

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84632

ORTAKARAÖREN ANA NİRENGİ AĞINDA GPS ÖLÇÜ SONUÇLARI İLE  
KLASİK ÖLÇÜ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Ferruh YILMAZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ  
ANA BİLİMDALI

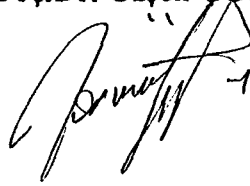
84632

Bu tez .../.../1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Özşen CORUMLUOĞLU



Doç.Dr. Ferruh YILDIZ



Doç.Dr. Zekai Cevdet CAN



## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ORTAKARAÖREN ANA NİRENGİ AĞINDA GPS ÖLÇÜ SONUÇLARI İLE KLASİK ÖLÇÜ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**Ferruh YILMAZTÜRK**

**Selçuk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU  
1999, 117 sayfa**

**Jüri : Doç. Dr. Ferruh YILDIZ**

**Doç. Dr. Zekai Cevdet CAN**

**Yrd. Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU**

Günümüzde haritacılıkla ilgili teknoloji çok hızlı bir değişim göstermektedir. Yapay uydular ve bilgisayarların gelişmesi ile harita sektörü yeni boyutlar kazanmış ve klasik haritacılıktan çağdaş haritacılığa geçiş hızlanmıştır. Kentsel ve kırsal gelişme alanlarında toprağa ve altyapıya ilişkin verilerin belirli bir sistem içerisinde toplanması, güncelleştirilmesi ve hizmete sunulmasında harita hizmetlerinin çağdaş bir yaklaşımla sürdürülmesinin önemi açıktır.

Olağanüstü duyarlılığı, hızı ve ekonomikliği ile GPS ölçü teknikleride son on yılda haritacılık sektöründe yerini almıştır. Bu yöntemle baz uzunluğuna ve uydu sayısına bağlı olarak 1-2 saatlik ölçüden sadece birkaç saniyelik ölçüye varan bir aralıkta kontrol noktalarını  $2 \times 10^{-6}$ - $10^{-8}$  mertebesinde koordinatlandırmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada; klasik ölçüleri daha önceden yapılmış Ortakaraören Ana Nirengi Ağı'nda, statik ve hızlı-statik GPS ölçüleri yapılarak, sözkonusu ölçü yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca iki farklı yazılım

kullanılarak WGS-84 datumunda elde edilen dengeli baz vektörü bileşenlerinin de karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, klasik yöntemle uzun zaman ve işgücü harcanarak elde edilen konum bilgilerinin, GPS ile daha kısa zamanda ve duyarlı bir şekilde elde edilebileceği görülmüştür. Ayrıca iki farklı yazılım kullanılarak elde edilen dengeli baz vektörü bileşenleri arasında ise küçük farklar olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Global Konum Belirleme Sistemi, GPS Verilerini Değerlendirme, Dönüşüm



## **ABSTRACT**

**Ms Thesis**

### **A COMPARISON OF GPS OBSERVATIONS AND CLASSICAL OBSERVATIONS OF ORTAKARAÖREN MAIN TRIANGULATION NETWORK**

**Ferruh YILMAZTÜRK**

**Selçuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geodesy and Photogrammetry**

**Supervisor : Assis. Prof. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU**

**Jury : Assoc. Prof. Dr. Ferruh Yıldız**

**Assoc. Prof. Dr. Zekai Cevdet CAN**

**Assis. Prof. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU**

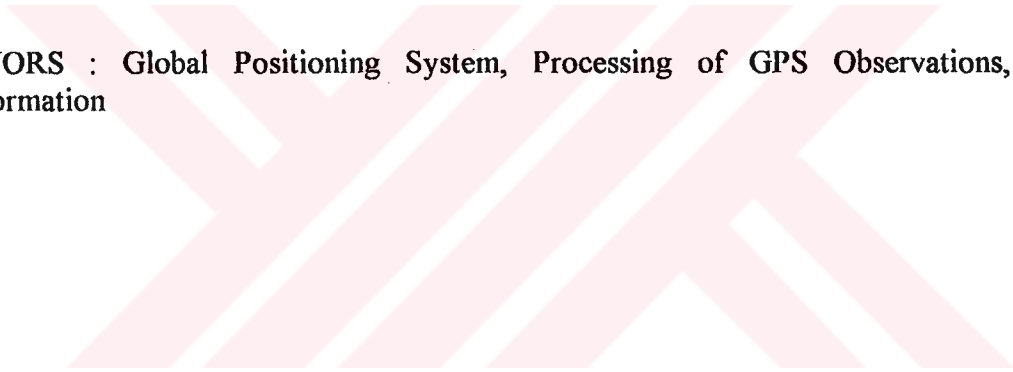
Nowadays, mapping technology is changing rapidly. Mapping industry has gained new dimensions by the development of satellites and computers technologies, and shifting from conventional mapping to modern mapping very fast. The importance of applying mapping services with a modern understanding on gathering and collection of data related with features and structures on and under the ground in urban and rural areas, for updating these information and putting them into the service is obvious.

GPS as a system which has high sensitivity and is fast and economic has gained significant importance in the last 10 years. It is possible to locate the control points with measurements ranging from 1-2 hours to a few seconds in a relative error of  $2 \times 10^{-6}$ - $10^{-8}$  depending on the base line length and number of satellites.

In this study, static and rapid-static measurements of Ortakaraören main triangulation network whose classical measurements had been done once, were obtained and the above mentioned measurement techniques were compared. In addition, the adjusted baseline vector components which were obtained in WGS-84 referans elipsoid have been also compared by using 2 different software packages.

As a result of this study, it is determined that collecting the position information which requires so much time and effort, when classical techniques are used can be done in a shorter time and more precisely with GPS. In this study, the results from rapid-static measurements are found to be more sensitive than those from static measurements and it is observed that the adjusted baseline vector components obtained from 2 different software packages are different than each other.

**KEYWORDS :** Global Positioning System, Processing of GPS Observations, Transformation



## İÇİNDEKİLER

|  |            |
|--|------------|
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                               | <b>iv</b>  |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b>                             | <b>v</b>   |
| <b>KISALTMALAR LİSTESİ</b>                         | <b>vi</b>  |
| <b>TEŞEKKÜR</b>                                    | <b>vii</b> |
| <br>   |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                    | <b>1</b>   |
| <br>   |            |
| <b>2. GPS VE KLASİK YÖNTEMİNİRDELENMESİ</b>        | <b>4</b>   |
| <br>   |            |
| <b>2.1. GPS Sistemi</b>                            | <b>4</b>   |
| 2.1.1. GPS uydularının sinyal yapısı               | 4          |
| 2.1.2. GPS gözlemleri                              | 5          |
| 2.1.2.1. Pseudorange                               | 5          |
| 2.1.2.2. Taşıyıcı faz gözlemleri                   | 6          |
| 2.1.3. Taşıyıcı faz ölçüsü değerlendirme modelleri | 7          |
| 2.1.3.1. Tekli fark ölçüleri                       | 7          |
| 2.1.3.2. İkili fark ölçüleri                       | 8          |
| 2.1.3.3. Üçlü fark ölçüleri                        | 9          |
| 2.1.4. GPS hata kaynakları                         | 9          |
| 2.1.4.1. Uydu geometrik dağılım etkisi             | 10         |
| 2.1.4.2. Atmosferik etkiler                        | 11         |
| 2.1.4.3. Sinyal yansımaları                        | 12         |
| 2.1.4.4. Anten faz merkezindeki kayıklık hatası    | 12         |
| 2.1.4.5. Başlangıçtaki tamsayı faz bilinmeyi       | 12         |
| 2.1.4.6. Tamsayı sinyal sekmeleri                  | 13         |
| <br>   |            |
| <b>2.2. Klasik Yöntem</b>                          | <b>14</b>  |
| 2.2.1. Üçüncü derece nokta sıklaştırması           | 14         |
| 2.2.2. Hazırlık işlemleri                          | 14         |
| 2.2.2.1. İstikşaf                                  | 14         |
| 2.2.2.2. Noktaların numaralanması                  | 15         |
| 2.2.2.3. Tesis ve röperleme                        | 15         |
| 2.2.3. Ölçüm işleri                                | 15         |
| 2.2.3.1. Açı ölçmeleri                             | 15         |
| 2.2.3.2. Kenar ölçmeleri                           | 16         |
| 2.2.4. Ölçülerin indirgemesi                       | 16         |
| <br>   |            |
| <b>3. GPS İLE KONUM BELİRLEME</b>                  | <b>18</b>  |
| <br>   |            |
| <b>3.1. Mutlak Konum Belirleme</b>                 | <b>18</b>  |
| <br>   |            |
| <b>3.2. Bağlı Konum Belirleme</b>                  | <b>18</b>  |
| 3.2.1. Statik ölçü yöntemi                         | 19         |
| 3.2.2. Hızlı-statik ölçüm yöntemi                  | 20         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.3. Son Hesaplar ve Değerlendirme</b>  | <b>21</b> |
| 3.3.1. Verilerin değerlendirilmesi   | 22        |
| 3.3.2. GPS Sonuçlarının analizi  | 26        |
| 3.3.2.1. Çözüm tipi  | 26        |
| 3.3.2.2. Çözüm oranı   | 29        |
| 3.3.2.3. Referans varyansı   | 29        |
| 3.3.3. SKI Yazılımında değerlendirme parametreleri   | 30        |
| 3.3.3.1. SKI Yazılımında belirsizlik çözümü  | 32        |
| 3.3.3.2. FARA İstatistiği hakkında bilgi   | 34        |
| 3.3.4. ASHTECH Yazılımında değerlendirme parametreleri                                       | 35        |
| 3.3.4.1 ASHTECH Yazılımında statik değerlendirme   | 40        |
| <b>3.4. GPS Faz Ölçüleri İle Baz Vektörlerinin Çözümü</b>                                    | <b>40</b> |
| <b>3.5. GPS Baz Vektörlerinin Dengelenmesi ve Nokta Konum Duyarlıklarının Hesabı</b>         | <b>44</b> |
| <b>4. GPS SONUÇLARININ TRANSFORMASYONU</b>   | <b>48</b> |
| <b>4.1. Koordinat Transformasyonu</b>  | <b>48</b> |
| 4.1.1. Kartezyen koordinatlar ve elipsoidal koordinatlar                                     | 48        |
| 4.1.2. Elipsoidal koordinatlar ve düzlem koordinatlar  | 49        |
| <b>4.2. GPS Koordinatlarından Ülke Koordinatlarına Dönüşüm</b>                               | <b>51</b> |
| 4.2.1. İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü  | 51        |
| 4.2.2. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü   | 54        |
| <b>5. AĞ DENGELMESİ VE İSTATİSTİKSEL TESTLER</b>   | <b>58</b> |
| <b>5.1. En Küçük Kareler Yöntemine Göre Ağ Dengelemesi</b>                                   | <b>58</b> |
| 5.1.1. Ölçü ağırlıklarının saptanması  | 58        |
| 5.1.2. Düzeltme denklemlerinin oluşturulması   | 59        |
| 5.1.3. Dengeleme   | 60        |
| <b>5.2. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ve Güvenirlik Ölçütleri</b>                                | <b>62</b> |
| 5.2.1. Duyarlık ölçütleri  | 62        |
| 5.2.2. Güven ölçütleri   | 63        |
| <b>5.3. İstatistiksel Testler</b>  | <b>64</b> |
| 5.3.1. Model hipotezinin test edilmesi   | 64        |
| 5.3.2. Uyuşumsuz ölçü testi  | 65        |
| 5.3.3. Verilen noktalar kümesinde uyuşum testi   | 66        |
| <b>6. UYGULAMA</b>   | <b>69</b> |
| <b>6.1. Ağda Klasik Yöntemlerle Elde Edilen Ölçülerin İrdelenmesi Ve Dengeleme Sonuçları</b> | <b>69</b> |
| 6.1.1. Ölçü ağırlıklarının belirlenmesi  | 69        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.1.2. Serbest ađ dengelemesi  | 70         |
| 6.1.2.1. İstatistiksel testler   | 73         |
| 6.1.2.2. İ güvenirlilik   | 74         |
| 6.1.3. Dayalı ađ dengelemesi   | 76         |
| <b>6.2. Ağda GPS Yöntemiyle Elde Edilen Ölçümlerin İrdelenmesi Ve Sonuçlar</b> | <b>78</b>  |
| 6.2.1. GPS Ölçülerinin değerlendirilmesi ve analizi                            | 79         |
| 6.2.1.1. GPS baz vektörlerinin serbest dengelenmesi                            | 79         |
| 6.2.1.2. GPS baz vektörlerinin dayalı dengelemesi                              | 85         |
| <b>6.3. Dönüşüm</b>  | <b>90</b>  |
| <b>6.4. Karşılaştırmalar</b>   | <b>92</b>  |
| <b>7. SONUÇ</b>  | <b>100</b> |
| <b>8. KAYNAKLAR</b>  | <b>104</b> |
| EK-A Serbest Dengeleme Sonucu Bulunan Ters Ağırlık Matrisi                     | 106        |
| EK-B LEICA SR9500 GPS Alıcısına Ait Teknik Bilgiler                            | 107        |
| EK-C SKI Yazılımına Ait Serbest Dengeleme ıktıları                            | 108        |
| EK-D ASHTECH Yazılımına Ait Serbest Dengeleme ıktılar                         | 115        |



## ŞEKİL LİSTESİ

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Şekil 3.1  | Statik ölçü yöntemi.....  | 20 |
| Şekil 3.2  | Hızlı-statik ölçü yöntemi .....   | 20 |
| Şekil 3.3  | Değerlendirme proje adımları .....  | 25 |
| Şekil 4.1  | Kartezyen koordinatlar X, Y, Z ve elipsoidal koordinatlar $\varphi, \lambda, h$ ..... | 48 |
| Şekil 4.2  | İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü .....  | 52 |
| Şekil 4.3  | Üç boyutlu benzerlik dönüşümü .....   | 55 |
| Şekil 6.1  | Serbest dengeleme sonucu hata elipsleri (Klasik ölçüler) .....                        | 72 |
| Şekil 6.2  | Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Klasik GPS ölçüler) .....                     | 77 |
| Şekil 6.3  | Serbest dengeleme sonucu hata elipsleri (Statik GPS ölçüleri) .....                   | 83 |
| Şekil 6.4  | Sebest dengeleme sonucu hata elipsleri (Hızlı-statik GPS ölçüleri) .....              | 84 |
| Şekil 6.5  | Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Statik GPS ölçüleri) .....                    | 88 |
| Şekil 6.6  | Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Hızlı-statik GPS ölçüleri) .....              | 89 |
| Şekil 6.7  | Üçgen kapanmaları için konum hataları .....   | 93 |
| Şekil 6.8  | Eğik kenar farkları .....   | 94 |
| Şekil 6.9  | Sağa değer koordinat farkları .....   | 97 |
| Şekil 6.10 | Yukarı değer farkları .....   | 97 |
| Şekil 6.11 | Dengeli baz bileşenlerinin karşılaştırılması (Skı-Ashtech) .....                      | 99 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Çizelge 3.1  | Veri transferi ve veri düzenlenmesi.....  | 22 |
| Çizelge 3.2  | GPS' de veri işlem adımları.....  | 24 |
| Çizelge 3.3  | GPS sonuçlarının kalite kontrolü .....  | 27 |
| Çizelge 3.4  | Çift frekanslı alıcılar için çözüm tipleri.....   | 29 |
| Çizelge 6.1  | İki boyutlu konum ağı dengelemesi.....  | 71 |
| Çizelge 6.2  | Uyuşumsuz ölçü testi ve kısmi redundanzlar.....   | 74 |
| Çizelge 6.3  | Ölçek testi için Helmert benzerlik dönüşümü.....  | 75 |
| Çizelge 6.4  | İki boyutlu konum ağı dengelemesi.....  | 76 |
| Çizelge 6.5  | GPS oturum planı .....  | 78 |
| Çizelge 6.6  | WGS-84 datumunda serbest dengeleme sonucu istatistiksel bilgiler...80                     |    |
| Çizelge 6.7  | WGS-84 datumunda serbest dengelenmiş koordinatlar .....                                   | 82 |
| Çizelge 6.8  | WGS-84 datumunda dayalı dengeleme sonucu istatistiksel bilgiler ....85                    |    |
| Çizelge 6.9  | WGS-84 datumunda dayalı dengelenmiş koordinatlar.....                                     | 87 |
| Çizelge 6.10 | İki boyutlu dönüşüm sonuçları.....  | 91 |
| Çizelge 6.11 | Ağıdaki baz vektörleri için üçgen kapanmaları.....  | 92 |
| Çizelge 6.12 | Ortak noktalar arasındaki eğik uzunlukların karşılaştırılması.....                        | 94 |
| Çizelge 6.13 | Projeksiyon düzleminde GPS koordinatları ile klasik koordinatların karşılaştırılması..... | 96 |
| Çizelge 6.14 | Skı ve Ashtech yazılımları ile dengeli baz bileşenlerinin karşılaştırılması.....          | 98 |

## ***KISALTMALAR LİSTESİ***

|               |   |
|---------------|---|
| <b>AF</b>     | <b>Anlık Faz</b>                              |
| <b>AOSS</b>   | <b>Ashtech Office Suite for Survey</b>        |
| <b>C/A</b>    | <b>Course/Acquisition</b>                     |
| <b>DGPS</b>   | <b>Differential Global Positioning System</b> |
| <b>DOP</b>    | <b>Dilution of Precision</b>                  |
| <b>FARA</b>   | <b>Fast Ambiguity Resoluion Approach</b>      |
| <b>GPS</b>    | <b>Global Positioning System</b>              |
| <b>OTF</b>    | <b>On The Fly</b>                             |
| <b>RINEX</b>  | <b>Receiver Independent Exchange Format</b>   |
| <b>SA</b>     | <b>Selective Availability</b>                 |
| <b>UTM</b>    | <b>Universal Transversal Mercator</b>         |
| <b>WGS-84</b> | <b>World Geodetic System-1984</b>             |



## TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince bana yardımcı olan hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU' na ve Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Yine çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Cevat İNAL' a, Araş. Gör. Yük. Müh. Aydın ÜSTÜN ile Araş. Gör. Yük. Müh. İsmail ŞANLIOĞLU'na ve Geomatic Şirket müdürü Mehmet KOCAMANOĐLU'na teşekkür ederim.



## 1. GİRİŞ

Birtakım mühendislik hizmetleri ve mülkiyetle ilgili sorunların çözümü için sayısal ya da çizgisel haritalara olan ihtiyaç insanoğlu yaşadığı sürece devam edecektir. Harita üretiminin temelini ise yeterli doğruluk ve sıklıkta tesis edilmiş yer kontrol noktaları oluşturur. Bu amaçla kullanılan klasik yöntemlerde; kontrol noktalarının koordinatları doğrultu ve kenar ölçmek suretiyle, yükseklikleri ise geometrik yada trigonometrik nivelmanla belirlenmektedir. Ancak, ölçülen noktalar arası görüş zorluğu, sistematik hatalar nedeniyle hassasiyetin düşük olması, hava koşullarına bağımlılık ve çok zaman alması gibi etkenler klasik yöntemlerin olumsuzluklarını oluşturur.

Oysa son yıllardaki hızlı teknolojik gelişmeler harita sektöründe de etkilerini göstermiş ve çok uzun zamandan beri kullanılmakta olan klasik yöntemin dezavantajları GPS tekniğinin hızlı gelişmesiyle problem olmaktan çıkmıştır. GPS ölçme tekniği ile, Dünyanın herhangi bir yerinden, günde 24 saat, baz uzunluğuna ve uydu sayısına bağlı olarak, 1-2 saatten sadece birkaç saniyeye varan bir ölçü zamanı aralığında kontrol noktalarını  $2 \times 10^{-6}$ - $10^{-8}$  mertebesinde koordinatlandırmak mümkün olmaktadır.

Ülkede yürütülen ölçme çalışmalarına çok büyük katkıları olacağı düşünülen GPS yönteminin, jeodezik amaçlı kullanım alanları,

- Mevcut ülke nirengi ağlarının incelenmesi, analizi ve iyileştirilmesi,
- Mevcut ülke nirengi ağlarının sıklaştırılması veya genişletilmesi,
- GPS ile yeni bir ülke nirengi ağı oluşturulması,
- Yükseklik ve geoid belirleme olarak sıralanabilir (Arslan 1997).

Ülkemizdeki ilk olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından kullanılan GPS, günümüzde alıcıların ucuzlaması ve yeni değerlendirme tekniklerinin gelişmesiyle Harita Mühendislik şirket ve büroları tarafından da kullanılmaya başlanmıştır.

GPS yönteminin farklı kuruluşlar tarafından benimsenerek, yürüttükleri çalışmalarının değişik aşamalarında yer almasında, bu konuda yapılan araştırmaların büyük bir payı olduğu aşikardır.

Bu bağlamda, katkısı olacağı düşünülerek yapılan araştırmaya yönelik çalışmamızın **amacını**; Ortakaraören Ana Nirengi Ağı üzerinde, önceden yapılmış yersel klasik ölçülerle GPS ölçü sonuçlarını, statik ve hızlı-statik GPS ölçü yöntemlerini ve farklı iki yazılım kullanılarak elde edilen değerlendirme sonuçlarını karşılaştırmak ve bu sonuçlar doğrultusunda GPS'in yeterliliğini ve üstünlüğünü tartışmak oluşturmuştur.

### **Metodoloji:**

Bu amaçlar doğrultusunda ilk olarak, sözkonusu ağda Musevitoğlu Müh Ltd. Şti. tarafından yapılan klasik ölçüler kullanılarak,

- Ağ en küçük kareler yöntemi ile serbest ağ dengelemesi şeklinde dengelenmiş,
- İstatistiksel testler (model hipotezi, uyumsuz ölçü testi) yapılmış,
- Ağın iç duyarlılığını belirleyen iç güvenilirlik ölçütü olarak kısmi redundanzlar hesaplanmış,
- Verilen noktalar kümesinde ölçek ve uyuşum testi yapılmış ve
- Ağ en küçük kareler yöntemi ile dayalı ağ dengelemesi esas alınarak yeniden dengelenmiştir.

İkinci olarak, iki adet LEICA SR9500 çift frekanslı GPS alıcısı kullanılarak statik ve hızlı-statik GPS ölçü yöntemleri ile toplanan veriler, Ski 2.2 (statik ve hızlı-statik ölçüler) ve Ashtech Office of Suite for Survey (statik ölçüler) yazılımları kullanılarak,

- Her oturum ayrı ayrı değerlendirilmiş ve tüm baz bileşenleri (WGS84 datumunda) hesaplanmış,
- Ağı geometrisine ve ölçü doğruluğuna göre değerlendirebilmek amacıyla baz bileşenleri ölçü ve kartezyen koordinatlar bilinmeyen olmak üzere ağ serbest ağ dengelemesi şeklinde dengelenmiş,

- Ağ dayalı ağ dengelemesi şeklinde tekrar bir dengelemeye tabi tutulmuş ve
- İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü ile WGS84 datumunda hesaplanmış koordinatlar ülke koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

Son aşamada ise;

- Yersel ölçü sonuçları ile GPS ölçü sonuçları,
- Statik ve hızlı-statik GPS ölçü yöntemleri,
- İki farklı yazılım (Ski ve Ashtech) kullanılarak WGS-84 datumunda serbest dengelenmiş baz vektörü bileşenleri,

karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Böyle bir çalışmanın pratiğe uygulanarak, sonuca ulaşana kadar izlenen adımların, karşılaşılan problemlerin ve çözümlerinin ayrıntılı bir şekilde burada verilmesinin sonradan yapılacak çalışmalara rehberlik yapacağı ve yapılan yöntem karşılaştırmaları sonucunda elde edilen neticelerin yönlendirici olacağı kanaati bu çalışmanın gerçekleştirilme gerekçelerinden bir diğerini oluşturmuştur.

## 2. GPS VE KLASİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ

### 2.1. GPS Sistemi

NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time ve Ranging-Global Positioning System), uygun donanımlı kullanıcılara özel yapay uydulardan gönderilen sinyaller aracılığıyla üç boyutlu hassas konum, navigasyon, hız ve zaman bilgisi sağlayan küresel bir konum belirleme sistemidir. Dünyanın her bölgesinde bu bilgilere ulaşıma imkanı sağlayan sistem her türlü meteorolojik şartlar altında çalışabilmektedir. (Janiczek 1980,1984,1986).

İlk çalışmalarına 1973 yılında A.B.D. Savunma Bakanlığı tarafından başlanan GPS, askeri bir sistem olmasına rağmen, bazı kısıtlamalarla beraber sivil kullanıma sunulmuş olarak, yeryüzündeki her noktadan günde 24 saat, eşzamanlı olarak en az 4 uyduya gözlem yapma imkanı verecek şekilde planlanmıştır (Seeber 1993).

#### 2.1.1. GPS uydularının sinyal yapısı

Uydular, iki farklı sinyal (10.23 MHz temel frekansının 154 ve 120 tam katı olan L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri) üzerine kodlar şeklinde modüle edilmiş olan uydu yörünge ve saat bilgilerini C/A- Kodu, P-Kodu ve navigasyon mesajı olmak üzere üç farklı veri formu şeklinde yayırlar. Uydunun özel bir elektronik donanım ile (tapped feedback shift register) belli bir matematik modele göre rastlantısal olarak ürettiği bu kodlara "Pseudorandom Noise-PRN" adı verilir.

C/A-Kodu (Coarse/Acquisition Code) veya standart kod adı verilen ve normal olarak yalnızca L1 üzerinden 1.023 MHz'lik bir frekansla yayınlanan 300 m dalga boyuna sahip sinyal, tüm kullanıcılara hiçbir sınırlama olmaksızın açıktır. (Standart Positioning Service-SPS)

P-Kodu (Precision code) adı verilen ve L1 ve L2 üzerinden 10.23 MHz'lik bir frekans ile yayınlanan yaklaşık 30 m dalga boyundaki sinyal ise, esas itibarıyla askeri amaçlara yönelik olup, daha hassas konum belirleme imkanı sunan bu sinyal ABD Savunma Dairesi (DOD) tarafından, ABD'nin savunma gereksinimleri ve



uluslararası anlaşmalarına göre sadece sınırlı sayıda kullanıcıya (ABD, NATO askeri kullanıcıları ve belirli sivil kullanıcılar ) açıktır. (Precise Positioning Service)

L1 ve L2 taşıyıcı fazları PRN kodlarına ek olarak birde navigasyon mesajı taşımaktadır. Navigasyon mesajı, uydu saat düzeltme parametreleri, iyonosferik modelleme parametreleri, uydu efemeris parametreleri, almanak bilgisi ve GPS uydularının sağlık durumlarına ilişkin bilgileri içerir (Kınık 1993).

Uydudan gelen sinyallerin ölçümünde tek frekanslı ve çift frekanslı olmak üzere iki çeşit alıcı kullanılır. Sadece L1 taşıyıcı fazını ölçen alıcılar *tek frekanslı alıcılar* (single frequency receivers), hem L1 ve hem de L2 taşıyıcı fazlarını ölçen alıcılarda *çift frekanslı alıcılar* (dual frequency receivers) olarak adlandırılırlar. Tek frekanslı alıcılar esas olarak baz uzunlukları yaklaşık 20 km' ye kadar olan projelerde kullanılırken çift frekanslı alıcılar (aynı uyduları görmek şartı ile) daha uzun bazlar için kullanılabilirler.

### 2.1.2. GPS gözlemleri

Ham uzunluk ölçüsü (Pseudorange) ve taşıyıcı faz olarak isimlendirilen iki çeşit GPS gözlemi vardır. Pseudorangeler genellikle navigasyon amaçlı ölçümler için kullanılırken taşıyıcı fazlar yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda ölçümlerde tercih edilirler. Ancak uygulamada, pseudorange ve taşıyıcı faz ölçülerini birlikte değerlendiren yöntemler giderek daha yaygın hale gelmektedir (Leick 1995).

#### 2.1.2.1. Pseudorange

Ham (düzeltilmemiş) uzunluk; uydudan yayınlanan sinyalin, yayınlandığı an ile alıcıya ulaştığı an arasındaki zaman farkının ışık hızıyla çarpımı sonucunda elde edilen bir büyüklüktür. Söz konusu mesafe ile ilgili temel formül,

$$p = \rho + c(dt^p - dt_m) + d_{ion} + d_{trop} \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte,

- p : Pseudorange ölçüsü
- $\rho$  : Uydu-alıcı arasındaki geometrik mesafe

$dt^p, dt_m$  : Uydu ve alıcı saat hataları

$d_{ion}, d_{trop}$ : İyonosferik ve troposferik gecikmeyi gösterir.

### 2.1.2.2. Taşıyıcı faz gözlemleri

Ham GPS uzunluk ölçüleri ile anında konumlama navigasyon amaçlar için yeterli doğruluk sağlar ve pratik olarak büyük önem taşır. Navigasyon amaçlı bu çalışmalar için  $\pm 10-100$  metrelik hassasiyet yeterli olabilir. Ancak mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlar gerekir. Bu amaçla; uydu sinyali ve alıcı sinyali taşıyıcı fazlarının karşılaştırılması yoluna gidilir. Bu taşıyıcı dalga arasındaki faz farkı ölçüsü, herhangi bir t anlı GPS veri ipogunda, faz cinsinden,

$$\Delta\Phi_m^p = \Phi^p(t^p) - \Phi_m(t_m) + N_m^p(l) \quad (2.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte,

$N_m^p(l)$  : Tam sayı başlangıç faz bilinmeyi

$\Phi_m(t_m)$  : m nolu alıcıda üretilen sinyalin  $t_m$  anındaki alıcıda ölçülen faz değerini

$\Phi^p(t^p)$  : p nolu uydudan gönderilen  $t^p$  zamanlı sinyalin alıcıda ölçülen faz değerini gösterir.

Bu genel formülden yararlanarak,

$$\Delta\Phi_m^p = \Phi^p - \Phi_m - \frac{f}{c}\rho_m^p - \frac{f}{c}\rho_m^p(dt_m + dt^p) - \frac{f}{c}A_m^p + N_m^p(l) \quad (2.3)$$

eşitliği ile jeodezik konum belirlenmesinde kullanılan, taşıyıcı dalga faz farkı ile ilgili temel formül elde edilir. Bu eşitlikteki,

$dt_m$  : Alıcı saat hatasını

$dt^p$  : Uydu saat hatasını

$A_m^p$  : Atmosferik düzeltmeyi

$\rho_m^p$  : Uydu - alıcı arasındaki uzaklığı

$\rho_m^p$  : Uydu – alıcı arasındaki uzaklık değişimini gösterir.

### 2.1.3. Taşıyıcı-Faz ölçüsü değerlendirme modelleri

Taşıyıcı faz ölçülerini değerlendirmede kullanılan nokta konum belirleme ve fark alma yöntemlerinden, fark alma yöntemi sıkça ve güvenle tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Bu yöntemde taşıyıcı-faz ölçülerinin değerlendirilme prensibi, mutlak koordinat belirlemede olduğu gibi parametrelerin hesabı yerine parametrelerin elimine edilmesine dayanır. Negatif etkiye sahip olan parametreler fark alma yöntemiyle elimine edildiğinden bu parametrelerin sonuca etkisi ortadan kalkmış olmaktadır.

Bu fark alma işleminin uygulamada karşılaşılan değişik kombinasyonları mevcut olup bunlar genelde,

- Farklı istasyonlardan yapılan gözlemler arasında,
- Farklı uydulara yapılan gözlemler arasında,
- Farklı epoklardaki gözlemler arasında,
- Aynı tip gözlemler arasında, ve
- Farklı tip gözlemler arasında düzenlenenler şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Uygulamada 3 çeşit taşıyıcı dalga faz farkı ölçüsü kullanılır (Seeber 1993, Altiner 1992).

#### 2.1.3.1. Tekli fark ölçüleri (Single difference observation)

Tek veya çift alıcı ile eş zamanlı olarak aynı veya farklı iki uyduya yapılan faz ölçmelerinin birbirleri arasındaki anlık faz farkları bu ölçüleri oluşturur. k ve m alıcılarıyla bir p-uydusuna eşzamanlı olarak ölçümler yapıldığını varsayarsak, herhangi bir t epogundaki tekli fark GPS ölçüsü,

$$D_{km}^{ip}(t) = \Delta\Phi_m^p(t) - \Delta\Phi_k^p(t) \quad (2.4)$$

eşitliği ile verilir.

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{km}^p &= \rho_m^p - \rho_k^p \\ \Delta\Lambda_{km}^p &= \Lambda_m^p - \Lambda_k^p \\ \Delta N_{km}^p(1) &= N_m^p(1) - N_k^p(1) \end{aligned} \quad (2.5)$$

olmak üzere, (2.3) eşitliği (2.4)'te yerine konursa,

$$D_{km}^p(t) = \Phi_k - \Phi_m - \frac{f}{c} \Delta \rho_{km}^p - \frac{f}{c} (\rho_m^p dt_m - \rho_k^p dt_k) - \frac{f}{c} \Delta A_{km}^p + \Delta N_{km}^p(1) \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir. Böylece ölçülerdeki uydu saat ve yörünge hataları bu yöntemle elde edilen ölçülerde ya yok edilmiş olurlar yada minimize edilmiş olarak bulunurlar. Bu eşitlikte  $N_m^p(1)$  dışında tüm değişkenlerin epoka bağlı olduğu görülür.  $N_m^p(1)$  terimi ilk epoktaki p-uydusundan gelen sinyalin m-alıcısına göre tam sayı GPS faz bilinmeyen olup sinyal kayıt edilmesinde kesinti olmadığı sürece bütün epoklar için aynı kalır.

### 2.1.3.2. İkili fark ölçüleri (Double difference observation)

İki alıcı ile eş zamanlı olarak farklı konumdaki iki uyduya yapılan faz ölçmelerinin tekli farklarından elde edilen faz farklarının farkı bu ölçüleri oluşturur. k ve m alıcılarının p ve q uydularını eş zamanlı olarak ölçtüğünü varsayarsak, herhangi bir t epokundaki ikili fark ölçüsünün ifadesi,

$$D_{km}^{pq}(t) = D_{km}^q(t) - D_{km}^p(t) \quad (2.7)$$

eşitliği ile verilir.

$$\begin{aligned} \Delta \rho_{km}^{pq} &= \Delta \rho_{km}^q - \Delta \rho_{km}^p & \rho_m^{pq} &= \rho_m^q - \rho_m^p \\ \Delta A_{km}^{pq} &= \Delta A_{km}^q - \Delta A_{km}^p & \rho_k^{pq} &= \rho_k^q - \rho_k^p \\ \Delta N_{km}^{pq}(1) &= \Delta N_{km}^q(1) - \Delta N_{km}^p(1) \end{aligned} \quad (2.8)$$

olmak üzere, (2.6) eşitliği (2.7)'de yerine konursa,

$$D_{km}^{pq}(t) = -\frac{f}{c} \Delta \rho_{km}^{pq} - \frac{f}{c} (\rho_m^{pq} dt_m - \rho_k^{pq} dt_k) - \frac{f}{c} \Delta A_{km}^{pq} + \Delta N_{km}^{pq}(1) \quad (2.9)$$

eşitliği k, m alıcılarından p, q uydularına yapılan ölçülerin oluşturduğu ikili fark ölçüsünü verir. Uydu saat ve yörünge hatalarının yanı sıra alıcı saat hatalarının da minimize edildiği bu ölçüler, sadece konum parametreleri ile tamsayı

bilinmeyenlerini içerirler. Hassasiyetin önemli olduğu jeodezik konum belirlemede, genellikle ikili fark ölçüleri kullanılır.

### 2.1.3.3. Üçlü fark ölçüleri (Triple difference observation)

İki farklı ipok göz önünde bulundurularak, iki alıcı ile farklı konumdaki iki uydudan yayınlanan sinyallerden yukarıdaki şekilde her iki ipok için ayrı ayrı elde edilen çift fark ölçülerinin birbirinden farkı bu ölçüleri oluşturur. k ve m alıcılarıyla p ve q uydularına eş zamanlı olarak  $t_1$  ve  $t_2$  ipoklarında ölçüm yapıldığını varsayarsak, üçlü fark ölçüsü,

$$D_{km}^{pq}(t_2) = D_{km}^{pq}(t_2) - D_{km}^{pq}(t_1) \quad (2.10)$$

eşitliği ile verilir. (2.9) eşitliği (2.10)'da yerine konursa,

$$D_{km}^{pq}(t_2) = \frac{f}{c} [\Delta \rho_{km}^{pq}(t_2) - \Delta \rho_{km}^{pq}(t_1)] - \frac{f}{c} [\rho_m^{pq}(t_2) - \rho_m^{pq}(t_1)] dt_m + \frac{f}{c} [\rho_k^{pq}(t_2) - \rho_k^{pq}(t_1)] dt_k - \frac{f}{c} [\Delta A_{km}^{pq}(t_2) - \Delta A_{km}^{pq}(t_1)] \quad (2.11)$$

şeklinde üçlü fark ölçüsünü veren ifade elde edilir. Üçlü fark ölçüleri, ne uydu saat ve yörünge hatalarını ne de tamsayı bilinmeyenlerini içermektedir. Eğer yörünge bilindiği varsayılırsa, parametre olarak sadece alıcıların koordinatları, minimize edilmiş alıcı saat hataları ve atmosfer bilinmeyenleri kalacaktır. Genelde ikili fark ölçüleriyle yapılan çözümlerde tamsayı faz bilinmeyenlerinin yeterli yaklaşıklıkta bulunarak alıcı konumlarının güvenilir bir duyarlılıkta hesaplanmasında üçlü fark ölçüleri kullanılır (Eren 1993).

### 2.1.4. GPS hata kaynakları

GPS sinyalleri uydulardan yeryüzündeki alıcılara gelirken bir takım bozucu kuvvetlerin etkisi altında kalır ve bu etkiler nedeniyle GPS ölçülerinde sistematik yada düzensiz hatalar oluşur. Söz konusu hataları,

- 1- Uydu ile ilgili hatalar
  - Yörünge hataları
  - Uydu saat hataları
  - Uydu geometrik dağılım etkisi
- 2- Sinyal yayılma ortamı ile ilgili hatalar
  - İyonosferik gecikme
  - Troposferik gecikme
  - Sinyal yansıması
  - Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (Ambiguity-Başlangıç tam sayı faz bilinmeyi)
  - Faz sıçramaları (Sinyal devir sekmeleri)
- 3- Alıcı ile ilgili hatalar
  - Anten faz merkez kayıklığı
  - Alıcı saat hataları

olmak üzere 3 grupta sınıflandırabiliriz (Hofmann ve ark. 1992). Burada, söz konusu hataların en önemlileri ve giderilme yöntemleri kısaca açıklanacaktır.

#### 2.1.4.1. Uydu geometrik dağılım etkisi

Özellikle kinematik ölçme ve konum belirlemede yüksek duyarlıklı sonuçlar elde etme söz konusu olduğunda uyduların geometrik dağılımı, doğruluğu etkileyen önemli faktörlerden biri olur. Uyduların birbirlerine göre rölatif hareketlerinden dolayı uydu geometrisi sürekli olarak değişir. Uydu geometrisindeki bu değişikliğin etkisine duyarlığın bozukluk (DOP-presizyon değeri-presizyon seviyesi) faktörü denir ve

$$DOP = \sigma (\text{konum duyarlılığı}) / \sigma_0 (\text{Ölçü duyarlılığı}) \quad (2.12)$$

ile hesaplanır. Uygulamada mümkün olduğu kadar küçük olması arzu edilen DOP 'un farklı bileşenleri aşağıda belirtilmiştir.

GDOP: Duyarlığın geometrik-konum ve zaman bozukluğu (Geometrik presizyon seviyesi)

PDOP: Duyarlığın konum bozukluğu (Konumsal presizyon seviyesi)

TDOP: Duyarlılığın zaman bozukluğu (Zamansal presizyon seviyesi)

HDOP: Duyarlılığın yatay bozukluğu (Yatay presizyon seviyesi)

VDOP: Duyarlılığın düşey bozukluğu (Düşey presizyon seviyesi)

#### 2.1.4.2. Atmosferik etkiler

Atmosferin yeryüzünden itibaren yaklaşık 50 km'ye kadar olan kısmı troposfer, buradan itibaren yaklaşık 1000 km'ye kadar olan kısmı ise, iyonosfer olarak adlandırılır. GPS sinyalleri alıcıya ulaşınca kadar bu tabakalardan geçerken karşılaştıkları dirençten dolayı bir gecikmeye uğrarlar. Dolayısıyla atmosferde bu iki tabakada birbirinden farklı iki gecikmenin oluşmasına neden olan iki etkiden söz edilir.

##### *İyonosferik etki:*

Bu etki sinyal yolu boyunca iyonosferdeki elektron aktivitesine bağlıdır. Bu aktivite zamana ve enleme bağlı olarak hızlı bir değişim gösterir. İyonosferik etkinin dikkate alınmadığı durumlarda hesaplanan baz uzunlukları gerçek değerinden daha uzun olacaktır.

Bu hatanın giderilmesi, farklı frekanstaki dalgalara iyonosferin uygulayacağı direncin farklı olacağı gerçeğinden hareket ederek, gecikmelerin modellendirilmesi yolu ile olur. Bu da çift frekanslı alıcıların kullanılması ile sağlanır. Bu yüzden ölçülecek bazlar büyüdükçe çift frekanslı alıcılarla ölçü yapmak daha uygun olur. Ayrıca bu iki sinyal kullanılarak iyonosferik etkiden arındırılmış üçüncü bir ölçü de oluşturmak mümkündür.

##### *Troposferik etki:*

Bu etki ile oluşan sinyal gecikmesi frekansa bağlı olmayıp farklı frekans kullanımı ile giderilemez. Hata, ıslak ve kuru olmak üzere iki ayrı bölümde incelenip modellendirilmeye çalışılarak giderilir. Pratikte ölçülen ısı, basınç ve uydu yüksekliğine bağlı olarak geliştirilen değişik matematik modeller kullanılmaktadır.

### 2.1.4.3. Sinyal yansımaları (multipath etkisi)

GPS sinyallerinin alıcı antenlerine direkt olarak gelmesi istenirse de sinyalin, anten çevresindeki yansıtıcı cisimler nedeniyle yansımaları bazen kaçınılmazdır ki bu da multipath (yansıyan sinyal) olarak isimlendirilen bir hataya neden olur.

Multipath etkisinin tam olarak giderilmesi her noktada farklı geometri ve çevre koşulları söz konusu olacağından her zaman olası değildir. En kolay ve etkin yol alıcının yakınında yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat etmektir (Ersoy 1997). Uzun süreli (birkaç gün) ölçüm periyotlarında, günün aynı saatlerinde aynı uydudan gelen sinyalde aynı etki oluşacağı düşünülerek bu etkinin tespiti olasıdır.

### 2.1.4.4. Anten faz merkezindeki kayıklık hatası

Alıcı antenindeki sinyallerin algılandığı noktaya anten faz merkezi denir. Bu nokta antenin fiziksel merkezi ile çakışmaz. Bu kayıklık, uydunun yüksekliğine ve azimutuna bağlı olarak değişiklik arz eder ve L1 ve L2 sinyalleri için farklı değerlerdedir. Anten faz merkezi hatalarından kaçınmak için, uygun anten seçimi, aynı anda farklı tip anten kullanılmaması ve antenlerin kuzeye yönlendirilmesi önerilir.

### 2.1.4.5. Başlangıç tamsayı faz bilinmeyi

Bir alıcı ölçüye başladığında, herhangi bir uydudan kaydedilmeye başlanan ilk sinyalin başlangıçta kaç tam dalga boyu devir yaptığı bilinmemektedir. Buna "taşıyıcı dalga tamsayı faz bilinmeyi-ambiguity" adı verilir. Başlangıç ipogundan sonraki ölçüler için alıcı içindeki sayaç arada geçen tam dalga boylarını sayacağından ve bu ipoklar içinde aynı değer geçerli olacağından her uydu için ayrı bir N bilinmeyi hesaplanır.



#### 2.1.4.6. Tamsayı sinyal sekmeleri

Uydu sinyalinin izlediği yol ile alet arasında bir engel bulunuyor ise sinyal alete ulaşamaz ve sinyalde bir kopukluk meydana gelir, kesinti boyunca yapılan faz ölçüleri de doğru olmayan tesadüfi değerlerdir. Uydunun hareketinden dolayı, uydu nokta arasındaki görüş tekrar sağlanır veya sinyalin alete ulaşmasını engelleyen faktör ortadan kalkarsa ölçme işlemi tekrar normal hale dönüşür. Bununla birlikte, engel öncesi ölçülerdeki tam dalga sayısı (ambiguity) ile engelin ortadan kalkması sonucu yapılan ölçülerdeki tam dalga sayısı birbirleriyle uyumsuzlar. Bu iki durumda, sinyalin yaptığı tam devirleri gösteren sayılar arasındaki fark, faz sekmesi (Cycle Slip) olarak isimlendirilir. Başlangıç tamsayı faz bilinmeyeninin çözümü ve sinyal sekmelerinin giderilmesi, genellikle mevcut yazılımlar ile tamamen otomatik veya yarı otomatik olarak kullanıcıya yük getirmeksizin gerçekleştirilir.



## **2.2. Klasik Yöntem**

### **2.2.1. Üçüncü Derece Nokta Sıklaştırması**

Büyük ölçekli kalıcı jeodezik çalışmaların temelini oluşturan nirengi ağlarında birim sistem olarak ülke nirengi ağının 1.grup (1. ve 2. derece) noktalarından oluşan sistem ele alınır. Bu noktalar arasındaki boşluklar, birbirleri ile komşuluk ilişkileri doğrultu ve uzunluk ölçümleri ile sağlanmış, 3. derece yüzey ağları ile doldurulur. Ayrıntı alımlarını gerçekleştirebilmek amacıyla 3. derece noktalar arasında kalan boşluklar ara ve tamamlayıcı nirengilerle sıklaştırılırlar.

Üçüncü derece sıklaştırma noktaları, ülke birinci ve ikinci derece nirengi noktaları ile dengelenmiş üçüncü derece nirengi noktaları kullanılarak, birbirinden ortalama 5 km uzaklıklı bir sıklaştırma ile yüzey ağı biçiminde tesis edilirler. Yüzey ağının olabildiğince eşkenar üçgenlerden oluşması ve üçgen açılarının 36 graddan küçük olmaması istenilir.

Sıklaştırma noktaları, arandıkları zaman kolaylıkla bulunabilecek ve tarif edilebilecek biçimde, yörenin belirli ve olabildiğince geniş görüş alanına sahip yerlerinde seçilir. Noktalar, kendilerinden sonra oluşturulacak alım için sıklaştırma noktalarına çıkış verebilmelidir.

Sıklaştırma işlemi üç aşamada gerçekleştirilir.

### **2.2.2. Hazırlık işlemleri**

#### **2.2.2.1. İstikşaf**

Harita üretiminde istikşaf, yer kontrol noktalarının yerlerinin önceden belirlenmesi için yapılan araştırma ve planlama çalışmalarıdır. Üçüncü derece sıklaştırma noktalarının yerleri, küçük ölçekli (genellikle 1:25 000) haritalardan yararlanılarak belirlenir ve istikşaf kanavası düzenlenir. Bu tasarı kanavada, ülke ağının var olan tüm birinci, ikinci ve üçüncü derece dengelenmiş nirengi noktaları gösterilir.

### 2.2.2.2. Noktaların numaralanması

Tesis edilen bütün nirengi noktaları, 1:100 000 ölçekli pafta esas alınarak Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğinde (BÖHY) tanımlandığı biçimde numaralanır. Numaralar yedi basamaktan oluşur. İlk üç basamak, 1:100 000 ölçekli paftanın numarasını, kalan dört basamak ise nirengi numarasını gösterir.

### 2.2.2.3. Tesis ve röperleme

Üçüncü derece sıklaştırma noktalarının zemin tesisleri BÖHY' de tanımlanan altıgen pilyeler biçiminde olur. Tesisleri pilye olarak yapılan nirengi noktaları için, noktaların arandıkları zaman arazide kolaylıkla bulunabilmesi amacı ile 210x 297 mm boyutlu basılı kağıtlara birer durum krokisi düzenlenir ve nirenginin yerini belirten açıklamalarda burada yer alır.

### 2.2.3. Ölçüm işleri

#### 2.2.3.1. Açı ölçmeleri

Üçüncü derece yüzey ağlarının her noktasında yatay doğrultular ve düşey açılar, 400<sup>s</sup> bölümlü ve en az 2<sup>cc</sup> yi doğrudan ölçen aletlerle silsile yöntemine göre ölçülür.

Doğrultu gözlemleri ve bunların değerlendirmesinde uyulacak kurallar ise,

- Yatay doğrultu gözlemleri, yatay refraksiyonun en az olduğu sabah ve akşam saatlerinde sekiz silsile olarak gerçekleştirilir,
- Alet kurulan noktada ölçülecek toplam doğrultu sayısı 10'u geçmiyorsa, doğrultuların tümü aynı bir grup içinde ölçülebilir,
- Doğrultu gözlemleri, pilyeler üzerine vidalanarak merkezleştirilen özel işaretlere yapılır,
- Doğrultu okumaları 1<sup>cc</sup> inceliğinde yapılır. Silsile ortalamaları 0.1<sup>cc</sup> ye kadar hesaplanır,

- Yatay doğrultu ölçüm çizelgesinde yarım silsilelerin ortalamaları alınarak bulunacak değerler, başlangıç doğrultusuna döndürülür. Döndürülmüş silsile değerleri özet çizelgesine yazılır,
- Özet çizelgesinde her silsileye ilişkin doğrultuların düzeltmeleri ile bir doğrultunun ve silsileler ortalamasının karesel ortalama hataları hesaplanır. Silsileler ortalamasının karesel ortalama hatası  $\pm 5^{\circ}$  yi geçemez,
- Üçgen kapanmalarının ortalaması  $\pm 15^{\circ}$  yi geçemez,

olarak sıralanabilirler.

Düşey açılar ise, yatay doğrultu gözlemlerinde kullanılan aletlerle iki silsile olarak ölçülür. Bir silsilenin birinci ve ikinci durum okumaları toplamının  $400^{\circ}$  dan farkı  $50^{\circ}$  yi geçmemelidir.

#### 2.2.3.2. Kenar ölçmeleri

Üçüncü derece yüzey ağlarında kenarlar, o yıla ait ayar belgesi bulunan elektronik uzunluk ölçerlerle karşılıklı olarak altışar kez ölçülür. Meteorolojik düzeltme eklenmiş ve deniz yüzeyine indirgenmiş karşılıklı ölçü değerleri arasında bulunan farkın kenar uzunluğuna oranı 1:100 000 den büyük olmamalıdır. Bu şekilde ağa ait kenarların değişik doğrultuda ve uygun dağılımdaki en az 1/3'ü ölçülür.

#### 2.2.4. Ölçülerin indirgenmesi

Meteorolojik düzeltme getirilmiş eğik uzunluklar BÖHY'de (1989) verilen formüllerle deniz yüzeyine indirgenir. 5-7 km kenar uzunluklu üçüncü derece yüzey ağlarında yatay doğrultu gözlemlerini referans elipsoidine indirgemek amacıyla yapılacak çekül sapması indirgemesi, hedef noktasının yüksekliğinden kaynaklanan indirgeme, normal kesit eğrisinden jeodezik eğriye geçiş indirgemesi büyüklüklerinin toplamı  $0.06^{\circ}$  den daha küçük olmaktadır. Bu durumda ulaşılabilen ölçü duyarlılığından çok küçük olan bu indirgemeler göz ardı edilebilir ve fiziksel yeryüzünde yapılan doğrultu gözlemlerinin doğrudan elipsoid yüzeyinde yapıldıkları varsayılır. Bir sonraki adımda deniz yüzeyine indirgenmiş kenarlar ve ölçülen yatay doğrultular, buldukları üç derecelik dilimdeki Gauss-Krüger projeksiyon

düzlemine indirgenir. Bu amaçla,  $p_i$  noktasından  $p_k$  noktasına yapılan uzunluk ve doğrultu gözlemlerine aşağıdaki bağıntılarla verilen  $d_s$  ve  $d_t$  değerleri işaretlerine göre eklenir. Bu durumda,

kenarlar için,

$$d_s = \frac{S}{6R^2} (y_i^2 + y_i y_k + y_k^2) \quad (2.13)$$

doğrultular için,

$$y_m = \frac{y_i + y_k}{2} \text{ olmak üzere,}$$

$$d_t = -\frac{\rho^\infty}{2R^2} y_m (x_k - x_i); \quad R = 6373394 \quad (2.14)$$

bağıntıları kullanılır. Burada  $y$  ve  $x$  değerleri noktaların o dilimdeki yaklaşık Gauss-Kruger dik koordinatlarıdır (Öztürk 1991). Buna göre,

$y$ = Sağa Değer-500 000

$x$ = Yukarı Değer

dir.

### 3. GPS İLE KONUM BELİRLEME

GPS ile konum belirlemede iki yöntem söz konusudur. Bunlar sırasıyla,

- Mutlak (nokta) konum belirleme (Point positioning)
- Bağlı konum belirleme (Relative positioning)

yöntemleridir.

#### 3.1. Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı yardımıyla 4 yada daha fazla uyduya yapılan ölçülerle, noktaların bir koordinat sistemindeki üç koordinat değeri (X, Y, Z) ve saat hatası belirlenebilmektedir.

Yöntem, sinyalin uydudan çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zamanın ışık hızı ile çarpımından hesaplanan uydu-alıcı mesafeleri (Pseudo uzunluklar) ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme esasına dayanmaktadır. Sinyallerin P-kod veya C/A-kod ölçülerinin duyarlılığı, sırasıyla 3-10 m ve 15-30 m'dir. Dolayısıyla, jeodezik uygulamalar için, taşıyıcı faz gözlemlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmakta ve bu gözlemlerin ileri bir değerlendirmeye ( post processing) tabi tutularak elde edilecek verilerin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

#### 3.2. Bağlı Konum Belirleme

Bağlı konum belirleme, koordinatları bilinen bir noktaya bağlı olarak bir başka noktanın koordinatlarının belirlenmesidir. Bu yöntem söz konusu iki noktaya birer alıcı kurularak aynı uydulara eş zamanlı kod yada faz gözlemleri yapılması esasına dayanır (Doğan 1997).

GPS ile bağlı konum belirlemede ,

- Statik
- Hızlı-statik
- Dur-git (Stop and Go)
- Kinematik

- Farklarla (Diferansiyel) GPS (Differential GPS –DGPS)

ölçü yöntemleri kullanılır. Elde edilen doğruluk, alıcı tipi, ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisi gibi parametrelere bağlı olmak üzere 0.01-100 ppm arasında değişmektedir.

Burada bu ölçü yöntemlerinden çalışmamızda da tercih edilen ve yaygın olarak kullanılan statik ve hızlı-statik ölçü yöntemleri kısaca açıklanacaktır.

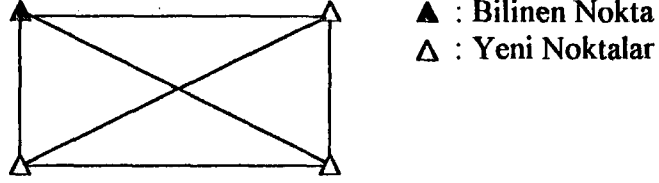
### 3.2.1. Statik ölçü yöntemi

Statik ölçü yöntemi klasik GPS ölçü tekniği olup;

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde,
- Uzun bazlar sözkonusu olduğunda,
- Sistematik etkilerin önem kazandığı durumlarda,
- Mevcut uydu geometrisinin diğer ölçüm tekniklerine olanak vermediği

durumlarda en uygun ölçüm tekniğidir (Yıldız ve ark. 1996).

Bu ölçü yönteminde iki veya daha fazla GPS alıcısı ile alıcıların kurulmuş olduğu noktalarda en az 30 dakika eş zamanlı ölçüm yapılmaktadır. Sözkonusu yöntemden daha iyi sonuçlar elde etmek için, noktalar arasında kapalı geometrik ağlar oluşturularak ölçme planı hazırlanır (Şekil 3.1). Bu plan hazırlanırken kapalı geometrik ağ oluşturan noktaların tümünde eşzamanlı sinyallerin toplanacağı oturumlar düzenlenerek ölçüler elde edilir. Ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda, noktalar arasındaki baz vektörü bileşenleri ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) belirlenir. Bu baz vektörleri yardımı ile önceden konumu bilinen bir noktadan hareket ederek istenilen nokta koordinatları hesaplanır. Bu yaklaşım sayesinde uydu, alıcı saatlerinin ve atmosferik gecikmelerin etkilerini çok küçük mertebelere indirmek ve sonuçta her türlü baz uzunluğunda 0.1-10 ppm civarında duyarlıklar rutin olarak elde edilebilmektedir. Hatta hassas efemeris, güçlü yazılımlar ve atmosferik ölçülerin kullanımı ile 0.01 ppm (yani 100 km'de 1 mm duyarlık) seviyesinde bir duyarlılığa da ulaşılabilmektedir (Eren ve Uzel 1995).

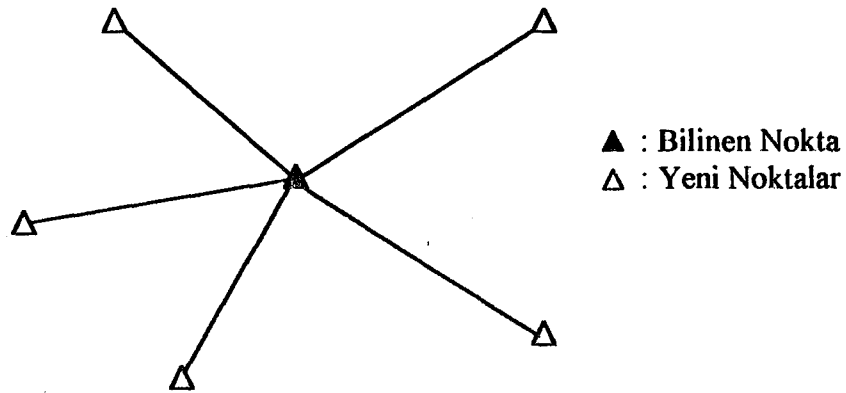


Şekil 3.1, Statik ölçü yöntemi

### 3.2.2. Hızlı statik ölçüm yöntemi

Çift frekanslı alıcılarla gözlem gerektiren hızlı statik teknik, bir çeşit statik/kinematik teknik olarak düşünülebilir. Burada alıcılardan birisi koordinatı bilinen sabit bir noktada (referans noktası) sürekli gözlem yaparken diğer alıcı yeni noktalarda 5 ila 20 dakikalık sürelerle veri toplar ( Şekil 3.2). Her yeni noktadaki gözlemler referans istasyonundaki gözlemlerle diğerlerinden ayrı olarak değerlendirilir. Bu nedenle hareketli alıcı sadece yeni noktalar arasında ölçü derleme durumundadır.

Hızlı-statik teknik, baz uzunluğuna, uydu sayısına ve uydu geometrisine bağlı olarak yaklaşık 5-20 dakikalık eşzamanlı ölçülerle 20 km'den daha kısa bazların 1-2 ppm duyarlıkla elde edilmesine olanak vermektedir. Bu teknikle her iki frekansa ait (L1 ve L2) kod ve taşıyıcı faz ölçüleri toplanmakta ve bütün bu bilgiler kullanılarak tam sayı faz bilinmeyenleri çözülebilmektedir.



Şekil 3.2, Hızlı-statik ölçüm yöntemi



Hızlı-statik ölçüm yönteminin yediden daha iyi bir PDOP varsayımı için gerektirdiği süreler Trimble Navigation Limited şirketi tarafından oluşturulan aşağıdaki tabloda verilmektedir. Bu tablo 15-20 km baz uzunluğu için bir örnek olarak düşünülmüştür.

Uydu sayısına bağlı ölçü süreleri

| Uydu Sayısı | Ölçü Süresi |
|-------------|-------------|
| 4           | > 20        |
| 5           | 10-20       |
| 6 +         | 5-10        |

Gerçekte ölçü süresi baz uzunluğu ile doğru orantılıdır ve yukarıdaki tabloya baz uzunluğu bağımlılığı da katılmalıdır. Örneğin, 10 km'den kısa bazlarda genellikle 5-10 dakikalık bir ölçüyle hızlı-statik yöntemle iyi bir sonuç alınabilmektedir (Eren ve Uzel 1995).

### 3.3. Son Hesaplar Ve Değerlendirme

Jeodezik uygulamalar için taşıyıcı faz gözlemlerinin yapılması ve sonradan bu gözlemlerin ileri bir işleme tabi tutulma (*post processing*) zorunluluğu vardır. Firmaların kendi yazılımları, alıcılarına ait gözlemleri bilgisayara aktarabilmekte ve değerlendirebilmektedir. Fakat çeşitli nedenlerle, başka bir firmaya ait yazılım kullanılmak istenildiğinde genellikle gözlemler ve diğer bilgilerin okunması mümkün olmamaktadır. Sorunu aşabilmek amacıyla uluslararası düzeyde bir standart olan "Alıcıya bağlı olmayan format" anlamındaki RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) formatında anlaşılmıştır. İyi bir yazılım kendisine ait kütükleri RINEX'e dönüştürebilmeli yada RINEX formatında verilen bir kütüğü kendi formatına çevirip değerlendirebilmelidir.

Çizelge 3.1'de veri transferi ve hazırlıklar ile ilgili bazı özet bilgiler verilmektedir. Başlangıçta, aynı oturuma ait gözlemlerin bir dizine (veya alt dizine) kopyalanıp hızlı (otomatik) değerlendirilmesinde yarar vardır. Hızlı değerlendirme sonuçlarının yeterli duyarlılığı vermemesi durumunda etkileşimli değerlendirme (manual processing) göz önünde bulundurulur. İkinci yaklaşım hesaplayıcının büyük

ölçüde müdahalesini ve sonuçların iyileştirilmesini mümkün kılmaktadır (Eren ve Uzel 1995).

Çizelge 3.1, Veri transferi ve düzenlenmesi

| <b>GPS VERİ TRANSFERİ</b>                    |  |
|--|--|
| <b>a. Verilerin bilgisayara yüklenmesi</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Harddisk</li> <li>- Disket</li> <li>- Kablo/radyo hattı</li> </ul>            |
| <b>b. Verilerin çözümlenmesi</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Navigasyon mesajı</li> <li>- Ölçüm verileri</li> <li>- İlave Bilgi</li> </ul> |
| <b>c. Transfer edilen verilerin kontrolü</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- İçeriği / bütünlüğü</li> </ul>  |
| <b>d. Dosyaların ele alınması</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Yer adları</li> <li>- Güvenilir noktalar / oturumlar</li> </ul>               |
| <b>e. Baz hattı tanımlaması</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bütün kombinasyonlarda</li> <li>- Bağımsız baz hatlarında</li> </ul>          |

### 3.3.1. Verilerin değerlendirilmesi

Değerlendirme safhasında öncelikle, kod ölçüleri kullanılarak yer noktalarının koordinatları ve 2. derece bir polinomla alıcı saatinin düzeltme parametreleri (*Time Offset*) hesaplanır. Bulunan değerler sabit tutulup yaklaşık değerler olarak kullanılırlar, taşıyıcı faz ölçüleri kaba hatalardan arındırılır ve faz sıçramaları belirlenerek tamsayı faz bilinmeyenleri elde edilir. Belirsizliklerin bulunması işleme fiksleme ya da sabitleme adı verilir. 200km'den daha uzun bazların hesabında L1 ve L2 dalgaları veya bunlardan birisi iyonosfer etkisinden dolayı fikslenmeyebilir.

L1 ve L2'nin lineer kombinasyonlarından (3.1) eşitliğinde görüldüğü gibi değişik dalga tipleri oluşturulabilir. L3, L4, L5 ve L6 olarak adlandırılan bu dalga tiplerinin dalga boyları ve kullanım amaçları da farklılıklar gösterirler.

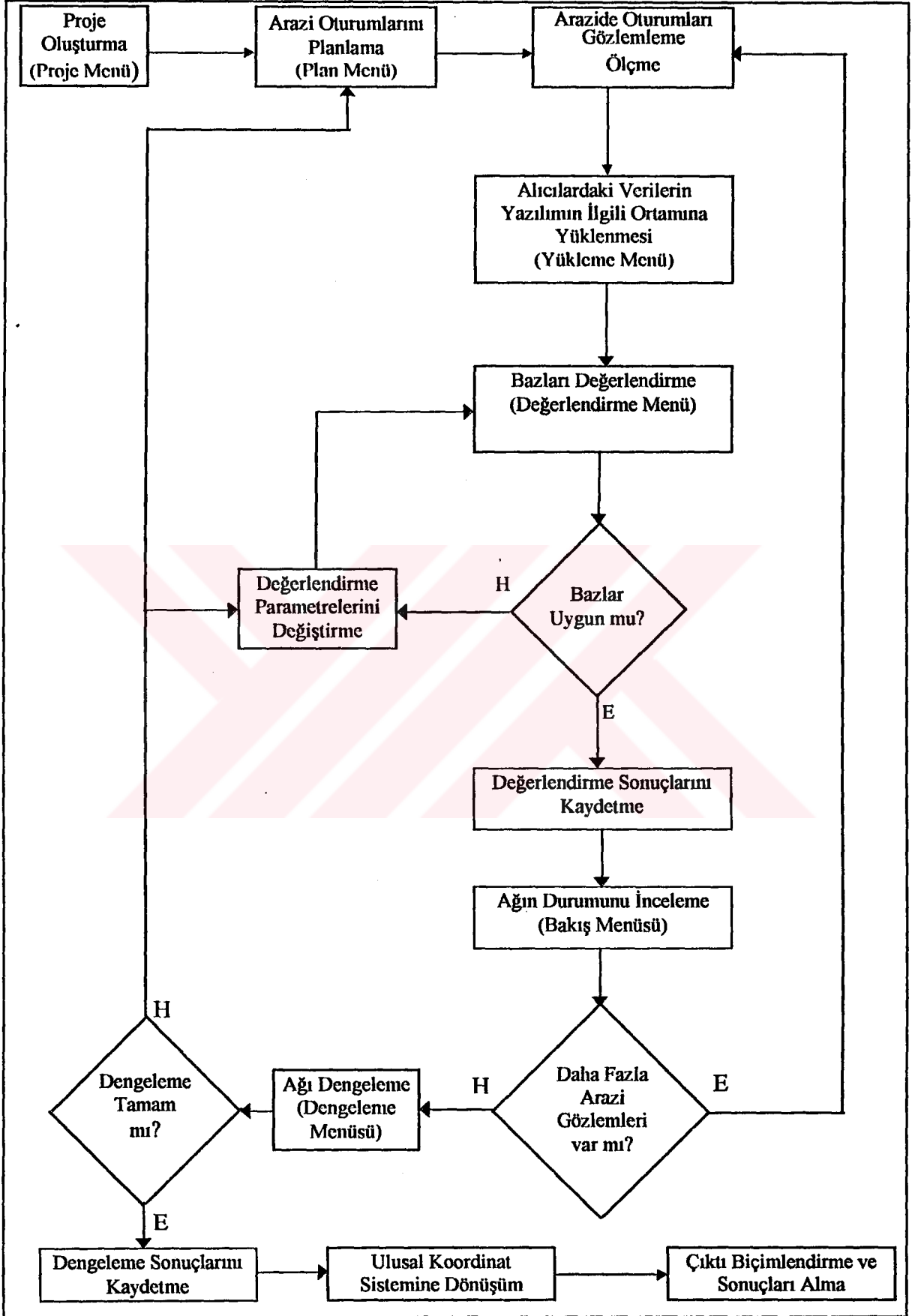
$$\begin{aligned}
L_3 &= \frac{(L_1 f_1^2 - L_2 f_2^2)}{(f_1^2 - f_2^2)} && \text{(İyonosferden bağımsız)} \\
L_4 &= L_1 - L_2 && \text{(Geometriden bağımsız)} \\
L_5 &= \frac{f_1}{(f_1 - f_2)} L_1 - \frac{f_2}{(f_1 - f_2)} L_2 && \text{(Geniş aralık)} \\
L_6 &= \frac{(L_1 f_1 + L_2 f_2)}{(f_1 + f_2)} && \text{(Dar aralık)}
\end{aligned} \tag{3.1}$$

$L_3$ , iyonosferden arındırılmış dalga anlamındadır. Dalga boyu "0" olan  $L_3$  ile yapılan hesaplarda, ölçülerdeki iyonosfer etkisinin çok büyük bir kısmı elimine edilmektedir.  $L_4$ , alıcı saati ve noktaların geometrisine bağlı olmayan doğrusal bir kombinasyondur.  $L_5$ , dalga boyu en büyük olan dalgadır (86 cm). Dalga boyunun uzun olması nedeniyle belirsizliklerin fikslenmesinde ve faz sıçramalarının bulunmasında yararlanır. Bazı değerlendirme programlarında ayrıca kutup koordinatları ve meteorolojik verilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat meteorolojik veriler yerine standart meteorolojik modellerin kullanıldığı durumlarda, çoğu kez her iki meteorolojik model arasında hassasiyeti etkileyecek büyük bir farkın ortaya çıkmadığı görülmüştür. Günümüzde de GPS ölçülerini değerlendirme programlarının en zayıf kısmını meteorolojik verileri kullanan atmosferik modellemeler oluşturmaktadır (Altınar 1992).

Bir GPS verilerini değerlendirme programında veri işleme adımları ile ilgili özet bilgiler çizelge 3.2'de verilirken, şekil 3.3'den de değerlendirme proje adımları takip edilebilir.

Çizelge 3.2, GPS' de veri işlem adımları (Uzel ve Eren 1995, Hofmann ve ark. 1992)

| <b>GPS VERİLERİNİN İŞLENMESİ</b> |   |
|----------------------------------|---|
| ◆                                | RINEX formatlı verilerin oluşturulması  |
| ◆                                | Efemerisler <ul style="list-style-type: none"> <li>- Yayınlanan yörünge bilgilerini yörünge dosyalarına dönüştürme</li> <li>- Hassas yörünge bilgilerini girme</li> </ul>   |
| ◆                                | Kod veri işleme <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekli nokta çözümü <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konum</li> <li>• Saat</li> </ul> </li> </ul>   |
| ◆                                | Faz veri işleme <ul style="list-style-type: none"> <li>- Farkları alınmamış fazlar</li> <li>- Faz farklarıyla <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekli farklar</li> <li>• İkili farklar</li> <li>• Üçlü farklar</li> </ul> </li> <li>- Frekans kombinasyonları ile <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tek frekanslı</li> <li>• İki frekanslı</li> <li>• İyonosfer-free (iyonosferden bağımsız) kombinasyon</li> <li>• Diğerleriyle</li> </ul> </li> <li>- Faz/Kod kombinasyonu</li> </ul>   |
| ◆                                | Veri analizleri <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toplam hatanın aranması</li> <li>- Sinyal devir sekmelerinin aranması ve düzeltilmesi</li> <li>- Çizimler</li> </ul>   |
| ◆                                | Kovaryans matrisleri  |
| ◆                                | Atmosferin modellenmesi <ul style="list-style-type: none"> <li>- İyonosfer</li> <li>- Troposfer</li> </ul>  |
| ◆                                | Parametre tahmini <ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinat hesaplanması (baz vektörü) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statik Ölçmeler</li> <li>• Kinematik ölçmeler</li> <li>• Tek baz şeklinde</li> <li>• Çok nokta şeklinde</li> <li>• Bir çok oturumdan oluşan</li> </ul> </li> <li>- Saat parametreleri <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kayıklık</li> <li>• Sürüklenme</li> </ul> </li> <li>- Bilinmeyenler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tahmin etme (gerçek değerler)</li> <li>• Sabit alma (tam sayılar)</li> </ul> </li> <li>- Yörünge <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yörünge elemanları</li> <li>• Yörünge elemanlarının kısmi türevleri</li> </ul> </li> </ul> |



Şekil 3.3, Değerlendirmede proje adımları (Şanlıoğlu 1998)

### 3.3.2. GPS Sonuçlarının Analizi

Atmosferdeki manyetik dalgaların etkisi, yansıma, ölçü süresinin yetersiz olması v.b. nedenlerle GPS sonuçları da bazen hatalı olabilmektedir. Bu nedenle GPS sonuçlarının deneyimli kişiler tarafından ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi için piyasada yaygın olarak kullanılan yazılımlar (Ashtech, Ski, GPSurvey v.b.) sonuçta üç önemli bilgi vererek kullanıcının sonuçları analiz ederken faydalanacağı kıstasları yapılandırır. Bunlar;

- Çözüm Tipi
- Çözüm Oranı
- Referans Varyansıdır.

Bu bilgiler hesaplanan baz vektörlerinin kalitesi hakkında birer kriter oluşturmaktadırlar. Bir baz çözümünün kabul edilebilir olup olmadığını saptamak için her üç göstergede dikkate alınmalıdır.

#### 3.3.2.1. Çözüm tipi

Yazılımlar GPS gözlem türüne ve bazı değerlendirme seçeneklerine bağlı olarak genellikle her bir baz hesabı için bir dizi çözüm üretirler. Değerlendirme tipik olarak kod çözümü ile başlar, üçlü fark çözümü ile devam eder ve birkaç tipte ikili fark çözümü ile sona erer. Bu çözümlerden en iyisi o baz vektörü için en son çözüm olarak alınır.

Değerlendirme teknikleri tek-frekanslı ve çift-frekanslı alıcılar arasında bazı farklılıklar gösterir. Burada çift frekanslı alıcı ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ele alınacaktır. Fakat önce her iki alıcı için geçerli olan göstergeler aşağıda verilmektedir.

a) Baz Vektörlerinin Ortalama Hatası : Bu hatalar GPS gözlemlerinin iç duyarlılıkları konusunda bir göstergedir. Ticari yazılımlarından elde edilen sonuçlarda ortaya çıkan hatalar dış etkenleri ve sistematik hataları içermediği için olduğundan çok daha iyi gösterilmektedir. Pek çok uygulama sonucunda görüldüğü gibi yazılımlardan elde edilen ortalama hata 5 - 10 gibi katsayılarla çarpıldığında

gerçekçi bir ortalama hataya ulaşabilmektedir. Bu nedenle dengeleme öncesinde, GPS baz vektörleri için baz uzunluğuna bağlı olarak yeni bir ortalama hata belirlenmelidir. Ayrıca, alet merkezleştirme ve anten yüksekliği ölçümündeki hataların da ortalama hatayı etkiledikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

b) **Tekrarlı Bazlar** : Tekrarlı baz ölçümü var ise bazın bir bileşenindeki ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ) farkı, uluslararası GPS şartnamelerine göre 1. ve 2. derece nirengi noktalarında karşılıklı olarak 12 ve 25 ppm değerlerinden küçük olmalıdır. Tekrarlı bazlar arasında görülebilecek büyük farklar, iyi olmayan GPS gözlemleri veya hatalı GPS anten yüksekliklerinden kaynaklanabilir. Birinci hatanın oluşması halinde dikkatli bir değerlendirme yapılarak sonuçlar iyileştirilebilir. İkinci hatayı ise saptamak ve arazi kayıtlarına göre düzeltmek mümkündür.

c) **Lup Kapanması / Ağ Dengelemesi** : Eğer GPS ağını oluşturan baz vektörleri kapalı bir şekil oluşturuyorsa hemen hemen her yazılımda var olan lup modülleri kullanarak kapanmaların tecviz içinde olup olmadığı saptanmalıdır. Tüm GPS gözlemleri tamamlandıktan sonra da toptan bir ağ dengelemesi yapılarak sonuçlandırılmalıdır. Ağ dengelemesi GPS sonuçları hakkındaki en iyi göstergelerin elde edilmesini sağlar. GPS sonuçlarının kalite göstergeleri çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3, GPS sonuçlarının kalite kontrolü

#### **GPS SONUÇLARININ KALİTE KONTROLU**

- a) İstatistik veri
  - Soncul kovaryans matrisleri
  - Noktalar arası kovaryans matrisleri
  - Çizimler
- b) Hatalı lup kapanmaları
- c) Artık kısımlar
- d) Düzeltilmiş sinyal devir sekmeleri
- e) Kabul edilmeyen ölçümlerin büyüklüğü

**Cift-frekanslı alıcılarla yapılan ölçülerde çözüm tipi ve hat sonuçları incelemesi :**

GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde yazılımlar genellikle iyonosfer-serbest-tamsayı (ionofree-fixed) çözümünü elde etmek için önce geniş-aralık tamsayı faz bilinmeyenlerini (wide-lane ambiguities) ve daha sonra da dar-aralık tamsayı faz bilinmeyenlerini (narrow-lane ambiguities) hesaplar. Eğer dar-aralık çözümü başarılı değilse geniş-aralık tamsayı çözümü kabul edilir. Şayet geniş-aralık çözümü de başarısız ise iyonosfer-serbest-kesirli (ionofree-float) çözümü oluşturulur. İkinci sıradaki, yani iyonosfer-serbest-tamsayı dışındaki çözümler sorunlu olup en uygun çözüme daha az yaklaşırlar ve mevcut duruma bağlı olarak dikkatlice analiz edilmelidirler.

a) **İyonosfer-serbest-tamsayı çözümü:** Değişik koşullar altında bile iyonosfer-serbest-tamsayı çözümü en uygun çözüm olmaktadır. Bu çözümlerde iyonosferik etkiler olmadığı gibi sabit tamsayı bilinmeyenleri en iyi geometrik sonuçları verirler.

b) **Geniş-aralık-tamsayı çözümü:** Kısa bazlarda genelde pek elverişli değildir. Ve bu çözüm çok kısa gözlem süresi, uyduların azlığı, düşük yüksekliklerdeki uydulara yapılan gözlemlerden oluşan sağlıklı ölçüler ve radyo frekans karışıklığı gibi problemlerin etkisi altında kalır. Bu kategorideki çözüm genelde iyonosfer-serbest-tamsayı çözüme göre daha az duyarlı ve parazitli olmasına rağmen yeterliliği kullanıcının aradığı hassasiyete bağlıdır. Bu çözüm lup kapanması veya ağ dengelemesi ile kontrol edilip kabul edilebilir. Geniş-aralık-tamsayı çözümü orta uzunluktaki bazlar (15-30 km) için oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

c) **İyonosfer-serbest-kesirli çözümü:** Bu çözüm kısa ve orta uzunluktaki bazlarda kötü sonuçlar vermekte ve oldukça önemli problemlerin mevcudiyetine işaret etmektedir. Kısa ve orta mesafelerde iyonosfer-serbest kesirli çözümlerden uzak durulmalıdır. Bu çözüm yöntemi 30 km üzerindeki bazlar için kabul edilebilir, fakat yine de yukarıda olduğu gibi lup kapanması veya ağ dengelemesi ile kontrol edilmelidir (SKI programının yapısı itibariyle 20km'nin üzerindeki bazlar için



belirsizlik çözümü yapamadığı kullanım kitapçığında belirtilmiştir). Çok uzun bazlarda iyonosfer-serbest-kesirli çözüm başarılabilir en iyi çözüm olabilir

Çift frekanslı alıcılar için önerilen çözüm tipleri aşağıdaki çizelge 3.4' de özetlenmiştir. Bu çizelge kullanıcı için iyi bir kriter oluşturur.

Çizelge 3.4, Çift frekanslı alıcılar için çözüm tipleri

| Alıcı Türü              | Baz Uzunluğu ve Çözüm Türleri |                           |                           |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                         | Kısa                          | Orta                      | Uzun / Çok Uzun           |
| Çift frekanslı alıcılar | İyonosfer-serbest-tamsayı     | İyonosfer-serbest-tamsayı | İyonosfer-serbest-tamsayı |
|                         | L1-tamsayı                    | Geniş-aralık-tamsayı      | Geniş-aralık-tamsayı      |
|                         |                               | İyonosfer-serbest-kesirli | İyonosfer-serbest-kesirli |

### 3.3.2.2. Çözüm oranı

Oran sadece sabit tamsayı çözümler için söz konusudur. Baz işlemcisi tamsayı çözümleri hesapladığında, tamsayı dalga boylarının farklı kombinasyonlarına göre, normal olarak bir takım çözümler oluşturur. Basit bir ifadeyle, yazılımlar bütün farklı kombinasyonları üretir ve her birinin arazi gözlemlerine uyumunu hesaplar. Tüm kombinasyonlara baktıktan sonra yazılımlar ölçülere en iyi uyan iki grup arasındaki varyansların oranını hesaplar. Böylece, *çözüm oranı* en iyi gruba ait tamsayı çözümün varyansının 2.sıradaki gruba ait tamsayı çözümün varyansına oranıdır.

Çift frekanslı gözlemler halinde bu oran genellikle 1.5 olarak alınmaktadır. Yani, tamsayı çözümün kabul edilmesi için en iyi çözüm 2.en iyi çözümden 1.5 kat daha iyi olmalıdır. Yani oran geçerli bir tamsayı çözüm gibi kabul edilmemiş olan bir çözüm için en az 1.5 olmalıdır.

### 3.3.2.3. Referans varyansı

Referans varyansı, bir baza ait gözlenen verilerin (kod ve taşıyıcı faz ölçüleri) hesaplanan çözüme ne kadar uyduğunun iyi bir göstergesidir. Referans varyansı

birimsizdir. Bazen varyans faktörü veya birim ağırlığın varyansı olarak da isimlendirilir.

Basit bir ifadeyle, referans varyansı arazi ölçülerinin hesap sonuçlarına ne kadar yakın olduğunun kullanıcının beklediği değere oranı olarak düşünülebilir. Yazılımlar her bir kod ve taşıyıcı gözlemlerin beklenen hataları için hesaba bir varsayımla başlar. Çözümünden sonra yazılım düzeltmeleri inceler ve tüm çözüm için bir varyans hesaplar. Referans varyansını hesaplamak için de yazılım bunu önceden varsayımla belirlenen değerle karşılaştırır.

Hata büyüklükleri hakkındaki varsayımlar isabetliyse (varsayım eksikliği yoksa) ve gözlem oturumları tamamen normal ise referans varyansı 1'e eşit olacaktır. Eğer referans varyansı 1'den küçük ise arazi gözlemlerinin beklenilenden daha iyi olduğu anlaşılır. Bu değer 1'den büyükse uyum da beklenilenden daha kötü olmaktadır (Eren ve Uzel 1995).

### 3.3.3. SKI Yazılımında değerlendirme parametreleri

Hesaba başlamadan önce değerlendirme parametreleri seçilir. Sistemin önceden belirlenmiş ayarları bütün parametreler için uygun olduğundan parametreler tek tek değiştirilebilir. Baz vektörleri değerlendirileceğinde veri değerlendirme parametreleri panelindeki mevcut parametreler aşağıdaki gibidir;

**Yükseklik açısı:** Düşük yükseklikteki uydular için gözlemler bazen sorunlu (veri kayıpları) olabilir. Bu durumda önerilen prosedür uydu yükseklik açısının artırılmasıdır. Yükseklik açısı için yazılımın varsayımı  $15^\circ$  'dir.

**Troposferik model:** Hesaplanabilecek gecikmeleri veren farklı modeller vardır. Bunlar,

1. Saastamoinen
2. Hopfield
3. Modified Hopfield
4. Essen and Froome
5. No troposfere

modelleridir. Farklı modellerin kullanımından elde edilen sonuçlar arasındaki farklar küçük değerlerdedir (Birkaç mm). Ancak bir ülke yada memleketteki bütün

hesaplamalar için lokal olarak model kullanımı tavsiye edilmektedir. Eğer bu model bilinmiyorsa sistem standart olan “Hopfield” kullanır.

**İyonosferik model:** İyonosferik gecikme için aşağıdaki modeller uygundur.

1. Standart
2. No model
3. Computed model
4. Global/Regional model

“Standart model” elektronların toplam miktarı ve onların bu tabakadaki dağılımını konu alan tek bir tabaka modelidir. Kullanıcı eğer “No model”li veri değerlendirmeye karar verirse 7 ppm’e kadar ölçek faktörleri olur. Referans istasyonunda en az 45 dakika süreyle statik yada hızlı-statik ölçü yöntemine göre iki frekanslı veri toplanmışsa, “Computed model” seçeneğinin seçilmesi durumunda SKI bir iyonosferik model hesaplar. Global iyonosferik modeller ise günlük olarak hesaplanır ve internet üzerinden yayınlanır.

**Çözüm tipi:** Parametrelerden, “*iyonosfer-serbest-tamsayı (iono-free-fixed)*” seçeneği seçilebilir. Bu seçenek, uzun bazlar üzerindeki iyonosferik etkileri kaldırmak için iyonosfer-serbest lineer kombinasyonu kullanan önceden sabitlenmiş tamsayı belirsizlikleri ile statik aralıkların geriye doğru değerlendirilmesine olanak sağlar. Söz konusu seçeneğin 15-20 km’lik bazlarda kullanımı uygun olur.

**Efemeris (Yayın yada Hassas Efemeris):** Bu seçenek ya yayın (broadcast) yada hassas efemerisi kullanır.

**Data kullanımı:** SKI aşağıdaki seçenekleri sunar;

1. Kod ve faz
2. Yalnız kod
3. Yalnız faz

Yazılım varsayılan olarak “Kod ve faz” seçeneğini kullanmaktadır.

**Faz frekansı ve kod frekansı:** SKI, kod ve/veya faz verilerini kullanarak değerlendirme yapmak için aşağıdaki frekans kombinasyonlarını sunar;

1. Otomatik
2. L1+L2
3. L1
4. L2

“*Otomatik*” seçeneği yazılım tarafından varsayılan seçenektir.

**Sınırlama:** Bu değer belirsizlik çözümünün yapılabileceği maksimum mesafeyi tanımlar. Yazılım tarafından kullanılan varsayılan değer 20 km’dir.

**Öncül karesel ortalama hata:** Bu değer, faz ölçülerinin faz paraziti için bir başlangıcı gösterir.

**Örnekleme oranı (Statik):** Statik gözlemler için, kullanıcı veri değerlendirme işlemi boyunca kullanmak için kaydedilmiş verinin kaç tane olduğunu belirtebilir.

**Faz değerlendirme:** Bütün mümkün kombinasyonlar parametre panelindeki faz değerlendirme parametresi kullanılarak seçilebilir.

**Faz sıçraması bulma:** Faz sıçramalarının belirlenmesi için SKI’nın varsayılan ayarı, “*Phase check and loss of lock flags*” , ölçüler boyunca alıcı tarafından gönderilen “*loss of lock flag*” lara bakılmasını ve doğru faz ölçülerinin saklanmasını gerektirir.

**Faz ölçüleri karesel ortalama hatası:** Bu değer faz sıçramaları için faz kontrolünde kullanılır.

**Güncelleştirme araştırması (kinematik):** Bu özellik yalnız kinematik veri için geçerlidir.

**Tamsayı belirsizlik için minimum zaman (Yalnız L1):** Bu parametre, değerlendirmede yalnız L1 verisi kullanılıyorsa uygulanır.

### 3.3.3.1. SKI yazılımında belirsizlik çözümü

SKI Yazılımı, değerlendirme hesabı hakkında detaylı bilgilerin verildiği bir sonuç kayıt dosyası (The Result Logfiles) oluşturur. Hat sonuçları dosyasının ilgili kolonunda belirsizlik çözümü ile ilgili olarak:

- \* Y- İşlemcinin belirsizlikleri çözebildiğini,
- \* Y\*- Arazide yapılan ölçünün, belirsizlik çözümlemesi için gerekli olan zamandan daha az olduğunu belirtir. Ama yinede değerlendirme işlemcisi çözüm esnasında bazı zorluklarla karşılaşmış olsa da sonuçta belirsizliği çözmüştür. Ancak bazı farklılıkların olabileceğinin göz ardı edilmemesi gerektiğini,

\* N-İşlemcinin belirsizlikleri çözemediğini

belirten ifadeler yer alır. Tamsayı faz bilinmeyenlerinin çözümünde kullanılan frekanslar,

1=L1

2=L2

3=L3 (İyonosfer-serbest lineer kombinasyon)

5=L5 (Geniş-aralık)

dır. Eğer L1+L5 kombinasyonu için belirsizlikler biliniyorsa, L2 belirsizliklerine de ulaşılabilir.

SKI yazılımında belirsizliklerin çözümünde kullanılan FARA yönteminin sonuç dosyası ise hızlı belirsizlik çözümü yaklaşımı için karakteristik değerler içerir. Belirsizlik çözümü başarılı olduğu an araştırma istatistiği, belirsizlik değerleri ve istatistiki özet verilir.

*Arama istatistiği:* En olası ve ikinci en olası rms (karesel ortalama hata) ler verilir. Bu değerlerin ilk değerlere oranı gösterilir. Belirsizlik çözüldüğü zaman set2'nin (ikinci en olası rms) oranı 1.000'den çok daha büyük olmalıdır.

*Belirsizlik değerleri:* En olası ve ikinci en olası çözümler her bir uydu için gösterilir. Bunlar ilk iki çözüm için frekans ve her bir uydu için tahmin edilmiş belirsizlik değerleridir.

*İstatistiki özet:* Hızlı belirsizlik çözümü ile alakalı çeşitli test kriterlerini içerir.

*Rms a Priori:* Faz parazit karesel ortalama hatasının limit değerini gösterir. Bu değer değerlendirme parametre listesinden değiştirilebilir.

*Rms float:* Belirsizlik sabitlenmeden önceki gerçek rms değeri.

*Rms fix 1 :* En uygun belirsizlik seti için sabitlenmiş belirsizliklerden sonraki rms değeri.

*Rms fix 2 :* İkinci en uygun belirsizlik seti için rms değeri.

*Hata olasılığı alfa değeri:* Hipotez testleri yapıldıktan sonra alfanın % olarak değeri

FARA'nın gerçekleştirilme şartlarından biri geniş aralıkla çözüm yapılabilmesi için çift frekanslı ölçüm yapılmasına duyulan ihtiyaçtır. Böylece onlara ait 3 hipotez test edilir.

1.  $rms\ float < rms\ a\ priori$
2.  $rms\ fix\ 1 < rms\ a\ priori$
3.  $rms\ fix\ 1 < rms\ fix\ 2$

Belirsizlik çözümlemesinin yapılabilmesi için bu testlerin başarıyla geçilmesi gerekmektedir. Bu testler tek frekanslı ölçümler içinde kullanılır.

Eğer 1. test ( $rms\ float < rms\ a\ priori$ ) kabul edilmezse, rms a priori daha da yükseltilebilir. Bu işlem çok dikkatli yapılsa bile, kısa ölçüm süreleri için (yaklaşık 10-15 dakika), bu prosedür pek tavsiye edilmez. Bununla birlikte daha uzun mesafelerde ve 1 saat veya daha fazla gözlem aralıklarında bu değer iki katına çıkarılması önemli değildir.

Eğer son test başarısız olursa belirsizliklerin çözülemeyeceği kabul edilmelidir. Çünkü istatistiki açıdan bu iki olası belirsizlik grubu birbirine uyacak şekilde eşittir (SKI- Documentation 1996, Şanlıoğlu 1998).

### 3.3.3.2. FARA istatistiği hakkında bilgi

Hızlı belirsizlik çözümü yaklaşımı (FARA: *Fast Ambiguity Resolution Approach*) dört aşamaya ayrılabilir.

1. Çiftli-fark belirsizliklerinin gerçel değerleri, bilinmeyen parametrelerin kofaktör matrisini ve birim ağırlığın soncul varyansını da hesaplayan bir dengeleme işlemiyle faz ölçmelerine dayalı olarak kestirilirler. Böylece bilinmeyen parametrelerin varyans-kovaryans matrisi ve belirsizliklerin standart sapmaları da hesaplanabilir.

2. Araştırılması gereken belirsizlik aralıklarına ilişkin ölçütler, belirsizliklerin gerçel değerlerinin güven aralıklarına dayandırılır. Bu nedenle ilk aşamadaki başlangıç çözümün niteliği olası belirsizlik aralıklarını etkiler. Daha başka bir ifadeyle,  $\sigma_N$  ile belirsizlik N'nin standart sapmasını gösterirsek,  $\pm c\sigma_N$  de bu belirsizliğin arama aralığı olur; buradaki c Student (esneklik) dağılımından

istatistiksel olarak türetilir. Olası belirsizlik kümelerinin seçimine ilişkin ilk ölçüt böylelikle belirlenmiş olmaktadır.

İkinci bir ölçüt ise belirsizlik korelasyonunun kullanılmasıdır. Çiftli fark belirsizliklerinin  $N_a$  ve  $N_b$  olduğunu varsayarsak bunların farkı  $N_{ab}=N_b-N_a$ 'nın standart sapması hata yayılma kuralından,

$$\sigma_{ab}=(\sigma_a^2-2\sigma_{ab}+\sigma_b^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

biçiminde elde edilir. Buradaki  $\sigma_a^2$ ,  $\sigma_{ab}$  ve  $\sigma_b^2$  parametreleri varyans-kovaryans matrisinde bulunmaktadır. Belirsizlik farkı  $N_{ab}$  için arama aralığı  $c_{ab}\sigma_{ab}$  olmaktadır; Buradaki  $c_{ab}$ , her çiftli-fark belirsizlikleri için arama aralığı anlamına gelmektedir. Bu ölçüt olası tamsayı çözüm kümesi sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır.

3. Dengelenmiş baz bileşenleri, soncul varyans faktörleri ve istatistiksel olarak kabul edilmiş her belirsizlik kümesi için sabitlenmiş belirsizliklerle en küçük kareler yöntemine göre dengeleme yapılır.

4. Bu son aşamada en küçük soncul varyans çözümü bir kere daha irdelenir. Bu çözümün baz bileşenleri taşan çözüm ile karşılaştırılır ve çözüm uyumluysa kabul edilir (Mekik ve Akçın 1998).

### 3.3.4. ASHTECH Yazılımında değerlendirme parametreleri

Bir proje oluşturulduğu zaman, değerlendirme parametreleri girilir. Yazılımdaki değerlendirme seçenekleri penceresi sekiz alt sayfadan oluşur.

- Parametre sayfası
- İşlemci sayfası
- GPS Uyduları sayfası
- GLONASS Uyduları sayfası
- Sonuç filtresi sayfası
- Baz seçenekleri sayfası
- Ayarlar sayfası
- İleri sayfası

**Parametre sayfası:**

- **GPS ve GLONASS Uyduları için yükseklik açıları:** Uydu sistemlerinin her biri için minimum yükseklik açıları belirtilir.

- **Değerlendirme aralığı:** Değerlendirme aralığı için girilen değer saniye olarak verilir. Değerlendirme aralığı geçerli gözlem aralığından daha büyük olabilir. Bu parametre epoklar ile, yapılacak değerlendirme arasındaki saniyelik zaman aralığının varsayılan seçimini tanımlamak için kullanılır. Söz konusu parametre, veri hızlı bir oranda kaydedildiği zaman (örneğin 0.5 sn) ve her 10 sn'lik aralıkta değerlendirme yapılmak istendiğinde faydalıdır.

- **Yörünge tipi:** Efemeris verisinin tipi belirtilir. Uydu yörünge konumunu hesaplamak için yayın yada hassas efemeris seçilir. Yayın yörünge bilgileri ECFWWW.eph isimli EF18 formatında bir dosyada saklanır.

- **GPS ve GLONASS için referans uyduları:** Ashtech Office Suite for Survey (AOSS), değerlendirmede referans uydusu olacak uydu sistemlerinin her birinin uydularının seçimine izin verir. Genellikle ikili fark değerlendirmesinde referans uydusunun seçimini yazılıma bırakmak en iyisidir.

- **Tercih:** Eğer P-kod verisi kadar C/A-kod verisi de uygunsa, değerlendirilecek verinin tipi seçilebilir. Yazılım tarafından varsayılan veri tipi P-kodudur.

- **Frekans:** Bu seçenek, baz değerlendirmesinde kullanılacak taşıyıcı fazın tipini tanımlar. Mümkün olan dalga tipleri aşağıda verilmiştir;

L1 (Yalnız L1 değerlendirmesi)

L2 (Yalnız L2 değerlendirmesi)

Lw (L1-L2 geniş- dalga değerlendirmesi)

Lc (L1 ve L2 verisinin iyonosfer-serbest kombinasyonu)

Lw/Ln > x (Dalga boyunu etkinleştiren seçenek baz uzunluğuna bağlıdır (Lw/Ln > x x km). Bu seçenek seçilirse, belirtilen mesafeden daha küçük baz uzunluğu olmak şartıyla AOSS, L1 verisini işler. Eğer baz verilen değerden daha büyükse, AOSS otomatik olarak Lc belirsizliklerini sabitlemek için özel bir algoritmayı çalıştırır.)

L1/L2 (Konum belirlemek için L1 değerlendirilir. Eğer belirsizlik çözümü elde edilebilirse L2 kullanılır.)



### **İşlemci Sayfası:**

- **Değerlendirme modu:** AOSS esasında 4+1 farklı değerlendirme metodunu destekler: Statik, Dur-Git, Diferansiyel GPS, düzeltilmiş Diferansiyel GPS ve bir seçenek olarak On-the-fly (hareket halindeyken).
- **Oturumlar:** Kullanılan oturumlar olarak verilen üç seçenekten biri kullanılabilir.

Bölünmüş oturumlar (Split sessions)

Birleştirilmiş oturumlar (Combine sessions)

Ayrı ayrı her bir oturum işlemi (Each sessions)

### **GPS/GLONASS Uyduları sayfası:**

Bir projenin gözlenmiş bütün uyduları bu diyalog ile mümkündür. Sağlıksız GPS yada GLONASS Uyduları değerlendirmeden çıkarılabilir. Uydu sistemi için sayfa seçilir ve değerlendirme dışı bırakılmak istenen uyduların PRN numaraları işaretlenir.

### **Sonuç filtresi sayfası:**

Sonuç filtresi sayfası, baz değerlendirmesinin sonuçlarını filtrelemek için ayarlar sunar. Baz işlemcisi değerlendirme moduna ve mevcut veriye bağlı olarak, on bire kadar farklı sonuçlar hesaplar ve otomatik olarak en iyi istatistiğe sahip değer seçilir. Kinematik işlemci yalnız bir kinematik çözüm hesaplar. Çalışmaların çoğunda, genellikle en iyi çözüm olarak, L1 tamsayı çözümleri filtre seçiminde işaretlenebilir.

Kesirli (float) çözümler, tamsayı çözümler ve üçlü fark/L1, baz vektörlerini hesaplamak için kullanılan farklı metotlardır. Kesirli ve tamsayı çözümler için farklı frekanslar (L1, L2, Lw, Ln ve Lc) seçilebilir.

### **Baz seçenekleri sayfası:**

Bu sayfanın parametreleri baz ve statik noktaların gösterimi ile ilişkilidir. Gözlem zamanı boyunca uyduların miktarı yada gözlemin zaman süresi ile ilgili bazların gösterimi için AOSS'a limit değerler verilebilir.

- **Bazların hesabı için gerekli minimum zaman süresi:** Eş zamanlı gözlem verisinin gerekli minimum zaman süresi için bir limit değeri belirlenir, bu seçenek seçilir ve değeri girilir. Varsayılan değeri 240 sn'dir.

- **Bazların hesabı için gerekli ortak uyduların minimum sayısı:** Gözlem zamanı boyunca eşzamanlı gözlenmiş uyduların minimum sayısı için bir limit değeri belirlenir, bu seçenek seçilir ve değeri girilir. Varsayılan 4 uydudur.

- **Aynı isimli noktalar arasındaki kabul edilebilir maksimum mesafe:** Bu seçenek nokta numaralarının yanlış yorumlanmasını engellemek için yardımcı eder. Aynı isimli noktaların yorumlanması için AOSS'un hesaba kattığı maksimum mesafe için bir limit değeri belirlenir.

#### **Ayarlar sayfası:**

Bu sayfanın ilk iki parametresi proje gösterimi ile ilgili, üç parametresi ise baz değerlendirmesinden sonraki davranışla ilgilidir.

- **Kullanılamaz objelerin gösterimi:** Çizgiler, elipsler yada noktalar gibi objeler iki durumda (kullanılabilir, kullanılamaz) ortaya çıkar. Varsayılan ayar seçili olmaktadır.

- **Bağlanmış çizgiler ve elipsler:** Eğer bu kontrol kutusu seçili ise kullanılabilir yada kullanılamaz çizgi onun hata elipslerinin görünüp yada görünmemesine neden olur. Varsayılan ayar seçili olmaktadır.

- **Değerlendirme sonrası uyarı sinyali:** Değerlendirme biter bitmez, AOSS'un bir uyarı sinyali gönderip göndermeyeceği belirlenir. Varsayılan ayar seçili olmaktadır.

- **Değerlendirme sonrası otomatik kayıt:** Değerlendirme biter bitmez, AOSS'un projeyi otomatik olarak kayıt edip etmeyeceği belirlenir. Varsayılan ayar seçili olmayandır.

- **Raporlar:** Proje dosyasında kaydedilmiş raporların istenip istenmediği yada atılıp atılmayacağı belirlenir. Varsayılan ayar "proje dosyasında sonuçları kaydet" tir.

### İleri sayfası:

Bu sayfanın değiştirilen ayarları kestirilemeyen sonuçlara neden olduğu için parametreler yalnız uzman kullanıcılar tarafından değiştirilmelidir.

- **Maksimum iyonosferik parazit:** Bu parametre milimetre olarak tanımlanır ve diferansiyel iyonosferde kabul edilebilir maksimum hatayı verir. Varsayılan değer “80 mm” dir.

- **Maksimum konum hatası:** Bu seçenek, baz değerlendirmesinde kabul edilebilir maksimum koordinat hatasını (mm olarak) verir. Varsayılan değer “20 mm” dir.

- **Minimum oran:** Bulunan en iyi belirsizlik grubu, ikinci en iyi grupla karşılaştırılır. En iyi belirsizlik grubu için kalite kriteri, bu çözüm ile ikinci en iyi çözümün ağırlıklı sapmaları arasındaki orandır. Varsayılan değer 2’dir.

- **Troposferik ölçekleme:** Troposferik ölçekleme, troposferik model için bir ölçek faktörünün hesaplanmasını sağlar. Çok büyük yükseklik farkı olan bazlar üzerinde troposferik model, troposferdeki gerçek koşulları yansıtmaz ve hatalara neden olur. Bu hatalar hemen hemen yalnız baz vektörünün yükseklik bileşenine etki eder. Troposferik sapma hatalarını büyük ölçüde elimine etmek için, yazılım troposferik model için bir ölçek faktörünün tanımlanmasını sağlar. Varsayılan değer 0’dır.

- **Maksimum efemeris hatası:** Bu parametre, efemerise bağımlı etkileri tanımlamak için kullanılır. Yayın efemerisinin ölçek hatası ppm olarak tanımlanır.

- **Düzenleme çarpanı:** Bu faktör, gözleme ilgili veri için ret edilen limit değeri verir. Varsayılan değer 3.5’tir.

- **İyonosferik ölçekleme:** Belirsizlik çözümünde, sapmalar üzerindeki mesafe bağımlı sistematik hataları modellemek için gereklidir. Bu parametre iyonosfere bağlı etkileri tanımlamada kullanılır. 90°’lik bir yükseklik açısı ile bir uydu için iyonosferik ölçek hatası ppm olarak tanımlanır. Varsayılan değer genellikle 0.1’dir.

- **Olasılık limitleri:** AOSS belirsizlikleri sabitlemede yeterliliği araştırmak için değişik testler (Chi-kare, Fisher) yapar.

### 3.3.4.1. ASHTECH Yazılımında statik değerlendirme

#### 1. Üçlü fark çözümü ve faz sıçramasının tespiti

Üçlü fark değerlendirmesi, baz bileşenlerinin ilk tahmini değerlerini hesaplar ve etkili ve hızlı bir şekilde faz sıçraması tespit edilir. Genel olarak, seçilmiş frekans çözümlenir. Eğer iki frekanslı veri var ve L1+L2 kombinasyonu seçilmişse, yazılım baza indirgemeyi geliştirmek için ikinci frekansı kullanacaktır. L1 frekansı ile yapılan üçlü fark almadan sonra L1 ve L2, faz sıçramaları için kontrol edilir.

Eğer iyonosfer-serbest Lc seçilmişse, üçlü fark işlemi her iki frekans L1 ve L2'deki veriyi de analiz eder. Üçlü fark çözümleri, çözümler birbirine yaklaşıncaya kadar devam eder. Maksimum iterasyon sayısı ondur.

#### 2. İkili fark kesirli çözüm

İkili fark çözümü, korelasyonlu ikili fark taşıyıcı faz verisini işlemde geçirmek için bize olanak sağlar. Bu adım baz bileşenleri ve kesirli faz belirsizliklerini oluşturur. İki frekanslı veri ile L1+L2 değerlendirmesi seçildiği zaman, otomatik olarak L2, Lw, Lc ve Ln için eklenen baz çözümleri sağlanacaktır.

#### 3. İkili fark tamsayı çözüm

Toplam en küçük kareler sapma hatası ile çözüm için, belirlenmiş kesirli çözümün 20 sigma değerinde tanımlanan araştırma penceresine, kesirli çözümden uygun faz belirsizliklerini türetmek için optimize edilmiş bir zaman araştırma tekniği uygulanır. 20 değeri arama alanı içerisindeki doğru çözümü garantilemek için bir çarpan olarak kullanılır. İstatistiksel testler belirsizlik çözümünün doğruluğunu doğrulamak için kullanılır. Chi-kare testi % 95'lik bir olasılıkla sapmaların soncul varyansı üzerinde, Fisher testi ise en uygun çözüm ile ikinci en uygun çözümün varyanslarının oranına uygulanır.

### 3.4. GPS Faz Ölçüleri İle Baz Vektörlerinin Hesabı

Rölatif statik konum belirlemede, iki veya daha fazla sayıdaki alıcı yarım saatten birkaç saate kadar eşzamanlı olarak ortak uydulardan taşıyıcı faz ölçüleri

toplar. Mevcut yazılımlar ile uydu geometrisindeki değişikliklerden yararlanılarak, taşıyıcı faz başlangıç belirsizlikleri ve baz bileşenleri çözülür.

Bir p-uydusundan gönderilen ve m ve k istasyonlarında ölçülen fazlar, aynı uyduya ait olduğu için fiziksel olarak korelasyonludur. Fiziksel korelasyonlar genellikle ihmal edilerek sadece fark alma sonucu ortaya çıkan matematiksel korelasyonlar hesaba katılır.

Hata dağılım kuralını oluşturan temel bağıntı, GPS ölçülerinin kovaryans matrislerinin veya ağırlıkların çıkarılmasında kullanılır. Kovaryansı bilinen X-vektörü ile Y-vektörü arasında,

$$Y=GX \quad (3.3)$$

eşitliği mevcut ise ve  $\Sigma_x$  matrisi X-vektörünün kovaryansını gösteriyorsa, Y-vektörünün kovaryansı  $\Sigma_y$ ,

$$\Sigma_y=G\Sigma_xG^T \quad (3.4)$$

eşitliği ile kovaryans yayılma kuralına göre bulunur. Benzer şekilde GPS ölçülerinin kovaryans matrislerinin elde edilmesi için, her bir ana taşıyıcı faz ölçüsünün varyansı,

$$\text{Var}(\Delta\phi_m^p) = \sigma^2 \quad (3.5)$$

olduğu kabul edilirse, buna göre tekli fark ölçülerinin kovaryansını bulmak için , örneğin t-epoğunda m ve k alıcılarından p ve q uydularına yapılan tekli fark ölçüleri,

$$\begin{aligned} D_{km}^p &= \Delta\phi_m^p - \Delta\phi_k^p \\ D_{km}^q &= \Delta\phi_m^q - \Delta\phi_k^q \end{aligned} \quad (3.6)$$

eşitlikleri ile verilir. Bu eşitlikler matris vektörü formunda yazılırsa,

$$\underline{D} = \underline{G}\underline{\Delta\phi} \quad (3.7)$$

biçimini alır. Burada,

$$D' = [D_{km}^p D_{km}^q]^T ; G = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} ; \Delta\phi = [\Delta\phi_k^p \Delta\phi_m^p \Delta\phi_k^q \Delta\phi_m^q]^T \quad (3.8)$$

dır. (3.7) eşitliğine kovaryans kuralı uygulanırsa,

$$\Sigma_{D'} = G \Sigma_{\Delta\phi} G^T = 2\sigma^2 I \quad (3.9)$$

eşitliği ile tekli fark ölçülerinin kovaryansı, tek bir baz için korelasyonsuz olarak elde edilir.

Uygulamada kullanılan ikili fark ölçülerinin korelasyonlu olarak kovaryans matrislerini elde etmek için, m ve k alıcılarından p-uydusu referans alınarak , p, q ve r uydularına yapılan ikili fark ölçüleri,

$$\begin{aligned} D_{km}^{pq} &= D_{km}^q - D_{km}^p \\ D_{km}^{pr} &= D_{km}^r - D_{km}^p \end{aligned} \quad (3.10)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Bu eşitlikler matris vektörü formunda yazılırsa,

$$\underline{D}'' = \underline{F} \underline{D}' \quad (3.11)$$

biçimini alır. Burada,

$$D'' = \begin{bmatrix} D_{km}^{pq} \\ D_{km}^{pr} \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad D' = \begin{bmatrix} D_{km}^p \\ D_{km}^q \\ D_{km}^r \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

dır. (3.11) eşitliğine kovaryans kuralı uygulanırsa,

$$\Sigma_{D''} = F \Sigma_{D'} F^T = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

eşitliği ile ikili fark ölçülerinin kovaryans matrisi elde edilir. Bu eşitliğin tersi alınırsa,

$$P_{D''} = \Sigma_{D''}^{-1} = \frac{1}{6\sigma^2} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

eşitliği ile ikili fark ölçülerinin korelasyon matrisi yada ağırlık matrisi elde edilir.

$n_s$  ( $n_s=1, 2, 3, \dots, i$ ) bir ipokdaki ikili fark sayısı olarak alındığında (3.14) ifadesi,

$$P_{D''}(n_s) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{n_s + 1} \begin{bmatrix} n_s & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & n_s & -1 & \dots & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & n_s \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda  $m$  ( $m=1, 2, 3, \dots, k$ ) ipok sayısı ve  $P(m) = P_{D''}(n_s)$  olmak üzere korelasyon matrisi,

$$P_{D''} = \begin{bmatrix} P(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P(2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & P(k) \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

şeklinde blok-diyagonal bir matris halini alır.

İkili fark ölçüleri ile oluşturulan denklemlerin en küçük kareler yöntemine göre çözümü,  $L_b = \underline{D''}$  olmak üzere,

$$\begin{aligned} L_o &= F(X_o) \quad X_o \text{ yaklaşık değerleriyle hesaplanan (2.7) eşitliğinin sağ tarafı,} \\ L &= L_o - L_b \quad \text{Kapanma vektörü ve} \\ P &= \text{Gözlemlerinin ağırlık matrisi ((3.16) eşitliğinden hesaplanabilmektedir.)} \end{aligned}$$

olarak alınırsa,

$$\Delta X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (3.17)$$

eşitliği ile verilir.  $k$  ve  $m$  alıcılarından  $p$  ve  $q$  uydularına  $l$ -ipok sayısı kadar gözlem yapıldığını varsayarsak,  $M$  sayısı kadar ikili fark ölçüsü elde edilir. Alıcı saat hatası parametreleri  $a_0, b_0, b_1, b_2$  olmak üzere  $A$ -katsayılar matrisi,

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial D_1''}{\partial X_k} & \frac{\partial D_1''}{\partial Y_k} & \frac{\partial D_1''}{\partial Z_k} & \frac{\partial D_1''}{\partial X_m} & \frac{\partial D_1''}{\partial Y_m} & \frac{\partial D_1''}{\partial Z_m} & \frac{\partial D_1''}{\partial a_0} & \frac{\partial D_1''}{\partial b_0} & \frac{\partial D_1''}{\partial b_1} & \frac{\partial D_1''}{\partial b_2} & \frac{\partial D_1''}{\partial N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial D_M''}{\partial X_k} & \frac{\partial D_M''}{\partial Y_k} & \frac{\partial D_M''}{\partial Z_k} & \frac{\partial D_M''}{\partial X_m} & \frac{\partial D_M''}{\partial Y_m} & \frac{\partial D_M''}{\partial Z_m} & \frac{\partial D_M''}{\partial a_0} & \frac{\partial D_M''}{\partial b_0} & \frac{\partial D_M''}{\partial b_1} & \frac{\partial D_M''}{\partial b_2} & \frac{\partial D_M''}{\partial N} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

şeklinde kurulabilir. m-alıcısı ile p-uydusu arasındaki uzaklık ifadesini veren,

$$\rho_m^p = [(X_m - X^p)^2 + (Y_m - Y^p)^2 + (Z_m - Z^p)^2]^{1/2} \quad (3.19)$$

eşitliği ile (2.7) eşitliği arasında bir ilişki kurulur ve  $X_k$ ,  $X_m$ 'e göre kısmi türevler hesaplanırsa, A katsayılar matrisinin ilgili terimleri

$$\begin{aligned} \partial D_{km}^{pq} / \partial X_k &= (-f/c)(X_k - X^p) / \rho_k^p + (f/c)(X_k - X^q) / \rho_k^q \\ \partial D_{km}^{pq} / \partial X_m &= (-f/c)(X_m - X^p) / \rho_m^p + (f/c)(X_m - X^q) / \rho_m^q \end{aligned} \quad (3.20)$$

olarak bulunurlar. Benzer şekilde  $Y_k$ ,  $Z_m$ ,  $Y_k$  ve  $Z_m$  terimlerinin kısmi türevleride hesaplanabilir. Tamsayı belirsizliğinin kısmi türevi ise 1 dir.

Yukarıda söz konusu olan parametre sayısı, oldukça fazla olmasına rağmen gözlem sayısı daha da fazladır ve sonuçta genellikle yeterli serbestlik derecesi elde edilir. Buna göre r sayıdaki alıcının, s sayıdaki uyduya i sayıdaki ipok süresince gözlem yaptığını varsayarsak, faz ölçüsü çeşitlerine göre elde edilen serbestlik dereceleri,

- Taşıyıcı faz gözlemleri = r s i
- Tekli fark gözlemleri = (r-1) s i
- İkili fark gözlemleri = (r-1) (s-1) i
- Üçlü fark gözlemleri = (r-1) (s-1) (i-1)

eşitlikleri ile bulunur (Eren 1993).

### 3.5. GPS Baz Vektörlerinin Dengelenmesi Ve Nokta Konum Doğruluklarının Hesabı

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile eş zamanlı olarak ölçü alınan noktalar arasındaki baz vektörleri bölüm 3.4'de açıklandığı gibi hesaplanır. Bu vektörler genellikle kartezyen koordinat farkları olarak kovaryans matrisleri ile birlikte WGS-84 datumunda elde edilirler. Klasik ağlarda olduğu gibi, GPS yöntemi ile oluşturulmuş ağın (ağa ait tüm vektörlerle birlikte) dengelenmesiyle, ağ parametreleri için, istatistiksel olarak en olası değerlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır.



GPS ağlarının dengelenmesiyle ilgili model,

$$L_a = [l_{1a}, l_{2a}, \dots, l_{na}]^T \quad (\text{Dengelenmiş gözlemler}),$$

$$X_a = [x_{1a}, x_{2a}, \dots, x_{ua}]^T \quad (\text{Dengelenmiş parametreler}) \text{ ve}$$

$n =$  Gözlem sayısı

$u =$  Bilinmeyen sayısı

olmak üzere,

$$L_a = F(X_a) \quad (3.21)$$

eşitliği ile verilir. (3.21) eşitliği Taylor serisine açılıp 2. ve daha yüksek dereceden terimler ihmal edilirse,

$$L_a = L_b + V = F(X_0) + \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_1} \Delta X_1 + \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_2} \Delta X_2 + \dots + \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_u} \Delta X_u \quad (3.22)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte,

$$L_b = [L_{1b}, L_{2b}, \dots, L_{nb}]^T \quad (\text{Ölçülen baz vektörlerini}),$$

$$V = [V_1, V_2, \dots, V_n]^T \quad (\text{Ölçülen baz vektörlerine getirilecek düzeltmeleri}),$$

$$X_0 = [X_{10}, X_{20}, \dots, X_{u0}]^T \quad (\text{Bilinmeyenlerin yaklaşık koordinatlarını})$$

gösterir. (3.22) eşitliğinde kısmi türevlerin katsayıları, ( $X_a = X_0$ ) değerleri için hesaplanır. Söz konusu eşitliği matris formunda gösterecek olursak,

$$L_0 = F(X_0) = [l_{10}, l_{20}, \dots, l_{n0}]^T$$

$X_0$  yaklaşık koordinatları kullanılarak hesaplanan yaklaşık gözlem vektörü

$$A = \left[ \begin{array}{cccc} \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_1} & \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_u} \end{array} \right]_{X_a = X_0} \quad \text{Katsayılar matrisi}$$

$$\Delta X = X_a - X_0 = [\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_u]^T$$

$X_a$  dengelenmiş parametre değerlerini hesaplamak için  $X_0$  yaklaşık değerlerine getirilen düzeltmeler

olmak üzere,

$$L_a = L_b + V = A \Delta X + L_0 \quad (3.23)$$

ya da,

$$V = A \Delta X + L \quad ; \quad L = L_0 - L_b \quad (3.24)$$

eşitliği ile verilir.

Ölçülen baz vektörlerinin ağırlık katsayıları matrisini oluşturan stokastik model,

$$P = \Sigma_{L_b}^{-1} \quad (3.25)$$

olmak üzere, kurulan matematik modelin en küçük kareler yöntemine göre çözülmesi ile ,

$$\Delta X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (3.26)$$

koordinat bilinmeyenlerinin yaklaşık değerlerine getirilecek düzeltmeler hesaplanır. Bu eşitlikten yararlanarak, koordinat bilinmeyenlerinin kesin dengelenmiş değerleri  $X_a$ ,

$$X_a = X_0 + \Delta X \quad (3.27)$$

baz vektörlerinin bileşenlerine getirilen düzeltmeler  $V$ ,

$$V = A \Delta X + L \quad (3.28)$$

baz vektörlerinin dengelenmiş kesin değerleri  $L_a$ ,

$$L_a = L_b + V \quad (3.29)$$

dengeleme sonucunda, birim ağırlıklı ölçünün varyansı  $\sigma_o^2$ ,

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - u}} \quad (3.30)$$

eşitlikleri ile bulunurlar (Eren ve Uzel 1995). Bulunan bu standart sapma  $\sigma_o$  ile ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi  $Q_{XYZ} = N^+$ 'dan yararlanarak, koordinat bilinmeyenlerinin dengelenmiş değerlerinin ortalama hataları  $\sigma$ ,

jeodezik dik koordinatlara göre,

$$\sigma_x = \sigma_o (q_{xx})^{1/2} ; \quad \sigma_y = \sigma_o (q_{yy})^{1/2} ; \quad \sigma_z = \sigma_o (q_{zz})^{1/2} \quad (3.31)$$

jeodezik eğri koordinatlara göre,

$$\sigma_\phi = \sigma_o (q_{\phi\phi})^{1/2} ; \quad \sigma_\lambda = \sigma_o (q_{\lambda\lambda})^{1/2} ; \quad \sigma_h = \sigma_o (q_{hh})^{1/2} \quad (3.32)$$

eşitliklerinden hesaplanırlar. Bu eşitliklerde verilen  $\sigma_\phi$ , ve  $\sigma_\lambda$  değerleri açı birimindedir. Noktaların konum hataları ise,

$$\sigma_P = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2 \quad (3.33)$$

eşitliği ile hesaplanır. Jeodezik eğri koordinatların model alınmasıyla çözüm gerçekleştirilirse  $\sigma_\phi$ , ve  $\sigma_\lambda$  değerleri uzunluk birimine dönüştürüldükten sonra,  $\sigma_P$  yine bu eşitlikle hesaplanabilir.

Üç boyutlu uzayda, GPS baz vektörlerinin dengelenmesi sonucunda noktaların konum doğruluklarını tanımlayabilmek için, üç boyutlu Helmert hata elipsoidinden yararlanılır. Bunun için, hata elipsoidinin A, B, C, yarı eksen uzunlukları,

$$\begin{aligned} a &= -(q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}) \\ b &= q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}q_{XX} + q_{YY}q_{ZZ} - q_{XY}^2 - q_{XZ}^2 - q_{YZ}^2 \\ c &= q_{XX}q_{YZ}^2 + q_{YY}q_{XZ}^2 + q_{ZZ}q_{XY}^2 - q_{XX}q_{YY}q_{ZZ} - 2q_{XY}q_{XZ}q_{YZ} \\ p &= b - \frac{a^2}{3} \\ q &= c - \frac{ab}{3} + \frac{2a^3}{27} \\ \text{Cos}(3\phi) &= \frac{q}{2[-(p/3)^3]^{1/2}} \end{aligned} \quad (3.34)$$

olmak üzere,

$$\begin{aligned} \lambda_A &= 2[-(p-3)]^{1/2} \text{Cos}\phi - (a/3) \\ \lambda_B &= 2[-(p-3)]^{1/2} \text{Cos}(\phi + 120^\circ) - (a/3) \\ \lambda_C &= 2[-(p-3)]^{1/2} \text{Cos}(\phi + 240^\circ) - (a/3) \end{aligned} \quad (3.35)$$

eşitlikleri hesaplanır. Bu değerler kullanılarak elipsoidin yarı eksen uzunlukları da,

$$A = \sigma_o(\lambda_A)^{1/2} ; \quad B = \sigma_o(\lambda_B)^{1/2} ; \quad C = \sigma_o(\lambda_C)^{1/2} \quad (3.36)$$

eşitliklerinden elde edilirler (Şimşek 1994).

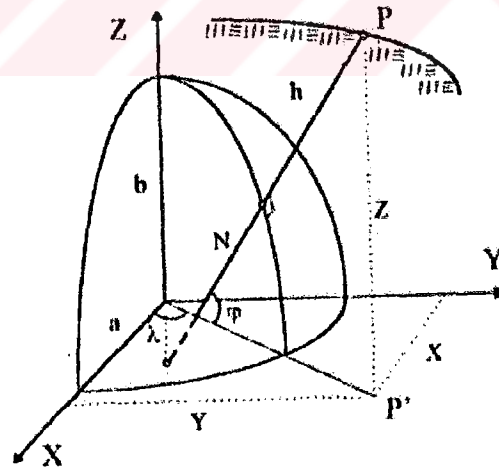
## 4. GPS SONUÇLARININ TRANSFORMASYONU

GPS' in referans sistemi WGS-84 (World Geodetic System 1984) tür. GPS kullanıldığında, yeryüzündeki noktalara ilişkin koordinatlar bu sistemde elde edilir. Ancak, pratikte bu noktaların koordinatlarının global bir sistemde olması istenmez. Ve bu koordinatlar ya jeodezik (elipsoidal) koordinatlar, ya plan koordinatlar yada diğer yersel verileri içeren vektörler gibi lokal bir sistemde belirlenirler. Sonuç olarak WGS-84 geosentrik bir sistem olduğu ve lokal bir sistem olmadığı için çoğunlukla transformasyon gerekir (Hofmann ve ark. 1992)

### 4.1. Koordinat Transformasyonu

#### 4.1.1. Kartezyen koordinatlar ve elipsoidal koordinatlar

WGS-84 datumunda uydu gözlemleri, yer merkezli kartezyen koordinatlar  $X, Y, Z$  ile belirlenebileceği gibi yine aynı datumda elipsoidal koordinatlar enlem ( $\varphi$ ), boylam ( $\lambda$ ) ve yükseklik ( $h$ ) ile de belirlenebilirler (Şekil 4.1).



Şekil 4.1, Kartezyen koordinatlar  $X, Y, Z$  ve elipsoidal koordinatlar  $\varphi, \lambda, h$

Bu iki koordinat sistemi arasında;

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= \left( \frac{b^2}{a^2} N + h \right) \sin \varphi \end{aligned} \quad (4.1)$$

eşitlikleri geçerli olur. Elipsoidal koordinatları dik koordinatlar cinsinden ifade edecek olursak,

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= Z(N + h) / \left[ (X^2 + Y^2)^{1/2} (N(1 - e^2) + h) \right] \\ \tan \lambda &= \frac{Y}{X} \quad ; \quad h = (X^2 + Y^2)^{1/2} \operatorname{Sec} \varphi - N \end{aligned} \quad (4.2)$$

eşitlikleri geçerli olur. Burada, a ve b elipsoidin yarı eksenleri olmak üzere,

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \text{ meridyene dik doğrultudaki eğrilik yarıçapını, } e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2}$$

ise, birinci eksentrisiteyi gösterir.

#### 4.1.2. Elipsoidal koordinatlar ve düzlem koordinatlar

WGS -84 elipsoidinin parametreleri;

$$\begin{aligned} a &= 6378137.0000 \text{ m} & 1/f &= 1/298.257223563 \\ b &= 6356752.3141 \text{ m} & e^2 &= 0.00669437999013 \\ c &= 6399593.6258 \text{ m} & e'^2 &= 0.00673949674227 \end{aligned}$$

olarak verilir. WGS-84 elipsoidine göre enlemi  $\varphi$  ve boylamı  $\lambda$  olan noktanın Gauss-Kruger projeksiyonunda sağa ve yukarı değerlerini hesaplamak için,

$$\begin{aligned} \eta^2 &= e^2 \cos^2 \varphi & V^2 &= 1 + \eta^2 = 1 + e^2 \cos^2 \varphi \\ t &= \tan \varphi & N &= \frac{c}{V} \end{aligned} \quad (4.3)$$

olmak üzere,

$$\begin{aligned}
 a_1 &= N \cos \varphi \\
 a_2 &= -\frac{1}{2} N t \cos^2 \varphi \\
 a_3 &= -\frac{1}{6} N \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2) \\
 a_4 &= \frac{1}{24} N t \cos^4 \varphi (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \\
 a_5 &= \frac{1}{120} N \cos^5 \varphi (5 - 18t^2 + t^4)
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

katsayıları hesaplanır. WGS-84 elipsoidi üzerinde enlemi  $\varphi$  olan bir noktaya kadar ekvator dan itibaren meridyen yayı uzunluğu yukarıda verilen parametrelerle,

$$\begin{aligned}
 G &= 111132.95239262 \varphi^0 - 16038.5158302 \sin 2\varphi + 16.83085065 \sin 4\varphi \\
 &\quad - 0.02231936 \sin 6\varphi
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte birinci terimde  $\varphi$  enlemi derece biriminde alınacaktır.  $\lambda$  noktanın boylamı ve  $\lambda_0$  Gauss-Kruger projeksiyonunda dilim orta meridyeni boylamı olmak üzere,

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \tag{4.6}$$

denilirse,

$$\begin{aligned}
 X_g &= G + \Delta x = G - a_2 \Delta\lambda^2 + a_4 \Delta\lambda^4 + \dots \\
 Y_g &= a_1 \Delta\lambda - a_3 \Delta\lambda^3 + a_5 \Delta\lambda^5 + \dots
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

elde edilir. Noktanın sağa ve yukarı değerleri ,

$$\begin{aligned}
 \text{Sağa Değer} &= 500\,000 + m_0 \cdot Y_g \\
 \text{Yukarı Değer} &= m_0 \cdot X_g
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

eşitlikleri ile bulunur. 3 derecelik dilim için  $m_0=1$ , 6 derecelik dilim içinse  $m_0=0.9996$  alınır (Arslan 1997).

## 4.2. GPS Koordinatlarından Ülke Koordinatlarına Dönüşüm

GPS ile ölçme yapılan noktaların WGS-84 sisteminde X, Y, Z dik koordinatları ve WGS-84 elipsoidine göre enlem, boylam ve yükseklikleri elde edilmektedir. GPS ölçmeleri ile bulunan bu koordinatların ülke koordinat sistemine dönüştürülebilmesi için, çalışma alanı içerisinde ve çevresinde homojen olarak dağılmış, ülke sisteminde koordinatları bilinen yeterli sayıda noktada GPS ölçmeleri yapıp, bu noktaların WGS-84 sistemindeki koordinatlarının bulunması gerekir. Her iki sistemde bilinen bu koordinatlarla WGS-84 sisteminden ülke sistemine dönüşüm parametreleri hesaplanır. Bu parametreler yardımı ile yeni noktaların WGS-84 datumunda bulunan koordinatları ülke sistemine dönüştürülür.

GPS sisteminden ülke sistemine dönüşüm iki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü veya üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile gerçekleştirilebilir (Arslan 1997).

### 4.2.1. İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü

GPS sisteminden ülke sistemine iki boyutlu dönüşümü gerçekleştirebilmek için önce, GPS ölçmeleri değerlendirilerek WGS-84 elipsoidine göre elde edilen elipsoidal enlem ve boylam değerlerinden, WGS-84 elipsoidinin parametreleri ile Gauss-Kruger projeksiyonunda noktaların sağa ve yukarı değerleri 4.1.1'de gösterildiği gibi hesaplanır. Eşlenik noktaların WGS-84 elipsoidine göre bulunan koordinatları ve ülke sisteminde verilen sağa-yukarı değerleri ile dönüşüm yapılır.

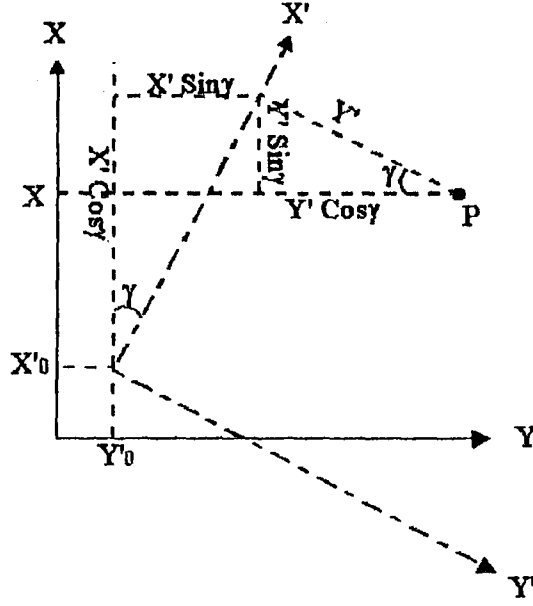
P noktasının birinci sistem koordinatlarına  $(X', Y')$  ve ikinci sistem koordinatlarına  $(X, Y)$  denilirse (şekil 4.2),  $\lambda$  ölçek katsayısı ve  $\gamma$  dönüklük olmak üzere dönüşüm eşitlikleri,

$$\begin{aligned} X &= X'_0 + \lambda X' \cos \gamma - \lambda Y' \sin \gamma \\ Y &= Y'_0 + \lambda X' \sin \gamma + \lambda Y' \cos \gamma \end{aligned} \quad (4.9)$$

şeklinde verilmektedir. Eşitlikte,

$$X'_0 = k_{01}, \quad Y'_0 = k_{02}, \quad \lambda \cos \gamma = k_{11}, \quad \lambda \sin \gamma = k_{12} \quad (4.10)$$

denirse,



Şekil 4.2, İki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü

$$\begin{aligned} X &= k_{01} + X'k_{11} - Y'k_{12}, & Y &= k_{02} + X'k_{12} + Y'k_{11} \\ \lambda &= \sqrt{k_{11}^2 + k_{12}^2}, & \text{Tan } \gamma &= \frac{k_{12}}{k_{11}} \end{aligned} \quad (4.11)$$

olur. Burada  $k_{01}$ ,  $k_{02}$ ,  $k_{11}$ ,  $k_{12}$  belirlenmek istenilen dönüşüm parametrelidir. Bu parametrelerin belirlenmesi için iki eşlenik nokta gerekir. İki den fazla eşlenik nokta varsa, 2. Sistem koordinatları ölçü varsayılarak “dengeleme” yapılır. Bu durumda  $i=1, 2, 3, \dots, n$  sayıda eşlenik nokta olmak üzere düzeltme denklemleri,

$$\begin{aligned} V_{X_i} &= k_{01} + X'_i k_{11} - Y'_i k_{12} - X_i \\ V_{Y_i} &= k_{02} + Y'_i k_{11} + X'_i k_{12} - Y_i \end{aligned} \quad (4.12)$$

olur. Kolaylık sağlamak için,

$$X_s = \frac{[X]}{n}, \quad Y_s = \frac{[Y]}{n}, \quad X'_s = \frac{[X']}{n}, \quad Y'_s = \frac{[Y']}{n} \quad (4.13)$$

ağırlık merkezinin koordinatları ile,

$$\begin{aligned} \Delta X_i &= X_i - X_s, & \Delta Y_i &= Y_i - Y_s, & S^2 &= \Delta X^2 + \Delta Y^2, \\ \Delta X'_i &= X'_i - X'_s, & \Delta Y'_i &= Y'_i - Y'_s, & S'^2 &= \Delta X'^2 + \Delta Y'^2 \end{aligned} \quad (4.14)$$



denirse dönüşüm katsayıları,

$$\begin{aligned} k_{11} &= \frac{[\Delta X \Delta X'] + [\Delta Y \Delta Y']}{[S'^2]} & k_{12} &= \frac{[\Delta X \Delta X'] - [\Delta Y \Delta Y']}{[S'^2]} \\ k_{01} &= X_s - X'_s k_{11} + Y'_s k_{12} & k_{02} &= Y_s - Y'_s k_{11} - X'_s k_{12} \end{aligned} \quad (4.15)$$

olarak elde edilir.

Kontrol için,

$$\begin{aligned} [V_x] &= 0, & [V_y] &= 0 \\ [VV] &= [V_x^2] + [V_y^2] = [S^2] - [S'^2](k_{11}^2 + k_{12}^2) = [S^2] - [S'^2]\lambda^2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

olmalıdır. Birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_o = \sqrt{\frac{[VV]}{2n - 4}} \quad (4.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşlenik noktalar dışında, yalnız 1.sitemde koordinatları verilen bir  $P_k$  noktasının 2.sistemdeki koordinatları, dengeleme ile bulunan dönüşüm katsayıları ile,

$$\begin{aligned} X_k &= k_{01} + X'_k k_{11} - Y'_k k_{12} \\ Y_k &= k_{02} + Y'_k k_{11} + X'_k k_{12} \end{aligned} \quad (4.18)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Dönüşümle bulunan bu koordinatların karesel ortalama hataları,

$$m_{x_i} = m_{y_i} = \pm m_o \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{S'_k{}^2}{[S'^2]}} \quad (4.19)$$

ve ortalama konum hataları ise,

$$m_p = \pm \sqrt{m_{x_k}^2 + m_{y_k}^2} = \pm m_o \sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{S'_k{}^2}{[S'^2]}} \quad (4.20)$$

dir. Eşitliklerde  $[S'^2]$  eşlenik noktaların ağırlık merkezine uzaklıklarının kareleri toplamı,  $S'_k$  ise eşlenik olmayan  $P_k$  noktasının ağırlık merkezine olan uzaklığıdır.

#### 4.2.2. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü

WGS-84 datumunda elde edilen üç boyutlu dik koordinatları  $uvw$  ile, dönüşümün yapılacağı ED50 datumundaki dik koordinatları da  $xyz$  ile gösterecek olursak, dönüşüm  $uvw$  sisteminden  $xyz$  sistemine yapılacaktır.  $uvw$  koordinatları GPS ölçmeleri ile belirlenirken, ikinci sistemdeki  $xyz$  dik koordinatları, ülke sisteminde Hayford elipsoidine göre verilen enlem, boylam ve yükseklik değerleri kullanılarak (4.1) eşitlikleri ile hesaplanır.

Bu eşitliklerde geçen  $h$  elipsoidal yükseklikleri ile ortometrik yükseklikler  $H$  ve jeoid yükseklikleri  $N$  arasında,

$$h=H+N \quad (4.21)$$

bağıntısı geçerlidir. Noktaların ortometrik yükseklikleri nivelmanla bulunurken, elipsoidal yüksekliklerin bulunabilmesi için her noktada jeoid yüksekliklerinin bilinmesi gerekir. Bu da sözkonusu bölgede jeoidin yeterli doğrulukla belirlenmiş olmasını gerektirir. Şayet jeoid belli değilse,  $h$  elipsoidal yükseklikleri yerine  $H$  ortometrik yüksekliklerinin alınmasıyla hesaplanacak  $X, Y$  ve  $Z$  dik koordinatları bir miktar hatalı olur.

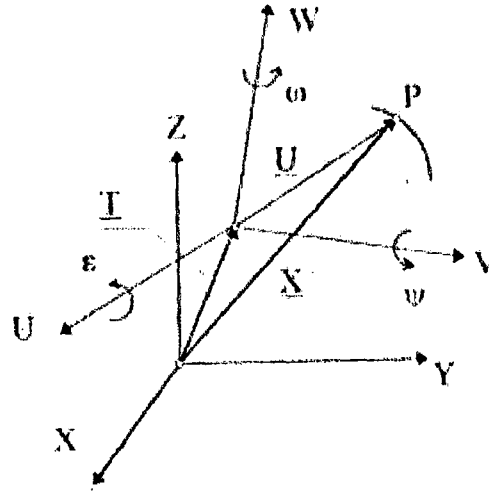
Benzerlik dönüşümü, ağ noktalarının görelî konumlarının dönüşümden sonrada korunması temeline dayanır. Bir  $P$  noktasının koordinat vektörü  $xyz$  sisteminde  $\underline{x}$  ve  $uvw$  sisteminde  $\underline{u}$  ise iki sistem arasındaki dönüşüm (şekil 4.3),

$$\underline{x} = \underline{t} + (1+\Delta) \underline{R} \underline{u} \quad \text{yada,} \quad (4.22)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_I = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1+\Delta) \underline{R}_1(\epsilon) \underline{R}_2(\psi) \underline{R}_3(\omega) \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{II} \quad (4.23)$$

eşitliği ile verilir. Burada,

- $\underline{t} = [(x-u), (y-v), (z-w)]^T = [t_x, t_y, t_z]^T$  :  $uvw$  sisteminin başlangıç noktasının  $xyz$  sistemindeki koordinatları (Öteleme parametreleri)
- $1+\Delta$  : İki koordinat sistemi arasındaki ölçek farkı,
- $\underline{R}$  :  $u, v, w$  eksenleri etrafındaki pozitif ( $\epsilon, \psi, \omega$ ) dönüklük açılarına bağlı dönüklük matrisidir.



Şekil 4.3, Üç boyutlu benzerlik dönüşümü

$\underline{R}$  dönüklük matrisi u, v, w eksenleri etrafındaki  $(\epsilon, \psi, \omega)$  dönüklük açılarının dönüşüm etkilerini gösteren,

$$\underline{R}_1(\epsilon) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon & \sin \epsilon \\ 0 & -\sin \epsilon & \cos \epsilon \end{bmatrix} ; \quad \underline{R}_2(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix}$$

$$\underline{R}_3(\omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & \sin \omega & 0 \\ -\sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

dönüklük matrislerinin sıra ile çarpımlarına eşittir. Burada  $\underline{R}$ ;

$$\underline{R} = \underline{R}_3(\omega) \underline{R}_2(\psi) \underline{R}_1(\epsilon) \quad (4.25)$$

ve

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \omega & \cos \epsilon \sin \omega + \sin \epsilon \sin \psi \cos \omega & \sin \epsilon \sin \omega - \cos \epsilon \sin \psi \cos \omega \\ -\cos \psi \sin \omega & \cos \epsilon \cos \omega - \sin \epsilon \sin \psi \sin \omega & \sin \epsilon \cos \omega + \cos \epsilon \sin \psi \sin \omega \\ \sin \psi & -\sin \epsilon \cos \psi & \cos \epsilon \cos \psi \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. Dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için yukarıda açıklanan yedi dönüşüm parametresinin bilinmesi gerekir. Her iki sistemde koordinatları bilinen en

az üç ortak nokta varsa söz konusu parametreler en küçük kareler yöntemiyle kestirilebilir.

Dönüklük açılarının çok küçük olması durumunda (4.25) de verilen dönüklük matrisi  $\underline{R}$ ,

$$\begin{aligned} \cos\varepsilon &\cong \cos\Psi \cong \cos\omega \cong 1 \\ \sin\varepsilon &\cong \varepsilon \\ \sin\Psi &\cong \Psi \\ \sin\omega &\cong \omega \\ \sin\varepsilon \sin\Psi &\cong \sin\varepsilon \sin\omega \cong \sin\Psi \sin\omega \cong 0 \end{aligned} \quad (4.26)$$

nedeniyle,

$$\underline{R} = \underline{I} + \underline{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega & -\Psi \\ -\omega & 0 & \varepsilon \\ \Psi & \varepsilon & 0 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

eşitliği ile verilebilir. (4.27) eşitliği (4.22) 'de yerine yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_I = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1 + \Delta) \begin{bmatrix} 1 & \omega & -\Psi \\ -\omega & 1 & \varepsilon \\ \Psi & -\varepsilon & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{II} \quad (4.28)$$

olur. Bu eşitlik açık bir şekilde yazılırsa,

$$\begin{aligned} x_i &= t_x + (1 + \Delta)(u_i + \omega v_i - \Psi w_i) \\ y_i &= t_y + (1 + \Delta)(-\omega u_i + v_i - \varepsilon w_i) \\ z_i &= t_z + (1 + \Delta)(\Psi u_i - \varepsilon v_i + w_i) \end{aligned} \quad (4.29)$$

eşitlikleri elde edilir. (4.29)' da geçen  $\underline{u}$  ve  $\underline{x}$  koordinatları düzeltilmesi gereken büyüklükler olarak kabul edilir ve bunların yerine dengeli koordinatlar yazılırsa, aralarında bilinmeyenlerinde bulunduğu koşullu ölçüler dengelemesinin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_U \\ V_V \\ V_W \\ V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & U & 0 & -W & V \\ 0 & 1 & 0 & V & W & 0 & -U \\ 0 & 0 & 1 & W & -V & U & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \\ \Delta \\ \varepsilon \\ \Psi \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U-X \\ V-Y \\ W-Z \end{bmatrix} = 0 \quad (4.30)$$

elde edilir. Tüm eşlenik noktalara ilişkin koşul denklemleri (4.30)' benzer biçimde yazılır. Oluşturulan fonksiyonel modele koşullu ölçüler dengelemesinin çözüm eşitlikleri uygulanarak, bilinmeyen dönüşüm parametreleri ve dengeli koordinatlar bulunur (Üstün 1996).

## 5. AĞ DENGELMESİ VE İSTATİKSEL TESTLER

### 5.1. En Küçük Kareler Yöntemine Göre Ağ Dengelemesi

En küçük kareler yöntemine göre dengeleme hesabının amacı, gereğinden fazla sayıda yapılmış ölçülerden faydalanarak bilinmeyenlerin “Kesin Değer” ya da “Dengeli Değer” diye adlandırılan en uygun değerlerini belirlemek, ölçülerin, kesin değerlerinin yada bunların fonksiyonlarının “Duyarlıklarını” ve “Güvenilirliklerini” saptamaktır.

Klasik ağ dengelemesinde ölçü olarak doğrultular ve kenarlar söz konusu olduğundan, bu ölçülere ait düzeltme denklemleri dikkate alınarak dengelemenin matematiksel modeli oluşturulur.

#### 5.1.1. Ölçü ağırlıklarının saptanması

Ana, ara ve tamamlayıcı nirengi doğrultularının her biri gruplar halinde ele alınarak bunların ortalama hatalarının öncül değerleri, üçgen kapanmalarından,

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[WW]}{6n_d}} \quad (\text{Ferrero Bağıntısı}) \quad (5.1)$$

$n_d$  : Üçgen sayısı

eşitliği ile bulunabilir. Ölçü duyarlıklarının karelerinin, gözlemlerin silsile sayıları ile orantılı oldukları düşünülürse, ana nirengi ağına ilişkin doğrultuların ortalama hatası  $m_o$ , Ferrero hesaplandıktan sonra diğer grupların ağırlıkları,

$$\frac{m_o^2}{m_d^2} = \frac{p_d}{p_o} = \frac{n_d}{n_o} \quad (5.2)$$

$m_o, n_o, p_o$  : Ana nirengi doğrultularının sırasıyla duyarlıkları, dizi sayıları ve ağırlıkları,

$m_d, n_d, p_d$  : Diğer bir doğrultu grubunun sırasıyla duyarlıkları, dizi sayıları ve ağırlıkları,

eşitliğinden elde edilebilir.

Elektronik uzaklık ölçerlerle ölçülen uzunlukların ortalama hatalarının öncül değerleri, eldeki aletlerle aynı koşullarda daha önceden yapılan ölçülerin

duyarlıklarından ya da aletlerin el kitaplarında verilen bağıntılardan yararlanarak saptanabilir. Dengeleme hesabı sonucunda hesaplanacak düzeltmelerin birimleri, gözlenen doğrultular için (cc), ölçülen kenarlar için (cm) seçilerek ölçülerin ağırlıkları,

$$P=1 \quad (\text{Ana nirengi doğrultuları için})$$

$$P_s = \frac{m_o^2}{m_s^2} \left[ \frac{(cc)^2}{(cm)^2} \right] \quad (\text{Ölçülen uzunluklar için}) \quad (5.3)$$

olarak alınır veya hesaplanırlar.

### 5.1.2. Düzeltme denklemlerinin oluşturulması

Bir durak noktasında gözlenen doğrultular için kurulacak düzeltme denklemi,

$$V_{ik} = -dz_i - a_{ik} dx_i - b_{ik} dy_i + a_{ik} dx_k + b_{ik} dy_k - \ell_{ik} \quad (5.4)$$

eşitliği ile verilir. Bu düzeltme denkleminde,

i: İstasyon noktasının numarası

k: Bakılan nokta numarası

n<sub>i</sub>: İstasyon noktasında gözlenen doğrultu sayısı

dz<sub>i</sub>: Durak noktasındaki yöneltme bilinmeyenini olmak üzere

$$-\ell_{ik} = t_{ik}^o - r_{ik} - Z_i^o$$

$$t_{ik}^o = \text{Arctan} \frac{y_k^o - y_i^o}{x_k^o - x_i^o} \quad ; \quad S_{ik}^o = \sqrt{(x_k^o - x_i^o)^2 + (y_k^o - y_i^o)^2}$$

$$a_{ik} = -\frac{\text{Sint}_{ik}}{S_{ik}} 6366.20 \quad ; \quad b_{ik} = \frac{\text{Cost}_{ik}}{S_{ik}} 6366.20 \quad ; \quad Z_i^o = \frac{[t_{ik} - r_{ik}]}{n_i} \quad (5.5)$$

dir. Ağırlık ise P<sub>i</sub> olur. Ölçülen uzunluk S<sub>ik</sub> nın düzeltmesi V<sub>ik</sub> ile gösterilirse, düzeltme denklemi,  $-\ell_{ik} = S_{ik}^o - S_{ik(\text{ölç})}$  olmak üzere,

$$V_{ik} = -\text{Cost}_{oik} dx_i - \text{Sint}_{oik} dy_i + \text{Cost}_{oik} dx_k + \text{Sint}_{oik} dy_k - \ell_{ik} \quad (5.6)$$

ile verilir (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

### 5.1.3. Dengeleme

Kısaltılmış ölçüler (düzeltme denklemlerinde  $l$  değerleri)  $l$  vektörü, bilinmeyenler  $X$  vektörü, bilinmeyenlerin katsayılar matrisi  $A$ , düzeltmeler vektörü  $V$  ve ağırlıklar  $P$  köşegen matris ile gösterildiğinde dengelemenin matematik modeli,

$$\begin{array}{ll} \underline{V} = \underline{A}\underline{X} - \underline{l} & \underline{P} = \underline{Q}_{\ell\ell}^{-1} \quad \underline{K}_{\ell\ell} = s_0^2 \underline{Q}_{\ell\ell} \\ \text{Fonksiyonel model} & \text{Stokastik model} \end{array} \quad (5.7)$$

şeklinde biçimlendirilir. Buradan Gauss' un en küçük kareler ilkesine göre kurulan, normal denklemler,

$$\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} - \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} = 0 \quad (5.8)$$

eşitliğinden elde edilir. Dayalı ağ dengelemesinde çözüm vektörü,

$$\underline{Q}_{xx} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \quad ; \quad \underline{X} = \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} \quad (5.9)$$

olarak elde edilir. Serbest dengelemede (tüm nokta koordinatları bilinmeyen olarak)  $\underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$  matrisinin tersi alınamaz.  $\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$  matrisi tekildir. Bu durumda  $\underline{V} = \underline{A} \underline{X} - \underline{l}$  düzeltme denklemlerinde  $X$  bilinmeyenlerinin  $\underline{V}^T \underline{P} \underline{V} = \min$  yapması yanında,

$$\underline{B} \underline{X} = 0 \quad (5.10)$$

koşulunu da gerçekleştirilmesi istenir. Bu koşul  $\underline{X}^T \underline{X} = \min$  olacak şekilde kurulursa,  $\underline{B}$  matrisi  $u$  sayıdaki yaklaşık koordinatlarla;

$$\varepsilon_i = \frac{Y_i}{\sqrt{[X^2 + Y^2]}} \quad ; \quad \eta_i = \frac{X_i}{\sqrt{[X^2 + Y^2]}} \quad \text{olmak üzere,}$$



$$\underline{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{u/2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{u/2}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{u/2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{u/2}} \\ -\varepsilon_1 & \eta_1 & -\varepsilon_2 & \eta_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \eta_1 & -\varepsilon_1 & \eta_2 & -\varepsilon_2 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

(son sütun açılı kenar ağırlarında alınmaz)

şeklinde elde edilir. K Lagrange bilinmeyenleri ile normal denklemler ise,

$$\begin{bmatrix} \underline{N} & \underline{B}^T \\ \underline{B} & \underline{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{X} \\ \underline{K} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \\ \underline{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \\ \underline{0} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

ve çözüm vektörleride,

$$\begin{bmatrix} \underline{X} \\ \underline{K} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{N} & \underline{B}^T \\ \underline{B} & \underline{0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \\ \underline{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{N}^+ & \underline{B}(\underline{B}\underline{B}^T)^{-1} \\ (\underline{B}\underline{B}^T)^{-1}\underline{B} & \underline{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \\ \underline{0} \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

olur. Burada,

$$\begin{aligned} \underline{N}^+ &= (\underline{N} + \underline{B}^T \underline{B})^{-1} - \underline{B}^T \underline{B} \\ \underline{X} &= \underline{N}^+ \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} = \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \end{aligned} \quad (5.14)$$

dir.  $\underline{V} = \underline{A} \underline{X} - \underline{\ell}$  düzeltme denkleminde  $\underline{X}$  yerine karşılığı konursa,

$$\begin{aligned} \underline{V} &= (\underline{A} \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} - \underline{I}) \underline{\ell} \\ \hat{\underline{\ell}} &= \underline{\ell} + \underline{V} = \underline{A} \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \end{aligned} \quad (5.15)$$

olur. Ağırlık katsayıları matrisleri ise,

$$\begin{aligned} \underline{Q}_{xx} &= (\underline{N}^+) \\ \underline{Q}_{\hat{\underline{u}}} &= (\underline{A} \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T) \\ \underline{Q}_{\underline{w}} &= (\underline{P}^{-1} - \underline{A} \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T) = (\underline{Q}_{\underline{u}} - \underline{Q}_{\hat{\underline{u}}}) \end{aligned} \quad (5.16)$$

olacaktır. Birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_o = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - q}} \quad (5.17)$$

dir. Burada n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı olmak üzere açı ağlarında  $q=u-4$ , kenar ve açı-kenar ağlarında  $q=u-3$  dür (B.Ö.H.Y.Y. 1989).

## 5.2. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ve Güvenirlik Ölçütleri

### 5.2.1. Duyarlık Ölçütleri

Bir jeodezik ağın duyarlığına ilişkin bilgilerin tümü, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrislerinde depolanmıştır. Varyans-kovaryans matrislerinin ana köşegen elemanlarının toplamı ile oluşturulan,

$$iz(\underline{K}_{xx}) = m_o^2 \cdot iz(\underline{Q}_{xx}) = m_o^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{2p}) = m_o^2 \sum_{i=1}^{2p} \lambda_i \quad (5.18)$$

$$m_x, m_y = \sqrt{\frac{iz(\underline{K}_{xx})}{2p}} = m_o \sqrt{\frac{iz(\underline{Q}_{xx})}{2p}} \quad (5.19)$$

değerleri ağın tamamı için tanımlanan duyarlık ölçütleridir.  $\lambda_i$ , ters ağırlık matrisi  $\underline{Q}_{xx}$ 'in özdeğerleri eşitliklerinden bulunur.

İki boyutlu ağlarda, genellikle noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri kullanılır. Bunlar yardımı ile ağ noktalarının duyarlıkları hakkında bir yargıya varılır.

Bir  $P_i$  noktasının koordinat duyarlılığı,

$$m_{x_i} = m_o \sqrt{Q_{x_i x_i}} \quad ; \quad m_{y_i} = m_o \sqrt{Q_{y_i y_i}} \quad (5.20)$$

konum hatası,

$$m_{P_i} = \sqrt{m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2} \quad (5.21)$$

eşitlikleri ile verilir.

Noktalara ilişkin duyarlık alanları da bir ağın niteliğini değerlendirmede kullanılır. Bu alanlar geometrik olarak açıklanabilir ve kolayca yorumlanabilir. Duyarlık alanlarını belirleyen, noktalara ilişkin Helmert hata elipsinin parametreleri,

$$\begin{aligned}
 q &= \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2} \\
 A_i &= m_0 \sqrt{(Q_{xx} + Q_{yy} + q)/2} && \text{(Hata elipsi büyük eksen)} \\
 B_i &= m_0 \sqrt{(Q_{xx} + Q_{yy} - q)/2} && \text{(Hata elipsi küçük eksen)} \\
 \theta &= \frac{1}{2} \text{Arctan} \left( \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \right) && \text{(Büyük eksenin açıklığı)}
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

eşitlikleri ile verilmektedir.

### 5.2.2. Güven ölçütleri

Jeodezik ağların kalitesini gösteren duyarlık ölçütleri, dengeleme modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçeğe uygun bilgi verirler. Buna karşın ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri gösteren fonksiyonel modelin gerçeğe uygun olmaması ya da gözlemlerin birkaçında oluşan kaba yanlışlar veya ölçü ağırlıklarının hatalı seçilmesi gibi durumlarda model hataları ortaya çıkar. Bir ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin gerçeğe uygun olup olmadığı güven ölçüleri ile denetlenir.

#### İç güven ölçütü :

İç güven ölçütü, ölçülerin hatalar karşısında kontrol edilebilirliği anlamına gelmekte ve model hataları için belli bir test gücü ile anlamlı olarak kanıtlanabilecek en küçük sınır değerler olarak tanımlanmaktadır.

Bir ağdaki fazla ölçü sayısı (serbestlik derecesi),

$$r = [r_i] = \left[ (Q_w P)_i \right] = \text{iz} \{ Q_w P \} \tag{5.23}$$

eşitliği ile elde edilir. Toplam fazla ölçü sayısı içindeki  $r_i$  'ye kısmi fazla ölçü sayısı veya fazla ölçü sayısı payı adı verilir. Kısmi fazla ölçü sayıları bir ağın değerlendirilmesinde kullanılan önemli güvenilirlik ölçütleridir. Bunlar  $I_i$  ölçüsündeki

olası bir sistematik veya kaba hatanın, ölçünün  $V_i$  düzeltilmesi içindeki yansıma yüzdesini verirler.

Ölçülerin birbirlerini karşılıklı olarak iyi kontrol edebilmeleri için, iç güvenilirlik ölçütü olarak kısmi fazla ölçü sayılarının ( $r_i$ ) olabildiğince büyük ve homojen olması istenir. Ölçülerin kontrol edilebilirliği için  $r_i$  değeri,  $0.1 \leq r_i \leq 1$  arasında olmalıdır.  $0.3 \leq r_i \leq 1$  arasında ise ölçüler iyi kontrol ediliyor demektir.

#### Dış güven ölçütü:

Ortaya çıkarılamayan ölçü hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkileri ile açıklanır. Hangi büyüklükteki ölçü hatalarının öngörülen test gücüne bağlı olarak tanınabileceği iç güvenilirlik ölçütü ile, tanınamayan hataların dengeleme sonuçlarını ne ölçüde etkileyebilecekleri ise dış güvenilirlik ölçütü ile belirlenir.

İyi bir iç güvenilirlik, bütün ölçülerin dengeleme ile aynı ölçüde kontrol edilebilmesi, iyi bir dış güvenilirlik ise, ortaya çıkarılamayan hataların dengeleme sonuçlarına etkilerinin küçük olması ile sağlanır (Ersoy 1997).

### **5.3. İstatistiksel Testler**

#### **5.3.1. Model hipotezinin test edilmesi**

Fonksiyonel model ile stokastik model bağıntılarının, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ilişkilere ve fiziksel gerçeklere uyup uymadıkları, gözlemler arasındaki duyarlık ilişkilerini doğru ve tam olarak kapsayıp kapsamadıkları model hipotezinin testi yoluyla denetlenir.

Test için; Ana nirengi ağındaki gözlemlerin duyarlıklarını belirlemek ve matematik model hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılabilecek bir ön dengeleme yaparak hesaplanan yada üçgen kapanmalarından Ferrero bağıntısı ile bulunan birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri  $s_0$  ile ağın toplu dengeleme işlemi tamamlandıktan sonra düzeltmeler yardımıyla hesaplanan aynı ortalama hatanın soncul değeri  $m_0$  karşılaştırılır. Model hipotezi doğru ise,

$$\text{Sıfır hipotezi} \quad H_0 : E\{s_0^2\} = E\{m_0^2\} \quad (5.24)$$

bağıntısı geçerli olur ve  $m_0^2/s_0^2$  oranı merkezil F-Dağılımına uyar.

$$\frac{m_0^2}{s_0^2} = F_{f_m, f_s} \quad (5.25)$$

Burada  $f_m$ ,  $m_0$ 'ın hesaplandığı işlemlerdeki fazla ölçü sayısı,  $f_s$ 'de  $s_0$ 'ın hesaplarındaki serbestlik derecesidir.

Böylelikle model hipotezinin testi, farklı yollarla elde edilmiş deneysel standart sapma değerlerinin karşılaştırılmasına dönüşür.

Kurulan dengeleme modeli hatalı ise yukarıdaki ümit değer bağıntısı gerçekleşmez ve  $m_0^2/s_0^2$  oranı merkezil F-Dağılımına uymaz. Bunun anlamı da,

$$\frac{m_0^2}{s_0^2} > F_{f_m, f_s, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (F_{f_m, f_s, 1-\frac{\alpha}{2}}; \text{F-Dağılımı tablosundan}) \quad (5.26)$$

durumunda model hipotezi, seçilen  $\alpha (= \%5)$  kadar bir yanılma ile başka bir deyişle  $S=1-\alpha (= \%95)$  kadar bir istatistik güvenle geçersizdir. Bu geçersizliğin nedeni, ölçülerden birinde ya da birkaçında yapılan kaba yanılmalar olabileceği gibi ölçülerin yanlış indirgemeleri, aletlerin ayar hataları da geçersizliği oluşturabilirler.

### 5.3.2. Uyuşumsuz ölçü testi

Jeodezik ağda yapılan ölçü değerlerindeki kaba hataları tek tek ortaya çıkarmaya yarar. Bu hataların büyük bir bölümü, düzeltme denklemlerinin kurulması sırasında küçültülmüş ölçü değerlerinde kendini gösterirler ve ölçüler yenilenerek düzeltilirler. Buna karşın rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükteki sistematik hatalar, kolay fark edilemezler ve dengeleme hesabı sonucu bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkilerler.

Değişik yöntemler arasında Poppe yöntemine göre,  $q_{v,v_i}$ , (5.16 ) da verilen  $Q_{vv}$  matrisinin  $i$  inci köşegen terimi olmak üzere  $V_i$  (5.15 ) den hesaplanacak  $i$  inci düzeltme için,

$$T = \frac{V_i}{m_o \sqrt{q_{v,v_i}}} \quad (5.27)$$

test büyüklüğü,

$$C = \left( \frac{(n-q)F}{n-q-1+F} \right)^{1/2} \quad (5.28)$$

eşitliği ile hesaplanacak  $C$  ölçüt değerinden büyük çıkarsa,  $I_i$  ölçüsü uyuşumsuz sayılacaktır. Burada  $F$ , 1 ve  $n-q-1$  serbestlik derecelerinde  $F$  (Fisher) dağılımının  $(1-\alpha)^{1/n}$  test nivusunda fraktil değeridir. Genellikle  $\alpha=0.05$  alınır.  $n$  ölçü sayısı,  $u$  ilinmeyen sayısı olmak üzere açılışlarında  $q=u-4$ , kenar ve kenar-açı ağlarında  $q=u-3$  dür.

### 5.3.3. Verilen noktalar kümesinde uyuşum testi

Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra ağ tümünden serbest olarak dengelenir ve verilen noktalar için bu dengeleme ile yeni koordinatlar hesaplanır.

Bu koordinatlarla verilen koordinatlar arasında Helmert benzerlik dönüşümü yapılır. Verilen noktalar için serbest dengeleme ile bulunan koordinatlar  $X_i, Y_i$  ( $i=1,2, \dots, P$ ) ve verilen koordinatlar  $\bar{X}_i, \bar{Y}_i$  olmak üzere  $k_{01}, k_{02}, k_{11}, k_{12}$  dönüşüm katsayı bilinmeyenleri ile düzeltme denklemleri,

$$\begin{aligned} V_{Y_i} &= k_{01} + X_i k_{11} - Y_i k_{12} - \bar{X}_i \\ V_{X_i} &= k_{02} + Y_i k_{11} + X_i k_{12} - \bar{Y}_i \end{aligned} \quad (5.29)$$

olmaktadır.  $X_s = \frac{[X]}{P}$  ve benzer olarak  $Y_s, \bar{X}_s, \bar{Y}_s$  her iki sitemde eşlenik noktaların ağırlık merkezi koordinatları ve  $\Delta X_i = X_i - X_s$  ve benzer olarak  $\Delta Y_i, \Delta \bar{X}_i, \Delta \bar{Y}_i$

noktalarının ağırlık merkezine göre koordinatları olmak üzere, dönüşüm katsayıları, en küçük kareler yöntemine göre,

$$\begin{aligned} k_{11} &= [\Delta X \Delta \bar{X} + \Delta Y \Delta \bar{Y}] / [S^2], & k_{12} &= [\Delta X \Delta \bar{Y} - \Delta Y \Delta \bar{X}] / [S^2] \\ k_{01} &= \bar{X}_s - k_{11} \bar{X}_s + k_{12} \bar{Y}_s, & k_{02} &= \bar{Y}_s - k_{11} \bar{Y}_s - k_{12} \bar{X}_s \end{aligned} \quad (5.30)$$

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

$$\begin{aligned} \text{Ölçek katsayısı } \lambda &= \sqrt{k_{11}^2 + k_{12}^2} \\ \text{Dönüklük } \varphi &= \text{Arc tan } \frac{k_{12}}{k_{11}} \end{aligned} \quad (5.31)$$

ve birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_o = \sqrt{[VV] / (2P - 4)} \quad (5.32)$$

eşitlikleri ile verilir.

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

$$q_i = 1 - \frac{1}{P} - \frac{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}{[S^2]} \quad (5.33)$$

hesaplanır.

$$T = \sqrt{\frac{V_{x_i}^2 + V_{y_i}^2}{2m_o^2 q_i}} \quad (5.34)$$

test büyüklüğü  $\alpha=0.05$  yanılma olasılığı ile,

$$C = \sqrt{(P-2) \left(1 - \left(\frac{\alpha}{P}\right)^{1/(P-3)}\right)} \quad (5.35)$$

kritik değerden büyük çıkıyorsa, yani

$$T_i > C \quad (5.36)$$

için ilgili koordinat çifti uyuşumsuz sayılır.

Bir sonraki adımda uyuşumsuz koordinat çiftlerinin atılması, dönüşüm ve test işlemleri sırayla tekrarlanır. Bundan sonra ölçek uyuşumunu test etmek için,

$$T = \frac{(\lambda - 1)^2 [S^2]}{m_0^2} \quad (5.37)$$

test büyüklüğü, 1 ve  $(2p-4)$  serbestlik dereceli F (Fisher) dağılımında  $1-\alpha$  test nivosuna göre fraktil değeri,

$$F_{1-\alpha;1,(2P-4)}$$

ile karşılaştırılır.  $T > F$  oluyorsa, kenar ölçülerine göre belirlenen ölçek ile, verilen koordinatların tanımladığı ölçek arasında uyuşumsuzluk vardır (B.Ö.H.Y.Y. 1989). Bu durumda, kullanılan elektronik uzunluk ölçerin ayarı kontrol edilir, hesap yüzeyine indirgeme işlemleri gözden geçirilir ve uyuşumsuzluğun kaynağı saptanır. Varsa hatalar düzeltilir.



## 6. UYGULAMA

Uygulama alanı olarak, 1995 yılında Müsevitoğlu Mühendislik Ltd. Şt.'i tarafından tesis edilen ve yaklaşık 7x4 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayan Ortakaraören Ana Nirengi Ağı (üçüncü derece sıklaştırma noktaları) kullanılmıştır. Söz konusu ağ Seydişehir-Bozkır karayolunun 25. km'sinde yer alır. Ağdaki nokta sayısı 7 olup (3'ü bağlantı noktası) bunların 6 tanesinin zemin tesisi pilyedir.

### 6.1. Ağda Klasik Yöntemlerle Elde Edilen Ölçülerin İrdelenmesi Ve Dengeleme Sonuçları

Klasik yöntemle göre ölçümü sözkonusu Müh. Ltd. Şt.'i tarafından yapılan ağa ait doğrultu ve kenar ölçüleri, Seydişehir Kadastro Müdürlüğüyle irtibat kurularak buradan alınmıştır. Doğrultular (24 adet) Wild-T2 aleti ile sekiz silsile, kenarlar (2 adet) TOPCON DMS-3L (5 mm+3 ppm) E.U.Ö. ile karşılıklı olarak altışar kez ölçülmüştür.

Ortalama doğrultulara dayanılarak hesaplanan nirengi üçgen açısı kapanma hataları  $\pm 10.4''$ 'nin altındadır. Deniz yüzeyine indirgenmiş karşılıklı ölçü değerleri arasındaki farkın kenar uzunluklarına oranı ise sırasıyla 1/414862 (N.28-N.6), 1/433491 (N.27-N.30) dir.

#### 6.1.1. Ölçü ağırlıklarının belirlenmesi

Doğrultu ve kenar ölçüleri ile koordinat bilinmeyenleri arasındaki fonksiyonel ilişkiler, Gauss-Kruger projeksiyon düzleminde kurulur. Bu nedenle fiziksel yeryüzünde bulunan noktalar arasında yapılan doğrultu ve uzunluk gözlemleri dengelemeye girmeden önce (2.11) ve (2.12) eşitlikleri uyarınca projeksiyon düzlemine indirgenmiştir. Bu indirgenmiş değerlerden doğrultu ölçülerinin ortalama hatasının öncül değeri (5.1) eşitliği kullanılarak,

$$s_o = \pm \sqrt{\frac{[WW]}{6n_a}} = \sqrt{\frac{160.27}{6.6}} = \pm 2.10996''$$

elektronik uzaklık ölçerlerle ölçülen uzunlukların ortalama hatalarının öncül değerleri, aletin kullanım kılavuzunda verilen,  $m_s = \pm 5 + 3 \text{ppm}$  bağıntısından yararlanarak,

$$m_{S(28-6)} = \pm 13.71211 \text{ mm}$$

$$m_{S(27-30)} = \pm 12.80283 \text{ mm}$$

hesaplanmış ve ölçü ağırlıkları (5.3) eşitlikleri uyarınca, doğrultular için,

$$P=1$$

ölçülen uzunluklar için,

$$P_{S(28-6)} = \frac{s_o^2}{m_s^2} = \frac{2.10996^2}{1.371211^2} = 2.36778$$

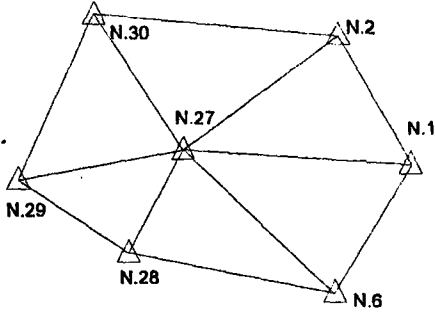
$$P_{S(27-30)} = 2.71605$$

olarak belirlenmiştir.

### 6.1.2. Serbest ağ dengelemesi

Klasik ağ dengelemesinde ölçü olarak doğrultular ve kenarlar söz konusu olduğundan, bu ölçülere ait düzeltme denklemleri (5.4) ve (5.6) eşitlikleri kullanılarak oluşturulmuş ve ağ en küçük kareler yöntemi ile serbest ağ dengelemesi yöntemine göre dengelenmiştir (EK-A). Dengelemeler sonucunda bulunan nokta koordinatları, ortalama hataları, konum hataları ve noktalara ait hata elipslerinin elemanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1, Klasik yöntemle elde edilen ölçülerle iki boyutlu konum ağı dengelemesi (Serbest Dengeleme)



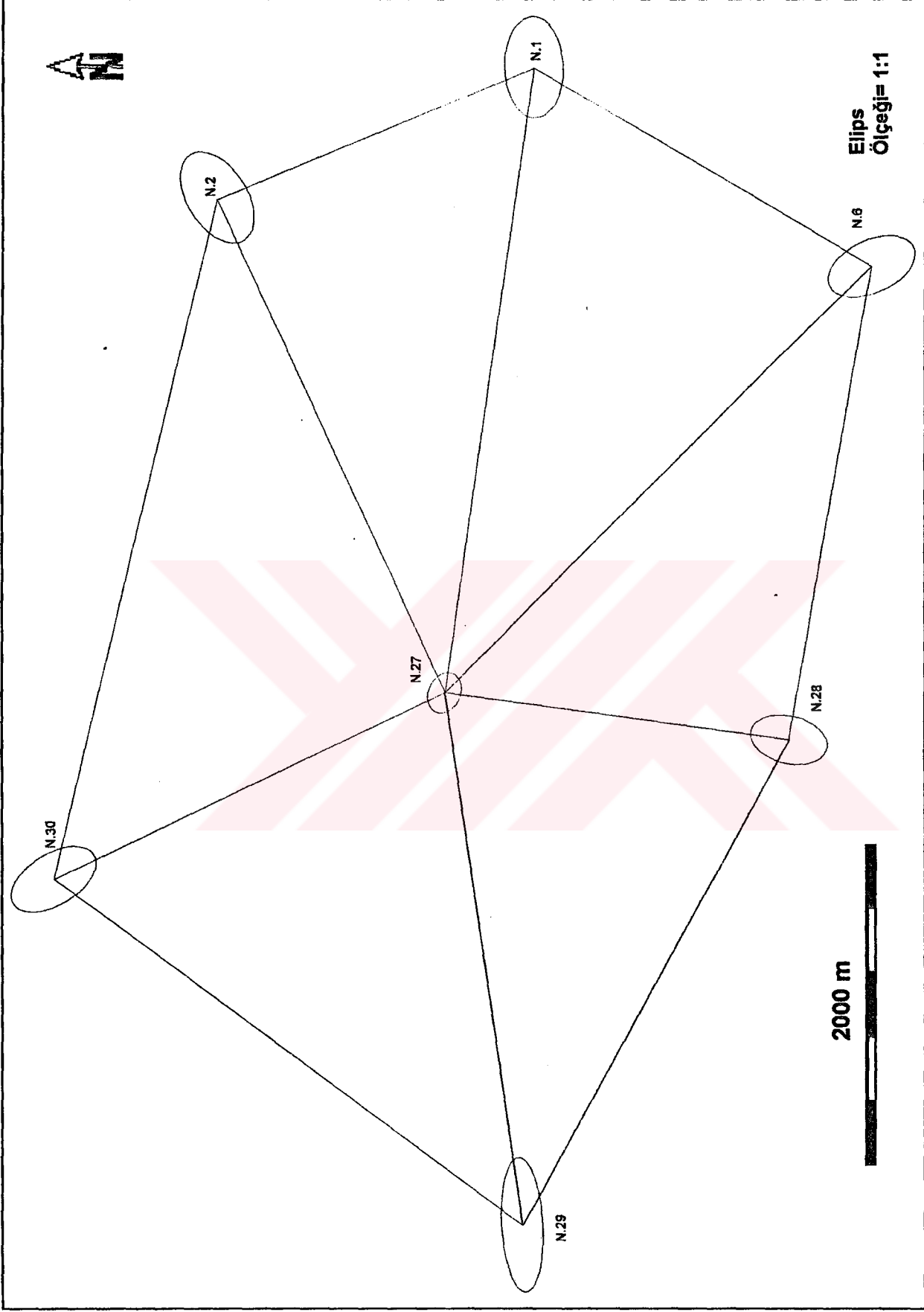
|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Ağıdaki toplam ölçü sayısı        | 26 |
| Ağıda ölçülen doğrultu sayısı     | 24 |
| Ağıda ölçülen kenar sayısı        | 2  |
| Ağıdaki nokta sayısı              | 7  |
| Ağıda hatasız alınan nokta sayısı | 0  |
| Ağıda alet kurulan nokta sayısı   | 7  |
| Ağıdaki bilinmeyen sayısı         | 14 |

$$[PVV] = 75.55188$$

$$m_0 = 3.07311^{cc}$$

### KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

| N.N | DX<br>(cm) | X=X <sub>0</sub> +DX | K.O.H<br>m <sub>x</sub><br>(cm) | DY<br>(cm) | Y=Y <sub>0</sub> +DY | K.O.H<br>m <sub>y</sub><br>(cm) | K.H.<br>m <sub>p</sub><br>(cm) | HATA ELİPSİ |           |           |
|-----|------------|----------------------|---------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
|     |            |                      |                                 |            |                      |                                 |                                | θ<br>(g)    | A<br>(cm) | B<br>(cm) |
| 1   | -1.6757    | 4140194.1542         | 1.101                           | -3.3328    | 418715.6257          | 1.935                           | 2.227                          | 98.<br>033  | 1.936     | 1.101     |
| 2   | -2.0983    | 4142075.6670         | 1.390                           | -1.7464    | 417922.6555          | 1.730                           | 2.220                          | 64.<br>574  | 1.914     | 1.124     |
| 6   | 3.2664     | 4138190.6827         | 1.630                           | 0.9273     | 417491.1393          | 1.178                           | 2.012                          | 171.<br>785 | 1.740     | 1.009     |
| 27  | -0.5340    | 4140747.3297         | 0.634                           | 1.2668     | 414950.1877          | 0.773                           | 0.999                          | 125.<br>289 | 0.800     | 0.600     |
| 28  | 0.3292     | 4138710.5563         | 1.442                           | 2.1000     | 414634.0330          | 0.940                           | 1.722                          | 15.<br>119  | 1.468     | 0.900     |
| 29  | -0.4808    | 4140324.6322         | 0.784                           | -0.4118    | 411733.5349          | 2.571                           | 2.688                          | 96.<br>553  | 2.574     | 0.773     |
| 30  | 1.1933     | 4143100.9809         | 1.600                           | 1.1970     | 413843.2470          | 1.263                           | 2.038                          | 164.<br>315 | 1.786     | 0.984     |



Şekil 6.1, Serbest dengeleme sonucu hata elipsleri (Klasik ölçüler)

### 6.1.2.1. İstatistiksel testler

#### Model hipotezinin testi:

$H_0: m_0=s_0$  Başlangıç Hipotezi (Sıfır Hipotezi)

$H_S: m_0 \neq s_0$  Seçenek Hipotezi (İki yönlü)

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} = 2.12 \quad \text{Test büyüklüğü}$$

$\alpha=0.05$  Yanılma olasılığı

$q=F_{8,68, 0.975}= 5.60$  F-dağılımı tablo değeri

$T < q$   $H_0$  hipotezi geçersiz sayılamaz

Dengelemenin fonksiyonel modeli gözlemler arasındaki geometrik ilişkilere uygun olup stokastik model, gözlemler arasındaki duyarlık ilişkilerini yeterince yansıtmaktadır.

#### Uyuşumsuz ölçü testi:

Serbest ağ dengelemesi sonrasında (5.27) ve (5.28) eşitlikleri kullanılarak Pope'ye göre yapılan uyuşumsuz ölçü testi sonucunda, uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır (Çizelge 6.2).

Verilen bağlantı noktalarının uyuşum testi, sabit nokta sayısının dörtten az olması nedeni ile yapılamamıştır (5.35 formülüne bakınız.). Ölçek testi ise, sözkonusu bağlantı noktaları kullanılarak yapılmış ve (5.37) eşitliği uyarınca hesaplanan ölçek bilinmeyenini test büyüklüğünün tablo değerinden küçük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.3 ).

Çizelge 6.2, Uyuşumsuz ölçü testi ve kısmi redundanzlar

| D.N. | B.N. | Ölçülen Doğ. | Q <sub>vv</sub> | T      | C    | TEST SONUCU | P <sub>i</sub> | r <sub>i</sub> |
|------|------|--------------|-----------------|--------|------|-------------|----------------|----------------|
| 1    | 6    | 0.00000      | 0.57158         | -1.048 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.572          |
|      | 27   | 74.36056     | 0.68608         | 0.894  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.686          |
|      | 2    | 139.68230    | 0.58520         | 0.068  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.585          |
| 2    | 1    | 0.00000      | 0.56015         | -0.158 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.560          |
|      | 27   | 98.63796     | 0.75536         | 0.152  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.755          |
|      | 30   | 141.06839    | 0.67738         | -0.016 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.677          |
| 6    | 28   | 0.00000      | 0.66803         | 0.093  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.668          |
|      | 27   | 38.73783     | 0.72139         | -0.939 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.721          |
|      | 1    | 123.46639    | 0.56955         | 0.956  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.570          |
| 27   | 1    | 0.00000      | 0.44604         | -0.945 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.446          |
|      | 6    | 40.90983     | 0.49893         | -0.376 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.499          |
|      | 28   | 100.51705    | 0.50439         | 1.236  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.504          |
|      | 29   | 182.39561    | 0.46304         | 0.110  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.463          |
|      | 30   | 262.72712    | 0.44333         | -0.092 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.443          |
|      | 2    | 363.95937    | 0.44516         | 0.007  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.445          |
| 28   | 29   | 0.00000      | 0.58618         | 0.048  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.586          |
|      | 27   | 77.47583     | 0.66589         | -0.774 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.666          |
|      | 6    | 179.13032    | 0.56689         | 0.790  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.567          |
| 29   | 30   | 0.00000      | 0.59891         | 0.518  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.599          |
|      | 27   | 50.31489     | 0.82331         | -1.283 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.823          |
|      | 28   | 90.96036     | 0.63714         | 0.956  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.637          |
| 30   | 2    | 0.00000      | 0.67673         | -0.252 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.677          |
|      | 27   | 56.33731     | 0.74144         | -0.111 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.741          |
|      | 29   | 125.69131    | 0.60743         | 0.389  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 1              | 0.607          |
| 28   | 6    | 2904.035     | 0.10128         | -1.663 | 2.47 | UYUŞUMLU    | 2.36778        | 0.240          |
| 27   | 30   | 2600.944     | 0.09596         | 1.663  | 2.47 | UYUŞUMLU    | 2.71605        | 0.261          |

### 6.1.2.2. İç güvenilirlik

Ağın iç duyarlılığını belirleyen iç güvenilirlik ölçütü olarak, dengelemenin toplam redundanz (serbestlik derecesi) içindeki her bir  $l_i$  ölçüsünün  $V_i$  düzeltmesine düşen yansıma paylarını veren kısmi redundanzlar (5.23) eşitliği uyarınca hesaplanmış ve elde edilen değerler, 29-27 nolu doğrultu ölçüsünde  $r_{\max}=0.823$  ve 28-6 nolu kenar ölçüsünde  $r_{\min}=0.240$  olmak üzere çizelge 6.2'de gösterilmiştir. Bu değerler, öngörülen  $0.25 \leq r_i \leq 1$  arasında kaldığından, ölçülerin birbirlerini karşılıklı olarak iyi kontrol ettiği söylenebilir.

Çizelge 6.3, Ölçek testi için Helmert benzerlik dönüşümü

| Dönüşüm Formülleri                                      |                     |            |                    |            |                   |                               |                   |  |  |
|---|---------------------|------------|--------------------|------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|--|--|
| X=k <sub>01</sub> -k <sub>12</sub> y+k <sub>11</sub> x  |                     |            |                    |            |                   |                               |                   |  |  |
| Y= k <sub>02</sub> -k <sub>12</sub> x+k <sub>11</sub> y |                     |            |                    |            |                   |                               |                   |  |  |
| N.N   | Serbest Deng. Koor. |            | Dayalı Deng. Koor. |            | Dönüş. Day. Koor. |                               | Kalıntı Hata.(mm) |  |  |
|   | X                   | Y          | X                  | Y          | X                 | Y                             | Vx                | Vy   |  |
| N.1   | 4140194.154         | 418715.626 | 4140194.171        | 418715.659 | 4140194.154       | 418715.650                    | -0.0166           | -0.0088  |  |
| N.2   | 4142075.667         | 417922.656 | 4142075.688        | 417922.673 | 4142075.699       | 417922.674                    | 0.01125           | 0.0005   |  |
| N.6   | 4138190.683         | 417491.139 | 4138190.650        | 417491.130 | 4138190.655       | 417491.138                    | 0.0053            | 0.0082   |  |
|   |                     |            |                    |            |                   |                               |                   | [VV]= 0.00057514                                   |  |
|   |                     |            |                    |            |                   |                               |                   | Kontrol [V <sub>x</sub> ]=[V <sub>y</sub> ]=0.0000 |  |
| Ölçek Testi İçin Dönüşüm Elemanları                     |                     |            |                    |            |                   |                               |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | k <sub>11</sub> = | 1.000015702                   |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | k <sub>12</sub> = | 3.17623699 . 10 <sup>-8</sup> |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | k <sub>01</sub> = | -63.68075604                  |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | k <sub>02</sub> = | -19.70054545                  |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | [S <sup>2</sup> ] | 8320488.797                   |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | Ölçek=            | 1.000015702                   |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | Dönüklük=         | 0.0001879 <sup>8</sup>        |                   |  |  |
|   |                     |            |                    |            | m <sub>0</sub> =  | 0.01697 m                     |                   |  |  |

**Ölçek Testi:**

$$T = \frac{(\lambda - 1)^2 [S^2]}{m_0^2} = 7.127$$

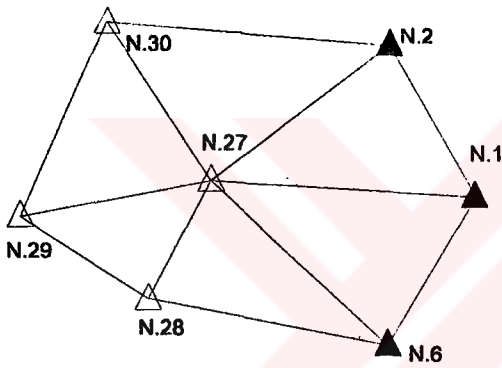
$$F_{1,(2P-4)} = F_{1,2} = 38.51 \quad (\text{Test Büyüklüğü})$$

T < F      Olduğundan ölçek uyumludur.

### 6.1.3. Dayalı ağ dengelemesi

Düzeltilme denklemleri (5.4) ve (5.6) eşitlikleri kullanılarak oluşturulmuş ve ağ en küçük kareler yöntemi ile dayalı ağ dengelemesi esas alınarak dengelenmiştir. Dengelemeler sonucunda bulunan noktaların koordinatları, ortalama hataları, konum hataları ve noktalara ait hata elipslerinin elemanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.4, Klasik yöntemle elde edilen ölçülerle iki boyutlu konum ağı dengelemesi



|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Ağdaki toplam ölçü sayısı        | 26 |
| Ağda ölçülen doğrultu sayısı     | 24 |
| Ağda ölçülen kenar sayısı        | 2  |
| Ağdaki nokta sayısı              | 7  |
| Ağda hatasız alınan nokta sayısı | 3  |
| Ağda alet kurulan nokta sayısı   | 7  |
| Ağdaki bilinmeyen sayısı         | 8  |

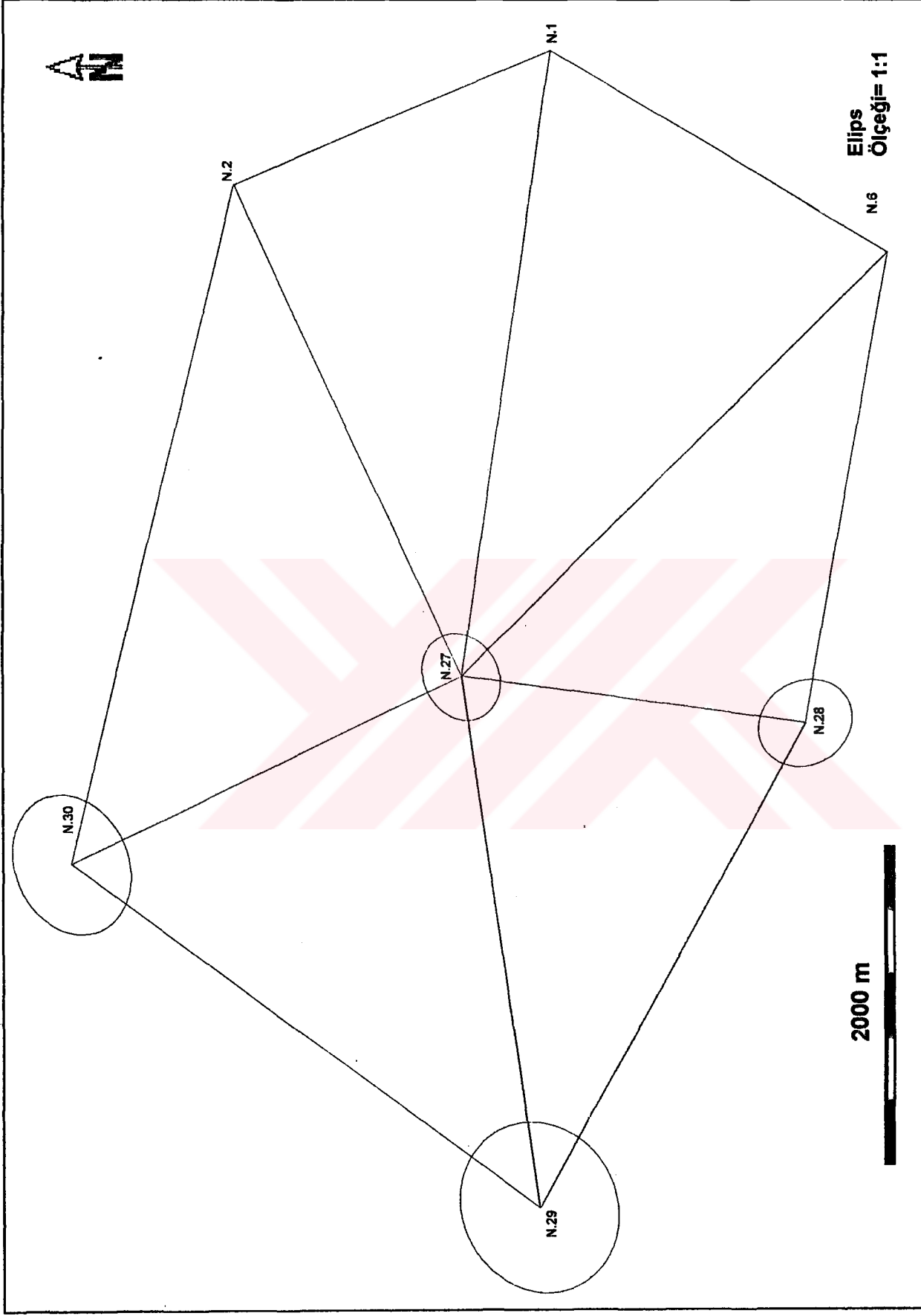
$$[PVV] = 154.02193$$

$$m_o = 3.74192^{cc}$$

### KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

| N.N | DX<br>(cm) | X=X <sub>o</sub> +DX | K.O.H<br>m <sub>x</sub><br>(cm) | DY<br>(cm) | Y=Y <sub>o</sub> +DY | K.O.H<br>m <sub>y</sub><br>(cm) | K.H.<br>m <sub>p</sub><br>(cm) | HATA ELİPSİ |           |           |
|-----|------------|----------------------|---------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
|     |            |                      |                                 |            |                      |                                 |                                | θ<br>(g)    | A<br>(cm) | B<br>(cm) |
| 1   |            | 4140194.1710         |                                 |            | 418715.6590          |                                 |                                |             |           |           |
| 2   |            | 4142075.6880         |                                 |            | 417922.6730          |                                 |                                |             |           |           |
| 6   |            | 4138190.6500         |                                 |            | 417491.1300          |                                 |                                |             |           |           |
| 27  | -0.1824    | 4140747.3332         | 1.475                           | -0.3282    | 414950.1717          | 1.665                           | 2.224                          | 71.<br>557  | 1.718     | 1.413     |
| 28  | -1.5950    | 4138710.5370         | 1.765                           | 0.1768     | 414634.0138          | 1.644                           | 2.412                          | 166.<br>497 | 1.824     | 1.578     |
| 29  | -0.7532    | 4140324.6295         | 2.991                           | -4.0194    | 411733.4988          | 3.247                           | 4.415                          | 71.<br>605  | 3.319     | 2.911     |
| 30  | 2.6120     | 4143100.9951         | 2.243                           | -1.0817    | 413843.2242          | 2.651                           | 3.473                          | 74.<br>212  | 2.735     | 2.140     |





Şekil 6.2, Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Klasik ölçüler)

## 6.2. Ağda GPS Yöntemiyle Elde Edilen Ölçümlerin İrdelenmesi Ve Sonuçlar

Uygulamada her oturumda iki adet çift frekanslı LEICA SR9500 GPS alıcısı (EK-B) kullanılmıştır. Hazırlanan ölçme planına göre toplam on beş oturumda öngörülen kırk dakikalık süreler ile statik ölçüler, on dakikalık sürelerle de hızlı statik GPS ölçüleri üç günde tamamlanmıştır (Çizelge 6.5). Ölçü kayıt aralığı statik ölçüler için on saniye, hızlı-statik ölçüler için ise iki saniye alınmıştır.

Çizelge 6.5, GPS oturum planı

| OT. NO | ALET I | ALET II | TARİH    | BAŞ. SAATİ | BİT. SAATİ | ÖLÇÜ SÜRESİ | ÖLÇÜ YÖNTEMİ |
|--------|--------|---------|----------|------------|------------|-------------|--------------|
| 1      | N.1    | N.6     | 25.07.98 | 7:48:40    | 8:28:50    | 0:40:10     | STATİK       |
| 2      | N.1    | N.28    | 25.07.98 | 8:46:20    | 9:15:10    | 0:28:50     | STATİK       |
| 3      | N.1    | N.29    | 25.07.98 | 9:45:10    | 10:25:10   | 0:40:00     | STATİK       |
| 4      | N.1    | N.2     | 25.07.98 | 11:13:20   | 11:53:30   | 0:40:10     | STATİK       |
| 5      | N.1    | N.27    | 25.07.98 | 14:32:50   | 15:13:10   | 0:40:20     | STATİK       |
| 6      | N.1    | N.30    | 25.07.98 | 17:00:50   | 17:41:50   | 0:41:00     | STATİK       |
| 7      | N.30   | N.2     | 25.07.98 | 18:21:30   | 19:02:50   | 0:41:20     | STATİK       |
| 8      | N.30   | N.29    | 25.07.98 | 19:33:40   | 20:13:50   | 0:40:10     | STATİK       |
| 9      | N.30   | N.27    | 26.07.98 | 8:40:40    | 9:20:40    | 0:40:00     | STATİK       |
| 10     | N.27   | N.29    | 26.07.98 | 10:21:10   | 11:01:10   | 0:40:00     | STATİK       |
| 11     | N.27   | N.28    | 26.07.98 | 11:36:40   | 12:16:40   | 0:40:00     | STATİK       |
| 12     | N.27   | N.2     | 26.07.98 | 13:01:10   | 13:41:50   | 0:40:40     | STATİK       |
| 13     | N.28   | N.2     | 26.07.98 | 14:36:50   | 15:17:10   | 0:40:20     | STATİK       |
| 14     | N.28   | N.6     | 26.07.98 | 15:51:10   | 16:32:20   | 0:41:10     | STATİK       |
| 15     | N.28   | N.29    | 26.07.98 | 16:55:10   | 17:37:10   | 0:42:00     | STATİK       |
|        |        |         |          |            |            |             |              |
| 1      | N.30   | N.29    | 26.07.98 | 18:56:58   | 19:06:60   | 0:10:02     | H.STATİK     |
| 2      | N.30   | N.2     | 26.07.98 | 19:39:28   | 19:49:30   | 0:10:02     | H.STATİK     |
| 3      | N.30   | N.1     | 26.07.98 | 20:14:56   | 20:24:58   | 0:10:02     | H.STATİK     |
| 4      | N.30   | N.27    | 26.07.98 | 21:01:26   | 21:11:32   | 0:10:06     | H.STATİK     |
| 5      | N.27   | N.29    | 27.07.98 | 8:01:06    | 8:11:24    | 0:10:18     | H.STATİK     |
| 6      | N.27   | N.28    | 27.07.98 | 8:28:46    | 8:38:52    | 0:10:06     | H.STATİK     |
| 7      | N.27   | N.1     | 27.07.98 | 8:54:14    | 9:04:40    | 0:10:26     | H.STATİK     |
| 8      | N.27   | N.2     | 27.07.98 | 9:40:34    | 9:50:46    | 0:10:12     | H.STATİK     |
| 9      | N.28   | N.2     | 27.07.98 | 10:25:26   | 10:36:20   | 0:10:54     | H.STATİK     |
| 10     | N.28   | N.6     | 27.07.98 | 11:4:04    | 11:14:08   | 0:10:04     | H.STATİK     |
| 11     | N.28   | N.29    | 27.07.98 | 11:36:56   | 11:47:46   | 0:10:50     | H.STATİK     |
| 12     | N.1    | N.29    | 27.07.98 | 12:12:46   | 12:23:36   | 0:10:50     | H.STATİK     |
| 13     | N.1    | N.28    | 27.07.98 | 12:38:48   | 12:51:54   | 0:13:06     | H.STATİK     |
| 14     | N.1    | N.6     | 27.07.98 | 13:06:56   | 13:17:60   | 0:10:10     | H.STATİK     |
| 15     | N.1    | N.2     | 27.07.98 | 13:43:38   | 13:54:12   | 0:10:34     | H.STATİK     |

Tüm kampanya boyunca toplanan GPS verilerinin değerlendirme hesapları Leica SKI yazılımının 2.2 versiyonu ve Ashtech Office Suite for Survey yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmede alıcılarla toplanan kod, L1 ve L2 GPS ham verileri (raw data), kullanılarak sonuca gidilmiştir. Başka bir deyişle toplanan GPS verilerinden elde edilen kod ölçüleri ve L1, L2 faz ölçüleri kullanılarak baz çözümleri yapılmıştır.

GPS verileri 15° lik yükseklik sınırının üzerindeki uydular dikkate alınarak toplanmış, değerlendirmede de yükseklik açısı 15° olarak alınmıştır. Uyduların yörüngelerine ait veriler ölçme anında uydulardan yayınlanan yörünge verileri (Broadcast Ephemeris) olarak toplanmış ve değerlendirmede uydu konumlarının belirlenmesinde bu veriler kullanılmıştır.

### **6.2.1. GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ve analizi**

Yapılan statik ve hızlı statik ölçüler, Leica SKI ve Ashtech yazılımları kullanılarak her oturum için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve tüm baz bileşenleri (baz vektörleri) hesaplanmıştır. SKI yazılımıyla yapılan statik ölçülerin değerlendirilmesi esnasında 2.güne ait 13., 14. ve 15. oturumlarda faz sıçramaları belirlenmiş ve sorunun çözümü amacıyla sözkonusu oturumlara ait 1, 31 uyduları iptal edilmiştir.

#### **6.2.1.1. GPS baz vektörlerinin serbest dengelenmesi**

Bağlantı noktaları içermeyen ağlarda (serbest ağ), ölçüler üzerinde bağlantı noktalarının zorlaması bulunmadığından serbest dengeleme sonucu bulunan doğruluk verilerinden, doğrudan doğruya sorumlu olan ağın geometrisi ile ölçülerin doğruluğudur. Bu nedenle ağ, geometrisine ve ölçü doğruluğuna göre değerlendirebilmek amacıyla, ilk olarak her GPS vektörü için elde edilmiş varyans-kovaryans matrisleri kullanılarak ağa serbest dengeleme uygulanmıştır (EK-C, EK-D). Böylece ağın GPS ölçüleri ile elde edilen iç doğruluğu değerlendirilmiştir. Dengelemede, bilinmeyen olarak ağ noktalarının WGS-84 datumunda üç boyutlu (3D) kartezyen koordinatları, ölçü olarak da irdelenmiş baz çözümünden elde edilen baz vektörü bileşenleri ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) alınmıştır.

Leica SKI 2.2 yazılımı ile yapılan dengeleme sonucunda noktalara ait dengeli WGS-84 kartezyen koordinatları ile hata elipslerinin değerleri ve bu dengeleme ile ilgili istatistiksel bilgiler aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.6.a, Çizelge 6.6.b ve Çizelge 6.7.a, Çizelge 6.7.b).

Çizelge 6.6.a, WGS-84 datumunda serbest dengeleme sonucu istatistiksel bilgiler (Statik)

| GPS Ağı                       |    | İstatistiksel Bilgiler              |             |            |
|-------------------------------|----|-------------------------------------|-------------|------------|
| Sabit nokta sayısı            | 0  | Dengelemenin karesel ort.hatası (m) |             |            |
| Serbest nokta sayısı          | 7  | $m_0=0.0027$                        |             |            |
| Toplam nokta sayısı (k)       | 7  | Ölçülere gelen düzeltmeler (mm)     |             |            |
| Bağımsız baz vektörleri       |    | $V_x$                               | $V_y$       | $V_z$      |
| Vektör sayısı (m)             | 15 | Min: 1.2                            | Min: -0.7   | Min: -0.4  |
| Vektör bileşenleri (n=3m)     | 45 | Max: -16.5                          | Max: 21.4   | Max: -14.7 |
| Dengeleme bilgileri           |    | Konum hataları (mm)                 |             |            |
| Datum defekt                  | 3  | $m_p$                               | $m_\lambda$ | $m_h$      |
| Parametre sayısı (u=3k)       | 21 | Max: 4.78                           | Max: 4.79   | Max: 7.87  |
| Serbestlik derecesi (f=n+d-u) | 27 |                                     |             |            |

Çizelge 6.6.b, WGS84 datumunda serbest dengeleme sonucu istatistiki bilgiler (Hızlı-statik)

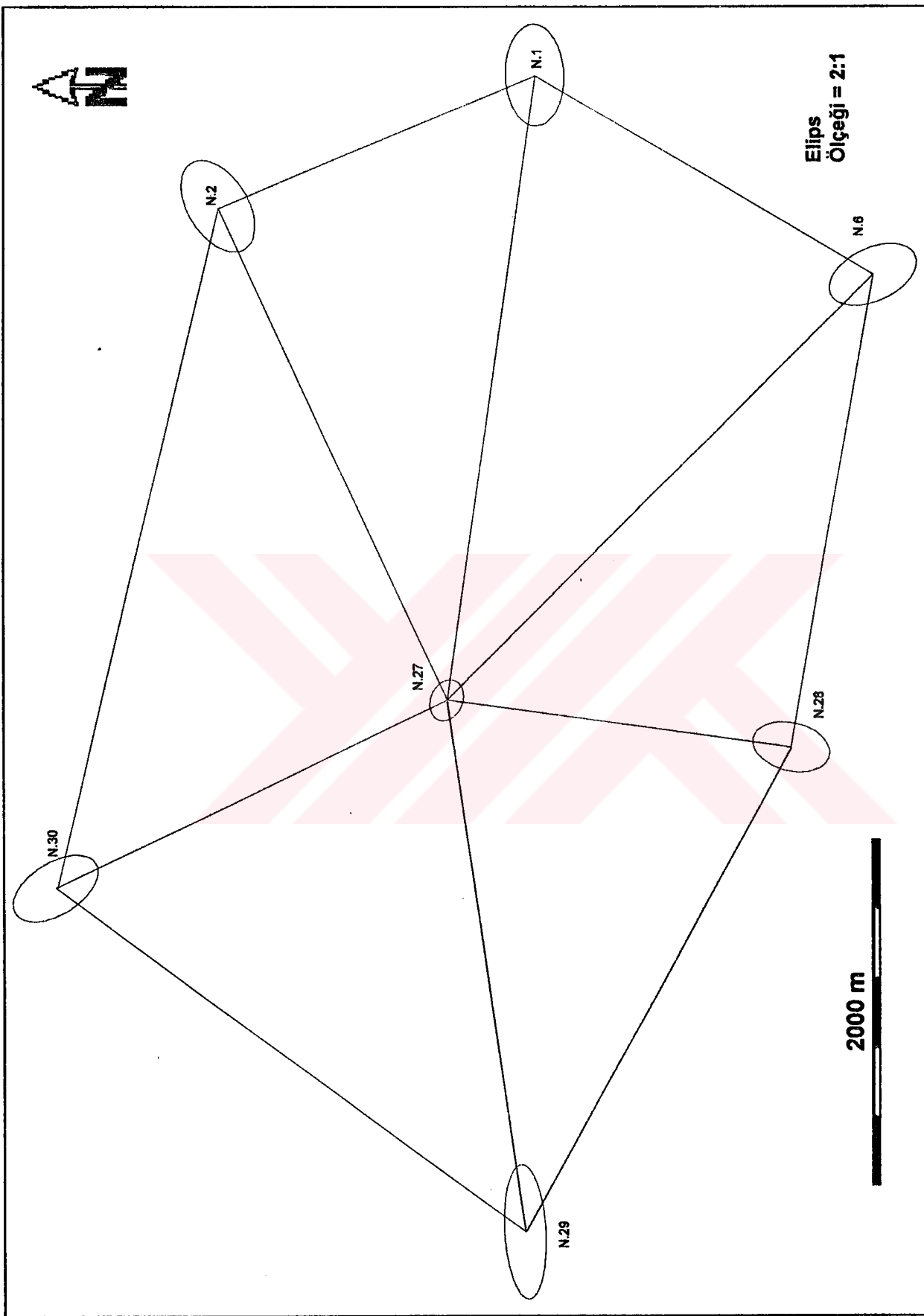
| GPS Ağı                       |    | İstatiksel Bilgiler                 |           |            |
|-------------------------------|----|-------------------------------------|-----------|------------|
| Sabit nokta sayısı            | 0  | Dengelemenin karesel ort.hatası (m) |           |            |
| Serbest nokta sayısı          | 7  | $m_0=0.0013$                        |           |            |
| Toplam nokta sayısı (k)       | 7  | Ölçülere gelen düzeltmeler (m)      |           |            |
| Bağımsız baz vektörleri       |    | $V_x$                               | $V_y$     | $V_z$      |
| Vektör sayısı (m)             | 15 | Min: -0.4                           | Min: 0.1  | Min: 0.9   |
| Vektör bileşenleri (n=3m)     | 45 | Max: -9.7                           | Max: 7.1  | Max: -20.1 |
| Dengeleme bilgileri           |    | Konum hataları (mm)                 |           |            |
| Datum defekt                  | 3  | $m_p$                               | $m_x$     | $m_h$      |
| Parametre sayısı (u=3k)       | 21 | Max: 2.08                           | Max: 2.59 | Max: 4.60  |
| Serbestlik derecesi (f=n+d-u) | 27 |                                     |           |            |

Çizelge 6.7.a, WGS-84 datumunda serbest dengelenmiş koordinatlar (Statik)

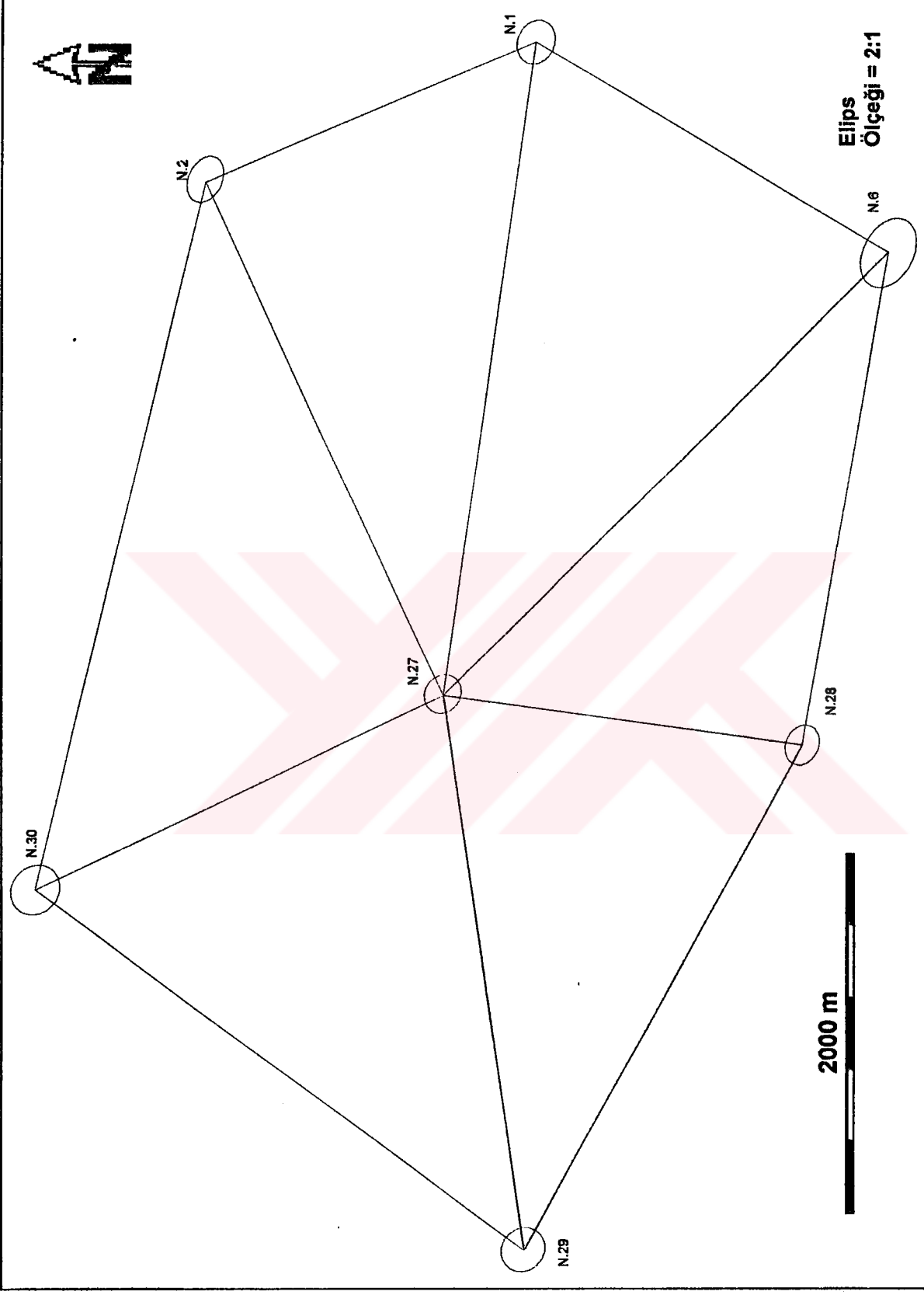
| N.N | Elipsoidal koor. ve hataları |              |          |               |               |               |               | Dik koordinatlar |              |              |           | Hata elipsoidinin eksen. |           |               |
|-----|------------------------------|--------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|--------------|--------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------|
|     | B<br>(° ' ")                 | L<br>(° ' ") | H<br>(m) | $m_b$<br>(mm) | $m_h$<br>(mm) | $m_a$<br>(mm) | $m_p$<br>(mm) | X                | Y            | Z            | A<br>(mm) | B<br>(mm)                | C<br>(mm) | AÇI<br>(der.) |
| 1   | 372318.5420                  | 320454.5149  | 1128.703 | 2.77          | 5.04          | 2.83          | 3.96          | 4299852.6918     | 2695390.5881 | 3852423.0228 | 7.3       | 6.1                      | 9.9       | 121.2         |
| 2   | 372419.3173                  | 320421.5303  | 1186.115 | 4.24          | 7.79          | 4.14          | 5.93          | 4299857.8850     | 2694122.8213 | 3853946.6815 | 10.9      | 9.2                      | 15.4      | 130.1         |
| 6   | 372213.1673                  | 320405.5427  | 1130.755 | 4.78          | 7.87          | 4.79          | 6.77          | 4301530.9485     | 2695020.2264 | 3850822.4467 | 12.3      | 10.7                     | 15.5      | 124.5         |
| 27  | 372335.2653                  | 320221.2219  | 1146.167 | 2.44          | 4.70          | 2.58          | 3.55          | 4301601.0044     | 2692035.4988 | 3852843.3253 | 6.6       | 5.4                      | 9.3       | 119.4         |
| 28  | 372229.1013                  | 320209.2144  | 1117.641 | 3.50          | 5.38          | 3.17          | 4.72          | 4302788.5431     | 2692430.1170 | 3851204.9385 | 8.3       | 7.7                      | 10.6      | 155.1         |
| 29  | 372320.4763                  | 320010.6426  | 1132.308 | 2.60          | 5.38          | 2.88          | 3.88          | 4303529.8718     | 2689452.6824 | 3852472.5992 | 7.4       | 5.6                      | 10.6      | 117.2         |
| 30  | 372451.2375                  | 320135.2377  | 1256.355 | 3.49          | 5.70          | 3.45          | 4.91          | 4301068.8715     | 2690368.2494 | 3854771.1645 | 8.8       | 7.8                      | 11.2      | 124.5         |

Çizelge 6.7.b, WGS-84 datumunda serbest dengelenmiş koordinatlar (Hızlı-statik)

| N.N | Elipsoidal koor. ve hataları |              |           |               |               |               |               | Dik koordinatlar |             |             |           | Hata elipsoidinin eksen. |           |               |
|-----|------------------------------|--------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------|
|     | B<br>(° ' ")                 | L<br>(° ' ") | H<br>(m)  | $m_b$<br>(mm) | $m_h$<br>(mm) | $m_a$<br>(mm) | $m_p$<br>(mm) | X                | Y           | Z           | A<br>(mm) | B<br>(mm)                | C<br>(mm) | AÇI<br>(der.) |
| 1   | 372318.5428                  | 320454.5165  | 1128.9872 | 1.38          | 2.78          | 1.62          | 2.13          | 4299852.851      | 2695390.732 | 3852423.215 | 4.1       | 3.3                      | 5.4       | 111.4         |
| 2   | 372419.3179                  | 320421.5315  | 1186.3943 | 1.36          | 2.89          | 1.67          | 2.15          | 4299858.049      | 2694122.958 | 3853946.865 | 4.3       | 3.0                      | 5.7       | 116.0         |
| 6   | 372213.1678                  | 320405.5442  | 1130.0280 | 2.08          | 4.60          | 2.59          | 3.32          | 4301531.105      | 2695020.367 | 3850822.625 | 6.7       | 4.5                      | 9.0       | 117.1         |
| 27  | 372335.2659                  | 320221.2236  | 1146.4287 | 1.36          | 2.23          | 1.45          | 1.99          | 4301601.150      | 2692035.639 | 3852843.497 | 3.7       | 3.2                      | 4.4       | 121.6         |
| 28  | 372229.1018                  | 320209.2161  | 1117.9064 | 1.26          | 2.26          | 1.44          | 1.91          | 4302788.692      | 2692430.259 | 3851205.112 | 3.7       | 2.9                      | 4.4       | 115.8         |
| 29  | 372320.4768                  | 320010.6446  | 1132.5729 | 1.60          | 2.45          | 1.67          | 2.31          | 4303530.017      | 2689452.829 | 3852472.774 | 4.2       | 3.8                      | 4.8       | 124.4         |
| 30  | 372451.2380                  | 320135.2393  | 1256.6222 | 1.80          | 2.76          | 1.87          | 2.60          | 4301069.020      | 2690368.391 | 3854771.341 | 4.8       | 4.2                      | 5.4       | 126.7         |



Şekil 6.3, Serbest dengeleme sonucu hata elipsleri (Statik GPS ölçüleri)



Şekil 6.4, Serbest dengeleme sonucu hata elipsleri (Hızlı-statik GPS ölçüleri)



### 6.2.1.2. GPS baz vektörlerinin dayalı dengelenmesi

Uygulamanın bu bölümünde N.1, N.2 ve N.6 noktaları sabit nokta alınarak WGS-84 datumunda dayalı dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda elde edilen noktalara ait dengeli WGS-84 koordinatları ile hata elipslerinin değerleri ve dengeleme ile ilgili istatistiksel bilgiler aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.8.a, 6.8.b ve Çizelge 6.9.a, 6.9.b).

Çizelge 6.8.a, WGS-84 datumunda dayalı dengeleme sonucu istatistiksel bilgiler (Statik)

| GPS Ağı                       |    | İstatistiksel Bilgiler              |             |           |
|-------------------------------|----|-------------------------------------|-------------|-----------|
| Sabit nokta sayısı            | 3  | Dengelemenin karesel ort.hatası (m) |             |           |
| Serbest nokta sayısı          | 4  | $m_0=0.0026$                        |             |           |
| Toplam nokta sayısı (k)       | 7  | Ölçülere gelen düzeltmeler (mm)     |             |           |
| Bağımsız baz vektörleri       |    | $V_x$                               | $V_y$       | $V_z$     |
| Vektör sayısı (m)             | 15 | Min: 1.2                            | Min: 0.2    | Min: 0.5  |
| Vektör bileşenleri (n=3m)     | 45 | Max: 26.1                           | Max: 21.6   | Max: 13.1 |
| Dengeleme bilgileri           |    | Konum hataları (mm)                 |             |           |
| Datum defekt                  | -  | $m_\varphi$                         | $m_\lambda$ | $m_h$     |
| Parametre sayısı (u=3k)       | 12 | Max: 4.25                           | Max: 4.25   | Max: 7.55 |
| Serbestlik derecesi (f=n+d-u) | 33 |                                     |             |           |

Çizelge 6.8.b, WGS-84 datumunda dayalı dengeleme sonucu istatistiki bilgiler (Hızlı-statik)

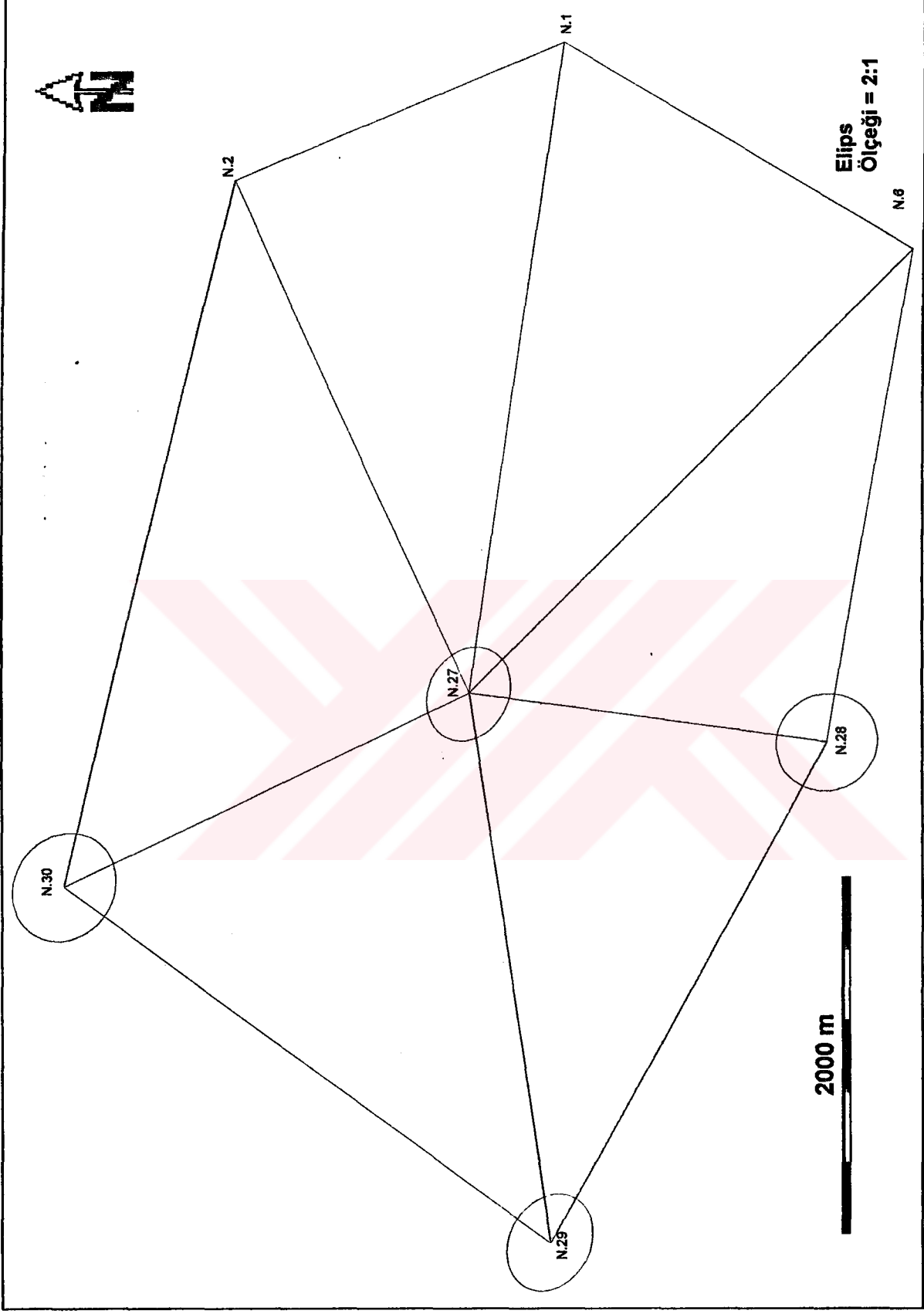
| GPS Ağı                       |    | İstatiksel Bilgiler                 |           |            |
|-------------------------------|----|-------------------------------------|-----------|------------|
| Sabit nokta sayısı            | 3  | Dengelemenin karesel ort.hatası (m) |           |            |
| Serbest nokta sayısı          | 4  | $m_0=0.0012$                        |           |            |
| Toplam nokta sayısı (k)       | 7  | Ölçülere gelen düzeltmeler (mm)     |           |            |
| Bağımsız baz vektörleri       |    | $V_x$                               | $V_y$     | $V_z$      |
| Vektör sayısı (m)             | 15 | Min: 0.4                            | Min: 0.2  | Min: 0.8   |
| Vektör bileşenleri (n=3m)     | 45 | Max: -9.6                           | Max: 7.2  | Max: -20.0 |
| Dengeleme bilgileri           |    | Konum hataları (mm)                 |           |            |
| Datum defekt                  | -  | $m_e$                               | $m_s$     | $m_h$      |
| Parametre sayısı (u=3k)       | 12 | Max: 2.03                           | Max: 2.11 | Max: 3.00  |
| Serbestlik derecesi (f=n+d-u) | 33 |                                     |           |            |

Çizelge 6.9.a, WGS-84 datumunda dayalı dengelenmiş koordinatlar (Statik)

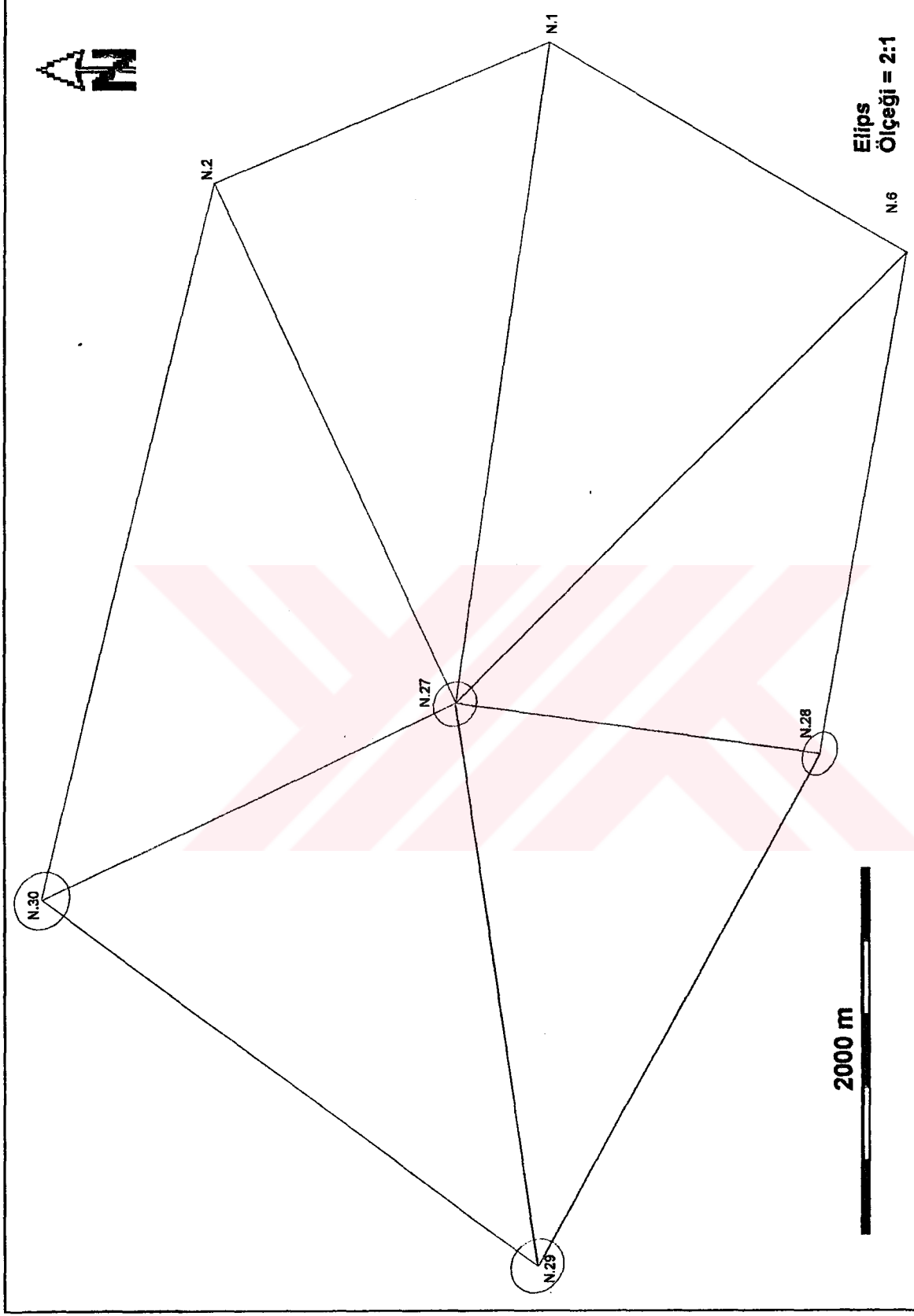
| N.N | Elipsoidal koor. ve hataları |              |          |                        |                        |                        |                        | Dik Koordinatlar |              |              |           | Hata elipsoidinin eksen. |           |               |  |
|-----|------------------------------|--------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|--------------|--------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------|--|
|     | B<br>( ' ' )                 | L<br>( ' ' ) | H<br>(m) | m <sub>p</sub><br>(mm) | m <sub>a</sub><br>(mm) | m <sub>h</sub><br>(mm) | m <sub>p</sub><br>(mm) | X                | Y            | Z            | A<br>(mm) | B<br>(mm)                | C<br>(mm) | AÇI<br>(der.) |  |
| 1   | 372318.5420                  | 320454.5149  | 1128.703 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4299852.6918     | 2695390.5980 | 3852423.0229 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 2   | 372419.3173                  | 320421.5303  | 1186.115 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4299357.8650     | 2694122.8215 | 3853946.6814 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 6   | 372213.1673                  | 320405.5427  | 1130.755 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4301530.9485     | 2695020.2264 | 3850822.4467 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 27  | 372335.2653                  | 320221.2219  | 1146.167 | 3.44                   | 3.66                   | 6.96                   | 5.02                   | 4301601.0045     | 2692035.4988 | 3852843.3253 | 8.9       | 7.2                      | 13.1      | 118.2         |  |
| 28  | 372229.1013                  | 320209.2144  | 1117.641 | 4.13                   | 3.76                   | 6.80                   | 5.59                   | 4302788.5431     | 2692430.1169 | 3851204.9385 | 9.3       | 8.7                      | 12.8      | 157.4         |  |
| 29  | 372320.4763                  | 320010.6426  | 1132.308 | 3.54                   | 3.84                   | 7.40                   | 5.22                   | 4303529.8718     | 2689452.6823 | 3852472.5992 | 9.4       | 7.3                      | 13.9      | 117.1         |  |
| 30  | 372451.2375                  | 320135.2377  | 1256.355 | 4.25                   | 4.27                   | 7.55                   | 6.02                   | 4301068.8715     | 2690368.2494 | 3854771.1645 | 10.4      | 9.0                      | 14.2      | 122.8         |  |

Çizelge 6.9.b, WGS-84 datumunda dayalı dengelenmiş koordinatlar (Hızlı-statik)

| N.N | Elipsoidal koor. ve hataları |              |          |                        |                        |                        |                        | Dik Koordinatlar |             |             |           | Hata elipsoidinin eksen. |           |               |  |
|-----|------------------------------|--------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------|--|
|     | B<br>( ' ' )                 | L<br>( ' ' ) | H<br>(m) | m <sub>p</sub><br>(mm) | m <sub>a</sub><br>(mm) | m <sub>h</sub><br>(mm) | m <sub>p</sub><br>(mm) | X                | Y           | Z           | A<br>(mm) | B<br>(mm)                | C<br>(mm) | AÇI<br>(der.) |  |
| 1   | 372318.5428                  | 320454.5165  | 1128.987 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4299852.851      | 2695390.732 | 3852423.215 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 2   | 372419.3179                  | 320421.5315  | 1186.394 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4299358.049      | 2694122.958 | 3853946.865 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 6   | 372213.1678                  | 320405.5442  | 1130.028 | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 4301530.431      | 2695019.945 | 3850822.018 | 0         | 0                        | 0         | 0             |  |
| 27  | 372335.2659                  | 320221.2236  | 1146.429 | 1.56                   | 1.63                   | 2.70                   | 2.26                   | 4301601.150      | 2692035.639 | 3852843.497 | 4.1       | 3.7                      | 5.3       | 124.6         |  |
| 28  | 372229.1018                  | 320209.2161  | 1117.906 | 1.28                   | 1.54                   | 2.64                   | 2.00                   | 4302788.692      | 2692430.259 | 3851205.112 | 4.0       | 2.9                      | 5.2       | 116.3         |  |
| 29  | 372320.4768                  | 320010.6446  | 1132.573 | 1.92                   | 2.00                   | 2.98                   | 2.77                   | 4303530.016      | 2689452.828 | 3852472.775 | 5.1       | 4.5                      | 5.8       | 123.8         |  |
| 30  | 372451.2380                  | 320135.2393  | 1256.622 | 2.03                   | 2.11                   | 3.00                   | 2.93                   | 4301069.020      | 2690368.391 | 3854771.341 | 5.4       | 4.7                      | 5.9       | 126.4         |  |



Şekil 6.5, Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Statik GPS ölçüleri)



Şekil 6.6, Dayalı dengeleme sonucu hata elipsleri (Hızlı-Statik GPS ölçüleri)

### 6.3. Dönüşüm

Sözkonusu nirengi ağında önceden yapılmış klasik ölçmeler sonucunda, ülke koordinat sisteminde belirlenmiş nirengi noktalarının koordinatlarının WGS-84 koordinatları ile karşılaştırılması için, GPS ölçüleri ile hesaplanan WGS-84 koordinatlarının, ED-50 datumunda hesaplanması gerekir. Bunun için iki farklı sistem arasında iki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü yapılmıştır. Bu amaçla WGS-84 elipsoidine göre elde edilen elipsoidal enlem ve boylam değerlerinden, WGS-84 elipsoidinin parametreleri ile Gauss-Kruger projeksiyonunda noktaların sağa ve yukarı değerleri hesaplanmıştır. Eşlenik noktaların WGS-84 elipsoidine göre bulunan bu koordinatları ve ülke sisteminde verilen sağa-yukarı değerlerle dönüşüm yapılmıştır. Dönüşüm sonucu bulunan koordinatlar ve dönüştürülmüş koordinatların ortalama hataları aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.10.a, 6.10.b)

*iki boyutlu dönüşüm sonuçları (statik ölçüler):*

#### Dönüşüm Parametreleri

|                                |         |     |
|--------------------------------|---------|-----|
| Ortak Nokta Sayısı             | 3       |     |
| Öteleme dX                     | 28.578  | m   |
| Öteleme dY                     | 173.056 | m   |
| Dönüklük                       | -1.441  | "   |
| Ölçek                          | -80.735 | ppm |
| Ortalama Hata $m_0 = 0.0246$ m |         |     |

Çizelge 6.10.a, İki boyutlu dönüşüm sonuçları (statik ölçüler )

| Proj.<br>Seti: | OKARAÖREN-UTM3    |                     |                        | OKARAÖREN-UTM6    |                     |
|----------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
|                | Sağa Değer<br>(Y) | Yukarı Değer<br>(X) | Konum<br>Hataları (cm) | Sağa Değer<br>(Y) | Yukarı Değer<br>(X) |
| N.1            | 418715.6590       | 4140194.1710        | 0                      | 418748.1727       | 4138538.0930        |
| N.2            | 417922.6730       | 4142075.6880        | 0                      | 417955.5039       | 4140418.8580        |
| N.6            | 417491.1300       | 4138190.6500        | 0                      | 417524.1336       | 4136535.3740        |
| N.27           | 414950.1622       | 4140747.2652        | 4.22                   | 414984.1821       | 4139090.9663        |
| N.28           | 414633.9959       | 4138710.5888        | 4.83                   | 414668.1423       | 4137055.1046        |
| N.29           | 411733.5336       | 4140324.6656        | 7.76                   | 411768.8402       | 4138668.5357        |
| N.30           | 413843.2572       | 4143100.9210        | 6.36                   | 413877.7199       | 4141443.6806        |

*iki boyutlu dönüşüm sonuçları (hızlı-statik ölçüler )*

#### Dönüşüm Parametreleri

|                                |         |     |
|--------------------------------|---------|-----|
| Ortak Nokta Sayısı             | 3       |     |
| Öteleme dX                     | 28.544  | m   |
| Öteleme dY                     | 173.037 | m   |
| Dönüklük                       | -0.951  | "   |
| Ölçek                          | -81.283 | ppm |
| Ortalama Hata $m_0 = 0.0247$ m |         |     |

Çizelge 6.10.b, İki boyutlu dönüşüm sonuçları ( Hızlı-statik ölçüler )

| Proj.<br>Seti: | OKARAÖREN-UTM3    |                     |                        | OKARAÖREN-UTM6    |                     |
|----------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
|                | Sağa Değer<br>(Y) | Yukarı Değer<br>(X) | Konum<br>Hataları (cm) | Sağa Değer<br>(Y) | Yukarı Değer<br>(X) |
| N.1            | 418715.6590       | 4140194.1710        | 0                      | 418748.1727       | 4138538.0930        |
| N.2            | 417922.6730       | 4142075.6880        | 0                      | 417955.5039       | 4140418.8580        |
| N.6            | 417491.1300       | 4138190.6500        | 0                      | 417524.1335       | 4136535.3740        |
| N.27           | 414950.1752       | 4140747.2730        | 4.18                   | 414984.1951       | 4139090.9741        |
| N.28           | 414634.0043       | 4138710.5971        | 4.76                   | 414668.1507       | 4137055.1129        |
| N.29           | 411733.5553       | 4140324.6850        | 7.66                   | 411768.8619       | 4138668.5551        |
| N.30           | 413843.2769       | 4143100.9332        | 6.33                   | 413877.7396       | 4141443.6928        |

#### 6.4. Karşılaştırmalar

##### Lup kapanmalarının karşılaştırılması:

Statik ve hızlı-statik ölçüler her oturum için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve hesaplanan tüm baz bileşenleri ile vektör kapanmaları hesaplanmıştır. Baz vektörlerinin değerlendirme sonuçlarının duyarlıklarını gösteren üçgen kapanmaları çizelge 6.11.a ve çizelge 6.11.b' de verilmiştir.

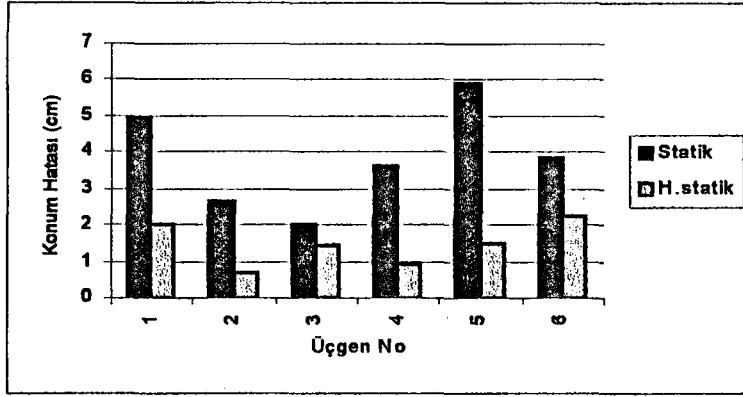
Çizelge 6.11.a, Ağdaki baz vektörleri için üçgen kapanmaları (Statik ölçüler)

| Üçgen Köşe Numaraları | X Yönünde kapanış (cm) | Y Yönünde kapanış (cm) | Z Yönünde kapanış (cm) | Konum Hatası (cm) |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 1-2-27                | 3.3                    | -3.5                   | 1.0                    | 4.91              |
| 2-27-30               | -0.8                   | -0.3                   | -2.5                   | 2.64              |
| 27-30-29              | -1.9                   | 0.1                    | -0.6                   | 1.99              |
| 27-28-29              | 2.5                    | 1.6                    | 2.1                    | 3.64              |
| 28-6-1-27             | 3.3                    | 4.2                    | 2.5                    | 5.90              |
| 1-2-30-29-28-6        | -3.6                   | -0.5                   | 1.3                    | 3.86              |

Çizelge 6.11.b, Ağdaki baz vektörleri için üçgen kapanmaları (Hızlı-statik ölçüler)

| Üçgen Köşe Numaraları | X Yönünde kapanış (cm) | Y Yönünde kapanış (cm) | Z Yönünde kapanış (cm) | Konum Hatası (cm) |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 1-2-27                | 1.3                    | 1.2                    | 1.0                    | 2.03              |
| 2-27-30               | -0.4                   | -0.3                   | -0.5                   | 0.71              |
| 27-30-29              | -1.4                   | 0.0                    | -0.3                   | 1.43              |
| 27-28-29              | 0.7                    | -0.5                   | 0.3                    | 0.91              |
| 28-6-1-27             | -1.1                   | -1.0                   | 0.0                    | 1.49              |
| 1-2-30-29-28-6        | 1.3                    | 1.0                    | 1.5                    | 2.22              |





Şekil 6.7, Üçgen kapanmaları için konum hataları

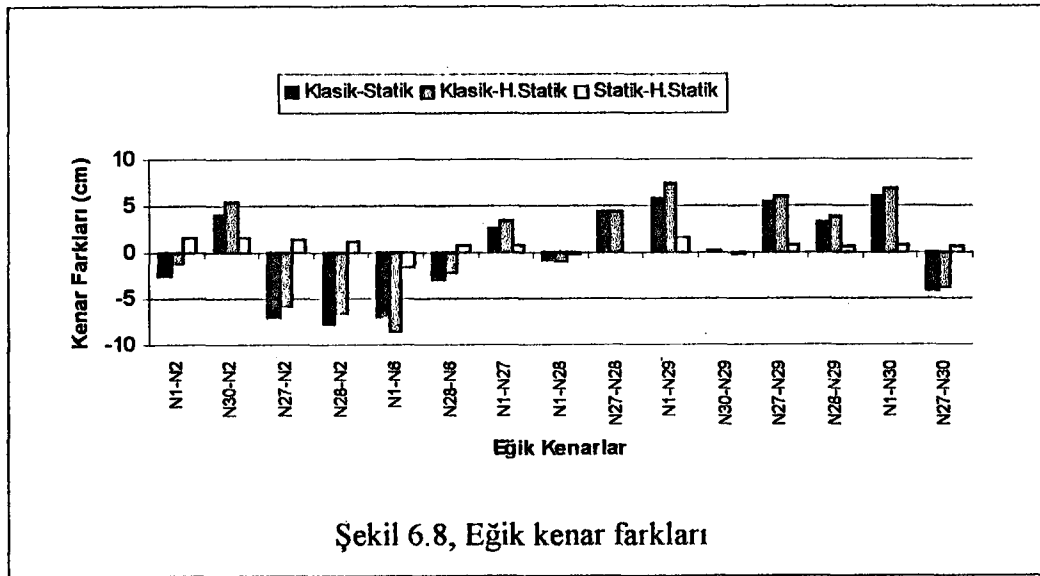
Çizelgeler incelendiğinde, kapalı geometrik şekiller oluşturularak elde edilen baz bileşenlerinin hesaplama sonucu bulunan oransal hatalarının, statik ölçüler için 5.40-2.11 ppm, hızlı statik ölçüler içinse 0.70-2.23 ppm arasında olduğu görülür.

**Eğik uzunlukların karşılaştırılması:**

Doğada değişmeyen büyüklüklerden biri uzunluk dğeri ise açılardır. Bu nedenle WGS-84 datumunda serbest olarak dengelenmiş GPS baz vektörlerine ölçek farkı düzeltmesi getirilerek ED-50 datumuna dönüştürülmüş eğik kenar uzunlukları ile klasik yöntemle belirlenmiş mevcut koordinatlardan hesaplanan değişik kombinasyonlardaki 15 tane eğik kenar uzunluğu karşılaştırılmış ve aralarındaki farklar ile bunların oransal hataları hesaplanmıştır (Çizelge 6.12 ).

Çizelge 6.12, Ortak noktalar arasındaki eğik uzunlukların karşılaştırılması  
(GPS koordinatları SKI yazılımıyla elde edilmiştir.)

| 1<br>Nolu<br>Nok. | 2<br>Nolu<br>Nok. | ED-50 Datumu         |                               |                                  | Farklar            |        |        | Fark Hataları |       |        |
|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------|--------|---------------|-------|--------|
|                   |                   | Klasik<br>Uzunluklar | GPS<br>Uzunluklar<br>(Statik) | GPS<br>Uzunluklar<br>(H. Statik) | $\Delta S$<br>(Cm) |        |        | (ppm)         |       |        |
|                   |                   | I                    | II                            | III                              | I-II               | I-III  | II-III | I-II          | I-III | II-III |
| N1                | N2                | 2042.7474            | 2042.7740                     | 2042.7585                        | -2.656             | -1.110 | 1.546  | 13.0          | 5.4   | 7.6    |
| N30               | N2                | 4207.3190            | 4207.2798                     | 4207.2644                        | 3.916              | 5.459  | 1.543  | 9.3           | 13.0  | 3.7    |
| N27               | N2                | 3256.3362            | 3256.4071                     | 3256.3937                        | -7.082             | -5.746 | 1.336  | 21.8          | 17.6  | 4.1    |
| N28               | N2                | 4706.1128            | 4706.1915                     | 4706.1794                        | -7.862             | -6.654 | 1.209  | 16.7          | 14.1  | 2.6    |
| N1                | N6                | 2348.2616            | 2348.3322                     | 2348.3478                        | -7.064             | -8.624 | -1.561 | 30.1          | 36.7  | 6.6    |
| N28               | N6                | 2904.3039            | 2904.3333                     | 2904.3263                        | -2.943             | -2.238 | 0.705  | 10.1          | 7.7   | 2.4    |
| N1                | N27               | 3806.2753            | 3806.2492                     | 3806.2414                        | 2.615              | 3.395  | 0.781  | 6.9           | 8.9   | 2.1    |
| N1                | N28               | 4343.2962            | 4343.3046                     | 4343.3060                        | -0.842             | -0.984 | -0.141 | 1.9           | 2.3   | 0.3    |
| N27               | N28               | 2061.4982            | 2061.4546                     | 2061.4537                        | 4.355              | 4.450  | 0.095  | 21.1          | 21.6  | 0.5    |
| N1                | N29               | 6983.9648            | 6983.9069                     | 6983.8901                        | 5.791              | 7.472  | 1.682  | 8.3           | 10.7  | 2.4    |
| N30               | N29               | 3489.4467            | 3489.4446                     | 3489.4467                        | 0.208              | 0.006  | -0.203 | 0.6           | 0.0   | 0.6    |
| N27               | N29               | 3244.6190            | 3244.5659                     | 3244.5580                        | 5.305              | 6.100  | 0.795  | 16.4          | 18.8  | 2.5    |
| N28               | N29               | 3319.6508            | 3319.6186                     | 3319.6127                        | 3.227              | 3.816  | 0.590  | 9.7           | 11.5  | 1.8    |
| N1                | N30               | 5675.5807            | 5675.5213                     | 5675.5127                        | 5.945              | 6.804  | 0.859  | 10.5          | 12.0  | 1.5    |
| N27               | N30               | 2603.4846            | 2603.5274                     | 2603.5220                        | -4.283             | -3.746 | 0.536  | 16.5          | 14.4  | 2.1    |



Çizelge halinde yukarıda verilen değerler incelendiğinde klasik-statik ölçüler için, eğik uzunluklar arasındaki en büyük mutlak farkın 28-2 nolu noktalar arasındaki 4.706 km' lik bir uzunlukta 7.78 cm, en büyük rölatif farkın 1-6 nolu noktalar arasındaki 2.348 km' lik bir uzunlukta 29.9 ppm, klasik-hızlı statik ölçüler için, en büyük mutlak farkın 1-29 nolu noktalar arasındaki 6.983 km' lik bir uzunlukta 7.46 cm, en büyük rölatif farkın 1-6 nolu noktalar arasındaki 2.348 km' lik bir uzunlukta 36.6 ppm, Statik-hızlı statik ölçüler için, en büyük mutlak farkın 1-29 nolu noktalar arasındaki 6.983 km' lik bir uzunlukta 1.682 cm, en büyük rölatif farkın 1-2 nolu noktalar arasındaki 2.042 km' lik bir uzunlukta 7.6 ppm olduğu görülür.

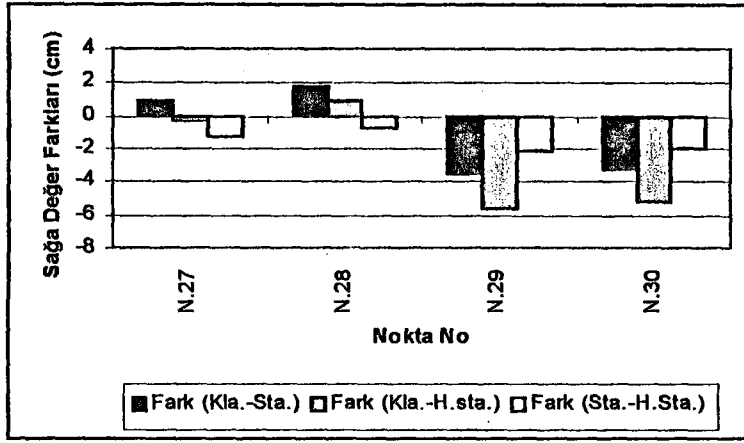
*Koordinat Değerlerinin karşılaştırılması:*

Dönüşüm sonucu ED-50 datumunda hesaplanan noktaların Gauss-Kruger koordinatları ile klasik yöntemle elde edilmiş mevcut koordinatlar, doğrudan karşılaştırılmış ve aralarındaki farklar çizelge 6.13'de verilmiştir.

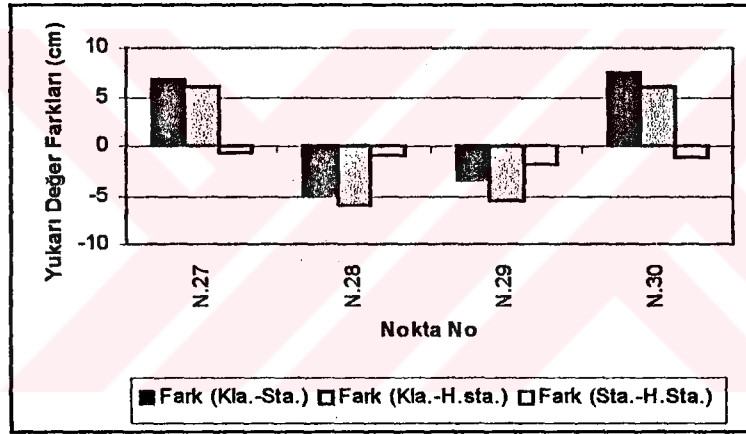
Çizelge 6.14 incelendiğinde statik ölçüler için yukarı değerler arasındaki en büyük mutlak farkın 30 nolu noktada 7.415 cm, sağa değerler arasındaki en büyük mutlak farkın ise 29 nolu noktada -3.480 cm, hızlı-statik ölçüler için yukarı değerler arasındaki en büyük mutlak farkın 30 nolu noktada 6.195 cm, sağa değerler arasındaki en büyük mutlak farkın ise 29 nolu noktada -5.652 cm olduğu görülür.

Çizelge 6.13, Projeksiyon düzleminde GPS koordinatları ile klasik koordinatların karşılaştırılması

| N.N  | Statik GPS Koor. |              | Hızlı-statik GPS Koor. |              | Klasik Koor. |              | Fark (Kla-Stat.)       |          | Fark (Kla.-hız.st)     |          | Fark (sta.-hız.st.)    |          |
|------|------------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
|      | Sağa Değ.        | Yukarı Değ.  | Sağa Değ.              | Yukarı Değ.  | Sağa Değ.    | Yukarı Değ.  | Sağa D. Yukarı.D. (mm) | (mm)     | Sağa D. Yukarı.D. (mm) | (mm)     | Sağa D. Yukarı.D. (mm) | (mm)     |
| N.1  | 418715.6590      | 4140194.1707 | 418715.6590            | 4140194.1707 | 418715.6590  | 4140194.1707 | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   |
| N.2  | 417922.6730      | 4142075.6883 | 417922.6730            | 4142075.6883 | 417922.6730  | 4142075.6883 | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   |
| N.6  | 417491.1300      | 4138190.6503 | 417491.1300            | 4138190.6503 | 417491.1300  | 4138190.6503 | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   | 0.0000                 | 0.0000   |
| N.27 | 414950.1622      | 4140747.2652 | 414950.1752            | 4140747.2730 | 414950.1717  | 4140747.3332 | 9.5527                 | 67.9699  | -3.4525                | 60.1668  | -13.0052               | -7.8031  |
| N.28 | 414633.9659      | 4138710.5888 | 414634.0043            | 4138710.5971 | 414634.0138  | 4138710.5370 | 17.8693                | -51.7860 | 9.4659                 | -60.0894 | -8.4034                | -8.3033  |
| N.29 | 411733.5336      | 4140324.6656 | 411733.5553            | 4140324.6850 | 411733.4988  | 4140324.6295 | -34.8071               | -36.0979 | -56.5158               | -55.5057 | -21.7087               | -19.4078 |
| N.30 | 413843.2572      | 4143100.9210 | 413843.2769            | 4143100.9332 | 413843.2242  | 4143100.9951 | -33.0195               | 74.1517  | -52.7274               | 61.9468  | -19.7079               | -12.2049 |



Şekil 6.9, Sağa değer koordinat farkları



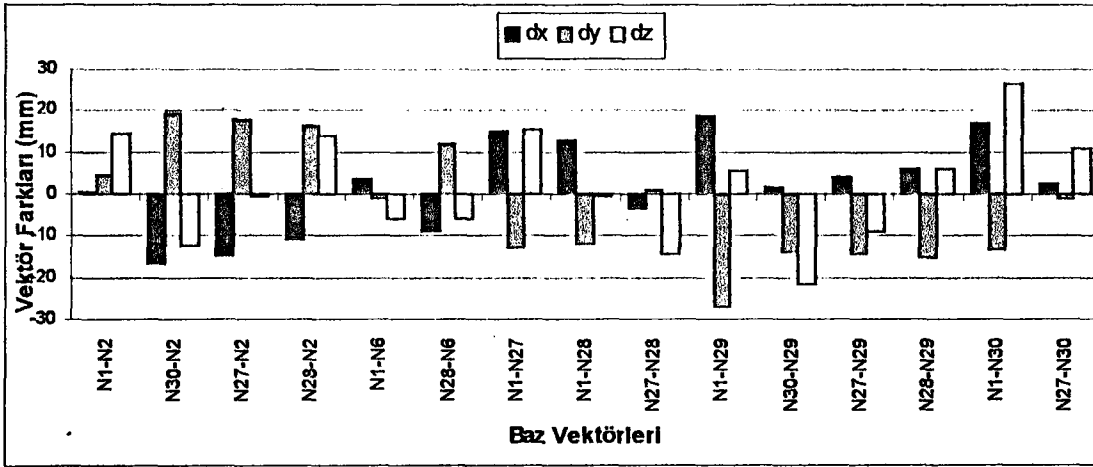
Şekil 6.10, Yukarı değer koordinat farkları

Yazılım Sonuçlarının Karşılaştırması:

Ski ve Ashtech yazılımlarıyla yapılan değerlendirme, kod çözümü ile başlamakta, üçlü fark çözümü ile devam etmekte ve birkaç tipte ikili çözüm ile sona ermektedir. Çözümlerin en iyisi o baz vektörü için en son çözüm olarak alınmaktadır. Toplanan statik GPS ölçüleri her iki yazılımla ayrı ayrı değerlendirilmiş ve WGS84 datumunda serbest dengelenmiş baz vektörü bileşenleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.14, Ski ve Ashtech yazılımları ile dengeli baz bileşenlerinin karşılaştırması (Statik ölçüler)

| BAZ<br>VEK. | SKI        |            |            | ASHTECH   |           |           | VEKTÖR<br>FARKLARI |          |          |
|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|----------|----------|
|             | DX         | DY         | DZ         | DX        | DY        | DZ        | dx<br>mm           | dy<br>mm | dz<br>mm |
| 1-2         | -494.8067  | -1267.7664 | 1523.6581  | -494.807  | -1267.771 | 1523.644  | 0.3                | 4.6      | 14.1     |
| 30-2        | -1710.9867 | 3754.5724  | -824.4834  | -1710.970 | 3754.553  | -824.471  | -16.7              | 19.4     | -12.4    |
| 27-2        | -2243.1199 | 2087.3229  | 1103.3565  | -2243.105 | 2087.305  | 1103.357  | -14.9              | 17.9     | -0.5     |
| 28-2        | -3430.6579 | 1692.7044  | 2741.7427  | -3430.647 | 1692.688  | 2741.729  | -10.9              | 16.4     | 13.7     |
| 1-6         | 1678.2562  | -370.3620  | -1600.5758 | 1678.253  | -370.361  | -1600.570 | 3.2                | -1       | -5.8     |
| 28-6        | -1257.5950 | 2590.1099  | -382.4917  | -1257.586 | 2590.098  | -382.486  | -9                 | 11.9     | -5.7     |
| 1-27        | 1748.3126  | -3355.0889 | 420.3023   | 1748.298  | -3355.076 | 420.287   | 14.6               | -12.9    | 15.3     |
| 1-28        | 2935.8517  | -2960.4706 | -1218.0846 | 2935.839  | -2960.459 | -1218.084 | 12.7               | -11.6    | -0.6     |
| 27-28       | 1187.5386  | 394.6179   | -1638.3865 | 1187.542  | 394.617   | -1638.372 | -3.4               | 0.9      | -14.5    |
| 1-29        | 3677.1805  | -5937.9052 | 49.5762    | 3677.162  | -5937.878 | 49.571    | 18.5               | -27.2    | 5.2      |
| 30-29       | 2461.0004  | -915.5668  | -2298.5658 | 2460.999  | -915.553  | -2298.544 | 1.4                | -13.8    | -21.8    |
| 27-29       | 1928.8678  | -2582.8162 | -370.7258  | 1928.864  | -2582.802 | -370.717  | 3.8                | -14.2    | -8.8     |
| 28-29       | 741.3288   | -2977.4342 | 1267.6609  | 741.323   | -2977.419 | 1267.655  | 5.8                | -15.2    | 5.9      |
| 1-30        | 1216.1797  | -5022.3383 | 2348.1415  | 1216.163  | -5022.325 | 2348.115  | 16.7               | -13.3    | 26.5     |
| 27-30       | -532.1326  | -1667.2498 | 1927.8388  | -532.135  | -1667.249 | 1927.828  | 2.4                | -0.8     | 10.8     |



Şekil 6.11, Dengeli baz bileşenlerinin karşılaştırılması (Skı ve Ashtech)

Çizelge incelendiğinde baz vektörü bileşenleri için dx değerleri arasındaki en büyük mutlak farkın 1-29 bazında 18.5 mm, dy değerleri arasındaki en büyük mutlak farkın yine 1-29 bazında 27.2 mm ve dz değerleri arasındaki en büyük mutlak farkın ise 1-30 bazında 26.5 mm olduğu görülür.

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada; daha önceden klasik ölçüleri yapılmış Ortakaraören Ana Nirengi Ağı üzerinde, nokta sıklaştırmasında GPS kullanımının araştırılması ve test edilmesi amacıyla 3 gün süreyle GPS ölçüleri Statik ve Hızlı-statik yöntemlerinin her ikisi uygulanarak toplanmış, bu ölçüler gerekli değerlendirme, test ve işlemlere tabi tutulduktan sonra elde edilen değerler karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

### Statik ve Hızlı-statik ölçülerin karşılaştırılması:

Bu karşılaştırma sonucunda;

- Baz vektörlerinin değerlendirme sonuçlarının duyarlıklarını görmek için, kapalı geometrik şekiller oluşturularak elde edilen baz bileşenlerinin hesaplama sonucu bulunan konum hataları, statik ölçüler için 2-6 cm, hızlı statik ölçüler içinse 1-2 cm,
- Serbest dengeleme sonucunda statik ve hızlı-statik ölçülerden hesaplanan baz vektörleri arasındaki maksimum farklar, DX için 27-2 bazında -18.9 mm (5.8 ppm), DY için 1-2 bazında 7.6 mm (3.7 ppm) ve DZ için 1-27 bazında 20.3 mm (5.3 ppm), (Tekrarlı bazlar halinde, bazın herhangi bir bileşenindeki ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) farkı, uluslar arası GPS şartnamalarına göre 1. ve 2. derece nirengi noktalarına karşılık olarak 12 ve 25 ppm'den küçük olmalıdır.)
- WGS-84 datumunda yapılan serbest dengeleme sonucunda nokta konum hataları, statik ölçüler için yatay konumda 3.55-6.77 mm, yükseklikte 4.70-7.87 mm, hızlı-statik ölçüler için yatay konumda 1.91-3.32 mm, yükseklikte 2.23-4.60 mm olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla çalışmamızda, hızlı-statik ölçü sonuçları statik ölçü sonuçlarından daha duyarlı çıkmıştır. Buna neden olarak; statik ölçülere ait 13., 14. ve 15. oturumlarda faz sıçraması olması, hızlı-statik ölçülerin büyük oranda iyonosferik etkinin az olduğu akşam ve sabah erken saatlerde yapılmış olması ve ayrıca statik



ölçülerde, her bir oturum için yaklaşık 240 ölçü alınırken, hızlı-statik ölçülerde 300 ölçünün alınmış olması söylenebilir.

*Skı ve Ashtech yazılım sonuçlarının karşılaştırılması:*

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde statik ölçüler için iki farklı yazılım kullanılmıştır. Yazılımlar arasındaki en belirgin farklılık veri transferi bölümünde ortaya çıkmıştır. Skı yazılımı sadece kendi ham ve RINEX dosyalarını okuyabilmekte iken Ashtech bütün yazılımların ham ve RINEX dosyalarını okuyabilmektedir.

Her iki yazılımla yapılan değerlendirmede mümkün olduğu kadar aynı özellikte parametreler seçilmiş olmasına rağmen farklı yazılımlarda farklı hata modellerinin ve farklı çözüm yöntemlerinin kullanılmasının farklı sonuçlar çıkmasına neden olduğu iki yazılımdan elde edilen dengeli baz vektör sonuçları karşılaştırıldığında açıkça görülebilmektedir. En büyük farklar,  $\Delta X_{1-29}=18.5$  mm (2.6 ppm),  $\Delta Y_{1-29}=-27.2$  mm (3.9 ppm),  $\Delta Z_{1-30}=26.5$  mm (4.67 ppm) olarak bulunmuştur.

Yukarıda da belirtildiği gibi bu farkların nedeni olarak her iki yazılımın kullandığı matematiksel algoritmaların farklı olması söylenebilir. Yani aynı verilerin kullanıldığı her iki yazılım değerlendirmesinde, uydu koordinatlarının hesabından faz sıçramalarının belirlenmesine, iyonosferik etkinin hesabına kadar kullanılan matematiksel algoritmalarda farklılıklar vardır. Örneğin Skı yazılımıyla yapılan değerlendirmede faz sıçraması belirlenirken Ashtech yazılımıyla yapılan değerlendirmede faz sıçraması görülmemiştir. Dolayısıyla arada bu ölçekte farkların olması doğaldır.

*Klasik-GPS ölçü sonuçlarının karşılaştırılması:*

Çalışmanın diğer bir aşamasında ise GPS ölçü sonuçları ile klasik ölçü sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda,

- Statik ölçüler sırasında sinyal devir sekmeleri meydana gelmesine ve bu nedenle iki uydudan toplanan ölçülerin değerlendirmeden çıkarılmasına yani iki uydunun değerlendirmeye sokulmamasına rağmen, her iki yöntem (Statik ve Hızlı-statik) göre GPS 'ten elde edilen noktalara ait konum doğrulukları santimetrenin

altında kalmış, buna karşın klasik ölçülerin kullanıldığı durumlarda serbest ve dayalı ağ dengelemesi sonucunda aynı noktalar için elde edilen doğrulukların ise 1 ile 4 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Dolayısıyla GPS 'le noktalar için elde edilen konum doğruluğunun daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

- Klasik-statik ölçüler için, ED-50 datumuna dönüştürülmüş koordinatlar arasında, yukarı değerler arasındaki en büyük mutlak fark 30 nolu noktada 7.415 cm, sağa değerler arasındaki en büyük mutlak fark ise 29 nolu noktada -3.480 cm,
- Hızlı-statik ölçüler için, yukarı değerler arasındaki en büyük mutlak fark 30 nolu noktada 6.195 cm, sağa değerler arasındaki en büyük mutlak fark ise 29 nolu noktada -5.652 cm olarak hesaplanmıştır.

GPS ile elde edilen koordinatların doğruluğu daha yüksek olmasına rağmen, bunlar ülke nirengi ağının koordinatlarından yararlanılarak ülke koordinat sistemine dönüştürüldüğü için, GPS 'den beklenen yüksek presizyona ulaşmada olumsuz etkiye sahip oldukları görülmektedir.

#### Öneriler:

- Dayalı ağda yapılan ölçüler, daha önceden ölçülmüş ve dengelenmiş ülke nirengi noktalarına dayandırılmalarına rağmen, bu nirengilere ait mevcut konum doğruluğu GPS yöntemiyle elde edilen doğruluktan daha düşüktür. Bu nedenle modern yöntemler kullanılarak güncelleştirilmeleri önem arz etmektedir.
- Çizelge 6.15'te gösterilen ve aynı baz vektörleri için her iki GPS yazılımından elde edilen sonuçlar arasındaki farklar, GPS donanım ve yazılımının da sonuçlar üzerinde etkin olduğunu ve bu konularda çok dikkatli bir araştırma ve seçimin yapılmasının gerekliliğini açıkça gözler önüne sermektedir.
- Statik ölçülerden beklenen sonuçsal doğrulukların, hızlı-statik ölçülere göre daha iyi olması gerekirken, statik ölçümler anında meydana gelen sinyal sekmeleri nedeniyle iki uydu ölçülerinin değerlendirmeden çıkarılmasının sonuçları olumsuz etkilediği açıkça görülmekte, bu nedenle sinyal sekmeleri oluştuğunda bu

ölçülerin veya bu ölçülerde referans alınan uyduların değerlendirmeden çıkarılması yerine, sinyal sekmelerinin ileri işlemlerle çözümlerinin gerekliliği önem arz etmektedir.



## 8. KAYNAKLAR

- ALTINER, Y., 1992. GPS'in Ana Hatları, H.K.M.O. Dergisi, sayı:71, Ankara.
- ARSLAN, E., 1997. GPS Koordinatlarından Ülke Koordinatlarına Dönüşüm, 6. Harita Kurultayı, Ankara.
- B.Ö.H.Y.Y., 1989. Büyük Ölçekli Haritalar Yapım Yönetmeliği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 1989.
- DOĞAN, U., 1997. GPS ve GIS integrasyonu, 6. Harita Kurultayı, Ankara.
- EREN, K., 1993. GPS Surveying (Lecture Notes), Ministry of Municipal and Rural Affairs Deputy Ministry for Town Planning Surveying and Cadastral Department, Kingdom of Saudi Arabia.
- EREN, K., UZEL, T., 1995. GPS ölçmeleri, YTÜ Matbaası, İstanbul.
- ERSOY, N., 1997. İstanbul nirengi çalışmalarının yersel ve GPS ile değerlendirilmesi ve analizi, Doktora Tezi, YTÜ.
- HOFMANN-WELLENHOF B, LICHTENEGGER H, COLLINS J., 1992. GPS Theory and Practice,,Springer-Verlag/Wien,NewYork.
- KINIK, İ., ŞAHİN, K., ŞANLI İ., 1993. Ankara Test Ağında GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi, Harita Dergisi, Sayı:110, Ankara.
- LEICA AG., 1996. SKI Yazılımı Kullanım Kılavuzu, Switzerland, 1996.
- LEICK, A., 1995. GPS Satellite Surveying, Second Edition, Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono, John Wiley & Sons.
- MEKİK, Ç., AKÇIN, H., 1998. GPS'de tamsayı belirsizliği çözüm yöntemleri, Harita dergisi, Sayı: 84, Ankara.
- ÖZTÜRK, E., 1997. Nirengi ağlarının GPS gözlemleri ile yenilenmesi ve sıklaştırılması, 6. Harita Kurultayı, Ankara.
- ÖZTÜRK, E., ŞERBETÇİ, M., 1989. Dengeleme Hesabı, Cilt II, Trabzon, K.T.Ü.
- ÖZTÜRK, E., ŞERBETÇİ, M., 1992. Dengeleme Hesabı, Cilt III, Trabzon, K.T.Ü.
- SEEBER, G., 1993. Satellite geodesy, Foundations,Methods, and Applications, Walter de Gruyter, Berlin . New York.

- ŞANLIOĞLU, İ., 1998. GPS verilerinin işlenmesi ve elipsoidal koordinatların ülke sistemine dönüştürülmesi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Konya.
- ŞİMŞEK, M., 1994. Uydu tekniklerinin ağ sıklaştırılmasında kullanılabilirliği üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- ÜSTÜN, A., 1996. Datum Dönüşümleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- YILDIZ, F., İNAL, C., ERDİ, A., 1996. Konya metropoliten alan nirengi ağının GPS yöntemiyle belirlenmesi, S.Ü. Araştırma Fonu, Proje No:95/107



EK-A

SERBEST DENGEME SONUCU BULUNAN TERS AĞIRLIK MATRİSİ (KLASİK ÖLÇÜLERLE)

|          | 0.12858  | 0.00829  | -0.03765 | 0.05626  | -0.03531 | -0.05143 | -0.01117 | -0.00178 | -0.03311 | -0.02138 | 0.00154  | -0.01202 | -0.01291 | 0.02205  |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.00829  | 0.39660  | 0.21541  | 0.21541  | 0.28392  | -0.28905 | 0.12585  | 0.05354  | -0.09441 | -0.20129 | -0.11228 | -0.01191 | -0.40950 | 0.22499  | -0.19013 |
| -0.03765 | 0.21541  | 0.20473  | 0.11410  | 0.11410  | -0.19556 | 0.06143  | 0.03776  | -0.04644 | -0.12864 | -0.06267 | -0.00745 | -0.19984 | 0.12681  | -0.06200 |
| 0.05626  | 0.28392  | 0.11410  | 0.31717  | 0.07072  | -0.19299 | 0.07072  | 0.03466  | -0.07642 | -0.15964 | -0.08628 | -0.03494 | -0.34592 | 0.18260  | -0.16315 |
| -0.03531 | -0.28905 | -0.19556 | -0.19299 | 0.28166  | 0.08246  | -0.08246 | -0.04841 | 0.06258  | 0.17461  | 0.08110  | 0.00332  | 0.28989  | -0.18031 | 0.13093  |
| -0.05143 | 0.12585  | 0.06143  | 0.07072  | -0.08246 | 0.14709  | 0.02420  | 0.02420  | -0.03459 | -0.07743 | -0.03315 | 0.01786  | -0.20182 | 0.10777  | -0.07405 |
| -0.01117 | 0.05354  | 0.03776  | 0.03466  | -0.04841 | 0.06258  | 0.02420  | 0.04262  | -0.01055 | -0.04548 | -0.01437 | -0.01405 | -0.06712 | 0.03879  | -0.02037 |
| -0.00178 | -0.09441 | -0.04644 | -0.07642 | 0.06258  | -0.04841 | -0.03459 | -0.01055 | 0.06334  | 0.02226  | 0.04841  | -0.00090 | 0.04431  | -0.02517 | 0.04941  |
| -0.03311 | -0.20129 | -0.12864 | -0.15964 | 0.17461  | 0.17461  | -0.07743 | -0.04548 | 0.02226  | 0.22028  | 0.03254  | 0.00375  | 0.31239  | -0.19134 | 0.07118  |
| -0.02138 | -0.11228 | -0.06267 | -0.08628 | 0.08110  | 0.08110  | -0.03315 | -0.01437 | 0.04841  | 0.03254  | 0.09373  | 0.01125  | 0.04686  | -0.02652 | 0.04276  |
| 0.00154  | -0.01191 | -0.00745 | -0.03494 | 0.00332  | 0.00332  | 0.01786  | -0.01405 | -0.00090 | 0.00375  | 0.01125  | 0.06518  | 0.03450  | -0.05214 | -0.01586 |
| -0.01202 | -0.40950 | -0.19984 | -0.34592 | 0.28989  | 0.28989  | -0.20182 | -0.06712 | 0.04431  | 0.31239  | 0.04686  | 0.03450  | 0.69990  | -0.35781 | 0.16622  |
| -0.01291 | 0.22499  | 0.12681  | 0.18260  | -0.18031 | -0.18031 | 0.10777  | 0.03879  | -0.02517 | -0.19134 | -0.02652 | -0.05214 | -0.35781 | 0.27119  | -0.10587 |
| 0.02205  | -0.19013 | -0.06200 | -0.16315 | 0.13093  | 0.13093  | -0.07405 | -0.02037 | 0.04941  | 0.07118  | 0.04276  | -0.01586 | 0.16622  | -0.10587 | 0.16898  |

## EK-B

**LEICA SR9500 GPS ALICISININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ**

|  |   |
|--|---|
| Uydu Kabulü:   | Çift frekanslı  |
| Alıcı Kanalları:                                     | 12 L1 sürekli izleme<br>12 L2 sürekli izleme  |
| L1 Kanalları:  | Taşıyıcı faz, P1 Kodu, C/A Kodu   |
| L2 Kanalları:  | Taşıyıcı faz, P2 Kodu   |
| L1 Taşıyıcı izleme-AS açık veya kapalı:              | C/A Kodu üzerinden yeniden oluşturulmuş taşıyıcı faz  |
| L2 Taşıyıcı izleme-AS Kapalı:                        | P Kodu üzerinden yeniden oluşturulmuş taşıyıcı faz  |
| L2 Taşıyıcı izleme-AS Açık:                          | Yeniden oluşturulmuş tam L2 taşıyıcı fazı sağlayan P kod yardımcı tekniği kullanmak için otomatik olarak açıp kapama. |
| L1 Kod ölçüleri-AS Açık:                             | Taşıyıcı faz kod ölçülerini düzeltilmiş: C/A kod dar korelasyon. P1 kod yardımcı kod kullanılabilir.                  |
| L1 Kod ölçüleri-AS Kapalı:                           | Taşıyıcı faz kod ölçülerini düzeltilmiş: C/A kod dar korelasyon. P1 kod   |
| L2 Kod ölçüleri-AS Açık:                             | Taşıyıcı faz kod ölçülerini düzeltilmiş: P2 kod yardımcı kod kullanılabilir.  |
| L2 Kod ölçüleri-AS Kapalı:                           | Taşıyıcı faz kod ölçülerini düzeltilmiş: P kod  |
| Bağımsız ölçüler:                                    | AS açık yada kapalı iken L1 ve L2 üzerindeki taşıyıcı faz ve kod ölçüleri tam olarak bağımsız                         |
| Uydu izleme:   | L1 ve L2 üzerinden 12'ye kadar uydu izleme  |
| Açıldıktan sonra ilk faz ölçüsüne kadar geçen zaman: | Genel olarak 60 sn'den daha az  |
| Giriş:   | Seçenek olarak iki giriş portu ayarlanabilir.   |
| Ağırlık:   | 2.6 kg  |

**SR9500 için AT302 harici anten**

|                                       |                             |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Anten tipi:                           | Mikroşerit L1/L2 anten tipi |
| Standart kablolar, harici anten için: | 2.8 ve 10 m                 |
| Seçmeli kablolar, harici anten için:  | 30 m                        |
| Ağırlık:                              | 0.6                         |

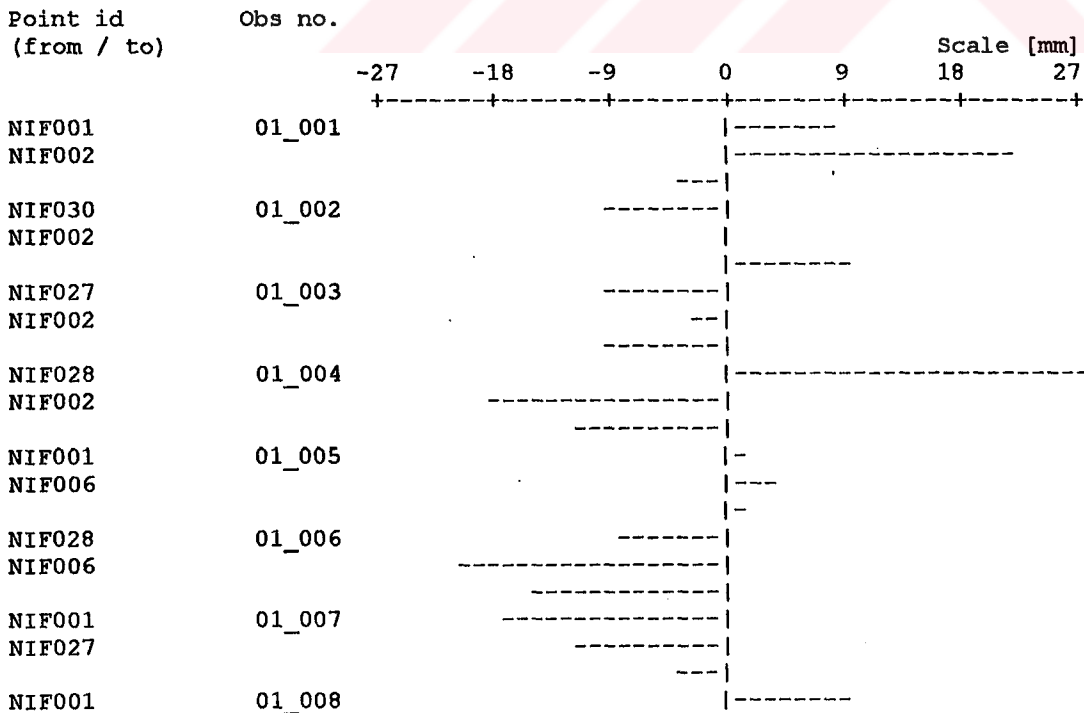
Adjustment type : Free  
 Number of observations : 45  
 Number of unknowns : 21  
 Degrees of freedom : 27  
 Datum defect : 3  
 Number of groups : 1

Sigma a priori : 0.0027 [m]  
 Sigma a posteriori : 0.0027 [m]

Vectors:

| From point | To point | Obs no. | DX        | DY        | DZ        |
|------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| NIF001     | NIF002   | 01_001  | -494.815  | -1267.788 | 1523.662  |
| NIF030     | NIF002   | 01_002  | -1710.978 | 3754.573  | -824.493  |
| NIF027     | NIF002   | 01_003  | -2243.111 | 2087.325  | 1103.366  |
| NIF028     | NIF002   | 01_004  | -3430.684 | 1692.722  | 2741.754  |
| NIF001     | NIF006   | 01_005  | 1678.255  | -370.366  | -1600.577 |
| NIF028     | NIF006   | 01_006  | -1257.587 | 2590.130  | -382.477  |
| NIF001     | NIF027   | 01_007  | 1748.329  | -3355.078 | 420.306   |
| NIF001     | NIF028   | 01_008  | 2935.843  | -2960.464 | -1218.086 |
| NIF027     | NIF028   | 01_009  | 1187.546  | 394.624   | -1638.381 |
| NIF001     | NIF029   | 01_010  | 3677.192  | -5937.897 | 49.583    |
| NIF030     | NIF029   | 01_011  | 2460.988  | -915.567  | -2298.568 |
| NIF027     | NIF029   | 01_012  | 1928.866  | -2582.819 | -370.728  |
| NIF028     | NIF029   | 01_013  | 741.345   | -2977.427 | 1267.674  |
| NIF001     | NIF030   | 01_014  | 1216.185  | -5022.344 | 2348.142  |
| NIF027     | NIF030   | 01_015  | -532.141  | -1667.251 | 1927.834  |

Cartesian residuals:





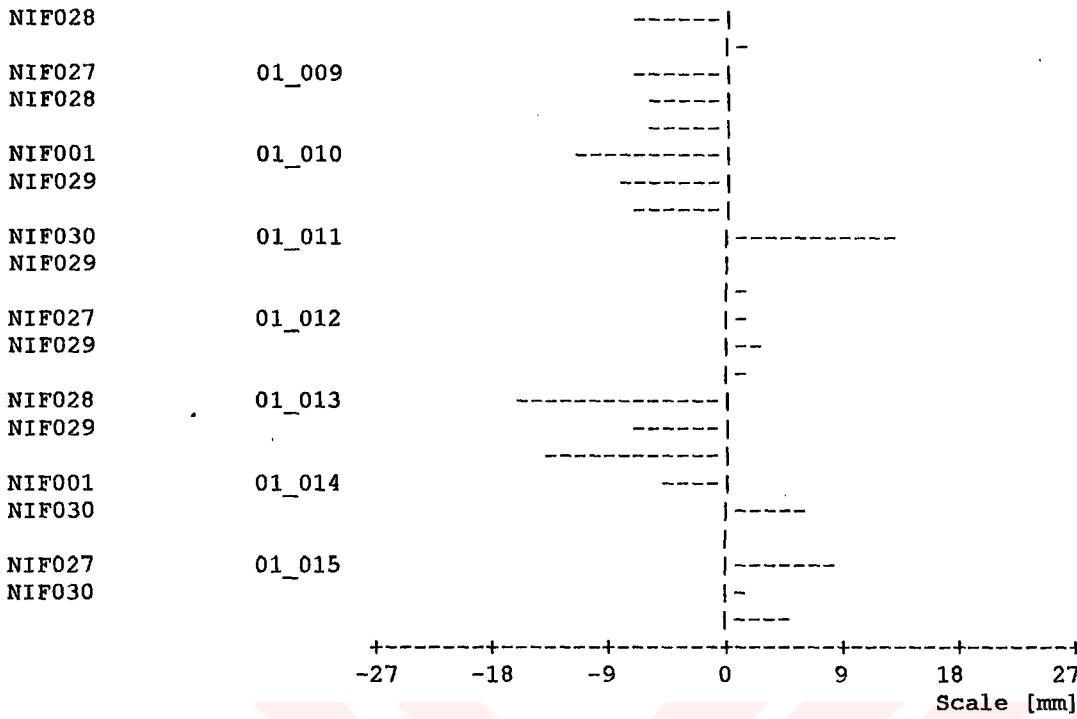


Table with Cartesian residuals:

| From point | To point | Obs no. | dX      | dY      | dZ      |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| NIF001     | NIF002   | 01_001  | 0.0082  | 0.0214  | -0.0038 |
| NIF030     | NIF002   | 01_002  | -0.0088 | -0.0007 | 0.0097  |
| NIF027     | NIF002   | 01_003  | -0.0090 | -0.0022 | -0.0094 |
| NIF028     | NIF002   | 01_004  | 0.0260  | -0.0177 | -0.0112 |
| NIF001     | NIF006   | 01_005  | 0.0012  | 0.0039  | 0.0012  |
| NIF028     | NIF006   | 01_006  | -0.0080 | -0.0202 | -0.0147 |
| NIF001     | NIF027   | 01_007  | -0.0165 | -0.0110 | -0.0036 |
| NIF001     | NIF028   | 01_008  | 0.0087  | -0.0067 | 0.0014  |
| NIF027     | NIF028   | 01_009  | -0.0074 | -0.0061 | -0.0056 |
| NIF001     | NIF029   | 01_010  | -0.0116 | -0.0083 | -0.0068 |
| NIF030     | NIF029   | 01_011  | 0.0124  | 0.0002  | 0.0021  |
| NIF027     | NIF029   | 01_012  | 0.0018  | 0.0028  | 0.0021  |
| NIF028     | NIF029   | 01_013  | -0.0162 | -0.0072 | -0.0131 |
| NIF001     | NIF030   | 01_014  | -0.0053 | 0.0056  | -0.0004 |
| NIF027     | NIF030   | 01_015  | 0.0084  | 0.0012  | 0.0048  |

| Point id | NIF001   |          |          | NIF002   |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NIF001   | 2.12385  | 0.79850  | 1.03862  | -0.72003 | -0.25110 | -0.30262 |
|          | 0.79850  | 1.69976  | 0.55994  | -0.25959 | -0.66489 | -0.13571 |
|          | 1.03862  | 0.55994  | 1.69299  | -0.32537 | -0.15318 | -0.70547 |
| NIF002   | -0.72003 | -0.25959 | -0.32537 | 4.64702  | 1.89556  | 2.56210  |
|          | -0.25110 | -0.66489 | -0.15318 | 1.89556  | 3.82437  | 1.44478  |
|          | -0.30262 | -0.13571 | -0.70547 | 2.56210  | 1.44478  | 4.42632  |
| NIF006   | 1.05341  | 0.45702  | 0.53862  | -1.42962 | -0.49031 | -0.64291 |
|          | 0.46376  | 0.73838  | 0.29852  | -0.49091 | -1.31960 | -0.34713 |
|          | 0.54387  | 0.29686  | 0.79418  | -0.65969 | -0.36357 | -1.45245 |

|        |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NIF027 | -0.73291 | -0.30779 | -0.38935 | -0.45816 | -0.22866 | -0.43908 |
|        | -0.31235 | -0.59991 | -0.21873 | -0.24126 | -0.36071 | -0.28272 |
|        | -0.39891 | -0.21937 | -0.60111 | -0.44464 | -0.27830 | -0.48991 |
| NIF028 | -0.28757 | -0.08957 | -0.08554 | -0.94201 | -0.39888 | -0.41908 |
|        | -0.08279 | -0.03476 | -0.05335 | -0.37238 | -0.60214 | -0.20867 |
|        | -0.04201 | -0.04851 | -0.06876 | -0.38155 | -0.19850 | -0.75253 |
| NIF029 | -0.62204 | -0.28202 | -0.31672 | -0.76980 | -0.33849 | -0.58468 |
|        | -0.28926 | -0.42749 | -0.19764 | -0.35041 | -0.67579 | -0.33006 |
|        | -0.35981 | -0.21253 | -0.40705 | -0.56730 | -0.32209 | -0.80192 |
| NIF030 | -0.81471 | -0.31655 | -0.46026 | -0.32740 | -0.18813 | -0.17373 |
|        | -0.32676 | -0.71109 | -0.23557 | -0.18100 | -0.20124 | -0.14049 |
|        | -0.47913 | -0.24068 | -0.70478 | -0.18356 | -0.12913 | -0.22405 |

| Point id | NIF006   |          |          | NIF027   |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NIF001   | 1.05341  | 0.46376  | 0.54387  | -0.73291 | -0.31235 | -0.39891 |
|          | 0.45702  | 0.73838  | 0.29686  | -0.30779 | -0.59991 | -0.21937 |
|          | 0.53862  | 0.29852  | 0.79418  | -0.38935 | -0.21873 | -0.60111 |
| NIF002   | -1.42962 | -0.49091 | -0.65969 | -0.45816 | -0.24126 | -0.44464 |
|          | -0.49031 | -1.31960 | -0.36357 | -0.22866 | -0.36071 | -0.27830 |
|          | -0.64291 | -0.34713 | -1.45245 | -0.43908 | -0.28272 | -0.48991 |
| NIF006   | 4.84170  | 1.65194  | 2.35406  | -1.27613 | -0.46726 | -0.63194 |
|          | 1.65194  | 4.56371  | 1.44794  | -0.47247 | -1.19059 | -0.38338 |
|          | 2.35406  | 1.44794  | 5.10837  | -0.64583 | -0.38700 | -1.27859 |
| NIF027   | -1.27613 | -0.47247 | -0.64583 | 1.64781  | 0.66131  | 0.95763  |
|          | -0.46726 | -1.19059 | -0.38700 | 0.66131  | 1.45207  | 0.56182  |
|          | -0.63194 | -0.38338 | -1.27859 | 0.95763  | 0.56182  | 1.58019  |
| NIF028   | -0.47838 | -0.16339 | -0.21324 | 0.06434  | 0.07014  | 0.15238  |
|          | -0.15592 | -0.35211 | -0.18753 | 0.04908  | -0.12276 | 0.07761  |
|          | -0.20741 | -0.19777 | -0.61949 | 0.09805  | 0.07058  | 0.00578  |
| NIF029   | -1.23627 | -0.46923 | -0.61334 | 0.57034  | 0.17460  | 0.15404  |
|          | -0.47243 | -1.07766 | -0.38242 | 0.17267  | 0.46043  | 0.10929  |
|          | -0.65173 | -0.39463 | -1.12887 | 0.16586  | 0.11321  | 0.40153  |
| NIF030   | -1.47470 | -0.51970 | -0.76582 | 0.18472  | 0.11483  | 0.21144  |
|          | -0.52304 | -1.36213 | -0.42427 | 0.12585  | 0.36147  | 0.13233  |
|          | -0.75869 | -0.42356 | -1.42315 | 0.25272  | 0.14285  | 0.38210  |

| Point id | NIF028   |          |          | NIF029   |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NIF001   | -0.28757 | -0.08279 | -0.04201 | -0.62204 | -0.28926 | -0.35981 |
|          | -0.08957 | -0.03476 | -0.04851 | -0.28202 | -0.42749 | -0.21253 |
|          | -0.08554 | -0.05335 | -0.06876 | -0.31672 | -0.19764 | -0.40705 |
| NIF002   | -0.94201 | -0.37238 | -0.38155 | -0.76980 | -0.35041 | -0.56730 |
|          | -0.39888 | -0.60214 | -0.19850 | -0.33849 | -0.67579 | -0.32209 |
|          | -0.41908 | -0.20867 | -0.75253 | -0.58468 | -0.33006 | -0.80192 |
| NIF006   | -0.47838 | -0.15592 | -0.20741 | -1.23627 | -0.47243 | -0.65173 |
|          | -0.16339 | -0.35211 | -0.19777 | -0.46923 | -1.07766 | -0.39463 |
|          | -0.21324 | -0.18753 | -0.61949 | -0.61334 | -0.38242 | -1.12887 |

|        |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NIF027 | 0.06434  | 0.04908  | 0.09805  | 0.57034  | 0.17267  | 0.16586  |
|        | 0.07014  | -0.12276 | 0.07058  | 0.17460  | 0.46043  | 0.11321  |
|        | 0.15238  | 0.07761  | 0.00578  | 0.15404  | 0.10929  | 0.40153  |
| NIF028 | 2.63093  | 0.89981  | 0.96179  | -0.26053 | -0.10158 | -0.17462 |
|        | 0.89981  | 2.02051  | 0.57734  | -0.10738 | -0.30882 | -0.08733 |
|        | 0.96179  | 0.57734  | 2.23352  | -0.16566 | -0.07972 | -0.25071 |
| NIF029 | -0.26053 | -0.10738 | -0.16566 | 2.09568  | 0.86438  | 1.33590  |
|        | -0.10158 | -0.30882 | -0.07972 | 0.86438  | 1.84142  | 0.74482  |
|        | -0.17462 | -0.08733 | -0.25071 | 1.33590  | 0.74482  | 1.99462  |
| NIF030 | -0.72679 | -0.23042 | -0.26320 | 0.22262  | 0.17663  | 0.25169  |
|        | -0.21654 | -0.59993 | -0.12342 | 0.15814  | 0.18791  | 0.15855  |
|        | -0.22169 | -0.11807 | -0.54781 | 0.19047  | 0.13573  | 0.19240  |

| Point id | NIF030   |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| NIF001   | -0.81471 | -0.32676 | -0.47913 |
|          | -0.31655 | -0.71109 | -0.24068 |
|          | -0.46026 | -0.23557 | -0.70478 |
| NIF002   | -0.32740 | -0.18100 | -0.18356 |
|          | -0.18813 | -0.20124 | -0.12913 |
|          | -0.17373 | -0.14049 | -0.22405 |
| NIF006   | -1.47470 | -0.52304 | -0.75869 |
|          | -0.51970 | -1.36213 | -0.42356 |
|          | -0.76582 | -0.42427 | -1.42315 |
| NIF027   | 0.18472  | 0.12585  | 0.25272  |
|          | 0.11483  | 0.36147  | 0.14285  |
|          | 0.21144  | 0.13233  | 0.38210  |
| NIF028   | -0.72679 | -0.21654 | -0.22169 |
|          | -0.23042 | -0.59993 | -0.11807 |
|          | -0.26320 | -0.12342 | -0.54781 |
| NIF029   | 0.22262  | 0.15814  | 0.19047  |
|          | 0.17663  | 0.18791  | 0.13573  |
|          | 0.25169  | 0.15855  | 0.19240  |
| NIF030   | 2.93627  | 0.96335  | 1.19988  |
|          | 0.96335  | 2.32500  | 0.63287  |
|          | 1.19988  | 0.63287  | 2.32528  |

Reduced Cartesian variance / covariance information:

| NIF001  |         |         | NIF002  |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2.12385 | 0.79850 | 1.03862 | 4.64702 | 1.89556 | 2.56210 |
| 0.79850 | 1.69976 | 0.55994 | 1.89556 | 3.82437 | 1.44478 |
| 1.03862 | 0.55994 | 1.69299 | 2.56210 | 1.44478 | 4.42632 |

| NIF006  |         |         | NIF027  |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4.84170 | 1.65194 | 2.35406 | 1.64781 | 0.66131 | 0.95763 |
| 1.65194 | 4.56371 | 1.44794 | 0.66131 | 1.45207 | 0.56182 |
| 2.35406 | 1.44794 | 5.10837 | 0.95763 | 0.56182 | 1.58019 |
| NIF028  |         |         | NIF029  |         |         |
| 2.63093 | 0.89981 | 0.96179 | 2.09568 | 0.86438 | 1.33590 |
| 0.89981 | 2.02051 | 0.57734 | 0.86438 | 1.84142 | 0.74482 |
| 0.96179 | 0.57734 | 2.23352 | 1.33590 | 0.74482 | 1.99462 |
| NIF030  |         |         |         |         |         |
| 2.93627 | 0.96335 | 1.19988 |         |         |         |
| 0.96335 | 2.32500 | 0.63287 |         |         |         |
| 1.19988 | 0.63287 | 2.32528 |         |         |         |

Outlier detection:

Critical tau value: 2.31 for tuned Alpha: 1.46 [%]

| From point | To point | Obs no. | Stand. resid. | R[%]  |
|------------|----------|---------|---------------|-------|
| NIF001     | NIF002   | 01_001  | 0.86          | 63.41 |
|            |          |         | 2.12          | 68.73 |
|            |          |         | 0.38          | 66.64 |
| NIF030     | NIF002   | 01_002  | 0.85          | 66.34 |
|            |          |         | 0.08          | 61.20 |
|            |          |         | 1.14          | 59.57 |
| NIF027     | NIF002   | 01_003  | 0.84          | 47.99 |
|            |          |         | 0.22          | 63.50 |
|            |          |         | 0.77          | 63.77 |
| NIF028     | NIF002   | 01_004  | 0.91          | 91.63 |
|            |          |         | 1.07          | 73.92 |
|            |          |         | 0.65          | 83.49 |
| NIF001     | NIF006   | 01_005  | 0.51          | 14.36 |
|            |          |         | 1.55          | 15.99 |
|            |          |         | 0.68          | 6.18  |
| NIF028     | NIF006   | 01_006  | 0.65          | 69.55 |
|            |          |         | 1.60          | 72.79 |
|            |          |         | 0.68          | 89.43 |
| NIF001     | NIF027   | 01_007  | 0.79          | 91.31 |
|            |          |         | 0.52          | 93.01 |
|            |          |         | 0.17          | 93.64 |
| NIF001     | NIF028   | 01_008  | 1.11          | 63.76 |
|            |          |         | 1.29          | 47.81 |
|            |          |         | 0.29          | 44.38 |
| NIF027     | NIF028   | 01_009  | 1.59          | 44.20 |
|            |          |         | 1.23          | 49.35 |
|            |          |         | 1.13          | 49.05 |
| NIF001     | NIF029   | 01_010  | 1.39          | 60.97 |
|            |          |         | 1.22          | 55.41 |
|            |          |         | 1.00          | 50.88 |
| NIF030     | NIF029   | 01_011  | 1.81          | 60.91 |
|            |          |         | 0.03          | 66.83 |
|            |          |         | 0.30          | 66.87 |

|        |        |        |      |       |
|--------|--------|--------|------|-------|
| NIF027 | NIF029 | 01_012 | 0.55 | 23.40 |
|        |        |        | 0.91 | 30.93 |
|        |        |        | 0.57 | 33.88 |
| NIF028 | NIF029 | 01_013 | 1.30 | 76.05 |
|        |        |        | 0.59 | 82.19 |
|        |        |        | 1.08 | 77.61 |
| NIF001 | NIF030 | 01_014 | 0.42 | 71.10 |
|        |        |        | 0.45 | 79.47 |
|        |        |        | 0.03 | 76.11 |
| NIF027 | NIF030 | 01_015 | 1.44 | 55.03 |
|        |        |        | 0.30 | 38.86 |
|        |        |        | 1.25 | 38.50 |

Internal reliability (cartesian):

| From point | To point | Obs no. | minimal detectable bias |        |        |
|------------|----------|---------|-------------------------|--------|--------|
|            |          |         | X                       | Y      | Z      |
| NIF001     | NIF002   | 01_001  | 0.0204                  | 0.0196 | 0.0199 |
| NIF030     | NIF002   | 01_002  | 0.0209                  | 0.0188 | 0.0191 |
| NIF027     | NIF002   | 01_003  | 0.0246                  | 0.0198 | 0.0233 |
| NIF028     | NIF002   | 01_004  | 0.0409                  | 0.0276 | 0.0272 |
| NIF001     | NIF006   | 01_005  | 0.0224                  | 0.0212 | 0.0342 |
| NIF028     | NIF006   | 01_006  | 0.0230                  | 0.0224 | 0.0320 |
| NIF001     | NIF027   | 01_007  | 0.0300                  | 0.0297 | 0.0296 |
| NIF001     | NIF028   | 01_008  | 0.0165                  | 0.0141 | 0.0147 |
| NIF027     | NIF028   | 01_009  | 0.0143                  | 0.0135 | 0.0136 |
| NIF001     | NIF029   | 01_010  | 0.0176                  | 0.0156 | 0.0163 |
| NIF030     | NIF029   | 01_011  | 0.0151                  | 0.0144 | 0.0144 |
| NIF027     | NIF029   | 01_012  | 0.0150                  | 0.0123 | 0.0133 |
| NIF028     | NIF029   | 01_013  | 0.0210                  | 0.0196 | 0.0201 |
| NIF001     | NIF030   | 01_014  | 0.0227                  | 0.0206 | 0.0210 |
| NIF027     | NIF030   | 01_015  | 0.0143                  | 0.0130 | 0.0130 |

External reliability (cartesian):

| Point  | dX     | dY     | dZ     |
|--------|--------|--------|--------|
| NIF001 | 0.0021 | 0.0018 | 0.0026 |
| NIF002 | 0.0020 | 0.0012 | 0.0023 |
| NIF006 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0018 |
| NIF027 | 0.0025 | 0.0018 | 0.0022 |
| NIF028 | 0.0016 | 0.0014 | 0.0018 |
| NIF029 | 0.0013 | 0.0012 | 0.0023 |
| NIF030 | 0.0018 | 0.0014 | 0.0023 |

Adjusted Cartesian coordinates:

|        |    |                |             |
|--------|----|----------------|-------------|
| NIF001 | X: | 4299852.6918 ± | 0.00396 [m] |
|        | Y: | 2695390.5881 ± | 0.00354 [m] |
|        | Z: | 3852423.0228 ± | 0.00354 [m] |
| NIF002 | X: | 4299357.8850 ± | 0.00586 [m] |
|        | Y: | 2694122.8213 ± | 0.00532 [m] |
|        | Z: | 3853946.6815 ± | 0.00572 [m] |

|        |    |                |             |
|--------|----|----------------|-------------|
| NIF006 | X: | 4301530.9485 ± | 0.00598 [m] |
|        | Y: | 2695020.2264 ± | 0.00581 [m] |
|        | Z: | 3850822.4467 ± | 0.00614 [m] |
| NIF027 | X: | 4301601.0044 ± | 0.00349 [m] |
|        | Y: | 2692035.4988 ± | 0.00328 [m] |
|        | Z: | 3852843.3253 ± | 0.00342 [m] |
| NIF028 | X: | 4302788.5431 ± | 0.00441 [m] |
|        | Y: | 2692430.1170 ± | 0.00386 [m] |
|        | Z: | 3851204.9385 ± | 0.00406 [m] |
| NIF029 | X: | 4303529.8718 ± | 0.00393 [m] |
|        | Y: | 2689452.6824 ± | 0.00369 [m] |
|        | Z: | 3852472.5992 ± | 0.00384 [m] |
| NIF030 | X: | 4301068.8715 ± | 0.00466 [m] |
|        | Y: | 2690368.2494 ± | 0.00414 [m] |
|        | Z: | 3854771.1645 ± | 0.00414 [m] |

## 2-D and 1-D confidence regions

-----

Confidence level: 95.00 %  
 1D expansion factor: 1.9604  
 2D expansion factor: 2.4477

| Point  | Semi major axis | Azimuth | Semi minor axis | Height |
|--------|-----------------|---------|-----------------|--------|
| NIF001 | 0.0073          | 121.2   | 0.0061          | 0.0099 |
| NIF002 | 0.0109          | 130.1   | 0.0092          | 0.0154 |
| NIF006 | 0.0123          | 124.5   | 0.0107          | 0.0155 |
| NIF027 | 0.0066          | 119.4   | 0.0054          | 0.0093 |
| NIF028 | 0.0083          | 155.1   | 0.0077          | 0.0106 |
| NIF029 | 0.0074          | 117.2   | 0.0056          | 0.0106 |
| NIF030 | 0.0088          | 124.5   | 0.0078          | 0.0112 |

## Ashtech Network Adjustment

| <b>Statistics</b>                       |          |
|---|----------|
| Network Adjustment in WGS84             |          |
| Number of baselines.....                | 15       |
| Number of terrestrial measurements..... | 0        |
| Number of control points in WGS84.....  | 1        |
| Number of adjusted points.....          | 7        |
| Confidence level.....                   | 1 Sigmas |
| Significance level for tau test.....    | 1.00 %   |
| Standard error of unit weight.....      | 1.492    |
| Number of iterations.....               | 1        |

### Baselines Input in WGS84 (Components and Std. Dev.)

| Baseline      | DX[m]     | DY[m]     | DZ[m]     | sDX[mm] | sDY[mm] | sDZ[mm] |
|---------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| NIF001-NIF002 | -494.813  | -1267.784 | 1523.651  | 8.9     | 7.3     | 8.2     |
| NIF001-NIF029 | 3677.187  | -5937.867 | 49.589    | 13.4    | 7.3     | 10.9    |
| NIF001-NIF006 | 1678.253  | -370.364  | -1600.572 | 4.6     | 3.4     | 5.0     |
| NIF001-NIF028 | 2935.860  | -2960.446 | -1218.069 | 14.3    | 8.1     | 8.8     |
| NIF001-NIF030 | 1216.132  | -5022.328 | 2348.098  | 9.6     | 4.5     | 6.1     |
| NIF001-NIF027 | 1748.334  | -3355.052 | 420.306   | 19.6    | 16.6    | 14.5    |
| NIF002-NIF030 | 1710.972  | -3754.557 | 824.476   | 5.9     | 4.1     | 7.0     |
| NIF027-NIF002 | -2243.097 | 2087.305  | 1103.360  | 5.7     | 2.6     | 4.0     |
| NIF027-NIF029 | 1928.864  | -2582.803 | -370.720  | 5.3     | 4.7     | 5.4     |
| NIF027-NIF028 | 1187.540  | 394.621   | -1638.372 | 5.7     | 5.0     | 4.1     |
| NIF028-NIF002 | -3430.662 | 1692.703  | 2741.737  | 25.9    | 22.0    | 18.9    |
| NIF028-NIF029 | 741.334   | -2977.418 | 1267.660  | 12.2    | 7.8     | 12.3    |
| NIF028-NIF006 | -1257.591 | 2590.108  | -382.475  | 11.0    | 6.6     | 19.6    |
| NIF029-NIF030 | -2461.009 | 915.542   | 2298.533  | 4.6     | 4.1     | 5.4     |
| NIF030-NIF027 | 532.137   | 1667.246  | -1927.826 | 6.8     | 3.9     | 4.0     |

### WGS84 Control Points Input (Cart. Coordinates and Std. Dev.)

| Point  | X[m]        | Y[m]        | Z[m]        | sX[mm] | sY[mm] | sZ[mm] |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| NIF027 | 4301601.004 | 2692035.499 | 3852843.325 | 0.0    | 0.0    | 0.0    |

htech

**Network Adjustment****Adjusted Baselines in WGS84(Components and Std. Dev)**

| Baseline      | DX[m]     | DY[m]     | DZ[m]     | sDX[mm] | sDY[mm] | sDZ[mm] |
|---------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| NIF001-NIF002 | -494.807  | -1267.771 | 1523.644  | 7.7     | 5.0     | 6.5     |
| NIF001-NIF029 | 3677.162  | -5937.878 | 49.571    | 7.6     | 5.0     | 6.6     |
| NIF001-NIF006 | 1678.253  | -370.361  | -1600.570 | 6.4     | 4.7     | 7.1     |
| NIF001-NIF028 | 2935.839  | -2960.459 | -1218.084 | 8.5     | 5.7     | 6.7     |
| NIF001-NIF030 | 1216.163  | -5022.325 | 2348.115  | 7.0     | 4.3     | 5.7     |
| NIF001-NIF027 | 1748.298  | -3355.076 | 420.287   | 7.4     | 4.7     | 5.8     |
| NIF002-NIF030 | 1710.970  | -3754.553 | 824.471   | 5.7     | 3.6     | 4.9     |
| NIF027-NIF002 | -2243.105 | 2087.305  | 1103.357  | 5.9     | 3.2     | 4.6     |
| NIF027-NIF029 | 1928.864  | -2582.802 | -370.717  | 5.3     | 4.0     | 4.9     |
| NIF027-NIF028 | 1187.542  | 394.617   | -1638.372 | 6.8     | 5.3     | 5.1     |
| NIF028-NIF002 | -3430.647 | 1692.688  | 2741.729  | 8.3     | 5.9     | 6.5     |
| NIF028-NIF029 | 741.323   | -2977.419 | 1267.655  | 7.8     | 5.8     | 6.6     |
| NIF028-NIF006 | -1257.586 | 2590.098  | -382.486  | 9.6     | 6.3     | 9.3     |
| NIF029-NIF030 | -2460.999 | 915.553   | 2298.544  | 4.5     | 3.6     | 4.7     |
| NIF030-NIF027 | 532.135   | 1667.249  | 1927.828  | 4.9     | 3.0     | 3.5     |

**Baselines Corrections (Corrections and Normalized Corrections)**

| Baseline      | vX[m] | vY[m] | vZ[m] | Vx/sX[mm] | Vy/sY | Vz/sZ |
|---------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| NIF001-NIF002 | 6.1   | 12.7  | -6.2  | 0.8       | 2.5   | -1.0  |
| NIF001-NIF029 | -25.6 | -10.8 | -18.6 | -3.4      | -2.2  | -2.8  |
| NIF001-NIF006 | 0.1   | 3.3   | 1.9   | 0.0       | 0.7   | 0.3   |
| NIF001-NIF028 | -20.8 | -12.9 | -15.3 | -2.4      | -2.3  | -2.3  |
| NIF001-NIF030 | 30.1  | 3.8   | 17.2  | 4.3       | 0.9   | 3.0   |
| NIF001-NIF027 | -35.9 | -24.5 | -19.0 | -4.8      | -5.2  | -3.3  |
| NIF002-NIF030 | -2.0  | 3.2   | -4.9  | -0.4      | 0.9   | -1.0  |
| NIF027-NIF002 | -7.6  | -0.1  | -2.9  | -1.3      | -0.0  | -0.6  |
| NIF027-NIF029 | -0.1  | 1.2   | 3.1   | -0.0      | 0.3   | 0.6   |
| NIF027-NIF028 | 1.9   | -3.7  | 0.6   | 0.3       | -0.7  | 0.1   |
| NIF028-NIF002 | 15.0  | -14.9 | -8.1  | 1.8       | -2.5  | -1.2  |
| NIF028-NIF029 | -11.8 | -0.6  | -5.2  | -1.5      | -0.1  | -0.8  |
| NIF028-NIF006 | 4.6   | -10.8 | -10.6 | 0.5       | -1.7  | -1.1  |
| NIF029-NIF030 | 9.7   | 11.7  | 11.2  | 2.1       | 3.3   | 2.4   |
| NIF030-NIF027 | -1.6  | 2.5   | -1.3  | -0.3      | 0.8   | 0.4   |



## Ashtech Network Adjustment

### Adjusted Points in WGS84 (Cart. Coordinates and Std. Dev.)

| Point  | X[m]        | Y[m]        | Z[m]        | sX[mm] | sY[mm] | sZ[mm] |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| NIF001 | 4299852.706 | 2695390.575 | 3852423.038 | 7.4    | 4.7    | 5.8    |
| NIF002 | 4299357.899 | 2694122.804 | 3853946.682 | 5.9    | 3.2    | 4.6    |
| NIF006 | 4301530.959 | 2695020.214 | 3850822.468 | 9.2    | 6.2    | 8.9    |
| NIF027 | 4301601.004 | 2692035.499 | 3852843.325 | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| NIF028 | 4302788.546 | 2692430.116 | 3851204.953 | 6.8    | 5.3    | 5.1    |
| NIF029 | 4303529.868 | 2689452.697 | 3852472.608 | 5.3    | 4.0    | 4.9    |
| NIF030 | 4301068.869 | 2690368.250 | 3854771.153 | 4.9    | 3.0    | 3.5    |

### Adjusted points in WGS84 (Geogr. Coordinates and Std.Dev.)

| Points | Lat[Deg]           | Lon[Deg]          | H[m]     | sN[mm] | sE[mm] | sH[mm] |
|--------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|--------|
| NIF001 | N37° 23' 18.54228" | E32° 4' 54.51418" | 1128.716 | 4.3    | 3.7    | 8.9    |
| NIF002 | N37° 24' 19.31730" | E32° 4' 21.52944" | 1186.117 | 3.0    | 2.8    | 7.0    |
| NIF006 | N37° 22' 13.16780" | E32° 4' 5.54208"  | 1130.770 | 6.3    | 4.8    | 11.8   |
| NIF027 | N37° 23' 35.26534" | E32° 2' 21.22188" | 1146.167 | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| NIF028 | N37° 22' 29.10164" | E32° 2' 9.21438"  | 1117.651 | 4.1    | 3.7    | 8.4    |
| NIF029 | N37° 23' 20.47640" | E32° 0' 10.64322" | 1132.317 | 3.2    | 2.6    | 7.1    |
| NIF030 | N37° 24' 51.23721" | E32° 1' 35.23774" | 1256.347 | 2.6    | 2.5    | 5.7    |

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ