

DGPS TEKNİĞİ KULLANILARAK HAREKET EDEN BİR ARACIN HASSAS
KONUMUNUN SERİ İLETİŞİM YÖNTEMİ İLE TESPİTİ VE GPS ÖLÇÜMÜNE
GÖRE YAPILAN HATA ORANININ KARŞILAŞTIRILMASI

Sunay KAHRAMAN

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2004

DETERMINING THE POSITION OF A MOVING VEHICLE
WITH DGPS METHOD USING SERIAL COMMUNICATION
AND COMPARISON OF ERROR RATE WITH GPS METHOD

by
Sunay KAHRAMAN

M.Sc. Thesis
In Electrical Engineering
2004

DGPS TEKNİĞİ KULLANILARAK HAREKET EDEN BİR ARACIN
HASSAS KONUMUNUN SERİ İLETİŞİM YÖNTEMİ İLE TESPİTİ VE GPS
ÖLÇÜMÜNE GÖRE YAPILAN HATA ORANININ KARŞILAŞTIRILMASI

Sunay KAHRAMAN

OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman:Y.Doç. Dr. Erol SEKE

Haziran 2004

Sunay KAHRAMAN'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “DGPS Tekniği Kullanılarak Hareket Eden Bir Aracın Hassas Konumunun Seri İletişim Yöntemi ile Tespiti ve GPS Ölçümüne Göre Yapılan Hata Oranının Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

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

İMZA

Üye: Y.Doç.Dr. Erol SEKE

Üye: Y.Doç.Dr. Selçuk CANBEK

Üye: Y.Doç.Dr. Nihat ADAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun gün ve
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Global Konumlama Sistemi (GPS) hem sivil hem de askeri amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. GPS ile üç boyutlu konum belirleme doğruluğu SA açık iken yaklaşık 156 m, kapalı iken ise yaklaşık 10-20 metredir. GPS ile elde edilen doğruluk, uydulara yapılan mesafe gözlemlerindeki hatalara ve uydu geometrisine bağlıdır. Bu özellik kullanılarak Diferansiyel GPS (DGPS) adı verilen bir ölçme tekniği yöntemi geliştirilmiştir. Uyduların, yer merkezinden yaklaşık 20 - 200 km uzaklıkta olduğu düşünülürse, yeryüzünde birbirine yakın noktadaki hata değerlerinin yaklaşık aynı olacağı söylenebilir. Bu varsayım altında DGPS, NAVSTAR GPS uydu sinyallerinden yararlanarak, konumu daha önceden yer merkezli WGS-84 gibi bir sistemde yüksek doğrulukta belirlenmiş bir referans alıcıda hesaplanan düzeltme değerlerini kullanarak, diğer alıcıların hatalı konumlarına da aynı düzeltme değerlerini ekleyerek konumun iyileştirilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle, referans istasyon ve kullanıcı alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak 1-5 metre doğruluk elde edilebilmektedir.

DGPS'te en önemli konu olan veri iletimi işlemi birkaç yoldan yapılabilmektedir. Bu sistemlerin hepsinde, koordinatları bilinen bir noktada GPS aletinin olması gerekmektedir. Referans noktası bilinen ve sürekli ölçülen koordinatlarından elde edilen düzeltme bilgilerinin, UHF/VHF kanalları, mikrodalgalar, GSM, Inmarsat uyduları, beacon sistemleri, İnternet ve FM RDS üzerinden kablosuz olarak iletimi mümkün olmaktadır. İnternet için de mobil İnternet teknolojisi mevcuttur.

Bu çalışmada, DGPS sisteminin temelini oluşturan GPS metodu ile konum ve zaman ölçme yönteminin nasıl gerçekleştirildiği, GPS ölçümünde yapılan hatanın kaynakları verilmiş, bu hata kaynaklarını yok etmenin yöntemlerinden olan DGPS metodu tanıtılmıştır. Ayrıca internet üzerinden eş zamanlı DGPS fark verilerinden yararlanarak istenilen seviyede konum bilgileri hassas olarak Eskişehir caddelerinde kararlı konum izleri elde edilebilmiş, bir hassas konum gösterim sistemi uygulaması yapılmıştır. Aynı bölgede GPS ölçümleri ile bulunan konum bilgisinin tespitinde yapılan hata oranlarına göre karşılaştırılması yapılmıştır. GPRS hizmeti genişleyen ülkemizde hareketli kullanıcıların bu tekniği kullanarak hassas konum elde edebilecekleri gösterilmiştir.

Geniş bir kullanım olanağı olan RTCM formatında DGPS verisi sağlayan yaygın altyapıların, başta Amerika kıtası olmak üzere Avrupa, Avustralya, Asya kıtalarındaki gibi, ülkemizde de benimsenerek hızla uygulanma safhasına geçilmesinin önemi vurgulanmıştır. Bu sistem kurularak, uçakların seyrüsefer/uçuş test yapılmasında, diğer taraftan açık denizlerde gemi, tanker ve yoğun trafiğin yaşandığı kanal, boğazlar gibi su yollarında güvenli bir seyir olanağı sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: DGPS, NAVSTAR/GPS, GPS, Global Konum Belirleme Sistemi (GKS), Alamanak Bilgisi, GLONASS, RTCM, WGS-84 Koordinat Sistemi, Global Konum Belirleme Sistemi Hata Kaynakları,

ABSTRACT

Global Positioning System is widely used both by civilian and military. The position accuracy of GPS is about 156 meter when SA is on and 10-20 meter SA is off. Earth rotation and Ionosphere/Troposphere and the satellites cause some errors. By using this feature, a method called Differential GPS (DGPS) is invented to improve positioning accuracy. The general principle of DGPS consist of having a GPS receiver at a previously surveyed (known) location and calculating correction terms by comparing the GPS derived solution to the known location. The computed correction terms can be transmitted to remote users by using several means. The accuracy that can be reached using DGPS mostly depends on the distance between the base and the rover station. The position accuracy of DGPS can vary between 1 to 5 meters.

Data communication, the main issue in DGPS can be implemented in various means. In all of these means a GPS receiver at a known position is needed. Correction information which is obtained from reference GPS receiver can be transmitted using the UHF/VHF, microwave, GSM, Inmarsat satellites, beacon systems, Internet and FM RDS.

In this study, position and time measurement using the GPS method, which is the baseline for DGPS, is explained, the error sources in GPS measurements are stated and DGPS method which is one of the way to eliminate the GPS error is introduced. Also using the real-time DGPS correction data from the Internet, stable position data at a desired accuracy is obtained and a accurate positioning demonstration is implemented. A comparison between the error from GPS position data and DGPS position data is made and it is demonstrated that using GPRS and DGPS, mobile users can obtain accurate position data.

The importance of infrastructure implementation for providing DGPS data in RTCM format in our county is emphasized. By implementation of this system, accurate position data can be obtained for aerospace navigation/flight testing, vehicle tracking in transportation, ship tracking and navigation in maritime platforms.

Keywords: Global Positioning System, GPS, DGPS, Differential GPS, NAVSTAR/GPS, Almanac, GLONASS, WGS-84, RTCM, Internet based DGPS

TEŞEKKÜR

Üniversite sanayii işbirliğine inanarak başlangıcını yaptığım Yüksek Lisans Programı esnasında kaybettiğimiz kıymetli hocam Prof. Dr. Hamdi ATMACA'yı saygıyla anıyor, çalışmalarımnda danışmanlığımı kabul edip, her türlü katkıyı ve desteğini sağlayan Sayın Y. Doç. Dr. Erol SEKE'ye, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR	xiv
EKLER.....	xix
GİRİŞ.....	1
1. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS).....	3
1.1 Kullanım Alanları.....	3
1.2 GPS Bölümleri.....	6
1.2.1 Uzay Bölümü.....	6
1.2.2 Kontrol Bölümü.....	12
1.2.3 Kullanıcı Bölümü.....	13
1.3 Sinyal Özellikleri.....	13
1.3.1 Temel Kavramlar.....	13
1.3.2 C/A Kod Özellikleri.....	17
1.3.3 P-Kod Özellikleri.....	18
1.3.4 GPS Seyrüsefer Mesajı.....	20
1.3.4.1 Mesaj bloğu # 1 içerikleri.....	23
1.3.4.2 Mesaj bloğu # 2 ve 3 içerikleri.....	24
1.3.4.3 Mesaj bloğu # 4 ve 5 içerikleri.....	24
1.3.5 Almanak Bilgisi.....	25
1.4 Alıcı Sistemleri.....	26
1.5 Diğer GPS Uydu Sistemleri (GLONASS Sistemi).....	29
1.6 WGS-84 Koordinat Sistemi.....	30
1.7 Zaman Sistemi.....	32
1.7.1 Dinamik Zaman Sistemi.....	32
1.7.2 Atomik Zaman.....	32
1.7.3 Yıldız Zamanı.....	34
1.8 Yer Bulumun Temel İlkesi.....	35
2. GPS ÖLÇÜM HATA KAYNAKLARI.....	40
2.1 Uydu Efemeris Hataları.....	41
2.2 Uydu Saati Hataları.....	43
2.3 İyonosfer Etkisi.....	43
2.4 Troposfer Etkisi.....	47
2.5 Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi.....	54
2.6 Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası.....	56
2.7 Doğruluk Erişimi (SA).....	57
2.8 Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz Kesikleri.....	58
2.9 Seyrüsefer Amaçlı Doğruluk Ölçütleri.....	59
3. DİFERANSİYEL GPS (DGPS) TEKNİĞİ.....	63
3.1 Temel Tanımlar.....	63

3.2	DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemi	65
3.3	DGPS Gözlem Sonrası Değerlendirme Yazılımı	69
3.4	DGPS Matematik Modeli	75
3.5	DGPS Sinyal Veri Yapısı	78
3.6	DGPS Veri Aktarım Yöntemleri	80
4.	GARMIN 2 + GPS KULLANILARAK DGPS TEKNİĞİ UYGULAMASI VE GPS' E GÖRE YAPILAN HATANIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	90
4.1	Garmin 2 + GPS Tanıtımı.....	90
4.2	RS-232 ile GARMIN 2+ ın bilgisayar ile bağlantının sağlanması.....	91
4.3	Eskişehir haritasının bilgisayara aktarılması	92
4.4	GPS ile Yapılan Ölçümler	93
4.5	DGPS ile harita üzerinde yapılan ölçümler	96
4.6	Konum belirlemede yapılan hata oranının analizi.....	96
4.6.1	GPS ile Yapılan Hata Analizi	97
4.6.2	DGPS ile Yapılan Hata Analizi	98
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
	REFERANSLAR.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1 GPS' in Bölümleri	6
Şekil 1-2 GPS Uzay Bölümü	9
Şekil 1-3 GPS Uydu Yörüngeleri ve Konumları	10
Şekil 1-4 GPS Kontrol Bölümü	13
Şekil 1-5 GPS Uydu Sinyali	15
Şekil 1-6 Taşıyıcı Dalganın "Biphase" Modülasyonu	16
Şekil 1-7 C/A Kod Dalgaboyu (Chip uzunluğu) ve Çözünürlüğü	18
Şekil 1-8 P Kod "chip" Uzunluğu ve Çözünürlüğü	19
Şekil 1-9 GPS Seyrüsefer Mesaj Blokları	21
Şekil 1-10 TLM ve HOW Word Yapıları.....	22
Şekil 1-11 Yıldız Zamanının Tanımı.....	35
Şekil 1-12 Paralel - Meridyen Eksenleri.....	36
Şekil 1-13 2 Boyutlu 2 GPS Uydu Kullanarak Pozisyon Ölçümü.....	37
Şekil 1-14 2 boyutlu 3 GPS Uydu Kullanarak Pozisyon Ölçümü	38
Şekil 1-15 3 GPS Uydusunun Oluşturabileceği Belirsizlik Bölgesi	39
Şekil 2-1 Atmosferik Kırılma	45
Şekil 2-2 GPS Sinyalinin İçinden Geçtiği Atmosfer Tabakaları.....	48
Şekil 2-3 Uydu Sinyal Yansıması.....	55
Şekil 2-4 Alıcı Anteni Sinyal Yansıması.....	56
Şekil 3-1 DGPS Temel Prensibi	64
Şekil 3-2 DGPS' de Temel Prensip.....	67
Şekil 3-3 Gözlem Sonrası Hesaplama (Post Processing)	68
Şekil 3-4 Sabit İstasyon ve Gezen Alıcı Veri Toplama Yükseklik Açısı Sınırı	68
Şekil 3-5 DGPSCE Yazılım Akış Diagramı	70
Şekil 3-6 Türkiye'deki Kalıcı GPS İstasyonları	71
Şekil 3-7 DGPS' siz İSTA İstasyonunun Pozisyon Hataları.....	72
Şekil 3-8 İSTA İstasyonunun Kalman Filtreli DGPS Çözümü (ANKR referans istasyon)	73
Şekil 3-9 İSTA İstasyonunun En Küçük Kareler Yöntemine Göre DGPS çözümü.....	74
Şekil 3-10 DGPS Veri Aktarım Teknikleri	80
Şekil 3-11 LADGPS Tekniği.....	81
Şekil 3-12 WADGPS Ağı.....	84
Şekil 3-13 MSAT-1 "North" ve "East" Konum Hata Miktarı.....	85
Şekil 3-14 DGPS Farklarını Harita Üzerinde Görüntüleme Bağlantısı.....	87
Şekil 3-15 İnternet Bağlantılı Aracın Sadece GPS Konum İzleri	89
Şekil 3-16 İnternet Bağlantılı Aracın DGPS Konum İzleri	89
Şekil 4-1 Garmin II GPS alıcısı.....	90
Şekil 4-2 Garmin II GPS İlk Açılış Menüsü	91
Şekil 4-3 Garmin II GPS Sayfaları	91
Şekil 4-4 Garmin II GPS RS-232 Bağlantısı	92
Şekil 4-5 Eskişehir İli Odunpazarı Bölgesi Haritası.....	93
Şekil 4-6 Sarper Caddesinde GPS Ölçüm Sonucu	94
Şekil 4-7 Sarper Caddesinde 3 adet GPS Ölçüm Sonuçları	95
Şekil 4-8 Sarper Caddesinde DGPS Ölçüm Sonucu	96
Şekil 4-9 GPS Hata Analizi	97
Şekil 4-10 DGPS Hata Analizi	98

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1-1 GPS Uydusu Durum Bilgileri	11
Tablo 1-2 GPS Uydu Sinyali Bileşenleri.....	16
Tablo 1-3 GPS Seyrüsefer 4 ve 5 no.lu Mesaj Bloğu İçerikleri	24
Tablo 1-4 Almanak Verileri	26
Tablo 1-5 GPS ile GLONASS karşılaştırması	30
Tablo 1-6 WGS-84 Parametreleri.....	31
Tablo 1-7 WGS-84 (G863) ile ITRF94 Arasında Benzerlik Dönüşümü İle Bulunan Değerler	32
Tablo 2-1 Efemeris Hataları Nedeniyle Ölçülen Kenarlardaki Hata Oranları	42
Tablo 2-2 k_1 , k_2 ve k_3 İçin Deneysel Olarak Belirlenmiş Değerler.....	50
Tablo 2-3 Islak ΔS_w ve Kuru ΔS_d Bileşen Büyüklükleri.....	50
Tablo 2-4 SPS Kullanıcıları İçin Pseudorange Hata Büyüklükleri	60
Tablo 2-5 DOP Faktörleri.....	61
Tablo 3-1 SPS İçin GPS Pseudorange ve Konum Doğrulukları	64
Tablo 3-2 DGPS Doğrulukları (SPS Kullanıcısı için).....	65
Tablo 3-3 Test İçin Kullanılan Sabit İstasyonlar.....	71
Tablo 3-4 İstasyonlar Arası Mesafe (km).....	71
Tablo 3-5 RTCM Mesajı İçeriği.....	78
Tablo 3-6 DGPS Tekniklerine Göre Elde Edilen Doğruluklar	86

KISALTMALAR**A**

Altitude: Yükseklik

AOC: Auxiliary Output Chip

AS: Aldatmaya Karşı Koyma, Anti Spoofing

B

BIPM: The Bureau International des Poids et Mesures

C

C/A kod: Coarse/Acquisition, Clear/Access

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

CDMA: Code Division Multiple Access

CORS: Continuously Operating Reference Stations, sürekli sabit istasyonlar

D

DGPS: Diferansiyel GPS

DGPSCE: DGPS Correction Engine, DGPS Gözlem Sonrası Değerlendirme Yazılımı

DoD: A.B.D. Savunma Dairesi (Department of Defence)

DOP: Dilution Of Precision, duyarlılık kaybı faktörleri

E

EUREF: European Reference System

G

GARMIN 2+: Çok amaçlı üretilmiş elde taşınabilir GPS alıcısı

GAST: Greenwich Apparent Sidereal Time

GMST: Greenwich Mean Sidereal Time

GLONASS: GLObal NAVigation Satellite System, Rus Silahlı Kuvvetleri Uzay Kuvvetleri Komutanlığına bağlı GPS sistemi

GPRS: General Packet Radio Service

GPS: Global Konum Belirleme Sistemi, NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) GPS olarak adlandırılır.

GTYH: Gemi Trafik Yönetim Hizmetleri

H

HDOP: Horizontal Dilution Of Precision, yatay duyarlılık kaybı faktörleri

HOW :Hand Over Word

I

IERS:International Earth Rotation and Referance System Service

INMARSAT: WAAS mesajlarını yer merkezli haberleşme uyduları vasıtasıyla kullanıcılara ulaştıran uydular

L

L1: Link frekansı 1575.42 MHz

L2: Link frekansı 1227.60 MHz

L5 : Link frekansı 1176.45 MHz

LADGPS: Local Area DGPS, Küçük Alan DGPS

Latitude: Enlem, x- eksen

Longitude: Boylam, y- eksen

LMST:Local Mean Sidereal Time

M

MF: Medium Frequency

MSAT:Nort America Geosynchronous Satellites

N

NASA:National Aeronatics and Space Administration

NMEA:National Marine Electronics Association

NIMA: National Imagery and Mapping Agency

NLS:Navigation Light Sat, INMARSAT benzeri bir başka sistem

NTRIP:Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

O

OCS :İşletim Kontrol Sistemi, (Operational Control System)

P

P-kodu: Precise/Protected Code

PDOP: Position Dilution Of Precision, konum duyarlılık kaybı faktörleri

PRN: uydu kod numarası (Pseudo Random Noise)

Pseudorange: uydu-alıcı uzaklığı

PRC: Pseudorange Rate Correction

R

RTCM-SC 104: Radio Technical Commission for Marine Services Special Committee 104 standardı

RRC: Range Rate Correction

RINEX: Receiver Independent Exchange

S

SA: Seçimli Doğruluk Erişimi (Selective Availability)

Saastamoinen veya Simplified Hopfield modelleri: Troposfer düzeltmelerinin yapılmasını sağlar

SM:Security Modüle

SPS :Standart Konum Belirleme Hizmetinin , Standart Positioning Service

T

TAI: Uluslararası Atomik Zaman (International Atomic Time)

TEC: Toplam Elektron Miktarı

TDT: Terrestrial Dynamical Time, Yersel Dinamik Zaman

U

UERE: (User Eguivalent Range Error), pseudorange ölçümünde sapmalara neden olan hataların tamamının oluşturduğu sonuç hata

USNO:(US Naval Observatory

UTC:Coordinated Universal Time

V

VDOP: Vertical Dilution Of Precision, dikey duyarlılık kaybı faktörleri

VHF: Very High Frequency

Y

Y-Kod: Kriptolanmış P kod.

W

W kod:Kripto kodu

WGS-84: (World Geodetic System-1984), GPS ile konum belirlemede yersel referans sistemi,

WNRO: (Week Number Roll Over), GPS Haftası Bitimi;

WADGPS: (Wide Area DGPS), Büyük Alan DGPS

WAAS: (Wide Area Augmentation System), bütünleşik bir navigasyon sistemi

Wingsps: GPS verilerini harita üzerinde takip edebilmek, seyrüsefer yardımcısı ticari programdır.

EKLER

EK-A: NMEA 0183 formatında RS-232 hattından kayıt edilen veriler (CD ortamında verilmiştir.)

EK-B: DGPS Ölçüm sonucu enlem, boylam ve HDOP Verilerini Excel Çalışma Sayfasına Yerleştiren Program Kodu (CD ortamında verilmiştir.)

EK-C: Odunpazarı Sarper Caddesi yakınında kayıt edilen 4 adet enlem, boylam ve HDOP GPS ölçüm verileri ile 3 adet DGPS ölçüm verileri (CD ortamında verilmiştir.)

GİRİŞ

Diferansiyel GPS (DGPS) ile hareketli objelerin izlenmesi yeterli bir doğrulukta sağlanabilmektedir. Eş zamanlı diferansiyel GPS, araç takibi, nakliye ve otobüs şirketlerinin araçları, banka ve sigorta şirketlerinin araçlarının izlenmesi konularında, gemilerin boğaz gibi dar geçitlerde ve açık denizlerde rotalarının ve yerlerinin belirlenerek güvenli bir seyir yapmalarına yardımcı olmak amacıyla etkili bir şekilde kullanılmaktadır. DGPS yönteminde en az iki alıcı olması gerekir. Bunlardan biri, koordinatları WGS-84 sisteminde bilinen bir noktada referans alıcı olarak yerleştirilir ve bu noktada hareketsiz kalırken, görünen bütün uydulara olan uzunluk ölçümlerini devamlı olarak toplar. Gözlemlere getirilecek düzeltmeler, bilinen istasyon ile görünen uydular arasındaki ölçülen ve hesaplanan uzunluk farklarından elde edilir. Düzeltme vektörleri, RTCM arayüzüne uygun formata dönüştürülerek kullanıcılara veri iletimi yoluyla iletilir. Hareketli (mobil), yani konumları hassas olarak bilinmeyen alıcılar, referans istasyonda hesaplanan hatalar gönderildiğinde bu hataları kendi ölçümlerinden çıkararak, kendi konum doğruluklarını iyileştirmiş olur. Bu amaç için hesaplanan ve gönderilen hata vektörlerinden oluşan düzeltmeler diferansiyel düzeltmeler olarak bilinir.

DGPS yönteminde klasik GPS' ten farklı olarak; referans ve hareketli istasyonlardaki ölçme duyarlılığını etkileyen hataların ayrı ayrı ve tek tek belirlenmesi yerine bileşik etkilerin büyüklüğü ve yönü hesaplanmaktadır. Ancak bu durumda referans alıcılar ile hareketli alıcılar arasında uzaklığa bağlı olarak, uzaklık arttıkça doğruluk düşecek şekilde ters bir ilişki oluşmaktadır. Düzeltmelerin geçerliliği, gecikmenin artmasıyla düşer. Bu uygulamada olduğu gibi kısa mesafeli DGPS (LADGPS) uygulamalarında koordinatlardan düzeltmelerin hesaplanması yöntemi tercih edilmelidir.

Bu çalışmada da vurgulandığı gibi internet üzerinden eş zamanlı DGPS fark verilerinden yararlanarak istenilen seviyede konum bilgileri hassas olarak Eskişehir caddelerinde kararlı konum izleri elde edilebilmiş, bir hassas konum gösterim sistemi uygulaması yapılmıştır. GPRS hizmeti genişleyen ülkemizde hareketli kullanıcıların bu tekniği kullanarak hassas konum elde edebilecekleri gösterilmiştir. Ayrıca başta Amerika kıtası olmak üzere Avrupa, Avustralya, Asya kıtalarında RTCM formatında DGPS verisi sağlayan yaygın altyapıların, ülkemizde de önemi benimsenerek hızla uygulanma safhasına geçilmesinin önemi vurgulanmıştır.

DGPS yeni teknik ve metotlarla desteklenerek geniş bir kullanım olanağı sağlamaktadır. Bu sistem uçakların seyrüsefer/uçuş test yapılmasında, nakliye, seyahat, banka ve sigorta şirketlerinin araç takiplerinde, diğer taraftan açık denizlerde gemi, tanker ve yoğun trafiğin yaşandığı kanal gibi su yollarında güvenli bir seyir olanağı sağlamaktadır.

1. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

1.1 Kullanım Alanları

“NAVSTAR/GPS” (Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) ABD Savunma Dairesi tarafından geliştirilen, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla:

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

Sistemle ilgili çalışmalar 1973 yılında ABD Deniz Kuvvetlerinin "TIMATION" programı ile Hava Kuvvetlerinin "621B" projesini birleştirilmesi ile başlatılmış ve Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün (JPO, Joint Program Office) sorumluluğuna verilmiştir.

GPS'in kullanım alanları çok genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir:

- a. Askeri Kullanım Alanları;
 - Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
 - Hedef bulma

- Arama-Kurtarma
- Füze güdümü
- INS sistemlerinin desteği
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı

b. Sivil Kullanım Alanları;

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Jeodezi ve jeodinamik amaçlı ölçmeler
- Kadastral ölçmeler
- Kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar
- Yerel ve global deformasyon ölçmeleri
- Araç takip sistemleri
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı
- Aktif kontrol ağları
- CBS veri tabanlarının geliştirilmesi
- Turizm, tarım Hidrografik ölçmeler
- Hidrografik ölçmeler

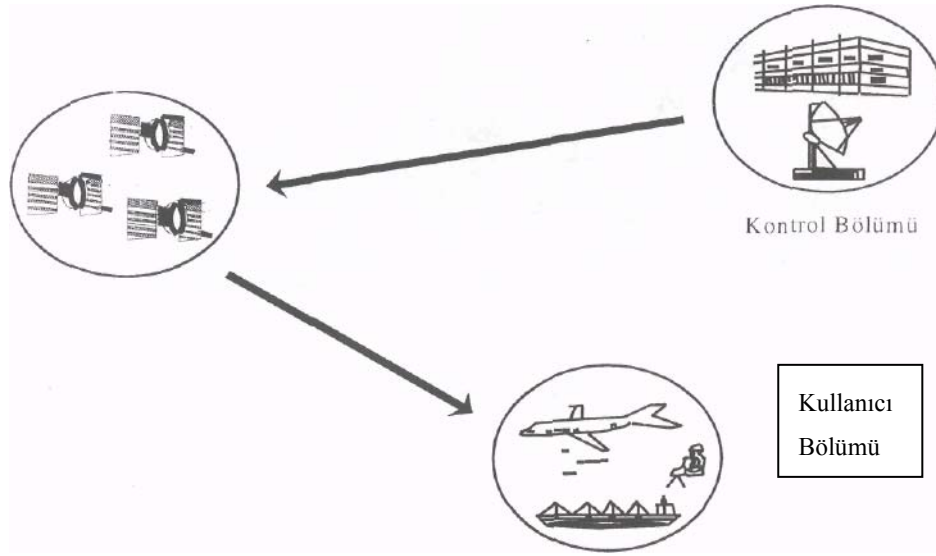
Klasik jeodezi ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında GPS'in üstün ve zayıf tarafları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GPS alıcı anteninin uydü sinyalinü izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır.
- Gece ve gündüz sürekli (24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, ölçücü hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedenleriyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmektedir.
- Elde edilen jeodezi doğruluklar en duyarlı klasik jeodezi tekniklerle elde edilenlerle eşit ya da daha iyidir.

GPS' in zayıf tarafı ise, alıcı anteni mutlaka açık gökyüzünü görmelidir. Başka bir deyişle, GPS sinyalleri radyo sinyalleri gibi kuvvetli olmadığından kapalı yerlerde, çok sık ağaçlıklı bölgelerde ve madenlerde kullanılamamaktadır.

1.2 GPS Bölümleri

GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan Uzay Bölümü, tüm sistemi yöneten Kontrol Bölümü ile alıcıların bulunduğu Kullanıcı bölümüdür (Şekil - 1.1).



Şekil 1-1 GPS' in Bölümleri

1.2.1 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, (Şekil - 1.2), (Ekim 2000 tarihi itibarıyla toplam 28 GPS uydusu faaliyet göstermektedir). Yedek uyduların amacı, esas uydulardan herhangi birinde sorun olması halinde bunun yerine devreye girmek olmakla birlikte günümüzde uyduların tamamı aktif halde olup ölçülerde kullanılmaktadır.

Her bir GPS uydusu;

- Senkronize zaman sinyallerini

- Tüm diğer uydulara ait konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ilişkin bilgiler iki taşıyıcı frekanstan (L1,L2) yayınlar.
- Kontrol Bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır.

Uzay bölümünün genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

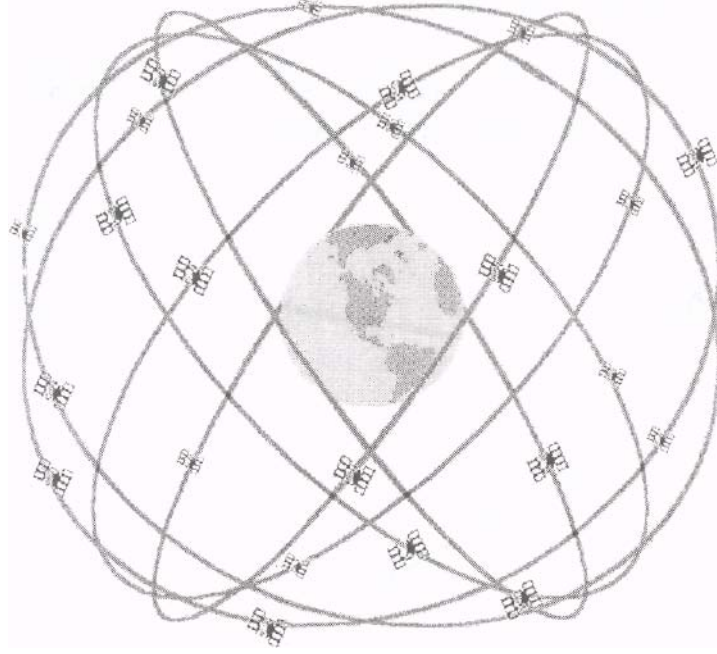
- Uydular yeryüzünden yaklaşık 20 - 200 km (yer merkezinden 26 - 500 km) uzaklıkta olup 11 saat 58 dakikada bir tam devir yaparlar.
- Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 tür ve her bir uydu yaklaşık 5 saat ufuk hattı üzerinde kalır. Türkiye bölgesinde enleme göre 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.

Uydulara ilişkin genel özellikler ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Altı farklı tip GPS uydusu mevcut olup bunlar, Block I, Block II, Block IIA, Block IIR (Block IIR-M), Block IIF ve Block III uydularıdır.
- Block I uyduları 1978 - 1985 yılları arasında yörüngeye oturtulmuş olup ağırlıkları yaklaşık 845 kg ve kullanım ömürleri yaklaşık 7.5 yıldır. Block I uydularının ekvator düzlemi ile yaptığı açı 63 derecedir. Şu anda Block I uydularının hiç biri yörüngede değildir.
- Block II uyduları, Block I uydularından farklı özelliklere sahip olup Ekvatorla 55 derecelik açı yapmaktadır. Yaklaşık 1500 kg ağırlığında olup

ortalama ömürleri 7 yıldır. İlk Block II uydusu 1989 yılında yörüngeye oturtulmuştur. Block I uydu sinyalleri sivil kullanıma tamamen açırken, Block II uyduları askeri güvenlik gerekçesiyle Seçimli Doğruluk Erişimi (SA) ve Aldatmaya Karşı Koyma (AS) özellikleri ile donatılmış ve böylece sivil kullanıcılara kısıtlamalar getirilmiştir.

- Block IIA (A;Advanced) uyduları, uydular arası haberleşebilirle olanaklarına sahip olup, bazılarında laser ölçümlerine olanak veren reflektörler bulunmaktadır. İlk Block IIA uydusu 1990 yılında yörüngeye oturtulmuştur.
- Block IIR/Block IIR-M (R:Replenishment/Replacement, M:Modified) uyduları Block II uydularının yerini almak üzere üretilmiş olup ortalama ömürleri yaklaşık 10 yıldır. Bu uyduların en önemli özelliği, saatlerinin atomik olmasıdır. Ağırlıkları yaklaşık 2000 kg olmasına karşılık maliyetleri Block II uydularının yarısı kadardır. İlk Block IIR uydusu 1997 yılında yörüngeye oturtulmuştur. Block IIR uyduları Kontrol Bölümünün desteği olmaksızın kullanıcılara 180 günlük navigasyon olanağı sağlama özelliğine sahiptir. Ayrıca, C/A kodun L2 frekansı üzerinden de yayınlanması uygulamasına 2003 yılından itibaren Block IIR-M uydularından başlanılacaktır.
- Block IIF (F:Follow On) uydularının 2005-2010 yılları arasında yörüngeye yerleştirilmesi planlanmıştır. A.B.D, Uluslararası Radyonavigasyon Hizmetleri Telekomünikasyon Birliği tarafından sivil amaçlı yeni bir sinyal olarak 1176.45 MHz frekansındaki L5 sinyalinin bu uydularda kullanılmasına karar verilmiştir.
- Block III uyduları henüz tasarım aşamasında olup, bunların 2010 yılından itibaren yörüngelere yerleştirilmesi planlanmıştır. Bu uyduların en önemli özelliği askeri amaçlı kullanımlarla ilgilidir. Örneğin, elektronik karıştırmaya ve aldatmaya karşı koyma (AS) özelliklerinin güçlendirilmesi amacıyla bu uydulardan M kodu sinyalinin yayınlanması düşünülmektedir.



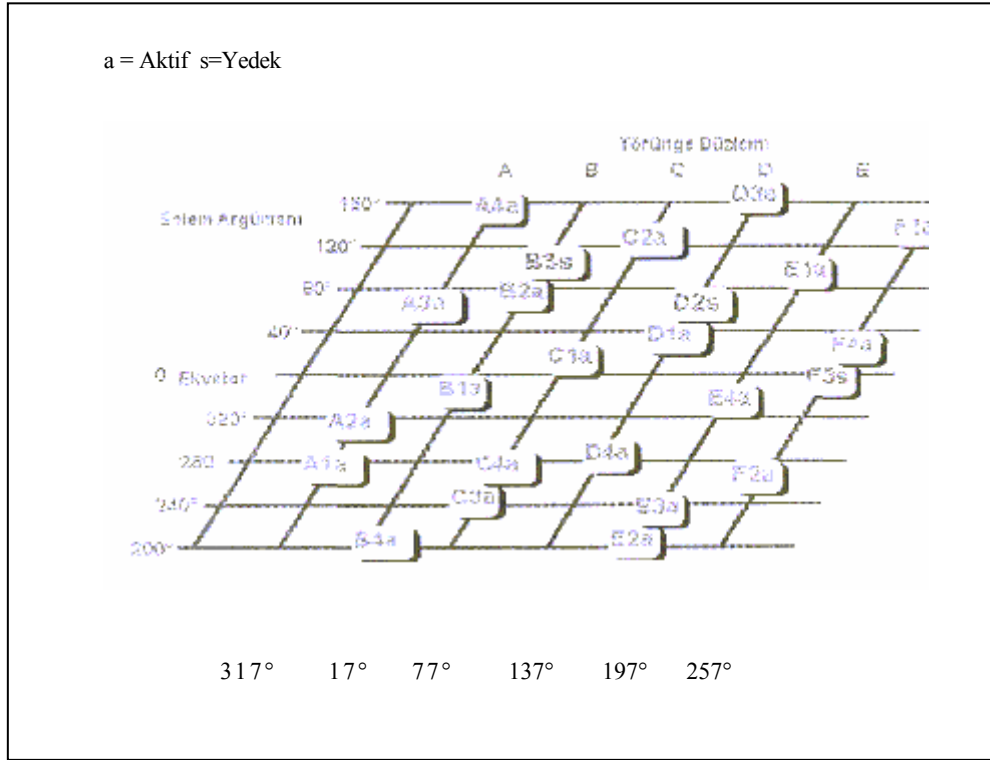
Şekil 1-2 GPS Uzay Bölümü

GPS uydularını tanımlamada değişik yöntemler mevcut olup, bunlar yörüngeye yerleştirilme sıra numarasına, uydu PRN kod numarasına, yörünge konumundaki numarasına, NASA katalog numarasına vb. şekilde sıralanabilir. Olası karışıklıklara meydan vermemek amacıyla uygulamada en fazla PRN kod numaraları kullanılmaktadır. Uydularla ilgili özet bilgiler Tablo - 1.1' de verilmektedir.

PRN kod, alıcının uyduları izlerken birbirinden ayırt edebilmesine yaramaktadır. PRN sayıları haftalık (GPS haftası) rakamlar olup, örneğin PRN 13 (ya da SV13)'ün anlamı "13 numaralı uydu PRN kodunun 13' üncü haftasına ait bilgileri ' yayınlamaktadır" demektir. Çok kullanılan diğer bir yöntemde ise her bir uyduya -yörüngeye oturtulduğu sırayı gösteren bir rakam verilmiştir. Örneğin, NAVSTAR 1 yörüngeye ilk oturtulan uydu, NAVSTAR 8 ise yörüngeye 8'inci oturtulan uydudur.

Tablo - 1.1' den de görüldüğü gibi uyduların yörünge konumları harflerle, yörünge düzlemi içindeki konumları ise rakamla ifade edilmektedir, (Örn. E4,C1,C3 gibi). Dolayısıyla Şekil - 1.2' de görülen uydu yörüngeleri düzlem üzerinde gösterilirse Ekvator ve uydu

yörüngeleri bir düz çizgi halinde olacaktır. Bunun üzerindeki uydu konumları örnek olarak Şekil - 1.3' deki gibi görünecektir.



Şekil 1-3 GPS Uydu Yörüngeleri ve Konumları

Tablo 1-1 GPS Uydusu Durum Bilgileri

Uydu No	PRN	Block No	Yörüngeye	Yörüngesel	Faaliyete Geçtiği	Faaliyetinin Sona Erdiği
1	4	I-1	22.02.1978	--	29.03.1978	25.01.1980
2	7	I-2	13.05.1978	--	14.07.1978	30.08,1980
3	6	I-3	06.10.1978	--	09.10.1978	19.04.1992
4	8	I-4	11.12.1978	--	08.01.1979	27.10.1986
5	5	I-5	09.02.1980	--	27.09.1980	28.11.1983
6	9	I-6	26.04.1980	--	16.05.1980	10.12.1990
7	..	I-7	18.12.1981	--	-	-
8	11	I-8	14.07.1983	--	10.08.1983	04.05.1993
9	13	I-9	13.06.1984	--	19.07.1984	25.02.1994
10	12	I-10	08.09.1984	--	03.10.1984	18.11,1995
11	3	I-11	09.10.1985	--	30.10.1985	27.02.1994
14	14	II-1	14.02.1989	E1	14.04.1989	14.04.2000
13	2	II-2	10.06.1989	B3	12.07,1989	Devam Ediyor
16	16	II-3	17.08.1989	E5	13.09.1989	Devam Ediyor
19	19	II-4	21.10.1989	A4	14.11.1989	Devam Ediyor
17	17	II-5	11.12.1989	D3	11,01.1990	Devam Ediyor
18	18	II-6	24.01.1990	F3	14.02.1990	Devam Ediyor
20	20	II-7	25.03.1990	B5	19.05.1996	10.05,1996
21	21	II-8	02.08.1990	E2	31.08.1990	10.05.1996
15	15	II-9	01.10.1990	D2	20.10.1990	10,05.1996
23	23	IIA-10	26.11.1990	E4	10.12.1990	10.05.1996
24	24	IIA-11	03.07.1991	D1	30.08.1991	Devam Ediyor
25	25	IIA-12	23.02.1992	A2	24.03.1992	Devam Ediyor
28	28	IIA-13	09.04.1992	C5	25.04.1992	05.05.1997
26	26	IIA-14	07.07.1992	F2	23.07.1992	Devam Ediyor
27	27	IIA-15	09,09.1992	A3	30.09.1992	Devam Ediyor
32	1	IIA-16	22.11.1992	F1	11.12.1992	Devam Ediyor
29	29	IIA-17	18.12.1992	F4	05.01.1993	Devam Ediyor
22	22	IIA-18	02.02,1993	B1	04.04.1993	Devam Ediyor
31	31	IIA-19	30.03.1993	C3	13.04.1993	Devam Ediyor
37	7	IIA-20	13.05.1993	C4	12.06.1993	Devam Ediyor
39	9	IIA-21	26.06.1993	A1	21.07.1993	Devam Ediyor
35	5	IIA-22	30.08.1993	B4	20,09.1993	Devam Ediyor
34	4	IIA-23	26.10.1993	D4	01.12.1993	Devam Ediyor
36	6	IIA-24	10.03.1994	C1	28.03.1994	Devam Ediyor
33	3	IIA-25	28.03.1996	C2	09.04,1996	Devam Ediyor
40	10	IIA-26	16.07.1996	E3	15.08.1996	Devam Ediyor
30	30	IIA-27	12.09.1996	B2	01.10.1996	Devam Ediyor
38	8	IIA-28	06.11.1997	A5	18.12.1997	Devam Ediyor
42	12	IIR-1	17.01.1997	--	--	--
43	13	IIR-2	22.07.1997	F5	31.01.1998	Devam Ediyor
46	11	IIR-3	06.10,1999	D2	03.01.2000	Devam Ediyor
51	20	IIR-4	10.05.2000	E1	01.06.2000	Devam Ediyor
44	28	IIR-5	16.07.2000	B5	17.08.2000	Devam Ediyor

1.2.2 Kontrol Bölümü

Kontrol Bölümü; Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İşletim Kontrol Sistemi (OCS)'nden meydana gelmektedir. Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Hawaii, Coiorado Springs, Cape Canavaral, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs Ana Kontrol İstasyonu; Hawaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Cape Canavaral ve Kvvajalein 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 etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir, (Şekil-2.4). Ana Kontrol İstasyonu, tüm sistemin kontrolünden, her bir uydu için uydu efemeris bilgilerinin ve saat düzeltmelerinin hesabından sorumludur. Diğer 4 istasyon ise izleme istasyonu olarak görev yapmakta ve uydu efemerislerinin belirlenebilmesi için gerekli verileri toplamaktadır. Ayrıca Ascencion, Diego Garcia, Cape Canavaral ve Kwajalein istasyonlarında efemeris bilgilerini ve saat düzeltmelerini uydulara yüklemek amacıyla yer antenleri de bulunmaktadır. Uydulara bilgi yükleme işlemleri günde bir ya da iki defa yapılmaktadır, (Şekil - 1.5). Efemeris parametrelerinin GPS uydu yörüngelerine olan uyumu 4-6 saat kadar geçerli olup, bu süreden sonra bozulma zamanla orantılı olarak artmaktadır.

Uydulara yüklenen Navigasyon Mesajı bilgileri, uydu (Block) modeline bağlı olarak en az 14 günlük an 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.

Tüm bu faaliyetleri dışında Kontrol Bölümü, uydularda meydana gelen sorunları çözmekte, SA ve AS özelliklerini kontrol altında tutmaktadır.



Şekil 1-4 GPS Kontrol Bölümü

1.2.3 Kullanıcı Bölümü

GPS çok farklı amaçlar için kullanılabilen bir sistem olup, elinde GPS alıcısı bulunan herkes bir kullanıcıdır. GPS'in kullanım alanlarına bakıldığında Kullanıcı Bölümü için askeri ve sivil kullanıcılar olmak üzere iki ayrı sınıflama yapılabilir. Dolayısıyla, daha sonraki konularda değinileceği gibi, GPS alıcıları da askeri ve sivil amaçlı alıcılar diye sınıflandırılabilirler.

1.3 Sinyal Özellikleri

1.3.1 Temel Kavramlar

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 ve L2 ' dir. 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.

GPS sisteminin tasarımı aşamasında bir çok taşıyıcı frekans incelenmiştir. Karşılaştırmalar özellikle L-Bant (1-2 GHz), UHF (400 MHz) ve C-Bant (4-6GHz) arasında yapılmıştır. Sonuçta,

gerek frekans tahsisindeki kolaylıklar, gerekse iyonosferik etkilerin diğer bantlara göre çok daha küçük olması nedeniyle L-Bant kullanımı tercih edilmiştir. Bunların dışında Kontrol Bölümü ile uydular arasındaki veri akışı S-Bant (1783.74 ve 2227-5 MHz) üzerinden yapılmaktadır.

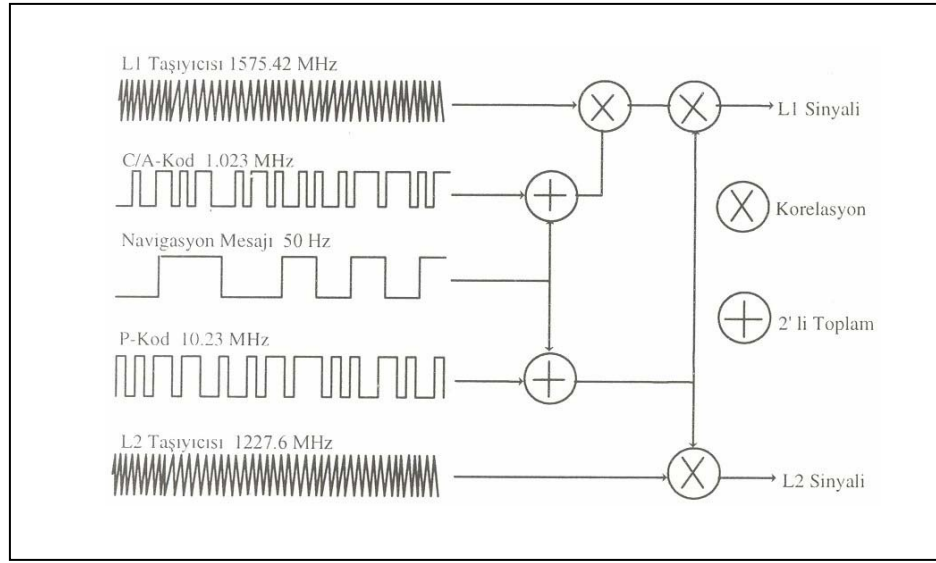
GPS sisteminde çift frekans olmasının amaçları;

- L1 frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi ya da elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans (backup) görevi görmesi
- Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlanması olarak sıralanabilir.

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 bir çok tartışmalara neden olmuştur. 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 frekans 2005 yılından itibaren fırlatılması planlanan Block IIF uyduları üzerinden yayınlanacak olup buna L5 adı verilmiştir. L5 sinyalinin frekansı 1176.45 MHz olacaktır. Bu sinyalin 2012 yılına kadar 18 uyduda da olması planlanmıştır. L5 sinyalinin asıl olarak hava araçlarının güvenli navigasyonu amacıyla kullanılması planlanmakla birlikte büyük bir olasımda tüm kullanıcılara açık olacaktır. Bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir.

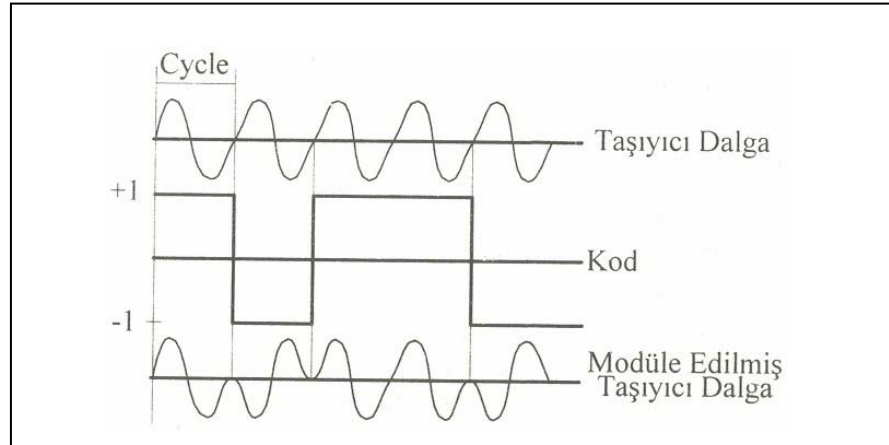
L1 ve L2 taşıyıcı frekansları, uydu saat düzeltmeleri, yörünge parametreleri gibi bilgilerin yeryüzündeki alıcıya ulaştırılabilmesi amacıyla kodlarla ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bu modülasyon işleminde her bir uyduya tek anlamlı PRN kod numarası verilmiştir. Tüm uydular aynı taşıyıcı frekansta veri yayını yapmasına karşın, uydu sinyalleri PRN kod modülasyonu tekniği nedeniyle birbiri ile karışmamaktadır. Her uydunun PRN kodu diğerlerinden bağımsız ve tek anlamlı olduğundan uydu sinyalleri birbirinden CDMA tekniği ile ayırt edilebilmektedir.

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve Navigasyon Mesaj verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları C/A kod ve P kod olarak isimlendirilmektedir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca tek bir PRN kodu (P-kod) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir, (Şekil - 1.5). Şekil 1.5' den de görülebileceği gibi L1 taşıyıcı frekansı üzerinde C/A kod, P-kod ve Navigasyon Mesajı bilgileri, L2 taşıyıcısı üzerinde ise P kod ve Navigasyon Mesajı bilgileri bulunmaktadır. Başka bir deyişle sivil kullanıcılara açık olan C/A kod yalnızca L1 üzerinde mevcuttur. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi C/A kod bilgisinin 2003 yılından itibaren Block IIR-M uyduları vasıtasıyla L2 üzerinden yayınlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 1-5 GPS Uydu Sinyali

C/A ve P kod durumları +1 ve -1'li ifadelerin karşılığı olan 0 ve 1'li (binary) değerlerle gösterilmektedir. Bu her bir 0 yada 1'e "chip" adı verilmektedir. Bunlar hiçbir şekilde veri taşımadığı için "bit" yerine "chip" adı kullanılmıştır. Normal durumdaki taşıyıcı 0 olup bunun 180 derece kaydırılması ile elde edilmektedir. Başka bir deyişle, kod durumunda her değişiklik oluşunda taşıyıcı dalgada 180 derecelik kayıklık oluşturularak ikili faz modülasyonu gerçekleştirilmektedir, (Şekil - 1.6). GPS uydu sinyali bileşenleri ve bunların frekans değerleri Tablo - 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1-6 Taşıyıcı Dalga/n "Biphase" Modülasyonu

Tablo 1-2 GPS Uydu Sinyali Bileşenleri

Bileşenin Adı	Frekans(Mhz)	Dalga Boyu (λ)
Temel Frekans	$f_0=10.23$	----
L1 Taşıyıcı	$154 \times f_0= 1575.42$	~ 19.0 cm
L2 Taşıyıcı	$120 \times f_0= 1527.60$	~ 24.4 cm
P-Kod	$f_0=10.23$	30 m
C/A-Kod	$f_0/10=1.023$	300 m
W- Kod	$f_0/20=0.5115$	----
Seyrüsefer Mesajı	$f_0/204600=50.10 \cdot 10^{-6}$	----

Alıcı içerisindeki taşıyıcı dalga izleme lupunu kontrol eden osilatör alıcı tarafından kaydedilen sinyalde frekans kayıklığı tespit eder. Gözlenen bu frekans uydu ve gözlemcinin birbirine göre hareketinin neden olduğu doppler etkisi nedeniyle nominal L1 ve L2 frekanslarından farklı olacaktır. Başka bir deyişle, sinyal yayınlayan kaynak (uydular) ile gözlemcinin (alıcı) birbirine göre hareketli olması durumunda alıcı tarafından kaydedilen sinyal doppler etkisi nedeniyle kayık olacaktır. Bu durumda uydudan yayınlanan sinyal (f_S), alıcıda kaydedilen sinyal (f_R)'den Δf kadar farklı olacaktır. Δf , uydunun alıcıya göre olan hareketinin radyal doğrultudaki hızı ile orantılı olup (relativistik etkiler göz ardı edilirse) bu durum,

$$\Delta f = f_R - f_S = -\frac{1}{c} \cdot v_s \cdot f_S \quad (1.1)$$

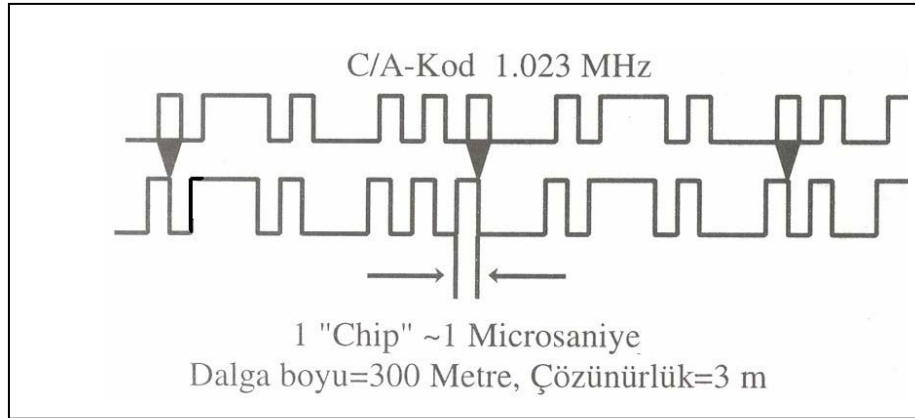
$$v_s = \frac{d\rho_R^{SV}}{dt} \quad (1.2)$$

ile ifade edilebilir.

1.3.2 C/A Kod Özellikleri

Daha önce de belirtildiği gibi C/A kod L1 taşıyıcısı üzerine modüle edilmiştir. Bu kod 1 MHz lik PRN kod olup, her 1023 bilik kod sonunda (milisaniyede bir) tekrar etmektedir. C/A kod periyodunun çok kısa seçilmesinin amacı GPS alıcılarının uydulara en kısa sürede kilitlenmesini sağlamaktır. Her bir uydu için farklı bir C/A kod PRN tahsis edilmiş olup bu kodlar "Gold Codes" adı verilen kodlar arasından seçilmiştir. C/A kod tüm kullanıcılara açıktır ve özellikle sivil standart konum belirleme hizmeti SPS için temel oluşturmaktadır. Ayrıca P-kodlu GPS alıcılarının daha uzun süreli olan P koduna kilitlenmesi için geçen süreyi azaltmakta da kullanılmaktadır.

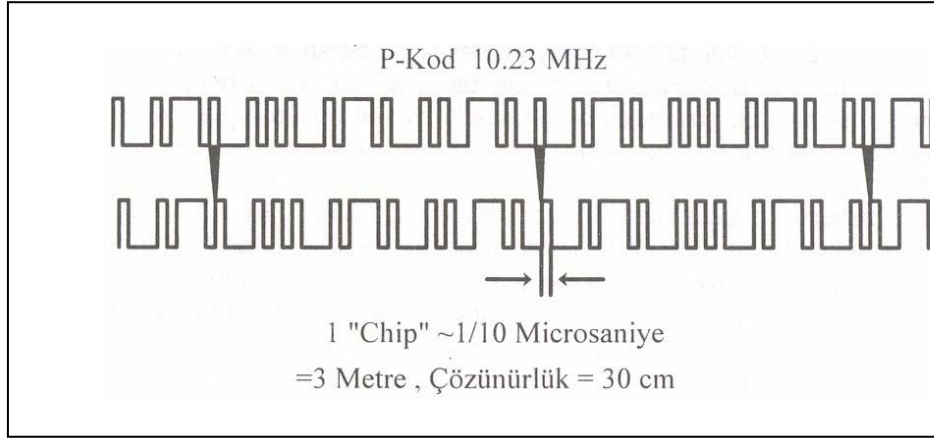
Yukarıda sözü edilen PRN kodlar bilgi taşımadığı için bunlara "chip" adı da verilmektedir. Dolayısıyla, C/A kod uzunluğu "1023 chip" olarak ifade edilirse, bu her milisaniyede bir tekrar etmektedir. Böylece iki "chip" arasındaki zaman farkı yaklaşık 1 mikrosaniye (1 mikrosaniye= 10^{-6} saniye) olup bu da yaklaşık 300 metrelik bir "chip" uzunluğuna karşılık gelmektedir. Günümüz sinyal işleme teknikleri ile sinyal çözünürlükleri gözlenen sinyalin dalga boyunun %1'i kadardır. P kod ve C/A kod için dalga boyu ile "chip" uzunlukları aynı anlamda olup, C/A kod'un dalga boyu 300 metre, çözünürlüğü 3 metredir (Şekil - 1.7).



Şekil 1-7 C/A Kod Dalgaboyu (Chip uzunluğu) ve Çözünürlüğü

1.3.3 P-Kod Özellikleri

P-Kod, L1 ve L2 taşıyıcıların her ikisinde de modüle edilmiş olup yaklaşık 266.4 günlük kod uzunluğundadır. Kod uzunluğunun tamamı birer haftalık toplam 37 haftaya bölünmüştür. Her bir uyduya bu 37 haftalık Kod'un l'er haftalık bölümleri tahsis edilmiş olup bu da o uydunun PRN numarasını ifade etmektedir. Böylece 37 ayrı PRN P-kodu tahsis edilmiş olmaktadır. Kodlar her GPS haftası başında (Cumartesi gece yarısı) tekrar etmektedir. Eğer P-kod her hafta sıfırlanıp yeniden yayınlanmasaydı, toplam yayınlanma süresi yaklaşık 37 hafta sürecekti. Oysa 37 haftalık periyod birer haftalık bölümlere ayrılarak her bölüm bir GPS uydusuna ve yeryüzü yayın istasyonlarına tahsis edilmiştir. Böylece uydulara ait hiçbir bölüm (PRN kodu) diğeriyle karışmamakta ya da çakışmamaktadır. P kod "chip" uzunluğu 30 metre olup, çözünürlüğü 30 cm.dir, (Şekil - 1.8).



Şekil 1-8 P Kod "chip" Uzunluğu ve Çözünürlüğü

P-kod gibi uzun periyotlu kodların yeryüzündeki alıcılar tarafından hiçbir destek olmaksızın doğrudan alınması çok zordur. Bu nedenle, P-kodun doğrudan alınması sırasında arada geçen zamanı azaltmak için Z-sayacı tanımlanmıştır. Z-sayacı ilk GPS haftası başlangıcından (5 Ocak 1980 gece yarısından) itibaren ölçü anına kadar kaç tane 1.5 saniyelik epok geçtiğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, Z-sayacı 1024 haftada bir sıfırlanmaktadır. Daha sonra anlatılacak olan Navigasyon Mesajının her bir alt bölümü 6 saniye (4x1.5 sn) sürmektedir. Ayrıca, GPS alıcısının P-koduna kilitlenebilmesi için Navigasyon Mesajının her bir 6 saniyelik alt bölümünde HOW kelimesi vardır. HOW kelimesi her alt bölümün ikinci kelimesi olup, bir sonraki bölümün yayınlanma zamanına ilişkin zaman belirteci ile bir sonraki alt bölümün oluşturulmasında P-kodun hangi bölümünün kullanıldığı ile ilgili bilgi vermektedir. Dolayısıyla, HOW kelimesi 4 ile çarpıldığında bir sonraki alt bölümün başlangıcındaki Z-sayacı değerini vermektedir. Böylece, GPS alıcısı önce C/A koda kilitlenip zaman bilgisini alır buradan HOW kelimelerini ve alt bölüm epoklarını belirler ve buradan bir sonraki alt bölüm epokuna ait P-Kod'a kilitlenir.

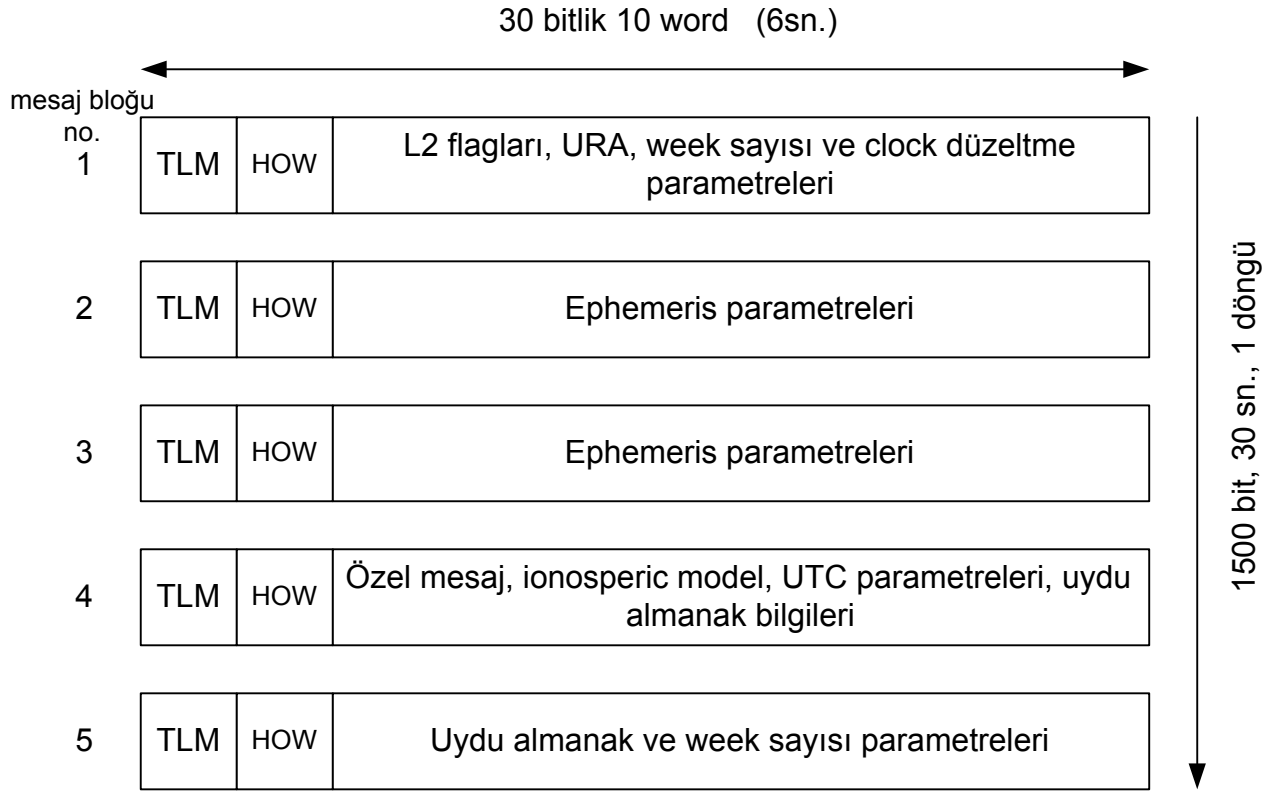
Diğer taraftan, C/A kod yardımı olmaksızın doğrudan P-Kod'a ulaşabilmek için diğer bir seçenek GPS alıcı konumunun ve GPS zaman bilgisinin çok duyarlı olarak bilinmesi ve bunun alıcıya girilmesidir.

P-Kodu'nu elektronik karıştırmaya ve aldatmaya karşı korumak için, bu kod AS özelliği kullanılarak kriptolanmıştır. Yaklaşık 500Hz civarında olan kripto kodu, W-Kod olarak bilinmekte olup, kriptolanmış P-Kodu'na Y-Kod adı verilmiştir. Dolayısıyla, Y-Kod kullanımı yalnızca yetkili (askeri ve sivil güvenlik) kullanıcılara açık hale gelmiştir. Y-Kod'dan P-Kod'a geçiş için GPS alıcılarında özel donanım (AOC, SM) ve yazılıma gereksinim vardır. C/A-kod için AS özelliği uygulanmamaktadır [1,19].

1.3.4 GPS Seyrüsefer Mesajı

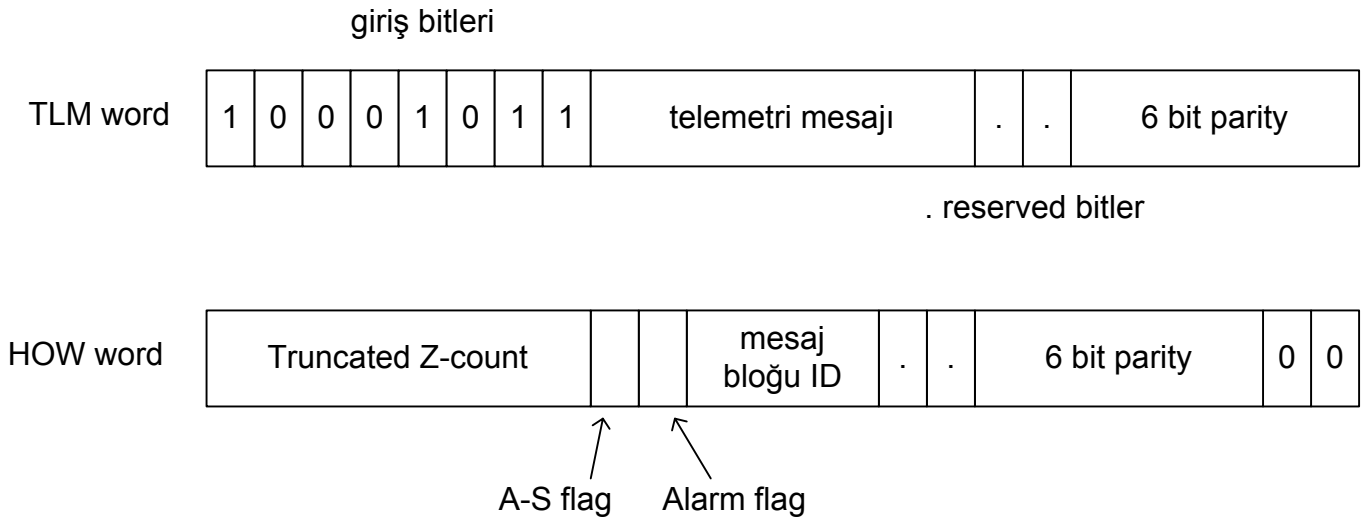
GPS seyrüsefer mesajları, GPS uydularından GPS alıcılarına 50 bps veri hızında gönderilir ve her 12.5 dakikada bir seyrüsefer bilgileri güncellenir. Sivil kullanıcılar için pozisyon ve hız hesaplamaları ve zaman senkronizasyonu için uydu frekans ve clock bilgileri C/A kodunda gönderilir. P kodu ise sadece askeri GPS alıcıları tarafından algılanabilir. Bir askeri GPS alıcısı, GPS seyrüsefer bilgisi alacağı zaman, C/A kodu ve arkasından P kodunu alır. P kodunun alıcı tarafından algılanabilmesi için sistem time of week bilgisini üretir. Bu bilgi handover word (HOW) olarak tanımlanır.

Şekil 1-9'da sunulan, GPS seyrüsefer mesajları 5 adet 30 bit içeren 10 word' lük bloklardan meydana gelir. Sonuçta $30 \times 10 \times 5 = 1500$ bit' ten oluşan yapıya bir döngü adı verilir ve her 30 sn' de bir yayınlanır. Her 12.5 dakikada bir ise bu döngüler içindeki bilgiler güncellenerek gönderilir.



Şekil 1-9 GPS Seyrüsefer Mesaj Blokları

Her 10 word' lük bloğun önünde bulunan ve her 6 sn' de bir yayınlanan word' ler Şekil 1-10'da sunulmuş olan Telemetry Word (TLM word) ve Handover Word (HOW word) olarak adlandırılır. Her iki word'de 30' ar bit içerir ve uydu tarafından üretilir. Blokta bulunan diğer 8 word ise yerdeki GPS kontrol birimi tarafından üretilir.



Şekil 1-10 TLM ve HOW Word Yapıları

TLM word 8 bit giriş bilgisi ve uydu telemetry mesajlarını içerir. Giriş bitleri, C/A kodu için zaman senkronizasyonu çözünürlüğü sağlar ve GPS alıcıları için üretilir. Büyük kısmı oluşturan telemetry bitleri ise, GPS alıcıları için değildir. Uydudan kontrol birimine real-time telemetry işleminin gerçekleştiğini bildiren bitlerdir.

HOW word 17 bit truncated Z-count bilgisi içerir. Bu bilgi bir sonraki word mesaj bloğunun başlama zamanını verir ve GPS alıcısı tarafından GPS zamanını kurmak için kullanılır. P kodu kullanımında Z-count ayrıca P gizli kodunu GPS alıcısına teslim eden birimdir. AS on/off biti askeri amaçlı olmayan GPS alıcılarının P koduna ulaşmaları durumunda bunu kontrol birimine bildiren alarm bitidir. Alarm biti, kullanıcı mesafe doğruluğunun (User Range Accuracy – URA) kötü olması durumunda GPS alıcısını uyararak bir sonraki bitleri beklemesi gerektiğini bildiren bittir. Mesaj bloğu kimlik (ID) bitleri, 5 seyrüsefer word yapısından hangisinin gönderildiğini belirten kimlik belirleme bitleridir. Parity bitleri, TLM ve HOW wordlerinin her ikisinde de kullanılan 6 bitlik doğruluk bitleridir. Parity algoritması olarak Hamming hata bulma yöntemi kullanılır. HOW word'ündeki son iki bit ise sıfıra çekilmiştir ve arkadan gelecek olan 8 word' lük bilgi blokları ile TLM ve HOW word' lerini ayırmak için kullanılır.

Her mesaj bloğunda TLM ve HOW word' lerinden sonra gelen 8 word seyrüsefer bilgilerini içerir. Bir GPS seyrüsefer döngüsünde bulunan 1,2 ve 3 no.lu mesaj blokları her 30 sn' de bir yayınlanır. Ancak bu bloklardaki bilgiler güncelleştirilmemiş olan aynı verileri içerir. 4 ve 5 no.lu bloklar ise 25 farklı şekilde veri yayınlarlar ve bunların herbirine page adı verilir. Sonuç olarak denilebilirki; 1, 2 ve 3 no.lu word blokları bir döngü içerisinde standarttır. 4 ve 5 no.lu word blokları ise 25 defa değişir ve $25 \times 30 \text{ sn} = 12.5$ dakika sonra tüm page yayını bitirilerek yeni döngüye başlanabilir. 12.5 dakika sonra GPS kontrol birimi tarafından güncelleştirilen seyrüsefer verileri tekrar GPS alıcılarına gönderilmeye başlanır.

GPS uyduları tarafından GPS alıcılarına gönderilen 5 mesaj bloğunun içerikleri aşağıda verilmiştir.

1.3.4.1 Mesaj bloğu # 1 içerikleri

- L2 flag kodu: Mesajın C/A mı yoksa P kodunda mı olduğunu belirtir.
- Week number: GPS zamanını bildirir. 1 Ocak 1980' den beri GPS gün, ay, yıl ve hafta sayısı olarak alıcılarına zaman bilgisi sunmaktadır.
- L2 P data flag: Seyrüsefer bilgisinin geçerli olup olmadığını bildirir.
- URA parametresi: URA bilgilerini içerir.
- Uydu sağlığı: Uydunun verimli çalışıp çalışmadığını belirten bilgidir.
- TGD : Sadece L1 kullanıcıları için ilave clock düzeltmesi sağlar. Bu para ödeyerek GPS seyrüsefer servisinden yararlanan askeri amaçlı kullanıcılar için sunulan çok hassas bir zaman ayar hizmetidir.
- IODC : Issue of data clock bilgisidir. Clock sinyali ile ilgili bilgi verir.
- tOC : Clock düzeltmesi için referans zaman bilgisidir.

- a_{f0} : GPS zamanına bağlı uydu clock offset bilgisidir.
- a_{f1} : Uydu clock fractional frekans offset bilgisidir.
- a_{f2} : Uydu clock drift rate bilgisidir.

Buradaki veriler GPS kontrol istasyonundan, uydulara gönderilen clock düzeltme bilgileridir. Bu şekilde GPS zamanı sürekli olarak güncelleştirilir.

$$\text{GPS zamanı (t)} = \text{Uydu zamanı (ts)} - \Delta t_s \quad (1.3)$$

olarak düzeltilir.

$$\Delta t_s = a_{f0} + a_{f1}(ts - t_{oc}) + a_{f2}(ts - t_{oc})^2 \quad (1.4)$$

1.3.4.2 Mesaj bloğu # 2 ve 3 içerikleri

Bu bloklarda bulunan toplam 16 veri word yapısı uydulara ait olan ve GPS alıcısına gönderilen pozisyon bilgilerini içerir. Word bloğu 3' de bulunan 8 word, word blok 2' deki 8 word' lük verilerin devamı niteliğindedir.

1.3.4.3 Mesaj bloğu # 4 ve 5 içerikleri

4 ve 5 no.lu word blokları uyduların almanac değişikliklerini içerir. Bu word blokları toplam 50 page bilgiden oluşurlar. Ancak tamamı kullanılmamaktadır. Bazı page yapıları daha sonraki gelişmeler için ayrılmıştır. Tablo - 1.3' de bu page içerikleri bulunmaktadır [2].

Tablo 1-3 GPS Seyrüsefer 4 ve 5 no.lu Mesaj Bloğu İçerikleri

Page	İçerik
Word bloğu 4, page 1,6,11,12,16,19,20,21,22,23 ve 24	Daha sonraki gelişmeler için ayrılmıştır.
Word bloğu 4, page 2,3,4,5,7,8,9 ve 10	Uydular için PRN kodunda ephemeris ve clock verilerini içerir. (25 ile 32 arası gelecekte kullanılacak uydular için)
Word bloğu 4, page 13,14 ve 15	Boş page yapıları.

Word bloğu 4, page 17	Özel kullanıcılar için bilgi taşıyan page.
Word bloğu 4, page 18	Sadece L1 kullanıcıları için ionosferik gecikme modeli ve GPS zamanı / UTC dönüşüm parametreleri.
Word bloğu 4, page 25	AS bayrak ve 32 uyduluk konfigrasyon için hazırlanmış yörünge bilgileri.
Word bloğu 5, page 1-24	1 ile 24 arasındaki, mevcut kullanılan uydular için ephemeris ve clock bilgileri.
Word bloğu 5, page 25	1 ile 24 arasındaki, mevcut kullanılan uydular için almanac referansları, week number ve sağlıklı veri bilgilerini içerir.

1.3.5 Almanak Bilgisi

Almanak verileri efemeris ve saat parametrelerinin belirli bir kısmını kapsamaktadır. Amacı, GPS alıcısının ölçüye başlamak için ilk açılması anında süratli bir şekilde uydulara kilitlenebilmesi için gerekli olan, doğruluğu oldukça düşük uydu koordinatlarını sağlamaktır. Ayrıca ölçü planlamalarında uydu görünürlük grafiklerinin çizilmesinde de kullanılmaktadır. Almanak verileri her uydu tarafından yayınlanmakta ve içerisinde tüm uydulara ait yaklaşık konum bilgileri bulunmaktadır. Almanak verileri Navigasyon Mesajının bir bölümü olarak yayınlanmakta olup içeriği Tablo - 1.4' de verilmiştir.

Tablo - 1.4' de verilen Almanak parametrelerinin tamamı, Navigasyon Mesajının iki ve üç no.lu alt bölümlerinde yayınlanan bilgilerin yalnızca bir kısmı olup doğruluğu çok düşüktür. Almanak verileri de Kontrol Bölümü tarafından en az 6 günde bir güncelleştirilmekle birlikte (eğer uydularda bir değişme ya da bozulma olmazsa) uzun bir süre için geçerli olmaktadır. Mevcut GPS uyduları için bu süre 180 gündür.

Tablo 1-4 Almanak Verileri

Parametre	Açıklaması
ID	Uydu PRN Numarası
HEALTH	Uydu Sağlık Durumu
WEEK	Ölçü Anındaki GPS Haftası
t_a	İçinde Bulunulan GPS haftasındaki Saniye Cinsinden Referans Epok
\sqrt{a}	Elipsoit Büyük Yarı Eksenin Karekökü
e	Dış Merkezlik (Eksentrisite)
M_0	Referans Epoktaki Ortalama Anomali (Mean Anomaly)
ω	"Perigee Argümanı"
δ_c	Offset Değeri (= 54°) (Eğim Düzeltmesi)
I_0	Yükselen düğüm noktasının t_a anındaki rektesansiyonu ile t_0 zamanındaki (GPS haftası başlangıcı) Greenwich yıldız zamanı arasındaki fark.
ω	Yükselen düğüm noktasının rektesansiyonundaki değişim
a_0	Uydu saati faz sapması (bias)
a_1	Uydu saati frekans sapması (bias)

1.4 Alıcı Sistemleri

Alıcı/işlemci birimi anten vasıtasıyla alınan uydu sinyallerini işleme tabi tutar (gelen sinyali RF bölümünde daha düşük frekansa dönüştürür), Navigasyon Mesajı verilerini toplar, konum, hız ve zaman hesabı için gerekli olan "pseudorange" ve "deltorange" ölçülerini gerçekleştirir. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için ise bir çok aşama takip eder. Bu aşamalar iki temel bölümde düşünülebilir.

- Sinyal Alma Aşaması: İlk aşama olup, alıcı izlenecek (gözlem yapılacak) uyduları burada belirler. Alıcı öncelikli olarak hafızasındaki en son uydu ve nokta konum bilgilerine dayalı olarak herhangi bir uydunun C/A kodunu yakalamaya çalışır. Eğer alıcı hafızasında uydulara ait hiçbir almanak verisi yoksa yada hafızasındaki değerler çok eski zamana aitse, alıcı doğrudan gökyüzünü taramaya başlar. Burada amaç gökyüzündeki herhangi bir uyduya kilitleyerek almanak bilgisini kaydetmek ve bu bilgiyi kullanarak diğer uyduları bulmaktır.

- Uydu İzleme Aşaması: Uydu sinyallerinin izlenmesinde korelasyon teknikleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı dalga frekansını izleyebilmek için taşıyıcı izleme lupu, C/A ve P kodları izlemek içinse kod izleme lupu kullanılmaktadır. Her iki lup eş zamanlı ve iteratif olarak çalışırlar. Her iki lup alınan uydu sinyaline kilitlendiğinde, doğru uydu-alıcı mesafesi (pseudorange) hesabı için Navigasyon Mesajı çözülür. Bunun sonucunda alıcı 4 uyduya kilitlendiğinde, bunlardan alınan Navigasyon Mesajı yardımıyla alıcı antenine ait konum, hız ve zaman hesabı yapar ve anlık uygulamalar için navigasyon uygulaması başlamış olur.

Günümüzde GPS alıcılarını farklı şekillerde sınıflandırmak (kanal sayısına göre, kullanım amacına göre, izlenen uydu sinyaline göre vb.) olanaklıdır. İzlenen uydu sinyaline bağlı olarak iki temel alıcı tipi vardır. Bunlar; P(Y) ve C/A kodların her ikisini de izleme yeteneğine sahip olan alıcılar ve yalnızca C/A kod izleme yeteneğine sahip olan alıcılardır.

Yukarıda veri toplama özelliğine göre sınıflandırılan alıcılar hakkında çok genel olarak aşağıdaki bilgiler verilebilir:

- C/A kod ölçen alıcılarla yalnızca L1 pseudorange ölçüsü yapılır. Bu tip alıcılar genellikle batarya yada pil ile çalışan portatif el alıcılarıdır. Bunlar en az 1, en çok 6 kanallı olabilmekte ve ekranda anlık olarak 3-boyutlu konum (enlem, boylam, yükseklik veya sağa, yukarı, yükseklik) gösterebilmektedirler. Özellikle hareketli uygulamalarda en az 4 kanallı alıcı tercih edilmelidir. Bu tip alıcılar daha çok hobi amaçlı (dağcılar, yat gezileri vb.) ve özellikle CBS tabanlı GPS/CBS uygulamalarında (araç takip, güvenlik vb.) kullanılmaktadır.
- C/A kodlu taşıyıcı dalga fazı ölçen alıcılar, yalnızca L1 frekansında kod ve faz ölçüleri (tek frekanslı alıcılar) ya da L1 frekansında kod ve faz ölçüleri ile L2 frekansında yalnızca faz ölçüleri yaparlar. Bunlar 4 kanaldan başlayıp 12 kanala kadar olabilmektedir. Bu alıcılarla, jeodezik amaçlı her türlü ölçü (statik, hızlı statik, kinematik vb.) yapılabilir.

- P kod Alıcıları: P kod kullanıcılar ve böylece L1 ve L2 frekanslarının her ikisinde de çalışmaktadırlar. Taşıyıcı dalgalarındaki P kod verilen bunların alıcı içerisinde üretilen benzeri ile karşılaştırılarak elde edilmektedir. Bu şekilde uydudan alınan sinyal ile bunun alıcıda üretilen benzerinin karşılaştırılması için çapraz korelasyon yapılmaktadır. Uydu sinyalindeki kod bileşenleri ayıklanana kadar faz ölçüsü yapmak olanaklı değildir. Bu alıcıların en önemli üstünlüğü uzun bazların (>100 km) cm mertebesinde doğruluklarla belirlenebilmesidir. Ancak AS özelliğinin uygulanmaya başlanmasıyla P kod kriptolanmış ve böylece Y kod kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte P kod alıcıları ile kodsuz veya yarı kodsuz yöntemler kullanılarak faz ölçüleri ve Y kod bilgisine gereksinim olmadan L2 frekansındaki uydu-alıcı mesafeleri (pseudorange) belirlenebilmektedir. P kod'lu alıcılarla L2 frekansında veri toplamak için günümüzde kullanılan yöntemler; sinyalin karesini alma tekniği, çapraz korelasyon, kare alma tekniği kullanılarak kod korelasyon ve Z-İzleme tekniği olarak sayılabilir.
- Y kod alıcıları, AS etkisi altındaki P kod'a doğrudan ulaşım olanağı sağlamaktadır. Böylece, L1 ve L2 frekanslarındaki kod ve faz ölçülen yapılabilmektedir (P kod korelasyon tekniği). Ancak, Y kodlu alıcılar askeri amaçlı alıcılar olup bu alıcıların her bir kanalına AOC modülü takılı olmalı ve bu tip alıcıların SM modülünün olması gerekmektedir. Bu modüller ile Y kod çözülerek P kod elde edilebilmekte ve SA etkisi ile uydu koordinatlarına uygulanan kasıtlı bozulmalar da giderilebilmektedir. Y kod alıcıları için gerekli olan AOC ve SM modüllerini ABD tarafından yetki verilen kullanıcılar (ABD Silahlı Kuvvetleri, Kanada ve Avustralya Silahlı Kuvvetleri, NATO üyesi ülkeler ve güvenlik amaçlı özel kullanıcılar) alabilmektedirler.

1.5 Diğer GPS Uydu Sistemleri (GLONASS Sistemi)

GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) sistemi 1970'li yılların başında, ABD GPS sistemine karşılık olarak, eski adıyla Sovyet Savunma Bakanlığı tarafından ortaya konmuş bir projedir. Bu sistem bir çok açıdan GPS ile benzer olup eski Rus Doppler sistemi olan TSICADA yerine geliştirilmiştir. GLONASS, Rus Silahlı Kuvvetleri Uzay Kuvvetleri Komutanlığına bağlı bir program sıfatıyla 1993 yılında resmi olarak İlan edilmiştir.

GLONASS sistemi uzay, kontrol ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Kontrol bölümü, sistem kontrol merkezi ve Rusya'ya dağıtılmış İzleme istasyonlarından oluşmaktadır. Görevi GPS kontrol bölümü ile aynıdır. Burada Navigasyon verileri uydulara günde iki kez yüklenmektedir. Uzay bölümü, 24 uydu olarak planlanmış olmasına karşın bir çok nedenden dolayı bu sayı günümüzde çok daha azdır. GLONASS yörünge düzlemi üç tane olup bunların boylamları arasında 120 derecelik fark vardır. Böylece, her yörünge düzleminde sekiz uydu planlanmıştır. Uydu yörüngelerinin büyük yarı eksenini yaklaşık 25510 km olup bu da uydunun yörüngeyi bir tam dolanım jüresinin 11 saat 16 dakika olması demektir. İlk GLONASS uydusu 12 Ekim 1982 yılında yörüngeye oturtulmuştur. GLONASS sisteminde de iki frekans bandında yayın yapılmakta olup bunlar, L1 (1602-1615.5 MHz) ve L2 (1246-1256.5 MHz) dir. P kod L1 ve L2 frekanslarının her ikisinde, C/A kod ise yalnızca L1 frekansında yayınlanmaktadır.

Rusya Federasyonu tarafından yapılmış olan açıklamaya göre GLONASS ile anlık konum doğruluğu yatayda 60 metre (%99.7 olasılık seviyesinde), düşeyde ise 75 metre (%99.7 olasılık seviyesinde) dir. Bu sistemde GPS'de olduğu gibi sistem doğruluğunu kasıtlı olarak düşürecek SA benzeri etkiler uygulanmamaktadır. GPS ile GLONASS arasındaki temel farklılıklar Tablo - 1.5' de verilmiştir.

Tablo 1-5 GPS ile GLONASS karşılaştırması

Parametre /Teknik	GLONASS	GPS
Uydu Sayısı Yörünge Düzlemi Sayısı Yörünge Düzlemi Eğimi(derece) Yörünge Yarıçapı (km)	21 asıl + 3 yedek 3 64.8 25510	21 asıl + 3 yedek 6 55 26560
Temel Saat Frekansı Sinyal Ayırma Tekniği Taşıyıcı Frekanslar: L ₁ (MHz) L ₂ (M H z)	5.0 MHz FDMA 1602.0-1615.5 1246.0-1256.5	10.23 MHz CDMA 1575.42 1227.60
Navigasyon Mesajı Süresi (dk) Uydu Efemeris Bilgileri Zaman Referans Sistemi Jeodezik Datum	2.5 Jeosentrik kartezyen koordinat sisteminde koordinatlar ve türevleri UTC(SU) PZ-90	12.5 Kepler yörünge elemanları ve bozucu etkiler UTC(USNO) WGS84

Günümüzde çift frekanslı GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 48 uyduya erişim olanağı mevcuttur. Bu ise uydu sistemlerinin konum belirleme ve navigasyon amaçlı uygulamalarında önemli bir özelliktir. Örneğin vadi, orman gibi sınırlı uydu görüş olanağı bulunan yerlerde önemli bir katkı sağlanmaktadır. Ayrıca, GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla navigasyon doğruluklarında da önemli iyileşmeler olacağı beklenmektedir. Bu amaçla daha şimdiden GLONASS + GPS özellikli alıcılar üretilmeye başlanmıştır.

1.6 WGS-84 Koordinat Sistemi

GPS sisteminin işletiminden sorumlu olan A.B.D. Savunma Dairesi (DoD) GPS ile konum belirlemede yersel referans sistemi olarak VVGS-84 (World Geodetic System-1984) sistemini kullanmaktadır. WGS-84 sistemi eski ismiyle D.M.A., şimdiki ismiyle NIMA tarafından pratik (uygulamaya yönelik) jeodezik referans sistemi olarak geliştirilmiştir. GPS uydularından yayınlanan Navigasyon Mesajı içerisindeki uydu yörünge bilgileri (efemeris) WGS-84 sistemindedir. WGS-84 sistemi, başlangıçta TRANSİT doppler gözlemlerine dayalı

olarak geliştirilmiştir. NIMA, 1987 yılında TRANSİT uyduları için duyarlı efemeris hesaplamalarında WGS-84 sistemini kullanmaya başlamıştır.

WGS-84 sistemi ile ITRF sistemi arasındaki ilişkiyi belirlemek ve WGS-84 sisteminin doğruluğunu artırmak için 24 IGS ve 10 DoD noktasında yapılan eşzamanlı GPS ölçüleri ile, 8 IGS noktasının ITRF91 koordinatları sabit alınarak DoD noktalarının koordinatları yeniden hesaplanmıştır. Nokta koordinatlarını ortak bir epoka getirmek için NUVEL NNR-1 plaka hareketi modeli kullanılmıştır. Böylece ITRF'e göre hesaplanmış WGS-84 koordinatları yaklaşık 10 cm doğrulukla belirlenmiştir. Bu şekilde iyileştirilmiş sisteme WGS-84 (G730) adı verilmiştir. Burada, "G", GPS'i ve "730" ise GPS haftasını (2 Ocak 1994) ifade etmektedir. GPS Ana Kontrol İstasyonu bu koordinat değişikliklerini Ağustos 1994 tarihinden itibaren kullanmaya başlamıştır. Ayrıca, DoD yörüngelerindeki 1.3 m.lik radyal yörünge hatasını gidermek için WGS-84 GM değeri IERS-1992 standart değeri ($3986004.418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{sn}^2$) ile değiştirilmiştir.

Daha sonraları WGS-84 sistemini iyileştirmek amacıyla aynı işlemler tekrarlanmış ve 11 IGS noktasının ITRF94 koordinatı sabit alınarak elde edilen çözümlerle belirlenen referans sistemine WGS-84 (G873) adı verilmiştir. 873 üncü GPS haftası 29 Eylül 1996 tarihine karşılık gelmekte olup, bu tarih elde edilen sonuçların yörünge hesaplamalarına dahil edildiği zamanı ifade etmektedir, Bu şekilde elde edilen doğruluk tüm koordinat bileşenlerinde $\pm 5 \text{ cm}$ olup bu da ITRF94 ile WGS-84 (G873)'ün çok iyi bir uyum sağladığını göstermektedir. WGS-84 elipsoidinin 4 parametresi Tablo - 1.6 ' da verilmiştir.

Tablo 1-6 WGS-84 Parametreleri

Parametre Adı	Sembol	Büyüklüğü
Dönel Elipsoidin Büyük Yarı Ekseni	a	6378137.0 m
Yerçekimi Sabiti	GM	$3986004.418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{sn}^2$
Yerin Ortalama Acısal Hızı	ω	$7292115.0 \times 10^{-11} \text{ rad sn}^{-1}$
Basıklık	f	1/298.257223563

NIMA tarafından hesaplanan WGS84 yörünge bilgileri daha sonra açıklanacak olan IGS duyarlı yörünge bilgileri ile günlük olarak 7-parametrelilik benzerlik dönüşümü ile

karşılaştırılmaktadır. Örnek olarak 1997 yılının ilk 165 günü için elde edilen WGS84 (G873) ile ITRF94 arasındaki benzerlik dönüşümüne ilişkin ortalama değerler Tablo-5.3'de verilmiştir.

Tablo 1-7 WGS-84 (G863) ile ITRF94 Arasında Benzerlik Dönüşümü İle Bulunan Değerler

	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	R _x (mas)	R _y (mas)	R _z (mas)	Ölçek (ppb)
Ortalama	0.1	-0.2	0.1	0.0	0.4	0.6	-0.5
Standart Sapma	2.9	2.3	1.4	0.3	0.2	0.4	0.2

1.7 Zaman Sistemi

Uzay jeodezisi ölçülerinde genel olarak 3 farklı zaman sistemi kullanılmakta olup bunlar Dinamik Zaman, Atomik Zaman ve Yıldız Zamanıdır. Söz konusu zaman sistemleri ile ilgili kısa bilgiler ve aralarındaki matematiksel ilişkiler aşağıda verilmiştir.

1.7.1 Dinamik Zaman Sistemi

Dinamik Zaman Sistemi, yerçekimi etkisindeki cisimlerin belirli bir yerçekimi teorisine göre, belirli bir referans sistemindeki hareketlerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, Dinamik Zaman herhangi bir cismin belirli bir yerçekimi teorisine (Newton mekaniği yada Genel Relativiteye) göre kurulan hareket denklemlerindeki bağımsız değişkendir. GPS uydu yörüngelerinin hesaplamalarında kullanılan Dinamik Zaman Sistemine Yersel Dinamik Zaman (TDT) sistemi adı verilmektedir. TDT, yer gravite alanı içerisindeki hareket için düzenli bir zaman ölçeği oluşturmaktadır.

1.7.2 Atomik Zaman

Yeryüzündeki zaman ile ilgili tüm bilimsel çalışmalarda temel zaman ölçeği olarak Uluslararası Atomik Zaman (TAI) kullanılmaktadır. TAI sisteminin hesaplanmasından BIPM ve IERS sorumlu kurumlardır. TAI, sürekli bir zaman ölçeği olup, TDT'nin uygulamaya yönelik şekli olarak da düşünülebilir. Bu nedenle, iki zaman sistemi arasındaki ilişki,

$$GP\ TDT = TAI - 32^s.184 \quad (1.5)$$

olarak belirlidir.

TAI sürekli bir zaman sistemi ölçeği olduğu için uygulamada bazı sorunlar çıkmaktadır. Bunlardan en önemlisi, yer'in güneş'e göre dönüş hareketi ortalama olarak yılda 1 saniye yavaşlamaktadır. Bu ise TAI ile güneş zamanı arasında senkronizasyon sorununa yol açmaktadır. Bu sorunu gidermek için UTC (Coordinated Universal Time) tanımı yapılmıştır. UTC, TAI ile aynı hıza sahip olup, yılda bir kere olmak üzere Aralık ya da Haziran ayında (UT1-TAI) değerlendirmelerine bağlı olarak UTC'ye 1 saniyelik düzeltme uygulanmakta ya da uygulanmamaktadır. Bu 1 saniyelik düzeltmelere "leap second" adı verilmektedir. Söz konusu 1 saniyelik düzeltmenin ne zaman eklenip ne zaman çıkarılacağına IERS karar vermektedir. Bu düzeltme yapılarak UTC ile güneş zamanı arasındaki senkronizasyon sorunu ortadan kaldırılmış olmaktadır. Bu konu ile ilgili bilgiler IERS tarafından Bülten C olarak altı ayda bir yayımlanmaktadır. Diğer taraftan, ABD USNO (US Naval Observatory) kendi özel UTC sistemini oluşturmuş ve buna UTC (USNO) adı verilmiştir. UTC(USNO) 20 den fazla cesium saati ve astronomik veriler kullanılarak oluşturulmaktadır. UTC (USNO) ile UTC arasındaki uyum 1 milisaniye mertebesinde. Dolayısıyla, GPS sistemi zamanı UTC (USNO)'yi referans almaktadır. GPS sistemi zamanı sürekli bir zaman sistemi olup "leap second" düzeltmesi yapılmamaktadır. GPS Sistemi Zamanı 06 Ocak 1980 saat 0.0 için UTC (USNO) ile aynı kabul edilmiştir. 2000 yılı için UTC (USNO) GPS sistemi zamanından 13 saniye ilindedir (2000 yılı için düzeltme değeri eklenmemiş olup 1999 yılı ile aynıdır). Basit bir eşitlikle UTC (USNO) ile GPS zamanı (GPST) arasındaki ilişki,

$$UTC(USNO) = GPST \pm \text{leap seconds} \quad (1.6)$$

olarak yazılabilir.

Diğer taraftan TAI ile GPS zamanı arasında 19 saniyelik bir kayıklık olup bu da;

$$TAI = GPST + 19^s.00 \quad (1.7)$$

olarak ifade edilebilir.

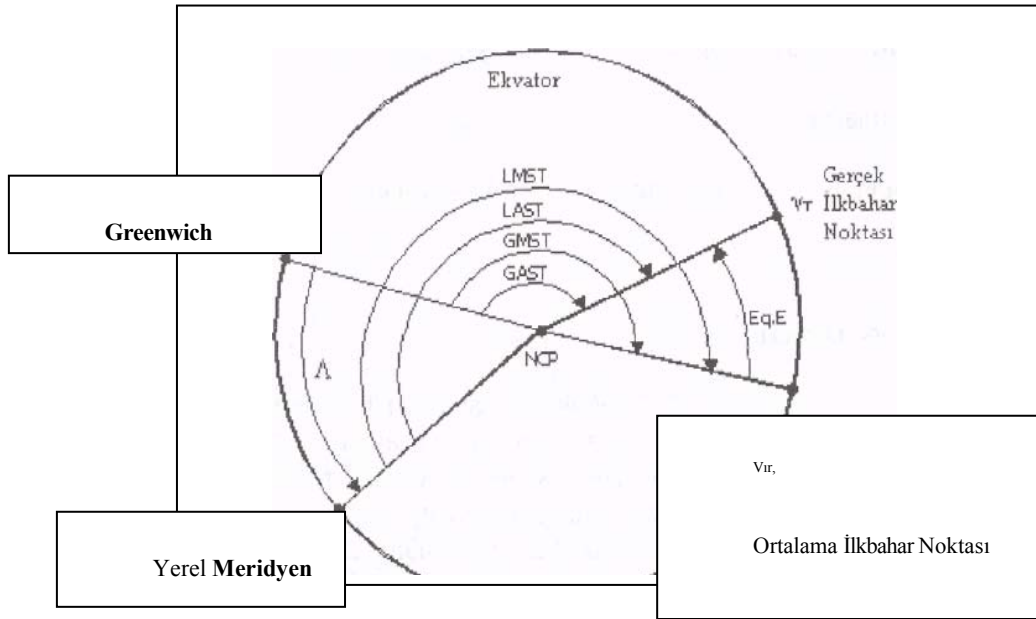
GPS zamanı, uygulamada, GPS haftaları ve saniyeleri ile ifade edilmektedir. GPS zaman sistemi olarak GPS haftalarının kullanılmasının temel nedeni uydu sinyallerindeki PRN kodlarının birer haftalık periyotlarla tekrar etmesidir. GPS haftası sayıları 0 ile 1023 arasında tanımlanmış olup, İlk GPS haftası UTC (USNO)'ye çakışık kabul edildiği 6 Ocak 1980 00:00.00 UTC tarihine karşılık gelmektedir. Uydu navigasyon mesajlarında zaman bilgisi için belirli bir alan ayrılmış olup, bu alana sığdırılabilecek azami GPS haftası sayısı 1023'tür. Böylece GPS haftaları 1024 haftalık gruplar şeklinde tanımlanmıştır. Sıfırına haftadan başlayarak GPS haftası sayılmaya başlamakta ve bu sayaç 1023 üncü haftanın sonunda tekrar sıfır olmaktadır. Bu durum her 1024 haftada bir (yaklaşık 19.5 yıl) tekrar edecektir. Bu nedenle, 1024 sayısına GPS Haftası Bitimi (WNRO; Week Number Roll Over) adı da verilmektedir.

1.7.3 Yıldız Zamanı

Yıldız Zamanı doğrudan yerin dönmesi ile ilişkilidir. Atomik saatlerin olmadığı eski dönemlerde zaman ölçümü için yerin günlük dönüşü temel alınmaktaydı. O zamanlar yıldız ve üniversal zaman sistemleri aralarında dönüşüm yapılabilen iki zaman sistemi olarak kullanılmaktaydı (Burada sözü geçen UT ile daha önce anlatılmış olan UTC farklı kavramlar olup UTC bir atomik zaman ölçeğidir). Yıldız ve UT zaman sistemleri atomik zaman ölçeği ile karşılaştırıldığında çok düzensiz olup günümüzde TTRS ile TCRS sistemleri arasındaki dönüşümde açısal büyüklük olarak kullanılmaktadır.

Presesyon ve nutasyon düzeltmesi getirilmiş gerçek ilkbahar noktasının (true vernal equinox) yerel saat açısına görünen yıldız zamanı (LAST; Local Apparent Sidereal Time) denmektedir.

Başka bir deyişle, LAST gözlemcinin yerel meridyeni ile Gök Küresi üzerindeki nokta (ilkbahar noktası) arasındaki açıdır. Saat açısı Greenwich ortalama meridyeninden itibaren düşünülürse buna Greenwich görünen yıldız zamanı (GAST; Greenwich Apparent Sidereal Time) adı verilmektedir. Aynı tanımlardan yararlanarak ortalama ilkbahar noktasına göre elde edilen açısal büyüklüklere LMST ve GMST denmektedir, (Şekil - 1.11).



Şekil 1-11 Yıldız Zamanının Tanımı

GAST ile GMST arasındaki ilişki Ekinoks denklemi olarak bilinmektedir. Bu fark en çok 1 saniye olmaktadır.

$$Eq.E = GAST - GMST = LAST - LMST \quad (1.8)$$

Yerel meridyenin astronomik boylamı ise Şekil-5.10'dan,

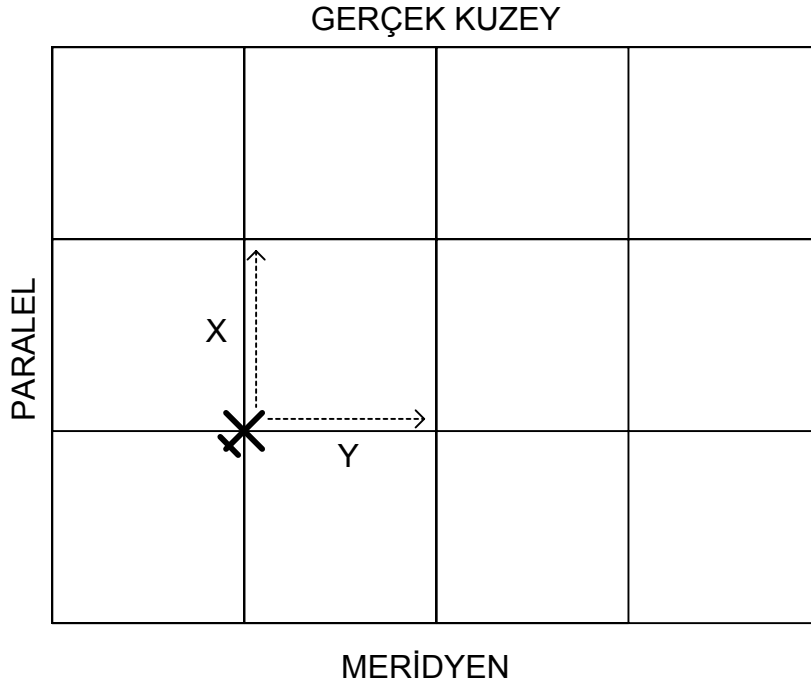
$$\Lambda = GMST - LMST = GAST - LAST \quad (1.9)$$

ile hesaplanır [1].

1.8 Yer Bulumun Temel İlkesi

Bir aracın gerçek kuzey (true north) denilen, bilim çevrelerince kabul edilmiş olan referans yöne doğru yaptığı mesafeye paralel (latitude, x- eksen), true north ile 90° yaptığı mesafeye meridyen (longitude, y- eksen) adı verilir. Aracın düşeye doğru yaptığı mesafe ise

z- ekseni veya yükseklik (altitude) olarak adlandırılır [2]. Şekil - 1.12' de paralel meridyen ve gerçek kuzeyin uçuş esnasındaki bir uçağa göre pozisyonları görülmektedir.



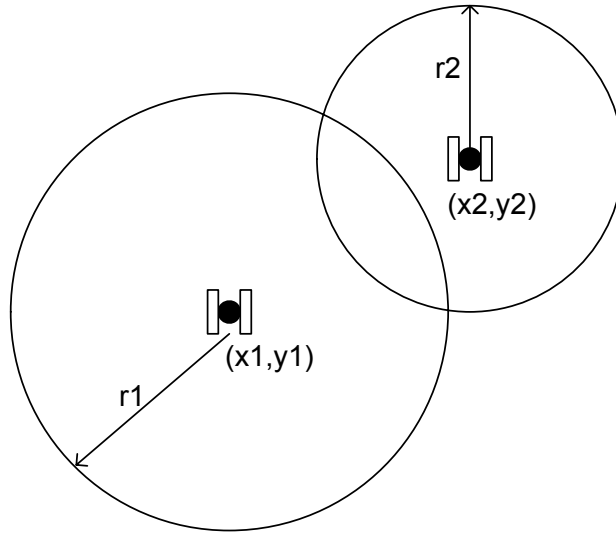
Şekil 1-12 Paralel - Meridyen Eksenleri

Kullanıcı üitedeki GPS alıcısı, pozisyon bilgisi hesaplamak için uzayda haberleşebildiği iki uydudan yardım aldığını göz önüne alalım. Alıcının, iki GPS uydusunun yayınım alanı (r_1 , r_2) arasında olduğu durumda, eğer GPS alıcısı, uydular ile arasındaki mesafeyi bilirse, uyduların bilinen pozisyonlarını kullanarak kendi pozisyonunu bulabilir. Şekil - 1.13' de 2 GPS uydusunun yörüngeleri ve GPS alıcısının muhtemel pozisyonu A ve B gibi iki noktaya indirildiği görülmektedir .

Pozisyon bilgisi için aşağıdaki üçgen eşitlikleri kullanılır.

$$r_1 = ((x-x_1)^2 + (y-y_1)^2)^{1/2} \quad (1.10a)$$

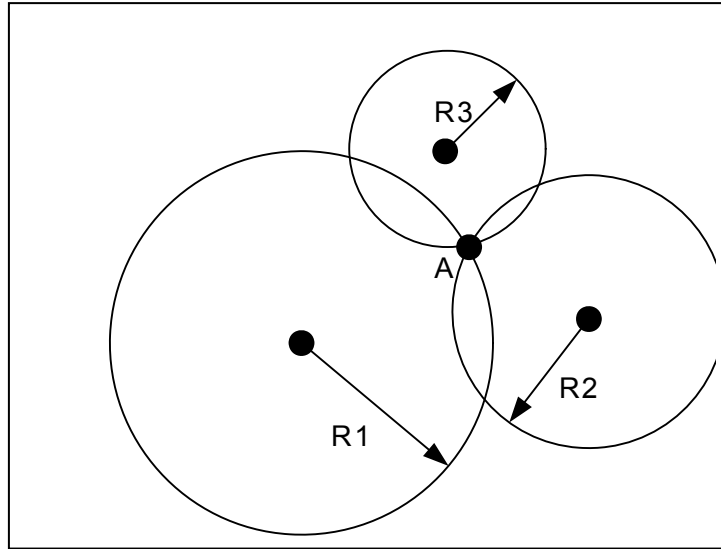
$$r_2 = ((x-x_2)^2 + (y-y_2)^2)^{1/2} \quad (1.10b)$$



Şekil 1-13 2 Boyutlu 2 GPS Uydusu Kullanarak Pozisyon Ölçümü

Burada (x_1, y_1) birinci uydunun koordinatları, (x_2, y_2) ikinci uydunun koordinatlarıdır. r_1 ve r_2 her iki uyduya ait ve bilinen yayınım mesafeleri, (x, y) ise kullanıcının koordinatlarıdır. (2.10) eşitliklerinin x ve y için çözümü, aracın paralel ve meridyen koordinatlarını verir.

Yukarıda belirtilen örneği üç boyutta ele alırsak, tek sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi kürenin yüzeyi, iki sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi iki nokta, üç sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi de tek nokta olacaktır. (Şekil 1.14)



Şekil 1-14 2 boyutlu 3 GPS Uydusu Kullanarak Pozisyon Ölçümü

Yukarıda belirtilen örneği üç boyutta ele alırsak, tek sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi kürenin yüzeyi, iki sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi iki nokta, üç sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi de tek nokta olacaktır. (Şekil 1.14)

3 boyutlu uzayda, alıcı pozisyonu ve zaman farkı hesaplaması şu denklemlerle elde edilir.

$$r_1 = ((x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2)^{1/2} + c \cdot \Delta t \quad (1.11a)$$

$$r_2 = ((x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2)^{1/2} + c \cdot \Delta t \quad (1.11b)$$

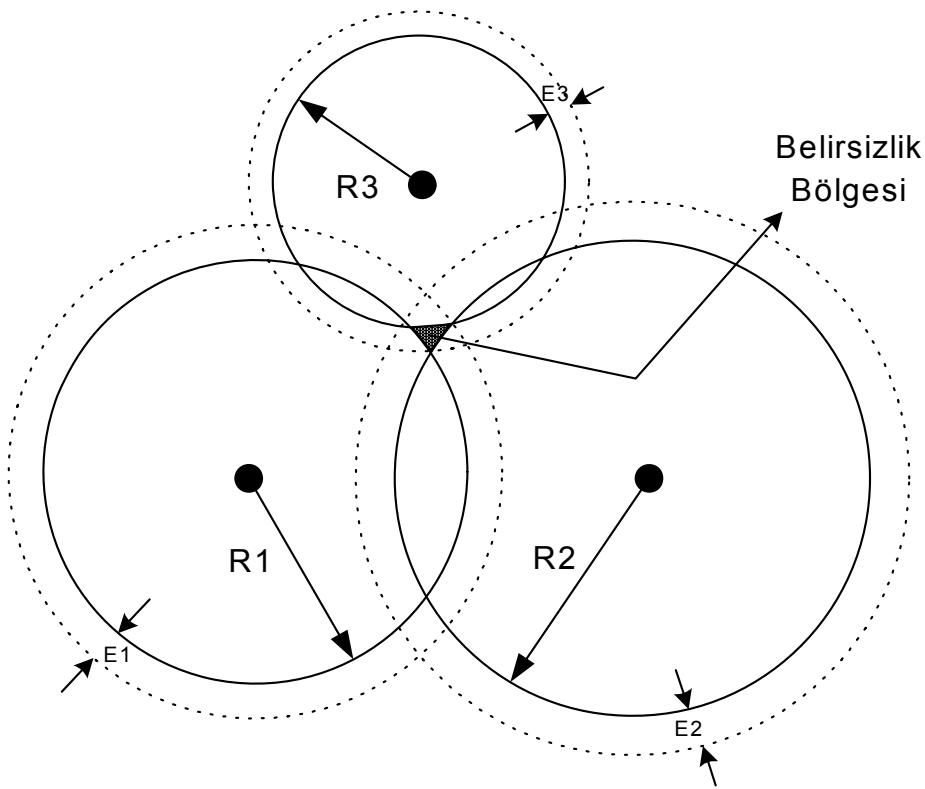
$$r_3 = ((x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2)^{1/2} + c \cdot \Delta t \quad (1.11c)$$

$$r_4 = ((x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2)^{1/2} + c \cdot \Delta t \quad (1.11d)$$

(1.11) eşitliklerinde uyduların r_1 , r_2 , r_3 ve r_4 yayılım mesafeleri ile (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) ve (x_3, y_3, z_3) pozisyonları bilinmektedir. Burada c ışık hızıdır ve bilinmektedir.

O halde bilinmeyenler; taşıtın x paralel bilgisi, y meridyen bilgisi, z yükseklik bilgisi ve Δt GPS zamanı ile uyduların zaman bilgileri arasındaki fark parametreleridir. 4 bilinmeyenli 4 denklem çözüldüğünde x, y, z ve Δt değerleri hesaplanır.

Yukarıda belirtilen yerbulum yöntemi ideal bir duruma karşılık gelmektedir; sinyal kaynağı ile kullanıcı saatleri tam anlamıyla senkronudur, sinyal kaynaklarının yeri hassas olarak bilinmektedir ve sinyalin yayıldığı ortamdaki hızı değişmemektedir. Eğer bu varsayımlardan yalnızca birisinin, sinyal kaynakları ve kullanıcı saatleri arasındaki senkronizasyon bozukluğu (offset) dikkate alınıp sırasıyla t_1 , t_2 ve t_3 ile belirtilir ise bunlara karşılık gelen uzaklıklar t_1xc , t_2xc , t_3xc olacaklardır (örneğin 1 mikrosaniyelik bir fark 300m'lik bir hataya neden olabilmektedir). Bu durum Şekil - 1.15' te üçgenin oluşturduğu bir belirsizlik alanı olarak ortaya çıkmaktadır [2,3].



Şekil 1-15 3 GPS Uydusunun Oluşturabileceği Belirsizlik Bölgesi

2. GPS ÖLÇÜM HATA KAYNAKLARI

GPS sistemi bugüne kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu global bir konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, tüm diğer sistemlerde olduğu gibi, bazı zayıf tarafları vardır. Başka bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları da etkileyen bazı raslantısal ve sistematik sapmalar (bias) söz konusudur.

Bu sapmaların bazıları görelî konum belirleme yöntemlerinin kullanılması durumunda bile bozucu etkilerini sürdürmektedir. Bu sapmalar GPS'in bir çok kullanım alanı için (örn. navigasyon amaçlı uygulamalar, askeri uygulamalar vb.) fazla önemli bir sakınca oluşturmamakla birlikte özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda (yüksek doğruluklu konum belirleme, yerkaşu hareketlerinin belirlenmesi, jeoit belirleme vb.) bunların davranışı ve büyüklüğü çok iyi modellendirilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır,

Yukarıda ifade edilen sapmaları çok farklı şekillerde sınıflandırmak olanaklı olmakla birlikte bunlar çok genel olarak uydulara bağılı sapmalar, alıcı donanımına bağılı sapmalar ve ortam etkileri şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu konuda, tüm hata kaynaklarının irdelenmesi yerine GPS ile konum belirlemede temel kavram olan uydu-alıcı uzaklığının belirlenmesinde etkili olan temel hata kaynakları açıklanacaktır. Bu hata kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Uydu efemeris hataları
- Uydu saati hataları
- İyonosferik etki
- Troposferik etki
- Sinyal yansıma (Multipath) etkisi
- Anten faz merkezi hataları

- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklikleri
- Seçimli Doğruluk Erişimi (SA)

2.1 Uydu Efemeris Hataları

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu yada kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya efemeris hatası denir. Bu hata, modellendirilmesi zor olan bozucu etkilerden birisidir. Örneğin, uydu saat hataları çok duyarlı atomik saatler kullanılarak ya da fark gözlemleri oluşturularak giderilebilmekte, atmosferik etkileri ise çift frekanslı alıcılar kullanılarak veya uygun modellendirmeler ile en aza indirilebilmektedir. Oysa, efemeris hatası uydu yörüngelerinin daha duyarlı hesabını gerektirmektedir. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellendirilmesine bağlıdır.

Efemeris hatası üç bileşenle ifade edilmekte olup bunlar radyal, teğet ve çapraz yörünge hatalarıdır. Bu bileşenlerden en küçük etkiye sahip olan radyal hatadır. Diğer ikisi bu hataların yaklaşık bir katı kadar daha kötüdür. Ancak, uydu-alıcı uzaklıklarının hesabında etkili olan hata kaynağı radyal bileşendir.

Efemeris hatası uydu konumlarının kestiriminin bir sonucu olduğundan, bu hatanın büyüklüğü Kontrol Bölümü tarafından uydulara yapılan en son yükleme zamanından uzaklaştıkça artacaktır. Kullanıcı açısından durum irdelendiğinde, Δr büyüklüğündeki yörünge hatasının (uydu konum hatası) b uzunluğundaki bazın baz bileşenlerinde (Δb) neden olacağı hata aşağıdaki genel kural eşitliği ile yazılabilir,

$$\frac{\Delta b(m)}{b(km)} = \frac{\Delta r(m)}{\rho_R^{SV}(km)} \quad (2.1)$$

Burada, ρ_R^{SV} uydu-alıcı uzaklığını (pseudorange, $\cong 20200$ km) ifade etmektedir.

Böylece uydu-alıcı uzaklığı yaklaşık 20 - 200 km kabul edilirse (2.1) eşitliğinden yararlanarak farklı efemeris hataları (uydu koordinatlarındaki hatalar) ve baz uzunlukları için elde edilecek uzunluk hataları Tablo - 2.1' deki sonuçlar elde edilir.

Birkaç kilometrelik baz uzunlukları için efemeris hatasının etkisi oldukça küçüktür. Ancak, baz uzunluklarının birkaç yüz kilometreyi bulduğu durumlarda bu hatanın büyüklüğü önemli ölçüde artmakta, bu ise GPS sisteminin yüksek doğruluk gerektiren jeodezi çalışmalarında kullanılmasında sorun oluşturmaktadır.

Tablo 2-1 Efemeris Hataları Nedeniyle Ölçülen Kenarlardaki Hata Oranları

Efemeris Hatası (m)	Baz Uzunluğu (km)	Baz Hatası (ppm)	Baz Hatası (mm)
2.5	1	--	--
2.5	10	0.1	1
2.5	100	0.1	12
2.5	1000	0.1	124
0.05	1	--	--
0.05	10	--	--
0.05	100	0.002	0.2
0.05	1000	0.002	2.5

Efemeris hatası yukarıda açıklanan doğal nedenlerden kaynaklanabildiği gibi, GPS mesajları içerisinde de kasıtlı olarak artırılabilir. Tüm kullanıcıların hiçbir kısıtlama olmaksızın ulaşabildiği yayın efemerisi kullanılarak, uygun geometrideki 4 uydudan eşzamanlı olarak kaydedilen sinyaller yardımıyla anlık konum belirlendiğinde elde edilen üç boyutta nokta konum hatası yaklaşık ± 25 metredir.

Ancak A.B.D.'nin savunma politikaları gereği bu hata miktarları uyduların kestirilen koordinatlarında ve uydu saatlerinde uygulanan yapay bozucu etkilerle anlık konum belirleme doğruluğu, C/A kod kullanılarak, %95 istatistik güven ile iki boyutta ± 100 m ve üç boyutta ± 156 metredir. P-Kod kullanılması durumunda bu etkiler söz konusu olmayıp üç boyutta elde edilen konum doğruluğu (%95 istatistik güven ile) $\pm 8-10$ metredir.

Yukarıda belirtilen bu bozucu etkiye Seçimli Doğruluk Erişimi (SA) adı verilmekte olup bu yalnızca BlockII modeli uydulara uygulanmaktaydı. Ancak SA ile ilgili olarak bu

güne kadar yoğun tartışmalar yaşanmış, özellikle sivil kullanıcıların ve alıcı üreten firmaların yoğun baskısı ile bu etkinin kullanılmasına 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren ara verilmiştir.

Diğer taraftan, daha sonra açıklanacak olan Diferansiyel GPS (DGPS) tekniğinin ortaya çıkmasının en büyük nedenlerinden biriside SA etkisinin bu güne kadar GPS kullanıcılarının iradesi dışında, konum doğruluklarını önemli ölçüde bozacak şekilde ve habersiz olarak uygulanıyor olmasıdır.

2.2 Uydu Saati Hataları

GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçümü oluşturduğundan konum belirlemede en büyük hata kaynağını uydu saati hataları oluşturmaktadır. Bu etki, uydunun yönünden bağımsız olup ölçü yapılan tüm noktalardaki alıcılar için aynı büyüklüğe sahiptir. Ayrıca, P-Kod,ve C/A-kod kullanıcıları için de aynı etkiye sahiptir.

Bu,hatanın en büyük kaynağı bir önceki konuda anlatılan SA etkisidir. SA etkisi artık uygulanmadığı ve GPS uydularında stabilitesi yüksek atomik saatler kullanıldığı için, uydu-alıcı uzaklığındaki hataların temel kaynağın/ uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilememesi oluşturmaktadır.

Bilindiği gibi uydu saati hatası Kontrol Bölümü tarafından sürekli olarak izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmeleri günlük olarak Navigasyon Mesajının bir bölümü olarak yüklenmektedir. Bu düzeltmelerin temel nedeni uydu-alıcı uzaklığının hesaplanmasındaki toplam hatayı olabildiğince azaltmak, bunun için ise uydu saatleri ile GPS zamanı arasındaki yaklaşık 30 nanosaniyelik senkronizasyonu sağlamaktır.

2.3 İyonosfer Etkisi

İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaşmış halde bulunduğu ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür. İyonosferde atomlardan kopmuş serbest elektronların sayısı, elektromanyetik dalgaların yayılmasını değiştirmeye yetecek kadar çoktur.

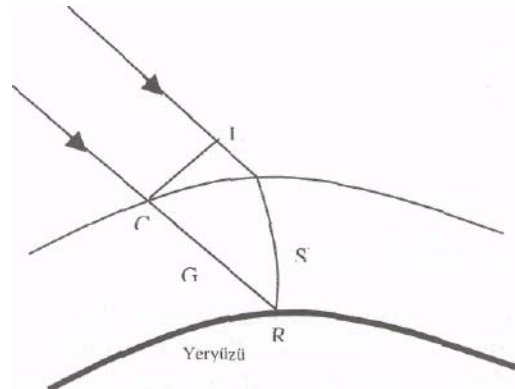
İyonlaşma şiddeti, elektron yoğunluğu ile ifade edilmekte olup, çok değişken olan bu yoğunluk cm^{-3} 'de 100000 ile birkaç milyon serbest elektron arasında değişmektedir. İyonosfer genel olarak, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakası (70-3000 km) olarak tanımlanabilir.

İyonlaşma ve serbest elektron yoğunluğu doğrudan güneş ışımaya (radyasyon yoğunluğuna) bağlıdır. Buradan, iyonosferin elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkisinin geceye göre gündüz daha fazla olacağı sonucuna varılabilir.

İyonosferin elektromanyetik dalgaların yayılmasındaki etkisi Toplam Elektron Miktarı (TEC) ile ifade edilmektedir. TEC, uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca m^{-2} 'deki toplam elektron sayısı olarak da ifade edilebilir. TEC, genel olarak, yerel zamanla yaklaşık saat 14:00 civarında maksimum günlük değere ulaşmaktadır. Gece yarısı ile sabah 05:00 saatleri arasında minimum değere ulaşmaktadır. Gece süresince olan ortalama iyonosferik etki 10 nanosaniye ($\sim 3\text{m}$), gündüz ise 50 nanosaniye ($\sim 15\text{m}$) kadardır. İyonosfer nedeniyle uydu-alıcı uzaklığına getirilecek olan düzeltme kışın ve ekinoks aylarında maksimum olup, yaz aylarında ise minimum değere ulaşmaktadır. Örneğin, Kasım ayında yeryüzü güneşe en yakın noktada olup (perihelion) bu ay içindeki iyonosferik etki maksimum, yeryüzünün güneşe en uzak olduğu durum olan (aphelion) Temmuz ayında minimumdur.

Bunların dışında gözlenen uydunun yükseklik açısının da iyonosferik etkinin büyüklüğü üzerinde etkisi vardır. Örneğin, düşük yükseklik açılarında iyonosferik etki gündüz ve gece için verilen değerlerin yaklaşık üç katı kadardır. Yani, gündüz 30 nanosaniye, gece 150 nanosaniyedir.

İyonosferin GPS ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklıdır. Kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması söz konusudur. İyonosfer, radyo dalgalarını dağıtıcı bir özelliğe sahip olup, bu bozucu etki radyo dalgalarının frekansına bağlı olarak değişim gösterir. Ölçülen uydu alıcı uzunluğunda iyonosferden dolayı bir azalma yada fazlalık söz konusudur. (Şekil - 2.1)



Şekil 2-1 Atmosferik Kırılma

Normal olarak GPS ölçüleri sonucu elde edilmesi gereken uzunluk atmosfer dışında kalan sinyal yolu ile Şekil-2.1'de görülen G geometrik uzaklığının toplamıdır. Ancak, gerçekte durum böyle değildir. Elektromanyetik dalgalar iki nokta arasındaki en kısa yolu izledikleri için ölçülen uzunluk minimum sinyal yolu olarak bilinen S uzunluğudur. Dolayısıyla, sinyal yolundaki fazla uzunluk,

$$\Delta S = 10^{-6} \int_a^b N(s) \cdot ds \quad (2.2)$$

genel eşitliği ile ifade edilebilir. Burada $N(s)$ kırıcılık olarak tanımlanmakta ve kırılma indisi (n) cinsinden

$$N = 10^6 \cdot (n - 1) \quad (2.3)$$

ile verilmektedir.

R alıcısı ile S uydusu arasındaki fazla uzunluk ρ_R^S ile gösterilirse iyonosferik etki uzunluk biriminde,

$$\Delta\rho_R^S(Li) = \frac{A_1 \cdot TEC}{f^2(Li)} \quad (2.4)$$

zaman biriminde ise,

$$\Delta t(Li) = \frac{\Delta\rho_R^S(Li)}{c} = \frac{40.3}{c \cdot f^2(Li)} \cdot TEC \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

c , ışık hızını,

TEC , toplam elektron miktarını,

$A_1=40.3$

Li ise $L1$ ve $L2$ frekanslarını göstermektedir.

(2.5) eşitliğinden de görülebileceği gibi iyonosferik etki TEC ile doğru orantılı ve sinyal frekansının karesi ile ters orantılıdır. Yüne aynı eşitlikten görülebileceği gibi iyonosferik etki frekans bağımlıdır ve yüksek frekanslarda Δt değeri azalmaktadır. Bu frekans bağımlılığı nedeniyle çift frekanslı alıcılar kullanılarak iyonosferik etki büyük oranda giderilebilmektedir.

Birbirine yakın uzunlukta ölçü yapan iki alıcı için iyonosferik etki aynı kabul edilebilir. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak

iyonosferik etki büyük ölçüde giderilmektedir. Ancak, uzun bazlarda, (>100 km) mutlaka çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır. Çift frekanslı GPS ölçüleri ile ionosferden bağımsız lineer kombinasyon (L3) tanımlanmış olup ionosferik etki,

$$\rho_R^S(L3) = k_1 \rho_R^S(L1) - k_2 \rho_R^S(L2) \quad (2.6)$$

$$k_1 = 2.545728, \quad k_2 = 1.545728$$

ile verilmektedir. (3.6) eşitliği kod ölçüleri için geçerli olup, faz ölçüleri için,

$$\Phi_R^S(L3) = k_1 \Phi_R^S(L1) - k_2 \Phi_R^S(L2) \quad (2.7)$$

eşitliği geçerlidir. (2.7) eşitliğinin en önemli sakıncası k_1 ve k_2 çarpanları nedeniyle taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliklerinin tam sayı olma özelliklerinin yok olmasıdır.

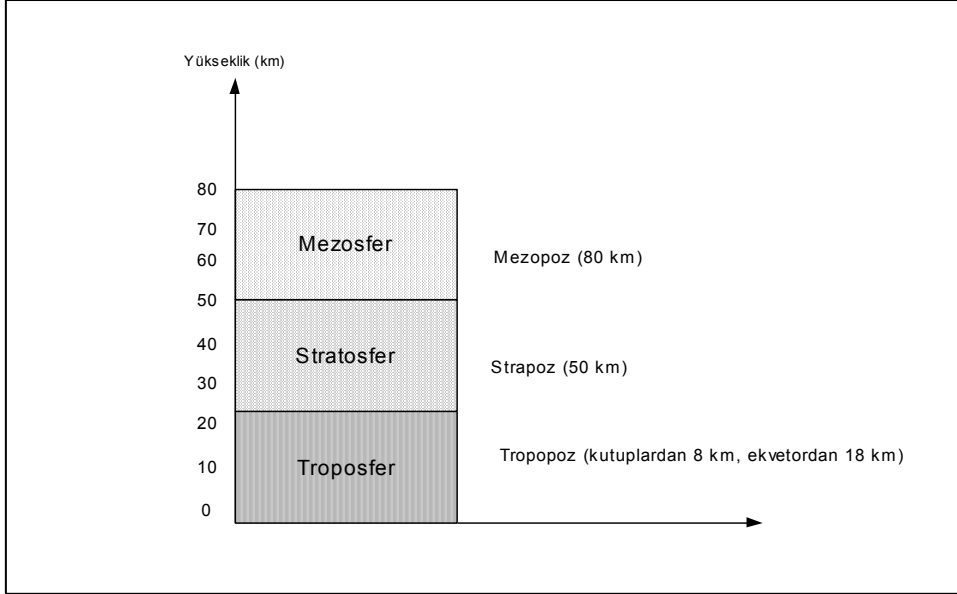
GPS ölçüleri tek frekanslı alıcılar ile yapılmışsa çift frekanslı gözlemlerle elde edilen ionosferik modeller kullanılarak ya da uydu mesajlarının bir bölümü olarak yayınlanan mevsimlik ionosferik model katsayıları ($\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$) kullanılarak GPS ölçülerine ionosferik düzeltme getirilmektedir.

Uydu mesajlarının bir bölümü olarak yayınlanan ionosferik model katsayıları kullanılarak ionosferik etkinin ancak yaklaşık %50'si giderilebilmektedir. Dolayısıyla, yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda ve özellikle uzun bazlarda çift frekanslı alıcıların kullanılması ve değerlendirmelerin ise L3 lineer kombinasyonu kullanılarak yapılması daha uygundur. Diğer taraftan, kısa bazlarda (<10 km) yalnızca L1 frekansının çift frekanslı ölçülerden hesaplanan bir ionosfer modeli ile birlikte kullanılması L3 kombinasyonuna göre çoğu zaman daha iyi sonuç vermektedir,

2.4 Troposfer Etkisi

GPS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller atmosfere girdiğinde içinden geçtikleri ilk tabaka ionosferdir. GPS sinyallerinin ionosferdeki ilerleme hızı sinyal frekansına bağlıdır. Dolayısıyla, ionosfer tabakasının GPS sinyallerine olan etkileri çift frekanslı ölçülerle büyük oranda

giderilebilmektedir. İyonosferden geçen sinyaller sırasıyla mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından ilerlerler. (Şekil - 2.2)



Şekil 2-2 GPS Sinyalinin İçinden Geçtiği Atmosfer Tabakaları

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorlarda yaklaşık 18 km'dir. Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km'lik alt kısımlarında görülmektedir. İyonosfer tabakasının aksine troposfer tabakası elektrik yüklü olmadığından yaklaşık 30 GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir. Bu nedenle, troposfer tabakasında GPS sinyallerinin yayılması frekans bağımlı değildir. Dolayısıyla, troposferin faz ve kod ölçülerine olan etkisi aynı büyüklüktedir ve GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak gidermek olanaklı değildir.

Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (yada troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirir. Bu etki elektromanyetik dalga'nın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur. Her iki etkinin neden olduğu gecikme uydu ile alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca ortam kırılma indisinin (n) değişimine bağlıdır. Bu gecikme miktarı ise "S" sinyal yolu boyunca Şekil-2.1' den,

$$\Delta S_{trop} = \int_a^b (n-1) dS + (S-G) \quad (2.8)$$

yazılabilir. Zenit doğrultusundaki gözlemlerde (2.8) eşitliğinde $S=G$ olacaktır. Elektromanyetik dalganın eğilmesinden dolayı gelecek etkiyi ifade eden $(S-G)$ terimi çok küçük olduğundan gözardı edilirse, problem (2.8) eşitliğindeki integralin alınması haline dönüşür. Böylece troposferik gecikme etkisi,

$$\Delta S_{trop} = \int_a^b (n-1) dS \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir. Burada, kırılma indisi (n) yerine kırıcılık (N) kullanılırsa (2.9) eşitliği,

$$\Delta S_{trop} = 10^{-6} \int_a^b N(n-1) dS \quad (2.10)$$

$$N = (n-1) \times 10^{-6}$$

halini alır. (2.10) eşitliğindeki atmosferik kırılma $N(s)$; ısı, basınç ve su buharının bir fonksiyonu olarak,

$$N(s) = k_1 \frac{P_d}{T} + k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \quad (2.11)$$

ile ifade edilebilir. Burada P_d , kuru havanın toplam atmosferik basıncını (mbar), e , su buharı kısmi basıncını (mbar) ve T , kelvin biriminde atmosferik sıcaklığı göstermektedir. k_1 , k_2 , k_3 katsayıları Tablo - 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2-2 k_1 , k_2 ve k_3 İçin Deneysel Olarak Belirlenmiş Değerler

k_1 (K/mbar)	77.604 ± 0.014
k_2 (K/mbar)	64.790 ± 0.080
k_3 (K ² /mbar)	$(3.776 \pm 0.004) \cdot 10^5$

Atmosfer, iki ideal gazın karışımı (kuru hava ve su buharı) olarak düşünülürse (2.11) eşitliği,

$$N = N_d(s) + N_w(s) \quad (2.12a)$$

$$N_d(s) = 77.6(P/T) \quad (2.12b)$$

$$N_w(s) = 3.73 \times 10^5 (e/T) \quad (2.12c)$$

olarak iki ana bileşenle ifade edilebilir. Bunlardan $N_d(s)$ kuru bileşen, $N_w(s)$ ise ıslak bileşen olarak adlandırılmaktadır.

Troposferik gecikmenin yaklaşık %90'ı kuru bileşen ve geri kalan %10'luk kısmı ise ıslak bileşenden oluşmaktadır. $N_d(s)$ 'nin troposferdeki değişimi çok küçük olup, 40 km ve daha yukarı yüksekliklerde gözardı edilebilir. $N_w(s)$ ise yalnızca yere yakın yükseklikler (0-5 km) için önemlidir. ıslak ve kuru bileşenlerin zenit açısına bağlı olarak büyüklükleri Tablo - 2.3' de verilmektedir.

Tablo 2-3 ıslak ΔS_w ve Kuru ΔS_d Bileşen Büyüklükleri

Zenit Açısı (derece)	Kuru Bileşen Etkisi ΔS_d (metre)	ıslak Bileşen Etkisi ΔS_w (metre)
0	2.3	0.2
60	4.6	0.4
80	13.0	1.2
85	26.0	2.3

Tablo - 2.3' den görüleceği gibi alıcıya gelen GPS sinyalinin zenit açısı ne kadar büyükse, bu sinyal atmosferde zenit doğrultusuna göre daha uzun bir yol izleyeceğinden, ΔS_d ve ΔS_w değerleri de o kadar fazla olacaktır. Bu artım miktarı da yaklaşık $1/\cos Z$ kadardır.

Troposferik gecikme, GPS sinyalinin troposfer katmanındaki kat ettiği yola bağlı olduğundan aynı zamanda uyduya olan zenit açısının da bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle GPS ile gözlemlerde ve değerlendirmelerde uydu sinyali yükseklik açısı 15 derece ve yukarısı seçilmektedir. Daha küçük açılardan kullanılması sinyal yansıma etkilerine de neden olmaktadır.

Zenit doğrultusundaki gecikme miktarından yararlanarak herhangi bir zenit açısı doğrultusundaki değerin hesaplanmasını sağlayan $1/\cos Z$ fonksiyonuna indirgeme fonksiyonu adı verilmektedir. $1/\cos Z$ deneysel bir fonksiyon olup farklı araştırmacılar tarafından çok sayıda değişik indirgeme fonksiyonları yayımlanmıştır. ΔS_d^Z , zenit doğrultusundaki kuru bileşeni, ΔS_w^Z , zenit doğrultusundaki ıslak bileşeni ve f_d ile f_w bu bileşenler için indirgeme fonksiyonlarını göstermek üzere troposferik gecikme etkisi,

$$\Delta S_{trop}^Z = f_d \cdot \Delta S_d^Z + f_w \cdot \Delta S_w^Z \quad (2.13)$$

ile ifade edilebilir. f_d ve f_w için örnek olarak,

$$f_w = \frac{1}{\sin E + \frac{0.00035}{0.0170 + \tan E}} \quad (2.14a)$$

$$f_d = \frac{1}{\sin E + \frac{0.00143}{0.04454 + \tan E}} \quad (2.14b)$$

$$E = 90^\circ - Z \quad (2.14c)$$

yazılabilir.

Troposferik gecikme hesabında kullanılan atmosferik parametreler standart troposferik modellerden, gözlem noktasında ölçülen meteorolojik verilerden (basınç, kuru ısı ve ıslak ısı) veya su buharı radyometrelerinden ve radyo sondajlardan yararlanarak elde edilmektedir.

GPS gözlemi yapılan noktalarda atmosferik parametrelerin ölçümü; kullanılan aletlerin kalibrasyon hataları, yapılan atmosferik ölçülerin noktanın üstündeki sinyal yolunu iyi temsil edememesi gibi nedenlerle, elde edilen GPS sonuçlarında önemli hatalara neden olmaktadır. Bu durum özellikle kısa kenarlı (5-20 km) ağlarda daha da önem kazanmaktadır. Bu sakıncalardan kaçınmak için standart atmosfer modelinden yararlanarak hesaplanan atmosferik verilerin kullanılması günümüzde GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygındır.

Standart atmosfer modelinde genellikle, deniz düzeyindeki referans sıcaklık (T_0), basınç (P_0) ve nem (H_0) değerleri tanımlanmakta ve .bu değerlerin yükseklikle doğrusal değiştiği kabul edilerek, GPS gözlemi yapılan nokta yüksekliğindeki parametreler hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler zamandan ve gerçek koşullardan bağımsızdır. Söz konusu referans değerleri için,

$$h_0 = 0 \text{ m}$$

$$T_0 = 18^\circ \text{ C}$$

$$P_0 = 1013.25 \text{ mbar}$$

$$H_0 = \%50$$

değerleri kabul edilmektedir. Böylece h_u yüksekliğindeki bir nokta için değerler,

$$T_u = T_0 - 0.0065 \cdot h_u \quad (2.15a)$$

$$P_u = P_0 (1 - 0.0000226 \cdot h_u) \quad (2.15b)$$

$$H_u = H_0 \cdot \exp(-0.0006396 \cdot h_u) \quad (2.15c)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır.

Günümüzde özellikle uygulamaya yönelik ticari amaçlı değerlendirme yazılımlarında en çok kullanılan troposferik etki hesabı modelleri Saastamoinen ve Hopfield modelleridir. Bunlardan Saastamoinen modeli aşağıdaki şekilde verilmektedir,

$$\Delta S_{trop}^z = 0.002277 \cdot \frac{1}{\cos Z} \cdot \left[P + \left(\frac{1255}{273.15 + T} + 0.05 \right) \cdot e - B \cdot \frac{1}{\tan^2 Z} \right] + \delta L \quad (2.16)$$

Burada,

ΔS_{trop}^z : metre biriminde uydu-alıcı uzaklığına getirilecek olan düzeltmeyi,

Z : uydu zenit uzaklığını,

P : atmosferik basınç (mbar),

T : mutlak sıcaklık (°C),

e : su buharı basıncını (mbar),

B : noktanın yüksekliğinden dolayı tablodan alınacak katsayıyı,

δL : uydu zenit açısına ve nokta yüksekliğine bağlı olarak tablodan alınacak olan düzeltme değeri (metre) olup,

$$TD = 273.15 + T$$

yazılırsa,

$$e = \frac{H}{100} \cdot \exp \left(-37.2465 + 0.213166 \cdot TD - 0.000256908 \cdot TD^2 \right) \quad (2.17)$$

elde edilir. (2.17) eşitliğindeki H, nisbi nemi ifade etmektedir.

Saastamoinen formülü ölçü noktasının yaklaşık enlemine(φ) ve elipsoit yüksekliğine (h ; km) bağlı olarak çok daha basit bir eşitlik şeklinde,

$$\Delta S_{trop}^z = \frac{\Delta S_d^z + \Delta S_w^z}{\cos Z} \quad (2.18)$$

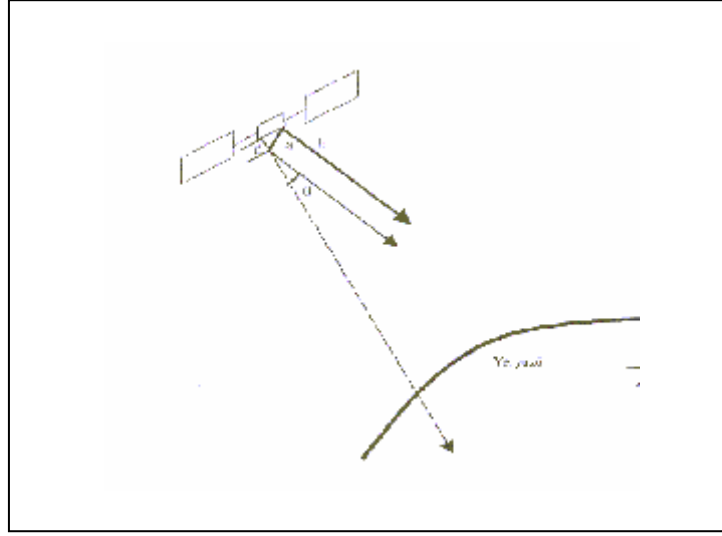
$$\Delta S_d^z = \frac{0.002277 \cdot P}{1 - 0.00266 \cdot \cos 2\varphi - 0.00028 \cdot h} \quad (2.19)$$

$$\Delta S_w^z = \frac{0.002277 \cdot e \cdot \left(\frac{1255}{TD} + 0.005 \right)}{1 - 0.00266 \cdot \cos 2\varphi - 0.00028 \cdot h} \quad (2.20)$$

yazılabilir.

2.5 Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi

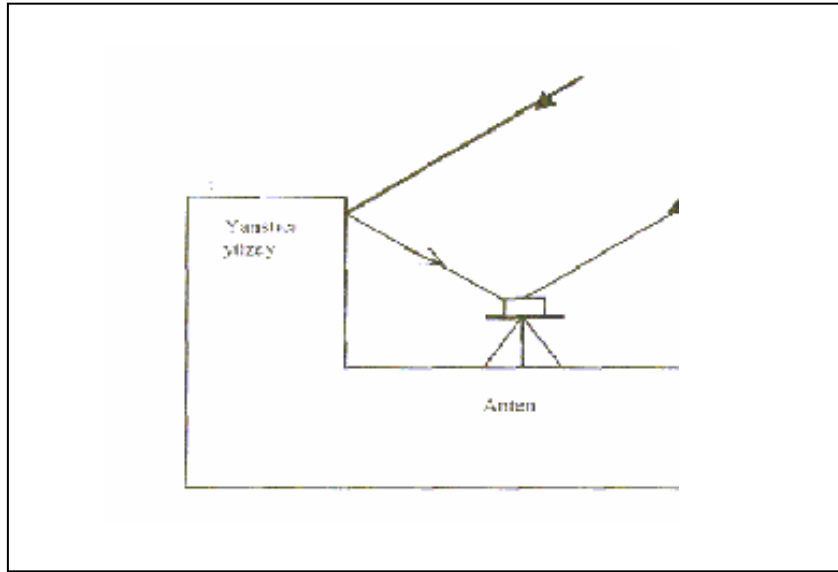
GPS alıcıları ile birlikte kullanılan antenlerin hemen tamamı tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eş zamanlı alabilme özelliğine sahiptir. Antenin kurulduğu arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerine arzu edilmeyen sinyal yansımalarının da karışması söz konusudur.



Şekil 2-3 Uydu Sinyal Yansıması

Uydulardan yayımlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene, bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma etkisi denir. Sinyal yansıması uydu ve alıcının her ikisi için de söz konusudur. Bu nedenle sinyal yansımaları, uyduların neden olduğu (satellite multipath) ve alıcı antenin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayrılır. Uyduların neden olduğu etkiler özellikle kısa kenarlı ağlarda ($< 100-200$ km) bazın her iki ucundaki anten için aynı büyüklüğe sahip olacağından görelî konum belirleme yöntemi ile büyük ölçüde giderilmektedir. (Şekil - 2.3)

Alıcı antenin çevresinin neden olduğu yansımaların olası kaynakları ise yapılar, araçlar, su yüzleri (deniz, göl) ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Sinyal yansıma etkisinin büyüklüğü dalga boyu ile orantılı olup, bu etkinin neden olduğu hata P kod için taşıyıcı dalga fazına göre yaklaşık yüz kat daha fazladır. Anten sinyal yansıma etkisi esas olarak antenin kurulu olduğu noktanın çevresindeki yüzeylere bağlıdır. (Şekil - 2.4)



Şekil 2-4 Alıcı Anteni Sinyal Yansıması

2.6 Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası

Alıcı anteni faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı nokta olup bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. İdeal olarak GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Ancak, uygulamada, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak jeodezik antenlerin faz merkezlerinde küçük değişimler gözlenmektedir. Söz konusu değişimler L1 ve L2 sinyalleri için farklıdır. Başka bir deyişle, L1 ve L2 sinyallerinin faz merkezleri birbirinden farklı olup, aynı zamanda bu faz merkezleri laboratuvar koşullarında üretici firma tarafından belirlenen geometrik faz merkezinden de farklıdır.

Anten faz merkezi değişimleri antenin yapısına bağlı olarak bir kaç mm ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Bu nedenle, özellikle yüksek doğruluk gerektiren yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, jeodezik uygulamalar gibi çalışmalarda anten faz merkezi değişimlerinin de GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gerekmektedir.

Seçimli Anten faz merkezi kayıklığı uydular için de söz konusu olmakla birlikte, L1 ve L2 için anten faz merkezlerinin aynı olduğu, uydu anteninin genelde yer merkezine yönlendirilmesi nedeniyle uydu alıcı doğrultusuna bağlı bir değişimin söz konusu olmadığı varsayılmaktadır.

2.7 Doğruluk Erişimi (SA)

Seçimli Doğruluk Erişimi (SA) yetkisiz kullanıcıların GPS'in sağladığı doğruluklara ulaşmasını engellemek amacıyla konum belirleme doğruluklarının A.B.D. tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesidir. SA, 25 Mart 1990 tarihinde uygulanmaya başlanmış, 1 Mayıs 2000 tarihinde ara verilmiş 2006 yılında ise sona erdirilecektir [19]..

SA etkisi uygulanmadığı durumlarda SPS ile elde edilen konum doğruluğu yaklaşık 20 metre iken, SA uygulandığı durumlarda 2 boyutta doğruluk yaklaşık 100 metre (%95 olasılıkla), 3 boyutta ise yaklaşık 156 metredir. (%95 olasılıkla)

Daha önce de açıklandığı gibi SA etkisi iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birincisinde uydu Navigasyon Mesajında yayımlanan yörünge bilgileri ile oynanmakta (e - epsilon tekniği), ikincisinde uydu saati frekansı ile oynanmaktadır (S tekniği, clock dithering). Birinci yöntemde uydu yörüngelerinde değişiklik olmayıp yalnızca parametrelerin doğruluğu kötüleştirilmekte, böylece uydu koordinatları yanlış hesaplanmaktadır. Ö tekniğinde ise doğrudan uydu saati ile oynandığından C/A ve P kod ölçülerinin her ikisini de etkilemektedir.

Özellikle kısa baz uzunluklarında SA etkisinden korunmanın en pratik yöntemi Diferansiyel GPS (DGPS) tekniğinin kullanılmasıdır.

2.8 Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz Kesikleri

Taşıyıcı dalga fazı gözlemlerinde temel prensip kod ölçülen ile aynı olmasına karşın aradaki en önemli fark, kod gözlemlerinde kodun "chip" uzunluğu ölçülürken faz gözlemlerinde taşıyıcı dalganın dalga boyları sayılmaktadır. Örneğin belirli bir uydu alıcı çifti arasında yaklaşık 106 000 000 dalga boyu sayılırsa ve L1 için dalga boyu 19 cm kabul edilirse uydu alıcı uzaklığı yaklaşık 20 - 140000 metre olarak hesaplanabilir.

Uydu alıcı uzaklığının hesabı yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi çok basit olmasına karşın faz gözlemlerinde bazı önemli sorunlar da vardır. PRN kodları her uydu için tek anlamlı olup alıcı tarafından tanındığından, kod gözlemlerinde alıcı kodun hangi bölümünü kaydettiğini hemen çözer. Oysa, her dalga boyu birbirinin benzeri olduğundan alıcı kaydettiği sinyalin neresinde olduğunu bilemez. Başka bir deyişle, GPS alıcısı ölçü anında yalnızca uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçer. Alıcının açıldığı anda devreye giren bir sayaç, uydu alıcı fazı 0 ile $2n$ arasında değiştiğinde +1 veya -1 tamsayı artar veya azalır. Böylece ilk ölçü epokundan itibaren fazdaki tam sayı dalga boyu değişimleri belirlenmiş olur.

Diğer taraftan GPS gözlemi devam ederken uydu sinyallerinin alınmasında karşılaşılabilecek herhangi bir problem nedeniyle meydana gelecek sinyal kesikliklerine faz kesiklikleri yada faz kayıklıkları adı verilmektedir. Bu durumda, uydu sinyal kesikliğinin meydana geldiği andan sonraki gözlemler oluşan kayma miktarı kadar düzeltilmelidir.

Faz belirsizliği ve faz kesikliklerinin çözümü özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda, yoğun çaba, ayrıntılı bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Ancak, pratik amaçlı konum belirlemelerde (20 km'yi geçmeyen kısa bazlarda) bu sorunlar mevcut GPS yazılımlarında tamamen otomatik olarak ve kullanıcıya yük getirmeksizin çözülmüştür.

2.9 Seyrüsefer Amaçlı Doğruluk Ölçütleri

Bu bölümde GPS'in kod gözlemleri kullanılarak yapılan anlık konum belirleme amaçlı uygulamalarında GPS alıcısı ekranında okunan konum ve zaman bilgilerine ilişkin doğruluk ölçütleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Burada navigasyon amaçlı doğruluk ölçütleri ile tek bir alıcıdan elde edilen konum ve zaman bilgilerine ilişkin doğruluk ölçütleri ifade edilmektedir.

Bilindiği gibi GPS alıcısı ile gözlenen temel büyüklük, GPS sinyali uydudan alıcıya gelene kadar arada geçen zaman farkı (Δt) dir. GPS sinyali ışık hızıyla yayıldığından uydu-alıcı uzaklığı, arada geçen zamanın (Δt) ışık hızı ($c=299458792 \text{ m/sn}^2$) ile çarpılması sonucu elde edilir. Ancak, söz konusu zaman, farkı uydu ve alıcı saatlerindeki hatalar nedeniyle olması gerekenden bir miktar farklı olacaktır. Bunun sonucunda da hesaplanan uydu-alıcı uzaklığı hatalı olacağından alıcı tarafından hesaplanan ve uydu/alıcı hataları ile yüklü olan bu uzaklığa ham uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) adı verilmektedir. Örneğin, Δt ölçümündeki 1 milisaniyelik ($1 \text{ msn}=0.001 \text{ sn}$) bir sapma hesaplanan uydu-alıcı uzaklığında yaklaşık 300 km.lik bir hataya neden olacaktır. Diğer taraftan, uydu saatine ilişkin bilgiler yine GPS uyduları vasıtasıyla yayınlanan navigasyon mesajlarının içinde mevcuttur. Dolayısıyla, alıcı saati hataları dengelemede bilinmeyen olarak çözülsün, uydu saati hataları da bu navigasyon mesajlarından yararlanarak pseudorange ölçülerine düzeltme olarak getirilse bile yapılan ölçülerde yine de bazı hatalar var olmaya devam edecektir. Bu hatalar ise doğal olarak GPS ile belirlenen konum, zaman ve hız bilgilerinin hatalı olmasına neden olacaktır. Söz konusu hatalar zamana bağlı olarak değişeceğinden aynı noktada farklı zamanlarda yapılacak ölçülerden, kullanılan ölçü yöntemine ve gözlenen büyüklüğe bağlı olarak, farklı sonuçlar elde edilecektir.

Pseudorange ölçülerini etkileyen hata kaynakları genel olarak uydu/alıcı saati hataları, modellendirilmemiş atmosferik etkiler (iyonosfer ve troposfer etkisi), sinyal yansıma etkisi ve seçimli doğruluk erişimi SA nedeniyle uydu yörünge bilgilerindeki hatalar olarak sıralanabilir.

Tüm bu hata kaynakları sonuç olarak pseudorange ölçümünde sapmalara neden olmaktadır. İşte, bu hataların tamamının oluşturduğu sonuç hataya kısaca UERE adı

verilmektedir. UERE, yukarıda verilen her bir hatanın kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanmaktadır.

Buraya kadar anlatılanlardan anlaşılacağı gibi UERE, herhangi bir uydudan alıcıya olan uzaklıktaki hatayı ifade etmektedir. Dolayısıyla, bu hata her uydu-alıcı çifti için farklı büyüklüğe sahip olup birbirinden bağımsızdır.

GPS ile navigasyon amaçlı ölçmelerde üç boyutlu konumu etkileyen bir diğer faktör ise gökyüzündeki uydu geometrisidir. Uydu geometrisi de GPS ile anlık konum belirlemede önemli bir hata kaynağıdır. Uyduların birbirlerine ve yeryüzündeki alıcıya göre olan konumlarının, alıcı anteni koordinatlarının belirlenmesindeki hatalara katkısı duyarlılık kaybı (DOP) faktörleri ile ifade edilmektedir. Genel olarak yüksek DOP değeri uydu geometrisinin doğru konum belirleme için uygun olmadığını (uyduların birbirine çok yakın olduğunu), düşük DOP değeri ise uydu dağılımının çok iyi olduğunu ifade etmektedir [1].

Tablo 2-4 SPS Kullanıcıları İçin Pseudorange Hata Büyüklükleri

BÖLÜM	HATA KAYNAĞI	HATA MİKTARI SA Açık (1σ) (m)	HATA MİKTARI SA Kapalı (1σ)(m)
Uzay	Uydu Saati Hatası	3.0	3.0
	Uyduya Bozucu Etkiler	1.0	1.0
	Seçimli Doğruluk Erişimi	32.3	0.5
	Diğerleri	0.5	
Kontrol	Uydu Efemeris Hatası	4.2	4.
	Diğerleri	0.9	2 0.9
Kullanıcı	lyonosfer Etkisi	5.0	5.0
	Troposfer Etkisi	1.5	1.5
	Alıcı Hataları	1.5	1.5
	(noise,resolution)	2.5	2.5
	Sinyal Yansıması	0.5	0.5
	Diğerleri		
Sistem UERE'si	Toplam(rss)	33.3	8.0

$$\sigma = DOP$$

$$(2.21)$$

σ bir koordinatta standart sapma olarak söylenebilir. DOP uydu geometrisinin konum duyarlılığına katkısının gösteren bir sayıdır. DOP'ın çok çeşitleri vardır. Bunlardan bazıları;

GDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,

PDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,

HDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara (enlem ve boylam) etkisini,

VDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini,

TDOP, uydu geometrisinin zaman bilgisine etkisini ifade etmektedir.

DOP faktörleri ile ilgili bilgi Tablo - 2.5' de verilmektedir [4].

Tablo 2-5 DOP Faktörleri

Kısa Adı	Açık Adı	Etkilediği Büyüklük	Kullanım Alanı
GDOP	Geometric Dilution of Precision	Koordinatlar(X,Y, Z) Zaman (t)	Teorik ve bilimsel Çalışmalarda
PDOP	Position Dilution of Precision	Koordinatlar (X,Y,Z)	3 boyutlu konumun önemli olduğu uygulamalarda (ör. Havacılık)
HDOP	Horizontal Dilution of	Yatay Koordinatlar(X,Y)	Denizcilik ile ilgili
VDOP	Vertical Dilution of Precision	Yükseklik (Z)	Yükseklik bilgisinin önemli olduğu uygulamalarda (ör. havacılık)
TDOP	Time Dilution of Precision	Zaman (t)	Zaman transferi uygulamalarında

Eğer gözlem anında UERE ve DOP değerleri biliniyorsa, aynı anda alıcı ekranında okunan konum ve zaman bilgilerinin doğruluğu hesaplanabilir. Başka bir deyişle, UERE veya DOP faktörlerinden bir tanesi tek başına kullanıcının ölçü anında elde ettiği konum ya da zaman doğruluğu ile ilgili gerçek bilgi veremez. Bunun için UERE ile DOP faktörünün çarpılması gerekmektedir. Örneğin, kullanıcının ölçü anındaki üç boyutlu konum bilgisine ait hata miktarını öğrenmesi için, alıcı ekranında o anda okunan PDOP değeri ile UERE'yi çarpması gerekmektedir. Böylece, anlık konum/zaman doğruluğu (2.22) eşitliğinden yararlanarak bulunabilir [1].

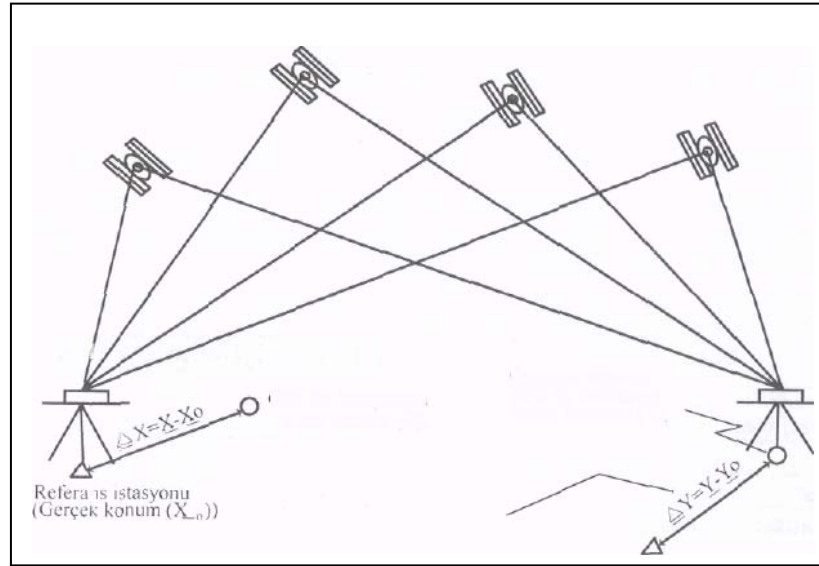
$$\sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2} = PDOP \cdot UERE \quad (2.22)$$

3. DİFERANSİYEL GPS (DGPS) TEKNİĞİ

3.1 Temel Tanımlar

GPS ile elde edilen anlık doğruluk bir çok amaç için yeterli olmakla birlikte bazı navigasyon uygulamalarında (örn. deniz ve hava araçlarının navigasyonu) daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu ise mevcut GPS sisteminden anlık konum belirlemede yararlanabilme olanaklarını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte, istenen navigasyon amaçlı doğruluklara DGPS gibi bazı özel teknikler kullanılarak erişilebilmektedir.

DGPS tekniğinde biri sabit diğeri gezen olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden duyarlı olarak belirlenmiş bir noktaya kurulur ve gezen (yada uzak) alıcının konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yapılmalıdır. Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını (kod ya da faz pseudorange) hesaplayarak bu değerleri kendi duyarlı konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) pseudorange'ler ile karşılaştırır. Aradaki farklar gözlem hatası olarak yorumlanır ve bu farklar konumu belirlenecek olan noktalardaki gezen alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen gözlemlere düzeltme olarak getirilerek gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir, Söz konusu düzeltmeler gezen alıcılara, alıcılar arasındaki uzaklığa bağlı olarak portatif telsizler, yer istasyonları ve uydular vasıtasıyla yayınlanmaktadır. (Şekil - 3.1)



Şekil 3-1 DGPS Temel Prensibi

DGPS ile elde edilen konum doğrulukları yalnız GPS ile elde edilen doğruluklardan çok daha iyidir. Bu teknikte GPS sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonla (ortak) sistematik hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur. Daha önce de ifade edildiği gibi SA etkisinin uygulanmadığı durumlarda anlık GPS gözlemi ile elde edilebilecek pseudorange doğruluğu yaklaşık 20-25 m. dir. (Tablo – 3.1)

Tablo 3-1 SPS İçin GPS Pseudorange ve Konum Doğrulukları

Hata Kaynağı	Hata Büyüklüğü (metre; 1σ)
Efemeris Hatası	2.1
Uydu Saati Hatası	20.0
İyonosfer	4.0
Troposfer	0.7
Sinyal Yansımaları (multipath)	1.4
Alıcı Ölçü Hatası	0.5
Sabit Nokta Konum Hatası	0.0
Pseudorange Hatası; UERE(RMS)	20.6
1σ Düşey Konum Hatası VDOP=2.5	51.4
1σ Yatay Konum Hatası HDOP=2.0	41.1

Tablo - 3.1' den de görüldüğü gibi GPS ile konum belirlemede uydu saati hatası ana hata kaynağıdır. Bu ise SA etkisinin uygulanmasının kullanıcılar açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. SA etkisi artırıldıkça elde edilecek pseudorange ve konum doğrulukları da o ölçüde kötüleşecektir.

DGPS uygulaması ile elde edilen sonuçlar, SA uygulansın yada uygulanmasın, yalnız GPS'den elde edilen doğrulukların çok üzerinde olmaktadır. Tablo - 3.2' de referans istasyonundan yaklaşık 50 km uzaklıktaki bir SPS kullanıcı için elde edilen DGPS doğrulukları verilmiştir.

Tablo 3-2 DGPS Doğrulukları (SPS Kullanıcısı için)

Hata Kaynağı	Hata Büyüklüğü (metre)
Efemeris Hatası	0.0
Uydu Saati Hatası	0.7
İyonosfer	0.5
Troposfer	0.5
Sinval Yansıması (multipath)	1.4
Alıcı Ölçü Hatası	0.2
Referans Noktası Konum Hatası	0.4
Pseudorange Hatası: UERE (RMS)	1.8
1 σ Düşey Konum Hatası VDOP=2.5	2.8
1 σ Yatay Konum Hatası HDOP=2.0	2.2

3.2 DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemi

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 olarak getirilir. Sabit alıcı ile gezen alıcıların özellikle 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' lü uydu konfigürasyonu hesaplayıp yayınlamak zorundadır. Bu ise zaman alıcı ve yorucu bir işlemdir.

İkinci ve en çok tercih edilen yöntemde düzeltmeler her bir uyduya yapılan pseudorange ölçülerine getirilmektedir. Bu düzeltmelere "delta pseudorange" ya da "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.

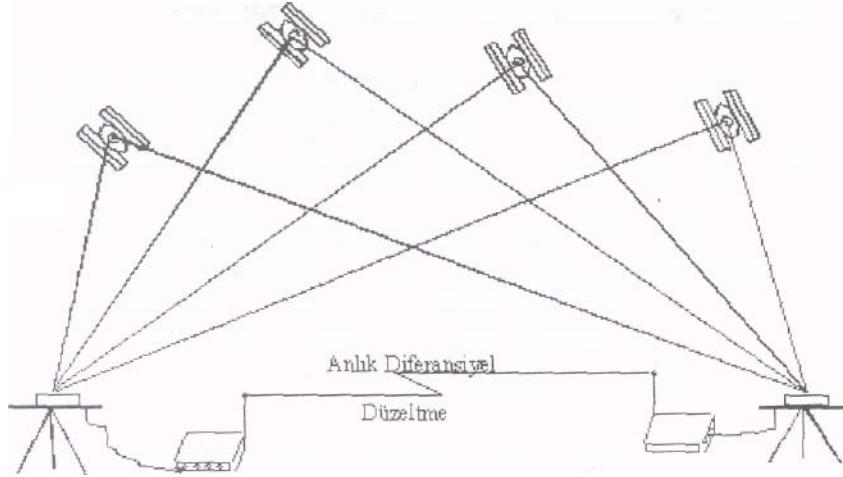
Söz konusu diferansiyel düzeltmeler konumu belirlenecek noktadaki gezen alıcılara iki şekilde getirilmektedir. Bunlar,

- 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, alıcılardaki gözlemler büroda hesaplama amacıyla bilgisayarlara aktarılmaktadır. Bu düzeltme değerleri sabit istasyonda anlık olarak hesaplanmakta ve bazı özel yöntemler kullanılarak gezen alıcılara doğrudan aktarılmaktadır. (Şekil - 3.2)

Kısaca, anlık DGPS yönteminde sabit noktadaki alıcı gerekli düzeltmeleri her bir uydunun için hesapladığı an bunları yayınlar. Bu yayınlar ise gezen alıcılar tarafından alınarak kendi konumlarına düzeltme olarak getirilir ve böylece çok kısa zaman aralıklarında gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenmiş olmaktadır. Bu yöntem özellikle uçak, gemi gibi hareketli (dinamik) platformlardaki kullanımlarda çok önemlidir. Sabit, istasyonda hesaplanan düzeltmeler, diğer alıcılara özel amaçlı bir telsiz yada cep telefonu, uydunun vb. vasıtasıyla gönderilmekte ve bu yayınlar gezen alıcılarda da mevcut olan aynı özellikteki telsizler vasıtasıyla alınmaktadır. Bu telsizlerle gönderilen 'düzeltmeler 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 Committee 104) formatında yayınlanmaktadır [5]. 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

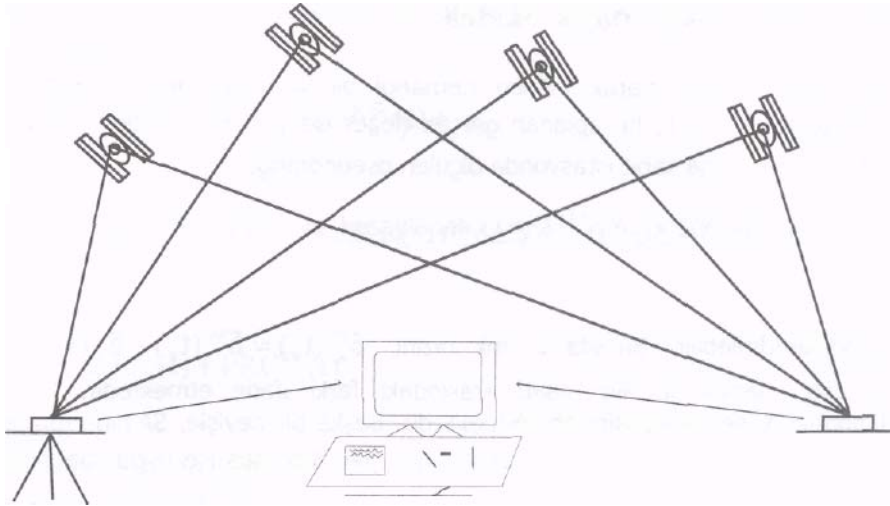
arada geçen süre içerisindeki konumları da bu orandan yararlanarak hesaplayabilmektedir, İki düzeltme yayını arasındaki süre uygulama alanına göre değişmektedir. Örneğin, sivil yolcu uçakları için bu süre 6 saniyeden az olmalıdır.



Şekil 3-2 DGPS' de Temel Prensi

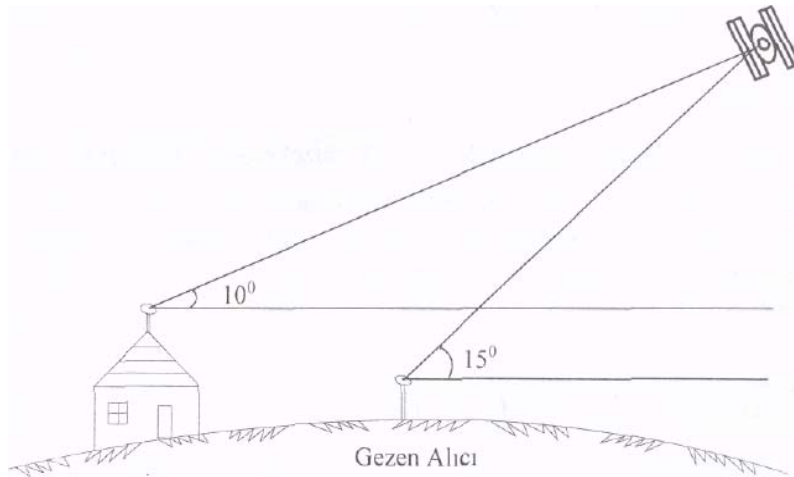
Gözlem sonrası değerlendirme yönteminde ise sabit alıcı her bir uydu için hesapladığı düzeltmeleri hafızasına kaydeder. Gezen alıcı da kendi hesapladığı konumları hafızasına kaydeder. Arazi dönüşünde her iki alıcı tarafından kaydedilmiş veriler DGPS yazılımı kullanılarak değerlendirilir ve gezen alıcının kaydettiği verilere gerekli düzeltmeler getirilir. (Şekil - 3.3)

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 sınırı sabit istasyondan olan her 100 km uzaklık için bir derece artırılmalıdır. 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 - 3.4)



Şekil 3-3 Gözlem Sonrası Hesaplama (Post Processing)

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 [1].



Şekil 3-4 Sabit İstasyon ve Gezen Alıcı Veri Toplama Yükseklik Açısı Sınırı

3.3 DGPS Gözlem Sonrası Değerlendirme Yazılımı

Ölçü sonrası DGPS değerlendirmeleri yapmak üzere hazırlanmış olan programlar mevcuttur. Bunlardan DGPSCE (DGPS Correction Engine) isimli programında hazırlanışında Borlan Delphi visual programla dili kullanılmış, Windows 95,98 ve NT ortamlarında kullanılabilir. DGPS sonradan değerlendirme programı aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- Veri transfer modülü
- Veri düzenleme modülü
- Orbit modülü
- Atmosfer modülü
- Uyumlaştırma modülü

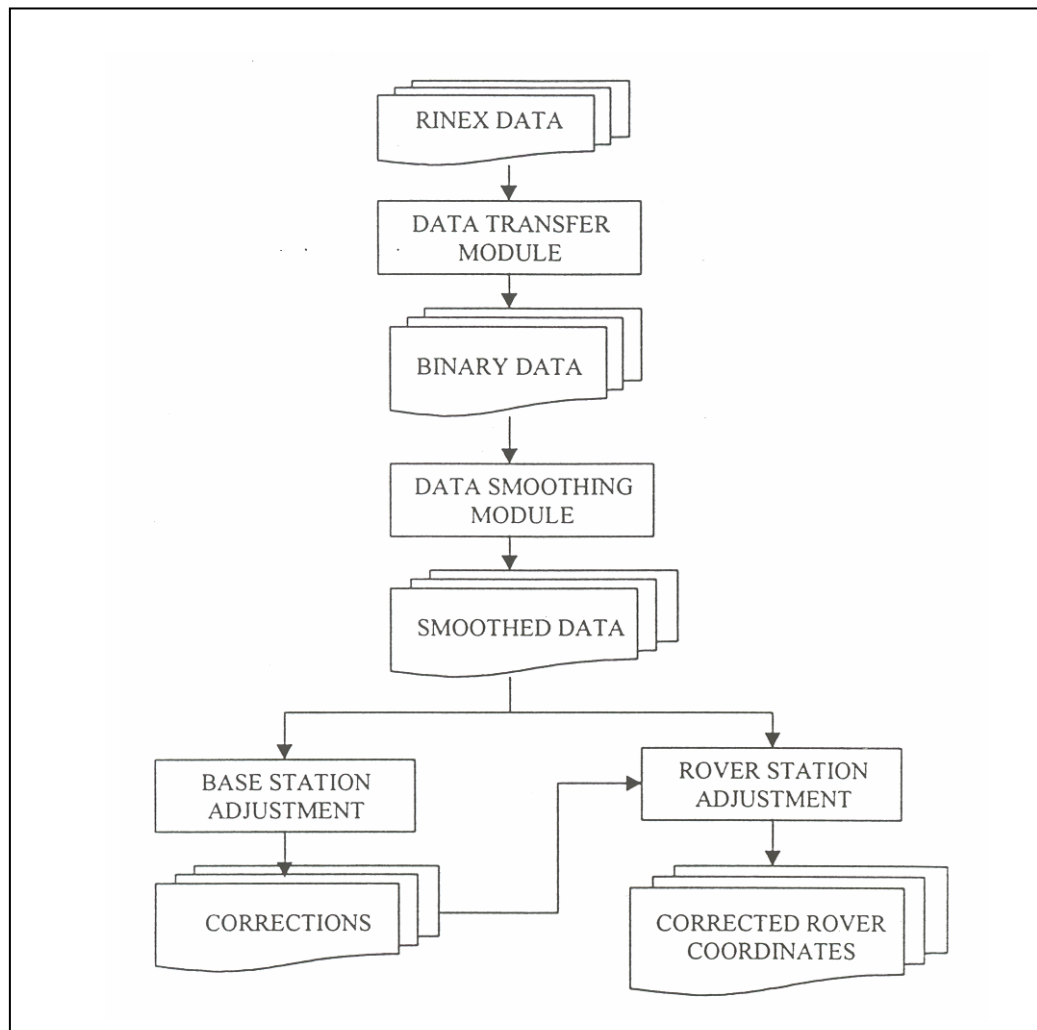
Veri transfer modülü; GPS alıcısının farklı veri kayıt formatları nedeni ile bu yazılımda RINEX (Receiver Independent Exchange) formatı kullanılmıştır. RINEX formatına göre ASCII tip dosyalar, “Observation Data File” (OBS), “Navigation Message File” (NAV), ‘Meteorological Data File’ (MET)’ dan oluşmaktadır. Bu modül RINEX dosyalarından ihtiyaç duyulan veriyi okuyup, nesne tabanlı ikili system dosyalarına çevirmekte kullanılır.

Veri düzenleme modülü; L_1 frekansına göre çalışmasından dolayı L_2 frekansından gelen veriyi filtrelemek üzere tasarlanmıştır.

Orbit modülü ise; ölçüm yapılan zamanda uyduların pozisyonlarının hesaplama görevi yapar. Bunu yaparken özel bir algoritma kullanır.

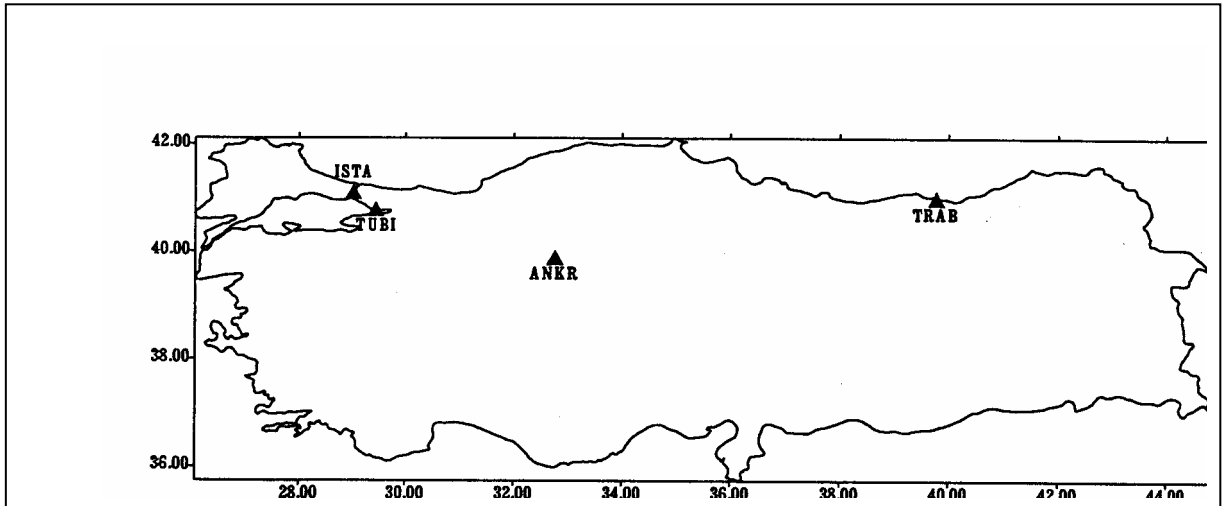
Atmosfer modülü; troposfer düzeltmelerini Saastamoinen veya Simplified Hopfield modelleri kullanılarak yapılmasını sağlar.

Uyumlaştırma modülü; GPS alıcıların yapmış olduğu hatalı pseudorange ölçümlerini, En Küçük Kareler yöntemi ve Kalman filtresi tekniği ile çözümüne olanak verir. DGPSCE Yazılım Akış Diagramı Şekil - 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3-5DGPSCE Yazılım Akış Diagramı

DGPSCE yazılımı Türkiye’de sabit GPS istasyonlarından elde edilen verilerden test edilmiştir. Mevcut yer istasyonlarının yerleri ve mesafe bilgileri Şekil - 3.6, Tablo - 3.3, Tablo - 3.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 3-6 Türkiye'deki Kalıcı GPS İstasyonları

Tablo 3-3 Test İçin Kullanılan Sabit İstasyonlar

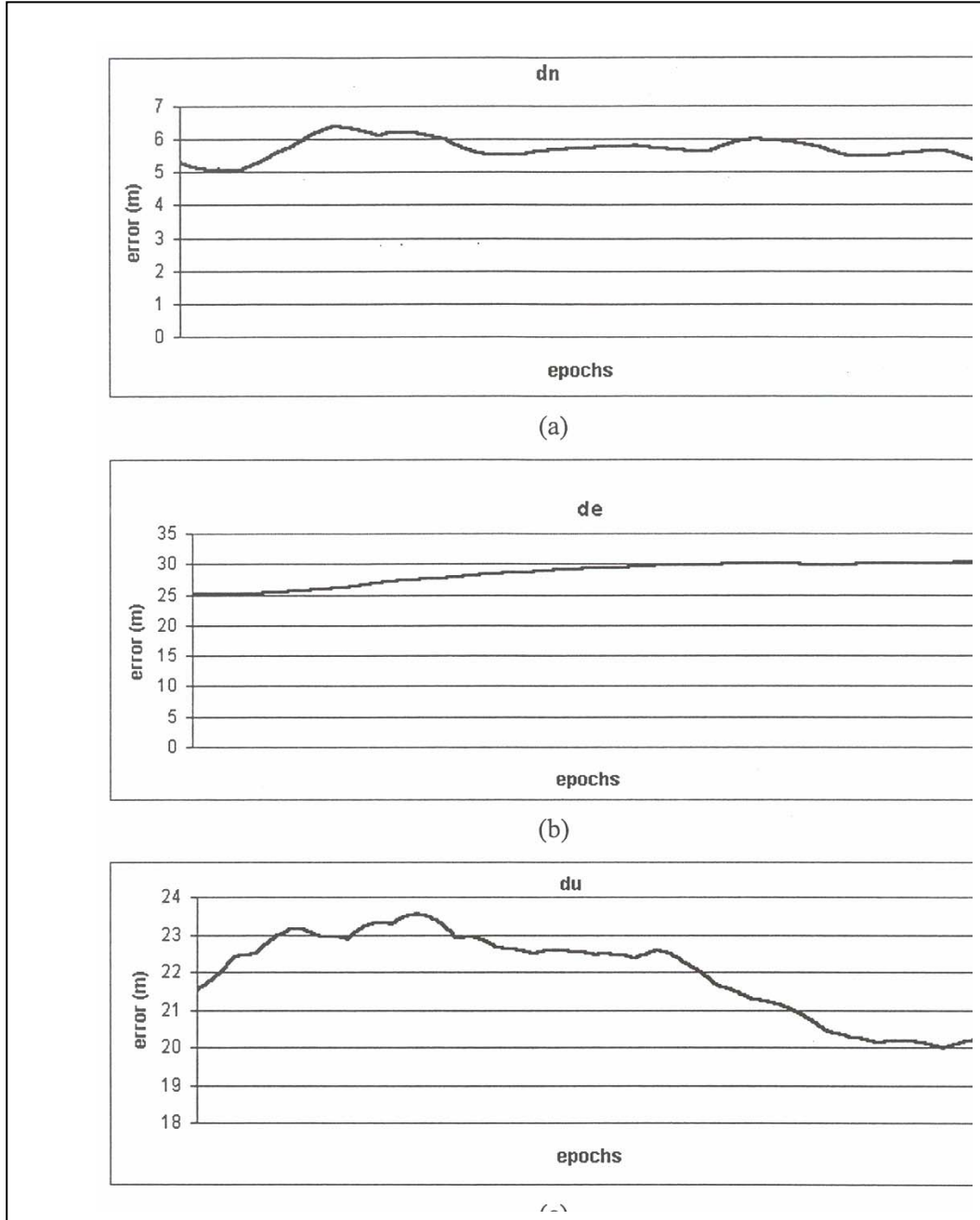
İstasyon Adı	Yer	Alıcı Tipi	Anten Tipi
ANKR	Ankara	TurboRogue SNR-8000	Dorne Margolin T
TUBI	İstanbul	Trimble 4000 SSI	Dorne Margolin T
ISTA	İstanbul	Ashtech Z-XII3	Dorne Margolin T
TRAB	Trabzon	Ashtech Z-XII3	Dorne Margolin T

Tablo 3-4 İstasyonlar Arası Mesafe (km)

	ANKR	ISTA	TUBI	TRAB
ANKR		345	300	608
ISTA	345		50	903
TUBI	300	50		870
TRAB	608	903	870	

12 Eylül 2000 (Julian Day,256) tarihinde yapılan ölçüm kayıtlarına göre En Küçük Kareler yöntemi ve Kalman filtresi tekniği ayrı ayrı kullanılarak, DGPSCE yazılımı çalıştırılarak bilinen pozisyona göre yapılan pozisyon hataları tespit edilmiştir. Buna göre İstanbul istasyonunun kuzey, doğu ve düşey yönlerde yapmış olduğu hatalar Şekil - 3.7, Şekil - 3.8 ve Şekil - 3.9' da sunulmuştur. Buradan çıkan sonuçlara göre İstanbul istasyonunun DGPS yazılımı kullanmadan önce pozisyon hataları 20-30 m arasında çıkar iken, yazılımın çalıştırılıp elde edilen sonuçlara göre referans istasyona 100 km ye kadar olan mesafelerde 2

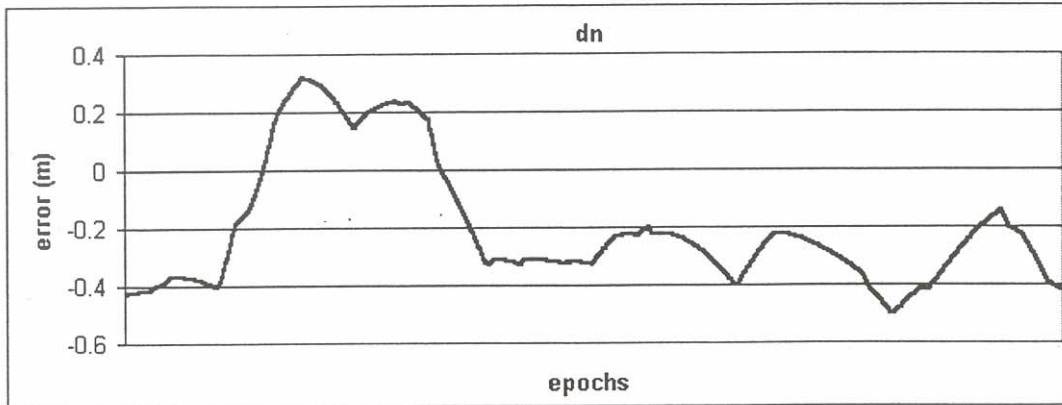
m' nin altında hatalar, 600 km' ye kadar olan mesafelerde ise 6 m' nin altında doğrulukta pozisyon bilgileri elde edilebilmektedir. Ayrıca Kalman filtre tekniğinin daha uygun değerler verdiği sonucu çıkmıştır [6].



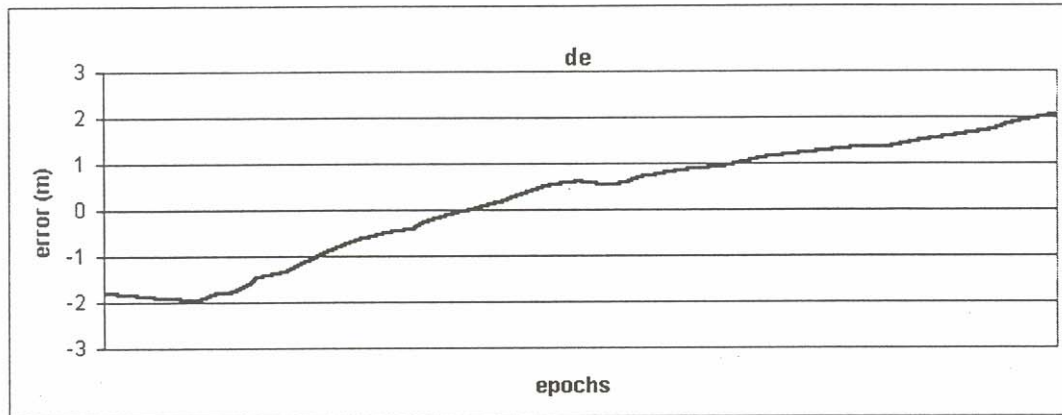
Şekil 3-7 DGPS' siz İSTA İstasyonunun Pozisyon Hataları

(a) Kuzey bileşeninin hatası

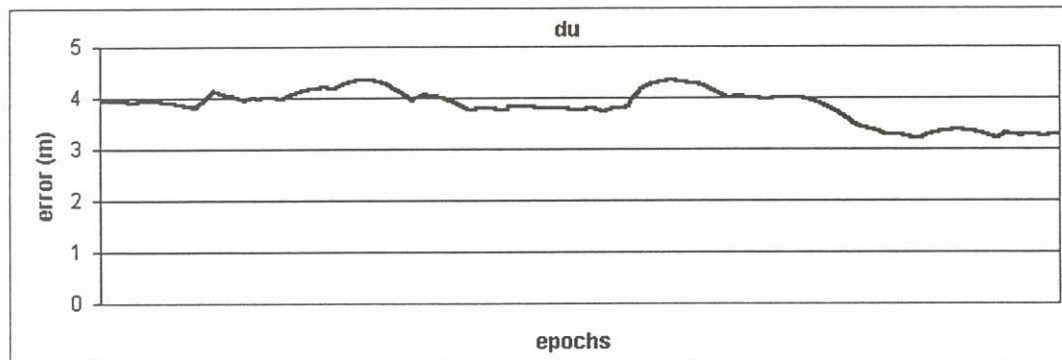
- (b) Doğu bileşenin hatası
(c) Yükseklik bileşenin hatası



(a)

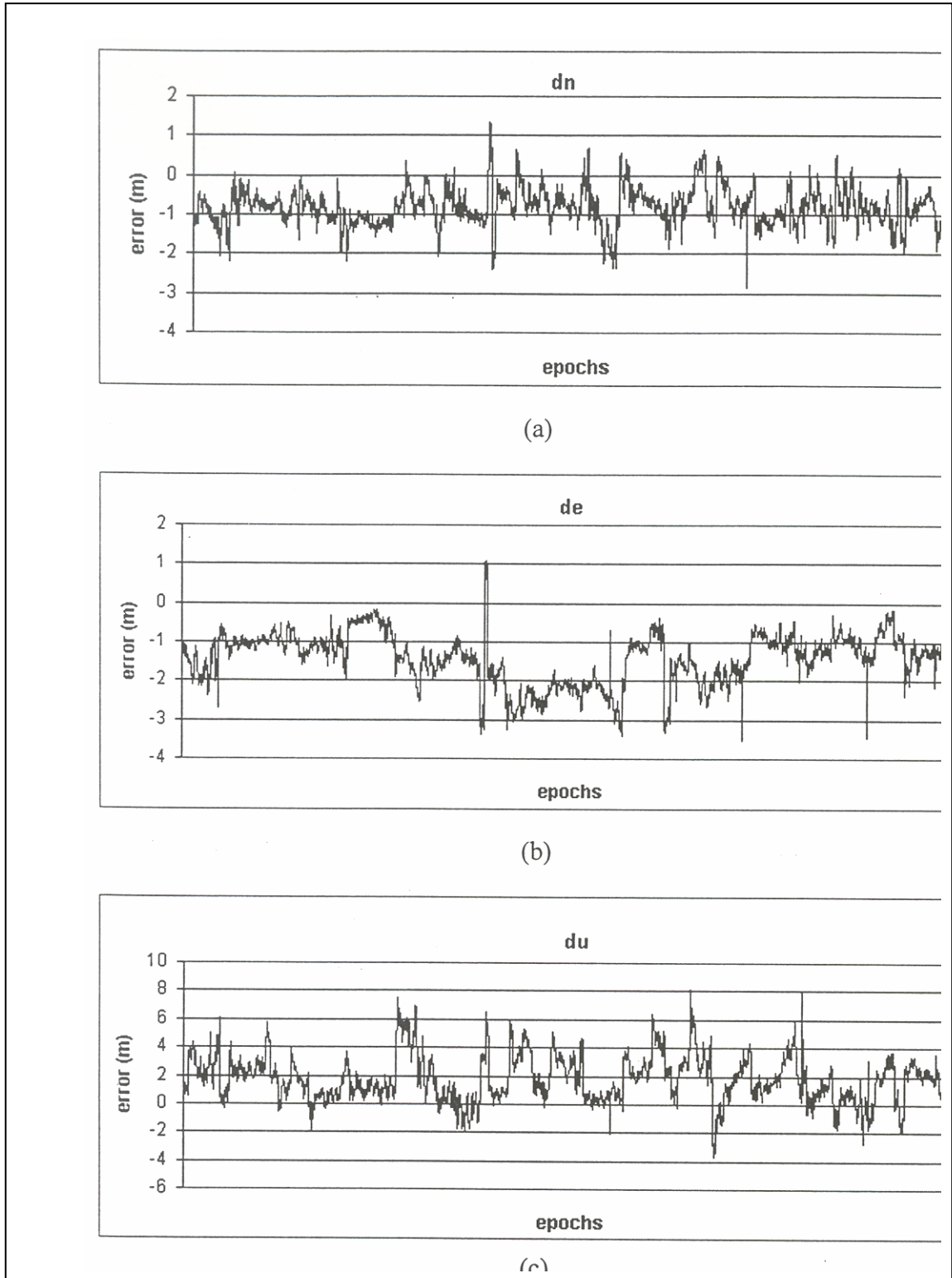


(b)



(c)

Şekil 3-8 ISTA İstasyonunun Kalman Filtreli DGPS Çözümü (ANKR referans istasyon)



**Şekil 3-9 ISTA İstasyonunun En Küçük Kareler Yöntemine Göre DGPS çözümü
(ANKR referans istasyon)**

- (a) Kuzey bileşenin hatası
- (b) Doğu bileşenin hatası
- (c) Yükseklik bileşenin hatası

3.4 DGPS Matematik Modeli

Koordinatları duyarlı olarak bilinen -herhangi bir A noktasında ölçülen kod pseudorange $P_A^{SV}(t_0)$, hesaplanan gerçek değer ise $\rho_A^{SV}(t_0)$ ile gösterilirse t_0 anında SV uydusuna sabit istasyonda ölçülen pseudorange,

$$P_A^{SV}(t_0) = \rho_A^{SV}(t_0) + \Delta\rho_A^{SV}(t_0) + c \cdot \Delta\delta_A^{SV}(t_0) + \dots \quad (3.1)$$

ile modellendirilebilir. Burada c , ışık hızını, $\delta_A^{SV}(t_0) = \delta^{SV}(t_0) - \delta_A(t_0)$ ise

uydu saati hatası ile alıcı saati arasındaki farkı ifade etmektedir. (3.1) eşitliğindeki Δ ise SA etkisini göstermektedir. Başka bir deyişle, SA'nın ε -proses etkisi radyal yörünge hatası olup $\Delta\rho_A^{SV}(t_0)$ ile, δ – proses ise uydu saatindeki kasıtlı hata olup $\delta^{SV}(t_0)$ ile gösterilmiştir. Bu eşitlikte basitliği sağlamak amacıyla sinyal yansıma ve atmosferik etkiler dikkate alınmamıştır. Böylece, herhangi bir SV uydusu için t_0 epokundaki pseudorange düzeltmesi $PRC^{SV}(t_0)$,

$$PRC^{SV}(t_0) = \rho_A^{SV}(t_0) - R_A^{SV}(t_0) \quad (3.2)$$

yada,

$$PRC^{SV}(t_0) = -\Delta\rho_A^{SV}(t_0) - c \cdot \Delta\delta_A^{SV}(t_0) \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Daha önce de belirtildiği gibi $PRC^{SV}(t_0)$ düzeltmesine ek olarak düzeltme değişimleri ($RRC^{SV}(t_0)$, Range Rate Correction) de hesaplanabilmektedir. Burada, t_0 epokunda

hesaplanan PRC ve RRC değerlen örneğin anlık uygulamalarda özel amaçlı telsiz vasıtasıyla gezen alıcılara aktarılmaktadır. Herhangi bir t epokundaki düzeltme değeri ise,

$$PRC^{SV}(t) = PRC^{SV}(t_0) + RRC^{SV}(t_0) \cdot \Delta t \quad (3.4)$$

$$\Delta t = t - t_0$$

ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikle elde edilecek doğruluğun diferansiyel düzeltmelerin değişim oranına ve arada geçen zaman farkına $(t - t_0)$ bağlı olacağı açıktır. (3.1) eşitliğinden yararlanarak gezen alıcı (B)' da t epokunda gözlenen pseudorange,

$$P_B^{SV}(t) = \rho_B^{SV}(t) + \Delta \rho_B^{SV}(t) + c \cdot \Delta \delta_B^{SV}(t) + \dots \quad (3.5)$$

ile ifade edilirse ve (4.4) ile hesaplanan $RRC^{SV}(t)$ değeri de $P_B^{SV}(t)$ 'ye eklenirse,

$$P_B^{SV}(t)_{düz} = P_B^{SV}(t) + PRC^{SV}(t) \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, (3.3) ve (3.5) eşitliklerinden yararlanarak,

$$P_B^{SV}(t)_{düz} = \rho_B^{SV}(t) + [\Delta \rho_B^{SV}(t) - \Delta \rho_A^{SV}(t)] + c \cdot [\Delta \delta_B^{SV}(t) - \Delta \delta_A^{SV}(t)] + \dots \quad (3.7)$$

daha açık olarak yazılabilir. Bu eşitlikten görüleceği gibi uydu saat hataları her iki noktadaki alıcı için aynı olacağından SA (clock dithering) etkisi tamamen giderilmiş olmaktadır. SA'dan kaynaklanan radyal yörünge hatası (ε -proses) orta uzunluktaki bazlar için büyük ölçüde giderilmiş olmaktadır. Aynı durum atmosferik etkiler için de geçerli olup, DGPS ile giderilemeyen en önemli hata kaynaklarından biri olarak sinyal yansıması kalmaktadır. Sonuç olarak,

$$P_B^{SV}(t)_{düz} = \rho_B^{SV}(t) - c \cdot \delta_{AB}(t) + \quad (3.8)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $\delta_{AB}(t)$ ifadesi

$$\delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t) \quad (3.9)$$

ile hesaplanmaktadır.

Benzer eşitlikler faz gözlemleri için de yazılabilmekte olup aradaki en önemli fark faz gözlemi eşitliklerinde faz belirsizliği (N_A^{SV} ve N_B^{SV}) ifadeleri de eklenmelidir.

(3.1) - (3.9) eşitliklerindeki işlem adımları uygulandığında faz gözlemleri ile DGPS sonuç eşitliği,

$$\Phi_B^{SV}(t)_{düz} = \rho_B^{SV}(t) - c \cdot \delta_{AB}(t) + \lambda \cdot N_{AB}^{SV} \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir. Burada N_{AB}^{SV} ifadesi,

$$N_{AB}^{SV} = N_B^{SV} - N_A^{SV} \quad (3.11)$$

ile hesaplanmaktadır.

Faz gözlemlerine ilişkin (3.10) eşitliğinin anlık (real-time) uygulamalarda kullanılmasındaki en önemli sorun faz belirsizliklerinin çözümüdür. Bu sorun, OTF (On The Fly) faz belirsizliği çözümü tekniği ile büyük oranda giderilebilmektedir [1].

3.5 DGPS Sinyal Veri Yapısı

Veri aktarım, DGPS'in en önemli bileşenlerinden birisidir. Hesaplanan düzeltmeler sabit alıcıdan gezen alıcılara yada karşılıklı olarak farklı şekillerde aktarabilmektedir. Kullanılacak olan veri aktarımı yöntemi sabit alıcı ile gezen alıcı/alıcılar arasındaki uzaklığa yada bölgenin büyüklüğüne bağlıdır. Bu yöntemler, sabit ve gezen alıcıların yanında olan basit özel amaçlı radyo modemler (telsizler) olabildiği gibi, cep telefonları, FM radyo frekansları ya da ülke boyutundaki global uygulamalarda haberleşme uyduları da veri aktarımı amacıyla kullanılmaktadır.

Sürekli sabit istasyon çalıştırılan DGPS hizmetleri özel (örn. güvenlik, askeri) amaçlı olabildiği gibi ticari amaçlı olanlar da vardır. Bu sürekli sabit istasyonlara kısaca CORS (Continuously Operating Reference Stations) adı verilmektedir, DGPS hizmetleri doğruluk, erişilebilirlik, kapsadığı alan ve maliyet açısından sınıflandırılabilirlerdir. Bu faktörlere bağlı olarak DGPS hizmetleri yerel, bölgesel ya da global ölçekte kullanılmaktadır. Global DGPS hizmeti için haberleşme uyduları kullanılmaktadır.

Günümüzde 'DGPS kullanıcıları için bir çok veri aktarım formatı kullanılmakla birlikte global uygulamalarda en yaygın kullanılanları RTCM (Radio Technical Commission'for Marine Services) ve RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) veri aktarım formatlarıdır. RTCM esas olarak gemi navigasyonu için kullanılmakta, RTCA ise hava araçlarının (uçak, helikopter, jet uçakları vb.) navigasyonu için kullanılmaktadır. RTCM mesaj formatı örnek olarak Tablo - 3.5' te verilmiştir.

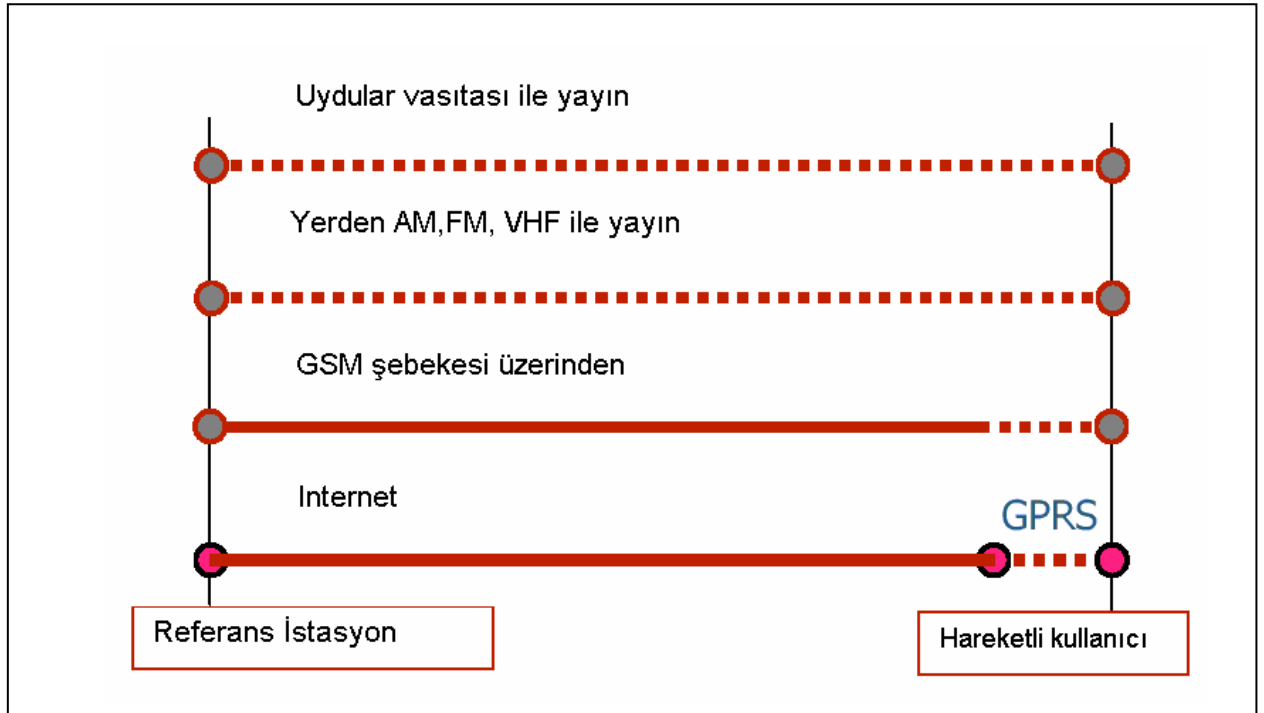
Tablo 3-5 RTCM Mesajı İçeriği

Mesaj No	Açıklaması
1	Standart diferansiyel düzeltmeler
2	Delta diferansiyel düzeltmeler
3	Referans istasyon bilgilen
4	Taşıyıcı dalga gözlem bilgilen
5	Uydu durumları
6	Boş (Test amaçlı mesaj)
7	Denizcilikle ilgili Almanak (Radio Beacon)
8	Pseudolite Almanak

9	Yüksek dereceden diferansiyel düzeltmeler
10	P-kod diferansiyel düzeltmeler
11	L1-L2 delta düzeltmeleri (C/A kod)
12	Pseudolite istasyon parametreleri
13	Yer istasyonu veri aktarımı parametreleri
14	Gözlem yardımcı mesajları
15	ly o n osfe r/Troposfer mesajları
16	Özel amaçlı mesajlar
17	Efemeris/almanak bilgileri
18-59	Boş (Test amaçlı mesaj)
60-63	Diferansiyel Loran - C düzeltmeleri

Tablo - 3.5' te verilen mesajlardan standart uygulama için en önemli olanlar 1,2,3,7,9 ve 16 no.lu mesajlardır. RTCM mesajlarının yayınlanma hızı 50 bit/sn (50 baud) olup bir çok diğer DGPS hizmetlerinde bu oran, kullanım amacına bağlı olarak, 100 bit/sn ile 2400 bit/sn arasında değişmektedir.

3.6 DGPS Veri Aktarım Yöntemleri

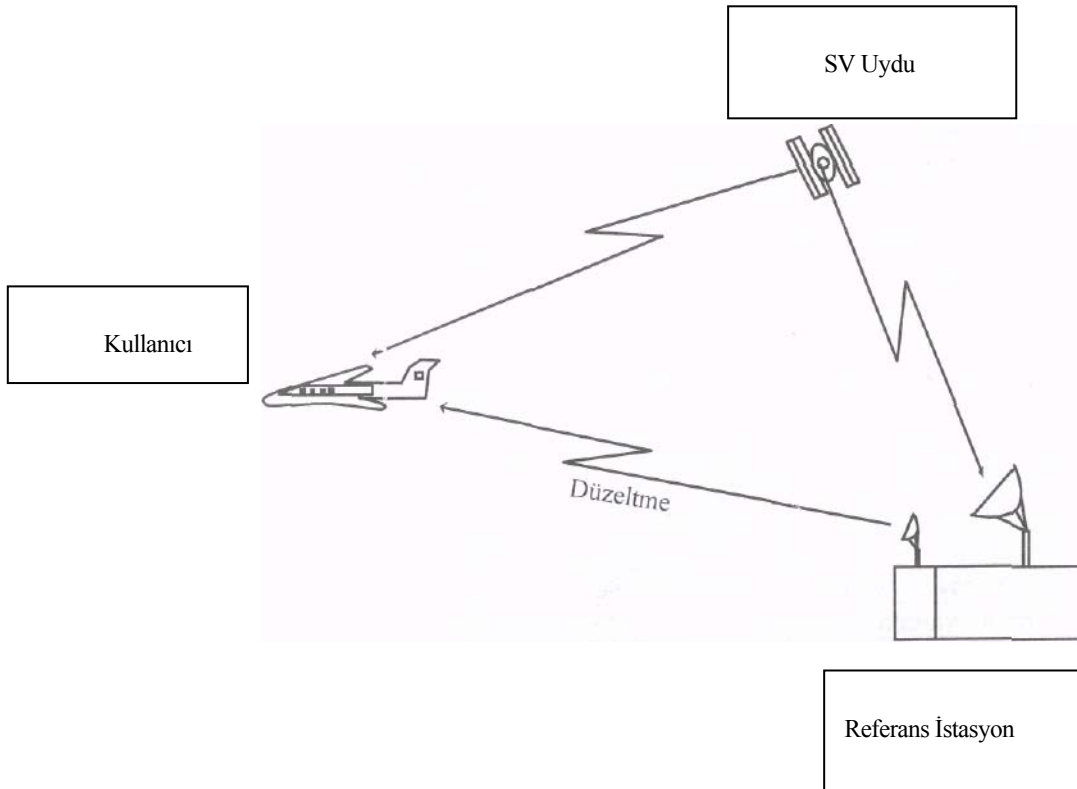


Şekil 3-10 DGPS Veri Aktarım Teknikleri

DGPS verilerinin aktarım teknikleri olarak, yer merkezli sabit istasyonlardan üretilip uydular vasıtası ile, yerden AM, FM modüleli VHF olarak yayınlanarak, GSM şebekesi üzerinden, Internet ve daha sonra GSM şebekesi üzerinden gönderilebildiğine ilişkin uygulamalar mevcuttur ve Şekil - 3.10' da gösterilmiştir [15].

Bir çok DGPS tekniği olmakla birlikte bunlar çok genel olarak Küçük Alan DGPS (LADGPS, Local Area DGPS) ve Büyük Alan DGPS (WADGPS, Wide Area DGPS) tekniği olarak iki ana sınıfta toplanabilir.

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. (Şekil - 3.11)



Şekil 3-11 LADGPS Tekniği

LADGPS tekniğinde, uçaklar haberleşme için **VHF** (Very High Frequency) kullandığı için, etkili alan referans istasyon ile uçak arasındaki veri aktarımı olanağı ile sınırlıdır. Bu alan denizcilik uygulamalarında **MF** kullanıldığı için 400 km. yi bulmaktadır.

LADGPS tekniğine ek olarak maliyetleri oldukça düşük olan yer istasyonları da DGPS uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yer istasyonları aynı GPS uyduları gibi L1 yada L2 frekanslarında GPS sinyali yayınlamakta ve böylece hem ek bir pseudorange gözlemi hem de veri aktarımı olanağı sağlamaktadır. Bu nedenle söz konusu sisteme Pseudolite (Pseudosatellite ifadesinin kısaltılmışı) adı verilmektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi

pseudolite yeryüzü yayın istasyonu olup, GPS uydu sinyallerinin karakteristiklerini aynı şekilde kullanmaktadır. Bu sistemle gözlem yapılan bölgede hem uydu geometrisindeki zayıflıklar giderilmekte hem de elde edilen doğruluklar artırılmaktadır. Bu sistemle elde edilen doğrulukta iyileştirme özellikle yükseklik bileşeninde olduğundan pseudolite sistemi uçakların piste yaklaşma ve inişinde önemli kullanım olanağı bulmaktadır. Belirli bir alan içerisinde çok sayıda pseudolite kullanılması gerektiğinde sinyal karışıklıklarının meydana gelmesi önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle RTCM ve RTCA standartlarında söz konusu sakıncaları gidermek için bazı teknik kısıtlamalar getirilmiştir. Buna göre herhangi bir pseudolite ile kullanıcı arasındaki uzaklık 50 km. den fazla olmayacak, iki pseudolite arasındaki uzaklık ise 54 km.den az olmayacaktır [1].

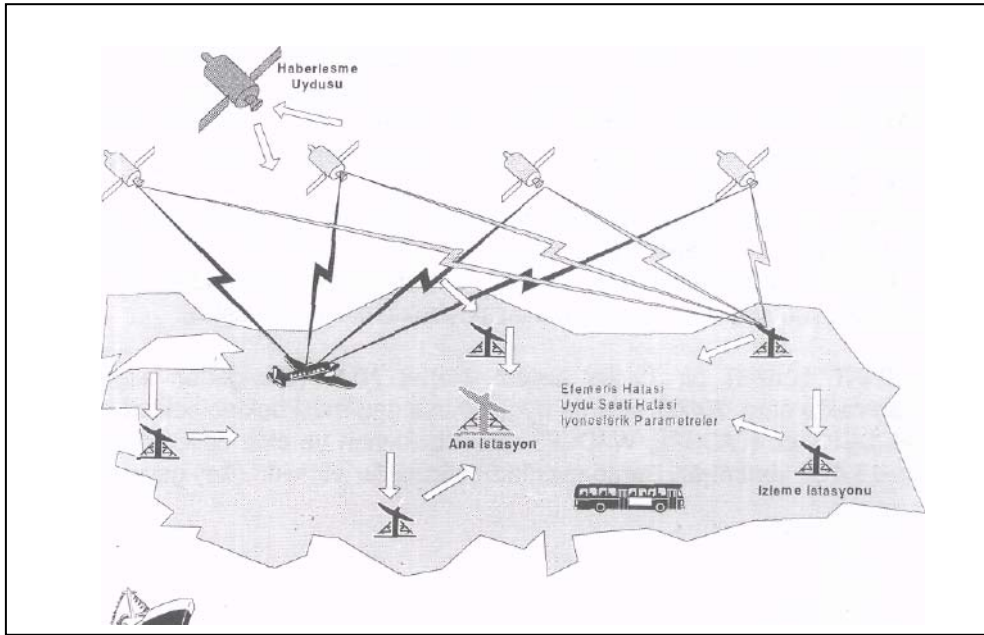
Istanbul Bogazi'nin deniz trafiginin kontrolu için kurulmasi tasarlanan kontrol ve yönetim sistemi GTYH'nin gemilerin konumlarının ve rotalarının, sayisal bir deniz haritasinda gösterilmesi, bir deniz bilgi sisteminin olusturulmasi için gerekli gösterim sistemi ve uygulaması, real-time DGPS teknigi kullanilarak yapılmıştır. Burada, özel bir referans istasyonundan FM vericileri ile yayınlanan DGPS düzeltmeleri, denizcilik uygulamaları için yapılmis bir radyo modem kullanilarak alınmıştır. Ayrıca Z surveyor GPS alicisi real-time DGPS modunda çalıştırılmıştır. Düzeltmeler kullanilarak yapılan DGPS uygulaması sonucu bulunan, konum koordinatlarından oluşan geminin izi, sayisal haritanın görüntülediği bir bilgi sistemi olan Piri Reis'te gösterilmiştir. Böylece gemi kaptanı gemiyi, ekrana bakarak yönlendirebilmiştir. Verilecek olan kesin dönüş noktalarına göre rota belirlenmeli ve geminin bu rotayı takip etmesi, belirlenmiş trafik ayırım çizgilerinin dışına çıkması durumunda alarm veren bir sistem olusturulması gerekmektedir. Burada Bogaz için yapılan çalışmalarda DGPS yönteminin kullanılması başarıyla sonuçlandırılmıştır.

Böylece radarsız olmaz kabul edilen kontrol, çok kritik bölgeler haricinde DGPS ve sayisal haritaların kullanıldığı Piri Reis gibi bir gösterim ve bilgi sistemi ile yapılabilecektir. Bu nedenle Bogaz yaklaşımlarında radar sayısını belli bir sayıda tutup, DGPS'ten yararlanılmasının yerinde olacağı sonucuna varılmıştır [7].

Bir diğer kullanım şekli TV vericileri üzerinden DGPS fark sinyallerinin gönderilmesidir. TV vericilerinin iyi bir kapsama sahasının olması, ekonomik olması nedeni ile tercih edilmektedir. Ancak TV yayınlarının bazılarının 24 saatten az yayın yapması dezavantajdır [8].

Buraya kadar anlatılan sistemler küçük alan uygulamaları için kullanılmaktadır. Oysa, global ölçekte kullanım için (kıtalararası, ülkelerarası navigasyon uygulamaları) daha geniş alanı kapsayan sistemlere gereksinim vardır. Bu nedenle, büyük alanlarda çok sayıda LADGPS istasyonu kurmak yerine aynı alanı kapsayan Büyük Alan DGPS (WADGPS) sistemi kullanılmaya başlanmıştır. WADGPS'de bir önceki sistemin tersine pseudorange hataları bir bütün (skalar bir büyüklük) olarak ele alınmamaktadır. Bu sistemde söz konusu hatalar ayrı ayrı bileşenler olarak tüm bölge için geçerli olacak şekilde hesaplanmaktadır. Oysa, normal DGPS uygulamasında hesaplanan hatalar yalnızca referans istasyonu ve yakın çevresi için geçerli olmaktadır. Dolayısıyla, WADGPS'den elde edilecek doğruluk kullanıcının (gezen alıcının) referans istasyonuna olan uzaklığına bağlı değildir.

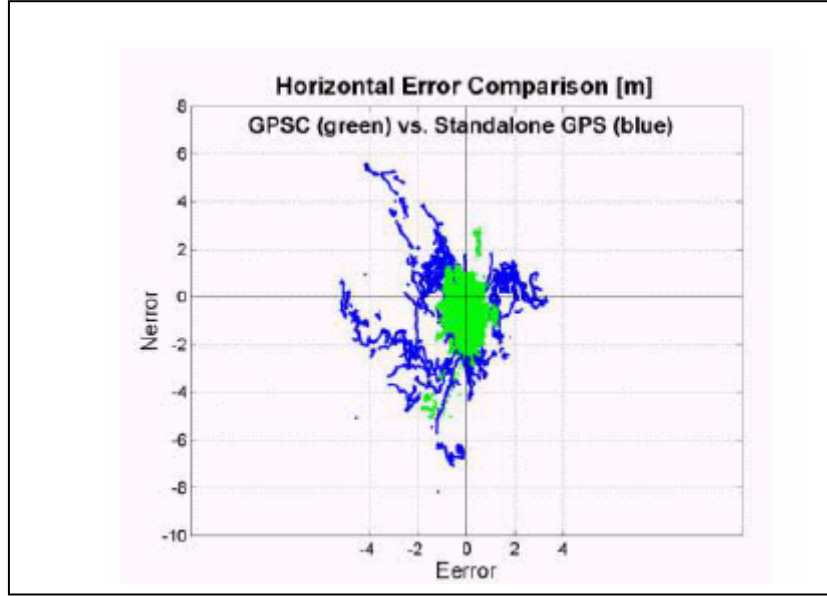
Örnek bir WADGPS ağı en az bir ana (merkez) istasyon, çok sayıda izleme istasyonu ve haberleşme hatlarından oluşmaktadır. GPS gözlemleri tüm izleme istasyonları tarafından kaydedilerek ana istasyona gönderilmektedir. GPS hata bileşenleri, istasyonların duyarlı olarak bilinen koordinatları ve toplanan veriler yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan bu düzeltmeler uygun bir haberleşme vasıtasıyla (uydu, cep telefonu, radyo modem vb.) kullanıcılara yayınlanmaktadır. (Şekil - 3.12)



Şekil 3-12 WADGPS Ağı

DGPS verileri pasif GPS alıcılara yayınlanıyorsa, sayısız alıcıya bir vericiler hizmet olabilir. Ancak alıcılar askeri amaçlar, gizli ticari faaliyetler için kullanılıyorsa ise, DGPS verisinin tüm kullanıcılara göndermeden belirli olanlara ulaşabilecek şekilde kriptolama yapılabilir [17].

Kanada tüm ülkeyi kapsayacak şekilde MSAT-1 uydusu üzerinden 2002 yılından itibaren ücretsiz olarak DGPS verilerini RTCM formatında kullanıcılara sağlamaya başladığı görülmüştür. 11 adet sabit yer istasyonundan üretilen fark verileri MSAT-1 uydusuna yönlendirilir, buradan da tüm ülke sınırları içinde belirlenen terminalli alıcılar vasıtası ile ücretsiz olarak bir kaç desimetreden en fazla 5 m' ye varan hassasiyette konum bilgileri elde edilebilmektedir, Şekil - 3.13 [16,18].



Şekil 3-13 MSAT-1 “North” ve “East” Konum Hata Miktarı

Günümüzde GPS özellikle hava araçlarında (yolcu uçakları, askeri jet uçakları vb.) yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu ise GPS sisteminin kullanımında dikkatli bir planlama gerektirmektedir. Başka bir deyişle, yalın GPS kullanarak meydana çıkacak olan. sistem güvenliği, sürekliliği, erişebilirliği ve doğruluğu ile ilgili zayıflıklar maliyeti yüksek olumsuz sonuçlara yol açabilecektir. Bundan başka, tek bir GPS uydusunun yanlış çalışması ya da yanlış bilgi göndermesi kullanıcıların çok farklı coğrafi konumlar elde etmesine neden olacaktır. Oysa, bütünleşik navigasyon sistemleri kullanıcıyı herhangi bir hata olasılığına karşı ikaz etmektedir. Bu nedenle, özellikle hava araçlarının navigasyonunda bu şekilde bütünleşik navigasyon sistemleri kullanılmalıdır.

Yukarıda anlatılan sakıncaları ortadan kaldırmak ve bütünleşik bir navigasyon sistemi oluşturmak amacıyla WAAS (Wide Area Augmentation System) sistemi kurulmuştur WAAS sisteminin temelini WADGPS oluşturmaktadır. WAAS üç ana bölümden oluşmakta olup bunlar,

- Erişebilirliği ve güvenilirliği sağlayan uzaklık belirleme bölümü,

- Doğruluğu iyileştiren DGPS düzeltmeleri,
- Güvenliği sağlayan sistem bütünlüğünü izleme

olarak sıralanabilir.

Günümüzde WAAS mesajları yer merkezli haberleşme uyduları vasıtasıyla kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Bu amaçlı kullanılan uydulara (sırasıyla INMARSATA, INMARSATB, INMARSATC) INMARSAT-3 adı verilmiştir. INMARSAT sistemine yaklaşık 80 civarında ülke üyedir. Bu uydular 75 derece Kuzey ve 75 derece Güney enlemleri arasındaki tüm bölgeler için tam bir kapsama alanı sağlamaktadır. INMARSAT uyduları yaklaşık 1100 kg ağırlığında olup kullanım ömrü yaklaşık 13 yıl olarak planlanmıştır. INMARSAT uyduları L ve C bandlarında veri transferi yapmakta olup özellikle L bandındaki veri aktarımı GPS ve GLONASS uydu sinyalleri ile çakışmayacak şekilde oluşturulmuştur.

INMARSAT benzen bir başka sistem olarak NLS (Navigation Light Sat) planlanmakta olup, 2000'li yıllarda uygulamaya geçilmesi beklenmektedir. Sonuç olarak DGPS'ten (LADGPS, WDGPS dahil) beklenen ve elde edilen doğruluklar Tablo-4.6'da verilmiştir. Burada verilen doğruluklar yatayda (1σ) geçerlidir.

Tablo 3-6 DGPS Tekniklerine Göre Elde Edilen Doğruluklar

Kapsadığı Alan	Faz Gözlemi (1σ)	Kod Gözlemi (1σ)
Global		SPS (SA Kapalı) : 8-40 m SPS (SA Açık) : 40-100m PPS : 4-16 m
3000 km.ye kadar	—	WADGPS : 3-10 m
200 km.ye kadar	—	LADGPS : < 5 m
50 km.ye kadar	Anlık DGPS : 3-50 cm Görelî Kinematik : 1-7 cm Görelî Statik : 4 mm-1 cm+1	—

Diğer bir DGPS farklarını elde etme yolu da internet üzerinden TCP protokolu ile bağlanan bir bilgisayar üzerinden belirli adreslere ulaşmaktan geçmektedir. Bulduğunuz pozisyon adresleri verilen referans istasyonlara 3000 mil yarıçaplı daire içinde iseniz DGPS farklarınız istenilen düzeltmeleri sağlayacaktır. İnternet üzerinden DGPS farklarını RTCM-104 formatında aşağıdaki adreslerden temin edilebilmektedir;

host: dgps.wsrcc.com

port: 2101

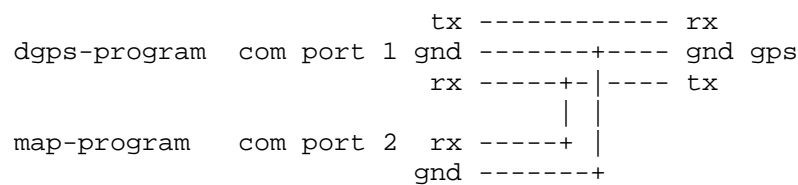
location: Pt. Blunt, CA USA

host: gnssip.ing.uniroma1.it

port: 2101

location: Rome, Italy

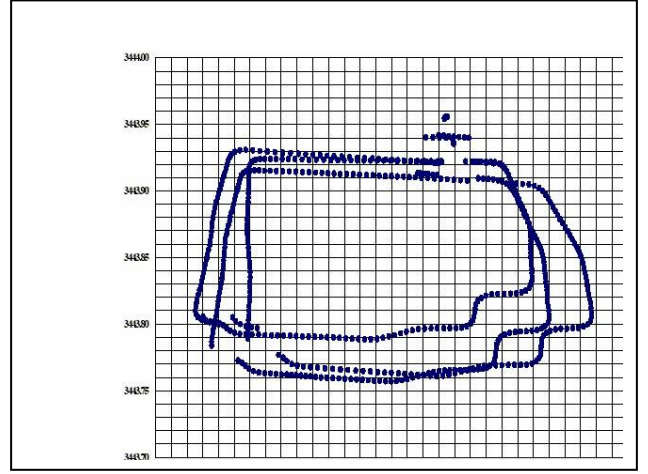
DGPS farklarını bir bilgisayar üzerinde bir harita programı üzerinde görüntüleyebilmek için Şekil-4.14'teki bağlantı kurulması gereklidir [9].



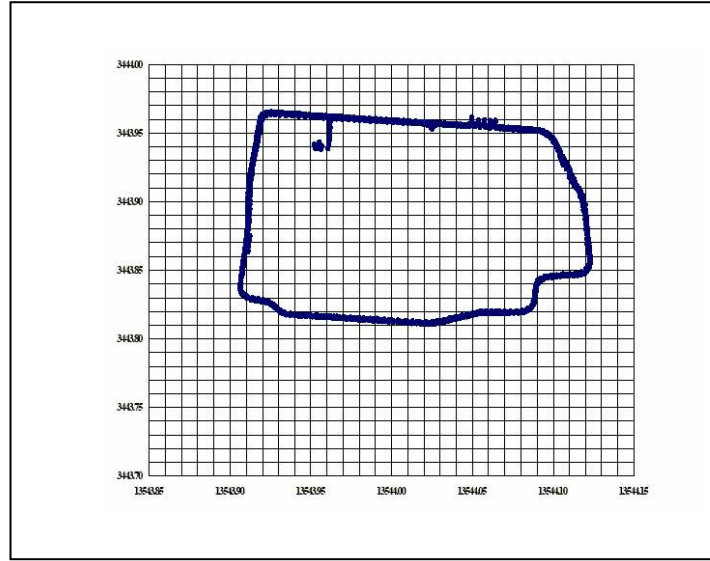
Şekil 3-14 DGPS Farklarını Harita Üzerinde Görüntüleme Bağlantısı

Internet üzerinden DGPS verileri 0.5 kbits/s ile gönderilmekte olup, internet radyo telekonferans gibi uygulamalarda ihtiyaç duyulan 128 kits/s veri hızına göre düşük yoğunluk ihtiyacı duyulduğu gör÷lmektedir [15].

Japonya'nın Keio Üniversitesinde yapılan bir çalışmada, hareket eden bir araçta bulunan bilgisayar üzerinde sadece GPS konum bilgileri ve internete bağlanarak DGPS farkları alınarak yapılan testlerde 500 Km menzile kadar ve birden fazla kullanıcı için başarılı sonuçlar vermiştir, Şekil - 3.15 ve Şekil - 3.16 [10].

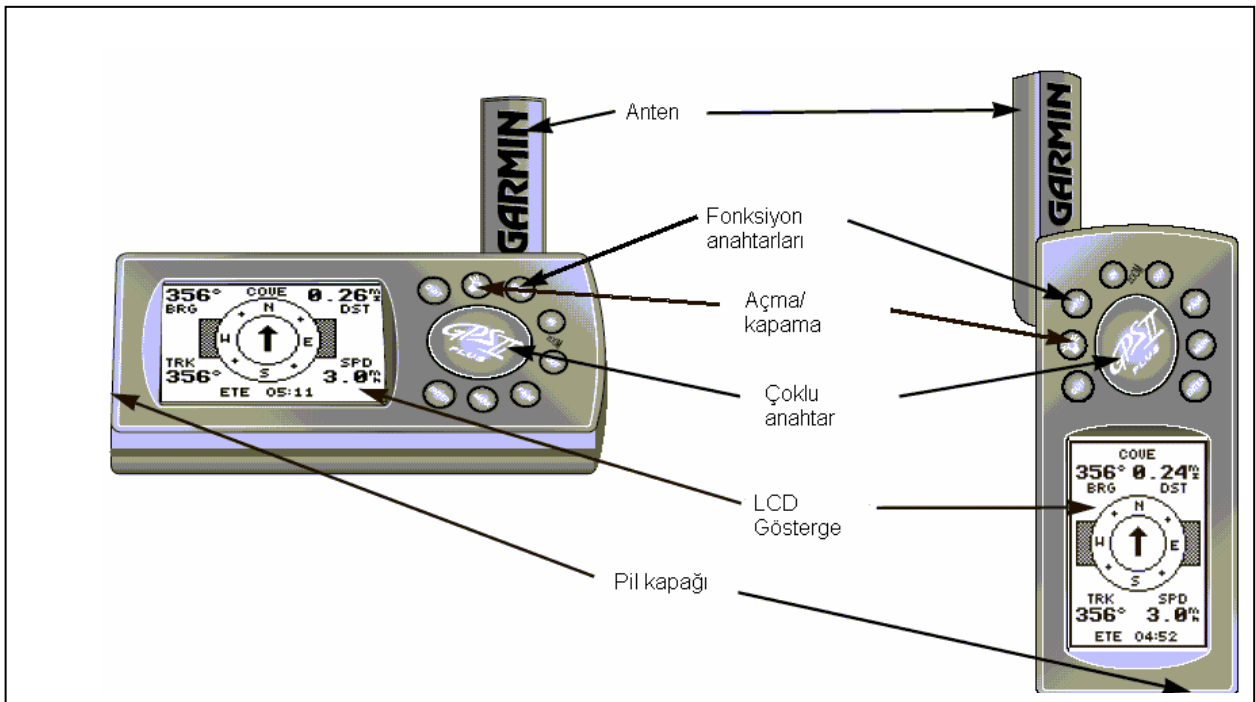


Şekil 3-15 İnternet Bağlantılı Aracın Sadece GPS Konum İzleri



Şekil 3-16 İnternet Bağlantılı Aracın DGPS Konum İzleri

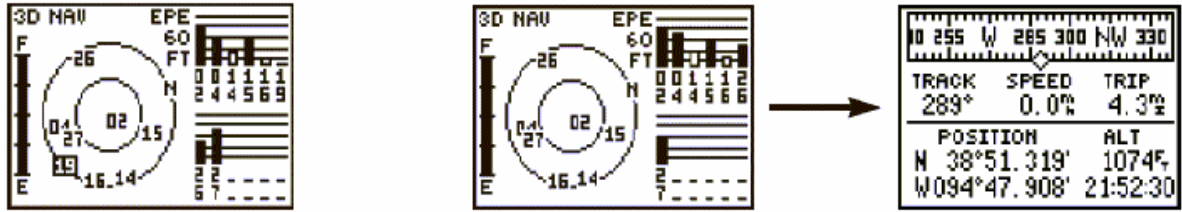
4. GARMIN 2 + GPS KULLANILARAK DGPS TEKNİĞİ UYGULAMASI VE GPS' E GÖRE YAPILAN HATANIN KARŞILAŞTIRILMASI



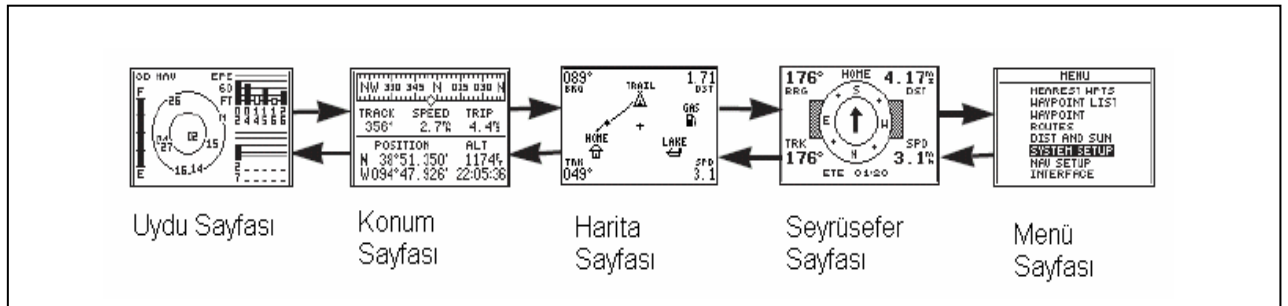
Şekil 4-1 Garmin II GPS alıcısı

4.1 Garmin 2 + GPS Tanıtımı

Garmin II GPS çok amaçlı üretilmiş elde taşınabilir bir alıcıdır. Genel görünümü Şekil - 4.1' de sunulmuştur. İlk açıldığında uyduları aramaya başladığını bildirerek, uyduları alışı seviyesini çubuklu göstere ile kullanıcıya bildirir. İlk açılış ekranı Şekil - 4.2' de sunulmuştur. İlk 4 uduya yeterli seviyede ulaşabildiğinde bulunulan konumu ve zaman bilgisine ulaşmış olur. PAGE veya QUIT fonksiyon anahtarları vasıtası ile sayfalar arasında geçiş sağlanabilir. Sayfalara ilişkin tanıtım Şekil - 4.3' te sunulmuştur [12].



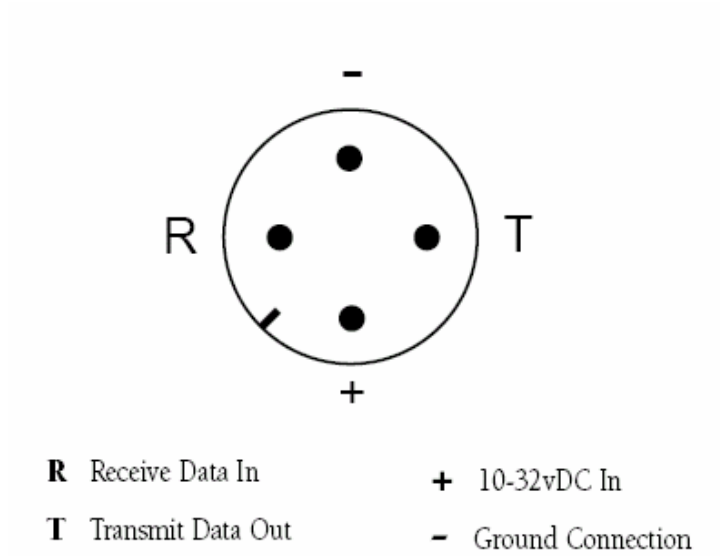
Şekil 4-2 Garmin II GPS İlk Açılış Menüü



Şekil 4-3 Garmin II GPS Sayfaları

4.2 RS-232 ile GARMIN 2+ ın bilgisayar ile bağlantınının sağlanması

Garmin II GPS'i DGPS verileri ile güncellemek istenirse öncelikli olarak GPS Menü sayfasından, Interface sayfasına girilir. Buradan RTCM/NMEA seçilir. Bu sayede GPS RTCM 104 arayüzüne uygun verileri kabul eder NMEA arayüzüne uygun çıktı sunar. GPS, RS-232 üzerinden diz üstü bilgisayar ile bağlantı sağlanır. Bağlantı esnasında, GPS üzerinde bulunan ve Şekil - 4.4' te görülen uygun çıkışlar Şekil - 3.14' ten faydalanılarak sağlanır. RS-232 girişlerinin 3 nolu girişi Transmitted Data, 2 nolu girişi ise Received Data olarak kullanılır [12,13].



Şekil 4-4 Garmin II GPS RS-232 Bağlantısı

4.3 Eskişehir haritasının bilgisayara aktarılması

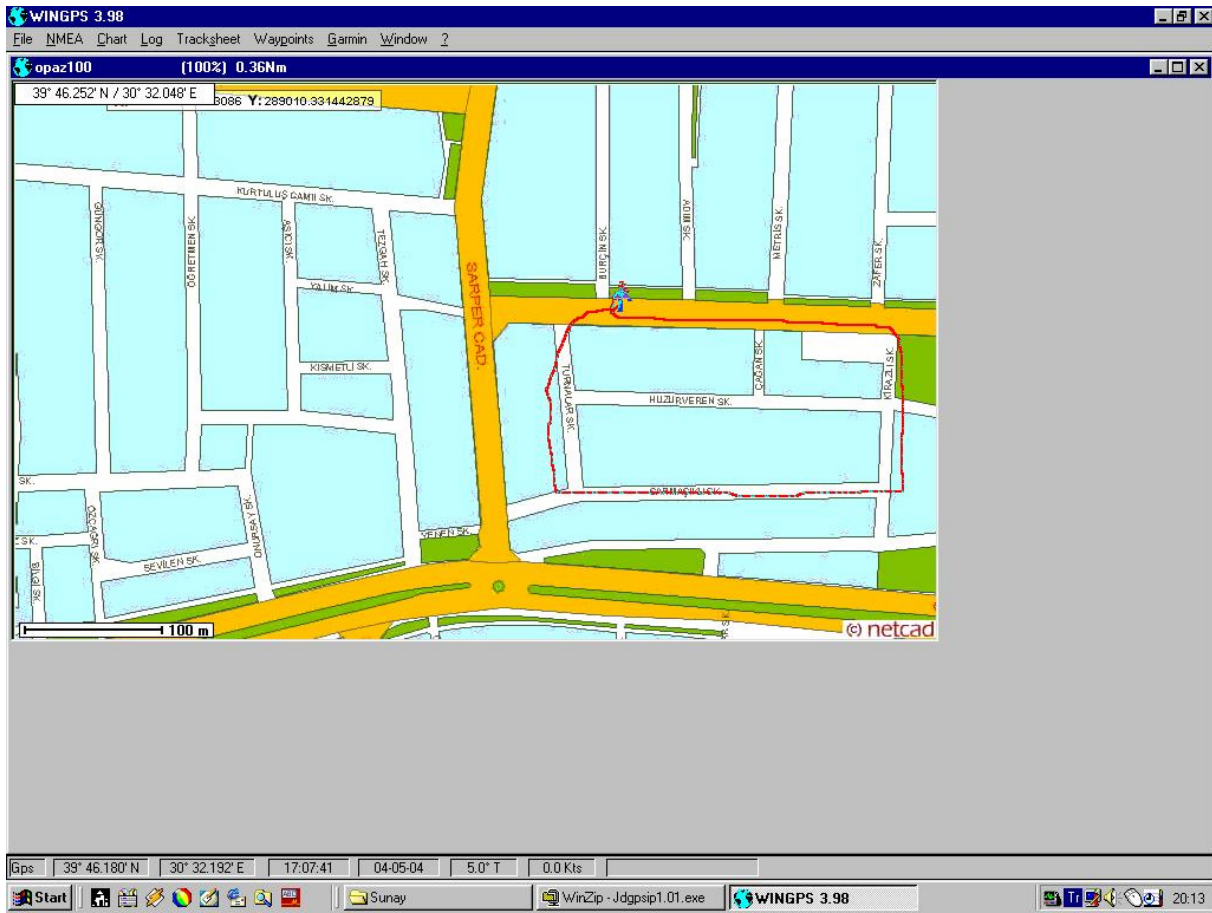
Hareket anındaki konumun gösterilmesi planlanan Eskişehir iline ait 1:500 ölçekli haritanın .bmp yada .jpg formatında dosyası elde edilir. Daha sonra elde edilen dosya, GPS ile NMEA 0183 arayüz standardına göre gösterim imkanı sağlayacak olan Wingps 3.98 programda tanıtılarak sayısal haritaya dönüştürülür [14].



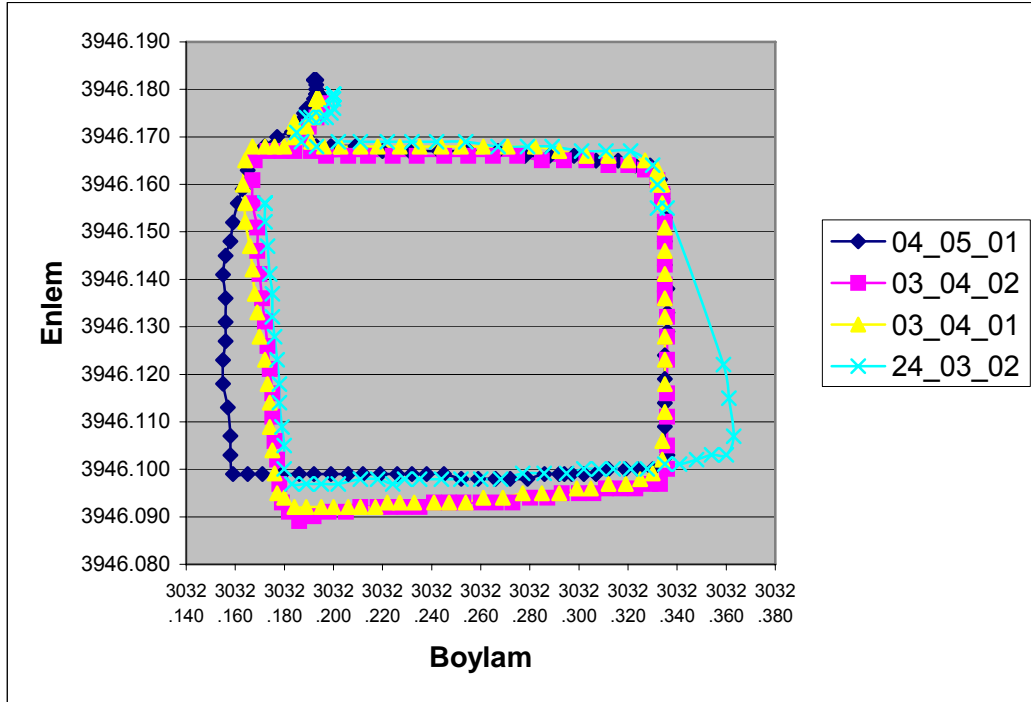
Şekil 4-5 Eskişehir İli Odunpazarı Bölgesi Haritası

4.4 GPS ile Yapılan Ölçümler

3 farklı zaman diliminde GPS ile Odunpazarı Sarper Cad yakınında yapılan ölçüm sonuçlarına, hareket eden araç içinde anlık konum bilgileri kayıt edilmiş, ölçüm sonuçlarından birine ait GPS verilerinin izi Şekil - 4.6' da verilmiştir. NMEA 0183 formatında RS-232 hattından kayıt edilen veriler EK-A' da sunulmuş, EK-B' de hazırlanan program sayesinde enlem, boylam ve HDOP verileri toplanmış, EK-C' de sunulmuştur. Bu konum bilgilerinden Şekil - 4.7' deki toplam 4 adet ölçüme ilişkin grafik çıkarılmıştır.



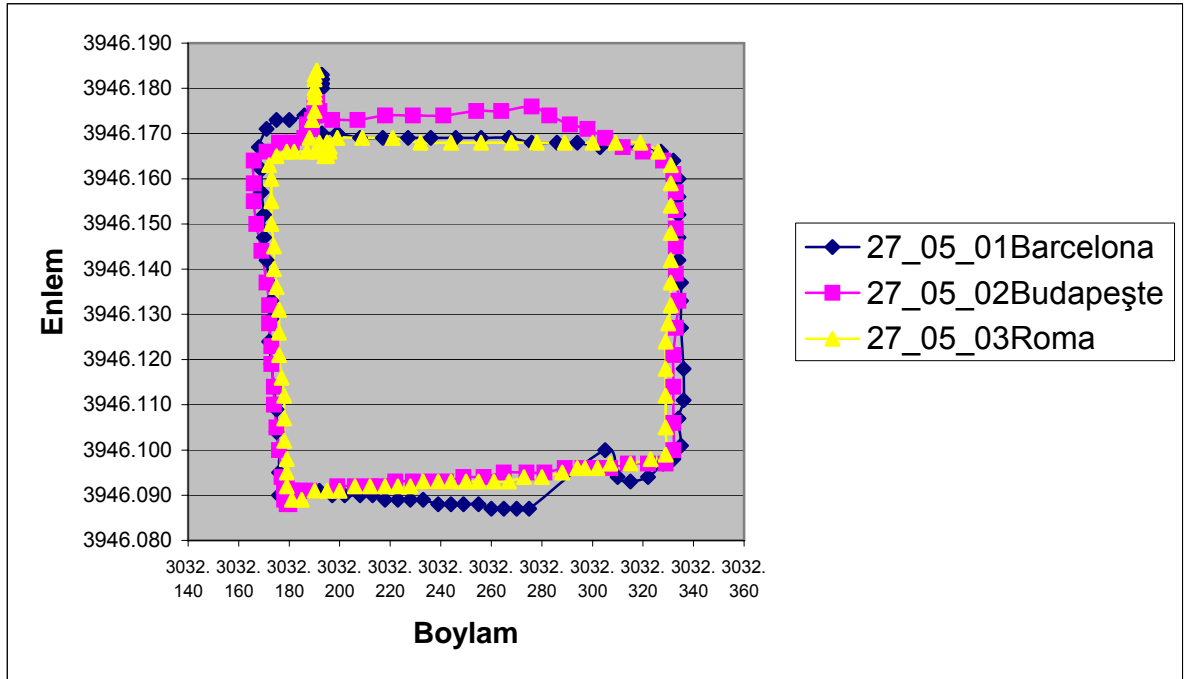
Şekil 4-6 Sarper Caddesinde GPS Ölçüm Sonucu



Şekil 4-7 Sarper Caddesinde 4 adet GPS Ölçüm Sonuçları

Konum verilerin toplanmasında iki adet RS-232 girişi olan dizüstü bilgisayar, GARMIN II Plus GPS gerekmektedir. Com 1 ve Com 2 girişlerine paralel olarak GPS bağlanır. Com 2 girişinden GPS tarafından sağlanan NMEA 0183 formatındaki veriler analiz edilmek üzere HyperTerminal vasıtası ile kayıt edilir. İki boyutlu toplam hata miktarının bulunmasında 2.22'deki formülden yararlanılır.

4.5 DGPS ile harita üzerinde yapılan ölçümler



Şekil 4-8 Sarper Caddesinde DGPS Ölçüm Sonucu

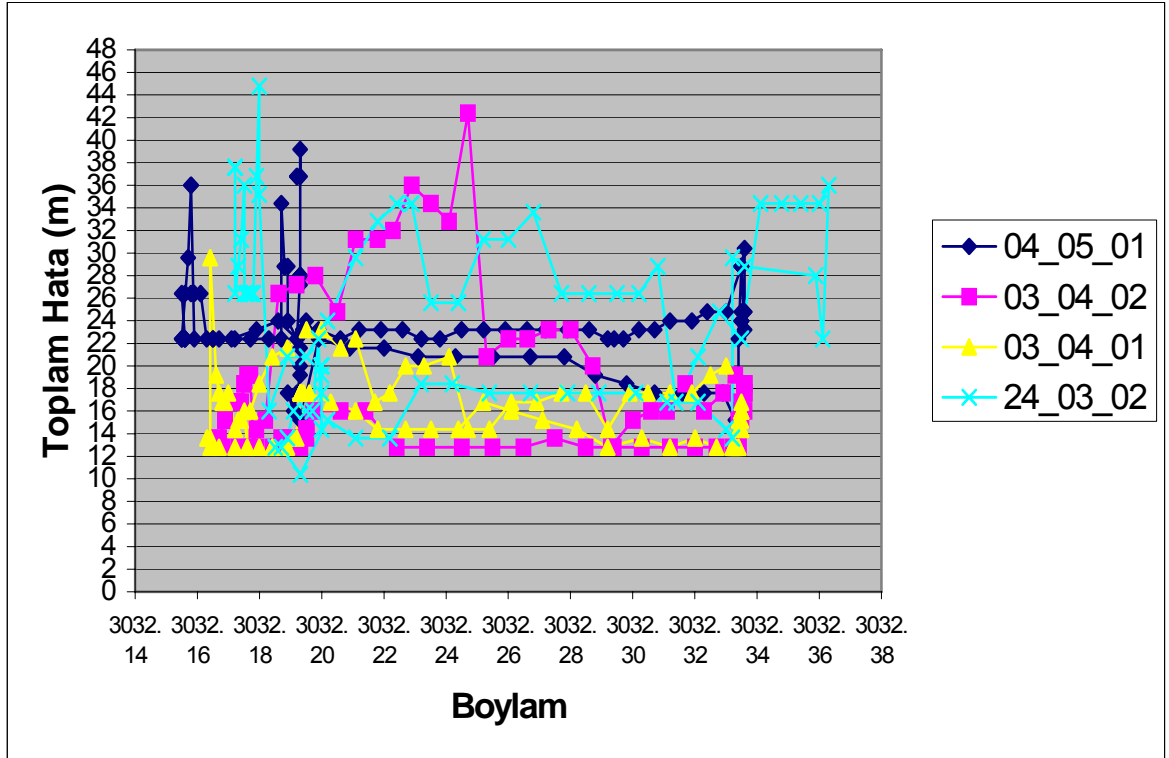
Konum verilerin toplanmasında iki adet RS-232 girişi olan, kızılötesi terminalli, GNSS Internet Radio versiyon 1.3.0. program yüklü dizüstü bilgisayar, GARMIN II Plus GPS, GPRS altyapılı ve kızılötesi terminalli cep telefonu gerekmektedir. Com 1 ve Com 2 girişlerine paralel olarak GPS bağlanır. Com 2 girişinden GPS tarafından sağlanan NMEA 0183 formatındaki veriler, HyperTerminal vasıtası ile kayıt edilir. Cep telefonunun modem olarak kullanarak yapılan internet bağlantısından sonra GNSS Internet Radio programından farklı yerleşim yerleri seçilerek, RTCM formatındaki fark verileri Com 1 terminaline yönlendirilir. Bu şekilde elde edilen DGPS konum verileri analiz edilmek üzere kayıt edilir. İki boyutlu toplam hata miktarının bulunmasında 2.22'deki formülden yararlanılır.

4.6 Konum belirlemede yapılan hata oranının analizi

GPS ve internet üzerinden sağlanan RTCM formatındaki DGPS fark sinyalleri ile yapılan ölçüm sonuçlarında yapılan hata miktarları ayrı ayrı verilmiştir. GPS yöntemi ile

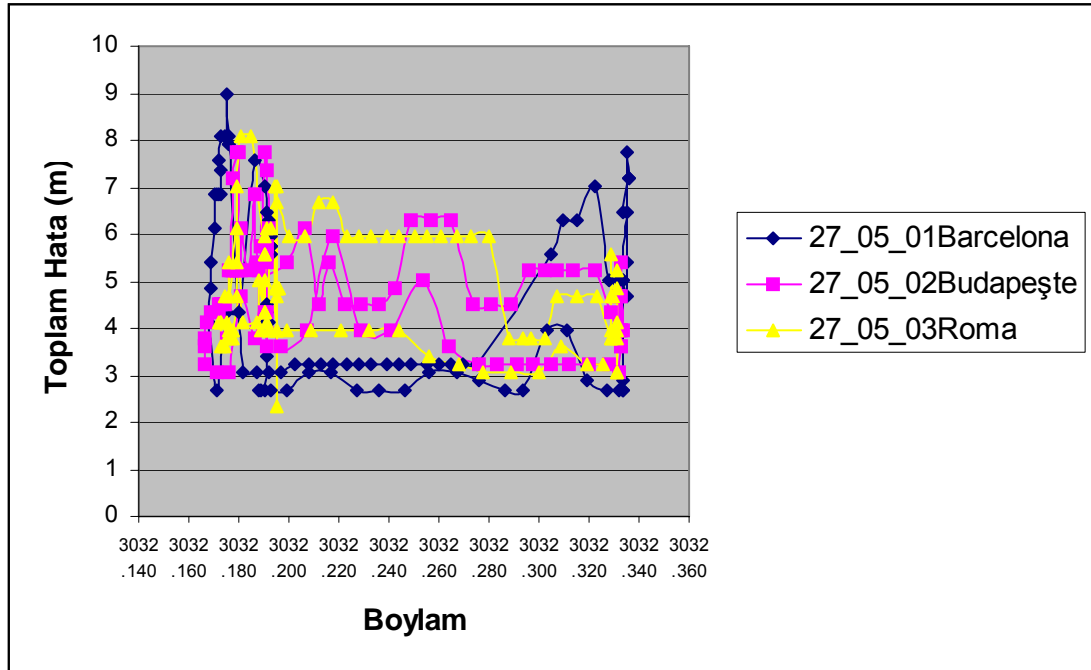
yapılan ölçümlerdeki konum hatası 20-30 m aralığında, DGPS yönteminde ise 2-9 m aralığında elde edilmiştir.

4.6.1 GPS ile Yapılan Hata Analizi



Şekil 4-9 GPS Hata Analizi

4.6.2 DGPS ile Yapılan Hata Analizi



Şekil 4-10 DGPS Hata Analizi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Buraya kadar anlatılanlardan, DGPS ile elde edilen konum doğrulukları yalın GPS ile elde edilen konum doğruluklardan çok daha yüksek olduğunu görülmüştür. Bundan dolayı DGPS, GPS sisteminin pozisyon doğruluğunu ve bütünlüğünü arttıran bir tekniktir. Bu teknikte GPS sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonla (ortak) sistematik hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur. Daha önce de ifade edildiği gibi SA etkisinin uygulanmadığı durumlarda anlık GPS gözlemi ile elde edilebilecek pseudorange doğruluğu yaklaşık 20-25 m.dir. DGPS tekniği ile pozisyon hataları referans istasyona göre 50 km ye kadar 50 cm, 200 km ye kadar olan mesafelerde 5 m'nin altında hatalar, 3000 km'ye kadar olan mesafelerde ise 10 m'nin altında doğrulukta pozisyon bilgileri elde edilebilmektedir.

DGPS tekniğinin dünya üzerindeki uygulamalarına bakacak olursak; Kanada tüm ülkeyi kapsayacak şekilde MSAT-1 uydusu üzerinden 2002 yılından itibaren ücretsiz olarak DGPS verilerini RTCM formatında kullanıcılara sağlamaya başladığı görülmüştür. Amerika Birleşik devletlerinin de tüm kıyılarını FM bandında referans istasyonlardan yapılan VHF yayınlarla kapsama alanına alındığı, IMMARSAT uyduları aracılığı ile de tüm ülke sınırlarının bu hizmetten yararlandığı bilinmektedir. Avustralya, Mısır, Norveç, Almanya, Hollanda , İngiltere, Polonya da aynı şekilde yaygın olarak radyo bazlı vericiler ile DGPS hizmeti sunmaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri EUREF kapsamındaki kalıcı yer GPS istasyonlarından yararlanarak internet üzerinden DGPS hizmeti sunabilecek Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) Haziran 2003'ten itibaren devreye sokmuştur.

Bu çalışmada, DGPS tekniği ile yapılan pozisyon ölçümlerin sade GPS ile yapılan ölçümlere göre avantajları vurgulanmıştır. DGPS tekniği; 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 olarak RTCM formatında gönderilmesinden ibaret olduğu görülmüştür. Dünya üzerinde RTCM formatındaki fark verilerin başta VHF istasyonlardan

FM modülerli yapıda, TV istasyonları vasıtası ile, uydular vasıtası ile geniş yüzeylere, internet üzerinden talep eden kullanıcılara ulaştırılabilindiğinden bahsedilmiştir.

Dünyada bu kadar geniş kullanım alanı olan, ayrıca EUREF'e dahil olup sabit GPS istasyonları olan ülkemizin bu tekniği gözardı edip kullanamıyor olmamız, hassas pozisyon bilgisi isteyen pek çok hizmeti gereği gibi yerine getiremememiz anlamına gelmektedir. Oysa DGPS tekniği ile fay hattı üzerinde olan ülkemizin kara hareketlerini hassas takip edebilirdik. Üç yanı denizlerle kaplı yurdumuzun kıyılarında gece gündüz hassas seyrüsefer imkanı tüm denizcilere tanınabilir, boğazlar gibi hassas su yollarında daha emniyetli geçişler sağlanabilirdi. Katogari 3 gibi kendi kendine iniş yapabilecek hassas seyrüsefer imkanı tanınıp uçuş emniyetine iyileştirme getirerek havacılığın gelişmesine olanak tanınabilirdi. Tarım arazilerinin ekilmesinde, ürün hesaplamalarında, askeri hedeflerin tespitinde kullanılabilirdi. Kısacası dünya üzerinde konumunu hassas olarak öğrenmek isteyen tüm kullanıcılara destek verilebilirdi.

Ancak bu çalışmada vurgulandığı gibi internet üzerinden eş zamanlı DGPS fark verilerinden yararlanarak istenilen seviyede konum bilgileri hassas olarak Eskişehir caddelerinde kararlı konum izleri elde edilebilmiş, bir konum gösterim sistemi uygulaması yapılmıştır. GPRS hizmeti genişleyen ülkemizde hareketli kullanıcıların bu tekniği kullanarak hassas konum elde edebilecekleri gösterilmiştir.

REFERANSLAR

- [1] GPS Global Konum Belirleme Sistemi, M.Kahveci, F.Yıldız,2001, Nobel Yayın Dağıtım
- [2] Uçak Aviyonik Sistemleri, S.Manav, OGÜ,Yüksek Lisans Tezi, 2002
- [3] Küresel Yer Bulum Sistemi, E.Tohum, Aselsan *Elektronik Donanım Müdürlüğü*
- [4] GPS Uydular Yardımı ile Konum Belirleme,Yıldız Üniversitesi, Turgut UZEL, 1990.
- [5] RTCM Recommended Standards For Differential Navstar GPS Service", Version 2.1, 1994
- [6] GPS ve DGPS Hata Kaynakları ve DGPS Ölçü Sonrası Değerlendirme Yazılımının Hazırlanması,Ocak Mustafa, ODTU Yüksek Lisans Tezi, 2001
- [7] İstanbul Boğazı'nda Kurulması Düşünülen Gemi Trafik Kontrol Sistemi için DGPS Yöntemine Dayalı Bir Öneri, G.Güler, Fatih Üniversitesi, 2001
- [8] Global Positioning System: Theory and Applications Volume II, B.W.Parkinson, J.J.Spilker Jr ,American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996
- [9] DGPS corrections over the Internet, <http://www.wsccc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html>
- [10] Differential and RTK Corrections for the Internet Car.,H. Hada, K. Uehara, H. Sunahara, J. Murai,I. Petrovski, H. Torimoto, S. Kawaguchi, Nara Institute of Science and Technology, Japan
- [11] RTK-GPS positioning by TV audio-MPX-data broadcast in Japan, Hiromune Namie, Akio Yasuda, and Koji Sasano, Tokyo University of Mercantile Marine May 18, 2000
- [12] Garmin Owners Manuel, Garmin Corporation, 1997, USA
- [13] Serial Communications, M.Nelson,1992, M&T Publishing
- [14] Eskişehir Haritası, <http://www.eskisehir-bld.gov.tr/>
- [15] Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) G. Weber, D. Dettmering, Japan, 2003
- [16] Canada-Wide Differential GPS Service, <http://edgps.com>
- [17] NAVSTAR GPS User Equipment Introduction, Public release version, 1996
- [18] CDGPS Canada-wide DGPS Service A National GPS Correction Service for Canadians, G. Garrard, K. Lochhead, S. Sauvé, GIS2002, Canada, 2002

[19] DGPS Carrier Phase Networks and Partial Derivative Algorithms, Christopher C.Varner, University of Calgary, Feb 2000