68873

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS İLE NİRENGİ AĞI SIKLAŞTIRMASINDA UYGUN YÖNTEMİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. M. Halis SAKA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Haziran 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Kasım 1997

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ersoy ARSLAN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ahmet AKSOY

Prof. Dr. Rasim DENİZ

Prof. Dr. Onur GÜRKAN

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

KASIM 1997

ÖNSÖZ

"GPS ile Nirengi Ağı Sıklaştırmasında Uygun Yöntemin Araştırılması" konusundaki bu çalışmada değerli katkılarından dolayı danışman hocam sayın Doç. Dr. Ersoy Arslan'a ve fikirlerinden yararlandığım Prof. Dr. Rasim Deniz ve Prof. Dr. Ahmet Aksoy'a, tez ile ilgili ölçme çalışmalarına alıcıları ile destek veren Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'ne ve sayın Prof. Dr. İbrahim Baz'a teşekkürlerimi sunarım. Ölçmelerde büyük bir gayretle bana yardımcı olan Dr. Gökalp Alanko ve Refik Tartar 'a da ayrıca teşekkür ederim.

Bana manevi desteklerini esirgemeyen eşim Ümran'a, değerli arkadaşlarım Abdusselam'a, Suat'a ve Ahmet'e teşekkürlerimi sunarım.

M. Halis SAKA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii

ŞEKİL LİSTESİ vi

TABLO LİSTESİ viii

ÖZET x

SUMMARY xi

BÖLÜM 1: GİRİŞ 1

BÖLÜM 2: GPS UYDU SİTEMİ 5

2.1 Sistemin Çalışma Esasları 5

2.2 Uluslararası GPS Servisi (IGS) 9

2.3 GPS Ölçüleri ve Değerlendirme İlkeleri 10

2.3.1 Kod Ölçülerinin Değerlendirilmesi (Navigasyon Çözümü) 10

2.3.2 Taşıyıcı Dalga Fazının Ölçülmesi ve Modellendirilmesi 11

2.3.2.1 Taşıyıcı Dalganın Tanımı 11

2.3.2.2 Temel Ölçü Büyüklüğünün Tanımlanması 12

2.3.3 Ölçü Farklarıyla Yeni Ölçü Gruplarının Oluşturulması 16

2.3.4 L1 ve L2 Taşıyıcı Dalgalarının Lineer Kombinasyonları 19

2.3.5 GPS ile Jeodezik Amaçlı Konum Belirleme Yöntemleri 20

BÖLÜM 3: GPS ÖLÇÜLERİ VE SONUÇLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER 26

3.1 Atmosferik Etkiler 26

3.1.1 İyonosferin Sonuçlara Etkisi 27

3.1.2 Troposferin Sonuçlara Etkisi 28

3.2 Yansıma (multipath) Etkisi 29

3.3 Anten Faz Merkezi Kayıklığı 30

3.4 Uydu Geometrisi.....30
3.5 Yörüngenin Etkisi.....30
3.6 Değerlendirmede Sabit Alınan Noktanın Koordinatlarının Etkisi.....32
BÖLÜM 4: GPS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve
SONUÇLARIN ANALİZİ.....33
4.1 Baz Vektörlerinin Değerlendirilmesi.....33
4.2 Uyuşumsuz Ölçülerin Üçlü Gruplar Şeklinde İrdelenmesi.....36
BÖLÜM 5: GPS SİSTEMİ ile YERSEL SİSTEM ARASINDA DÖNÜŞÜM.....41
5.1 İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü.....43
5.2 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü Yöntemleri.....45
5.3 Dönüşümlerin Dengelemesi.....51
5.3.1 Uyuşumsuz Ölçülerin İrdelenmesi.....51
5.3.2 Dönüşüm Parametrelerinin Test Edilmesi.....52
BÖLÜM 6: UYGULAMA.....54
6.1 İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı.....54
6.2 GPS Ağı ve Ölçmeler.....55
6.3 Farklı Yazılımlarla Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....58
6.3.1 Bernese GPS Yazılımı ile Yapılan Değerlendirmeler.....58
6.3.2 Prism Yazılımı ile Yapılan Değerlendirmeler.....60
6.3.3 SKI Yazılımı ile Yapılan Değerlendirmeler.....62
6.4 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesinde Sistematik Etkiler ve Sonuçları..63
6.4.1 İyonosferin Etkisi.....63
6.4.2 Yayın ve Presizyonlu Yörünge Bilgilerine Göre
Bulunan Sonuçlar.....65
6.4.3 Sabit Alınan Noktanın Koordinatlarının Sonuçlara Etkisi.....66
6.5 Hızlı Konum Beirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....67

6.6 Statik Yöntemle Konum Belirlemede Ölçme Süresi ve
Uydu GeometrisininSonuçlara Etkisi....71
6.7 GPS ve Yersel Sistem Koordinatları Arasında Dönüşüm....72
6.7.1 Üç Boyutlu Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması....74
6.7.2 Üç Boyutlu Dönüşümlerde Uyuşumsuz Ölçülerin İrdelenmesi....76
6.7.3 GPS Ölçülerinin Yersel Sisteme Dönüştürülmesi....77
6.8 Yersel Ağdaki Distorsiyonların Dönüşüm Sonuçlarına
Etkisinin İncelenmesi....84
BÖLÜM 7: SONUÇ ve ÖNERİLER....89
KAYNAKLAR....91
EKLER....99
ÖZGECMİŞ....105

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa no

Şekil 2.1 GPS kontrol bölümü....5

Şekil 2.2 GPS uydu sistemi....6

Şekil 2.3 GPS ' de kod ve taşıyıcı dalga (şematik olarak)....7

Şekil 2.4 IGS sürekli izleme istasyonları....10

Şekil 2.5 Tek fark için uydu ve alıcı geometrisi....16

Şekil 2.6 İkili fark için uydu ve alıcı geometrisi....17

Şekil 2.7 Üçlü fark için uydu ve alıcı geometrisi....18

Şekil 2.8 SIGMA yöntemine göre başlangıç faz belirsizliğinin çözümü....21

Şekil 2.9 Tek oturumlu hızlı statik konum belirleme....22

Şekil 2.10 İki oturumlu hızlı statik konum belirleme....23

Şekil 2.11 Kinematik konum belirlemede bilinen bir bazdan ölçmelere başlamak....24

Şekil 2.12 Anten yerdeğişimi yöntemi....25

Şekil 5.1 İki boyutlu benzerlik dönüşümü....43

Şekil 5.2 ($\underline{R}w(\omega)\underline{R}v(\psi)\underline{R}u(\varepsilon)$) Dönme açıları ve $\underline{T}$ öteleme vektörü....47

Şekil 6.1 İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı kanavası ve GPS ölçmesi yapılan noktalar..56

Şekil 6.2 Bernese ve Prism yazılımlarıyla bulunan sonuçların farkları....62

Şekil 6.3 L1 (iyonosferik model yok) ve L3 çözümlerinin farkları (L1 çözümü-L3 çözümü), Bernese programı ile....64

Şekil 6.4 L1 (iyonosferik model ile) ve L3 çözümlerinin farkları (L1 çözümü-L3 çözümü), Bernese programı ile....65

Şekil 6.5 Yayın (broadcast) ve IGS presizyonlu yörünge bilgileri ile çözümlerin farkları....65

Şekil 6.6 İ.T.Ü. kampüsü test poligonu (şematik)....68

Şekil 6.7 Hızlı statik ve statik başlangıçlı kinematik yöntemin farkları.....70

Şekil 6.8 P ölçme noktasının WGS 84 ve Hayford elipsoidleri üzerine izdüşümleri.....74

Şekil 6.9 İ.T.Ü. Kampüsü test ağında GPS yersel sıklaştırma çalışmalarının farkları.....81

Şekil 6.10 Noktaların sağa değerlerinin farkları (GPS ile elde edilen değer-yersel değer)83

Şekil 6.11 Noktaların yukarı değerlerinin farkları (GPS ile elde edilen değer-yersel değer).....83

Şekil 6.12a Yersel ağın dayalı ve serbest dengeleme sonuçları ile ayrı ayrı elde edilen dönüşüm parametrelerinin ağın doğu ucuna uygulanması.....85

Şekil 6.12b Yersel ağın dayalı ve serbest dengeleme sonuçları ile ayrı ayrı elde edilen dönüşüm parametrelerinin ağın doğu ucuna uygulanması.....86

Şekil 6.13a Yersel sistemle GPS sistemi arasındaki ölçek farkları.....87

Şekil 6.13b Yersel sistemle GPS sistemi arasındaki ölçek farkları.....87

TABLO LİSTESİ

Sayfa no

Tablo 2.1 GPS Sisteminin Temel karakteristik özellikleri.....7

Tablo 3.1 Atmosferin genel olarak sınıflandırılması.....27

Tablo 3.2 Test sonuçlarına göre bazı yüzeyler için yansıtma katsayıları 29

Tablo 3.3 Yörünge hatalarının ölçülen bazlara etkisi.....31

Tablo 6.1 GPS ölçmesi yapılan noktaların ülke sistemindeki koordinatları.....55

Tablo 6.2 Ölçmelerin yapılış zamanları ve özet bilgiler.....58

Tablo 6.3a Prism yazılımı ile elde edilen vektörlerin dengelemesi.....61

Tablo 6.3b Prism yazılımı ile elde edilen vektörlerin dengelemesi.....61

Tablo 6.3c Prism yazılımı ile elde edilen vektörlerin dayalı dengelenmesi.....62

Tablo 6.4 Prezisyonlu yörünge bilgileri ve yayın (broadcast) yörünge bilgileri kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında Helmert dönüşümü.....66

Tablo 6.5 Ağın çözümünde sabit alınan noktanın sonuçlara etkisi.....67

Tablo 6.6 İ.T.Ü Kampüsü test ağı yersel koordinatları.....68

Tablo 6.7 İ.T.Ü Kampüsü statik başlangıçlı kinematik ölçme sonuçları özeti.....69

Tablo 6.8 İ.T.Ü Kampüsü anten yerdeğişimi ile kinematik konum belirleme yöntemi değerlendirme sonucu.....69

Tablo 6.9 İ.T.Ü Kampüsü hızlı statik konum belirleme yöntemi sonuçları.....70

Tablo 6.10a En iyi ve enkötü PDOP-GDOP değerlerinin olduğu 5 dakikalık zaman dilimleri.....71

Tablo 6.10b Farklı geometri ve farklı sürelerde ölçülerin değerlendirilmesi.....72

Tablo 6.11 Üç boyutlu dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması.....75

Tablo 6.12 Değişik dönüşüm yöntemleri ile bulunan düzeltme değerleri.....76

Tablo 6.13 Üç boyutlu dönüşümde uyuşumsuz ölçü testi.....77

Tablo 6.14 İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümüne ilişkin sonuçlar.....78

Tablo 6.15a Moledensky-Bedekas yöntemine ilişkin dönüşüm sonuçları.....79

Tablo 6.15b Moledensky-Bedekas yöntemine ilişkin dönüşüm sonuçları.....79

Tablo 6.16a 10 parametreli afin dönüşüm sonuçları.....80

Tablo 6.16b 10 parametreli afin dönüşüm sonuçları.....80

Tablo 6.17 Ağın doğu kesimindeki noktalarla iki boyutlu benzerlik dönüşümü.....81

Tablo 6.18 Ağın tüm eşlenik noktalarla iki boyutlu benzerlik dönüşümü.....82

Tablo 6.19 Yersel sistemin serbest dengeleme sonuçları ile GPS koordinatlarının iki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü sonuçları.....85

Tablo A.1 İstanbul GPS ağı L3 çözümü (Bernese yazılımı) koordinat özeti.....99

Tablo A.2 İstanbul GPS ağı L3 çözümü (Bernese yazılımı) koordinat özeti.....100

Tablo A.3 İstanbul GPS ağının doğu bölgesi noktaları L1 çözümü (Bernese yazılımı) koordinat özeti.....100

Tablo B.1 İstanbul GPS ağı L1 çözümü (İyonosferik düzeltme olmadan Bernese yazılımı) koordinat özeti.....101

Tablo B.2 İstanbul GPS ağı L1 çözümü (İyonosferik düzeltme ile Bernese yazılımı) koordinat özeti.....102

Tablo C.1 İyonosfer etkisi açısından L1 ve L3 çözümlerinin Helmert dönüşümü ile karşılaştırılması (L1 çözümü için iyonosferik düzeltme kullanılmadan)....103

Tablo C.2 İyonosfer etkisi açısından L1 ve L3 çözümlerinin Helmert dönüşümü karşılaştırılması (L1 çözümüne iyonosferik düzeltme getirilmiş).....104

ÖZET

Bu çalışmada GPS ile nirengi ağlarının sıklaştırılması incelenmiş ve günümüz koşullarında Türkiye'de uygulanabilecek ölçme ve değerlendirme yöntemleri için öneriler getirilmiştir. GPS ile ilgili bilgiler genel olarak verilmiş, ölçmelerde sonuçları etkileyen hata kaynakları araştırılmış ve bunları gidermek için izlenmesi gereken yol belirtilmiştir. Doğru sonuçları elde edebilmek için, ölçülerin değerlendirilmesinde yapılması gereken işlemler adım adım açıklanmıştır. Farklı yazılımların değerlendirme yetenekleri incelenmiş, bu yazılımlarla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uydu yayın yörünge bilgileri ve prezisyonlu yörünge bilgileri ile yapılan değerlendirmelerin sonuçlara etkisi incelenmiş, sıklaştırma çalışmalarında yayın yörünge bilgilerinin yeterli olacağı görülmüştür. GPS baz çözümü sonuçlarının dengelenmesi ve sonuçların ne şekilde test edileceği belirtilmiştir. Elde edilen GPS sonuçlalarının yersel sisteme dönüşümünde, eşlenik noktaların seçimi ve dönüşüm işlemindeki sorunlar incelenmiş ve distorsiyonlu ağlarda uygulama esasları açıklanmıştır. Ayrıca GPS ile oluşturulması gereken Ülke Temel Ağı için değerlendirme ve uygulama esasları önerilmiştir.

SUMMARY

THE SEARCH OF SUITABLE METHODS FOR DENSIFICATION OF GEODETIC NETWORKS WITH GPS

The main objective in geodesy is to construct a nationwide network and to densify the network for various purposes. Traditionally, the objective mentioned above is accomplished with the measurement of angles and distances by classical instruments. It is obvious that the classical technique depends on inter visibility between the points and atmospheric conditions. Moreover, measuring with the classical technique may not be convenient for night time.

In order to accomplish the same objective, one can also use the Global Positioning System (GPS), which is introduced at the end of the 1960's. At this point, we note that GPS get rid of most of the disadvantages of the classical techniques. That is, GPS measurements are independent of all whether conditions, visibility condition between the points is not required, and day-and-night measurements are possible. Because of the advances in the satellite manufacturing technologies and new established satellite systems, GPS has became so popular since 1980. Other important reasons for GPS being common are the following:

- GPS is quite proper in determining the precise positioning of a geodetic points.

- GPS is an extremely effective method for densification of the geodetic network.

- GPS measurements are not affected from the personal errors in contrast to the classical measurements.

• GPS is the most economical and the fastest way of positioning geodetic points.

Therefore, GPS strongly supports network densification. To summarize, GPS supports all three dimensional positioning.

Classical geodetic networks are the main reference systems in national applications. GPS measurement technique supports these systems without using classical techniques. At this point, it is very important to note that these two methods have their own coordinate systems. In order to obtain national system coordinates with GPS, the transformations of the coordinate systems between these two (Classical technique and GPS) are unavoidable.

There are some major geodetic problems in Istanbul that many local reference coordinate systems are in use. Whereas, there should be one unique reference coordinate system. In addition, the transformations among these coordinate systems have not yet developed fully. Apart from these, each local reference coordinate system has a large distortion even in close regions.

In 1987, a sophisticated geodetic work has been done for establishing a precise geodetic network, Istanbul Metropolitan Network (IMN) in national datum (the average positioning rms. is less then 3cm) The work mentioned above was directed by A. Aksoy.

In this work, firstly, we computed the transformation parameters with the minimum set of GPS measurements for different models. Secondly, we tested them in the different part of the network. Thirdly, we discussed the best way of accomplishing this objective.

For detail analysis of the GPS methods, we use IMN. IMN based on the 12 known points and 159 new points in the national datum. The maximum point positioning rms of the national datum is less then 3cm. On the other hand, there is no precise height

information. Here, the height computed from zenith angles measurements. Fortunately, a few points of the network are constructed by spirit leveling based on national vertical datum. Also, except two points, there is no precise knowledge about geoid height in the national datum. The name of these points are 34056 and 34071.

When we tried to obtain GPS measurements at these points, the measurements was not successfully performed at the point 34071 due to the bad sky visibility and telecommunication antennas, which were surrounding the point.

We made measurements at 6 points of the network as a closed traverse by means of two Ashtech Z XII receivers. These receivers can receive L1 and L2 frequencies transmitted from the satellites.

In 1995, we measured 9 baseline from 051 GPS day 055 GPS day. The length of the shortest baseline is about 11 km and the longest one is a little more than 30 km. The measurements at each point, lasted from 1 hour to 2 hours, were performed in day time while at least 4 satellites were visible. Except the points 34056, 34052, and 34013, the antennas mounted on the pillars. At these points a tribrach was used and the antenna height was measured precisely(about 1 mm). Atmospheric measurements of atmospheric pressure, dry and wet temperature were performed at the beginning and at the end of the each session.

In order to test the transformation results, which are one of the major parts of this study, 4 additional network points are included and 1 hours GPS measurements were performed at these 4 points. These points are numbered as 34220, 34218, 34121 and 34112.

In addition, a kinematics measurements campaign has been performed for the test network, located in ITU campus. The procedure of static initialization, antenna swapping and rapid static were performed as initial measurements. The kinematics data obtained from these three ways is processed with Prism software.

Post processing was performed with two different software; Bernesee version 3.5 and Ashtech Prism. The results are shown in Section 6 explicitly. From these results, we notice that there is no difference in baseline component results using the atmospheric measurements in the standard atmosphere condition for troposphere corrections. Although the L1 solutions with two software are the same, L3 solutions with these two software resulted some small differences.

The L3 solutions is performed as campaign solution using broadcast ephemerides and IGS precise ephemerides. The result, given in section 6, shows that there is no difference using precise and broadcast ephemerides. There is only a few mm difference and a little good rms when the precise ephemerides solution results are used.

The L1 solution obtained with ionosphere model correction is compared to L3 solution. It is found that there is a difference of maximum 9 mm in the Cartesian coordinates. Moreover, the L1 solution obtained without ionosphere model correction is compared to L3 solution and it is seen that there is a difference of 2.4 cm in the Cartesian coordinates.

The L3 solutions with precise ephemerides were used for other applications as datum transformation. The datum transformation is achieved successfully in two and three dimensions. The following transformation methods were used between the GPS system and the local geodetic system. A similarity transformation is used in two dimension and the following three dimensional methods are examined and compared each other:

- Bursa-Wolf method
- Moledenski-Bedekas method
- 10 parameter Affine method
- Veis method

The result obtained by using two and three dimensional transformation methods are almost the same.

As is known, for the densification process, one must sure that the known points in both systems (namely, GPS and local system) have to enclose the new constructed points. If this is the case, the transformation works quite well. Otherwise, which is the case when the new points are outside the network, the transformation parameters, obtained earlier, should be applied to the GPS vectors instead of GPS coordinates. Here, the GPS vector are defined as the vector from the known point to the measured new point. The transformation process which is defined above, is completed by adding transformed vectors to the related known local coordinate.

In addition, one should use a test technique for detecting the outliers. For this purpose, we examined and compared the existing outlier detection methods and we observed that detecting the outliers in transformation is quite difficult problem. Because a coordinate has two or three components (x, y) or (x, y, z) respectively and if only one component of a coordinate is detected as an outlier, what should be the strategy whether this point is included or excluded from the solution. Benning introduced a test method based on the Kock's idea for two dimensional coordinate transformation. We extended and developed this idea to the test method for three dimensional coordinate transformation. We thus obtained a straight forward strategy of detecting the ouliers for three dimensional coordinate transformation.

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Bütün jeodezik çalışmaların amacı, yeryuvarının yüzeysel biçiminin ve yeryuvarı gravite alanının yapısının kapsamlı olarak tanımlanması ve bunların zamana bağlı değişimlerinin belirlenmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek için esas araç jeodezik ağ'dır (WOLF 1982).

Jeodezik çalışmalar genel olarak;

1. Global, bölgesel ve yerel (lokal) kontrol ağlarının oluşturulması,
2. Yer gravite alanının hesabı (presizyonlu jeoid belirlenmesi),
3. Jeodinamik olayların ölçülmesi ve modellendirilmesi (kutup hareketi, yerin dönme parametrelerinin ve yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi),

ana başlıkları altında incelenebilir.

Uzun yıllar bu görevler klasik jeodezinin konusu içinde çözülmeye çalışılmıştır. Ancak uydu jeodezisi, yukarıda sıralanan görevlerin gerçekleştirilmesinde köklü değişimler sağlamış, özellikle klasik jeodezinin teoride ve uygulamada ortaya çıkan birçok problemini ortadan kaldırmıştır. Klasik jeodezide ayrı ayrı ele alınması zorunlu olan pek çok problem bir bütünleşik sistem içinde düşünülmeye başlanmıştır. Jeodezyenlerin uzun yıllar özlemi olan güvenilir bir dünya (global) jeodezik referans ağı özlem olmaktan çıkmış, çok sayıda global ve bölgesel üç boyutlu jeodezik ağ (ITRF, EUREF vb.) tesis edilmiştir. Bu ağların sıklaştırılması, inersiyal ağlarla ilişkileri ve aralarındaki dönüşümler araştırılmaktadır. Günümüzde artık dinamik jeodezik ağların tasarımı ve oluşturulması aşamasına gelinmiştir. Global Konumlama Sistemi (GPS), sağladığı doğruluk ve uygulama kolaylıkları nedeniyle jeodezik uygulamalarda güncelleşmiştir.

GPS'in ülke ölçmelerinde kullanımı;

1. Mevcut ülke ağlarının incelenmesi, analizi ve iyileştirilmesi,

2. Mevcut ülke ağlarının sıklaştırılması veya geliştirilmesi,

3. GPS ile yeni bir ülke ağı oluşturulması,

4. Yükseklik ve jeoid belirleme

şeklinde, dört ana başlık altında incelenebilir.

Güncel GPS çalışmalarından biri de, global veya bölgesel ağlara bağlı üç boyutlu bir jeosentrik ülke ağının tesis edilmesidir. Bu ağ, mevcut ülke nirengi ve nivelman ağlarının kontrolünü, bu ağların güvenilir olarak kullanılabilmesini, GPS in rasyonel olarak kullanılmasını ve bilgi sistemlerine altlık olarak doğru, distorsiyonsuz ve yeterli sıklıktaki lokal jeodezik ağların tesisini sağlayacaktır. Ayrıca, yüksek doğrulukta bölgesel ve ülke jeodezik ağları peryodik olarak ölçülüp değerlendirilerek dinamik jeodezik ağlar için gerekli parametrelerin belirlenmesi de mümkün olacaktır.

Ülkemizde klasik jeodezinin olanaklarından yararlanarak tek noktaya bağlı ülke nirengi ağı ve ülke nivelman ağı temel ağ olarak kullanılmaktadır. Klasik jeodezik ağlarda ortaya çıkan distorsiyonlar bu ağlarda da mevcuttur. Ayrıca Türkiye, tektonik olarak aktif bir bölgede olduğundan kabuk hareketlerinin etkisi altındadır. Bu nedenle, kullanmak zorunda olduğumuz temel ülke ağlarının kontrolü ve mevcut durumun tesbiti, bu ağlara dayalı olarak nokta sıklaştırması ve bu ağların kullanılmasında ortaya çıkan problemlerin belirlenmesi ve çözümü gerekmektedir.

Değişik ülkelerde bu ve benzeri konularda yapılmış birçok araştırma ve çalışma vardır. Bunlardan, GPS uydu sistemi ile nirengi ağlarının sıklaştırılmasına altlık oluşturacak veya konuyla doğrudan ilgili çalışmalardan bazıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Yersel sistemle, GPS sistemi arasındaki ilişkinin dönüşüm problemi olarak ele alınması ve uygulanabilecek üç boyutlu dönüşüm yöntemleri (Bursa-Wolf, Moledensky-Badekas ve Veis yöntemleri) LEICK 1984, ve 1990 daki çalışmalarda verilmektedir. Bu yöntemler aynı zamanda 1986 da HARVEY tarafından, özellikle dönüşüm parametrelerinin test edilmesi ve yersel ağın bölgesel bozukluklarının test edilmesi ile ilişkili olarak, istatistiksel değerlendirmeleri de içerecek şekilde incelenmişlerdir. Bu yöntemlerden Bursa-Wolf, Moledensky-Bedakas yöntemleri, BURFORD 1985, Avutralya datumunda, RENS ve MERRY 1990 ve EZEIGBO 1990 da SOLER ve

HOTEM 1988, 1989 de benzer uygulamalarla irdelenmiş ve iki yöntem arasındaki ilişkiler belirtilmiştir.

Dönüşüm modellerinde, yersel ağdaki bozuklukları ifade etmek için WOLFRUM 1992 de, Veis yöntemini esas alarak 10 parametreli bir dönüşüm yöntemi geliştirmiş ve bu çalışmayı, Bursa-Wolf yöntemi ile karşılaştırmış (Eifel nirengi ağı Almanya) ve bu yöntemin yerel ağdaki bozuklukları da modellendirebileceğini göstermiştir.

GRUNDIG 1985, STRAUSS 1985, LEICK 1985 ve 1992 de, COLLINS ve LEICK 1985 de, LANDAU 1985 ve VINCENTY 1987 de, GPS baz vekörlerini ölçü olarak alarak yersel ağların üç boyutlu olarak sıklaştırılması problemini benzer yaklaşımla çözmüşlerdir. Bu çalışmalarda, sıklaştırma noktalarının koordinatlarının yanısıra, iki sistem arasındaki dönüklükler ve ölçek bilinmeyen olarak hesaplanmaktadır.

Yersel sisteme geçişin, üç boyutlu benzerlik dönüşümü yöntemleri yanısıra, projeksiyon koordinatları ile iki boyutlu benzerlik dönüşüm yöntemleri ile de yapılabileceği SCHÖDLBAUER ve diğ. tarafından 1989 da "Yatay kontrol ağlarının GPS ile sıklaştırılması " isimli çalışmada gösterilmiştir. Aynı yöntem WELLENHOF ve diğ. tarafından, 1994 sayfa 248-249 da belirtilmektedir.

Bunların dışında pratik yaklaşımlar da vardır. STEED 1990 da, " Referans sistemleri arasındaki dönüşümlerde pratik bir yaklaşım " isimli çalışmasında, eşlenik noktaların koordinatlarının farkını kullanarak, lineer bir enterpolasyonla sıklaştırma noktalarının yersel sisteme dönüştürülmesini incelemektedir. Bu düşünce en genel anlamda iki sistemdeki eşlenik noktaların koordinat farklarının çok değişkenli bir polinomla ifade edilmesidir. DMA (Defence Mapping Agency) 1988 ve ABD-ELMOTAAL 1994 de uygulanmıştır (WILL 1997).

Bu çalışmanın amacı, yukarda sıralanan işlerden, ülke nirengi ağının GPS ile sıklaştırılması çalışmalarında karşılaşılacak problemleri incelemek, ülke ağındaki distorsiyonların GPS ile elde edilen sonuçlara etkisini araştırmak ve çözüm yolları önermek olarak özetlenebilir. Bu amaçla yapılacak araştırma ve değerlendirmeler

- Farklı yazılımlarla elde edilen sonuçların karşılaştırılması
- GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde sistematik etkilerin incelenmesi

- Hızlı konum belirleme yöntemlerinin karşılaştırılması
- Statik yöntemle konum belirlemede ölçme süresi ve uydu geometrisinin sonuçlara etkisi
- GPS ve yersel sistem koordinatları arasında dönüşüm
- Yersel ağdaki distorsiyonların dönüşüm sonuçlarına etkisi

ana başıklarıyla verilebilir.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1, çalışmanın amacını belirten giriş bölümüdür. Bölüm 2 de GPS uydu sistemi tanıtılmakta ve GPS uydu sisteminde göreli konum belirlemede, faz ölçüsü esas alınarak, fonksiyonel modelin nasıl ifade edildiği açıkça verilmektedir. Bunun dışında, göreli konum belirlemede kullanılan lineer ölçü kombinasyonları ve bunların çözüme katkıları belirtilmektedir. Jeodezik amaçlı olarak göreli konum belirlemede ölçme ve değerlendirme farklılıklarına göre veri toplama seçenekleri (statik ve kinematik ölçme yöntemleri) açıklanmaktadır. Bölüm 3 de GPS ölçmelerini ve değerlendirme sonuçlarını etkileyen sistematik etkiler ifade edilmekte ve bu etkilerin ne şekilde giderilmesi gerektiği açıklanmaktadır. Bölüm 4, GPS değerlendirme sonuçlarının irdelenmesi ile ilişkili olarak baz çözümlerine ilişkin sonuçların yeniden dengelenmesi ve uyuşumzuz ölçülerin ayıklanmasını içermektedir. Bu bölümde, özellikle uyuşumsuz ölçülerin üçlü ölçü grupları şeklinde irdelenebileceğinin daha anlamlı olacağı anlaşılmış ve bu yönteme ilişkin test yöntemi bu çalışmada çıkarılmıştır. Bölüm 5, GPS sonuçlarının yersel sisteme dönüştürülmesinde uygulanan yöntemlerden, iki ve üç boyutlu dönüşüm yöntemleri ve sonuçların istatistik olarak incelenmesi açıklanmaktadır. Bölüm 6 da İstanbul Metropolitan Nirengi Ağında yapılan GPS ölçmeleriyle, GPS sistemiyle yersel ağların sıklaştırılması ve karşılaşılabilecek sorunlar irdelenmiştir. Bölüm 7 sonuç ve önerileri içermektedir.

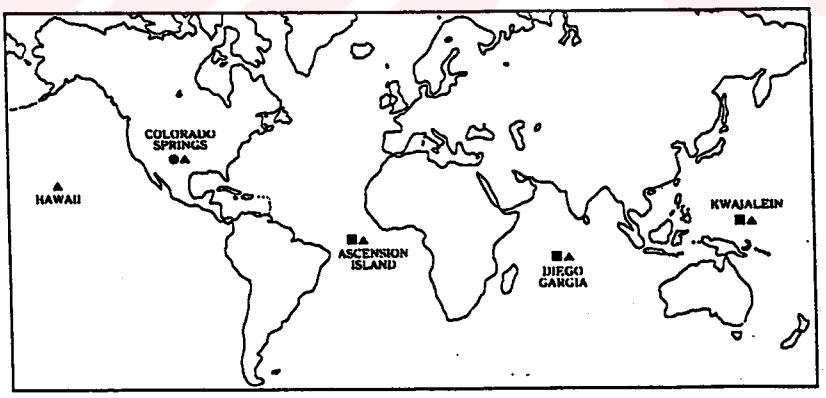
BÖLÜM 2: GPS UYDU SİSTEMİ

2.1 Sistemin Çalışma Esasları

GPS genelde üç bölüm altında tanımlanmaktadır. Bunlar, Kontrol bölümü, Kullanıcı Bölümü ve Uzay Bölümü'dür (SPILKER 1980, ANANDA 1988a, 1988b).

Kontrol Bölümü:

Kontrol bölümü, ***Ana kontrol istasyonu***, dünyaya yayılmış şekilde ***yer izleme istasyonları*** ve ***yer antenleri'***nden oluşmaktadır. Kontrol bölümüne ait istasyonlar şekil 2.1'de gösterilmişdir. Kontrol bölümünün ana gayesi, uyduları izlemek, yörüngeleri hesaplamak, uydu saatlerinin senkronizasyonunu sağlamak ve bu bilgilerin uydulara yüklenmesini gerçekleştirmek şeklinde sıralanabilir.



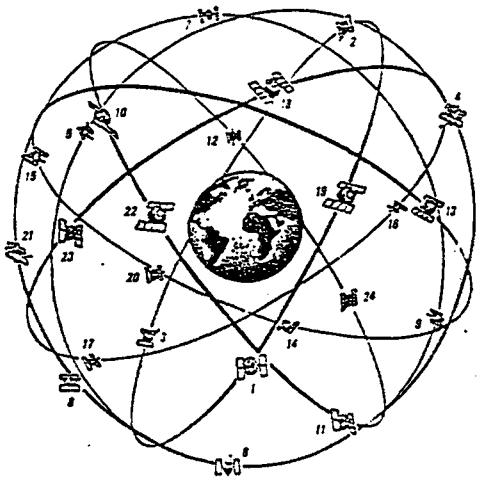
Şekil 2.1 GPS kontrol bölümü

Ana kontrol istasyonu: Amerika Birleşik Devletleri, Colorada Spring 'dedir. Burada, yer izleme istasyonlarında sürekli kayıt edilen veriler kullanılarak, uydunun yörünge ve saat parametreleri hesaplanır. Bu bilgiler uydulara yüklenmek üzere, 3 adet olan yer kontrol istasyonlarına gönderilir.

İzleme istasyonları: 5 adettir; Hawaii, Colorado Springs, Ascension Island (Güney Atlantik Okyanusu), Diego Garcia (Hint Okayanusu) ve Kwajalein'de (Kuzey Pasifik Okyanusu) olmak üzere tüm dünyaya yayılmış olarak konuçlandırılmışlardır. İstasyonlardan her biri doğruluğu oldukça yüksek, cesium zaman standartında P-kodlu alıcılar ile donatılmışlardır. Bu istasyonlarda, her 1.5 saniyede bir yapılan kayıtlara atmosferik düzeltmeler de getirilerek, 15 dakikalık veri blokları şeklinde on-line olarak ana kontrol istasyonuna gönderilirler. Broadcast ephemerid olarak adlandırlan uyduların yayınladığı yörünge bilgileri, bu 5 adet yer izleme istasyonundan yapılan P-kodu ölçülerine göre hesaplanmaktadır.

Yer Antenleri: Yer antenleri veya diğer adıyla yer kontrol istasyonları, ana kontrol istasyonunda hesaplanan uydu efemeridlerini (Broadcast Ephemerides) uydulara yükleyen istasyonlardır. Uydu yörünge bilgileri, günde bir kez olmak üzere bu istasyonlar vasıtasıyla uydulara yüklenmektedir. Yer kontrol istasyonlarının herhangi bir nedenle çalışmaması halinde, uydular düşük bir doğrulukla da olsa, 14 gün boyunca yörünge bilgilerini yayınlayacak şekilde düzenlenmiştir.

2. Uzay Bölümü:



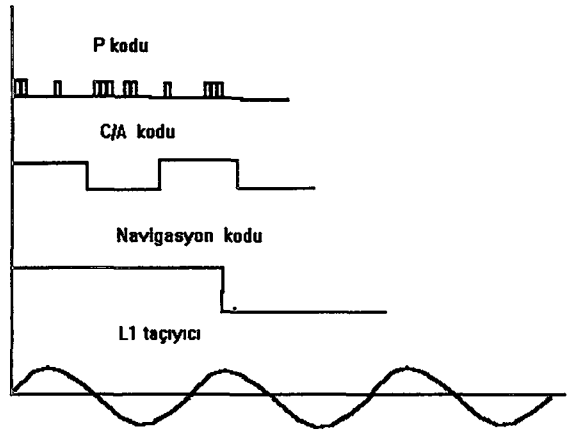
Şekil 2.2 GPS uydu sistemi

Şekil 2.2 de verilen uzay bölümü, yeryüzüne yaklaşık uzaklıkları 20 200 km olan uyduları içeren bölümdür. GPS uzay bölümü, yörüngelerinin ekvatorla eğim açısı 55 derece olan Blok II ve Blok IIA uyduları olarak adlandırılan, güncel haliyle 25 aktif uydudan oluşmaktadır. Yörünge eğimleri 63 derece olan ve Blok I uyduları olarak adlandırılan prototip uydulardan günümüzde çalışır durumda olan kalmamıştır. Uyduların karakteristik özellikleri tablo 2.1 de özetlenmektedir.

Tablo 2.1 GPS sisteminin temel karakteristik özellikleri

Karakteristik Özellik	GPS Sistemi
Yörünge Düzleminin eğimi	55° Blok II ve IIA
Yörüngesel Periyot	12 yıldız saati
Yörünge Sayısı	6
Uydu Sayısı	24 uydu
Ağırlık	815 kg
Bilgi Akış Hızı	50 bit/saniye
Kod bilgileri	Uyduya bağımlı
Taşıyıcı Frekanslar	Uydudan Bağımsız
L1 frekansı	1575.42 MHz
L2 frekansı	1227.60 MHz

GPS sistemine ait uydular L bandının uluslararası telsiz ve telekominikasyon birliği tarafından uydu yardımıyla konum belirlemeye ayrılmış bulunan spektrumunda $10.23\,MHz$ temel frekansın 154 katı olan $L_1 = 1575.42\,MHz$ ve temel frekansın 120 katı olan $L_2 = 1227.60\,MHz$ taşıyıcı dalgalarında sürekli yayın yapmaktadır (NIEUWEJJAAR 1988).



Şekil 2.3 GPS de kod ve taşıyıcı dalga (Şematik olarak)

Uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın ölçülmesini sağlamak amacıyla, L_1 frekanslı taşıyıcı dalga C/A ve P kodu ve navigasyon kodu ile, L_2 frekanslı taşıyıcı dalga ise P ve navigasyon kodu ile modüle edilmişlerdir (SPILKER 1980, TOFT 1987).

3. Kullanıcı Bölümü:

Kullanıcıları birkaç sınıfa ayırmak mümkündür. Bunların başında ilk sözedilecek olan Amerika Birleşik Devletleri ordusudur. Askeri amaçlı kullanıcılar sistemi temel olarak iki şekilde kullanırlar; birincisi navigasyon diğeri ise istenilen hedeflere yönelme (güdüm) ve hedefleri vurmaktır. Diğer bir kullanıcı kesim, sivil deniz ve hava trafiğinde navigasyon (seyir) amaçlı kullanıcılardır. Seyir amaçlı kullanıcılar arasına dağcılık, kayak veya benzeri spor dallarıyla ilgilenenleri de göstermek mümkündür.

Bunların dışında bir diğer kullanıcı kesimi ise, ölçme anında sonuçlara ulaşma ihtiyacı duymayan, ölçme yapılan noktaların göreli olarak birbirlerine göre konumlarıyla ilgilenen, jeodezik amaçlı kullanıcılardır. Jeodezik amaçlı kullanıcılar; sisteme getirilen kısıtlamalardan etkilenmeden sistemin tüm olanaklarından yararlanan doğal kullanıcılarından birisidir. Bu nedenle, bu alanda büyük ölçüde yatırımlar yapılmakta ve sivil haritacılık çalışmaları, özellikle yeni nirengi ağlarının tesisi, mevcut ağların kontrol ve iyileştirilme çalışmaları GPS ölçmeleri ile yürütülmektedir.

Kullanıcı bölümü, diğer bir açıdan ele alınırsa kullanılan alıcılara (receiver) göre bir sınıflamaya gitmek gerekir. Bu sınıflama, seyir amaçlı navigasyon alıcıları ve jeodezik amaçlı alıcılar olarak yapılabilir. Bu sınıflandırmada temel esas, uydudan yayınlanan sinyalin ölçülen bileşenleri ile ilişkilidir. Seyir amaçlı alıcılar, sinyalin kod bileşenlerini (P ve C/A kodu) ölçerken, jeodezik amaçlı alıcılar, sinyalin tüm bileşenlerini ölçmeye yönelik olarak üretilmişlerdir. Bunun yanısıra, ilk üretilen aletlerde yalnızca uydu sinyallerinin taşıyıcı dalga fazını ölçmeye yönelik alıcılar da üretilmiştir (kodsuz alıcılar). Fakat alıcı üretimindeki teknoloji, uydudan yayınlanan sinyallerin tüm bileşenlerini yüksek bir doğrulukla kaydedebilmeyi esas alarak gelişmiş ve günümüzde modern alıcılar, L_1 ve L_2 frekansı için kod ölçüleri, faz ölçüleri ve Doppler frekansı kayıtları olmak üzere sinyalin tüm bileşenlerini ölçecek şekilde üretilmektedir. P kodu nun şifrelenmesiyle ortaya çıkan, L_2 faz ölçüsünün tam dalga boyunda ölçülememe

problemi ise, çeşitli yöntemler geliştirilerek bazı alıcı üretici firmalar tarafından çözümlenmiştir.

Askeri amaçlı alıcılarda ise P kodu ile ilişkili şifreleme işlemini çözen ilave elektronik donanımlar vardır ve bunlar sistemden tüm kapasite ile yararlanırlar.

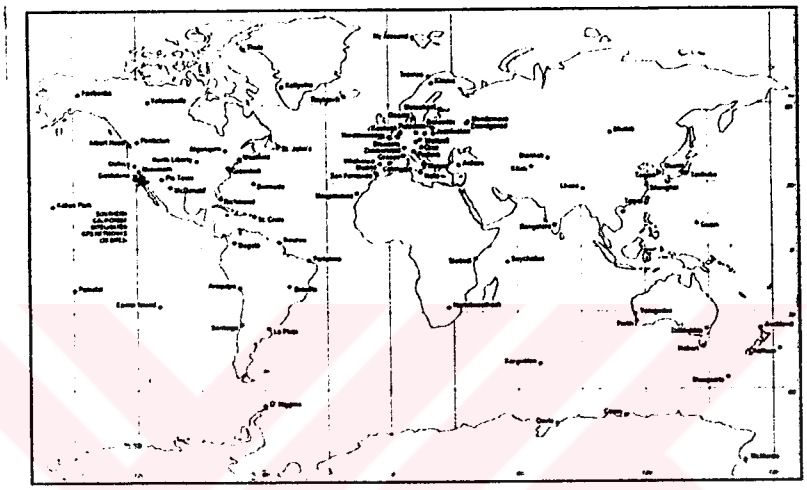
Sivil kullanıcıların sistemden tam kapasite ile yararlanmasını önlemek, belli bir doğruluktan yoksun bırakmak amacıyla, NAVSTAR-GPS sisteminin doğruluk bakımından sınırlanması (sinyallerin şifrelenmesi) iki ayrı şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisi Selective Availability (SA) olarak adlandırılır. Bu kısıtlama, *ε tekniği* ve *δ tekniği* olarak adlandırılan iki ayrı teknik kullanılarak sağlanır. *δ tekniği*, uydu saat frekansının sistematik olarak bozularak alıcı ile uydu arasındaki uzaklıkların doğru bir şekilde ölçülmesine engel olmak şeklinde tanımlanabilir. *ε tekniği* ise yayınlanan uydu yörünge bilgilerinin kasıtlı olarak bir miktar bozulmasıdır. Bunun sonucu yayın efemeridlerinden uydu koordinatları doğru bir şekilde hesaplanamaz ve bu durum alıcının koordinatlarının ötelenmesi şeklinde ortaya çıkar (SEEBER 1993 s 225-226). Bu engelleme genelde tek alıcıyla çalışılması durumunda etkili olur. Rölatif konum belirlemede bu etki uydulara ölçülen uzaklıkların farkları oluşturularak büyük ölçüde giderilir. SA Blok II uydularında geçerlidir.

İkinci yol ise, (Anti-spoofing) AS, yüksek doğrulukla anlık olarak konum bilgilerinin elde edilmesi amacına yönelik kullanılan P kodunun şifrelenerek, alıcıların bu kod bilgisinden mahrum bırakılmasıdır. Bu durumda yalnızca bu şifreyi çözebilen askeri amaçlı alıcılar sistemden yüksek doğruluk ve performansla yararlanırlar.

2.2 Uluslararası GPS Servisi (IGS)

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde yüksek doğruluğa ulaşmak için gerekli olan hassas yörünge bilgileri, Precise Ephemridler, A.B.D. Defence Mapping Agency (DMA) tarafından, yeryüzüne dağılmış 10 istasyonda yapılan GPS ölçülerine dayalı olarak belirlenir. Bu Precise Ephemridler, yetkili kullanıcılara resmi yollardan verilmektedir.

Bunun dışında, 1989 yılında planlanma aşamasına başlayan IGS, 1995 yılından beri, dünya çapında sürekli izleme istasyonlarıyla presizyonlu yörünge bilgilerinin yanısıra, değerlendirme aşamalarında kullanılmak üzere yerin dönme ve yönlendirme parametrelerini, sistem hakkında genel bilgileri ve kıta hareketlerine ait değerlendirme bilgilerini (izleme istasyonlarının konum bilgilerini), izleme istasyonundaki kayıt bilgilerini arzu eden kullanıcılara INTERNET aracılığıyla sunmaktadır. Şekil 2.4 de sürekli kayıt istasyonlarının konumları gösterilmektedir (ZUMBARGE ve diğ. 1995).



Şekil 2.4 IGS sürekli izleme istasyonları

2.3 GPS Ölçüleri ve Değerlendirme İlkeleri

GPS uydularının yayınladığı sinyallerden, üç farklı büyüklük kayıt edilebilir. Bunlar;

- Kod ölçüleri (uydulara olan yaklaşık uzunluklar).
- Faz ölçüsü (uydunun alıcıya göre yer değişimi, t_0 ilk ölçme anından itibaren)
- Dopler sayıları (uydunun alıcıya göre yer değişimi, t_0 ilk ölçme anından itibaren)

kayıt edilebilir.

2.3.1 Kod Ölçülerinin Değerlendirilmesi (Navigasyon çözümü)

Kod ölçüleri, sonuç olarak uydu ile alıcı arasındaki anlık uzaklıkların ölçülmesi demektir. Uyduların koordinatlarının biliniyor olması nedeniyle, en az 4 uydudan aynı

anda ölçülen uzunluklar ölçme yapılan noktanın üç boyutlu koordinatlarının hesaplanmasını sağlar. Uydu sinyallerinin şifrelenmiş olması nedeniyle, navigasyon çözümüyle elde edilecek doğruluk ±100 m ile sınırlıdır. Fakat, bu çözüm jeodezik amaçlı konum belirlemede (Göreli konum belirleme) alıcı saat hataları ve yaklaşık koordinatların hesabı için gereklidir. Navigasyon çözümü (Tek nokta koordinat hesabı) için matematik model aşağıdaki şekildedir:

Uydulardan herhangi birisine olan ölçü değeri,

$$\rho^S_{R\,ölçü} = \rho^S_R + (dt^S - dt_R)c + I^S_R + T^S_R \qquad (2.1a)$$

I iyonosferden kaynaklanan gecikme, T troposferden kaynaklanan gecikme hatası, dt^S Uydu saatinin sistem zamanından olan farkı (bu değer uydu navigasyon bilgileri ile birlikte yayınlanır), dt^R alıcının saatinin sistem zamanından olan farkıdır (LEICK 1990).

$$\rho^S_R = \sqrt{(x^S - x_R)^2 + (y^S - y_R)^2 + (z^S - z_R)^2} \qquad (2.1b)$$

ρ^S_R, ölçme anında S uydusuyla R alıcısı arasındaki geometrik uzunluğa eşittir. Burada, x^S, y^S *ve* z^S uydu koordinatları bilinmektedir. (2.1a) eşitliğinde, x_R, y_R, z_R *ve* dt_R değerleri her ölçme anı için bilinmeyen olarak hesaplanırlar. İyonosfer ve troposfere ilişkin düzeltme değerleri genelde sdandart modellerle giderilir. (2.1a) eşitliğinin çözümü için minimum dört uydudan kayıt alınması gereklidir. Uydu sayısının fazla olması durumunda ise çözüm dengelemeli olarak yapılır.

2.3.2 Taşıyıcı Dalga Fazının Ölçülmesi ve Modellendirilmesi

2.3.2.1 Taşıyıcı Dalganın Tanımı

GPS uyduları, L_1 ve L_2 şeklinde iki taşıyıcı dalgayı birbirlerinden bağımsız olarak yayınlamaktadır. Burada, f dalgalardan birinin frekansı olmak üzere, ölçme işleminin nasıl gerçekleştiği kısaca açıklanacaktır.

Boşlukta hareket eden bir elektro-manyetik dalga izlenecek olursa, sabit bir gözleyiciye göre, birim dalganın tekrarları gözlenir (λ = sabit). Belli bir başlangıç

zamanından itibaren yayınlanmakta olan dalga, iki farklı şekilde ölçülebilir. Ya başlangıç anından itibaren dalga monoton artan bir fonksiyon şeklinde ele alınır, ya da belli bir anda dalganın küsüratı izlenebilir. GPS'de temel fikir, sinyalin seyahat süresinin (uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen süre) belirlenmesidir. Bu nedenle, faz ölçüsü, *sürekli faz* olarak kayıt edilmektedir. Kayıt işlemi, alıcının uyduyla bağlantı anından (lock on) itibaren, kesintiye uğramadan gerçekleştirilmeye çalışılır. Küsürat şeklindeki faz büyüklüğünde ise faz değeri sürekli $0 \leq f(t) \leq 1$, diğer bir gösterimle ise $0^0 \leq \phi(t) \leq 360^0$ aralığında olacak şekilde ifade edilmektedir. (REMONDI 1985a).

Sürekli kayıt edilen faz büyüklüğü, uydu ve alıcı arasındaki geometrik ilişki açısından ifade edilerek, uydu sistemleri ile göreli konum belirlemenin temel çalışma ilkesi elde edilir. Ölçme işleminin fiziği, sinyalin yayınlandığı kaynak ile sinyalin kayıt edildiği alıcı arasında gerçekleşen göreli (rölatif) konum değişimini içermektedir. Bu durum, uyduların dünya etrafında belirli bir yörüngede dolanmalarının sonucudur. Günün 24 saati yayınlanmakta olan uydu sinyalleri, alıcılar tarafından ihtiyaç duyulan zaman aralığı içerisinde kayıt edilirken, uydu ile alıcı arasındaki uzaklıkta sürekli değişir. Böylece, alıcıda kayıt edilen uydu sinyali, uydudan yayınlanmış olan nominal sinyalden farklıdır. *Doppler etkisi* (doppler effect) olarak bilinen bu olay, alıcı ile uydu arasındaki uzunluk değişiminin belirlenmesini sağlar (REMONDI 1985a, LEICK 1992b). Bu şekilde, uzunlukla ilişkilendirilen faz ölçüsü, uydu ve alıcı anteni koordinatlarının bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir. Elde edilen geometrik değişim, alıcının uyduyla bağlantı kurmasından (reciever lock on) itibaren uyduyla alıcı arasındaki değişimdir. Uyduyla alıcı arasındaki mutlak ölçü için ilk ölçme anına ait başlangıç faz belirsizliği matematik modele bilinmeyen olarak ilave edilmelidir.

2.3.2.2 Temel Ölçü Büyüklüğünün Tanımlanması

Alıcıda kaydedilen ve ölçü büyüklüğünü oluşturan değer, uydudan yayınlanmış, doppler etkisine uğramış ve alıcı tarafından kayıt edilmiş olan uydu sinyali ile, alıcıda üretilen nominal frekanstaki sinyalin, daha önceden belirlenmiş ve alıcıda mevcut olan bir zaman listesine göre alınan farklarından oluşur. Genel olarak ölçme büyüklüğü şu

şekilde gösterilir (REMONDI 1984, 1985a, KING ve diğ. 1985, BOCK ve diğ. 1986, GOAD 1987, LEICK 1990)

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_T) - \Phi_R(t_R) + N_R^S + \varepsilon \qquad (2.1)$$

Burada,

t_R = alıcı listesine ait herhangi bir ölçme anı

$t_T = t_R$ anında alınan uydu sinyalinin uydudan yayın anı

$\Phi^S(t_T) = t_R$ anında alınan uydu sinyalinin değeri

$\Phi_R(t_R) = t_R$ anında alıcı sinyalinin değeri

S uyduyu, R alıcıyı temsil etmektedir (S = 1,2,..,n, R = 1,2,..,m).

ε = ölçme hatası (ölçme gürültüsü), Δt_R^S sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen süre (seyahat süresi) olmak üzere, faz ölçü eşitliği aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir ;

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_R - \Delta t_R^S) - \Phi_R(t_R) + N_R^S + \varepsilon, \qquad (2.2)$$

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_R - \frac{\rho_R^S}{c}) - \Phi_R(t_R) + N_R^S + \varepsilon \ . \qquad (2.3)$$

Burada, N_R^S Başlangıç faz belirsizliği, ρ_R^S uydu ile alıcı arasındaki uzaklık, c boşluktaki ışık hızıdır.

İlk ölçme anında taşıyıcı dalga fazı belirsizdir ve başlangıç faz belirsizliği olarak isimlendirilir. Bu nedenle, alıcıdaki ilk faz farkı okuması küsürat şeklinde olup 1 den küçüktür. Bu belirsizlik tamsayı şeklindedir ve herbir alıcı uydu çifti için, her ölçme oturumunda tek bir bilinmeyen olarak fonksiyonel modele eklenir.

Uydudan yayınlanan sinyalin, seyahat ettiği yol üzerindeki ortam değişikliklerinin etkisini de (iyonosfer ve troposferin geciktirme etkileri) göz önüne almak suretiyle (2.3) eşitliği aşağıdaki şekilde genişletilebilir ;

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_R - \frac{\rho_R^S}{c} - \frac{d\rho_R^S - \Delta\rho_R^S}{c}) - \Phi_R(t_R) + N_R^S + e \qquad (2.4)$$

Burada, $d\rho_R^S$ uzunluk biriminde troposferin etkisine ait düzeltme, $\Delta\rho_R^S$ uzunluk biriminde iyonosferin etkisine ait düzeltmedir. Ayrıca, alıcı saat hatası (alıcı saatiyle GPS sistem zamanı arasındaki zaman farkı) olmak üzere, ölçme listesine ait t_R ölçme anı dt_R kadar bir hataya sahiptir. Bu durum göz önüne alındığında, sinyalin seyahat süresi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Delta t_R^S = \frac{1}{c}\rho_R^S(t_S, t_R - dt_R) \qquad (2.5)$$

Bu eşitlik doğrusallaştırılırsa

$$\Delta t_R^S \cong \frac{1}{c}\rho_R^S(t_S, t_R) - \frac{1}{c}\dot{\rho}_R^S(t_S, t_R)dt_R \qquad (2.6)$$

ifadesi elde edilir. Burada, $\dot{\rho}_R^S(t_S, t_R)$ =uydu ile alıcı arasındaki hız vektörüdür. Alıcı saat hatasının eşitlik içerisine ilave edilmesiyle temel faz ölçü eşitliği,

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_R - dt_R - \frac{\rho_R^S - \dot{\rho}_R^S dt_R}{c} - \frac{d\rho_R^S - \Delta\rho_R^S}{c})...$$

$$-\Phi_R(t_R - dt_R) + N_R^S + \varepsilon \qquad (2.7)$$

şeklini alır. Burada, alıcı saat hatası her ölçme anı için ayrı bir bilinmeyen olarak ele alınmaktadır. Saat hataları için polinom modelleri de kullanılabilir (KING ve diğ. 1985, REMONDI 1985, FEIGL 1991). Küçük bir Δt zaman aralığı için, ossilatörün (sinyal üreticisinin) kararlı olduğu varsayılabir. Böylece $t + \Delta t$ anındaki faz büyüklüğü için de doğrusal bir yaklaşım elde edilir. $t + \Delta t$ için faz değeri,

$$\Phi(t + \Delta t) \cong \Phi(t) + \dot{\Phi}(t)\Delta t \qquad (2.8)$$

olarak yazılabilir. Burada, $\dot{\Phi}(t) = f$, ossilatörün frekansıdır. Benzer şekilde (2.7) faz ölçü eşitliği doğrusallaştırılırsa;

$$\Phi_R^S(t_R) = \Phi^S(t_R) - f^S dt_R - f^S\frac{\rho_R^S}{c} + f^S\frac{\dot{\rho}_R^S}{c}dt_R - f^S\frac{d\rho_R^S}{c}$$

$$-f^s \frac{\Delta\rho_R^s}{c} - \Phi_R(t_R) + f_R dt_R + N_R^s + \varepsilon \qquad (2.9)$$

veya,

$$\Phi_R^s(t_R) = \Phi^s(t_R) - \Phi_R(t_R) - (f^s - f_R)dt_R - f^s \frac{\rho_R^s}{c} + f^s \frac{\dot{\rho}_R^s}{c} dt_R$$

$$-f^s \frac{d\rho_R^s}{c} + f^s \frac{\Delta\rho_R^s}{c} + N_R^s + \varepsilon \qquad (2.10)$$

şeklini alır. Burada, t_R ve $\Phi^s(t_R)$ alıcılardan bağımsızdır. Aynı anda (session) ölçme yapan bütün alıcılarda, her hangi bir ölçme anı için t_R ve $\Phi^s(t_R)$ değerleri aynıdır. Uydudan yayınlanan sinyalin frekansı ile alıcının ürettiği sinyalin frekansı biribirine eşit kabul edilirse, $(f^s - f_R)dt_R$ terimi gözardı edilmiş olur. GPS için $\dot{\rho}_R^s$ yaklaşık olarak 800 m/s civarında bir değerdir.

Ölçme eşitliğindeki terimlerden, ε ölçme hatasından küçük olanlar varsa, bunların ihmal edilebileceği gayet açıktır. $\dot{\rho}_R^s dt_R$ terimini göz ardı edebilmek için,

$$|dt_R| \leq \frac{\varepsilon}{800} \text{ s} \qquad (2.11)$$

olmalıdır. Örneğin ε = 1 mm için,

$$|dt_R| \leq 1.25x10^{-6} \text{ sn} \qquad (2.12)$$

olmalıdır. Bu son ifadeden alıcı saatinin mikrosaniye mertebesinde sistem zamanıyla uyuşması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu tür alıcılar, günümüzde üretilebilmektedir (HESPER 1991). Faz ölçülerinin değerlendirilmesinde alıcı saat hataları, kod ölçülerinin (alıcı uydu arasındaki yaklaşık uzunluklar) değerlendirilme aşamasında, noktaların yaklaşık koordinatları ($\pm$ 100m den iyi) ile birlikte mikrosaniye mertebesinde hesaplanırlar (PAN ve SJÖBERG 1992). Navigasyon çözümü olarak da adlandırılan bu çözümde (ÖZŞAMLI ve SAKA 1996), kullanılan alıcının özelliğine göre, alıcı saat hataları modellendirilebilir. WM102 ve TI-4100 alıcılarında saat hataları zamana bağımlı olarak polinom saat modeli şeklinde, Ashtech, Trimble, ve

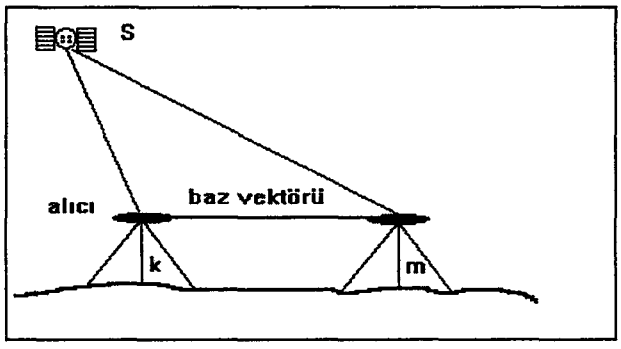
Minimac alıcıları için ise, her ölçme anı için ayrı bir bilinmeyen şeklinde modellendirilmesi uygundur (PAN ve SJÖBERG 1992).

(2.10) eşitliğindeki $\Phi^S(t_R)$, $\Phi_R(t_R)$, N_R^S terimleri ve alıcı anteninin koordinatları olan X_R, Y_R, Z_R terimleri bilinmeyenlerdir. İyonosfer ve troposferin etkileriyle ilişkili terimler ise belli meteorolojik parametreler ölçülerek geliştirilmiş modeller yardımıyla veya sdandart atmosferik modellerle ölçülere düzeltme getirilmek suretiyle yok edilirler.

2.3.3 Ölçü Farklarıyla Yeni Ölçü Guruplarının Oluşturulması

Göreli konum belirleme, bir kenarın iki alıcı kullanılarak ölçülmesi, bu ölçülerin birlikte değerlendirilmesi ve WGS 84 koordinat sisteminde, bu iki nokta arasındaki yer vektörünün $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ elde edilmesidir. Bir ölçme oturumunda (session), birden çok noktada (en az iki) ölçme yapılması esasdır. Farklı noktalardan aynı uyduların gözlenmesi, her nokta için oluşturulan ölçü denklemlerinde benzer parametrelerin olmasını gerektirir. Buradan hareketle, her bir noktada yapılan ölçülerin farklarının oluşturulması, bu noktalarda aynı yönde oluşan sistematik hata kaynaklarını, uydu ve alıcı saat hatalarını, atmosferden kaynaklanan hataları ve başlangıç faz belirsizliklerini büyük ölçüde giderir. Bu bölümde, değerlendirmelerde kullanılan çeşitli ölçü kombinasyonları, (2.10) temel ölçü eşitliği esas alınarak ele alınacaktır.

Tek-Fark (Single Difference)



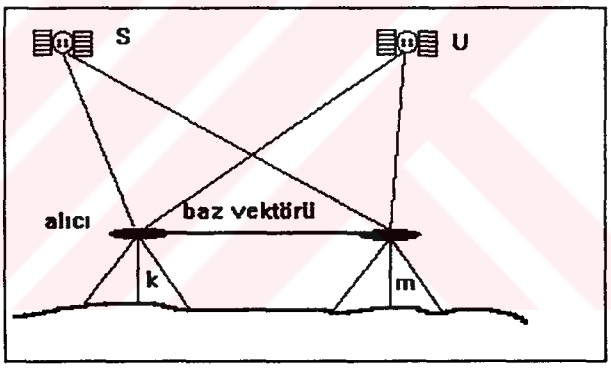
Şekil 2.5 Tek-fark için uydu ve alıcı geometrisi

Tek-fark yöntemi, her iki alıcıda aynı anda, aynı uydudan alınan sinyallerin basitçe farklarının oluşturulması ve yeni ölçme eşitliğinin elde edilmesidir. Temel ölçü eşitliği (2.10) esas alınarak yeni eşitlik aşağıda verilmektedir (GOAD 1987, s. 17-30, LEICK 1990 s 209-213).

$$\Delta\Phi_{km}^{S}(t) = \Phi_{k}^{S}(t) - \Phi_{m}^{S}(t) \qquad (2.13)$$

Burada, $\Delta\Phi_{km}^{S}(t)$ Tek-fark ölçü büyüklüğünü, $\Phi_{k}^{S}(t)$ k noktasında S uydusundan alınan kayıdı, $\Phi_{m}^{S}(t)$ m noktasında S uydusundan alınan kayıdı göstermektedir. (2.10) ifadesinde uydunun referans anına ait faz bilinmeyeninin yok edildiği kolayca görülebilir. Ayrıca, tek-fark şeklindeki ölçü eşitliği, uydu frekans offsetinden ve frekans diriftinden (uydu saat hatasından) bağımsızdır.

2. İkili-Fark (Double Difference)



Şekil 2.6 İkili fark için uydu ve alıcı geometrisi.

İki istasyondan iki ayrı uydu için aynı ölçme anına ait oluşturulan *tek-fark* ölçülerinin farkı, *ikili-fark* ölçüsünü oluşturur. (2.13) tek-fark eşitliği esas alınarak, ikili-fark eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir (GOAD 1987, 1988, s. 17-30, LEICK 1990 s 209-213).

$$\Delta\Phi_{km}^{SU}(t) = \Delta\Phi_{km}^{S}(t) - \Delta\Phi_{km}^{U}(t)$$

$$\Delta\Phi_{km}^{SU}(t) = \Delta\rho_{km}^{SU}(t) + \Delta N_{km}^{SU}(t)$$

burada,

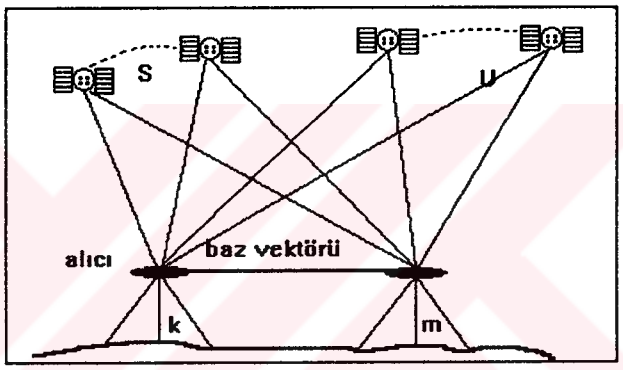
$$\Delta\rho_{km}^{SU}(t) = \rho_k^S(t) - \rho_k^U(t) - \rho_m^S(t) + \rho_m^U(t)$$

$$\Delta N_{km}^{SU}(t) = N_k^S(t) - N_k^U(t) - N_m^S(t) + N_m^U(t) \qquad (2.14)$$

şeklindedir.

Bu ölçü tipinde en önemli özellik, birinci dereceden alıcı saat hatalarının yok olmasıdır. İkinci dereceden alıcı saat hatalarının ise, kod ölçülerinden hesaplanan mikrosaniye mertebesindeki alıcı saat hatalarının miktarınca ölçülerin düzeltilmesiyle, değerlendirmede dikkate alınmalarına gerek yoktur (PAN veSJÖBERG 1992).

3. Üçlü-Fark (Triple Diffrence)



Şekil 2.7 Üçlü fark için uydu ve alıcı geometrisi.

Aynı alıcı çifti ve aynı uydu çifti için iki farklı ölçme anına ait *ikili-fark* ölçü çiftinin farklarının alınmasıyla ortaya çıkan yeni ölçme eşitliği *üçlü-fark* ölçü eşitliğidir (GOAD 1987, s. 17-30, LEICK 1990 s 209-213). *Üçlü-fark*'ın oluşturulması durumunda, zamandan bağımsız olan, ilk ölçmeye ait tam dalga faz belirsizliği (integer ambiquity) terimi de yok olmaktadır. Bu şekilde ölçü eşitliği yalın bir hale gelmektedir.

Bu konuda yapılan araştırmalar, *ikili-fark* ölçü eşitliğinin en etkin ve uygun sonucu verdiğini göstermiştir. Bununla beraber *üçlü-fark* ölçü grubu, ölçülere ait kaba hata ve faz sıçramalarının ayıklanmasında ve dengeleme öncesi noktaların yaklaşık koordinatlarının iyi bir doğrulukla elde edilmesinde kullanılmaktadır. *Tek-fark* eşitlikleri veya temel ölçü eşitliğini esas alarak çözüme gitmek de mümkündür. Bu şekilde modelleme ile geliştirilmiş olan programlar kullanılmaktadır (LINDLOHR ve WELLS 1985). Fakat açıkça görüleceği üzere temel ölçü eşitliği oldukça fazla

parametre içerdiğinden bunların tahmini için ölçü süresi fazla tutulmalıdır. Kısa mesafelere ve kısa süreli ölçülere ait değerlendirmelerde, genelde ilgilenilen parametreler geometrik parametrelerdir (nokta koordinatları). Diğer parametrelerin yok edilmesi çözüm için gereklidir ve tahmin edilmelerinin jeodezik açıdan fazla bir anlamı yoktur. Statik konum belirlemede, değişik ölçü farkı eşitlikleriyle yapılan çözümler ve sonuçları REMONDI 1984 ve ASHKENAZI 1986 da karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2.3.4 L1 ve L2 Taşıyıcı Dalgalarının Lineer Kombinasyonları

Burada, L1 ve L2 taşıyıcı dalgaları arasında oluşturulacak lineer kombinasyonlarla elde edilecek yeni ölçü eşitlikleri ve bunların değerlendirmeye sağlayacağı katkılar ifade edilecektir. L1 taşıyıcı dalgası sistemin esas yayın frekansıdır ve yüksek bir doğrulukla alıcılar tarafından izlenir. Ayrıca, dalga boyunun küçük olması, L2 dalgasına göre daha hassas bir ölçme yapılmasını sağlar. L1 ile L2 dalgası arasında kombinasyon oluşturmanın sağladığı faydalar ve gereklilik, doğru sonuca ulaşma açısından oldukça önemlidir. Burada, önem arzeden ve yaygın kullanılan ölçü kombinasyonları kısaca belirtilecektir (BEUTLER ve diğ 1989, ROTHACHER 1992 s 32, WILD 1994 s 17).

İyonosferden Bağımsız Lineer Kombinasyon, L3:

L3 lineer kombinasyonu, L1 ölçüsünün $f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)$, L2 ölçüsünün de $-f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)$ çarpanıyla çarpılıp (L1 ve L2 ölçüleri uzunluk biriminde), bu iki terimin toplanmasından oluşan yeni ölçü eşitliğidir. Bu ölçü eşitliği iyonosferin etkisini içermez. Bu ölçüyü kullanmanın sakıncası ise, L1 ve L2 ölçüsüne göre ölçme bozuntusunun (noise) üç katına çıkmış olmasıdır. Bu nedenle küçük bazlardan oluşan ağlarda L3 ölçüsüyle çözüm yapmaktan kaçınılır. İyonosferin bu tür ağlarda etkisi tekli fark ölçü eşitliklerinin oluşturulması sırasında büyük ölçüde elimine olmaktadır (WILD 1994, s 16). Bu nedenle bu tür ağlarda L1 çözümü tercih edilir.

Geometriden Bağımsız Lineer Kombinasyon, L4:

L4 lineer kombinasyonu, L1 ve L2 uzunluk (metre) biriminde olmak üzere L1-L2

farkının alınmasıyla elde edilir. Bu durumda saat ve geometri ile ilişkili bütün parametreler elimine olurken, yalnızca L1 ve L2 ile ilişkili iyonosferin etkisi ve L1 ve L2 ye ait başlangıç faz belirsizliğinin farkı eşitlikte bilinmeyen olarak kalır. Bu lineer kombinasyon, iyonosferik parametrelerin hesaplanmasında kullanılır (WILD 1994, s.16). Buradan elde edilen iyonosfere ait parametrelerle, iyonosferik etki bakımından L1 ve L2 ölçüleri düzeltilebilir.

Uzun Dalga Boyuna Sahip L5 Lineer Kombinasyon:

L5 kombinasyonu L1 ve L2 ye ait ölçülerin sırasıyla $f_1 / (f_1 - f_2)$ ve $-f_2 / (f_1 - f_2)$ faktörleriyle çarpılması ve bu terimlerin toplamı sonucu ortaya çıkan yeni ölçü eşitliğidir. Bu kombinasyonun en büyük özelliği, L5 dalga boyunun büyük olmasıdır (86 cm). Bu nedenle, uzun kenarlı bazlara ait başlangıç faz belirsizliğinin çözümünde L5 dalgasının kullanılmasının katkısı büyüktür. Öncelikle L5 dalgası ile başlangıç faz belirsizlikleri çözülür. Sonra ikinci adım olarak, L1 ve L2 faz belirsizlikleri çözülmeye çalışılır (WILD 1994, s 16).

2.3.5 GPS ile Jeodezik Amaçlı Konum Belirleme Yöntemleri

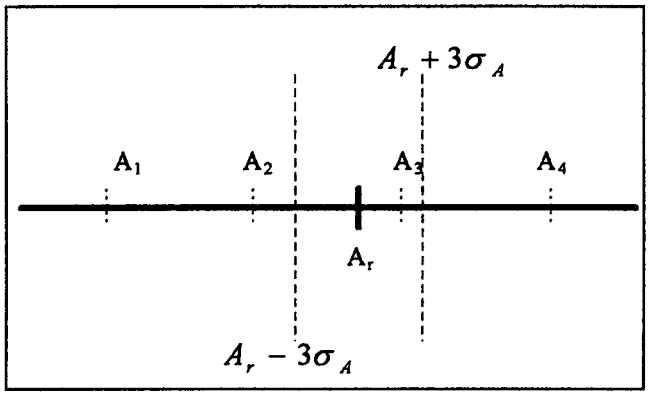
GPS ile konum belirleme, statik ve kinematik konum belirleme olarak ikiye ayrılır.

Statik konum belirleme

A- Uzun Süreli Ölçmelerle Konum Belirleme

Uzun süreli oturumlu ölçmelerle, uydu geometrisinin değişiminden yararlanılarak başlangıç faz belirsizliklerinin, faz ölçülerinin dengelemesinde tam sayı olarak elde edilmeleri oldukça kolaydır. Bu durumda, reel sayı olarak elde edilen başlanıç faz belirsizlikleri genelde en yakın tam sayı değere eşittirler. Bu nedenle tam sayı olarak hesaplanmaları oldukça kolaydır. Statik ölçmelerde yaygın olarak kullanılan başlangıç faz belirsizliği çözüm yöntemlerinden *SIGMA ya bağımlı yuvarlatma* çözüm tekniği Şekil 2.8 de gösterilmiştir. Bu gösterimde, A_r dengeleme sonucu elde edilen uydulardan herhangi birine ait başlangıç faz belirsizliğinin reel değeri, A_1 , A_2 , A_3 , A_4 ise, bu reel değere en yakın tamsayılardır. σ_A , A_r değerinin dengeleme sonrası varyansını göstermek üzere, $A_r - 3\sigma_A$ ve $A_r + 3\sigma_A$ değerlerinin arasında yanlız bir

tamsayının kalması durumunda, başlangıç faz belirsizliği bu tam sayıya eşit alınır. Aksi durumda, balangıç faz belirsizliği tam sayı olarak hesaplanamaz.



Şekil 2.8 SIGMA yöntemine göre faz belirsizliğinin çözümü (COCARD 1995)

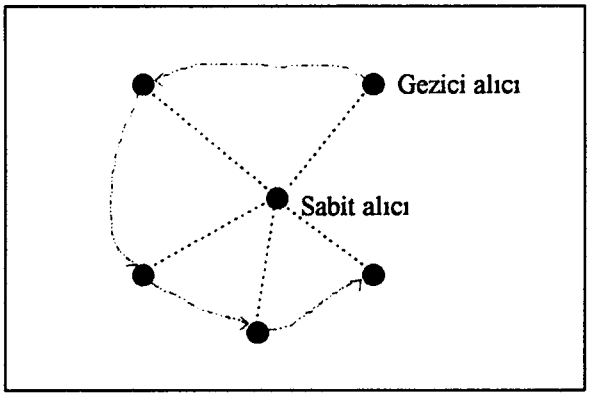
B- Hızlı Statik Konum Belirleme Yöntemleri

Hızlı konum belirleme yöntemleri, genel tanımlama ile kısa mesafeli konum belirleme işlemlerinde kullanılır. Kısa kenarlarda atmosferik etkilerin gözardı edilebilmesi, yörüngenin göreli doğruluğunun ölçülecek kenarın uzunluğuna göre sonuçları etkilemesi (Bölüm 3), kısa kenarlı GPS ölçmelerinin oldukça yalın bir matematik model ile hesaplanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durumda, en önemli parametre başlangıç faz belirsizliğidir. Hızlı statik ölçmelerde, başlangıç faz belirsizliği çözüm yöntemlerinden en etkin olan ikisi,

(i) Belirsizlik Fonksiyonu (Ambiquity Function) Medotu (REMONDI 1984, s. 190, MADER 1992), (ii) FARA (Fast Ambiquty Resolution Approach) arama metotudur (FERIE 1990).

Şayet koordinatları bilinen bir noktanın yakın çevresinde bazı yeni noktaların koordinatları belirlenmek isteniyorsa, bunlara kısa süreli ölçme oturumlarıyla koordinat vermek mümkündür. Bu yöntemin kullanım alanının kinematik ölçmelerin kullanım alanıyla iç içe olduğu akla gelirse de, kinematik ölçmelerdeki noktadan noktaya ulaşımda sinyalin kesilmeme şartı burada gerekli değildir. Ayrıca, her bir noktadaki ölçmenin sonunda alıcı kapatılır, bir sonraki noktada tekrar açılır. Bu durum ölçme ekibini bir sonraki noktaya ulaşım açısından serbest ve rahat bıraktığı gibi, şartlar çoğu zamanda kinematik ölçme yapmaya olanak sağlamayabilir. Bu

yöntemde noktalardaki oturum süreleri, belirlenmek istenen noktanın sabit noktaya olan yakınlığı, ölçme anındaki uydu sayısı, sabit istasyon sayısı ile orantılı olarak azalır. Şekil 2.9 da örnek bir ölçü planı verilmiştir.



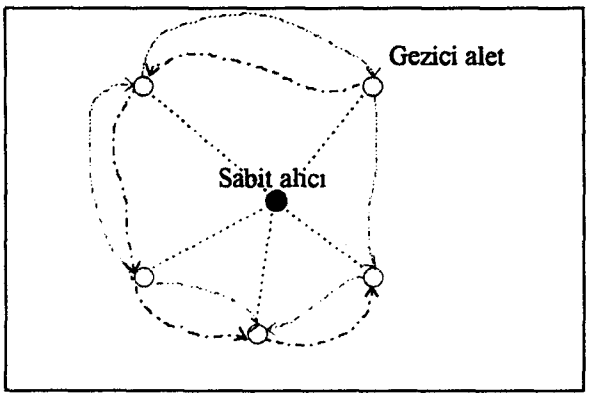
Şekil 2.9 Tek oturumlu hızlı statik konum belirleme

Bu ölçme yönteminin uygulanması iki esas şartı gerektirir; (i) iyi bir uydu geometrisi, (ii) yeterinden fazla uydu sayısının olması. 1995 itibariyle uydu sisteminin tamamlandığı düşünülürse ülkemizin bulunduğu coğrafyada yöntemin uygulanabilirliği açıkça gözlenebilir.

Çift Oturumlu Hızlı Konum Belirleme (Reocupation):

Bu yöntemin esası, büyük kesikliklerinin bulunduğu ölçülerin değerlendirilmesinde ortaya konan değerlendirme algoritmalarının iyi sonuç vermesi ve çözüme ulaşılabilmesi sonucunda, aynı uyduların gözlenmesi şartı ile ölçülerde bilerek oluşturulan kesiklikten yararlanılması düşüncesine dayanır. Bu yöntem, belirlenmek istenen bazın kısa bir süre ölçülmesi ve ölçmeye ara vererek (yaklaşık 1 saat) tekrar aynı uyduları kullanmak şartıyla kısa bir süre aynı bazda ölçme yapılması ve bu ölçülerin tek bir oturuma ait ölçüler gibi değerlendirilmesi şeklinde özetlenebilir (Şekil 2.10). Bu ara verilen süre içerisinde ise, diğer noktalarda ölçmelere devam edilir. Özellikle tek oturumda kısa süreli ölçme ile sonuç alınamayacak kötü uydu geometrisinin bulunduğu durumlarda, aynı uydular farklı zamanda iki oturum şeklinde gözlenerek sonuca gidilir. Bu iki ölçme oturumu arasındaki süre, uydu geometrisinin çözümü gerçekleştirecek miktar değişimiyle ilişkilidir. Bu süre ise 1 saat şeklinde belirtilmektedir (SEEBER 1994). Bu yöntemin, uydu sayısının tek oturumlu

kısa süreli ölçmeler için yeterli olduğu ve yeni çözüm algoritmalarının geliştirildiği günümüzde pek kullanışlı olduğu söylenemez.



Şekil 2.10 İki oturumlu hızlı statik konum belirleme

2- Kinematik Konum Belirleme Yöntemleri

Kinematik konum belirleme, alıcıları kapamadan ve uydulardan irtibat kesilmeksizin aynı ölçme oturumunda (session), pek çok noktayı dolaşarak sabit olan alıcıya göre bu noktaların göreli (izafi) konumlarının belirlenmesi işlemidir (GEORGIADOU ve diğ. 1991, MADER 1986). Kinematik konum belirleme yöntemleri; (i) sonuçların elde edilişi, (ii) ölçmenin yapılışı, (iii) başlangıç faz belirsizliğinin belirlenmesi olmak üzere, üç değişik açıdan sınıflandırılabilir.

Sonuçların elde edilişi açısından yapılacak sınıflandırmada iki çeşit yöntemden söz edilebilir. Birincisi (jeodezik açıdan yaygın olarak kullanılan) verilerin elde edildikten sonra büroda sonuçların elde edildiği yöntemlerdir. İkinci olarak, ölçme anında sonuçlara ulaşılabilmesini sağlayacak ek donanım ve yazılımlar gerektiren, anlık sonuçların elde edildiği yöntemdir (Real Time Kinematik). Bu yöntem aplikasyon çalışmalarını destekleyebilme imkanını sunması açısından özellikle önemlidir.

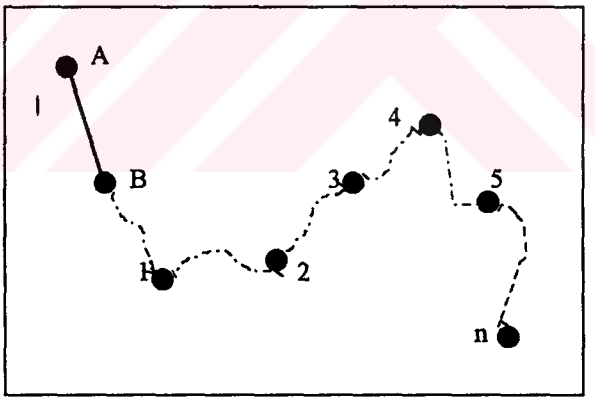
Ölçmenin yapılışı açısından, dur-ve-git (stop and go) ve sürekli kinematik (continues kinematic) olmak üzere iki sınıflandırma mevcuttur. Dur ve git şeklindeki ölçme yöntemi, hareketli olan alıcının veya alıcıların, koordinatı belirlenmek istenen noktalarda çok kısa süreli oturumlarla (bir kaç ölçmelik (epoch)) veri toplaması şeklindedir. Sürekli kinematik yöntemde ise; hava alanından kalkan bir uçaktaki

alıcının ölçü alması veya hidrografik ölçmelerin desteklenmesinde bir deniz aracındaki alıcının kayıtları veya karayolunda seyir halindeki bir aracın sabit olan alıcıya göre konumlarının sürekli olarak izlenmesi şeklinde örnekler verilebilir. Bu gibi durumlarda hareketli alıcının konumu, arzu edilen zaman aralığında ölçmeler alınarak, o ölçme anları için hesaplanır.

Kinematik ölçme yöntemleri, başlangıç faz belirsizliğinin, ölçmelerin başlangıcında çözümlenmesine bağımlı uygulanan yöntemlerdir. Burada esas olan başlangıç faz belirsizliğinin doğru ve ölçmeleri etkin olarak destekleyecek bir şekilde (tam sayı olarak) belirlenebilmesidir. Başlangıç faz belirsizliği çözümü için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu ölçme yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

(I) Bilinen Bir Bazdan Ölçmelere Başlamak:

Koordinatları bilinen noktalarda yapılan kısa süreli bir ölçme oturumundan sonra başlangıç faz belirsizliği bilinmeyeni elde edilir. Daha sonra planlanan kinematik ölçmeye devam edilir (GERDAN 1992).



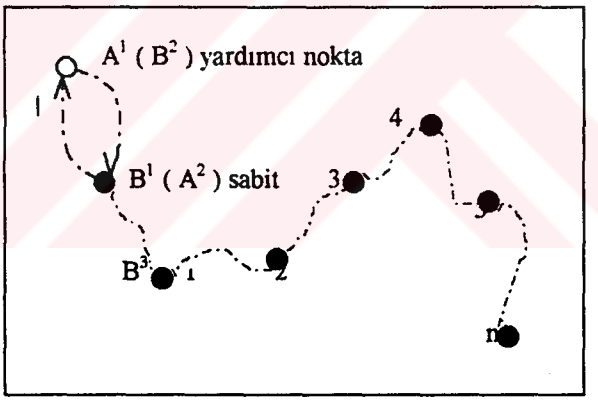
Şekil 2.11 Kinematik konum belirlemede bilinen bir bazdan ölçmelere başlamak

(II) Statik Başlangıçlı Ölçme:

Noktalardan birisinin koordinatları bilinmek şartıyla, bir bazda yapılan statik ölçmelerden elde edilecek başlangıç faz belirsizliği ile kinematik ölçülere başlanır. Görüleceği üzere bu durum kinemetik ölçme işlemini zaman açısından sıkıntıya sokabilir (GERDAN 1992).

(III) Anten Yerdeğişimi (Antenna Swapping):

Bu yöntemin temel ilkesi, koordinatı bilinen bir nokta ve yakınında (yaklaşık 10 m) yardımcı bir noktada yapılan ölçme işlemi ile başlangıç faz belirsizliğinin hesaplanmasına dayanır. Ölçme işlemi Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Bu yöntem kısaca şu şekilde özetlenebilir; alıcılardan birisi A noktasına, diğeri ise B noktasına yerleştirilir. 1 dakikalık kısa bir oturumdan sonra, alıcılar kapatılmaksızın A noktasındaki alıcı B noktasına kurulurken, B noktasındaki alıcı da A noktasına kurulur. Tekrar 1 dakikalık ikinci bir oturumdan sonra B noktasındaki alıcı kaldırılarak ölçme yapılacak diğer noktalarda ölçmelere devam edilir. Bu yöntemde başlangıç belirsizliğinin çözümünde, her bir oturum için çift-fark ölçüleri ve bu farklardan üçlü-fark ölçüleri oluşturulur. Fakat, alıcıların yer değiştirmesinden dolayı başlangıç fazı belirsizliği elimine olmayıp, koordinatlar elemine olur. Dolayısıyla tek bilinmeyen olarak kalan başlangıç fazı belirsizliği kolayca çözümlenir (REMONDI 1985b, 1986, GERDAN 1992).



Şekil 2.12 Anten yer değişimi yöntemi

(IV) Ölçmelere Doğrudan Başlamak (On The Fly Resolution):

Bu yöntemin uygulama şekli, başlangıç faz belirsizliğinin çözümü için başlangıç anında ilave bir ölçme yapmaksızın direkt olarak ilgili ölçme işlemine başlamaktır. Belli sayıda ölçü alındıktan sonra başlangıç fazı çözülmekte ve bu andan önceki ölçüler için ise geri çözüm yapılmaktadır.

BÖLÜM 3: GPS ÖLÇÜLERİNİ VE SONUÇLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Göreli konum belirlemede, faz ölçmesinin yüksek bir doğrulukla başarılması (±2 mm), sonuçların yüksek doğruluklara ulaşabileceğinin bir göstergesidir. Bunun başarılabilmesi, hatalara neden olacak koşullarda ölçme yapmamaya özen göstermekle, ölçüleri sistematik hatalardan arındırmakla ve değerlendirmeyi doğru yapmakla mümkündür. GPS ile elde edilen sonuçları etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Atmosferik etkiler
- Yansıma (Multipath) etkisi
- Anten faz merkezi kayıklığı
- Uydu geometrisi
- Yörünge bilgilerinin doğruluğu
- Değerlendirmede sabit alınan nokta koordinatlarının sonuçlara etkisi

3.1 Atmosferik Etkiler

GPS uydu sisteminin yayınladığı sinyaller, alıcıya ulaşana kadar çeşitli ortamlardan geçer. Sinyallerin seyahat ettikleri bu yol, genel olarak 3 ayrı bölge olarak düşünülebilir. Birincisi, yayınlanan sinyale herhangi bir etkisi bulunmayan atmosfer dışındaki bölge, diğerleri ise atmosfer içerisinde ayrı ayrı düşünülebilecek iyonosfer ve troposfer bölgeleridir.

Atmosfer taşıdığı benzerlikler açısından çeşitli tabakalar şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma Tablo 3.1 de özet şeklinde verilmiştir.

Atmosfer, 50 km yükseklikden itibaren yukarı atmosfer olarak adlandırılır. Bu bölge aynı zamanda (1000 km ye kadar) iyonlaşmış gazlar ve serbest elektronlardan dolayı iyonosfer olarak bilinir (WILD 1994).

Tablo 3.1 Atmosferin genel olarak sınıflandırılması (WILD 1994)

ismi	yeryüzünden yüksekliği (km)	elektron yoğunluğu	
		gece	gündüz
Troposfer	0 - 10	---	---
Stratosfer	10 - 50	---	---
Mezosfer	50 - 80	10^3	10^3
Termosfer	80 - 500	10^5	10^6
Eksosfer	500 den büyük	10^4	10^5

3.1.1 İyonosferin Sonuçlara Etkisi

Elektro-manyetik dalganın herhangi bir ortamda yayılışı, ortamın kırılma indisi (refractive index) **n** değeri ile ilişkilidir ve

$$n=c/v \tag{3.1}$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada, c boşluktaki ışık hızı, v elektro-manyetik dalganın ortamdaki hızıdır. GPS ölçmelerinde, kod ve faz ölçüsü açısından, yayınlanan sinyalle ilgilenilmesinden dolayı, taşıyıcı dalga fazı için faz hızı v_P, kod ölçüleri için grup hızı v_G şeklinde iki farklı hız büyüklüğünden söz edilir. Faz ölçüleri için kırılma indisi n_P ve kod ölçüleri için grup kırılma indisi n_G aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$n_P = 1 - \frac{40.3}{f^2} N_e \quad , \tag{3.2}$$

$$n_G = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e \quad . \tag{3.3}$$

Eşitliklerde N_e elektron yoğunluğu, n_P faz ölçüsü için kırılma indisi, n_G kod ölçüleri için kırılma indisi ve f sinyalin frekansıdır. Uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluk s ve sonsuz küçük uzunluk elemanı ds olmak üzere,

$$s = \int_{\text{alıcı}}^{\text{uydu}} n_p \, ds \tag{3.4}$$

şeklindedir. Buradan iyonosfer için düzeltme faz ve kod ölçüleri için ters işaretli olmak üzere,

$$\Delta d_i^{ion} = \frac{\pm a.\, TEC}{f_i^2} \quad ; \; i=1,2 \tag{3.5}$$

$$\Delta d_i^{ion} = \frac{\pm a.\, VTEC}{f_i^2} \quad ; \; i=1,2 \tag{3.6}$$

olur. Eşitliklerde, Δd_i^{ion} i frekansı için iyonosferik uzunluk düzeltmesi, f_i $(i=1,2)$ taşıyıcı dalga frekansı, TEC toplam elektron (metre karedeki elektron sayısı), a sabit (a=40.3 $s^{-2}m^2$), $VTEC$ toplam düşey elektrondur. Ayrıca, pozitif işaret (+) eşitliğin kod ölçüleri için işareti, negatif işaret (-) eşitliğin faz ölçüleri için işaretidir.

İyonosferin modellendirilmesinde pek çok yaklaşımdan söz edilebilir. İyonosferin ölçüler üzerindeki etkisi, parametre olarak tahmin edilmesinin yanısıra, bu etkinin L1 ve L2 arasındaki lineer konbinasyonla (L3) yok edilmesi de mümkündür. İyonosferin parametrik olarak tahmin edilmesi, L4 lineer kombinasyonu esas alınarak yapılır. Modelin ana düşüncesi, iyonosferin yeryüzünden belli bir yükseklikte (≈350), sonsuz küçük kalınlıkta küresel bir yüzey olması kabulüne dayanır. (3.6) eşitliğindeki VTEC değeri Taylor serisi yardımıyla güneşin saat açısı ve enleme bağlı olarak seri şeklinde ifadelendirilir (WILD ve diğ. 1989, WILD 1994). Burada önemli olan ölçmelerin yapıldığı fiziksel şartlarda bu serinin kaçıncı dereceden ifadesinin anlamlı olacağıdır.

Uzun bazlar için kullanılan en genel çözüm, L3 lineer kombinasyonuyla iyonosferden bağımsız çözüm yöntemidir. L4 lineer kombinasyon ölçüsüyle iyonosferi modellendirerek çözmek ve elde edilen parametrelerle L1 ölçüsünü düzeltip, düzeltilmiş L1 ölçüleriyle çözüm yapmak (WILD ve diğ. 1989, WILD 1994) ikinci bir yol olarak belirtilebilir. Küçük ağlarda ise ($\leq$ 5km), iyonosferden kaynaklanan etki, tekli-fark ölçü eşitliğinin oluşturulmasında büyük ölçüde giderilir (GERDAN 1992). Bölüm 6 da İstanbul ağı ölçüleri, bu seçenekler ışığında değerlendirilmiştir.

3.1.2 Troposferin Sonuçlara Etkisi

Troposfer, GPS sonuçlarını iki şekilde etkilemektedir. Birincisi mutlak etki, ikincisi ise ölçü yapılan noktalar arasındaki kot farkından kaynaklanan göreli (rölatif) etkidir. Özellikle kısa uzunluktaki bazlarda tekli-fark ölçülerin oluşturulmasında troposferin mutlak etkisi büyük ölçüde giderilir. Noktalar arasındaki yükseklik farklarının 100

m'den büyük olması durumunda ise, göreli etki dikkate alınmalıdır. Göreli olarak troposferik etki, değerlendirmede özellikle yükseklik bileşeninde etkili olmaktadır. Mutlak etki standart troposferik modeller ile ifade edilir (Saastamonien, Hopfield, vb). Bu modeller genelde 20 derecelik yükseklik açısı için aynı sonucu verirler (BEUTLER ve diğ. 1989, JANES 1989, ROTTAHER 1992).

3.2 Yansıma (Multipath) Etkisi

Yansıma (Multipath), alıcı anteni tarafından doğrudan alınan sinyale ek olarak, bir veya birden fazla sinyalin çevredeki yüzeylerden yansıyarak alıcı antenine ulaşması olarak tanımlanır. Yansıma etkisi ölçülerde çok sayıda faz sıçramasına (cycle slips) neden olur. Yansıma etkisi, alıcı anteninin teknik özelliğine, anten çevresinin elektro-manyetik dalga için yansıma katsayısına ve çevrenin geometrik karakterine bağlıdır. Bu etki ile ilgili pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir (BLETZACKER 1985, YUNG ve diğ 1985, EVANS ve HERMANN 1989, GEORGIADOU ve KLEUSBERG 1989, JIYU 1991). Burada, nokta seçiminde fikir verebilmesi açısından, çevrenin yansıma katsayıları Tablo 3.2 de özetlenmiştir.

Tablo 3.2 Test sonuçlarına göre bazı yüzeyler için yansıtma katsayıları (JIYU 1991)

yansıtıcı yüzey	su yüzeyi	pirinç tarlası	genel zemin	orman zemini
dalga frekansı	yansıma katsayısı	yansıma katsayısı	yansıma katsayısı	yansıma katsayısı
2 Ghz	1.0	0.8	0.6	0.3
3 Ghz	1.0	0.8	0.5	0.2
4 Ghz	1.0	0.8	0.5	0.2
11 GHz	1.0	0.8	0.4	0.16

Düzgün yüzeyler, tuz, alkali, metal maden içeren zeminler, sinyalin yansımasını kolaylaştırır. Ayrıca yüksek güç kaynaklarının civarında alıcılar çalıştırılmamalıdır. Bu durum ölçmeleri etkileyeceği gibi, alıcıyı da bozabilir (JIYU 1991). Yansıma etkisini önlemek için üretilen jeodezik amaçlı antenler, zeminden yansıyarak gelen sinyallere karşı duyarlıdır.

3.3 Anten Faz Merkezi Kayıklığı

Anten faz merkezi kayıklığı, antenin elekronik ölçme merkezi ile geometrik merkezinin aynı olmamasıdır. Antenlerin bu özellikleri nominal bilgiler olarak üretici firmalar tarafından belirlenir. Bu bilgilerin doğru uygulanabilmeleri için ölçme sırasında antenler kuzey doğrultusuna göre yönlendirilirler. Özellikle, ölçmelerde değişik markalı aletlerin birlikte kullanılması durumunda, değerlendirme aşamasında aletlerin faz merkezi eksentrisite değerleri dikkate alınmalıdır. Farklı yönlendirmelerden kaynaklanabilecek hatalar birçok çalışmada incelenmiştir (GENRICH ve BOCK 1992).

3.4 Uydu Geometrisi

Sonuçların doğruluğu kayıt alınan uyduların ufkun üzerindeki geometrik dağılımları ile de ilişkilidir. Bu bilgi, navigasyon çözümünde normal denklemler matrisine dayalı olarak GDOP (Geometric Dilution of Precision) adıyla elde edilir (WELLENHOF ve diğ 1994 s 224-227, MERMINOD ve diğ. 1990). Genel bir yaklaşımla GDOP değerinin 2-6 arasında olması iyi bir geometriye, 6'dan büyük olması ise kötü bir geometriye işaret eder. Bölüm 6 da iyi ve kötü uydu geometrileri ile hızlı statik ölçmeler irdelenmiştir.

3.5 Yörüngenin Etkisi

Uydu yörüngesinin sonuçlara etkisi, çözümde kullanılan uydu koordinatlarının, ölçme anındaki yörünge bilgisini ifade etmemesi şeklinde özetlenebilir. Göreli konum belirlemede yörünge koordinatlarının da göreli doğruluğu söz konusudur. Yaklaşık olarak yörünge hatasının, sonuçları nasıl etkileyeceği aşağıdaki şekilde verilmektedir (LEICK 1990, ROTHACHER 1992).

$$\frac{|\Delta b|}{|b|} \approx \frac{|\Delta r|}{|r|} \qquad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinde; Δr uydunun yörünge hatası, r yer merkezinden uyduya olan konum vektörü (yaklaşık 25000 km), Δb ölçülen b bazında oluşacak hata miktarı, b Ölçülen

bazın uzunluğudur. Bu eşitlik çeşitli baz uzunlukları ve değişik yörünge doğrulukları için Tablo 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.3 Yörünge hatalarının ölçülen bazlara etkisi (ROTHACHER 1992)

yörünge hatası	kenar uzunluğuna göre oluşacak hata				$\frac{\lvert \Delta b \rvert}{\lvert b \rvert}$
	1 km	10 km	100 km	1000 km	
10 cm	0.004 mm	0.04 mm	0.4 mm	4 mm	4.10^{-9}
1 m	0.04 mm	0.4 mm	4 mm	4 cm	4.10^{-8}
10 m	0.4 mm	4 mm	4 cm	40 cm	4.10^{-7}
100 m	4 mm	4 cm	40 cm	4 m	4.10^{-6}

Yörünge bilgilerinin doğruluğunun sonuçlara etkisinin araştırılması amacıyla yapılan daha detaylı bir çalışmada Zielinski, yukardaki (3.7) eşitliği yerine GPS sistemi için daha uygun bir eşitlik ortaya koymuştur. Bu eşitlikte, kötü uydu geometrisi için 4, iyi bir uydu geometrisi için 10 çarpanıyla (3.7) eşitliğinin paydası genişletilmiştir (ZIELINSKI 1989).

$$\frac{|\Delta r|}{|10\, r|} \leq \frac{|\Delta b|}{|b|} \leq \frac{|\Delta r|}{|4\, r|} \qquad (3.8)$$

Bu durumda, 2 veya 3 m lik yörünge hatası, 300-500 km lik uzunluklardaki bazlar için 1 cm'nin altında bir hata oluşmasına neden olmaktadır. GPS ölçmelerinde yörüngeye ait uydu yayın bilgileri (broadcast orbit) kullanılarak hesaplanan bazların doğrulukları;

$$\frac{|\Delta b|}{|b|} = 1.10^{-7} \sim 4.10^{-7} \qquad (3.9)$$

mertebesindedir (ROTHACHER 1992, s.41). Bu da yörüngenin 2.5 m ile 10 m arasında bir doğruluğu olduğunu gösterir. Kıta hareketlerinin izlenmesi için kurulan uluslararası GPS servisi (IGS) ise, 10^{-8} veya daha iyi doğrulukla presizyonlu yörünge bilgileri üreteceğini belirtmektedir (ROTHACHER 1992, s.41). IGS tarafından üretilen bu presizyonlu yörünge bilgileri kullanıcılara internet aracılığı ile sp3 formatında yayınlanmaktadır. İstanbul nirengi ağı ölçüleri, ölçme anında kayıt edilen yörünge bilgileri (broadcast orbit) ve IGS den alınan prezisyonlu yörünge bilgileri ile ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her iki çözümün sonuçları Bölüm 6 da karşılaştırılmıştır.

3.6 Değerlendirmede Sabit Alınan Noktanın Koordinatlarının Etkisi

Bu etkilerin yanısıra, bu çalışmanın kapsamı ile bir ölçüde ilişkili olan mutlak olarak WGS-84 koordinat sistemine bağlanma düşüncesi, faz ölçülerinin çözümünde sabit alınan noktanın koordinatlarındaki hatanın, sonuçlar üzerindeki matematiksel etkilerinin incelenmesini de gündeme getirmiştir. Bu durum, bölgesel olarak nirengi ağlarının sıklaştırılmasında bir anlam taşımasa da, gelecek için düşünülen süper GPS ağına, mevcut sıklaştırma çalışmalarına ait değerlendirme sonuçlarının bağlanabilmesi için gereklidir. Bunun dışında, GPS ile yerkabuğu hareketlerinin incelenmesinde sonuçlarının yer bilimcileri açısından yorumlanabilmeleri, kurulan deformasyon ağlarının mutlak olarak yönlendirilmeleri ile mümkün olabilir. Aksi takdirde hareketlerin yönlerinde ve büyüklüğünde yanılmalar olabilir.

Göreli konum belirlemede, ölçülerinin değerlendirilmesinde noktalardan birinin koordinatları sabit alınır. Sabit nokta için, ya kod ölçülerinin değerlendirmesi sonucu bulunan yaklaşık koordinatlar kullanılır (±100 den daha iyi), ya da uydu sistemindeki koordinatları bilinen bir ağa bağlanarak değerlendirme mutlak koordinatlara dayandırılır. Bu durum, yatay ve düşey konum için ayrı olarak incelendiğinde, göreli konum belirlemede sabit noktanın yüksekliğinin (mutlak anlamda) hatalı olması, ölçülen ağın bu hata miktarınca ötelenmesinin yanısıra, ağda ölçek değişimine de neden olur (BEUTLER ve diğ 1989a). Sabit alınan noktanın yatay koordinatlarının içereceği hatalar ise, ağın yatay düzlem içersinde kalan ve bu hata vektörüne dik olan doğrultu etrafında dönmesine neden olur. Bu durum doğal olarak birinci derecede yükseklikleri etkiler.

Ayrıca, dengeleme işleminde, düzeltme denklemlerinin yaklaşık değerler civarında doğrusallaştırıldığı düşünüldüğünde, yaklaşık koordinatların dengelemenin bu esasını bozmayacak doğrulukta olması gerekir. Özellikle sinyallerin şifrelenmesinden dolayı (Selective Availability ve Anti-Spoofing), koordinatların belli bir doğrulukla hesaplanabilmesi, ağın sabit noktalara bağlanması gereğini ortaya koymaktadır (LEICK ve diğ. 1992).

BÖLÜM 4: GPS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARIN ANALİZİ

Ölçmelerde çok sayıda alıcının bulunmadığı, verilerin kampanya şeklinde değerlendirilmediği ve ölçülerin çok farklı zamanlarda yapılmış olması durumunda, GPS ölçmeleri kapalı poligonlar oluşturacak şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde, farklı zamanlarda aynı bazın tekrarlı olarak ölçülmesi gerekir. Her iki durumda da sonuçların doğruluğu hakkında fikir sahibi olunulabilir. GPS sonuçlarının çok sayıda verinin birlikte dengelenmesi sonucu elde edildiği düşünülse bile, kapalı bir şekil oluşturan baz vektörlerinin ölçü olarak alınarak dengelenmesi gerekir. Bu işlem, özellikle antenin merkezlendirme hatası, anten yüksekliğinin yanlış ölçülmesi gibi kaba hataların ayıklanması için gereklidir.

4.1 Baz Vektörlerinin Değerlendirilmesi

GPS ölçüleri bağımsız bazlar şeklinde değerlendirildiklerinde, elde edilen sonuçlar iki nokta arasındaki baz vektörünün bileşenleri ve bu bileşenlerin varyans-kovaryans matrisidir. Bu vektörlerin kapalı bir şekil oluşturması halinde, vektör bileşenleri ölçü olarak alınarak, nivelman ağlarına benzer şekilde dengelenirler. Dengelemeye esas olacak düzeltme denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir (LEICK 1990, BOCK 1985);

$$\Delta X_{ij} + v_{\Delta X_{ij}} = X_j - X_i$$

$$\Delta Y_{ij} + v_{\Delta Y_{ij}} = Y_j - Y_i$$

$$\Delta Z_{ij} + v_{\Delta Z_{ij}} = Z_j - Z_i \qquad (4.1a)$$

(4.1a) modeline ait katsayılar matrisi; bilinmeyenlerin sıralaması $\underline{x} = \left[X_j \; Y_j \; Z_j \ldots\ldots \; X_i \; Y_i \; Z_i \ldots\ldots \right]^T$ olmak üzere, her bir vektör için yazılacak düzeltme

denklemlerine ait alt matris,

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0..... & -1 & 0 & 0..... \\ 0 & 1 & 0..... & 0 & -1 & 0..... \\ 0 & 0 & 1..... & 0 & 0 & -1..... \end{bmatrix} \qquad (4.1b)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu dengeleme için gerekli dış parametre sayısı üçtür. Ölçüler vektör bileşenlerinden oluştuğu için, diğer dört (1 ölçek ve 3 öteleme) yönlendirme parametreleri verilmiş olmaktadır. Sadece, bir noktanın koordinatlarına gereksinim vardır. Serbest dengeleme, vektör bileşenleri toplamının sıfır olması şartı altında, nivelman ağı serbest dengelemesine benzer şekilde gerçekleştirilir. Bu şart, $\underline{B}$ matrisi (3x3) lük alt birim matrislerden oluşmak üzere;

$\underline{B} = [\underline{I} \quad \underline{I} .... \underline{I}]$, $\underline{I}$ = (3x3)lük birim matris ve

$$\underline{B}\ \underline{x} = \underline{0} \qquad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir.

(4.1a) düzeltme denklemleri matris formunda yazılırsa;

$$\underline{v} = \underline{A}\ \underline{x} - \underline{l} \qquad (4.3)$$

ve çözüm vektörü de ;

$$\underline{x} = (\underline{A}^T \underline{P}\ \underline{A} + \underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{A}^T \underline{P}\ \underline{l} \qquad (4.4)$$

dir.

Ölçülere ait ağırlık matrisi genelde değerlendirme sonucuna ait varyans-kovaryans matrisi esas alınarak oluşturulur. İki alıcıyla ölçme yapılması durumunda dengelemeye ait ağırlık matrisi, ölçülen kenar sayısı kadar, köşegen üzerinde 3x3'lük alt matrislerden oluşan simetrik bir matristir. Koordinatlar arasındaki korelasyonlar ihmal edilerek, köşegen bir matris kullanmak da mümkündür (FGCC 1989). Burada gerçekleştirilen serbest dengeleme, istatistik olarak GPS sonuçlarının irdelenmesi

(uyuşumsuz ölçülerin araştırılması) ve dış doğruluklarının belirlenmesi amacını taşır. GPS ölçülerinin bu şekilde irdelenmesi, yapılabilecek kaba ölçme hatalarının (anten yüksekliği ve antenin yönlendirilmesi hatası) belirlenmesi için gereklidir. Bu işlem aynı zamanda değerlendirmeden kaynaklanabilecek hataları da (faz belirsizliklerinin çözümü gibi) benzer şekilde ortaya çıkarır.

(4.1a) modelinde ölçülerin herhangi bir sistematik hatanın etkisinde bulunmadığı varsayılmaktadır. Özellikle farklı zamanlarda gerçekleştirilen ölçmeler, farklı yörünge yayları ile değerlendirilirler. Bu nedenle, ölçmelerin değerlendirilmesinde hesaplanan baz vektörlerinin aynı koordinat sistemine ait olup olmadıkları irdelenmelidir. Olabilecek sistematik farklar, ya vektörlerin birbirlerine göre dönük olması, veya bir ölçek farkının bulunması şeklinde ortaya çıkar. Bu nedenlerden dolayı, fonksiyonel model olarak alınan (4.1a) eşitliği genişletilerek kullanılır (BANYAI 1991, CHRZANOWSKI ve CHEN 1994).

Çok yüksek doğruluklarla sonuç elde edilen GPS sisteminin, kullanım kolaylığını artırabilmek için, kapalı şekillerin oluşturulması bir zorluk gibi görünse de, geometrik bir kontrol düzeneğinin oluşturulması jeodezik açıdan kaçınılmazdır. Bu şekilde sonuçların dış doğrulukları belirlenebilir. GPS sonuçlarının dış doğruluklarını belirlemek için diğer bir yöntem, farklı günlerdeki tekrarlı ölçülerden bir doğruluk kriterinin üretilmesidir. *Tekrarlanabilirlik* (repeatability) olarak adlandırılabilecek bu kriter aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (BLEWITT 1989);

$$s = \left(\frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^{N} \frac{(R_i - \langle R \rangle)^2}{\sigma_i^2} \Big/ \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2} \right)^{1/2} \qquad (4.5)$$

Burada, N ölçme oturumu sayısını, R_i faz ölçülerinin dengelemesinden bulunan nokta koordinatlarını, σ_i, R_i değerinin varyansını, $\langle R \rangle$ ağırlıklı ortalama değeri temsil etmektedir. Faz ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu bulunan noktaların görünen doğrulukları (formal errors) genelde gerçek durumu yansıtmazlar ve bunlar oldukça küçük değerlerdir (SOLER ve diğ. 1991). Faz değerlendirmesi sonucunda elde edilen bu değerler, 3 ile 10 arasında bir sayı ile çarpılarak, sonuçların dış doğrulukları ifade

edilmeye çalışılır (BOCK 1985, CRAYMER ve diğ. 1992, MIREAULT 1994, WELLENHOF ve diğ 1994 s 148-156). Bu deneysel yaklaşım, (4.1) ve (4.5) dışında, sonuçların doğruluğunu ifade açısından oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir.

4.2 Uyuşumsuz Ölçülerin Üçlü Gruplar Şeklinde İrdelenmesi

POPE 'nin uyuşumsuz ölçülerin irdelenmesine ilişkin 1975 de ortaya koyduğu test yöntemi, ölçü çiftleri için KOCH tarafından 1985 'de ifade edilmiş ve düzeltmelere ilişkin test, iki boyutlu dönüşüm işlemi için, BENNİNG 1985 'de, ölçek katsayısına ilişkin test AKSOY 1995 de analitik olarak verilmiştir. Ayrıca, KOCH 1985 ve 1988 de ölçü çiftleri dışında, farklı ölçü grupları için benzer test yönteminin uygulanabileceği vurgulanmaktadır. Bu çalışmalar esas alınarak, üçlü ölçü gurupların ele alınması halinde, ölçü çiftleri yerine, üçlü ölçü gruplarının birlikte irdelenmesinin mümkün olacağı düşünülüp, buna ait test büyüklüğü ve karşılaştırılması gereken fraktil değeri bu çalışmada çıkarılmıştır.

Gauss-Markoff modeli esas alındığında uyuşumsuz ölçüler testi için aşağıdaki ifadeler geçerlidir (KOCH 1985);

$$\underline{A}\,\underline{x} = E(\underline{l}) = \underline{l} + \underline{v} \qquad \text{ve} \qquad D(\underline{l}) = \sigma_0^{\,2}\,\underline{P}^{-1} \tag{4,6}$$

Burada, $\underline{A}$ (nxu) katsayılar matrisi, $\underline{x}$ (ux1) bilinmeyenler vektörü, $\underline{l}$ (nx1)ölçüler, $D(\underline{l})$ (nxn) ölçülerin varyans-kovaryans matrisi, $\underline{v}$ (nx1) düzeltmeleri ve $\underline{P}$ ölçülerin ağırlık matrisini göstermektedir. (4.6) eşitliğinde, $\underline{\Delta l}$ (rx1) uyuşumsuz ölçü miktarları, $\underline{Z}$ (nxr), bu ölçü miktarlarına ait katsayılar matrisi olmak üzere fonksiyonel model genişletilirse,

$$\left[\underline{A}\;\;\underline{Z}\right]\begin{bmatrix}\underline{x}\\ \underline{\Delta l}\end{bmatrix} = \underline{l} + \underline{v} \qquad \text{ve} \qquad D(\underline{l}) = \sigma_0^{\,2}\,\underline{P}^{-1} \tag{4.7}$$

elde edilir. Burada;

$$\underline{\Delta l} = \left[\Delta l_k, \Delta l_{k+1}, ..\right]^T \;,\; \underline{Z} = \left[\underline{e}_k, \underline{e}_{k+1}, ...\right]^T \tag{4.8}$$

ve

$$\underline{e}_k = [0,0,....0,1,0,....0]^T$$

şeklinde ifade edilebilir.

Sıfır hipotezi ; ölçülerde uyuşumsuz ölçü olmadığı şeklinde ifade edilirse,

$$H_0 : \underline{\Delta l} = \underline{0} \qquad (4.9)$$

ve karşı hipotez;

$$H_1 : \underline{\Delta l} \neq \underline{0}$$

şeklindedir.

(4.9) eşitliği burada (4.7) modeline ek şart denklemi olarak algılanır. Böylece şart denklemli Gauss-Markoff modeli söz konusudur. Şart denklemli (H indisli) ve şart denklemsiz modellerle çözümde bilindiği gibi $(\underline{v}^T \underline{P}\, \underline{v})_H = (\underline{v}^T \underline{P}\, \underline{v}) + R$ ilişkisi vardır ve R (4.11) eşitliği ile verilmektedir. Bu durumda Hipotez için test büyüklüğü;

$T = \left(\dfrac{R}{r \hat{\sigma}_0^{\,2}} \right)^{1/2}$ olur. $\hat{\sigma}_0^2 = \dfrac{\underline{v}^T \underline{P}\, \underline{v}}{n-q}$ değeri yerine konursa;

$$T = \left(\frac{R\,(n-q)}{r(\underline{v}^T \underline{P}\, \underline{v})} \right)^{1/2} \qquad (4.10)$$

şeklinde de ifade edilebilir (KOCH 1985, KOCH 1988). r, (4.9) eşitliğindeki şart denklemi sayısıdır (ölçülerin teker teker irdelenmesinde r=1, ölçü çiftleri şeklinde irdelenmesinde r=2 dir). Burada R karesel formu,

$$R = \underline{V}^T \underline{PZ} (\underline{Z}^T \underline{PQ}_{VV} \underline{PZ})^{-1} \underline{Z}^T \underline{PV} \qquad (4.11)$$

olduğu bilinmektedir (KOCH 1985, 1988).

(4.11) ifadesinde Q_{vv} düzeltmelerin ağırlık katsayılar matrisidir. $T \approx \tau'$ olmak üzere, T nin merkezsel olmayan *Tau* dağılımında olduğu bilinmektedir. *Tau* dağılımının fraktil değerleri:

$$\tau'_{1-\frac{\alpha}{p},r,n-q-r,\lambda} = \left(\frac{(n-q)F'_{1-\frac{\alpha}{p},r,n-q-r,\lambda}}{n-q-r+rF_{1-\frac{\alpha}{p},r,n-q-r,\lambda}} \right)^{1/2} \tag{4.12}$$

ifadesiyle verilmektedir (KOCH 1985). Burada, $\lambda = \underline{\Delta l}^T \underline{Z}^T \underline{PQ}_{vv} \underline{PZ\Delta l} / \sigma^2_{\underline{\Delta l}}$ ve F', merkezsel olmayan Fisher dağılımının fraktil değeridir.

(4.6) modeli esas alınarak ifade edilmiş olan uyuşumsuz ölçü testi, iki boyutlu dönüşüm probleminde aşağıdaki şekildedir (BENNING 1985, AKSOY 1987).

$$T = \left(\frac{v_{yi}^2 + v_{xi}^2}{2\hat{\sigma}^2 q} \right)^{1/2} \tag{4.13}$$

Burada;

$$q = 1 - 1/p - (x_i^2 + y_i^2)/S$$

p ise eşlenik nokta sayısıdır.

Bu özel durum için, *Tau* dağılımının fraktil değeri de analitik olarak açıkça ifade edilebilir (BENNING 1985, AKSOY 1987, AKSOY ve diğ 1995).

$$\tau_{(1-\frac{\alpha}{p};2,2p-6)} = \left((p-2)(1-\frac{\alpha}{p})^{\frac{1}{p-3}} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{4.14}$$

Üçlü gruplar şeklinde uyuşumsuz ölçülerin irdelenmesinde ise test büyüklüğü benzer şekilde elde edilebilir. (4.8) ve (4.11) eşitlikleri, üçlü gruplar için aşağıdaki şekilde düzenlenir.

$$\underline{\Delta l} = \left[\Delta l_k, \Delta l_{k+1}, \Delta l_{k+2}\right]^T \text{ ve } \underline{Z} = \left[\underline{e}_k, \underline{e}_{k+1}, \underline{e}_{k+2}\right] \tag{4.15}$$

$$\underline{e}_k = \left|0,0,....0,1,0,....0\right|^T$$

Sıfır hipotezi;

$$H_0:\begin{bmatrix}\Delta l_k\\ \Delta l_{k+1}\\ \Delta l_{k+2}\end{bmatrix}=\underline{0}\ ;\ \text{ve karşı hipotez,}\quad H_1:\begin{bmatrix}\Delta l_k\\ \Delta l_{k+1}\\ \Delta l_{k+2}\end{bmatrix}\neq\underline{0} \tag{4.16}$$

şeklindedir. Bu durumda şart denklemi sayısı; $r=3$ olur. (4.10) test büyüklüğüne ilişkin ifade hesaplanacak olursa, R karesel formu, $\underline{P}$ ağırlık matrisi köşegen bir matris olması durumunda, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\underline{Z}^T\underline{P}=\begin{bmatrix}0.... & p_k & 0... & 0 & ...0\\ 0.... & 0... & p_{k+1} & 0 & ...0\\ 0.... & 0... & 0... & p_{k+2} & ...0\end{bmatrix}, \tag{4.17}$$

$$\underline{Z}^T\underline{P}\underline{\hat{v}}=\begin{bmatrix}p_k\hat{v}_k\\ p_{k+1}\hat{v}_{k+1}\\ p_{k+2}\hat{v}_{k+2}\end{bmatrix}. \tag{4.18}$$

Ölçülerin kofaktör matrisi $\underline{Q}_{vv}$ ve elemanları q_{ij} ($i = 1,...,n$, $j = 1,....,n$ *ve* n = *ölçü sayısı*) olmak üzere;

$$\underline{Z}^T\underline{P}\underline{Q}_{vv}\underline{P}\underline{Z}=\begin{bmatrix}p_kq_{k,k}p_k & p_kq_{k,k+1}p_{k+1} & p_kq_{k,k+2}p_{k+2}\\ p_{k+1}q_{k,k+1}p_k & p_{k+1}q_{k+1,k+1}p_{k+1} & p_{k+1}q_{k+1,k+2}p_{k+2}\\ p_{k+2}q_{k,k+2}p_k & p_{k+2}q_{k+2,k+1}p_{k+1} & p_{k+2}q_{k+2,k+2}p_{k+2}\end{bmatrix} \tag{4.19}$$

matrisi elde edilir.

(4.19) un inversi alınıp, (4.18) eşitliği ile birlikte (4.11) eşitliğinde yerine konursa, üçlü ölçü gruplarından birisi için, test büyüklüğü olarak, aşağıdaki analitik ifade elde edilir.

$$\begin{aligned}T = \{\ [\ &\left(q_{k+1,k+1}q_{k+2,k+2}-q^2{}_{k+2,k+1}\right)\hat{v}_k^2+2\left(q_{k+2,k}q_{k+2,k+1}-q_{k,k+1}q_{k+2,k+2}\right)\hat{v}_{k+1}\hat{v}_k\\ &+\left(q_{k,k}q_{k+2,k+2}-q_{k,k+2}^2\right)\hat{v}_{k+1}^2+2\left(q_{k,k+1}q_{k,k+2}-q_{k+1,k+2}q_{k,k}\right)\hat{v}_{k+2,k+1}\\ &+\left(q_{k,k}q_{k+1,k+1}-q_{k,k+1}^2\right)v_{k+2}^2\ ]\ /\ 3\hat{\sigma}^2\left[\left(q_{k,k}q_{k+1,k+1}q_{k+2,k+2}\right)\right.\\ &\left.-q_{k,k+1}\left(q_{k,k+1}q_{k+2,k+2}-q_{k,k+2}q_{k+2,k+1}\right)\right.\end{aligned}$$

$$+q_{k,k+2}\left(q_{k,k+1}q_{k+2,k+1} - q_{k,k+2}q_{k+1,k+1}\right) \;] \; \}^{\frac{1}{2}} \qquad (4.20)$$

T test büyüklüğü; sıfir hipotezi için, $\lambda = 0$ ile, *Tau* dağılımının fraktil değeriyle karşılaştırılmalıdır. (4.12) eşitliği esas alındığında, *Tau* dağılımının fraktil değeri aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\tau_{1-\frac{\alpha}{p},3,n-q-3} = \left(\frac{(n-q)F_{1-\frac{\alpha}{p},3,n-q-3}}{n-q-3+3F_{1-\frac{\alpha}{p},3,n-q-3}} \right)^{1/2} \qquad (4.21)$$

(4.21) deki F (Fisher) dağılımının fraktil değerleri, tam olmayan beta fonksiyonu yardımıyla hesaplanır (AKSOY 1987).

$$T \leq \tau_{1-\frac{\alpha}{p},3,n-q-3} \qquad (4.22)$$

olması, incelenen ölçü grubunun uyuşumsuz olmadığını gösterir. Uyuşumsuz olan ölçü atılarak dengeleme işlemi tekrarlanır. Böylece, test işlemi uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam eder. Burada, α seçilmesi gereken risk düzeyidir ve genelde 0.05 alınır. p ise ölçü gurubu sayısıdır. Üç boyutlu dönüşümde p eşlenik nokta sayısına, baz vektörlerinin dengelemesinde ise p ölçülen baz sayısına eşittir. *(n-q)* ise *(n-u+d)* değerine eşittir. n=ölçü sayısı, u=bilinmeyen sayısı, d= gerekli dış paremetre sayısıdır. Dönüşüm probleminde $d = 0$, GPS vektörlerinin dengelemesinde ise, $d = 3$ tür.

Dönüşümlerin dengelemesinde farklı dengeleme modelleri kullanılabilir. Özellikle iki sistemin de koordinatları ölçü olarak alındığında, problem *karma dengeleme modeli (mixed model)* ile çözülür. Bu durum için, uyuşumsuz ölçüler testi, PERSSON 1982a, 1982b çalışmaları esas alınarak, benzer şekilde uyarlanabilir.

BÖLÜM 5: GPS SİSTEMİ ile YERSEL SİSTEM ARASINDA DÖNÜŞÜM

GPS (WGS 84 koordinat sistemi) ile, yersel koordinat sistemleri benzer iki koordinat sistemi olarak ele alınırlar. İki sistem arasındaki ilişki, genel anlamda üç boyutlu olarak ifade edilir. Bu iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm, orijinlerin farklı olması (3 adet öteleme), koordinat eksenlerinin yönlerinin farklı olması (3 adet dönme) ve iki sistemin ölçeğinin farklı olması (1 adet ölçek faktörü) nedeniyle, 7 parametreli dönüşüm modeli ile belirlidir.

Fakat, yersel sistemler üç boyutlu bilgi açısından zayıfdır ve nokta konum bilgileri, düşeyde ve yatayda birbirlerinden bağımsızdır. Yatay kontrol noktaları ile düşey kontrol noktaları bağımsız olarak ölçülür ve hesaplanırlar. Bu nedenle, yersel sistemi üç boyutlu kartezyen sistem olarak ifade etmek kolay değildir.

Problemin çözümü, belli şartlar altında aşağıdaki yollardan biriyle gerçekleştirilir.

1- Yersel sistemde yüksekliklerin bilinmesi durumu

Yersel sistemde ortometrik yüksekliklerin ve jeoid yüksekliklerinin bilinmesi halinde, eşlenik noktaların yersel sistemdeki X,Y,Z kartezyen karşılıkları bulunur. Aynı noktaların GPS ile bulunmuş kartezyen koordinatları ile, üç boyutlu dönüşüm işlemi gerçekleştirilir ve dönüşüm parametreleri hesaplanır (BURKHOLDER 1993). Bu parametrelerle, GPS ile ölçülmüş diğer noktalar yersel sisteme dönüştürülür.

Yersel sistemde sadece ortalama deniz seviyesinden olan yüksekliklerin bilinmesi halinde, küçük ve engebesiz bölgelerde jeoidin değişiminin olmaması veya lineer bir değişim göstermesi nedeniyle, ortalama deniz seviyesine ait yükseklikleri kullanarak kartezyen koordinatlar hesaplanır ve bu koordinatlarla üç boyutlu dönüşüm gerçekleştirilir. Bu durumda, dönüşüm parametreleri bir miktar farklılaşırken, sonuçların doğruluğu etkilenmez (VINCENTY 1987).

2- Yersel sistemde yüksekliklerin bilinmemesi durumu

Yersel noktaların yükseklik bilgilerinin olmaması durumunda iki yol izlenebilir.

Birinci yol: Her iki sistemin yükseklikleri sıfır (h=0) alınır ve noktaların bu şekilde kartezyen koordinatları yeniden hesaplanır. Bu kartezyen koordinatlarla dönüşüm işlemi gerçekleştirilir. Bu durumda, hesaplanan koordinatların fiziksel noktalara ait olmaması, iki elipsoid arasındaki şekil farklılığı göz önüne alındığında benzerlik esasına uymaz. Bu uyuşmazlığın sonuçlara etkisi, noktaların elipsoidal yüksekliklerinin büyüklüğü, elipsoid parametreleri arasındaki farklılığın miktarı ve dönüşümde kullanılan noktaların kapladığı alanın büyüklüğü ile orantılıdır (EVING ve diğ 1970, BOMFORD 1971, TORGE 1991). Burada, dönüşüm işlemi, iki elipsoidin yüzeylerini eşlenik noktaların kapladığı alanda çakıştırır ve dönüşüm parametreleri genel durumu yansıtmaz.

İkinci yol ise, her iki sistemin koordinatları, aynı projeksiyon koordinat sisteminde (Gauss-Krüger) elde edilir ve dönüşüm işlemi bu koordinatlarla iki boyutlu olarak gerçekleştirilir. Bu durumda da yukarıda sözü edilen, iki elipsoid arasındaki şekil farklılıklığı dolayısıyla belirtilen şartlar söz konusudur.

Her iki yöntem için, benzerlik dönüşümü yerine afin dönüşüm yöntemi de tercih edilebilir. Uygulamada, sıklaştırma çalışmalarının küçük bölgeleri içermesi nedeniyle bu yöntemler kullanılabilir.

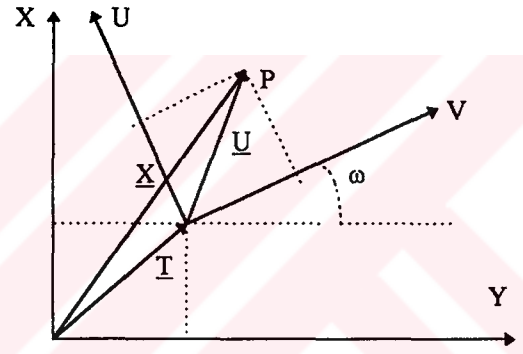
Bunun yanısıra, dönüşüm işlemi, iki sisteme ait koordinatların (enlem, boylam ve yükseklik değerleri) eşlenik noktalar için farkları, çok değişkenli polinom olarak ifade edilip, polinom katsayılarının hesaplanması şeklinde de gerçekleştirilebilir (GÜRKAN 1979, DMA 1988, ABD-ELMOTAAL 1994). Özellikle, geniş alanlarda ve distorsiyonlu ağlarda çok sayıda eşlenik nokta kullanılarak, her koordinat bileşeni için ayrı bir polinom ile dönüşümün ifade edilmesi istenilen doğruluk bakınmından yeterli olabilir.

Bu bölümde, klasik dönüşüm yöntemleri, GPS uydu sistemiyle yersel sistem (Ülke Koordinat Sistemi) arasındaki genel ilişki dikkate alınarak ifade edilecektir. Yersel sistem ve GPS sisteminin her ikisi de yer yuvarının fiziğine uygun olarak

yönlendirilmişlerdir. Her iki sistemin eksenleri aynı fiziksel yönler ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle, iki sistem yaklaşık benzer yönlendirmeye sahiptir ve dönüşüm işleminde koordinat eksenlerinin biribirine göre dönüklükleri küçüktür. Bu bölümde ifade edilen dönüşüm yöntemleri bu düşünce çerçevesinde basitleştirilerek ifade edilmişlerdir.

5.1 İki boyutlu Benzerlik Dönüşümü

İki boyutlu benzerlik dönüşümü (şekil 5.1), iki koordinat sistemi arasında, T_x, T_y ötelemeler, ω dönüklük ve Δ ölçek farkı olmak üzere 4 parametre ile belirlidir (YAŞAYAN 1974).



Şekil 5.1 İki boyutlu benzerlik dönüşümü

Bu ilişki, Şekil 5.1 esas alınarak, vektörel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\underline{X} = \underline{T} + (1+\Delta)\underline{RU} \quad . \tag{5.1}$$

Burada,

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} \cos\omega & -\sin\omega \\ \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \tag{5.2}$$

dönme matrisi ve Δ iki sistem arasındaki ölçek katsayısıdır. ω dönüklüğü U sisteminin UV düzlemi normali etrafında saat akrebi ters yönünde döndürülmesi şeklinde tanımlanmıştır.

ω dönüklüğünün küçük olması durumunda (WGS 84 ile Ülke koordinat sistemi arasında bu ilişki vardır) $\underline{R}$ dönme matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\underline{R}=\begin{bmatrix}1 & -\omega\\ \omega & 1\end{bmatrix} \text{ veya } \underline{R}=\underline{I}+\underline{Q}=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 & -\omega\\ \omega & 0\end{bmatrix} \tag{5.3}$$

(5.1) eşitliğinde, $\underline{R}$ dönme matrisi (5.3) deki şekliyle yerine konur, ölçek ve dönüklük parametreleri ile ilişkili ikinci dereceden terimler ihmal edilecek olursa, lineer bir denklem sistemi elde edilir.

$$\underline{X}=\underline{T}+\underline{U}+\Delta\underline{U}+\underline{Q}\underline{U} \tag{5.4}$$

Düzeltme denklemleri, X sistemindeki koordinatlar ölçü olarak alınır ve düzenlenirse tek bir eşlenik nokta için, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{bmatrix}v_X\\ v_Y\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0 & u & -v\\ 0 & 1 & v & u\end{bmatrix}\begin{bmatrix}T_x\\ T_y\\ \Delta\\ \omega\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}u-x\\ v-y\end{bmatrix} \tag{5.5}$$

X ve U sistemlerinin UTM veya GAUSS-KRÜGER projeksiyon koordinat sistemleri gibi yer yuvarı orijinli olması (ekvator orijinli) durumunda, (5.5) eşitliği ile yapılan uygulamalarda, eşlenik noktaların küçük bölgelerde yer alması, dönüklük ve öteleme büyüklükleri arasında yüksek korelasyona neden olur. Bu sebeple, koordinat sistemlerinden döndürülecek olan sistemin orijini eşlenik noktaların merkezine,

$$u_0=\frac{\sum_{i=1}^{n}u_i}{n}, \qquad v_0=\frac{\sum_{i=1}^{n}v_i}{n} \tag{5.6}$$

olmak üzere ötelenir. Burada, n = eşlenik nokta sayısı, u_0 ve v_0 ise, U koordinat sisteminde eşlenik noktaların geometrik merkezinin koordinatlarıdır. u_0 ve v_0 büyüklükleri göz önüne alınarak (5.1) eşitliği yeniden yazılabilir.

$$\underline{X}=\underline{T'}+\underline{U}_0+(1+\Delta)\underline{R}(\underline{U}-\underline{U}_0) \tag{5.7}$$

(5.7) eşitliğinde, $\underline{R}$ dönme matrisi (5.3) deki şekliyle yerine konur, ölçek ve dönüklüklerle ilişkili ikinci dereceden terimler ihmal edilirse, doğrusallaştırılmış düzeltme denklemleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (u-u_0) & -(v-v_0) \\ 0 & 1 & (v-v_0) & (u-u_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_x \\ T'_y \\ \Delta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u-x \\ v-y \end{bmatrix} \qquad (5.8)$$

(5.8) eşitliklerinde, dönüklükler ve ötelemeler arasındaki yüksek korelasyon ortadan kaldırılmıştır. (5.5) modelindeki ötelemeler geometrik büyüklükleri ifade ederken, (5.8) modelinde u_0 ve v_0 ile fonksiyonel bir ilişki içersindedirler. Ölçek ve dönüklük ise her iki modelde de aynıdır. GPS sistemine ilişkin gerçekleştirilecek iki boyutlu dönüşüm işleminde, pratik kullanım için, yayınlanacak dönüşüm peremetrelerinin (5.8) eşitliği ile hesaplanması daha uygundur. Bu modelde dönüşüm parametreleri ile birlikte u_0 ve v_0 büyüklükleri de yayınlanmalıdır.

5.2 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü Yöntemleri

Afin dönüşüm, genel bir dönüşümü ifade eder. Afin dönüşümünde, doğrular doğru olarak ve parelellikler parelel olarak kalırken, boyut, şekil, konum ve ağdaki doğrultuların yönü değişir. Ölçek faktörü ağ içersindeki noktaların konumlarıyla ilişkili değil, doğruların yönü ile ilşkilidir. Bu yüzden belli bir doğrultudaki bütün kenarlar aynı ölçek faktörü ile çarpılırlar. Dönüşümde ölçek faktörünün ağa ait noktaların konumlarıyla ilişkili olmaması durumunda, çözümdeki parametre sayısı azalır. Bu durum, ağda herhangi bir distorsiyonun olmadığı kabulünün yapılması demektir. Bütün doğrultulardaki ölçek faktörlerinin eşit alındığı bir afin dönüşümüne, benzerlik dönüşümü denmektedir. Benzerlik dönüşümünde, ağın şekli korunur, yani açılarda herhangi bir değişiklik olmaz. Fakat, uzunluklar ve noktaların koordinatları değişebilir. Ölçek faktörünün bire eşit olduğu bir benzerlik dönüşümü ise, ortogonal dönüşüm olarak bilinir. Bu durumda, ağdaki açılar ve uzunluklar korunurken yanlızca ağdaki noktaların konumları değişmektedir (HARVEY 1986, 1991, YAŞAYAN 1979).

Genel haliyle üç boyutlu benzerlik dönüşümü (BURSA-WOLF yöntemi) aşağıdaki şekildedir (LEICK 1990, IHDE 1987, SOLER ve HOTHEM 1988).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = (1+\Delta)\underline{R}\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} \tag{5.9}$$

Δ ölçek faktörü, $\underline{R}$ ise (3×3) lük ortagonal dönme matrisidir. Dönüşüm yedi parametreden oluşur. Bunlar; üç adet dönme, üç adet ötelenme ve bir adet ölçek faktörüdür. (Tx, Ty, Tz) ötelenmeleri U sisteminin orijininin X sistemindeki koordinatlarıdır. u, v ve w eksenlerine göre dönme matrisleri aşağıdaki şekilde gösterilirler.

$$\underline{R}_3 = \underline{R}w(\omega) = \begin{bmatrix} \cos\omega & \sin\omega & 0 \\ -\sin\omega & \cos\omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{R}_2 = \underline{R}v(\psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi \end{bmatrix}$$

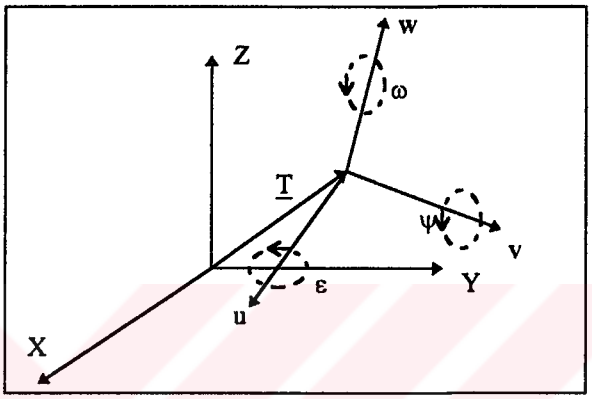
$$\underline{R}_1 = \underline{R}u(\varepsilon) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varepsilon & \sin\varepsilon \\ 0 & -\sin\varepsilon & \cos\varepsilon \end{bmatrix} \tag{5.10}$$

$$\underline{R} = \underline{R}w(\omega)\underline{R}v(\psi)\underline{R}u(\varepsilon) \tag{5.11}$$

En çok kulanılan kartezyen dönme matrisi şekil 5.2 de görüldüğü üzere $\underline{R}w(\omega)\underline{R}v(\psi)\underline{R}u(\varepsilon)$ dir. Küçük boyuttaki dönmelerde dönme matrisi için aşağıdaki yaklaşım yapılabilir. $\varepsilon, \psi, \omega$ dönme açıları sırasıyla u, v, w eksenlerine göre olan dönmeler olmak üzere,

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 1 & \omega & -\psi \\ -\omega & 1 & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & 1 \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

şeklinde sadeleştirilebilir. Dönme açılarının küçük alınabilirliği kabulü, bu açıların 3″ mertebesine kadar büyüklükte olmaları halinde mümkündür. Örnek olarak, 500 km uzunluktaki bir bazın döndürülmesinde, her bir dönme açısının 10″ değerine eşit olması durumunda, $\underline{R}w(\omega)\underline{R}v(\psi)\underline{R}u(\varepsilon)$ dönme matrisi yerine $\underline{R}$ matrisi kullanılması koordinatlarda sadece 1 mm büyüklüğünde bir hataya neden olur. Dönme açıları mutlak koordinatlara değil baz vektörlerine bağlıdır. Bu nedenle koordinat sisteminin orijininin nerede olduğu önemli değildir. Dönme açıları her iki durumda da eşittirler.



Şekil 5.2 ($\underline{R}w(\omega)\underline{R}v(\psi)\underline{R}u(\varepsilon)$) Dönme açıları ve $\underline{T}$ öteleme vektörü

(5.9) (Bursa-Wolf) modelinde (5.12) eşitliği yerine konur, ölçek faktörü ve dönme açılarının ikinci dereceden terimleri ve bunların çarpımları ihmal edilecek olursa, aşağıdaki doğrusallaştırılmış düzeltme denklemleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & u & v & -w & 0 \\ 0 & 1 & 0 & v & -u & 0 & w \\ 0 & 0 & 1 & w & 0 & u & -v \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ \Delta \\ \omega \\ \psi \\ \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u-x \\ v-y \\ w-z \end{bmatrix} = \underline{0} \qquad (5.13)$$

(5.13), matris normunda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\underline{B}\underline{V} + \underline{A}\underline{X} + \underline{W} = \underline{0} \qquad (5.14)$$

Molodensky-Badekas Modeli:

Bu modelde, döndürülecek olan sistemin orijini, eşlenik noktaların ağırlık merkezine kaydırılır. Böylece ötelemeler ve dönüklükler arasındaki yüksek korelasyon ortadan kalkar.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ w_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx' \\ Ty' \\ Tz' \end{bmatrix} + (1+\Delta)\underline{R} \begin{bmatrix} u-u_0 \\ v-v_0 \\ w-w_0 \end{bmatrix} \qquad (5.15)$$

$$u_0 = \frac{\sum u}{n}, \quad v_0 = \frac{\sum v}{n} \quad ve \quad w_0 = \frac{\sum w}{n}$$

dir.

Burada " 0 " noktası alternatif olarak (u v w) sisteminin herhangi bir noktasının koordinatlarına da eşit alınabilir. Önemli olan (u v w) sistemini eşlenik noktalar kümesinin yakınına ötelemektir. Sistemin orijininin ötelendiği bu noktanın koordinatları, dönüşüm işleminde sonuçlarla birlikte belirtilmelidir.

Molodensky-Badekas yöntemi, Bursa-Wolf yöntemiyle aynı problemi çözer ve aynı ölçek ve dönüklük parametrelerini hesaplar. Fakat öteleme büyüklükleri farklıdır. Bu fark miktarı (5.16) eşitliği ile belirlidir.

$$\begin{bmatrix} Tx' \\ Ty' \\ Tz' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ w_0 \end{bmatrix} + (1+\Delta)\underline{R} \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ w_0 \end{bmatrix} \qquad (5.16)$$

Molodensky -Badekas yöntemi, küçük dönmeler esas alınarak parametrelere ilişkin ikinci derece terimlerin ve karşılıklı çarpımlarının ihmal edilmesi ile, lineer düzeltme denklemleri aşağıdaki şekilde (5.17) eşitlikleri ile ifade edilir (LEICK 1990).

Molodensky-Badekas yöntemi ile çözümde elde edilen koordinatlar, baz uzunlukları, ölçek faktörü, dönme açıları ve bunlara ait varyans-kovaryans matrisleri ile dengeleme sonrası varyans değeri, Bursa-Wolf yöntemiyle aynı sonucu vermektedir. Bununla beraber, öteleme büyüklükleri farklı olmakta ve bunların doğrulukları da daha küçük olmaktadır (Bölüm 6).

Özellikle küçük alanları kapsayan çalışmalarda, Bursa-Wolf yöntemine ait normal denklemler sayısal olarak tekillik göstermektedir. Molodensky-Badekas yöntemi özellikle bu problemi çözmesi açısından önemlidir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & u-u_0 & v-v_0 & -(w-w_0) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & v-v_0 & -(u-u_0) & 0 & w-w_0 \\ 0 & 0 & 1 & w-w_0 & 0 & u-u_0 & -(v-v_0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T'x' \\ T'y \\ T'z \\ \Delta \\ \omega \\ \psi \\ \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u-x \\ v-y \\ w-z \end{bmatrix} = 0 \tag{5.17}$$

Diğer bir alternatif dönüşüm yolu ise, orijini ağın ağırlık merkezi olan lokal jeodezik sistem eksenleri *(n,e,h)* etrafında döndürülmesidir. Burada, *h* ağ merkezindeki normal doğrultuyu, *(n,e)* ise buna dik düzlem üzerindeki kuzey ve doğu doğrultularını göstermek üzere, (η, ξ, α) açıları sırasıyla *(n,e,h)* eksenleri etrafında pozitif dönmeleri ifade ederken, $(\varphi_0, \lambda_0, h_0)$ ağ merkezinin koordinatlarını ifade etmektedir. Veis modeli olarak bilinen bu yöntem vektörel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir (LEICK 1990).

$$\underline{T} + \underline{U}_0 + (1+\Delta)\underline{M}(\underline{U} - \underline{U}_0) - \underline{X} = 0 \tag{5.18}$$

Burada dönme matrisi;

$$\underline{M} = \underline{R}_3^T(\lambda_0)\underline{R}_2^T(90-\varphi_0)\underline{R}_3(\alpha)\underline{R}_2(\xi)\underline{R}_1(\eta)\underline{R}_2(90-\varphi_0)\underline{R}_3(\lambda_0) \tag{5.19}$$

veya

$$\underline{M}(\lambda_0, \varphi_0, \eta, \xi, \alpha) = \alpha\ \underline{M}_\alpha + \xi\ \underline{M}_\xi + \eta\ \underline{M}_\eta + \underline{I} \tag{5.20}$$

şeklindedir (LEICK 1990). Ayrıca,

$$\underline{M}_{\alpha} = \begin{bmatrix} 0 & \sin\varphi_0 & -\cos\varphi_0 \sin\lambda_0 \\ -\sin\varphi_0 & 0 & \cos\varphi_0 \cos\lambda_0 \\ \cos\varphi_0 \sin\lambda_0 & -\cos\varphi_0 \cos\lambda_0 & 0 \end{bmatrix}, \tag{5.21}$$

$$\underline{M}_{\xi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\cos\lambda_0 \\ 0 & 0 & -\sin\lambda_0 \\ \cos\lambda_0 & \sin\lambda_0 & 0 \end{bmatrix}, \tag{5.22}$$

$$\underline{M}_{\eta} = \begin{bmatrix} 0 & -\cos\varphi_0 & -\sin\varphi_0 \sin\lambda_0 \\ \cos\varphi_0 & 0 & \sin\varphi_0 \cos\lambda_0 \\ \sin\varphi_0 \sin\lambda_0 & -\sin\varphi_0 \cos\lambda_0 & 0 \end{bmatrix} \tag{5.23}$$

olduğu bilinmektedir.

(5.18) eşitliğinde, ölçek parametresi ve dönmelere ait ikinci dereceden terimler ve bunların çarpımları ihmal edilirse, model doğrusallaştırılmış olarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\underline{T} + \underline{U} + \Delta(\underline{U} - \underline{U}_0) + (\underline{M} - \underline{I})(\underline{U} - \underline{U}_0) - \underline{X} = 0 \tag{5.24}$$

Veis modelinin, Molodenski-Badekas modelinden farkı, dönmelerin lokal toposentrik sistem eksenleri (*n,e,h*) etrafında gerçekleşmesidir. İki sistemdeki dönmeler arasında ise aşağıdaki ilişki vardır.

$$\begin{bmatrix} \eta \\ \xi \\ \alpha \end{bmatrix} = R_2(90 - \varphi_0) R_0(\lambda_0) \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \psi \\ \omega \end{bmatrix} \tag{5.25}$$

Bunların dışında, WOLFRUM 1992 de, Veis modeline dayalı olarak, 7 dönüşüm parametresine ilave olarak, ölçek katsayısı yerine, toposentrik sistemin her bir ekseni için ayrı bir ölçek katsayısı ve maksimum bozulmanın olduğu doğrultuyu da bilinmeyen alarak, 10 parametreli bir dönüşüm yöntemi geliştirmiştir. Bu çalışmada denenmiş olan bu modele ilişkin eşitlikler, WOLFRUM 1992 ve KILIÇOĞLU 1995 de detaylı olarak verilmektedir.

5.3 Dönüşümlerin Dengelemesi

Dönüşüm modellerinde dengeleme işlemi, düzeltme denklemlerinin kurulması ile ilişkili olarak, iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Birincisi, koordinat sistemlerinden birisinin koordinatlarının ölçü olarak alınması ile Gauss-Markoff Modeli şeklinde değerlendirme, ikincisi ise koordinat sistemlerinin her ikisini de ölçü olarak alınması ile *karma dengeleme* modelidir (WELSCH 1987). (5.13) ve (5.17) lineer düzeltme denklemlerinde, her iki sistemde de koordinatlar ölçü olarak alınmıştır.

Burada, $\underline{BV} = \overline{\underline{V}}$ alınarak (5.13) ve (5.17) dönüşüm modelleri, koordinat sistemlerinden birinin koordinatları ölçü olarak alınarak, Gauss-Markoff modeli şekline dönüşür. Bölüm 6 daki dönüşüm yöntemleri bu şekilde uygulanmıştır.

Gauss-Markoff modeline göre dengeleme işlemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$(\underline{X} + \underline{v}_X) = \underline{U} + \underline{T} + \underline{\Delta RU} \quad \text{ve } \underline{P} \text{ (ağırlık matrisi)} \tag{5.26a}$$

(5.26a) eşitliği doğrusallaştırılmış normda , $\underline{V} = \underline{A}\underline{x} - \underline{l}$ şeklinde yazılırsa,

Çözüm vektörü;

$$\underline{x} = (\underline{A'PA})^{-1}\,\underline{A'Pl} \tag{5.26b}$$

$$\underline{Q}_{XX} = (\underline{A'PA})^{-1} \tag{5.26c}$$

$$\underline{Q}_{VV} = \underline{P}^{-1} - \underline{A}(\underline{A'PA})^{-1}\,\underline{A}^T \tag{5.26d}$$

şeklinde ifade edilir (WELLS ve KRAKIWSKY 1971, MIKHAIL 1976, LEICK 1990).

5.3.1 Uyuşumsuz Ölçülerin İrdelenmesi

Koordinat dönüşümü, iki farklı sistemdeki eşlenik noktalar kullanılarak gerçekleştirilir. Her iki sistemdeki koordinat bilgileri aksi bir durum olmadığı sürece dengeleme işlemi uygulanarak hesaplanmış ve uyuşumsuz olup olmadıkları irdelenmiştir. Eşlenik noktaların dönüşüm işleminde uyuşumsuz çıkmaları yine de mümkün olabilir. Buna

en belirgin neden olarak, GPS ölçmelerinin farklı noktalarda yapılmış olması ve nirengi noktalarının lokal veya global olarak tektonik hareketlerden etkilenmiş olmaları veya değişik dereceden noktalar (1., 2. ve 3. derece) olmaları gösterilebilir. Bu nedenle, dönüşüm işlemlerinin dengelemeli yapılması ve sonuçların uyuşumsuz olup olmadığının test edilmesi, kaçınılmaması gereken bir durumdur. Uyuşumsuz noktaların ayıklanması için birkaç farklı yol izlenebilir. Birinci olarak sözü edilecek yol, uyuşumsuz noktaların tesbit edilmesi ve bu noktaların eşlenik nokta grubu dışında bırakılmasıdır. Bu yöntemde takip edilen yol, noktaların koordinat bileşenlerinin tek tek uyuşumsuz olup olmadığının araştırılması yerine, koordinat bileşenlerinin ölçü grupları şeklinde ele alınıp, ölçü gruplarının uyuşumsuz olup olmadığının irdelenmesidir (Bölüm 4). Diğer bir yöntemde ise uyuşumsuz ölçülerin ağırlıkları belli bir fonksiyonel düzenek içersinde azaltılır (LEICK 1990, KAVOURAS 1987, YAŞAYAN 1979).

5.3.2 Dönüşüm Parametrelerinin Test edilmesi

Dönüşüm işlemi dengelemeli olarak uygulandığında, hesaplanan dönüşüm parametreleri test edilebilebilir. İki boyutlu dönüşüm probleminde AKSOY 1995 deki ölçek faktörünün test edilmesine ilişkin çalışma esas alınarak, bu bölümde üç boyutlu benzerlik dönüşümünde ölçek faktörünün testi ve (5.8) ile verilen iki boyutlu benzerlik dönüşümünde ölçek testi, analitik olarak ifade edilecektir.

Şart denklemli Gauss-Markoff modelininin çözümünde, bu problem için sıfır hipotezi olarak yazılan şart denklemleri ,

$$H_0;\ \underline{B}\,\underline{x}=\underline{b} \qquad (5.27)$$

şeklindedir. Parametreler, $\underline{b}=\underline{0}$ sıfır alınması ile, sıfırdan farklı olup olmadıkları test edilir. İki boyutlu dönüşümde; $\underline{B}=\underline{I}_{(4x4)}$, I = birim matris ve $\underline{x}=\left[T_x \quad T_y \quad \Delta \quad \omega\right]^T$ dönüşüm parametreleridir. Üç boyutlu dönüşümde ise, $\underline{B}=\underline{I}_{(7x7)}$ ve $\underline{x}=\left[T_x \quad T_y \quad T_z \quad \Delta \quad \varepsilon \quad \psi \quad \omega\right]^T$ şeklindedir.

Şart denklemli Gauss-Markoff modeli ile yalın model arasındaki karesel formların farkı,

$$R = (\underline{Bx} - \underline{b})^T (\underline{B}^T \underline{Q}_{xx} \underline{B})^{-1} (\underline{Bx} - \underline{b}) \tag{5.28}$$

şeklindedir (AKSOY 1995). Böylece;

$$T = \frac{R}{r\sigma_0^2} \tag{5.29}$$

oranı, Fisher dağılımındadır. r değeri (5.28) eşitliğindeki şart denklemi sayısına eşittir. Burada, parametreler global olarak tümü birlikte test edilebileceği gibi, genelde tek tek test edilmeleri tercih edilir. Ölçek parametresinin testi için (5.29) eşitliği aşağıdaki şekilde analitik olarak ifade edilebilir. Q_{XX} matrisinin ölçek parametresine karşılık gelen terimi, dönüşüm yöntemleri ağın ağırlık merkezine ötelenip uygulandığında, iki boyutlu dönüşüm için ((5.8) modeli),

$$Q_{XX}^{-1}(3,3) = \sum_{i=1}^{n} S_i^2 = \sum_{i=1}^{n} ((u_i - u_0)^2 + (v_i - v_0)^2) \tag{5.30}$$

ve üç boyutlu dönüşümlerde ise ((5.17) modeli) ,

$$Q_{XX}^{-1}(4,4) = \sum_{i=1}^{n} S_i^2 = \sum_{i=1}^{n} ((u_i - u_0)^2 + (v_i - v_0)^2 + (w_i - w_0)^2) \tag{5.31}$$

şeklinde olduğu bilinmektedir (LEZMANN 1984, STRANG van HEES 1982). Bu analitik ifadeler (5.29) eşitliğinde yerine konursa; r =1 olmak üzere,

$$T = \frac{\Delta^2 \sum_{i=1}^{n} S_i^2}{\sigma_0^2} \tag{5.32}$$

Elde edilir. Burada, Δ ölçek faktörü, n=eşlenik nokta sayısı ve S ise eşlenik noktaların ağın ağırlık merkezine olan uzaklıklarını göstermektedir. (5.32) değeri r ve f serbestlik dereceleri olmak üzere, Fisher dağılımının fraktil değerleriyle ($F_{1-\alpha,r,f}$) karşılaştırılmalıdır. Burada, iki boyutlu dönüşümde $f = 2n-4$, üç boyutlu dönüşümde ise, $f = 3n-7$ dir ve α risk düzeyi 0.05 alınır.

BÖLÜM 6: UYGULAMA

Bölüm 1'de belirtilen bu çalışmanın amaçları kapsamında, İstanbul Metorpolitan Nirengi ağı ve İTÜ kampüsünde oluşturulan test ağında, GPS ölçüleri yapılmış ve yapılan incelemeler aşağıdaki başlıklar altında bu bölümde verilmiştir.

- Farklı yazılımlarla elde edilen sonuçların karşılaştırılması
- GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde sistematik etkilerin incelenmesi
- Hızlı konum belirleme yöntemlerinin karşılaştırılması
- Statik yöntemle konum belirlemede ölçme süresi ve uydu geometrisinin sonuçlara etkisi
- GPS ve yersel sistem koordinatları arasında dönüşüm
- Yersel ağdaki distorsiyonların dönüşüm sonuçlarına etkisinin incelenmesi

6.1 İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı

İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı 1986 yılında, Prof. Dr. A. AKSOY danışmanlığında, İstanbul Belediyesi tarafından tesis edilmiş olup, toplam 158 noktadan oluşmaktadır. Noktaların zemin işaretleri, bina üzerindekiler bronz, açık arazidekiler pilye olarak tesis edilmiştir. Nokta sıklığı ortalama 5 *km* dir. Ağda ölçülen doğrultu sayısı 959, ölçülen kenar sayısı 451 dir. Nirengi ağı, 4 tanesi 1. derece nokta olmak üzere, 12 adet sabit noktaya dayalı olarak dengelenmiş ve nokta konum doğruluğu $m_{p_{max}} = \pm 5.0cm$, $m_{p_{min}} = \pm 1.0cm$ olarak hesaplanmıştır (AKSOY 1986). Nokta koordinatları ülke koordinat sistemindedir (dilim orta meridyeni boylamı 30 derece ve dilim genişliği 3 derece olan, Gauss-Krüger projeksiyon sistemi). Nokta yükseklikleri, trigonometrik nivelman ile dengelemeli olarak hesaplanmıştır. Ağın, GPS ölçmesi yapılan nirengi noktalarına ait yersel sistem koordinat bilgileri özet olarak **Tablo 6.1**. de verilmiştir.

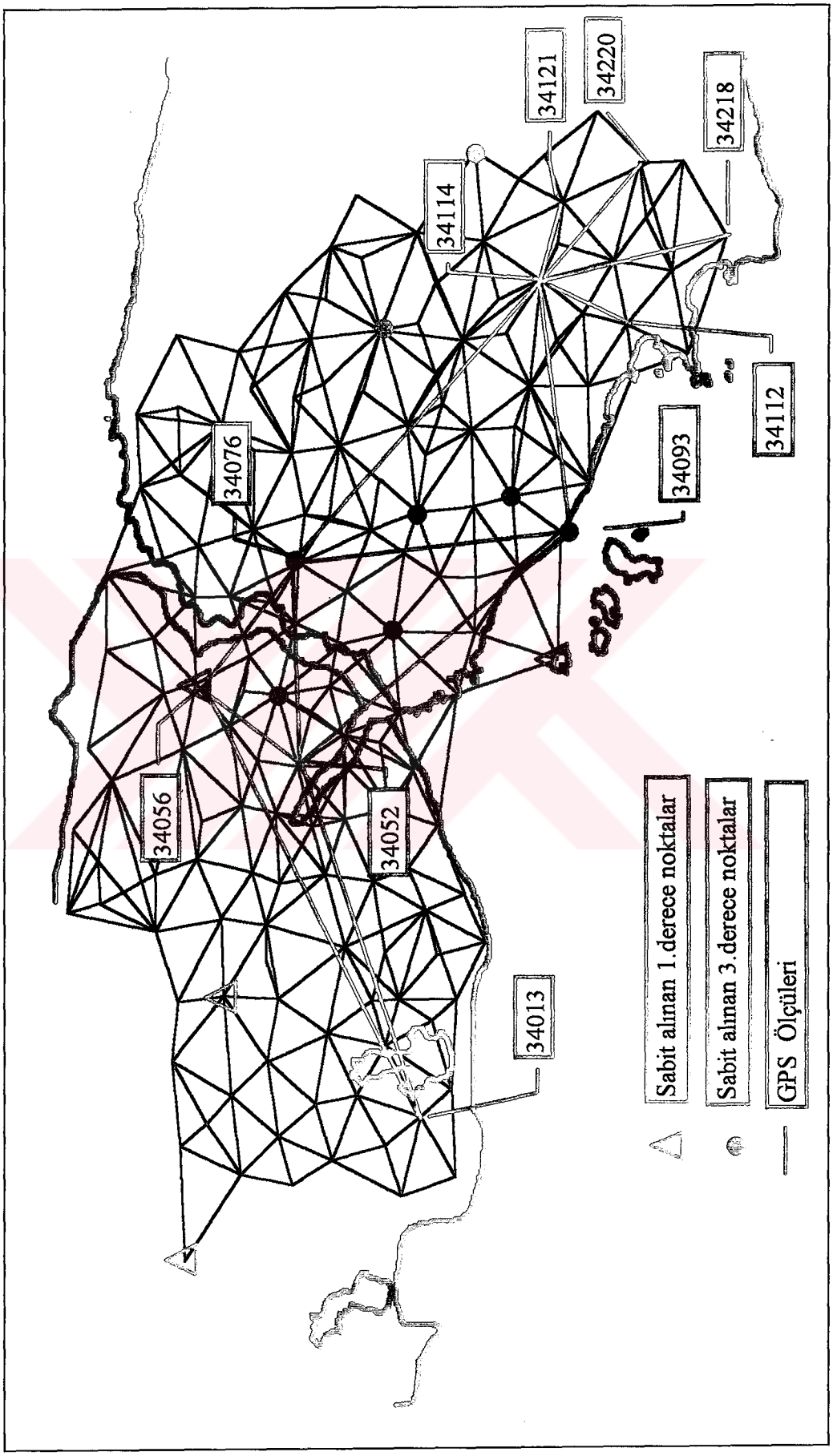
Tablo 6.1 GPS ölçmesi yapılan noktaların ülke sistemindeki koordinatları

Nokta No	X Yukarı (m)	Y Sağa (m)	H deniz seviyesi (m)
34013	4542038.736	391126.266	149.100
34052	4548226.996	415203.453	160.909
34056	4559050.900	418583.680	234.568
34076	4551696.153	426122.186	283.850
34093	4530982.524	428021.550	112.403
34114	4532585.398	443972.706	205.338
34112	4525727.910	441132.842	-
34121	4530717.950	448782.108	-
34218	4517811.362	446661.016	-
34220	4524695.859	451286.228	-

6.2 GPS Ağı ve Ölçmeler

Ölçmeler, çift firekanslı olan ASHTECH Z XII marka iki alıcıyla yapılmıştır. Sıklaştırma ağları veya deformasyonların izlenmesine ilişkin GPS ölçmelerinde kurulacak iskelet ağlarda, kapalı şekiller oluşturulması temel uygulama esaslarındandır (FGCC (Federal Geodedic Control Committee) s 14-26 1989). Bu ilkeden hareket edilerek, İstanbul Mertropolitan Nirengi Ağı'nın 6 noktası ile zincir şeklinde bir GPS ağı oluşturulmuştur. Bu noktaların üç tanesi Asya (34076, 34093, 34114), 3 tanesi Avrupa (34013, 34052, 34056) yakasındadır. Diğer 4 nokta ise (34112, 34121, 34218, 34220), GPS ile hızlı statik yönteme göre belirlenen konumların doğruluğunun araştırılması, GPS ile yersel ağların sıklaştırılmasında karşılaşılabilecek problemlerin gözlemlenmesi ve yersel ağın homejen olup olmadığının irdelenmesi amacıyla seçilmiştir. Bu noktalar, oluşturulan ağın doğu ucunda ve 34114 nolu referans noktasından değişik uzaklıklardadır (Şekil 6.1).

Nokta seçimi yapılırken, GPS ağıyla yersel ağ arasındaki dönüşümün sağlıklı olarak yapılabilmesi için, noktaların, İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı içerisine homojen olarak dağılmış olmaları yanında, GPS ölçmesi yapılacak noktaların sahip olması gereken özellikleri de taşıması dikkate alınmıştır. Seçilen noktaların, özellikle *yansıma (multipath)* etkisi açısından güvenilir olmasına özen gösterilmiştir. Ülke 1.derece



Şekil 6.1 İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı kanavası ve GPS ölçmesi yapılan naktalar

noktası olan 34071 nolu Kınalıada noktası, telsiz röle istasyonlarının yanında olması dolayısıyla GPS ölçmeleri için uygun olmadığından, Fenertepe noktası, askeri arazi sınırları içinde bulunması nedeniyle, ölçme planı dışında bırakılmışlardır. Seçilen altı noktadan üçü, Kocataş (34056), Göztepe (34076) ve Orhantepe (34093) noktaları, İstanbul Metropolitan Nirengi Ağının dengelenmesinde koordinatları değişmez alınan noktalardandır.

Bunlara ek olarak, İTÜ kampüsü içersinde, yersel ölçmelerle İstanbul metropolitan nirengi ağına bağlı bir sıklaştırma çalışması gerçekleştirilmiş, oluşturulan bu test ağı, hem GPS ile hızlı konum belirleme yöntemlerinin test edilmesinde, hem de ana GPS ağından elde edilen dönüşüm parametrelerinin test edilmesinde kullanılmıştır.

İTÜ kampüsü içerisinde oluşturulan bu ağın, İnşaat Fakültesi terasında bulunan 101 numaralı noktası, GPS ağının Kocataş noktasına bağlanmıştır. Bu nokta, kampüs içerisinde yapılan hızlı statik ve kinematik GPS ölçmelerinde sabit istasyon olarak kullanılmıştır.

"İTÜ-ETHZ *Marmara Yer Kabuğu Hareketlerini Araştırma Projesi*" kapsamında, Marmara bölgesinde oluşturulan GPS ağının noktalarından birisi olan ve İnşaat Fakültesi terasında bulunan ITAY noktasında, 1990-1992-1994 periyotlarında, 10 ar günlük GPS ölçmesi yapılmıştır. Bu noktanın WGS84 sistemindeki mutlak koordinatları uzun süreli ölçülere dayalı olarak hesaplandığından oldukça yüksek doğruluğa sahiptir (DENLİ 1995). Bu nokta da oluşturulan GPS ağına (34056 nolu Kocataş noktası ile) bağlanmış ve böylece ağın WGS84 sistemiyle mutlak olarak uyuşumu iyileştirilmiştir.

GPS ölçmelerinde ölçme süreleri, uydu sayısı ve kenar uzunlukları esas alınarak ölçme sırasında belirlenmiştir. 10 km civarındaki bazlarda yaklaşık 1 saat, 20-30 km civarındaki bazlarda ise 2 saat civarında ölçme yapılmış (Tablo 6.2) ve (mm) doğrulukta bir ağ oluşturulması amaçlanmıştır. İTÜ Kampüs Ağında uygulanan hızlı statik ve kinematik ölçme yöntemleri için, uydu geometrisi ve uydu sayısı ile ilgili bir planlama yapılmış, ölçmeler özellikle, uydu geometrisinin iyi ve uydu sayısının maksimum olduğu zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.2 Ölçmelerin yapılış zamanları ve özet bilgiler

Baz İsmi	Ölçme Günü	Yaklaşık Uzunluk (Km)	Yükseklik farkı (m)	Ölçme Süresi (sayı)	Uydu Sayısı	Kayıt Aralığı (saniye)	Minimum Yükseklik Açısı (derece)
93-76	051	20.8	174	496	9	15	15
76-52	052	11.4	123	276	7	15	15
76-114	052	26.2	78	466	10	15	15
76-56	052	11.2	49	439	9	15	15
52-56	053	12.2	74	485	10	15	15
52-93	053	21.5	48	494	11	15	15
13-52	054	24.9	12	448	9	15	15
13-56	054	32.8	86	543	11	15	15
114-93	055	16.0	93	493	9	15	15
114-112	213	7.4	175	249	6	10	15
114-121	213	5.2	288	248	7	10	15
114-218	213	10.8	117	291	6	10	15
114-220	213	15.0	314	338	6	10	15

6.3 Farklı Yazılımlarla Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Ölçüler, *Bernese* GPS yazılımının 3.5 versiyonu, Ashtech firmasının *PRISM* ve Leica firmasının *SKI* yazılımları ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bunlardan *PRISM* ve *SKI* yazılımları, GPS alıcısı üreten firmaların, öncelikle kendi alıcıları ile elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla ürettikleri yazılımlardır. Fakat bunlar, değişik firmaların GPS alıcısı ile elde edilen ve RINEX formata dönüştürülen veriler ile değerlendirebilmektedir. Bu yazılımlar, verilerin kısa sürede değerlendirilmesi ve mühendislik çalışmaları için yeterli doğrulukta sonuç vermesi hedeflenerek hazırlanmıştır. Bu üç yazılımla yapılan değerlendirmeler ve sonuçları özet olarak aşağıda verilmektedir.

6.3.1 Bernese GPS Yazılımı İle Yapılan Değerlendirmeler

Bernese programı, İsviçre'de, Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü (AIUB) tarafından geliştirilmiştir. Bilimsel amaçlı jeodezik çalışmaları destekleyecek niteliklere sahip, uluslararası bilim çevrelerinde yaygın olarak kullanılan ve pek çok

çalışmada denenmiş bu yazılımın teknik özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir (BEUTLER ve diğ. 1989c, 1990b, BEUTLER 1990a, HOLLMAN ve diğ. 1990, HACKMAN ve diğ. 1989).

- Program, tek oturumdaki (session) ölçülerin çözümü yanında, pek çok oturumdan oluşan kampanya çözümlerini gerçekleştirir.
- L1 ve L2 temel frekansları ve bunların lineer kombinasyonları (L3, L4, L5, vs) ile değerlendirme yapabilir.
- Sabit noktaları esas alarak yörünge hesaplanabilir ve broadcast yörünge bilgileri ile hesaplanan yörüngeler iyileştirilebilir.
- Başlangıç faz belirsizliği için farklı çözüm algoritmalarına sahiptir.
- Farklı atmosferik modeller kullanma olanağı sağlar.

Programın GPS ölçülerini işleme sırası kısaca aşağıda şekilde özetlenebilir.

- Ölçülerin RINEX (alıcıdan bağımsız format) formata dönüştürülmesi.
- RINEX formatındaki ölçülerin Bernese formatına dönüştürülmesi
- Yörüngenin oluşturulması (broadcast veya precise ephemeridlere bağlı olarak)
- Noktalara ait yaklaşık koordinatların ve alıcı saat hatalarının hesabı (Kod ölçülerinin değerlendirilmesi)
- Tekli fark (single differens) ölçülerin oluşturulması
- Faz ölçülarinin faz sıçramalarından (cycle slips) ayıklanması
- Faz ölçülerinin değerlendirilmesi, parametrelerin hesabı (koordinatlar, başlangıç fazı belirsizlikleri vs).

Bu yazılımla faz ölçülerinin değerlendirilmesi için değişik çözüm yolları izlenebilir. Farklı çözüm yolları, ölçme süreleri ve değerlendirilecek ağın boyutları ile ilişkilidir. Bu çalışmada, Bernese programı ile iyonosferden bağımsız L3 kombinasyonu ve L1 temel frekansı ile, iki ayrı yoldan değerlendirme yapılmıştır. İyonosferin etkisini ortadan kaldırmak için L3 frekansı ile yapılan çözümde izlenen sıra, aşağıda *birinci*

yol olarak, L1 temel frekansı ile yapılan çözüm ise *ikinci yol* başlığı altında özetlenmiştir.

Birinci yol:

1- Başlangıç faz belirsizlikleri reel sayı olarak çözülmek suretiyle, **L3** (iyonosferden bağımsız) çözümü yapılarak, noktaların kod ölçülerinden hesaplanan koordinatları iyileştirilmiştir (yaklaşık ± 5*cm*).

2- 1.adımda hesaplanan koordinatlar sabit alınarak, **L5** (uzun dalga λ =86 cm) lineer kombinasyonu ile başlangıç faz belirsizlikleri tam sayı olarak çözülmüştür.

3- **L5** ile hesaplanan başlangıç faz belirsizlikleri esas alınarak, **L3** çözümü ile başlangıç faz belirsizlikleri çözülmeye çalışılmış ve tüm faz belirsizlikleri tam sayı olarak (**SIGMA** çözüm stratejisi ile) hesaplanmıştır.

İkinci yol:

Başlangıç faz belirsizliklerinin çözümü için, yanlızca L1 çözümü kullanılmış, faz belirsizliklerinin tümü çözümlenmiştir. Bu durum, özellikle tek frekanslı alıcıların kullanılmasında, küçük ağlarda başlangıç faz belirsizliğinin çözümlenebileceğini göstermesi açısından önemlidir. L3 çözümü ile elde edilen sonuçlar EK A da Tablo A.1 de, L1 çözümü ile bulunan sonuçlar ise EK B de Tablo B.1 Tablo B.2 de verilmiştir. Bu çözümlerin sonuçları *İyonosferin Etkisi* başlıklı bölümde karşılaştırılmıştır. Tüm çözümlerde 34056 (Kocataş) noktası sabit olarak alınmıştır. Bu noktanın, İnşaat Fakültesi terasındaki, "İTÜ-ETHZ *Marmara Yer Kabuğu Hareketlerini Araştırma Projesi*" ne ait **ITAY** noktasına yapılan bağlantı ölçmeleriyle elde edilen koordinatları, EK A, Tablo A.2 de verilmiştir.

6.3.2 PRISM Yazılımı İle Yapılan Değerlendirmeler

GPS verilerinin ticari yazılımlarla değerlendirilmeleri, genelde baz ölçülerinin tek tek değerlendirilmesi şeklindedir. Prism yazılımı ile elde edilen bağımsız bazlar, Bölüm 4 de belirtildiği şekilde dengelenmiş ve uyuşumsuz olan bazların ayıklanması, ölçü grupları oluşturularak gerçekleştirilmiştir (Tablo 6.3a). (4.1a) eşitliği ile gösterilen

model esas alınarak MATLAB da hazırlanmış, SAKA-VEK isimli proglamla dengeleme işlemi uygulanmıştır. Burada, $C = \tau_{1-\frac{0.05}{9};\,3,\,12}$ olmak üzere, *Tau* dağılımının fraktil değeridir. Bu dengelemede ölçü süreleri dikkate alındığında (Tablo 6.2) ölçüler eşit ağırlıklı alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Tablo 6.3a Prism yazılımı İle elde edilen vektörlerin dengelemesi (SAKA-VEK ile)

Baz İsmi	ΔX (m)	V_X (m)	ΔY (m)	V_Y (m)	ΔZ (m)	V_Z (m)	C	T	Sonuç
93-76	-10721.275	-0.039	-8384.962	-0.018	15729.152	-0.032	1.717	1.827	uyuşumsuz
76-52	-7263.345	-0.016	8411.064	-0.009	2784.674	-0.007	1.717	0.567	uyuşumlu
76-114	2002.952	-0.017	21767.970	-0.004	-14352.440	-0.013	1.717	0.866	uyuşumlu
76-56	-1026.145	-0.006	-9295.419	-0.005	6124.137	-0.012	1.717	0.542	uyuşumlu
52-56	-8289.508	0.009	-884.362	0.003	8908.813	0.003	1.717	0.321	uyuşumlu
52-93	3457.854	0.022	16795.985	0.014	-12944.537	0.019	1.717	1.213	uyuşumlu
13-52	-15308.030	0.015	18957.933	0.007	4914.580	0.015	1.717	0.894	uyuşumlu
13-56	-23597.500	-0.015	18073.588	-0.007	-13823.426	-0.015	1.717	0.894	uyuşumlu
114-93	8718.251	-0.017	-13383.035	-0.004	-1376.770	-0.013	1.717	0.866	uyuşumlu

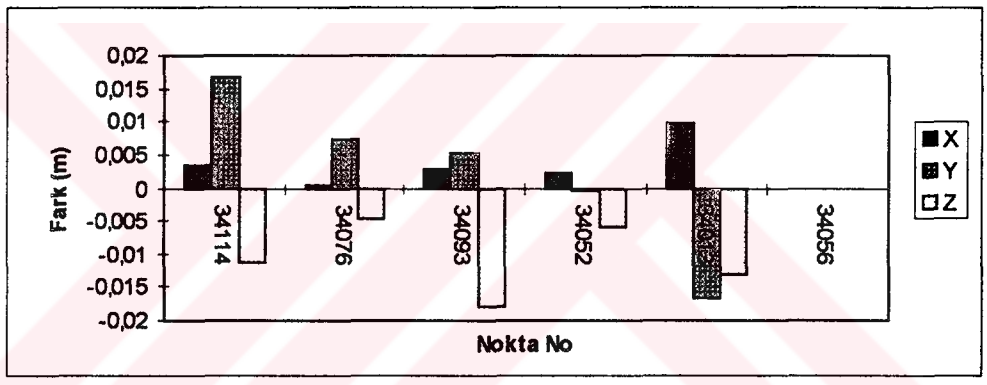
Dengeleme sonucu 93-76 bazı uyuşumsuz çıkmaktadır (Tablo 6.3a). Bu bazın atılması sonucu tekrarlanan dengeleme işlemi, başka uyuşumsuz baz olmadığını göstermiştir (Tablo 6.3b). Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra, 34056 (Kocataş) nolu noktanın koordinatları sabit alınarak, baz çözüm sonuçları dayalı olarak dengelenmiştir. Bulunan dengelenmiş koordinatlar ve bunların karesel ortalama hataları Tablo 6.3c de özetlenmiştir. Bernese ve Prism yazılımı sonuçları karşılaştırıldığında, ortaya çıkan farkların, sıklaştırma çalışmalarından beklenen doğruluk açısından kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir (Şekil 6.2).

Tablo 6.3b Prism yazılımı ile elde edilen vektörlerin dengelemesi (SAKA-VEK ile)

Baz İsmi	ΔX (m)	V_X (m)	ΔY (m)	V_Y (m)	ΔZ (m)	V_Z (m)	C	T	Sonuç
76-52	-7263.345	-0.002	8411.064	-0.003	2784.674	-0.004	1.6023	0.331	uyuşumlu
76-114	2002.952	0.001	21767.970	0.004	-14352.440	0.002	1.6023	0.336	uyuşumlu
76-56	-1026.145	0.002	-9295.419	-0.001	6124.137	-0.006	1.6023	0.391	uyuşumlu
52-56	-8289.508	0.014	-884.362	0.005	8908.813	0.007	1.6023	0.988	uyuşumlu
52-93	3457.854	0.004	16795.985	0.002	-12944.537	0.012	1.6023	0.336	uyuşumlu
13-52	-15308.030	0.012	18957.933	0.006	4914.580	0.013	1.6023	1.302	uyuşumlu
13-56	-23597.500	-0.012	18073.588	-0.006	-13823.426	-0.013	1.6023	1.302	uyuşumlu
114-93	8718.251	0.001	-13383.035	0.004	-1376.770	0.002	1.6023	0.336	uyuşumlu

Tablo 6.3c Prism yazılımı ile elde edilen vektörlerin dayalı dengelemesi (SAKA-VEK ile)

Nokta no	X (m)	M_X (m)	Y (m)	M_Y (m)	Z (m)	M_Z (m)
34056	4204397.784	-	2333360.0253	-	4171270.787	-
34052	4227995.2961	±0.0086	2315286.4430	±0.0086	4162904.9758	±0.0086
34013	4212687.2781	±0.0076	2334244.3819	±0.0076	4167819.5687	±0.0076
34076	4295423.9308	±0.0084	2342655.4431	±0.0084	4170604.2465	±0.0084
34093	4216145.1327	±0.0113	2351040.3707	±0.0113	4154875.0333	±0.0113
34114	4207426.8822	±0.0115	2364423.4094	±0.0115	4156251.8049	±0.0115
$M_0 = \pm 0.011$m						



Şekil 6.2 Bernese ve Prism yazılımlarıyla bulunan sonuçların farkları (Bernese-Prism)

6.3.3 SKI Yazılımı İle Yapılan Değerlendirmeler

ASHTECH alıcıları ile yapılan ölçüler RINEX formata dönüştürülerek SKI yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmede sdandart atmosferik modeller kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, Bernese L3 çözümü ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, iki çözüm arasında sistematik farklılıklar gözlenmiş, her iki çözümle elde edilen koordinatlar arasında gerçekleştirilen üç boyutlu dönüşümde 2.1 ppm bir ölçek farkı elde edilmiştir. Bunun dışında iki çözümün özellikle yükseklikte farklılık gösterdiği ve bu farklılığın dönüşümün doğruluğunu etkilediği gözlenmektedir (M_0 = ±0.009 m). Burada, farklı alıcıların verilerinin farklı alıcıların yazılımları ile de değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Fakat bir bazın iki farklı marka alıcıyla ölçülmesi

durumunda, geometrik olarak alıcıların anten faz merkezleri dış merkezliklerinin farklı olması sonuçları sistematik olarak etkiler. Bunun dışında alıcı osilatörlarinin farklı teknolojide olmasıda göz ardı edilmemelidir.

6.4 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesinde Sistematik Etkiler ve Sonuçları

GPS ölçülerinin doğru bir biçimde değerlendirilmesi ve noktalar arasındaki geometrik büyüklüklerin elde edilmesi, ölçme sisteminden ve fiziksel ortamdan kaynaklanan etkileri gidermekle ve geometrik olarak dikkate alınması gereken büyüklükleri ihmal etmemekle mümkündür. Bu etkiler, Bölüm 3 belirtildiği üzere;

- Atmosferik etkiler
- Yörüngenin doğruluğu
- Değerlendirmede sabit alınan noktanın koordinatlarının doğruluğu

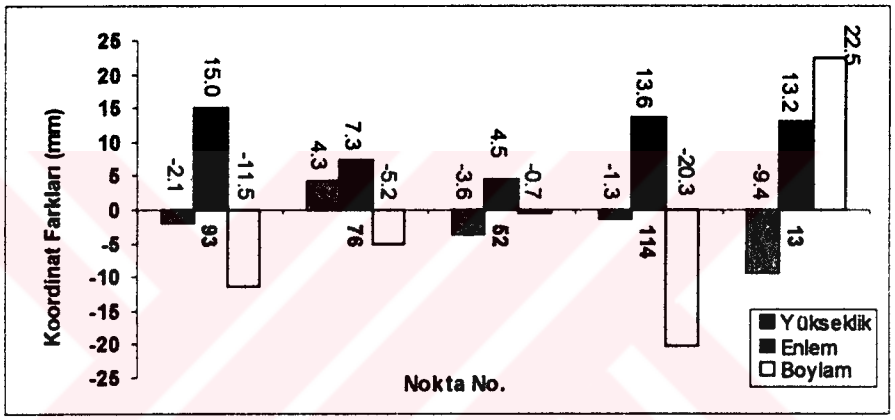
olarak ele alınıp incelenmiştir.

Özellikle, GPS sistemine mutlak olarak bağlı bir süper ağın sıklaştırılmasında veya yersel ağın GPS ile sıklaştırılmasındaki değerlendirme sonuçlarının, ilerde kurulacak bir *süper ağa* bağlanmasında sorunlar yaşanmaması için, değerlendirmeler bu esas çerçevesinde gerçekleştirilmelidir.

6.4.1 İyonosferin Etkisi

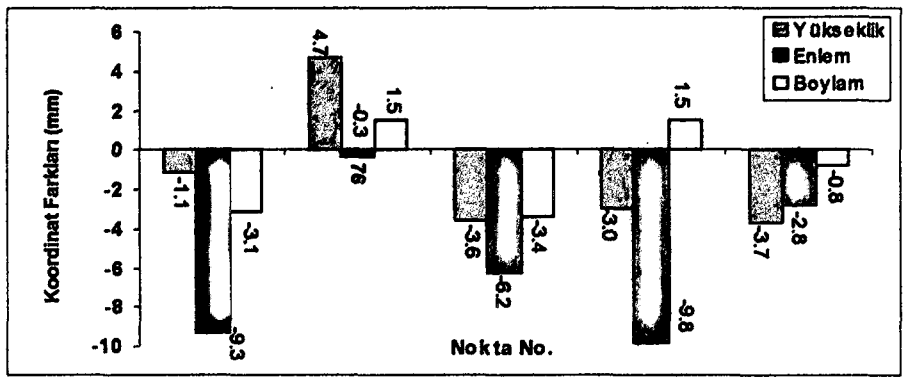
İyonosferin etkisinin sonuçlara nasıl yansıdığını incelemek ve tek frekanslı GPS alıcılarının küçük alanlarda kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla, Bernese GPS yazılımı ile Ana ağa ait ölçüler, L1 temel frekansı ile önce iyonosfer modeli olmaksızın, sonra hesaplanan iyonosfer model ile çözülmüştür. İyonosferik model kullanılmadan elde edilen L1 çözümü sonuçları EK B de Tablo B.1 de, iyonosferik model kullanılarak elde edilen sonuçlar ise Tablo B.2 da özetlenmektedirler. Ana ağda, yine Bernese yazılımı ile iyonosferik etkiden bağımsız L3 frekansı ile yapılan çözümün sonuçları, EK A da Tablo A.1, Tablo A.2 de verilmektedir. L1 temel frekansı ile iyonosfer modeli olmaksızın ve hesaplanmış iyonosfer modele göre bulunan sonuçlar, L3 frekansına göre bulunan sonuçlarla aşağıda, Şekil 6.3, Şekil 6.4

de ve EK C, Tablo C.1 ve Tablo C.2 de karşılaştırılmıştır. İyonosferin modellendirilmesinde, Bölüm 4 de sözü edilen tek tabaka (single leyer) modeli, L4 lineer kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Burada, *TVEC* (toplam düşey elektron yoğunluğu) faktörü modellendirilirken, modeli oluşturan güneşin saat açısı ve noktaların enlemine dayalı polinomun yalnızca ilk teriminin kullanılması durumunda elde edilen modele göre L1 frekansı ile yapılan çözüm sonuçları, L3 çözümüyle en iyi yaklaşımı göstermiştir. İyonosferik model kullanılmadan elde edilen L1 çözümü sonuçları, L3 çözümü ile benzerlik dönüşümü yardımıyla karşılaştırıldığında, iki koordinat kümesi arasında 0.7 ppm lik bir ölçek farkı olduğu görülmüştür (Tablo C.1).



Şekil 6.3 L1(iyonosferik model yok) ve L3 çözümlerinin farkları (L1çözümü-L3çözümü), Bernese programı ile

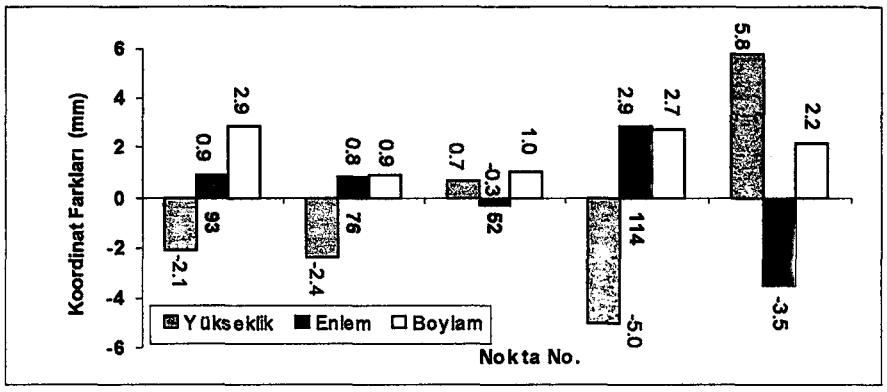
İyonosferik model kullanılarak elde edilen sonuçlar L3 çözümü ile karşılaştırıldığında, iki çözüm arasında anlamlı bir ölçek farkı ortaya çıkmamıştır (Tablo C.2). İki çözümden elde edilen koordinatlar arasında, iyonoferik model kullanılmadığı zaman maksimum *2.3 cm*, iyonosferik model kullanıldığında ise maksimum *1 cm* lik farklar bulunmuştur. Bu durum, özellikle yüksek doğruluk beklenen çalışmalarda, hangi baz uzunluklarına kadar hangi yolun izlenmesi gerekeceğine iyi karar verilmesi gerektiğini göstermesi açısından önemlidir. Bölüm 2 de belirtildiği üzere, L3 ölçüsünün L1 ölçüsüne göre prezisyonu 3 kat kötüleşmektedir. Bu durumda, L3 çözümünün iyonosferin etkisinin giderilmede sağladığı katkının, tercih edilebilir düzeyde olması gerekir. Bu çalışmada, kısa baz uzunlukları için kampüs içersindeki ölçüler ve ana ağın 34114 nolu noktasına dayalı yapılan ölçüler L1 frekansı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 6.4 L1 (iyonosferik model ile) ve L3 çözümlerinin farkları (L1 çözümü-L3 çözümü), Bernese programı ile

6.4.2 Yayın ve Presizyonlu Yörünge Bilgilerine Göre Bulunan Sonuçlar

Ana GPS ağına ait ölçüler, uydu yayın yörünge bilgileri (broadcast ephemerides) ve IGS (International GPS Service) den alınan hassas yörünge (precise ephemerides) bilgileri kullanılarak L3 frekansı ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, iki çözüm arasında, 34013 nolu noktanın X koordinatında maksimum 6 mm lik bir farklılık olduğunu göstermiştir (Şekil 6.5). Ayrıca her iki çözümden elde edilen sonuçlar benzerlik dönüşümü ile incelendiğinde (Tablo 6.4), iki farklı yörüngeyle elde edilen sonuçlar arasındaki bu küçük farklılığın, X,Y,Z eksenleri etrafindaki dönüklüklerden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu durum, yörüngedeki hatanın uydunun hareket doğrultusunda (along track) ve yörünge düzlemine dik doğrultudaki (out of plane) hatalardan kaynaklandığı söylenebilir. Bu sonuç, sıklaştırma çalışmalarında yayın yörünge bilgisini kullanmanın yeterli olacağı göstermektedir.



Şekil 6.5 Yayın (broadcast) ve IGS presizyonlu yörünge bilgileri ile çözümlerin farkı

Tablo 6.4 Presizyonlu yörünge bilgileri ve yayın (broadcast) yörünge bilgileri kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında Helmert dönüşümü

Düzeltmeler	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)
34114 Çataldağı	0.0002	-0.0001	0.0014
34076 Göztepe	0.0000	-0.0003	0.0007
34093 Orhan Tepe	0.0006	0.0002	-0.0018
34052 Beytem Han	-0.0001	0.0004	-0.0007
34013 Firuzköy	-0.0002	0.0001	0.0010
34056 Kocataş	-0.0001	-0.0003	-0.0005
Bilinmeyen Sayısı : 7			
Koordinat Sayısı I : 18			
Dönüşümün Ortalama Hatası (*Mo = ± 0.0009 m*)			
Öteleme X Ekseni :	0.000 ± 0.000 m		
Öteleme Y Ekseni :	-0.002 ± 0.000 m		
Öteleme Z Ekseni :	-0.001 ± 0.000 m		
X-Ekseni Etrafında Dönme :	- 0^0 0' 0".0430± 0".0048		
Y- Ekseni Etrafında Dönme:	0^0 0' 0".0141± 0".0076		
Z- Ekseni Etrafında Dönme:	- 0^0 0' 0".0246± 0".0039		
Ölçek Faktörü :	-0.010 ± 0.019 mm/Km		

6.4.3 Sabit Alınan Noktanın Koordinatlarının Sonuçlara Etkisi

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde sabit olarak alınan noktanın koordinatlarının, kod ölçüleri kullanılarak hesaplanması çoğu durumlarda kaçınılmazdır. Bu durumun sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, ana ağın 34056 nolu noktası, yukarıda da belirtildiği gibi, ek ölçmelerle, *Marmara Yer Kabuğu Hareketlerini Araştırma Projesi* ne ait **ITAY** noktasına bağlanmış ve mutlak koordinatları iyileştirilmiştir.

34056 Kocataş noktası için yayın yörünge bilgilerinden bulunan koordinatları ve bu bağlantı ile bulunan koordinatlarıyla, faz ölçüleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu iki çözüme ait sonuçlar arasında gerçekleştirilen Helmert dönüşümünde, ötelemenin yanısıra, dönüklüğün ve ölçek farkının da ortaya çıktığı gözlenmiştir (Tablo 6.5).

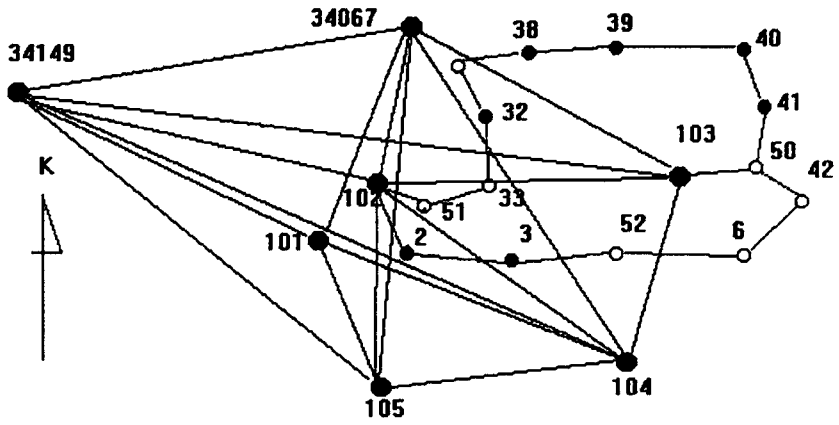
Tablo 6.5 Ağın çözümünde sabit alınan noktanın sonuçlara etkisi

Düzeltmeler	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)
34114 Çataldağı	0.0002	-0.0008	0.0015
34076 Göztepe	-0.0002	0.0000	0.0006
34093 Orhan Tepe	0.0000	0.0002	-0.0014
34052 Beytem Han	-0.0003	0.0003	-0.0023
34013 Firuzköy	0.0007	-0.0002	0.0013
34056 Kocataş	-0.0004	-0.0005	-0.0003
Bilinmiyen Sayısı : 7			
Koordinat Sayısı : 18			
Dönüşümün Ortalama Hatası (*Mo= ±0.0011 m*)			
Öteleme X Ekseni: -2.595 ± 0.000 m			
Öteleme Y Ekseni: 1.232 ± 0.000 m			
Öteleme Z Ekseni: 15.001 ± 0.000 m			
X-Ekseni Etrafında Dönme: - 0^0 0' 0".0396± 0".0062			
Y-Ekseni Etrafında Dönme: - 0^0 0' 0".0476± 0".0096			
Z-Ekseni Etrafında Dönme: 0^0 0' 0".0002± 0".0049			
Ölçek Faktörü : -0.501 ± 0.024 mm/Km			

6.5 Hızlı Konum Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

İTÜ kampüsü içersinde, İstanbul Metropolitan Ağına bağlı bir dizi poligon noktası tesis edilmiş, bu noktalarda hızlı statik ve kinematik ölçme yöntemleri denenmiştir. Kampüs ağına ait kanava şematik olarak Şekil 6.6 de gösterilmiştir. Bu noktalar kinematik ölçülerin yapılabilirliği açısından, kampüs içindeki ana yol güzergahı üzerindeki noktalar arasından seçilmiştir.

Poligon ağı, İTÜ kampusü içerisinde, yersel ölçmelerle İstanbul metropolitan ağının 34067 ve 34149 numaralı noktalarına dayalı olarak tesis edilen 5 adet sıklaştırma noktası (101, 102, 103, 104, 105) esas alınarak, bağlı poligon şeklinde tesis edilmiştir. Nirengi ve poligona ait kenarlar WILD DI 3000 elektronik uzaklık ölçeri, doğrultular WILD T2 saniye teodoliti ile ölçülmüştür. Dayanak noktaları hatasız alındığında, noktalara ilişkin konum doğrulukları ± *2 cm* den küçüktür.



Şekil 6.6 İTÜ kampüsü test poligonu (şematik)

Tablo 6.6 İTÜ kampüsü test ağı yersel koordinatları (yukarı, sağa)

Nokta No	$X_{Yukarı}$ (m)	$Y_{Sağa}$ (m)	$H_{deniz\ seviyesi}$ (m)
101	4552815.377	417645.375	105.576
2	4552822.066	417838.939	
3	4552861.066	417962.774	
32	4553147.341	417908.443	
38	4553199.480	418045.516	
39	4553185.020	418204.560	
40	4553189.672	418327.815	
41	4553172.234	418347.817	

Şekil 6.6 de gösterilen " İTÜ test ağı" nın 101, 2, 3, 32, 39, 40, ve 41 nolu noktalarında, Bölüm 2 de açıklanan hızlı konum belirleme yöntemleri ile ölçmeler yapılmış, ölçüler değerlendirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Kinematik ölçme yöntemlerinden *"statik başlangıçlı kinematik"* ölçme yöntemiyle, *"anten yerdeğişimi (antena swapping)"* yöntemi ve *"hızlı statik"* ölçme yöntemleri uygulanmıştır. Statik başlangıçlı kinematik ölçme yöntemine ilişkin sonuçlar Tablo 6.7 de, anten yerdeğişimi yönteminin sonuçları Tablo 6.8 de, hızlı statik ölçmelere ait sonuçlar ise Tablo 6.9 de verilmektedir. Kinematik yöntemlere ait ölçüler ASHTECH *PRISM* yazılımı ile değerlendirilmiş, hızlı statik ölçme ise *Bernese 3.5* ile değerlendirilmiştir.

Tablo 6.7 İTÜ kampüsü statik başlangıçlı kinematik ölçme sonuçları özeti(Prism)

N. No.	X (m)	M_X (mm)	Y (m)	M_Y (mm)	Z (m)	M_Z (mm)
2	4208833.827	∓ 4	2335005.568	∓ 3	4171262.257	∓ 5
3	4208650.450	∓ 4	2335100.411	∓ 3	4171292.360	∓ 5
39	4208366.323	∓ 4	2335215.101	∓ 3	4171557.593	∓ 4
40	4208305.153	∓ 4	2335322.054	∓ 3	4171564.209	∓ 4
41	4208358.444	∓ 5	2335375.989	∓ 4	4171472.163	∓ 6

Tablo 6.8 İTÜ kampüsü anten yerdeğişimi ile kinematik konum belirleme yöntemi değerlendirme sonucu (Prism)

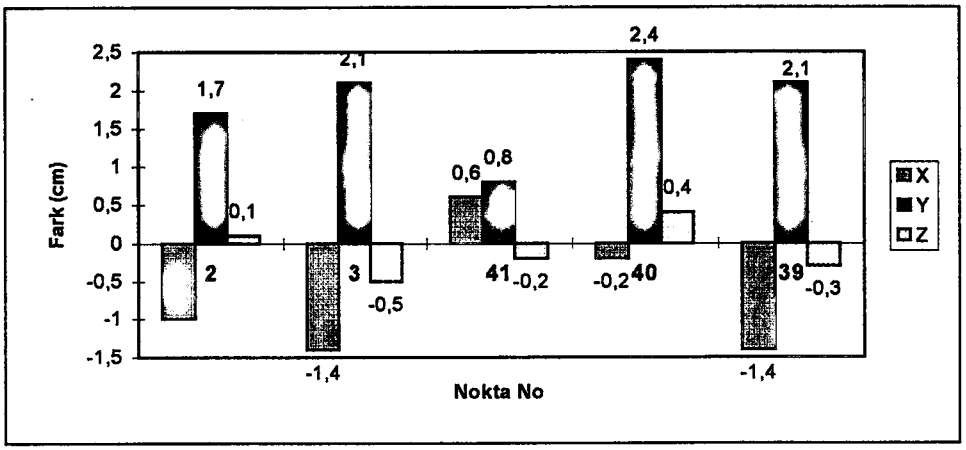
N.No.	X (m)	M_X (mm)	Y (m)	M_Y (mm)	Z (m)	M_Z (mm)
3	4208650.505	∓4	2335100.453	∓4	4171292.391	∓4
32	4208525.136	∓6	2334965.100	∓4	4171518.519	∓8
39	4208366.362	∓5	2335215.166	∓5	4171557.619	∓5
40	4208305.197	∓5	2335322.126	∓4	4171564.243	∓4
41	4208358.479	∓6	2335376.064	∓5	4171472.187	∓5

Kinematik ölçme yöntemlerle elde edilen sonuçların doğrulukları başlangıç şartlarının belirlenmesindeki doğrulukla ilişkilidir. Bu nedenle, özellikle başlangıç şartlarının basit bir ortalama alma işlemi ile hesaplandığı anten yer değişimi yöntemi ile, jeodezik çalışmalar için beklenilen sonuç elde edilememiştir.

Bunun dışında, hızlı statik ve statik başlangıçlı kinematik ölçme yöntemi ile birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur. Bunların farklı yazılımlarla değerlendirildiği gözönüne alınırsa, aralarındaki farkın normal olduğu söylenebilir (Şekil 6.7). Hızlı konum belirleme yöntemleri ile elde edilen sonuçların, kullanılacak değerlendirme algoritmalarının kabiliyetine bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, kısa süreli ölçüleri değerlendirme yeteneği olmayan bir yazılımla bu verilerin çözülmesi uygun değildir.

Tablo 6.9 İTÜ kampüsü hızlı statik konum belirleme sonuçları (Bernese yazılımı ile)

N.No	Kartezyen Koordinatlar X Y Z (m)		Hatalar M_X M_Y M_Z (mm)	*Elipsoidal Koordinatlar* *h (m)* *B* (° ' ") *L* (° ' ")		Hatalar M_h M_B M_L (mm)
39	X	4208366.3085	±0.7	*h*	165.7767	±1.4
	Y	2335215.1213	±1.0	*B*	41° 06' 27".977379	±0.5
	Z	4171557.5903	±1.0	*L*	29° 01' 32".943822	±0.6
41	X	4208358.4489	±0.5	*h*	163.2472	±0.7
	Y	2335376.9973	±0.3	*B*	41° 06' 24"373667	±0.3
	Z	4171472.1603	±0.5	*L*	29° 01' 39".135876	±0.2
2	X	4208733.8178	±0.6	*h*	137.1473	±0.9
	Y	2335005.5848	±0.4	*B*	41° 06' 16".081838	±0.4
	Z	4171262.2562	±0.7	*L*	29° 01' 17".450171	±0.3
40	X	4208305.1514	±0.7	*h*	168.9412	±1.0
	Y	2335322.1027	±0.7	*B*	41° 06' 28".172766	±0.6
	Z	4171564.2204	±0.8	*L*	29° 01' 38".223661	±0.4
32	X	4208525.0868	±0.5	*h*	153.2794	±0.8
	Y	2334965.0780	±0.4	*B*	41° 06' 26".649192	±0.4
	Z	4171518.5006	±0.6	*L*	29° 01' 20".271983	±0.2
3	X	4208650.4361	±0.6	*h*	136.7085	±0.9
	Y	2335100.4325	±0.5	*B*	41° 06' 17".390386	±0.4
	Z	4171292.3648	±0.7	*L*	29° 01' 22".738166	±0.3



Şekil 6.7 Hızlı statik ve Statik başlangıçlı kinematik yöntemin farkları

6.6 Statik Yöntemle Konum Belirlemede Ölçme Süresi ve Uydu Geometrisinin Sonuçlara Etkisi

Statik yöntemle konum belirlemede ölçme süresi ve uydu geometrisinin sonuçlara etkisinin araştırılması amacıyla, İstanbul Metropolitan Ağının doğu ucunda bulunan, 34114 nolu noktadan 34112, 34121, 34218 ve 34220 nolu noktalara 45 dakika civarında kayıtlardan oluşan GPS ölçmeleri yapılmıştır. Bu noktalar, referans olarak alınan 34114 nolu noktadan değişik uzaklıklarda seçilerek, uzaklığın sonuçlara etkisi de incelenmiştir (bak. Tablo 6.10a, Tablo 6.10b). Bu ölçüler, farklı uydu geometrisi ve kısa süreli zaman dilimleri için FARA (Fast Ambiquty Resolution Aproach) hızlı statik konum belirleme yöntemini kullanan SKI yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Ölçüler, 5 dakikadan 40 dakikaya kadar, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 dakikalık ölçmeler, PDOP'un en kötü ve en iyi olduğu 5 ve 10 ar dakikalık zaman dilimlerindeki ölçmeler şeklinde değerlendirilmiş ve başlangıç faz belirsizlikleri çözümlenmiştir. En iyi ve kötü PDOP-GDOP'un olduğu 5 er dakikalık zaman dilimleri her baz için aşağıda Tablo 6.10 da gösterilmiştir. Her bir değerlendirme sonucunda elde edilen koordinatlar arasındaki farklılığın 1cm den küçük olduğu gözlenmektedir. Bu durum, aynı yörüngenin kullanıldığı değerlendirmelerde, başlangıç faz belirsizliğinin çözülmüş olması koşuluyla, ölçme sürelerinin 10 km lik kenar uzunluğunda anlamlı bir farklılığa sebep olmadığını göstermektedir. İyi bir uydu geometrisinde, 5 dakikalık ölçüler çözüm için yeterli olabilmektedir.

Tablo 6.10a En iyi ve en kötü PDOP-GDOP değerlerinin olduğu 5 dakikalık zaman dilimleri

Baz İsmi	Yaklaşık Uzunluk (Km)	En Kötü			En İyi		
		Ölçme Zamanı	PDOP	GDOP	Ölçme Zamanı	PDOP	GDOP
114-112	7.4	13:31:20-13:36:20	7.0-2.7	7.6-3.2	13:34:00-13:39:00	2.7-3.2	2.8-3.2
114-121	5.2	11:55:30-12:00:00	13.2-9.9	19.0-14.1	11:28:10-11:33:10	2.1-2.5	2.1-2.5
114-218	10.8	16:16.00-16:21:00	3.0-2.8	3.9-3.6	16:58:30-17:03:30	2.1-2.6	2.0-2.5
114-220	15.0	10:19:40-10:24:40	7.0-6.6	8.4-8.0	9:48:10-9:53:10	2.8-3.2	2.8-3.2

Tablo 6.10b Farklı Geometri ve farklı sürelerle ölçülerin değerlendirilmesi

40 dakikalık ölçü ile elde edilen sonuçlar		
Nokta No	**Sağa (m)**	**Yukarı (m)**
34112	441132.817	4525727.949
34121	448782.113	4530718.113
34218	446661.140	4517811.450
34220	451286.281	4524696.005
10 ar dakikalık verilerle değerlendirme sonuçları		
Nokta No	**Sağa (m)**	**Yukarı (m)**
34112	441132.815	4525727.951
34121	448782.106	4530718.120
34218	446661.139	4517811.452
34220	451286.284	4524696.005
En iyi GDOP lu 5 dakika süreli ölçülerin sonuçları		
Nokta No	**Sağa (m)**	**Yukarı (m)**
34112	441132.817	4525727.949
34121	448782.113	4530718.113
34218	446661.140	4517811.450
34220	451286.281	4524696.005
En kötü GDOP lu 5 dakikalık süreler için değerlendirme sonuçları		
Nokta No	**Sağa (m)**	**Yukarı (m)**
34112	441132.816	4525727.949
34121	448782.112	4530718.115
34218	446661.140	4517811.451
34220	451286.282	4524696.006

6.7 GPS ve Yersel Sistem Koordinatları Arasında Dönüşüm

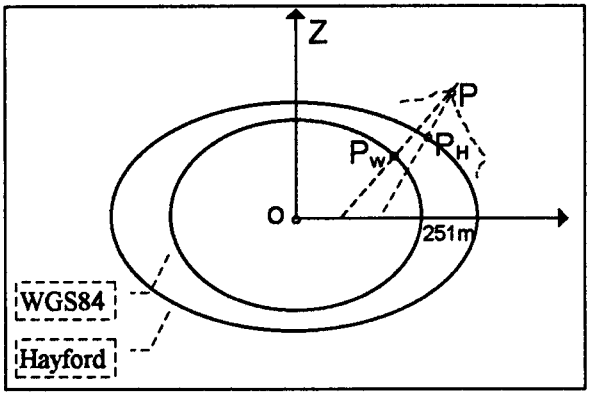
Sıklaştırma çalışmalarında, GPS ile elde edilen üç boyutlu koordinatlar yersel sistem koordinatlarına dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi, yersel sisteme ilişkin elde bulunan bilgilere bağlı olarak, Bölüm 5 de açıklanan yöntemlerden biri ile gerçekleştirilebilir. Dönüşümün işleminin matematiksel olarak anlamlı olabilmesi için, eşlenik noktaların çalışma alanına homojen olarak dağılmış olması gerekir. Üç boyutlu dönüşümlerde, yersel sistemin üç boyutlu koordinatlarının hesabı için, çalışılan bölgede jeoidin yüksek bir doğrulukla belirlenmiş olması ve noktaların ortometrik yüksekliklerinin bilinmesi

gerekir. Oysa genelde, klasik yöntemlerle tesis edilmiş olan ülke nirengi noktalarının ortometrik yüksekliklerinin doğruluğu düşüktür ve jeoid ondülasyonları yeterli doğruluk ve sıklıkta bilinmemektedir. Bu nedenle, noktaların yersel sistemde üç boyutlu kartezyen koordinatlarını yeterli doğrulukta hesaplamak mümkün değildir. Bu durum İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı için de geçerlidir.

Problemin çözümü için, Gauss-Krüger projeksiyon koordinatları ile iki boyutlu dönüşüm, ya da elipsoidal yükseklikleri geometrik olarak devre dışında bırakıp, her iki sistemde de noktaların elipsoid üzerindeki izdüşümlerinin kartezyen koordinatları (h=0 için X,Y,Z) ile üç boyutlu dönüşüm yapılabilir. Fakat bu iki yaklaşım da, özellikle elipsoidlerin farklı olması nedeniyle teorik olarak anlamlı değildir. Fiziksel noktaların elipsoid yüzüne indirgenmeleri, her iki elipsoidin farklı olması nedeniyle; iki nokta kümesi arasındaki benzerlik koşulunu ortadan kaldırır ve dönüşüm işlemlerinde yapay bir distorsiyon modele ilave edilir. Ancak, pratik uygulama açısından bakıldığında, küçük bölgeleri kapsayan çalışmalar için elipsoidlerin benzer kabul edilebileceği ve bozulmanın sonuçlara etkisinin anlamlı olmayacağı söylenebilir.

Elipsoidlerin şekillerindeki farklılıklarının dönüşüm problemine etkisini irdelemek için, iki elipsoidin koordinat eksenlerini çakıştırarak (Şekil 6.8), her iki sistemde de fiziksel noktaların koordinatlarının eşit olduğu bu özel konumda, dönüşüm problemi simule edilebilir. Bu durum, iki dik koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametrelerinden 3 öteleme ve 3 dönmenin sıfıra, ölçeğin bire eşit olduğu anlamına gelir. Elipsoidlerin Şekil 6.8 deki konumunda noktaların elipsoid yüzeylerindeki izdüşümleri elde edilir. Bu izdüşüm noktaları eşlenik noktalar olarak düşünüldüğünde, dönüşüm parametreleri, elipsoidlerin boyutlarında ve basıklıklarındaki farklılıktan dolayı bozulmaya uğruyacaktır. Bu bozulmanın dönüşüm işleminin iç doğruluğundaki etkisi, sayısal bir uygulama yapılarak incelenmiştir.

Koordinat sistemlerinin Şekil 6.8 deki konumda olduğu varsayımıyla (DITHER ve diğ 1996), GPS ile elde edilen P_i noktalarının koordinatları (X_i ,Y_i , Z_i), yerel elipsoid (Hayford) ve WGS 84 elipsoidinin parametreleriyle ayrı ayrı elipsoidal çoğrafi koordinatlara dönüştürülür. Elipsoidal coğrafi koordinatlarla her iki koordinat kümesinde $h = 0$ alınarak kartezyen koordinatlar tekrar hesaplanır.



Şekil 6.8 P noktasının WGS 84 ve Hayford elipsoidleri üzerindeki izdüşümleri

İstanbul Metropolitan Ağı için bu şekilde elde edilen koordinatlarla yapılan dönüşüm işleminde, en büyük düzeltme değeri, 0.5 mm olarak elde edilmiştir. Aynı işlem, Türkiye'yi içine alan 6 adet noktayla denendiğinde, en büyük düzeltme değeri 20 cm olarak bulunmuştur. Bu sonuç, küçük bölgeler için, yeryüzündeki noktaların iki ayrı elipsoid üzerindeki izdüşümlerinin identik varsayılabileceğini göstermektedir. Buna rağmen şekil bozukluğunun enlemle ilişkili olarak farklılık gösterdiği, hesaplanan dönüşüm parametrelerin, ülke nirengi ağının distorsiyonsuz olması kabulünde bile, ancak aynı enlem kuşağı civarında geçerli olabileceği açıktır.

6.7.1 Üç Boyutlu Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Burada, üç boyutlu dönüşüm yöntemlerinin aralarındaki farkları belirlemek amacıyla bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmada İstanbul Metropolitan Nirengi Ağının 34013, 34052, 34076 ve 34056 nolu noktaları kullanılmıştır. Üç boyutlu benzerlik dönüşüm yöntemlerinin (Bursa-Wolf, Moledensky-Badekas ve Veis) kuramsal olarak aynı sonuçları verecekleri Bölüm 5 de vurgulanmıştır. Yapılan uygulamlarda her üç yöntemle de aynı düzeltme değerleri elde edilmiştir (Tablo 6.12). Bursa-Wolf yönteminde, dönmelerin sistemin orijininde gerçekleşmesi nedeniyle, ötelemeler ve dönüklükler arasında yüksek korelasyon gözlenmektedir (Tablo 6.11). Bu durumda, küçük bölgeleri içeren çalışmalarda yer merkezli koordinatların kullanılması normal denklemler matrisinde nümerik singülerliğe neden olduğu sayısal olarak gözlenmiştir. Bu yöntem, genellikle yeryüzünü çevreleyen noktalara sahip, global ağların dönüşümünde tercih edilir. Moledensky-Badekas yöntemi, koordinat sistemlerinden

birinin orijininin eşlenik nokta kümesinin ağırlık merkezine kaydırılması veya yaklaştırılmasıyla elde edilmiştir ve Bursa-Wolf yöntemindeki ötelemeler ve dönüklükler arasındaki yüksek korelasyon ortadan kaldırılmıştır. Fakat, Moledensky-Badekas yönteminde öteleme büyüklükleri iki sistemin orijinleri arasındaki geometrik ilişkiyi temsil etmez.

Veis modelinde ise, dönüklükler, orijini eşlenik noktaların ağırlık merkezinde olan lokal toposentrik sistem eksenleri etrafında gerçekleştirilir ve dönüklük parametreleri ve bunlara ait varyans-kovaryans matrisleri farklı büyüklükte elde edilir.

Tablo 6.11 Üç boyutlu farklı dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Parametre	Bursa-Wolf	Moledensky-Badekas	Veis	10 Parametreli Afin
Tx (m)	152.6467±7.9162	112.1424±0.0072	112.1424±0.0072	112.1424±0.0027
Ty (m)	84.8790±8.5821	104.6295±0.0072	104.6295±0.0072	104.6295±0.0027
Tz (m)	32.2257±4.8405	151.3539±0.0072	151.3539±0.0072	151.3539±0.0027
k (ppm)	9.1749±0.6131	9.1749±0.6131	9.1749±0.6131	--
α (")	-2.0316±0.2748	-2.0316±0.2748	-1.7261±0.1265	-1.1201±0.1293
β (")	2.7755±0.2414	2.7755±0.2414	3.4644±0.1761	3.4897±0.0652
γ (")	-2.1373±0.1837	-2.1373±0.1837	1.1907±0.3472	-1.4094±0.0717
alfa (derece)	--	--	--	20.3572±
k1 (ppm)	--	--	--	7.398±
k2 (ppm)	--	--	--	12.440±
k3 (ppm)	--	--	--	0

Ayrıca, Veis modeli esas alınarak elde edilmiş olan, *10 parametreli afin dönüşüm* yönteminin yersel ağdaki *lineer* distorsiyonlara duyarlı olduğu gözlenmektedir. Bu yöntemle ilişkili sonuçlar incelendiğinde (Tablo 6.11 ve Tablo 6.12), benzerlik dönüşümünde düzeltme değerlerinin büyük çıktığı 34052 nolu noktanın doğrultusu, maksimum bozulmanın olduğu doğrultu olarak elde edilmiştir.

Bunun yanında, benzerlik dönüşümü yöntemlerinde sonuçlara gelen düzeltmeler, $Vmax = 2\ cm$ iken, afin dönüşüm yönteminde en büyük düzeltme değeri 0.4 cm olarak elde edilmiştir. Bu eşlenik nokta grubu için, afin dönüşümün benzerlik dönüşümüne göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Tablo 6.12 Değişik dönüşüm yöntemleri ile bulunan düzeltme değerleri

Moledenski-Badekas, Bursa-wolf, Veis			
Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)
34076	-0.0053	-0.0089	0.0106
34093	0.0057	-0.0081	-0.0013
34052	0.0051	0.0193	-0.0158
34056	-0.0055	-0.0024	0.0065
Mo = ± 0.0145 m			
10 parametreli afin			
Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)
34076	0.0003	0.0037	-0.0022
34093	-0.0002	-0.0021	0.0012
34052	0.0002	0.0025	-0.0015
34056	-0.0004	-0.0042	0.0025
Mo = ± 0.0053 m			

6.7.2 Üç boyutlu Dönüşümlerde Uyuşumsuz Ölçülerin İrdelenmesi

Burada, Bölüm 5 de verilen ve temel ilkesi, fiziksel olarak ilişkili ölçüleri bu ilişki çerçevesinde gruplamak ve bu grupların içersinde uyuşumsuz olanları saptamak olan yöntem, ölçülerin tek tek uyuşumsuz olup olmadıklarının araştırılması yöntemi ile karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Üç boyutlu dönüşüm yöntemlerinde uyuşumsuz eşlenik noktaların araştırılması örnek olarak ele alınıp incelenmiştir (Tablo 6.13).

Burada,

$$C_1 = \tau_{1-\frac{0.05}{18};\,1,\,10}\,,$$

$$C_3 = \tau_{1-\frac{0.05}{6};\,3,\,8}$$

olmak üzere Tau dağılımının fraktil değerleridir.

Tablo 6.13 de, ölçüler tek tek incelendiğinde, hangi noktanın uyuşumsuz olduğuna karar vermek zordur. Özellikle, istatistiksel olarak herbir ölçü uyuşumlu çıkmaktadır. Fakat koordinat bileşenlerinin 3 lü gruplar şeklinde irdelendiği T_3 isimli kolanda,

34114 nolu noktanın uyuşumsuz olduğu anlaşılmakta bu noktanın atılmasıyla sistemde başka uyuşumsuz nokta kalmamaktadır.

Tablo 6.13 3 boyutlu dönüşümde uyuşumsuz ölçü testini (SAKA-3B ile)

Nokta No	V_x, V_y, V_z (m)	T_1	C_1	Sonuç$_1$	T_3	C_3	Sonuç$_3$
34076	0.023 -0.009 -0.018	0.615 0.241 0.473	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	0.456	1.6608	Uyuşumlu
34093	0.040 -0.084 0.008	1.148 2.319 0.241	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	1.466	1.6608	Uyuşumlu
34052	0.000 0.021 0.011	0.011 0.545 0.283	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	0.354	1.6608	Uyuşumlu
34114	-0.065 0.054 0.033	2.191 1.751 1.125	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	1.674	1.6608	**Uyuşumsuz**
34056	0.000 0.037 -0.021	0.003 1.034 0.635	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	0.669	1.6608	Uyuşumlu
34013	0.001 -0.018 0.008	0.044 0.675 0.341	2.6925 2.6925 2.6925	Uyuşumlu Uyuşumlu Uyuşumlu	0.409	1.6608	Uyuşumlu

Özellikle pratik kullanım ve karar verme açısından üçlü gruplar şeklinde inceleme büyük avantaj sağlamakta ve tek adımda sonuca ulaşılabilmektedir. Bu test yönteminin, uyuşumsuz noktaların ayıklanmasına karşı oldukça duyarlı olduğu gözlenmektedir.

6.7.3 GPS ölçülerinin yersel sisteme dönüştürülmesi

Bu bölümde, üç boyutlu dönüşüm yöntemlerinden, Gauss-Krüger projeksiyon sistemine dönüştürülmüş koordinatlar ile, *iki boyutlu benzerlik dönüşümü*, *Moledensky-Badekas* ve *10 parametreli afin dönüşüm* yöntemleri kullanılarak, GPS ölçüleri yersel sisteme dönüştürülecek ve aynı noktaların yersel yöntemlerle elde edilen koordinat değerleriyle karşılaştırılacaktır.

İstanbul Metropolitan Nirengi Ağında yersel sisteme dönüştürülecek noktalar, konumları ve ölçme yöntemleri bakımından iki grup içerisinde incelenecektir. Birinci grupta, eşlenik noktaların merkezinde sayılabilecek olan ve hızlı statik ve kinematik yöntemlerle ölçülen, İTÜ kampüsü içerisindeki **2, 3, 32, 39, 40, 41** nolu noktalar, ikinci gurupta ise eşlenik nokta kümesinin doğu ucundaki 34114 nolu noktaya bağlı olarak statik yöntemle ölçülen, **34112, 34121, 34218 ve 34220** nolu noktalar yer almaktadır. Bu noktaların GPS ölçmeleri ile bulunan koordinatları, ana GPS ağını oluşturan 34013, 34052, 34056, 34076, 34093 ve 34114 nolu eşlenik nokta kümesinden elde edilen dönüşüm parametreleriyle ülke sistemine dönüştürülecektir. Değişik yöntemlerle, uyuşumsuz noktalar ayıklanarak kalan uyuşumlu noktalarla dönüşüm parametreleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.14, Tablo 6.15 ve Tablo 6.16 da verilmiştir. İki boyutlu dönüşümde uyuşumsuz nokta çıkmamış, üç boyutlu dönüşüm sonuçlarında ise, ağın doğu ucundaki 34114 nolu noktanın uyuşumsuz olduğu görülmüştür (Tablo 6.15 ve Tablo 6.16).

Tablo 6.14 İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümüne ilişkin sonuçlar (SAKA-2B)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.024	-0.020	0.480	1.786	Uyuşumlu
34093	0.011	-0.093	1.527	1.786	Uyuşumlu
34052	-0.016	0.018	0.373	1.786	Uyuşumlu
34013	0.012	-0.017	0.433	1.786	Uyuşumlu
34114	0.044	0.078	1.747	1.786	Uyuşumlu
34056	-0.028	0.032	0.703	1.786	Uyuşumlu
$M_0 = \pm 0.0507$					

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ \Delta \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 34.5394 \pm 0.0207m \\ 185.7211 \pm 0.0207m \\ 6.3952 \pm 1.0895ppm \\ -1''.0557 \pm 0''.2247 \end{bmatrix}$$

Bu dönüşümde ölçek faktörünün anlamlı olduğu, (5.32) test eşitliği ile hesaplanarak görülmüştür. $T > F_{0.95,1,8}$ (34.45> 5.32) .

Tablo 6.15a Moledensky-Badekas yöntemine ilişkin dönüşüm sonuçları (SAKA-3B)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	T	C	Sonuç
34076	0.0231	-0.0093	-0.0178	0.4593	1.6608	Uyuşumlu
34093	0.0400	-0.0840	0.0085	1.4623	1.6608	Uyuşumlu
34052	0.0005	0.0217	-0.0113	0.3615	1.6608	Uyuşumlu
34114	-0.0646	0.0537	0.0332	1.6753	1.6608	Uyuşumsuz
34056	0.0001	0.0366	-0.0211	0.6644	1.6608	Uyuşumlu
34013	0.0009	-0.0186	0.0085	0.4148	1.6608	Uyuşumlu

$M_0 = \pm 0.043$ m,

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ \Delta \\ \omega \\ \psi \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 112.2155 \pm 0.0177m \\ 104.6357 \pm 0.0177m \\ 151.3562 \pm 0.0177m \\ 6.4700 \pm 0.9298ppm \\ -1''6269 \pm 0''.2203 \\ 3.0209 \pm 0''3662 \\ -1''.7239 \pm 0''.2289 \end{bmatrix},$$

ve $T > F_{0.95,1,11}$ (48.55> 4.84) ile ölçek parametresi anlamlıdır.

Tablo 6.15b Moledensky-Badekas yöntemine ilişkin dönüşüm sonuçları (SAKA-3B)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.0052	-0.0036	0.0070	0.2647	1.5306	Uyuşumlu
34093	0.0043	-0.0382	0.0168	1.3823	1.5306	Uyuşumlu
34052	-0.0111	0.0290	-0.0040	0.8231	1.5306	Uyuşumlu
34056	-0.0145	0.0232	0.0013	0.7910	1.5306	Uyuşumlu
34013	0.0265	-0.0104	-0.0211	1.4455	1.5306	Uyuşumlu

$M_0 = \pm 0.0246$ m,

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ \Delta \\ \omega \\ \psi \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 112.2220 \pm 0.0110m \\ 104.6357 \pm 0.0110m \\ 151.3562 \pm 0.0110m \\ 7.6614 \pm 0.6706ppm \\ -1''.8685 \pm 0''.1582 \\ 2''.8839 \pm 0''.2162 \\ -1''.9528 \pm 0''.1771 \end{bmatrix}.$$

Tablo 6.16a 10 parametreli afin dönüşüm sonuçları (SAKA-10P)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.0244	0.0328	0.0065	0.6800	1.5306	Uyuşumlu
34093	-0.0483	0.0619	0.0136	1.4501	1.5306	Uyuşumlu
34052	0.0048	-0.0179	0.0053	0.2921	1.5306	Uyuşumlu
34114	**0.0449**	**-0.0554**	**-0.0140**	**1.5734**	**1.5306**	**Uyuşumsuz**
34056	0.0055	-0.0025	-0.0042	0.1549	1.5306	Uyuşumlu
34013	0.0175	-0.0188	-0.0072	0.9375	1.5306	Uyuşumlu

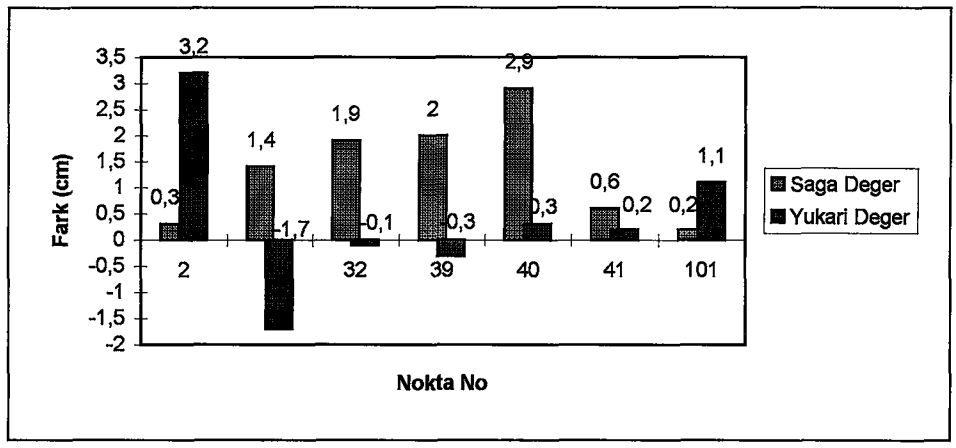
Tablo 6.16b 10 parametreli afin dönüşüm sonuçları (SAKA-10P)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.0074	0.0117	0.0011	0.7013	1.2691	Uyuşumlu
34093	-0.0001	0.0024	-0.0014	0.3462	1.2691	Uyuşumlu
34052	0.0106	-0.0251	0.0034	1.2352	1.2691	Uyuşumlu
34056	0.0003	0.0039	-0.0026	0.2930	1.2691	Uyuşumlu
34013	-0.0033	0.0071	-0.0006	1.2552	1.2691	Uyuşumlu

$M_0 = \pm 0.0140$ m

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ \eta \\ \xi \\ \alpha \\ \theta \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -112.2220 \pm 0.0064m \\ -104.6357 \pm 0.0064m \\ -151.3562 \pm 0.0064m \\ -1''.1130 \pm 0''.1031 \\ 3''.5030 \pm 0''.1372 \\ -1''.5638 \pm 0''.0850 \\ 41.32 \pm \\ -6.2329 \pm \\ -10.532 \pm \\ 0 \end{bmatrix}$$

Burada kullanılan her üç yöntemle de bir kaç mm farklılıkla, dönüştürülmüş koordinatlar aynı büyüklükte elde edilmiştir. İTÜ kampüsü içerisindeki noktalarda hızlı statik yöntemle elde edilen GPS sonuçları yersel sisteme dönüştürülmüş ve koordinatlar karşılaştırılmıştır (Şekil 6.9). Yedi dakikalık GPS ölçüleri ile bulunan sonuçlarla yersel sonuçlar arasında en büyük fark *sağa* değerde 2.9 cm, *yukarı* değerde 3.2 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 6.9 İ.T.Ü. Kampüsü test ağında GPS ve yersel sıklaştırma çalışmasının farkları

İkinci grup noktalar olarak adlandırılan ve 34114 nolu noktaya bağlı olarak, GPS ile statik yönteme göre ölçülen 34112, 34121, 34218 ve 34220 nolu noktaların dönüşümle bulunan koordinatlar ülke sistemindeki koordinatlarla karşılaştırıldığında, en büyük farkın, 34218 nolu noktanın *Sağa* değerinde ve yaklaşık 23 cm olduğu görülmüştür (Şekil 6.10). Bu dönüştürülen noktalara, üç boyutlu dönüşümlerde uyuşumsuz çıkan 34114 nolu noktayı da ilave ederek 34114, 34112, 34121, 34218 ve 34220 nolu noklarla iki boyutlu dönüşüm yapıldığında (Tablo 6.17) bu noktaların kendi içinde uyuşumlu oldukları gözlenmektedir ($M_0 = \pm 0.028$ m).

Tablo 6.17 Ağın doğu kesimindeki noktalarla iki boyutlu benzerlik dönüşümü (SAKA-2B)

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	T	C	Sonuç
34218	0.001	0.027	1.036	1.643	Uyuşumlu
34112	0.014	-0.046	1.521	1.643	Uyuşumlu
34220	0.005	-0.016	0.522	1.643	Uyuşumlu
34121	0.004	0.016	0.520	1.643	Uyuşumlu
34114	-0.025	0.019	1.064	1.643	Uyuşumlu

Bunun yanısıra, tüm noktalar eşlenik nokta olarak alınıp dönüşüm parametreleri belirlendiğinde, uyuşumsuz nokta çıkmazken, dönüşümün doğruluğu düşmektedir ($M_0 = \pm 0.062$m), (Tablo 6.18). Bu durum, ağın doğu ucunda bulunan noktaların dönüşümü olumsuz olarak etkilediğini, bu noktalarla diğer noktalar arasında genelde bir uyuşumsuzluk olduğunu göstermektedir. Ağdaki distorsiyonu ifade eden bu

durum, *Bölüm 6.8* de ağın serbest dengeleme sonuçları ile yapılan karşılaştırmalarla açık bir şekilde gözlenebilir.

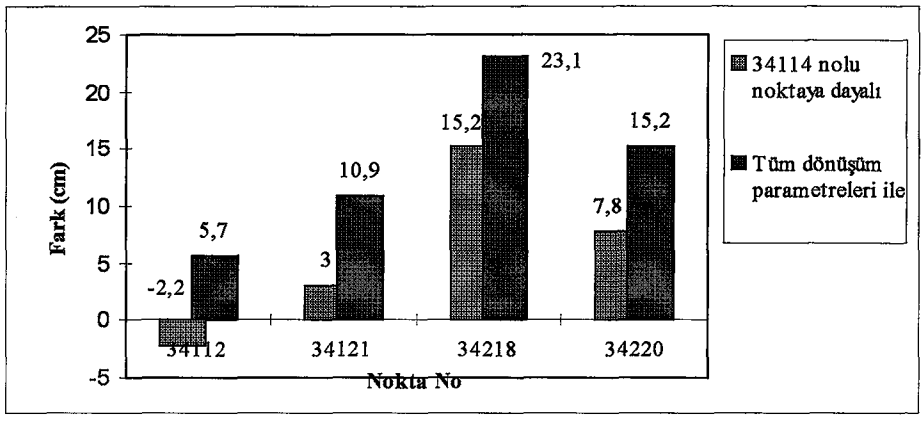
Yersel ağın homojen olmamasından kaynaklanan bu farkı azaltmak amacıyla, 34013, 34052, 34056, 34093 ve 34114 nolu noktalar eşlenik nokta olarak alınarak elde edilen dönüşüm parametrelerinden sadece dönüklük ve ölçek parametreleri, 34114 nolu noktaya bağlı olarak ölçülen 34112, 34121, 34218 ve 34220 nolu baz vektörlerine, uygulanmıştır. Bu noktaların GPS koordinatları Tablo A.3 de verilmiştir.

Tablo 6.18 Ağın tüm eşlenik noktarla iki boyutlu benzerlik dönüşümü (SAKA-2B)

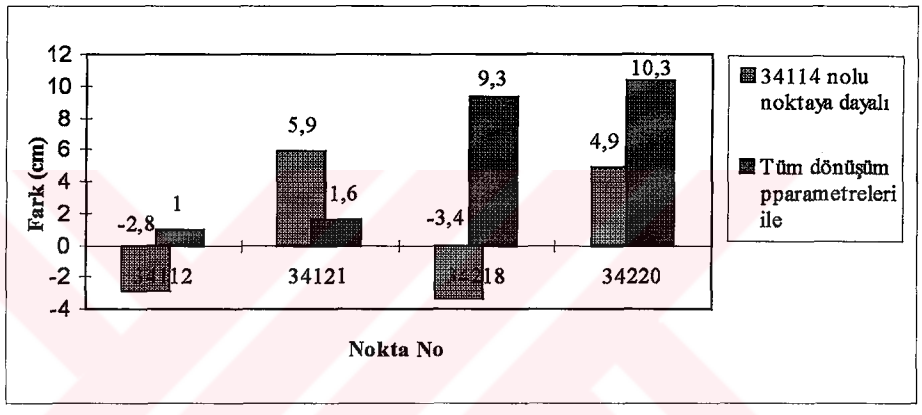
Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.058	-0.032	0.821	2.061	Uyuşumlu
34093	**0.003**	**-0.158**	**1.904**	**2.061**	**Uyuşumlu**
34052	-0.019	0.013	0.287	2.061	Uyuşumlu
34013	0.076	-0.001	1.146	2.061	Uyuşumlu
34114	-0.005	-0.007	0.107	2.061	Uyuşumlu
34218	**-0.019**	**0.111**	**1.446**	**2.061**	**Uyuşumlu**
34112	-0.012	-0.037	0.478	2.061	Uyuşumlu
34220	0.043	0.040	0.747	2.061	Uyuşumlu
34121	0.049	0.021	0.664	2.061	Uyuşumlu

Yersel sisteme dönüştürülen baz vektörleri, 34114 nolu noktanın yersel koordinatlarına eklenerek, bu noktaların yersel koordinatları hesaplanmıştır. Bu tür bir dönüşümün ağdaki distorsiyonlardan daha az etkilendiği, elde edilen koordinatların yersel sistem koordinatlarına daha yakın olduğu gözlenmektedir (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11).

Bu dönüşümle elde edilen koordinatlarla yersel koordinatlar arasındaki maksimum fark, 34218 nolu noktanın *Sağa* değerindedir ve yaklaşık 15 cm dir. Bu fark dönüşüm parametrelerinin koordinatlara uygulanması durumunda elde edilen sonuçlarda 23 cm idi.



Şekil 6.10 Noktaların Sağa değerlerinin farkları (GPS ile elde edilen - Yerel değer)



Şekil 6.11 Noktaların Yukarı değerlerinin farkları (GPS ile elde edilen - Yerel değer)

GPS ile statik yönteme göre yapılan ölçmelerle elde edilen ve ülke sistemine dönüştürülen koordinatlar ile yersel ölçmelerle bulunan koordinatlar arasında bu denli büyük farklılıkların çıkması, GPS ölçmelerinin sıklaştırma için yetersiz olduğu veya dönüşüm yöntemlerinin yanlış uygulandığı anlamına gelmez. Bu farkların büyük olmasının nedeni, tamamen yersel ağdaki ve özellikle yersel ağın, uygulamanın yapıldığı kısmındaki distorsiyonlardır. GPS ile konum belirlemenin doğruluğunu incelemek, distorsiyonların sıklaştırma çalışmalarındaki olumsuz etkilerini açık bir biçimde ortaya koymak amacıyla, aşağıda *Bölüm 6.8* de, yersel ağın serbest dengeleme ile bulunan koordinatları esas alınarak dönüşüm parametreleri belirlenecek ve bu parametrelerle ülke sistemine dönüştürülen GPS koordinatları, yersel sistemin serbest dengeleme sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

6.8 Yersel Ağdaki Distorsiyonların Dönüşüm Sonuçlarına Etkisinin İncelenmesi

Klasik yöntemlerle kurulan ülke nirengi ağlarının hemen hepsinde distorsiyonlar vardır. Türkiye ana nirengi ağıda alışıla gelmiş yöntemlerle kurulmuş bir ağdır ve çeşitli nedenlere bağlı olarak homojen bir yapıda değildir(GÜRKAN 1979 s.77-89).

İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı'nın geometrik olarak ülke ağına bağlanmadaki sıkıntısı göz önüne alındığında, bağlantısının zayıf olduğu bölgelerde belli ölçüde bir bozulmanın olması doğaldır. Yapılan uygulamada, GPS ile statik yönteme göre elde edilen ve ülke sistemine dönüştürülen koordinatların, yersel ölçmelerle bulunan koordinatlarından oldukça farklı olması da bunu göstermektedir. Bu farkların nedenini açıklamak ve yersel ağların GPS ile sıklaştırılmasına ışık tutmak amacıyla, GPS ölçmeleri ile *İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı*'nda distorsiyonların etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

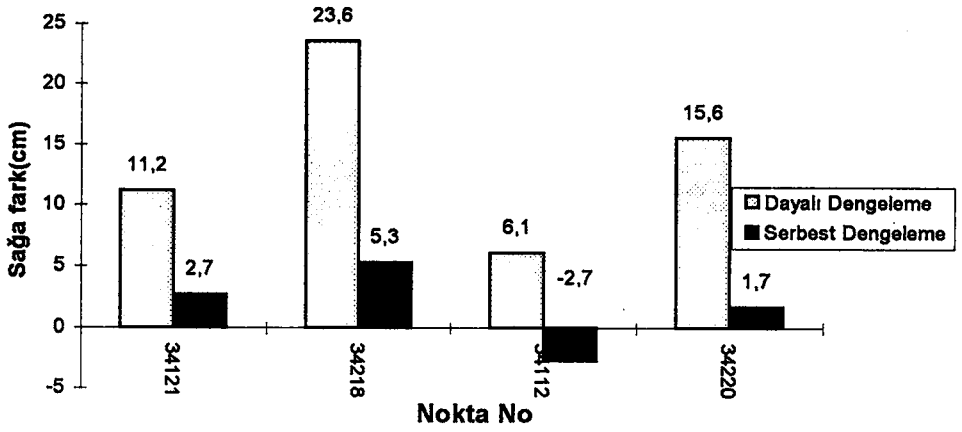
İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı, ülke sisteminde koordinatları bilinen 12 adet nirengi noktasına dayalı olarak dengelenmiştir. Bu noktalardan 6 adedi, İ.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü tarafından 1986 yılında gerçekleştirilen *Adalar Nirengi ve Nivelman Ağı Örnek Projesi*'nde, 34056 (Kocataş) ve 34071 (Kınalıada) ülke birinci derece noktalarına bağlı tesis edilmiş olan sıklaştırma ağına ait noktalardır. Bu noktaların metropolitan ağın merkezinde olmaları ve metropolitan ağın doğu kesiminde ülke ağı ile bağlantısının olmayışı, bu bölgede oluşabilecek farklılıkları incelemeye yönelmemizi sağlamıştır. Bölüm 6.7 de elde edilen dönüşüm sonuçları, bölgesel çözümlere ait dönüşüm parametrelerinin, ağın doğu kesiminde uygulandığında, farklı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu farklılıkların, ağdaki noktaların uyuşumsuz olmasından değil, ağın bölgesel farklılıklarından kaynaklandığı, ağ bölgelere ayrılarak yapılan değerlendirmelerle anlaşılmıştır (Tablo 6.17, Tablo 6.18). Bu bölümde, yersel ağa ait *serbest dengeleme* sonuçlarını kullanarak, sabit alınan noktaların bu bozulmadaki katkıları araştırılacaktır. Bölüm 6.7 de yapılan dönüşümlerde kullanılan eşlenik noktaların (34013, 34052, 34056, 34076, 34093 ve 34114 nolu noktalar) yersel ölçmelerin serbest dengelenmesi ile elde edilen koordinatları kullanılarak dönüşüm yapıldığında; dayalı dengeleme ile elde edilen

koordinatlarla yapılan dönüşüm sonuçlarından prezisyon olarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 6.19).

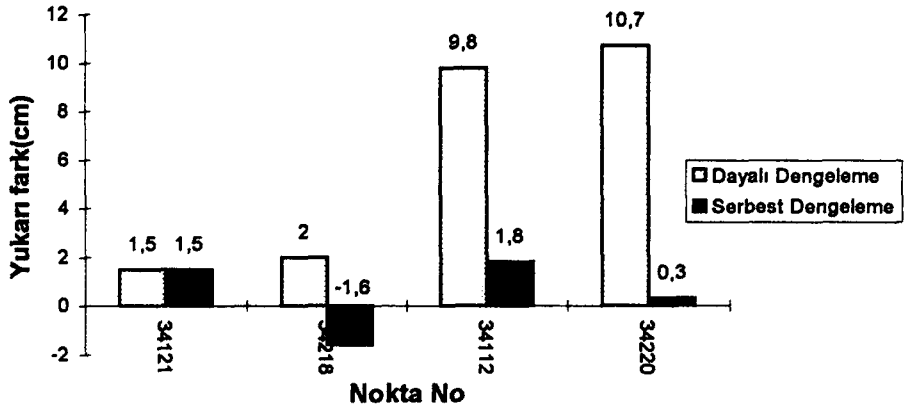
Tablo 6.19 Yersel sistemin Serbest dengeleme sonuçları ile GPS koordinatlarının İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü sonuçları.

Nokta No	Vx (m)	Vy (m)	T	C	Sonuç
34076	-0.005	-0.010	0.266	1.786	Uyuşumlu
34093	0.034	-0.007	0.883	1.786	Uyuşumlu
34052	0.022	-0.015	0.635	1.786	Uyuşumlu
34013	0.011	-0.024	0.883	1.786	Uyuşumlu
34114	0.002	0.035	1.043	1.786	Uyuşumlu
34056	-0.064	0.021	1.732	1.786	Uyuşumlu
	$M_0 = \pm 0.033m$				

100 km genişliğinde bir alana yayılmış nokta grubuyla yapılan dönüşümde, bütün noktaların uyuşumlu çıkması, birim ölçünün karesel ortalama hatasının $M_0 = \pm 3.3\ cm$ olarak elde edilmesi, yersel ve GPS ölçülerinin, yüksek bir doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Serbest dengeleme sonuçları ile gerçekleştirilen dönüşüm işlemi ile elde edilen parametreler kullanılarak, ağın doğu ucundaki dört noktanın GPS ile bulunan koordinatları yersel sisteme dönüştürülmüş, 34218 nolu noktanın *sağa* değerinde maxsimum 5.3 *cm* ve 34112 nolu noktanın *yukarı* değerinde maksimum 1.8 cm lik farklılıkla, yersel koordinatların elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 6.12a,b)



Şekil 6.12a Yersel ağın dayalı ve serbest dengeleme sonuçları ile ayrı ayrı elde edilen dönüşüm parametrelerinin ağın doğu ucuna uygulanması



Şekil 6.12b Yersel ağın dayalı ve serbest dengeleme sonuçları ile ayrı ayrı elde edilen dönüşüm parametrelerinin ağın doğu ucuna uygulanması

Bu sonuçlar Sabit alınan noktaların koordinatlarının ve dağılımlarının sistemi zorladığı ve dayalı dengelemeden bulunan koordinatlarla yapılan dönüşümde ortaya çıkan büyük farklılıkların nedeni olduğu söylenebilir.

Kuramsal olarak ele alındığında, yönlendirilmiş iki elipsoid arasında herhangi bir bölgede ölçek farkı (6.1) eşitliği ile yaklaşık olarak ifade edilebilir (BOMFORD 1971).

$$Ölçek = \frac{S_2}{S_1} = 1 - \frac{\Delta N}{a} \qquad (6.1)$$

Eşitlikte

ΔN = *S kenarında iki elipsoid yüzeyi arasındaki yükseklik* ($h_{Yerel} - h_{GPS}$)

a = *elipsoidlerden birinin büyük yarı ekseni*

dir.

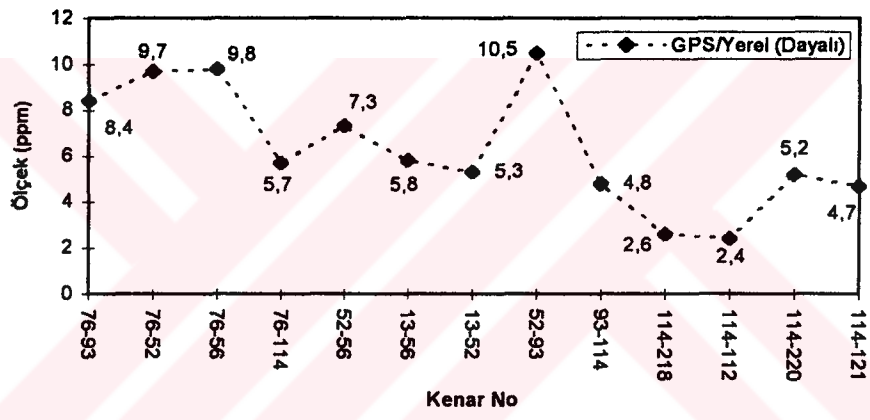
GPS sonuçları ile yersel sistem arasındaki ölçek farkını ve ölçeğin değişimini incelemek amacıyla, 34056 Kocataş noktasındaki bilgiler esas alınarak, İstanbul bölgesinde (6.1) eşitliği ele alındığında (AYAN 1974),

$$h_{Yerel} = H + N = 234.568 - 4.05, \quad h_{GPS} = 276.2488\ m$$

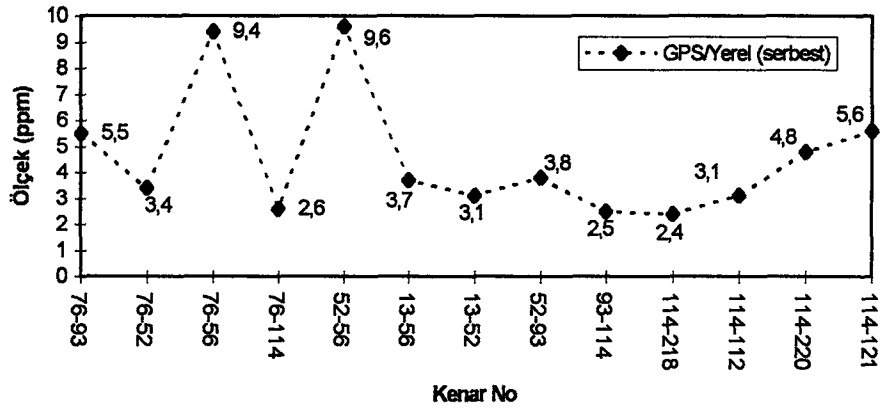
ve *Ölçek = 7 ppm*, jeoid yüksekliği ihmal edildiğinde ise Ölçek değeri *6.4 ppm* olarak elde edilmektedir. Bu durum dönüşüm sonuçlarında da yaklaşık aynı büyüklükte ölçek farkının olmasını gerektirir. Yukarıda yapılan iki ve üç boyutlu dönüşümlerde bulunan ölçek farkları da bu mertebededir.

GPS ve yersel ölçüler (koordinatlar) arasında dönüşüm yapılmadan, iki sistemde, kenarlar arasındaki ölçek farkı incelenmiş, serbest dengeleme sonuçlarıyla dayalı dengeleme sonuçlarının farklılık gösterdikleri gözlenmiştir.

Dayanak noktaları (34056, 34076, 34093) arasındaki kenarların ölçeği *9 ppm* civarında değişirken, serbest dengeleme sonucunda hesaplanmış kenarlarla elde edilen ölçek farkı *3-5 ppm* arasında değişim göstermektedir (Şekil 6.13a,b).



Şekil 6.13a Yerel sistemle GPS sistemi arasındaki ölçek farkları



Şekil 6.13b Yerel sistemle GPS sistemi arasındaki ölçek farkları

34056 nolu nokta göz ardı edildiğinde, ülke ağı noktalarının ölçeği ile yersel ağın kenar ölçülerinin ölçeği arasında ortalama *6 ppm* civarında bir fark olduğu gözlenmektedir. Özellikle ağın bağlantısının zayıf olduğu bölgelerde kenar ölçülerinin ölçeği baskın olmakta ve bu bölgeler ağın bağlantısının sağlam olduğu bölgelerle farklılık göstermektedir.

BÖLÜM 7: SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, GPS uydu sisteminin jeodezik amaçlı uygulamaları, nirengi ağlarının sıklaştırılması problemi kapsamında ele alınmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sıklaştırma ağlarında, GPS ölçmeleri statik veya hızlı statik yöntemlerden birisi ile gerçekleştirilebilir. Ölçme yönteminin ve ölçme süresinin seçimine karar verebilme, verileri değerlendirmede kullanılacak programın yeteneğine bağımlıdır. Her iki ölçme şeklinde de ölçülen ağın kapalı şekil oluşturması, kaba hataların irdelenmesi açısından zorunludur. Aksi durumda bir noktada farklı zamanlarda iki ayrı ölçme oturumu gerçekleştirilmelidir. Çok engebeli ve noktaya ulaşımın zor olduğu durumlarda, kaba hatalara karşı (alet yüksekliğinin ölçülmesi, antenin yönlendirilmesi ve yansıma etkisi) duyarlı bir düzenekle ölçmeler tek oturumda da gerçekleştirilebilir.

- Ölçülerin değerlendirilmesinde, atmosferik modellendirme ve değerlendirmede referans alınan noktanın GPS uydu sistemine (WGS 84) bağlı olması, sonuçların mutlak anlamda üç boyutlu koordinatlar olarak elde edilmesi için gereklidir. Aksi durumda, birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilen çalışmaların, birinci derecede ölçek farkı olmak üzere, sistematik farklılık gösterecekleri açıktır.

- GPS ölçülerinin yersel sisteme dönüştürülmesinde sonuçların doğruluğu, yersel ağın genelde distorsiyonlu olması nedeniyle, sıklaştırma alanının büyüklüğü ve eşlenik noktaların yersel sistemdeki koordinatlarının doğruluğu ile ilişkilidir. Bu nedenle, yersel sistemlerin sıklaştırılmasında aşağıdaki ilkeler esas alınmalıdır.

Eşlenik noktalar sıklaştırma alanını çevrelemeli ve dağılımları homejen olmalıdır.

Eşlenik noktalar yüksek dereceden noktalar (1, 2 veya 3 derece) olmalıdır.

Eşlenik noktalarla dönüşümde uyuşumsuz noktalar belirlenmelidir ve dönüşüm uyuşumlu noktalarla gerçekleştirilmelidir. Bu durumda, eşlenik noktalar grubu eğer mümkünse küçük bölgeler şeklinde test edilmeli ve uyuşumsuzluğun ağdaki distorsiyondan kaynaklanıp kaynaklanmadığı anlaşılmalıdır.

Sıklaştırma çalışmalarında beklenen doğruluğa ulaşabilmek için, eşlenik noktalarla yapılan dönüşümle elde edilen dönüşümün ortalama hatası (M_0) dikkate alınarak, gerekirse dönüşüm için bölgesel parametreler elde edilmelidir.

Yersel ağda distorsiyon varsa, eşlenik noktaların çerçevelediği sıklaştırma alanının dışında kalan noktaların dönüşümü için; öteleme parametreleri dikkate alınmaksızın, elde edilen dönüşüm parametreleri (dönüklükler ve ölçek) ölçülen baz vektörlerine uygulanmalıdır. Böylece yersel sisteme dönüştürülmüş baz vektörleri, ölçmelerede referans alınan noktanın koordinatına eklenerek noktaların yersel sistem koordinatları hesaplanmalıdır.

- Bu çalışmanın genel sonuçlardan birisi, üç boyutlu modellerde uyuşumsuz ölçülerin ve uyuşumsuz noktaların belirlenmesine ilişkin istatistik test yönteminin ortaya konması ve bunun GPS ile yapılan çalışmalarda etkin ve kolay uygulanır bir yöntem olarak önerilmesidir. Bu test yöntemi, GPS ölçmeleri ile oluşturulacak üç boyutlu ülke yüzey ağlarında ve bunların sıklaştırma çalışmalarında aşağıda belirtilen düzende uygulanmalıdır.

1. GPS faz ve kod ölçüleri ile değerlendirme sonucu elde edilen noktalar arasındaki vektör bileşenleri serbest olarak dengelenerek, Bölüm 4 de belirtildiği şekilde uyuşumsuz olan bazlar ayıklanmalıdır.

2. Serbest dengeleme sonucu elde edilen koordinatlarla, dayanak noktaları eşlenik nokta olarak alınarak, üç boyutlu transformasyonla uyuşumsuz olan noktalar belirlenmelidir.

3. Uyuşumsuz noktalar belirlendikten sonra, ağ uyuşumlu noktalara dayalı olarak dengelenmelidir.

Bu teknik koşullar ışığında bir Ülke Temel ağının (B sınıfı ağın SEEBER 1993) kurulması zorunludur. Aksi halde çok yüksek prezisyonda sonuç alınan GPS ölçme tekniği ile uygulamalardan (sıklaştırma çalışmaları ile) yeterli verim alınamaz. Yenilenmesi gereken Ülke Nirengi Ağı, GPS ve gravite ölçüleri ile üç boyutlu bir yüzey ağı olarak oluşturulmalıdır. Bu durum, GPS uygulamalarını kolaylaştıracak ve ölçülerin herhangi bir sisteme dönüştürülmesine gerek kalmayacaktır. Bunun dışında, mevcut sıklaştırmalarının bu çalışmada belirtilen esaslara göre yapılması yeterlidir.

KAYNAKLAR

ABD-ELMOTAAL, H., (1994) " Comparison of Polinomial and Similarity Transformation Based Datum-shifts for Egypt", Bull. Geod. 68, pp. 168-172.

AKSOY, A., (1987) "Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi", Türkiye I.Harita Teknik Kurultayı, 23-27 şubat , Ankara.

AKSOY, A., (1986) "İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı Dengeleme Sonuçları" İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı, Maslak İstanbul.

AKSOY, A., ve Arkadaşları (1995) "Kuzey Anadolu Fay Kuşağı Taşkesti Kesiminde Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi çalışmaları", teknik rapor, İnşaat Fakültesi No. 1519 Maslak İstanbul.

AYAN, T., (1976) "Astrogeodatische Geoidberechnung für das Gebiet der Türkei", Zur Erlangung des akademischen Grades eisen Doktor-Ingenieurs, Universitat Karlsuhe.

ANANDA, M., (1988a) " GPS Constellation and Coverage", The Navstar GPS System, ACARD Lecture Series No.161

ANANDA, M., (1988b) " GPS Accuracy, System Error Budget, Space and Control System Overview", The Navstar GPS System, ACARD Lecture Series No.161

ASHKENAZI, V., MOORE, T., NAPIER, M., E., and FUESTE, C., (1988) " Using GPS to Control a Triangulation Network", Survey Review, 29,228, pp. 287-294.

BANYAI, L., (1991), "Treatment of rotation errors ın the final adjastment of GPS baseline components", Bulletin Geodesique, 65: pp,102-108

BENNING, W., (1985) " Test von AusreiBern bei der Helmerttransformation", ZfV 5

BEUTLER, G., BAUERSIMA, I., GURTNER, W., ROTHACHER, M., and SCHILDKNECHT,.T. (1989a) "Accuracy and biases in the geodetic application of the Global Positioning System", Manuscripta Geodaetica, Vol.14,pp.28-35.

BEUTLER, G., GURTNER, W., ROTHACHER, M., WILD, U., and FREI, E., (1989b) "Relative static positioning with the Global Positioning System:

Basic tecnical considerations",International Association of Geodesy Symposia, Symposium no 102, Edinburg Scotland.

BEUTLER, G., GURTNER, W., ROTHACHER, M., and WILD, U., (1989c) "The Swiss 1987 GPS Campaign Experiences in Medium Size Networks", First International Workshop: On the Geodesy for the Europe-Africa Fixed Link Feasability Studies in the Strait of Gibraltar", Madrid (Spain).

BEUTLER, G., (1990a) "Examplary Processing of a 1989 GPS Campaing in the Swiss Alp", Mitteilungen der Satteliten-Beobachtungstation Zimmerland, Nr. 24.

BEUTLER, G., FANKHAUSER, S., GURTNER, W., ROTHACHER, M., and WILD, U., (1990b) "Considerations Concerning GPS Software Development: Stracture, Models, Algorithms", Mitteilungen der Satteliten-Beobachtungstation Zimmerland, Nr. 24.

BLETZACKER, F. R., (1985) "Reduction of Multipath Contamination in a Geodetic GPS Receiver" ,First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Vol. 1, pp. 413-422.

BLEWITT, G., (1989) " Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km", Journal of Geophysical Research, Vol., 94, No.B8, pp. 10.187-10.203,

BOCK, Y., (1985) "Establishment of Three-Dimensional Geodetic Control by Interferometry with the Global Positioning System", Journal of Geophysical Research, Vol. 90, No.B9, pp.7689-7703,Agust 10

BOCK, Y., GOUREVİTCH, S., A., COUNSELMAN, C., C., KING R, W., and ABBOT, R., I., (1986) "Interferometric analysis of GPS phase observations", manuscripta geodaetica, Vol.11,pp.282-288.

BOMFORD, G., (1971) "Geodesy " 3. edition, Oxford Clarendon Press, London.

BURDFORD, B. J., (1985) " A Further Exemination of Datum Transformation Parameters in Australia", The Australian Surveyor, Srptember,Vol.32, No.7.

BURKHOLDER, E., F., (1993) "Using GPS Rusults in True 3-D Coordinate System", Journal of Surveying Engineering, Vol. 119, No.1 Paper No. 4657. pp. 1-21

CHRZANOWSKI, A., and CHEN, Y., (1994), "Modeling of GPS Systematic Errors in Monitorsing and Control Surveys", JOurnal of Surveyong Engineering, Vol. 120, No.4, November,.pp.145-155. Paper No. 6707.

COCARD, M., (1995) " High Presicion GPS Processing in Kinematic Mode", Zweiundfünfzigster Band, Vol. 52, ETH Zurich.

COLLINS, J., and LEICK, A., (1985), "Analysis of Macrometer Networks with Emphasis on the Montgomery (PA) County Survey", First International Symposium on Precise Positionin with the Global Positioning System, Positioning with GPS-, Vol. II, pp. 677-691.

CRAYMER, M., R., WELLS, D., E., VANICEK, P., and DEVLIN, R., L., (1992) "Specifications for Urban GPS Surveys", Surveying and Land Information Systems", Vol. 50,No. 4, pp. 251-259.

DENLİ, H., (1995) " Marmara yer kabuğu hareketleri projesi değerlendirme sonuçları), İ.T.Ü Jeodezi Anabilim Dalı, Yayınlanmadı,

DINTER, G., ILLNER M., and JAGER, R., (1996), " A synergetic approach for the transformation of ellipsoidal heights into a standard height referans system " , Report of the Euref Tecnical Working Group, Commision X, IAG, Heft Nr. 57, Munchen.

DMA (1987), WORLD GEODETIC SYSTEM 1984,, Technical Report 83502, Defense Mapping Agency Washington, D.C.

EVANS, G., A., and HERMANN, B., R., (1989) " A Comparison of Several Techniques to Reduce Signal Multipath From The Global Positioning System", International Association of Geodesy Symposia, Symposium no 102, Edinburg Scotland, pp. 74-81.

EWING, C., E., and MITCHELL, M., M., (1970) " Introduction to Geodesy " American Elsevier Puplishing Company, 1970 New York.

EZEIGBO, C., U., (1990) "Defination of Nigerian Geodetic Datum from Recent Doppler Observations", Survey Reviev, 30, 237, July.000

FGCC, (1989) " Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques", Version 5th, May 11.

FEIGEL, K., L., (1991) "Geodetic Measurement of Tectonic Deformation in Central California" Ph D Thesis M.I.T. U.S.A.

FREI, E., BEUTLER, G., (1990), Rapid Static Positioning Based On The Fast Ambuquity Resolution Approach : The Alternative To Kinematic Positioning, Second International Symposium on Precise Positioning with The Global Positioning System, Ottowa, Canada.

GENRICH, J., F., and BOCH, Y., (1992) "Rapid Resolution of Crustal Motion at Short Ranges With the Global Positioning System" Vol. 97, No. B3, pp. 3261-3269

GERDAN, G., P., (1992)., " Efficient Surveying with The Global Positioning System", Surveying and Land Information Systems, Vol. 52, No. 1, pp. 34-40.

GEORGIADOU, Y., and KLEUSBERG, A., (1989) " Multipath Effects in Static and Kinematic GPS Surveying", International Association of Geodesy Symposia, Symposium no 102, Edinburg Scotland, pp. 82-89

GEORGIADOU, Y., and KLEUSBERG, A., (1991) " Algorithms and Results of Kinematic Positioning", Cism Journal ACSGC Vol. 45, No. pp. 569-575.

GOAD, C., C., (1987) "Precise Relative Position Determination using GPS in a Nondifference Mode" , First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Vol. 1, pp. 347-356

GOAD, C., C., (1987) "Precise Positioning with The GPS" , Lecture Notes in Earth Sciences 12(Applied Geodesy), Springer-Verlag.

GOAD, C., C., (1988) "An automated procedure for genarating an optimum set of independent double difference observations using Global Positioning System carrier phase measurements " , manuscripta geodaetica, Vol.13,pp.365-369.

GRÜNDIG, L., NEUREITHER, M., and BAHNDORF, J., (1985) " Including Macrometer-Type Observables into a Standard 3D Adjusment Program", Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, München, Oktober, Vol. 20-2, pp. 377-390.

GÜRKAN, O., (1979) "Astro Jeodezik Ağların Deformasyonu ve Türkiye I. Derece Triyangülasyon Ağı", K:T:Ü Yayın no: 104, Trabzon.

HACKMAN, M., C., BILHAM, R., G., and WU, X.,-P., (1989) 1986 Iceland GPS Mesurements: A Comparision of Solution Optained Using Magnet, Geomark, and Benese 2.0 Software" Surveying and Mapping, Vol. 49, No. 2, pp 45-65.

HARVEY, B., (1986), Transformation of 3D Co-ordinates, The Australian Surveyor, Vol. 33, No:2

HARVEY, B., (1991) "Practical Least Sqares and Statistics for Surveyors",School of Surveying, The Universty of New South Wales, Australia.

HESPER, E., T., (1991) "Investigation on The Use of GPS for Geodetic and Orbit Determination Applications", Delft University press, Report LR-649,

HOLLMANN, R., OSWALD, W., and WELSH, W., (1990) " Processing of GPS phase observations in every day life: How much can varius network solutions differ and how can they be combared?", manuscripta geodetica 15, pp.126-136.

IHDE, J., (1987) " Zu den verfahren der Datumstransformation " , Arbeiten aus dem Vrmessungs-und Kartenwesen der Deutschen Demokratischen Republik, Band 53.

JANES, H., W., (1989) "A Comparison of Several Models for The Prediction of Tropospheric Propagation Delay", 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, New Mexico

JIYU, L., (1991) "Multipath and GPS Station Selection", GPS World, Volume:2, Number: 3.

KAVOURAS, M., (1987) "On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networs",Department of Surveying Engineering University of Nev Brunswick, Canada.

KILIÇOĞLU, A., (1995) " Jeodezide Dönüşümler ", Yüksek lisans tezi , İ.T.Ü Kütüphanesi.

KING, R. W., MASTER, E. G., RIZOS, C., STOLZ, A., and COLLINS, C., (1985), "Surveying With Global Positioning System (GPS)", Dümmlerbuch,BONN.

KOCH, K., R., (1985) " Test von AusreiBern in Beobachtungspaaren", ZfV 1

KOCH, K., R., (1988) " Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Lineer Models", Springer-Verlag, New-York. pp. 334-343

LANDAU, H., (1985), " GPS Baseline Vektors in a Threedimensıonal Integrated Adjustment Aapproch ", GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy

LEICK, A., (1984) " Macrometer Satellite Surveying", Journal of Surveying Engineering, Vol. 110, No. Paper No. 19079.

LEICK, A., (1987) " Positioning 2001", Surveying and Mapping, Vol. 47, No.3 pp.181-189

LEICK, A., (1990) " GPS Satellite Surveying", John Wiley and son ,New York.

LEICK, A., (1992) " Delineating Theory for GPS Surveying", Journal of Surveying Engineering, Vol. 118, No.2 Paper No. 2365. pp. 33-42

LEICK, A., AIKEN, C., and KOR, J., (1992) " Definition of the Vertical for the Supercinducting Super Collider Using GPS, Leveling, and Gravity", Surveying and Land Information Systems, Vol. 52, No. 2, pp. 69-74.

LENZMANN, L., (1984) "Zur Aufdeckung von AusraiBern bei überbestimmtenkoordinatantransformationen", zfv Heft 9

LINDLOHR, W., and WELLS, D., (1985) "GPS design using undifferenced carrier beat phase observations", manuscriptica geodaetica, No. 10, pp. 255-295

MADER, G., L., (1992), " Rapid Static and Kinematic Global Positioning System Solutions Using the Angiguity Function Technique", Journal of Geophysical Research, Vol. 97. No. B3, pp. 1271-3283,.

MADER, G., L., (1986), " Dynamic Positioning Using GPS Carrier Phase Measurements", Manuscripta Geodaetica, pp. 11:272-277.

MERMINOD, B., GRANT, D. B., and RIZOS, C., (1990), " Planing GPS Surveys-Using Appropriate Precision Indicators", Cism Journal ACSGC Vol. 44, No. 3, pp. 233-249.

MIKHAIL, E., M., (1976) "Observations and Least Squares", IEP-A Dun Donnelley Puplisher, New York.

MIREAULT, Y., (1994) " Mt. Logan GPS Campaign: Ellipsoidal Height Determination", Geomatica, Vol.48, No. 4, pp.315-326

NIEUWEJJAAR, P. W., (1988) "GPS Signal Structure", The Navstar GPS System, ACARD Lecture Series No.161

ÖZŞAMLI, C., ve SAKA, M., H., (1996) " RINEX Format yapısına dayalı bir uygulama " İnşaat mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı Sempozyumu, poster , İ.T.Ü İnşaat Fak. Haziran,İstanbul

PAN M., SJÖBERG L., (1992) "Baltic Sea Level Project with GPS", Bull. Geod. 67, pp. 51-59

PERSSON, C.,-G., (1982a) " On Adjustment and Statistical Analysis of Satellite Doppler Data " Royal Institute of Technology, Department of Geodesy, Stockholm.

PERSSON, C.,-G., (1982b) " Adjustment Weight-Testing and Detection of Outliers in Mixed SFF-SFS Models " Manuscripta geodetica Vol 7 pp 299-323.

POPE, A., J., (1975) " The statistics of resuduals and detections of outliers", NOAA report, Rokville, Marryland 20852 USA.

REMONDI, B., W., (1984), Using The Global Positioning System (GPS) Phase Observable For Relative Geodesy : Modeling, Processing, and Results, Doctor of Philosophy, The Univrsity of Texas at Austin

REMONDI, B., W., (1985a), " Modeling the GPS Carrier Phase for Geodetic Applications",First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Vol. 1, pp. 325-335.

REMONDI, B., W., (1985b), " Performing Centimeter Accuracy Relative Surveys in Seconds using GPS Carrier Phase",First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Vol. 2, pp. 789-797.

REMONDI, B., W., (1986), " Performing Centimeter-Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase: Initial Results", Navigation, Vol. 32, No. 4 pp. 386-400.

RENS, J., MERRY, C., I., (1990) " Datum Transformation Parameters in Sauthern Africa", Survey Review, 30,236, pp. 281-293.

ROTHACHER, M., (1992), Orbits of Satellite Systems In Space Geodesy, Sechsundvierzigster Band Volume 46, Zürich.

SCHÖDLBAUER, A., KRACK, K., and GLASMACHER, H., (1989), "Densification of Horizontal Network by GPS ", 5 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Valume II, Las Cruces, New Mexico. pp 1090-1103

SEEBER, G., (1993) "Satellite Geodesy", Walter de Gruyter, Berlin.

SLONENECKER, T., and GROSKINSKY, B., (1993) " GPS Applications in the U.S. Environmental Protection Agency", Surveying and Land Information Systems, Vol. 53, No. 2, pp. 117-124.

SOLER T., and HOTHEM, L., D., (1988) "Coordinate Systems Used in Geodesy: Basic Definations and Concepts", Journal of Surveying Engineering, No.114, pp.85-97

SOLER T., and HOTHEM, L., D., (1989) "Important Parameters Used in Geodetic Transformations", Journal of Surveying Engineering, No.115, No. 4, pp.414-417.

SOLER, T., STRANGE, W., E., and FERGUSON, J., S., (1991) "Geodetic Coordinate Systems in Florida: GPS Contribution", Journal of Surveying Engineering, No.117, pp.77-96

SPILKER, J., J., (1980) "GPS Signal Structure and Performance Characteristics" Navigation Volume I

STEED, J., (1990), " A Practical Approach to Transformation Between Commonly Used Reference Systems", The Australian Surveyor, September, Vol. 35, No.3.

STRANG van HEES, G., L., (1982) " Variance-Covariance Transformations of Geodetic Networks", Manuscripta Geodaetica, Vol. 17:210-214.

STRAUSS, R., (1985), " On The Variation of The Transformation Parameters Between GPS and The German Horizontal Network", Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, München, Oktober, Vol. 20-1, pp. 545-565.

TOFT, H., (1987) "GPS Satellite Nanigation" , Shipmate, Rauff & Soerensen Ltd. Denmark.

TORGE, W., (1991) "Geodesy", Second edition, Walter de Gruyter, New York.

VINCENTY, T., (1987) "On The Use of GPS Vektors İn Densification Adjustments" ,Surveying and Mapping, Vol. 47, No. 2,pp,103-108,

WELLENHOF H B., LICHTENEGGER, H., and COLLINS, J., (1994) "Global Positioning system", Springer Verlag, Nev Yorg.

WELLS, D., E., and KRAKIWSKY, E., J., (1971) " The Method of Least Squares", University of New Brunswick, Lecture Notes No. 18.

WELSCH, W., M., (1987) "Accuracy Problems when Combining Terrestrial and Satellite Observations", Lecture Notes in Earth Sciences(Applied Jeodesy), No. 12, pp. 47-65

WILL, F., and RICHARD, B., L., (1997) Coordinates and Datums and Maps! GPS World January 1997 pp 34-41

WILD, U., BEUTLER, G., GURTNER, W., and ROTHACER, M., (1989), "Estimating The Ionosphere Using One or More Dual Frequensy GPS Recievers", 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, New Mexico

WILD, U., (1994)"İyonosfer and Geodetić Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modellining and Monitoring" Sechsundvierzigster Band Volume 48, ETH Zürich.

WOLF, H., (1982) " Objectives of Geodetic Networks and Fture Plans " DGK Reihe B, Helft Nr. 258/II, pp 8-15, München.

WOLFRUM, O., (1992), " Merging Terrestrial and Satellite Networks by a Ten-Parameter Transformation Model", Manuscripta Geodaetica, pp. 17:210-214.

YAŞAYAN, A., (1974) "Lineer-konform Transformasyon Dengelemesi" İ.T.Ü: Dergisi, Cilt 32, Sayı 2.

YAŞAYAN, A., (1979a) "Afin Dönüşüm ve Dengelemesi" İ.T.Ü: Dergisi, Cilt 37, No.2.

YAŞAYAN, A., (1979b) "İki Ölçü Kümesinin Bütünleştirilmesinde Uyuşumsuz Noktaların Sağlam Kestirim Yöntemi ile Ayıklanması " III. Harita Kurultayı, Ankara.

YUNG, L., E., NEILAN, R., E., and BLETZACKER, F., R., (1985) "GPS Satellite Multipath: An Experimental Investigation",First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Vol. 1, pp. 423-432.

ZIELINSKI, J., B., (1989), " GPS Baseline Error Caused by The Orbit Uncertainty", Manuscripta Geodaetica, pp. 14:117-124.

ZUMBERGE, J., F., LIU, R., and NEILAN, R., E., (1995), International GPS Service For Geodynamics, 1994 Annual Report, California U.S.A.

EKLER

EK A

Tablo A.1 İstanbul GPS Ağı L3 çözümü; Bernese yazılımı sonuçları koordinat özeti (34056 nolu nokta sabit alınmıştır)

NoktaNo.	Kartezyen Koordinatlar (m)		K.O.H (mm)	Elipsoidal Koordinatlar		K.O.H. (mm)
34093	X	4216145.1397	±0.7	h	154.1633	±1.0
	Y	2351040.3798	±0.5	B	40° 54' 31".674720	±0.4
	Z	4154875.0217	±0.7	L	29° 08' 42".933199	±0.3
34076	X	4205423.9249	±0.6	h	325.5901	±0.9
	Y	2342655.4486	±0.5	B	41° 05' 42".448199	±0.4
	Z	4170604.2361	±0.6	L	29° 07' 12".876107	±0.3
34052	X	4212687.2829	±0.6	h	202.6807	±0.8
	Y	2334244.3832	±0.4	B	41° 03' 46".175530	±0.3
	Z	4167819.5656	±0.5	L	28° 59' 26".800759	±0.2
34114	X	4207426.8809	±0.8	h	247.1592	±1.1
	Y	2364423.4259	±0.6	B	40° 55' 28".122067	±0.5
	Z	4156251.7931	±0.8	L	29° 20' 03".945598	±0.4
34013	X	4227995.3114	±0.6	h	190.6671	±0.8
	Y	2315286.4318	±0.5	B	41° 00' 15".320139	±0.4
	Z	4162904.9649	±0.6	L	28° 42' 19".765270	±0.3

.N.No		34076 N	34052 N	34114 N	34013 N	34056 F
34093	S (m)	20800.4736	21485.4251	16031.5145	38513.0024	30465.8000
	k.o.h.(mm)	±0.3	±0.4	±0.3	±0.4	±0.5
34076	S (m)		11456.7351	26150.5122	36301.6438	11178.6901
	k.o.h.(mm)		±0.3	±0.3	±0.3	±0.4
34052	S (m)			32745.3784	24857.4528	12201.0252
	k.o.h.(mm)			±0.4	±0.3	±0.3
34114	S (m)				53682.1126	37328.2906
	k.o.h.(mm)				±0.4	±0.4
34013	S (m)					32780.8652
	k.o.h.(mm)					±0.3

Tablo A.2 Marmara projesine ait nokta ile İTÜ kampüsü test ağının, ana GPS ağına bağlantı ölçmeleri (Bernese yazılımı ile)

Nokta.N.	Kartezyen Koordinatlar (m)		K.O.H (mm)	Elipsoidal Koordinatlar		K.O.H. (mm)
101	X	4208839.5593	±0.5	h	147.4354	±0.7
	Y	2334843.0009	±0.4	B	41° 06' 15".793872	±0.4
	Z	4171262.3260	±0.5	L	29° 01' 09".159073	±0.3
34056	X	4204397.7840	±1.2	h	276.2488	±1.4
	Y	2333360.0253	±0.7	B	41° 10' 07".402629	±0.9
	Z	4176728.3890	±1.1	L	29° 01' 45".960385	±0.5
İ.T.Ü.-MAR (Sabit)	X	4208817.8970		h	150.9664	
	Y	2334876.4920		B	41° 06' 16".057989	
	Z	4171270.7870		L	29° 01' 10".864488	

Tablo A.3 Ana ağın Gebze kesimindeki GPS ölçmelerine ait değerlendirme sonuçları (Bernese yazılımı ile) (34114 nolu nokta sabit alınmıştır)

N.N.	Kartezyen Koordinatlar (m)		K.O.H (mm)	Elipsoidal Koordinatlar		K.O.H. (mm)
34218	X	4214382.8679	±1.2	h	117.7607	±1.8
	Y	2371544.8713	±1.2	B	40° 47' 29".863018	±0.6
	Z	4145008.5607	±1.1	L	29° 22' 03".397262	±0.6
34112	X	4212671.0580	±1.2	h	175.9638	±1.8
	Y	2364172.8143	±1.0	B	40° 51' 45".120207	±0.6
	Z	4151004.9080	±1.2	L	29° 18' 04".917814	±0.5
34220	X	4208326.4234	±1.4	h	314.2517	±1.9
	Y	2373386.8544	±0.7	B	40° 51' 14".065928	±0.5
	Z	4150370.8209	±1.3	L	29° 25' 18".731357	±0.5
34121	X	4206135.0426	±1.1	h	288.3097	±2.0
	Y	2369230.4309	±0.8	B	40° 54' 28".725121	±1.1
	Z	4154894.0999	±1.9	L	29° 23' 30".039519	±0.6

EK B

Tablo B.1 İstanbul GPS Ağı L1 çözümü (iyonosfer model yok) Bernese yazılımı sonuçları koordinat özeti (34056 nolu nokta sabit alınmıştır)

N.N.	Kartezyen Koordinatlar (m)		K.O.H (mm)	Elipsoidal Koordinatlar		K.O.H. (mm)
340 93	X	4216145.1387	±0.7	h	154.1633	±1.0
	Y	2351040.3627	±0.5	B	40° 54' 31".675176	±0.4
	Z	4154875.0323	±0.7	L	29° 08' 42".932582	±0.3
34076	X	4205423.9285	±0.6	h	325.5968	±0.9
	Y	2342655.4436	±0.5	B	41° 05' 42".448411	±0.4
	Z	4170604.2454	±0.6	L	29° 07' 12".875844	±0.3
34052	X	4212687.2780	±0.6	h	202.6764	±0.8
	Y	2334244.3786	±0.4	B	41° 03' 46".175685	±0.3
	Z	4167819.5663	±0.5	L	28° 59' 26".800689	±0.2
34114	X	4207426.8886	±0.8	h	247.1629	±1.1
	Y	2364423.4037	±0.6	B	40° 55' 28".122416	±0.5
	Z	4156251.8037	±0.8	L	29° 20' 03".944612	±0.3
34013	X	4227995.2819	±0.6	h	190.6519	±0.8
	Y	2315286.4388	±0.4	B	41° 00' 15".320679	±0.4
	Z	4162904.9675	±0.6	L	28° 42' 19".766140	±0.3

N.N.		34076 N	34052 N	34114 N	34013 N	34056 F
34093	S (m)	20800.4654	21485.4099	16031.5056	38512.9695	30465.7821
	k.o.h.(mm)	±0.3	±0.4	±0.3	±0.4	±0.4
34076	S (m)		11456.7315	26150.4976	36301.6156	11178.6812
	k.o.h.(mm)		±0.3	±0.3	±0.3	±0.4
34052	S (m)			32745.3567	24857.4284	12201.0210
	k.o.h.(mm)			±0.4	±0.3	±0.3
34114	S (m)				53682.0707	37328.2670
	k.o.h(mm)				±0.4	±0.4
34013	S (m)					32780.8390
	k.o.h.(mm)					±0.3

Tablo B.2 İstanbul GPS Ağı L1 çözümü(iyonosfer modelle); Bernese yazılımı sonuçları koordinat özeti (34056 nolu nokta sabit alınmıştır)

N.N.	Kartezyen Koordinatlar (m)		K.O.H (mm)	Elipsoidal Koordinatlar		K.O.H. (mm)
34093	X	4216145.1491	±0.7	h	154.1643	±0.9
	Y	2351040.3782	±0.5	B	40° 54' 31".674389	±0.4
	Z	4154875.0146	±0.6	L	29° 08' 42".932943	±0.3
34076	X	4205423.9299	±0.6	h	325.5972	±0.8
	Y	2342655.4520	±0.4	B	41° 05' 42".448164	±0.4
	Z	4170604.2400	±0.6	L	29° 07' 12".876132	±0.3
34052	X	4212687.2855	±0.5	h	202.6764	±0.7
	Y	2334244.3797	±0.4	B	41° 03' 46".175338	±0.3
	Z	4167819.5583	±0.5	L	28° 59' 26".800572	±0.2
34114	X	4207426.8901	±0.8	h	247.1612	±1.1
	Y	2364423.4296	±0.6	B	40° 55' 28".121657	±0.5
	Z	4156251.7849	±0.8	L	29° 20' 03".945545	±0.3
34013	X	4227995.3062	±0.6	h	190.6576	±0.8
	Y	2315286.4253	±0.4	B	41° 00' 15".320161	±0.4
	Z	4162904.9592	±0.5	L	28° 42' 19".765133	±0.3

N.N.		34076 N	34052 N	34114 N	34013 N	34056 F
34093	S (m)	20800.4802	21485.4257	16031.5162	38512.9969	30465.8062
	k.o.h.(mm)	±0.3	±0.3	±0.3	±0.4	±0.4
34076	S (m)		11456.7403	26150.5147	36301.6413	11178.6913
	k.o.h.(mm)		±0.2	±0.3	±0.3	±0.3
34052	S (m)			32745.3793	24857.4454	12201.0320
	k.o.h.(mm)			±0.3	±0.3	±0.3
34114	S (m)				53682.1077	37328.2942
	k.o.h.(mm)				±0.4	±0.4
34013	S (m)					32780.8631
	k.o.h.(mm)					±0.3

EK C:

Tablo C.1 İyonosfer etkisi açısından L1 ve L3 çözümlerinin karşılaştırılması (L1 çözümü İçin iyonosferik model kullanılmadan) Helmert dönüşümü

HELMERT DÖNÜŞÜMÜ

DOSYA 2: IST95 Kampanyası L1 Çözümü
DOSYA 2: IST95 Kampanyası L3 Çözümü

LOCAL DATUM: WGS - 84
DÜZELTMELER LOCAL SYSTEMDE (KUZEY, DOĞU, YUKARI)

N.NO	NOKTA İSMİ	V_X (m)	V_Y (m)	V_Z (m)
34114	CATALDAGI	0.0014	0.0003	0.0037
34076	GOZTEPE	-0.0041	0.0005	-0.0025
34093	ORHAN TEPE	0.0025	-0.0019	-0.0024
34052	BEYTEM HAN	0.0022	-0.0020	-0.0003
34013	FIRUZKOY	0.0005	0.0041	0.0020
34056	KOCATAS	-0.0025	-0.0009	-0.0005

BİLİNMEYEN SAYISI : 6
KOORDİNAT SAYISI : 18
DÖNÜŞÜMÜN K.O.H sı : ±0.0028 m

BİLİNMEYENLER:

ÖTELEME X EKSENİ : -0.009 ± 0.001 m
ÖTELEME Y EKSENİ : -0.002 ± 0.001 m
ÖTELEME Z EKSENİ : 0.000 ± 0.001 m
X-EKSENİ ETRAFINDA DÖNME : - 0^0 0' 0".0421± 0".0145
Z-EKSENİ ETRAFINDA DÖNME : - 0^0 0' 0".0197± 0".0122

ÖLÇEK FAKTÖRÜ : 0.727 ± 0.059 mm/km

Tablo C.2 İyonosfer etkisi açısından L1 ve L3 çözümlerinin karşılaştırılması: (L3 çözümü ile iyonsferik düzeltme getirilmiş L1 çözümünün Helmert dönüşümü

HELMERT DÖNÜŞÜMÜ

DOSYA 2: IST95 Kampanyası L1 Çözümü

DOSYA 2: IST95 Kampanyası L3 Çözümü

LOCAL DATUM: WGS - 84

DÜZELTMELER LOCAL SYSTEMDE (KUZEY, DOĞU, YUKARI)

N.NO	NOKTA İSMİ	V_X (m)	V_Y (m)	V_Z (m)
34114	CATALDAGI	-0.0013	-0.0003	-0.0019
34076	GOZTEPE	0.0041	0.0008	0.0041
34093	ORHAN TEPE	-0.0022	0.0020	0.0015
34052	BEYTEM HAN	-0.0025	0.0023	-0.0027
34013	FIRUZKOY	-0.0006	-0.0039	0.0002
34056	KOCATAS	0.0025	0.0005	-0.0013

BİLİNMEYEN SAYISI : 6

KOORDİNAT SAYISI : 18

TRANSFORMASYONUN KOH : ±0.0029 m

BİLİNMEYENLER:

ÖTELEME X EKSENİ : -0.005 ± 0.001 m

ÖTELEME Y EKSENİ : -0.001 ± 0.001 m

ÖTELEME Z EKSENİ : 0.001 ± 0.001 m

X-EKSENİ ETRAFINDA DÖNME : 0^0 $0'$ 0".0166± 0".0161

Y-EKSENİ ETRAFINDA DÖNME : 0^0 $0'$ 0".0338± 0".0252

Z-EKSENİ ETRAFINDA DÖNME : 0^0 $0'$ 0".0201± 0".0129

ÖLÇEK FAKTÖRÜ : 0.129 ± 0.059 mm/km

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Halis SAKA 1961 tarihinde Vakfikebir' de doğmuştur. İlkokulu 1973 de Yalıköy İlkokulu'nda, ortaokulu 1976 Yalıköy Ortaokulunda, liseyi 1979 yılında İzmit Mimar Sinan Lisesinde bitirdi. 1981 yılında girdiği İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogramatri Mühendisliği Bölümü'nünden 1985 yılında Lisans eğitimini tamamlayarak mezun olmuştur. 1987 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde başladığı yüksek lisans eğitimini 1990 yılında tamamlamıştır. 1987 yılında göreve başladığı ITÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı'ndaki Araştırma Görevliliği görevini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.