

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



JEODEZİK AĞLARDA KLASİK VE
GPS ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer MUTLUOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ ANABİLİM DALI
Konya, 1997

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİK AĞLARDA KLASİK VE
GPS ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

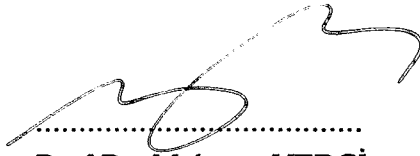
Ömer MUTLUOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ ANABİLİM DALI

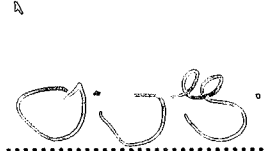
Bu tez 27/01/1997 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Y.Doç.Dr. Cevat İNAL
(Danışman)



Prof.Dr. Mehmet YERCI
(Üye)



Doç.Dr. Ferruh YILDIZ
(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
JEODEZİK AĞLARDA KLASİK VE
GPS ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer MUTLUOĞLU
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman: Y. Doç. Dr. Cevat İNAL
1997, Sayfa: 59

Jüri: Prof.Dr. Mehmet YERCI
Doç.Dr. Ferruh YILDIZ
Y.Doç.Dr. Cevat İNAL

Jeodezinin görevlerinden biri de yeterli sıklıkta ve doğrulukta yer kontrol noktası üretmektir. Günümüze kadar klasik yöntemlerle doğrultu ve kenar ölçmek suretiyle oluşturulan nirengi ağları, bugün GPS teknikleriyle üç boyutta ağ kurmak klasik yöntemle göre, hızlı, daha az zahmetli, ölçmeler doğa şartlarına daha az bağımlı ve daha hassastır. Ölçmeler kısa sürede bitirilebilmektedir.

1995 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi ve Selçuk Üniversitesi işbirliği ile Konya metropolitan alanda kurulan nirengi ağının ülke sistemindeki koordinatları GPS yöntemiyle belirlenmiştir.

Bu çalışmada 7 noktası önceden belirlenen GPS noktası olmak üzere 8 noktalı bir test ağı oluşturularak klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlar ile GPS sonuçları karşılaştırılmıştır. Test ağındaki ölçmeler klasik yöntemlerle Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği Hükümlerine göre yapılmış ve ölçüler iki grup ağırlık seçilerek serbest dengelenmiştir. Serbest dengelenen koordinatlar ülke sisteminde GPS ile belirlenen koordinatlara Helmert yöntemi ile dönüştürülmüştür. Dönüşümün ortalama hatası 1. grup ağırlık için $m_0=4.73$ cm, 2.grup ağırlıklar için $m_0=4.47$ cm olup ölçek ve nokta uyumsuzluğuna rastlanmamıştır. Klasik yöntemle belirlenen kenarlarla GPS ile belirlenen kenarlar arasındaki maksimum fark 11 cm'dir.

GPS ölçme yönteminin ülke nirengi ağlarının yenilenmesi ve sıklaştırılmasında başarı ile kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Global konum belirleme.



ABSTRACT

Masters Thesis

THE COMPARISON OF CONVENTIONAL AND GPS MEASUREMENT METHODS IN GEODESY NETWORK

Ömer MUTLUOĞLU

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor: Ass.Prof.Dr. Cevat İNAL

1997, Page: 59

Jury: Prof.Dr. Mehmet YERCI

Assoc.Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

Ass.Prof.Dr. Cevat İNAL

One of the task of geodesy is also to produce enough dense and precise ground control points. Triangulation network, which is done by angle measurement or trilateration by side measurement are conventional methods and nowadays these measurement are done by GPS method more precise, less work and less depend on the natural conditions. The measurement could have been finished in a short time.

In 1995, a triangulation net was set up and the coordinates of points defined in national coordinate system by GPS method in Konya municipal area by the cooperation of Konya Metropol Municipality and Selçuk University .

Using 7 point of the net defined by GPS already a test net with 8 points was set up and the coordinates of points in both methods was compared. The measurement of test net was done using the Rules of large scaled map production by conventional method and have been adjusted as free net by selecting of two group weights. The coordinates were transformed to GPS system using Helmert's transformation equations.

The mean error of the first group weight is $m_0 = 4.73$ cm and $m_0 = 4.47$ cm for the second group weight and there was no any discrepancy at any point. The difference of both methods is 11 cm .

It has been thought that GPS method can be used successively for renew and to density of country geodesic network.

Key words: Global positioning system.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince yardımlarını hiç esirgemeyen değerli hocam Y. Doç. Dr. Cevat İNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yine çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Mehmet YERÇİ hocama, Doç.Dr. Ferruh YILDIZ'a, Y.Doç.Dr. Ayhan CEYLAN'a, Öğ.Grv. Hacı Murat YILMAZ'a, Arş.Grv. Hakan KARABÖRK'e, Arş.Grv. Fatih UYSAL'a, Turgut AYTEN'e, Cuma APAYDIN'a, desteklerini esirgemeyen diğer hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)	2
2.1. GPS'yi Oluşturan Bölümler	3
2.1.1. Uzay bölümü	4
2.1.2. Kontrol Bölümü	4
2.1.2.1. Cıynet izleme ağı	6
2.1.2.2. Igs izleme ağı	6
2.1.3. Kullanıcı bölümü	6
2.2. GPS'de Kullanılan Sinyal ve Code'ların Özellikleri	9
2.3. Yapay Uyduların Konumlarının Belirlenmesi	10
2.4. GPS İle Konum Belirleme	12
2.5. GPS Ölçümleri	14
2.5.1. Kod pseudo uzunluk ölçüsü	15
2.5.2. Faz pseudo uzunluk ölçüsü	17
2.6. GPS İle Konum Belirlemede Matematiksel Modeller	19
2.7. GPS Hata Kaynakları	21
2.7.1. Uydu kümeleri geometrisi	21
2.7.2. Atmosferik etkiler	22
2.7.2.1. İyonosferik etki	23
2.7.2.2. Troposferik etki	23
2.7.3. Sinyal yansımaları (Multipath etkisi)	23
2.7.4. Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (ambiguity)	24
2.7.5. Faz sıçramaları (cycle slip)	24
2.7.6. Anten faz merkezi kayıklığı (hatası)	25
2.8. GPS'de Doğruluk	25
2.9. GPS İle Jeodezik Amaçlı Pratik Ölçmeler	25
2.9.1. Statik ölçü yöntemi	26
2.9.2. Hızlı (rapid) statik ölçü yöntemi	26
3. KLASİK YÖNTEMLE KONUM AĞLARININ ÖLÇÜLMESİ	28
3.1. Doğrultu Ölçmeleri ve İstasyon Dengelemesi	28
3.2. Kenar Ölçmeleri	28
4. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVENİRLİK	30
4.1. Serbest Ağ Dengelemesi	30
4.2. Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması	31
4.2.1. Pope'ye göre uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması	32
4.3. Verilen Noktalar Kümesinde Uyuşum Testi (Helmert Yöntemi)	33
4.4. Güvenirlik Ölçütleri	35
4.4.1. Global güvenirlik ölçütü	35

4.4.2. İç güvenilirlik ölçütleri	36
4.4.3. Dış güvenilirlik	39
5. UYGULAMA	42
5.1. Test Alanı	42
5.2. Ölçmeler ve İndirgemeler	42
5.3. Ölçülerin Dengelenmesi ve Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması	42
6. SONUÇ	56
7. KAYNAKLAR	58



1. GİRİŞ

Sağlıklı ve güncel haritalar, alt yapı hizmetleri, kadastro ve imar çalışmaları, araziye ilişkin tüm mühendislik projelerinde vazgeçilmez altlık niteliğindedir. Harita üretiminin temelini yeterli doğrulukta ve sıklıkta tesis edilmiş yer kontrol noktaları oluşturmaktadır. Günümüze kadar yer kontrol noktalarına koordinatlar ve yükseklikler bilinen klasik yöntemlerle verilmiştir. Halende uygulamada büyük oranda bu şekilde devam etmektedir. Klasik ağ tesisinde arazi topografyası, noktalar arasındaki görüş zorluğu en büyük problemi oluşturmaktadır. Önceleri bir yada bir kaç kenarın baz olarak ölçüldüğü triyagülasyon adını verdiğimiz doğrultu ağları oluşturmaktaydı. Elektronik uzaklık ölçerlerin devreye girmesiyle uzunluk ölçümü kolaylaşmış doğrultuların yanında ağdaki kenarlarda ölçülmeye başlanmıştır. Böylece ölçü sayısı artırıldığı için daha nitelikli ağlar oluşturulmaktadır.

Son yıllarda uydu teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak Global Positioning System (GPS) ile nokta konumlarının belirlenmesine çalışılmaktadır ve bu yöntem hızla uygulanmaktadır. Kısa ölçme zamanı, yüksek doğruluğu, arazi topoğrafyasından olabildiğince daha az etkilenmesi, doğa şartlarına daha az bağımlı olması, günün her saatinde ölçü yapılabilmesi nedeniyle tercih edilen ve aranılan bir ölçme yöntemi oluşmuştur. Bu yöntemde yatay konum belirlemede elde edilen doğruluk klasik yöntemlerden 10-1000 kat daha duyarlıdır (Eren ve Uzel,1995). Bağıl konum belirlemede $\pm(0.01-2 \text{ ppm})$ arasında değişen bir duyarlılığa erişilebilir.

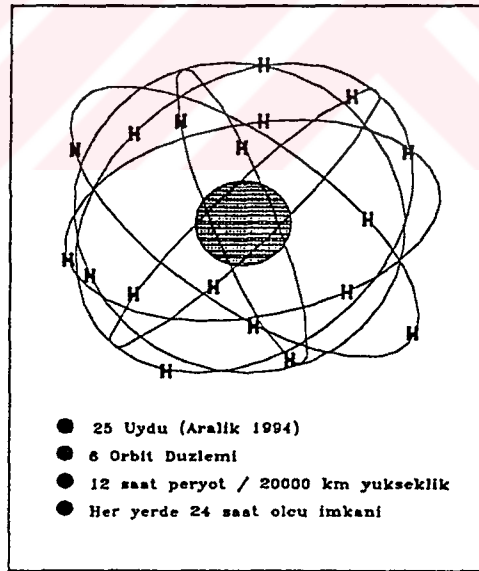
GPS sisteminde doğruluk

- Kullanılan ölçme yöntemine
- Ölçü zamanındaki uydu sayısına
- Uyduların geometrisine
- Ölçü süresine
- Değerlendirmede kullanılan yazılımlara bağlıdır.

2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

GPS veya NAVSTAR (NAVigation System With Time and Ranging: Zaman ve uzunluk ölçmeleriyle Navigasyon Sistemi - Global Positioning System) olarak bilinen “Global Konum Belirleme Sistemi” 1974’de Amerika Savunma Bakanlığı (DOD : Department of Defence) tarafından üç boyutlu konum belirleme amacına yönelik bir uydu sistemidir. İlk GPS uydusu 22.02.1978’de yörüngeye oturtulmuştur (Cross,1991).

Sistem altı yörünge planından oluşmaktadır. Aralık 1994 itibariyle 25 uydudan meydana gelmektedir. Uyduların yükseklikleri yaklaşık 20 000 km. olup periyotları 12 saattir. Uydular konum belirleme amacına yönelik L_1 (frekansı 1575.42 MHz) ve L_2 (frekansı 1227.60 MHz) band sinyalleri gönderirler. C/A (frekansı 1.023 MHz) kodunun üzerine sadece L_1 , P (frekansı 10.23 MHz) kodunun üzerine hem L_1 hem de L_2 sinyalleri modüle edilmiştir. Bunların yanında birde veri mesajları (navigation messages) gönderilmektedir (Roberts and Cross,1993). Her türlü hava şartlarında gece ve gündüz 24 saat ölçü yapma imkanı vardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. GPS uydu dağılımı

1960'lı yılların başında, Amerika Deniz Kuvvetlerine ait Polaris adlı denizaltıların pozisyonlarının uydu destekli bir sistemde hassas olarak belirlenmesi amacıyla, Johns Hopkins Üniversitesi'nde gerçekleştirilen Transit Sistemin (Dopler) bazı alanlarda yeterli olmadığı görüldü. Hareket halinde olan bir vasıtada yapılan ölçülerde istenilen hassasiyete ulaşılamıyordu. Üç

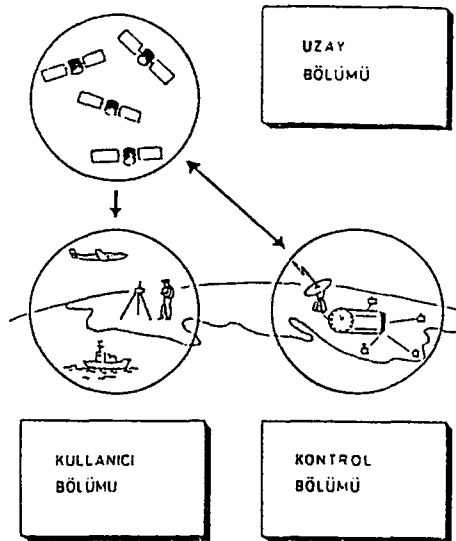
boyutlu konum belirleme ise sadece sabit (hareketsiz) istasyonlar için mümkündü. Sistemi destekleyen uydu sayısının az olması nedeniyle de konum belirlemede süreklilik sağlanamıyordu.

Askeri açıdan ise, orta ve uzun menzilli silahların tahrip gücünün yanısıra istenilen hedefi vurması da çok önemliydi. A.B.D.Deniz Kuvvetleri iki boyutlu hassas konum belirlemenin amaçlandığı Timation adlı bir projeyi finanse ediyor, Hava Kuvvetleri ise üç boyutlu pozisyon belirlemenin hedeflendiği System 621 adlı bir projeye sahipti. A.B.D.Savunma Bakanlığı, 17 Nisan 1973 yılında aldığı bir kararla her iki projeyide NAVigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System (NAVSTAR-GPS) adı altında birleştirerek projenin sorumluluğunu Hava Kuvvetleri Komutanlığına verdi.

1974-1979 yılları GPS sisteminin hazırlık, 1979-1985 yılları gelişme dönemi ve 1985-1992 yılları arası ise sistemin tamamlanması için geçen zamandır (Altınar, 1992). Fakat yeni uyduların yörüngelerine oturtulmasıyla günümüzde (Aralık 1994) itibariyle 25 aktif uydu mevcut olup belli bir program dahilinde yeni uyduların fırlatılmasına devam edilecektir.

2.1.GPS'yi Oluşturan Bölümler

GPS sistemi kullanma amacına göre aşağıda açıklanan üç ayrı bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.2. Sistemin bölümleri

2.1.1. Uzay bölümü

Uzayda bulunan sisteme ait uyduların oluşturduğu bölümdür. Günümüzde aktif olarak kullanılan, sayıları 25 olan GPS uyduları yaklaşık olarak 430 kg. ağırlığındadır (Uzel, 1990).

Her uydu bir sinyal göndericisi, bir sinyal kaydedicisi, bir anten ve 5 osilatör ile uydu fonksiyonlarını yönlendirmeyi sağlayan bir mikrosesör ihtiva etmektedir. Herhangi bir noktada her an uygun geometride en az 4 uydunun (15 derecelik yükselme açısı ile 4-8 uydu, 5 derecelik yükselme açısı ile 10-12 uydu) görülebileceği şekilde planlanmış 25 uydu sistemin uzay bölümünü oluşturur. Bu uydular yerden yaklaşık 20 000 km. (20 183 km.) uzaklıkta, ekvatorla 55 derecelik açı yapan 6 ayrı yörüngeye yerleştirilmiş olup 12 saatlik periyotlara sahiptir. Bu uyduların yaşam süreleri yaklaşık 5-7 yıldır . Uyduların blok ve numaraları aşağıdadır.

Blok I : 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9

Blok II : 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31.

Her uydu, Ana Kontrol Merkez'inde hesaplanan ve yer antenleri aracılığıyla gönderilen kendi yörüngesine ait bilgileri alır ve düzeltilmiş zaman bilgileri ile birlikte 2 temel frekans üzerinden yayımlar. Bunlar, $L_1 = 1575.42$ Mhz ($\lambda = 0.190$ m) ve $L_2 = 1227.60$ MHz ($\lambda = 0.244$) dir. Bunlar sırayla 0.19 m ve 0.244 m dalga boylarına karşılıktır. Bu sinyaller, uydudaki atomik saat takımınca oluşturulan L_1 - sinyali hem P- Kod ve hem de C/A - Kod ile modüle edilmektedir. Her iki sinyalde sürekli olarak uydu mesajı ile modüle edilmektedir. Bu veriler saniyede 50 megabitlik (yani 50 MHz) bloklar halinde olup uydunun sağlığı, saat bilgileri ve konumu hakkında bilgileri içermektedir (Eren ve Uzel ,1995).

GPS uydularının önemli bir özelliği de, son derece duyarlı zaman ölçmeleri yapabilecek donanıma sahip olmalarıdır. Bu amaçlı uydular yüksek duyarlıklı osilatörlerle donatılmışlardır. Bu osilatörler 10.23 MHz'lik bir temel frekans üretirler. Her uydu bu temel frekanstaki dalga üzerinde farklı bir matematik modele uygun olarak kodlar üretirler (Pseudo Random Noise, PRN). Uydular, yörüngedeki pozisyonları, GPS katalog No'ları, fırlatılma sıraları veya en çok kullanıldığı gibi PRN No'ları ile tanımlanırlar.

2.1.2. Kontrol bölümü

Kontrol Bölümü (Ana İzleme İstasyonları), uygun bir geometride yeryüzüne dağılmış, koordinatları SLR (Satellite Laser Ranging), VLBI (Very

Long Baseline Interferometry) vb. yöntemlerle son derece iyi belirlenmiş gözlem istasyonlarından oluşur. Bu istasyonlarda 24 saat sürekli P-codu pseudorange gözlemi yapılarak elde edilen verileri Colorado Springs'te bulunan Ana Kontrol İstasyonu (Master Control Station) ve hesap merkezine gönderilir. Ana Kontrol İstasyonunda bütün merkezden gelen veriler değerlendirilerek uyduların sonraki güne ilişkin zamana bağlı konumları tahmin edilir. Daha sonra bu bilgiler aynı gözlem istasyonlarından 12 saat aralıklarla uydulara gönderilir. Gönderilen bu konum bilgileri yayın efemerisi (Broadcast Ephemeris) adı verilen, zamana bağlı uydu konumlarının hesaplanmasında kullanılan uydu yörünge parametrelerini içerir. Uydular aldıkları bu bilgileri yeryüzündeki alıcılara ulaştırarak kullanıcıların konumlarını belirlemelerine imkan sağlarlar.

Bu Kontrol İstasyonları;

Falcon Air Force Station, Colorado (USA)

- Ana Kontrol İstasyonu
- Monitör İstasyonu

Kwajalein

- Monitör İstasyonu
- Yer Anteni (Ground Antenna)

Diego Garcia (Hint Okyanusu)

- Monitör İstasyonu
- Yer İstasyonu

Ascension Island (Kuzey Atlantik)

- Monitör İstasyonu
- Yer Anteni

Hawaii

- Monitör İstasyonu'dur (Altiner, 1992)

Burada;

Monitör istasyonları; GPS uydularını sürekli izlemek üzere kurulan onların yörüngelerini hesaplayan 5 yer istasyonudur. Her istasyon 1.5 saniye aralıklarla yaptıkları pseudorange ölçülerini iyonosferik ve meteorolojik verilerle biraraya getirip hepsini Ana Kontrol İstasyon'una gönderir.

Ana Kontrol İstasyonları; İzleme istasyonlarından gelen verileri toplar. Uyduların yörüngelerini ve uydulardaki saatlerin düzeltmelerini hesaplayarak bunları yer antenleri aracılığıyla uydulara yükler.

Yer Antenleri; GPS uydularından gelen bilgileri toplayan ve Ana Kontrol İstasyonundan gelen bilgileri her 8 saatte bir uydulara yükleyen 3 antenden oluşan S-Band tesisleridir (Eren ve Uzel, 1995).

Ayrıca yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi, dünya dönme parametrelerinin belirlenmesi, ülke temel GPS ağlarının oluşturulması gibi yüksek hassasiyet isteyen çalışmalarda uyduların göndermiş olduğu yayın efemerisi istenilen doğrulukları sağlama açısından yeterli olmamakta, projenin cinsine bağlı olarak 30 cm gibi doğruluklarla uydu konumlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda dünyada bir çok bilimsel kurum kendi izleme ağlarını kurarak ihtiyaçlarına uygun uydu efemeris bilgilerini elde etme yolunu seçmiştir. Dünyada lokal ve global anlamda bir çok izleme ağı mevcuttur. Bunlardan global anlamda faaliyet gösteren en önemli iki tanesi aşağıda açıklanmıştır.

2.1.2.1.CIGNET izleme ağı

NGS (National Geodetic Survey) tarafından bazı VLBI ve/veya SLR İstasyonlarının özel GPS alıcıları ile donatılmasıyla tesis edilmiş olan ağıdır. CIGNET istasyonlarında C/A ve P-Code Pseudorange ölçüleri ile birlikte her iki frekansta faz farkı ölçüleride yapılmaktadır.

Bu istasyonların bazılarında veriler modem aracılığı ile her akşam NGS hesap merkezine aktarılmaktadır. Günlük gelen veriler değerlendirilerek ertesi sabah kullanıcılara hazır yörünge bilgileri olarak sunulmaktadır.

2.1.2.2. IGS izleme ağı

IAG (International Association of Geodesy) tarafından oluşturulan ağıdır. IGS faaliyetlerine 1 Ocak 1994'te başlamıştır. Yeryüzüne dağılmış olan 50 sabit GPS istasyonu, üç global data merkezi, beş bölgesel data merkezi, yedi analiz merkezi ve bir merkez bürodan oluşmaktadır.

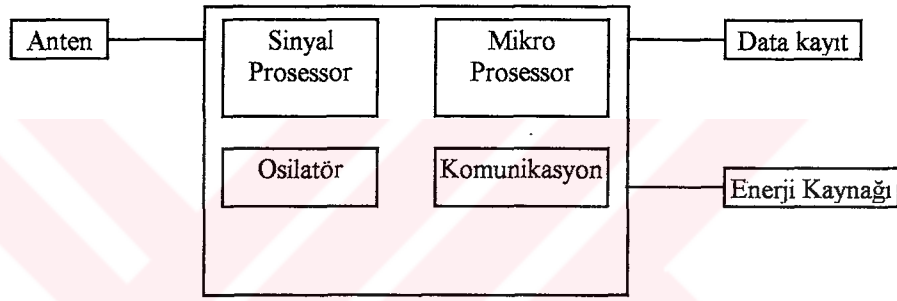
Ülkemizde de uygulamalı olarak 1988 yılında başlayan uydu jeodezisi faaliyetleri kapsamında bu ağlara dahil olacak bir izleme istasyonu kurulması düşünülmüştür. Bu düşünceyle 21 Ocak 1991 tarihinde Harita Genel Komutanlığı Lodumlu Kışlası içerisinde sabit GPS istasyonu kurulmuş ve kurulan bu istasyon CIGNET ve IGS izleme ağlarına dahil edilmiştir.

2.1.3. Kullanıcı bölümü

Tüm GPS ölçü aletleride kullanıcı bölümünü oluşturmaktadır. Yeryüzündeki noktaların konumlarının belirlenebilmesi için uydu sinyallerini kaydedici aletlere sahip olunması gerekir.

Günümüzde firmalar arasında alet pazarını kapma mücadelesi yoğun bir şekilde sürmektedir. Piyasaya devamlı yeni tip GPS aletleri çıkmakta veya mevcut olan aletler firmalar tarafından geliştirilerek daha küçük, hafif ve otomatik şekle sokulmaktadır. Diğer taraftan, bazı aletlerde piyasadan çekilmektedir. GPS alıcıları;

- Anten ve güçlendiricisi
- Radyo-Frekans (Sinyalin Değerlendirildiği Bölüm)
- Mikroprosesor (Sistemin Yönlendirildiği Bölüm)
- Data Kayıt ve Dış Kominikasyon
- Güç Kaynağı'ndan oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. GPS alıcısının yapısı

Antenin görevi, gelen sinyali almak ve sinyali güçlendirerek Radyo Frekans (RF) bölümüne aktarmaktır. Anten ile alet (alıcı) arasındaki bağlantı genellikle 10 veya 30 m'lik yüksek kaliteli yoğun bilgi akışına izin veren kablolar vasıtasıyla yapılır. Antende güçlendirilen sinyalin güç kaybına uğramaması için daha uzun kabloların kullanılmasından kaçınılır. 30 m'den daha uzun kablo kullanıldığında araya mutlaka bir güçlendirici takılır. Antenler genellikle bildiğimiz teodolit sehpaları ile nokta üzerine merkezleştirilirler. Gezici durumda bulunanlar ise özel çubuğu ve üç ayak yardımıyla nokta üzerinde tutulur.

Radyo frekansına anten ve kablo yardımıyla ulaştırılan sinyaller Sinyal Prosessoru'nda (SP) değerlendirilir. Sinyallerin değerlendirilmesi SP'daki kanallarda yapılır. Kod ölçüleri yardımıyla Pseydo-Uzaklık belirlenir. Sinyaldeki databloku dekote edilir. Bu işlemin yapılabilmesi için C/A veya P kodunun bilinmesi gerekir. Faz ölçüleri Kod ve Data-Kodu modülasyonunda bağımsız hale getirilir. Kaydedilen sinyallerin hangi uyduya ait olduğu Sinyal Prosessoru tarafından uydulara ait özel kodlar veya taşıyıcı fazın değişimi yardımıyla tesbit edilir.

Radyo-Frekansının önemli bir bölümü ise referans frekanslar oluşturmaya yarayan osilatör ile yabancı sinyallerin elemine edildiği filtre, değişik amplitüde ve frekansa sahip sinyallerin birbirleriyle matematiksel olarak çarpıldığı karıştırıcı (Mixer) kısımlarıdır. Kanal sayısının fazlalığı çok sayıdaki uydudan gelen sinyalleri kaydetme imkanı verir. Aletlerdeki kanallar fiziksel olarak yapılabilecekleri gibi, özel programlar vasıtasıyla da oluşturulabilirler.

Aletin Mikroprosessor bölümü tüm sistemin yönlendirildiği bölümdür. Navigasyon hesap işlemi de yine bu bölümde yapılır.

Komunikasyon bölümü genellikle klavye, display şeklinde gözlemci ile aletin merkezi kısımları arasında ilişki kurmayı sağlar. Gözlemci komunikasyon bölümü yardımıyla ölçüyü istediği gibi yönlendirebilir. Bir takım bilgileri girebilir (örneğin, gözlem yapılan nokta no, tarih, anten yüksekliği, uydulara gözlemin hangi açı altında yapıldığı vs.). Gözlem anında aletin ekranında (display) ölçüm ile ilgili bilgileri izlemek mümkündür(o anda hangi uyduların izlenmekte olduğu gibi).

Data Kayıt Bölümü ise ölçülerin kayıt edildiği bölümdür. Kayıt işlemi alet dışında veya alete monte edilmiş bir bilgisayardaki disketlere yapılabileceği gibi (Trimble, Minimac) kasetlere de yapılabilir.

Güç Kaynağı bölümü ise aletin çalışması için gerekli enerjinin sağlandığı kısımdır. Aletlerin çoğu 12 Voltluk bir enerjiyle çalışırlar (Minimac için 24 volt). Enerji ihtiyacı aküler veya adaptör yardımıyla şehir elektrik şebekelerince sağlanır (Altınar,1992). Alıcının arkasında iki tane güç kaynağı girişi olup, ölçüm anında güç kaynağının birinin voltajı belli bir sınırın altına düştüğü zaman, alıcı otomatik olarak diğer güç kaynağından beslenmeye başlar.

Kullanıcı kısmını bir bütün olarak düşündüğümüzde çeşitli firmalar tarafından oluşturulmuş bilgisayar yazılımında buraya dahil etmek isabetli olacaktır.

Bilgisayar Yazılımında;

- Veri aktarma kısmı
- Almanak datalarının incelendiği görsel bilgi sistemi
- Gerekli düzenlemelerin yapıldığı program (setup) kısmı
- Verilerin işlendiği ve çıktıların alındığı processing (uygulama) kısmı
- Noktaların birbirlerine göre konumlarının ve çizimlerinin yapıldığı GPS cad (çizim) kısmı vardır.

2.2. GPS'de Kullanılan Sinyal ve Code'ların Özellikleri

GPS sisteminin işleyebilmesi için uydudan gönderilen sinyallerin yeryüzündeki alıcılara ulaşması gerekir. Bu nedenle uydu jeodezisinde yüksek frekanslar kullanılır.

Uydular, 10.23 MHz temel frekansının 154 ve 120 tam katı olan L_1 ve L_2 taşıyıcı sinyalleri üzerine kodlar yardımıyla uydu yörünge ve saat bilgilerini modüle ederek C/A kodu, P-Kodu ve navigasyon mesajı olmak üzere üç farklı veri üretilip yayınlarlar. GPS uyduları sinyallerini aşağıdaki iki frekans üzerinden gönderirler. Bunlara taşıyıcı dalgalar adı verilir.

Sinyal L_1 :Frekans $f_1 = 1575.42$ MHz Dalga Boyu 19 cm.

Sinyal L_2 :Frekans $f_2 = 1227.69$ MHz Dalga Boyu 24.4 cm.

Coarse/Acquisition Code (C/A-Code): Standart code (S-code) adı verilen, normal olarak yalnızca L_1 üzerinden (Bazen L_2 üzerinde P code yerine) 1.023 MHz saat hızıyla yayınlanan 300 m.dalga boyuna sahip sinyal, tüm kullanıcılara hiçbir sınırlama olmaksızın açıktır (Standart Positioning Service,SPS).

Precision Code (P-Code): L_1 ve L_2 üzerinden 10.23 MHz ile yayınlanan yaklaşık 30 m.dalga boyundaki sinyal esas olarak askeri amaçlarla yayınlanmakta olup ABD Savunma Dairesi (DOD) tarafından, ABD'nin savunma gereksinimleri ve uluslararası anlaşmalarına göre sadece sınırlı sayıda kullanıcıya (ABD, NATO askeri kullanıcıları ve belirli sivil kullanıcılar) açıktır (Precise Positioning Service). Bu kontrol özel ek donanımlar ve karşılıklı anlaşmalarla sağlanır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. GPS sinyal yapıları

Temel Frekans	f_0	10.23 MHz	30 m	0.3 m
L_1 Taşıyıcısı	$154 f_0$	1575.42 MHz	19 cm	1.9 mm
L_2 Taşıyıcısı	$120 f_0$	1227.60 MHz	24 cm	2.4 mm
P - Code	f_0	10.23 MHz	30 m	0.3 m
C/A - Code	$f_0/10$	1.023 MHz	300 m	3 m
Navig.Mesajı	$f_0/204600$	50.0 Hz		

1988'lerde yapılan çalışmalar sonucu nokta konum doğruluğunun 10 m'ye kadar çıkması ve ABD Savunma Bakanlığı'nın bunu kendi güvenlikleri açısından tehlikeli görmeleri sonucu Mart 1990'da bu doğruluğu engellemek amacıyla iki şekilde kontrol altına almışlardır (Cross, 1991).

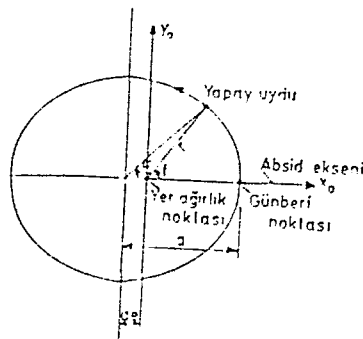
a) Selective availabilty (S/A): Uydu konum bilgilerinin (yayın efemerisi) doğruluğu kasıtlı olarak azaltılır (SA Tekniği, Epsilon).

b) Uydu saat bilgilerine yapay hatalar yüklenir (Dither)
Doğrulukların azaltılması dışında taklit edilmiş GPS sinyalleri ile yanlış konumlama (Spoofing) söz konusu olabilir.

P-Code kullanılması ile her iki bozucu etkiden ve taklit sinyallerden korunabilir (Anti-Spoofing, A-S). A-S'nin özelliği, ABD tarafından, taklit edilmiş sinyallerden korunmak amacı ile, kullanıcıları uyarmaksızın, belirsiz zamanlarda aktif hale getirilecektir. A-S aktif iken P-Code özel bir şifreleme (kripto) ile Y-Code haline dönüşür. Y-Kodundan, yalnızca yetkili kullanıcılar yararlanabilir. C/A -Kodu, A-S'den etkilenmez (Kınık ve ark.1993).

2.3. Yapay Uyduların Konumlarının Belirlenmesi

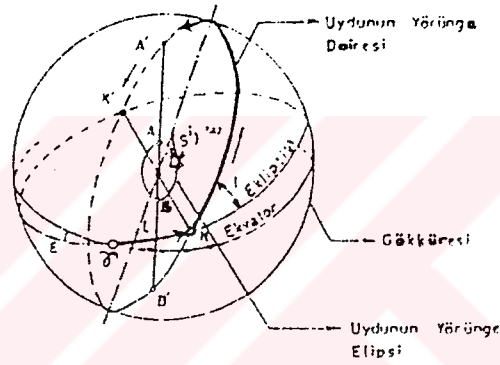
Bir yapay uydunun yörüngesi , bir odağında yer yuvarının ağırlık merkezi olan bir elipstir. Bu elipsin biçimi ve boyutu, büyük eksenini a ve eksentrisitesi e ile belirlenir. Bir yapay uydunun yörüngesinin büyük eksenini ve eksentrisitesi uydunun fırlatılma şartlarına bağlıdır. Herhangi bir t anındaki uydunun konumu n ve f kutupsal koordinatlarıyla veya X ve Y dikkoordinatlarıyla tanımlanır. Burada, f , hareketin doğrultusunda ölçülen gerçek anomalidir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yörünge elipsi

Yapay uydunun yörünge düzleminin konumu genellikle X, Y, Z jeosentrik dik koordinat sisteminde verilir.

Uyduların güneş etrafındaki dolanımlarında birer elips yörünge oluşturdıkları bilinmektedir. Uyduların yörüngelerinin uzaydaki konumları ekliptiğe göre belirlenir. Bir uydunun yörünge düzlemi gök küresinin (kıyaslama küresinin) merkezinden geçecek şekilde ötelenirse, bu küreyle olan arakesitte bir daire olur. Bu daire o uydunun yörünge elipsinin gök küresi üzerindeki temsilcisi demektir. Bu yörünge elipsinde de yine uydunun güneşe en yakın ve en uzak olduğu noktalar “perihel” ve “ afel” noktaları diye adlandırılır. Her bir yörünge düzlemi ekliptik ile bir “i” açısı kadar eğikliğe sahiptir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Uydu belirtim elemanları

Perihel (A) ve Afel (B) noktalarının Gök küresi üzerindeki izdüşümleri (temsilcileri) A' ve B' noktalarıdır.

Buna göre;

Yörünge büyüklüğünü belirleyen (a) ve (e) elemanları, uydunun uzaydaki konumunu belirleyen (L), (W), (i) elemanları ve uydunun yörünge üzerindeki yerini belirleyen (T) elemanı olmak üzere bir uydunun 6 yörünge belirtim elemanının belirli olması gerekir. Bunlardan;

W; A' nün K çıkış (yükseliş) düğümüne olan uzaklığıdır.

T ; Bir zaman sayımına göre uydunun A' da (perihelde) olduğu andır.

L ; İlkbahar noktası (g) ile çıkış düğümü (K) arasındaki ekliptiksel mesafedir.

i ; Uydunun yörünge dairesi ile ekliptik düzlemi arasındaki açıdır.

a ve e ise; Yörünge elipsinin elemanlarıdır.

Buna göre bu 6 eleman şu şekilde özetlenebilir;

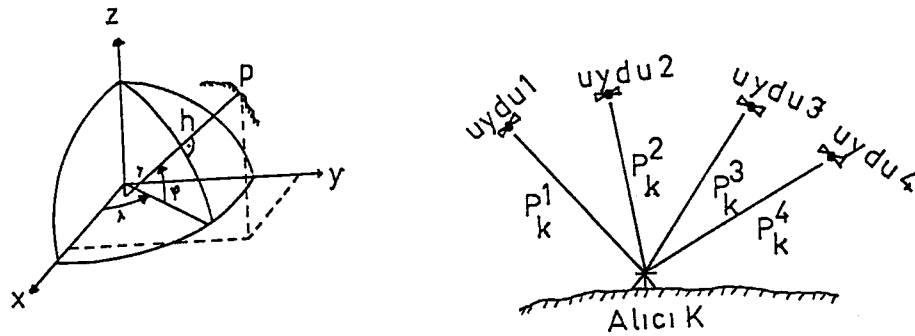
- 1- a: Uydunun yörüngesinin büyük yarıçapı.
- 2- e: Uydunun yörüngesinin 1. eksantrisitesi.
- 3- i : Uydunun yörüngesinin eğimi (ekliptik ile yaptığı açı).
- 4- w: Perihel uzaklığı.
- 5- L: Çıkış (yükseliş) düğümünün boylamı.
- 6- T: Perihel zamanı.

Zaman koordinatı (T) , sezyum (cesium) standardına göre doğrulukla çalışan atomik saatler ile sağlanır. Buna göre düzenlenen bir yapay uydu veya “yörüngesinin Kepler elemanları” olarak tanımlanan bu 6 eleman ile, herhangi bir zamandaki uydunun konumu belirlenebilir (Yıldız, 1994).

Yapay uyduların yörünge parametreleri sürekli olarak değişmektedir. Bu nedenle, yapay uydular yeryüzündeki gözlem evleri ve yörünge belirleme istasyonlarından sürekli olarak gözlenirler. Elde edilen veriler değerlendirilerek uydunun daha sonraki yörüngeleri belirlenir.

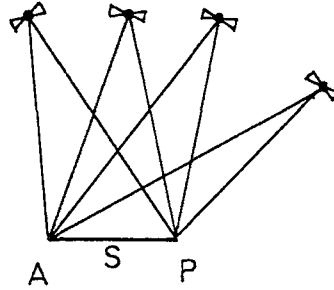
2.4. GPS İle Konum Belirleme

GPS ile konum belirleme hizmetleri değişik amaçlara göre farklı özellik taşır. Bir noktanın doğrudan doğruya dünya üzerindeki konumu (enlem, boylam, yükseklik veya X,Y,Z) belirleniyorsa buna **mutlak** konumlama denir (Şekil 2.6).



Şekil 2.2. Mutlak konumlama

Birden fazla noktaların birbirine göre konum farklarının ölçülmesine **relatif** (bağıl, görelî) konumlama denir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Relatif konumlama

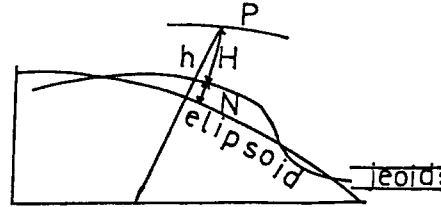
Konumu belirlenecek nokta hareketsiz ise (poligon, nirengi, detay v.d) Statik konumlama; hareketli ise (uçak, gemi, tank v.d) Kinematik konumlamadan söz edilebilir. Uçak, gemi ve benzeri araçların seyrüseferi amacıyla anlık konumlama yapılabilir. Bu tür konumlama genellikle askeri amaçlı kullanımda söz konusudur.. Ölçülerin çok daha hassas sonuçlar elde etmek üzere belirli bir süre sonra değerlendirilmesi mümkündür. Bu durum daha çok jeodezik amaçlı uygulamalar için geçerlidir.

GPS ile uydulardan alınan tüm bilgiler Goddard Uzay Uçuş Merkezi tarafından 1987'de geliştirilen WGS-84 (Dünya Jeodezik Sistemi) referans elipsoidi üzerindedir. 1987'ye kadar WGS 72 sistemi kullanılmaktaydı. WGS 84 elipsoidinin dik koordinat sisteminin merkezi Dünya'nın merkeziyle çakışmakta (yaklaşık 10 cm. doğrulukla) X eksenı ekvator düzlemiyle ortalama Greenwich meridyeninin kesim noktasından geçmekte, Z eksenı dünyanın dönme eksenine paralel ve Y eksenide bu iki eksene dik olarak alınmaktadır.WGS 84, 1987'de uluslararası yersel koordinat sistemi olarak kabul edilmiştir ve Dünya üzerinde 1600 tane Transit (Doppler) istasyon koordinatlarının global konum belirleme doğruluğu 1-2 cm olan lazer uydu sistemi ve gözleme kaynağı kuazar yıldızları olan çok uzun bazlı interferometri koordinat sistemlerine dönüştürülerek elde edilmiştir (Johansson,1992).

Bu sistem ülkemizde kullanılan ED-50 (Tujd= Türkiye Ulusal Jeodezik Datumu) sisteminden farklı olup GPS koordinatlarıyla ED-50 koordinatlarının ilişkilendirilmeleri için çalışılan bölgede ED-50 koordinatları bilinen noktaların (en az 3) GPS ölçü planına dahil edilmelerine dikkat edilmelidir (Kınık,1993).

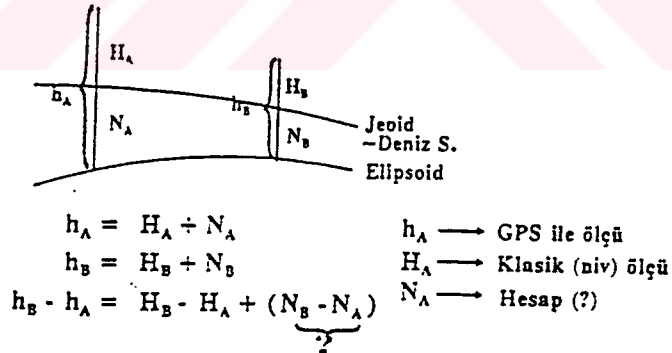
GPS ile belirlenen yükseklikler, WGS 84 elipsoidine ait elipsoid yükseklikleri (h) olup yalnızca geometrik bir anlam taşırlar. Halbuki bu pratikte kullanılan yükseklik jeoidden başlayıp çekül eğrisi boyunca noktaya kadar

olan mesafe şeklinde (ortometrik yükseklik, H) olup ikisi arasında jeoid yüksekliği (N) kadar bir fark vardır (King and Masters, 1985) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yükseklikler

Bu nedenle GPS yüksekliklerinin doğrudan pratik yükseklikler yerine kullanılması için (N) jeoid yüksekliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu bilgilerin olmadığı durumlarda jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde ardışık ölçü noktaları arasındaki N büyüklüklerinin olabildiğince küçük olmasında (noktaların birbirine yakın seçilmesinde) yarar vardır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. GPS ve ortametrik yükseklikler

2.5. GPS Ölçümleri

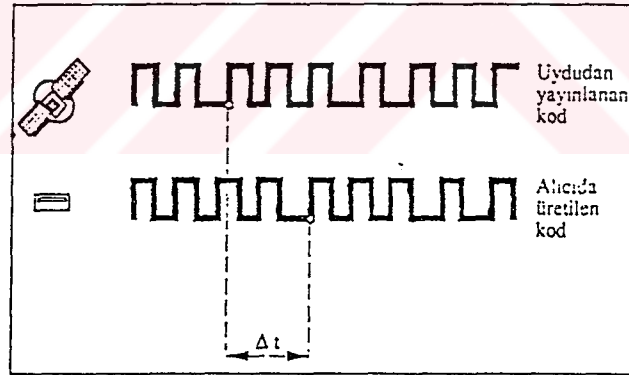
Teorik olarak GPS gözlemleri, GPS uydusunda bulunan osilatör tarafından üretilen sinyal ile GPS alıcısı tarafından aynı karakter ve özellikte

üretilen sinyalin karşılaştırılmasıyla ölçülen faz ve zaman farklarından elde edilen uzunluklardır.

Uydu ölçme sisteminde, uydu ve alıcıda bulunan iki saatten yararlanılır. Uydu ve alıcı saatlerinin var olan hataları nedeniyle, bunlar yardımıyla bulunan uzunluklarda hatalı olacağından, bu şekilde bulunan uzunluklara **Pseudo uzunluk** denilmektedir. GPS ölçümleri kod (zaman) ve faz kullanılarak yapılır.

2.5.1. Kod pseudo uzunluk ölçüsü

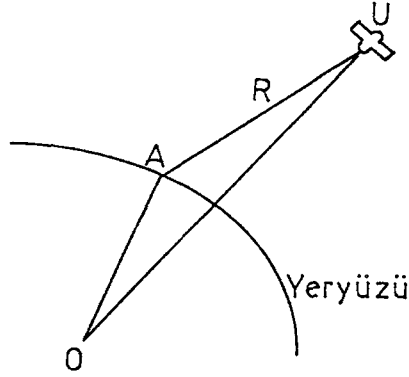
Kod pseudo uzunluk ölçülerinin temel ölçülebilirliği, uydudan yayılan bir sinyalin, uydu ile alıcı arasındaki seyahat süresi (Δt) dir. Başka bir deyişle, GPS uydu sinyalinin yayın anı (t^U) ile alıcıya varış anı (t_A) arasındaki zaman farkı (Δt) temel ölçü büyüklüğüdür. Alıcı, uydu saatiyle eşzamanlı çalışarak uydudan yayınlanan kodlu zaman sinyalinin tam bir kopyasını üretebildiğinden Δt seyahat süresi belirlenebilir. Uydudan yayınlanıp alıcıya ulaşan zaman kodu ile alıcı içerisinde üretilen kopya zaman kodunun karşılaştırılmasıyla, sinyalin uydudan yayın ve alıcıya varış anları arasındaki Δt zaman farkı ölçülmüş olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Zaman farkı ölçüsü (Kodlardan)

Uydu ile alıcı arasında pseudo uzunluk (R), yukarıda açıklandığı şekilde, ölçülen Δt seyahat süresinin (zaman gecikmesinin) c ışık hızı ile çarpılması sonucu oluşan uzunluktur (Şekil 2.11).

Pseudo uzunluk, uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluk değildir. Çünkü uydu ve alıcı saatleri birbirleriyle çok hassas şekilde eşzamanlı (senkronize) çalışmamakta ve yayınlanan sinyal, seyahat ettiği atmosfer içerisinde bir kısım değişikliklere uğramaktadır. Bu nedenle, pseudo uzaklıklar, saat hatalarını, atmosferik hataları ve ölçü hatalarını içerirler.



Şekil 2.11. Uydu ile alıcı arasındaki pseudo uzunluk

Uydu sinyalinin gönderildiği anda uydu saatinde okunan değer t^U , aynı sinyalin alıcıya ulaştığı anda alıcı saatinde okunan değer t_A ile gösterilirse; sinyalin uydu ile alıcı arasındaki seyahat süresi Δt

$$\Delta t = t_A - t^U \quad (2.1)$$

ve uydu ile alıcı arasındaki pseudo uzunluk R için

$$R = c (t_A - t^U) = c \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

yazılabilir.

Uydu ve alıcı saatleri, esas alınan GPS zaman sistemi saatine göre, bir zaman ofsetine (başlangıç kayıklığına) sahiptirler. GPS zamanı sistemine göre, uydu saati δ^U , alıcı saati için δ_A ile gösterilen zaman ofsetleri için içine sokulduğunda (Şekil 2.12) ayrıca atmosferik düzeltmelerde ilave edildiğinde;

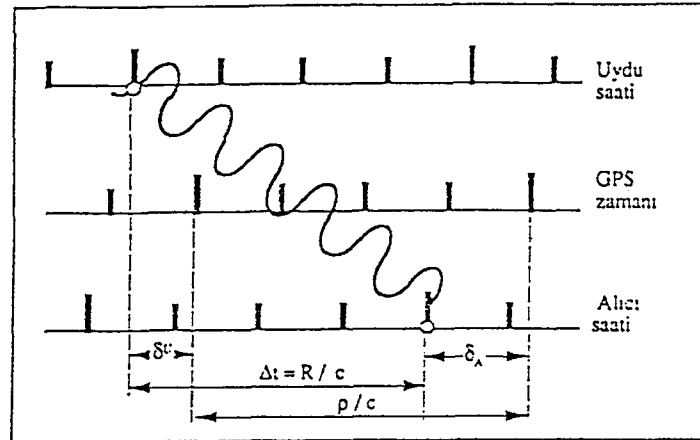
$$R = p + c \Delta \delta + d_{\text{iyon}} + d_{\text{trop}} \quad (2.3)$$

olur. Burada, R alıcı tarafından ölçülen pseudo uzunluk, p uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluk, $\Delta \delta$ ise $(\delta^U - \delta_A)$ şeklinde uydu ve alıcı saat hatalarını göstermektedir.

P gerçek uzunluk, uydu ve alıcının aynı sistemdeki koordinatları cinsinden

$$P = [(X^U - X_A)^2 + (Y^U - Y_A)^2 + (Z^U - Z_A)^2]^{1/2} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir.



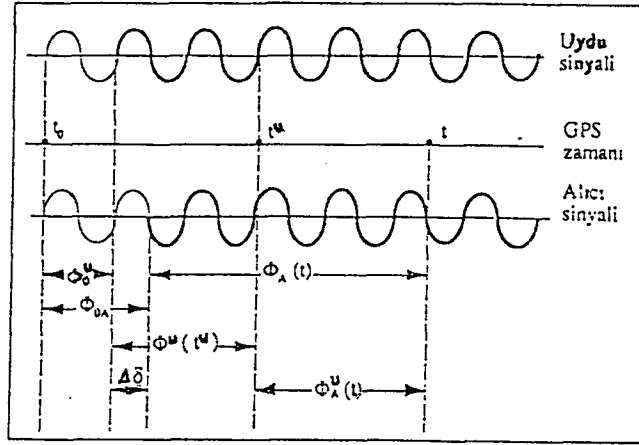
Şekil 2.12. Kod pseudo uzunluk ölçüsü

2.5.2. Faz pseudo uzunluk ölçüsü

Uydu ile konum belirlemede faz ölçümü kullanım tekniğinde temel prensip, elektromanyetik dalgalar ve bu dalgaların uydudan alıcıya yayılma ilkesidir. Bu nedenle, öncelikle elektromanyetik dalgaların fiziksel davranışlarının ve boyutlarının bilinmesi gerekmektedir. Uzunluk ölçülerinde kullanılan dalgalar sinüsoidal harekete sahiptirler. Bunların fiziksel özelliklerini belirleyen büyüklüklerinin isim, sembol ve birimleri aşağıdadır.

<u>Fiziksel Büyüklük</u>	<u>Sembol</u>	<u>Birim</u>
Frekans	f	Saykıl (devir) / saniye
Dalga Boyu	λ	Metre / devir
Faz	Φ	Saykıl veya Devir
Periyod	p	Saniye / devir
Zaman	t	Saniye
Işık Hızı	c	Metre / saniye

Faz pseudo uzunluk ölçülerinin temel ölçülebilirliği, uydu osilatöründe sürekli olarak üretilen sinyalin herhangi bir t^U anındaki fazı (Φ^U) ile bu sinyalin alıcıya ulaştığı anda, alıcı osilatöründe aynı özellikte üretilen sinyalin fazı (Φ_A) arasındaki faz farkı (Φ_A^U) dır. Beat faz gözlenebilirliği olarak adlandırılan bu faz farkı ölçülebilir bir büyüklüktür. Beat faz, uydudan alıcıya ulaşan sinyal ile alıcıda üretilen sinyalin farkından oluşturulan sinyalin fazı, başka bir ifadeyle alınan sinyalin fazı ile alıcıda üretilen sinyalin fazı arasındaki farktır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Faz pseudo uzunluk ölçüsü

$$\Phi_A^U(t) = - (f^U/c) p - f^U \Delta\delta - (f^U/c) (-d_{iyon} + d_{trop}) \quad (2.5)$$

bağıntısı yazılabilir.

Bu şekilde tanımlanan beat fazı Φ_A^U , yayınlanan sinyalin uydu ile alıcı arasındaki uzaklığa karşılık gelen toplam fazdır. Bu faz, devir tam sayıları ve kesirli bir sayıdan oluşur.

Pratikte, beat faz ölçüsü şu şekilde gerçekleştirilir. Alıcı alet bir t_0 anında açıldığında, uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın karşılığı olan beat fazın, sadece anlık kesirli kısmı $\Phi(t_0)$ ölçülebilir, tam devir sayısına karşılık gelen kısmı (N) belirsiz kalır. Ancak alıcı alet kapatılmadan t anına kadar gelen sinyal sürekli izlenerek, t_0 ölçü başlangıç anından itibaren t anına kadar geçen Δt süresinde alınan sinyalin fazı (beat fazı), $\Delta \Phi_A^U(t_0, t)$, tam devir fazı ve kesirli fazın toplamı olarak ölçülür. Bu durumda alıcı tarafından ölçülen beat fazı için $\Phi = - \Delta \Phi_A^U(t_0, t)$ gösterimi kullanılıp, faz pseudo uzunluğu için taşıyıcı faz denklemi

$$\Phi = (f^U/c) p + f^U \Delta\delta + (f^U/c) (-d_{iyon} + d_{trop}) + N \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu denklemlerde;

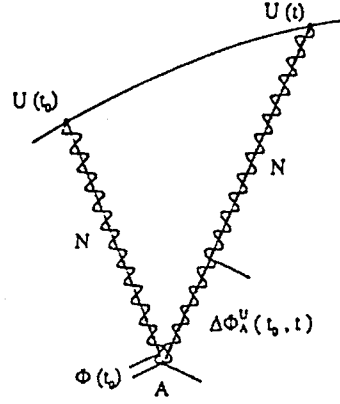
Φ ; Negatif gözlem büyüklüğü

p ; Uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluk

$\Delta\delta$; Uydu ile alıcı saat ofsetlerinin farkı

N ; t_0 başlangıç anında tam devir faz bilinmeyen (Tam devir sayısı belirsizliği)

d_{iyon}, d_{trop} ; Atmosferik düzeltmeler anlamındadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Beat faz ölçüsü

Bulunan nihai faz denklemini $\lambda = c / f$ ile çarpılıp, $\lambda\Phi = \Phi_s$ gösteriminin kullanılmasıyla

$$\Phi_s = p + c \Delta\delta + \lambda N - d_{\text{iyon}} + d_{\text{trop}} \quad (2.7)$$

şeklinde uzunluk birimindeki faz denklemini oluşturulmuş olur (Karaali ve Gökalp, 1994).

2.6. GPS İle Konum Belirlemede Matematiksel Modeller

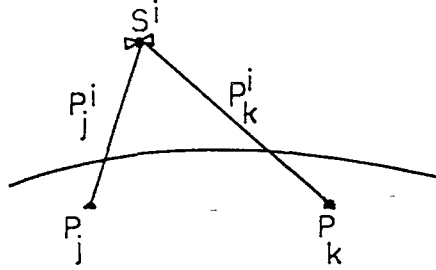
Jeodezik amaçlı GPS ölçülerinde 19 ve 24 cm. dalga boyundaki taşıyıcı dalgaların fazları (faz farkları) kullanılır. Mutlak konumlama yerine noktaların konum (koordinat) farkları ölçülür.

Burada esas, aynı uydu sinyalinin yerdeki farklı alıcılarda kaydedilmesi ve alıcılarda üretilen aynı referans sinyalleri ile karşılaştırılarak faz farklarının ölçülmesidir. Farklı tipte faz farkı kombinasyonları uygulanabilir. Bunlar;

- Tekli fark ölçüleri
- Çiftli fark ölçüleri
- Üçlü fark ölçüleridir.

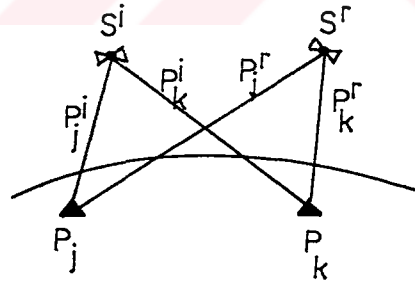
Tekli fark ölçülerinde tek bir uydudan iki ayrı alıcının aynı anda (eşzamanlı) sinyal alması söz konusu olup uydunun saat hatalarının elemine edilmesine imkan verir. Tekli fark ölçülerinin kullanıldığı asıl alan, atom

frekansı standartlarıyla donatılmış ve binlerce kilometre mesafedeki yer istasyonları sayesinde, yörünge belirlenmesidir (Şekil 2.15).



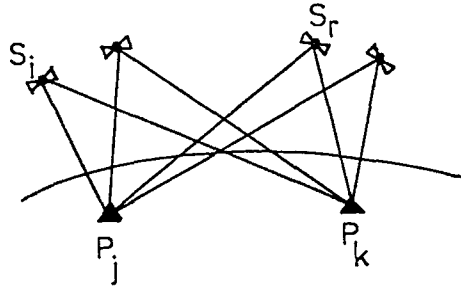
Şekil 2.15. Tekli fark ölçüleri

İkili fark ölçülerinde iki alıcının aynı anda iki ayrı uydudan sinyal alması söz konusudur. Bu ölçü yönteminde de ölçüler uydu saat hatalarından tamamen arındırılır. Alıcı saat hataları ve tam sayı bilinmeyeninin çözülmesinden dolayı daha duyarlı olarak alıcı konumlarının belirlenmesi gibi özelliklerinden dolayı, en çok kullanılan ölçü yöntemlerinden biridir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Çiftli fark ölçüleri

Üçlü fark ölçüleri, iki alıcının iki ayrı uyduyu i ve $i+1$ epoklarında eşzamanlı olarak ölçmesidir. Üçlü fark ölçüleri uydu saat hatalarını ve tam sayı belirsizliği hatalarını içermemektedir. Üçlü fark ölçüleri, genellikle ikili fark hesaplarının çözümünde, alıcıların konumlarının oldukça güvenilir bir duyarlılıkta hesaplanmasında kullanılır (Şekil 2.17).



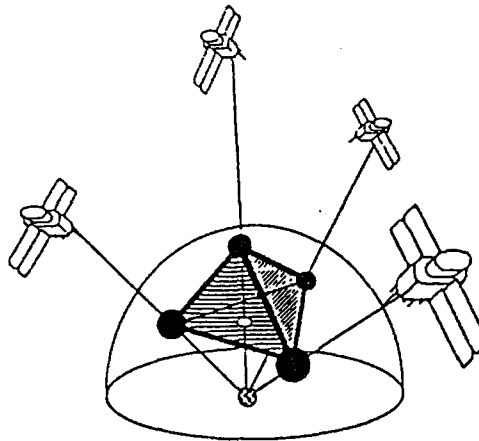
Şekil 2.17. Üçlü fark ölçüleri

2.7. GPS Hata Kaynakları

GPS sinyalleri uydulardan yeryüzündeki alıcılara gelirken birtakım bozucu kuvvetlerin etkisi altında kalırlar. Bu etkiler nedeniyle GPS ölçülerinde sistematik hatalar oluşur. Bu etkilerin ve hataların en önemlileri kısaca açıklanacaktır.

2.7.1. Uydu kümeleri geometrisi

GPS ölçülerinden elde edilecek doğruluklar uydu sayısının yanında uyduların geometrisi ile de yakından ilgilidir. Pratik olarak bir P alıcısından itibaren izlenen uydu yolu üzerinde birim kürenin oluşturduğu çokgenin hacmi ne kadar büyükse konumlama doğruluğu o kadar artacaktır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Uydu geometrisi

Uydu kümeleri geometrisinin etkisi, literatürde “Duyarlılığın Bozukluğu - Dilution of Precision (DOP)” olarak tanımlanır.

$$\text{DOP} = \text{Konum hassasiyeti} / \text{Ölçü hassasiyeti} \quad (2.8)$$

Yukarıdaki ifadeden anlaşılabileceği üzere DOP değerlerinin mümkün olduğu kadar küçük elde edilmesi arzu edilir. Uygulamada DOP’un farklı bileşenleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

VDOP= Duyarlılığın Düşey Bozukluğu (Vertical Dilution of Precision)

HDOP= Duyarlılığın Yatay Bozukluğu (Horizontal Dilution of Precision)

PDOP= Duyarlılığın Konum Bozukluğu (Positional 3D Dilution of Precision)

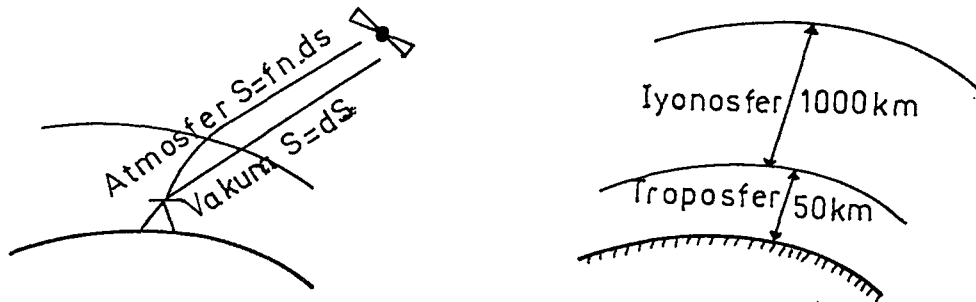
TDOP= Duyarlılığın Zaman Bozukluğu (Time Dilution of Precision)

GDOP= Duyarlılığın Geometrik-Konum ve Zaman-Bozukluğu (Geometrical - Positional and Time - Dilution of Precision)

RDOP= Duyarlılığın Rölatif Bozukluğu (Relative Dilution of Precision) (Eren ve Uzel,1995).

2.7.2. Atmosferik etkiler

Atmosferin yeryüzünden itibaren yaklaşık 50 km. kalınlığındaki tabakası Troposfer, buradan itibaren yaklaşık 1000 km. kalınlığındaki tabakası ise, İyonosfer olarak adlandırılır. GPS sinyalleri alıcıya ulaşınca kadar bu tabakalardan geçerken karşılaştıkları dirençten dolayı bir gecikmeye uğrarlar. Bu nedenle atmosferde gecikmeye neden olan iki çeşit etki oluşur (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Atmosferik etkiler

2.7.2.1. İyonosferik etki

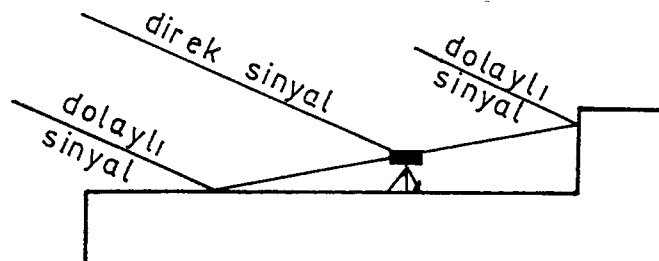
Bu etki sinyal yolu boyunca iyonosferdeki elektron aktivitesine bağlıdır. Bu aktivite zamana ve enleme bağlı olarak hızlı bir değişim gösterir. İyonosferik etkinin dikkate alınmadığı durumlarda hesaplanan baz uzunlukları gerçek değerinden daha kısa olacaktır. Bu hatanın giderilmesi, farklı frekanstaki dalgaların farklı dirençle karşılaşacağı gerçeğinden hareket ederek gecikmelerin modellendirilmesi yolu ile olur. Buda çift frekanslı alıcıların kullanılması ile olur. Bu yüzden ölçülecek bazlar büyüdükçe, çift frekanslı alıcılarla ölçü yapmak daha uygundur.

2.7.2.2. Troposferik etki

Bu etki ile oluşan sinyal gecikmesi frekansa bağlı olmayıp farklı frekans kullanımı ile giderilemez. Hata, ıslak ve kuru olmak üzere iki ayrı bölümde incelenip modellendirilmeye çalışılarak giderilir. Ölçülen ısı ve basınç ile uydunun yüksekliğine bağlı olarak geliştirilen ve geliştirilecek olan matematik modeller ile giderilmeye çalışılmaktadır.

2.7.3. Sinyal yansımaları (Multipath etkisi)

GPS sinyallerinin alıcı antenlerine direk olarak gelmesi istenirse de sinyalin, anten çevresindeki yansıtıcı cisimler nedeniyle yansımaya multipath etkisi denir (Şekil 2.20).



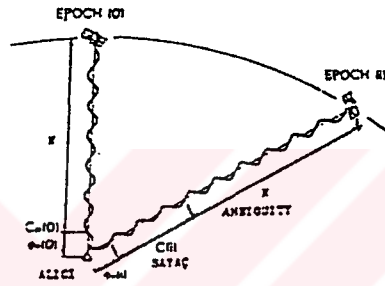
Şekil 2.20. Multipath etkisi

Multipath etkisinin tam olarak giderilmesi, her noktada farklı geometri ve çevre şartları söz konusu olacağından her zaman olası değildir. En kolay giderilme yolu, alıcının çok yakınında yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat

etmektedir. Diğer bir yol ise, filtreleme yöntemleri ile yansıyan dalgayı absorbe eden özel anten tipleri kullanmaktır (ground planes).

2.7.4. Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (Ambiguity)

Bir alıcı ölçüye başladığı anda, herhangi bir uydudan kaydedilen ilk sinyalin (başlangıç epokunun) tam dalga boyu sayısı N belirli değildir. Bu sayıya Ambiguity denir (Şekil 2.21). Başlangıç epokundan sonraki ölçüler için, alıcı içindeki sayaç arada geçen tam dalga boylarını sayacağından her uydu için ayrı bir N bilinmeyi hesaplanır.



Şekil 2.21. Faz başlangıç belirsizliği (Ambiguity)

Kaydedilen ilk sinyalin geriye kalan parçası olan anlık faz ise ölçülür. Ölçülen anlık faz;

$$\text{Anlık faz (AF)} = -f_s \frac{P}{C} + \delta f_s + N \quad (2.9)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte; f_s uydu sinyal frekansını, δ alıcı saat hatasını, P uydu alıcı mesafesini (pseudo uzunluk), c sinyalin yayılma hızını göstermektedir.

2.7.5. Faz sıçramaları (Cycle slip)

Ölçüler devam ederken uydu sinyallerinin alınmasında, sinyal yolu üzerindeki bir engelden dolayı faz sıçramaları ile karşılaşılır. Böyle durumlarda, uydu sinyallerinin kopukluğunun meydana geldiği andan sonraki ölçüler, bir önceki noktaya gidilerek oluşan kayma miktarı kadar düzeltilir.

Faz başlangıç belirsizliğinin çözümü ve faz sıçramalarının giderilmesi, bilimsel amaçlı uzun bazlara ait GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile çok yoğun çaba

sonucunda giderilir. Ancak pratik amaçlı 20 km'yi geçmeyen kısa bazlarda, bu sorunlar mevcut yazılımlar ile tamamen otomatik olarak kullanıcıya yük getirmeksizin giderilir.

2.7.6. Anten faz merkezi kayıklığı (Hatası)

Alıcı antenindeki sinyallerin algılandığı noktaya anten faz merkezi denir. Bu nokta antenin fiziksel merkezi ile çakışmaz. Antenin kayıklığının sebebi, uydunun yüksekliğine ve azimutuna bağlıdır. Bu hata L_1 ve L_2 sinyalleri için farklıdır. Anten faz merkezi hatalarından kaçınmak için, uygun anten seçimi, aynı anda farklı tip anten kullanılmaması ve antenlerin kuzeye yönlendirilmesi önerilir.

2.8. GPS'de Doğruluk

GPS sistemi ile yapılan ölçülerde elde edilen doğruluk; konum belirlemede kullanılan yöntem, ölçü zamanındaki uydu sayısına (en az 4 uydu), uyduların geometrisine (PDOP), ölçü süresine ve değerlendirilmede kullanılan yazılıma bağlı olarak, üç boyutlu mutlak konum belirlemede ± 5 ile 100 m, bağıl konum belirlemede $\pm (0.01-2)$ ppm arasında değişen doğrulukta noktaların konumları belirlenir. Örneğin; Ülke temel nirengi ağının iyileştirilmesi, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi yada deformasyon araştırması amacı ile kurulan ve yüksek duyarlık gerektiren jeodezik ağlarda, $t= 60-240$ dakikalık süre içinde gerçekleştirilen gözlemler ve duyarlı yörünge parametreleri kullanılarak noktaların $\sigma_x = \sigma_y = 3\text{mm}$, $\sigma_z = 6\text{mm}$ bağıl konum duyarlıklarına ulaşılmaktadır.

2.9. GPS İle Jeodezik Amaçlı Pratik Ölçmeler

GPS ile görelî konum belirlemede genel olarak 5 farklı yöntem mevcut olup farklı kaynaklarda farklı isimlerle karşılaşılmakla birlikte bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir,

- Statik ölçü yöntemi
- Hızlı (Rapid / Fast) Statik ölçü yöntemi
- Tekrarlı (Reoccupation / Pseudostatic) ölçü yöntemi
- Dur - Git (Stop and Go) ölçü yöntemi
- Kinematik ölçü yöntemi

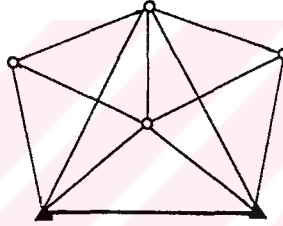
2.9.1. Statik ölçü yöntemi

Statik ölçü yöntemi klasik GPS ölçü tekniği olup ;

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde ,
- Uzun bazlar söz konusu olduğunda,
- Mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine imkan vermediğinde ,

- Sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda (örneğin, iyonesferik etkiler) en uygun ve en iyi yöntemdir.

- Bu ölçü tekniğinde iki yada daha fazla alıcı ile en az 1 saat eşzamanlı ölçü yapılmaktadır (Şekil 2.22). Bu yöntemde ulaşılan doğruluk $\pm (0.01-1)$ ppm dir. Yani 1 km'lik bir baz, ± 0.01 mm ile 1 mm'lik doğrulukla ölçülebilir (Ersoy,1995).



Şekil 2.22. Statik ölçü yöntemi

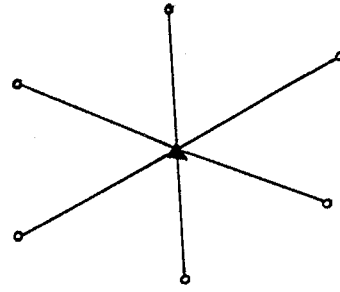
2.9.2. Hızlı (Rapid) statik ölçü yöntemi

Bu da bir çeşit statik ölçü tekniği olup çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik bakımdan büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak alıcılardan birisi referans noktası üzerinde sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken, diğer bir alıcı tüm diğer noktalara çok kısa süreler için (baz uzunluğuna ve uydu geometrisine bağlı olarak yaklaşık 5-20 dk) kurularak gözlem yapılır (Şekil 2.23)

Burada, konumu belirlenecek yeni noktalardaki alıcının ölçü süreleri dışında (intikallerde) açık olmasının gerekmemesi, pratik açıdan büyük kolaylık sağlamaktadır.

Bu yöntemde ölçü süresi baz uzunluğuna ve uydu geometrisine bağlı olup uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir (Tablo 2.2) , (Trimble , 1992).



◦ Yeni Nokta
▲ Bilinen Nokta

Şekil 2.23. Hızlı (Rapid-Fast) statik ölçü yöntemi

Tablo 2.2. Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi

Uydu Sayısı	Ölçü Süreleri (Dakika)
4	> 20
5	10-20
6 +	5-10

Bu yöntemde, “ FARA (Fast Ambiguity Resolution Approach)” isimli algoritma kullanılarak bir kaç dakikalık gözlemle taşıyıcı dalga faz belirsizlikleri doğru olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca, çift frekanslı ve her iki frekansta P - kod ölçüleri (four observable) yapabilen alıcılar kullanıldığında uygun arama algoritmaları ve istatistik analizler ile (Weighted Ambiguity Vector Estimate, WAVE) hızlı ve doğru ambiguity çözümleri olasıdır.

Dolayısıyla bu ölçü tekniği, özellikle kısa sürede çok fazla noktanın doğru ve ekonomik olarak çözülmesi gerektiği durumlarda en iyi yöntemdir.

Hızlı statik yöntem özellikle iyonosferik etki gibi sistematik etkilerin minimum olduğu çok kısa baz uzunluklarında ideal sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde ulaşılan doğruluk $\pm (2-3)$ ppm'dir. Yani bir km'lik bir baz, $\pm 2-3$ mm'lik doğrulukla ölçülebilir (Ersoy,1995). Sonuç olarak söz konusu yöntemler ile ideal şartlarda elde edilebilecek doğruluklar Tablo 2.3' de verilmektedir (Trimble, 1992; Leica, 1992) .

Tablo 2.3. Ölçü yöntemlerinden elde edilebilecek doğruluklar

ÖLÇÜ YÖNTEMİ	ELDE EDİLECEK BAZ ÖLÇÜ DOĞRULUĞU	ORANSAL DOĞRULUK SINIRLARI
STATİK	5 mm + 1 ppm	1/100000 - 1/5000000
HIZLI - STATİK	5 - 10 mm + 1ppm	1/100000 - 1/1000000
DUR - GİT	1 - 2 cm + 1 ppm	1/100000 - 1/1000000
TEKRARLI ÖLÇÜ	5 - 10 mm + 1 ppm	1/50000 - 1/500000
KİNEMATİK	1 - 2 cm + 1 ppm	1/100000 - 1/1000000

3.KLASİK YÖNTEMLE KONUM AĞLARININ ÖLÇÜLMESİ

Klasik yöntemde yer kontrol noktaları 1. derece , 2. derece nirengi noktaları, dengelenmiş 3. derece nirengi noktaları, 3. derece sıklaştırma noktaları ile alım için sıklaştırma noktalarından oluşur. Noktaların derecesine göre silsile sayıları farklılık göstermektedir.

3.1. Doğrultu Ölçmeleri ve İstasyon Dengelemesi

3. derece sıklaştırma ağında her noktada yatay ve düşey açılar 400^g bölümlü, en az 2^{cc} 'yi doğrudan ölçebilen aletler ile sabah ve akşam saatlerinde 8 silsile ölçülür. Her yarım silsilenin sonunda kontrol amacıyla başlangıç noktasına tekrar bakılır ve okunan değer açı ölçü çizelgesine parantez içinde yazılır. Bu değer hesaba katılmaz. Bu iki okuma arasındaki fark 10^{cc} 'yi geçemez. Aksi halde o başlangıca ait yarım silsile tekrarlanır. Yatay açı okumaları 1^{cc} inceliğinde yapılır. Silsileler ortalaması 0.1^{cc} ye kadar hesaplanır. İstasyon dengelemesi sonucunda silsileler ortalamasının karesel ortalama hatası $\pm 5^{cc}$ yi geçemez. Silsileler ortalaması ile bulunan doğrultular (3.1) eşitliği ile Gauss-Kruger projeksiyon düzlemine indirgenirler.

$$t - T = -\frac{\rho^{cc}}{2R^2} Y_m (X_k - X_i) \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinde;

t : Projeksiyon düzlemine indirgenmiş doğrultu

T: Silsileler ortalaması ile bulunan doğrultu

Y_m : i ve k noktalarının Gauss-Kruger koordinatlarının ortalaması

X_k, X_i : i ve k noktalarının yukarı değerleri

R :6 373 394 m.

3.2. Kenar Ölçmeleri

Üçüncü derece nokta sıklaştırmasında, ağa ait kenarların değişik doğrultularda olanların 1/3'ü ölçülür. Ölçüde kullanılan uzaklık ölçerlerin yıllık kalibrasyon belgesi bulunmalıdır. Ölçüler iki nokta arasında karşılıklı olarak yapılır. Karşılıklı ölçü değerleri arasında, meteorolojik düzeltme getirilerek deniz yüzeyine indirgendikten sonra bulunan farkın kenar uzunluğuna oranı

1/100 000'den büyük olamaz. Meteorolojik düzeltme getirilmiş uzunluklar (3.2) eşitliği ile deniz yüzeyine indirilir.

$$S = \frac{\theta}{2} \left[2R \sqrt{1 - \left(\frac{DH}{D} \cos \frac{\theta}{2} \rho \right)^2} - DH \right] \quad (3.2)$$

$$H_i = H_D + I_E$$

$$H_K = H_B + T_P$$

$$DH = H_K - H_i$$

$$\theta = \frac{D}{R + H_i}$$

$$\rho = 200^\circ / \pi$$

(3.2) eşitliğinde;

H_D : Durulan noktanın denizden yüksekliği

H_B : Bakılan noktanın denizden yüksekliği

I_E : Elektronik uzunluk ölçerin yüksekliği

T_P : Yansıtıcı yüksekliği

D : Eğik uzunluk

R : 6 373 394 m

dir. Deniz yüzeyine indirgenmiş kenarlar, bulundukları 3⁰'lik dilimdeki Gauss-Kruger projeksiyon düzlemine (3.3) eşitliği ile indirgenir.

$$ds = s - S = \frac{S}{6R^2} (Y_i^2 + Y_i Y_K + Y_K^2) \quad (3.3)$$

(3.3) eşitliğinde;

s : Projeksiyon düzlemindeki uzunluk

S : Meteorolojik düzeltme getirilmiş ve deniz yüzeyine indirgenmiş uzunluk

Y_i, Y_K : Noktaların bulundukları dilimdeki Gauss-Kruger koordinatları

R : 6 373 394 m' dir (Anonymous 1988).

4. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVENİRLİK

4.1. Serbest Ağ Dengelenmesi

Jeodezik ağların dengelenmesi yapılırken, ölçülerin dışında bilinmeyenlerin elde edilebilmesi için gerekli başlangıç değerlerine ihtiyaç vardır. Biz bu başlangıç değerlerine Datum Parametreleri diyoruz. Bu parametrelere bağlı olarak elde edilen bilinmeyenlerin hataları başlangıçtan uzaklaştıkça artar. Bu nedenle başlangıç yerleri değiştikçe hata hesabıda değişir. Dengeleme bilinmeyenleri;

$$x_1, x_2, \dots, x_u \text{ ise } m_{x_i} = m_0 \sqrt{Q_{xixi}} \quad (4.1)$$

Q_{xixi} 'ler ve m_{x_i} 'ler dış parametrelere bağlı olduğu için ağın hassasiyeti hakkında tam bilgi vermezler. Bu neden dış parametrelerde bilinmeyen olarak alınır. Böylece dengelemede gereğinden fazla bilinmeyen alındığında problemin pek çok çözümü olacaktır. Tek çözüm ek koşul ve koşullar yardımıyla sağlanır. x 'lerin kareleri toplamının minimum olması

$$x^T \cdot x = \min \quad (4.2)$$

problemin çözümündeki belirsizliği ortadan kaldıran bir koşuldur. Bu durumda bilinmeyenlerin ortalama hatalarının kareleri toplamıda minimum olur.

$$\sum m_{x_i}^2 = m_0^2 \sum Q_{xixi} = \min \quad (4.3)$$

matris notasyonu ile $m_0^2 \text{ iz} Q_x = \min$, ortalama bilinmeyen hatası

$$m_x = m_0 \sqrt{\text{iz} Q_x / u} \quad (4.4)$$

kullanılır.

Dış parametreleride bilinmeyen olarak alınmak ve (4.2) koşulunuda gözönünde bulundurmak suretiyle yapılan dengelemeye "Serbest Ağ Dengelemesi" adı verilir. Bu deyim ilk kez Mittermayer tarafından kullanılmıştır (İnal,1994).

Jeodezik ağılarda ölçümlerin dışındaki bir kaynaktan belirlenmesi gereken datum parametrelerinin tamamı yada bir bölümü eksik olursa datum bozukluğu (Datum Defekt) oluşur.

Serbest ağ dengelemesi sonucu bulunan düzeltmeler V_i , birim ölçünün ortalama hatası m_0 ve gözlemlerin fonksiyonlarının ortalama hataları sabit noktaların seçiminden bağımsızdırlar. Bir jeodezik ağın serbest dengelenmesi için sabit kaldıkları varsayılan noktalar dilediği gibi serbestçe seçilebilirler. Buna göre çeşitli noktalar alınarak çok sayıda serbest dengeleme gerçekleştirilebilir.

Serbest ağ dengelemesi, Helmert, Mittermayer ve koşul denklemleri yöntemlerinden herhangi birisiyle yapılır.

Serbest ağ dengelemesinde;

$$f = n - u + d \text{ fazla ölçü sayısı (serbestlik derecesi)} \quad (4.5)$$

$$u = b_p + m_y \text{ Bilinmeyenlerin sayısı} \quad (4.6)$$

$d = A$ ve N matrislerinin rang bozukluğu

$b = 1, 2$ yada 3 dengelenecek ağın boyutu (dimension)

$m_y = A$ ğdaki yöneltme bilinmeyenlerinin (z) sayısı

$p = A$ ğın nokta sayısı

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{f}} \text{ Birim ölçünün ortalama hatası} \quad (4.7)$$

$$m_p = \pm m_0 \sqrt{\frac{iz \{Q_{xx}\}}{p}} \text{ Ortalama konum duyarlılığı} \quad (4.8)$$

$$m_x, m_y = \pm m_0 \sqrt{\frac{iz \{Q_{xx}\}}{2p}} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} m_p \text{ Ortalama koordinat duyarlılığı} \quad (4.9)$$

bağıntılarından hesaplanır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

4.2. Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

Dengelemenin temel prensibi ölçü hatalarının kareleri toplamının minimum olmasıdır. Yani bu hataların tesadüfi hatalar olması, başka bir

ifadeyle ölçülerimizde kaba ve sistematik hataların olmamasıdır. Belirli bir amaç için oluşturulan nirengi ve nivelman ağları gerekli ölçüler yapıldıktan sonra, noktaların kot ve koordinatlarını belirlemek amacıyla “En Küçük Kareler Yöntemine” göre dengelenir. Dengelemede ölçü hatalarının normal dağılımlı olduğu temel varsayımdır. Yapılan ölçülerden bazılarının uyuşumsuz olması bu temel varsayımı geçersiz duruma getirir. Test yöntemleriyle kaba hatalı ölçülerin belirlenmesi ve hesaptan çıkartılması gerekir. Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğinin 35. maddesi de uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasını ve gerekirse bu ölçülerin yenilenmesini zorunlu kılmıştır (İnal,1989). Uyuşumsuz çıkan ölçülerden ağır yapı statüğünü bozmayan ölçüler atılır, yapı bozucu olanlar yeniden ölçülmelidir.

Uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasına ilişkin birçok yöntem vardır (Aksoy,1984). Burada sadece Pope yönteminden bahsedilecektir.

4.2.1. Pope’ye göre uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması

Bunun için önce,

$$T_{lp} = \frac{V_l}{m_0 \sqrt{q_{vvl}}} \quad (4.9)$$

ile test büyüklükleri hesaplanır. Hesaplanan $T_{\max,p}$ değeri,

$$c = \left(\frac{(n-q)F}{n-q-1+F} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

eşitliğinden bulunacak c değerinden büyük çıkarsa ölçü uyuşumsuz sayılır. Burada;

n : Ölçü sayısı

n-q : Ağ dengelemesinin serbestlik derecesi

F : 1 ve n-q-1 serbestlik derecelerinde F (Fisher) dağılımının $(1-0.05)^{1/n}$ test düzeyinde fraktil değeridir. c sayısı hesapla bulunabileceği gibi bu konuda düzenlenmiş tablodan da alınabilir.

4.3. Verilen Noktalar Kümesinde Uyuşum Testi (Helmert Yöntemi)

Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra ağ tümünden serbest olarak dengelenir ve verilen noktalar için bu dengeleme ile koordinatlar hesaplanır. Bu koordinatlarla verilen koordinatlar arasında Helmert (Benzerlik) dönüşümü yapılır. Verilen noktalar için serbest dengeleme ile bulunan koordinatlar X_i , Y_i ($i=1, 2, \dots, p$) (verilen nokta sayısı) ve verilen koordinatlar $\bar{X}_i$, $\bar{Y}_i$ olmak üzere, k_{01} , k_{02} , k_{11} , k_{12} dönüşüm katsayıları bilinmeyenleri ile düzeltme denklemleri;

$$V_{xi} = k_{01} + Xi.k_{11} - Yi.k_{12} - \bar{X}_i \quad (4.11)$$

$$V_{yi} = k_{02} + Yi.k_{11} + Xi.k_{12} - \bar{Y}_i$$

olmaktadır.

$X_s = \frac{[X]}{p}$ ve benzer olarak Y_s , $\bar{X}_s$, $\bar{Y}_s$ her iki sistemde eşlenik noktaların ağırlık merkezine göre koordinatları olmak üzere, dönüşüm katsayıları en küçük kareler yöntemine göre,

$$\begin{aligned} k_{11} &= [\Delta X \Delta \bar{X} + \Delta Y \Delta \bar{Y}] / [S^2] \\ k_{12} &= [\Delta X \Delta \bar{Y} - \Delta Y \Delta \bar{X}] / [S^2] \\ k_{01} &= [\bar{X}_s - k_{11} X_s + k_{12} Y_s] \\ k_{02} &= [\bar{Y}_s - k_{11} Y_s - k_{12} X_s] \end{aligned} \quad (4.12)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada $[S^2] = [\Delta X^2 + \Delta Y^2]$ dir.

Ölçek katsayısı;

$$\lambda = \sqrt{k_{11}^2 + k_{12}^2} \quad (4.13)$$

Dönüklük;

$$\varphi = \arctan \frac{k_{12}}{k_{11}} \quad (4.14)$$

ve birim ölçünün karesel ortalama hatası;

$$m_0 = \sqrt{[VV]/(2p-4)} \quad (4.15)$$

ile hesaplanır.

Verilen nokta koordinatları arasında uyumsuz ($\bar{X}, \bar{Y}$) ölçü çiftlerini tesbit için her noktaya ilişkin

$$q_i = 1 - \frac{1}{p} - \frac{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}{[S^2]} \quad (4.16)$$

ile,

$$T = \sqrt{\frac{V_{xi}^2 + V_{yi}^2}{2m_0^2 q_i}} \quad (4.17)$$

test büyüklüğü $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ile

$$c = \sqrt{(p-2) \left(1 - \left(\frac{\alpha}{p} \right)^{1/(p-3)} \right)} \quad (4.18)$$

kritik değerden büyük çıkıyorsa yani $T_i > c$ için ilgili koordinat çifti uyumsuz sayılır. Sıra ile uyumsuz koordinat çiftlerinin atılması ile dönüşüm ve test işlemleri tekrarlanır. Bundan sonra ölçek uyumunu test etmek için;

$$T = \frac{(\lambda - 1)^2 [S^2]}{m_0^2} \quad (4.19)$$

T test büyüklüğü, 1 ve (2p-4) serbestlik dereceli F (Fisher) dağılımında 1- α test nivosuna göre fraktıl değeri $F_{1-\alpha;1,(2p-4)}$ ile karşılaştırılır.

$T > F$ oluyorsa, kenar ölçülerine göre belirlenen ölçek ile, verilen koordinatların tanımladığı ölçek arasında uyumsuzluk vardır. Duruma göre karar verilir (Anonymous 1988).

4.4. Güvenirlilik Ölçütleri

Bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisinin elemanlarından yararlanılarak hesaplanan global ve lokal hassasiyet ölçütleri, bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri tanımlayan fonksiyonel model ile ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları gösteren stokastik modelin doğru kurulduğu şeklinde açıklanan model hipotezinin geçerli olması durumunda gerçeği yansıtır. Bu nedenle model hipotezinin geçerliliği uygun test yöntemleri ile kontrol edilmeli ve olası model hataları ortaya çıkarılmalıdır. Bir jeodezik ağda kaba model hataları belirlenebiliyorsa bu ağ güvenilir ağ diye nitelendirilir. Güvenirlilik ölçütleri de lokal ve global olmak üzere ikiye ayrılır.

Lokal güvenirlilik ölçütleri ile ölçülerdeki kaba hatalar ortaya çıkarılır. Global güvenirlilik ölçütleri ile ağın tamamı ya da büyük bir bölümünde etkili olan model hataları ortaya çıkarılır. Genellikle bu hatalar fonksiyonel modeldeki hatalardır. Ölçü aletlerinin hatalı kalibrasyonları, ölçülerin eksik veya yanlış indirgenmeleri model hatalarına örnek gösterilebilir.

4.4.1. Global güvenirlilik ölçütü

Mödel hipotezini test etmek için, dengeleme hesabı sonucunda bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası m_o , a priori duyarlık σ_o ile ya da ön dengelemeden elde edilen $\bar{m}_o$ ile karşılaştırılır. $\bar{m}_o$ ise:

- Nivelman ağlarında gidiş-dönüş ölçü farklarından
- Doğrultu ağlarında istasyon dengelemelerinden
- Kenar ağlarında karşılıklı ölçü farklarından veya değişik atmosferik şartlarda tekrarlanan ölçülerden hesaplanabilir.

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

$$E(\bar{m}_o^2) = E(m_o^2) = \sigma_o^2 \quad (4.20)$$

bağıntısı geçerli olur.

Test büyüklüğü

$$T = \frac{m_o^2}{\bar{m}_o^2}, \quad m_o > \bar{m}_o \quad (4.21)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu değer F dağılım tablosundan alınan $F_{f, \bar{f}, 1-\alpha}$ sınır değeri ile karşılaştırılır.

f : m_o hesabındaki serbestlik derecesi

$\bar{f}$: $\bar{m}_o$ hesabındaki serbestlik derecesi

α : Yanılma ihtimali (genellikle $\alpha = 0.05$ alınabilir)

olmak üzere $T > F_{f, \bar{f}, 1-\alpha}$ ise, model hipotezi geçersizdir. Bunun nedeni, ölçülerin birinde veya birkaçındaki kaba hatalar olabileceği gibi, ölçülerin eksik ya da yanlış indirgenmeleri, veya ölçü aletlerinin yanlış kalibrasyonları da olabilir.

4.4.2. İç güvenirlik ölçütleri

Jeodezik bir ağın dengelenmesiyle bulunan v düzeltmeleri dengelenmiş ölçülerle, orijinal ölçülerin farkı olarak ortaya çıkar.

$$v = \bar{l} - l = A\bar{x} - l = (AQ_{xx}A^T P - I)l \quad (4.22)$$

(4.22) eşitliğindeki "I" birim matrisi göstermektedir. Düzeltmelerin kofaktör matrisi

$$Q_{vv} = Q_{ll} - Q_{ll} = Q_{ll} - AQ_{xx}A^T \quad (4.23)$$

bağıntısıyla hesaplanır. (4.22) ve (4.23) formüllerinden l asıl ölçülerin fonksiyonu olan v düzeltmelerinin önemli ilişkisi çıkartılabilir.

$$v = -Q_{vv} P l \quad (4.24)$$

"i" gözlemdeki olası bir Δ_i hatası, tüm v düzeltmelerini Δ_{v_i} miktarı kadar etkiler.

$$\Delta v_j = -(Q_{vv} P)_{ji} \Delta_i \quad (4.25)$$

Kaba bir Δ_i hatasının v_i düzeltmesine etkisi, $(Q_{vv} P)_{ii}$ nin ana köşegen elemanı ile tesbit edilir.

$$\Delta v_i = -(Q_{vv} P)_{ii} \Delta_i = -r_i \Delta_i \quad (4.26)$$

Bu ana köşegen elemanı r toplam redundanzın i . gözleme ait r_i kısmi redundanzı olarak isimlendirilir ve

$$\text{İz}(Q_{vv} P) = \sum r_i = n - u = r \quad (4.27)$$

ilişkisi geçerlidir. Görüldüğü gibi toplam redundanz r fazla ölçü sayısına eşittir. r_i ise i ölçüsünün fazla ölçü sayısına katkısını göstermektedir. Kısmi redundanz ağ geometrisinin açıklanması için karakteristik bir büyüklüktür ve i . gözlemdeki bir kaba hatanın ona ait düzeltmede ne oranda yansıyacağını gösterir.

Güvenilir bir ağda mümkün olduğunca büyük ve eşit büyüklükte kısmi redundanzlar ortaya çıkmalıdır. Kısmi redundanzlar yardımı ile ölçülerin kontrol edilebilirliğinin yorumu için aşağıdaki sınır değerleri tavsiye edilebilir.

$0 \leq r_i < 0.01$	Kontrol edilemez
$0.01 \leq r_i < 0.1$	Yeterli kontrol edilemez
$0.1 \leq r_i < 0.3$	Yeterli kontrol edilebilir
$0.3 \leq r_i < 1$	İyi kontrol edilebilir

Ölçülerdeki olası kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi için, istatistiki olmayan metodlar, (örneğin düzeltmelerin büyüklüğüne göre değerlendirme yapılması) uygun değildir. BAARDA'ya göre kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi için, korelasyonsuz gözlemlerde test büyüklüğü olarak normal dağılımlı normlaştırılmış düzeltme kullanılır.

$$w_i = -\frac{v_i}{\sigma_{v_i}} = -\frac{v_i}{\sigma \sqrt{Q_{vv} P}} \approx N(0,1) \quad (4.28)$$

Baarda tarafından "data snooping" olarak adlandırılan bu istatistik test, eğer varyans faktörlerinin global testi

$$T = \frac{m_o^2}{\sigma_o^2} > F_{f,\infty,1-\alpha} \quad (4.29)$$

önceden red edilmişse, tüm ölçüler için uygulanır (Öztürk ve Şerbetçi,1992).
Bu bağında

m_o^2 : Dengeleme sonrası varyansı

σ_o^2 : Dengeleme öncesi deneysel varyansı

f : Dengelemenin serbestlik derecesini

ifade etmektedir.

$|w_i|$ standart normal dağılım tablosundan alınan $k_{1-\alpha/2}$ sınır değeri ile karşılaştırılır.

$|w_i| > k_{1-\alpha/2} = \sqrt{F_{1,\infty,\alpha}}$ ise, bu ölçüde kaba bir hata olduğu tahmin edilir.

Eğer Δ_i kaba hatası mevcut ise, $w_i \approx N(0,1)$ dağılımında olamaz; $w_i \approx N(\delta_i, 1)$ dağılımlı olur. Burada δ_i dışmerkezlilik parametresi olarak isimlendirilir.

$$\begin{aligned} w_i | H_o &\approx N(0,1) \\ w_i | H_{A_i} &\approx N(\delta_i, 1) \end{aligned} \quad (4.30)$$

Δ_i kaba hatasının (4.28) bağıntısındaki test büyüklüğüne etkisi, (4.26) bağıntısı dikkate alınır,

$$\Delta w_i = \delta_i = -\Delta v_i / \sigma_o \sqrt{Q_{v_i v_i}} = r_i \Delta_i / \sigma_o \sqrt{Q_{v_i v_i}} = \sqrt{r_i} \Delta_i / \sigma l_i \quad (4.31)$$

şeklinde yazılabilir. H_{A_i} alternatif hipotezinin konumu, tahmin edilen Δ_i kaba hatasının büyüklüğüne bağlıdır. Bir Δ_i hatasının ortaya çıkma ihtimali alternatif hipotez testinin β_i test gücüne bağlıdır.

$$P(|w_i| > k | H_{A_i}) = \beta_i \quad (4.32)$$

Genellikle elimizde kaba bir hatanın büyüklüğüne ait bilgi olmadığı için, şu soru sorulabilir: “Hangi büyüklükteki bir kaba hata S güvenilirlik ihtimali ile β_o test gücü kullanılarak (4.28) bağıntısındaki istatistik test ile ortaya

çıkarılabilir?" α_o ve β_o verilirse, alternatif hipotezin konumu ve merkezi olmayan parametre δ_o tesbit edilebilir.

Örneğin $\alpha_o = 0.01, \beta_o = 0.80$ alınırsa, Tablo 4.1 yardımıyla $\delta_o = 3.42$ olarak bulunur.

(4.31) bağıntısından β_o test gücü ile ortaya çıkarılabilecek kaba bir hatanın alt sınır değeri Δ_{o_i} hesaplanabilir.

$$\Delta_{o_i} = \frac{\sigma_i}{\sqrt{r_i}} \delta_o \quad (4.33)$$

Bu alt sınır değeri, kısmi redundanz r_i ve a priori ölçü hassasiyeti σ_i 'yi içerdiği için uygun bir güvenilirlik ölçütüdür. İyi bir jeodezik ağda istenilen, küçük kaba hataların kolaylıkla tesbit edilebilmesi ve sınır değerlerinin farklı ölçü tiplerinde bile eşit değerlere sahip olmalarıdır.

İç güvenilirlik ölçütü, bir ölçüdeki kaba hatanın istatistik testlerle ortaya çıkarılabilmesi için, en az hangi büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir.

Tablo 4.1. α_o ve β_o 'ın fonksiyonu olarak δ_o dışmerkezlik parametresi değerleri

$\alpha_o \backslash \beta_o$	% 0.01	% 0.1	% 1	% 5
% 70	4.41	3.82	3.10	2.79
% 80	4.72	4.13	3.42	2.79
% 90	5.18	4.57	3.86	3.24

İyi bir jeodezik ağda çok küçük kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi ve Δ_i sınır değerlerinin olabildiğince birbirine yakın büyüklükler olması istenir (Murle ve Bill, 1984).

4.4.3. Dış güvenilirlik

Bir jeodezik ağın endirekt ölçüler dengelemesi ile dengelenmesinde gözlemler ile bilinmeyenler arasında

$$x = Q_{xx} A^T P l \quad (4.34)$$

ilişkisi mevcuttur. Tesbit edilemeyen ölçü hataları koordinat bilinmeyenlerini ve bunlardan çıkarılan tüm fonksiyonları etkiler. Herhangi bir ölçüde yapılan Δ_{0_i} kadar bir hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi,

$$\Delta_{x_i} = Q_{xx} a_i^T P_i \Delta_{0_i} \quad (4.35)$$

eşitliği ile elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi). (4.35) bağıntısında

a_i : A matrisinin i. satırı

P_i : l_i ölçüsünün ağırlığı

dır. Burada koordinat bilinmeyenleri vektörü $\underline{x}$, ağıın datumuna bağlı olduğundan, koordinat hataları vektörü $\underline{\Delta}_{x_i}$ de ağıın datumuna bağlı olur. Ağıın dış güvenilirliği için datumdan bağımsız bir ölçüt olarak,

$$\bar{\delta}_{0_i} = \sqrt{\frac{1-r_i}{r_i}} \delta_0 = \sqrt{\frac{a_i^T Q_{xx} a_i}{Q_{v_i v_i}}} \delta_0 = \frac{\sigma_{l_i} \delta_0}{\sigma_{v_i}} \quad (4.36)$$

eşitliği verilebilir. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu için $\varphi = \phi(x)$ olmak üzere

$$\bar{\delta}_{0_i} \geq \frac{\Delta_{0_i}}{\sigma_\varphi} \quad (4.37)$$

bağıntısı geçerli olur ve Δ_{0_i} hatasının bir fonksiyona maksimum etkisi $\bar{\delta}_{0_i}$ etki faktörü yardımı ile tahmin edilebilir. İyi bir jeodezik ağda $\bar{\delta}_{0_i}$ etki faktörlerinin mümkün olduğunca küçük olması istenir. Böylelikle tesbit edilemeyen ölçü hataları, sonucun doğruluğunu en az etkiler.

Güvenirlik açısından iyi bir jeodezik konum ağında;

$$r_i > 0.25 \quad (\text{Kısmi redundanz})$$

$$\Delta_{0_i} \leq (6-8)\sigma_{l_i} \quad (\text{İç güvenirlik})$$

$$\bar{\delta}_{0_i} \leq (6-8) \quad (\text{Dış güvenirlik})$$

sınırları arasında kalmalıdır (Murle ve Bill, 1984).



5. UYGULAMA

5.1. Test Alanı

1995 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi ve Selçuk Üniversitesi işbirliği ile Konya'da 30x40 km²'lik metropolitan alanda GPS ölçüleri yapılmıştır. Bu çalışmada tesis edilen ve GPS ölçüsü yapılan noktalar kullanılmıştır. Çalışma bölgesi Selçuklu ilçesi sınırları içinde kalan Beşyüzevler civarındadır. Test alanındaki nokta sayısı 8 tanedir ve noktaların 6 tanesi pilye şeklinde tesis edilmiştir. Bir tanesi Ülke Nirengi Ağının bir noktasıdır. Bu noktalara GPS ile koordinat verilmiştir. Ağa şekil vermek amacıyla 1 adet nokta ilave edilmiştir. Ağdaki doğrultu sayısı 34, ölçülen kenar sayısı 16 tanedir (Şekil 5.1).

5.2. Ölçmeler ve İndirgemeler

Doğrultu ve kenar ölçmeleri Bölüm 3' de açıklandığı üzere 31 Ocak 1988 tarihli "Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği" hükümlerine göre yapılmıştır. Doğrultu ölçmeleri (3.1) bağıntısı ile, kenar ölçmeleri (3.2) ve (3.3) bağıntıları kullanılarak 3⁰'lik Gauss-Kruger projeksiyon sistemine indirgenmiştir. Doğrultu ölçmeleri Universal Wild T2 teodoliti ile, kenarlar Sokkisha SET2 ($m_s = \pm(3+2\text{ppm.D})$) elektronik takeometresi ile yapılmıştır.

5.3. Ölçülerin Dengelenmesi ve Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

İndirgenmiş ölçülerle dengeleme yapılmadan önce ölçülerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla dengelemede iki farklı ağırlık kullanılmıştır. İlk olarak üçgen kapanmalarından Ferrero eşitliği ile bir doğrultunun ortalama hatası m_d ;

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{6u}} \quad (w: \text{Üçgen kapanma hatası, } u: \text{üçgen sayısı}) \quad (5.1)$$

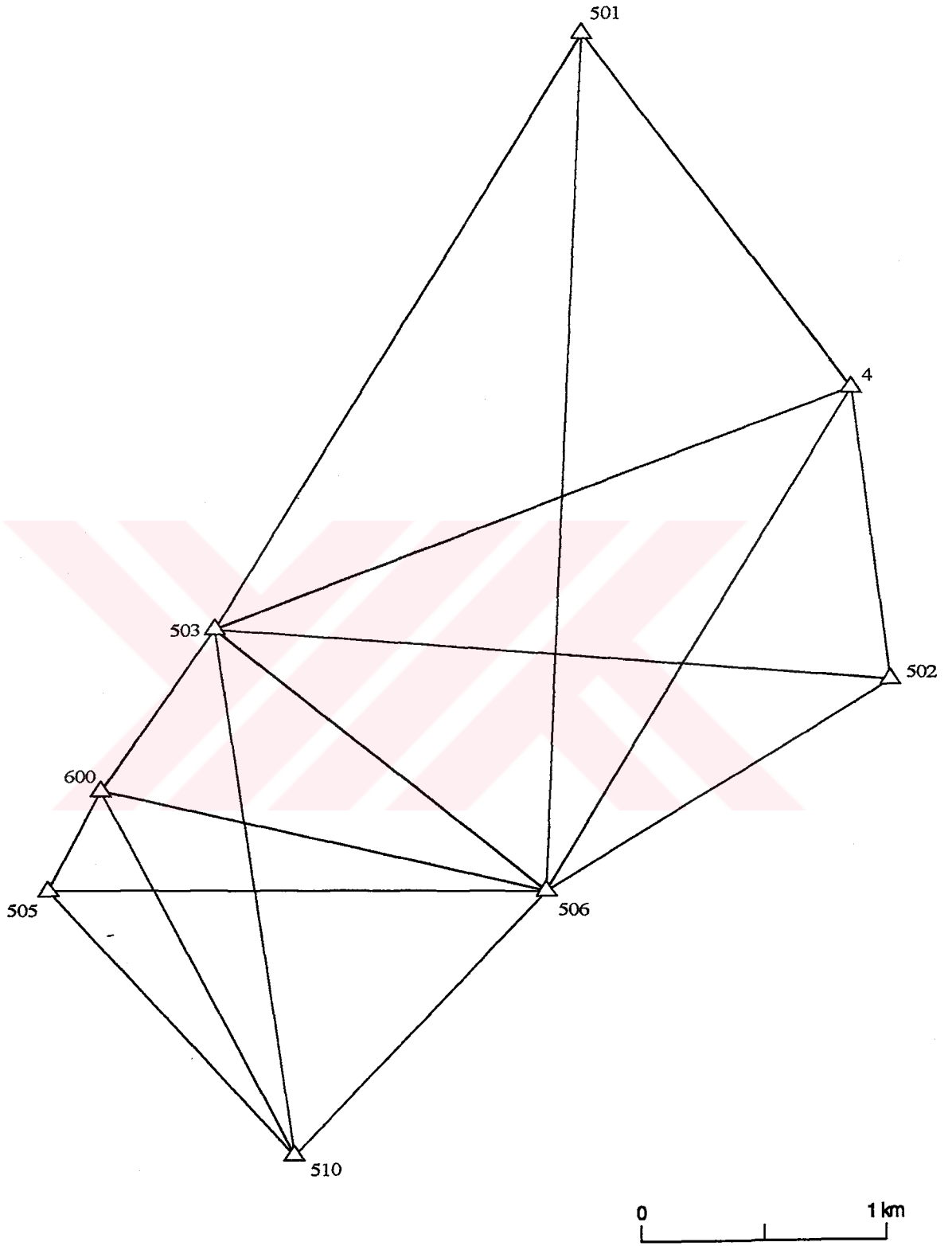
eşitliği ile, kenar ortalama hataları $m_s = \pm (3+2\text{ppm} \cdot D)$ eşitliği ile hesaplanmıştır. Daha sonra doğrultu ağırlıkları 1 alınarak kenar ağırlıkları

$$P_i = \frac{m_d^2}{m_s^2} \quad (5.2)$$

şeklinde belirlenmiştir. İkinci grup dengeleme için doğrultu ağırlıkları istasyon dengelemelerinden bulunan ortalama hatalardan

$$P_i = \frac{1}{M_i^2} \quad (5.3)$$

eşitlikleriyle, kenar ağırlıkları ise;



Şekil 5.1. Test ağı

$$P_i = \frac{1}{m_{s_i}^2} \quad (5.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Her iki grup ağırlık için serbest dengeleme yapılmış uyumsuz ölçüler Pope yöntemiyle ayıklanmıştır. Her iki ağırlık seçiminde de uyumsuz ölçüye rastlanmamıştır (Tablo 5.1,2).

Tablo 5.1. Ölçülerin uyumsuz olup olmadığının araştırılması (1. grup ağırlık)

DN	BN	KENAR	T.BÜYÜK	T.KRİTERİ	T.SONUCU
510	506	1494.53520	0.449	2.692	UYUŞUMLU
	505	1476.99510	0.133	2.692	UYUŞUMLU
	600	1685.89940	1.387	2.692	UYUŞUMLU
	503	176.57920	1.454	2.692	UYUŞUMLU
505	600	461.34422	0.747	2.692	UYUŞUMLU
	506	2035.66790	0.092	2.692	UYUŞUMLU
600	506	1864.65000	1.157	2.692	UYUŞUMLU
	503	810.41059	0.497	2.692	UYUŞUMLU
503	506	1725.14480	1.014	2.692	UYUŞUMLU
	502	2767.70290	1.162	2.692	UYUŞUMLU
	4	2777.34260	0.368	2.692	UYUŞUMLU
501	506	3502.24620	1.664	2.692	UYUŞUMLU
	4	1812.26860	1.841	2.692	UYUŞUMLU
502	506	1652.37150	0.504	2.692	UYUŞUMLU
	4	1206.12950	0.502	2.692	UYUŞUMLU
4	506	2406.03810	1.986	2.692	UYUŞUMLU

DN	BN	DOĞRULTU	T.BÜYÜK	T.KRİTERİ	T.SONUCU
510	600	0.00000	0.487	2.692	UYUŞUMLU
	503	21.53685	0.737	2.692	UYUŞUMLU
	506	79.44514	0.242	2.692	UYUŞUMLU
	505	383.35903	0.997	2.692	UYUŞUMLU
505	600	0.00000	0.924	2.692	UYUŞUMLU
	506	68.96354	0.722	2.692	UYUŞUMLU
	510	121.31932	0.126	2.692	UYUŞUMLU
503	501	0.00000	0.435	2.692	UYUŞUMLU
	4	41.70823	0.786	2.692	UYUŞUMLU
	502	69.62403	0.671	2.692	UYUŞUMLU
	506	107.53018	1.052	2.692	UYUŞUMLU
	510	155.46354	1.673	2.692	UYUŞUMLU
	600	203.97627	1.239	2.692	UYUŞUMLU
4	502	0.00000	0.430	2.692	UYUŞUMLU
	506	43.28375	0.379	2.692	UYUŞUMLU
	503	85.54589	0.191	2.692	UYUŞUMLU
	501	167.14518	0.669	2.692	UYUŞUMLU
502	506	0.00000	0.158	2.692	UYUŞUMLU
	503	39.82695	1.444	2.692	UYUŞUMLU
	4	126.36183	1.685	2.692	UYUŞUMLU
501	4	0.00000	0.365	2.692	UYUŞUMLU
	506	44.15471	0.365	2.692	UYUŞUMLU
	503	76.69285	0.012	2.692	UYUŞUMLU
600	503	0.00000	1.549	2.692	UYUŞUMLU
	506	74.97979	0.325	2.692	UYUŞUMLU
	510	129.94912	0.157	2.692	UYUŞUMLU
	505	191.98904	1.084	2.692	UYUŞUMLU
506	600	0.00000	1.124	2.692	UYUŞUMLU
	503	28.57717	0.729	2.692	UYUŞUMLU
	501	88.50821	1.131	2.692	UYUŞUMLU
	4	120.49097	0.428	2.692	UYUŞUMLU
	502	150.84438	0.159	2.692	UYUŞUMLU
	510	334.41529	0.387	2.692	UYUŞUMLU
	505	385.97118	0.811	2.692	UYUŞUMLU

Tablo 5. 2. Ölçülerin uyumsuz olup olmadığının araştırılması (2. grup girlik)

DN	BN	KENAR	T.BÜYÜK	T.KRİTERİ	T.SONUCU
510	506	1494.53520	0.260	2.692	UYUŞUMLU
	505	1476.99510	0.039	2.692	UYUŞUMLU
	600	1685.89940	0.787	2.692	UYUŞUMLU
	503	2176.57920	0.806	2.692	UYUŞUMLU
505	600	461.34422	2.171	2.692	UYUŞUMLU
	506	2035.66790	0.242	2.692	UYUŞUMLU
600	506	1864.65000	0.258	2.692	UYUŞUMLU
	503	810.41059	0.370	2.692	UYUŞUMLU
503	506	1725.14480	1.325	2.692	UYUŞUMLU
	502	2767.70290	0.955	2.692	UYUŞUMLU
	4	2777.34260	0.609	2.692	UYUŞUMLU
501	506	3502.24620	0.661	2.692	UYUŞUMLU
	4	1812.26860	0.664	2.692	UYUŞUMLU
502	506	1652.37150	0.075	2.692	UYUŞUMLU
	4	1206.12950	0.759	2.692	UYUŞUMLU
4	506	2406.03810	1.212	2.692	UYUŞUMLU

DN	BN	DOĞRULTU	T.BÜYÜK	T.KRİTERİ	T.SONUCU
510	600	0.00000	1.084	2.692	UYUŞUMLU
	503	21.53685	0.783	2.692	UYUŞUMLU
	506	79.44514	0.464	2.692	UYUŞUMLU
	505	383.35903	1.640	2.692	UYUŞUMLU
505	600	0.00000	0.740	2.692	UYUŞUMLU
	506	68.96354	1.013	2.692	UYUŞUMLU
	510	121.31932	0.388	2.692	UYUŞUMLU
503	501	0.00000	0.187	2.692	UYUŞUMLU
	4	41.70823	0.565	2.692	UYUŞUMLU
	502	69.62403	1.122	2.692	UYUŞUMLU
	506	107.53018	1.213	2.692	UYUŞUMLU
	510	155.46354	1.808	2.692	UYUŞUMLU
	600	203.97627	0.210	2.692	UYUŞUMLU
4	502	0.00000	1.079	2.692	UYUŞUMLU
	506	43.28375	0.208	2.692	UYUŞUMLU
	503	85.54589	0.472	2.692	UYUŞUMLU
	501	167.14518	0.291	2.692	UYUŞUMLU
502	506	0.00000	0.219	2.692	UYUŞUMLU
	503	39.82695	1.780	2.692	UYUŞUMLU
	4	126.36183	1.796	2.692	UYUŞUMLU
501	4	0.00000	0.231	2.692	UYUŞUMLU
	506	44.15471	0.246	2.692	UYUŞUMLU
	503	76.69285	0.063	2.692	UYUŞUMLU
600	503	0.00000	0.735	2.692	UYUŞUMLU
	506	74.97979	0.023	2.692	UYUŞUMLU
	510	129.94912	0.308	2.692	UYUŞUMLU
	505	191.98904	1.066	2.692	UYUŞUMLU
506	600	0.00000	1.031	2.692	UYUŞUMLU
	503	28.57717	0.711	2.692	UYUŞUMLU
	501	88.50821	1.180	2.692	UYUŞUMLU
	4	120.49097	0.162	2.692	UYUŞUMLU
	502	150.84438	0.188	2.692	UYUŞUMLU
	510	334.41529	0.019	2.692	UYUŞUMLU
	505	385.97118	1.174	2.692	UYUŞUMLU

Klasik ölçülerin dengelenmesiyle elde edilen sonuçlardan yararlanarak; (4.26)'dan kısmi redundanzlar, (4.33) eşitliğinden iç duyarlık ve (4.36) eşitliğinden dış duyarlıklar hesaplanmıştır (Tablo 5.3,4).

Tablo 5.3. Ağın hassasiyet ve güvenilirlik ölçütleri (1.Grup ağırlık)

DN	BN	Pi	Den.Kenar	Vi(mm)	Qvivi	Qlili	ri	Δ_0 (cm)	δ_0
510	506	168,315	1494,5366	1	1,200E-03	0,0047	0,202	5,6434	8,2093
	505	170,305	1476,9945	-1	2,500E-03	0,0034	0,4258	3,2779	4,7964
	600	148,702	1685,8918	-8	3,800E-03	0,0029	0,5651	2,65	3,6234
	503	111,66	2176,5884	9	5,000E-03	0,004	0,5583	3,1005	3,6735
505	600	392,394	461,3431	-1	3,000E-04	0,0022	0,1177	5,0906	11,307
	506	120,737	2035,6685	1	4,800E-03	0,0035	0,5795	2,8553	3,5178
600	506	133,323	1864,6432	-7	4,400E-03	0,0031	0,5866	2,6779	3,4669
	503	282,755	810,4095	-1	6,000E-04	0,0029	0,1697	4,8461	9,1369
503	506	145,106	1725,1499	5	3,100E-03	0,0038	0,4498	3,3817	4,5675
	502	82,869	2767,741	8	6,200E-03	0,0059	0,5138	3,9362	4,0176
	4	82,496	2777,3403	-2	4,800E-03	0,0073	0,396	5,0086	5,1008
501	506	60,319	3502,2569	11	5,200E-03	0,0114	0,3137	7,0155	6,1093
	4	137,572	1812,2639	-5	8,000E-04	0,0065	0,1101	8,93	11,744
502	506	151,882	1652,3735	2	2,000E-03	0,0046	0,3038	4,5248	6,2526
	4	206,103	1206,1306	1	6,100E-04	0,0042	0,1257	6,7658	10,891
4	506	98,926	2406,0255	-13	5,100E-03	0,005	0,5045	3,67	4,0928

DN	BN	P	Vi (cc)	Den.Doğ.	Qvivi	Qlili	ri	$\Delta_{0,1}^{\infty}$	$\delta_{0,1}$
510	600	1	4,31	0,000000	0,9827	0,0173	0,9827	4,8872	0,5480
	503	1	6,51	21,537075	0,9802	0,0198	0,9802	5,2351	0,5870
	506	1	-2,1	79,444503	0,9460	0,0540	0,9460	8,8003	0,9867
	505	1	-8,72	383,357723	0,9620	0,0380	0,9620	7,3207	0,8208
505	600	1	7,33	0,000000	0,7919	0,2081	0,7919	18,8820	2,1171
	506	1	-6,26	68,962185	0,9458	0,0542	0,9458	8,8175	0,9887
	510	1	-1,07	121,318484	0,9006	0,0994	0,9006	12,2370	1,3721
503	501	1	-3,68	0,000000	0,8991	0,1009	0,8991	12,3392	1,3835
	4	1	-6,88	41,707907	0,9629	0,0371	0,9629	7,2301	0,8107
	502	1	5,89	69,624990	0,9664	0,0336	0,9664	6,8681	0,7701
	506	1	9,18	107,531468	0,9580	0,0420	0,9580	7,7124	0,8648
	510	1	-14,5	155,462459	0,9447	0,0553	0,9447	8,9117	0,9992
	600	1	9,99	203,977633	0,8163	0,1837	0,8163	17,4734	1,9592
4	502	1	3,57	0,000000	0,8693	0,1307	0,8693	14,2824	1,6014
	506	1	3,32	43,283723	0,9652	0,0348	0,9652	6,9940	0,7842
	503	1	-1,66	85,545363	0,9501	0,0499	0,9501	8,4414	0,9465
	501	1	-5,24	167,144302	0,7705	0,2295	0,7705	20,1026	2,2540
502	506	1	-1,36	0,000000	0,9268	0,0732	0,9268	10,3516	1,1607
	503	1	-12,7	39,825817	0,9678	0,0322	0,9678	6,7186	0,7533
	4	1	14,03	126,363371	0,8708	0,1292	0,8708	14,1879	1,5908
501	4	1	-3,12	0,000000	0,9222	0,0778	0,9222	10,6985	1,1996
	506	1	3,23	44,155341	0,9859	0,0141	0,9859	4,4049	0,4939
	503	1	-0,11	76,693154	0,9619	0,0381	0,9619	7,3307	0,8220
600	503	1	12,33	0,000000	0,7974	0,2026	0,7974	18,5664	2,0818
	506	1	-2,81	74,978275	0,9412	0,0588	0,9412	9,2065	1,0323
	510	1	-1,35	129,947751	0,9349	0,0651	0,9349	9,7197	1,0898
	505	1	-8,17	191,986990	0,7140	0,2860	0,7140	23,3121	2,6139
506	600	1	9,79	0,000000	0,9538	0,0462	0,9538	8,1066	0,9090
	503	1	-6,36	28,575559	0,9581	0,0419	0,9581	7,7028	0,8637
	501	1	-9,54	88,506278	0,8955	0,1045	0,8955	12,5826	1,4108
	4	1	3,69	120,490358	0,9353	0,0647	0,9353	9,6878	1,0862
	502	1	-1,33	150,843264	0,8775	0,1225	0,8775	13,7623	1,5431
	510	1	-3,28	334,413979	0,9033	0,0967	0,9033	12,0516	1,3513
	505	1	7,03	385,970899	0,9441	0,0559	0,9441	8,9628	1,0050

Tablo 5. 4. Ağın hassasiyet ve güvenilirlik ölçütleri (2.Grup ağırlık)

DN	BN	P	V _i (cc)	Den.Doğ.	Q _{vivi}	Q _{lili}	r _i	$\Delta_{\theta_i}^{\infty}$	δ_{θ_i}
510	600	0,6500	3,14	0,000000	1,1654	0,3731	0,7575	7,7669	2,3367
	503	0,6500	2,24	21,536765	1,1444	0,3941	0,7439	8,0554	2,4235
	506	0,6500	-1,14	79,444717	0,8352	0,7033	0,5429	12,597	3,7898
	505	0,6500	-4,24	383,358287	0,9319	0,6066	0,6057	11,075	3,332
505	600	0,2160	3,43	0,000000	2,9908	1,6388	0,646	17,628	3,0572
	506	0,2160	-5,40	68,962662	3,9477	0,6819	0,8527	9,8974	1,7165
	510	0,2160	1,97	121,319178	3,5741	1,0555	0,772	12,941	2,2444
503	501	0,0950	-1,48	0,000000	8,7217	1,8046	0,8286	16,334	1,8786
	4	0,0950	-4,70	41,707906	9,6193	0,907	0,9138	11,026	1,2682
	502	0,0950	9,30	69,625112	9,5718	0,9545	0,9093	11,339	1,3042
	506	0,0950	9,99	107,531329	9,4358	1,0905	0,8964	12,207	1,404
	510	0,0950	-14,65	155,462225	9,2014	1,3249	0,8741	13,626	1,5672
	600	0,0950	1,54	203,976569	7,452	3,0743	0,7079	23,064	2,6527
4	502	0,4560	-3,30	0,000000	1,3033	0,8897	0,5943	13,541	3,4123
	506	0,4560	0,76	43,284155	1,8459	0,3471	0,8417	7,1069	1,7909
	503	0,4560	1,65	85,546382	1,7047	0,4883	0,7773	8,7717	2,2104
	501	0,4560	0,89	167,145603	1,311	0,882	0,5978	13,443	3,3875
502	506	0,2990	0,93	0,000000	2,5273	0,8172	0,7557	11,509	2,3484
	503	0,2990	-8,10	39,826045	2,8862	0,4583	0,863	8,0653	1,6457
	4	0,2990	7,17	126,362456	2,2204	1,1241	0,6639	14,401	2,9386
501	4	2,1630	-0,30	0,000000	0,235	0,2273	0,5083	7,4013	4,062
	506	2,1630	0,39	44,154774	0,3502	0,1121	0,7575	4,258	2,3369
	503	2,1630	-0,09	76,692874	0,2845	0,1778	0,6154	5,9494	3,2651
600	503	0,1430	4,28	0,000000	4,7248	2,2682	0,6756	20,278	2,8615
	506	0,1430	-0,15	74,979347	6,0045	0,9885	0,8586	11,875	1,6757
	510	0,1430	1,99	129,948891	5,8308	1,1622	0,8338	13,067	1,8439
	505	0,1430	-6,12	191,988000	4,5926	2,4004	0,6567	21,159	2,9858
506	600	0,0651	10,43	0,000000	14,2588	1,1022	0,9282	12,06	1,1482
	503	0,0651	-7,18	28,575413	14,1739	1,1871	0,9227	12,553	1,1952
	501	0,0651	-11,83	88,505985	13,9947	1,3663	0,9111	13,553	1,2904
	4	0,0651	-1,62	120,489762	14,0033	1,3577	0,9116	13,507	1,286
	502	0,0651	-1,81	150,843152	12,8379	2,5231	0,8357	19,23	1,8309
	510	0,0651	0,18	334,414261	13,19	2,171	0,9033	17,158	1,3513
	505	0,0651	11,83	385,971315	14,1391	1,2219	0,9205	12,752	1,2141

DN	BN	Pi	Den.Kenar	Vi(mm)	Qvivi	Qlili	ri	Δ_0 (cm)	δ_0
510	506	2,788	1494,5384	3	2,109E-01	0,1478	0,588	5,5485	3,4572
	505	2,821	1476,9946	-1	2,384E-01	0,1161	0,6725	4,5982	2,8819
	600	2,464	1685,8878	-12	3,024E-01	0,1034	0,7451	4,1238	2,4155
	503	1,851	2176,5932	14	4,186E-01	0,1216	0,7748	4,3853	2,2264
505	600	6,508	461,3285	-16	7,340E-02	0,0803	0,4777	4,5365	4,3186
	506	2,001	2035,6638	-4	4,006E-01	0,0992	0,8016	3,8924	2,0547
600	506	2,208	1864,6458	-4	3,719E-01	0,081	0,8212	3,476	1,9274
	503	4,685	810,4075	-3	9,790E-02	0,1155	0,4587	5,555	4,4868
503	506	2,404	1725,1657	21	3,480E-01	0,068	0,8366	3,1548	1,8253
	502	1,374	2767,7223	19	5,738E-01	0,154	0,7884	4,8915	2,1396
	4	1,367	2777,3306	-12	5,376E-01	0,1939	0,7349	5,6854	2,4805
501	506	1	3502,262	16	7,957E-01	0,2043	0,7957	5,6081	2,0927
	4	2,282	1812,2606	-8	2,033E-01	0,2349	0,4639	7,8755	4,4395
502	506	2,52	1952,3705	-1	2,393E-01	0,1575	0,603	5,6566	3,3508
	4	3,416	1206,136	7	1,034E-01	0,1893	0,3532	8,1032	5,5887
4	506	1,639	2406,0162	-22	4,549E-01	0,1552	0,7456	5,05	2,4126

Ağın hassasiyetini belirlemek için her noktanın hata elipslerinin elemanları hesaplanmıştır (Tablo 5.5,6).

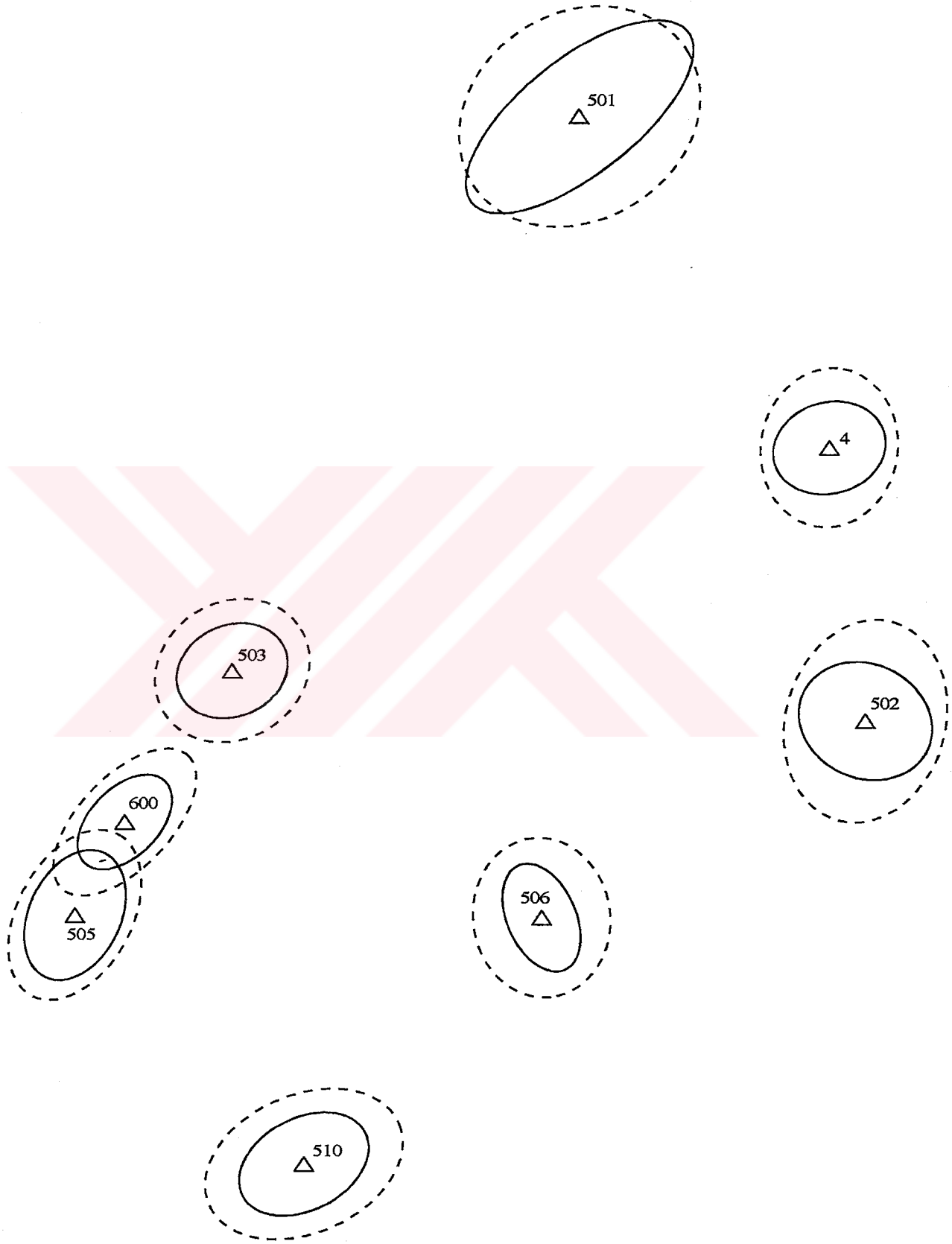
Tablo 5.5. Koordinatlar için doğruluk kriterleri (1.Grup ağırlık)

NOKTA NO	MX (m)	MY (m)	MP (m)	HATA ELİPSİ		
				AÇIKLIK(g)	A (m)	B (m)
501	0.009	0.010	0.013	57.1935	0.012	0.005
4	0.004	0.005	0.007	82.6715	0.005	0.004
502	0.005	0.006	0.008	126.3557	0.006	0.005
503	0.004	0.005	0.007	74.1961	0.005	0.004
506	0.005	0.004	0.006	173.4996	0.005	0.003
600	0.004	0.004	0.006	49.8587	0.005	0.003
510	0.004	0.005	0.007	69.8917	0.006	0.004
505	0.006	0.004	0.007	28.6282	0.006	0.004

Tablo 5.6. Koordinatlar için doğruluk kriterleri (2.Grup ağırlık)

NOKTA NO	MX (m)	MY (m)	MP (m)	HATA ELİPSİ		
				AÇIKLIK(g)	A (m)	B (m)
501	0.009	0.010	0.014	64.9092	0.011	0.009
4	0.007	0.006	0.010	10.8378	0.007	0.006
502	0.009	0.007	0.011	17.5724	0.009	0.007
503	0.006	0.007	0.009	65.3398	0.007	0.006
506	0.007	0.006	0.009	192.5011	0.007	0.006
600	0.006	0.006	0.009	48.4656	0.008	0.004
510	0.007	0.009	0.011	74.7821	0.009	0.006
505	0.008	0.006	0.010	31.5898	0.008	0.005

Tablo 5. 5. ve tablo 5.6'daki değerler kullanılarak noktaların hata elipsleri çizilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Hata elipsleri

Serbest dengeleme sonucunda bulunan koordinatlar Helmert dönüşümü ile GPS koordinatlarına dönüştürülmüştür. Dönüşümde GPS koordinatları ve klasik ölçme sonucunda belirlenen dengelenmiş 7 noktadan yararlanılmıştır. 1.Grup ağırlıklar için ;

$$m_0=4.7374 \text{ cm} , \lambda=0.99999716 , \varphi=399^g.999972$$

2.Grup ağırlıklar için;

$$m_0=4.4744 \text{ cm} , \lambda=0.99999857 , \varphi=399^g.9999715$$

Her iki grup ağırlıklar için uyumsuz nokta tesbiti yapılmış ve uyumsuz noktaya rastlanmamıştır.

Tablo 5.7. Uyumsuz nokta testi (1.Grup ağırlıklar)

NN	qi	T	C	KARAR
501	0,571924	1,003748	2,234065	UYUŞUMLU
4	0,711228	1,345438	2,234065	UYUŞUMLU
502	0,744389	1,215822	2,234065	UYUŞUMLU
503	0,803622	0,910624	2,234065	UYUŞUMLU
505	0,685906	0,591627	2,234065	UYUŞUMLU
506	0,819706	1,000492	2,234065	UYUŞUMLU
510	0,663224	0,68252	2,234065	UYUŞUMLU

Tablo 5. 8. Uyumsuz nokta testi (2.Grup ağırlıklar)

NN	qi	T	C	KARAR
501	0,571923	1,126243	2,234065	UYUŞUMLU
4	0,71123	1,210128	2,234065	UYUŞUMLU
502	0,744388	1,160415	2,234065	UYUŞUMLU
503	0,803621	0,815773	2,234065	UYUŞUMLU
505	0,685909	0,48546	2,234065	UYUŞUMLU
506	0,819706	1,196285	2,234065	UYUŞUMLU
510	0,663224	0,737916	2,234065	UYUŞUMLU

Kenar karşılaştırması yapmak amacıyla GPS koordinatlarından hesaplanan kenarlar ile, klasik ölçme sonucundaki dengelenmiş kenarlar karşılaştırılmıştır (Tablo5.9,10).

Tablo 5.9. GPS kenarları ile dengelenmiş kenarların karşılaştırılması (1.Grup ağırlıklar).

DN	BN	GPS Ken.	Den.Ken.	Fark(m)
501	506	3502,247955	3502,2569	-0,00895
4	501	1812,175946	1812,2639	-0,08795
	506	2406,014099	2406,0255	-0,0114
502	4	1206,156061	1206,1306	0,025461
	506	1652,477571	1652,3735	0,104071
503	4	2777,306508	2777,3403	-0,03379
	502	2767,826831	2767,711	0,115831
	506	1725,148006	1725,1499	-0,00189
505	506	2035,569165	2035,6685	-0,09933
510	503	2176,622064	2176,5884	0,033664
	505	1477,000881	1476,9945	0,006381
	506	1494,47463	1494,5366	-0,06197

Tablo 5.10. GPS kenarları ile dengelenmiş kenarların karşılaştırılması (2.Grup ağırlıklar).

DN	BN	GPS Ken.	Den.Ken.	Fark(m)
501	506	3502,247955	3502,262	-0,01405
4	501	1812,175946	1812,2606	-0,08465
	506	2406,014099	2406,0162	-0,0021
502	4	1206,156061	1206,136	0,020061
	506	1652,477571	1652,3705	0,107071
503	4	2777,306508	2777,3306	-0,02409
	502	2767,826831	2767,7223	0,104531
	506	1725,148006	1725,1657	-0,01769
505	506	2035,569165	2035,6638	-0,09463
510	503	2176,622064	2176,5932	0,028864
	505	1477,000881	1476,9946	0,006281
	506	1494,47463	1494,5384	-0,06377

6. SONUÇ

GPS ile gerek mutlak gerekse relatif olarak üç boyutta konum belirlenebilmekte ve çok duyarlı sonuçlar elde edilmektedir. GPS ile elde edilen koordinatlar WGS-84 sistemindedir. Bu sistemdeki koordinatların ülke sistemine dönüştürülmesi gerekir. Dönüşüm için çalışma alanında ülke sisteminde koordinatları belli en az üç nokta ölçü planına dahil edilmelidir.

Konya metropolitan alanda Konya Büyükşehir Belediyesi ve Selçuk Üniversitesi işbirliği ile yapılan GPS ölçmelerinde 40 nokta statik, 209 noktada da hızlı-statik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada bu ağın bir bölümü test ağı olarak kullanılmıştır. Test ağı 7 tanesi GPS noktası olmak üzere 8 noktalıdır. Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği Hükümlerine göre doğrultu , kenar ölçmeleri ve indirgemeleri yapılmıştır. Ağın hassasiyetini gerçekçi bir şekilde yansıtmaları nedeniyle ölçüler en küçük kareler yöntemine göre serbest dengeleme ile dengelenmiştir. Dengelemede iki farklı ölçü ağırlığı kullanılmıştır. Üçgen kapanmalarından yararlanarak hesaplanan bir doğrultunun karasel ortalama hatası $m_d = \pm 7^{\circ}.77'$ dir. Kenar ağırlıkları için ölçmede kullanılan Sokkisha SET 2 elektronik takeometresinin uzunluk ölçme hassasiyetini veren $m_s = \pm (3+2\text{ppm.D})$ bağıntısından yararlanılmıştır. Doğrultu ağırlıkları 1 olacak şekilde kenar ağırlıkları hesaplanmıştır. 1. grup ağırlıklarla yapılan dengelemede karesel ortalama hata $8^{\circ}.92$ olarak bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır. Test ağının dengelenmesiyle birlikte ölçülerin birbirlerini karşılıklı olarak kontrol edebilme yetenekleri olarak belirtilen kısmi redundanzlar kenarlar için $0.11 \leq r_i \leq 0.59$, doğrultular için $0.71 \leq r_i \leq 0.99$ arasındadır. Bir ölçüdeki kaba hatanın istatistik testlerle ortaya çıkarılabilmesi için hangi büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösteren iç güvenilirlik ölçütü kenarlar için $2.65 \leq \Delta_{oi} \leq 7.02$ cm , doğrultular için $4.41 \leq \Delta_{oi} \leq 23^{\circ}.31$ sınırları arasındadır. Herhangi bir l_i ölçüsündeki tesbit edilemeyen ölçü hatalarının koordinat bilinmeyenlerine etkisini gösteren dış güvenilirlik ölçütü kenarlar için $3.46 \leq \bar{\delta}_{oi} \leq 11.46$, doğrultular için $0.49 \leq \bar{\delta}_{oi} \leq 2.61$ arasındadır. 1. grup ağırlıklar kullanılarak hesaplanan nokta koordinatları Helmert dönüşümü ile GPS ölçmeleri sonucunda bulunan ülke sistemindeki koordinatlara dönüştürülmüştür. Dönüşümde uyuşumsuz noktaya rastlanmamıştır. Dönüşümün ortalama hatası 4.73 cm'dir. Ölçek faktörü $\lambda = 0.99999716$ ve ölçek uyuşumsuzluğu yoktur. Dengelenmiş kenarlar ile bilinen uzunluklar karşılaştırılmıştır. Fark maksimum 11 cm'dir.

2.grup dengelemede ağırlıklar, doğrultu ağırlıklarının belirlenmesinde istasyon dengelemesi sonucunda bulunan bir doğrultunun ortalama

hatasından ve elektronik takeometrenin uzunluk ölçme hassasiyetinden yararlanarak hesaplanmıştır. Serbest dengeleme sonucunda kısmi redundanz kenarlar için $0.46 \leq r_i \leq 0.82$, doğrultular için $0.51 \leq r_i \leq 0.93$ 'dir. İç güvenilirlik ölçütü kenarlar için $3.15 \leq \Delta_{oi} \leq 8.1$ cm , doğrultular için $4.26 \leq \Delta_{oi} \leq 23''$.06'dir. Dış güvenilirlik ölçütü kenarlar için $1.83 \leq \bar{\delta}_{oi} \leq 5.59$, doğrultular için $1.15 \leq \bar{\delta}_{oi} \leq 3.79$ arasındadır. 2.grup ağırlıklarla hesaplanan nokta koordinatları da Helmert dönüşümü ile GPS ölçmeleri sonucu bulunan ülke sistemindeki koordinatlara dönüştürülmüştür. Dönüşümde uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır. Dönüşüm ortalama hatası 4.47 cm'dir. Ölçek faktörü $\lambda=0.99999837$ olup ölçek uyuşumsuzluğu yoktur. Dengelenmiş kenarlar ile bilinen uzunlukların karşılaştırılması sonucunda en büyük fark 11 cm'dir. Yapılan her iki grup dengeleme sonucunda hata elipsleri çizilmiştir. Her iki grup ağırlıklarla yapılan dengeleme sonucu bulunan koordinatları Helmert dönüşümüyle , dönüşüm sonucu bulunan ortalama hatanın 5 cm'den küçük olduğu ve ölçek farklılığı olmadığı görülmektedir.

GPS teknikleriyle üç boyutta ağ kurmak ve sıklaştırmak klasik yöntemle göre hızlı, daha az zahmetli, ölçmeler doğa şartlarına daha az bağımlı ve daha hassastır. Kullanılan aletlerin maliyeti dışında daha ekonomiktir.

7. KAYNAKLAR

- Aksoy, A. , 1884. Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Harita Dergisi, Sayı 93, Sayfa 1-27, Ankara.
- Altınar, Y. , 1992. Global Pozisyon Belirleme Sisteminin (GPS) Ana Hatları, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı 71, Sayfa 9-53, Ankara.
- Anonymous, 1988. Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği, Ankara.
- Cross, P.A., 1991. The Impact of GPS Technology On Surveying and Mapping, 4'th South East Asian Survey Congress, Kuala Lumpur ,June 3-7. p15/p15-13.
- Eren, K. , Uzel, T. 1995. GPS Ölçmeleri , Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası İstanbul.
- Ersoy, N. 1995, Uydu Teknikleri İle Konum Belirleme, Mühendislikte 20. Yıl Sempozyumu , Zonguldak.
- İnal, C., 1989. Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı 1,Konya.
- İnal, C. , 1994. Dengelemede Özel Konular, Yüksek Lisans Ders Notları, Konya.
- Johansson, J.M., 1992. A Study of Precise Position Measurements Using Space Geodetic Systems, Technical Report No.229, School of Electrical And Computer Engineering. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.

- Karaali, C. , Gökalp, E. 1994. GPS Gözlemleri, KTÜ. Müh. Mim. Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Trabzon.
- Kınık, İ. , Şahin, K. ve Şanlı, İ.,1993. Ankara Test Ağında GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi, Harita Dergisi, Sayı 110, sayfa 6-36 , Ankara.
- King,R.W., Masters, E., Rizos, C., Stolz, A., Cooins,J.,1985. Surveying with Global Positioning System-GPS, Dümmler.
- Murle, M., Bill,R., 1984. Zuverlaessigkeit-und Genauigkeitsuntersuchung ebener Geodaetischer Netze, AVN 2.
- Öztürk, E., Şerbetçi, M. , 1992. Dengeleme Hesabı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 3, Sayfa 388-394, 488-492, Trabzon.
- Paul, A. , Şahin, M. , 1993. GPS'in Modern Ölçme Tekniğindeki Uygulamaları, 4. Harita Kurultayı , Sayfa 342-364, Ankara.
- Uzel, T. , 1990. GPS Uydular Yardımıyla Konum Belirleme Ders Notu, Sayfa 66-72 , İstanbul.
- Yıldız, F. , 1994, Konum Belirleme Teknikleri Ders Notu, Konya.