T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEREL BİR AĞDA GPS ÖLÇÜ SÜRESİNİN NOKTA KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Beytullah YALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
ANABİLİM DALI
Konya, 2007

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEREL BİR AĞDA GPS ÖLÇÜ SÜRESİNİN NOKTA KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Beytullah YALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Cevat İNAL
(Danışman)

Yrd.Doç. Bayram TURGUT
Üye

Yrd.Doç.İbrahim KALAYCI
Üye

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YEREL BİR AĞDA GPS ÖLÇÜ SÜRESİNİN
NOKTA KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Beytullah YALÇIN

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Cevat İNAL
2007, 136 Sayfa

Jüri: Prof.Dr. Cevat İNAL
Yrd.Doç.Dr. Bayram TURGUT
Yrd.Doç.Dr. İbrahimKALAYCI

Bu çalışmada, aralarındaki baz uzunluğu 2.5 km ile 20 km arasında değişen noktaların oluşturduğu yerel bir ağda, GPS ölçülerinin nokta konum doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Bu amaçlı, 2 adet TUTGA, 1 adet AGA ve 5 adet SGA (ikisi aynı zamanda GPS nivelman noktası) noktası kullanılarak, Statik Ölçü Yöntemi ile

253 dakikalık eş zamanlı ölçü yapılmıştır. Bu ölçü süresi LEICA Geo Office Version 2.0 ve yazılımında 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 253 dakikalık ölçü sürelerine ayrılarak değerlendirilmiştir. Bu ölçü süreleri sonunda elde edilen koordinat farkları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında en uygun GPS ölçü zamanı belirlenmiştir. 60 dakikaya kadar olan süre de PDOP değişim aralığının (1.7-4.9 aralığında) fazla olması nedeniyle nokta konum değişiminde sıçramalar gözlenmiştir. 60 dakikadan sonraki ölçü sürelerinde elde edilen konum değişimlerinde azalma gözlenmiştir.

Çalışma alanında statik yöntemle yapılan gözlemlere göre, 60 dakikalık gözlem süresinin istenen konum doğruluğu için yeterli olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: GPS, Doğruluk, Statik Ölçü Yöntemi, WGS84, Hata Kaynakları

ABSTRACT

Masters Thesis

A STUDY ON THE EFFECT OF GPS MEASUREMENT PERIOD ON POINT POSITIONING ACCURACY

Beytullah YALÇIN

Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor: Prof.Dr. Cevat İNAL
2007, Pages: 136

Jurry: Prof.Dr. Cevat İNAL
Yrd.Doç.Dr. Bayram TURGUT
Yrd.Doç.Dr. İbrahimKALAYCI

In this study, we investigated effects on point position's accuracy of GPS measurement which is consist of baseline with variety of between 2.5 km and 20 km in a local network. In this purpose, measurements consisting of 2 TUTGA, 1 AGA and 5 SGA points were carried out simultaneously 253 minutes at static

measurement mode. This measurements were evaluated LEICA Geo Office Version 2.0 software by separating periods with 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 and 253 minutes. The influence of these measurement times on point position's accuracy was investigated by comparing coordinate difference. Finally, it was determined the most proper GPS measurement time. It was observed outliers in the point positon variation owing to wide PDOP span (1.7 – 4.9 interval) in the process which is up to 60 minutes. It was observed that the more incresing measurement time the more decreasing reduction in the position variation which is obtained in the measurement time following 60 min.

According to measurements made by static method in the work area, it was concluded that a measurement period of 60 min is enough for the desirable point position accuracy.

Key Words: GPS, Accuracy, Static Measurement Method, WGS84, Error sources.

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarım süresince, değerli katkılarını esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Cevat İNAL, Sayın Yrd.Doç.Dr. İbrahim KALAYCI, Sayın Yrd.Doç.Dr. Bayram TURGUT olmak üzere, arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr. Ekrem TUŞAT, mesai arkadaşlarım Öğr.Gör. Hasan ÇAĞLA, Öğr.Gör. Fuat BAŞÇİFTÇİ ve Kadınhanı Faik İçil M.Y.O. Harita Kadastro Programı 2006 yılı mezun öğrencilerime, GPS alıcı setlerinin teminini sağlayan Harita Mühendisleri; Mehmet MÜSEVİTOĞLU, Hasan ADAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin bütün aşamalarında, bana sabırla katlanan, desteğini hiç esirgemeyen eşim Ayşe YALÇIN' a ve yeni doğan oğlum Muhammed Eren' e teşekkürü bir borç bilirim.

Konya, 2007

Beytullah YALÇIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. UYDU BAZLI KONUM BELİRLEMENİN TARİHİ GELİŞİMİ VE JEODEZİK REFERANS SİSTEMLERİ	3
2.1. Uydu Bazlı Konum Belirleme Sistemleri	4
2.1.1. Transit	4
2.1.2. Arsgos	4
2.1.3. SLR	4
2.1.4. VLBI	4
2.2. Diğer uydu sistemleri	5
2.2.1.GEOSTAR	5
2.2.2. NAVSAT	5
2.2.3. GLONASS	6
2.2.4. GALILEO	6
2.2.5. DORIS	7
2.2.6. PRARE	7
2.2.7. TOPEX/POSEIDON	7
2.3. Jeodezik Referans Koordinat Sistemleri	7
2.3.1. Gök koordinat sistemi (ECI)	8
2.3.2. Yer merkezli yer sabit koordinat sistemi (ECEF)	11
2.3.3. Ortalama dünya jeodezik sistemi (WGS 84)	14
2.3.4 Uluslararası yersel referans sistemi ITRS ve ağı ITRF	15
2.4. Ülke Nirengi Ağları	18
2.4.1. Türkiye yatay kontrol ağları	19
2.4.2. Türkiye ulusal düşey kontrol ağları	19
2.4.3. Türkiye yatay nirengi ağı ve GPS	20
2.4.4. Türkiye ulusal temel GPS ağı (TUTGA)	22
3. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)	24
3.1. GPS' in Kullanım Alanları	25

3.2. GPS' in Bölümleri 26
3.2.1. Uzay bölümü 27
3.2.2. Kontrol bölümü 29
3.2.3. Kullanıcı bölümü 30
3.3. GPS Uydularının Sinyal Yapısı 30
3.3.1. Sinyal kalite ölçütleri 32
3.4. GPS Uydu Yörüngeleri 33
3.4.1. Yayın efemerisi (Broadcast Ephemeris) 35
3.4.2. IGS hassas efemeris 35
3.4.3. Yayın efemeris ve IGS hassas efemeris arasındaki fark 36
3.5. GPS Ölçmeleri 37
3.5.1. Kod pseudorange ölçüsü 37
3.5.2. Faz uzunluk ölçüsü 39
3.5.3. Kod ve faz ölçüleri arasındaki fark 40
3.6. GPS Ağlarındaki Fark Gözlemleri 40
3.6.1. Tekli fark gözlemleri 41
3.6.2. İkili fark gözlemleri 42
3.6.3. Üçlü fark gözlemleri 43
3.7. GPS Konum Belirleme Yöntemleri 44
3.7.1. Mutlak konum belirleme 45
3.7.2. Bağıl (Relative) konum belirleme 46
3.7.2.1. Statik ölçü yöntemi 48
3.7.2.2. Hızlı statik ölçü yöntemi 49
3.7.2.3. Tekrarlı ölçü yöntemi 50
3.7.2.4. Dur-git (stop and go) ölçü yöntemi: 52
3.7.2.5. Kinematik ölçü yöntemi 52
4. GPS ÖLÇÜ VE HESAP SONUÇLARINA ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI 55
4.1. Düzenli Hatalar 56
4.1.1. Uydulardan kaynaklanan hatalar 56
4.1.1.1. Uydu yörünge hatası 56
4.1.1.2. Uydu saat hatası 57

4.1.2. Alıcılardan kaynaklanan hatalar; 68
4.1.2.1. Alıcı saat hatası 58
4.1.2.2. Alıcı anten faz merkez hatası 59
4.1.3. Ortamdan kaynaklanan hatalar; 60
4.1.3.1. İyonosferik etki 60
4.1.3.2. Troposferik etki 61
4.1.3.3. Başlangıç faz belirsizliği (BFB) etkisi 65
4.2. Düzensiz Hatalar 67
4.2.1. Faz sıçrama ve kesikliği (cycle slip) 67
4.2.2. Sinyal yansıması (multipath) 69
4.2.3. Kullanıcıdan kaynaklanan hatalar 70
5. GPS İLE KONUM BELİRLEMEDE DOĞRULUK VE DUYARLIK ÖLÇÜTLERİ 72
5.1. Doğruluk ve Duyarlık (Hassasiyet) 72
5.1.1. %50 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (LEP, SEP, CEP) 74
5.1.2. %95 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (rms; root mean square) 76
5.2. Duyarlık Kaybı (DOP; Dilution Of Precision) Faktörleri 77
5.3. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri 80
5.3.1. Ağın bir noktasına ait duyarlık ölçütleri 80
5.3.2. Helmert ortalama hata ve güven elipsoitleri 82
5.3.3 Lokal duyarlık ölçütleri 84
5.3.3.1. Bağıl hata elipsoitleri 84
5.3.4. Global duyarlık ölçütleri 85
5.3.4.1. Hacim ölçütü 85
5.3.4.2. Varyans ölçütü 85
5.3.5. Ortalama konum duyarlığı 86
5.4. Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri 86
5.4.1. İç güvenilirlik ölçütü 87
5.4.2. Dış güvenilirlik ölçütü 89
6. BÜYÜK ÖLÇEKLİ HARİTA VE HARİTA BİLGİLERİ ÜRETİM YÖNETMELİĞİ GPS ÖLÇMELERİ 90
6.1. AGA Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi 90

6.1.1. AGA GPS ölçülerinin değerlendirilmesi 91
6.2. SGA Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi 92
6.2.1. SGA GPS ölçülerinin değerlendirilmesi 93
6.3. ASN Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi 93
6.4. Diğer Ülkelerdeki Jeodezik Çalışmalardaki Ölçü Standartları 94
6.4.1. Yeni Zelanda 94
6.4.2. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 96
6.4.3. Almanya 96
6.4.4. Avusturalya 97
7. SAYISAL UYGULAMA 99
8. SONUÇ 125
9. KAYNAKLAR 127

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Gök koordinat sistemi (ECI)	9
Şekil 2.2: Uyduların yörüngedeki hareketi ve Kepler elemanları	12
Şekil 2.3: ECEF koordinat sistemi	14
Şekil 2.4:. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)	23
Şekil 3.1: GPS' in bölümleri	27
Şekil 3.2: GPS uzay bölümü	27
Şekil 3.3: GPS alıcısı	30
Şekil 3.4: GPS uydu sinyal yapısı	31
Şekil 3.5: C/A ve P Kod dalga boyu	32
Şekil 3.6: Kepler yörünge parametreleri	34
Şekil 3.7: IGS ve izleme istasyonları	35
Şekil 3.8: Uydu alıcı uzaklığı	37
Şekil 3.9: Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (ambiguity)	39
Şekil 3.10: Tekli fark gözlemi	41
Şekil 3.11: İkili fark gözlemi	42
Şekil 3.12: Üçlü fark gözlemi	43
Şekil 3.13: Mutlak konum belirleme	45
Şekil 3.14: Bağıl konum belirleme	47
Şekil 3.15: Statik ölçü yöntemi	48
Şekil 3.16: Hızlı statik ölçü yöntemi	49
Şekil 3.17: Merkezsel baz ölçü yöntemi	51
Şekil 3.18: Travers Ölçü Yöntemi	51
Şekil 3.19: Dur git ölçü yöntemi	52
Şekil 3.20: Kinematik ölçü yöntemi	53
Şekil 4.1 :GPS hata kaynakları	55
Şekil 4.2: GPS sinyalinin geçtiği atmosferin yapısı	60
Şekil 4.3: Troposferik gecikme etkisi	62
Şekil 4.4: Başlangıç faz belirsizliğinin geometrik yorumu	66

Şekil 4.5: Sinyal yansıması (multipath) 69
Şekil 5.1: Doğruluk ve duyarlık ilişkisi 72
Şekil 5.2: CEP dairesi 75
Şekil 5.3: Hata elipsoidinin elemanları 82
Şekil 7.1: GPS ağı 99
Şekil 7.2: Çalışma bölgesi 100
Şekil 7.3: GPS görev planlamasına ait DOP grafiği 102
Şekil 7.4: Ölçüye ait DOP grafiği 102
Şekil 7.5: Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişim 114
Şekil 7.6: Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimine ait standart sapmalar 116
Şekil 7.7: Ölçü sürelerine göre noktaların konum değişim ve regresyon analizi 120

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1: WGS 84 parametreleri 15
Çizelge 2.2: GRS80 ve WGS84 Temel elipsoid parametrelerinin Karşılaştırılması 16
Çizelge 2.3: GRS80 ve WGS84 Türetilmiş temel elipsoid parametrelerinin karşılaştırılması 17
Çizelge 2.4: WGS-84(G863) ile ITRF-94 arasındaki dönüşüm parametreleri 18
Çizelge 2.5: Ülke sistemi ile GPS sisteminin karşılaştırılması 20
Çizelge 3.1: GPS uydu sinyal bileşenleri 32
Çizelge 3.2: Fark gözlemleri 44
Çizelge 3.3: Uydu sayısı ile ölçü süresi ilişkisi 50
Çizelge 4.1: IGS yörünge doğrulukları 57
Çizelge 4.2: Deneysel katsayılar 63
Çizelge 4.3: Islak ve kuru bileşen büyüklükleri 64
Çizelge 4.4: Mutlak konumlamada hata kaynaklarının standart GPS ölçü ve sonuçlarına etkileri 71
Çizelge 5.1: Boyuta bağlı olarak olasılık faktörleri 77
Çizelge 5.2: DOP faktörleri 78
Çizelge 5.3: Kabul edilen DOP limitleri 79
Çizelge 5.4: Yatay konum doğruluğuna ilişkin yaklaşık eşitlikler 79
Çizelge 5.5: Serbestlik derecesine göre hata elipsoidinin istatistik güveni 84
Çizelge 5.6: Kısmi redundanz miktarlarının kabul edilebilirliği 88
Çizelge 6.1: Üç boyutlu gözlemlerdeki %95 Güven aralığında doğruluk standartları 95
Çizelge 6.2: Üç boyutlu doğruluk standartları 95
Çizelge 6.3: FGCC Doğruluk standartları 1988-1989 96
Çizelge 6.4: Almanya'daki mühendislik ölçmeleri standartları 97
Çizelge 6.5: ICSM' e göre yatay kontrol ağlarının sınıflandırılması 97

Çizelge 6.6: ICSM' e göre düşey kontrol ağlarının sınıflandırılması 98
Çizelge 7.1: 253 Dakikalık ölçü süresi sonunda elde edilen baz uzunlukları 100
Çizelge 7.2: GPS gözlemlerinde kullanılan alıcı ve anten tipleri 101
Çizelge 7.3: GPS ölçü parametreleri 101
Çizelge 7.4: Planlama Parametreleri 103
Çizelge 7.5: GPS görev planlamasına ait DOP değerleri 103
Çizelge 7.6: Ölçülere ait DOP değerleri 104
Çizelge7.7: GPS baz çözüm parametreleri 105
Çizelge 7.8: 253 dakikalık ölçü süresi için baz çözüm sonuçları 106
Çizelge 7.9: GPS dengeleme parametreleri 107
Çizelge7.10a,b,c,d,e,f,g: Noktaların kartezyen koordinatlarına ait standart sapmaların ölçü sürelerine göre değişimi 107
Çizelge 7.11a,b,c,d,e,f,g: Noktaların φ, λ ve h ait standart sapmaların $(\sigma_\varphi, \sigma_\lambda, \sigma_h)$ ölçü sürelerine göre değişimi, 109
Çizelge 7.12 a,b,c,d,e,f,g: Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimi ve standart sapmaları 111
Çizelge 7.13: Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi (dP_i) 119
Çizelge 7.14: Noktalara ait *m, n ve* korelasyon (*R)* katsayıları 122
Çizelge 7.15: Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi ve regresyon Doğrusu üzerideki değeri 123

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AGA: Ana GPS Ağı Noktaları

ASN: Alım için Sıklaştırma Ağı ve Noktaları

BFB: Başlangıç faz belirsizliği

BÖHYY: Büyük Ölçekli Harita Yapım Yönetmeliği

CEP: Circular Error Probable

CTRS: Conventional Terrestrial Reference System

C/A kod: Coarse/Acqusition Code

DGPS: Diferansiyel GPS

DoD: Department of Defence

DOP: Dilution Of Precision

DORİS: Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite

drms: distance root mean square

2drms: twice the distance root mean square

ECEF: Eart-Centered Eart-Fixed Coordinat System

ECI: Earth Cenered Inertial Coordinate System

ED50: European Datum 1950

EKK: En Küçük Kareler Yöntemine

FAA: Federal Aviation Administration

FARA: Fast Ambiguity Resolution Approach

FASF: Fast Ambiguity Search Fitler

FRP: Federal Radionavigation Plan

GDOP: Geometrik Dilution of Precision

GLONASS: GLObal NAvigation Satellite System

GPS: Global Positioning System

GRS80: Geodetic Reference System 1980

GZK: Gerçek Zamanlı Kinematik

HDOP: Horizontal Dilution of Precise

IGS: International GPS Service for geodynamics

ITRF: International Terrestirial Reference Frame

LEP: Linear Error Probable

LSAST: Least Ambiguity Search Tecnique

NAVSTAR: GPS Navigation Satellite Timing and Ranging

OMEGA: Optimal Metod for Estimating GPS Ambiguity

PDOP: Position Dilution of Precision

P-kod: Precision Code

PPS: Precise Positioning Service

PRARE: Precise Range And Range rate Equipment

PRN: Pseudo Random Noise

RDOP: Relative Dilution of Precision

rms: root mean square

SEP: Sherical Error Probabale

SGA: Sıklaştırma GPS Ağı ve Noktaları

SLR: Satellite Laser Ranging

SNR: Signal Noise Residue

SPS: Standard Positioning Service

TEC: Total Electron Content

TDOP: Time Dilution of Precise

TM: Transversal Mercator

TUTGA: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı

TUTGA-99: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999

UTC: Universal Time Clock

VEC: Vertical Electron Content

VDOP: Vertical Dilution of Precise

VLBI: Very Long Baseline Interferometry

WGS84: World Geodetic System 1984

3B: üç boyutlu

2B: iki boyutta

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki bir noktanın üç boyutlu konumunun belirlenmesi işlemi, klasik yersel sistemlerle belirlenmekle birlikte teknolojideki gelişmeler GPS (Global Positioning System) kullanımına olanak sağlamaktadır.

GPS ile konum belirleme işlemi; uydulardan yayınlanan radyo dalgaları yardımıyla, uydu ile yeryüzündeki noktalar arasındaki uzaklığın belirlenmesi, diğer bir değişle uzayda geriden kestirme işlemidir. Bu konum bilgileri gerek uydu sinyallerinden ve atmosferik koşullardan, gerekse ortamdan kaynaklanan etkilerden dolayı hatalarla yüklüdürler. Bu hatalar çeşitli ölçü yöntemleri uygulanarak ve matematiksel modeller geliştirilerek giderilmekte veya minimum düzeye indirilmektedir. Ayrıca birden fazla alıcı yardımıyla fark alma yöntemi kullanılarak uydudan gönderilen L1 ve L2 taşıyıcı dalga frekanslarının oluşturduğu duyarlı sonuçlar bulunur.

GPS yöntemi navigasyon amaçlı kullanımı yanında, dünya nirengi ağının oluşturulması ve bunların sıklaştırılması, global ve bölgesel yer kabuğu hareketlerinin ve mühendislik ölçmeleri ile deformasyon ölçmelerinin belirlenmesi, dünyanın çekim alanının belirlenmesi gibi jeodezik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

GPS ile konum belirleme çalışmaları diğer mesleklerde olduğu gibi çoğunlukla harita sektöründe ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. GPS konum belirlemesi tekniğinin, yerel gözlem tekniklerine göre gerek zaman gerekse maliyet ve iş gücü bakımından bir ekonomi sağlamakla birlikte doğruluk bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Yıldırım'ın (2002), Statik GPS Gözlemleri Kullanılarak Elde Edilen Baz ve Nokta Koordinat Duyarlıkları üzerine yapmış olduğu çalışmada; 1 km' lik ölçü bazında X ve Y yönünde 6 mm, Z yönünde 11 mm duyarlık elde edilmiş olup yapılan çalışmada kısa ve orta mesafeli bazları içeren bağıl GPS uygulamalarında yersel yöntemlere göre kıyaslanamayacak kadar doğruluk elde edildiği görülmüştür. *koh* (karesel ortalama hata) miktarlarından X ve Y yönünde en büyük ± 10 mm ile yükseklikte $\pm 12{,}3$ mm hassayiyete ulaşılmıştır. Baz uzunluğuna bağlı olmaksızın X ve Y yönündeki duyarlıklar aynı sınırlar içinde kalmakla beraber, Z yönündeki

duyarlık yaklaşık iki kat daha kaba değerler içermektedir. 2 km kadar olan bazlarda düzeltme miktarlarında çok fazla dalgalanma görülmeyip, 2 km den uzun bazlarda mesafe arttıkça dalgalanma özelliği Z yönünde artmıştır. GPS uygulamalarında baz uzunluğunun mümkün olduğunca 10 km yi geçmemesi sağlanmalıdır, eğer baz uzunluğu 15 km den büyük alınacaksa ölçü süresi 1 saatten fazla tutulmalıdır. Fakat küçük bazlarda uydu sayısına göre ölçü süresi 5-6 dakika sınırında tutulabilir.

Tuşat'ın (2003), yapmış olduğu; Büyük Ölçekli Harita Yapımında Jeodezik Amaçlı GPS Ölçü ve Hesap Standartlarının Araştırılması çalışmasında, yedi noktadan oluşan GPS ağında, baz uzunluğu 7,5-31 km olan beş noktada farklı zamanlarda 40'ar dakika ve 90-120 dakikalık gözlemeler yapılmıştır. 1,5-2 saat lik gözlemler ile 40 dakikalık gözlemlerden elde edilen koordinat farklarının 0,025 m' nin altında kaldığı, ağın en uzak noktasının hesabında 20 km ile 31 km arasında değişen bazlar hesaba girmiş olup doğu batı (y ekseni) bileşenindeki farkın 0,093 m' ye ulaştığı görülmüştür. Bu çalışmada 20 km' den kısa bazlar da 40 dakikalık süre ile sonuca ulaşılabilmiştir.

Bu çalışmada; yerel bir ağda GPS ölçü süresinin nokta konum doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Ölçü, iki TUTGA, bir AGA (Ana GPS Ağı noktası) ve beş SGA (Sıklaştırma GPS Ağı ve noktaları) olmak üzere toplamda sekiz adet nirengi noktasında Statik Ölçü Yöntemi ile eş zamanlı yapılmıştır. Noktalar arasındaki baz uzunluğu yaklaşık 2,5 km ila 20 km arasında değişmektedir. Eş zamanlı ölçü söz konusu olduğundan dolayı atmosferik koşullar gözardı edilmiştir. Ölçü; 3 adet Leica System 1200 ve 2 adet System 300 ile 3 adet Ashtech Z Surveyor tipi alıcılar ile yapılmıştır. Uygulama için aynı tip alıcı imkanı olmadığından, farklı GPS alıcıları kullanılmıştır. Bundan dolayı alıcı farklılığından kaynaklanacak hatalar gözardı edilmiştir. Alıcılar ticari amaçlı olup, yayın efemeris bilgileri kullanılmıştır. Ölçülerde yine ticari amaçlı Leica Geosystems Office Version 2.0 yazılımında değerlendirilmiştir. Bu çalışmada GPS ölçmelerinde arzu edilen hassasiyete bağlı olarak optimum ölçü süresi belirlemeye çalışılmıştır. Çünkü gereğinden fazla yapılan ölçü, emek ve ekonomik olarak kayıplara neden olur. Gereğinden az yapılan ölçü ile arzu edilen konum hassasiyetine ulaşılamaz.

2. UYDU BAZLI KONUM BELİRLEMENİN TARİHİ GELİŞİMİ VE JEODEZİK REFERANS SİSTEMLERİ

Konum belirleme tarihin ilk zamanlarından beri insanoğlu için önemli yer tutmaktadır. Eski çağda insanlar gerek göçebe halinde gerekse toplu halde yaşamaktaydılar. Yırtıcı hayvanlardan korunma, avlanma, birbiriyle alışverişleri, göç vb nedenlerden dolayı konum belirleme önemli hale gelmiştir. Yaşadıkları bölgeler dışına çıkarken geçtikleri yol boyunca taş, kaya gibi cisimler ve bunlar üzerine işaretler konarak gitmiş oldukları yolu bulabilme imkanı bulmaktaydılar. Denizlerde gökyüzünde bulunan gök cisimlerinden yararlanarak yönlerini ve bulundukları yerleri belirlemekteydiler. Teknolojideki hızlı ilerlemeye paralel olarak uydulardan yararlanarak konum belirleme isteği daha da artmıştır. Yapılan ölçülerin hızlı ve kısa sürede bitirilmesi, elde edilen sonuçların beklenenden daha iyi olması gerek navigasyon, gerekse bilimsel çalışmalarda uydu bazlı konum belirleme fikri önemli yer teşkil etmektedir.

İlk olarak SPUTNİK yapay uydusunun 1957 yılında uzaya gönderilmesi ile uydu bazlı konum belirleme çalışmaları başlamıştır.

Konum belirleme; duran veya hareket halindeki cisimlerin koordinatlarının elde edilmesidir. Konum belirleme iki kısımda incelenir;

- Mutlak konum belirleme; herhangi bir noktanın belirli bir başlangıca ve ekseni bilinen koordinat sistemine göre belirlenmesine denir.
- Bağıl konum belirleme; herhangi bir noktayı başlangıç kabul ederek koordinat merkezi olarak alıp, diğer noktaların bu noktaya göre konumlarının belirlenmesidir.

Herhangi bir yörüngede bulunan yapay uydudan yansıyan veya gönderilen bir elektromanyetik dalga birtakım işlemden sonra yeryüzündeki noktaların koordinatlarının belirlendiği sisteme Extraterrestial Konum Belirleme Sistemi denir. Daha önceleri bu tür konum belirlemede optik sistemler ve radyo dalgaları ile uzaklık ölçüm sistemleri kullanılmaktaydı (Yıldırım 2002). Günümüzde; Transit, Argos, GPS bilimsel çalışma amaçlı SLR, VLBI kullanılmaktadır Bu sistemlerden başka Geostar, NAVSAT, GLONASS, GALİLEO, DORIS, PRARE, TOPEX/POSEIDON uydu sistemleri de konum belirlemede gelişmiş sistemler.

2.1.Uydu Bazlı Konum Belirleme Sistemleri

2.1.1. Transit

Sputnik 1 uydusu yörüngesinde iken uydudan gönderilen radyo dalgaları Doppler değişimleri irdelenerek uyduların yörüngeleri saptanır. Sistem üç ana bölümden oluşur; uzay bölümü, kontrol ve uydu izleme istasyonları ,

2.1.2. Argos

Bu sistem 1978 yılında uygulamaya konulmuş olup, Doppler değişimi kullanılmaktadır. Sistemde uydular alıcı görevi üstlenip alıcılar uyduların kendisi olup, kullanıcılar dalga yayıcıları çalıştırır.

2.1.3. SLR

SLR (Satellite Laser Ranging) sistemi, yer istasyonunda üretilen kısa ve yoğun dalgalı lazer sinyali uyduya gönderilir. Uyduda bulunan yansıtıcılar yardımıyla, gelen lazer sinyali tekrar yer istasyonlarına geri gönderilir. t_1 lazer sinyal çıkış zamanı, t_2 dönüş zamanı ve c ışığın boşluktaki hızı olmak üzere, uydu ile yer istasyonu arasındaki uzaklı L,

$$L = c.\frac{t_2 - t_1}{2} = c.\frac{\Delta t}{2} \tag{2.1}$$

eşitliği ile hesaplanır.

SLR sistemi günümüzde bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılır. Sistemde uyduların uzun ömürlü olması, iyonosferden az etkilenmesi gibi nedenlerden dolayı günümüzde uzun mesafelerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca yer istasyonlarının konumları, yörünge elemanları ve sapmalar aynı anda belirlenmektedir.

2.1.4. VLBI

VLBI (Very Long Baseline Interferometry) sistemi, extraterrestrial sistemlerin en hassasıdır. VLBI sistemi, gökyünde kuazar veya kompakt adı verilen cisimden

yeryüzünde tesis edilmiş iki yer antenine gönderilen radyo sinyalleri alınır. İşte bu radyo sinyallerinin çıkışı ile ulaşması arasındaki zaman farkın ölçülmesidir. *b* iki yer anteni arasındaki baz vektörü, *s* radyo sinyal kaynağı doğrultusundaki vektör, *c* ışığın boşluktaki hızı olacak şekilde ölçülen grup gecikmesinin asal bileşeni geometrik gecikmedir,

$$\rho = \frac{b.s}{c} \tag{2.2}$$

eşitliği ile hesaplanır.

VLBI sistemi ile; yer tektoniğinin, bölgesel deformasyon ile yerel yükselme ve çökmelerinin, gök referans sistemlerinin, yer dönme hızındaki değişimlerin ve bir günün uzunluğunun belirlenmesi, yer referans sisteminin belirlenmesi ve iyileştirilmesi, Güneş ve Ay'ın yer üzerindeki çekim kuvvetlerinin ölçülmesi, Atmosferik modellerin geliştirilmesi, kutup gezinmesi bileşenlerinin (X_p, Y_p) belirlenmesi, günlük aberasyon, nutasyon, presesyonun belirlenmesi sağlanır (Kahveci ve Yıldız 2005).

2.2. Diğer uydu sistemleri

2.2.1.GEOSTAR

Sistem 1983 yılında uygulamaya konulmuş olup, merkez terminalde bütün konum belirleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu sistem eş zamanlı uydular ile merkezi bilgisayar ve hareketli kullanıcılar arasındaki bağlantıyı sağlarlar sinyaller uyduya gönderilir, uydular bu sinyalleri kullanıcı terminaline tekrar iletir. Benzer kodlu sinyaller kullanıcı terminali tarafından uydulara gönderilir. Sinyallerin almış olduğu yol hesaplanır.

2.2.2. NAVSAT

Sistem GPS benzer bir yapıya sahiptir. Basit bir uydu ve kullanıcı birimiyle çalışır. NAVSAT uydular, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Sistemde uydular , 6 kontrol istasyonundan oluşan bir ağdan alınan sinyalleri tekrar

değerlendirir. Her istasyon C bandlı sinyali kullanarak sürekli sinyaller yayar. Uydulardan biri uzaklaşırken kontrol diğer uyduya geçer. Uyduların tamamı aynı frekans üzerinden yayın yaparlar. Uyduların yeri yörüngeleri üzerinde sürekli değişmektedir. Sabit ve ilave ekliptik yörüngelerdeki 6 uydu kuzey yarımküreyi, ilave 6 uydu tüm dünyayı kapsayacaktır (Eren ve Uzel 1995).

2.2.3. GLONASS

GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System) sistemi; Sovyet Rusya tarafından ABD karşı geliştirilmiş olan konum belirleme sistemidir. 3 yörüngede aktif 21, yedek 3 uydu ile C/A kod üzerinden 100 m, P kod üzerinden 10-20 m doğrulukla konum belirleme imkanı sunan bir Rus Küresel konum Belirleme Sistemidir. 0.5625 MHz aralıklarla 25 kanallı, L bant üzerinden iki frekans bandı (1602.5625 - 1615.5 MHz ve 1240 - 1260 MHz) kullanılmaktadır.Cesium saatlerle donatılmış. 19,100 km de dairesel ve 64.8 derece eğiklikli yörüngelerin her birinde 8 uydu yörüngelerini 11s 15d da tamamlar. Çalışma süreleri 2 yıldır (Çorumluoğlu 2000). Günümüzde çift frekanslı GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 48 uyduya erişim olanağı mevcuttur. Böylece konum belirleme ve navigasyon amaçlı çalışmalarda önemli bir özelliktir. Bununla birlikte vadi, orman gibi sınırlı uydu görüş olanağı bulunan yerlerde önemli bir katkı sağlayacaktır.

2.2.4. GALILEO

GPS sistemi günümüzde aktif olarak navigasyon amaçlı kullanılan sistemlerdendir. Arama kurtarma, araç takibi, acil servis faaliyetleri gibi alanlarda tek GPS den faydalanılmaktadır. Avrupa ülkelerinin GALILEO sistemini hayata geçirmek istemesinin amacı; ABD'nin kontrolünde olan bir sisteme bağlı kalmamaktır (Nardon 2002). URL1'e (2004) göre, Avrupa'daki uydu navigasyon sistemi kullanıcılarının, konumlarını belirlemek için Amerika'nın GPS ve Rusya'nın GLONASS uydularını kullanmaktan başka alternatifleri bulunmamakla birlikte, bu sistemler üzerinde tasarruf hakkına sahip olan askeri otoriteler, sağlanan hizmetin devamını garanti edememektedirler. Avrupa komisyonu ve Avrupa uzay dairesi

kontrolü daima sivil otorite altında bunacak sürekli işlem görmesi garanti edilen GALILEO sistemini oluşturmuşlardır (Gökalp ve Boz 2006). GALILEO sisteminde uydular üç yörünge düzlemine dağılacak olup, her yörünge düzleminin eğim açısı 56^0 lik eğim açısı ile, kutup bölgeleri de dahil olmak üzere herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır.

2.2.5. DORIS

DORİS (Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite) sisteminin amacı; duyarlı yörünge belirlemek olmakla birlikte jeodezik ve jeofizik amaçlı konum belirleme olanaklarına da sahiptir.

2.2.6. PRARE

PRARE (Precise Range And Range rate Equipment) sistemi; yeryüzüne farklı frekansta , 2.2 GHz (S-band) ve 8.5 GHz (X-band) sürekli yayın yapılmaktadır. Her iki sinyal uzaklık ölçümünde kullanılan ve yer istasyonu için efemeris bilgisi içeren PRN (Pseudo Random Noise) kod ile modüle edilmektedir.

2.2.7. TOPEX/POSEIDON

Sistemin amacı; okyonus akıntılarının ve gel-git hareketlerinin uzaydan yapılan ölçümlerle belirlenmesidir. Buradan elde edilen veriler global okyanus çalışmalarına, dünya iklim araştırma programına ve global atmosfer programına altlık oluşturmaktır (Kahveci ve Yıldız 2005).

2.3. Jeodezik Referans Koordinat Sistemleri

Yeryüzünün kendi ekseni etrafında ve Güneş'in etrafında dönmesi ile Ay'ın ve gökyüzüne fırlatılmış yapay uyduların yeryüzünün etrafında dönmesiyle oluşan yörünge hareketleri sonucunda koordinat ve zaman sistemleri oluşmaktadır. Koordinat sistemi; başlangıç noktasının konumu, koordinat eksenlerinin doğrultuları

ve konumları, sisteme ait herhangi bir noktanın konumunu belirten parametrelerle belirlidir. Referans sistemi ise çok geniş anlam ifade etmekte olup, yerin fiziksel yapısı ve gravite alanını içerir.

Bilimsel ve pratik gereksinimler, referans sistemlerinin uluslararası organizasyonlarla oluşturulmasını zorlamıştır. Önceleri Uluslar arası Zaman Bürosu BIH tarafından yürütülen çalışmalar, 1 Ocak 1988 tarihinden sonra Uluslar arası Yer Dönme Servisi IERS tarafından sürdürülmektedir (Deniz ve ark. 2003)
IERS' nin temel amaçları, astronomi, jeodezi ve jeofizik araştırmalarına ve uygulamalarına,

- Uluslararası Göksel Referans Sistemi (ICRS) ve bunun somutlaştırması Uluslararası Göksel Referans Ağı (ICRF)
- Uluslararası Yersel Referans Sistemi" ITRS ve bunun somutlaştırması Uluslararası Yersel Referans Ağı (ITRF)
- Yerin dönme hızındaki değişimleri incelemek için ICRF ve ITRF arasındaki dönüşüm için gereken yer dönme parametreleri
- ICRF, ITRF veya yer dönme parametrelerindeki ve modellerindeki değişimleri Uzay-Zaman değişmeleri olarak yorumlamak için jeofiziksel veri
- Uluslararası işbirliğini cesaretlendiren standartlar, sabitler ve modeller sağlamaktadır.

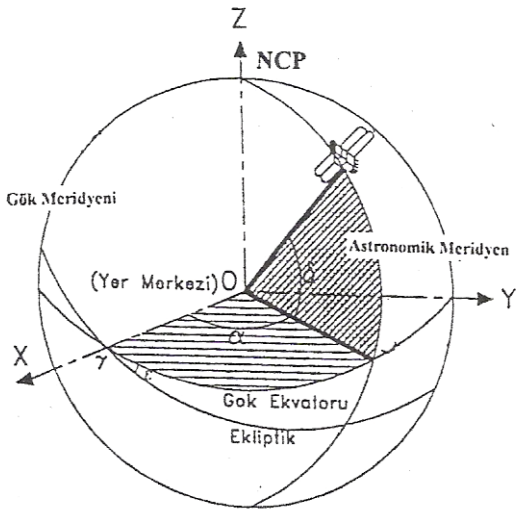
2.3.1 Gök koordinat sistemi (ECI)

Yeryüzünün sonsuza kadar genişletilmesiyle oluşan küreye Gök küresi denir. Yeryüzü bu Gök küresinin merkezinde yer alır. Aynı zamanda bu sisteme, Yer merkezli inersiyal koordinat sistemi (ECI; Earth Cenered Inertial Coordinate System) denir.

Dünyanın dönme ekseni uzatıldığında Gök küreyi kuzey ve güney kutup noktalarında keser. ECI koordinat sisteminde XY düzlemi Yer ekvator düzlemi ile çakışır. +X ekseni Gök küreye belli bir doğrultuda sabit olup, +Y ekseni sağ el koordinat sistemi oluşturacak şekilde seçilmiştir. +X ve +Y eksenlerinin oluşturduğu düzleme *Gök Ekvator Düzlemi* denir. Kutuplardan geçen ve ekvator düzlemine dik

olan büyük daire yayına *Gök Meridyeni* denir. Güneşin merkezi ile Dünya ve Ay'ın ağırlık merkezinden geçen düzleme *ekliptik* denir. (Şekil 2.1)

Müeller'e (1977) göre, ekliptik gök ekvatorunun ekinoksları birleştiren hat boyunca keser. Güneş'in ilkbaharda güneyden kuzeye geçişindeki kesişme noktası γ ilkbahar ekinoksunu, Gök ekvatoru ile ekliptik arasındaki açıya ε eğim açısı denir (Ersoy 1997).



Şekil 2.1: Gök koordinat sistemi (ECI)

Gök koordinat sistemine ekliptik koordinat sistemide denir. Güneş'in ve Ay'ın çekim etkisinden dolayı Dünya'nın kutbu sabit olmayıp hareketlidir, bu hareketler presesyon (precession) ve nutasyon (nutation) olarak tanımlanır. bu koordinat sistemi gezegenleri güneş ve dünya sistemleri üzerindeki etkileri nedeniyle dönme ekseninin yavaşça hareket etmesi yanında yaklaşık yılda 0,5" bir dönme hareketinde bulunmaktadır. Bu hareket çoğu zaman dikkate alınmayacak kadar küçüktür (Dilaver 1997).

Gök küresi içinde bulunan bir gök cisminin dik koordinatları, gök koordinat sisteminin δ^E ekliptik enlemi ve α^E boylamı bilinmesi halinde dik koordinatları;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cos\delta^E.Cos\alpha^E \\ Cos\delta^E.Sin\alpha^E \\ Sin\delta^E \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

bağıntısı ile elde edilir.

Yalnızca presesyon etkisi dikkate alındığında durumda elde edilen ekvator düzlemi ve ekinoks konumuna ortalama ekvator ve ortalama ekinoks olarak adlandırılmaktadır. Nutasyon etkisinin ortalama ekvator ve ortalama ekinoks elde edilmektedir. Presesyon ve nutasyon hareketlerinin çözümü için koordinat sistemi eksenlerinin yönlendirilebilmesi belirli bir epoğa göre tanımlanmaktadır. ECI koordinat sistemi 01 Ocak 2000 tarihi 12:00 UTC zamanında (J2000.00 olarak ifade edilmekte) ortalama ekvator ve ekinoks ile çakışık kabul edilmektedir. Bu şekilde hesaplanan ortalama yada anlık koordinatlar yıldız koordinatları olarak adlandırılır (Yıldırım 2002). Ortalama yıldız koordinatları, t_0 (J2000) referans epokundan t gözlem epokuna presesyon matrisi,

$$P = R_3.(-z).R_2.(\theta).R_3.(-\xi) \tag{2.2}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada R_1=R_x, R_2=R_y, R_3=R_z olarak kabul edilip, JD_b başlangıç epoku ile JD_s son epok arasındaki zaman aralığı t olup asrı biriminde ölçülmektedir,

$$t = \frac{(JD_s - JD_b)}{36525} \tag{2.3}$$

eşitliği ile verilmektedir. T_u ise,

$$T_u = \frac{JD_b - 2451545{,}0}{36525} \tag{2.4}$$

eşitliği ile julyen asrı biriminde hesaplanır. (z, θ, ξ) presesyon parametrelerinin belirtmekte olup,

$$\begin{aligned} z &= 2306''.2181.t + 1'',09468.t^2 + 0,''018203.t^3 \\ \theta &= 2004''.3109.t + -0'',42665.t^2 - 0,''041833.t^3 \\ \xi &= 2306''.2181.t + 0'',30188.t^2 + 0,''017998.t^3 \end{aligned} \tag{2.5}$$

elde edilir.

Ortalama Gök koordinatlarından anlık gerçek ekvator ve ekinoks (gerçek Gök koordinatlarına) dönüşüm ise istenen ölçü epoku için nutasyon matrisi,

$$N = R_1.(-\varepsilon - \Delta\varepsilon).R_3.(-\Delta\psi).R_1.(\varepsilon) \tag{2.6}$$

ile hesaplanır. Eşitlikte ε ekliptik eğimini, $\Delta\varepsilon$ ekliptik eğimindeki nutasyonu, $\Delta\psi$ boylamdaki nutasyonunu belirtmektedir,

$$\varepsilon = 23^0 26'21'',448 - 46'',815.T_u - 0'',00059.T_u^2 + 0'',001813.T_u^3$$
$$\Delta\varepsilon = 9'',2025.\cos\Omega + 0'',5736.\cos(2F - 2D + 2\Omega) + 0'',0927.\cos(2F - 2\Omega) \quad (2.7)$$
$$\Delta\psi = -17'',1996.\sin\Omega - 1'',3187.\sin(2F - 2D + 2\Omega) - 0'',227.\sin(2F - 2\Omega)$$

eşitlikleriyle bulunur. Burada $\Delta\Omega$ Ay'ın yükselen düğüm noktasının ortalama boylamını, D Güneş ve Ay'ın ortalama boylamları arasındaki fark, F Ay'ın ortalama enlem argümanını ifade etmekte olup,

$$\Omega = 125^0 02'40'',280 - 1934^0 08'10'',539.T_u + 7'',455.T_u^2 + 0'',008.T_u^3$$
$$D = 297^0 51'01'',307 + 445267^0 06'41'',328.T_u - 6'',891.T_u^2 + 0'',019.T_u^3 \quad (2.8)$$
$$F = 93^0 16'18'',877 + 483202^0 01'03'',137.T_u - 13'',257.T_u^2 + 0'',011.T_u^3$$

eşitlikleri ile hesaplanır (Kahveci ve Yıldız 2005).

2.3.2. Yer merkezli yer sabit koordinat sistemi (ECEF)

Yer yuvarı için inersiyal sistem olduğu kabul edilen yersel koordinat sisteminin orjin noktası, dünyanın gravite yada ağırlık merkezinde olduğu kabul edilmektedir. bu koordinat sisteminin; Z ekseni olarak dünyanın dönme ekseni, X ekseni olarak astronomik başlangıç meridyeni ile ekvator düzlemlerinin arakesit doğrusu ve Y ekseni olarak da bu eksenlere kesişme noktasında (yerin ağırlık merkezinde) dik olan ve sağ el kuralına uyan bir eksen alınmaktadır. Her bir eksenin pozitif yönleri; orijin noktasında dışa doğru ve sağ el kuralına uygun tarzda seçilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bu koordinat sistemleri daima jeosentrik sağ bir sistem olmaktadır (Dilaver 1997). Bu sisteme Yer Merkezli Yer Sabit Koordinat Sistemi (ECEF; Eart-Centered Eart-Fixed Coordinat System) yada CTRS (Conventional Terrestrial Reference System) denir.

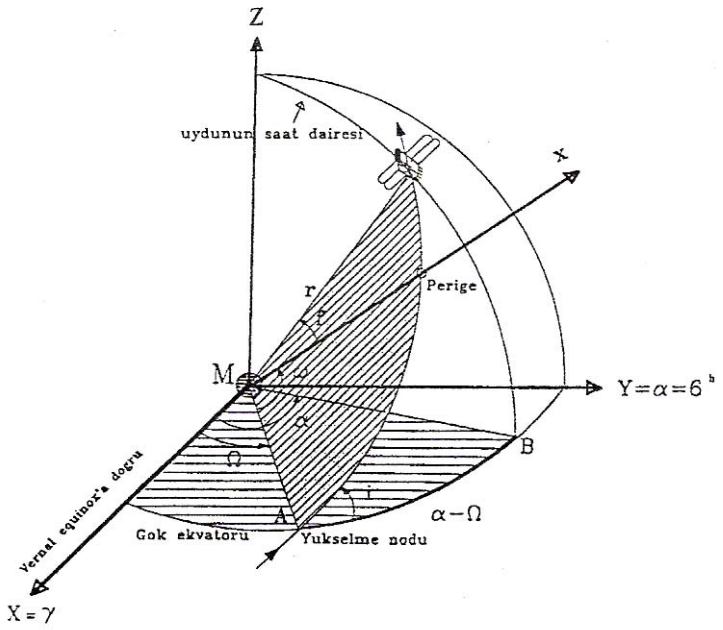
Herhangi bir uydunun ECEF koordinat sisteminde koordinatlarının hesaplanabilmesi için, öncelikle yörünge koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. Uyduların hareketleri Kepler kanunları ile açıklanır. Zamana bağlı olarak hesaplanan uyduların yörüngeleri ve uzay koordinatları 6 Kepler elemanı $(K = \Omega, \omega, i, a, e, M)$ ile tanımlanır (Şekil 2.2). a ve b yörünge elipsinin büyük ve küçük yarı eksenleri olmak üzere, e yörünge elipsinin birinci eksantritesi,

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (2.9)$$

eşitliği ile E eksantrik anomali, M orta anomali,

$$M = E - \sin E \tag{2.10}$$

hesaplanır.



Şekil 2.2: Uyduların yörüngedeki hareketi ve Kepler elemanları

f gerçek anomali olamak üzere, uydu yörünge koordinat sistemindeki düzlem koordinatları (X, Y, Z),

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = r.\begin{bmatrix} \cos f \\ \sin f \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a.(\cos E - e) \\ a.\sqrt{1-e}.\sin E \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

matrisi ile hesaplanır. Daha sonra uydu yörünge koordinatlarını ECEF koordinatlarına dönüştürmeden önce α, β, γ dönüklük açıları,

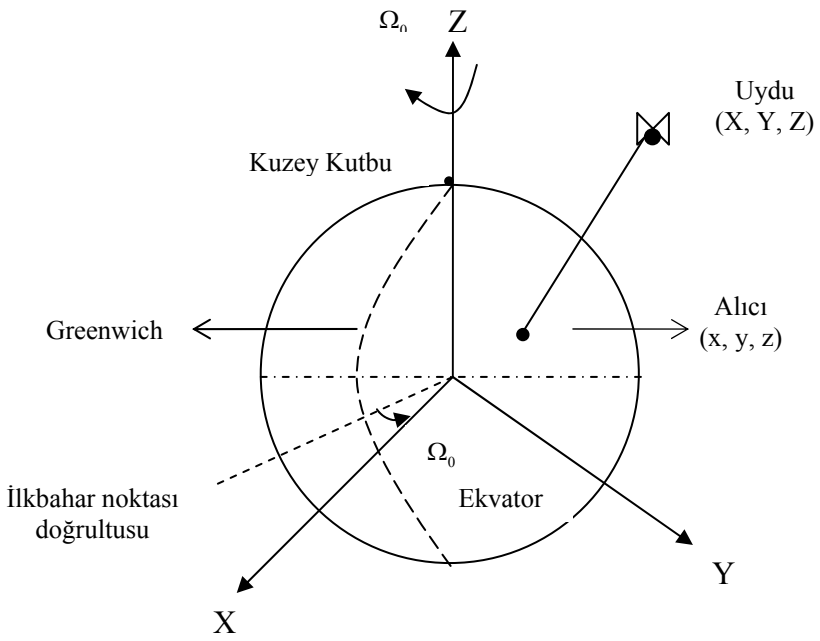
$$\underline{R}_1(\alpha)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha\\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha\end{bmatrix}$$
$$\underline{R}_2(\beta)=\begin{bmatrix}\cos\beta & 0 & -\sin\beta\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\beta & 0 & \cos\beta\end{bmatrix} \qquad (2.12)$$
$$\underline{R}_3(\gamma)=\begin{bmatrix}\cos\gamma & \sin\gamma & 0\\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

(2.13) matrisleri ile tanımlıdır.

Şekil 2.3'de *x,y,z* yer merkezli yer sabit koordinatları (ECEF), *X, Y, Z* uydu yörünge sistemindeki koordinatlar, *i* yörünge elipsini tanımlayan eğim açısı, ω elipsin dönüklüğü, *t* t_o'dan itibaren geçen zaman (perige geçiş zamanı), Ω uydunun güneyinden kuzeye geçiş noktasının açınım açısı (yükselme modu) olacak biçimde (2.12) eşitliğindeki dönüklük matrisleri yardımıyla Kepler elemanları,

$$\begin{bmatrix}x\\ y\\ z\end{bmatrix}=\underline{R}_3(\omega)\underline{R}_1(i)\underline{R}_3(\Omega)\begin{bmatrix}X\\ Y\\ Z\end{bmatrix} \qquad (2.13)$$

eşitliği ile ECEF koordinatlarına dönüştürülür (Ersoy 1997, Kahveci ve Yıldız 2005).



Şekil 2.3: ECEF koordinat sistemi

ECEF koordinat sisteminin temel amacı; GPS ölçü yapan ve bunun sonucunda zamana bağlı koordinat elde eden kullanıcının ulaşabileceği uygun bir referans sistemi oluşturmaktır. ECEF koordinat sistemi, yerin kitle merkezi ile çakışıktır. X ekseni ortalama Greenwich meridyeni ile çakışık olup doğrultusu sıfır derece boylamıdır. Y ekseni 90^0 Doğu boylamı doğrultusundadır ve sağ el koordinat sistemi oluşturmaktadır Z ekseni kuzey kutbu doğrultusunda Ekvator düzlemine diktir.

2.3.3. Ortalama dünya jeodezik sistemi (WGS84)

Başlangıçta TRANSİT doppler gözlemlerine dayalı olarak geliştirilmiş olup, 1987 yılından itibaren uydular için hassas efemeris hesaplamalarında WGS84 sistemi kullanılmaya başlanmıştır. GPS ile yeryüzündeki herhangi bir noktanın konumunun belirlenmesinde WGS84 referans sistemi olarak kullanılmaktadır.

WGS84 sisteminde noktaların koordinatları *X, Y, Z* kartezyen koordinatları veya enlem, boylam ve elipsoital yükseklik (φ, λ, H) ile tanımlıdır. Bu koordinat sisteminden yararlanarak yeryüzünde yapılan uydu gözlemlerinin tanımlandığı ve

daha ileri ölçme uygulamalarına cevap verecek WGS84 datumunu oluşturan yer merkezli dönel elipsoit olan WGS-84 elipsoidi tanımlanmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: WGS84 parametreleri

Parametre Adı	**Sembol**	**Büyüklüğü**
Dönel Elipsoidin Büyüklüğü	a	6378137.0 m
Yerçekim Sabiti	GM	3986004.418 x $10^{8} m^{3} sn^{-2}$
Yerin Ort. Açısal Hızı	w	7292115.0 x $10^{-11} rad / sn$
Basıklık	f	1/298.257223563

2.3.4 Uluslararası yersel referans sistemi ITRS ve ağı ITRF

Uluslararası Astronomi Birliğinin (IAU) 1991'deki toplantısında ITRS'in tanımı; (Deniz ve ark. 2003)

- ITRS, dönmeyen jeosentrik sistemden özel dönmelerle bir kartezyen sisteme geçişe yol gösterecek,
- Dönmeyen jeosentrik sistem, IAU'nun önerileri doğrultusunda bir Jeosentrik Referans istemi olacak,
- ITRS'nin koordinat-zamanı hem GRS ve hem de Jeosentrik Koordine Zamanı TCG olacak,
- Sistemin orijini okyanus ve atmosferi de içeren yerin kütle merkezi olacak,
- Sistem, yer yüzeyindeki yatay hareketlere göre global artık dönmelere sahip olmayacak

yapılmıştır.

WGS-84, A.B.D. Savunma Bakanlığı Harita Dairesi (NIMA, eski adıyla DMA) tarafından ulusal datum olarak tanımlanmıştır. Temel olarak Doppler-Transit uydu gözlemlerine dayalı olarak geliştirilen bu datum için, birkaç küçük değişiklik dışında GRS-80 elipsoidi temel alınmıştır. GRS-80, 1979 yılında Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği tarafından referans elipsoidi olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen bu referans elipsoidi dünyada birçok ülkede temel refereans elipsoidi olarak kullanılmaya başlanmış ve Uluslarası Yersel Koordinat Sistemi (ITRF) için de referans elipsoidi olarak seçilmiştir (URL9).

ITRS'nin ideal gerçekleştirmesi, noktalarının üç boyutlu Kartezyen koordinatlarıyla Uluslar arası Yersel Referans Ağı ITRF'dir. ITRF'in içeriği;

- İstasyonların kartezyen koordinatları ve hızları
- İstasyonların kataloğu
- DOMES istasyon kimlik numaraları
- Lokal bağlantılar
- Güncelleştirmeler: ITRF 89, ITRF 90, ITRF 91, ITRF 92, ITRF93, ITRF 94, ITRF 95, ITRF96, ITRF 97, ITRF 2000

dir.

ITRF 2000'in datumu aşağıdaki esaslar çerçevesinde tanımlanmıştır:

a) Ölçek değişimi, tüm SLR ve VLBI çözümlerinin ağırlıklı kombinasyonuyla tanımlanmıştır. Genel relativitenin kullanılması sonucu, Yersel Zaman TT ölçeğindeki değişim, 0.7*10-9 büyüklüğünde fark oluşturmuştur. Bu ölçek değişimi, ITRF 94 ve dolayısıyla ITRF 96, ITRF 97 nin yeniden ölçeklendirilmesini gerektirmektedir.

b) Yönelme, ITRF 97 nin referans epoku 1997'deki yönelme olarak alınmıştır. Bu amaçla seçilen istasyonlar;

- en az 3 yıl sürekli gözleme sahip,
- deformasyon bölgelerinden uzakta ve rijit plaka üzerinde bulunan,
- hız hatası 3mm/yıl'dan daha iyi olan,
- en az üç farklı çözümden bulunan hız hataları 3mm/yıl'dan daha iyi olan,
- sınırlamalarını sağlayan istasyonlardır

(Deniz ve ark. 2003).

GRS80 elipsoidi tanımında Dinamik Form Faktörü yada 2. derece zonal küresel harmonik katsayısı unnormalize (J_2) olarak ifade edilirken, WGS-84'de bu katsayı normalize ($C_{2,0}$) olarak ifade edilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2: GRS80 ve WGS84 Temel elipsoid parametrelerinin karşılaştırılması

Parametre	**Notasyon**	**Birim**	**GRS80**	**WGS84**
Büyük Yarı Eksen	a	m	6378137	6378137
Açısal Hız	w	rad/s	7292115E-11	7292115E-11
Gravitasyonel Sabit	GM	m^3/s^2	3986005E8	3986005E8
2nci Derece Zonal Harm. Katsayısı			Normalize J_2 108263E-8	Normal. Olmayan Katsayı $C_{2,0}$ -484.16685E-6

GRS80 ve WGS84 türetilmiş temel ellipsoid parametrelerinin karşılaştırılması Çizelge 2.3 de verilmiştir.

Çizelge 2.3: GRS80 ve WGS84 Türetilmiş temel elipsoid parametrelerinin karşılaştırılması

Parametre	**Notasyon**	**Birim**	**GRS80**	**WGS84**
Basıklık	F		0.00335281068118	0.00335281066474
Kutupsal Eğrilik Yarıçapı	c	m	6399593.6259	6399593.6258
Basıklık Tersi	1/f		298.257222101	298.257223563
Küçük Yarı Eksen	b	m	6356752.3141	6356752.3142
Birinci Eksantrisite Karesi	e^2		0.00669438002290	0.00669437999013

WGS-84 A.B.D. Savunma Bakanlığı Harita Dairesi (NIMA) tarafından tanımlandığından, bu datumda kullanılan noktalara ait gözlemler dünyada ortak olarak kullanılan birçok GPS, SLR, VLBI noktaları hariç sivil kullanıcılara açık değildir Bu nedenle, kullanılan nokta kümesi diğer sistemlerle farklılık göstermektedir. Ancak WGS-84 ulusal bir datum olması dışında, GPS uydu yörüngelerinin bu datumda yayınlanması nedeniyle, bu sistemin diğer sistemlerle ilişkisinin tanımlanması ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla 1991 yılında 24 IGS noktası ile 10 NIMA noktası koordinatları kullanılarak yapılan hesaplamalarla NIMA noktalarının koordinatları yeniden hesaplanmış, NIMA noktalarının ITRF-91'e göre 10 cm. doğrulukla hesaplanmış bu koordinatlarından oluşan iyileştirilmiş sisteme WGS-84 (G730) adı verilmiştir. Daha sonra benzer işlem 1996 yılında tekrarlanmış ve bu şekilde 5 cm. doğrulukla ITRF-96'ya yaklaşan sisteme WGS-84 (G873) adı verilmiştir. Zaman zaman NIMA tarafından iki sistem arasındaki farklar karşılaştırılmakta, bu amaçla da IGS hassas yörüngeleri (ITRF) ile, GPS uydularına 'upload' edilen efemeris bilgileri (WGS-84) ve helmert dönüşümü kullanılmaktadır. 1997 yılında elde edilen dönüşüm parametreleri Çizelge 2.4 de verilmektedir (URL9).

Çizelge 2.4: WGS-84(G863) ile ITRF-94 arasındaki dönüşüm parametreleri

X ekseni etrafındaki dönüklük	ε_X = 0.1 (mas)
Y ekseni etrafındaki dönüklük	ε_Y = -0.2 (mas)
Z ekseni etrafındaki dönüklük	ε_Z = 0.1 (mas)
X ekseni yönündeki öteleme	t_X = 0.0 (cm)
Y ekseni yönündeki öteleme	t_Y = 0.4 (cm)
Z ekseni yönündeki öteleme	t_Z = 0.6 (cm)
Ölçek	k = -0.5 (ppb)

Datum dönüşümü ile ilgili temel formülasyon aşağıdaki gibidir :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_X \\ t_Y \\ t_Z \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

2.4. Ülke Nirengi Ağları

Ülke nirengi ağları; jeodezik çalışmalar ve araştırmalar amacıyla ülkenin tamamını kapsayacak ve birbirine göre uygun dağılımda olacak şekilde belirlenen noktalardan oluşmuştur.

Ülke nirengi ağlarının amaçları; o ülkede yürütülecek toplumsal, askeri ve ekonomik faaliyetlerle birlikte bir ülkenin kalkınmasında her türlü plan ve projelere doğrudan veya dolaylı yoldan yardımcı olmaktır.

Gürkan'a (1985) göre, ülke nirengi ağına ihtiyaç duyulan bazı somut faaliyetler örnekleri şu şekilde sıralanır;

- Ülke temel haritalarının yapımı güncelleştirilmesi,
- Ulusal savunma,
- Her türlü kadastro çalışmaları,
- İmar uygulamalarında,
- Arazi bilgi sistemi,
- Doğal kaynakların envanterinin hazırlanmasında,
- Kentsel ve kırsal alan planlanması
- Arazi kullanılmasının denetlenmesi,
- Yapay uydu yörünge analizleri,

- Yeryuvarının gravite alanının belirlenmesi,
- Yer yuvarının geometrik biçimi ve büyüklüğünün belirlenmesi,
- Yer dinamiği parametrelerinin belirlenmesi,
- Depremlerin önceden kestirilmesi,
- Enerji nakil hatlarının oluşturulmasında,
- Karayolu, demiryolu vb. yol yapımında,
- Sulama kurutma işlerinde,
- Endüstri tesislerinin montajı ve denetimi,
- Sanat yapılarının yapım ve denetlenmesinde (Tuşat 2003),

Ülke temel jeodezik ağları; Yatay kontrol ağları, düşey kontrol ağları ve Gravite ağları olarak sıralayabiliriz.

2.4.1. Türkiye yatay kontrol ağları

2005 yılı BÖHHBÜY Madde 8-b göre;Türkiye yatay kontrol (nirengi) ağı ve bu ağa dayalı olarak yersel tekniklerle üretilen ağların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir; (URL6)

- I.Derece ağ ve noktalar: Kenar uzunluğu 25-35 km olan noktalar,
- II. Derece ağ ve noktaları: Kenar uzunluğu 10-30 km olan noktalardır.
- III. Derece ağ ve noktaları: Kenar uzunluğu 4-5 km olan noktalar ile BÖHYY' ye göre oluşturulan ortalama 5 km kenar uzunluğundaki III. Derece ağlar ve noktaları.
- IV. Derece ağ ve noktaları: BÖHYY' ye göre oluşturulan ara, tamamlayıcı ve dizi nirengi noktalarından oluşur.
- V. Derece ağ ve noktaları: Poligon ağları ve noktaları

2.4.2. Türkiye ulusal düşey kontrol ağları

2005 yılı BÖHHBÜY Madde 8-c'ye göre; bu ağa dayalı olarak oluşturulan düşey kontrol ağlarının derecelendirilmesi şu şekildedir; (URL6)

- I.Derece nivelman ağı ve noktaları: Ülke nivelman ağı ve noktaları
- II.Derece nivelman ağı ve noktaları: Ülke nivelman ağı ve noktaları

- III.Derece nivelman ağı ve noktaları: En çok 40 km uzunluğundaki luplarla üst derece ağlara dayalı sıklaştırma ağı ve noktaları. Ana nivelman ağı.
- IV. Derece nivelman ağı ve noktaları: En çok 10 km uzunluğundaki luplarla üst derece ağlara dayalı sıklaştırma ağı ve noktaları. Ara nivelman ağı.
- V. Derece Nivelman ağı ve noktaları: Poligon ve tamamlayıcı nivelman ağı ve noktaları.

2.4.3. Türkiye yatay nirengi ağı ve GPS

Büyük ölçekli harita yapımında ve ülkemizde jeodezik ağların sıklaştırılmasında uydu bazlı konum belirleme sistemi olan GPS teknikleri kullanılmaya başlanmıştır.

Arslan'a (1997a) göre, jeodezik ağların kurulması, nokta koordinatlarının belirlenmesi, yatay ve düşey konum bileşenlerinin birlikte ele alınarak Uydu tekniklerinin konum belirleme çalışmalarında kullanılmaya başlaması ile birlikte farklı bir boyut kazanmıştır. GPS yöntemi ile noktaların WGS84 (World Geodetic System-84) datumundaki 3 boyutlu koordinatları, yersel yöntemlerden daha kısa zamanda ve hassas şekilde belirlenebilmektedir.

WGS84 sistemi, GPS uydularının yörünge bilgilerinin tanımı için Amerika Savunma bakanlığı tarafından oluşturulan ve uydu navigasyon sistemi temelini oluşturan yersel üç boyutlu koordinat sistemidir. Uluslararası yersel koordinat sistemi olarak kabul edilir. Uydulardan alınan noktalara ilişkin konum bilgileri WGS84 dünya jeodezik sistemi 84 referans elipsoidinde hesaplanmaktadır (Şişman ve Dilaver 2005).

Çizelge 2.5: Ülke sistemi ile GPS sisteminin karşılaştırılması

	Ülke Sistemi	**GPS**
Datum	ED50	WGS84
Elipsoit	Uluslar arası Hayford 1910	WGS84(GRS80)
Koordinatlar	2B	3B
Projeksiyon	TM,UTM	TM,UTM

Çizelgede görüleceği üzere ülke ve GPS sistemlerinde gerek datum ve elipsoit, gerekse koordinat bakımından farklılık gösterir (Çizelge 2.5). Ülke sisteminde

herhangi bir noktanın iki boyutta (2B) Avrupa datumu ED50 (European Datum 1950) uluslararası Hayford elipsoidine dayalı, TM (Transversal Mercator-3^0 Gauss Krüger) projeksiyonunda sağa ve yukarı değer olarak tanımladığımız yatay koordinatlar ile ortometrik yükseklikten oluşmaktadır. GPS sisteminde ise; WGS84 (World Geodetic System 1984) datumunda, üç boyutlu (3B) elipsoit merkezli X,Y,Z kartezyen koordinatları ile elipsoital φ, λ, h yada sağa, yukarı ve h olarak elde edilir.

Çelik'e (2000) göre, WGS84 sistemi ülkemizde jeodezik amaçlı çalışmalarda kullanılmayan bir koordinat sistemidir. Şuan kullanılmakta olan WGS84 sistemine çakışık olan ve GRS80 (Geodetic Reference System 1980) elipsoidini kullanan ITRF (Uluslararası Yersel Referans Sistemi-International Terrestirial Reference Frame) sistemi kullanılmaktadır. Önceleri ülkemizde bulunan beş adet SLR (Satellite Laser Ranging) noktasıyla ve yeni kullanıma giren TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) ile kullanılmaktadır. TUTGA ülkemizdeki uydu tekniklerine bağlı olarak kullanılan GPS kullanımının alt yapısını oluşturmaktadır. (Tuşat 2003)

BÖHHBÜY Madde 8-a göre; uzay ve uydu teknikleri ile oluşturulan üç boyutlu ağların ve noktaların derecelendirilmeleri aşağıdaki gibidir;

- A Derece ağlar ve noktaları: Global (ITRF, WGS84) ve bölgesel ağlar ve noktaları.
- B Derece ağlar ve noktaları: Uluslararası veya bölgesel ağlara dayalı Ulusal GPS ağı ve noktaları (TUTGA).
- C Derece ağlar ve noktaları: B derece ağın sıklaştırılması ile oluşan ağlardır ve aşağıdaki alt derece ağ ve noktalardan oluşur:
  - C1 derece ağ ve noktaları; üst derecedeki ağlara dayalı, baz uzunluğu 15-20 km olan ağ ve noktalardır. (Ana GPS Ağı Noktaları-AGA)
  - C2 derece ağlar ve noktaları; üst derecedeki ağlara dayalı, ortalama kenar uzunluğu 5 km olan ağ ve noktalardır. (Sıklaştırma GPS Ağı ve Noktaları-SGA)
  - C3 derece ağlar ve noktaları; üst derecedeki ağlara dayalı, en büyük baz uzunluğu 3 km olan ağ ve noktalardır. (Alım için Sıklaştırma Ağı ve Noktaları-ASN)
  - C4 derece ağlar ve noktaları; üst derecedeki ağlara dayalı poligon ağı ve noktaları ile poligon bağlanabilen fotogrametrik noktalarıdır. (URL6)

2.4.4. Türkiye ulusal temel GPS ağı (TUTGA)

Hızlı nüfus artışı ve kentleşme, kalkınmaya yönelik alt yapı hizmetlerine olan gereksinimi artırmıştır. Özellikle kadastrosunun sayısal anlamda, doğru ve en kısa sürede tamamlanmasını zorunlu kılmıştır. Günümüzde, özellikle uzay teknikleri, sayısal teknikler ve bilgisayardaki baş döndürücü coğrafi bilgi ve belgelerin üretim yöntemleri ile bunlardan beklenen doğruluklarda değişmiştir. Coğrafi bilgi sistemlerinin temelini oluşturan geometrik ve öznitelik bilgilerinin söz konusu modern teknikler kullanılarak yüksek duyarlıkla ve güvenilir olarak belirlenmesi ve bu bilgilerin Ülke Temel Jeodezik Ağlarına dayalı olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için ülke yüzeyini yeterli sıklıkta kaplayan üç boyutlu koordinatları istenen doğrulukta belirlenmiş noktalardan oluşan ve uydu tekniklerine dayalı bir temel jeodezik ağa gereksinim duyulmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

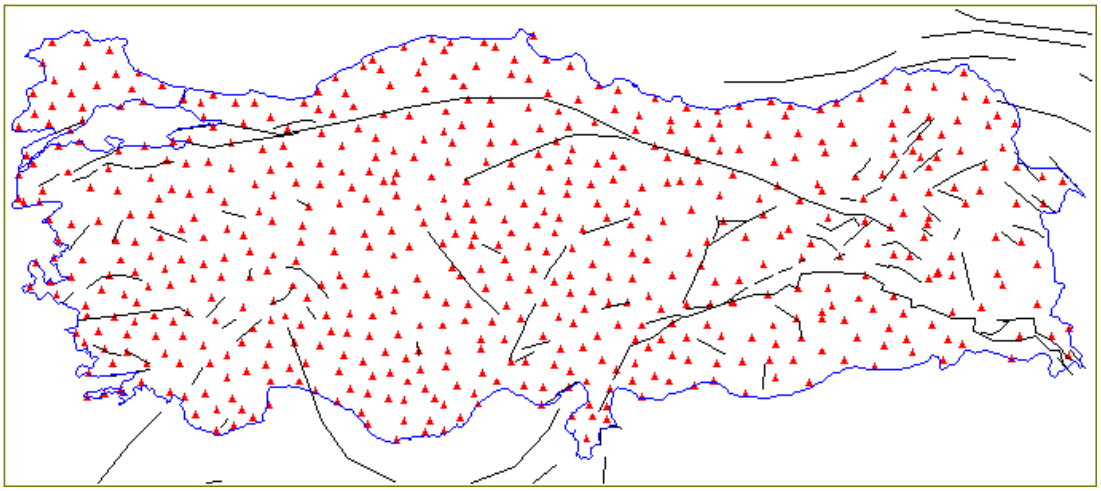
Ortalama 10 milyon insanın yaşadığı büyük metropollerden en küçük köy yerleşimine uzanan bir yelpaze içinde savunma, kadastro, imar, tarım, ulaştırma başta olmak üzere arazi ile ilgili tüm faaliyet ve projelerin sağlıklı olarak planlanması ve yürütülmesi,

- Yüksek duyarlıkta,
- Uydu tekniklerine dayalı,
- Herkesin ulaşabileceği sıklıkta,
- Homojen bir referans sisteminde,
- Üç boyutlu

Temel GPS ağın süratle tesis edilmesi, mevcut altyapı ile ilişkilendirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Geçen zaman içinde önemli ölçüde tahribata uğrayan bu noktaları bulmak ve ulaşmak önemli bir sorun oluşturmaktadır. Uydu jeodesinin modern yöntemleri, Jeodeziyle, klasik jeodezik tekniklerle şimdiye kadar erişilemeyen yeni olanaklar ve hedefler getirmiş ve bu hedeflere hızlı, verimli ve ekonomik yoldan ulaşma olanağı sağlamıştır. Halen bağlı olduğumuz iki boyutlu konum koordinatlarını kapsayan Avrupa datumu (ED-50) yerine, bir çok Avrupa ülkesi gibi ülkemizde de global referans sistemlerine bağlı yeni bir Jeodezik Temel Ağ oluşturma ihtiyacı doğmuştur (URL2).

Yeni kurulacak jeodezik temel ağın; GPS teknolojisine dayalı, üç boyutlu jeosentrik koordinat sisteminde, belirli bir zamanda (epok), her noktasındaki koordinat ((X,Y,Z) veya (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği)), hız ((V_X, V_Y, V_Z) veya $(V_\varphi, V_\lambda, V_h)$), ortometrik yükseklik (H) ve jeoit yüksekliği(N) bilinen, ülke yüzeyine olabildiğince homojen dağılmış, ulaşımı kolay ve birbirini görme zorunluluğu olmayan noktalardan oluşan, jeodezik konum belirleme, navigasyon ve dinamik amaçlarla kullanıma uygun, ED50 datumundaki Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağı ile arasında dönüşümü sağlanan bir ağ olması öngörülmüştür (Tuşat 2003).

Bu özellikleri sağlayan jeodezik temel ağın kurulması amacıyla ölçme ve değerlendirme çalışmaları 1997-1999 yılları arasında Harita Genel Komutanlığı tarafından tamamlanmış olup oluşturulan bu ağa Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) denilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)

3. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

ABD tarafından 1973 yılında uydulara dayalı NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System) konum belirleme sisteminin devreye sokulması konum belirlemede yeni ufuklar açmıştır. GPS başlangıçta ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri amaçlı geliştirilmiş olup, 1990'lı yılların başından itibaren jeodezik amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. GPS'in günümüzde kullanımı her alanda gittikçe artmakta olup haritacılık çalışmalarında konum belirlemenin vazgeçilmez teknolojisi haline gelmiştir. Günümüzde GPS yalnızca askerî amaçlarla değil, aynı zaman da sivil ve bilimsel amaçlar için de kullanılmaktadır. (URL3).

Uydu sinyalleri yardımıyla dünyanın her tarafında, her türlü hava koşulunda WGS84 koordinat sistemi içinde anında ve yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirlemeye yarayan bir navigasyon sistemidir. GPS sistemiyle dünyanın her yerinde çok kısa zamanda daha hassas sonuçlar alınması amaçlanmıştır. Bunun için daha önceki sistemlere ek olarak bazı yenilikler eklenmiştir. Bunlar (Eren ve Uzel 1995) ;

- Dopplerde kullanılan 400 Mhz lik taşıyıcı frekans 1547,42 Mhz'e yükseltilmiş, böylece daha geniş band sinyal modülasyonu dsağlanmıştır.
- Uydular dünya üzerinden daha geniş açılar ile izlenilebilmesi için 20 200 km'ye yerleştirilmişler, böylece dünyanın çekim etkisi de azaltılmıştır.
- Uydu saatlerinin güvenilirliği 10^{-15} saniye mertebesine yükseltilmiştir

Uydu teknikleri ile konum belirleme yöntemlerinden Global Positioning System (GPS), uydulardan yayınlanan radyo sinyaller yardımıyla noktalar arası görüş olmaksızın her türü hava koşullarında, gece-gündüz, süratli, doğru ve ekonomik olarak üç boyutta konum belirleme sistemidir. Sistemin amacı; yörüngeleri bilinen uydulardan eş zamanlı olarak gönderilen sinyalleri yardımıyla noktaların konumlarını mutlak olarak belirleyebildiği gibi, bağıl uzaklıkların ölçülmesi ile noktaların konumları duyarlı bir şekilde belirlemektir (Ersoy 1997).

3.1. GPS' in Kullanım Alanları

Wells'e (1986) göre, GPS gibi uzayda konum belirleme sistemlerinin en önemli ve benzersiz özelliklerinden biri, konum belirlemede kullanılan sinyallerin, dünyanın herhangi bir yerindeki kullanıcılar tarafından her an kullanılabilir olmasıdır. Bu nedenle sistem tam olarak kullanıldığında, geniş bir kullanıcı kitlesine hizmet verecektir (Erküçük 1994).

GPS konum belirleme uygulamalarının, sivil amaçlı kullanım alanlarını sıralayacak olursak;

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

şeklinde sıralanabilir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Yeryüzünün şekil, gravite alanı jeodezi bilimi tarafından belirlenir. Zamana bağlı olarak okyanus hareketleri, Ay ve güneşin etkisi, tektonik hareketler gibi kuvvetlerden dolayı yeryüzünün şekli ve gravite alanı değişime uğramaktadır (Chen 1991). İşte bu hareketleri GPS yardımıyla üç boyutlu olarak ölçülebilmektedir. Klasik jeodezik ölçü yöntemlerine göre her türlü hava koşulunda ve noktaların birbirini görme zorunluluğu olmadan yapılmaktadır.

Michael' e (1991) göre; klasik yöntemlerle kadastro ölçmeleri, özellikle kırsal alanlarda hem çok zaman almakta, hem de doğruluk düşmektedir. Poligon ağlarının kapanmasında büyük güçlükler ile karşılaşılmaktadır. GPS bu gibi alanlarda büyük kolaylık ve yüksek doğruluk sağlamaktadır (Erküçük 1994).

GPS' in diğer klasik ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında üstün tarafları şu şekilde sıralanırsa (Tuşat 2003);

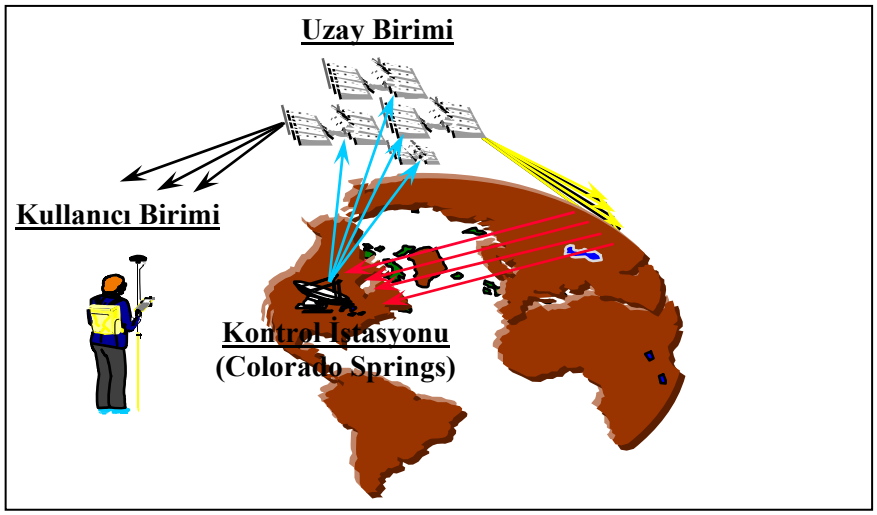
- Noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GPS alıcı anteninin uydu sinyalini izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her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

GPS' in dezavantajlarına bakacak olursak; Tünel gibi kapalı alanlarda, sualtında ve binaların yoğun olduğu yerleşim yerlerinde GPS ile sonuç alınamaz. Uyduyu görebilmesi için açık alan olması gerekir. Yoğun yağışın olduğu havada, güçlü radyo yayınının yapıldığı ya da yayın antenlerinin olduğu yerlerde verimli değildir. (URL5)

3.2. GPS' in Bölümleri

GPS konum belirleme sistemi üç ana bölümden oluşur (Şekil 3.1).

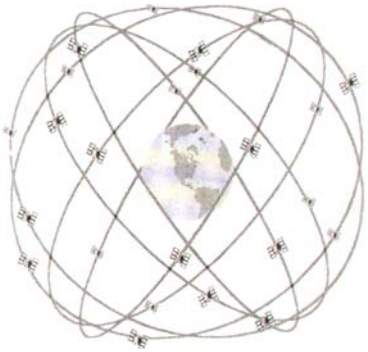
- Uzay Bölümü
- Kontrol Bölümü
- Kullanıcı Bölümü



Şekil 3.1: GPS' in bölümleri

3.2.1. Uzay bölümü

Uzay bölümü uydular ve bunlara ait yörüngelerden oluşur. Uydular ekvatorla 55^0 lik eğim açısı yapan, yeryüzünden yaklaşık 20 200 km uzaklıktaki 6 yörüngeye yerleştirilmişlerdir. Bu yörüngelerde 21 tane asıl, 3 tane yedek olmak üzere toplam 24 tane uydu bulunmaktadır. Fakat Ekim 2000 tarihinden itibaren bu uydu sayısı 28 olmuştur. Bu uydular bulundukları yörünge boyunca 12 saatte bir tam devir yaparlar. GPS uydularının tanımlanmaları; katolog numaraları, fırlatma sıraları veya PRN (Pseudo Random Noise) numaraları ile olur.



Şekil 3.2: GPS uzay bölümü

GPS konum belirleme amaçlı ilk olarak şu an yörüngede olmayan Blok I uyduları fırlatılmıştır. Bu uydular 1985 yılında,toplamda 11 adet fırlatılmışlardır. Blok II uyduları 1989-1990 yılları arasında 9 adet fırlatılmıştır. 1990-1995 yılları arasında19 adet Blok IIA uydusu fırlatılmıştır. Bunlar uydular arası haberleşme olanaklarına sahip olup, bazılarında laser ölçümlerine olanak veren reflektörler bulunmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

Global Positioning System Block IIR (GPS IIR-M) uydularının uçuş operasyonları ve yörüngeye yerleştirilmesinden de Lockheed Martin şirketi sorumlu. Halen ilk 12 Block IIR uydusuyla birlikte, IIR-M uzay araçlarından 3 tanesi de uzayda bulunuyor ve toplam 30 uzay aracından oluşan GPS konstelasyonunu teşkil ediyorlar. Block IIR-M serisi uydulardan herbiri yerdeki alıcılara daha yüksek bir sinyal gücü sunan modernize bir anten paneline sahip. Bu uydularda ayrıca arttırılmış hassasiyet, güçlendirilmiş kriptolama ve elektronik bozmaya karşı koruma sağlayan iki yeni tür askeri sinyal ile farklı bir frekanstan sivil kullanıcılara açık(şifresiz) erişim sağlayan ikinci bir sinyal daha bulunuyor.

Daha önce 17 kasım 2006 tarihinde üçüncü GPS IIR-M başarıyla yörüngeye yerleştirilmiş ve 12 aralık tarihinde de hem sivil hem de askeri kullanıcıların hizmetinde olan bu GPS uydu filosunu işletmekte ve idare etmekte olan Kolorado'da Schriever Hava Üssü'ndeki ABD hava kuvvetleri ikinci uzay operasyonları birliği (2 SOPS) tarafından faaliyete girdiği ilan edilmişti. Dördüncü GPS Block IIR-M uydusu da 2007 sonlarına doğru fırlatılmaya hazırlanmak üzere Cape Canaveral'a teslim edildi. Geri kalan uydular da Hava kuvvetleri istediğinde yörüngeye sokulmak üzere teslim edilmiş durumda beklemekteler. Bu uydular yakın gelecekte kritik durum farkındalığı ve hassas silah yönlendirme gibi kritik askeri hizmetlerin yanı sıra, taşıdıkları hassas yer ve zaman bilgileri ile hava trafik kontrolundan internete sivil ve ticari konularda da sayısız işlev üstlenecekler.

Yeni sistem eskisinden farklı olarak seyrüsefer kullanıcısı saha hatası değerlendirmesi ile GPS doğruluk hesaplaması da yaptığından Block IIR uyduları gerekli donanıma sahip kullanıcılarını global olarak dünyanın her noktasında hassas zaman, hız, enlem, boylam ve irtifa bilgileriyle 1 m içinde kalan bir hassasiyet derecesiyle bilgilendiriyor.

1999 yılında GPS teknolojisinin modernizasyonu projesi başlatılmıştır. Bu projenin amacı dünyanın çevresine yeni frekansları içeren, yeni teknoloji GPS uydularının yörüngeye oturtulmasıdır (URL7).

Bu modernizasyon projesinin ilk ürünü olan GPS 2R-M1 uydusu, 25 Eylül 2005 tarihinde Cape Caneveral üssünden fırlatıldı. Bu uydu L2 frekansı üzerinde sivil L2C sinyali yayınlayan ilk uydudur. Diğerleri 2006 yılından itibaren yörüngelerine yerleştirilecektir. L2C sinyallerinin etkisi, ilk uydu ile birlikte görülmeye başlanacaktır. Bu sinyal L2 ölçmelerinizi daha güvenilir kılacak, ve bu sinyali almaya göre üretilmiş alıcılarınız daha güçlü GPS sinyallerini izleyecektir. Bir sonraki adım ise 2007 yılından itibaren fırlatılacak Block IIF uydularıdır. Bu uydular L1 ,L2 taşıyıcılarının yanı sıra, üçüncü bir taşıyıcı frekansı olan L5 özellikli olacaktır. Bu frekansla birlikte RTK çalışmalarında yeni ufuklar açılacaktır. Ama en önemlisi daha güçlü GPS sinyalleri ile daha zor fiziksel şartlarda çalışılabilecek olunabilmesidir. GPS uydularına ek olarak Avrupa Birliği tarafından atılacak Galileo uyduları da tamamen uyumlu olacağı için, uydu adetlerinde de büyük bir artış olacaktır (URL8).

3.2.2. Kontrol bölümü

GPS uyduları, hassas atomik saatlerle donatılmış; Ascension, Colarado Springs, Diego Garcia, Hawai, Kwajalein olmak üzere 5 sabit izleme istasyonu ve Cope Conaverol yer anteni istasyonundan izlenmektedir.

İki gruptan oluşan bu istasyonların amacı; uyduların sağlıklı çalışıp çalışmadıkları, toplanan verilerin değerlendirilmesi, uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saat düzeltmelerinin hesaplanması, toplanan verilerin analizi ile uydu yörüngelerinin parametreleri ile uydu saat düzeltmesi parametrelerini belirlemek ve zaman farklarını uydulara iletmektir (Ersoy 1997).

Wells ve ark' na (1987) göre, uydular zamanla bozucu etkilere maruz kalmaktadırlar. Yani çok azda olsa yörüngelerinden sapmaktadırlar. Bu uydular kontrol bölümü tarafından gerekli manevralar ile tekrar yörüngelerine oturtulurlar. Bu işlem için gerekli enerji uyduların güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisinden sağlanmaktadırlar (Yıldırım 2002).

3.2.3. Kullanıcı bölümü

Kontrol noktaları üzerine kurulan GPS alıcıları kullanıcı bölümünü oluşturur. GPS alıcısı; alıcı anteni, alıcı, kayıt ünitesi (Şekil 3.3) ve güç kaynağı bölümlerinden oluşur (Leick 1990). Ayrıca alıcı setinde veri ve enerji akışını sağlayan kablolar, radyo modemi ve taşıma çantası vb. aksesuarlar yer alır.

Alıcı setleri ticari firmalar tarafından üretilip ve uygun olarak yazılım geliştirilmişlerdir. Ashtech, Leica, Sokkia, Zeiss, Topcon, Java, Trimble vb. alıcı ve yazılım üreten firmalara örnek olarak belirtebiliriz.

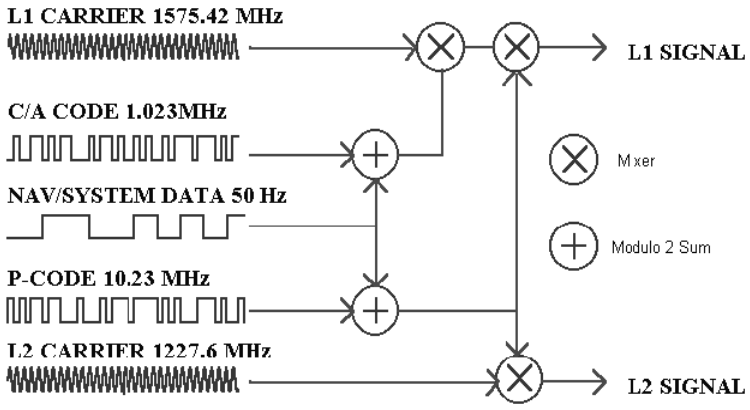
Alıcıların anlık üç boyutlu (3D) konumları belirleyebilmesi için en az 4 veya daha fazla uydudan sinyal alması gerekmektedir. Çünkü 3 uydu konum tespiti için, 1 uyduda uydu alıcı saat farkını çözmek için gereklidir. Böylece alıcılarla yeryüzündeki noktaların konumları belirlenir (Ersoy 1997)



Şekil 3.3: GPS alıcısı

3.3. GPS Uydularının Sinyal Yapısı

Her GPS uydusu , ana ve kontrol istasyonlarında hesaplanan ve yer antenleri aracılığı ile gönderilen kendi yörüngesine ait bilgileri alır ve düzeltilmiş saat bilgileri ile birlikte Şekil 3.4'de L_1=1575,42 Mhz ve L_2=1227,60 Mhz olmak üzere iki temel frekans üzerinden sinyal yayınlar.

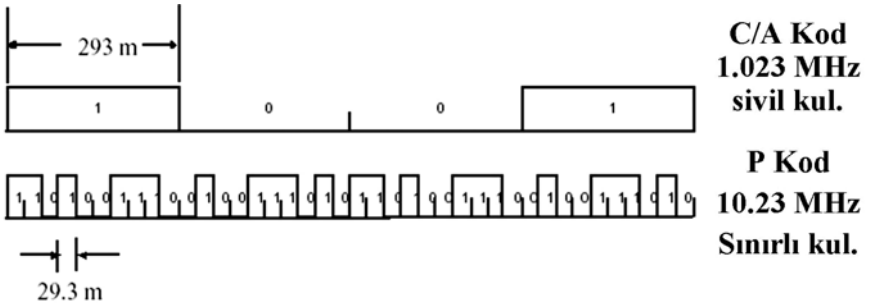


Şekil 3.4: GPS uydu sinyal yapısı

GPS sinyalleri, uydu içindeki atom saatlerince oluşturulan f_0=10,23Mhz temel frekanstan üretilmektedir. Temel frekansı 154 ile çarparak L_1 ile ve 120 ile çaparak L_2 frekansları elde edilmektedir (Özlüdemir 2003).

Sinyaller alıcı antenine gelene kadar iyonosfer tabakasından geçerler. Bu tabakadan geçerken gecikme etkisine maruz kalırlar. Bu gecikmenin engellenmesi yada modelinin iyi yapılabilmesi için farklı iki frekans kullanılır. Yörünge bilgileri saat, bilgileri, meteorolojik bilgiler, vd, "Binary Biphase Modulation" tekniği ile 19,05 cm dalga boylu L1 ve 24,45 cm dalga boylu L2 taşıyıcılarına modüle edilirler. Böylelile C/A kod (Coarse/Acqusition Code) ve P kod (Precision Code) olarak iki farklı uzunluk ölçü sinyali üretirler (Yıldırım 2002).

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve Navigasyon Mesajı verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları C/A-kod ve P-kod olarak isimlendirilir. L1 taşıyıcı frekansı üzerine C/A kod, P kod ve Navigasyon Mesajı bilgileri, L2 taşıyıcısı üzerine ise P kod ve Navigasyon Mesajı bilgileri bulunmaktadır. Başka bir değişle sivil kullanıcılara açık olan C/A kod bilgisi L1 üzerindedir. C/A kod bilgisi 2003 yılından itibaren Block IIR-M uyduları vasıtasıyla L2 üzerinden yayınlanmasına karar verilmiştir. Günümüz sinyal işleme teknikleri ile sinyal çözünürlükleri gözlenen sinyalin dalga boyunun %1 kadardır. P-Kod ve C/A-Kod'un dalga boyu (chip uzunluğu) 293 m, çözünürlüğü yaklaşık 3 m' dir (Kahveci ve Yıldız 2005). P-Kodun dalga boyu 29,3 m, çözünürlüğü yaklaşık 30 cm'dir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: C/A ve P Kod dalga boyu

GPS uydu sinyal bileşenleri ve frekans değerleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1: GPS uydu sinyal bileşenleri

Bileşenin Adı	Frekansı (MHz)	Dalga Boyu (λ)
Temel Frekans	f_0=10.23	---------
L1 Taşıyıcı	154 x f_0=1575,42	$\approx 19.0cm$
L2 Taşıyıcı	120 x f_0=1227,60	$\approx 24.4cm$
P-Kod	f_0=10.23	29.3 m
C/A-Kod	f_0/10=1.023	293 m
W-Kod	f_0/20=10.5115	---------
Navigasyon Mesajı	f_0/204600=50.10^{-6}	---------

3.3.1. Sinyal kalite ölçütleri

Bir GPS sinyalinin temel kalite ölçütü gücüdür. GPS sinyallerinin gücünün ifadesinde kullanılan temel ölçüt ise sinyal-noise oranıdır (SNR; Signal Noise Residue). SNR, bir noktada arzu edilen sinyal genliğinin noise sinyal genliğine oranıdır. Genellikle bir GPS ölçüsünü bozan noise düzeyini ifade eden bir ölçüt olarak kullanılan SNR, desibel (dB) biriminde ve impulse noise zirve noktası ve rastlantısal noise değerlerinin karekökleri açısından ifade edilir. SNR bu değer GPS sinyali gücü ile karşılaştırılabilir. Bir alıcıya bağlı anten ve önyükselteç birimleri de belli bir miktar noise üretirler. Alınan bir sinyalin gücünün (S) noise miktarına (N) oranı bir güç ölçütü olarak değerlendirilir. Buna göre:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N} \tag{3.1}$$

ifade edilir. Burada P_S watt biriminde sinyal gücü ve P_N yine vat biriminde noise gücüdür. Eşitliktende anlaşılacağı gibi SNR değeri büyüdükçe sinyal gücü de artmaktadır (Özlüdemir 2002).

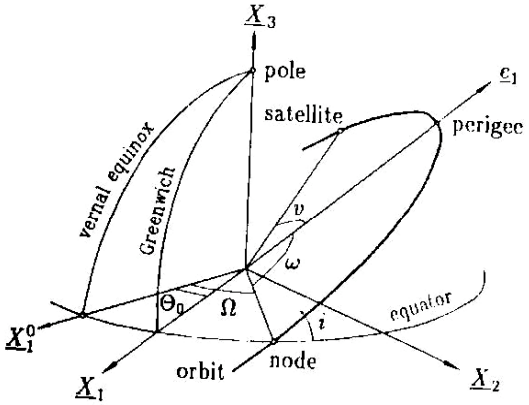
Langley' e (1991) göre, SNR genellikle, taşıyıcı-noise oranı (C/N_0) değeri ile temsil edilir. C/N_0, 1 Hz'lik bant genişliğinde sinyal taşıyıcının güç düzeyinin noise düzeyine oranı olarak tanımlanır. SNR ile karşılaştırıldığında C/N_0 sinyalin güç düzeyini tanımlar ve bu özelliğiyle GPS alıcılarının performans değerlendirmelerinde anahtar parametre durumundadır. C/N_0 alıcı kod uzunluğu ve taşıyıcı faz ölçülerinin presizyonunu doğrudan doğruya etkiler (Özlüdemir ve Ayan 2003). Cohen' e(1996) göre, C/N_0 değerinin bir fonksiyonu olarak;

$$\sigma_{\phi_i}(m) = \sqrt{\frac{B}{c/n_0} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}} \tag{3.2}$$

ifade eden (3.2) eşitliği türetilmiştir. Burada *i* alt indisi L_i sinyalini (L1 ya da L2), B taşıyıcı izleme lupunun noise bant genişliğini (Hz), λ taşıyıcı dalga boyunu (m) ve $10^{\frac{C/N_0}{10}}$ değerini ifade etmektedir. Bu eşitlikte L1 frekansında 0,2 mm taşıyıcı faz noise değeri, 2 Hz bant genişliği lupu ve 45 dB-Hz C/N_0 değeri için nominal değeri vermektedir. Bu hata genel olarak multipath ve sinyal difraksiyonunun ağırlıklı etkisiyle ortaya çıkar ve tipik izleme parametreleri için bir milimetreden daha azdır(Özlüdemir 2002).

3.4. GPS Uydu Yörüngeleri

Uydular yörünge üzerindeki hareket ve konum bilgileri uydu efemeris bilgilerini oluşturmaktadır. Uydu hareketleri Kepler kanunları ile belirtilmekte, konumları ise 6 adet Kepler yörünge parametresi ile tanımlanmaktadır (Şekil 3.6) (Aydın ve ark 2001).



Şekil 3.6: Kepler yörünge parametreleri

Ω Yükselen düğüm noktasının rektesansiyonunu, i Yörünge eğimini, w Perige noktasının yüksekliğini, a Elipsin büyük yarı ekseni, e Yörüngenin eksantrisitesi, f gerçek anomali belirtir.

Uyduların koordinatlarını belirleyen bu sistemdeki düzlem koordinatlar (Ersoy 1997);

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = r.\begin{bmatrix} \cos f \\ \sin f \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a.(\cos E - e) \\ a.(1-e)^{1/2}.\sin E \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

(3.3) bağıntısı ile hesaplanır.

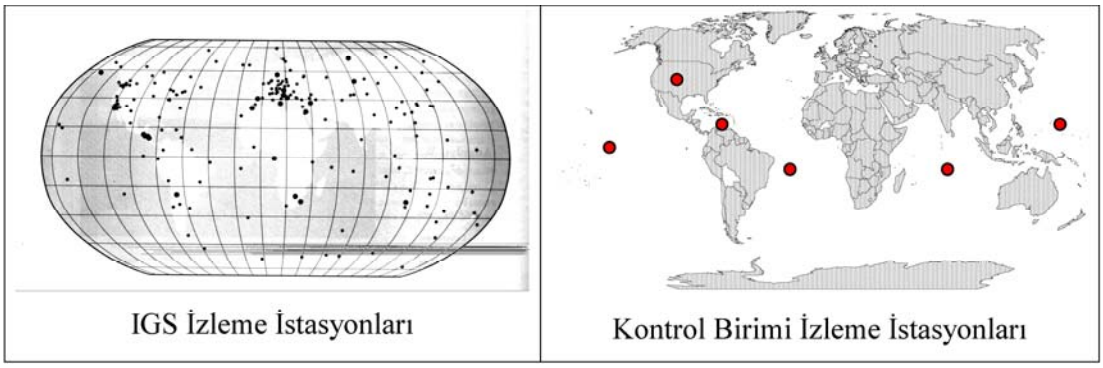
Remondi ve Hoffman-Wellenhof'a (1989) göre, efemeris bilgileri içerisinde uydu koordinatları da bulunmaktadır. GPS konum belirleme tekniği ile ölçülen baz vektörü, nokta konum doğrulukları genellikle uydu koordinatlarının doğruluğuna bağlıdır. Diğer bir değişle efemeris doğruluğuna bağlı olarak değişmektedir. Jeodezik amaçlı yapılan GPS ölçüleri rölatif (bağıl) konum belirleme tekniğine göre yapılmaktadır. Böylece konumu bilinen nokta ile konumu belirlenecek nokta arasındaki baz uzunluk vektörü ölçülmektedir. Baz vektörü ile uydu koordinatlarının doğruluğu arasındaki eşitlik;

$$\frac{\sigma_r}{r} = \frac{\sigma_b}{b} \tag{3.4}$$

eşitliği ile tanımlıdır. (3.4) eşitliğinde σ_r uydu konum hatasını, σ_r ölçülen bazı hatasını, r uydu ile alıcı arasındaki uzaklığı, b ölçülen bazın uzunluğunu ifade etmektedir (Soycan ve Soycan 2002).

3.4.1. Yayın efemerisi (Broadcast Ephemeris)

GPS kontrol bölümünde yer alan kontrol ve izleme istasyonlarında doppler, taşıyıcı faz ve pseudorange ölçümü yapılmaktadır. Dataların değerlendirme işlemi referans alınan yörünge üzerindeki uydu bilgilerine dayalı olarak yapılmaktadır. Referans yörüngesiyle 12-24 saatlik son izleme dataları kullanılarak yörünge belirlenir. Yörüngelerin daha sonraki konumları ekstrapolasyonla belirlenir. Uyduların zamana bağlı olarak koordinatlarının prediksiyonu, 6 izleme istasyonundan toplanan bilgilerden yapılaktadır. GPS alıcıları ölçü esnasında 50 bit olacak şekilde yayın (broadcast) mesajı toplarlar. Bu mesaj uyduların durumları, saatleri ve yörüngeleri hakkında bilgi içerirler (Hoffman-Wellenhof ve ark. 1997).



Şekil 3.7: IGS ve izleme istasyonları

3.4.2. IGS hassas efemeris

IGS (International GPS Service for geodynamics) 1989 yılında kurulan global bir GPS ağı ile bir takım çalışmaları kolaylaştırmak, GPS ürünleri ile jeodezik ve jeofizik araştırmalara destek olmak ve GPS uygulamalarını standartlaştırmak amacıyla kurulmuş olan bir kuruluştur. Tüm yeryüzüne dağılmış ve sayıları 2002 yılı

itibariyla 295 olan jeodezik standartlara sahip sürekli izleme istasyonlarına sahiptir (Soycan ve Soycan 2002).

Günümüzde IGS, bilimsel çalışma ve mühendislik uygulamalarında yeterli doğrulukta kullanılabilecek GPS ölçülerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtımından sorumludur. IGS ürünleri, ITRF sisteminin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, deniz yüzeyindeki değişimlerin belirlenmesi ve iyonosferik çalışmaların gerektirdiği yüksek doğruluğu sağlamaktadır. IGS izleme istasyonlarından elde ettiği verileri aşağıdaki bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

- Yüksek doğruluklu GPS uydu efemerisleri,
- Yer dönme parametreleri
- IGS izleme istasyonlarının (Şekil 3.7) koordinatları ve bunların hareket miktarları (hızları),
- GPS uyduları ve IGS izleme istasyonlarına ilişkin saat bilgileri,
- Troposferik zenit gecikme değerlerinin hesabı

3.4.3. Yayın efemeris ve IGS hassas efemeris arasındaki fark

90 km ye kadar olan bazlarda ki efemeris bilgisinden kaynaklanan farkların milimetre mertebesinde olduğu gözlenmiştir, bu bazlar için, IGS veya diğer hassas yörünge bilgisi üreten kuruluşlar tarafından 14 gün sonra yayınlanan hassas efemeris bilgisi yerine yayın (broadcast) efemerisi kullanmak, mühendislik amaçlı çalışmalar için yeteri doğrulukta olup, uygulama açısından daha pratiktir. Ayrıca hassas yörünge bilgilerinin ITRF datumunda, yayın efemerisinin WGS84 datumunda üretildiği göz önüne alındığında, Büyük Ölçekli Harita yapımı amaçlı jeodezik ağlarda TUTGA noktalarının sıklaştırılmasında ve pratik konumlama uygulamalarında datum olarak WGS84 seçilmesinin yeterli olacağı söylenebilir. (Tuşat 2003)

Oluşturulan GPS ağında en büyük baz uzunluğu yaklaşık 20 km olduğu için yani 90 km kısa olduğundan dolayı ve yapılan çalışmanın mühendislik hizmetlerine ışık tutması amacı güdüldüğü için, verilerin değerlendirmesi aşamasında yayın (broadcast) efemerisi kullanılmıştır.

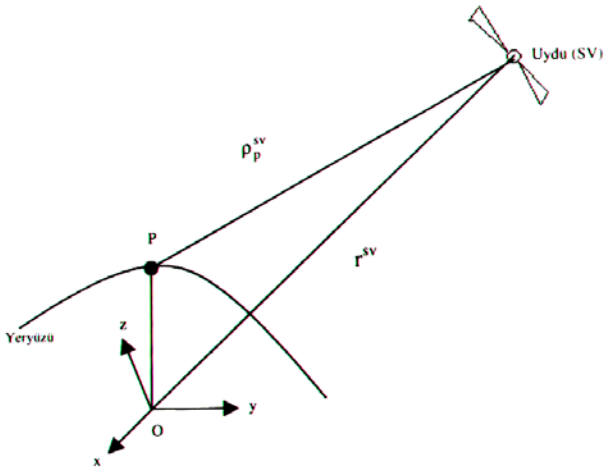
Yüksek duyarlık gerektiren çalışmalarda yayın efemerisi yerine web aracılığıyla kolayca elde edilebilen IGS sonuç efemerisinin kullanılmasında büyük fayda vardır. IGS 'in efemeris bilgilerine aşağıdaki web sitelerinden ulaşılabilir (Soycan ve Soycan 2002);

- http://igscb.jpl.nasa.gov
- http://igs.ifag.de
- http://lox.ucsd.edu
- http://igs.ensg.ign.fr
- http://geo.tudelft.nl/
- http://geodaf.mt.asi.it/

3.5. GPS Ölçmeleri

GPS ölçmeleri genel olarak kod ve faz ölçüleri yardımıyla uydu-alıcı uzaklığının hesaplanmasıdır. GPS ölçmelerini kod ve faz ölçüleridir.

3.5.1. Kod pseudorange ölçüsü



Şekil 3.8: Uydu alıcı uzaklığı

Pseudorange, Şekil 3.8' de uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkışı ile alıcıya ulaştığı ana kadar arada geçen zamanın ışık hızı ile ölçeklendirilmesiyle elde edilen uydu-alıcı uzaklığına denir (Tuşat 2005)

GPS sisteminde, t^S uydudan yayınlanan sinyalin çıkış zamanını ve t^R sinyalin alıcıya ulaştığında okunan kayıt zamanı. Benzer şekilde δ^S ve δ^R, GPS sisteminde saat gecikmelerini belirtir. Δt Uydu ile alıcı arasındaki zaman aralığını;

$$\Delta t = t_R - t^S = \left[t_R(GPS) - \delta_R\right] - \left[t^S(GPS) - t^S\right] \tag{3.5}$$

şeklinde yazılır. Δt zaman aralığı c ışık hızı ile çarpılırsa R pseudorange (uydu-alıcı mesafesi);

$$R = c.\Delta t = c.(t_R - t^S) = c.\Delta t(GPS) + c.\Delta\delta = \rho + c.(\delta^S - \delta_R) \tag{3.6}$$

uzunluğu elde edilir (Hoffman-Wellenhof ve ark. 1997).

Atmosferik etkiler dikkate alınırsa,

$$R = \rho + c.\Delta\delta + d_{ion} + d_{trop} \tag{3.7}$$

(3.7) eşitliğinde pseudo uzunluk elde edilir. S uydusunun, kontrol bölümünde hesaplanan X^S, Y^S, Z^S ve R alıcının hesaplanmak istenen X_R, Y_R, Z_R koordinatları yardımıyla;

$$\rho = \sqrt{(X^S - X_R)^2 + (Y^S - Y_R)^2 + (Z^S - Z_R)^2} \tag{3.8}$$

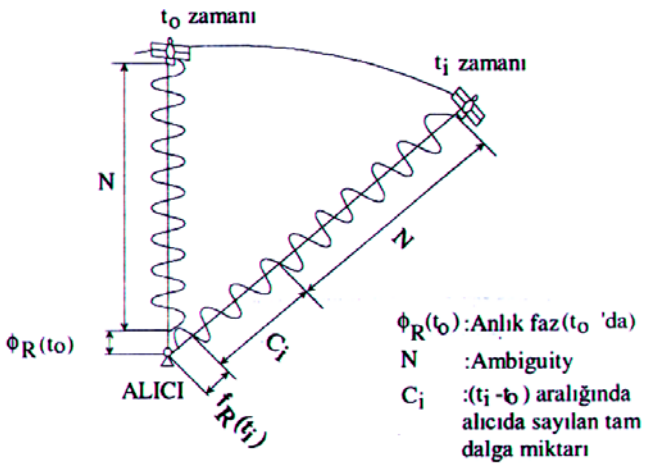
eşitliği yazılabilir.

(3.8) bağıntısında, 3 tane alıcı koordinatı (X_R, Y_R, Z_R), atmosferik ve troposferik gecikmeler (d_{ion}, d_{trop}) , uydu ve alcı saat hataları ($\delta^S ve \delta_R$) olmak üzere toplam 7 adet bilinmeyen bulunmaktadır. Yüksek duyarlık gerektirmeyen anlık konumlama (navigasyon) amaçlarıyla, uydu saat hatalarının ihmal edilebileceği yada navigasyon mesajı içinde gönderilen katsayıların hesaplanabileceği, iyonosferik ve troposferik gecikmeleri geliştirilen modellemeler ile hesaplanacağı göz önünde bulundurulursa, geriye 3 alıcı koordinatı ve 1 alıcı saat hatası olmak üzere 4 adet bilinmeyen kalır. Buna göre bağıntı;

$$\rho = \sqrt{(X^S - X_R)^2 + (Y^S - Y_R)^2 + (Z^S - Z_R)^2} - c.\delta_R + a_R^S \tag{3.9}$$

bağıntısını alır. (3.9) eşitliğinde a_R^S iyonosfer ve troposfer etkisi için hesaplanan sabit bir çarpanı ifade etmektedir (Yıldırım 2002). Bu 4 bilinmeyenin çözümü için , ölçü esnasında GPS alıcısının en az 4 uyduyu görmesi gerekmektedir.

3.5.2. Faz uzunluk ölçüsü



Şekil 3.9: Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (ambiguity)

Nokta konumları, GPS uydularından aynı anda gönderilen sinyallerin, GPS alıcısına bağıl varış süreleri ölçülerek belirlenir. GPS alıcıları, uydudan gönderilen taşıyıcı sinyal ile alıcıda üretilen taşıyıcı sinyal arasındaki farkı ölçerler (Şekil 3.9) (Ersoy 1997).

Faz ölçümleri GPS ölçmelerinde en fazla kullanılan gözlemlerdir. Faz gözlemleri taşıyıcı dalganın P-Kod ve C/A-Kod yerine modüle edilmemiş L1 ve L2 faz gözlemi ile yapılmaktadır. Faz gözlemi; t^S zamanında uydudan yayınlanan sinyalin L1, L2 taşıyıcı fazı ile t_R zamanında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki fark olarak tanımlanır. Taşıyıcı dalga fazının dalga boyu P ve C/A kodlara göre daha kısa olduğundan, faz farkı ölçü duyarlılığı daha yüksektir (Kahveci ve Yıldız 2005).

$$\phi_R^{SV}(t) = \phi^{SV}(t) - \phi_R(t) + N_R^{SV}(1) \tag{3.10}$$

L1 taşıyıcı sinyalinin dalga boyu λ=0,194 m, C/A-Kod dalga boyu λ=300 m, P-Kodun dalga boyu yaklaşık λ=30 m dir.

Anlık faz farkı ;

$$\phi_R^{SV}(t_R) = \phi^{SV}(t_R - \frac{\rho_R^{SV}}{c} - \frac{I_R^{SV} + T_R^{SV}}{c}) - \phi_R(t_R) + N_R^{SV}(1) \tag{3.11}$$

eşitliği ile hesaplanır. (3.11) eşitliğinde,

$\phi_R^{SV}(t)$, SV uydusu ve R alıcısı için dalga boyu biriminde faz gözlemi

$\phi^{SV}(t)$, Alıcı tarafından t zamanında (GPS zamanı) kaydedilen sinyal fazı

$\phi_R(t)$, t zamanında alıcıdan üretilen sinyalin fazı

$N_R^{SV}(1)$, Başlangıç epokundaki faz başlangıç bilinmeyenini

I_R^{SV} , İyonosferik etki. T_R^{SV} ,Troposferik etki. C, Işık hızı

t_R **,** Sinyalin alıcıya ulaştığı andaki GPS zamanı ifade eder.

3.5.3. Kod ve faz ölçüleri arasındaki fark

- Kod (pseudorange) ölçüleri ile faz ölçüleri arasındaki temel farklılıklar şöyle sıralanabilir (Kahveci ve Yıldız 2005) ;
- Pseudorange tam olarak ölçülürken, faz gözlemlerinde faz başlangıç belirsizliği söz konusudur.
- Taşıyıcı dalga fazı iyonosferden geçerken hızlandığından iyonosferden dolayı faz gözlemlerine getirilecek olan düzeltme "-" işaretlidir. Kod ölçüleri yavaşladığı için iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri için "+" işaretlidir.
- Faz ölçüm doğruluğu kod ölçüm doğruluğundan daha yüksektir

3.6. GPS Ağlarındaki Fark Gözlemleri

Kod ve faz özlemlerinden yararlanarak oluşturulan farklar yardımıyla alıcı saati hataları, uydu saat hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi bir çok ortak hata kaynağı giderilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları farklı şekillerde oluşturulabilmektedir

Alıcılar arasında,

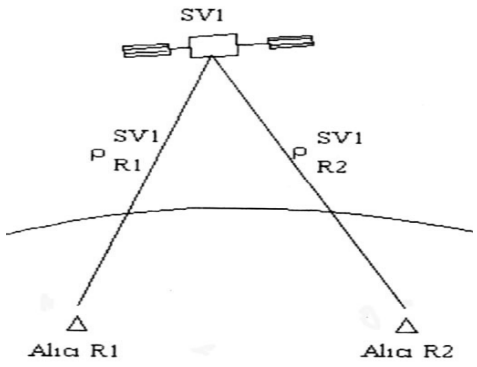
- Uydular arasında
- Ölçü epokları arasında yada
- L1 ev L2 frekansları arasında yapılmaktadır.

GPS ölçüsünde; kod ve faz ölçüsü olmak üzere iki temel büyüklük ölçülür. Uydudan gönderilen sinyallerin GPS alıcısı tarafından kaydedilip, yine alıcı tarafından üretilen sinyalle karşılaştırılarak faz farkının ölçülmesi üç fark gözlemleri ile yapılır;

- Tekli fark gözlemleri
- İkili fark gözlemleri
- Üçlü fark gözlemleri

3.6.1. Tekli fark gözlemleri

Tek veya çift alıcı ile eş zamanlı olarak aynı veya farklı iki uyduya yapılan faz ölçmelerinin anlık fazlarının farkı bu ölçüleri oluşturur (Ersoy 1997).



Şekil 3.10: Tekli fark gözlemi

Şekil 3.10' da R1 ve R2 alıcılarını ve SV1 uydusunu düşünecek olursak anlık Faz Farkı,

$$\Delta\phi_{R_2R_1}^{SV1}(t) = \phi_{R_2}^{SV1}(t) - \phi_{R_1}^{SV1}(t) \tag{3.12}$$

olur. (3.10) eşitliği (3.12)' de yazılırsa Faz Başlangıç Belirsizliği;

$$N_{R_2R_1}^{SV1} = N_{R_2}^{SV1} - N_{R_1}^{SV1} \tag{3.13}$$

elde edilir.

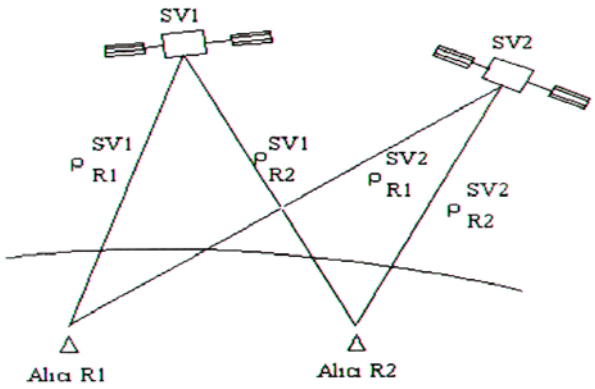
$N_{R_1}^{SV1}(1)$, ilk epoktaki SV1 uydusundan gelen sinyalin R_1 alıcısına göre tam sayı bilinmeyenidir. $N_{R2}^{SV1}(1)$, ilk epoktaki SV1 uydusundan gelen sinyalin R_2 alıcısına göre tam sayı bilinmeyenidir.

Sinyalde herhangi bir kopukluk olmadığı sürece tüm epoklar aynı kalır. İki alıcıdan aynı uydudan kaydedilen anlık fazların farkı alınarak oluşturulan tekli farklarda (single difference) (6.2) formülündeki (δ^S)uydu saat hatası giderilir. Tek

alıcı ve iki uydudan kaydedilen anlık fazların farkı alınarak oluşturulan tekli farklarda (6.2) formülündeki alıcı saat hatası (δ_R) giderilir (Kınık 1999).

3.6.2. İkili fark gözlemleri

İki alıcıdan eş zamanlı olarak ölçülen fazlardan elde edilen tekli farkların farkları alınarak oluşturulurlar (Şekil 3.11). İkili fark alma ile GPS ölçüleri ile üzerindeki uydu ve alıcı bağımlı etkiler (alıcı saati, uydu saati, anten dış merkezlik, anten hataları, alıcı sinyal kayıklıkları, yörünge hataları) giderilmektedir.



Şekil 3.11: İkili fark gözlemi

İkili fark gözlemleri;

$$\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1Sv2} = \Delta_{R1R2}^{SV1}(t) - \Delta_{R1R2}^{SV2}(t) \tag{3.14}$$

eşitliği ile ifade edilir.

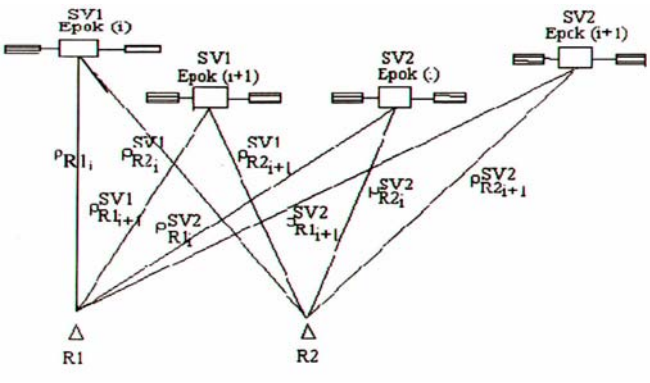
İkili fark gözlemlerinde n uydu sayısı kabul edilirse, $(n-1)$ adet birbirinden bağımsız ikili fark oluşturulur. Bütün ikili farklar için bir referans uydu seçilir. Referans uydu seçiminde en yüksek uydunun referans uydusu olarak alınmasına dikkat edilir. İkili farkların en büyük avantajı; tekli fark gözlemlerinde uydu tabanlı hataların yanı sıra alıcı tabanlı hataları da yok etmektedir. Ayrıca üçlü fark gözlemleri için Başlangıç Faz Belirsizliği'nin çözümüne imkan sağlar. (Çorumluoğlu 2000).

Bu yöntemle uydu ve alıcı saati hataları giderilmektedir. Genellikle, GPS ölçülerini değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak

kullanılmaktadır. Bu yöntemde ayrıca kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkilerde giderilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2005).

3.6.3. Üçlü fark gözlemleri

Remondi'e (1984), King ve ark.'na (1985) göre; üç kez fark alınmış matematiksel model bir ölçü zamanı ve hemen ardından gelen diğer ölçü zamanı arasında oluşturulan Şekil 3.12'de iki kez fark gözlemleri arasındaki farktır (Gökalp 1994).



Şekil 3.12: Üçlü fark gözlemi

Üçlü fark gözlemleri için;

$$\Delta\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i, t_{i+1}) = \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_{i+1}) - \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i) \tag{3.15}$$

eşitliği yazılır.

(3.15) eşitliğinde görüleceği üzere Hoffman ve ark'a (1997), Eren'e (1987)'e göre , alıcı saat hataları ve uydu saat hataları ile başlangıç faz belirsizliği (ambiguity) elimine edilmiş yada minimum seviyeye indirilmiştir. Üçlü fark gözlem yönteminin en önemli avantajı başlangıç faz kayması yada faz sıçramasına (cycle slip) karşı duyarlı olup, belirlenmesinde kullanılır (Gökalp 1994, Leick 1990).

Üçlü fark ölçüleri ne uydu saat hataları nede tam sayı bilinmeyenlerini içermektedir. Üçlü fark ölçüleri genellikle ikili fark hesaplarının çözümünde, alıcıların konumlarının oldukça güvenilir duyarlıkta hesaplanmasını sağlar (Özlüdemir 2003).

R sayıda alıcının, T sayıdaki gözlem epokunda, S sayıdaki uyduya gözlem yaptığı düşünülürse, bu durumda elimizde R*S*T sayıda faz gözlemi olacaktır. Buna göre;

(R-1)*S*T sayıda, Tekli faz farkını

(R-1)*(S-1)*T sayıda, İkili faz farkını

(R-1)*(S-1)*(T-1) sayıda, Üçlü faz farkı oluşacaktır.

Fark alma yöntemleri özetle tablo halinde Çizelge 3.2' de verilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Çizelge 3.2: Fark gözlemleri

Gözlemler	**Yok Edilen Etki**	**Minimize Edilen Etki**	**Seçim Sebebi**
Tekli Fark	Uydu Saat Yörünge Hataları	Kısa mesafelerde İyonosferik ve TroposferikHatalar	Tam Sayı Faz Bilinmeyeninin elde edilmesi
İkili Fark	U/A Saat Yörünge Aletsel Hatalar		Tam Sayı Faz Bilinmeyeninin elde edilmesi
Üçlü Fark	U/A Saat Yörünge Aletsel Hatalar		Tam Sayı Faz Bilinmeyeninin yok edilmesi

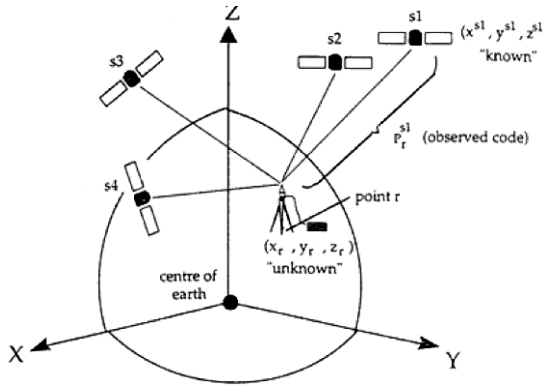
3.7. GPS Konum Belirleme Yöntemleri

GPS de ölçülen noktaya, istenen duyarlılığa ve amaca göre farklı ölçme metodları uygulanır. Sonuçta elde edilen koordinatlar alıcı tipine, gözlem süresine, uyduların konumu ve sayısına, ölçü yöntemine göre değişir (URL5)

GPS ile iki ana konum belirleme yöntemi bulunmaktadır;

- Mutlak Konum Belirleme
- Bağıl(Relative,göreli) Konum Belirleme

3.7.1. Mutlak konum belirleme



Şekil 3.13: Mutlak konum belirleme

Mutlak konum belirlemede, tek bir alıcı ile normal olarak 4 yada daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir (Şekil 3.13). Yöntem, sinyalin uydu çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu alıcı uzaklık ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme esasına dayanmaktadır (Tuşat 2005).

Herhangi bir t anındaki kod uzaklıkları;

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c.\Delta\delta_i^j(t) \tag{3.16}$$

şeklinde yazılır. (3.16) eşitliğinde $R_i^j(t)$ kod uzunluk ölüsünü, ρ_i^j uydu ve alıcı noktası arasındaki geometrik uzaklığı, $\Delta\delta_i^j(t)$ uydu ve alıcı saat hata farklarını ve c ışık hızını belirtir.

Uydu ile alıcı kurulan nokta arasındaki t anındaki geometrik uzaklık $\rho_i^j(t)$, aşağıda yazacak olursak;

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2} \tag{3.17}$$

elde edilir, (3.17) eşitliğinde, $X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$ t anında uydun geosetrik konum vektörünün bileşenlerini, X_i, Y_i, Z_i yer noktasının ECEF koordinat bileşenlerini göstermektedir (Hofmann ve ark 1997).

Kurt'a (1996) göre, i yer noktasının koordinatları,

$$X_i = X_{i0} + \delta X_i$$
$$Y_i = Y_{i0} + \delta Y_i \qquad (3.18)$$
$$Z_i = Z_{i0} + \delta Z_i$$

ile gösterilir. Yukarıda (6.12) bağıntısı yeniden düzenlenirse,

$$R_i^j(t) - \rho_{i0}^j(t) - c\delta^j(t) = -\frac{X^j(t) - X_{i0}}{\rho_{i0}^j(t)}\delta X_i - \\ -\frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\rho_{i0}^j(t)}\delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\rho_{i0}^j(t)}\delta Z_i - c\delta_i(t) \qquad (3.19)$$

$$L^j = m^j \delta X_i + n^j \delta Y_i + k^j \delta Z_i - c\delta_i(t) \qquad (3.20)$$

yazılır. Bu bağıntıda bilinenler sol tarafta toplanmaktadır. Koordinat bilinmeyenleri ve alıcı saat hatası da eşitliğin sağında toplanmaktadır. Eşitliğin sağ tarafında 4 tane bilinmeyen bulunmaktadır. Bundan dolayı minimum 4 tane denklem yazmak ve eş zamanlı 4 uyduya gözlem yapılması gerekmektedir. Çözüme ilişkin fonksiyonel model $\underline{A}$ katsayılar matrisi yardımıyla aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\underline{L} = \underline{A}.\underline{x} \qquad (3.21)$$

Matris gösterimi kullanılarak,

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} L^j \\ L^{j+1} \\ L^{j+2} \\ L^{j+3} \end{bmatrix}, \ \underline{A} = \begin{bmatrix} m^j & n^j & k^j & -c \\ m^{j+1} & n^{j+1} & k^{j+1} & -c \\ m^{j+2} & n^{j+2} & k^{j+2} & -c \\ m^{j+3} & n^{j+3} & k^{j+3} & -c \end{bmatrix}, \ \underline{x} = \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta_i(t) \end{bmatrix} \qquad (3.22)$$

yazılır. $\underline{x}$ bilinmeyen vektörü hesaplanıp yaklaşık değerler yardımıyla noktanın mutlak koordinatları elde edilir (3.22) (Yıldırım 2002).

Mutlak konum belirleme navigasyon için ya da bağıl konum belirlemede kullanılacak yaklaşık koordinatları iyileştirmek için kullanılır (Kurt 2003b).

3.7.2. Bağıl (Relative) konum belirleme

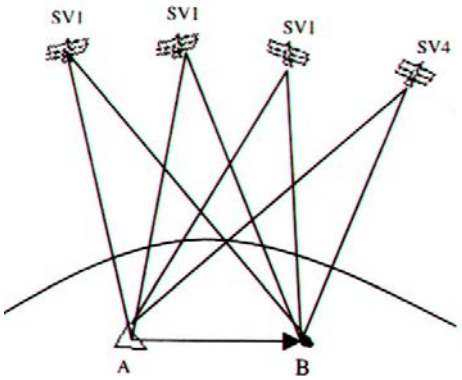
Rölative konumlamada amaç, koordinatı bilinen nokta ile koordinatı hesaplanacak nokta arasındaki baz vektörünün belirlenmesidir. Şekil 3.14' de A referans (bililinen) nokta, B bilinmeyen nokta ve $\underline{b}_{AB}$ baz vektörü olmak üzere, A ve B noktalarının konum vektörlerini $\underline{X}_A$, $\underline{X}_B$ olarak alınırsa, aralarındaki ilişki,

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \tag{3.23}$$

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{vmatrix} \tag{3.24}$$

şeklinde hesap edilir. Referans noktanın koordinatları WGS-84 sisteminde yaklaşık olarak elde edilir (Hoffman ve ark. 1997, Kahveci ve Yıldız 2005, Yıldırım 2002, Soycan ve Soycan 2002).

$\underline{\Delta X}, \underline{\Delta Y}, \underline{\Delta Z}$ = x, y ve z yönündeki baz vektörlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.14: Bağıl konum belirleme

Temel düşünce A ve B noktalarında taşıyıcı faz, pseudorange (kod) ve doppler değişimlerinin eş zamanlı olarak toplanması, ortak uydular arasındaki fark alma modellerinin kullanılması ve baz uzunluğuna bağlı olarak birbirine yakın kabul edilir. Yani A ve B noktalarının mutlak konumlarının aynı miktarda hatalı olduğu varsayılır, iki nokta arasındaki baz uzunluğu çok az hatalı olacaktır. Baz uzunluğun bağlı olarak ölçme süresi, değerlendirme tekniği ve modelleme yöntemi değişmektedir (Soycan 1999).

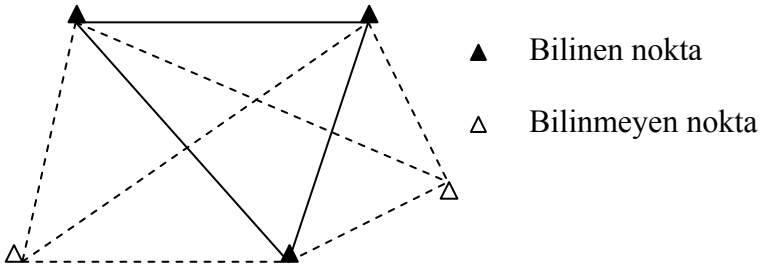
Bağıl (göreli) konum belirlemek amacıyla iki ayrı noktaya kurulmuş olan iki alıcı ile eş zamanlı aynı uydulara kod yada faz gözlemleri söz konusudur. Bağıl konum belirlemenin doğruluğu mutlak konum belirlemeye göre daha iyidir. Alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın yada hassas efemeris) bağlı olarak elde edilen doğruluk; 0,001-100ppm arasında değişmektedir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Tek bir GPS alıcısı ile yapılan mutlak konumlama, yüksek duyarlık gerektiren mühendislik ve jeodezik ölçmeler için yeterli olmamaktadır. Bu yüzden cm veya daha iyi hassasiyet gerektiren çalışmalar için bağıl konumlama yöntemi kullanılmaktadır. Bağıl konumlamada iki veya daha fazla alıcı tarafından eşzamanlı olarak toplanan pseudo-range ve taşıyıcı faz ölçüleri kullanılmaktadır. Aynı uydu grubundan yapılan eşzamanlı gözlemler tekli, ikili ve üçlü fark veya başka bir yaklaşımla değerlendirilerek çözüme ulaştırılmaktadır (Leick 1990).

GPS ölçmeleri daha önceden de bahsedildiği üzere, kod (pseudorange) ve taşıyıcı faz ölçüleri yapılmaktadır. Kod gözlemlerinde yeterli doğruluk sağlanmakta ve pratik uygulamalarda kullanılır. Fakat mühendislik hizmetleri gibi jeodezik amaçlı ölçmelerde daha duyarlı sonuçlar gerektiği için kod ölçüleri yeterli değildir. Bundan dolayı faz gözlemleri kullanılarak yapılan bağıl (relative) konum belirleme genel olarak 5 ölçü yöntemiyle yapılmaktadır;

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı Ölçü Yöntemi
- Dur-git (Stop and go) Ölçü yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

3.7.2.1. Statik ölçü yöntemi:



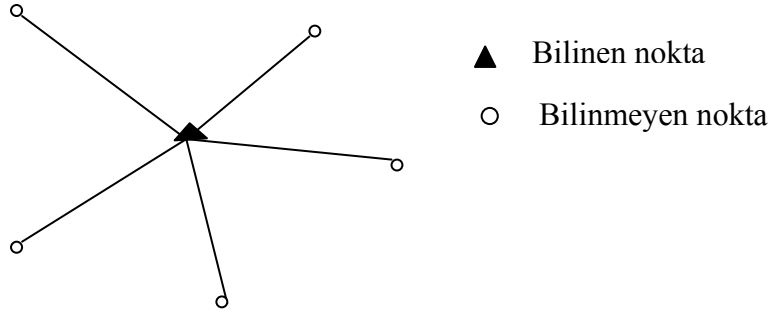
Şekil 3.15: Statik ölçü yöntemi

GPS uygulamalarında en çok kullanılan konum belirleme yöntemidir. Statik ölçü yöntemi ile ölçünün yapılabilmesi için en az 2 alıcıya, üçgen kapanma kontrollerinin yapılabilmesi için 3 veya daha fazla alıcıya ihtiyaç vardır (Şekil 3.15).

Uzun bazlar söz konusu olduğunda, yüksek doğruluk istendiğinde, atmosferik etkilerin dikkate alınması durumunda, uydu geometrisinin diğer ölçü yöntemlerine imkan vermediği durumlarda, atmosferik etkiler (iyonosfer ve troposfer) statik ölçü yöntemi tercih edilmelidir. Statik yöntemde ölçü duyarlılığı 5mm +1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

Bu yöntemde duyarlı sonuçlar elde etmek için noktalar arasında, kapalı luplara imkan veren kapalı geometrik ağlar oluşturularak ölçme planı hazırlanır. Bu plan hazırlanırken kapalı geometrik ağ oluşturan noktalardaki GPS ağlarının tümün ait eş zamanlı sinyallerin oluşturacağı oturumlar düzenlenerek ölçüler elde edilir. Bu yöntem mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmesinde, çok yüksek doğruluk gerektiren jeodinamik hareketlerin izlenmesinde ve ülke nirengi ağlarının yenilenmesinde kullanılır (Ersoy 1997, Öztürk 1997).

3.7.2.2. Hızlı statik ölçü yöntemi



Şekil 3.16: Hızlı statik ölçü yöntemi

Hızlı statik yöntem statik yöntemden türetilmiş bir ölçü yöntemidir. Hızlı statik ölçü yönteminde, Şekil 3.16' da alıcılardan birisi koordinatları bilinen sabit bir referans noktası üzerinde sürekli veri toplamaktadır. Diğer alıcı veya alıcılar ile ölçü yapılacak diğer noktalar üzerinde 5-30 dakika veriler toplanır (Soycan ve Soycan 2002).

Hızlı statik ölçü yöntemiyle ölçü sırasında noktalar arasında hareket edilmesi esnasında alıcının açık olmasına gerek yoktur. Bu yöntemde ölçü süresi, noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlı olup, uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki

bazda ölçü süresi azalacaktır. Çizelge 3.3' de uydu sayısı ile ölçü süresi ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 3.3: Uydu sayısı ile ölçü süresi ilişkisi

Uydu Sayısı	**Ölçü Süresi (dakika)**
4	>20
5	10-20
6 ve daha fazla	5-10

Hızlı statik ölçü yöntemi, özellikle kısa zamanda çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik olarak ölçülmesi gerektiği durumlarda en iyi yöntemdir. Bu yöntemde ölçü süresi çok kısa olduğundan BFB çözümü için özel algoritmalar geliştirilmiştir. Hızlı statik yöntemde ölçme doğruluğu yaklaşık 5-10mm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

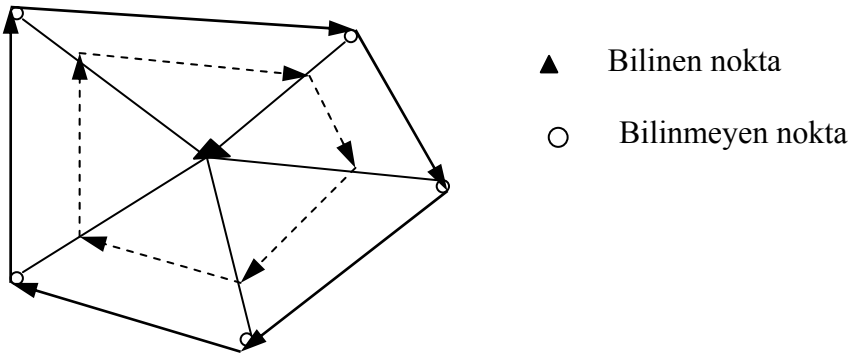
3.7.2.3. Tekrarlı ölçü yöntemi

Bu yöntem statik ve kinematik yöntem arasında bir teknik olarak düşünülebilir. Bir alıcı referans noktasında sürekli gözlem yaparken diğer alıcı veya alıcılar hareket halinde olup her yeni noktada, her biri yaklaşık 10 dakika olmak üzere en az 2 kez gözlem yapar. Aynı noktaya ait gözlem bir öncekine göre 1-4 saat aralığında yapılmalıdır (Özlüdemir 2003).

Bir noktada diğerine gidilirken alıcıların uydu izlemeye devam etme zorunluluğu yoktur. Bu yöntemde en iyi sonuçlar 10 km kadar olan baz uzunluklarında alınmaktadır. Bu yöntem zayıf uydu geometrisi olduğu durumlarda yada tek frekanslı alıcılar varsa uygun bir ölçü tekniğidir. Ölçü zamanı PDOP değerinin en küçük olduğu periyotlar seçilmelidir. Yöntemin doğruluğu 5-10mm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

Tekrarlı ölçü yöntemi; Merkezsel baz ve Travers yöntemi olarak ikiye ayrılır;

- **Merkezsel baz yöntemi**

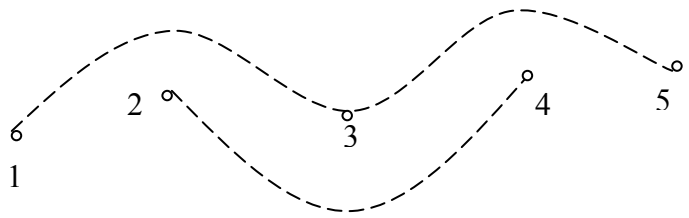


Şekil 3.17: Merkezsel baz ölçü yöntemi

Merkezsel baz yönteminde (Şekil 3.17) alıcılardan biri sabit nokta üzerinde iken diğer alıcı veya alıcılar bir noktadan başlayıp diğer noktalarda 10'ar dakika ölçüm yaparlar. Gezici alıcı aynı noktaları 1-4 saat zaman aralığında tekrar uğramalıdır. Gezci alıcının diğer noktalara gitmesi esnasında açık olmasına gerek yoktur (Kahveci ve Yıldız 2005).

Her noktada 10 dakika ölçü yapıldığından dolayı bu süre BFB çözümü için yeterlidir.

- **Travers yöntemi:**



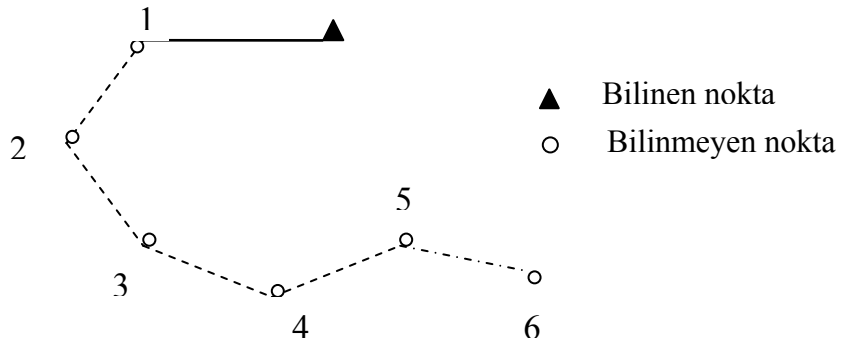
Şekil 3.18: Travers Ölçü Yöntemi

Travers yönteminde sabit alıcı olmayıp her iki alıcıda hareketlidir (Şekil 3.18). Bu yöntemde, bir alıcı dururken diğer alıcı yer değiştirerek her baz 10 ar dakika ölçülmektedir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Bu yöntemde ölçüler atlamalı olarak yapılmaktadır. Ardışık baz vektörleri bir dizi boyunca ölçülmektedir. Ölçü tekrarı yapılırken, aynı alıcının aynı noktada

başlamasına dikkat edilmelidir. Böylece alıcıların homojen olmamasından kaynaklanan hatalar en aza indirgenmiş olur (Soycan ve Soycan 2002).

3.7.2.4. Dur-git (stop and go) ölçü yöntemi:



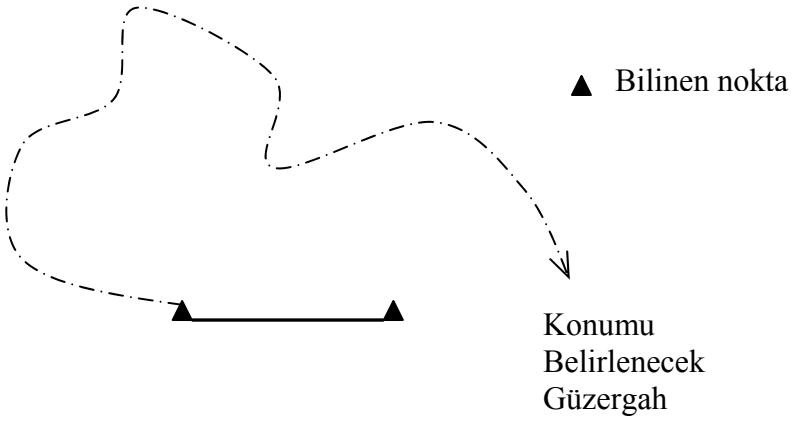
Şekil 3.19: Dur git ölçü yöntemi

Dur-git ölçü yönteminde Şekil 3.19' da alıcılardan biri konumu bilinen referans noktası üzerinde sabit, diğer alıcı veya alıcılar önce herhangi bir noktaya kurularak birkaç dakika ölçü ile faz başlangıç belirsizliği (BFB) çözümü için yeterli olmaktadır. Diğer noktalarda birkaç epokluk (10-20sn lik) ölçü yeterli olmaktadır. Alıcı bir noktadan diğerine giderken açık kalmalıdır. Çünkü ilk noktadaki BFB değeri diğer noktalara da taşınmalıdır. Bu yöntem birbirine çok yakın ölçü noktalarında iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemin doğruluğu 1-2cm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

Dur-git ölçü yönteminde özellikle açık alanda, detay alımları için planlanmış bir tekniktir. Alıcıların bir noktadan diğer noktaya hareket halinde uyduları izleyebilme özelliklerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemde alıcı anteni ile uydu arasındaki sinyalin kesilmemesi gerekmektedir. Çünkü BFB parametresi tüm ölçü boyunca ardışık noktalara aktarılacaktır. Bu yöntemde veri toplama aralığı amaca göre 1-5 saniye arasında değişmektedir. Dur-git yönteminde sabit alıcı ile gezici alıcı arasındaki uzaklık 3-4 km geçmemesine özen gösterilmelidir (Yıldırım 2002).

Eğer gezici alıcı diğer noktaya taşınırken kapanması veya çeşitli nedenlerle sinyal kopması durumunda BFB çözümü için işlemi tekrarlanır.

3.7.2.5. Kinematik ölçü yöntemi



Şekil 3.20: Kinematik ölçü yöntemi

Kinematik ölçme tekniğinde belli zaman aralığında gezici alıcının konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu ölçü yöntemi; yol güzergahlarının belirlenmesinde, fotogrametrik uçuşlardaki uçaktaki kameranın konumunun belirlenmesinde, hidrografik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır (Yıldırım 2002)

Kinematik ölçü yöntemi, stop and go ölçü yönteminin daha genel halidir. Bu yöntemin amacı gezici antenin gezi yolunun belirlenmesidir. Yine bu yöntemde Şekil 3.20' deki alıcılardan biri sabit konumda, diğer alıcı önce BFB çözümü için herhangi bir noktada birkaç dakika ölçü yapılır. Daha sonra diğer noktalara 1-2 saniye aralıklarla ölçüye devam edilir. Gezici alıcı sürekli açık olmalıdır. Uydu sayısı 4'ün altına düştüğünde yada herhangi bir nedenle sinyal kopması olduğunda BFB çözümü için gerekli veri tekrar toplanmalıdır. Doğruluğu 1-2cm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

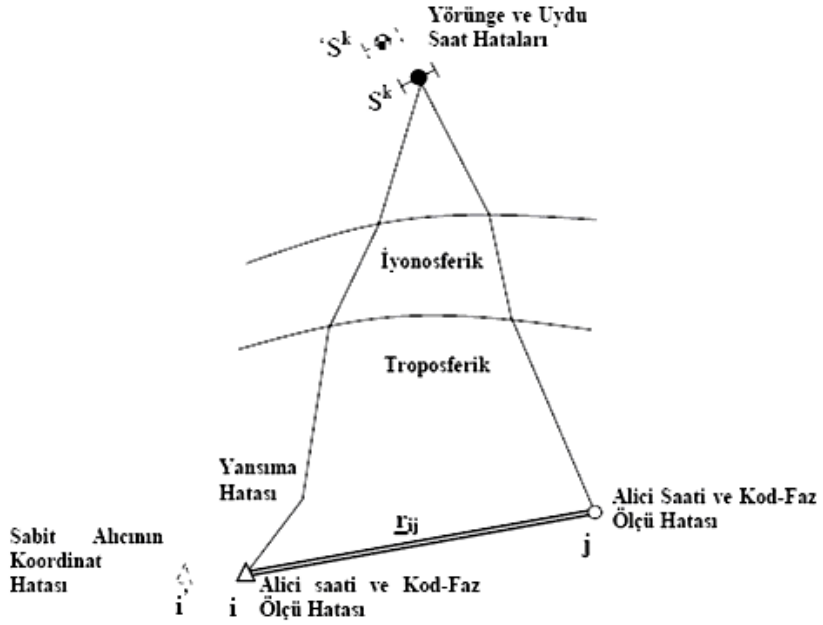
Nokta konumlarının ölçü esnasında direk elde edildiği uygulamaya Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) uygulama denir.

Gökalp ve Güngör'e (2001) göre, GZK GPS yöntemi ölçüm prensibi olarak DGPS'ye benzer. Fakat bu yöntemde kod ölçümünden farklı olarak taşıyıcı dalga faz gözlemleri kullanılır. Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre hassas olması sebebiyle GZK GPS yöntemi DGPS' e göre çok daha hassas sonuç verir. Bu ölçü yönteminde önceki yöntemlerde kullanılan donanıma ilave olarak sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeleri yayınlayan bir radyo vericisi ve gezici biriminde de

gönderilen radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısına ihtiyaç vardır. Yöntemin hassasiyeti 10-20 mm+2*10-6*S (S=km cinsinden referans ile gezici arasındaki mesafedir.). Bu yöntem S<50 km olduğu durumlarda iyi sonuç verir (Yaprak ve Yaprak 2005).

4. GPS ÖLÇÜ VE HESAP SONUÇLARINA ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI

Genel olarak GPS sistemi, yüksek doğrulukta konum belirleme sistemidir. Gerek ölçü esnasında gerekse hesap sonuçlarını çeşitli etmenlerden dolayı sonuç değerlerin hatalı bulunmasına neden olmaktadır. Navigasyon, araç takibi, askeri uygulamalarda bu etkiler fazla önemli olmayıp, deformasyon, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde, jeoit belirlemeleri vb yüksek doğruluk istenen konum belirleme uygulamalarında bu etkiler giderilmesi veya en aza indirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1: GPS hata kaynakları

GPS ölçü ve hesap sonuçlarına etki eden hata kaynaklarını genel olarak şu şekilde sıralayacak olursak (Şekil 4.1);

- Düzenli Hatalar:
  - Uydulardan kaynaklanan hatalar;
    - Uydu yörünge hatası
    - Uydu saat hatası

- Alıcılardan kaynaklanan hatalar;
  - Alıcı saat hatası
  - Alıcı anten faz merkez hatası
- Ortamdan kaynaklanan hatalar;
  - İyonosferik etki
  - Troposferik etki
  - Başlangıç faz belirsizliği (BFB) etkisi

❖ Düzensiz Hatalar,

- Faz sıçrama ve kesikliği (cycle slips)
- Sinyal yansıması (multipath)
- Kullanıcıdan kaynaklanan hatalar

4.1. Düzenli Hatalar

Düzenli hatalar ölçülerin değerlendirme aşamasında tamamen yada büyük bir kısmı giderilerek sonuç değerlere olan etkileri minimum seviyesine indirilir. Bunlar; Uydulardan kaynaklanan hatalar (uydu yörünge ve uydu saat hataları), Alıcılardan kaynaklanan hatalar (alıcı saat ve alıcı anten faz merkez hatası), Ortamdan kaynaklanan hatalar (iyonosferik etki, troposferik etki ve BFB etkisi) olarak sıralayabiliriz.

4.1.1. Uydulardan kaynaklanan hatalar

4.1.1.1. Uydu yörünge hatası

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin (efemeris) doğruluğunu düşük olduğu yada kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya uydu yörünge hatası (efemeris hatası) denir. Bu hatalar, uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellendirilerek, uydu yörüngenin daha duyarlı hesaplanmasına bağlıdır (Tuşat 2003, Kahveci ve Yıldız 2005).

Rizos' a (1999) göre, uydunun bilinen konumu ($\underline{r'}$) ile gerçek konumu ($\underline{r}$) arasındaki fark vektörü uydu yörünge hatası ($\underline{dr}$) ;

$$\underline{dr} = \underline{r'} - \underline{r} \tag{4.1}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Uydu konum hatası $\|\underline{dr}\|$, baz uzunluğu $\|\underline{b}\|$ olmak üzere, bunların mutlak konum ve bağıl (relative) konum belirlemeye etkileri;

Mutlak konum belirleme hatası, $\approx PDOP.\|\underline{dr}\|$, (4.2)

Bağıl konum belirleme hatası, $\approx \{\|\underline{dr}\| / \|\underline{dr}\|\}. \|\underline{b}\|$ (4.3)

bağıntıları ile hesaplanır (Kurt 2003a).

IGS uydu yörünge bilgilerini doğruluk, elde etme süresi ve elde edileceği yer olarak Çizelge 4.1' de verilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2005) ;

Çizelge 4.1: IGS yörünge doğrulukları

Yörünge	**Doğruluk (m)**	**Ede Etme Süresi**	**Elde Edilen Yer**
Yayın Efemerisi (Broadcast)	3.00	Anlık (real time)	Uydu mesajları
CODE Kestirim (piredicted)	0.20	Anlık	CODE Merkezi
CODE Hızı	0.10	16 saat sonra	CODE Merkezi
IGS Ultra Hızı	0.15	3 saat sonra	IGS Veri Merkezi
IGS Hızı	0.10	19 saat sonra	IGS Veri Merkezi
IGS Sonucu	0.05	13 gün sonra	IGS Veri Merkezi

4.1.1.2. Uydu saat hatası

Uydu ve GPS alıcısı arasındaki uzaklık; sinyalin uydudan çıkıp alıcıya ulaştığı andaki geçen zamanın ışık hızı ile çarpımına eşittir. Uydu saatlerinde meydana gelebilecek hata uydu-alıcı arasındaki mesafenin yanlış hesaplanmasına neden olacaktır.

Uydusal saat hatası hem referans hem de diğer alıcı noktalarında aynı olacağından ve de tekli ya da ikili farklar kullanıldığında yok olacağından, uydusal osilatörünün GPS zamanına senkronizasyonu bağıl konum-lama yöntemleriyle üretilen ölçülerin büroda değerlendiril-melerinde (post-processing) çok büyük önem

arz etmemek-tedir. Gerçek zaman ya da mutlak konumlama uygulamala-rında uydusal saatinin GPS zamanına senkronizasyonu avantajlı olabilmektedir. (Mekik 2003)

Uydularda alıcılarda kullanılan ucuz kristal (kuvars) saat osilatörler yerine doğruluğu son derece yüksek (10^{-14}sn) sezyum ve ribidyum atomik saatleri kullanılmaktadır. Uydu saatleri fiziksel olarak düzeltilmektense osilatör düzeltme miktarı kadar kaydırılmakta ve düzeltmeler ayrıca uydu tarafından navigasyon mesajının bir parçası olarak yayınlanmaktadır (Çorumluoğlu 2000).

4.1.2. Alıcılardan kaynaklanan hatalar;

4.1.2.1. Alıcı saat hatası

Özcan'a (1997) göre, alıcıdan kaynaklanan hatalar, alıcı saatlerinde ki belirsizlik ve istasyon koordinatlarının tam olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. Uydu ve yeryüzündeki saatlerin gidiş hızları arasındaki fark;

$$\Delta T = \frac{1}{c^2}\int_0 \left[-m\left\{\frac{1}{r_S} - \frac{1}{r_E}\right\} + \frac{V_E^2 - V_S^2}{2}\right] dt \qquad (4.4)$$

bağıntısı ile verilir. Bağıntıda, uydu hızı V_s, gözlem noktası hızı $V_{E,}$ alıcı ile uydu arasındaki uzaklık r_S, yerin merkezine olan uzaklık r_E ile belirtilmiştir (Yıldırım 2002).

Alıcı içerisinde uydu sinyalinin kopyasını oluşturmak için kullanılan osilatör genellikle pahalı olmayan kuvars kristalinden yapılmaktadır. Tabii bu da alıcı saati ile GPS referans zaman sistemi arasında uydu saatinde oluşandan daha büyük bir saat hatasının oluşmasına neden olmaktadır. Alıcı saati hatalı ise ve GPS alıcısı da tüm uyduları izlemek için gerekli olan sinyallerin üretiminde aynı osilatörü kullandığından eş zamanlı olarak izlenen tüm uydular aynı miktarda bu hatadan etkileneceklerdir. Bu nedenle GPS konum belirlemede 4. bir uydunun gözlenmesi alıcı saat hatasının çözümü için gerekmektedir (Çorumluoğlu 2000).

4.1.2.2. Alıcı anten faz merkez hatası

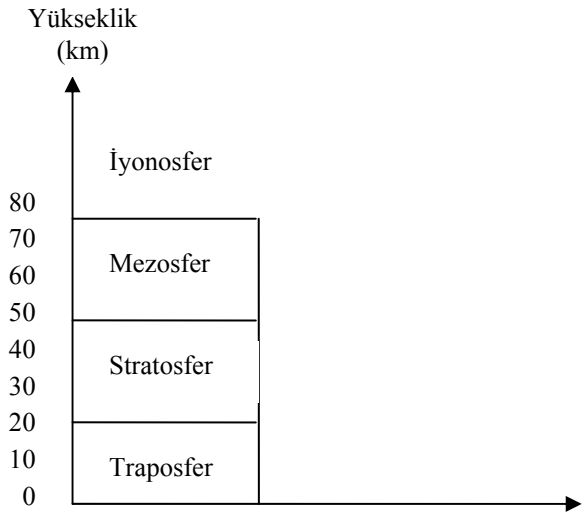
Antenin fiziksel merkezi ölçülecek noktanın üzerine düşey olarak yerleştirildiği kısımdır. Antenin elektriksel merkezi ise sinyalin anten tarafından alındığı yerdir. Pek çok antende bu iki merkez arasında konumsal bir fark bulunur. Bunlara faz merkezi şeklinde de isimlendirilen elektriksel merkezin uydu yüksekliği ve azimuta bağlı olarak değişiklik göstermesi de eklenebilir. Bunun miktarı anten çeşidine bağlı olarak bazı şartlarda birkaç milimetre seviyesinde olabilir (Çorumluoğlu 2000). Bu iki merkez arasında sabit bir kayıklık olabilir. Bu problemanten üreticileri tarafından giderilebilecek bir problemdir. Uydudan gelen sinyalin gücüne ve yönüne göre antenin elektrik faz merkezi değiştiğinden, uydu alıcı geometrisinin değişimi de aynı etkiyi yapacaktır (Rizos 1999).

Jeodezik amaçlı antenlerde, faz merkezi genellikle yatay konumda anten fiziksel merkezi ile aynı olup, esas sorun düşey bileşendedir. Bu sebeple faz merkezi anten fiziksel merkezine göre iyi bilinmeli ve arazide yapılan anten yüksekliği ölçüleri yeterli titizlikte ve mm duyarlıkta ölçülmelidir (Tuşat 2003).

Anten faz merkez değişim miktarı her anten yapısı ve modeli için farklı olduğundan modellendirilmesi oldukça zordur. Yapı ve model olarak aynı olan antenler benzerlik gösterdiğinden, ölçüye başlamadan antenler aynı istikamete çevrilmelidir. Böylece anten faz merkezinden kaynaklanacak hata en aza indirgenmiş olur (Kahveci ve Yıldız 2005).

4.1.3. Ortamdan kaynaklanan hatalar;

4.1.3.1. İyonosferik etki



Şekil 4.2: GPS sinyalinin geçtiği atmosferin yapısı

Şekil 4.2' de yüksek atmosfer bölgesinin tamamı gökyüzünde iyonosfer tabakasını oluşturmaktadır. Bu bölge ileri derecede iyonlaşmış, dolayısıyla elektrik iletkenliği kazanmış bir tabakadır. İyonosfer tabakası yaklaşık 70-3000 km kısmını oluşturmakta olup, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahiptir.

İyonosfer tabakasının özellikle GPS ölçülerine neden olduğu sorunlar, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya ulaşması sırasında meydana gelebilecek sinyal kesiklikleridir. İyonosferik etkiden dolayı faz ölçülerindeki kesikliklere (cycle slips) neden olmaktadır. Bundan dolayı yüksek doğruluk isteyen jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçülerde iyonosferik etki dikkate alınmalıdır (Kahveci 1997).

İyonosferin GPS ile yapılan kod ve faz ölçülerine etkileri farklıdır. Kod ölçüleri için iyonosferik gecikme etkisi (group delay) söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) söz konusudur. İyonosfer radyo dalgalarını dağıtıcı özelliğe sahip olup, bu etki radyo dalgalarının frekansına bağlıdır (Kahveci ve Yıldız 2005, Yılmaz 1998)

İyonosferin elektromanyetik dalgalara etkisi Toplam Elektron Yoğunluğu (TEC) olarak ifade edilir. uydu ile alıcı arasındaki uzunluk zaman birimine çevrilirse;

$$\Delta t(L_i) = \frac{40{,}3}{f^2(L_i)}.TEC = \frac{\Delta\rho(L_i)}{c} \tag{4.5}$$

bağıntısı elde edilir. (4.1) eşitliğinde c boşluktaki ışık hızını, TEC uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca m^2 deki toplam elektron sayısı, f sinyal frekansı olmak üzere; iyonosferik etki TEC ile doğru, sinyal frekansı ile ters orantılıdır. İyonosferik etki görüldüğü gibi sinyal frekansına bağlı olduğundan dolayı GPS ölçülerinde çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır.

İyonosfer tabakasında düşey doğrultudaki elektron sayısı (VEC) bağlı olarak düşey doğrultudaki iyonosferik etki;

$$dV = \frac{40{,}3}{f^2(L_i)}.VEC \tag{4.6}$$

bağıntısıyla verilir. Sinyal doğrultusu dikkate alındığında bağıntı;

$$\Delta\rho(L_i) = \frac{40{,}3}{f^2(L_i)}.\frac{VEC}{Cosz} \tag{4.7}$$

bağıntısına dönüşür.

Birbirine yakın uzunlukta ölçü yapılan iki alıcı için iyonosferik etki aynı kabul edilir. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak iyonosferik etki büyük ölçüde giderilmektedir. Ancak uzun bazlar da ,(>100km) mutlaka çift frekanslı alıcı kullanılmalıdır (Tuşat 2003).

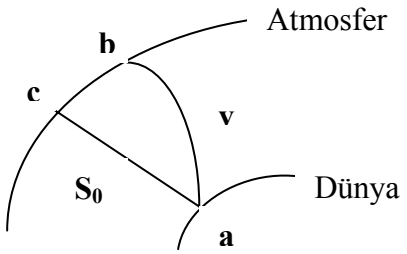
İyonosferik etkinin büyük bölümü uygun atmosferik modellemeler ile giderilmektedir. Ancak en etkili yöntem çift frekanslı aletler kullanılarak L_1 ve L_2 frekanslarının her ikisinde de ölçmeler yapılır. Değerlendirme aşamasında uygun frekans kombinasyonları kullanılarak elimine edilebilir. (Kahveci 1994, Yılmaz 1998).

4.1.3.2. Troposferik etki

Uydudan gönderilen GPS sinyallerinin alıcıya ulaşmadan önce, atmosferde en son geçecekleri tabaka traposfer tabakasıdır. Kalınlığı 6-18 km kadardır. Bu kalınlık ekvatorda daha fazla, kutuplarda daha azdır. Hava olayları daha çok troposferin 3-4

km alt kısmında olmaktadır. Daha yukarılarda havada nem oranı çok az olduğundan atmosfer olayları pek görülmez. Troposfer tabakası elektrik yüklü olmadığından (nötr) yaklaşık 30 GHz' in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir (Özaydın ve ark. 1993). Bundan dolayı frekansa bağlı olmayıp, troposferik gecikme etkisini çift frekanslı alılar kullanarak gidermek mümkün değildir. Nötr atmosferin radyo sinyallerinden yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi olarak nitelendirilir.

Nötr atmosfer, elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirir. Elektro manyetik dalgaların yavaşlamasına ve bir miktar eğilmesine neden olur.



Şekil 4.3: Troposferik gecikme etkisi

Troposferik gecikmeyi hesaplamak için; s fermat teorisine göre ışının izleyeceği en kısa yol, N kırılma, n kırılma indisi, T_k^p troposferik gecikme, s_o geometrik uzunluk (Şekil 4.3) , v sinyal yolu uzunluğu olmak üzere,
Geometrik uzunluk;

$$s_o = \int_a^c ds_o \tag{4.8}$$

Fermat teorisine göre sinyal yolu boyunca uzunluk,

$$s = \int_a^b nds \tag{4.9}$$

elde edilir. (4.8) ve (4.9) bağıntıları farkı alınırsa,

$$T_k^p = \int_a^b (n-1)ds + (v - s_o) \tag{4.10}$$

bağıntısı elde edilir. Buradan Troposferik gecikmeyi yazacak olursak,

$$T_k^p = 10^{-6}.\int N.ds \tag{4.11}$$

elde edilir. (4.11) bağıntısının çözülebilmesi için N kırılmasının bulunması gerekir,

$$N = K_1.\left(\frac{P_d}{T}\right) + K_2.\left(\frac{e}{T}\right) + K_3.\left(\frac{e}{T^2}\right) \tag{4.12}$$

bağıntısı ile bulunur. (4.12) eşitliğinde; N Troposfer tabakası atmosferin 0-40km lik kırılmayı, T Kelvin cinsinden sıcaklık, P_d mbar cinsinden kuru gazın kısmı basıncı, e ise mbar cinsinden subuharı basıncını belirtir (Arslan 1997b).

(4.12) eşitliğini kuru hava $N_d(s)$ ve su buharı $N_w(s)$ olarak düşündüğümüz de ,

$N=N_d(s)+N_w(s)$

$N_d(s)=77,6(P/T)$ (4.13)

$N_w(s)=3,73x10^5(e/T^2)$

bağıntıları ile ifade edilir. Resch' e (1984) göre, K_1, K_2, K_3 deneysel katsayılar Çizelge 4.2' de verilmiştir

Çizelge 4.2: Deneysel katsayılar

	Smith ve Wintraub (1953)	Thayer
$K_1(K/mbar)$	77.610 ± 0.010	77.604 ± 0.014
$K_2(K/mbar)$	71.600 ± 9	64.790 ± 0.080
$K_3(K/mbar)$	$(3.747 \pm 0{,}03) \times 10^5$	$(3.776 \pm 0.004) \times 10^5$

(4.5) eşitliğinin doğuluk derecesi normal atmosferik koşullarda yaklaşık %0,5 olarak verilmektedir (Kahveci 1997).

Atmosfer, kuru hava ve su buharı olmak üzere iki ideal gazın karışımı olarak düşünülürse, bunlardan $N_d(s)$ kuru bileşen, $N_w(s)$ ıslak bileşen kabul edilirse; troposferik gecikmenin %90' ı kuru bileşen, %10 luk geriye kalan ıslak bileşeni oluşturmaktadır. $N_d(s)$' nin troposferdeki değişimi çok küçük olup, 40 km ve daha yukarısı için göz ardı edilebilir. $N_w(s)$ yere yakın 0-5 km yükseklikler için önemlidir (Tuşat 2003). Çizelge 4.3' de ıslak ve kuru bileşen büyüklükleri verilmiştir.

Modellemesi nispeten zor olan, atmosferik basınç, sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki değişimlerin çok olduğu troposferin alt tabakasından geçer. GPS sinyallerindeki troposferik gecikmeyi belirlemek ve gidermek için Saastamoinen, Hopfield, Black ve Standart Atmosferik Model gibi modeller kullanılır (Mekik 1997). Hein vd. (1997)' göre, bu modellerle belirlenen troposferik gecikme uydu

eğim açısına büyük ölçüde bağımlıdır. Uydusal durumunda ise, uydusal yüksekliğindeki küçük bir değişim eğim açısında birkaç derecelik değişime yol açabilir. Bununla birlikte, uydusallarla konumlamada troposferik gecikme belirleme ve gidermede standart atmosfer modeli kullanılmaz. Bunun nedeni ise model parametrelerinin 20000 km'den fazla uzaklıktan gelen GPS uydu sinyallerine göre tasarlanmış olmasıdır (Mekik 2003).

Troposferik gecikme, GPS sinyalinin atmosferin troposfer tabakasında almış olduğu yola bağlı olduğundan uydu yükseklik açısıda (zenit açısı) bir fonksiyondur. GPS sinyali zenit doğrultusu boyunca ilerleyeceğinden, zenit açısı ne kadar büyükse ΔS_d ve ΔS_w değerleri o kadar fazla olacaktır.

Çizelge 4.3: Islak ve kuru bileşen büyüklükleri

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

Bu artım miktarı 1/CosZ kadardır. Troposferik gecikmede uydu yükseklik açısıda bir fonksiyon olduğundan, GPS gözlemlerinde ve değerlendirmelerde uydu yükseklik açısı 15^0 ve yüksek seçilmelidir. Daha küçük açıların kullanılması sinyal yansıma etkisine neden olur. Zenit açısına bağlı olarak troposferik gecikmeyi yazacak olursak;

ΔS_d^z zenit doğrultusundaki kuru bileşen, ΔS_w^z zenit doğrultusundaki ıslak bileşen ve f_d ve f_w bileşenleri indirgeme fonksiyonlarını göstermek üzere,

$$\Delta S_{trop}^z = f_d . \Delta S_d^z + f_w . \Delta S_w^z \tag{4.14}$$

tropsferik gecikme etkisi elde edilir (Kahveci 1997, Kahveci ve Yıldız 2005).

Troposfer etkisinden dolayı meydana gelebilecek hatalar, ölçülen ısı ve basınç ile uydunun yüksekliğine bağlı olarak geliştirile, geliştirilmiş olan matematiksel modeller yardımıyla azaltılmaya çalışılmaktadır. Hopfield Modeli (Yionoulis , Goad and Goodman, Black, Blank and Eisner), Saastamoinen Modeli, Sürekli Kesirli

Modeller (Marini and Murray, Chao, Davis, Niell, Herring), Su Buharı Modelleri (Chao, Berman) modellerini örnek verebiliriz.

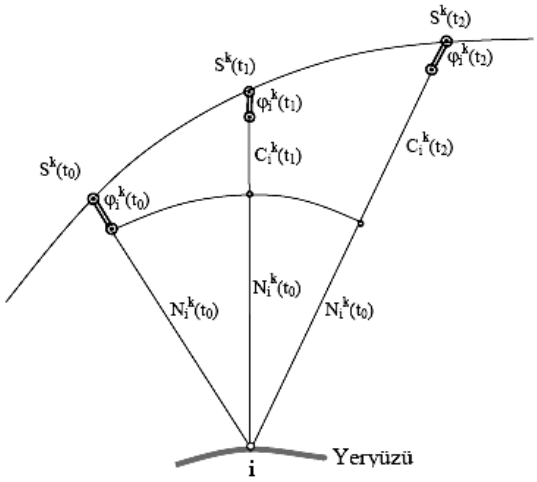
Geodetic Survey Division'a (1992) göre, GPS ölçülerinin değerlendirmelerinde standart troposferik modellerden herhangi birisinin kullanılabileceği belirtilmektedir (Tuşat 2003). Kahveci (1997) Doktora tez çalışmasında, mevcut olan troposferik düzeltmenin hesaplanmasında, arazide ölçülen meteorolojik parametre değerleri kullanılmadan elde edilen çözümlerin, meteorolojik değerler kullanıldığında elde edilen çözümlere göre daha iyi tekrarlanırlık verdiği belirtilmektedir.

Tuşat'ın (2003) tez çalışmasında, 10^o ve 15^o uydu yüksekliklere göre, Hopfield, Saastamoinen, Niell troposferik modeller alınarak troposferden kaynaklanan hatalar incelenmiş, elde edilen farkların büyük ölçekli harita çalışmaları için beklenen doğrulukların altında olduğu belirtilmiştir. Büyük Ölçekli Harita Yapım çalışmaları için TUTGA'ya bağlı nokta sıklaştırmalarında, ticari yazılımlar ile standart troposfer modellerden herhangi birinin kullanılmasının beklenen doğruluğu sağladığı belirtilmektedir (Tuşat 2003).

Bu nedenle, yapılan uygulamada GPS ölçülerinin değerlendirme aşamasında ticari yazılımlar kullanıldığı için, troposferik etkiyi en aza indirmek maksadıyla Hopfield modeli seçilmiş olup, atmosferik şartlar göz önüne alınmamıştır.

4.1.3.3. Başlangıç faz belirsizliği (BFB) etkisi

Alıcı ölçü almaya başladığında herhangi bir uydudan kaydedilen ilk sinyalin (sıfır epoku) tam dalga boyu sayısı belli değildir. Bu belirsizliğe taşıyıcı dalga "Başlangıç Faz Belirsizliği (ambiguity)" (BFB) denilmektedir (URL5).



Şekil 4.4: Başlangıç faz belirsizliğinin geometrik yorumu

Teunissen ve Klusberg' e (1998) göre, Şekil 4.4' de taşıyıcı faz belirsizliği;

$$\phi_i^k(t_j) + N_i^k(t_o) + \Delta_i^k(t_j) = \varphi_i^k(t_j) + N_i^k(t_o) + \Delta_i^k(t_j) \tag{4.15}$$

eşitliği ile belirlenir. (4.15) eşitliğinde t_j ölçü epoklarını (j=0,1,2…), $\Delta_i^k(t_j)$ düzenli ve rasgele hataları göstermektedir, $\phi_i^k(t_j)$ t_j anındaki taşıyıcı faz ölçüsü, $\phi_i(t_j)$ sinyalin alım anında alıcıda üretilen taşıyıcı dalganın fazı, $\phi^k(t_j - \tau_i^k(t_j))$ sinyalin yayımlanma anında uydudan üretilen taşıyıcı dalganın fazını belirtir. $\phi_i^k(t_j)$ iki ayrı bileşenden oluşur. Bunlardan biri ölçülebilen kısım olan faz parçası $\varphi_i^k(t_j)$ ve diğeri ise alıcıda sayılabilen yada ölçülebilen tam periyotların sayısı $C_i^k(t_j)$' dır. Ölçü başlangıcında t_o'dan itibaren ölçülemeyen tam dalga boyu sayısı $N_i^k(t_o)$ bilinmez. Sinyal kesikliği olmadığı sürece BFB (4.15) eşitliği ile hesaplanır.

Daha önceden belirtildiği üzere GPS ile kod ve faz uzunluk ölçüleri yapılmaktadır. Faz ölçüleri uydudan gönderilen sinyal fazı ile alıcının üretmiş olduğu sinyal fazı arasındaki farktır. Uydu alıcı arasındaki sinyalin tam dalga sayısı bilinmemektedir.

Faz ölçüsü *mm* duyarlıkta ve kod ölçüsü *m* duyarlıkta elde edilir. Doğal olarak *mm* doğruluğa ulaşabilmek için faz ölçüleri vazgeçilmez ölçü türüdür. Başlangıç Faz Belirsizliğinin (BFB) doğrudan elde edilememesi faz ölçülerinin en önemli eksikliğini ortaya koymaktadır. Bu bilinmeyenler kurulan matematik modele eklenerek En Küçük Kareler Yöntemine (EKK) göre kestirilirler. EKK yöntemine

göre BFB bilinmeyenlerinin tamsayı değerlerini bulma işlemine Tamsayı EKK (TEKK) adı verilir. TEKK yönteminin başarı oranını artıran etkenler; alıcı frekans sayısı, GPS alıcısının görmüş olduğu uydu sayısı ve matematiksel modelin eksiksiz kurulması olarak sıralanabilir (Kurt 2005)

TEKK uygulama yöntemlerini sıralayacak olursak;

- LSAST (Least Ambiguity Search Tecnique), En küçük kareler araştırma tekniği
- FARA (Fast Ambiguity Resolution Approach), Hızlı BFB çözümü yaklaşımı,
- LAMBDA, EKK-BFB' nin korelasyonsuzlaştırarak dengelenmesi,
- FASF (Fast Ambiguity Search Fitler), Hızlı BFB araştırma filitresi,
- OMEGA, (Optimal Metod for Estimating GPS Ambiguity), GPS' de BFB kestirimi için optimum yöntem olarak sıralanabilir (Kurt 2003a).

Tam sayı faz bilinmeyeni sadece faz ölçülerinde bilinmeyen olarak işleme girmektedir. Bu bilinmeyen zamanla bağımsız olup, uydu ve alıcıya bağımlıdır. Zamandan bağımsız olarak ölçü anında herhangi bir kesiklik olmaması gereklidir. Eğer sinyalde herhangi bir nedenden dolayı kesilme olursa bu durumda BFB çözümü yenilenir. Goad' a (1985) göre, BFB çözümündeki güvenilirlik ve doğruluk iki ölçü noktası arasındaki kenarın belirlenmesinde çok önemlik bir faktördür (Gökalp 1994).

4.2. Düzensiz Hatalar

Uygulamalarda ölçüyü ve ölçü sonucunu etkileyen düzenli hatalar söz konusudur. Düzenli hatalar ölçülerin değerlendirme aşamasında tamamen yada büyük bir kısmı giderilerek sonuç değerlere olan etkileri minimum seviyesine indirilir. Fakat düzensiz hatalar tespit edilemediğinden etkileri sonuç değerleri direkt etkilemektedir.

4.2.1. Faz sıçrama ve kesikliği (cycle slip)

Uydudan gönderilen sinyalin herhangi bir nedenden dolayı alıcıya ulaşmaması ya da sinyalde kısa süreli kesikler meydana gelmesinden dolayı doğru olmayan faz ölçüleri yapılır.

Ölçü esnasında uydunun hareketinden yada engel ortadan kalktıktan sonra faz ölçüsü eski halini alır. Engel öncesi tam dalga sayısı ile engelden sonraki tam dalga sayısı birbirinden farklıdır. Bu farka Faz Kesikliğ (Cycle Slip) denir (Yıldırım 2002). Faz kesikliklerinin nedeni;

- Ölçü noktası çevresindeki ağaç bina, köprü, dağ vb. uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesneler,
- Kötü iyonosferik şartlar nedeniyle sinyal gürültü (S/N) oranının düşük olması,
- Sinyal yansıma etkisi
- Alıcı yazılımından ulaşılabilecek arızalar

şeklin de sıralayabiliriz (Tuşat 2003).

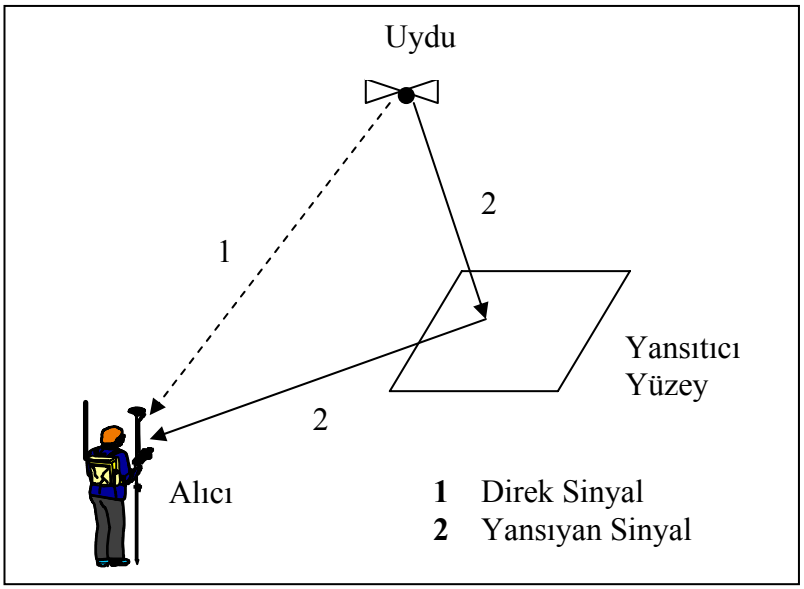
Şekil (10.3)'de i alıcısından k uydusuna t_o ve t_1 epoklarında yapılan faz ölçülerini göz önünde bulunduralım. Bu iki epok arasındaki ölçme aralığı küçük $(t_1 = t_o + 1sn)$ ise, t_o ve t_1 epokları için (10.1) bağıntısından $\Delta_i^k(t_o) \approx \Delta_i^k(t_1)$ olacaktır. t_1 epoğunda sinyal kesilmesi var ise, faz sıçraması $C_i^k(t_1)$ olmak üzere t_1 epoğundan sonra yeni BFB,

$$N_i^k(t_1) = N_i^k(t_0) + C_i^k(t_1) \tag{4.16}$$

eşitliği ile hesaplanır.Faz sıçraması BFB değerlerinin değişmesine neden olur.

Uygulamada faz sıçraması genellikle verilerin önceden işlenmesi ile belirlenir ve giderilir.Faz sıçraması belirlemek için; konum belirleme moduna, baz uzunluğuna, elde edilen verilere, anten yapısına ...vb. bağlı olan bir çok yöntem uygulanmıştır (Kurt 2003a). Pratik amaçlı konum belirlemelerde 20 km' yi geçmeyen kısa bazlarda kullanılan mevcut GPS yazılımlarında tamamen otomatik olarak çözülmektedir (Kınık ve ark. 1993).

4.2.2. Sinyal yansıması (multipath)



Şekil 4.5: Sinyal yansıması (multipath)

Uydudan gönderilen sinyallerin birden fazla yol izleyerek alıcıya ulaşması, diğer bir değişle uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene bir veya daha fazla yol izleyerek ulaşmasına Sinyal Yansıma (multipath) etkisi denir (Şekil 4.5).

Sinyal yansıması, uyduların neden olduğu yansımalar (satellite multipath) ve alıcı anteninin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayırmak mümkündür. 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 göreli (bağıl) konumlama yöntemi kullanıldığında büyük ölçüde elimine olacaktır (Young ve ark.1989).

Anten sinyal yansımasına, çevresindeki yapılar, araçlar, su yüzeyleri (deniz, göl vb.) ve diğer yansıtıcı yüzeyler neden olmaktadır.

Sinyal yansımasının (multipath) kod ve faz gözlemlerine etkisini belirlenmesi için Georgiadou ve Kleusberg (1998)ile Rocken ve Meertens (1991) yapılan yapılan araştırmalarda P-kod gözlemlerinde normal yansıtma ortamında 1,3 m ve yüksek yansıtma ortamında ise 4-5 m' lik değişimler gözlenmiştir. Faz gözlemleri için yapılan denemelerde ise maksimum 4,8 cm' lik bir değer hesaplanmaktadır. Böylece sinyal yansımasının (multipath) etkisinin kod gözlemleri için daha büyük olduğunu

göstermektedir. Kötü çevre koşullarında multipath, kod gözlemelerinde mutlaka sinyal kesikliklerine neden olmaktadır (Kahveci 1997).

Tiryakioğlu ve ark (2005) tarafından yapılan uygulamada multipath etkisinden dolayı, koordinatların gerçek koordinatlardan farkı, X koordinatında maksimum 6.2 mm Y koordinatında ise maksimum 6.8 mm olduğu görülmüştür. Yapılan uygulamada 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 (Tiryakioğlu ve ark 2005).

GPS ölçülerinin sinyal yansıma (multipath) etkisinden en az etkilenmesi için; nokta yeri özellikle metal, su vb. gibi yansıtıcı yüzeylerden uzak seçilmeli, gözlem süresinin uzun tutulması, uydu yükseklik açısının 15^0 den büyük alınmalı, sinyal yansımasına duyarlı olmayan disk anteni ve çok bilezikli antenler (microstrip, choke ring, ground plane) kullanılmalıdır (Hofmann-Wellwnhof 1997, Arslan 1997b, Kahveci 1997, Çorumluoğlu 2000).

4.2.3. Kullanıcıdan kaynaklanan hatalar

GPS ölçülerini etkileyen diğer hata kaynakları gerek değişik ölçü yöntemleri ve gerekse matematiksel modellerle giderilmekte ya da en aza indirilmektedir. Fakat kullanıcıdan kaynaklanan hatalar tamamen GPS ölçüsünde yer alan teknik personelle ilgili olduğu için, bu hatanın giderilmesi personelin titiz ve doğru karar verebilmesine bağlıdır.

Kullanıcıdan kaynaklanan hataların ortadan kaldırılması için; görev alacak teknik personelin nokta yerinin belirlenmesi, ölçü sırasında oluşabilecek durumlarda çabuk karar verebilmesi, gözlem karnelerinin eksiksiz ve doğru doldurulması gerekmektedir. Bundan dolayı GPS ölçüsünde görev alacak teknik personelin iyi eğitilmesi gerekmektedir.

Mutlak konumlamada hata kaynaklarının standart GPS ölçü ve sonuçlarına etkileri Çizelge 4.4 de verilmiştir (Kalaycı 2006).

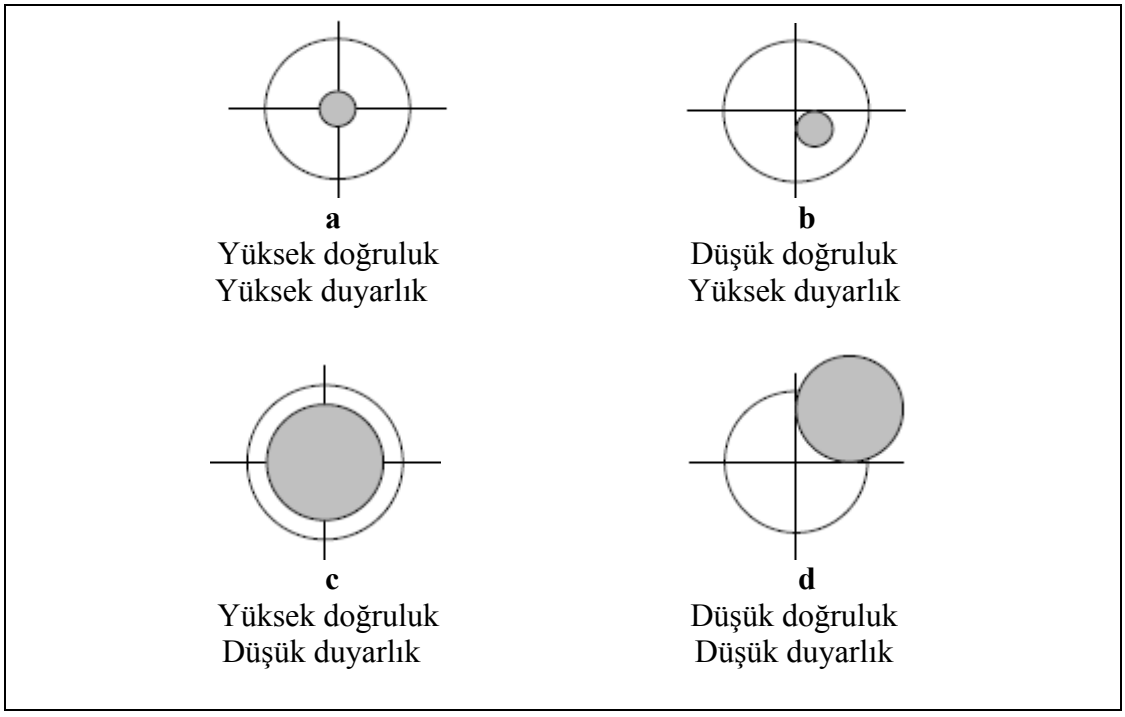
Çizelge 4.4: Mutlak konumlamada hata kaynaklarının standart GPS ölçü ve sonuçlarına etkileri

Hata Türü	Hata Miktarı (m)
Uydu saat hatası	1.5
Yörünge hatası	2.5
İyonosferik	5.0
Troposfer	0.5
Alıcı gürültüsü	0.3
Yansımalar	0.6
Yatay pozisyon hatası	5.2
Düşey pozisyon hatası	8.0
^d pozisyon hatası	12

5. GPS İLE KONUM BELİRLEMEDE DOĞRULUK VE DUYARLIK ÖLÇÜTLERİ

5.1. Doğruluk ve Duyarlık (Hassasiyet)

Hassasiyet, duyarlık, presizyon gibi terimler GPS ağlarında doğruluğu ifade etmektedir. Doğruluk ve duyarlık, GPS alıcısıyla elde edilen konumun ne kadar iyi olduğunu göstermek için kullanılır. Doğruluk, tahmin edilen miktarın gerçeğe yakınlık derecesini gösterir. Duyarlık ise, GPS ağlarında nokta konumlarının yatay veya düşey yöndeki değişim miktarlarının; yönü, hız vektörlerinin belirlenmesi için farklı zamanlarda yapılan ölçülerin karşılaştırılarak ve test edilerek belirlenmesidir, diğer bir değişle gözlemlerin ortalamaya yakınlık derecesini gösterir.



Şekil 5.1: Doğruluk ve duyarlık ilişkisi

Şekil 5.1' e bakıldığında gerçek değer artının merkezidir. Taralı alanın merkezi olması gereken değeri, taralı alanın yarıçapı standart sapmayı belirtir.

Bir ölçü aletinin duyarlığı kesinliğine ve gerçeğe uygunluğuna, bir ölçünün duyarlığı ise ölçülecek şeyin niteliğine, gözlemciye ve çevre koşullarına bağlı olmaktadır. Doğruluk ise, bir ölçüm sonucunun gerçek ya da gerçek olarak düşünülen değere yakınlığı olarak tanımlanmaktadır (Gülal 2003).

Standart sapma, ppm, hata elipsi, güven elipsi, LEP, CEP, SEP, drms, 2drms, rms duyarlılığın ölçütleri olarak kullanılmaktadır.

Navigasyon amaçlı ölçmelerde doğruluk herhangi bir zamanda herhangi bir kara, hava veya deniz aracının belirlenen yada hesaplanan konumunun o aracın aynı andaki gerçek (hatasız) konumuna olan yakınlığı olarak tanımlanabilir. Söz konusu ölçmelerde elde edilen konum ile olması gereken (gerçek) konum arasındaki fark ne kadar küçükse ulaşılan doğruluk o kadar yüksek olur. Fakat, GPS' de navigasyon amaçlı anlık konum belirleme uygulamalarında yüksek doğruluklara ulaşmak kullanıcının dışında gelişen bir durumdur.

GPS ile navigasyon uygulamalarında Ameriken Savunma Dairesi (DoD; Department of Defence) tarafından, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olan Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (PPS; Precise Positioning Service) ve PPS' e göre yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olan Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS; Standard Positioning Service) olmak üzere iki farklı konum belirtme hizmeti sunulmaktadır. PPS sadece yetkili (askeri) kullanıcılara açıktır. SPS ise sivil ve asker tüm kullanıcılara açıktır.

Navigasyon sistemlerinin performanslarına ilişkin ölçütler %95 olasılık seviyesinde (rms) belirtilirken, Amerikan DoD dokümanlarında ise %50 olasılık seviyesinde (CEP, LEP, SEP) belirtilmektedir. Diğer taraftan Federal Havacılık İdaresi (FAA; Federal Aviation Administration) standartları 2drms olasılık seviyesinde (yaklaşık %97 olasılıklı) verilmektedir. Dolayısıyla, doğruluk ölçütleri ile ilgili farklı kurumlar tarafından ortaya konulan bu farklı standartlar arasında istatistik ilişkilerin belirlenmesi, GPS sisteminin kullanılmasıyla elde edilecek performansların karşılaştırılabilmesi için büyük önem kazanmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

Jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü, noktalara göre tanımlanan ölçütlerdir. Bir jeodezik ağın duyarlığına ilişkin bilgilerin tümü, koordinat bilinmeyenlerinin varyans–kovaryans matrisinde depolanmıştır. Bu

nedenle, duyarlık ölçütlerinin hesaplanması için koordinat bilinmeyenlerinin varyans–kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır.

5.1.1. %50 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (LEP, SEP, CEP)

Her bir koordinat eksenindeki doğrusal hatalar için standart sapmalar $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ olarak kabul edersek aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

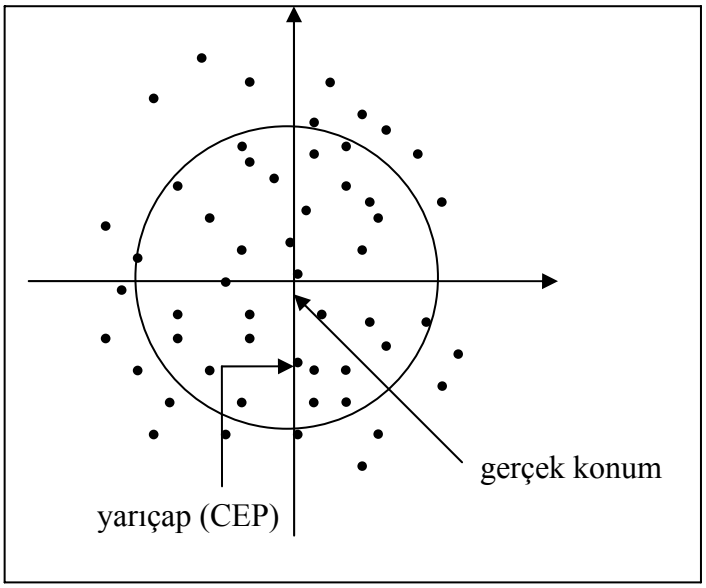
LEP (Linear Error Probable, 1 boyutlu), herhangi bir koordinat eksenindeki olası doğruluk hatası olup,

$$LEP = 0{,}6745.\sigma \tag{5.1}$$

eşitliği ile verilmektedir.

Langley' e (1991) göre, eğer üç koordinat eksenindeki standart sapmalar ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) eşitse standart hata elipsoidi bir küre halini alır. Bir noktanın belirlenen doğru konumlarının %50' sini kapsayan bu kürenin yarıçapı olası küresel hata SEP (Sherical Error Probabale, 3 boyutlu) olarak adlandırılır. Başka bir değişle, belirli bir noktada çok sayıda konum belirlendiği düşünülürse, o noktanın konumu merkez olmak üzere %50'sini kapsayan kürenin yarıçapı SEP olarak tanımlanmaktadır. Örneğin DoP, GPS ile anlık konum belirlemede 1991 itibariyle tüm dünya için 16 m' lik SEP hedeflenmiştir.

SEP'in iki boyutlu karşılığı ise Olası Dairesel Hata CEP (Circular Error Probable) olarak adlandırılır. CEP, bir noktada belirlenen doğru yatay koordinatların %50 olasılıkla içinde bulunduğu (merkezi noktanın gerçek konumu olan) dairenin yarıçapı olarak ifade edilebilir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: CEP (Circular Error Probable) dairesi

Matematiksel bir ifade olarak CEP,

$$CEP = 1{,}1774.\sigma_C \tag{5.2}$$

eşitliği ile belirtilir. Burada σ_C dairesel standart hata olup (%39,4 olasılıklı),

$$\sigma_C \cong \frac{1}{2}.(\sigma_x + \sigma_y) \tag{5.3}$$

(5.3) ile belirlidir. Standart hata elipsinin büyük yarı ekseni *X* ve küçük yarı ekseni *Y* olmak üzere,

$$CEP = 1{,}1774.\frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \tag{5.4}$$

şeklinde yazılır. Eğer $\sigma_X = \sigma_Y$ ise

$$CEP = 1{,}746.LEP \tag{5.5}$$

elde edilir. SEP ifadesi,

$$\begin{aligned} SEP &\cong 0{,}513.(\sigma_X + \sigma_Y + \sigma_Z) \\ SEP &= 0{,}76.LEP_{düşüş} + 0{,}87.CEP_{yatay} \end{aligned} \tag{5.6}$$

eşitlikleri ile verilmektedir.

Burada verilen eşitliklerin tamamı ölçülerin normal dağılımda olduğu varsayımı geçerli ise güvenilirli sonuçlar vermektedir (URL4, Kahveci ve Yıldız 2005).

5.1.2. %95 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (rms; root mean square)

Karesel ortalamanın karekökü *rms,* gerçek hata vektörleri ($\overline{e_i}$)'nin kareleri toplamının karekökünün ortalaması olup, *N* ölçü sayısını, *(X_o , Y_o , Z_o)* koordinat merkezini oluşturan hatasız nokta konumunu ifade etmektedir. Buna göre,

$$\Delta X = \sum_{i=1}^{N} (X_i - X_0)/N$$
$$\Delta Y = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - Y_0)/N \qquad (5.7)$$
$$\Delta Z = \sum_{i=1}^{N} (Z_i - Z_0)/N$$

Buradan matematiksel eşitlikler, iki boyutta rms(2B),

$$RMS(2B) = \frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}\left|\overline{e_i}\right|^2 = \frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2} \qquad (5.8)$$

üç boyutta rms(3B),

$$RMS(3B) = \frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}\left|\overline{e_i}\right|^2 = \frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2} \qquad (5.9)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

drms (distance root mean square), iki boyutta doğruluk ölçütü tanımlamanın en yaygın şeklidir. drms doğruluk ölçütü %63 olasılık seviyesini ifade etmektedir,

$$drms = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \qquad (5.10)$$

eşitliği ile verilmektedir.

2drms (twice the distance root mean square) , GPS ile navigasyon amaçlı yatay konum belirlemede istatistik doğruluk ölçütüdür. Ayrıca 2drms, herhangi bir noktada belirli bir sistem kullanılarak elde edilecek olan konumun en az %95' ini kapsayacak bir dairenin yarıçapı olarak tanımlanır,

$$2drms = 2.\sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \qquad (5.11)$$

eşitliği ile hesaplanır. drms olasılığı %63 iken 2drms olasılığı %95 dir. 2drms navigasyon uygulamalarında sıklıkla kullanılmakta olup SPS ve PPS ile konum belirlemede yatay konumdaki doğruluk ölçütü için standart oluşturmaktadır. FRP(Federal Radionavigation Plan) SPS için yatay doğruluğun %95 (2drms) olasılıkla 100 m olacağını belirtmektedir. Bu ifade GPS ile belirlenen anlık nokta

konumlarının tamamının %95'i 100 m ve daha iyi doğrulukta olacaktır şeklinde yorumlanır. Geriye kalan %5 ise bu doğruluğun dışında kalacaktır. FRP, yükseklikle ilgili doğruluğu 2σ ile tanımlanmıştır. 2σ da %95 olasılığa karşılık gelmektedir. PPS için yatay konum doğruluğu 16 m, yükseklik doğruluğu ise 27,7 m dir. Bu değerler öngörülen limitler olup uygulamada çok daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilir. Çizelge 5.1' de boyuta bağlı olarak olasılık faktörleri verilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Çizelge 5.1: Boyuta bağlı olarak olasılık faktörleri

Doğruluk Ölçütü	**1-B olasılık**	**2-B Olasılık**	**3-B Olasılık**
3σ	%99.7	%98.9	%97.1
2σ	%95.0	%86.0	%78.8
2σ	%68.0	%39.3	%19.9
Olası Hata	%50($0.67.\sigma$)	%50($1.18.\sigma$)	%50($1.54.\sigma$)

5.2. Duyarlık Kaybı (DOP; Dilution Of Precision) Faktörleri

DOP faktörleri uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmekte yaygın olarak kullanılan ölçütlerdir. DOP, alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirine göre olan göreli konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin pseudonrange hataları ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometrik faktörleridir. DOP faktörleri en genel anlamda dengeleme sonrası elde edilen kofaktör (veya varyans-kovaryans) matrisinin fonksiyonu olarak elde edilmektedir. DOP faktörlerini şu şekilde tanımlayacak olursak;

- GDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,
- PDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,
- HDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara (enlem ve boylam) etkisini,
- VDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisi,
- TDOP, uydu geometrisinin zaman bilgisine etkisini ifade etmektedir.

DOP faktörleri ile ilgili özet bilgi Çizelge 5.2' de verilmiştir,

Çizelge 5.2: DOP faktörleri

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

DOP faktörleri yanlızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, günümüzde bir çok göreli (bağıl) konum belirleme uygulamalarında da kullanılmaktadır. Noktalar arasında oluşturulan baz vektörlerinden yararlanarak oluşturulan kofaktör matrisinden hesaplanan DOP faktörleri Göreli DOP (RDOP; Relative Dilution of Precision) olarak ifade edilmektedir.

σ_0 gözlenen pseudorange ölçüsünün standart sapmasını , σ koordinat bileşenlerinin (yatay ve düşey) standart sapmasını belirtmek üzere,

$$\sigma = DOP.\sigma_0 \tag{5.12}$$

Bu hesaplamalarda her bir uydu-alıcı çifti için hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları korelasyonsuz kabul edildiğinde ağırlık matrisi,

$$\underline{P} = \sigma_0^2.\underline{I} \tag{5.13}$$

eşitliği ile verilmektedir. Dengelenmiş nokta koordinatları ve alıcı saati hatasına ilişkin kofaktör matrisinden yararlanarak,

$$Q_{ECEP} = (\underline{A}^T.A)^{-1} = \begin{bmatrix} q_x^2 & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_y^2 & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_z^2 & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_t^2 \end{bmatrix} \tag{5.14}$$

elde edilir. Matrisin köşegen elemanlarından yararlanarak DOP faktörlerini yazacak olursak,

$$GDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_t^2}$$
$$PDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2}$$
$$HDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \quad (5.15)$$
$$VDOP = \sqrt{q_z^2}$$
$$TDOP = \sqrt{q_t^2}$$

elde edilir. DOP faktörleri arasındaki ilişki,

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2}$$
$$GDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2 + TDOP^2} \quad (5.16)$$
$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$$

(5.16) eşitliği ile yazılabilir. NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri Çizelge 5.3' de verilmiştir (URL4).

Çizelge 5.3: Kabul edilen DOP limitleri

PDOP	İyi Dikkatli Olmalı (Sınırda) Kullanma	PDOP<6 PDOP=6-10 PDOP>10
HDOP	İyi	HDOP ≤ 4
VDOP	İyi	VDOP ≤ 4,5
TDOP	İyi	TDOP ≤ 2

HDOP=1,5 ve UERE= 33,3 m kabul edilerek, %50 ve %90 olasılıklı tanımlanmış doğruluk ölçütleri arasındaki ilişkiler Çizelge 5.4' de verilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2005).

Çizelge 5.4: Yatay konum doğruluğuna ilişkin yaklaşık eşitlikler

Eşitlik	**Konum Doğruluğu (m)**	**Olasılık Aralığı (%)**
$CEP_{50} \approx 0{,}75.HDOP.UERE$	37.5	43-54
$CEP_{90} \approx 1{,}9.HDOP.UERE$	79.9	89-92
$CEP_{95} \approx 2.0.HDOP.UERE$	99.9	95-98

$$
\begin{aligned}
2drms &= 2{,}4.CEP \\
2srms &= 4{,}2.LEP \\
2drms &= 2{,}0.HDOP.UERE \\
CEP &= 0{,}833.rms
\end{aligned}
\tag{5.17}
$$

LEP, CEP ve 2drms arasındaki ilişki (5.17) eşitlikleri ile hesaplanır.

5.3. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri

Jeodezik ağda duyarlık ölçütleri, fiziksel ve geometrik geometrik ilişkileri tanımlayan fonksiyonel model ile ölçülerin duyarlığını ve aralarındaki korelasyonu gösteren stokastik modelin gerçeği yansıtması diğer bir değişle model hipotezinin geçerli olmasında doğrudur (İnal 2004).

5.3.1. Ağın bir noktasına ait duyarlık ölçütleri

Koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisi,

$$
Q_{XX} = N^{-1} = (\underline{A}^T.\underline{P}.\underline{A})^{-1} \tag{5.18}
$$

$$
Q_{XX} = \begin{bmatrix}
q_{XiXi} & q_{XiYi} & q_{XiZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{XiXp} & q_{XiYp} & q_{XiZp} \\
q_{YiXi} & q_{YiYi} & q_{YiZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{YiXp} & q_{YiYp} & q_{YiZp} \\
q_{ZiXi} & q_{ZiYi} & q_{ZiZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{ZiXp} & q_{ZiYp} & q_{ZiZp} \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
q_{XpXi} & q_{XpYi} & q_{XpZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{XpXp} & q_{XpYp} & q_{XpZp} \\
q_{YpXi} & q_{YpYi} & q_{YpZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{YpXp} & q_{YpXp} & q_{YpZp} \\
q_{ZpXi} & q_{ZpYi} & q_{ZpZi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{ZpXp} & q_{ZpYp} & q_{ZpZp}
\end{bmatrix} \tag{5.19}
$$

Ağdaki herhangi bir P_i ait ters ağırlık matrisi ve koordinat bilinmeyenleri,

$$
Q_{ii} = \begin{bmatrix}
q_{XiXi} & q_{XiYi} & q_{XiZi} \\
q_{YiXi} & q_{YiYi} & q_{YiZi} \\
q_{ZiXi} & q_{ZiYi} & q_{ZiZi}
\end{bmatrix} \tag{5.20}
$$

$$x_{\dot{I}} = \begin{bmatrix} X_{\dot{I}} \\ Y_{\dot{I}} \\ Z_{\dot{I}} \end{bmatrix} \tag{5.21}$$

eşitliği ile elde edilir. Koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi $(q_{XiXi}, q_{YiYi}, q_{ZiZi})$ kullanılarak dengeleme sonucunda hesaplanan karesel ortalama hata veya deneysel varyans (m_o)

$$m_o = \pm\sqrt{\frac{\underline{V}^T \underline{P}\underline{V}}{n-u}} \tag{5.22}$$

(5.22) eşitliği ile koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları (m_{Xi}, m_{Yi}, m_{Zi}),

$$m_{Xi} = \pm m_o\sqrt{q_{XiXi}} \quad , m_{Yi} = \pm m_o\sqrt{q_{YiYi}} \quad , \; m_{Zi} = \pm m_o\sqrt{q_{ZiZi}} \tag{5.23}$$

(5.23) eşitliklerinden elde edilir. Ayan'a (1982) göre, bağlantılı ağlarda doğruluk ölçütlerinin değerlerinin büyüdükleri görülür. Bu nedenle ağın noktalarının doğruluğunu gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Noktaların birbirine göre konum doğrulukları incelenir (Tuşat 2003).

Helmert nokta konum hatası,

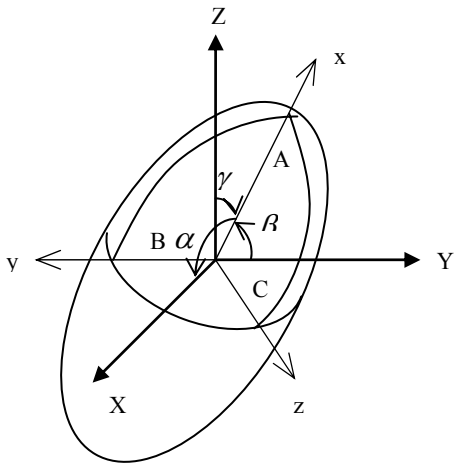
$$m_{Pi} = \sqrt{m_{Xi}^2 + m_{Yi}^2 + +m_{Zi}^2} \tag{5.24}$$

Werkweister nokta konum hatası,

$$w_{Pi} = m_{Xi}.m_{Yi}.m_{Zi} \tag{5.25}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. (5.25) eşitliğinde m_{Xi}, m_{Yi}, m_{Zi} koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hatalarını göstermektedir (Güllü 1998).

5.3.2. Helmert ortalama hata ve güven elipsoitleri



Şekil 5.3: Hata elipsoidinin elemanları

Noktalar göre duyarlık ölçütlerinden çok kullanılan Helmert Ortalama Hata elipsoididir.

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= 2\sqrt{-(p/3)\cos\varphi - (a/3)} \\
\lambda_2 &= 2\sqrt{-(p/3)\cos(\varphi + 2\pi/3) - (a/3)} \\
\lambda_3 &= 2\sqrt{-(p/3)\cos(\varphi + 4\pi/3) - (a/3)} \\
\cos 3\varphi &= \frac{-q}{2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)^3}}
\end{aligned} \tag{5.26}$$

Şekil 5.3' de bu elipsoidin elemanları *(A, B, C),*

$$\begin{aligned}
A_H &= m_o\sqrt{\lambda_1} \\
B_H &= m_o\sqrt{\lambda_2} \\
C_H &= m_o\sqrt{\lambda_3}
\end{aligned} \tag{5.27}$$

eşitliğinde A_H, B_H, C_H ; x, y, z yönündeki yarı ekseni, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ werkweister nokta konum matrisinin özdeğeridir (İnal 2004).

$$
\begin{aligned}
a &= -(q_{xx} + q_{yy} + q_{zz}) \\
b &= q_{xx}q_{yy} + q_{xx}q_{zz} + q_{yy}q_{zz} - q_{xy}^2 - q_{xz}^2 - q_{yz}^2 \\
c &= q_{xx}q_{yz}^2 + q_{yy}q_{xz}^2 - q_{xx}q_{yy}q_{zz} - 2q_{xy}q_{xz}q_{yz} \\
p &= b - (a^2/3) \\
q &= c - (ab/3) + (2a^3/27) \\
M_i &= q_{xz}(q_{yy} - \lambda_i) - q_{xy}q_{yz} \\
N_i &= (q_{xx} - \lambda_j)q_{yz} - q_{xy}q_{xz} \\
T_i &= q_{xy}^2(q_{xx} - \lambda_j) - (q_{yy} - \lambda_j) \\
W_j^2 &= M_j^2 + N_j^2 + T_j^2
\end{aligned}
\tag{5.28}
$$

buradan x, y, z ekseni yönündeki dönüklükler,

$$
\begin{aligned}
\cos\alpha_i &= \frac{M_i}{W_i} \\
\cos\beta_i &= \frac{N_i}{W_i} \\
\cos\gamma_i &= \frac{T_i}{W_i}
\end{aligned}
\tag{5.29}
$$

(5.29) eşitlikleri ile hesaplanır (Konak 1994).

Deneysel güven elipsoidinin yarı ekseni,

$$
\begin{aligned}
A_G &= m_o\sqrt{3\lambda_1 F_{3,f,1-\alpha}} \\
B_G &= m_o\sqrt{3\lambda_2 F_{3,f,1-\alpha}} \\
C_G &= m_o\sqrt{3\lambda_3 F_{3,f,1-\alpha}}
\end{aligned}
\tag{5.30}
$$

eşitliği ile hesaplanır. Helmert hata elipsoidi ve güven elipsoidi noktanın ortalama hatası gibi koordinat sistemindeki dönme ve ötelenmelerden etkilenmezler. Yalnızca büyüklükleri ağda bilinen noktaların konumuna bağlıdır. Güven elipsoidi hata elipsinden yaklaşık 3 kat daha güvenilirdir (İnal 2004).

3 boyutlu GPS ağlarında güven ve hata elipsleri arasındaki ilişki,

$$
\begin{aligned}
A_{H\%95} &= A_G \cong 2{,}8A_H \\
B_{H\%95} &= B_G \cong 2{,}8B_H \\
C_{H\%95} &= C_G \cong 2{,}8C_H
\end{aligned}
\tag{5.31}
$$

eşitliği ile ifade edilir. $\bar{x}$ bilinmeyenlerin gerçek değeri olmak üzere güven elipsoidinin olasılık bağıntısı,

$$P\left\{\left(\bar{x}-x\right)^T Q_{ii}^{-1}\left(\bar{x}-x\right)\le 3m_o^2 F_{3,f,1-\alpha}\right\}=1-\alpha \tag{5.32}$$

ve hata elipsoidinin olasılık bağıntısı,

$$P\left\{\left(\bar{x}-x\right)^T Q_{ii}^{-1}\left(\bar{x}-x\right)\le m_o^2\right\}=1-\alpha \tag{5.33}$$

şeklindedir. Serbestlik derecesine göre hata elipsoidinin istatistik güven değerleri Çizelge5.5'de verilmiştir (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

Çizelge 5.5: Serbestlik derecesine göre hata elipsoidinin istatistik güveni

Serbestlik Derecesi	**Hata Elipsoidinin İstatistik Güveni**
1	0.182
2	0.192
5	0.197
10	0.198
∝	0.199

5.3.3 Lokal duyarlık ölçütleri

GPS ağında yer alan noktaların konum duyarlıkları lokal duyarlık ölçütleri ile hesaplanır.

5.3.3.1. Bağıl hata elipsoitleri

Herhangi iki GPS ağ noktasının birbirlerine göre konumları koordinatların farklarının bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, bağıl hata kavramından söz edilir. Hesaplanan bağıl hata elipsoitlerinin geometrik yeri, iki noktayı birleştiren doğrunun orta noktası olarak düşünülür. Her iki noktanın koordinat farkları vektörü (*d*) ve bu vektörün ters ağırlık matrisi (*Qdd*), birim matris *I* olmak üzere,

$$d=\begin{bmatrix}-I & I\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_i\\ y_i\\ z_i\\ x_k\\ y_k\\ z_k\end{bmatrix}=FX \tag{5.34}$$

$$Q_{dd} = FQ_{xx}F^T = \begin{bmatrix} q_{d_xd_x} & q_{d_xd_y} & q_{d_xd_z} \\ q_{d_yd_x} & q_{d_yd_y} & q_{d_yd_z} \\ q_{d_zd_x} & q_{d_zd_y} & q_{d_zd_z} \end{bmatrix} \tag{5.35}$$

Bağıl hata ve güven elipsoidinin yarı eksenleri ve doğrultuları (5.26), (5.27), (5.28), (5.29) ve (5.30) eşitliklerinde verilen temel bağıntılara göre (5.35) Q_{dd} matrisinden hesaplanır (Kurt 1996).

5.3.4. Global duyarlık ölçütleri

Global duyarlık ölçütleri yardımıyla ağın bütünü hakkında bir yargıya varılır. Genellikle jeodezik ağların optimizasyonunda kullanılır.

5.3.4.1. Hacim ölçütü

Güven hiperelipsoitlerinin hacimlerine ilişkin,

$$\det(K_{xx}) = m_o^2\lambda_1\lambda_2....\lambda_{3p} = m_o^2\prod_{i=1}^{3p}\lambda_i \tag{5.36}$$

(5.36) determinant değerlerinin her biri ağın tümü için geçerli duyarlık ölçütü olarak ele alınabilir. Ağın bir noktasına ilişkin güven hipereipsoidinin hacim ölçütü wekmeister nokta hatasına denk düşer (Yalçınkaya ve ark. 2003).

5.3.4.2. Varyans ölçütü

Ağın tamamına ilişkin duyarlık ölçütü Helmert nokta konum hatalarının toplamı olarak tanımlanan,

$$iz(K_{xx}) = m_o^2 iz(Q_{XX}) = \sum_{i=1}^{3p}(m_{X\,i}^{\ 2} + m_{Y\,i}^{\ 2} + m_{Z\,i}^{\ 2}) = \sum_{i=1}^{3p} m_{P\,i}^{\ 2} = \min \tag{5.37}$$

büyüklüğüdür. Duyarlık Q_{xx} ve $m_{P_i}^2$ küçük olmasına bağlıdır. Varyans ölçütünün ayırma gücü, hacim ölçütünün ayırma gücünden çok fazladır. Bu nedenle ağın iç duyarlığının yüksek olması istenildiğinde varyans ölçütünün minimum olması en uygun amaç fonksiyonudur (Konak 1994).

5.3.5. Ortalama konum duyarlığı

Serbest ağ dengelemesi sonucunda elde edilen ağırlık katsayılar matrisi Q_{xx}, köşegen terimlerinin toplamı iz, ağdaki tüm nokta sayısı p olmak üzere, ağın iç konum hatası,

$$m_p = m_o \sqrt{\frac{iz(K_{xx})}{3p}} = m_o \sqrt{\frac{iz(Q_{xx})}{3p}} \tag{5.38}$$

eşitliği ile hesaplanır (Öztürk 1987).

5.4. Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri

Dengeleme sonuçlarına ve onların duyarlıklarına ilişkin yorumlar, matematik model gerçeği yansıtması durumunda doğrudur. Dengeleme modellerinin geçerli olup olamadığı veya ölçülerin değerlendirme aşamasında model hataları olup olmadığı güven ölçütleriyle denetlenir (Yalçınkaya ve ark 2003).

Jeodezik ağda model hipotezinin geçerli olup olmadığı uygun test yöntemleriyle incelenmeli ve olası model hataları ortaya çıkarılmalıdır. Model hataları belirlenebiliyorsa bu ağa güvenli ağ denir. Lokal güven ölçütü ile ağda ölçülerin tek tek kaba hataları, global güven ölçütü ile ağın tamamı yada bir bölümündeki fonksiyonel model hataları ortaya çıkartılır. Ölçülerin eksik yada yanlış indirgenmesi, alet kalibrasyonlarının yanlış (eksik) yapılması model hatalarına, diğer bir değişle ölçme öncesi ve ölçme sonrası varyans kovaryans ölçütlerinin farklı olmasına neden olur (İnal 2004).

Model hatalarını test etmek için, dengeleme sonucu bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası m_o , epriovori duyarlık σ_o ya da ön dengelemeden elde edilen $\overline{m_o}$ karşılaştırılır.

Model hipotezi doğru ise; $\overline{m}_o^2$ ve m_o^2 varyanslarının beklenen değerleri arasında,

$$E(\overline{m}_o^2) = E(m_o^2) = \sigma_o^2 \tag{5.39}$$

bağıntısı geçerlidir. $m_o > \overline{m}_o$ olduğunda test büyüklüğü,

$$T = \frac{m_o^2}{\overline{m_o}^2} \tag{5.40}$$

hesaplanarak, f m_o ın hesabında serbestlik derecesi, $\overline{f}$ ise $\overline{m_o}$ hesabında serbestlik derecesi olamak üzere F dağılım tablosundan alınan $F_{f,\overline{f},1-\alpha}$ sınır değeriyle karşılaştırılır.

$$T > F_{f,\overline{f},1-\alpha} \tag{5.41}$$

ise model hipotezi geçersiz denir. Bunun nedeni ölçülerin bir veya bir kaçında kaba hata olabileceği gibi ölçüleri eksik yada yanlış indirgenmesi veya ölçü aletlerinin yanlış kalibrasyonundan kaynaklanmaktadır.

Demirel'e (2003) göre, Ölçülerdeki kaba hatalar bilinmediğinden onları dengelemenin fonksiyonel modelinde göz önüne almak çoğu zaman olanaksızdır. Ancak, ağın iç güvenilirliği bir ölçüde ortaya çıkarılabilecek en küçük kaba hata sınır değeri ile kestirilebilir. Dış güvenilirliği bu değerlerin koordinat bilinmeyenlerine etkisi ile belirlenebilir (Aydın ve ark 2004b). Dengeleme sonuçlarına ve onların duyarlıklarına ilişkin yorumlar, matematik modelin gerçeği yansıtması durumunda doğrudur. Model hataları ya da sistematik hatalar dengeleme sonuçlarını etkilemektedir. Duyarlık ölçütleri yalnız başlarına sonuçların güvenirliğini tanımlamada yetersiz kalırlar. Bu nedenle kaba hatalı ölçüleri ayırma gücü olan iç güvenirlik ve ortaya çıkarılamayan model hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkilerini gösteren dış güvenirliğin belirlenmesi gerekir (Öztürk ve Şerbetçi 1992, Ersoy 1997).

5.4.1. İç güvenilirlik ölçütü

İç güvenilirlik, herhangi bir ölçüdeki kaba hataların istatistiki testlerle ortaya çıkarılabilmesi için hangi büyüklükte olması gerektiğini gösterir. Bir ağda oluşabilecek model hatalarının denetlenmesi amacıyla, i gözlemde yapılacak herhangi bir hatanın hangi oranda yansıyacağı r_i kısmi redundanz ,

$$Q_{vv} = P_i^{-1} - AQ_{xx}A^T \tag{5.42}$$

$$r_i = Q_{vv}.P_i \tag{5.43}$$

bağıntısından hesaplanır. Bir ağdaki kısmi redundanz fazla ölçü sayısına eşittir,

$$iz(r_i) = \sum r_i = n - u = r \tag{5.44}$$

Güvenli bir ağda olabildiğince büyük ve eşit büyüklükte kısmi redundanz ortaya çıkmalıdır. Kısmi redundanzlar yardımıyla ölçülerin kontrol edilebilirliği yorumu için Çizelge 5.6' daki değerleri tavsiye edilir (İnal 2004).

Çizelge 5.6: Kısmi redundanz miktarlarının kabul edilebilirliği

Değer Aralığı	**Kontrol Edilebilirlik**
$0 \le r_i < 0.01$	Kontrol edilemez
$0.01 \le r_i < 0.1$	Yeterli kontrol edilemez
$0.1 \le r_i < 0.3$	Yeterli kontrol edilebilir
$0.3 \le r_i < 1$	İyi kontrol edilebilir

Jeodezik ağlarda çok küçük kaba hatanın ortaya çıkarılabilmesi *i* ölçünün standart sapması σ_i, dışmerkezlik parametresi δ_o, kısmi redundanz r_i olmak üzere iç güvenilirlik ölçütü Δ_{l_i},

$$\Delta_{l_i} = \sigma_i . \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}} \quad , \qquad (i=1,2,3..n) \tag{5.45}$$

eşitliği ile hesaplanır.

(5.45) eşitliğinde dışmerkezlik parametresi δ_o,

$$\delta_O = \sqrt{\lambda_{0,1}} = \sqrt{f(\alpha_0, \gamma, 1, \infty)} \tag{5.46}$$

hesaplanır. (5.46) eşitliğinde Baarda' da (1968) verilen nomogramlarda öngörülen α_0 yanılma olasılığı ve γ testin gücünü ve "1" serbestlik derecesi için elde edilir. Bu değer, standart normal dağılımın güven sınır değerleri $u_{1-\alpha_0/2}$ ve $u_{1-\gamma}$ olmak üzere,

$$\lambda_{0,1} = (u_{1-\alpha_0/2} - u_{1-\gamma})^2 \tag{5.47}$$

eşitliği kullanılarak da hesaplanabilir.

Demirel'e (2003) göre, Δ_{l_i} hata sınır değerleri iç güvenilirlik ölçütleridir; bu büyüklükler ile bir ağın iç güvenilirliği tanımlanır. Güvenli bir ağda bu değerlerin küçük ve olabildiğince birbirine eşit büyüklükte olması istenir (Aydın ve ark 2004a). Bu ölçüt herhangi bir ağda yapılan ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğinin bir ölçütüdür. İyi planlanmış bir ağda iç güven

ölçütü değerlerinin mümkün olduğu kadar küçük değerler alması ve $\Delta_{l_i} \cong (6-8)m_i$ sınır değerlerinin altında kalması gerekmektedir (Yalçınkaya ve ark 2003, İnal 2004).

5.4.2. Dış güvenilirlik ölçütü

Tespit edilmeyen ölçü hatalarını koordinat bilinmeyenlerine etkisini gösterir. Demirel'e (2003) göre, Δ_{l_i} değerlerinin dengeleme sonuçlarına etkisi önemsiz ise dış güvenilirlik sağlanmış olur. Fakat *i.*ölçünün Δ_{l_i} kadar kaba hatalı ve ötekilerin hatasız olduğu varsayılırsa l_i ölçü vektörü,

$$\Delta l_i = [\ 0 \quad 0 \quad ... \quad \Delta l_i \quad ... \quad 0 \quad 0\ ] \tag{5.48}$$

$$l_i = l_o + \Delta l_i \tag{5.49}$$

biçiminde yazılabilir. (5.49) eşitliğinde l_o kaba hata içermeyen ölçü vektörüdür. Böylece bilinmeyenler vektörü,

$$x = x_0 + \Delta x_i = (A^T PA)^+ A^T P l_0 + (A^T PA)^+ A^T P \Delta l_i \tag{5.50}$$

olur. Eşitlikte koordinat bilinmeyenlerinin sayısı *u,* ölçü sayısı *n*, nxu boyutlu katsayılar matrisi *A*, ölçülerin nxn boyutlu ağırlık matrisi *P*, i. ölçüdeki Δ_{l_i} kaba hatasının koordinat bilinmeyenlerine etkisini gösteren ux1 boyutlu vektör Δx_i biçiminde belirtilir. Buna göre dış güvenilirlik ölçütü,

$$\delta_{0i} = \delta_0 \sqrt{\frac{1-r_i}{r_i}} \tag{5.51}$$

eşitliğinden hesaplanır.

İyi planlanmış ve dengelemenin matematiksel modeli doğru kurulmuş bir ağda, hataların koordinatlara etkime katsayılarının mümkün olduğu kadar küçük değerler alması ce $\delta_{0i} \cong 6-10$ sınır değerinin altında kalması gerekir (Öztürk ve Şerbetçi 1992, Yalçınkaya ve ark 2003, İnal 2004, Aydın ve ark 2004b)

6. BÜYÜK ÖLÇEKLİ HARİTA VE HARİTA BİLGİLERİ ÜRETİM YÖNETMELİĞİ GPS ÖLÇMELERİ

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği' nin (BÖHHBÜY) yürürlüğe konulması; Milli Savunma Bakanlığı'nın 29/04/2005 tarihli ve 684 sayılı yazısı üzerine, Bakanlar Kurulu'nca 23/06/2005 tarihinde kararlaştırılmıştır. Bu yönetmeliğin amacı (URL6);

Madde 1;

a) Büyük ölçekli (1/5000 ve daha büyük) mekansal (coğrafi) bilgilerin ve haritaların üretiminde ülke genelinde standardın sağlanması, üretimin tek elden izlenmesini ve sektörde hizmet tekrarının önlenmesini sağlamak,

b) Büyük ölçekli mekansal bilgilerin ve haritalardaki konum bilgilerinin, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı koordinat sistemine dayalı üç boyutlu kartezyen koordinatlar (XYZ) veya GRS80 elipsoidinde jeodezik koordinatlar (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği) ile Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999'a dayalı Helmert ortometrik yüksekliklerin (H), yersel, uydu ve uzay, inersiyal, fotogrametrik teknikler kullanılarak sayısal, çizgisel ve fotografik olarak elde edilmesini, coğrafi bilgi sistemine altlık oluşturacak biçimde ulusal ve değişim formatında derlenmesini, bilgi teknolojileri ve kartografik tekniklerle görselleştirilmesini sağlamaktır (URL6).

6.1. AGA Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi

Madde 14-AGA ölçmelerinde;

a) Çift frekanslı, aynı anda en az altı uydudan kayıt yapabilen, jeodezik GPS alıcıları kullanılır.

b) Oturumlar hâlinde gerçekleştirilecek statik ölçmelerde;

Uydu sayısı: En az dört adet,

Kayıt süresi: En az iki saat,

Kayıt aralığı: 15 saniye veya daha az,

Uydu yüksekliği: En az 15^{o} ,

alınır.

c) Oturumlar komşu istasyonlar arasında plânlanır ve bu oturumlar arasında en az bir baz veya iki komşu nokta ortak alınır.

d) Her oturumda, GPS ölçüsü yapılan noktalarda Ek-5'teki ölçme ve kayıt karnesi düzenlenir.

e) Anten yüksekliği ölçüye başlamadan önce ve sonra olmak üzere iki kez mm inceliğinde ölçülür.

f) ITRF96 koordinatları bilinmeyen ve pilye tesisi olmayan noktalarda anten yüksekliği en az 10 cm farklı olacak biçimde iki oturum yapılır.

6.1.1. AGA GPS ölçülerinin değerlendirilmesi

Madde 15-AGA GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde;

a) TUTGA koordinatları, ölçme epoğuna (T) kaydırılır ve değerlendirmede kullanılır. Epok kaydırma işlemi, noktaların depremden etkilenen bölge içinde olup olmadığına göre farklılık gösterir.

1) Depremden etkilenmeyen bir bölgedeki epok kaydırma için,

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUTGA} = \begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix}_{TUTGA} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{TUTGA}$$

eşitliği kullanılır. Burada T_o, TUTGA referans epoğu, V_X, V_Y, V_Z deprem öncesi hızlardır.

2) Depremden etkilenen bölge içinde yer alan TUTGA noktalarının deprem sonrasında bir T ölçü epoğundaki koordinatları, bölgede deprem sonrası TUTGA koordinatları ve hızları belirli ise

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUTGA} = \begin{bmatrix} X(T_d) \\ Y(T_d) \\ Z(T_d) \end{bmatrix}_{TUTGA} + (T - T_d) \cdot \begin{bmatrix} V'_X \\ V'_Y \\ V'_Z \end{bmatrix}_{TUTGA}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada T_d deprem sonrası TUTGA koordinatlarının belirlendiği epok, V'_X, V'_Y, V'_Z deprem sonrası nokta hızlarıdır.

b) AGA, ölçme anındaki koordinatları bilinen ve sabit alınan bir noktaya dayalı olarak zorlamasız veya serbest dengelenir. Bu dengeleme sonucunda, ağda

uyuşumsuz baz olup olmadığı bir matematik istatistik yöntemle test edilir. Bu Yönetmeliğin 11'inci maddesinde açıklanan geometrik koşulu bozan uyuşumsuz bazlar varsa, yeniden hesaplanır veya yeniden ölçülerek dengeleme hesabı tekrarlanır.

Her bağımsız bazın ΔX, ΔY, ΔZ bileşenleri ile bunların standart sapmaları $\sigma_{\Delta x}$, $\sigma_{\Delta y}$, $\sigma_{\Delta z}$ hesaplanır ve sonuçlar,

$$\sigma_{\Delta X},\ \sigma_{\Delta Y},\ \sigma_{\Delta z} \leq \pm(10\ \text{mm} + 1\ \text{ppm})$$

olmalıdır.

c) TUTGA noktalarının, AGA'nın zorlamasız veya serbest dengeleme sonucu bulunan koordinatları ile ölçme anındaki verilen koordinatları arasında iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) benzerlik dönüşümü yapılır ve ölçek uyuşumu bir matematik istatistik yöntemle test edilir. Ölçek faktörü λ ,

$$1-\lambda \leq \pm 3 \text{ ppm}$$

olmalıdır. Aksi durumda ilgili idarenin görüşü alınır.

d) AGA, ölçme anındaki TUTGA koordinatları değişmez alınarak dengelenir. Dengeleme sonucunda nokta jeodezik koordinatları (φ, λ, h) ve standart sapmaları (σ_φ,σ_λ, σ_h) hesaplanır. Bu hesap sonucunda;

$$\sigma_\varphi\ ,\ \sigma_\lambda \leq \pm 3.0 \text{ cm}, \quad \sigma_h \leq \pm 5.0 \text{ cm}$$

olmalıdır.

e) İstatistik güven düzeyi $1-\alpha=0.95$ alınmalıdır.

6.2. SGA Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi

Madde 19-SGA ölçmelerinde;

a) Tek veya çift frekanslı, aynı anda en az altı uydudan kayıt yapabilen jeodezik GPS alıcıları kullanılır.

b) Statik ölçme yöntemi uygulanır.

Uydu sayısı: En az dört adet,

Kayıt aralığı: 15 saniye veya daha az,

Uydu yüksekliği: En az 15^o,

Kayıt süresi: Pilyeler arası bazlarda tek oturumda 45 dakika (tek frekanslı alıcılar için 60 dakika), ITRF96 koordinatları bilinmeyen ve pilye tesisi olmayan noktalarda anten yükseklikleri en az 10 cm farklı 30 dakikalık (tek frekanslı alıcılar için 45 dakika) iki oturum,

şeklinde düzenlenir.

c) Her sıklaştırma ağı noktası, TUTGA veya AGA noktalarından 15 km'yi geçmeyen en az iki bağımsız baz ile belirlenir.

d) Her noktada, ölçme ve kayıt karnesi düzenlenir.

6.2.1. SGA GPS ölçülerinin değerlendirilmesi

Madde 20-SGA GPS ölçüleri;

a) SGA noktalarını TUTGA ve AGA noktalarına bağlayan bazlar, tekli veya oturum baz çözümü ile değerlendirilir.

b) TUTGA ve AGA noktalarının ölçme epoğundaki koordinatları değişmez alınarak, SGA noktalarının ölçme epoğundaki jeodezik (φ, λ, h) koordinatları ve standart sapmaları (σ_φ,σ_λ,σ_h) farklı zamanlarda yapılan kayıtların birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanır. Değerlendirme sonucunda;

σ_φ , $\sigma_\lambda \leq \pm 3.0$ cm, $\sigma_h \leq \pm 5.0$ cm

olmalıdır.

6.3. ASN Noktalarının GPS Tekniğiyle Ölçülmesi

Madde 22-ASN noktalarının oluşturulmasında aşağıdaki esaslara uyulur.

a) C3 derece alım için sıklaştırma noktaları, alım için sıklaştırma alanında, en az bir C1, C2, C3 derece noktayı görecek, poligon dizilerine çıkış verecek ve en büyük kenar uzunluğu 3 km olacak biçimde seçilir.

c) ASN noktalarının ölçülmesinde çift veya tek frekanslı en az 6 uydudan eş zamanlı kayıt yapabilen jeodezik GPS alıcıları kullanılır.

d) ASN ölçmeleri statik veya hızlı statik yöntemle gerçekleştirilir ve aşağıdaki parametreler esas alınır.

Uydu sayısı: En az dört adet,

Kayıt aralığı: 15 saniye veya daha az,

Uydu yüksekliği: En az 10^o ,

Kayıt Süresi: 5 km'ye kadar bazlarda 20 dakika (tek frekanslı alıcılar için 30 dakika), 5 km'den büyük bazlarda her bir km için 3 dakika (tek frekanslı alıcılar için 5 dakika) ilâve süreler ile en fazla 10 km'ye kadar bazların ölçümü,

şeklinde belirlenir.

e) ASN, TUTGA, AGA ve SGA noktalarından en az iki bağımsız baz ile belirlenir.

f) Her oturumda, GPS ölçüsü yapılan noktalarda ölçme ve kayıt karnesi düzenlenir.

g) ASN koordinatları, bağlantı noktalarının başlangıç epoğundaki koordinatları değişmez alınarak hesaplanır.

h) İki bazdan ayrı ayrı hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar 5 cm'yi geçemez. Aksi hâlde ölçmeler tekrarlanır.

ı) C3 derece noktalar, C2 derece noktalar ile birlikte değerlendirilebilir. Bu durumda bu Yönetmeliğin 20'nci maddesinin (b) bendi geçerlidir. C3 derece noktanın hızları TUTGA nokta hızlarına dayalı olarak enterpolasyonla bulunur. C1, C2 ve C3 dereceli noktalar ilgili idarenin onayı alınarak birlikte değerlendirilebilir.

6.4. Diğer Ülkelerdeki Jeodezik Çalışmalardaki Ölçü Standartları

6.4.1. Yeni Zelanda

Güncel datuma uygunluğu bakımından Yeni Zelanda Jeodezik Datum 2000 (NZGD2000)' e göre gözlemler ölçü ve doğruluk sınıfına göre tanımlanır. Gözlemler yirmi iki sınıfta incelenir, B(10-9), M(10-6) ve C olarak üç geniş katagoriye ayrılır. 3 Boyutlu gözlemlerdeki %95 Güven aralığında doğruluk standartları Çizelge 6.1 de verilmiştir (OSG 2003).

Çizelge 6.1: Üç boyutlu gözlemlerdeki %95 Güven aralığında doğruluk standartları

Sınıf	%95 Güven Aralığında Doğruluk Standartları	
	Temel Hata e (mm)	Uzunluğa Bağımlı Hata p (ppm)
B10	3	0.01
B30	3	0.03
B100	3	0.1
B300	3	0.3
M1	3	1.0
M3	10	3.0
M10	10	10
M30	10	30
M100	10	100
M300	10	300
$C1^2$	1	-----
$C3^2$	3	-----
$C10^2$	10	-----

Çizelge 6.2: Üç boyutlu doğruluk standartları

Sıra	Kontrol Ağı		%95 Güven Aralığı			
			Yatay Kontrol Doğruluğu		Düşey Kontrol Doğruluğu	
		Uzunluk (km)	Sınıf	Max.hata (mm)	Sınıf	Max. Hata (mm)
0	Ulusal Ağ ve İzleme İstasyonları	< 1000	B1O H	50	B30 V	150
1	Ulusal Jeodezik Kontrol Ağı	< 200	B100 H	71	B300 V	212
2	Bölgesel Jeodozik Kontrol Ağı	< 70	M1 H	87	M3 V	260
3	Local Jeodozik Kontrol Ağı	< 20	M3 H	100	M10 V	300
4	Local Jeodozik Kontrol Ölçüleri	< 10	M10 H	112	M30 V	335
5	Kadastral Jeodozik Kontrol Ağı	< 2	M30 H	123	M100 V	367

Çizelge 6.2 de H yatay ve V , elipsoidal yükseklik bileşenini ifade etmektedir.

s mm cinsinden max. olası hata (%95 güven seviyesinde), *d* iki nokta arasındaki baz vektörünün uzunluğu (km), *p* %95 seviyesinde bağıl doğruluk (ppm), *e* temel hata (mm) olmak üzere konumlama doğruluğu;

$$s = \mp\sqrt{e^2 + (dxp)^2}$$

Üç boyutlu doğruluk standartları Çizelge 6.2 de verilmiştir.

6.4.2. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Federal Geodetic Control Committe (FGCC) tarafından yayınlanan yönetmeliğe göre GPS ölçü doğruluk standartları Çizelge 6.3 de verilmiştir (FGCC 1988, URL10).

Çizelge 6.3: FGCC Doğruluk standartları 1988-1989

Amaç	**Sınıf**	**%95 Doğruluk Uzunluğa Bağlı**		1σ		**GPS Doğruluk Gereksimleri**	
		ppm	**1:L**	**ppm 3D**	**Herbir Eksen (ppm)**	**Temel Hata (cm)**	**Uzunluk (ppm)**
Global ve Bölgesel Jeodozik Ağlar	AA	0.01	1:100 000 000	0.036	0.005	0.3	0.001
Local ve Bölgesel Jeodozik Kontrol Ağı	A	0.1	1:10 000 000	0.036	0.05	0.5	0.1
Yüksek Doğruluklu Local Jeodozik Kontrol Ağı	B	1	1:1 000 000	0.36	0.5	0.8	1
Kadastro ve Jeodozik Kontrol Ağları	1	10	1:100 000	3.6	5	1.0	10
	2-I	20	1:50 000	7.2	10	2.0	20
	2-II	50	1:20 000	17	25	3.0	50
	3	100	1:10 000	36	50	5.0	100

6.4.3. Almanya

Almanya daki mühendislik ölçmelerindeki standartlar :

- Standardizasyon endüstrideki konumunu gösterir.
- Standardizasyon toplumu ve başarılı ekonomiyi destekleyen bir stratejidir.

- Standardizasyon yaşamdır.
- Standardizasyon bir noktada ilerlemektir.

Bu standardizasyon Deutshes Institut für Normung (DIN)' de sonuç verici çözümlere ulaşılmıştır. Bu standartlara mühendislik ölçmeleri ,ihtiyaçları doğrultusunda saptanarak alışılmış donatılarla ulaşılmıştır. Buna göre Almanya'daki mühendislik ölçmeleri standartları Çizelge 6.4 de verilmiştir (Heunecke 2007).

Çizelge 6.4: Almanya'daki mühendislik ölçmeleri standartları

	Sınıf	**Plan Ölçülerindeki Standart Sapmalar (σ_L)**	**Düşünceler**
Düzlem	L1	50 mm < σ_L	Çok az doğruluk
	L2	15 mm < $\sigma_L \leq$ 50 mm	Az doğruluk
	L3	5 mm < $\sigma_L \leq$ 15 mm	Normal doğruluk
	L4	0.5 mm < $\sigma_L \leq$ 5 mm	Yüksek doğruluk
	L5	$\sigma_L \leq$ 0.5 mm	Çok yüksek doğruluk
Yükseklik	H1	20 mm < σ_H	Çok az doğruluk
	H2	5 mm < $\sigma_H \leq$ 20 mm	Az doğruluk
	H3	2 mm < $\sigma_H \leq$ 5 mm	Normal doğruluk
	H4	0.5 mm < $\sigma_H \leq$ 2 mm	Yüksek doğruluk
	H5	$\sigma_H \leq$ 0.5 mm	Çok yüksek doğruluk

6.4.4. Avusturalya

Avusturalya' da yatay konum ağları ve düşey konum ağları olarak ele alınmıştır. Çizelge 6.5' de yatay konum ağlarının, Çizelge 6.6 de düşey konum ağlarının sınıflandırılması verilmiştir (ICSM 2002).

Çizelge 6.5: ICSM' e göre yatay kontrol ağlarının sınıflandırılması

Sınıf	**Derece**	**c (σ)**	**Uygulama Alanları**
3A	00	1	Özel yüksek prezisyonlu ölçmelerde
2A	0	3	Yüksek prezisyonlu ulusal jeodozik ölçmelerde
A	1	7,5	Ulusal ve devlet jeodozik ölçmelerde
B	2	15	Sıklaşma jeodozik ölçmelerde
C	3	30	Koordinasyon ölçü projelerinde
D	4	50	Alt sınıf projelerde
E	5	100	Alt sınıf projelerde

Her sınıfa ait olası maksimum büyük yarı eksen *r* (mm),deneysel faktör *c* ve konum uzunluğu *d* (km) olmak üzere :

r = c.(d+0.2)

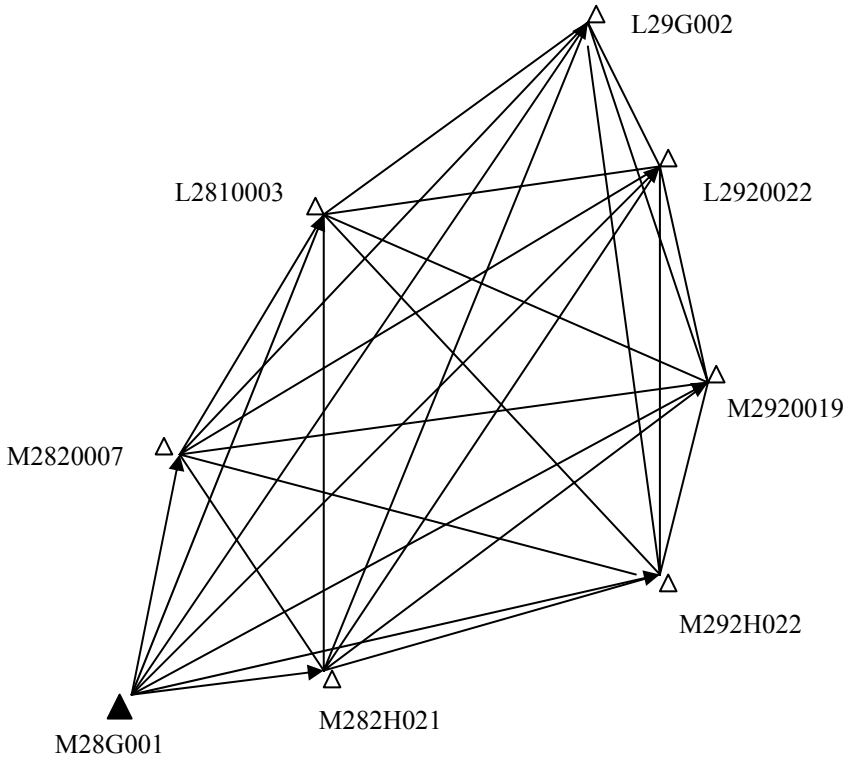
eşitliği ile elde edilir.

Çizelge 6.6: ICSM' e göre düşey kontrol ağlarının sınıflandırılması

Nivelman Yüksekliği $r = c\sqrt{d}$			GPS ve Trigonometrik Yüksekliği $r = c(d + 0{,}2)$		
Sınıf	**Derece**	**c** (σ)	**Sınıf**	**Derece**	**c** (σ)
L2A	L0	2	2A	0	3
LA	L1	4	A	1	7.5
LB	L2	8	B	2	15
LC	L3	12	C	3	30
LD	L4	18	D	4	50
LE	L5	36	E	5	100

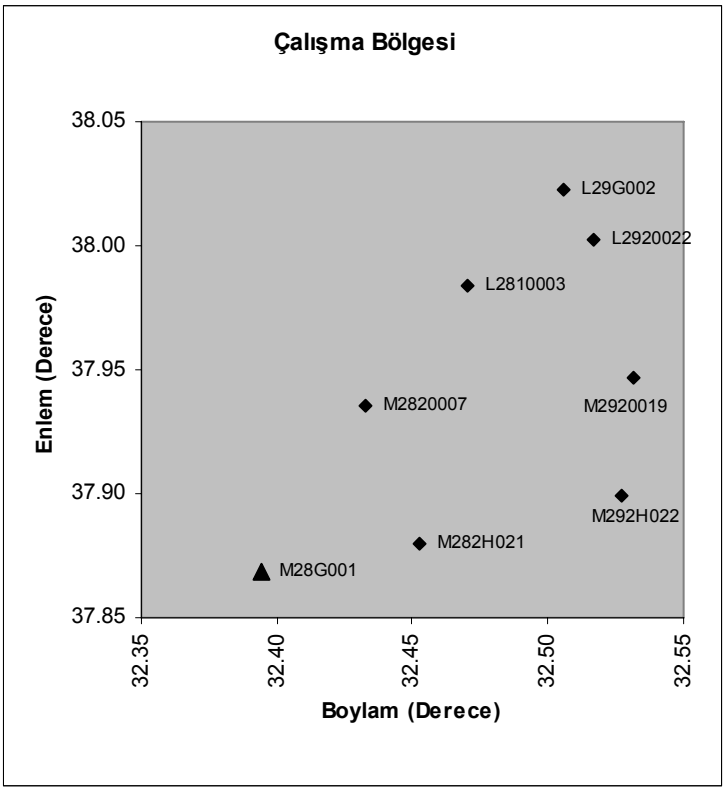
7. SAYISAL UYGULAMA

Yerel bir ağda GPS ölçü süresinin nokta konum doğruluğuna etkisinin araştırılması amacıyla Konya mücavir alan sınırları içinde $37^0$52'07."94758-$38^0$01'19.90627 enlemleri ile $32^0$23'38."08646-$32^0$31'54."75885 boylamları arasında kalan çalışma bölgesinde (Şekil 7.2) 8 adet noktada eş zamanlı olarak 253 dakika ölçü yapılmıştır. Bu noktalardan M28G001 ve L29G002 nolu noktalar TUTGA proje noktalarıdır. L2810003, L2920022, M2820007, M282H021, M2920019 ve M292H022 noktaları Konya Yağmur Suyu Uzaklaştırma Projesi noktalarıdır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1: GPS ağı

Noktaların zemin tesisi pilye şeklindedir. Oluşturulan GPS ağında noktalar arasında yapılan ölçüler sonucunda 2,5 km ile 20 km arasında değişen her bir ölçü süresi sonunda toplamda 28 baz elde edilmiştir (Çizelge 7.1).



Şekil 7.2: Çalışma bölgesi

Çizelge 7.1: 253 Dakikalık ölçü süresi sonunda elde edilen baz uzunlukları

Baz		**Baz Uzunluğu (m)**	**Baz**		**Baz Uzunluğu (m)**
M28G001	L2920022	18321.937	L2920022	M2920019	6275.673
M28G001	L2810003	14413.387	L2920022	M292H022	11512.552
M28G001	L29G002	19649.068	L2920022	M2820007	10495.128
M28G001	M2920019	14913.507	L2920022	M282H021	14689.792
M28G001	M292H022	12214.717	M282H021	L2810003	11615.858
M28G001	M2820007	8103.082	M282H021	M2920019	10195.486
M28G001	M282H021	5304.274	M282H021	M292H022	6922.640
L29G002	L2920022	2435.352	M282H021	M2820007	6355.585
L29G002	L2810003	5273.173	M2920019	L2810003	6775.922
L29G002	M2920019	8674.415	M2920019	M292H022	5354.819
L29G002	M292H022	13835.035	M2920019	M2820007	8826.670
L29G002	M2820007	11601.048	L2810003	M292H022	10678.276
L29G002	M282H021	16458.305	L2810003	M2820007	6335.789
L2920022	L2810003	4562.393	M2820007	M292H022	9264.194

Ölçüler, 3 adet Ashtech Z Surveyor, 3 adet Leica System 1200 ve 2 adet Leica System 300 çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmıştır. Ölçülerde Ashtech firması tarafından üretilen MarineIII L1/L2 700700.B ile Leica firması tarafından üretilen AT 302 ve AX1202 jeodezik amaçlı antenler kullanılmıştır (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2: GPS gözlemlerinde kullanılan alıcı ve anten tipleri

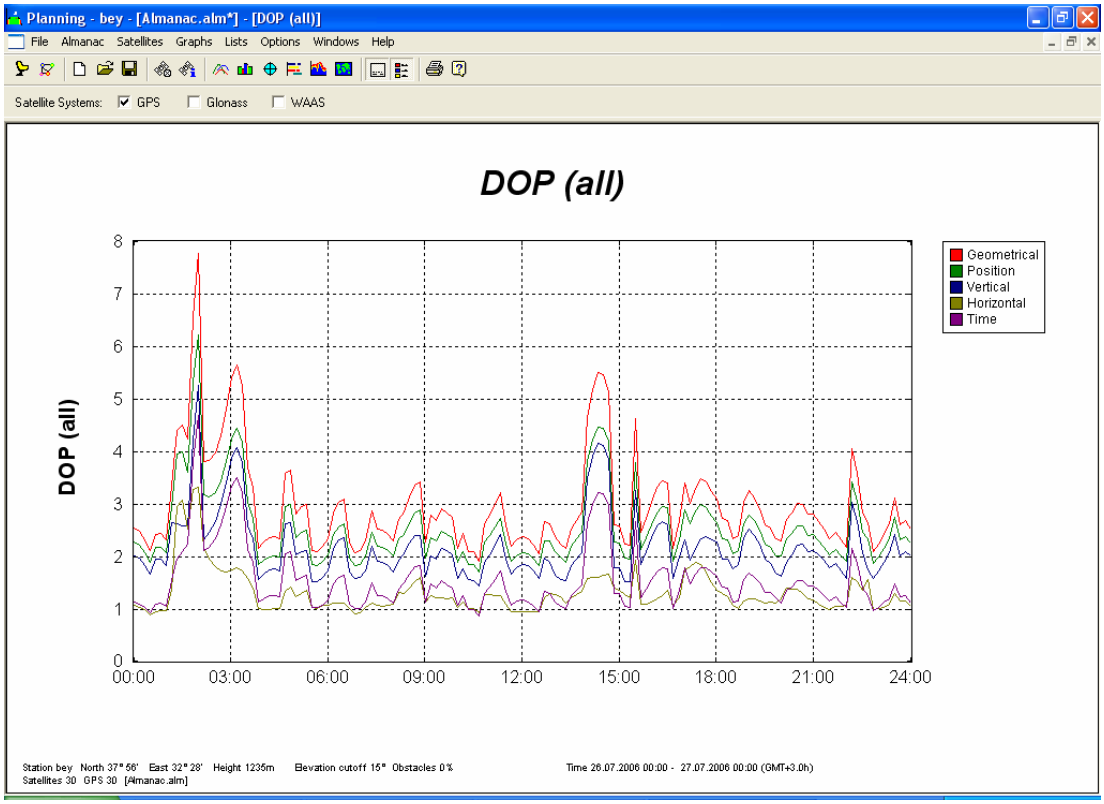
Adet	**Alıcı Tipi**	**Anten Modelleri**
3	Ashtech Z Surveyor	Astech Marine III L1/L2 700700.B
2	Leica	AT 302
3	Leica	AX1202

Tüm gözlemlerde sabah saat 8:27 den itibaren eş zamanlı olarak en fazla 253 dakika ölçü yapılmıştır. Gözlem parametreleri olarak uydu yükseklik açısı 15^0, veri kayıt aralığı (epok aralığı) 10 saniye, gözlenen en az uydu sayısı 6, olarak ölçü yapılmıştır (Çizelge 7.3).

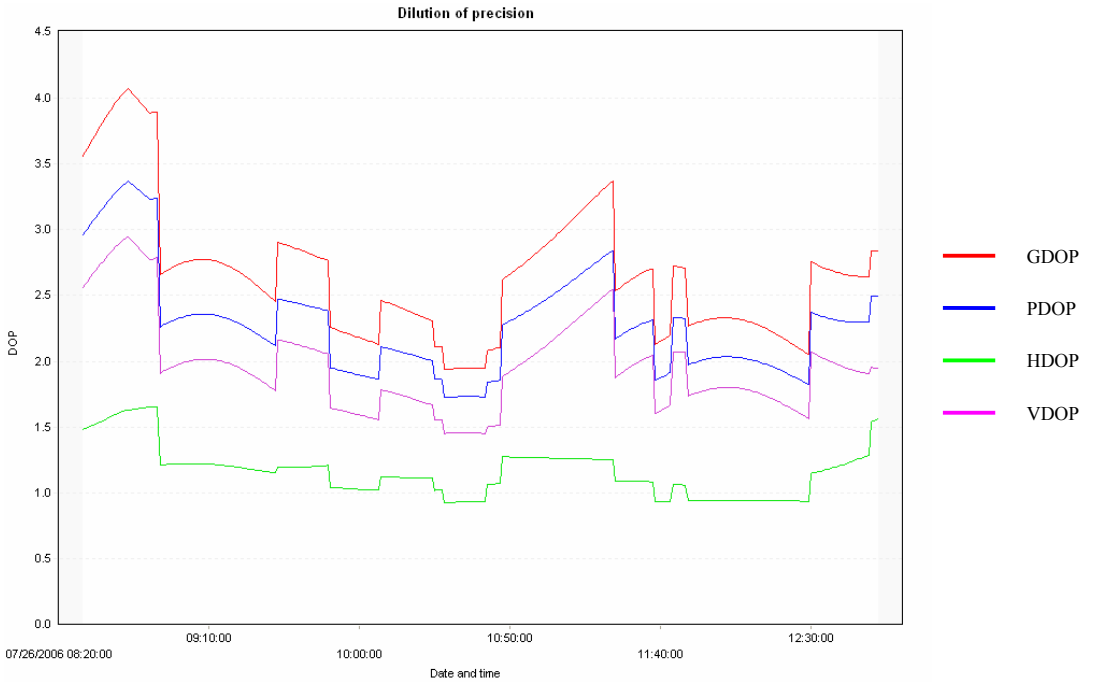
Çizelge 7.3: GPS ölçü parametreleri

Paremetre	**Ölçü Kriterleri**
Toplam Ölçü Süresi	253 dakika
Uydu Yükseklik açısı	15^0
Epok Aralığı	10"
Gözlenen En Az Uydu Sayısı	6

Ölçüye çıkılmadan önce Trimble Planning version 2.7 yazılımı kullanılarak planlama parametreleri (Çizelge 7.4) girilerek, GPS görev planlaması yapılmıştır. Ölçü gününe ait DOP değerlerinin değişimi incelenmiştir. Planlamaya ait DOP grafiği (Şekil 7.3) ve Çizelge 7.5 incelenerek en uygun ölçü zamanının 8:00 ile 13:00 saatleri arası olduğu görülmüştür. Planlama verileri göz önüne alınarak ölçüler 8:27 ile 12:52 saatleri arasında eş zamanlı olarak yapılmıştır. Elde edilen DOP değerleri (Şekil 7.6) ile planlamadaki değerler ilişkilendirildiğinde uyum içinde olduğu gözlenmiştir (Çizelge 7.5).



Şekil 7.3: GPS görev planlamasına ait DOP grafiği



Şekil 7.4: Ölçüye ait DOP grafiği

Çizelge 7.4: Planlama Parametreleri

Enlem	37° 56'
Boylam	32° 28'
Elipsoid Yüksekliği	1235 [m]
Zaman Aralığı	26.07.2006.00:00:00 - 27.07.2006.00:00:00
Saat	GTB Standart Saati (DST)
Offset GMT	+3.0 [h]
Yükseklik açısı	15°
Engelleme Editörü	0%
GPS Uyduları	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Çizelge 7.5: GPS görev planlamasına ait DOP değerleri,

Time	GDOP	TDOP	PDOP	HDOP	VDOP	GPS	Time	GDOP	TDOP	PDOP	HDOP	VDOP	GPS
08:10	2.70	1.37	2.33	1.30	1.93	7	12:10	2.33	1.12	2.05	0.94	1.81	9
08:20	2.84	1.49	2.42	1.28	2.05	7	12:20	2.21	1.04	1.95	0.94	1.71	9
08:30	3.12	1.67	2.64	1.39	2.24	7	12:30	2.05	0.94	1.83	0.94	1.57	9
08:40	3.35	1.80	2.83	1.52	2.39	7	12:40	2.65	1.33	2.30	1.21	1.95	8
08:50	3.41	1.82	2.88	1.60	2.40	7	12:50	2.62	1.29	2.28	1.29	1.88	8
09:00	2.27	1.12	1.97	1.13	1.61	9	13:00	2.37	1.13	2.08	1.27	1.64	7
09:10	2.78	1.46	2.36	1.25	2.01	8	13:10	2.24	1.03	1.98	1.24	1.55	7
09:20	2.68	1.40	2.29	1.21	1.94	8	13:20	2.14	1.00	1.89	1.10	1.54	7
09:30	2.91	1.53	2.47	1.21	2.16	7	13:30	2.51	1.24	2.18	1.21	1.82	6
09:40	2.83	1.46	2.42	1.19	2.10	7	13:40	2.69	1.35	2.33	1.26	1.95	6
09:50	2.74	1.38	2.36	1.20	2.03	7	13:50	2.85	1.45	2.46	1.33	2.07	6
10:00	2.15	1.06	1.88	1.03	1.57	8	14:00	4.64	2.64	3.82	1.57	3.48	5
10:10	2.43	1.24	2.08	1.13	1.75	7	14:10	5.18	2.99	4.22	1.59	3.91	5
10:20	2.09	0.98	1.85	1.01	1.55	8	14:20	5.49	3.21	4.46	1.60	4.16	5
10:30	2.09	0.98	1.84	1.01	1.54	8	14:30	5.46	3.20	4.43	1.63	4.12	5
10:40	1.91	0.87	1.70	0.93	1.43	9	14:40	5.15	2.99	4.18	1.66	3.84	5
10:50	2.61	1.29	2.27	1.28	1.88	7	14:50	2.61	1.29	2.26	1.39	1.79	6
11:00	2.79	1.42	2.40	1.27	2.03	7	15:00	2.59	1.29	2.24	1.35	1.79	6
11:10	2.99	1.56	2.55	1.25	2.22	7	15:10	2.23	1.04	1.97	1.27	1.51	7
11:20	3.22	1.71	2.73	1.25	2.42	7	15:20	2.20	1.03	1.95	1.21	1.52	7
11:30	2.60	1.34	2.23	1.08	1.95	8	15:30	4.63	2.66	3.78	1.93	3.26	6
11:40	2.18	1.07	1.90	0.94	1.65	9	15:40	2.45	1.20	2.13	1.09	1.84	7
11:50	2.32	1.14	2.02	0.94	1.78	9	15:50	2.72	1.37	2.35	1.09	2.09	7
12:00	2.38	1.16	2.07	0.95	1.84	9	16:00	3.03	1.55	2.61	1.12	2.35	7

Çizelge 7.6: Ölçülere ait DOP değerleri,

Time	GDOP	TDOP	PDOP	HDOP	VDOP	GPS	Time	GDOP	TDOP	PDOP	HDOP	VDOP	GPS
08:25	3.10	1.68	2.61	1.42	2.19	9	10:45	2.61	1.38	2.22	1.17	1.88	7
08:30	3.10	1.69	2.60	1.38	2.21	9	10:50	2.64	1.40	2.24	1.16	1.92	7
08:35	2.44	1.28	2.08	1.07	1.79	9	10:55	2.65	1.40	2.25	1.14	1.94	7
08:40	2.45	1.28	2.09	1.05	1.80	9	11:00	2.64	1.39	2.24	1.13	1.94	7
08:45	2.25	1.16	1.93	1.01	1.64	10	11:05	2.61	1.37	2.22	1.12	1.92	7
08:50	2.37	1.23	2.02	1.03	1.74	10	11:10	2.57	1.35	2.19	1.10	1.90	7
08:55	2.48	1.29	2.12	1.05	1.84	10	11:15	2.52	1.31	2.15	1.09	1.86	7
09:00	2.59	1.35	2.22	1.08	1.93	10	11:20	2.46	1.28	2.11	1.07	1.81	7
09:05	2.72	1.41	2.32	1.13	2.03	9	11:25	2.41	1.24	2.07	1.07	1.77	7
09:10	2.78	1.44	2.38	1.15	2.08	9	11:30	2.18	1.11	1.88	1.02	1.59	7
09:15	2.80	1.45	2.40	1.17	2.09	9	11:35	2.22	1.13	1.91	1.02	1.62	7
09:20	2.77	1.42	2.37	1.17	2.06	9	11:40	2.06	1.01	1.80	0.94	1.54	7
09:25	2.80	1.44	2.40	1.20	2.07	8	11:45	2.09	1.03	1.82	0.94	1.56	7
09:30	2.18	1.00	1.94	1.21	1.52	8	11:50	2.11	1.04	1.83	0.94	1.58	7
09:35	2.24	1.05	1.97	1.20	1.57	8	11:55	2.10	1.03	1.83	0.94	1.58	7
09:40	2.19	1.03	1.93	1.17	1.54	8	12:00	2.09	1.02	1.82	0.94	1.56	7
09:45	2.34	1.17	2.03	1.17	1.66	7	12:05	2.06	1.00	1.80	0.94	1.53	7
09:50	2.28	1.14	1.98	1.15	1.61	7	12:10	1.81	0.84	1.61	0.85	1.37	7
09:55	3.16	1.78	2.61	1.33	2.24	6	12:15	1.94	0.90	1.72	0.95	1.43	7
10:00	2.30	1.19	1.98	1.08	1.65	7	12:20	1.90	0.88	1.69	0.94	1.40	7
10:05	2.31	1.20	1.97	1.07	1.66	7	12:25	1.86	0.85	1.65	0.94	1.36	7
10:10	2.32	1.21	1.97	1.05	1.67	7	12:30	1.82	0.82	1.62	0.94	1.32	7
10:15	2.32	1.22	1.98	1.05	1.68	7	12:35	2.39	1.19	2.07	1.16	1.72	6
10:20	2.34	1.23	1.98	1.05	1.69	7	12:40	2.33	1.15	2.02	1.14	1.67	6
10:25	2.35	1.24	1.99	1.05	1.70	7	12:45	2.26	1.11	1.97	1.12	1.62	6
10:30	2.36	1.24	2.01	1.06	1.70	7	12:50	2.20	1.07	1.92	1.10	1.57	6
10:35	2.37	1.24	2.02	1.07	1.71	7	12:55	2.14	1.03	1.87	1.08	1.53	6
10:40	2.15	1.09	1.86	1.01	1.56	8							

Ölçüye başlamadan, GPS antenleri kurulum aşamasında anten faz merkezi hatasını gidermek için manyetik kuzey doğrultusuna yönlendirilmiştir. Anten yükseklikleri, ölçü başlangıcında ve bitiminde antenin dört farklı tarafından *mm* mertebesinde ölçülüp, ortalaması alınmıştır.

Ölçü süresince kaydedilen ölçüler RINEX formatına dönüştürülmüştür. Yapılan ölçüler Leica Geosystems Office Version 2.0 (LGO) yazılımı ile değerlendirilmiştir. Nokta bilgileri, anten tipi ve yükseklik değerleri kontrol edilerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Ölçü süreleri 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 253 dakikalık ölçü sürelerine ayrılarak ayrı ayrı çözümleri yapılmıştır.

Baz çözümlerinden evvel, GPS baz çözüm parametre ayarları yapılmıştır (Çizelge7.7).

Çizelge7.7: GPS baz çözüm parametreleri

Parametreler	**Parametre Kriterleri**
Uydu Yükseklik Açısı	15^0
Kullanılan Efemeris Bilgileri	Broadcost (yayın) Efemeris
Çözüm Tipi	Otomatik (faz+kod)
Frekans Tipi	Otomatik (L1+L2, Iono free (L3))
Çözüm İçin min. Süre	300 saniye
Troposferik Model	Hopfield
İyonosferik Model	Otomatik
Değerlendirme Tipi	Tüm bazlar
Koordinat Elde Etme Stratejisi	Zamana bağlı

Parametre ayarları yapıldıktan sonra her bir ölçü sürelerinde ön değerlendirmesi yapılarak elde edilen baz çözümleri incelenmiştir. Her bir bazın PDOP ve $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ bileşenlerine ait standart sapmaların $(\sigma_{\Delta X}, \sigma_{\Delta Y}, \sigma_{\Delta Z})$ BÖHHBÜY uygun olup olmadığına bakılmıştır. PDOP değerlerinin 6 dan büyük olan veri aralıkları çıkartılarak, baz çözümleri yenilenmiştir. Baz bileşenlerine ait standart sapmaların 10 mm den küçük olduğu, PDOP değerlerinin $1.7 \leq PDOP \leq 4.9$ olduğu görülmüştür (Çizelge 7.8). Bütün ölçü sürelerine ait veriler bu standartlar dahilinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.8: 253 dakikalık ölçü süresi için baz çözüm sonuçları

BAZ			Baz Bileşenlerinin Standart Sapmaları			PDOP	
		Baz Uzunluğu (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (mm)	$\sigma_{\Delta Y}$ (mm)	$\sigma_{\Delta Z}$ (mm)	min	max
M28G001	L2920022	18321.9367	0.5	0.3	0.4	1.70	3.40
M28G001	L2810003	14413.3868	0.3	0.2	0.2	1.70	3.40
M28G001	L29G002	19649.0678	0.3	0.2	0.3	1.70	3.40
M28G001	M2920019	14913.5066	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
M28G001	M292H022	12214.7173	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
M28G001	M2820007	8103.0818	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
M28G001	M282H021	5304.2735	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L29G002	L2920022	2435.3519	0.2	0.1	0.1	1.70	3.40
L29G002	L2810003	5273.1727	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L29G002	M2920019	8674.4150	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L29G002	M292H022	13835.0345	0.3	0.2	0.2	1.70	3.40
L29G002	M2820007	11601.0478	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
L29G002	M282H021	16458.3052	0.4	0.3	0.4	1.70	4.90
L2920022	L2810003	4562.3934	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L2920022	M2920019	6275.6730	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L2920022	M292H022	11512.5523	0.2	0.2	0.2	1.70	4.80
L2920022	M2820007	10495.1282	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
L2920022	M282H021	14689.7920	0.3	0.2	0.2	1.70	4.90
M282H021	L2810003	11615.8583	0.3	0.2	0.2	1.70	4.90
M282H021	M2920019	10195.4856	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
M282H021	M292H022	6922.6399	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
M282H021	M2820007	6355.5846	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40
M2920019	L2810003	6775.9223	0.2	0.1	0.2	1.70	3.50
M2920019	M292H022	5354.8188	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
M2920019	M2820007	8826.6699	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
L2810003	M292H022	10678.2759	0.2	0.2	0.2	1.70	3.50
L2810003	M2820007	6335.7893	0.2	0.1	0.2	1.70	3.40
M2820007	M292H022	9264.1938	0.2	0.2	0.2	1.70	3.40

Dengelemeye geçmeden önce genel parametre ayarları yapılmıştır(Çizelge 7.9).

Çizelge 7.9: GPS dengeleme parametreleri

Parametre	Parametre Kriterleri	
Dengeleme Boyutu		3D
Aynı Noktaya Ait Sınır Fark Değerleri	Yatay Konum	0,03 m
	Yükseklik	0,05 m
Test Kriterleri	Alfa(%)	5,0
	1-Beta(%)	80
	A Priori	10
Kritik Test Değerleri	W-Testi	1,96
	T-Testi (2D)	2,42
	T-Testi (3D)	1,89
	F-Testi	0,95

Dengeleme sonunda her bir ölçü süresi için noktaların X, Y ve Z kartezyen koordinatlarına ait standart sapma $(\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z)$ değerleri hesaplanmıştır. σ_X, σ_Y ve σ_Z değerleri 1 cm den küçük olduğu görülmüştür (Çizelge 7.10)

Çizelge 7.10: Noktaların kartezyen koordinatlarına ait standart sapmaların ölçü sürelerine göre değişimi

Çizelge 7. 10a: L2810003 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.9	1.4
30d	1.5	1.0	1.8
45d	1.5	1.0	1.7
60d	1.7	1.3	2.0
90d	1.6	1.2	1.7
120d	1.3	1.0	1.3
150d	1.1	0.8	1.0
180d	0.9	0.7	0.9
210d	0.8	0.6	0.8
240d	0.7	0.5	0.7
253d	0.7	0.5	0.6

Çizelge 7. 10b: M282H021 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.8	1.4
30d	1.5	1.0	1.7
45d	1.4	1.0	1.6
60d	1.7	1.2	1.9
90d	1.5	1.2	1.6
120d	1.3	1.0	1.3
150d	1.0	0.8	1.0
180d	0.9	0.6	0.8
210d	0.8	0.6	0.7
240d	0.7	0.5	0.6
253d	0.7	0.5	0.6

Çizelge 7.10c: L2920022 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.9	1.5
30d	1.6	1.1	1.8
45d	1.5	1.0	1.7
60d	1.8	1.3	2.0
90d	1.6	1.2	1.7
120d	1.3	1.0	1.4
150d	1.1	0.8	1.1
180d	1.0	0.7	0.9
210d	0.9	0.6	0.8
240d	0.8	0.5	0.7
253d	0.7	0.5	0.7

Çizelge 7.10d: M2920019 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.8	1.4
30d	1.5	1.0	1.7
45d	1.4	1.0	1.6
60d	1.7	1.2	1.9
90d	1.6	1.2	1.7
120d	1.3	1.0	1.3
150d	1.0	0.8	1.0
180d	0.9	0.7	0.9
210d	0.8	0.6	0.7
240d	0.7	0.5	0.6
253d	0.7	0.5	0.6

Çizelge 7.10e: L29G002 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.9	1.5
30d	1.5	1.0	1.7
45d	1.4	1.0	1.7
60d	1.8	1.3	2.0
90d	1.6	1.2	1.7
120d	1.3	1.0	1.3
150d	1.1	0.8	1.1
180d	0.9	0.7	0.9
210d	0.8	0.6	0.8
240d	0.7	0.5	0.7
253d	0.7	0.5	0.7

Çizelge 7.10f: M292H022 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.3	0.8	1.4
30d	1.5	1.0	1.7
45d	1.4	0.9	1.6
60d	1.6	1.2	1.9
90d	1.6	1.2	1.7
120d	1.3	1.0	1.3
150d	1.1	0.8	1.0
180d	0.9	0.7	0.9
210d	0.8	0.6	0.8
240d	0.7	0.5	0.6
253d	0.7	0.5	0.6

Çizelge 7.10g: M2820007 noktası için

SÜRE	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
15d	1.2	0.8	1.3
30d	1.4	0.9	1.6
45d	1.3	0.9	1.5
60d	1.6	1.2	1.8
90d	1.5	1.2	1.6
120d	1.2	0.9	1.2
150d	1.0	0.7	1.0
180d	0.9	0.6	0.8
210d	0.8	0.6	0.7
240d	0.7	0.5	0.6
253d	0.7	0.5	0.6

Çizelge 7.11: Noktaların φ, λ ve h ait standart sapmaların $(\sigma_\varphi, \sigma_\lambda, \sigma_h)$ ölçü sürelerine göre değişimi,

Çizelge 7. 11a: L2810003 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.7	0.5	2.0
30d	0.9	0.6	2.3
45d	0.9	0.7	2.2
60d	1.1	0.8	2.6
90d	1.0	0.8	2.3
120d	0.8	0.7	1.8
150d	0.7	0.5	1.4
180d	0.6	0.4	1.2
210d	0.5	0.4	1.1
240d	0.4	0.3	1.0
253d	0.4	0.3	0.9

Çizelge 7. 11b: M282H021 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.6	0.4	1.9
30d	0.8	0.6	2.2
45d	0.8	0.6	2.1
60d	1.0	0.8	2.5
90d	0.9	0.8	2.2
120d	0.8	0.7	1.7
150d	0.7	0.5	1.4
180d	0.5	0.4	1.2
210d	0.5	0.4	1.1
240d	0.4	0.3	0.9
253d	0.4	0.3	0.9

Çizelge 7.11c: L2920022 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.7	0.5	2.0
30d	0.9	0.7	2.4
45d	0.9	0.7	2.2
60d	1.1	0.9	2.6
90d	1.0	0.8	2.3
120d	0.9	0.7	1.9
150d	0.7	0.6	1.5
180d	0.6	0.5	1.3
210d	0.5	0.4	1.2
240d	0.5	0.3	1.0
253d	0.4	0.3	1.0

Çizelge 7.11d: M2920019 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.7	0.5	1.9
30d	0.8	0.6	2.2
45d	0.8	0.6	2.1
60d	1.0	0.8	2.5
90d	1.0	0.8	2.2
120d	0.8	0.7	1.8
150d	0.7	0.5	1.4
180d	0.6	0.4	1.2
210d	0.5	0.4	1.1
240d	0.4	0.3	0.9
253d	0.4	0.3	0.9

Çizelge 7.11e: L29G002 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.7	0.5	2.0
30d	0.9	0.6	2.3
45d	0.9	0.7	2.2
60d	1.1	0.9	2.6
90d	1.0	0.8	2.3
120d	0.9	0.7	1.8
150d	0.7	0.5	1.5
180d	0.6	0.4	1.3
210d	0.5	0.4	1.1
240d	0.4	0.3	1.0
253d	0.4	0.3	1.0

Çizelge 7.11f: M292H022 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.6	0.4	1.9
30d	0.8	0.6	2.2
45d	0.8	0.6	2.0
60d	1.0	0.8	2.4
90d	1.0	0.8	2.3
120d	0.8	0.7	1.8
150d	0.7	0.5	1.4
180d	0.6	0.4	1.2
210d	0.5	0.4	1.1
240d	0.4	0.3	1.0
253d	0.4	0.3	0.9

Çizelge 7.11g: M2820007 noktası için

SÜRE	σ_φ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
15d	0.6	0.4	1.8
30d	0.8	0.6	2.1
45d	0.8	0.6	2.0
60d	1.0	0.8	2.4
90d	0.9	0.8	2.1
120d	0.8	0.7	1.7
150d	0.6	0.5	1.4
180d	0.5	0.4	1.2
210d	0.5	0.4	1.0
240d	0.4	0.3	0.9
253d	0.4	0.3	0.9

Dengeleme sonunda 253 dakikalık ölçü süresi sonunda elde edilen nokta koordinatları (X_N, Y_N, Z_N) esas alınarak, diğer ölçü süreleri sonunda elde dilen nokta koordinatları ($X_İ$, $Y_İ$, $Z_İ$) çıkarılmak suretiyle, noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimi,

$$\begin{aligned} DX_İ &= X_N - X_İ \\ DY_İ &= Y_N - Y_İ \\ DZ_İ &= Z_N - Z_İ \end{aligned} \qquad (7.1)$$

elde edilmiştir. Ayrıca bunlara ait standart sapmalar,

$$stdDX = \sigma_{DX_i} = \sqrt{\sigma_{X_i}^2 + \sigma_N^2}$$
$$stdDY = \sigma_{DY_i} = \sqrt{\sigma_{Y_i}^2 + \sigma_N^2} \quad (7.2)$$
$$stdDZ = \sigma_{DZ_i} = \sqrt{\sigma_{Z_i}^2 + \sigma_N^2}$$

bağıntılarıyla hesaplanmıştır (Çizelge 7.12).

Çizelge 7.12: Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimi ve standart sapmaları

Çizelge 7.12a: L2810003 noktası için

SÜRE	**DX (mm)**	**DY (mm)**	**DZ (mm)**	σ_{DX} **(mm)**	σ_{DY} **(mm)**	σ_{DZ} **(mm)**
15d	-0.7	-7.7	-12.1	1.5	1.0	1.5
30d	-2.6	-7.4	-4.2	1.7	1.1	1.9
45d	-1.4	-7.0	2.9	1.7	1.1	1.8
60d	-4.7	-8.7	3.0	1.8	1.4	2.1
90d	-2.4	-4.4	3.6	1.7	1.3	1.8
120d	-3.3	-2.5	1.3	1.5	1.1	1.4
150d	-2.7	-1.1	0.5	1.3	0.9	1.2
180d	-1.9	-1.1	1.7	1.1	0.9	1.1
210d	-1.1	-0.5	1.0	1.1	0.8	1.0
240d	-0.1	-0.1	0.3	1.0	0.7	0.9

Çizelge 7.12b: L2920022 noktası için

SÜRE	**DX (mm)**	**DY (mm)**	**DZ (mm)**	σ_{DX} **(mm)**	σ_{DY} **(mm)**	σ_{DZ} **(mm)**
15d	8.2	-3.3	-6.5	1.5	1.0	1.7
30d	3.9	-6.1	1.5	1.7	1.2	1.9
45d	4.5	-5.5	9.3	1.7	1.1	1.8
60d	-1.4	-7.9	6.6	1.9	1.4	2.1
90d	-1.9	-4.6	3.9	1.7	1.3	1.8
120d	-2.3	-1.9	3.4	1.5	1.1	1.6
150d	-1.5	-0.5	2.2	1.3	0.9	1.3
180d	-1.3	-0.3	2.8	1.2	0.9	1.1
210d	-0.9	-0.4	1.6	1.1	0.8	1.1
240d	0.0	-0.1	0.3	1.1	0.7	1.0

Çizelge 7.12c: L29G002 noktası için

SÜRE	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	σ_{DX} (mm)	σ_{DY} (mm)	σ_{DZ} (mm)
15d	9.8	-3.3	-5.0	1.5	1.0	1.7
30d	5.5	-5.3	2.9	1.7	1.1	1.8
45d	6.0	-4.6	10.6	1.6	1.1	1.8
60d	-0.5	-7.4	8.5	1.9	1.4	2.1
90d	-1.0	-4.3	6.3	1.7	1.3	1.8
120d	-1.8	-2.2	4.7	1.5	1.1	1.5
150d	-1.5	-0.5	2.9	1.3	0.9	1.3
180d	-1.1	-0.6	3.6	1.1	0.9	1.1
210d	-1.0	-0.3	2.0	1.1	0.8	1.1
240d	-0.1	0.0	0.4	1.0	0.7	1.0

Çizelge 7.12d M2820007 noktası için

SÜRE	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	σ_{DX} (mm)	σ_{DY} (mm)	σ_{DZ} (mm)
15d	3.7	-0.6	-1.6	1.4	0.9	1.4
30d	1.8	-1.4	2.4	1.6	1.0	1.7
45d	1.7	-2.4	5.2	1.5	1.0	1.6
60d	-1.7	-4.6	2.6	1.7	1.3	1.9
90d	-1.3	-2.4	1.6	1.7	1.3	1.7
120d	-2.7	-2.7	-0.1	1.4	1.0	1.3
150d	-2.0	-1.8	0.0	1.2	0.9	1.2
180d	-1.7	-1.4	0.4	1.1	0.8	1.0
210d	-1.1	-0.8	0.1	1.1	0.8	0.9
240d	0.0	-0.1	0.1	1.0	0.7	0.8

Çizelge 7.12e: M282H021 noktası için

SÜRE	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	σ_{DX} (mm)	σ_{DY} (mm)	σ_{DZ} (mm)
15d	3.1	4.2	1.2	1.5	0.9	1.5
30d	3.6	3.7	3.9	1.7	1.1	1.8
45d	-0.9	-0.8	-1.1	1.6	1.1	1.7
60d	-1.2	-1.9	-1.7	1.8	1.3	2.0
90d	-2.4	-1.0	-2.7	1.7	1.3	1.7
120d	-2.1	0.2	-2.7	1.5	1.1	1.4
150d	-1.1	0.9	-1.0	1.2	0.9	1.2
180d	-1.1	0.3	-0.5	1.1	0.8	1.0
210d	-0.6	0.1	0.1	1.1	0.8	0.9
240d	-0.1	0.2	0.4	1.0	0.7	0.8

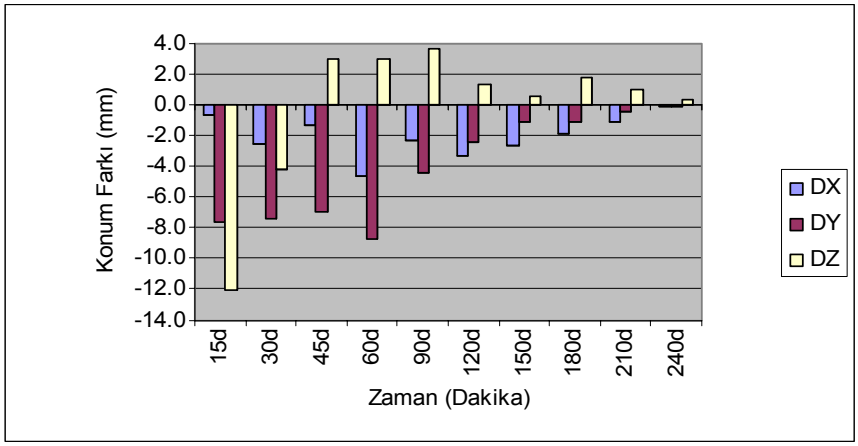
Çizelge 7.12f: M2920019 noktası için

SÜRE	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	σ_{DX} (mm)	σ_{DY} (mm)	σ_{DZ} (mm)
15d	8.1	0.7	-0.6	1.5	0.9	1.5
30d	4.1	-2.4	-0.1	1.7	1.1	1.8
45d	1.7	-4.2	2.3	1.6	1.1	1.7
60d	-1.5	-6.4	2.1	1.8	1.3	2.0
90d	-1.9	-2.5	1.6	1.7	1.3	1.8
120d	-2.6	0.2	-0.3	1.5	1.1	1.4
150d	-1.8	0.9	0.4	1.2	0.9	1.2
180d	-1.7	0.1	1.2	1.1	0.9	1.1
210d	-1.6	-0.4	0.4	1.1	0.8	0.9
240d	-0.4	-0.1	0.1	1.0	0.7	0.8

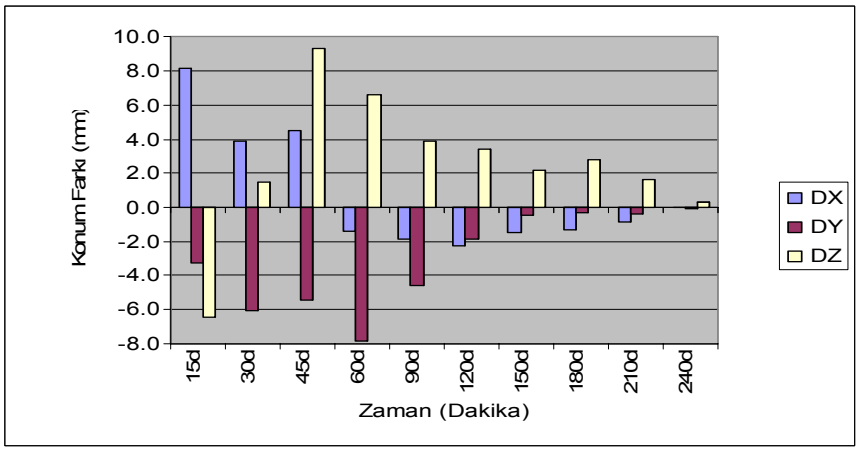
Çizelge 7.12g: M292H022 noktası için

SÜRE	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	σ_{DX} (mm)	σ_{DY} (mm)	σ_{DZ} (mm)
15d	11.2	1.7	2.0	1.5	0.9	1.5
30d	11.1	0.2	4.9	1.7	1.1	1.8
45d	7.9	-0.6	3.8	1.6	1.0	1.7
60d	4.6	-2.4	2.3	1.7	1.3	2.0
90d	-1.1	-1.9	-1.5	1.7	1.3	1.8
120d	-3.2	0.1	-3.7	1.5	1.1	1.4
150d	-2.5	0.8	-2.6	1.3	0.9	1.2
180d	-2.5	0.5	-1.5	1.1	0.9	1.1
210d	-1.7	-0.2	-0.7	1.1	0.8	1.0
240d	-0.5	-0.1	-0.2	1.0	0.7	0.8

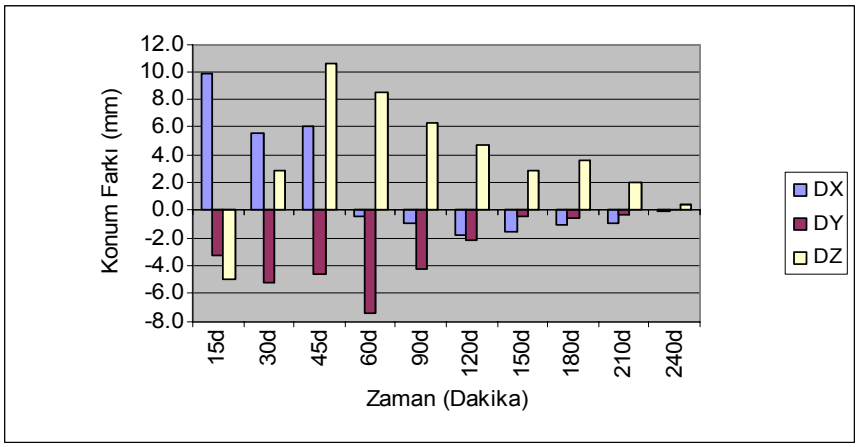
Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimi (*DX, DY, DZ)* Şekil 7.5 de verilmiştir.



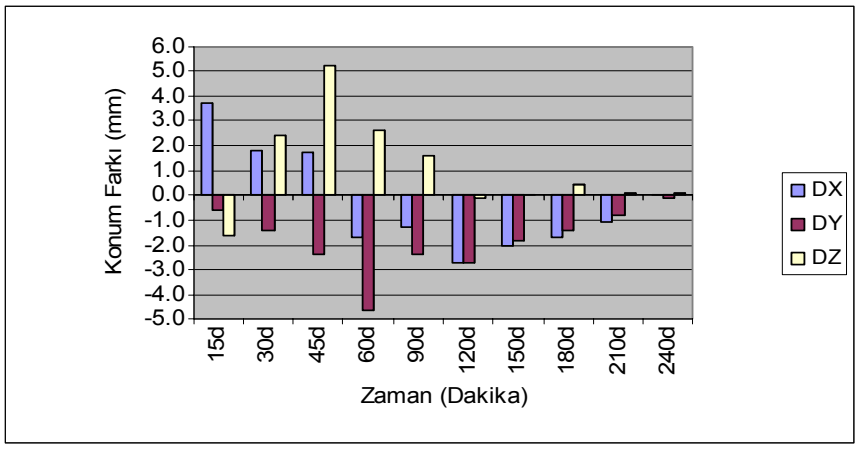
Şekil 7.5a: L2810003 noktası için



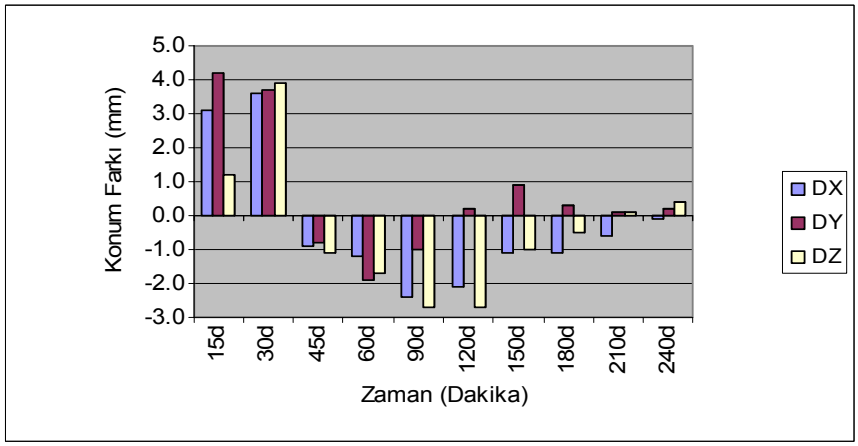
Şekil 7.5b: L2920022 noktası için



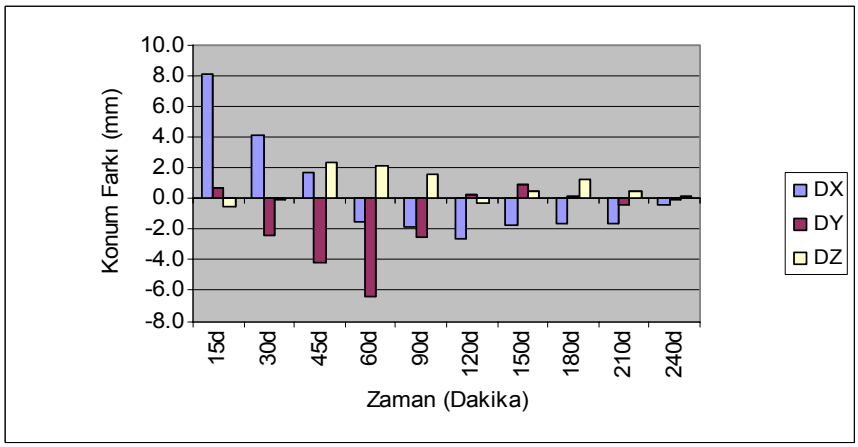
Şekil 7.5c: L29G002 noktası için



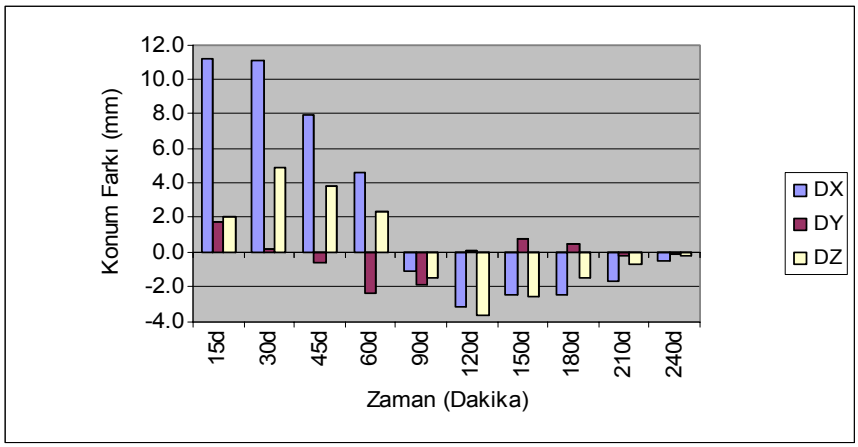
Şekil 7.5d: M2820007 noktası için



Şekil 7.5e: M282H021 noktası için

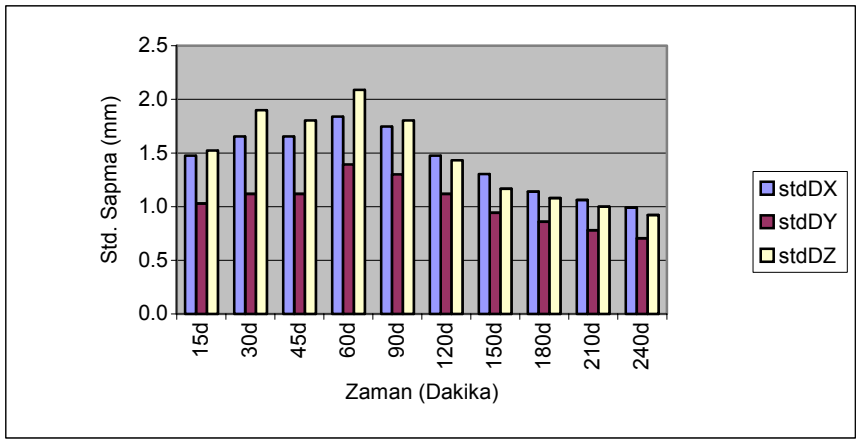


Şekil 7.5f: M2920019 noktası için

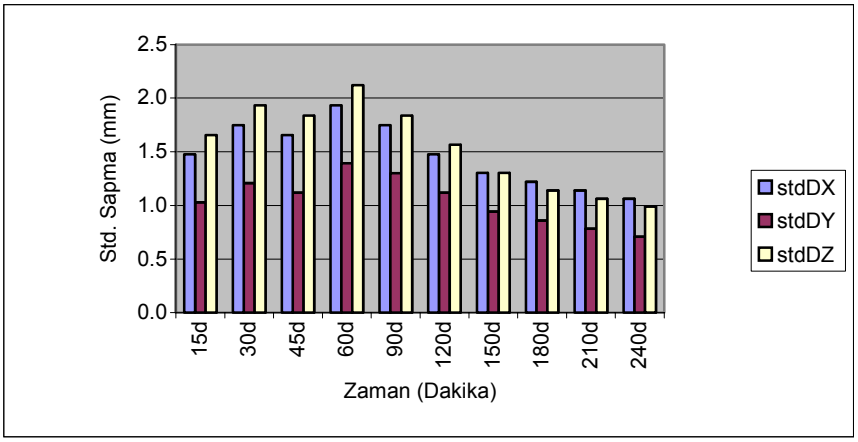


Şekil 7.5g: M292H022 noktası için

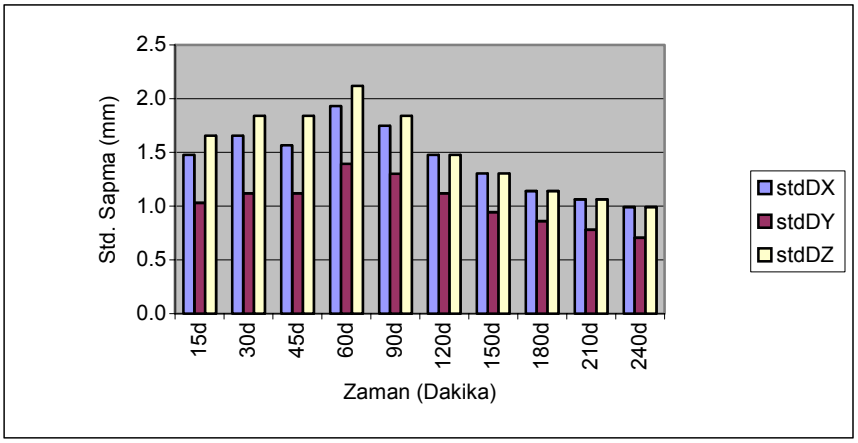
Ölçü sürelerine göre noktaların X, Y ve Z yönündeki değişime ait standart sapmaların *(stdDX, stdDY, stdDZ)* grafiksel gösterimi Şekil 7.6 de verilmiştir.



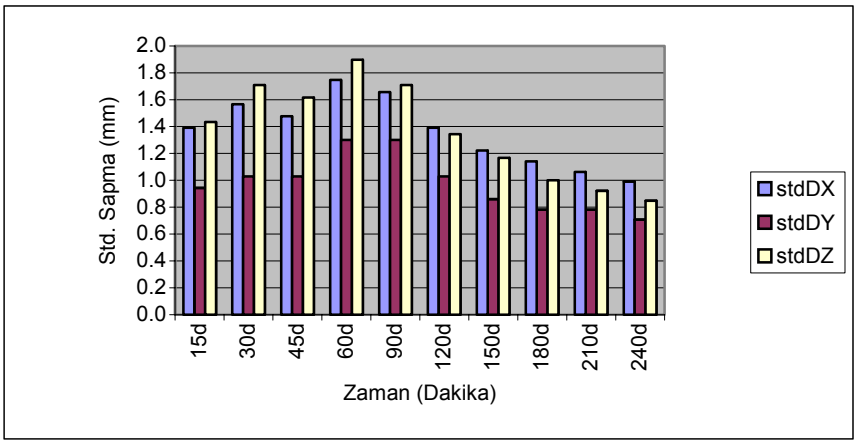
Şekil 7.6a: L2810003 noktası için



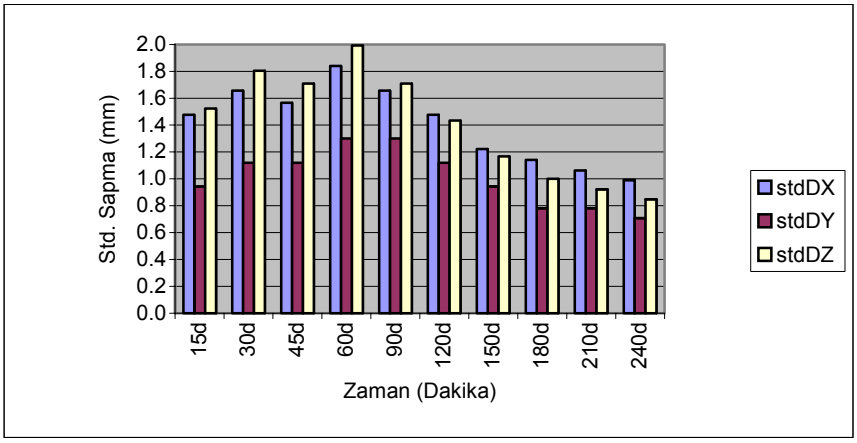
Şekil 7.6b: L2920022 noktası için



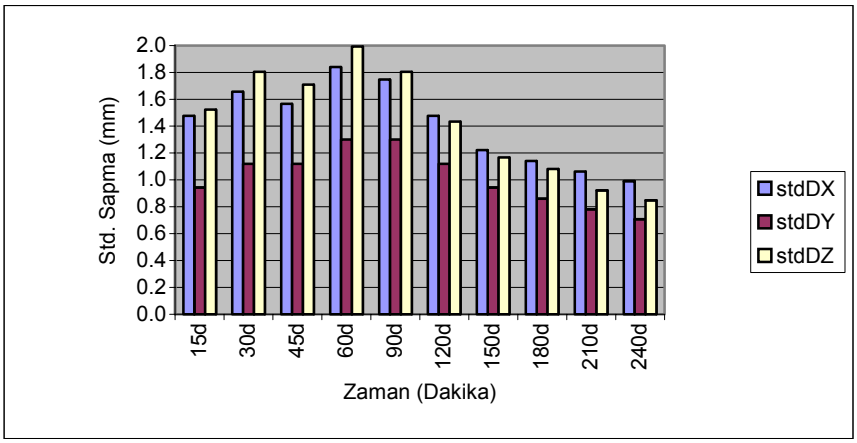
Şekil 7.6c: L29G002 noktası için



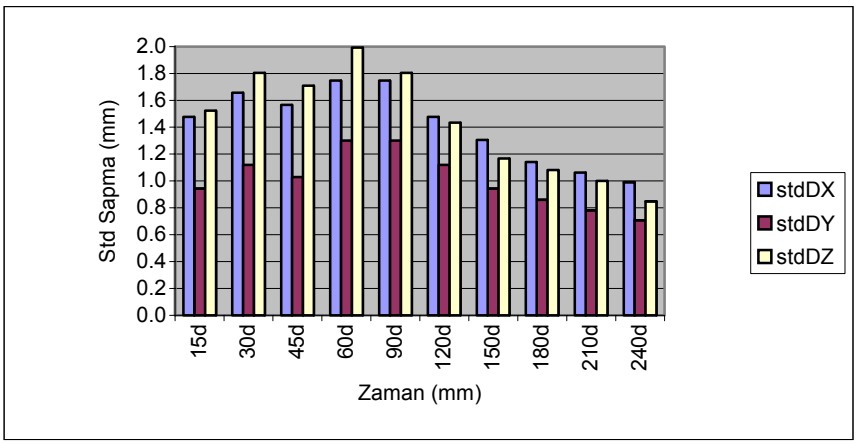
Şekil 7.6d: M2820007 noktası için



Şekil 7.6e: M282H021 noktası için



Şekil 7.6f: M2920019 noktası için



Şekil 7.6g: M292H022 noktası için

Nokta konum değişimi,

$$dP_i = \sqrt{DX_i^2 + DY_i^2 + DZ_i^2} \tag{7.3}$$

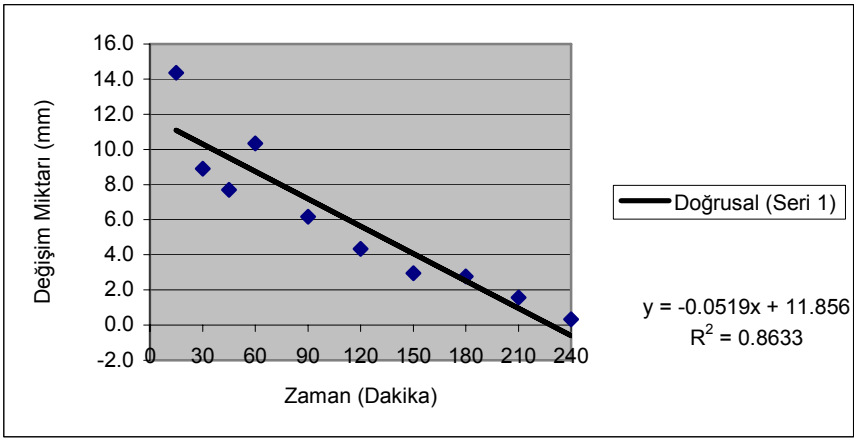
bağıntısı ile hesaplanır. Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimleri Çizelge 7.13 de verilmiştir.

Çizelge 7.13: Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi (dP_i),

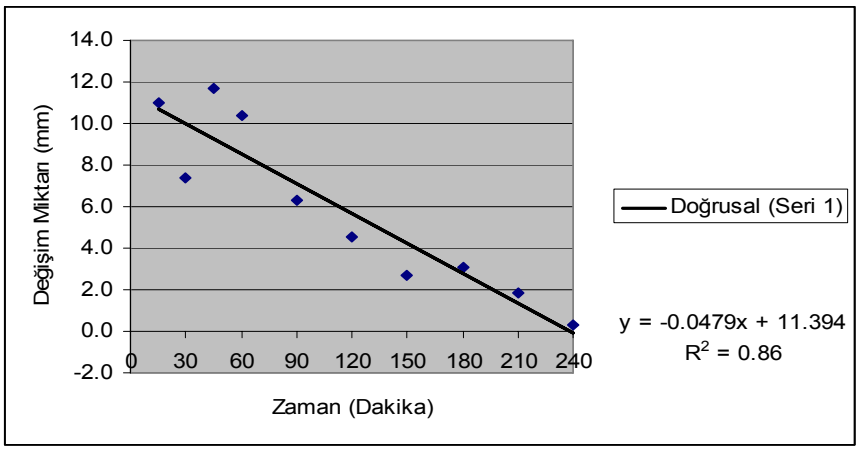
NN	SÜRE	dP_i (mm)	NN	SÜRE	dP_i (mm)	NN	SÜRE	dP_i (mm)	NN	SÜRE	dP_i (mm)
L2810003	15d	14.4	L2920022	15d	11.0	L29G002	15d	11.05	M2820007	15d	4.1
	30d	8.9		30d	7.4		30d	8.2		30d	3.3
	45d	7.7		45d	11.7		45d	13.0		45d	6.0
	60d	10.3		60d	10.4		60d	11.3		60d	5.6
	90d	6.2		90d	6.3		90d	7.7		90d	3.2
	120d	4.3		120d	4.5		120d	5.5		120d	3.8
	150d	3.0		150d	2.7		150d	3.3		150d	2.7
	180d	2.8		180d	3.1		180d	3.8		180d	2.2
	210d	1.6		210d	1.9		210d	2.3		210d	1.4
	240d	0.3		240d	0.3		240d	0.4		240d	0.1

NN	SÜRE	dP_i (mm)	NN	SÜRE	dP_i (mm)	NN	SÜRE	dP_i (mm)
M282H021	15d	5.4	M2920019	15d	8.2	M2920019	15d	11.5
	30d	6.5		30d	4.8		30d	12.1
	45d	1.6		45d	5.1		45d	8.8
	60d	2.8		60d	6.9		60d	5.7
	90d	3.7		90d	3.5		90d	2.7
	120d	3.4		120d	2.6		120d	4.9
	150d	1.7		150d	2.1		150d	3.7
	180d	1.2		180d	2.1		180d	3.0
	210d	0.6		210d	1.7		210d	1.8
	240d	0.5		240d	0.4		240d	0.5

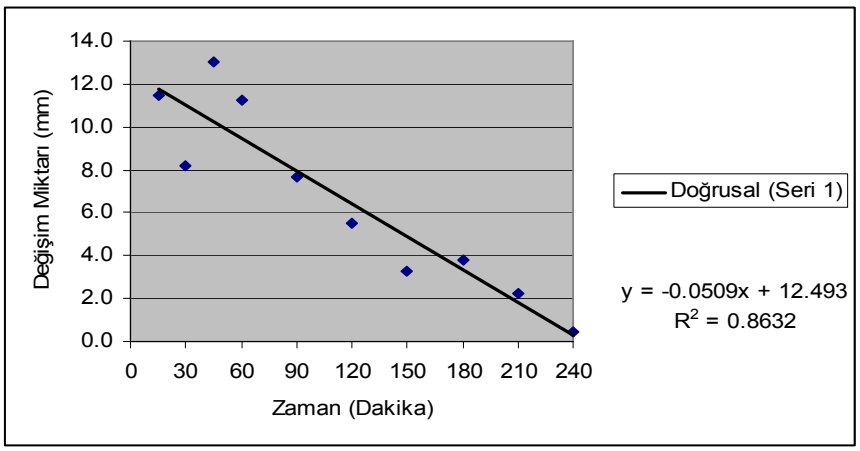
Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi (dP_i) ve regresyon analizi Şekil7.7'de verilmiştir.



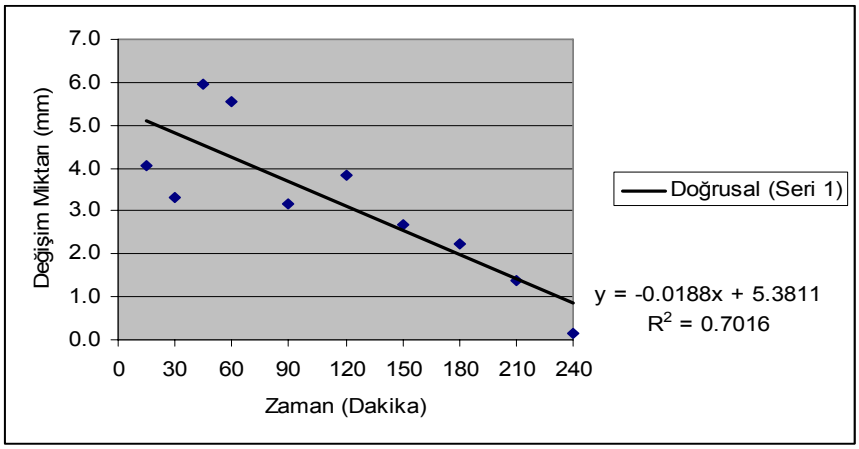
Şekil 7.7a: L2810003 noktası için



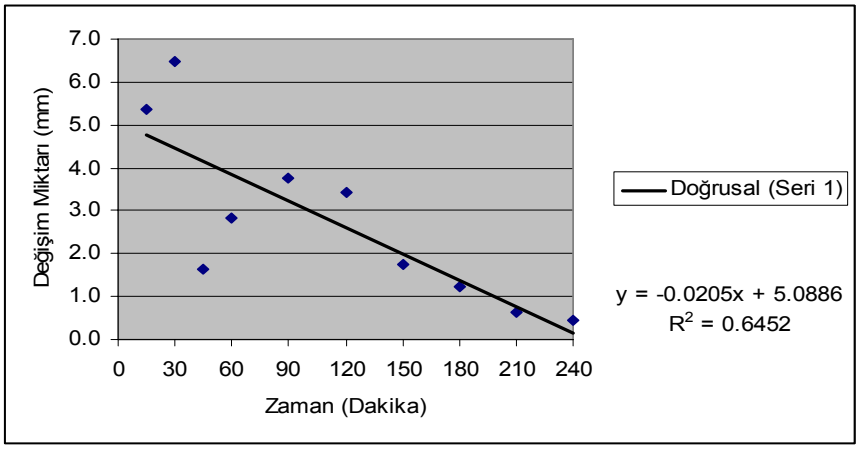
Şekil 7.7b: L2920022 noktası için



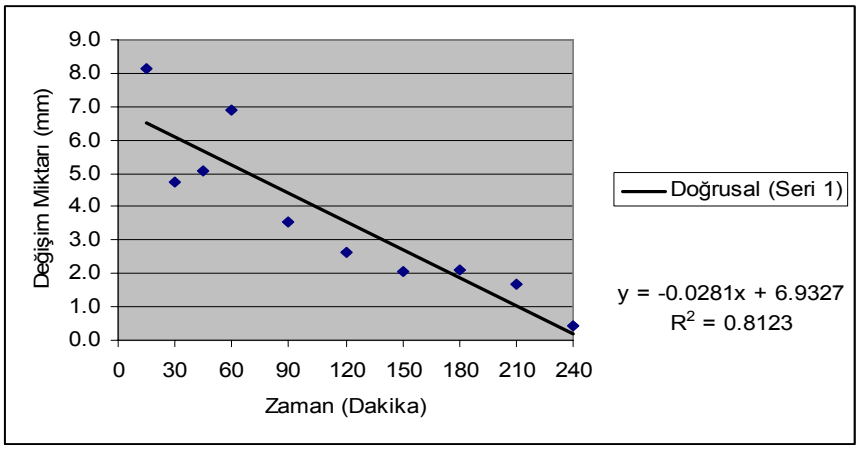
Şekil 7.7c: L29G002 noktası için



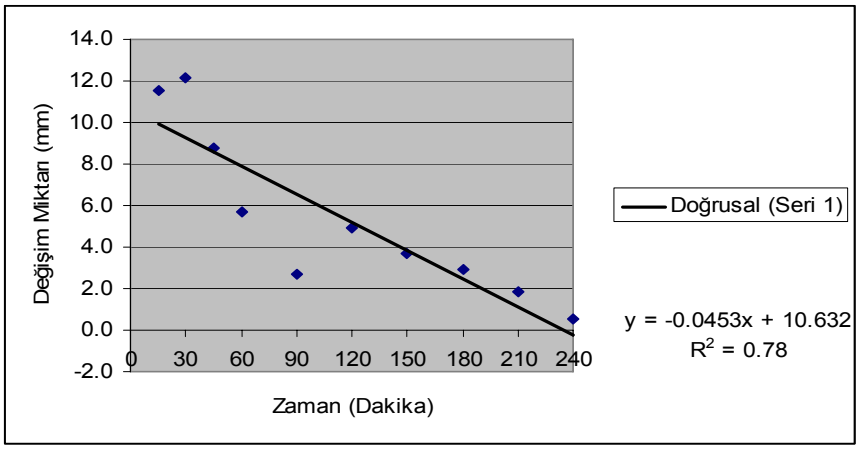
Şekil 7.7d: M2820007 noktası için



Şekil 7.7e: M282H021 noktası için



Şekil 7.7f: M2920019 noktası için



Şekil 7.7g: M292H022 noktası için

Çizelge 7.14: Noktalara ait *m, n ve* korelasyon (*R)* katsayıları

NN	m	n	R2	R
L2810003	-0.0519	11.856	0.8633	-0.929139
L2920022	-0.0479	11.394	0.86	-0.927362
L29G002	-0.0509	12.493	0.8632	-0.929086
M2820007	-0.0188	5.3811	0.7016	-0.837616
M282H021	-0.0205	5.0886	0.6452	-0.803243
M2920019	-0.0281	6.9327	0.8123	-0.901277
M292H022	-0.0453	10.632	0.78	-0.883176

Noktalara ait *m, n ve* korelasyon (*R)* katsayılarını (Çizelge 7.14), *x* değeri ölçü sürelerini belirtmek üzere Grafik 7.3 e göre nokta konum değişim miktarlarının (dP_i) regresyon doğrusu üzerinde almış olduğu değer,

$$y = m.x + n \tag{7.4}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Noktaların ölçü sürelerine göre konum değişim miktarı (*dP)* ve doğru üzerinde almış olduğu değer *(y)* ile bunların farkı *(dP-y)* Çizelge 7.15 de verilmiştir.

Çizelge 7.15: Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi ve regresyon doğrusu üzerindeki değeri

NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dP-y (mm)	NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dP-y (mm)
L2810003	**15**	14.4	11.1	3.3	L2920022	**15**	11.0	10.7	0.3
	30	8.9	10.3	-1.4		**30**	7.4	10.0	-2.6
	45	7.7	9.5	-1.8		**45**	11.7	9.2	2.5
	60	10.3	8.7	1.6		**60**	10.4	8.5	1.9
	90	6.2	7.2	-1.0		**90**	6.3	7.1	-0.8
	120	4.3	5.6	-1.3		**120**	4.5	5.6	-1.1
	150	3.0	4.1	-1.1		**150**	2.7	4.2	-1.5
	180	2.8	2.5	0.3		**180**	3.1	2.8	0.3
	210	1.6	1.0	0.6		**210**	1.9	1.3	0.5
	240	0.3	-0.6	0.9		**240**	0.3	-0.1	0.4

NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dPy (mm)	NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dP-y (mm)
L29G002	**15**	11.5	11.7	-0.2	M2820007	**15**	4.1	5.1	-1.0
	30	8.2	11.0	-2.8		**30**	3.3	4.8	-1.5
	45	13.0	10.2	2.8		**45**	6.0	4.5	1.4
	60	11.3	9.4	1.8		**60**	5.6	4.3	1.3
	90	7.7	7.9	-0.2		**90**	3.2	3.7	-0.5
	120	5.5	6.4	-0.9		**120**	3.8	3.1	0.7
	150	3.3	4.9	-1.6		**150**	2.7	2.6	0.1
	180	3.8	3.3	0.5		**180**	2.2	2.0	0.2
	210	2.3	1.8	0.5		**210**	1.4	1.4	-0.1
	240	0.4	0.3	0.1		**240**	0.1	0.9	-0.7

NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dPy (mm)	NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dP-y (mm)
M282H021	**15**	5.4	4.8	0.6	M2920019	**15**	8.2	6.5	1.6
	30	6.5	4.5	2.0		**30**	4.8	6.1	-1.3
	45	1.6	4.2	-2.5		**45**	5.1	5.7	-0.6
	60	2.8	3.9	-1.0		**60**	6.9	5.2	1.7
	90	3.7	3.2	0.5		**90**	3.5	4.4	-0.9
	120	3.4	2.6	0.8		**120**	2.6	3.6	-0.9
	150	1.7	2.0	-0.3		**150**	2.1	2.7	-0.7
	180	1.2	1.4	-0.2		**180**	2.1	1.9	0.2
	210	0.6	0.8	-0.2		**210**	1.7	1.0	0.7
	240	0.5	0.2	0.3		**240**	0.4	0.2	0.2

Çizelge 7.15: Ölçü sürelerine göre nokta konum değişimi ve regresyon doğrusu üzerindeki değeri

NN	x (dakika)	dP (mm)	y (mm)	Fark=dP-y (mm)
M292H022	**15**	11.5	10.0	1.6
	30	12.1	9.3	2.9
	45	8.8	8.6	0.2
	60	5.7	7.9	-2.2
	90	2.7	6.6	-3.9
	120	4.9	5.2	-0.3
	150	3.7	3.8	-0.1
	180	3.0	2.5	0.5
	210	1.8	1.1	0.7
	240	0.5	-0.2	0.8

8. SONUÇLAR

Ölçü sürelerinin nokta konum doğruluğuna etkisini araştırmak amacıyla, Konya mücavir alan sınırları içinde $37^0$52'07."94758- $38^0$01'19.90627 enlemleri ile $32^0$23'38."08646-$32^0$31'54."75885 boylamları arasında kalan çalışma bölgesinde (Şekil 7.2) 8 adet noktada eş zamanlı olarak 253 dakika ölçü yapılmıştır. M28G001 TUTGA noktası sabit alınıp, 2005.0 epoğundaki ITRF 96 koordinatları kullanılarak noktaların koordinatları elde edilmiştir.

Baz çözümleri sonunda, baz uzunluklarına ait $\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ bileşenlerinin standart sapmaları $\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y}$ ve $\sigma_{\Delta Z}$ hesaplanmıştır. Çizelge 7.8'e 253 dakikalık ölçü süresine göre yapılan baz çözümüne bakıldığında, $\sigma_{\Delta X}$ 0.2-0.5 mm, $\sigma_{\Delta Y}$ 0.1-0.3 mm ve $\sigma_{\Delta Z}$ 0.1-0.4 mm aralığında değişmektedir. BÖHHBÜY' e göre Madde15/b de her bağımsız bazın $\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ bileşenlerine ait standart sapmaların $\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y}$, $\sigma_{\Delta Z} \leq$ 10 mm+ 1ppm olduğu düşünülürse, yapılan ölçülerde elde edilen baz bileşenlerine ait $\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y}$ ve $\sigma_{\Delta Z}$ sınır değerlerden küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.10' da noktaların kartezyen koordinatlarına ait σ_X, σ_Y ve σ_Z standart sapmaların ölçü sürelerine göre değişimi verilmiştir. İncelendiğinde σ_X 0.7-1.8 mm, σ_Y 0.5-1.3 mm ve σ_Z 0.6-2.0 mm aralığında değişmektedir. Ölçü süresi arttıkça standart sapma değerlerinde (σ_X, σ_Y ve σ_Z) azalma görülmektedir. Noktaların, aynı ölçü sürelerinde elde edilen standart sapmaların birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. (Çizelge 7.10).

Çizelge 7.11' de noktaların φ, λ ve h ait standart sapmaların (σ_φ, σ_λ ve σ_h) ölçü sürelerine göre değişimi verilmiştir. İncelendiğinde σ_φ 0.4-1.1 mm, σ_λ 0.3-0.9 mm ve σ_h'ın 0.9-2.6 mm aralığında değişmektedir. BÖHHBÜY' nin Madde 15/d ve Madde 20/b göre AGA ve SGA noktalarının, dengeleme sonunda hesaplanan coğrafi koordinatlarına ait standart sapmaların σ_φ, $\sigma_\lambda \leq \mp 3cm$ ve $\sigma_h \leq \mp 5cm$ olması istenir. Çizelge 7.11 incelendiğinde dengeleme sonunda elde edilen σ_φ, σ_λ ve σ_h' ın yönetmelikte belirtilen sınır miktardan daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.12 ve Grafik 7.1 incelenirse noktaların ölçü sürelerine göre X, Y ve Z yönündeki değişimleri *(DX, DY, DZ)* hesaplanmıştır. *DX* 0.0-11.2 mm, *DY* 0.0-8.7 mm, *DZ* 0.1-12.1 mm aralığında değişmektedir. Çizelge 7.12 ve Grafik 7.2' de noktaların X, Y ve Z yönündeki değişimlerine ait standart sapmalara $(\sigma_{DX}, \sigma_{DY}, \sigma_{DZ})$ bakıldığında; σ_{DX} 1.0-1.9 mm, σ_{DY} 0.7-1.4 mm ve σ_{DZ} 0.8-2.1 mm aralığında değişmektedir.

Nokta kartezyen koordinatlarına ait standart sapmalar (σ_X, σ_Y ve σ_Z) ile X, Y ve Z yönündeki değişimin standart sapmaları $(\sigma_{DX}, \sigma_{DY}, \sigma_{DZ})$ karşılaştırıldığında ölçü sürelerindeki değişimler birbiriyle paralellik göstermektedir.

Çizelge 7.14 de ölçü sürelerine göre her bir noktanın konum değişimlerine ait korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Korelasyon katsayılarının 1' e yakın olduğu görülmektedir. Ölçü süreleri arttıkça nokta konum değişimleri ters orantılı olarak azalmaktadır.

Çizelge 7.13 ve Grafik 7.3' de 15, 30 ve 45 dakikalık ölçü sürelerinde elde edilen nokta konum değişimleri arasında bazı noktalarda düzensizlik görülmektedir. Bunun nedeni, noktalara ait PDOP değerinin farklı zaman aralıklarında değişim göstermesi, bu farklılıktan kaynaklanan etki konum değişimini etkilemektedir. 60 dakikadan sonraki ölçü sürelerinde elde edilen konum değişimleri, ölçü süresi arttıkça ters orantılı olarak azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ölçü süresi arttıkça nokta konum doğruluğu arttığı görülmektedir.

Çalışma alanında statik yöntemle yapılan gözlemlerde 60 dakikalık bir gözlem süresinin, istenen konum doğruluğu için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

9. KAYNAKLAR

ARSLAN, E., 1997a, GPS Koordinatlarından Ülke Koordinatlarına Dönüşüm, Türkiye 6. Bilimsel ve Teknik Harita Kurultayı, sayfa 303-319, Ankara.

ARSLAN, N., 1997b, GPS ve Atmosferik Modeller, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

AYAN, T., 1982, Jeodezik Ağlarda Değer Yargıları, Deformasyon Ağların Analizi, Yüksek Lisans Ders Notları, İTÜ, İstanbul

AYDIN, Ö., SOYCAN, M., TOPBAŞ, A., 2001, Determination of Satellite Orbits and Use of IGS Precise Orbite in Practice, 4. Turkish-German Geodetic Days, Berlin.

AYDIN, C., ARSLAN, N., DEMİREL, H., 2004a, Deformasyon Analizinde Duyarlık, HKM Jeodezi, Jeoinformatik ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı 90, s. 12-18

AYDIN, C., ARSLAN, N., DEMİREL, H., 2004b, Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi, TUJK 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Zonguldak.

BAARDA, 1968, "A testing procedure for use in geodetic Networks", Netherlands Geodetic Com, Publications on Geodesy, 2/5, Delft.

CHATWELL, C.D., 1995, Investigation of Stochastic Models to Improve the Global Postioning System Satellite Orbists , The Ohio State University , Columbs Report No: 428, March.

CHEN, R., 1991, Reports of the Finnish Geodetic Institude on the Horizantal Crustol Deformations in Finland, Helsinki.

COHEN, C.E., 1996, Attitude Determination in Global Positioning System, Theory and Applications, 2 pp. 519-538, Eds. Parki-son, B.W. and Spilker jr.,j.j., American Institute of Deronautics and Astronautics , Washington DC.

ÇELİK , R.N., 2000, GPS ve Ülke Nirengi Ağı , TMMOB HKMO İstanbul Şubesi Bülteni, Temmuz 2000, İstanbul.

ÇORUMLUOĞLU, Ö., 2000, Yüksek Presizyonlu GPS Teknikleri Lisansüstü Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya

DEMİREL, H., 2003, Dengeleme Hesabı, YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

DENİZ, R., AYAN, T., GÜRKAN, O., ÖZTÜRK, E., ÇELİK, R.N., 2003, Uluslararası Jeodezik Referans Sistemleri ve CBS, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya

DİLAVER, A., 1997, Jeodezide Temel Koordinat Sistemleri, KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ders Notları, No: 47, Trabzon

EREN, K., 1987, Geodetic Network Adjusment Using GPS Triple Difference Observation and Apriori Stochastic İnformation, Technical Report, Noil, Instute of Geodesy University of Stuttgard, Stuttgard.

EREN, K., UZEL, T., 1995, GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No: 301, İstanbul.

ERKÜÇÜK, G., 1994, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Uygulama Alanları , YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi , İstanbul.

ERSOY, N., 1997, İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS Ölçüleri İle Değerlendirilmesi ve Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi Ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Üniversite Yayın No: YTÜ.En.Dr.-97.0330/Enstitü Yayın No: En.FBE-97.008 YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

FGCC, 1988, Geometric Geodetic Accuracy Standart and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5.0, reprinted with corrections, 48p., August 1, 1989.

GEODETIC SURVEY DIVISION, 1992, Guidelines and Specifications For GPS Surveys, Natural Resources Canada, Ottawa, Kanada

GEORGİADOU, Y., KLEUSBERG, A., 1998, On Carrier Signal Multipath Effects in Relative GPS Positioning. Manuscripta Geodaetica 13: 172-179

GOAD, C.C., 1985, Precise relative position Determination using Global Positioning System Corrier phase Measurements in a Nondifference mode, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, April 15-19, Rockville , Moryland , vol 1, 347-356.

GÖKALP, E., 1994, GPS Ölçme Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

GÖKALP, E., GÜNGÖR, O., 2001, RTK GPS' in İmar Uygulamalarında Kullanılması , HKMO Dergisi, sayı 87, 39, Ankara.

GÖKALP, E., BOZ, Y., 2006, Avrupa'nın Global Navigasyon Uydu Sistemi; GALILEO, HKM Jeodezi Jeinformasyon Arazi Yönetimi Dergisi 2006/1 Sayı 94, Ankara.

GÜLAL, E., 2003, Endüstriyel Tesislerde Jeodezik Ölçmeler, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul.

GÜLLÜ, M., 1998, GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

GÜRKAN, O., 1985, Ülke Nirengi Ağlarına Olan Gereksinim ve Kurmada İşlem Sırası, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

HEIN, G.W., EİSSFELLER, B., WERNER, W., OTT, B., ELROD, B.D., BARLTROP, K.J. ve STAFFORD, J.F., 1997, Practical Investigation on DGPS for Aircraft precision Approaches Augmented by Pseudolite Carrier Phase Tracking, Proceed. of 10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. Of Navigation GPS ION-96, 1851-1860, Kansas City, Missouri.

HEUNECKE, O., 2007, Engineering Surveying Standardisation in Germany - the current status, 11. Turkish Map Scientific and Technical Congress, Ankara.

HGK, 2006, GPS Değer Cetveli, M.S.B. Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Daire Başkanlığı, Ankara.

HOFFMAN-WELLENHOF, B., LİCHTENEGGER, H. AND COLLİNS, J., 1997, GPS Theory and Pratice, New York.

IAU ,2002, 1999-2002, Division I Report for IAU, http://danof.obspm.fr/iaudiv1/IAUDiv1_report.html

ICSM, 2002, Standards and Practices for Control Surveys (SP1), Version 1.5, Inter Govermentel Committee On Surveying and Mapping, ICSM Publication No:1, Australian http://www.icsm.gov.au/icsm/publications/sp1/SP1v1-5.pdf

İNAL, C., 2004, Deformasyon Ölçmeleri Analizi, Yüksek Lisans Ders Notları (Basılmamış), Konya.

KAHVECİ, M., 1994, Ortometrik Yükseklikler Belirlemesinde Global Konumlama (GPS) Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KAHVECİ, M., 1997, Türkiye Koşullarında Yapılan GPS Gözlemlerinde Ortam Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KAHVECİ, M., YILDIZ, F., 2005, Global Konum Belirleme Sistemi, 2. Baskı Nobel Yayıncılık, Ankara.

KALAYCI, İ., 2006, Diferansiyel GPS (DGPS) Sistemleri ve Uygulamaları, Lisansüstü Ders Notları (Basılmamış), Konya

KING, R.W., ABBOT, R.I., BOCK, Y., COU- SELMAN, C.C., 1985, Deformation measurement by rodio interferometry with GPS , ECS , Transactions of the AGU, 66, 854 -856.

KINIK, İ., 1993, Global Konumlama Sisteminin Tanıtımı, İller Bankası Eğitim ve Uygulama Semineri, Ankara.

KINIK, İ., 1999, GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KONAK, H., 1994, Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

KINIK, İ., KAHVECİ, M., GÖNÜLALAN, A., AKÇA, M., 1993, GPS ile Pratik Konumlama Uygulamaları , TUJJB Genel Kurulu, 8-11 Haziran , Ankara.

KURT, O., 1996, GPS ölçülerinin Değerlendirildiği Yer Merkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

KURT, O., 2003a, GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesinde Başlangıç Faz Belirsizliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KURT, O., 2003b, GPS Gözlemlerinin Simulasyonu, 9. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

KURT, O., 2005, Yapay Uydu Bazlarda Çoklu Frekansın Önemi , TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

LANGLEY, R.B., 1991, The Mathematics of GPS, GPS World, july Agust.

LEICK, A., 1990, GPS Satellite Surveying Deportment of Surveying Engineering University of Maine, Urana

LONGLEY, R.B., 1997, GPS Receiver System Noise, GPS World, 8, 6, 40-45
Mekik, Ç., 1997, Tropospheric Delay Models in GPS, Proceed. of Int. Symp. On GIS/GPS, 156-170, Istanbul.

MEKİK, Ç., 2003, Uydusallar (Pseudolitler), HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon, Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı:88,

MICHAEL, A., 1991, GPS and The Cadostral, GPS World, 38-41,

MUELLER, I.I., 1977, Spherical and Practical Astronomi as Applied to Geodesy, Frederick Unger Publishing Co, Newyork.

NARDEN, L., 2002, GALILEO and GPS: Cooperation or Copetition The Brookings Institution , Center on The United States and France.

OSG, 2003, Accuracy Standards for Geodetic Surveys, SG Standart version 1.1 Office of Surveyor – General, Land Information New Zealand, March 2003 New Zealand
www.linz.govt.nz/docs/surveysystem/survey-publication/accuracy-standards.pdf

ÖZAYDIN, D., KINIK, İ., ŞİMŞEK, M., DEMİRCİ, C., CENK, O., 1993, Ankara GPS Test Ağı (AGTA)' nın Tanıtımı, HKMO Harita Kurultayı , Ankara.

ÖZCAN, A., 1997, GPS' de Hata Kaynakları ve Etkilerinin Giderilmesi, Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

ÖZLÜDEMİR , M. T. , 2002 . Sinyal Kalitesine Dayalı Stokastik Modellerin GPS ile Konum Belirleme Üzerindeki Etkilerine İlişkin Bir İnceleme, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZLÜDEMİR, M.T., 2003, GPS Verilerinin Değerlendirmesinde Yeni Stratejiler, 9. Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı, Ankara.

ÖZLÜDEMİR, M.T., AYAN, T., 2003, GPS ile Konum Belirlemede Stokastik Modellerin Etkileri, İTÜ Mühendislik İTÜ Dergisi, Cilt 2 , Sayı 1 , 45-54, İstanbul.

ÖZTÜRK, E., 1987, Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri, Türkiye 1. Harita ve Teknik Kurultayı Bildirileri Kitabı, s. 641-699, Ankara.

ÖZTÜRK, E., 1997, Nirengi Ağlarının GPS Gözlemleri ile Yenilenmesi ve Sıklaştırılması, 6. Harita Kurultayı s. 395 -409 , Ankara.

ÖZTÜRK, E., ŞERBETÇİ, M., 1992, Dengeleme Hesabı, Cilt III, KTÜ Basımevi, Trabzon.

REMONDI, B.W.,1984, Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable For Relative Geodesy: Modelling, Processing and Results, Dr. Tezi, Center for space research University of Texas at Austin , May, Availlable from National Geodetic İnformation center , N/CGI7x2, Rockville, Md, 20852, USA.

REMONDI , B.W. AND HOFFMAN-WELLENHOF, B., 1989, GPS Broadcast Orbits Versus Precise Orbits GPS an Overviev Symposium, Edinburgh.

RESCH, G.M., 1984, Water Vapor Rodiometry in Geodetic Applicotions, in Geodetic Refractions, edited by F.K. Brunner , pp, 53-84 , Springer – Verlag, NewYork.

RIZOS, C., 1999, Satellite Navigation and Positioning Group (SNAP): Principles and Practice of GPS Surveying

http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.html

ROCKEN, C., MEERTENS, C.M., 1991, GPS Antenna and Receiver Tests; Multipath Reduction and Mixed Receiver Baselines.

SOYCAN, M., 1999, GPS Tekniği ve Matematiksel Modellerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

SOYCAN, M., SOYCAN, A., 2002, Yayın ve IGS Hassas Efemerislerinin Bir GPS Test Ağında Karşılaştırılması ve İncelenmesi , Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.

ŞİŞMAN, Y., DİLAVER, A. , 2005, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisler Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

TEUNİSSEN, P.J.G., KLEUSBERG, A. (Eds), 1998, GPS for Geodesy, for Geodesy, ISBN:: 3-540-63661-7 , Springer-Verlag.

TİRYAKİOĞLU, İ., GÜLLÜ, M., BAYBURA, T., ERDOĞAN, S., 2005, GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.

TUŞAT, E., 2003, Büyük Ölçekli Harita Yapımında Jeodezik Amaçlı GPS Ölçü ve Hesap Standartlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

TUŞAT, E., 2005, Sayısal Harita ve Harita Bilgileri Üretim ve Kullanma Yönetmeliği Açısından GPS Küresel Konumlama Sistemi, Sayısal Harita Kavramı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Konya Şubesi, Eğitim Seminerleri-1, Konya.

YALÇINKAYA, M., TEKE, K., BAYRAK, T., 2003, Jeodezik GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Analizi, 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu,İstanbul.

YAPRAK, S., YAPRAK, H., 2005, Harita Üretiminde GPS Dur ve Git Yöntemi ile Elektronik Takeometri Tekniğinin Karşılaştırılması, G.Ü Fen Bilimleri Dergisi, s. 627-637, Ankara.

YILDIRIM, Ö., 2002, Statik GPS Gözlemleri Kullanılarak Elde Edilen Baz ve Nokta Duyarlık Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

YILMAZ, H.M., 1998, Statik GPS Gözlemlerinin Fotogrametrik Nirengiye Kapsatılması Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

YOUNG, L.E., NEİLAN, R.E., BLETZACKER, F.R., 1989, GPS Satellite Multipath: An Experimental Investigation Proc, Symposium. GPS , Rockville, MD , April 15-19 , pp , 423-432

WELLS, D., BECK, N., DELİKARAOĞLU, D., KLEUSBERG, A., KRAKİVSKY, E.J., LACHAPELLE G., RİCHART, B.L., NAKİBOĞLU, M., SCHWARZ, K.P., TRANQUİLLA, J.M., VONİCEK, P., 1986, Guide to GPS Positioning Canadian GPS Associates , Frederiction http://www.spaceondtech.com/spacedata/constellations/nauster_gps/

İNTERNET KAYNAKLARI

URL1: http://www.esa.int/esaNA/GGG0H750NDC_index_o.html

URL2: http://www.geocities.com/mulkiyet dergi/ulke_temel_jeodezi_aglari.htm

URL3http://www.hgk.mil.tr/akademik/bildiriler/jeodezi/ozet(html)/jeo_tek_bil6.html

URL4: http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/f36407ead629fc_ek.pdf

URL5:http://www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/bilgi/bilgi_notes/GPS_BUKRDAE_GED.pdf

URL6: http://www.rega.basbakanlik.gov.tr/Eskiler/2005/07/20050715-5.htm

URL7:http://www.uydutvhaber.net/site/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=7403

URL8: http://www.graftek.com.tr/GPS.htm

URL9: http://atlas.cc.itu.edu.tr/~celikn/sevda/datum/datum.htm

URL10: www.gmat.unsw.edu.au/snap/**gps**/clynch_pdfs/ngssstd.pdf