             : PLATINUM PROBE
       Height Diff to Ant     : -1.15
       Calibration date       : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates        : 2002-06-10/CCYY-MM-DD
       Notes                  : Temperature Sensor is
                              : 1.15 m above the antenna

8.3.x  Temp. Sensor Model     :
       Manufacturer           :
       Serial Number          :
       Data Sampling Interval : (sec)
       Accuracy               : (hPa)
       Aspiration             : (UNASPIRATED/NATURAL/FAN/etc)
       Height Diff to Ant     : (m)
       Calibration date       : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                  : (multiple lines)

8.4.x  Water Vapor Radiometer :
       Manufacturer           :
       Serial Number          :
       Distance to Antenna    : (m)
       Height Diff to Ant     : (m)
       Calibration date       : (CCYY-MM-DD)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Notes                  : (multiple lines)

8.5.x  Other Instrumentation  :
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
9.  Local Ongoing Conditions Possibly Affecting Computed Position

9.1.x  Radio Interferences    : (TV/CELL PHONE ANTENNA/RADAR/etc)
       Observed Degredations  : (SN RATIO/DATA GAPS/etc)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Additional Information : (multiple lines)

9.2.x  Multipath Sources      : (METAL ROOF/DOME/VLBI ANTENNA/etc)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Additional Information : (multiple lines)

9.3.x  Signal Obstructions    : (TREES/BUILDLINGS/etc)
       Effective Dates        : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
       Additional Information : (multiple lines)


10.   Local Episodic Effects Possibly Affecting Data Quality

10.x Date                     : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
     Event                    : (TREE CLEARING/CONSTRUCTION/etc)


11.   On-Site, Point of Contact Agency Information

     Agency                   : Istanbul Technical University
                              : Civil Engineering Faculty
     Preferred Abbreviation   : ITU
     Mailing Address          : Division of Geodesy
                              : ITU Ayazaga Kampusu
                              : TR-80626 Maslak-Istanbul
                              : Turkey
     Primary Contact
       Contact Name           : Caner Guney
       Telephone (primary)    : 0090-212-2856560
       Telephone (secondary)  : 0090-212-2853822
       Fax                    : 0090-212-2856587
       E-mail                 : guneycan@itu.edu.tr
     Secondary Contact
       Contact Name           :
       Telephone (primary)    :
       Telephone (secondary)  :
       Fax                    :
       E-mail                 :
     Additional Information   :


12.  Responsible Agency (if different from 11.)

     Agency                   : Bundesamt fuer Kartographie
                              : und Geodaesie
                              : Fundamentalstation Wettzell
     Preferred Abbreviation   : BKG
     Mailing Address          : Bundesamt fuer Kartographie
                              : und Geodaesie
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri

```
                              : Fundamentalstation Wettzell
                              : D-93444 Koetzting, Germany
     Primary Contact
       Contact Name           : Dr. Wolfgang Schlueter
       Telephone (primary)    : (0049)-9941-603107
       Telephone (secondary)  : (0049)-9941-6030
       Fax                    : (0049)-9941-603222
       E-mail                 : schlueter@wettzell.ifag.de
     Secondary Contact
       Contact Name           : Rudi Stoeger
       Telephone (primary)    : (0049)-9941-603114
       Telephone (secondary)  : (0049)-9941-6030
       Fax                    : (0049)-9941-603222
       E-mail                 : stoeger@wettzell.ifag.de
     Additional Information   : Klaus Roettcher
                              : (0049)-9941-603115
                              : roettcher@wettzell.ifag.de
                              : Uwe Hessels
                              : (0049)-9941-603204
                              : hessels@wettzell.ifag.de

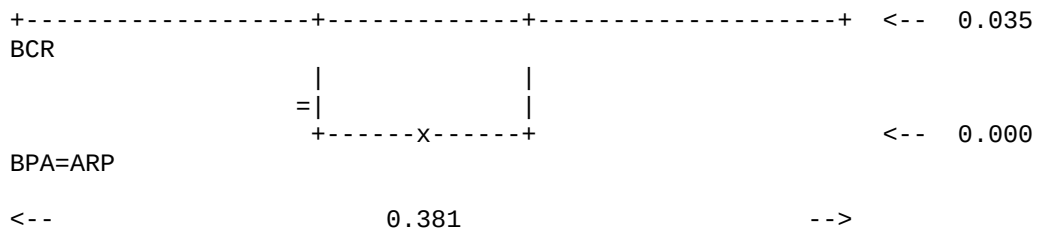

13.  More Information

     Primary Data Center      : BKG
     Secondary Data Center    : IGN
     URL for More Information : www.ifag.de, www.wettzell.ifag.de
       Hardcopy on File
       Site Map               : (Y or URL)
       Site Diagram           : (Y or URL)
       Horizon Mask           : (Y or URL)
       Monument Description   : (Y or URL)
       Site Pictures          : Y
     Additional Information   : (multiple lines)
     Antenna Graphics with Dimensions


ASH700936D_M
with ASHTECH white conical Dome SNOW


                        -----
                     /     +     \                      <--  0.128
L2
                    |      +      |                     <--  0.110
L1
  +-------------------------------------------------+    <--  0.102
TCR
  |                                                 |
  |                                                 |
  |                                                 |
  |                                                 |
+-+-------------------------------------------------+-+  <--  0.038
```

EK-3 (Devam) Ankara ve İstanbul sabit GPS istasyonlarının özellikleri



ARP: Antenna Reference Point
L1 : L1 Phase Center L2 : L2 Phase Center
TCR: Top of Chokering BCR: Bottom of Chokering
TGP: Top of Ground Plane BGP: Bottom of Ground Plane
TPA: Top of Preamplifier BPA: Bottom of Preamplifier
TOP: Top of Pole

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: TOK, Hüseyin
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 17.03.1973 Erzincan
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (532) 292 87 71
Faks	: 0 (422) 336 83 43
e-mail	: h_tok@yahoo.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kara Harp Okulu/ Sistem Müh.	1995
Lise	Kuleli Askeri Lisesi	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1995-1997	Kr.Hvcl.Ok.K.lığı	Kursiyer Tğm.
1997-2004	Hrt.Hv.Gr.K.lığı	Uçak Filo K.
2004-2005	2 nci Kr.Hvcl.A.K.lığı	Hrk.Ks.Hava Sahası Kontrol ve Yönetim Subayı
2005-Devam	2 nci Kr.Hvcl.A.K.lığı	Brl.Bak Tb. İkmal Sb.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Havacılık, Paraşüt, Bilgisayar teknolojileri, İnternet, Basketbol, Doğa sporları.