

170761

GPS SİNYAL YANSIMASININ (MULTIPATH) NOKTA
KONUMLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim TİRYAKİOĞLU

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mevlüt GÜLLÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Mayıs 2005

“Bu tez çalışması “031.MUH.10” numaralı olarak AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.”

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS SİNYAL YANSIMASININ (MULTIPATH) NOKTA
KONUMLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim TİRYAKİOĞLU

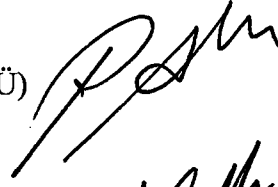
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Anabilim Dalı
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mevlüt GÜLLÜ

AFYON
2005

İbrahim TİRYAKİOĞLU' nun yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "GPS Sinyal Yansımalarının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

17 / 06 / 2005

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Reha Metin ALKAN (İTÜ)
(Başkan)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Mevlüt GÜLLÜ (AKÜ)
(Danışman)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Tamer BAYBURA (AKÜ)



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ... 13.09.2005.....Gün
ve 2005/08:3..sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Fatih NUFAY
Müdür

Enstitü Müdürü

ÖZET

Başlangıçta askeri amaçlı navigasyon çalışmaları için geliştirilen GPS tekniği, günümüzde gerek jeodezik uygulamalarda, gerekse de sivil yaşamın pek çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bütün uyduları ile birlikte hazır hale getirilmiş olan sistem her ne kadar çok kullanılıyor olsa da bazı özel durumlarda istenilen doğruluğun yeterli oranda olmayabildiği görülmüştür. Bunun temel sebebi olarak GPS'e etki eden hata kaynakları gösterilmiştir. Bu hata kaynakları uydu ve alıcı saat hataları, uydu yörünge hataları, iyonosferik ve troposferik gecikme sinyal yansımaları ve alıcı hataları şeklinde sıralanabilir. Bu hata kaynaklarının çoğu uygun ölçme tekniği kullanılarak en aza indirilebilmektedir. Fakat bazı hatalar vardır ki hala elimine edilmekte zorlanılmaktadır. Bu hataların başında sinyal yansımaları hatası (multipath) gelmektedir. Eğer alıcıya gelen sinyal doğrudan gelen sinyal ve bir şekilde yansıtılarak farklı yoldan gelmiş sinyalin birleşiminden oluşmuş ise Sinyal yansımaları hatası (Multipath hatası) ortaya çıkmış demektir.

Bu çalışmada sinyal yansımaları hatasının nokta konumlarına etkisini araştırmak için iki farklı test ağı kurulmuştur. Birinci test ağına düzgün olmayan F modundaki yansımaların etkisini incelemek için galvanizli oluklu sac levha kullanılmıştır. İkinci test ağına ise yine F modundaki düzgün yansımaları sağlamak için yansıtıcı yüzey olarak su yüzeyi kullanılmıştır. İki test ağına yapılan GPS ölçümleri GAMIT/GLOBK programında değerlendirilmiştir. Test ağına ait noktaların WGS84 sistemindeki koordinat değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler yardımıyla GPS sinyal yansımalarının nokta konumlarına etkisi bulunmuş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : GPS, Hata Kaynakları, Sinyal Yansımaları, Multipath

ABSTRACT

GPS technique that was initially developed for military navigation purposes is now used widely in geodetic applications as well as in many fields of civil life. The all satellites has almost been achieved and with it increased use of the system has shown that in specific cases the accuracies reached may be inadequate. These error sources can be given as satellite and receiver clock errors, satellite orbit errors, ionospheric and tropospheric delay, multipath and receivers errors. The most of error sources can be minimised by the application of proper measurement techniques. But some of errors such as multipath can not be eliminated easily. Multipath errors occur if the received GPS signal is composed of the direct line of sight signal and one or more constituents which have propagated along paths of a different length.

In this study the effect of multipath for point position is examined. For this purpose, two test networks are established. In the first test network to examine the effect of the F mode scatter, galvanized corrugated sheet metal is used. In the second test network to examine F mode scatter water surface is used. Collected GPS data for two test networks are processed by GAMIT/GLOBK software package. With this process WGS84 coordinates of test point are determined. With these coordinates the effect of multipath are examined.

Keywords : GPS, Error Sources, Signal to Reflect, Multipath

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. Küresel Konumlama Sistemi (KKBS)	3
2.1 GPS'in(Global Positioning System) Genel Özellikleri.....	3
2.1.1 GPS uydu sinyalleri	9
2.1.1.1 Sinyal yapısı	9
2.1.1.2 GPS navigasyon mesajı	10
2.1.1.3 GPS sinyallerinden üretilen büyüklükleri.....	12
2.1.1.4 Pseudorange ölçme yöntemi	12
2.1.1.5 Taşıyıcı dalga faz farkı ölçme yöntemi	14
2.1.1.6 GPS sinyallerinde fark gözlemleri	15
2.1.1.7 Tekli farklar	16
2.1.1.8 İkili farklar	17
2.1.1.9 Üçlü farklar	17
2.2 GPS Ölçme Prensibi ve Konum Belirleme Teknikleri	18
2.2.1 Konum belirleme teknikleri	19
2.2.1.1 Nokta konumlama	20
2.2.1.2 Görelî Konumlama	20
3. GPS GÖZLEMLERİNE ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI	22
3.1 Genel	22
3.2 Uydu ve Alıcı Saat Hataları	23
3.3 Uydu Yörüngelerinin Belirlenmesi ve Uydu Yörünge Hataları	24
3.4 Anten Faz Merkez Kayıklığı Hatası.....	27
3.5 Atmosferik Hatalar.....	33
3.5.1 İyonosferik gecikme.....	37
3.5.2 Troposferik gecikme	41
3.6 Alıcı Gürültü (Noise) Hatası.....	42

İÇİNDEKİLER		<u>Sayfa</u>
3.7 Sinyal Yansıma Hatası (Multipath)		44
4. SİNYAL YANSIMA (MULTIPATH) HATASI		45
4.1 Genel		45
4.2 Multipath Ortamı		46
4.3 Yansıma Teorisi		47
4.3.1 GPS sinyalinin elektromanyetik özellikleri		47
4.3.2 Elektromanyetik dalganın yansıması		49
4.3.2.1 Düzgün (Specular) yüzeyde yansıma		49
4.3.2.2 Fresnel elipsi ve bölgeleri		49
4.3.2.3 Engebeli yüzeyde yansıması		51
4.3.2.4 Elektromanyetik dalganın kırınımı (Difraksiyon).....		53
4.4 Sinyal Yansıma İfadesi		53
4.5 GPS Sinyal Yansıma Geometrileri		55
4.6 GPS Kod Gözlemleri İçin Sinyal Yansıması		58
4.7 GPS Taşığı Faz İçin Sinyal Yansıması		59
4.8 Farklı Yöntemler Kullanılarak Sinyal Yansımasının Tespiti		59
4.8.1 Farklı anten yükseklikleri ile sinyal yansımasının tespiti		60
4.9 Sinyal Yansımasının Etkisini Azaltma Yöntemleri		61
4.9.1 Uygun Nokta Seçimi		62
4.9.2 Farklı anten donanımları (hardware) ile sinyal yansıma etkisi		62
4.9.3 Farklı alıcı yazılımları (software) ile sinyal yansıma etkisi		63
5. UYGULAMALAR		67
5.1 Uygulama 1		67
5.1.1 Test ağının tanıtımı		67
5.1.2 Planlama		68
5.1.3 Kullanılan araçlar		69
5.1.4 Veri toplama		70
5.1.5 Hataların giderilmesi		72
5.1.6 Verilerin işlenmesi		73
5.1.7 GAMIT		75
5.2 Uygulama 2		82
5.2.1 Genel		82
5.2.2 Test ağının tanıtımı		82
5.2.3 Planlama.....		83
5.2.4 Kullanılan araçlar		84

İÇİNDEKİLER	<u>Sayfa</u>
5.2.5 Veri toplama.....	84
5.2.6 Uygulamada karşılaşılan sorunlar.....	86
5.2.7 Verilerin değerlendirilmesi ve sonuçlar.....	88
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR.....	93
TEŞEKKÜR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	100



SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L_1, L_2	Frekanslar,
ρ_R^S	R alıcısından S uydusu arasındaki toposentrik uzunluk,
t	Zaman,
S	Satellite (Uydu),
R	Receiver (Alıcı),
Φ	Ölçülen faz
ρ	Geometrik uzaklık
N	Başlangıç tam sayı bilinmiyeni
f	Frekans
c	Işığın boşluktaki hızı
GM	Yeryuvarının gravite sabiti ve kütesinin çarpımını
a	Yörünge'nin büyük yarı eksenini
e	Yörünge'nin eksentrisitesi
i	Yörünge düzleminin ekvator düzlemine göre eğimi,
Ω	Yükselen düğümün rektasansiyonu
ω	Yeryakını noktasının argümanı
α	Uydunun azimutunu
z	Uydunun zenit açısını
e	Uydu-alıcı doğrultusunda birim vektörü
$n(s)$	Atmosferin (değişken) kırılma indisi (Refractive index)
A_1	Birkaç fiziksel sabitenin basit bir kombinasyonu olup $A_1=40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$
E	Uydu ve alıcı arasındaki toplam elektron miktarı
λ	Sinyalin dalga boyu (m)
ψ	Sinyalin yükseklik açısı veya sıyırma açısı
d_i	Direkt sinyale göre sinyalin geciktiği yol
R	Oto korelasyon fonksiyonu

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
PRN	Pseudo Random Noise (Yalancı Düzensiz Gürültü)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
WGS84	World Geodetic System 1984
LOS	Line Of Sight (Doğrudan gelen)
AOC	Auxiliary Output Chip
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
S/A	Selective Availability (Seçimli Erişilebilirlik)
TEC	Total Electron Content (Toplam Elektron Yoğunluğu)
VLBI	Very Long Baseline İnterferometry (Çok Uzun Bazlı Enterferometri)
SNR	Signal To Noise Ratio
P-Kod	Precise/Protected Kode
TEM	Transverse Elektromagnetik Wave (Enine Elektromanyetik Dalga)
RHCP	Right Hand Circularly Polarized (Sağ Yönde Dairesel Kutuplanmış)
F-MODE	Forward Mode (İleri Mode)
BA-MODE	Back Scarter A Mode (Geri Saçılma Modu)
BB-MODE	Back Scarter B Mode (Geri Saçılma Modu)
AOS	Ashtech Office Suite
MET	Multipath Elimination Technology
MEDLL	Multipath Estimation Delay Lock Loop
SM	Security Modul
BW	Bandwidth (Band Genişliği)
PDOP	Positional Dilution of Precision (konumdaki Bozulma)
GDOP	Geometric Dilution of Precision (Geometrik Hassasiyet Bozulma)
VDOP	Vertical Dilution of Precision (Düşey Konumdaki Bozulma)
TDOP	Time Dilution of Precision (Zaman İçersindeki Bozulma)
UTC	Universal Coordinated Time,
JD	Julian Day (Julian günü günü)
MJD	modifiye edilmiş Julian günü
GRB	Güneş'in Radyasyon Basıncı
ARP	Antenna Reference Point
RINEX	Receiver Independent Exchange Format

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	GPS'in bölümleri	3
Şekil 2.2	GPS uydularının yörüngeleri	4
Şekil 2.3	GPS uydularında bulunan sinyaller	5
Şekil 2.4	L _{2C} ve L ₅ sinyalinin yıllara göre modernizasyonu	5
Şekil 2.5	Blok II GPS uydusu	6
Şekil 2.6	Kontrol Bölümü	7
Şekil 2.7	Choke ring Anten	8
Şekil 2.8	GPS sinyali	9
Şekil 2.9	Pseudorange ölçüsü	14
Şekil 2.10	Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği	14
Şekil 2.11	Tekli fark gözlemi (Single Differences)	16
Şekil 2.12	İkili Fark Gözlemi (Double Differences)	17
Şekil 2.13	Üçlü fark gözlemi (Triple Differences)	18
Şekil 2.14	Bir uydudan, bir alıcıya olan uzaklık	18
Şekil 2.15	İki uydu ile iki alıcı arasındaki uzaklık	19
Şekil 2.16	Üç uydu ile üç alıcı uzaklığı	19
Şekil 2.17	Nokta konumlama	20
Şekil 2.18	Görelî konum belirleme	21
Şekil 3.1	GPS hata kaynakları	23
Şekil 3.2	Kepler yörünge elemanları	25
Şekil 3.3	Ortalama ve anlık anten faz merkezleri	29
Şekil 3.4.a	Düşeyde Anlık Faz Değişimi	30
Şekil 3.4.b	Anlık Faz Değişimi	30
Şekil 3.5	Atmosferik kırılma	34
Şekil 3.6	İyonosfer tabakaları	38
Şekil 3.7	Yer atmosferinin yapısı	41
Şekil 4.1	Sinyal yansımaları (Multipath)	45
Şekil 4.2	Uyduda sinyal yansımaları hatası (Satellite Multipath)	46
Şekil 4.3	Elektrik alan ve magnetik alan vektörleri	48
Şekil 4.4	Elektromanyetik dalga kutuplaşmaları	48
Şekil 4.5	Fresnel bölgelerinden yansıma	50
Şekil 4.6	Engebeli yüzeyde yansıma	51
Şekil 4.7	Elektromanyetik dalganın kırınımı (Difraksiyon)	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 4.8	F modu sinyal yansıması	56
Şekil 4.9	BA modu sinyal yansıması	56
Şekil 4.10	BB modu sinyal yansıması	57
Şekil 4.11	New Brunswick Üniversitesi U.N.B kampusundaki deney ortamı	61
Şekil 4.12	2D ve 3D choke ring antenler	63
Şekil 4.13	Normal Oto korelasyon Fonksiyonu	65
Şekil 4.14	İki Mhz sınırlı band genişliğine sahip alıcıdaki oto korelasyon fonksiyonu	66
Şekil 5.1	Test ağı	67
Şekil 5.2	Ölçme anındaki DOP değerleri	68
Şekil 5.3	Ölçme anındaki görünür uydu sayısı	69
Şekil 5.4	Çalışmada kullanılan sac levhalar	70
Şekil 5.5	1888 nolu merkez noktasında 360 m ² levha ölçümü	71
Şekil 5.6	Cycle slips hatalarının düzeltilmesi	72
Şekil 5.7	Uygulama 2 için oluşturulan test ağı	83
Şekil 5.8	Test ağı	84
Şekil 5.9	Kurulan ölçü düzeneği kesiti	85
Şekil 5.10	1000 no'lu noktada yapılan ikinci kampanya ölçüsünden bir görüntü	85
Şekil 5.11	1000 no'lu noktada yapılan ikinci kampanya ölçüsünden bir görüntü	86
Şekil 5.12	İkinci kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri	87
Şekil 5.13	Üçüncü kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri	87
Şekil 5.14	Dördüncü kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	GPS sinyal içeriği	12
Çizelge 3.1	GPS Hata Büyüklükleri	22
Çizelge 3.2	Uydu yörüngelerine etki eden bozucu kuvvetler	27
Çizelge 3.3	Uydu yükseklik açısı-sinyal eğilme farkı ilişkisi	36
Çizelge 4.1	Doğal ve insan yapısı zeminlerin elektriksel özellikleri	49
Çizelge 5.1	Oturum planı	71
Çizelge 5.2	Test ağındaki noktaların 1. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	76
Çizelge 5.3	Test ağındaki noktaların 2. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	76
Çizelge 5.4	Test ağındaki noktaların 3. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	77
Çizelge 5.5	Test ağındaki noktaların 4. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	77
Çizelge 5.6	Test ağındaki noktaların 5. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	78
Çizelge 5.7	Test ağındaki noktaların 6. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	78
Çizelge 5.8	Test ağındaki noktaların 7. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	79
Çizelge 5.9	Test ağındaki noktaların 8. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	79
Çizelge 5.10	Test ağındaki noktaların 9. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	80
Çizelge 5.11	Test ağındaki noktaların 10. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları	80
Çizelge 5.12	1888 nolu noktaya ait WGS84 koordinatlar	81
Çizelge 5.13	Uyuşumsuzluk testi	81
Çizelge 5.14	Test ağında yapılan kampanyalar	83
Çizelge 5.15	Üçüncü ve dördüncü kampanya arasındaki koordinat farkı	89
Çizelge 5.16	Birinci ve dördüncü kampanya arasındaki koordinat farkı	89

1. GİRİŞ

Jeodezik amaçlı bir uydu sistemi olan TRANSIT 1967 yılından 1996 yılına kadar sivil amaçlar için kullanıldı. Bununla birlikte söz konusu sistem ile birkaç günlük Doppler ölçüsü yapılarak ancak desimetre mertebesinde doğruluk elde edilebilmekte idi. Transit'ten elde edilen deneyimler sonucu, hava şartlarından etkilenmeden sürekli gözlem yapabilme ve yeryüzünde tek, anlamlı, süratli ve doğru konum belirlemeye olanak veren bir sistem gereksinimi ortaya çıkmıştır.

22 şubat 1978'de ilk navigasyon uydusunun fırlatılmasıyla yüksek prezisyona sahip konumlamalar yapılabilmiş ve bu sayede Transit sisteminden GPS'e geçiş dönemi başlamıştır (Leick 2004). GPS'in jeodezik, jeodinamik ve jeofizik amaçlı olarak kullanımından elde edilen ve farklı araştırmacılar tarafından yayımlanan sonuçlar, bu sistemin sağladığı duyarlı konum belirleme olanağı ile GPS, bilim adamları ve ölçmeciler için hızla gelişen, sağlam temellere dayalı ve ekonomik bir sistem olduğunu göstermiştir.

Bu kadar çok avantaja sahip olmasına karşın tüm diğer sistemlerde olduğu gibi GPS'in de bazı zayıf tarafları vardır. Diğer bir ifadeyle GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları etkileyen bazı rastlantısal ve sistematik sapmalar (bias) söz konusudur. Bu sapmaların bazıları göreceli konumlama yöntemi kullanılması durumunda bile bozucu etkilerini sürdürmektedir. Söz konusu sapmalar yüksek prezisyon isteyen uygulamalarda, özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda (doğru konum belirleme, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, jeoid belirleme gibi GPS ölçülerinden yüksek doğruluk beklendiği durumlarda) bunların davranışı ve büyüklüğü çok iyi modellendirilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

Başlangıçta GPS sistemiyle elde edilen en iyi doğruluk 30 m. idi (Zamanın %95'i ve 3 boyut söz konusu iken). Diferansiyel yöntem sayesinde uydu, alıcı saat hataları gibi bilinen bir çok hata giderilebiliyorken Sinyal Yansıması (Multipath) adı verilen hatanın giderilmesinde pek çok zorluğun olduğu kanıtlanmıştır. Yüksek hassasiyet aranan işlerdeki en önemli hata kaynağı sinyal yansımasıdır (Hannah 2001).

Sinyal yansması ve etkili olduğu alanlarla ilgili önemli araştırmalar yapılmıştır. Bir çok araştırmalarda, tanımlanmış ve kontrol edilmiş yansma parametreleri için sinyal yansmasının etkisinin anlaşılabildiğini kanıtlamıştır (Van Nee 1995, Braasach 1996). Sinyal yansmasının yayılım parametrelerinin geliştirilmesinde genişlik, faz, faz değişimi ve gecikmesi gibi unsurlar, mevcut yayılım modellerinde de mevcut olmasına rağmen çok da fazla dikkat edilmemiştir (Hannah 2001).

Yukarıda ifade edilen sapmaları farklı Şekillerde sınıflandırmak olanaklı olmakla birlikte bunlar çok genel olarak uyduların neden olduğu sapmalar, alıcıların neden olduğu sapmalar ve ortam etkileri Şeklinde ifade edilebilir.

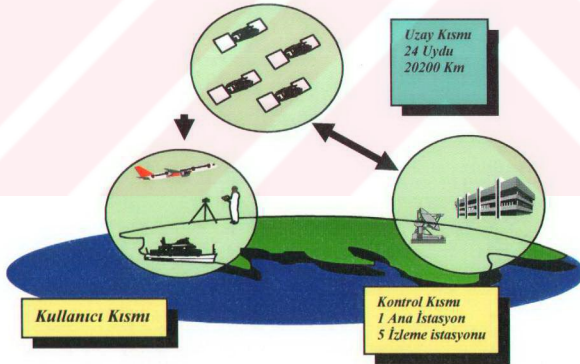
Bu çalışmada kurulan test ağında GPS lleri yapılmıştır. Sinyal yansmasını sağlamak için yansıtıcı özelliği olan su ve parlak sac levhalar kullanılmıştır. Yapılan gözlemler çeşitli yazılımlarla değerlendirilerek sinyal yansma hatası olarak ifade edilen multipath'in bu ölçmeler sonucu elde edilmiş nokta konumlarına etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

2. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (KKBS)

2.1 GPS'in (Global Positioning System) Genel Özellikleri

En basit anlamda GPS (Global Positioning System); herhangi bir kullanıcının, uydudan sinyallerinden yararlanarak, herhangi bir yerde ve anda, her türlü hava koşulunda, ortak bir koordinat sisteminde, konum (enlem, boylam, yükseklik), hız ve zaman bilgilerini elde etmesine olanak veren uzay teknolojisine dayalı bir radyo seyrüsefer sistemidir. Navigation Satellites Timing And Ranging, Global Positioning System (NAVSTAR GPS) programı, TRANSIT ve diğer navigasyon sistemlerindeki yetersizlikleri gidermek, yeterli doğrulukta anlık konumlama gereksinimini karşılayabilmek amacıyla, Amerikan Savunma Dairesi tarafından askeri amaçlar güdümlerinde geliştirilmiş bir sistemdir.

Temel olarak GPS üç bölümden oluşur. Bunlar; Uzay bölümünü oluşturan uydular, bu uyduları sürekli olarak izleyen kontrol bölümü ve kullanıcı bölümleridir (Şekil 2.1).

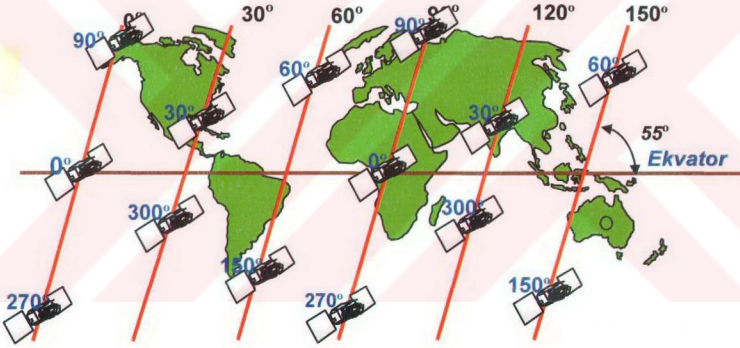


Şekil 2.1 GPS'in bölümleri (Özkan 2005)

Uydular, kontrol bölümü tarafından koordinatları çok iyi bilinen izleme istasyonlarından sürekli olarak izlenir ve toplanan veriler ana kontrol istasyonuna gönderilir. Burada uydunun koordinatları hesaplanır ve yayın istasyonlarından

uydulara gönderilir. Günde 1 yada 2 kez, bir sonraki gün için kestirilen yörüngeler uydulara yüklenir.

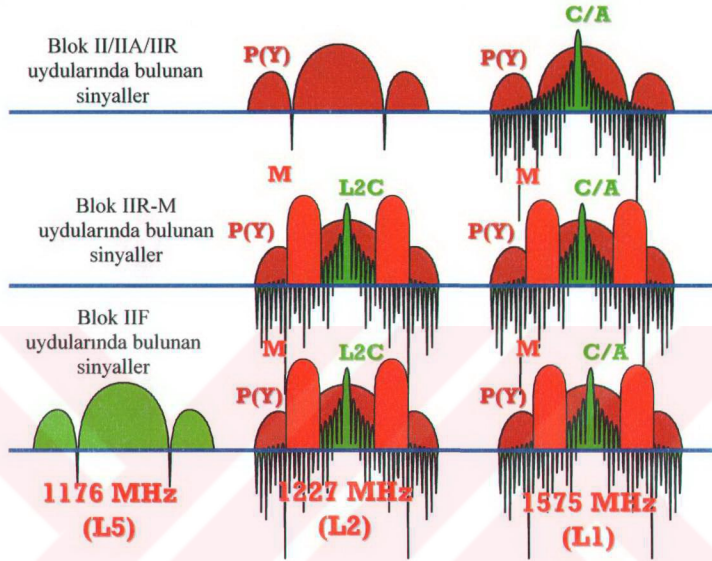
GPS uyduları teknolojiadaki ilerlemelere paralel olarak farklı elektronik özelliklere ve yararlı ömürlere sahip olarak 4 farklı kategoride üretilmiştir. Blok I uyduları 1978-1985 yılları arasında fırlatılan deneme amaçlı 11 uydudan oluşur. Bu uydular ekvatorla 63° açı yapan 2 ayrı yörünge düzleminde bulunmaktadır. Blok II ve Blok IIA uydularından ilki 14 Şubat 1989 yılında fırlatılmıştır. Geliştirme amaçlı olarak 28 adet fırlatılan Blok II ve Blok IIA uydusu ekvator düzlemiyle 55 derecelik açı yapan 6 ayrı yörünge üzerinde hareket etmektedir (Şekil 2.2). Bu yörünge düzlemleriyle ekvator düzleminin arakesitleri arasında 60 derecelik açı bulunmaktadır.



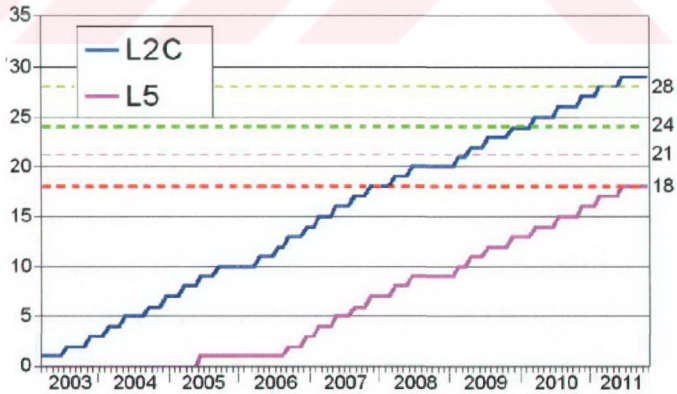
Şekil 2.2 GPS uydularının yörüngeleri (Özkan 2005)

Blok IIR uyduları ise belli bir program dahilinde Blok IIA uydularının yerini almak üzere 22 Temmuz 1997 yılından itibaren fırlatılmaya başlanmıştır. Blok IIR uyduları, çok daha duyarlı atomik saatlere ve uydudan uyduya izleme olanaklarına sahiptir. 2004 yılı itibariyle 10 adet Blok IIR uydusu değiştirilmek amacıyla fırlatılmış bulunmaktadır (Şekil 2.3). Blok IIR uydularının Blok IIA uydularından en büyük farkı L_2 sinyalinin yanına yeni jenerasyon L_{2C} sinyalinin eklenmesidir. Bunun yanında 2006 yılından itibaren sivil kullanıcılar için yeni bir

sinial (L_5) içeren yeni jenerasyon Blok IIF uydularının fırlatılması planlanmıştır (şekil 2.4).



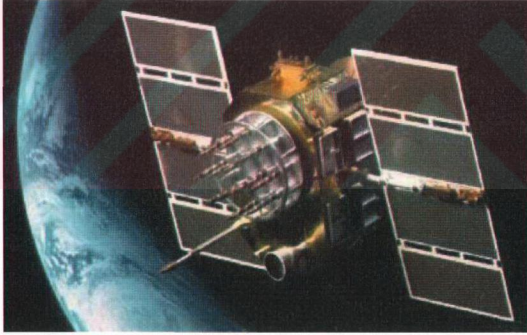
şekil 2.3 GPS uydularında bulunan sinyaller (Kim 2002)



şekil 2.4 L_{2C} ve L_5 sinyalinin yıllara göre modernizasyonu (Fontana vd. 2001)

Uyduların yerden yükseklikleri yaklaşık 20.162,61 km'dir. Bu yüksekliğin sebebi GPS uydularının atmosferde sürüklenmemesi gerektiğindedir. Böylece uyduların yörüngeleri kesin olarak belirlenebilir. GPS uydularının ortalama dönüş zamanları 11 saat 58 dakikadır ve bir noktanın ufku üzerinde ortalama 5 saat kalırlar. (Hofmann-Wellenhof vd. 1997) Bu dağılımdan amaç, dünyanın herhangi bir yerinden en az 4 uydunun görülebmesidir.

İçinde sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilatör ve mikroişlemci bulunan uydular, ortalama 500 kg. ağırlığındadır. Dünyanın her yerinden ufkun 15° üstünden en az 4, en fazla 10 uyduyu gözlemek olanaklıdır. Uydular her biri 7.2 m² lik iki güneş kollektörü ile elektrik enerjisini sağlar. Güneş enerjisi panellerinin yüzeyi güneşe dik gelecek şekilde tutulur. Uydunun güneşi görmemesi durumunda enerji sağlamak için uyduda 3 tane nikel-kadmiyum pil bulunur. Zaman ise 2 tane rubidyum 2 tane sezyum atomik saatten üretilir (Şekil 2.5).

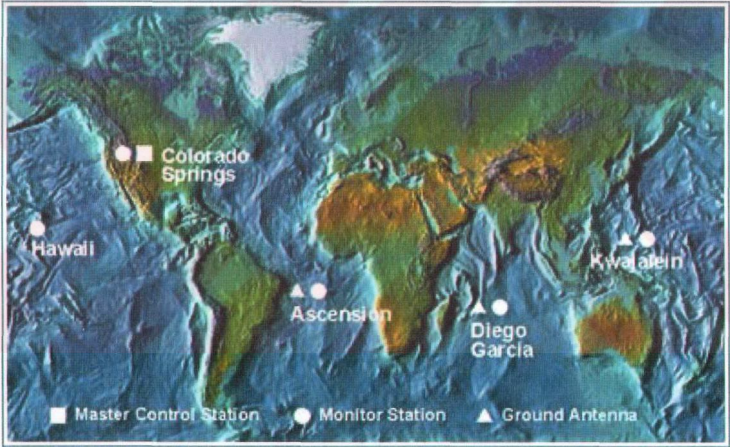


Şekil 2.5 Blok II GPS uydusu

GPS uyduları yüksek duyarlıklı osilatörleri frekansı 10.23 Mhz olan bir temel sinyal üretirler. Her uydu bu temel frekans üzerinden farklı bir matematik modele uygun olarak PRN (Pseude Random Noise) adı verilen kodlar üretirler. Uydular, yörüngedeki pozisyonları, GPS katalog numaraları, fırlatma sıraları veya en çok kullanıldığı gibi PRN numaraları ile tanımlanır.

İkinci bölüm olan kontrol bölümü ekvatora yakın ve uygun geometride dağılmış olan, çok hassas atomik saatlere sahip alıcılara donatılmış, konumu iyi bilinen 5 sabit izleme istasyonundan oluşur (Şekil 2.6). Bu istasyonlar ;

- Colorado Springs (USA-Ana kontrol noktası)
- Diego Garcia (Hint Okyanusu-Monitör istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Ascension Island (Güney Atlantik-Monitör istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Kwajalein (Pasifik Marshall Adaları-Monitör istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Hawaii (Monitör istasyonu) dır (Hofmann-Wellenhof vd. 1997).



Şekil 2.6 Kontrol bölümü

Bu istasyonların amacı uyduların sağlıklı biçimde çalıştıklarının kontrol edilmesi, toplanan sinyallerin değerlendirilmesi, uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatleri düzeltmelerinin hesaplanması ile hesaplanan yörünge, saat vb. bilgilerin uydulara yüklenmesidir. Tüm istasyonlarda toplanan uydu sinyallerinden, iyonosferik ve meteorolojik verilerin de kullanılması ile filtrelenerek hesaplanan uydu alıcı uzaklıkları doğrudan Ana Kontrol İstasyonuna gönderilir. Burada tüm istasyonlardan gelen veriler topluca değerlendirildikten sonra hesaplanan bir

sonraki periyoda ait yörünge ve saat bilgileri uydulara yüklenmek üzere 3 izleme istasyonuna gönderilir. Tahmin edilen bu değerler üç yükleme istasyonu tarafından S bandında 8 saatte bir gönderilir ve L_1 , L_2 taşıyıcı dalgalarına uydu mesajları (navigasyon) olarak modüle edilirler. Güneş panelleri ile toplanan enerji ile uydu yörüngelerindeki manevraların yaptırılması da kontrol bölümünün görevleri arasındadır.

Son kısım ise kullanıcı kısmıdır. GPS sistemi askeri ve sivil kuruluşlardaki çok farklı disiplinler tarafından kullanılmaktadır. Bu disiplinlerdeki kullanım amaçlarına göre kullanıcı kısmı çok çeşitli elektronik özelliklere sahip alıcılardan oluşur. Bir alıcı genel olarak GPS sinyalinin algılayıp yükselten bir anten, duyarlı bir saat, mikro işlemci, kullanıcı ile ara kesit ve güç kaynağından oluşur. Çeşitli amaçlara göre üretilmiş farklı tipte antenler (monopol, dipole, quadripal, microstrip, choke ring) mevcuttur (Şekil 2.7). Her amaca uygun en iyi anten tipi yoktur. Alıcılar 6,8 veya 12 kanallı olabilir. Kanal sayısı arttıkça alıcı daha hızlı ve duyarlı konumlama olanağı verir. Az kanallı ucuz alıcılar farklı uyduları hızlı tarama yöntemleri ile izlerler. Elektronik yapılarına göre antenler C/A Kod, P kod ile L_1 , L_2 taşıyıcı fazların çeşitli kombinasyonlarına erişecek yapıda üretilmektedir.



Şekil 2.7.Choke ring Anten

2.1.1 GPS uydu sinyalleri

2.1.1.1 Sinyal yapısı

Küresel Konum Belirleme Sisteminde prezisyonlu uzunluk elde edilebilmesi için geniş spektrumlu sinyaller kullanılır. Bunu gerçekleştirmek için, GPS sinyal frekansları iyonosferik gecikme hatalarını göreceli olarak azaltacak, bant genişliği payını iyileştirecek ve daha az alan kaybı ve global iletim için bant genişliğinin sağlanabilirliğini mümkün kılacak şekilde seçilmiştir (Spilker 1996).

Genel olarak iki farklı frekans (L_1 , L_2) üzerinden yayınlanan GPS sinyallerinin frekansları, $f_0=10.23$ MHz temel frekans olmak üzere (F =Frekans);

$$L_1 = f_{L_1} 154 \cdot f_0 = 1575.42 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

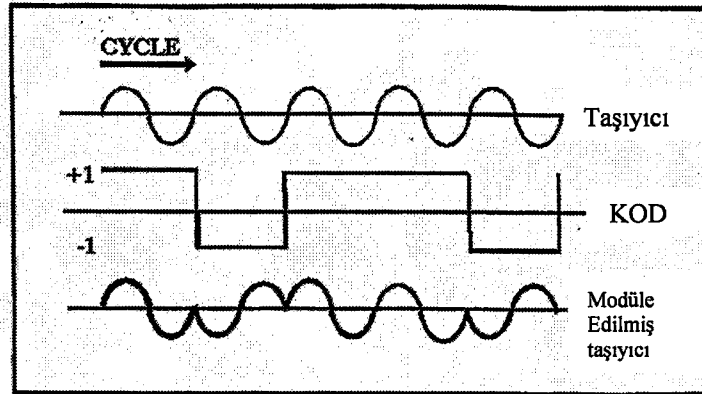
$$L_2 = f_{L_2} 120 \cdot f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$$

olarak elde edilir. (2.1) eşitliğinde L_1 ve L_2 frekanslarının dalga boyları

$$\lambda_{L_1} = \frac{c}{f_{L_1}} = \frac{29979245800 \text{ cm/sn}}{1575.42 \times 10^6 \frac{1}{\text{sn}}} \cong 19.04 \text{ cm} \quad (2.2)$$

$$\lambda_{L_2} = \frac{c}{f_{L_2}} = \frac{29979245800 \text{ cm/sn}}{1227.60 \times 10^6 \frac{1}{\text{sn}}} \cong 24.45 \text{ cm}$$

olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.8 GPS sinyali

Bu iki farklı frekansın seçimi ve kullanılmasındaki temel amaç, iyonosferin göstereceği farklı geciktirmenin yok edilmesi yada iyi modellendirilmesidir. GPS uyduları C/A kod (Clear/Coarse acquisition, Clear/access) ve P kod (Precise/Protected Code) olmak üzere 2 farklı navigasyon bilgisi üretir. P kod 10.23 Mhz.frekansında ve yaklaşık 30 m dalga boyunda, C/A kod ise 1.023 Mhz frekansında ve yaklaşık 300 m dalga boyundadır. C/A ve P kod ile L_1 ve L_2 taşıyıcıları zaman bakımından senkronize edilmişlerdir. P koda ilişkin bilgiler, L_1 ve L_2 taşıyıcısı üzerinde +1 ve -1 faz modülasyon durumları şeklinde yüklenir. Oluşan kodlar kısaca P1 ve P2 olarak adlandırılır. C/A kod ise yalnızca L_1 üzerinden yüklenir. Taşıyıcı faz ile sinyalin yönü aynı ise +1, ters yönlü ise -1 durumu elde edilmektedir (Şekil 2.8). C/A kod hiç bir sınırlama olmaksızın tüm kullanıcılara açıktır. P kod ise askeri amaç taşımakta ve ABD'nin savunma gereksinimleri ve uluslararası anlaşmalara göre sınırlı sayıda (NATO askeri amaçları ve belli sivil kullanıcılar) açıktır. C/A kod her 1/1000 saniyede, P kod ise 266.4 günde bir tekrarlanır. P kodun 7 günlük bölümleri ayrı uydularca yayınlanır. Her uydu kendi kod bölümünü haftalık periyotlarla (cumartesi 0^h UT) yenileyerek GPS zamanını ve PRN (Pseudorandom Noise Code) numarasını belirlemiş olur.

P-kod'u taklit edilmiş sinyallerden (spoofing) korumak için A-S (Anti-Spoofing) özelliği kullanılarak bu kod şifrelenir. Bu işlemin sonucu P-kod, Y-kod adını almakta olup yalnızca Y-kod'dan P-kod'a geçiş için gerekli donanıma sahip kullanıcılar tarafından değerlendirilebilmektedir. C/A kod için A-S özelliği uygulanmamaktadır.

2.1.1.2 GPS navigasyon mesajı

L_1 ve L_2 taşıyıcıları ile C/A ve P kodlarından başka üçüncü tip bir yayın, 50 Hz frekansındaki navigasyon mesajıdır. GPS uydularının sürekli olarak gönderdiği bilgiler, alınan sinyaller üzerine modüle edilmiş data bit'leri şeklinde kullanıcıya ulaşmaktadır. GPS kontrol bölümü tarafından hesaplanan ve kontrol edilen bu bilgiler genel olarak aşağıdaki konuları kapsamaktadır (Leick 2004).

- Uydunun kullanılabilirlik durumu

- C/A-kod'dan P-kod'a geçiş için zaman sekronizasyon bilgisi
- Uydu yörünge parametreleri
- Uydu saat düzeltmesi parametreleri
- Uydu zamani bilgileri
- Uydulara ait yaklaşık efemeris ve durum bilgilerinin bulunduğu almanak bilgisi

dir. Navigasyon mesajı her GPS uydusu tarafından yayınlanmaktadır. Toplam 1500 bit uzunluğunda ve 5 alt bölüm;

Alt Bölüm 1: Saat düzeltmeleri (Δt_s)

Alt Bölüm 2: Efemeris bilgisi (X_s, Y_s, Z_s, t_s)

Alt Bölüm 3: Efemeris bilgisi (Devamı)

Alt Bölüm 4: İyonosfer ve UTC gibi özel mesajlar

Alt Bölüm 5: Uyduların hepsi için Almanak bilgisi

şeklindedir.

Genel anlamda navigasyon mesajının bölümlerini açıklayacak olursak mesajın birinci alt bölümünde uydu saat hataları için polinom katsayıları, iki ve üçüncü alt bölümünde uydu (yayın) efemeris bilgileri yer alır. Dört ve beşinci alt bölümdeki bilgiler her mesajda değişir. Bu alt bölüm içindeki bir çok bilgi askeri amaçlar için öngörülmüştür. İyonosfer ve uydu almanak (kaba yörünge) bilgileri de bu alt bölümlerde yer alır. Her bir alt bölüm 6 saniyede (50 bits/frame) aktarılmakta olup mesajın tamamlanması 30 saniye sürmektedir (Leick 2004).

Uyduların her biri 14 günlük navigasyon datasını hafızasında bulundurabilmekle beraber bu data 4 saatlik bir süre için geçerlidir. Daha güncel saat ve efemeris bilgisinin kullanıcıya ulaştırılması için her saat güncellenmektedir (Nieuwejaar 1988).

Taşıyıcı, kod ve navigasyon mesajlarına ait genel bir özet Çizelge 2.1'de verilmektedir. GPS zamanı, ana kontrol istasyonunda atomik saatlere dayalı olarak belirlenir. Zaman, GPS hafta no ve o hafta başından itibaren geçen saniye ile tanımlanır. GPS zamanının başlangıcı 6 ocak 1980 günü 0^h (Universal

Coordinated Time, UTC) anıdır. Bu an Julian günü (JD) olarak 2444244.5 ve modifiye edilmiş Julian günü (MJD) olarak 44244'e karşılık gelir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 GPS sinyal içeriği

SİNYAL	YAPISI	FREKANS	DALGA BOYU
Temel Frekans	f_0	10.23 Mhz	30 cm
L ₁ Taşıyıcısı	154 f_0	1575.42 Mhz	19 cm
L ₂ Taşıyıcısı	120 f_0	1227.60 Mhz	24 cm
P-Kodu	f_0	10.23 Mhz	30 cm
C/A Kodu	$f_0/10$	1.023 Mhz	300 cm
Navigasyon Mesajı	$f_0/204600$	50 Mhz	

2.1.1.3 GPS sinyallerinden üretilen büyüklükler

GPS ölçümlerinin iki önemli tipi vardır. Bunlar Pseudorange (Yalancı uzunluk) uzaklıkları ve Carrier Phase (Taşıyıcı Dalga Fazı) yada Carrier Beat Phase (Taşıyıcı Dalga Faz farkı) fazlardır. Pseudo uzaklık teknikleri genellikle navigasyon amaçlı kullanılır. Yüksek hassasiyetli ölçmelerde taşıyıcı faz kullanılır. Fazlarda pratikte orijinal taşıyıcı faz gözlemlerinin belirli kombinasyonlarının işleminden geçirilmesi yaygın olmuştur. Bunlar tekli, ikili ve üçlü farklardır.

2.1.1.4 Pseudorange ölçme yöntemi

Pseudo uzaklık teknikleri genellikle navigasyon amaçlı kullanılır. Yüksek hassasiyetli ölçmelerde taşıyıcı faz kullanılır. Fazlarda pratikte orijinal taşıyıcı faz gözlemlerinin belirli kombinasyonlarının işleminden geçirilmesi yaygın olmuştur. Bunlar tekli, ikili ve üçlü farklardır. Bu kombinasyonların yapılmasının sebebi sırasıyla uydu saat hatası, alıcı saat hatası ve tamsayı belirsizliğini giderilmesidir. Pseudo (kod ölçüsü) uzaklık uydu anteniyle alıcı anteni arasında ölçülen mesafedir. Sinyallerin iletim zamanı uydular tarafından ve alıcı tarafından üretilen belirleyici rast gele kodlar olan PRN kodlarının korelasyonu ile ölçülür. Alıcıdaki kod izleme devresi maksimum korelasyon oluşuncaya kadar PRN kodunun içindeki kopyasını değiştirir. Korelasyon oluştuğunda zaman ötelemesi yani zaman farkı belirlenir. Bu zaman farkı ışık hızıyla çarpılarak pseudo uzaklık bulunur. Uydu ve

alıcı saatinde kaçınılmayan zaman hataları ve sinyaldeki gecikmeler ölçülen uzaklığın hatalı olmasına sebep olacaktır. Pseudo uzaklık ölçümü P veya C/A kodu ile yapılabilir, troposferik ve iyonosferik yayılım gecikmesi ölçülen pseudo uzaklığı direkt olarak etkileyen büyüklüklerdir.

Pseudo uzaklık ölçümünün genel ifadesi;

$$[t_k + dt_k - (t^p + dt^p)] * c = \rho_k^p + I_k^p + T_k^p \quad (2.3)$$

elde edilir.

Gerçek pseudo uzaklığı

$$P_k^p = (t_k - t^p) * c \quad (2.4)$$

olup,

t_k : k alıcısı tarafından üretilen zaman

t^p :Uydu tarafından gönderilen nominal zaman

I_k^p : İyonosferik gecikme

T_k^p : Troposferik gecikme

ρ_k^p : Uydu ile alıcı arasındaki toposentrik mesafedir.

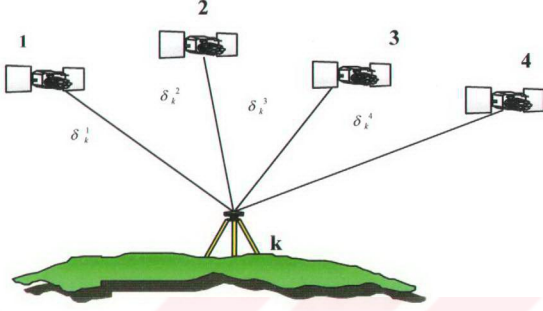
dt_k : Alıcı zaman farkı

dt^p : Uydu zaman farkı

dir.

Pseudo ölçmeleri navigasyon, araç izleme vb. amaçlar için kullanılır. Faz gözlemleri GPS ölçmelerinde en çok kullanılan gözlemlerdir. Faz gözlemleri, taşıyıcı dalganın, P ve C/A kodları yerine, modüle edilmemiş (L_1 ve L_2) halinde yapılmaktadır. Bu gözlemlerde kod bilgisi kullanılmadığı için seçici doğruluk erişiminden (selective availability-S/A) etkilenmemektedir. Taşıyıcı dalga fazı da pseudorange gözlemlerinde olduğu gibi aynı şekilde elde edilmektedir. Yani, uydudan yayınlanan fazın benzeri alıcı içinde de üretilmekte ve bunlar arasında korelasyon sağlanmaktadır. Başka bir deyişle, faz gözlemi, t zamanında uydudan

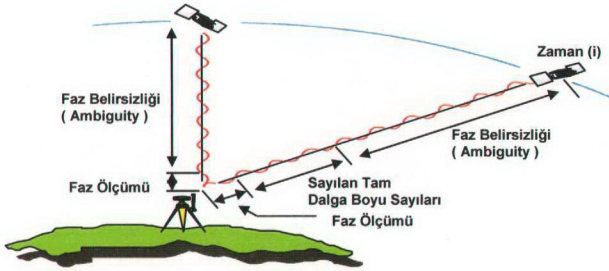
yayınlanan sinyalin (L_1, L_2) taşıyıcı fazı ile t_R zamanında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki fark olarak tanımlanabilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Pseudorange ölçüsü (Özkan 2005)

2.1.1.5 Taşıyıcı dalga faz farkı ölçü yöntemi (Carrier Beat Phase)

Uydular konum belirlemek amacı ile dünyaya sürekli olarak sinyaller gönderirler. Alıcı açıldıktan sonra sürekli faz üretmeye başlar. Alıcı sinyaller, uydudan gelen sinyalin tam devri ile birlikte sayılmaya başlanır ve uydu görüntüden çıkıncaya kadar sayılır. Bir alıcıda ilk ölçümün yapıldığı t_0 epeğunda yapılan anlık faz farkı ölçüsü yalnızca taşıyıcı dalganın en son parçasıdır. Uydu-alıcı arasındaki N sayısındaki tam dalga boyu sayısı belli değildir. Buna “Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıç Belirsizliği” yada kısaca “Ambiguity” denir. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10 Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (Özkan 2005)

Eğer çeşitli engellerden dolayı uydu sinyali bloke edilmezse, bir uydu ve alıcı için integer ambiguity sabittir. En genel şekliyle faz denkleminin matematiksel modeli aşağıdaki biçimde verilmiştir.

$$\Phi_A^k(t) = -\frac{f}{c} \rho_A^k(t) + N_A^k + \Phi^k(t) - \Phi_A(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.5)$$

Burada

Φ_A^k : A noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz

ρ_A^k : A'dan k'ya geometrik uzaklık

N_A^k : Başlangıç tam sayı bilinmiyeni

Φ^k : Uydu saat hatası

Φ_A : Alıcı saat hatası

f : Frekans

c : Işığın boşluktaki hızı

Diğer hatalar : Troposferik refraksiyon + İyonosferik refraksiyon + Gürültü + Değişik yüzeyden yansıma + anten faz merkezi kayıklığı vb.

dir.

2.1.1.6 GPS sinyallerinde fark gözlemleri (Single, Double, Triple Differences)

Kod ve Faz ölçüleri GPS sinyallerindeki temel büyüklüklerdir ve bunlara sıfır farklar (Zero Difference) denilir. Bu sıfır farklar, faz ölçülerinin lineer kombinasyonlarının oluşturulmasında kullanılır.

GPS gözlemlerinden oluşturulan bu farklar yardımıyla, alıcı saat hataları, uydu saat hataları, Ambiguity gibi başlangıçta bilinmeyenler olarak denklemlere giren unsurlar elemine edilir.

Gözlem fark kombinasyonları,

- Alıcılar arasında

- Uydular arasında
- Ölçü epokları arasında
- L_1 ve L_2 frekansları arasında

oluşturulabilir.

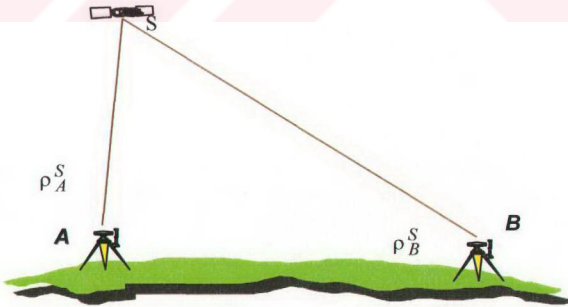
2.1.1.7 Tekli farklar (Single Differences)

Genel olarak tekli farklar denilince alıcı kurulan noktalar arasında oluşturulan kod yada faz ölçüsü farkları anlaşılır. Tekli fark, iki farklı noktadaki alıcılardan aynı uyduya aynı zaman aralığında yapılmış gözlemler arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 2.11). Kod ölçüleri ve faz ölçüleri için fark gözlemi eşitliği,

$$\Delta R_2^S R_1(t_j) = \rho_{R_2}^S(t_j) - \rho_{R_1}^S(t_j) \quad (2.6)$$

$$\Delta \phi_{R_2}^S R_1(t_j) = \phi_{R_2}^S(t_j) - \phi_{R_1}^S(t_j) \quad (2.7)$$

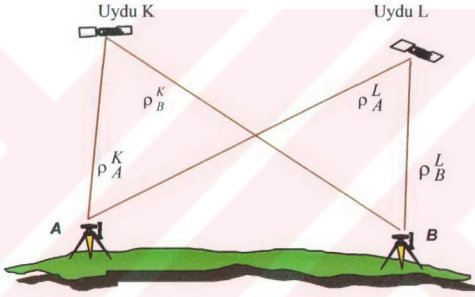
ile verilir. u yöntemle esas olarak uydu saatlerindeki hatalar elemine edilir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı noktası için oluşturulursa alıcı saati hataları elemine edilmiş olur.



Şekil 2.11 Tekli fark gözlemi (Single Differences)

2.1.1.8 İkili farklar (Double Differences)

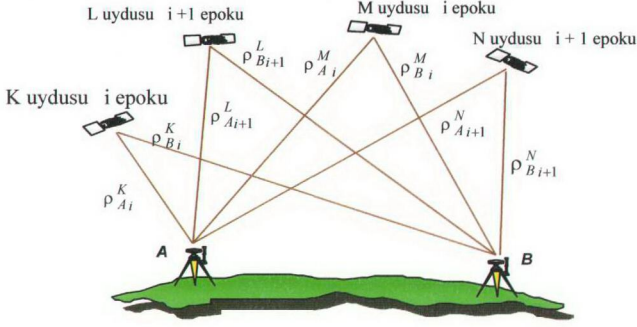
Temel olarak ikili farklar, iki tekli farkın farkı olarak tanımlanabilir. Yani, eş zamanda iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır (Şekil 2.12). Bu yöntemle uydu ve alıcı saati hatalarının her ikisi birden elemine edilmektedir. GPS değerlendirme programlarının algoritmaları genellikle bu yöntemde dayanmaktadır. Ayrıca bu yöntemde kısa bazlarda iyonosferik ve troposferik etkilerde giderilmektedir.



Şekil 2.12 İkili Fark Gözlemi (Double Differences)

2.1.1.9 Üçlü farklar (Triple Differences)

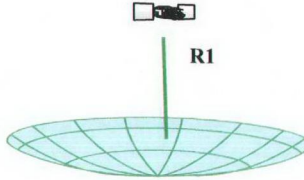
İki farklı epokta oluşturulan iki adet ikili fark gözlemi arasındaki farka üçlü farklar denir. Burada temel amaç Ambiguity'nin çözülebilmesidir (Şekil 2.13). R sayıda alıcının, T sayıdaki gözlem anında, S sayıdaki uyduya gözlem yaptığı düşünülürse, $R \times S \times T$ sayıda faz ölçüsü olacaktır. Jeodezik amaçlı çalışmalar genellikle faz ölçüleri kullanılarak yapıldığından farklar da faz farkları olarak ele alınır.



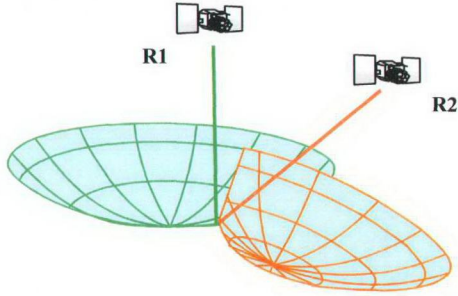
Şekil 2.13 Üçlü fark gözlemi (Triple Differences)

2.2 GPS Ölçü Prensipleri ve Konum Belirleme Teknikleri

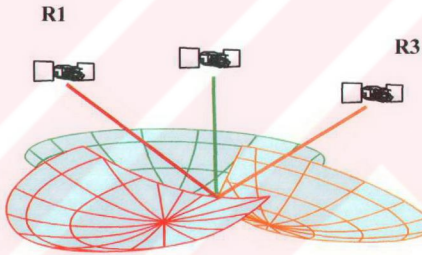
En basit anlamda GPS ölçü prensibi , uzay geriden kestirme ile açıklanabilir. Uydudan alınan sinyal ile yukarıda açıklanan metotlarla uydu alıcı mesafesi hesaplanmaktadır. Bu hesaplanan mesafe yarıçap kabul edilirse, alıcının konumu, söz konusu yarıçapa sahip kürenin her hangi bir yerindedir denilir (Şekil 2.14). Eğer iki uydudan alınan sinyaller değerlendirilirse, alıcının konumu iki kürenin kesim yerinde yani bir daire üzerindedir, denilir (Şekil 2.15). Üç uydudan alınan sinyaller, her bir uydu bir kürenin merkezi olmak üzere üç tane küre oluşur ki, alıcının konumu bu üç kürenin kesim yerindedir. Bu da bir nokta ile temsil edilir (Şekil 2.16). İşte, enlem, boylam ve yükseklik için 3 uydu yeterlidir. Ne var ki, denklemlere bilinmeyen olarak eklenen alıcı saat hataları nedeni ile en az 4 uydu ile denklemler oluşturulur.



Şekil 2.14 Bir uydudan, bir alıcıya olan uzaklık



Şekil 2.15 İki uydu ile iki alıcı arasındaki uzaklık



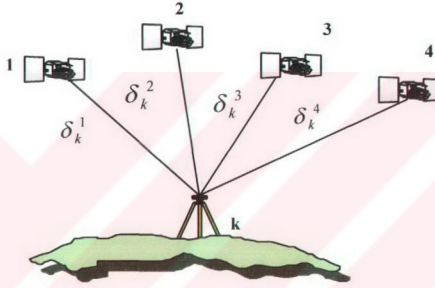
Şekil 2.16 Üç uydu ile üç alıcı arasındaki uzaklık

2.2.1 Konum belirleme teknikleri

GPS ile konum belirlemede iki temel teknik vardır. Bunlar, Point Positioning (Nokta Konumlama) ve Relative Positioning (Görelî Konumlama) yöntemleridir. Jeodezide yüksek duyarlılık isteyen çalışmalarda genellikle görelî konumlama tekniği kullanılmaktadır.

2.2.1.1 Nokta konumlama (Point Positioning)

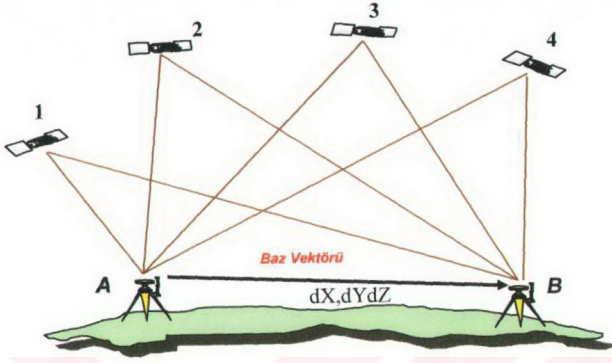
Bir alıcı ile en az 4 uydu gözlemi yapılarak enlem, boylam, yükseklik ve zaman çözümü yapılır. Temel olarak bir uzay geriden kestirme problemidir. GPS’de tek alıcı ile yapılan konumlamanın doğruluğu 10-100 m dir. Uydu alıcı mesafeleri ile bilinen uydu koordinatları yardımıyla geriden kestirme ile alıcı anteni faz merkezi koordinatları hesaplanır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Nokta konumlama

2.2.1.2 Göreli konumlama (Relative Positioning)

Görelî konum belirleme yönteminde, koordinatları bilinen bir noktaya göre, diğeri nokta yada noktaların koordinatları hesaplanır. Bu yöntemde iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir. Sabit bir A noktasının koordinatları biliniyorsa ve eş zamanlı gözlem yapılmışsa, uydu ve alıcıdaki ortak saat hataları elemine edilir, atmosferik gecikme etkileri azaltılır, A noktasının bilinen koordinatları ile B noktasının koordinat farkları (dX, dY, dZ) belirlenir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Göreli konum belirleme

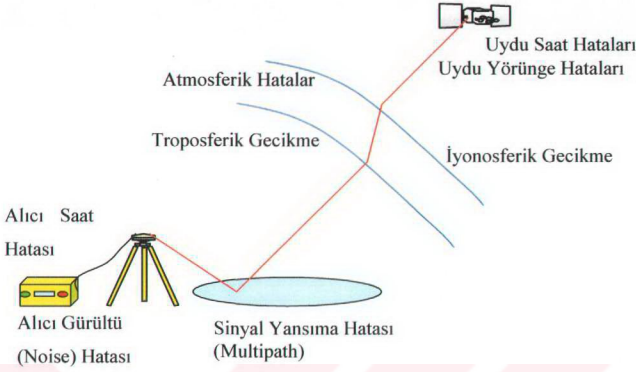
3. GPS GÖZLEMLERİNE ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI

3.1 Genel

GPS sistemi bugüne kadar geliştirilmiş yüksek doğruluklu global bir konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, diğer sistemlerde olduğu gibi, bazı zayıf tarafları da vardır. Başka bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları da etkileyen bazı rastlantısal ve sistematik sapmalar söz konusudur. Bu sapmaları biz hata olarak isimlendiririz. Bu hatalar GPS uygulamalarında birçok etmen olarak karşımıza çıkar ve yapılan ölçüleri etkilemektedir. Jeodezik uygulamalarda sonuçlar üzerindeki etkileri nedeniyle bu hatalar ve hata kaynakları dikkate alınmak durumundadır. GPS gözlemlerine etki eden hatalar çok farklı şekillerde olmakla beraber genel olarak uydulardan kaynaklanan hatalar, alıcı donanıma bağlı hatalar ve ortam etkilerine bağlı hatalar olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmadan yola çıkarak GPS ölçülerine etkileyen başlıca hata kaynakları (Şekil 3.1) ve büyüklükleri (Çizelge 3.1) aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1 GPS hata büyüklükleri (Kahveci 1997, Shaw vd. 2000)

Hata	Büyükük
Uydu saati	2 m (broadcast Düzeltmeleri ile)
Alıcı Saat	10-100 m (alıcı osilatörünün türüne bağlı olarak)
Uydu Yörünge	5-25 m
İyonosferik	4m (zenit doğrultusunda)
Troposferik	0.7 m (zenit doğrultusunda)
Alıcı Gürültü (Noise)	
C/A kod	10 cm-3m (alıcı türüne bağlı)
Taşıyıcı faz	0.5 – 5 mm (alıcı türüne bağlı)
Sinyal Yansıma (Multipath)	
C/A kod	50 cm -1.50 m (GPS donanımı ve konumuna)
Taşıyıcı faz	Bir kaç cm (GPS donanımı ve konumuna bağlı)



Şekil 3.1. GPS hata kaynakları

3.2 Uydu ve Alıcı Saat Hataları

Uydular konum belirlemek amacı ile dünyaya sürekli olarak sinyaller gönderirler. Alıcı açıldıktan sonra sürekli faz üretmeye başlar. Alıcı sinyaller, uydudan gelen sinyalin tam devri ile birlikte sayılmaya başlanır ve uydu görüntüden çıkıncaya dek sayılır. Uydu ve alıcı sinyalin birlikte sayılmaya başlanmasından önceki uydu sinyalinin tam devir sayısı bilinmez ve bu integer ambiguity olarak adlandırılır. Eğer çeşitli engellerden dolayı uydu sinyali bloke edilmezse, bir uydu ve alıcı için integer ambiguity sabittir. Faz ölçmeleri de saatlerin tam olarak senkronize olmamasından dolayı saat hatası ile yüküldür. NAVSTAR GPS uydularında “Rubidyum” , “Cesium” ve “Hydrogen Masers” gibi yüksek doğruluğa sahip atomik saatler kullanılır. Bu yüksek doğruluklu saatlerde bile zaman içinde düzenli ve düzensiz değişimler meydana gelmektedir. İşte yer kontrol istasyonları burada devreye girerek en az yılda bir kez uydulara saat düzeltmesi yüklenmektedir. GPS uyduları arasındaki senkronizasyon 20 nanosaniye, GPS zamanı ile Koordinatlandırılmış Dünya Zamanı UTC (Universal Time Coordinated) arasındaki senkronizasyon ise 100 nanosaniyedir (Özkan 2005).

Ayrıca faz ölçmelerinde düzenli ve düzensiz hata kaynakları vardır. Faz ölçmeleri haritalama işleri, deformasyon ve deprem izleme vb, amaçlar için kullanılır.

Kod ve faz gözlemlerinden yararlanılarak oluşturulan farklar yardımıyla alıcı saati hataları, uydu saati hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi birçok ortak hata kaynağı giderilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları farklı şekillerde oluşturulabilmektedir. Bunlar genel olarak; alıcı arasında, uydular arasında, ölçü epokları arasında yada, L_1 ve L_2 frekansları arasında yapılmaktadır.

3.3 Uydu Yörüngelerinin Belirlenmesi ve Uydu Yörünge Hataları

Uydular yörüngelerinde, başta yeryuvarı, Güneş ve Ay'ın çekimleri olmak üzere birçok kuvvetin oldukça karmaşık etkileri altında hareket ederler. Uydu yörüngelerinin modellendirilebilmesi için düşünsel olarak,

- Yeryuvarının yoğunluğu (kütle dağılımı) homojen bir küre olduğu,
- Uydunun kütesinin ihmal edilebilecek kadar az olduğu,
- Uydunun boşlukta hareket ettiği,
- Öteki gök cisimlerinin çekim ve radyasyonundan etkilenmediği

varsayımlarından hareketle “normal yörünge” tanımı yapılır (Leick 2004). Normal yörünge, odaklarından birinde Dünyanın yer aldığı bir elips şeklinde olup; uydunun zamana bağlı koordinatlarını bilinen 6 Kepler elemanı ile tanımlamaya olanak verir. Normal yörünge kavramı, karmaşık yörünge modellendirmesinde anlatım kolaylığı sağlaması, kısa süreler için kaba yörünge hesaplarına yeterli oluşu (uydu görünürlük diyagramları ve planlamalar) ve duyarlı yörünge hesapları için başlangıç değerleri olarak alınması bakımından önem taşımaktadır. Uydunun normal yörüngedeki hareketleri iki nokta probleminin indirgenmiş bir şekli (tek nokta problemi) olarak Newton'un çekim yasası,

$$r = -GM \frac{r}{|r|^3} \quad (3.2)$$

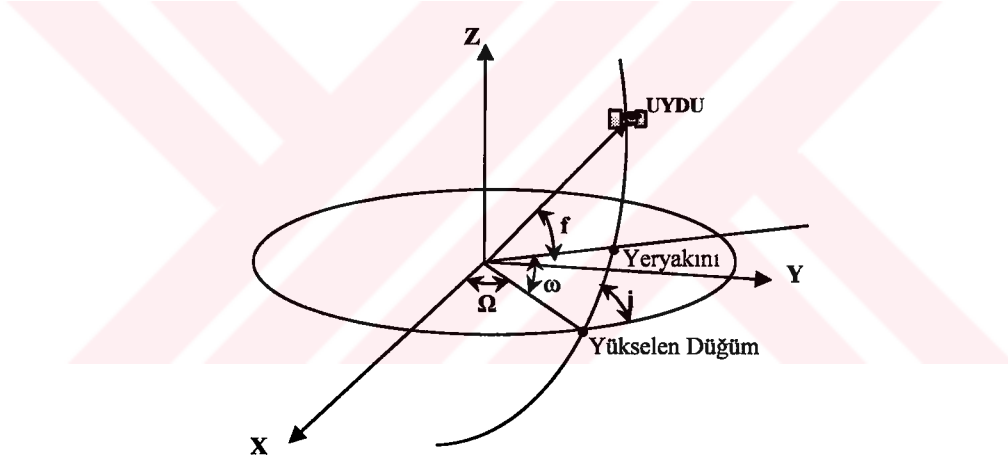
eşitliği ile (ikinci dereceden homojen bir diferansiyel denklemin çözümü şeklinde) tanımlanabilir. Burada

GM : Yeryuvarının gravite sabiti ve kütesinin çarpımını

r :Uydunun durum vektörünü (yeryuvarın merkezinden uyduya yarıçap vektörü)

göstermektedir.

Bu koşullar altında hareket eden bir uydunun yörüngesi gösterilmiştir (Şekil 3.2). Uydu yörüngesi, gök koordinat sisteminde tanımlanmış olup X eksenini ilkbahar noktası (ekliptik ve ekvator düzlemlerinin arakesiti), Z eksenini ise gök kutbu ile belirler. Uydunun ekvator düzleminde geçtiği andaki N noktasına “yükselen düğüm” noktası; yeryuvarına en yakın olduğu P noktasına “yerberi” (yeryakını, perigee) noktası; yere en uzak olduğu A noktasına “yeröte” (yeruzağı, apogee) noktası adı verilir (Kınık 1999).



Şekil 3.2 Kepler yörünge elemanları

Yörünge elemanları,

a : Yörünge'nin büyük yarı eksenini (yörünge'nin büyüklüğünü),

e : Yörünge'nin eksentrisitesi (yörünge'nin şeklini),

i : Yörünge düzleminin ekvator düzlemine göre eğimi,

Ω : Yükselen düğümün rektasansiyonu,

ω : Yeryakını noktasının argümanı,

f : Gerçek anomali (Perigee doğrultusundan uyduya kadar ölçülen açı)

olarak tanımlanır. Normal Yörüngeyi belirleyen bu 6 elemandan yalnızca gerçek anomali, (f) zamana bağlı olup öteki 5 eleman sabittir. Yörünge'nin gök koordinat sistemindeki konumunun (Ω, i), uzaydaki konumunun (Ω, ω, i) elemanları ile; uydunun yörünge düzlemindeki konumunun ise (a,e,f) elemanları ile tanımlandığı kolayca görülebilir.

Ancak, yeryuvarının çekim alanında, ağırlık merkezinden yaklaşık 26570 km uzaklıktaki hareketleri sırasında GPS uydularının yörüngelerinde;

- Yeryuvarının merkezsel olmayan çekim potansiyeli,
- Güneş, Ay ve diğer gök cisimlerinin çekim etkileri,
- Güneş radyasyon basıncı
- Yeryuvarının radyasyon etkisi (albedo),
- Yeryuvarının basıncının dolaylı etkisi,
- Katı yerkabuğu, okyanus ve atmosferik gel-git etkileri,
- Atmosferik sürtünme,
- Rölativite etkileri,
- Kutup gezinmesi,
- Rezonans hızlanması

gibi bozucu kuvvetler nedeniyle anlık hızlanmalar (değişimler) olur. Bu değişimlerin büyüklükleri ve uydu yörüngesinde bir günlük süre sonunda yaptığı bozucu etkinin büyüklüğü Çizelge 3.2'de liste halinde verilmiştir (Grejner–Brezinska 1995, Cadwell 1995, Yang 1995).

Çizelge 3.2 Uydu yörüngelerine etki eden bozucu kuvvetler (Kınık 1999)

Uydulara Etki Eden Bozucu Kuvvetler	Değişim (m/sn ²)	Yörüngede Bir Günlük Değişim (m)
Yerin gravite alanının merkezsel terimi	0.59	Çok büyük
Yerin eğimi (merkezsel olmayan potansiyel katsayısı, C20)	5.0*10 ⁻⁵	10000
Ay'ın çekim etkisi	5.0*10 ⁻⁶	3000
Güneş'in çekim etkisi	2.0*10 ⁻⁶	800
Güneş'in direkt radyasyon basıncı	6.0*10 ⁻⁸	200
C20 dışında yerin merkezsel olmayan jeopotansiyel harmonikleri	3.0*10 ⁻⁷	200
Y-yanlılığı	0.8*10 ⁻⁹	1.4
Katı yerin gel-git potansiyeli	1.0*10 ⁻⁹	0.3
Okyanus gel-git etkileri	5.0*10 ⁻¹⁰	0.04
Yerin radyasyonu (Albedo etkisi)	4.0*10 ⁻¹⁰	0.03
Relativistik etkiler	3.0*10 ⁻¹⁰	Çok küçük

Uydulara etki eden bu kuvvetler, genellikle normal yörüngeden sapmalar olarak modellendirilir ve gerçek bir uydu yörüngesi için (3.1) eşitliğinden farklı olarak,

$$\ddot{\mathbf{r}} = -GM \frac{\mathbf{r}}{r^3} + \mathbf{a}(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p_0, p_1, p_2, \dots) = \mathbf{f}(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p_0, p_1, \dots) \quad (3.3)$$

eşitliği kullanılır (Kınık 1999).

3.4 Anten Faz Merkez Kayıklığı

GPS'in global kabuk hareketlerinin belirlenmesi yönelik kullanımı, mümkün olan en yüksek doğruluğa erişme konusundaki çabaları arttırmıştır. 0.01 ppm'e varan düzeylerde duyarlıklar hedeflendiğinde GPS antenleri için yapımçı firmalar tarafından tanımlanan L₁ ve L₂ faz merkezlerinin titizlikle araştırılması zorunlu hale gelir. Özellikle farklı tipte antenlerin birlikte kullanılması durumunda sorun daha da karmaşıktır.

Öte yandan bir faz ölçüsünün doğruluğu uydu anteni faz merkeziyle de ilgilidir. Uydunun gövdesine çarpan Güneş ışınlarının bir kısmı emilir, bir kısmı ise yansıtılır. Emilen ve yansıtılan ışınlar “Güneş’in Radyasyon Basıncı (GRB)” adı verilen bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvetin büyüklüğü ışınların yoğunluğu ve uydu yüzeyine bağlı olup

$$b_{GRB} = vP_s C_r (A/m) (au)^2 \frac{r - r_G}{(r - r_G)^3} \quad (3.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

v : Gölge fonksiyonu ($v = 0$ ise uydu yerin gölgesinde, $v = 1$ ise uydu Güneş ışınları altında, $0 < v < 1$ ise uydu kısmen gölgede anlamındadır),

au : Astronomik birim ($1.5 \cdot 10^8$ km),

P_s : Uydu 1 astronomik birim uzaklıkta iken Güneş’in radyasyon basıncı miktarı

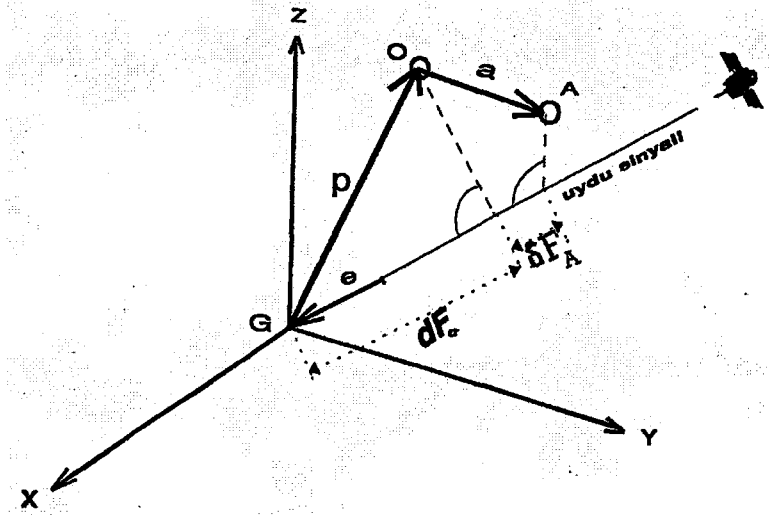
C_r : Uydu yüzeyinin yansıtıcılık katsayısı,

(A/m) : Uydu yüzey alanının kütlesine oranı,

r_G ve r : Güneş’in ve uydunun durağan (inersiyal) sistemde jeosentrik konumları anlamındadır.

GPS uyduları oldukça yüksek yörüngeli olduklarından GRB’den diğer bozucu etkilere göre oldukça fazla ($1.0 \cdot 10^{-9}$ m/s²) etkilenirler. Blok I ve Blok II uydularının karmaşık dış yüzeyleri nedeniyle üretici firma (Rockwell International) tarafından sırasıyla ROCK4 ve ROCK42 GRB modelleri geliştirilmiştir (Kınık 1999).

GPS antenlerinde sinyalin kaydedildiği elektronik merkez “ortalama faz merkezi” olarak tanımlanır. Bu merkez, firmalar tarafından anten üzerinde geometrik olarak belirlenirse de pratikte (ölçme anında) bu nokta, “anten faz merkezi kayıklığı” denen değişimler gösterir. Antenin geometrik referans noktası, ortalama faz merkezi ve anlık faz merkezleri sırasıyla G, O ve A noktaları ile gösterilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Ortalama ve anlık anten faz merkezleri

Anlık faz merkezinin geometrik referans noktasından farkı $\Delta F(\alpha, z)$, biri sabit bir dış merkezlik dF_0 , diğeri hareket halindeki sinyal kaynağının konumuna (uydunun yükseklik ve azimutuna) göre değişen δF_A büyüklüklerinin toplamı olarak düşünülebilir (Geiger 1990). Başka bir deyişle,

$$\Delta F(\alpha, z) = dF_0 + \delta F_A = \underline{e}^T \underline{p} + \delta F(\alpha, z) \quad (3.5)$$

yazılabilir. Burada

α :Uydunun azimutunu,

z :Uydunun zenit açısını

\underline{e} :Uydu-alıcı doğrultusunda birim vektörü

göstermektedir. Merkezi antenin geometrik referans noktası olmak üzere (Z eksenini düşey doğrultuda, Y eksenini isteğe bağlı olarak yöneltilmiş biçimde) oluşturulan bir topocentrik koordinat sisteminde \underline{e} vektörünün bileşenleri,

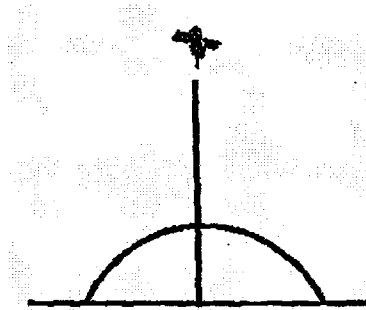
$$\begin{aligned} e_x &= -\sin z \cos \alpha \\ e_y &= -\sin z \sin \alpha \\ e_z &= -\cos z \end{aligned} \quad (3.6)$$

eşitlikleriyle ifade edilebilir. $\Delta F(\alpha, z)$ büyüklüğü, \underline{p} ve \underline{a} vektörlerinin uydu-alıcı doğrultusu üzerindeki izdüşümlerinin toplamı olarak hesaplanır.

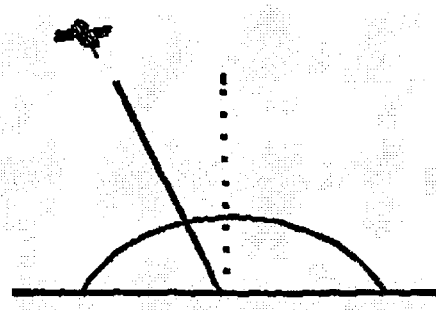
Yüksek doğruluk beklenmeyen pratik ölçmelerde kullanılmak üzere \underline{p} vektörü ile tanımlanan ortalama faz merkezi, (0 noktasının G noktasına göre konumu) yapımcı firmalar tarafından gerçekleştirilen kalibrasyon ölçüleri sonucu, uydunun zenit ve azimutunun fonksiyonu olarak, tüm anten yüzeyi üzerindeki örneklemelerle saptanır. Bu amaçla örneğin,

$$\underline{p} \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{z=0}^{z_{\max}} \Delta F(\alpha, z) \sin z dz d\alpha = \min \quad (3.7)$$

koşulu yazılabilir ve z_{\max} uygulamada genellikle 75 derece olarak alınır. Uydu hareket ettikçe hem sinyalin algılandığı nokta (anlık faz merkezi) ortalama faz merkezine göre yer değiştirmekte, hem de antende ölçülen faz değerinde değişim olmaktadır. Fazdaki değişim, anten geometrik merkezi ile uydu eksenini üzerinde görünen bir yer değiştirme anlamında olup büyüklüğü anten-uydu ekseninin, antenin düşeyi ile yaptığı açığa bağlıdır. Örneğin (Şekil 3.4.a)' da tam düşeydeki bir uydu için faz değişimi değeri sıfırdır. Şekil 3.4.b' de ise uydu düşeyle 30 derecelik bir açı yaptığından L_1 için $(30/360)*L_1=16$ mm, L_2 için $(30/360)*L_2=20$ mm faz değişimi söz konusu olacaktır.



Şekil 3.4.a Düşeyde Anlık Faz Değişimi



Şekil 3.4.b Anlık Faz Değişimi

Ölçmeler sırasında uyduların sayı ve geometrik dağılımları ne kadar çok ve rastlantısal ise anlık faz değişimlerinin büyüklük ve yönleri o kadar az bozucu etki yapacağından ölçü süresinin uzatılması yararlı olacaktır. Antenin zayıf bir sinyali sağlıklı olarak algılaması ve yükseltilmesi GPS ölçüleri için büyük önem taşır. Sinyalin antene geliş açısı, başka bir deyişle uydunun konumu Sinyalin algılanabilmesinde en önemli etkiyi oluşturur. Antenin her yönden gelen sinyallere karşı duyarlı olması arzu edilirse de bu durum her zaman mümkün değildir. Çünkü yataya yakın (çok küçük yükseklik açıları ile) gelen sinyaller antenin yakınındaki yansıtıcı yüzeylerden yansıyarak antene ulaştığında (multipath) doğrudan antene gelen sinyallerle girişim yaparak bozucu etkiye neden olur. Sonuç olarak alçaktaki uyduların sinyallerinin etkisi ile yüksekteki uyduların sinyallerinin daha iyi algılanabilmesi arasındaki çelişki en iyi biçimde dengelenmelidir. Bu amaçla antenin özel olarak tasarımı gereklidir (Kınık 1999).

Çevreden yansıyan sinyalden korunmak için esas anten ünitesinin özel olarak genişletildiği “ground plane” tipinde veya iç içe düşey dairesel engellerle korunduğu “choke ring” tipinde antenler kullanılır. Jeodezik amaçlar için çok uygun nitelikte olmakla birlikte bu tip antenler boyut, ağırlık ve maliyet açısından yük getirirler (Seeber 1993).

Sonuç olarak her amaca uygun tek bir anten tipi belirlemek olanaklı değildir. Bunun yerine işe uygun anten seçimi yapılmalıdır. Antenlerde L_1 ve L_2 fazlarının merkezleri farklı olup üst üste çakıştırılması çok zordur. Değişik firmalarca veya aynı firmanın ürettiği farklı tipteki antenlerde anten faz merkezleri oldukça farklı yerlerde olabilir. Bununla birlikte bir firmanın aynı tipteki antenlerinde faz merkezlerinin pratik olarak aynı olduğu kabul edilebilir. Bu nedenle ölçme sırasında aynı tip antenlerin kullanılması ve hepsinin aynı yöne (örneğin kuzeye) çevrilmesi, bağıl konulamada anten faz merkezi kayıklıkları nedeniyle oluşacak hatalardan kaçınmanın en pratik yoludur. Farklı tip anten kullanma zorunluluğu varsa anten tipleri aşağıda açıklanan yöntemlerle kalibre edilmelidir. Ancak aynı tip antenlerin kullanılması halinde bile uzun bazların iki ucundaki alıcılarda aynı uydular farklı yükseklik açıları ile görüleceğinden, ağda 0.015 ppm düzeyinde bir ölçek değişimi söz konusudur (Rothacer vd. 1995). Antenlerin faz merkez

kayıklıkları “yansız oda” denen özel laboratuvar koşullarında veya doğrudan ölçü kampanyaları yapılarak toplanan verilerin kalibrasyon amaçlı analizleri ile saptanır.

Yansız oda, tüm yüzeyleri ve içinde bulunan donanımın mikrodalgaları emici maddelerle kaplandığı bir ortamdır. Test edilecek anten bu odada sabit bir sinyal kaynağına göre iki bağımsız eksen etrafında dönüklük ve üç doğrultuda

$$\Delta\Phi(\alpha,0) = 0 \quad (3.8)$$

ötelemelerin çok yüksek doğrulukla ölçülebildiğı hareketli bir platform üzerine konur. Antene -90 ile +90 derece arasında zenit değişimleri ve çeşitli azimut açılarında hareketler verilerek her defasında faz değişimleri kaydedilir. Ölçüler sırasında test edilecek antenin ortalama faz merkezi çevresindeki döndürme hareketlerinin mümkün olan en yüksek hassasiyet ile belirlenmesi için antene (kızacağın) döndürme merkezine göre küçük ötelemeler verilir. Bu ötelemeler -z ile +z arasındaki zenit değerlerine karşılık anten faz merkezi değişiklikleri minimum ve olabildiğince simetrik oluncaya kadar sürdürülür. Başka bir deyişle antenin (kızaktaki) döndürme merkezinin, antenin geometrik referans noktasına (Antenna Reference Point, ARP) göre kayıklıkları belirlenmeye çalışılır. Ancak yalnızca faz değişimlerini ölçmek olanaklı olduğundan sonuçta belirlenemeyen, her yönde sabit büyüklükte, artık bir dışmerkezlik ($\Delta\phi_0$) kalır. $\Delta\phi_0$ büyüklüğü tek anlamlı olarak $z = 0$ (düşey) doğrultuda

koşulunu sağlayacak biçimde belirlenebilir. Daha açık bir deyişle $\Delta\phi_0$ bir GPS oturumunda referans olarak seçilen antenin ortalama faz merkezine ait bir belirsizliği ifade eden bir ek parametre olarak (3.5) eşitliğine eklenir. Sonuç olarak (3.6) eşitliği,

$$\Delta F(\alpha, z) = dF_0 + \delta F_A = e^T p + \delta F(\alpha, z) - \Delta\phi_0 \quad (3.9)$$

haline gelir. GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sırasında $\Delta\phi_0$ bilinmeyi, normal denklemler matrisinin singüler olmasını engellemek üzere konacak zayıf bir zorlama ile kestirilebilir.

Anten faz merkezinin düşey yöndeki hatası fazın genliğinde artma olarak; yatay konumdaki bir hata ise fazın algılama noktasında eğilme olarak ortaya çıkar. Yansız oda uygulamalarında elde edilen veriler, zenit ve azimuta bağlı anten faz merkezinin konumu, genlik, faz değişimleri ve sinyalin algılama noktaları (pattern) olarak sayılabilir. Bu veriler, şerit şeklindeki hareketli bir altlık üzerine sürekli biçimde kaydedilir.

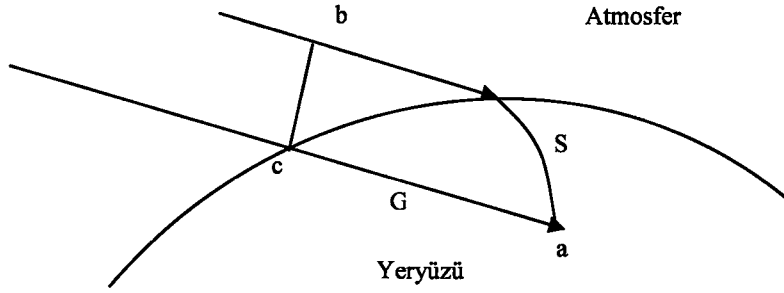
Tüm ölçüler L_1 ve L_2 frekansları için ayrı ayrı yapılır. Yansız oda ölçmeleri ile tek bir antenin ortalama faz merkezinin, zenit ve azimuta bağlı faz merkezi kayıklıklarının mutlak anlamda belirlenmesi avantajı olmakla birlikte GPS ölçmelerine dayalı çalışmalar ile karşılaştırılmayacak kadar yoğun çaba gerektirir.

Bugüne kadar gerçekleştirilen yansız oda analizleri, tüm çabalara karşın bazı sistematik hatalardan arındırılmaması nedeniyle ancak anten tipleri arasındaki farklılıkların belirlenmesinde başarı sağlamış, bunun dışında antenlerin mutlak özelliklerinin belirlenmesinde istenen düzeye ulaşamamıştır.

Anten faz merkezi kayıklıklarının analizi için başka bir yol, incelenecek antenleri kullanarak çok kısa bazlardan oluşan bir ağda uzun sürelerle (çeşitli uydu konumlarında) ölçmeler yapmaktır. Kolayca uygulanabilen ve çok ekonomik olan bu yöntemde antenlerin faz merkezi kayıklıkları yalnızca (seçilen bir referans antene göre) rölatif (bağlı) olarak belirlenebilir (Kınık 1997).

3.5 Atmosferik Hatalar

Bilindiği gibi ışık ya da radyo dalgaları ister VLBI (Very Long Baseline Interferometry–Çok Uzun Bazlı Enterferometri) ve GPS uydularından gelen sinyaller, isterse SLR (Satellite Laser Ranging) lazer ışınları olsun, yeryüzüne atmosferden geçerek ulaşırlar. Atmosferden geçen bu sinyallerin, atmosferin farklı katmanlarındaki kırılma indislerinin farklı olmasından dolayı, hem izlediği yolda hem de hızında değişme olur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Atmosferik kırılma

Normal olarak GPS ölçüleri sonucu elde edilmesi gereken uzunluk atmosfer dışında kalan sinyal yolu ile Şekil 3.8' de görülen G geometrik uzaklığının toplamıdır. Burada,

$$G = \int_a^c dG \quad (3.10)$$

ile verilmektedir (Dodson 1986).

Ancak gerçekte durum böyle değildir. Elektromanyetik dalgalar iki nokta arasındaki en kısa yolu izledikleri için ölçülen uzunluk minimum sinyal yolu (Fermat yasası) olarak bilinen S uzunluğu (optik yol) olup bu da,

$$S = \int_a^b n(s) dS \quad (3.11)$$

ile verilmektedir. Burada,

$n(s)$: Atmosferin (değişken) kırılma indisi (Refractive index)

dir. Sonuç olarak sinyal yolundaki fazlalık (excess path length) ΔL ,

$$\Delta L = S - G = \int_a^b (n(s) - 1) dS + \int_a^b dS - \int_a^c dG \quad (3.12)$$

eşitliği ile verilmektedir (Dodson 1986). Burada;

G : Boşluktaki sinyal yolu (S) arasındaki farkın

S : Gerçekte olan sinyal yolu

anlamındadır.

Kırılma indisi (refractive index) 1'den büyük olduğu için bu da boşluktan atmosfere giren sinyalin yavaşlamasına neden olur. Atmosfere giren sinyal yörünge eğriliğine sahip olduğu (kırıldığı) için düz bir hat izlemez. Dolayısıyla (3.12) eşitliği ile GPS ölçülerindeki hatanın iki bileşenden oluştuğu kabul edilmekte olup bunlar,

Atmosfer nedeniyle sinyal hızının değişmesinden (yavaşlamasından) dolayı sinyal yolundaki fazla uzunluk (Propagation delay),

$$\int_a^b (n(s)-1)ds \quad (3.13)$$

olur. Elektromanyetik dalganın yörünge eğriliğinin değişmesinden (bending) dolayı sinyal yolundaki fazla uzunluk

$$\int_a^b ds - \int_a^c dG \quad (3.14)$$

şeklinde belirtilebilir. Bunlardan ikinci (b) durumundan dolayı oluşan hata düşük yükseklik (veri toplama) açıları dışında göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. (Çizelge 3.3)(Dodson 1986) Dolayısıyla, bu çalışmada yalnızca esas etkiye sahip olan ortamın kırılma etkisinin var olduğu düşünülecektir.

Çizelge 3.3 Uydu yükseklik açısı-sinyal eğilme farkı ilişkisi

Uydu Yükseklik Açısı (°)	Sinyal Eğilme Farkı (m)
2	0.417
5	0.075
10	0.019
20	0.005
45	0.001
90	0.000

Havanın kırılma indisi 1'den çok az farklı bir değere sahip olduğundan uygulamada kırılma daha çok

$$N=10^6 \times (n-1) \quad (3.15)$$

ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikte N, kırıcılık (refractivity) olarak bilinmektedir. Buradan (3.16) ifadesi, (3.13)'de yerine konursa ve ikinci terim yukarıda belirtilen nedenden dolayı gözardı edilirse sinyal yolundaki fazlalık sonuç eşitlik olarak,

$$\Delta L = 10^{-6} \int_a^b N(s) ds \quad (3.16)$$

şeklinde yazılabilir.

Uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgaların (ya da ışık dalgaları) atmosferden geçerek alıcıya ulaştığı düşünülürse, söz konusu dalgaların yayılmasında iki temel atmosfer katmanının bozucu etkisi mevcut olup bunlar iyonosfer ve troposferdir.

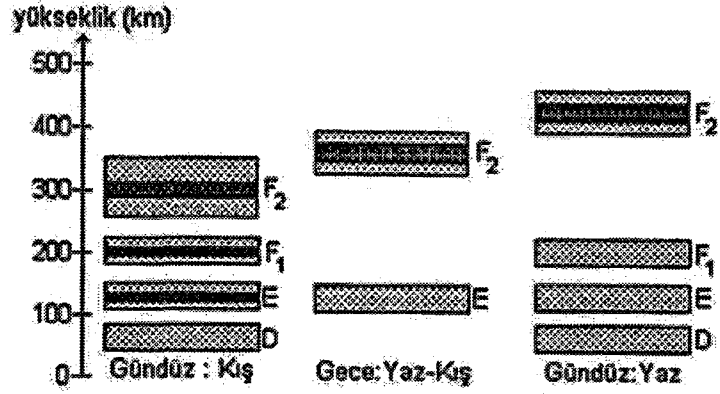
Bu her iki katmanın uydu sinyalleri üzerindeki etkisi farklıdır ve (3.16) ifadesinin çözümü iyonosferik ve troposferik etkilerin belirlenmesinde temel düşünceyi oluşturmaktadır. Söz konusu katmanların elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkileri farklı olduğundan GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde bunların dikkate

alınmasında farklı modellendirmeler ve yöntemler kullanılmaktadır (Kahveci 1997).

3.5.1 İyonosferik gecikme

İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede iyonlaşmış halde bulunduğu ve dolayısıyla elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür (Şekil 3.6). 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 bir kaç milyon serbest elektron arasında değişir. Dolayısıyla iyonosfer genel olarak, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakası (~70-3000 km.) olarak tanımlanabilir. İyonlaşma ve serbest elektron sayısı genellikle doğrudan doğruya güneş ışınmasına (radyasyon yoğunluğuna) bağlıdır. Buradan, iyonosferin elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkisinin geceye göre gündüz daha fazla olacağı sonucuna varılabilir (Kahveci 1997).

İyonosferin elektromanyetik dalgaların yayılmasındaki etkisi Toplam Elektron Yoğunluğu (TEC) ile ifade edilmektedir. İyonosferik değişimi ifade eden TEC zamana ve konuma bağlı olarak değişim göstermektedir. TEC, uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca m^2 'deki toplam elektron sayısı (elektron/ m^2) olarak da ifade edilebilir. TEC genel eğilimini belirlemek için birçok araştırma yapılmış olup günümüzde bu parametrelerin davranışı özellikle Türkiye'nin de içinde bulunduğu orta enlem bölgelerinde oldukça iyi bir şekilde bilinmektedir. Bununla birlikte gerek Ekvator'da ve gerekse yüksek enlem bölgelerinde bu bilgiler henüz, tam değildir.



Şekil 3.6 İyonosfer tabakaları

Genel olarak dünyanın büyük bölümünde TEC değeri yerel zamanla yaklaşık olarak saat 14:00 civarında maksimum günlük değere ulaşmaktadır. Diğer taraftan TEC ile doğru orantılı olan iyonosferik etki yerel zamana göre gece yarısı ile sabah 05:00 saatleri arasında minimum değere ulaşmaktadır. Bu ise gündüz oluşan etkinin yaklaşık %10-20'si kadardır. Gece süresince olan ortalama iyonosferik etki 10 nano saniye (~3 m), gündüz ise 50 nano saniye (~15 m) kadardır. Uydu alıcı arasındaki uzaklığa iyonosfer nedeniyle getirilecek olan düzeltme kışın ve ekinoks aylarında (Mart, Nisan, Eylül, Ekim) maksimum olup yaz aylarında ise minimum değere ulaşmaktadır. Ayrıca, jeomanyetik konuma bağlı olarak ekvatorun ± 15 derece enlemlerinde TEC değeri maksimum değere ulaşmakta olup ekvatordaki iyonosferik etkiler orta enlem bölgelerine göre iki kat daha fazladır. Bunların dışında gözlenen uydunun yüksekliğinin de 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 nano saniye, gece ise 150 nano saniyeye kadar çıkmaktadır. İyonosferin GPS ölçülerinde neden olduğu sorunlar özellikle uydudan yayınlanan sinyallerin alıcı (receiver) tarafından alınması sırasındaki sinyal kesiklikleridir. Bu ise ölçülen taşıyıcı dalga fazının sürekliliğini engellediğinden faz kesikliklerine (Cycle Slips) neden olmaktadır. Bu da GPS ölçülerinin değerlendirilmesi (postprocessing) aşamasında oldukça yorucu ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Eğer ölçüler tek-frekanslı (single-frequency) alıcılar kullanılarak yapılmışsa sorun daha da karmaşık hale gelmektedir. Dolayısıyla, yüksek

doğruluk isteyen jeodezik ve jeodinamik amaçlı GPS ölçülerinde iyonosferik etkinin dikkate alınması daha büyük bir önem kazanmaktadır (Kahveci 1997).

İyonosferin GPS ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklıdır. Diğer bir ifadeyle kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay) söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) söz konusudur. İyonosfer, radyo dalgalarını dağıtıcı (dispersive) bir özelliğe sahip olup bu bozucu etki radyo dalgalarının frekansına bağlı olarak değişim gösterir. Dolayısıyla bu etkiler modellendirilirken öncelikle iyonosferin kırılma indisinin belirlenmesi ve daha sonra da uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca integral alınarak ölçülere getirilecek olan düzeltmenin bulunması gerekmektedir.

Frekans ile iyonosferik kırılma indisi arasındaki ilişki,

$$n=1\pm\frac{A_1\cdot N_e}{f^2}+(\text{yüksek dereceden terimler}) \quad (3.17)$$

olarak verilmektedir. Burada

- A_1 : Birkaç fiziksel sabitenin basit bir kombinasyonu olup $A_1=40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$
 N_e : İyonosfer bölgesindeki serbest elektron yoğunluğunu (10^{16} elektron/ m^3)
 f : Uydu sinyalinin frekansı (GHz)

ifade etmektedir. (3.18) eşitliğinin sağındaki ikinci terim kod ölçüleri için (+), faz ölçüleri için ise (-) işaretini almaktadır. (-) işareti faz ölçüleri için kırılma indisinin gerçekte 1'den küçük olduğunu ve iyonosferden geçerken sinyal fazının hızının arttığını ifade etmektedir.

Birbirine yakın uzaklıkta ölçü yapan iki alıcı için iyonosferik etki aynı kabul edilebilir. Çünkü, elektromanyetik dalgalar aynı iyonosferik bölgeden geçtiğinden aynı büyüklükteki etkiye maruzdurlar. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak söz konusu iyonosferik etki hem tek hem de çift frekanslı ölçüler için büyük ölçüde giderilebilmektedir.

Ancak, uzun bazlarda (>100 km) mutlaka çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır. Ayrıca, kısa bazların değerlendirilmesinde yalnızca L₁ frekansının bir iyonosfer model ile birlikte kullanılması L₃ kombinasyonuna göre çoğu zaman daha iyi sonuç vermektedir.

Bu etki faz gözlemleri için birinci dereceden bir eşitlikle,

$$\vartheta = -\frac{41}{f_i^2} \cdot \frac{E}{\cos Z_{(ion)}} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikte,

E : Uydu ve alıcı arasındaki toplam elektron miktarı

f_i : Frekans (i=1,2)

Z_{ion} : Gözlenen uydunun zenit uzaklığı

olarak verilmiştir.

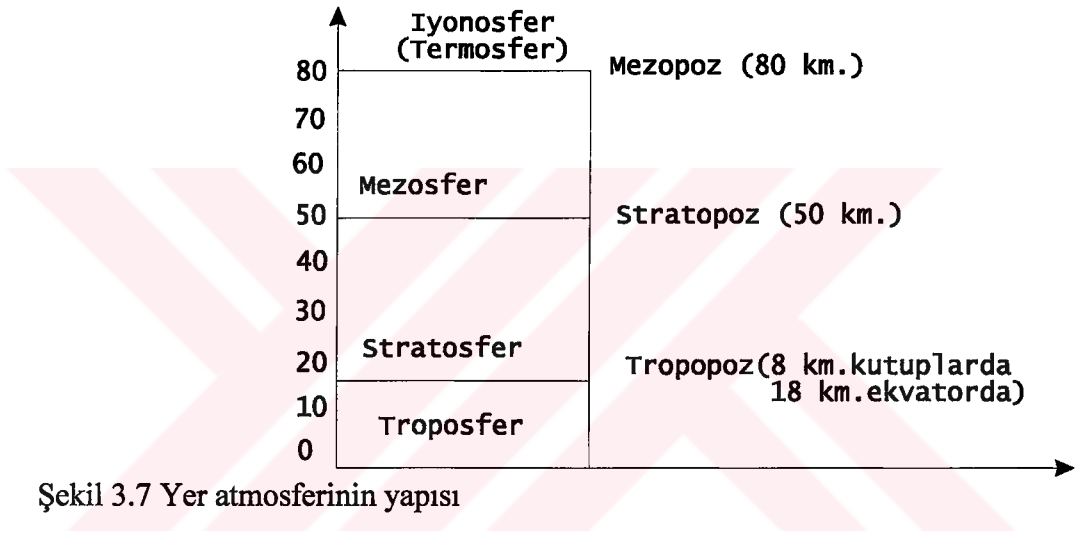
Eşitlikten anlaşılacağı gibi iyonosfer etkisi frekans bağımlısı olduğundan L₁ ve L₂ frekanslarından yararlı iyonosferden bağımsız L₃ lineer kombinasyonu;

$$L_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} L_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} L_2 \quad (3.19)$$

eşitliği ile elde edilir. L₃ kombinasyonu ile iyonosferik gecikme etkisi elemine edilmektedir. GPS ağında baz uzunlukları 100 km ve daha büyük olduğunda en etkili yöntem olarak karşımıza çıkmakla birlikte, küçük ölçekli ağlarda iyi sonuçlar verememektedir. Zira L₃ frekansının gürültüsü (noise) L₁ ve L₂ nin her birinden fazladır. Bu nedenle küçük ölçekli ağlarda L₃ kombinasyonu yerine L₁ ve L₂ gözlemlerinin kullanılması daha duyarlı sonuçlar verecektir (Kahveci 1997).

3.5.2 Troposferik Geçikme

GPS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller atmosfere girdiğinde içinden geçtikleri ilk tabaka iyonosferdir. GPS sinyallerinin iyonosferdeki ilerleme hızı sinyal frekansına bağlıdır. Dolayısıyla, iyonosfer tabakasının GPS sinyallerine olan etkileri çift frekanslı alıcılar kullanılarak büyük ölçüde giderilebilmektedir. İyonosfer tabakasından geçen sinyaller sırasıyla mezozfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından ilerlerler (Şekil 3.10).



Şekil 3.7 Yer atmosferinin yapısı

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı, yeryüzünden itibaren 6-18 km kadardır. Bu kalınlık kutuplarda daha az, ekvatorlarda ise daha fazladır. Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km'lik alt kısımlarında görülmektedir. Bunun daha üstündeki kısımda havada nem oranı çok az olduğundan atmosfer olayları pek görülmez.

İyonosfer atmosferin elektrik yüklü (iyonize olmuş) kısmını oluşturduğundan bu tabaka radyo frekanslarında dağıtıcı (dispersive) bir özelliğe sahiptir. Oysa (Şekil 3.7)'de belirtilen stratosfer ve troposfer tabakaları elektrik yüklü olmadığından (iyonize olmamış; nötr) yaklaşık 30 GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir. (Özaydın vd. 1993) Dolayısıyla, söz konusu tabakalarda, radyo dalgalarının yayılması frekans bağımlı değildir. Bu nedenle,

troposferin faz ve kod ölçülerine olan etkileri aynı büyüklüktedir ve GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak gidermek olanaklı değildir. İyonosferik etki GPS gözlemlerinden yararlanarak doğrudan hesaplanabilmektedir. Troposferik etkiyi ise bu şekilde elde etmek olanaklı olmadığından mevcut modellerden biri kullanılarak bu etki hesaplanmalı ya da doğrudan ölçülmelidir. Kullanılan mevcut modeller Hopfield (1971), Yionolis (1970), Goad and Goodman (1974), Black (1978), Black and Eiser (1984), Saastamoinen Modeli (1973), Marini and Murray (1972), Chao (1986), Davis (1986), Niell (1995), Herring (1992) dir (Özlüdemir. 2002).

GPS ölçmelerinde, sistemin kuruluşundan bu yana yaygın olarak kullanılan troposferik modeller Hopfield (1969) ve Saastamoinen (1973) modelleridir. Ayrıca, bir çoğu VLBI (Very Long Baseline Interferometry–Çok Uzun Bazlı Enterferometri) verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen çok sayıda modelin önemli bir bölümü Marini (1972) tarafından önerilen modele dayalıdır ve GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde de başarıyla uygulanmışlardır. Atmosferin yapısını daha iyi ifade edebilen bu modellerin bir diğer özelliği ve üretiliş amaçları da, düşük eğim açılı ölçülerin değerlendirmeye katılabilmelerine olanak sağlanmasıdır. Çünkü, geleneksel olarak kullanılan hemen hemen bütün modeller 10° - 15° ve üzerindeki eğim açılı ölçüler için atmosferik gecikmeyi yeterli doğrulukta üretebilmekte, ancak düşük eğim açılı ölçüler söz konusu olduğunda yeterli doğruluğu sağlayamamaktadır. Bu modellerle troposferik gecikme etkisine daha fazla maruz kalan ve bu nedenle değerlendirme dışında tutulan düşük eğim açılı ölçüler de değerlendirmeye dahil edilir (McCharty 2000).

3.6 Alıcı Gürültü (Noise) Hatası

Radyo bazlı iletişim ve navigasyon sistemlerinde noise etkisi çeşitli kaynakların etkisiyle ortaya çıkar. Noise donanımın kendisinden ve yeryüzü yada uzaydaki doğal faktörlerden kaynaklanacağı gibi radyo vericileri ve diğer elektrikli aletlerden de kaynaklanabilir. Genel olarak sistem dışındaki faktörlere bağlı olarak ortaya çıkan noise etkisi frekansla ters dalga boyu ile doğru orantılıdır. Örneğin 300 kHz gibi düşük frekanslı bir frekansta atmosferik yada elektrik noise

miktarı 300 MHz gibi yüksek bir frekans dakinden çok daha fazla olacaktır. Kablosuz alıcıların içinde ortaya çıkan ve dahili noise olarak bilinen noise ise frekansa daha az bağımlıdır (Özlüdemir 2002).

GPS alıcıları statik ve kinematik uygulamalarda konum hesabı için kullanılan alıcı izleme lupları kod ve taşıyıcı faz ölçüsü üretirler. Anten önyükselteç (preamplifier) referans osilatörü, frekans birleştiricisi (synthesiser), çevirgeç (downconveretr), ara frekans kesiti, sinyal değerlendirme ve uygulama bölümlerinden oluşan bir GPS alıcısı da aynı şekilde noise etkisine maruz kalır (Van Dierendock1996). Gerçekte GPS alıcıları GPS ölçmelerini mutlak prezisyonla gerçekleştiremezler. Daima ölçüleri bozan gerçek belli düzeyde noise söz konusudur (Langley 1997).

Alıcı noise miktarı, bir GPS alıcısının kod uzunluğu ve taşıyıcı faz ölçülerini ne kadar iyi gerçekleştirdiğinin bir göstergesidir. Alıcı noise miktarının büyüklüğü kod ve taşıyıcı faz ölçmeleri için çip uzunluğu ve dalga boyu ile orantılıdır. GPS antenlerinin radyasyon formunda belli bir miktar noise oluşmasına neden olur (Langley 1997).

Kod uzunluğu ölçümlerindeki alıcı ve noise oluşumu, alıcının herhangi bir iletkenindeki elektronların rastlantısal hareketleri ile üretilen yüksek frekanslı noise ve kod izleme lupundaki dinamik gerilim etkisi sonucu gerçekleşir. (Leva vd. 1996) Alıcı noise oluşumuna yol açan diğer kaynaklar ise donanım ve yazılım çözünürlüğü ile osilatörün stabilisidir. Faz ölçülerindeki alıcı noise oluşumu ise yine termal noise, dinamik gerilim ve osilatör faz noise miktarına bağlı olarak gerçekleşir. (Ray 2000) GPS ölçülerine etki eden noise, doğrudan alıcının ölçülen sinyal oranı (signal to noise ratio SNR) ile ilişkilidir. Sinyal noise oranı bir noktada arzu edilen sinyal genliğinin noise sinyal genliğine oranıdır. Ölçmelere etki eden noise miktarı arttıkça, SNR değeri azalır. SNR eğim açısıyla doğru orantılı olarak azaldığı için, ölçmelerdeki noise miktarının azalan eğim açısıyla arttığı söylenebilir. Sonuç olarak taşıyıcının SNR değerinin faz ölçme doğruluğunu etkilediğini söyleyebiliriz (Tiberius vd. 1999).

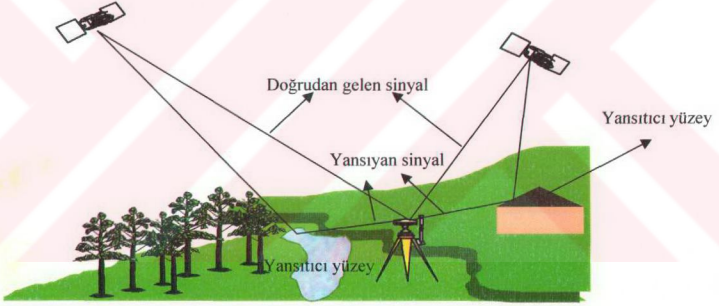
3.7 Sinyal Yansıma Hatası (Multipath)

GPS sinyallerinin alıcıya iki ya da daha fazla yol izleyerek ulaşmasıyla sonuçlanan bir yayılma fenomeni olan multipath etkisi, GPS ile konum belirlemede en önemli hata kaynaklarından biridir. Multipath sinyal modülasyonu ile taşıyıcı fazı bozar ve böylece ulaşılan doğruluğu azaltır. Multipath hataları, doğrudan alıcıya ulaşan sinyallerle su yüzeyi, metalik yüzeyler, binalar vb. objelerden yansıyan sinyallerin birlikte alıcıya ulaşması sonucu ortaya çıkar ve elde edilen sinyalin, yansiyarak alıcıya ulaşan sinyaller nedeniyle bozulmasına yol açar. Multipath etkisi, özellikle de büyük yansıtıcı yüzeylerin yakınındaki istasyonlarda yapılan ölçmelerde etkisini hissettirir. Multipath etkisini azaltmak için uygulanan yöntemler arasında özel olarak multipath etkisini azaltacak şekilde tasarlanmış antenlerin ve alıcıların kullanımı, verilerin analizi ve dikkatli yer seçimi (örneğin, bir çok ölçme çalışması sırasında çok güç olsa da, yansıtıcı yüzeylerden uzak durmak) gibi yaklaşımlar vardır. Multipath etkisini etkili olarak azaltmak amacıyla yeni anten türleri ve yeni alıcı teknolojisi geliştirme konulu çalışmalar yapılmaktadır. Genel anlamda 4. bölümde sinyal yansıma hatası (multipath) üzerinde daha kapsamlı olarak durulmuştur.

4. SİNYAL YANSIMA (MULTIPATH) HATASI

4.1 Genel

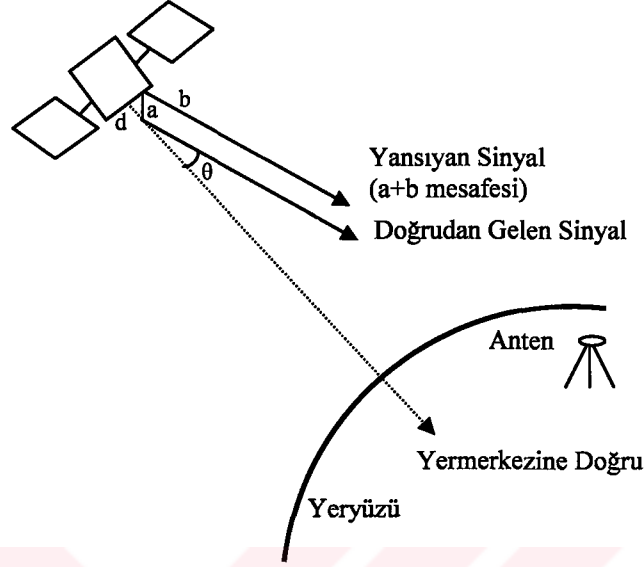
GPS alıcıları ile birlikte kullanılan antenlerin hemen tamamı tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eşzamanlı alabilme (omnidirectional) özelliğine sahiptir. Antenin kurulduğu arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına (cutoff angle; elevation angle) bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerinde arzu edilmeyen sinyal yansımalarının da karışması söz konusudur. Kelime anlamı birden fazla yol olan Multipath, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya birden fazla yol izleyerek ulaşmasına denmektedir. Daha kapsamlı olarak belirtecek olursa uydulardan yayımlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansımaya (multipath) etkisi denir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Sinyal yansımaları (Multipath)

Sinyal yansımaları uydu ve antenin her ikisi için de söz konusudur. Başka bir deyişle sinyal yansımalarını, uyduların neden olduğu yansımalar (satellite multipath) ve alıcı antenin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayırmak mümkündür (Şekil 4.2). Bunlardan uyduların neden olduğu etkiler, özellikle yerel ağlardaki orta uzunluklu bazlarda (~100-200 km) bazın her iki ucundaki anten için de aynı büyüklüğe sahip olacağından görel konumlama yöntemi kullanıldığında büyük ölçüde elimine

olacaktır. (Young vd.1989) Dolayısıyla, burada anten sinyal yansımaları üzerinde durulacaktır.



Şekil 4.2 Uyduda sinyal yansımaları hatası (Satellite Multipath)

Anten çevresinin neden olduğu yansımaların olası kaynakları ise yapılar, araçlar, su yüzeyleri (deniz, göl) ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Bu sinyal yansımaları faz ve/veya kod (pseudo-range) gözlemlerini, geçiş anındaki uydu-alıcı geometrisine bağlı olarak sistematik, zamana bağlı sinüzoidal sinyaller şeklinde bozarlar. Sinyal yansımalarının büyüklüğü dalga boyu ile orantılı olup bu etkinin neden olduğu hata P-kod (Precise/Protected-Code) için taşıyıcı dalga fazına göre yaklaşık yüz kat daha fazladır (Kahveci 1997).

4.2 Multipath Ortamı

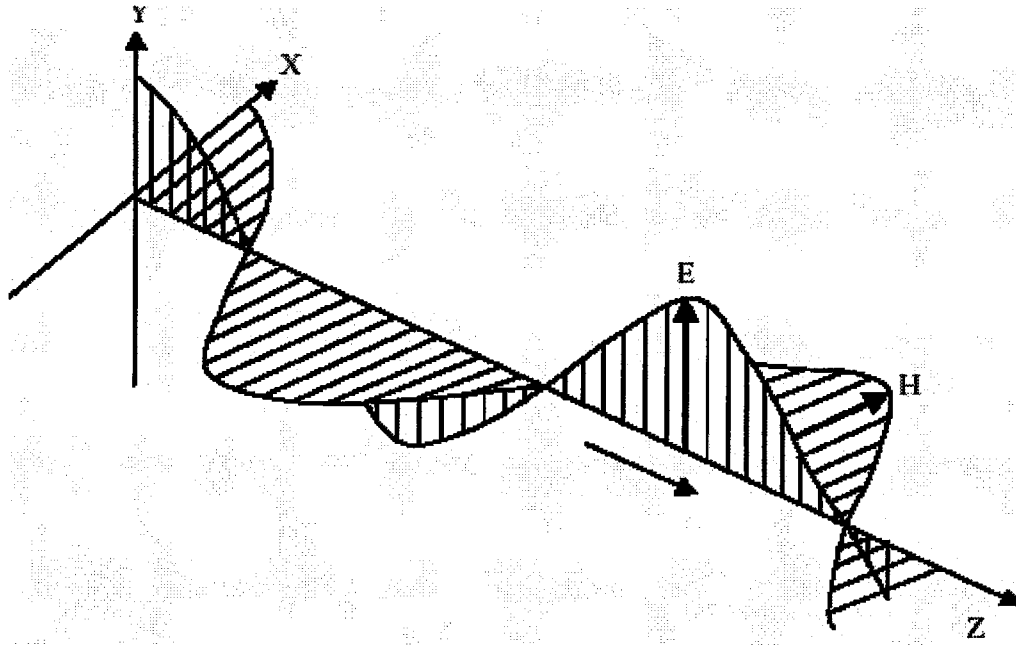
GPS multipath yayılımını daha iyi anlayabilmek ve simülasyon çalışmaları için daha doğru bir GPS yayılım modeli geliştirip uygulayabilmek için; GPS L₁ frekansında radyo frekansı yayılımının çevresel faktörlerin temel etmenleri, yansımaya, difraksiyon ve pürüzlü yüzeylerin GPS sinyaline etkileri detaylıca gözden geçirilmelidir (Hannah 2001).

4.3 Yansıma Teorisi

Bölgesel arazinin doğası radyo frekans ortamının düzenini belirler. Bu multipath ortamını anlayabilmek için, sadece GPS alıcısının çevresindeki arazi unsurları ile olan fiziksel ilişkisini (geometrik) değil aynı zamanda arazinin yansıtma karakteristiklerini de (elektromanyetik özellikler) göz önüne almak önemlidir. Multipath terimi yansıyan/seken sinyaller yüzünden farklı yayılım yollarını anlatır. Multipath sinyaller ek bir mesafeyi kat ettikleri için doğrudan gelen sinyallere “Line-Of-Sight” (LOS) göre daha geç ulaşırlar. Bu göreceli (rölatif) zaman gecikmesi, multipath karakteristiğinin anlaşılması için tanımlanan parametrelerden bir tanesidir (Van Nee 1992). Rölatif zaman gecikmesine ek olarak multipath, LOS sinyallerine göre faz genliği ve faz değişim oranları ile de tanımlanır. Rölatif faz, yansıyan (seken) ortamın elektriksel özellikleri ve ek kat edilen yol uzunluğunun bir fonksiyonudur. Faz değişim oranı ise rölatif uydu-kullanıcı dinamikleri nedeniyle multipath yayılım ortamındaki değişimi hesaplar. Son olarak, multipath sinyallerinin rölatif genişliği yansıtıcı yüzeyli yapının doğası ile ortaya çıkartılır. Multipath etkisinin davranışlarının anlaşılması için GPS sinyalinin, kırılma ve yansıma esnasında meydana gelen değişiklikleri, elektromanyetik özelliklerin anlaşılmasında önemlidir (Ray 2000).

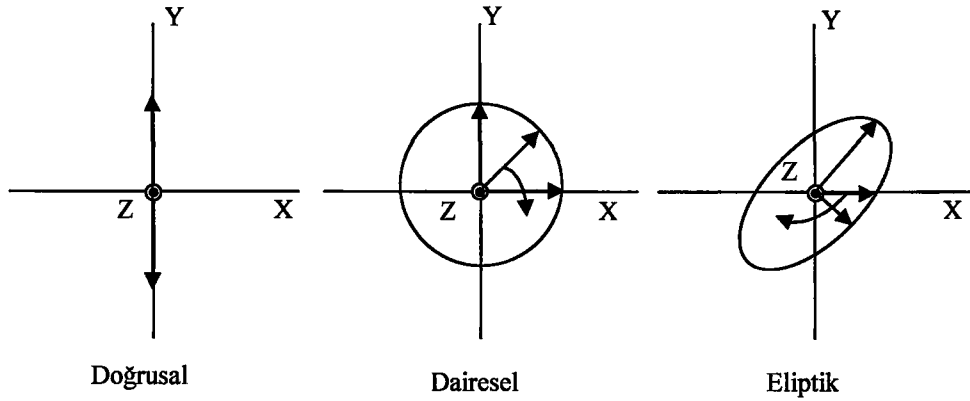
4.3.1 GPS sinyalinin elektromanyetik özellikleri

Bir elektromanyetik dalganın elektrik ve magnetik alanının uzay da yayılışı birbirine bağlıdır. Elektromanyetik dalga yayılma esnasında magnetik ve elektrik alandaki değişimiyle bir alan diğer alanı üretir ve ışık hızıyla boş uzayda yayılır. (Şekil 4.3)' de görüldüğü gibi dalganın düzlem yolculuğunda elektrik alan (E) ve magnetik alan (H) birbiri her yerde diktir. Onlar birlikte elektrik ve magnetik alan vektörleri dik doğrultuda yayılırlar (Şekil 4.3). Böyle bir dalga enine doğrultuda ve düzlem üzerinde E ve H birbirine dikse buna enine elektromanyetik dalga “Transverse Electromagnetik Wave” (TEM) denir.



Şekil 4.3 Elektrik alan ve magnetik alan vektörleri

Elektromanyetik dalga doğrusal dairesel ve eliptik şekilde kutuplaşırlar (Şekil 4.4). GPS için üretilen dalgalar sağ el kuralına göre dairesel kutuplanmış enine elektromanyetik “Right Hand Circularly Polarized” (RHCP) dalgadır. Uydu sinyalleri dairesel kutuplanmış olarak üretilir. Çünkü doğrusal kutuplanmış sinyalin kutuplaşması iyonosferden geçerken değişikliklere maruz kalır. Bu olay faraday dönüklüğü olarak bilinir. Değişim miktarı düzensiz olduğu gibi anten tarafından zor alınır. GPS bu problemden gönderilen sinyalin dairesel polarize olmasıyla sakınır (Ray 2000).



Şekil 4.4 Elektromanyetik dalga kutuplaşmaları

4.3.2 Elektromanyetik dalganın yansımaları

Elektromanyetik sinyalin bir yüzeyden yansımaları ve saçılması iki bileşenden oluşur. Bunlar düzgün yansımaları ve dağınık yansımaları bileşenleridir. Düzgün yansımaları pürüzsüz yüzeyden yansımaları olduğu zaman meydana gelir. Yansıyan dalga fresnel elipsi (daha sonra açıklanacak) üzerindeki noktanın ışınımı sonucudur. Meydana gelen dalganın faz ve genlik değişimi çok küçüktür. Bu yüzden yansımalarının tipi diğerlerinden daha belirleyicidir. Diğer taraftan yüzey pürüzlü ise o zaman yansıyan sinyaller dağınık (Beckman ve Spizzichino 1963).

4.3.2.1 Düzgün (Specular) yüzeyde yansımaları

Daha önceden de belirtildiği gibi, multipath' in davranışı yayılım çevresinin (ortamının) geometrisi ve elektriksel özellikleri ile ilgilidir. Düz bir dünya yüzeyi için Fresnel eşitliklerinden elde edilmiş yansımaları katsayıları yansıyan sinyallerin doğası ile ilgili bilgi vermektedir. GPS sinyalleri RHCP (Right Hand Circularly Polarized) dir. (Çizelge 4.1)' de 1 Ghz' lik bir sinyalin doğal ve insan yapısı değerler zeminlerdeki elektriksel özellikler verilmiştir (Hannah 2001).

Çizelge 4.1 Doğal ve insan yapısı zeminlerin elektriksel özellikleri

MATERYAL	İLETKENLİK	RÖLATİF GEÇİRGENLİK
Beton	2×10^{-5}	3
Kuru Zemin	1×10^{-5}	4
Orta-Kuru Zemin	4×10^{-2}	7
Nemli Zemin	2×10^{-1}	30
İçme Suyu	2×10^{-1}	80
Deniz Suyu	4	20

4.3.2.2 Fresnel elipsi ve bölgeleri

Yayılmalarının geometrik gösterimlerinde, spekül yansımalarının bazı tek geometrik noktadan oluştuğu düşünülmektedir. Ancak, ışık kaynağı (güneş) yeryüzünün büyük bir kısmını aydınlatır ve yüzeyin bir alanından toplam yansımış sinyale doğru katkı sağlamaktadır. GPS L_1 yayılımının doğasını anlamaya çalışırken şu

soruyu sormak önemlidir; “yansımaya yol açan yüzeyin hangi bölgeleri GPS alıcı antenindeki toplam alana daha fazla katkı sağlar?”. Şekil 4.5 de, GPS kaynağı tarafından *A* noktasından ışınımı yapıp *B* noktasındaki GPS anteninde toplanan bir düz yüzey dikkate alınmaktadır. Burada alanlar bir Fresnel elipsoidi grubu ile alt bölümlere ayrılabilir. Bu elipsoidlerin *A* ve *B* noktalarına yerleştirilmiş odaksal noktaları varken her hangi bir elipsoidin her hangi bir noktasında bulunan bir *M* noktası için aşağıdaki ilişki geçerlidir (Weeber vd. 1996) .

$$AM + MB = AB + n \frac{\lambda}{2} \quad (4.1)$$

Bu formülde ;

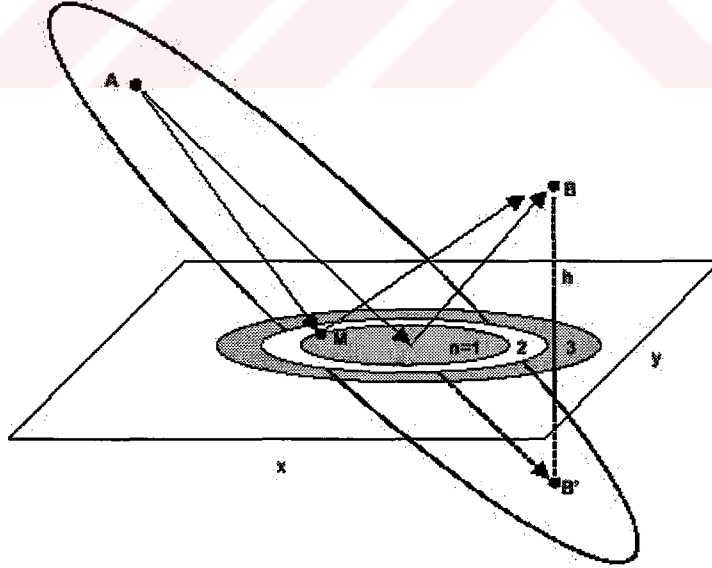
A : GPS uydusu

B : GPS anteni

M : Gelen GPS sinyalinin zeminden yansıma yaptığı nokta

n : Frensel bölgesi

olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Fresnel bölgelerinden yansıma

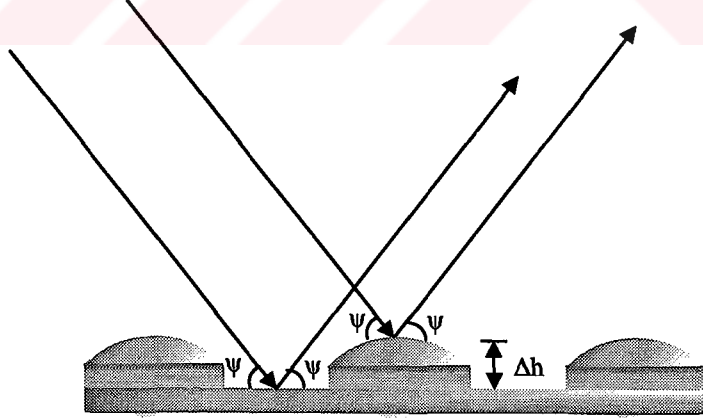
n, *n*=1 ile ilk Fresnel elipsoidini tanımlayıp sırayla devam eden bir doğal sayıdır. Yansıma konusundaki Fresnel bölgesi kavramı *A* noktasında konuşlanmış kaynak

ile B noktasındaki bir anten görüntüsü arasındaki yansıma yoludur. Bu durum (Şekil 4.5)' de gösterilmiştir

XY düzleminde oluşturulan elipslerin Fresnel elipsoitleri ile kesişimleri Fresnel bölgelerini belirler. n. bölge sırasıyla n ve n-1.elipsoitlerin arasında kalan alan olarak tanımlanır. Genellikle, yansıma yüzeyi ilk Fresnel alanından daha büyük olduğunda ilk Fresnel bölgesinin de yansıma enerjisine katkısı en büyük olarak kabul edilmiştir (Hannah 2001).

4.3.2.3 Engebeli yüzeyde yansıması

Pratikte GPS L_1 yayılımı ile ilgili pek çok durumda yüzeyin düz olduğu düşünülemez. Böyle durumlarda sinyal belirli bir yönde ve eş evreli olarak yayılmaz (yayılım non-coherent ve non-directional'dır). Eğer yüzey dalganın yayılımını dağıtacak özelliklere sahipse, sağ yönde dairesel polarize olan GPS L_1 sinyalinin yansıma katsayı çiftinin modifiye edilmesi gerekir. Engebeli yüzeylerdeki yayılımı açıklamak için ışınların düzensiz yüzeylerden nasıl yansıdığına ilişkin Şekil 4.6 örnek alınmıştır (Ray 2000).



Şekil 4.6 Engebeli yüzeyde yansıma

Farklı seviyelerden yansıyan iki ışın arasındaki faz farkını belirlemek için Rothacer ve arkadaşlarının 1996 yılında yaptığı çalışmaların sonucu bağıntı (4.2)'de belirtilmiştir.

$$\Delta\phi_H = \frac{4\pi\Delta h}{\lambda} \sin \psi \quad (4.2)$$

Faz farkı π olarak alındığında, ileri yöndeki tüm yansıtılmış bileşenlerin tamamen iptali söz konusu olur. Eğer ileri yönde hiç enerji aktarımı oluşmazsa sinyalin aksi istikamette dağılması durumu oluşmalıdır. Rayleigh basit bir anlatımla yüzeyin pürüzlülük miktarını ölçmüş ve buna Rayleigh kriteri olarak isimlendirmiştir. Bu kriter uygun olarak pürüzsüz yüzey

$$\Delta h < \frac{1}{8} \frac{\lambda}{\sin \psi} \quad (4.3)$$

burada

Δh : Birinci frensel elipsi içindeki düzensizliğin yüksekliği (m)

λ : Sinyalin dalga boyu (m)

ψ : Sinyalin yükseklik açısı veya sıyırma açısı

dir.

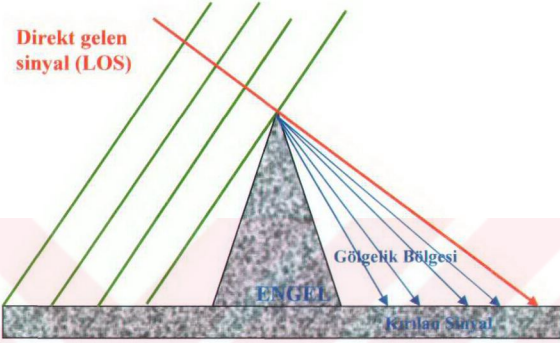
Bağıntı (4.1) sadece pürüzsüzlüğün bir göstergesidir ve baş taraftaki 1/8 katsayısı 1/16, 1/32 olarak değiştirilebilir. (Şekil 4.6) pürüzlü bir yüzeyden yansımayı gösterir. (Şekil 4.6)'da kolayca görülüyor ki geciken türevsel yol $2\Delta h \sin \theta$ 'ya eşittir. Pürüzsüz yüzey için geciken türevsel yol dalga boyunun bir parçasında daha küçük olması gerekir. Örneğin şayet türevsel geciken yol dalga boyunun 1/4'den küçükse o zaman bağıntı (4.2)'den Rayleigh kriteri kolaylıkla çıkartılabilir (Ray 2000). Bu durumda

$$2\Delta h \sin \psi < \frac{\lambda}{4} \quad (4.4)$$

dir. Δh 'nin bu kriterin altında kaldığı durumlarda yüzeyin engebe etkisi göz ardı edilebilir olarak kabul edilir (speküler yansıma oluşur) ve yansıma katsayısı çifti modifiye edilmez (Hannah 2001).

4.3.2.4 Elektromanyetik dalganın kırınımı (Difraksiyon)

Sinyal yansımalarına yol açan ana unsur speküler yansımadır. Bununla birlikte ikinci dereceden de olsa sinyal yansımalarına yol açan bir diğer yayılma karakteristiği daha vardır ki buna sinyal difraksiyonu denir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Elektromanyetik dalganın kırınımı (Difraksiyon)

Bir sinyal engelleyici bir obje ile karşılaştığında enerjinin bir bölümü objenin kenarında kırılır. Bunun sonucunda da engelleyici objenin arkasındaki bölgeye sinyalin direk geçişi tamamlanamaz. Sinyal gücünün düşeceği ve takip edilen uydunun sinyal gücünün azalmasından dolayı kullanılamaz hale geleceği beklenir. Multipath açısından bakıldığında difraksiyonun GPS L₁ sinyaline olan en önemli etkisi gölgelik bölgedeki sinyalin çokluğudur. Sinyalin doğası GPS antenine doğrudan giden yol bir engel tarafından bloke olduğu için bozulur ve normal gitmesi gereken yolda hareket edemez. Bu yüzden sinyal engelin çevresinden geçmek için ek bir mesafe kat etmek zorunda kalır (Hannah 2001).

4.4 Sinyal Yansıma İfadesi

Sinyal yansıma ifadesi alıcıya gelen multipath sinyalinin izlediği yolu ifade etmektedir. Bu sinyal yansıyan sinyal ve direkt gelen sinyallerin birleşmesidir. (Braasch 1996) Buradan hareketle GPS sinyali ;

$$S(t) = D(t)C(t)\Lambda \sum_{i=0}^n \alpha_i \cos\left(2\pi f_L t + \theta_0 + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right) \quad (4.5)$$

olur. Burada

$S(t)$: Birleşen sinyal (direkt + yansıyan sinyal)

$D(t)$: Sinyal üzerine yazılmış konum bilgisinin bölümleri

$C(t)$: C/A kod

Λ : Taşıyıcı sinyalin genliği

α_i : Direkt ve yansıyan sinyalin katsayıları (pratikte direkt sinyal ile bir yada birkaç yansıyan sinyaller ile uyumaktadır $0 < \alpha < 1$)

f_L : Taşıyıcı frekans (m)

d_i : Direkt sinyale göre sinyalin geciktigi yol

λ : Dalga boyu (m)

θ_0 : Başlangıç fazı

dır.

Direkt sinyalin indisi sıfıra eşittir ($i=0$). Direkt sinyalde gecikme yoksa ($d=0$) ve yansınma katsayısı maksimum değerine ulaşır ($\alpha_0 = 1$). Bu sinyalin üretilmesi genellikle alıcı içinde ve sayısal olarak üretildiğini ayrıca bir osilatör ile izlenip, uydudan gelen sinyalle karşılaştırılır (Moelker, 1997, Reichert vd.1999).

Bu ifadede navigasyon bilgisi ihmal edilirse ölçülen GPS sinyali

$$\Psi = \arctan \left[\frac{\sum_{i=0}^{\pi} R(\tau - \delta_i) \alpha_i \sin\left(\psi + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right)}{\sum_{i=0}^{\pi} R(\tau - \delta_i) \alpha_i \cos\left(\psi + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right)} \right] \quad (4.6)$$

olur. Burada

Ψ : Ölçülen sinyal

ψ : Yansıyan sinyal

R : Oto korelasyon fonksiyonu

τ : Alıcı içinde üretilen kodla ilgili olarak direkt sinyalin geçikmesi

δ : Direkt sinyalle ilgili geciken multipath sinyali dir.

Şayet yansıma yoksa sinyal $\alpha_0 = 1$ $\alpha_{1...n} = 0$ ve $\delta_0 = 0$ dir. Bundan dolayı $\Psi = \psi$ ölçülen faz doğru fazdır. Şayet yansıyan sinyal $\Psi = \psi$ ise iki terim arasındaki farkı bir ifade ile temsil etmeye ihtiyaç duyulmuştur. Bu fark multipath yüzünden taşıyıcı faz ölçüsü içindeki hata $\Delta\Psi$ ile gösterilir. Bu hata çevrenin toplam yansımaya etkisi gerçekte tek bir yansıtıcının konumu ve şiddeti, direkt sinyalin zaman bağlı fonksiyonu ile bağlantılı sunulmuştur (Van Nee 1995, Brasch 1996).

$$\Delta\Psi = \arctan\left[\frac{R(\tau - \delta)\alpha \sin \gamma}{R(\tau) + R(\tau - \delta)\alpha \cos \gamma}\right] \quad (4.7)$$

Burada

$\Delta\Psi$: Tek bir antenin multipath hatası

α : Yansıma katsayısı

γ : Yansıyan sinyalin fazı dir.

İfade tek bir parametrede geciken yol ve yansıma katsayısının sadeleştirilmiş ve basitleştirilmiştir. Ayrıca yansıma katsayısının ismini α_0 olarak değiştirilip 2 parametreye indirgenerek

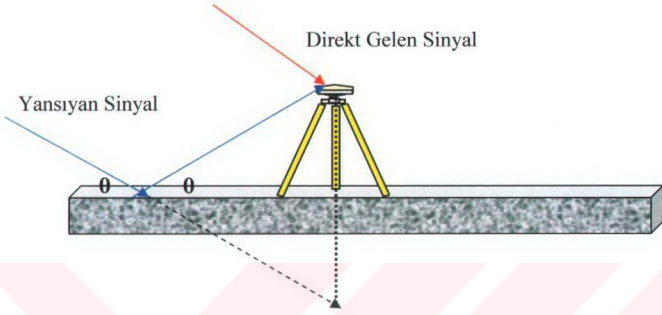
$$\Delta\Psi = \arctan\left[\frac{\alpha_0 \sin \gamma}{1 + \alpha_0 \cos \gamma}\right] \quad (4.8)$$

şeklini almıştır (Ray 2000).

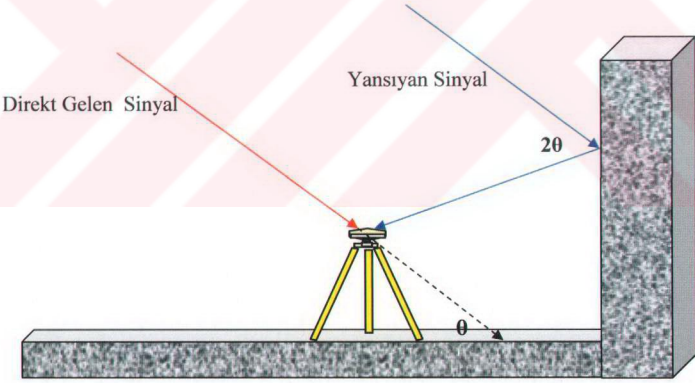
4.5 GPS Sinyal Yansıma Geometrileri

Sinyal yansıması 3 tür yayılım özelliği gösterir ve bunlar GPS sinyal yansıma yayılımının ana modları olarak düşünülebilir. Bu modlar kısaca F-modu (Forward mode), BA-modu (Backscatter A mode) ve BB-modu (Backscatter B mode) olarak isimlendirilmiştir. (Hannah 2001) F-Modu zeminden sekerek ileriye doğru

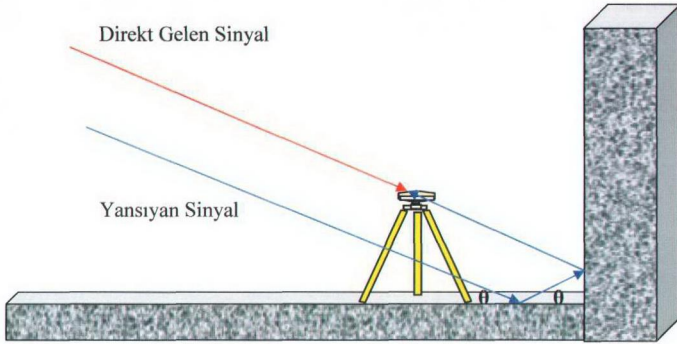
yansıyan sinyali (Şekil 4.8), BA-Modu anten seviyesinin altından geriye doğru yansıyarak ulaşan sinyalleri temsil eder (Şekil 4.9). BB-Modu ise aşağıdan gelen ve geri yönde yansıyan sinyalleri belirtir (Şekil 4.10).



Şekil 4.8 F modu sinyal yansıması



Şekil 4.9 BA modu sinyal yansıması



Şekil 4.10 BB modu sinyali yansıması

Speküler yansıma modlarında multipath sinyalinin rölatif gecikmesi yansıtıcı yüzey ile anten arasındaki fiziksel ilişkiye bağlıdır. Standart bir $\frac{1}{2}$ çip korelasyon aralıklı bir alıcı için, 1.5 çipten (440 m. veya 1466 nanosaniye) daha yüksek mesafeden meydana gelen sinyal gecikmeleri etkili olarak dekorele olur ve bu yüzden uzunluk ölçüsü hassasiyetine etki etmez (Braasch 1992,1994,1995). Bu mesafe $\frac{1}{10}$ çip korelasyon aralıklı bir alıcı için 1.1 çipten daha yüksektir. Buda

yaklaşık olarak 1075 nanosaniye yada 320 metre olarak ifade edilmiştir (Van Dierendonck vd,1992). Farklı bir ifadeyle meydana gelen sinyal yansımalarında GPS sinyalinin kuvvetinin azalacağı bir gerçektir. Standart bir alıcı için 440 metreden daha fazla bir sinyal gecikmesi meydana gelmesi durumunda GPS alıcısının geciken bu sinyali fark edemeyeceği bulunmuştur (Hannah 2001).

Genelde F-mod multipath'in dekorele olmadığı ifade edilmiştir. BA-Mod multipath ise (Şekil 4.9)' da görüldüğü gibi yersel ve yayılma açısı aralığı konularında oldukça sınırlı bir etki bölgesine sahiptir. BA modu için, antenin yansıma ara yüzünden yaklaşık olarak 440 metreden daha fazla mesafede yerleştirilmiş olması halinde BA modunun ya olmadığı yada oldukça dekorele

olduğu bulunmuştur. BB-Mod'da, multipath modunda geniş yansıma bölgesinden dolayı etki alanı daha büyüktür (Hannah 2001).

4.6 GPS Kod Gözlemleri İçin Sinyal Yansıması (Pseudorange Multipath)

Bilindiği gibi, kod gözlemleri uydudan yayınlanan sinyallerin, alıcıda üretilen aynı nitelikli sinyallerle karşılaştırılmaları sonucu elde edilmektedir. Diğer taraftan multipath etkisinin mevcut olduğu ortamlarda alıcı tarafından kaydedilen uydu sinyali, doğrudan gelen sinyal ile yansıyan sinyallerin bir karışımıdır. Bunun ise, alıcıda üretilen sinyal ile gerçek uydu sinyalinin karşılaştırılmasını sağlayan korelasyon fonksiyonuna bozucu etkisi söz konusudur. Bu da söz konusu sinyaller arasındaki maksimum korelasyonun sağlanması aşamasında bir hataya neden olacaktır.

Alıcı anteni su yüzeyi üzerinde ya da yakınında ise, diğer bir ifadeyle eğer yansıtıcı yüzey bir su yüzeyi ise, multipath etkisi daha da önemli bir durum oluşturmaktadır. Kod modülasyonlu sinyaller, geniş spektruma sahip olmaları nedeniyle, multipath etkisini gerçek sinyalden daha kolay ayırt edebilme özelliğine sahiptir. Kod modülasyonlu sinyaller (pseudoranges) chip uzunluğu ile tanımlanmakta olup alıcılar bu chip uzunluğuna göre senkronize edilmektedir. Chip uzunluğu, alıcının bu uzunluk dışında (code chip lenght window) ulaşan diğer sinyalleri algılamamasını sağlamaktadır. Ancak bu uzunluk içerisinde ulaşan sinyalleri gerçek sinyalden (direct pseudorange) ayırt edememektedir. Aynı şekilde, eğer gözlemler sırasında sinyal yükseklik (veri toplama) açısı yeteri kadar büyük değilse, anten gerçek sinyaller ile yansıyan sinyaller arasında ayırım yapamaz. Bu nedenle multipath etkisi kod ölçümleri için 10-20 metreyi bulacaktır (Hofmann-Wellenhof vd. 2001). Anten sinyal yansımasının kod ölçülerindeki etkisinin büyüklüğu, yapılan hesaplamalar sonucu P-kod için maksimum 29.3 m ve C/A-kod için 293.2 m değere ulaşmakta ise de P-kod için yapılan denemelerde bu değer 4-20 m arasında bulunmuştur (Kahveci 1997). Bununla birlikte hatanın etkisi için User Equivalent Range Error (UERE) 1.4 m olarak verilmektedir (Parkinson vd., 1996).

4.7 GPS Taşıyıcı Faz İçin Sinyal Yansıması (Carrier Phase Multipath)

Bozucu sinyal yansımaları (multipath etkileri) faz gözlemlerinde, hesaplanan, uydu-alıcı uzaklığında birkaç santimetrelik periyodik sapmalara neden olan faz değişimine (phase shift) yol açmaktadır. Bölüm 4.4' de sinyal yansıma ifadesinde görüldüğü gibi anten sinyal yansımasının taşıyıcı dalga fazındaki hatasının genliği (kuvveti: amplitude), yalnızca yansıyan sinyalin doğrudan gelen sinyale göre bağlı sinyal kuvveti olarak ifade edilen faktörüne bağlıdır. Eşitlik (4.8)'den yararlanarak $\alpha_0=1$ için faz gözlemleri için maksimum olası anten sinyal yansıması hatası $\psi=90^\circ$ olarak bulunur. Bu hata miktarı ise L_1 frekansı için ($\lambda_{L1}=19.05$ cm) yaklaşık 4.8 cm ye karşılık gelmektedir. L_1 ve L_2 'nin lineer kombinasyonları için (L_3, L_4, L_5) bu değer daha büyük yada küçük olabilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi, anten sinyal yansıması esas olarak uydu-anten-yansıtıcı yüzey geometrisine bağlı olduğundan ve bu geometri birkaç gün için yaklaşık sabit olacağından (bu geometri güneş zamanı ile yıldız zamanı arasındaki fark, her gün yaklaşık 4 dakika kadar erken tekrar edecektir) faz gözlemlerindeki anten sinyal yansıma etkisi de yansıtıcı yüzeyin sabit olması durumunda ardışık gözlem günlerinde benzer olacaktır. Ayrıca, değişen uydu geometrisi nedeniyle bu etki yaklaşık 20-30 dakikalık sürelerle yinelenmektedir (Kahveci 1997) .

4.8 Farklı Yöntemler Kullanılarak Sinyal Yansımasının Tespiti

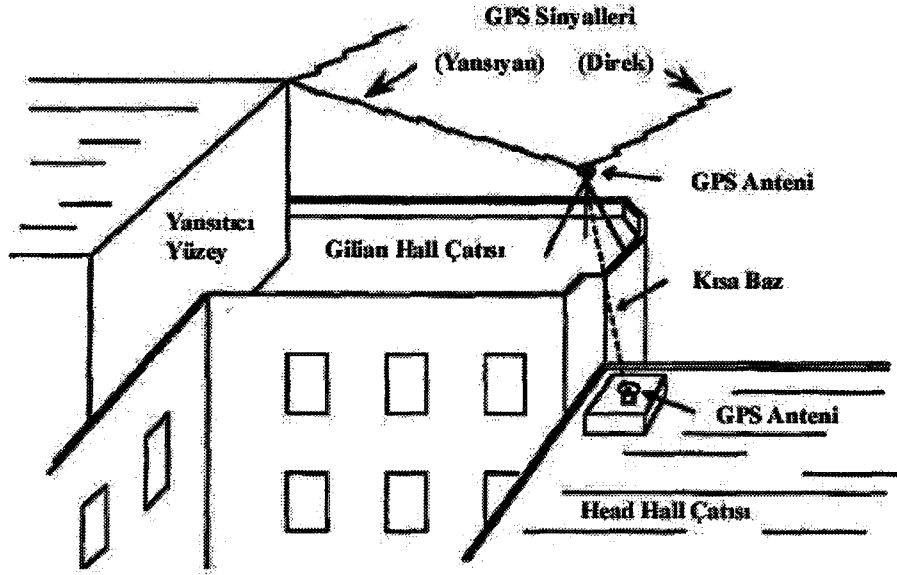
GPS gözlemlerindeki anten sinyal yansıma etkisini belirlemek için birçok yöntem mevcuttur. Ancak bunlardan en kolayı aynı çevre koşullarında elde edilen dengeleme sonrası düzeltme (residuals) değerlerini gün gün izlenerek belirlenmesidir. Çünkü her uydu yaklaşık 11 saat 58 dakikada bir tekrar etmektedir (El-Rabbany 2002). Farklı bir ifadeyle her uydu 11 saat 58 dakika sonra yine aynı noktadan geçmektedir. Ardışık günlere ait gözlemler farklı anten yüksekliklerini kullanmak ayrıca özel dizayn edilmiş çoklu yakın anten (Multiply Close Antenna) tipleri kullanarak yansıyan sinyalin tespiti yapılabilir.

4.8.1 Farklı anten yükseklikleri ile sinyal yansımalarının tespiti

Pek çok GPS kullanıcısı, yansıtma özellikleri olan nesnelerin sinyal yansıtma hatası yüzünden kötü sonuçlara yol açabileceğinden habersizdir. Sac bir çatısı olan yakınlardaki bir bina, tahıl silosu yada yakınlardaki bir otomobil yada park etmiş bir kamyonun üst yada yan kaportası birer yansıtıcı nesne olabilir. Uçaklardaki GPS cihazları için uçağın gövdesi sinyal yansımalarına yol açabileceği gibi gemilerdeki cihazlar da su yüzeyi yada gemi gövdesindeki yansımadan etkilenebilir. Gözlemlerin şekli ve seyri ne kadarlık bir sinyal yansımalarının miktarının kabul edilebilir sonuç olacağını gösterir.

Pek çok durumda ölçüm yeri yada ölçü noktası, GPS yada her hangi başka türde yüksek hassasiyetli ölçme tekniğine göre ölçülecek şekilde seçilir. Yansıtıcı yüzeylerin olup olmadığı düşünülmez. Kentsel bölgeler, bazı açılardan, kullanıcılara fazla ölçüm noktası şansı tanımaz ve uydu görünürlüğü açısından uygun alanlarda da yansıtıcı nesnelere olabilir.

1993 yılında New Brunswick Üniversitesi U.N.B Kampusunda Brian Boudreau tarafından yapılan çalışmada kampüs içindeki Gillin Hall ve Head Hall binalarının çatılarında 9 günden fazla süren bir çalışma sonrası multipath hatasının nasıl tespit edildiğini ve sonuçlarını göstermiştir. Araştırmanın yapılacağı yer olarak Head Hall'in çatısındaki Hamilton istasyonu ile Gillin Hall'in çatısındaki Gillin istasyonu arasındaki kısa baz kenarı seçilmiştir. Bu seçimin sebebi, Hamilton istasyonunun koordinatlarının biliniyor olması ve Gillin istasyonunun 15 metre güneyinde yaklaşık 6 metre yüksekliğinde yansıtıcı özellikte bir duvarın olmasıdır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 New Brunswick Üniversitesindeki deney ortamı (Boudreau 1993)

Anten yükseklikleri çatı seviyesinden olmak üzere 1, 2 ve 3 metre olarak belirlenmiş ve ölçümler her bir yükseklik değeri için 3 gün boyunca ayrı ayrı yapılmıştır. Toplam gözlem süresi arka arkaya 9 gün sürmüştür. Anten faz merkezi kayıklığı hatasının sonuçları etkilememesi için anten yöneltmelerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Her ölçüm gününe bir önceki günden 4 dakika gecikmeli olarak başlanması sonucu her bir gün için aynı uydu geometrisi tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile 3 metrelik anten yüksekliğinde maksimum çatı yüksekliğinden daha üst seviyede ölçüm yapıldığı için burada multipath hatasının olmadığı kabul edilmiştir. (Boudreau 1993).

4.9 Sinyal Yansımasının Etkisini Azaltma Yöntemleri

Sinyal yansımalarını engellemek yada etkisini azaltmak amacıyla yapılan çalışmaları ;

- Uygun yer seçimiyle sinyal yansıma etkisi azaltma
- Farklı Anten Donanımları (hardware) ile sinyal yansıma etkisi azaltma

- Farklı Alıcı Yazılımları (software) ile sinyal yansıma etkisi azaltma olarak üç ana başlık altında toplayabiliriz.

4.9.1 Uygun Nokta Seçimi

Sinyal yansıma etkisini azaltmak için kullanılan yöntemler arasında en kolay uygun nokta seçimidir. Özellikle hassas sonuç isteyen GPS ölçülerinde (deformasyon ölçmeleri, tektonik kabuk hareketlerinin incelenmesi vb.) ölçüm yapılacak noktalar civarında sinyal yansıma etkisi yaratacak su birikintisi, parlak maddelerden yapılan bina çatıları, yansıtıcı yüzeye sahip yapay tesisler bulunmamalıdır.

4.9.2 Farklı anten donanımları (hardware) ile sinyal yansıma etkisi azaltma

GPS alıcı antenlerinin temel görevi uydulardan yayınlanan sinyalleri, çevresindeki objelerden yayılan sinyalleri ayıklayarak almaktır. Bazı özel tasarımlı antenler bu özelliklere ilave olarak uydulardan gelen sinyallere diğer kaynaklardan karışan sinyalleri de ayıklama özelliğine sahiptir. Alıcı antenlerin esas olarak uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar içersindeki enerjiyi alıcı içersindeki elektronik devrelerde işlenebilecek elektrik akımına dönüşmektedir. Başka bir deyişle GPS alıcısı anteni uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgaları belirler ve elektrik devrelerine gönderir (Kahveci vd. 2000). Doğrudan gelen bir GPS sinyali sağ el sistemine göre polarize iken yansıma sonucunda sol el sistemine döner. Böylelikle yansıyan sinyaller özel seçimli antenler tarafından daha kolay algılanabilmektedir. (Hofmann-Wellenhof vd. 2001). Antenlerin şekli ve boyutu çok önemli olup, bu özellikler kısmen de olsa istenmeyen zayıf sinyallerin alıcıya ulaşmasında rol oynarlar. Jeodezik amaçlı antenler genellikle L_1 ve L_2 sinyallerinin her ikisini de alacak şekilde dizayn edilir.

Bu tip antenler sinyal yansıması etkisinden kurtulmak için ground plane veya iç içe geçmiş halkalardan oluşan choke ring antenler kullanılır. Ground plane ve choke ring antenler yapıları gereği yansıyan sinyalleri red edici bir özelliğe sahiptir. Ground plane'li antenlerin boyutları yansıyan sinyalin dalga boyuna

göre değişir. Küçük ground plane'li antenler kk dalga boylu yansıyan sinyallere karşı , bk ground plane'li antenler bk dalga boylu yansıyan sinyaller için dizayn edilmiştir. Ground plane antenler özellikle F modundaki sinyal yansımalarına karşı siper görevi görürler. Bu antenler özellikle toprak ve su gibi yansıtıcı yüzeylerin yarattığı sinyal yansımalarına karşı etkilidirler (Kunysz 2000). Ancak BA modunda ki yansımalar için ground plane antenler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden kullanım amacı olarak aynı, ancak yapı olarak farklı olan choke ring antenler kullanılır. Bu tip yansımaları engellemek için temel olarak i içe geçmiş çeyrek dalga boyu yüksekliğinde, 3 veya 5 alüminyum halkadan oluşan choke ring antenler kullanılır (şekil 4.12). Hepsini aynı seviyede bulunan halkaların oluşturduğu choke ring antenlere 2D antenler denilmektedir. Son yıllarda her halka seviyesinin farklı yükseklikte yapılmasıyla 3D choke ring antenler üretilmeye başlamıştır (Waldemar 2002).



şekil 4.12 2D ve 3D choke ring antenler

4.9.3 Farklı alıcı yazılımları (software) ile sinyal yansıma etkisi azaltma

Sinyal yansımasının donanım (hardware) zm olarak ta bilinen ground plane ve choke ring antenleri bir önceki konuda bahsetmiştik. Sinyal yansıma hatasının donanım ile zm bir takım GPS kullanıcıları arasında çeşitli tartışmalara yol açmıştır. Bir çok durumda özellikle kinematik ölçümlerde gerek ground plane gerekse choke ring antenlerin büyüklüğü arazi ölçümlerinde GPS kullanıcılarının

zorlanmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı iyi GPS çözümleri için alıcı içinde yapılacak dahili bir işleme gerek duyulmuştur. Bir çok GPS firması bu çözümü gerçekleştirmek için çalışmalara başlamıştır. Bu çalışmaların başarılı sonucu olarak GPS alıcılarında yeni teknolojiler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yeni teknolojiler Narrow Corelator, Multipath Elimination Technique (METTM) Multipath Elimination Technology (MET), Multipath Estimation Delay-Lock-Loop (MEDLL), MEDLLTM, Strobe CorrelatorTM olarak isimlendirilir (Waldemar 2000, Van Nee 1995).

Günümüzde GPS alıcılarını farklı şekilde sınıflandırmak (kanal sayısına göre, izlenen uydu sinyaline göre, kullanım amacına göre) mümkündür. İzlenen uydu sinyaline bağlı olarak iki temel alıcı tipi bulunur. 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.

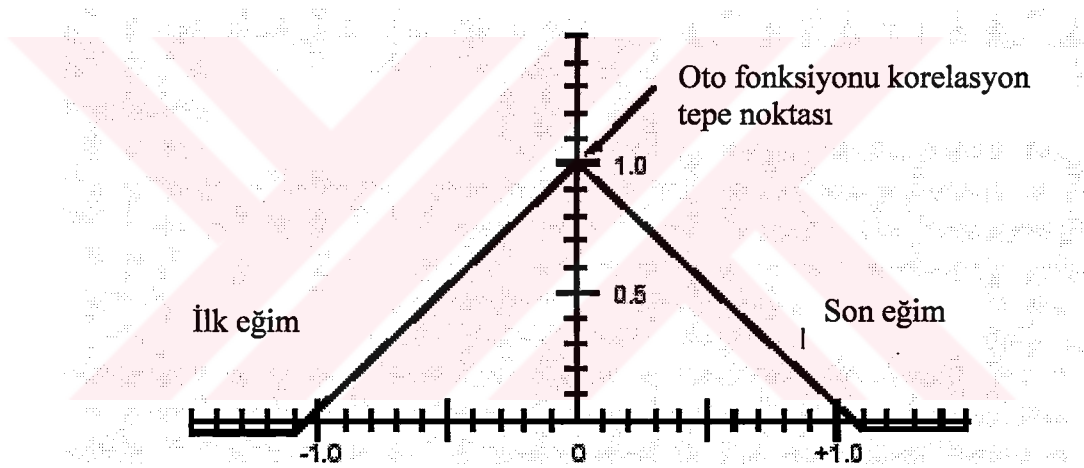
Alıcılar hakkında çok genel olarak şunlar söylenebilir

- C/A kod ölçen alıcılara yalnızca L_1 pseudorange ölçüsü yapılır ve bu tip alıcılar ölçüm amacından çok hobi amaçlı (dağcılık yat gezisi) kullanılır.
- C/A kodlu taşıyıcı dalga fazı ölçen alıcılar, yalnızca L_1 frekansında kod ve faz ölçüleri ile L_2 frekansında yalnızca faz ölçüsü yaparlar ve her türlü ölçü (statik, kinematik, hızlı statik) yapılmaktadır.
- P kod alıcıları P kod kullanırlar ve böylece L_1 ve L_2 frekanslarının her ikisinde de çalışmaktadırlar. Taşıyıcı dalgalarındaki P kod verileri bunların alıcı içersinde üretilen benzeri ile karşılaştırılarak elde edilmektedir. Bu şekilde uydudan alınan sinyal ile bunun alıcıda üretilen benzerinin karşılaştırılması ile çapraz korelasyon (cross correlation) yapılmaktadır. Uydu sinyalindeki kod bileşenleri ayıklanana kadar faz ölçüsü yapmak mümkün değildir. Bu alıcıların en önemli üstünlüğü uzun bazların santimetre mertebesinde doğrulukla belirlenebilmesidir. Ancak AS (anti-spoofing) özelliğinin uygulanmaya başlanmasıyla P kod kriptolanmış ve böylece Y kod kullanılmaya başlanmıştır. P kodlu alıcılarla L_2 frekansında veri toplamak için günümüzde kullanılan yöntemler; sinyalin karesini alma

tekniki (squaring), çapraz korelasyon (cross correlation), kare alma tekniği kullanarak kod korelasyonu olarak sayılabilir .

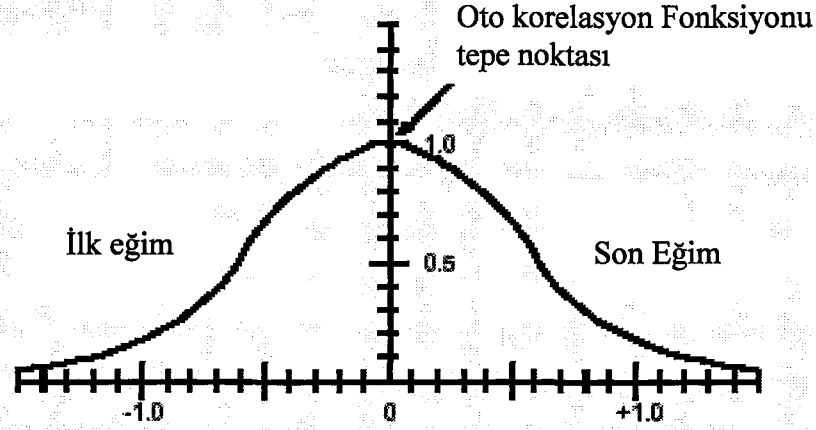
- Y kod alıcıları AS etkisi altındaki P kod'a doğrudan ulaşım sağlamaktadır. Ancak Y kodlu alıcılar askeri amaçlı alıcılar olup bu alıcıların her bir kanalında AOC (Auxiliary Output Chip) modülü takılı olmalı ve alıcılarda SM (security modülü) modülün olması gerekmektedir (Kahveci vd. 2000).

Günümüzde ideal alıcılarda GPS' den yayılan sinyallerin tamamının yakalamasına izin veren ve son derece yaygın olarak kullanılan 2.046 Mhz band genişliğine "Bandwidth" (BW) sahiptir. GPS alıcılarının kullandığı normal oto korelasyon fonksiyonu (şekil 4.13)' deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Normal oto korelasyon fonksiyonu (Waldemar 2000)

Oto korelasyon fonksiyonunun tepe noktası sürekli alıcı tarafından üretilen kod ile sürekli dengelenerek korunur. 2.046 Mhz band genişliğindeki (Bandwidth, BW) GPS alıcılarının genel amacı yaklaşık %90 oranında, GPS C/A kodundan yayılan RF sinyallerin yakalamaktır. 2.046 Mhz daha dar band genişliğine sahip alıcılarda ki korelasyon fonksiyonu daha büyük yuvarlak olacaktır. (Şekil 4.14)' de sınırlı 2 Mhz BW' de ki yassılma ve yuvarlanmaları görülmektedir.



Şekil 4.14 İki Mhz sınırlı band genişliğine sahip alıcıdaki oto korelasyon fonksiyonu

(Şekil 4.14)' de görüldüğü gibi özellikle 2 Mhz sınırlı BW için bir çok problem vardır. Sınırlı BW her zaman tepe noktasında bir düzlük görülebilir. Bu düzlük gezici bir sonuç yaratır ve gerçek korelasyon tepe noktasının oluşmasında hata düzeltmeleri için önce ve sonraki eğimlerin belirlenmesinde belirsizlik yaratır. Korelasyondaki belirsizlik direkt olarak uzunluktaki (range) belirsizliğe dönüşür.

Korelasyonun tepe noktasındaki belirsizliği azaltılmasında yardımcı benimsenen çözüm olarak genellikle her uydu kanalında dakik er ve geç olarak isimlendirilen 3 korelasyon modeli kullanılır. Erken (E), geç (L) ilişkileri, genellikle her bir diğerinden 1 chip boşlukla ayrılmış iken dakik (P) ise onların arasında merkezdedir. ($P-0.5$ chip = early, ve $P+0.5$ = late)

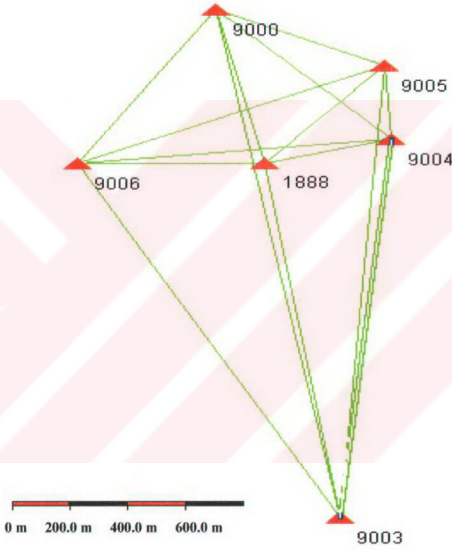
Bu korelator tekniği standart korelator tekniği olarak isimlendirilir ve günümüzde ki bir çok alıcıda kullanılan en yaygın tekniktir. NC (Narrow Corelator), MET (Multipath Elimination Technology), MEDLL (Multipath Estimation Delay-Lock-Loop) tekniklerinde ise normal oto korelasyon fonksiyonu kullanılmaz.

5. UYGULAMALAR

5.1 Uygulama-1

5.1.1 Test ağının tanıtımı

Uygulama 1'de kullanılan test ağı Afyon-Eskişehir karayolunun 10. km' sinde Afyon Kocatepe Üniversitesi. Ahmet Necdet Sezer Kampus bölgesine tesis edilmiştir. Test ağı 5 pilye ve 1 zemin noktasından oluşmaktadır (Şekil 5.1).

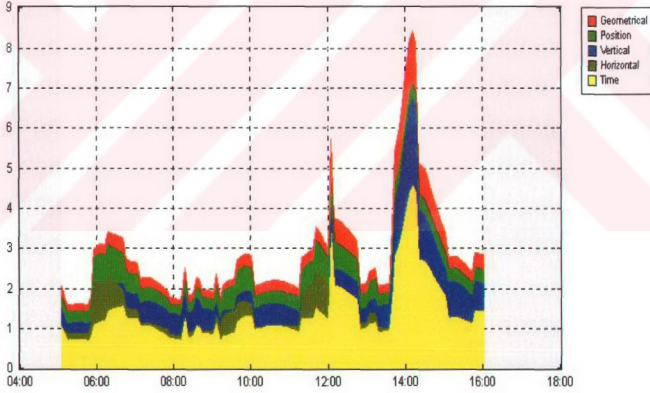


Şekil 5.1 Test ağı

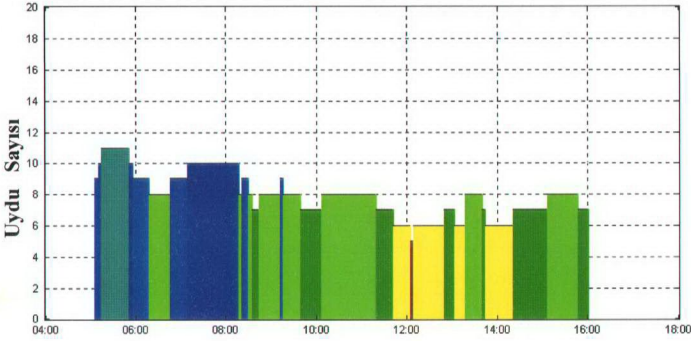
Pilyelerin boyları 120 cm olup çapları 25 cm'dir. Zemin noktası olarak B.Ö.H.Y.Y' de belirtilen zemin tesislerinden nirengi taşı seçilmiştir. Test ağında noktalar arasında en uzun kısa kenar 336.22 m. en uzun kenar ise 3852.50 m'dir.

5.1.2 Planlama

Gözlemler gerçekleştirilmeden önce Ashtech Office Suite (AOS) programı içinde bulunan Mission Planner (görev planlayıcısı) yazılımı kullanılmıştır. Bu program GPS alıcıları ile GPS uydularından doğrudan doğruya alınan almanak dosyaları sayesinde güncellenmiştir. Temel olarak bu program kullanıcıya uyduların en uygun görünürlük zamanını hesaplamaktadır. Bu program yardımıyla çalışma sırasında gün boyu yapılacak ölçmeler için en uygun saatler tespit edilmiştir. Ayrıca gün için yapılan ölçmeler için çalışma bölgesindeki görünür uydu sayıları, GDOP, TDOP, PDOP, HDOP, VDOP değerleri verilmiştir (Şekil 5.2-5.3). Burada GDOP geometrik hassasiyet bozulması (Geometric Dilution of Precision), PDOP konumdaki bozulmayı (Positional Dilution of Precision), VDOP düşey konumdaki bozulmayı (Vertical Dilution of Precision), TDOP zaman içerisindeki bozulmayı (Time Dilution of Precision) ifade etmektedir.



Şekil 5.2 Ölçme anında DOP değerleri

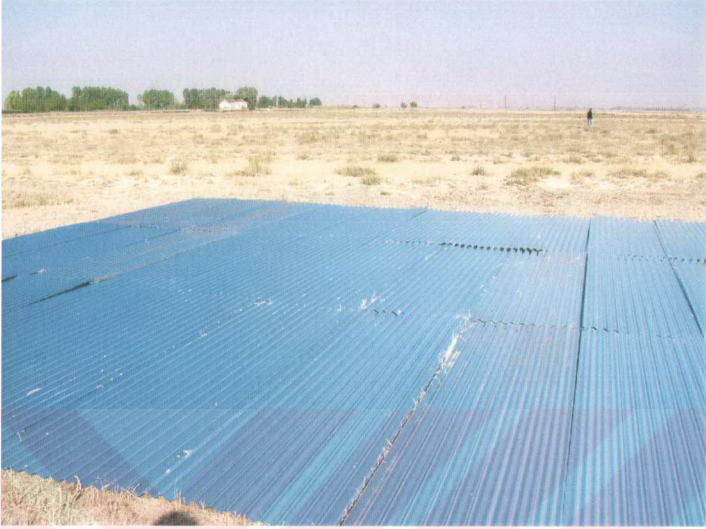


Şekil 5.3 Ölçme anında görünür uydu sayısı

GDOP'taki küçük değerler uyduların o an uzaydaki dağılımının iyi olduğunu, başka bir ifade ile konum doğruluğunun uydu geometrisine bağlı olan hatalarının düşük olacağını ifade etmektedir. Bu nedenle GDOP değeri büyük olan saatlerde konum doğruluğunun düşük olduğu düşünülerek sonuçların yorumlanmasında bu etkiye dikkat edilmiştir.

5.1.3 Kullanılan araçlar

Bu çalışmada 6 adet Ashtech Z-Xtreme GPS alıcısı kullanılmıştır. Bu alıcılar L_1 ve L_2 frekanslarında kayıt yapabilen çift frekanslı ve 12 kanallıdır. Bir başka ifadeyle aynı anda maksimum 12 uydudan sinyal alabilmektedir. GPS anteni olarak Geodetic IV. Rew A kullanılmıştır. GPS sinyalinin yansımaları sağlamak amacıyla 3 m. boyunda 1 m. eninde 2 mm. kalınlığında ve her biri 9 kg. ağırlığında 120 adet galvanizli sac levha kullanılmıştır (Şekil 5.2). Yansımanın düzgün yansıma olmaması için kullanılan levhalar oluklu levha olarak seçilmiştir. Ayrıca 1888 numaralı nokta zemin noktası olması nedeniyle bir adet GPS sehpa kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Çalışmada kullanılan sac levhalar

5.1.4 Veri toplama

Veri toplama için kayıt aralığı 5 saniye olarak ayarlanmıştır. Ayrıca düşük açılı uydularda daha fazla sinyal yansımaları olduğu için uydu yükseklik açısı 5 derece olarak seçilmiştir. Veri toplama işleminde yansıtıcı sac levhalar test ağının merkezinde bulunan 1888 numaralı nokta etrafında uydu geçişlerine göre kuzey, güney, doğu, batı yönlerinde farklı mesafeler ve konumlarda yerleştirilmişler ve F modunda sinyal yansımaları meydana getirilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.5). Genelde F-modunda meydana gelen multipath'in dekrele olmadığı bulunmuştur (Hannah 2001). Bu yüzden uygulama esnasında F modunda meydana gelen sinyal yansımalarının etkisinin araştırılmıştır. 1888 numaralı nokta etrafında levhaların konumları (Çizelge 5.1) 'de verilmiştir.



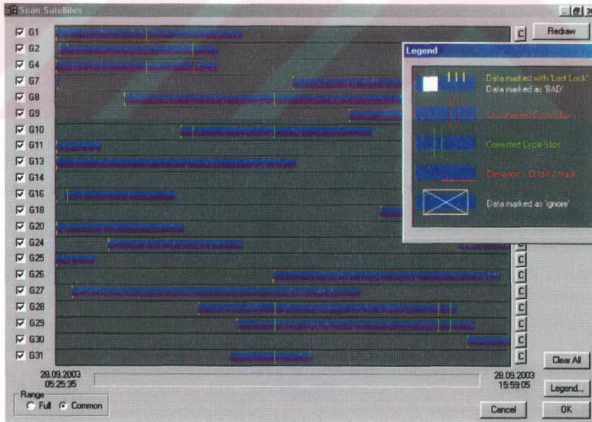
Şekil 5.5 1888 nolu merkez noktasında 360 m² levha ölçümü

Çizelge 5.1 Oturum planı

Oturum No	Levha Konumları
1. Oturum	Merkezde 360 m ²
2. Oturum	Merkezden 50 m Uzakta Kuzey-Güney-Doğu-Batı Yönlerinde 90 m ² Levha
3. Oturum	Merkezden 100 m Uzakta Kuzey-Güney-Doğu-Batı Yönlerinde 90 m ² Levha
4. Oturum	Merkezden 150 m Uzakta Kuzey-Güney-Doğu-Batı Yönlerinde 90 m ² Levha
5. Oturum	Merkezden 25 m Uzakta Kuzey-Güney-Doğu-Batı Yönlerinde 90 m ² Levha
6. Oturum	Merkezden 50 m Uzakta Sadece Güney Yönünde 90 m ² Levha
7. Oturum	Merkezden 50 m Uzakta Sadece Batı Yönünde 90 m ² Levha
8. Oturum	Merkezden 50 m Uzakta Sadece Kuzey Yönünde 90 m ² Levha
9. Oturum	Merkezden 50 m Uzakta Sadece Doğu Yönünde 90 m ² Levha
10. Oturum	Levhasız Ölçüm

5.1.5 Hataların giderilmesi

Bölüm 3'de anlatıldığı gibi GPS ölçülerini etkileyen bir çok hata vardır. Bu hatalardan sinyal yansıma hatası dışındakilerinin giderilmesi için çeşitli metotlar kullanılmıştır. Uydu ve alıcı saati hatalarının her ikisi birden elemine edilebilmesi için temel olarak ikili farklar (double differences) kullanılır. Bu yöntem kısaca eş zamanda iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır. GPS değerlendirme programlarının algoritmaları genellikle bu yöntemeye dayanmaktadır. Kısa bir baz uzunluğunu ölçerek, uydu yörünge hataları, iyonosferik gecikme hataları da tamamen yada büyük ölçüde giderilmiş olur. GPS değerlendirme programlarında kullanılan troposferik modeller yardımıyla troposferik gecikme hatası elimine edilmiş olur. Aynı cins antenler kullanılıp, aynı yöne (kuzeye) yönlendirilerek anten faz merkezi kayıklığı hatası giderilmiş olur. Geriye multipath, cycle slips ve rasgele meydana gelmiş ölçüm hataları kalır. Cycle slips hatalarının düzeltilmesi için AOS programında uydu sinyal kalitesine bakılmış ve meydana gelen cycle silps hataları ortadan kaldırılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Cycle slips hatalarının düzeltilmesi

5.1.6 Verilerin işlenmesi

Günümüzde GPS verilerini değerlendiren bir çok yazılım mevcuttur. Bu yazılımları ticari yazılımlar ve bilimsel yazılımlar olarak ayırmak mümkündür. Ticari yazılımlar genellikle GPS alıcıları ile birlikte satılan ticari firmaların kendileri tarafından üretilen ve pazarlanan yazılımlardır. THALES-ASTECH firmasına ait Astech Office Suit (AOS). Trimble firmasına ait Trimble Geomatic Office (TGO) ve SKIPRO gibi yazılımlar bu tür yazılımlara örnek olarak verilebilir. Bu yazılımlarla her türlü jeodezik GPS ölçmeleri değerlendirilebilmekte fakat yüksek doğruluk isteyen jeodezik GPS ölçümlerinin değerlendirilmesinde Üniversiteler yada Teknoloji Enstitülerince geliştirilmiş bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Çünkü bu tür yazılımlar kullanım kolaylığı ve kullanıcının daha az zamanda daha çok şey üretmesini sağlarken aynı zamanda bilinmeyenlerle dolu bir kara kutudur. Bu nedenle ticari yazılımlar bilimsel çalışmalar için ciddi sakıncalar doğurabilmektedir. Tektonik hareketlerden hassas deformasyon ölçümlerine kadar yüksek doğruluk isteyen bir çok jeodezik ölçmelerde kullanılan bu tür yazılımlara örnek olarak BERNESE, GAMIT/GLOBK, GIPSY/OASIS gibi yazılımlar verilebilir.

Bu tür yazılımlar genellikle kaynak kodlu GPS yazılım paketlerindedir. Bunlardan GIPSY (GPS-Inferred Positioning System). 1985 yılında Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilmiştir. Yazılım birbirinden bağımsız 2 parçadan oluşmaktadır. İlk kısım uzay araçları için geliştirilen yörünge belirleme yazılımından oluşur. İkinci kısım ise yerkabuğu dinamiği ve radyo dalgaları gecikmeleri modellemelerini kapsayan VLBI jeodezik yazılımından oluşur. Daha sonraları bu iki sisteme Kalman Filtreleme ile parametre tahmini ve interaktif data editleme özellikleri eklenmiştir. Bu arada yazılıma ilave özellikler eklenerek modüler hale getirilmiş ve OASIS adını almıştır. Diğer bir yazılım olan BERNESE yazılımı ise daha karmaşık bir sistemdir. Sadece ölçüm işlemini değil aynı zamanda bir gökyüzü cismi olarak GPS uydularının davranışları ve dünyanın bir gezegen oluşu gibi etmenlere bağlı olarak pek çok fiziksel etkiyi modeller. Aşağıda bu modellemeler verilmiştir.

- GPS uydularının içinde radyasyon baskısı gibi ataletsiz kuvvetleri de barındıran yörüngesel hareketleri.
- Güneş, ay ve diğer büyük gezegenler gibi gökyüzü cisimlerinin etkileri
- GPS uydularının davranışlarının ölçülere etkisi.
- GPS saatlerinin davranışlarından kaynaklanan etkiler.
- Kutup hareketleri ve bir günün uzunluğu gibi dünya dönüş parametreleri.
- Gel-git olayı, okyanus dalgaları ve ana karanın bunlara elastik tepkileri.
- Anten tipinin hata yayılımına etkileri.
- İyonosfer ve doğal atmosferin yayılım etkileri

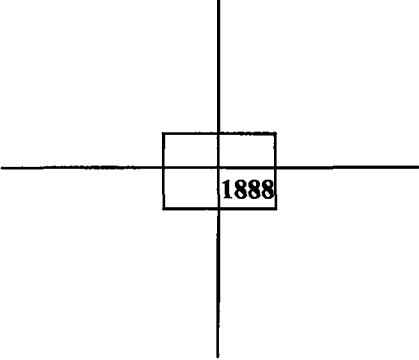
Yapılan bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılım paketi kullanılarak yapılmıştır. Bu yazılım paketi Linux işletim sistemi üzerinde çalışmakta ve değişik alıcılardan elde edilen verilerin alıcıdan bağımsız olması için RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Verileri RINEX formatına çevirmek için de geliştirilmiş birçok programcık bulunmakta ve bunların büyük bir çoğunluğu ticari yazılımlar içine modül olarak yerleştirilmiştir. Bu çalışmada verilerin formatını değiştirirken TEQC ve Astech Office Converter programı kullanılmıştır. TEQC dünyaca ünlü ve gelişmiş, alıcı verilerinin RINEX formatına çevrilmesini sağlayan bir programdır. Hem Linux hem de Windows versiyonu bulunan bu programın çalıştırılması ve öğrenilmesi kolay bir yapıya sahiptir. Diğer programlardan olan en büyük farkı ise değişik alıcıların içindeki ham verinin direk olarak çevrilmesini sağlar. Diğer programlar ile alıcının içindeki verilerin alıcıya ait aktarma sistemi kullanılarak bilgisayara aktarılır daha sonra bu verilerin formatı değiştirilir. Astech Office Converter THALES ASTECH firmasının yazılımı olup Windows ortamında çalışmaktadır. Kullanıcı ara yüzü çok kolay olup TEQC yazılımına göre iki kat daha fazla işlem kalabalıklığına ve dolayısıyla çok daha fazla zaman kaybına neden olmaktadır. TEQC ile RINEX formatına dönüştürülen veriler ilk olarak GAMIT yazılımıyla değerlendirilmiştir.

5.1.6 GAMIT

Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından 18 yıldır geliştirilmekte olan GAMIT yazılım paketi. GPS gözlemleri ile yüksek doğruluklu bağıl konum belirleme için kullanılan genel amaçlı bir analiz sistemidir. Bu yazılım paketi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki GAMIT ikincisi ise GLOBK yazılımıdır. GPS verilerinin işlenmesinde önce GAMIT yazılımı kullanılır. GAMIT değişik alıcılardan toplanmış ölçmeler üzerinde işlemler yapmak. uydu görüntülerini sayısal olarak integre etmek ve faz ve pseudorange ölçmelerini modellemek gibi özelliklere sahiptir. Asıl fonksiyonu. taşıyıcı fazlardaki tamsayı devir belirsizliği ile atmosferik etkileri ve saat hatalarını da hesaba katarak gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçmelerin farklarına dayanan uydu yörüngelerini ve nokta konumlarını lineer kestirimle dengelemektedir. Optimal faz belirsizliklerini belirlemek için genel olarak tek bir oturumdan lineer olarak bağımsız faz ölçmelerinin çift farkları kullanılarak birden fazla sayıda dengeleme işlemi gerçekleştirilir. GAMIT programında serbest dengeleme sonucunda elde edilen koordinatlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.2 Test ağındaki noktaların 1. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

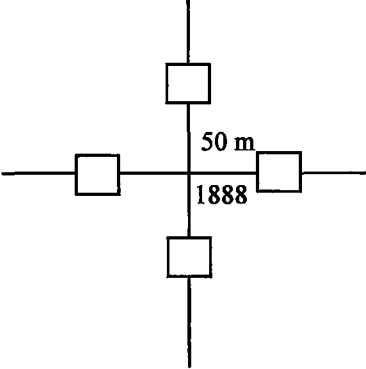
AÇIKLAMA: Merkezde 360 m² levha



WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI			
NN	X	Y	Z
1888	4287166.4979	2528213.6035	3976912.5540
9000	4286764.9281	2527521.9918	3977783.4275
9002	4287646.3186	2528429.1023	3976262.8321
9003	4288261.8360	2529600.7982	3974905.9924
9005	4286424.9259	2528516.0404	3977518.1720
9006	4287781.2806	2527287.4641	3976840.2642

Çizelge 5.3 Test ağındaki noktaların 2. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

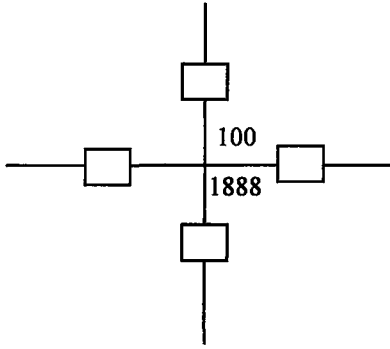
AÇIKLAMA: Merkezden 50 m uzakta kuzey-güney-doğu-batı yönlerinde 90 m² levha



WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI			
NN	X	Y	Z
1888	4287166.5003	2528213.6066	3976912.5555
9000	4286764.9283	2527521.9917	3977783.4274
9002	4287646.3172	2528429.1017	3976262.8309
9003	4288261.8349	2529600.7972	3974905.9921
9005	4286424.9263	2528516.0405	3977518.1726
9006	4287781.2808	2527287.4645	3976840.2648

Çizelge 5.4 Test ağındaki noktaların 3. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 100 m uzakta kuzey-güney-doğu-batı yönlerinde 90 m² levha

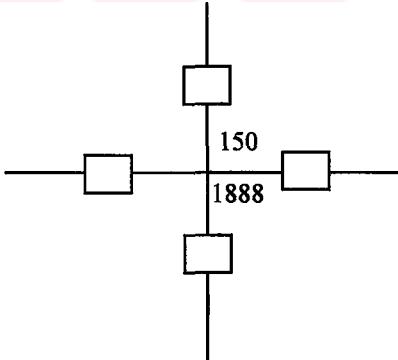


100
1888

WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI			
NN	X	Y	Z
1888	4287166.4996	2528213.6023	3976912.5553
9000	4286764.9275	2527521.9898	3977783.4279
9002	4287646.3174	2528429.1023	3976262.8301
9003	4288261.8369	2529600.7978	3974905.9932
9005	4286424.9262	2528516.0404	3977518.1731
9006	4287781.2798	2527287.4645	3976840.2638

Çizelge 5.5 Test ağındaki noktaların 4. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 150 m uzakta kuzey-güney-doğu-batı yönlerinde 90 m² levha

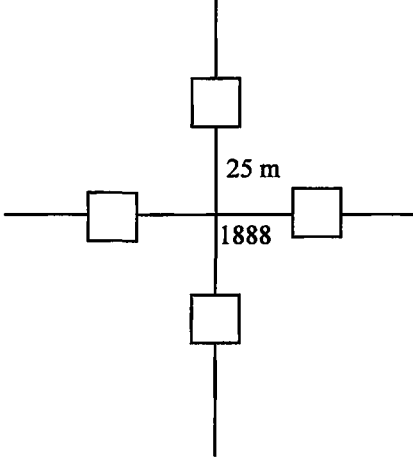


150
1888

WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI			
NN	X	Y	Z
1888	4287166.4986	2528213.6052	3976912.5546
9000	4286764.9295	2527521.9918	3977783.4292
9002	4287646.3168	2528429.1019	3976262.8315
9003	4288261.8354	2529600.7978	3974905.9927
9005	4286424.9257	2528516.0400	3977518.1724
9006	4287781.2789	2527287.4639	3976840.2645

Çizelge 5.6 Test ağındaki noktaların 5. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 25 m uzakta kuzey-güney-doğu-batı yönlerinde 90 m² levha

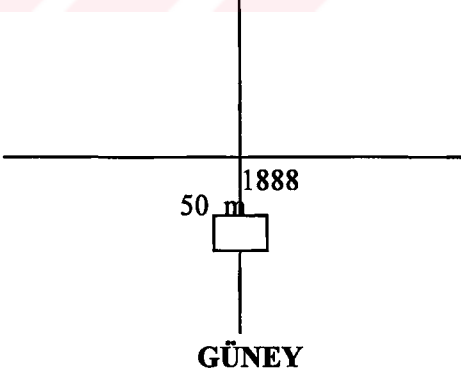


WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4983	2528213.6055	3976912.5546
9000	4286764.9275	2527521.9919	3977783.4314
9002	4287646.3173	2528429.1010	3976262.8293
9003	4288261.8382	2529600.7988	3974905.9926
9005	4286424.9258	2528516.0403	3977518.1728
9006	4287781.2788	2527287.4627	3976840.2624

Çizelge 5.7 Test ağındaki noktaların 6. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 50 m uzakta sadece güney yönünde 90 m² levha

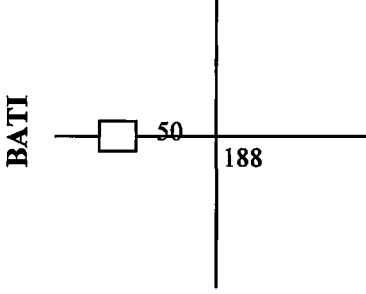


WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4976	2528213.6048	3976912.5543
9000	4286764.9248	2527521.9907	3977783.4287
9002	4287646.3171	2528429.1013	3976262.8289
9003	4288261.8411	2529600.7998	3974905.9964
9005	4286424.9269	2528516.0404	3977518.1733
9006	4287781.2788	2527287.4633	3976840.2623

Çizelge 5.8 Test ağındaki noktaların 7. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 50 m uzakta sadece batı yönünde 90 m² levha

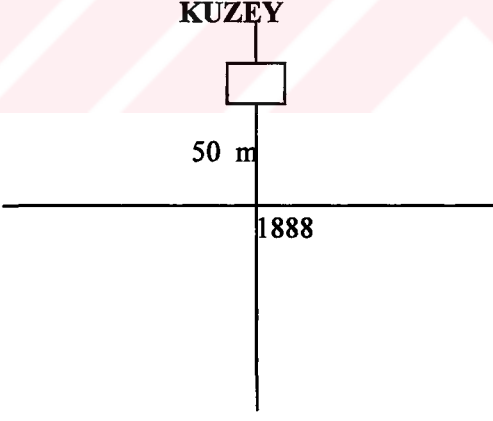


WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4995	2528213.6061	3976912.5554
9000	4286764.9287	2527521.9910	3977783.4371
9002	4287646.3187	2528429.1029	3976262.8324
9003	4288261.8373	2529600.7979	3974905.9909
9005	4286424.9270	2528516.0403	3977518.1727
9006	4287781.2813	2527287.4652	3976840.2659

Çizelge 5.9 Test ağındaki noktaların 8. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 50 m uzakta sadece kuzey yönünde 90 m² levha

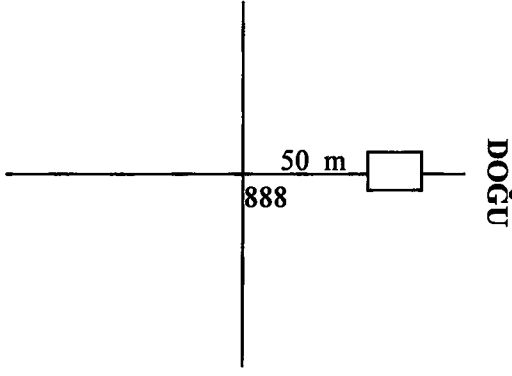


WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4980	2528213.6059	3976912.5555
9000	4286764.9287	2527521.9910	3977783.4371
9002	4287646.3192	2528429.1035	3976262.8323
9003	4288261.8392	2529600.7997	3974905.9907
9005	4286424.9273	2528516.0407	3977518.1728
9006	4287781.2812	2527287.4648	3976840.2652

Çizelge 5.10 Test ağındaki noktaların 9. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Merkezden 50 m uzakta sadece doğu yönünde 90 m² levha



WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4977	2528213.6041	3976912.5554
9000	4286764.9293	2527521.9926	3977783.4321
9002	4287646.3165	2528429.1011	3976262.8301
9003	4288261.8400	2529600.7998	3974905.9936
9005	4286424.9282	2528516.0413	3977518.1745
9006	4287781.2808	2527287.4639	3976840.2654

Çizelge 5.11 Test ağındaki noktaların 10. oturumda hesaplanan WGS84 koordinatları

AÇIKLAMA: Levhasız Ölçüm

WGS84 KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NN	X	Y	Z
1888	4287166.4941	2528213.5984	3976912.5536
9000	4286764.9320	2527521.9939	3977783.4338
9002	4287646.3198	2528429.1047	3976262.8326
9003	4288261.8389	2529600.8003	3974905.9944
9005	4286424.9276	2528516.0410	3977518.1735
9006	4287781.2808	2527287.4644	3976840.2645

Değerlendirme sonucunda elde edilen koordinatların daha kolay incelenmesi için sinyal yansımalarının meydana geldiği düşünülen 1888 nolu noktanın koordinatları (Çizelge 5.12)'de verilmiştir.

Çizelge 5.12 1888 nolu noktaya ait WGS84 koordinatlar

OTURUM	NN	X	Y	Z
1	1888	4287166.4979	2528213.6035	3976912.5540
2	1888	4287166.5003	2528213.6066	3976912.5555
3	1888	4287166.4996	2528213.6023	3976912.5553
4	1888	4287166.4986	2528213.6052	3976912.5546
5	1888	4287166.4983	2528213.6055	3976912.5546
6	1888	4287166.4976	2528213.6048	3976912.5543
7	1888	4287166.4995	2528213.6061	3976912.5554
8	1888	4287166.4980	2528213.6059	3976912.5555
9	1888	4287166.4977	2528213.6041	3976912.5554
10	1888	4287166.4941	2528213.5984	3976912.5536

Her oturuma ait koordinatların diğer oturumdaki değerlerden olan farkların uyumsuz olup olmadığı test edilmiş olup sonuçlar (Çizelge 5.13)'te verilmiştir.

Çizelge 5.13 Uyuşumsuzluk testi

Durum	Tablo Değeri	tx	ty	tz	Açıklama
1	3.95	0.714171	0.663080	0.228424	Kabul
2	3.95	0.768433	0.703658	0.252378	Kabul
3	3.95	0.748551	0.653561	0.246759	Kabul
4	3.95	0.726248	0.682088	0.233625	Kabul
5	3.95	0.720748	0.686213	0.233625	Kabul
6	3.95	0.709773	0.676970	0.230426	Kabul
7	3.95	0.746020	0.695254	0.249443	Kabul
8	3.95	0.715737	0.692119	0.252378	Kabul
9	3.95	0.711190	0.668994	0.249443	Kabul

5.2 Uygulama 2

5.2.1 Genel

Uygulama 2’de yansıtıcı yüzey olarak su yüzeyi seçilmiştir. Bu amaçla Eber gölü kenarında bir test ağı kurulmuştur. Test ağının Eber gölü çevresinde seçilmesinin sebepleri şunlardır.

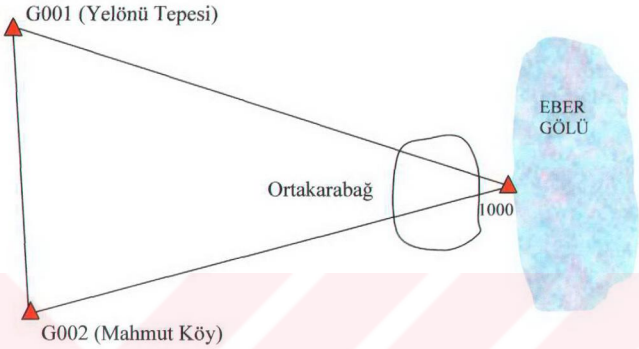
- Eber gölü sulama amaçlı kullanılan bir göl olduğu için göldeki su seviyesi ilkbahar aylarında maksimum seviyesinde olup yaz aylarında minimum seviyeye inmektedir. Özellikle Eylül Ekim aylarında su seviyesi en az düzeydedir. Bu aylarda göl, kurulan test ağına ait noktadan yaklaşık 1500 m. geri çekilmektedir.
- Sultandağı fayı, neotektonik dönem içerisinde (son 5 milyon yıl-günümüz arasında) 500 m’lik düşey atım, 750 metrelik sağ yanal atım meydana getirmiştir. Bu durumda fay boyunca biriken yıllık kayma hızı 0.1 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Demirtaş vd. 2002).

5.2.2 Test ağının tanıtımı

Uygulama 2’de kullanılan test ağı için Afyon ili Çay ilçesi yakınlarında bulunan denizden yüksekliği 967 m., yüzölçümü 125 km² olan Eber gölünün kenarı seçilmiştir. Eber gölü, Göller bölgesinde ye alan önemli göllerimizden biridir. Sultan dağlarının kuzeyi ve Emir Dağının güneyinde uzanan çöküntülü alanında yer almaktadır. İdari olarak Afyon ilinin Bolvadin ve Çay ilçeleri sınırları içerisinde bulunmaktadır. Suları tatlı, sığ bir göl olan Eber Gölü’nde su derinliği yüksek su seviyesinde 3-4 m. civarındadır. Göl su seviyesi ve göl alanı mevsimlere ve yıllara göre büyük değişiklikler göstermektedir.

Eber gölünün maksimum su seviyesinde iken karayla birleşme noktası olan Ortakarabağ köyünde sağlam bir zemin üzerine bir nokta tesis edilmiştir. Ağın diğer noktaları ise Afyon-Merkez Yelönü tepesinde (G001) ve Afyon-Şuhut-Mahmut köydeki (G002) Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktaları olarak seçilmiştir. TUTGA noktalarının koordinatları 4 boyutlu (X,Y,Z ve zaman)

olarak alınmıştır (Ayhan vd , 2001). Bu nedenle G001 ve G002 noktaları kontrol noktası kabul edilmiştir.



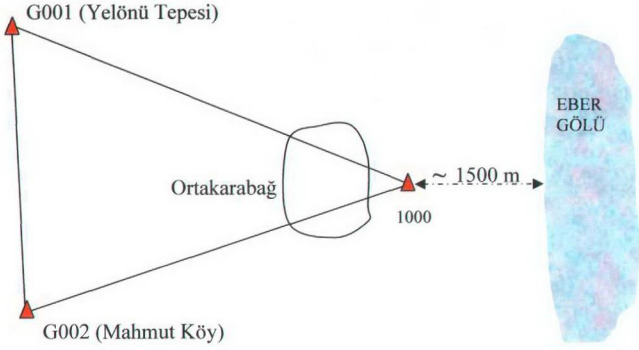
Şekil 5.7 Uygulama 2 için oluşturulan test ağı

5.2.3 Planlama

Uygulama 2'de ölçü planlaması için göldeki su seviyeleri izlenmiştir. Mayıs ayında su maksimum seviyede iken (su, test ağındaki noktanın yanında) ilk kampanya ölçüsü yapılmıştır (Şekil 5.7). Suyun minimum olduğu dönemde ikinci kampanya ölçüsü yapılmıştır (Şekil 5.8). Üç kampanya olarak düşünülen uygulama 2, bazı sorunlar yüzünden dört kampanya olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama 2'de karşılaşılan sorunlar daha sonraki bölümlerde detaylı bir biçimde açıklanacaktır. Test ağında yapılan kampanyalar ve tarihleri çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.14 Test ağında yapılan kampanyalar

Kampanya No	Kampanya Tarihi	Ölçü Süresi
1.kampanya	04.05.2003	8 saat
2. kampanya	13.09.2003	8 saat
3. kampanya	02.10.2003	8 saat
4. kampanya	30.10.2004	8 saat



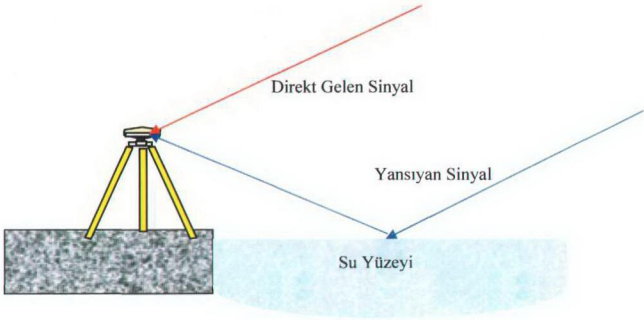
Şekil 5.8 Test ağı

5.2.4 Kullanılan araçlar

Bu çalışmada 6 adet Ashtech Z-Xtreme GPS alıcısı ile kullanılmıştır. Bu alıcılar L_1 ve L_2 frekanslarında kayıt yapabilen çift frekanslı ve 12 kanalıdır. GPS anteni olarak Geodetic IV, Rew A kullanılmıştır.

5.2.5 Veri toplama

Veri toplama için kayıt aralığı 10 saniye olarak ayarlanmıştır. Ayrıca düşük açılı uydularda daha fazla sinyal yansması olduğu için uydu yükseklik açısı 5 derece olarak seçilmiştir. (Hannah 2000) Veri toplamak için 4 kampanya GPS ölçüsü yapılmıştır. 1. kampanyada su göl kenarında iken 2.,3.,4. kampanyalarda ise su göl kenarında 500 m uzakta iken GPS ölçüsü yapılmıştır. 1. kampanya ölçüsü düzgün bir yansımaya olması için rüzgarsız bir havada yapılmıştır. Rüzgarın suda yapacağı dalgalanmalar yansımının düzgün olmamasını sebep olacaktır. (Hannah 2000) Yapılan 1. kampanyadaki ölçü düzeneklerini aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.9) . 3. kampanya ise göl suyunun minimum olduğu dönemlerde yapılmıştır (Şekil 5.10-5.11).



Şekil 5.9 Kurulan ölçü düzeneği kesiti



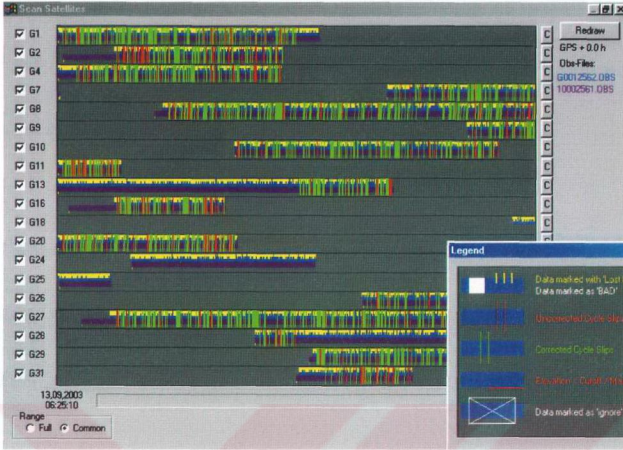
Şekil 5.10 1000 no'lu noktada yapılan ikinci kampanya ölçüsünde bir görüntü



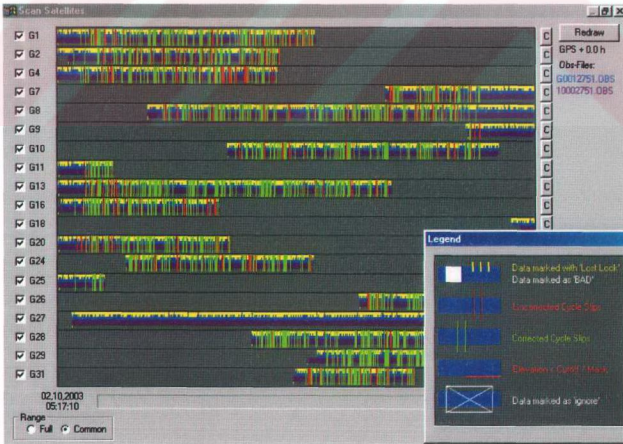
Şekil 5.11 1000 no'lu noktada yapılan ikinci kampanya ölçüsünde bir görüntü

5.2.5 Uygulamada karşılaşılan sorunlar

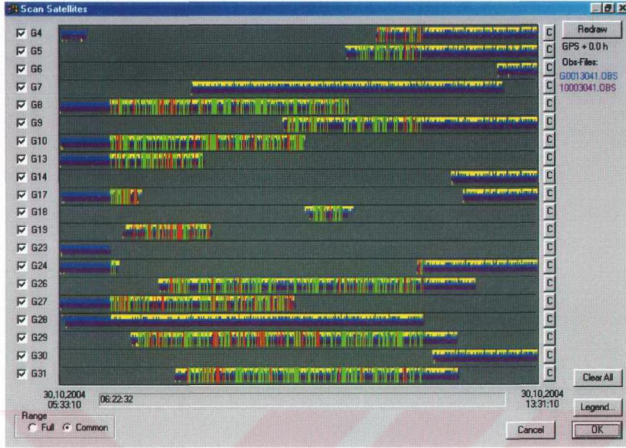
04.05.2003 tarihinde yapılan 1. kampanya sırasında herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır. 13.09.2003 tarihinde yapılan 2. kampanya sırasında G001 noktasında GPS'e gelen sinyallerde kesiklikler meydana gelmiştir (Şekil 5.12). Bu kesikliklerin nedeninin anlaşılması için 02.10.2003 tarihinde 3. kampanya yapılmıştır. Yapılan 3. kampanya sonrasında da aynı sinyal kesikleri tekrarlanmıştır (Şekil 5.13). Yapılan çalışmalar sonucu bu sinyal kesikliklerinin GPS anteni, GPS alıcısı ve anten kablosundan kaynaklanmadığı ortaya çıkmıştır. Bu kesikliklerin temel sebebinin, G001 noktasının 1 km. doğusunda bulunan askeri havaalanında kullanılan radar veya telsiz röle istasyonu olduğu düşünülmektedir. 4. kampanyada da aynı kesikliklerin meydana gelmesi bu ihtimali güçlendirmektedir (Şekil 5.14). Bunun sonucu olarak verilerin değerlendirmesinde G001 noktasında yapılan ölçümler kullanılmamıştır.



Şekil 5.12 İkinci kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri



Şekil 5.13 Üçüncü kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri



Şekil 5.14 Dördüncü kampanyada meydana gelen sinyal kesiklikleri

5.2.6 Verilerin değerlendirilmesi ve sonuçlar

Uygulama 1’de olduğu gibi uygulama 2’de de GAMIT/GLOBK GPS değerlendirme yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım paketi iki kısımdan oluşmaktadır. GAMIT günlük ham GPS ölçüleri kullanarak baz bileşenleri, uyu ve istasyon programlarını hesaplamaya yarayan ve yörünge geliştirme dahil tüm fiziksel modellendirilmenin yapıldığı bir programdır. GLOBK ise GAMIT ile üretilen bir veya birden fazla kampanyaya ait günlük çözümleri kullanarak Kalman Filtreleme tekniği ile istenen bir epokta koordinat ve koordinat değişimlerini (hızlarını) hesaplamaya yarayan bir programdır. Uygulama 2’de 2., 3., 4. kampanyaların GAMIT/GLOBK programıyla değerlendirilmesi sonucu 1000 no’lu noktanın kampanyalar arasındaki koordinat değişimi hesaplanmıştır. Bulunan koordinat değişimleri (Çizelge 5.15 -5.16)’da verilmiştir.

Çizelge 5.15 Üçüncü ve dördüncü kampanyalar arasındaki koordinat farkı

Nokta No	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
1000	-0.0142	-0.02653	-0.00340

Çizelge 5.16 Birinci ve dördüncü kampanyalar arasındaki koordinat farkı

Nokta No	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
1000	-0.00742	-0.02776	0.04107

Üçüncü ve dördüncü periyotta yapılan ölçülerde su minimum seviyede olduğu için sudan kaynaklanan herhangi bir sinyal yansımalarının olmadığı kabul edilmiştir. (Çizelge 5.15)'den bulunan koordinat değişimlerine sinyal yansımalarının etkisi olmadığı düşünülmektedir. Birinci kampanyada su seviyesi maksimum seviyede olduğu için (Çizelge 5.16)'deki koordinat değişimlerinde sinyal yansıma etkisinin olabileceği düşünülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uydulardan yayınlanan sinyallerin gözlem yapılan nokta çevresinde bulunan yansıtıcı bir yüzey nedeniyle yansiyarak antene ulaşması sonucu sinyal yansıma etkisi (multipath) oluşur. GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi için kullanılan bilimsel amaçlı yazılımlar sayesinde milimetre inceliğinde koordinat, dolayısıyla baz elde edilmektedir. Bu yazılımların iyonosfer, uydu yörünge vb. hataları geliştirilen modeller sayesinde gidermesiyle, noktanın bulunduğu konuma bağlı hatalar (multipath) doğruluğu etkileyen en önemli faktör haline gelmiştir.

Bu çalışmada GPS sinyal yansımasının nokta konumlarını etkisini araştırmak için iki farklı uygulama yapılmıştır. Birinci uygulama için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Kampusunda 6 noktalı bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan ağda yansıma sağlamak amacıyla 360 m² galvanizli, oluklu sac levhalar kullanılmıştır. 1888 numaralı nokta etrafında 10 farklı levha konumunda GPS gözlemleri yapılmıştır. Bu gözlemlerin GAMIT yazılımında değerlendirilmesinden sonra elde edilen sonuçlar (çizelge 5.2-5.11) arasında verilmiştir. İkinci uygulama için Eber gölü kenarında bir test ağı kurulmuştur. Bu ağda 4 kampanya GPS oturumu yapılmıştır. Eber gölü su seviyesi ve göl alanı mevsimlere ve yıllara göre büyük değişiklikler göstermektedir. Birinci kampanya göldeki su seviyesi maksimum olduğu dönemde yapılmıştır. İkinci üçüncü ve dördüncü kampanyada ise göldeki su seviyesi minimum seviyede yapılmıştır. Bu dört kampanyalar sonucu elde edilen koordinat farkları (Çizelge 5.15-5.16)'de verilmiştir. GPS sinyal yansımasının nokta konumlarına etkisi olarak (Çizelge 5.2-5.11) ve çizelge (5.15-5.16) incelenip aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Uygulama 1'de kurulan test ağının kontrol noktaları olarak kabul edilen 9000, 9002, 9003, 9005, 9006 noktalarının yansımada kullanılan levhalarla arasındaki mesafelerin 320 metreden fazla olmasından dolayı bu noktaların levhalardan kaynaklanan bir yansıma etkisine maruz kalmadığı düşünülmektedir. Bu nedenle 10 oturumun tamamında bu noktalardaki koordinat değişimleri ölçüm anındaki (Çizelge 5.1)'de görünen DOP değerleri ile ilgili olduğu düşünülebilir.

- Kontrol noktalarına ait koordinat farkları incelendiğinde bu farkların lineer olmadığı, 1.2 mm ile 6.2 mm arasında değiştiği görülmüştür. 6, 7, 8. oturumlardaki koordinat değişimlerin fazla olmasının sebebi, bu saatlerdeki DOP değerlerinin değişimi ile anlık faz merkezi değişimlerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülebilir.
- 1888 no'lu noktada yansıtıcı levhalar yerde olduğu ve etrafında başka bir yansıtıcı yüzey olmadığı için meydana gelen sinyal yansımalarının sebebi sac levhalardır. Yansımaların Bölüm 4'de tanımlanan F modunda bir yansıma olduğu düşünülmektedir.
- (Çizelge 5.2) ve (Çizelge 5.3)'de 9000, 9002, 9003, 9005, 9006 no'lu noktalara ait koordinat değişimleri incelendiğinde; X koordinatında maksimum değişim miktarı 1.4 mm, Y koordinatındaki maksimum değişim miktarı 1 mm., 1888 no'lu noktada ise değişim miktarı, X koordinatında 2.4 mm Y koordinatında ise oturumlar arasında meydana gelen koordinat değişimleri 3.1 mm olduğu görülmektedir. 1888 no'lu noktada meydana gelen koordinat değişiminin diğer noktalarda meydana gelen koordinat değişimlerinden fazla olması sinyal yansımalarının bir etkisi olarak yorumlanabilir.
- Uygulama 2'de 3. ve 4. kampanyalarda yapılan ölçümde de, göldeki su seviyesinin minimum olması (noktadan yaklaşık 1500 m. uzakta) ve etrafta başka bir yansıtıcı yüzey olmaması nedeniyle ölçüler sinyal yansıma etkisine maruz kalmamıştır. Bu yüzden (Çizelge 5.15)'de verilen koordinat değişimlerinin Avrasya plakasının yıllık hareketinden kaynaklanabileceği düşünülebilir.
- Uygulama 2'de 1. kampanyadaki ölçümde göldeki su maksimum seviyede olduğu için ölçüler sinyal yansıma etkisine maruz kalmıştır. Bundan dolayı (Çizelge 5.16) verilen 1000 no'lu noktadaki koordinat değişimi, tabaka hareketinden farklı olarak bulunmuştur. Bu değişimin sebebi olarak 1000

no'lu nokta yakınındaki su yüzeyinin 1. kampanya sırasında gelen GPS sinyallerini yansıtması sonucu olarak düşünülebilir.

- Uygulama 2'de GPS ölçüm süresinin uzun olmasından dolayı sinyal yansıma etkisinin minimum seviyede olması doğaldır.

Yapılan uygulamalarda GPS sinyal yansımasının nokta konumlarına etkisinin 1 cm'den daha küçük değerlerde olduğu görülmüştür. Sinyal yansıma etkisi gelişen GPS teknolojisine paralel olarak minimize edilmiştir. Ancak düzenli bir hata olmadığı için tamamen giderilememiştir. Özellikle yüksek presizyon istenen GPS uygulamalarında bu etki GPS değerlendirmelerinde hatalı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu nedenle GPS gözlemlerinden yüksek presizyon elde etmek isteniyorsa aşağıdaki konulara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Sinyal yansımasına maruz kalmamak için uygulanacak yöntemlerden en kolay ve en ucuzu anten kurulacak noktanın doğru seçimidir. Noktaların seçiminde mümkün olduğunca yansıtıcı yüzeylerden uzak durulması gerekmektedir. Bunun için modern bir GPS anteni, yansıtıcı yüzeyden 320 metre uzakta bu etkiye maruz kalmamaktadır (Hannah 2001).
- Gözlemlerde sinyal yansımasını azaltıcı antenler (Choke Ring, Ground Plane) kullanılmalıdır.
- Düşük açılı uydularda daha fazla sinyal yansıması olacağı düşünülerek yükseklik açısı 10° - 20° arasında seçilmelidir.
- F modundaki sinyal yansımasında sol yönde kutuplaşma olduğu için antenler tarafından sinyaller, yansıyan sinyal olarak algılanabilmektedir. BA-BB modunda ise sinyal yansıması ise sağ yönde kutuplaşma olduğu için anten tarafından kolay algılanamamaktadır. Bu yüzden özellikle kent içi GPS ölçmelerinde ölçü süresini uzatarak BA-BB modundaki sinyal yansıma etkisi azaltılabilmektedir.

KAYNAKLAR

Ayhan M.E., Lenk,O. Kılıçoğlu A., Kahveci M. 2001 “Türkiye Ulusal Temel Gps Ağı-1999”, Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi, Ankara

Beckmann, P. and A. Spizzichino. 1963, “The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces”, Pergamon Press, Oxford, 503 pp.

Boudreau B.,1993 “GPS multipath Detection With Varying Antenna Height”, Report II submitted in partial fulfillment of requirements for the degree of Bachelor of Science in Engineering in the Department of Surveying Engineering., Department of Surveying Engineering University of New Brunswick Fredericton, N.B. 1993 December

Braasch, M.S., 1992.” On the Characteristics of Multipath Errors in Satellite-Based Precision Approach and Landing Systems”, Department of the Electrical and Computer Engineering. Ohio University 1992

Braasch, M.S.1994 “Isolation of GPS Multipath and Receiver Tracking Errors,”.Navigation: Journal of The Institute of Navigation, vol.41

Braasch, M.S.1995.”GPS and DGPS Multipath Effects and Modelling,” ION GPS-95.,Navtech Seminars

Braasch, M. S. 1996. “Multipath Effects, Global Positioning Systems: Theory and Application”. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Cadwell, D.D., 1995, “Investigation of Stochastic Models to Improve the Global Positioning System Satellite Orbits”, The Ohio State University, Columbus, Report No:429, Mart 1995

Demirtaş ,R., İravul,Y.,Yaman,M,."03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri", Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Depreme Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2002.

Dodson,A.H.,1986, "Refraction and Propagation Delays in Space Geodesy INT.J.Remote Sensing", Vol.7Nr.4,pp.515-524, 1986

El-Rabbany, A.,2002 "Introduction to GPS: The Global Positioning System" Artech House, Boston, 2002.

Fontana D.R., Cheung W., and Stansell T. 2001. "The Modernized L₂ Civil Signal", GPS World, 18

Geiger,A., 1990, "Influence of Phase Center Variations on the Combination of Different Antenna Types, In Proceedings of Second International Symposium on Precise Positioning with the GPS", Ottawa, 3-7 Eylül Kanada

Grejner – Brezinska, D.A., 1995, "Anaysis of GPS Data Processing Thecniques, In Search of Optimized Strategy of Orbit and Earth Rotation Parameter Recovery", The Ohio State University, Report No: 432, Kasım 1995

Hannah, B. 2001, "Modelling and Simulation of GPS Multipath Propagation" The Cooperative Research Center for Satellite Systems Queensland Univercity of Technology, PhD Thesis, Australia Mart 2001

Hofmann-Wellenhof, B., H. Linctenegger, and J. Collins 2001. "Global Positioning System, Theory and Practice". Springer Verlag, Wien

Kahveci, M.1997, Türkiye Koşullarında Yapılan GPS Gözlemlerinde Ortam Etkilerinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ocak 1997

- Kahveci M., Yıldız F. 2000. "Global Konum Belirleme Sistemleri " Nobel Yayınları 2000
- Kınık,İ, 1999, "GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Haziran, 1999
- Kim.J.Y. 2002, "Promoting Commercial Interest In GPS" Office of Space Commercialization United States Department of Commerce. Lusaka, Zambia
- Langley R.B.,1997 "The GPS error budge", GPS World, 8, No.3,31-56
- Leick, A., 2004, "GPS Satellite Surveying", Department of Surveying Engineering University of Maine Orono, PP52
- Leva, J.L.,de Haag, M.U. and Dyke, K.V., 1996 Performance of standole GPS in Understanding GPS Principles and Aplications pp.237-285, Eds. Kaplan, D., Artech house Boston
- McCarthy, D.D. (Ed.), 2000. IERS Conventions 2000, Central Bureau of IERS International Earth Rotation Service.
- Moelker, D-J. 1997. "Multiple Antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding." Proceedings of the International Technical Meeting of The Institute of Navigation, Salt Lake city, Eylül, pp. 541-550.
- Nieuwejaar, W, 1988, "GPS Signal Structure", AGARD Lecture series No.161

Özaydın,D.,Kımk,İ.,Şimşek,M.,Demir, C., Lenk,O., Ankara GPS Test Ağı
(AGTA)'nın Tanıtımı, HKMO,Harita Kurultayı, Ankara, Şubat 1993

Özkan,S,Ş. 2005 “Gps/Nivelman Yöntemiyle Helmert Ortometrik
Yüksekliklerinin Belirlenmesi” Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen
Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, Aralık, 2004.

Özlüdemir, M.T., 2002. “Sinyal Kalitesine Dayalı Stokastik Modellerin GPS ile
Konum Belirleme Üzerindeki Etkilerine İlişkin Bir İnceleme”, Doktora
Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi

Parkinson, B.W. and Spilker, JJ.1996 “Global Positioning System: Theory and
Applications Volume-I”, Standford University, Standford, California,
USA

Ray, J.K., 2000. “Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects
Using a Multi-Antenna System”, PhD Thesis, University of Calgary, Canada

Reichert, A. and P. Axelrad. 1999. GPS Carrier Phase Multipath Reduction
Using SNR Measurements to Characterize an Effective Reflector.”
Proceedings of the International Technical Meeting of The Institute of
Navigation, Nashville,September, pp. 1951-1960.

Rothacher, M. and L. Mervart, 1996, “Bernese GPS Software Version 4.0”,
Astronomical Institute University of Berne, Eylül 1991

Rothacher M., Schaer S., Mervart L. Beutler G. 1995 “Determination of Antenna
Phase Center Variations Using Gps Data”, In Proceedings of IGS Workshop
Postdam on Special Topics and New Directions, Germany, Mayıs 1995

- Seeber, G., 1993 "Satellite Geodesy, Foundations, Methods and Applications",
Walter de Gruyter, 1993
- Shaw, M., Sandhu, K., and Turner, D. 2000 "GPS Error Sources and
Magnitudes" Modernization of the Global Positioning System. GPS
, 11
- Spilker Jr., J.J., 1996, "GPS signal structure and theoretical performance in global
positioning system, theory and applications, 1, pp. 57-120, Eds. Parkinson ,
B.W. and Spilker Jr. American Institute of Aeronautics and Astronautics,
Washington DC.
- Tiberius, C.C.J.M., Jonkman, N. and Kenselaar, F., 1999. "The stochastics of GPS
Observables", GPS World, 10, No. 2, 49-54.
- Van Dierendonck, A.J., Fenton P., and Ford T., 1992, "Theory and Performance
of Narrow Code Spacing in a GPS Receiver", The Institute of
Navigation National Technical Meeting, San Diego
- Van Dierendonck A.J., 1996 "GPS Receivers in Global Positioning system: Theory
and applications" , 1, pp. 329-407 Eds. Parkinson , B.W. and Spilker Jr.
American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington DC
- Van Nee, R. D. J. 1992. "Multipath Effects on GPS Code Phase Measurements,"
Navigation: Journal of the Institute of Navigation, vol. 39, pp. 177-190,
- Van Nee, R. D. J. 1994. "The Multipath Estimating Delay Lock Loop:
Approaching Theoretical Accuracy Limits." Proceedings of IEEE Plans, Las
Vegas, April, pp. 246-251

Van Nee, R. D. J. 1995. "Multipath and Multi-Transmitter Interference in Spread-Spectrum Communication and Navigation Systems" ,Delft University Press, Delft, The Netherlands

Waldemar, K. 2000. "Discussions on RF Signal Propagation and Multipath", Novatell, 2000

Waldemar K.2002. "A three Dimensional Choke Ring Ground Plane Antenna " Novatell 2002

Weeber,G.,W.Schlüter,H.Seeger ve P.Frange, 1996, IfAG Contribution to a GPS Permanent Network in Europe, EUREF Symposium, Ankara 1996

Yang,M.,1995, "New GPS Measurement Modeling Techniques of Orbit Determination and Precise Kinematic Positioning" The Ohio State University, Columbus, Report No: 431, Agustus 1995

Young, L.E.,Neilen,R.E., Bletzacker,F.R., 1989 GPS Satellite Multipath, An Experimental Inverstigal Proc.Symp.Pos. GPS, Rocville, MD, Nisan

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçiminde ve tez aşamasındaki yardımlarından dolayı Hocam Yrd. Doç. Dr. Mevlüt GÜLLÜ' ye, bilgilerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İbrahim YILMAZ' a, şekillerin çizimi konusunda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA' ya, , Yüksek Mühendis Üsteğmen Savaş Şahin ÖZKAN, GPS kampanyalarında yardımcı olan Öğr. Gör. Saffet ERDOĞAN'a ayrıca çalışmalarım sırasında bana manevi destek olan canım eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.



ÖZGEÇMİŞ

İbrahim TİRYAKİOĞLU 17.06.1978 tarihinde Uşak' ta doğdu. İlkokulu Uşak Mehmetçik İlkokulunda, ortaokulu Uşak Besim Atalay ortaokulunda Lise eğitimini Uşak lisesinde tamamladıktan sonra lisans eğitimini 2000 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde tamamladı. 2001 yılında AKÜ Afyon Mühendislik Fakültesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı kurumda görev yapmaktadır.

Evli olup, yabancı dili İngilizce'dir.

