

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ŞERİTVARİ NİRENGİ AĞ TASARIMININ NOKTA DUYARLIKLARINA ETKİSİ

Serpil YILMAZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç Dr. Ayhan Ceylan

2007, 67 Sayfa

Juri : Prof. Dr. Cevat İNAL

Yrd. Doç Dr. Ayhan Ceylan

Yrd. Doç. Dr. Bayram TURGUT

Jeodezide nokta konum doğruluklarının işten talep edilen doğrulukları karşılaması istenir. Oluşturulan jeodezik ağların talep edilen doğruluğu karşılayıp karşılamadığı ise dengeleme sonucu elde edilen standart sapmayla kontrol edilir. Klasik ağların planlanmasında yeni noktaların sabit noktalara göre homojen dağılımı ile nokta konum doğrulukları arzu edilen seviyeye çekilebilirken şeritvari haritalarda bu şartın sağlanması oldukça zordur.

Bu çalışma ile şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisinin araştırılması amacıyla Konya-Ankara Hızlı Tren Projesi kapsamında oluşturulan yaklaşık 210 km uzunluğundaki bir ağ test ağı

olarak seçilmiştir. Test ağına ait GPS gözlemleri kullanılarak farklı kombinasyonlarda yapılan dengelemeler sonucu elde edilen koordinat ve standart sapmalar karşılaştırılarak şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : GPS ağı, doğruluk, şeritvari ağ, dengeleme

**ABSTRACT****(Master of Science Thesis)****THE EFFECT OF CHAIN TYPE NETWORK DESIGN ON  
POSITIONING ACCURACY****Serpil YILMAZ****Selcuk University, Institute of Natural and Applied Sciences****Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering****Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayhan CEYLAN****2007, 74 pages****Jury:****Prof. Dr. Cevat İNAL****Assist. Prof. Dr. Ayhan CEYLAN****Assist. Prof. Dr. Bayram TURGUT**

In geodesy, the point position accuracies are expected to meet the accuracies demanded by the job. The formed geodesic networks are tested whether they meet the desired accuracy or not by the standard deviation obtained as a result of balancing. In the planning process of the classical networks, while the point location accuracies can be fixed to the desired level by the homogeneous distribution of the new points with respect to the constant points, it is so difficult to provide this condition for the band networks.

Nearly a 210 km long network formed within the Konya-Ankara Fast Train Project was selected as the test network in order to investigate the effects of the point position selection on the point location accuracy during the planning processes of the band geodesic networks. By using the GPS values of the test network and comparing the coordinate and standard deviations obtained as a result of adjustment processes of various combinations, the effects of the point position selection on the point location accuracy during the planning stage were investigated.

**Key Words:** GPS network, accuracy, band network, adjustment.

## ÖNSÖZ

“Şeritvari Nirengi Ağ Tasarımının Nokta Duyarlıklarına Etkisinin Araştırılması” konulu bu çalışmada tez yürütücülüğünü üstlenen ve çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli hocam Yrd. Doç Dr. Ayhan Ceylan’a, çalışmanın uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ekrem Tuşat’a desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamda kullandığım verilerin temininde bana yardımcı olan Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.’ye ve FMC Uzay ve Bilişim Tek. Ltd. Şti.’ye şükranlarımı sunarım.

Serpil YILMAZ

Eylül 2007

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS).....	2
2.1. Tanım.....	2
3. GPS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	4
3.1. Mutlak Konum Belirleme.....	4
3.2. Göreli Konum Belirleme.....	4
3.2.1. Statik Ölçü Yöntemi.....	5
3.2.2. Hızlı Statik Ölçü Yöntemi.....	6
3.2.3. Tekrarlı Ölçü Yöntemi.....	6
3.2.4. Dur-git (Stop and Go) Ölçü Yöntemi.....	7
3.2.5. Kinematik Ölçü Yöntemi.....	8
4. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ .....	10
4.1. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri.....	11
4.1.1. Lokal Duyarlık Ölçütleri.....	12
4.1.1.1. Koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları.....	12
4.1.1.2. Jeodezik ağlarda nokta konum hatası.....	14
4.1.1.3. Jeodezik ağlarda ortalama koordinat duyarlığı.....	14
4.1.1.4. Jeodezik ağlarda hata elipsi.....	14

4.1.1.5. Jeodezik ağlarda güven elipsi.....	16
4.1.2. Global Duyarlık ltleri.....	17
4.1.2.1. Güven hiperelipsoiti.....	17
4.1.2.2. Hacim lt.....	18
4.1.2.3. Varyans lt.....	18
4.1.2.4. zdeęer lt.....	19
4.1.2.5. Ana varyans bileşenleri.....	20
4.1.3. Güven ltleri.....	22
4.1.3.1. İ güven lt.....	22
4.1.3.2. Dış güven ölçütü.....	24
<b>5. GPS İLE KONUM BELİRLEMEDE DOğRULUK ÖLÇÜTLERİ.....</b>	<b>26</b>
5.1. Doğruluk ve Duyarlık Tanıları.....	26
5.2. Mutlak ve Göreli Doğruluk.....	26
5.3. Rms, Lep, Cep, Sep.....	28
5.3.1. (%50) Olasılıklı doğruluk ltleri (LEP, CEP, SEP).....	28
5.3.2. (%95) Olasılıklı doğruluk ltleri (rms; root mean square).....	29
5.4. Duyarlık Kaybı (DOP; Dilution Of Precision) Faktörleri.....	31
<b>6. UYGULAMA.....</b>	<b>33</b>
6.1. Test Ağı.....	33
6.2. GPS llerinin Değerlendirilmesi.....	33
6.2.1.llerin değerlendirilmesi (I. Durum).....	39
6.2.2.llerin değerlendirilmesi (II. Durum).....	42
6.2.3. llerin değerlendirilmesi (III. Durum).....	45
6.2.4. llerin değerlendirilmesi (IV. Durum).....	48
6.2.5. llerin değerlendirilmesi (V.Durum).....	51
6.2.6. llerin değerlendirilmesi (VI. Durum).....	54
6.3. Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	57

6.3.1. Koordinat değerlerinin karşılaştırılması.....	57
6.3.2.Dengeleme sonucu elde edilen standart sapmaların karşılaştırılması	59
6.4. Genel Değerlendirmeler.....	59
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER.....	65



**KISALTMALAR****B.Ö.H.H.B.Ü.Y.:** Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği**C/A:** Coarse/Acquisition, Clear Access**CEP:** Circular Error Probable**DOD:** Department Of Defence**DOP:** Dilution Of Precision**DRMS:** Distance Root Mean Square**FRP:** Federal Radionavigation Plan**GDOP:** Geometric Dilution Of Precision**GPS:** Global Positioning System**HDOP:** Horizontal Dilution Of Precision**JPO:** Joint Program Office**LEP:** Linear Error Probable**NAVSTAR/GPS:** NAVigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System**PDOP:** Position Dilution Of Precision**ppm:** Part Per Million ( $10^{-6}$ )**DOP:** Relative Dilution Of Precision**RINEX:** Receiver INdependent EXchange Format**RMS:** Root Mean Square**SEP:** Spherical Error Probable**TDOP:** Time Dilution Of Precision**TUTGA:** Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı**UERE:** User Equivalent Range Error**VDOP:** Vertical Dilution Of Precision

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1 Hata Elipsi.....	14
Şekil 6.1. Test Ağı (Referans Noktaları).....	36
Şekil 6.2. Test Ağı (Kontrol Noktaları).....	37
Şekil 6.3. Standart Sapmalar.....	39
Şekil 6.4. I.Durum.....	40
Şekil 6.5. Standart sapmalar (I.Durum).....	42
Şekil 6.6. II.Durum.....	43
Şekil 6.7. Standart sapmalar (II.Durum).....	45
Şekil 6.8. III.Durum.....	46
Şekil 6.9. Standart sapmalar (III.Durum).....	48
Şekil 6.10. IV.Durum.....	49
Şekil 6.11. Standart sapmalar (IV.Durum).....	51
Şekil 6.12. V.Durum.....	52
Şekil 6.13. Standart sapmalar (V.Durum).....	54
Şekil 6.14. VI.Durum.....	55
Şekil 6.15. Standart sapmalar (VI.Durum).....	57
Şekil 6.16. Standart Sapmalar.....	59

**TABLO LİSTESİ**

Tablo 3.1. Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi.....	6
Tablo 3.2. Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar .....	9
Tablo 5.1. Boyuta bağlı olarak olasılık faktörleri.....	30
Tablo 5.2. Olasılıklar arasında çoğaltma faktörü.....	31
Tablo 5.3. DOP Faktörleri.....	32
Tablo 5.4. Kabul Edilen DOP Limitleri.....	32
Tablo 6.1. Uyuşum Testi Sonuçları.....	34
Tablo 6.2. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları.....	38
Tablo 6.3. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları I.Durum.....	41
Tablo 6.4. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları II.Durum.....	44
Tablo 6.5. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları III.Durum.....	47
Tablo 6.6. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları IV.Durum.....	50
Tablo 6.7. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları V.Durum.....	53
Tablo 6.8. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları VI.Durum.....	56
Tablo 6.9. Standart sapmalar.....	58

## 1.GİRİŞ

Jeodezinin amacı dünyanın tümünün veya bir kısmının ölçülmesi ve bu ölçülerin matematiksel ve fiziki esaslara göre değerlendirilerek dünyanın şeklinin, boyutlarının ve dış çekim alanının belirlenmesi olarak özetlenebilir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için fiziksel yeryüzünde oluşturulan sabit noktalardan ve bu noktalar arasında yapılan ölçmelerden yararlanılır. Burada amaç söz konusu sabit noktaların konumlarının uzay koordinat sisteminde tek anlamlı olarak belirlenmesidir. Jeodezide nokta konumlarının yüksek doğrulukta belirlenmesi istenmektedir.

Oluşturulan jeodezik ağların talep edilen doğruluğu karşılayıp karşılamadığı projenin amacı açısından önemlidir. Bu ise dengeleme sonucu elde edilen nokta konum doğruluklarına bakılarak sağlanır.

Klasik ağların planlanmasında yeni noktaların sabit noktalara göre homojen dağılımı ile nokta konum doğrulukları arzu edilen seviyeye çekilebilirken şeritvari haritalarda bu şartın sağlanması oldukça zordur.

Jeodezi alanında devrim sayılabilecek olan uydu konum belirleme tekniklerinin (GPS) uygulanması ile bu durum daha da önem kazanmıştır. Uydu konum belirleme tekniklerinde nokta konum doğrulukları seçilen ölçü yöntemine, nokta konumuna, ölçü zamanına bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışma da Konya-Ankara Hızlı Tren Projesi kapsamında oluşturulan yaklaşık 210 km uzunluğundaki şeritvari ağ test ağı olarak seçilmiştir. Test ağına ait GPS gözlemleri kullanılarak şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla, 26 adet referans noktası değişik kombinasyonlarda sabit alınarak 6 ayrı durum için dengeleme yapılmış ve 27 adet kontrol noktasının koordinatları ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Farklı kombinasyonlarda yapılan dengelemeler sonucu elde edilen koordinatlar ve standart sapmalar karşılaştırılarak şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılmıştır.

## 2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ(GPS)

### 2.1.Tanım

Transit sisteminin gelişmiş bir biçimi olan “NAVSTAR/GPS” (Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) ABD Savunma Dairesi (Department of Devence) tarafından geliştirilen, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla:

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlıkta
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

Sistemle ilgili çalışmalar 1973 yılında ABD Deniz Kuvvetlerinin “TIMATION” programı ile Hava kuvvetlerinin “621B” projesini birleştirmesi ile başlatılmış ve Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün (JPO, Joint Program Office) sorumluluğuna verilmiştir.

GPS’in sivil amaçlı kullanım alanları çok genel olarak aşağıdaki başlıklar halinde sayılabilir:

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler
- Kadastral ölçmeler
- Kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar
- Yerel ve global deformasyon ölçmeleri
- Araç takip sistemleri
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı
- Aktif kontrol ağları

- CBS veri tabanlarının geliştirilmesi
- Turizm, tarım, ormancılık, spor
- Asayiş
- Hidrografik ölçmeler

Klasik jeodezik ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında GPS'in **üstün** tarafları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GPS alıcı antenin uydusu sinyali izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- GPS ölçüsünün yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır.
- Gece ve gündüz sürekli (24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, ölçücü hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedenleriyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmektedir.
- Elde edilen jeodezik doğruluklar en duyarlı klasik jeodezik tekniklerle elde edilenlerle eşit ya da daha iyidir.

GPS'in **zayıf** tarafı ise, alıcı anteni mutlaka açık gökyüzünü görmelidir. Başka bir deyişle, GPS sinyalleri radyo sinyalleri gibi kuvvetli olmadığından kapalı yerlerde, çok sık ağaçlıklı bölgelerde ve madenlerde kullanılamamaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

### **3.GPS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ**

GPS ile iki ana konum belirleme yöntemi kullanılmakta olup, bunlar mutlak konum belirleme (Absolute / Point Positioning ) ve görelî (Relative Positioning ) konum belirlemedir.

#### **3.1.Mutlak Konum Belirleme**

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile normal olarak dört ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir.

Yöntem sinyalin uydu çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme esasına dayanmaktadır. Alıcı koordinatları, kullanılan kod bilgisine (P kod, C/A kod) ve uydu geometrisine bağılı olarak anında ve mutlak anlamda belirlenebilmektedir. Bu yöntem alıcının sabit olması durumunda statik, hareketli olması durumunda ise kinematik konum belirleme olarak tanımlanır.

#### **3.2.Görelî Konum Belirleme**

Görelî konum belirlemede koordinatları bilinen bir noktaya göre diğêr nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Başka bir deyişle, görelî konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir.

Görelî konum belirleme için iki ayrı noktada kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod ve faz gözlemleri söz konusudur. Görelî konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden çok daha iyi olup, alıcı tipi ( P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın ya da duyarlı) bağılı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değışmektedir (Federal Geodetic Control Comitetee 1988).

Kod gözlemleri ile anında konum belirleme amacı için yeterli doğruluk sağlanmakta ve pratik olarak büyük önem taşımaktadır. Ancak, mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlara gereksinim vardır. Bu amaç için faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak yapılan görelî konum belirlemede genel olarak beş farklı yöntem mevcut olup bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kahveci ve Yıldız 2005).

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı (rapid/fast) Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) Ölçü Yöntemi
- Dur Git (stop and go) Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

### **3.2.1. Statik Ölçü Yöntemi**

Statik ölçü yöntemi klasik GPS ölçü tekniğı olup,

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde
- Uzun bazlar söz konusu olduğunda
- Mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak vermediğinde
- Sistemik etkilerin dikkate alınması durumunda (örn: iyonosfer, troposfer)

en iyi yöntemdir.

Bu ölçü yönteminde iki ya da daha fazla sayıda alıcı ile en az bir saat eş zamanlı ölçü yapılmaktadır.

Yerkabuğı hareketlerinin belirlenmesi gibi bilimsel amaçlı çalışmalarda ve çok uzun bazların söz konusu olduğu (plaka hareketlerinin belirlenmesi) yüksek doğruluk gereken durumlarda ölçü süreleri en az birkaç saat olmak üzere 24 saate kadar belirlenebilmektedir. Statik yöntemle toplanmış olan ölçüler büroda uygun GPS yazılımları (post-process) ile değerlendirilmektedir.



### 3.2.2.Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Bu da bir çeşit statik ölçü yöntemi olup çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomi bakımından büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, alıcılardan birisi referans noktası üzerinde sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken başka alıcı ya da alıcılar tüm diğer noktalara çok kısa süreler için kurularak eş zamanlı gözlemler yapılır.

Hızlı statik yöntemin uygulanmasında, konumu belirlenecek olan yeni noktalar arasında alıcı taşınırken açık olması gerekmemektedir. Bu da pratik açıdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde ölçü süresi noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlı olup, uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi

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

Hızlı statik ölçü yöntemi, özellikle kısa sürede çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik olarak ölçülmesi gerektiği durumlarda en iyi yöntemdir.

### 3.2.3. Tekrarlı Ölçü Yöntemi

Bu yöntemin birden fazla adı olup (pseudokinematic, pseudostatic, reoccupation, intermittent static) bu da statik ile kinematik arasında bir yöntem olmasından kaynaklanmaktadır. Kinematik yöntemine göre daha az, statik yöntemine göre ise daha fazla sayıda nokta üretilebilmektedir. Bu yöntem bir ya da iki saatlik bir ölçü süresinin başlangıç ve sonunda, değişen uydu geometrisinden yararlanmak için, bir noktanın birkaç dakika süre ile iki defa ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bir noktadan diğerine gidilirken alıcıların uydu izlemeye devam etmesi zorunluluğu

yoktur. Ölçü zamanı olarak PDOP değerinin en küçük (uyduların en iyi geometrik dağılımda ) olduğu periyotlar seçilmelidir.

Tekrarlı yöntemle en iyi sonuçlar değişen uydu geometrisine bağlı olarak kısa baz uzunluklarında (10 km. ye kadar ) alınmaktadır. Bu yöntemde her bir nokta en az 10'ar dakikalık süreler ile iki defa ölçülmeli ve bu iki ölçü arasında en az bir saat fark olmalıdır. İki ölçü en fazla 4 saat içerisinde tekrar edilmelidir. Ölçüler değerlendirilirken bu iki bağımsız ölçü kümesi sanki her noktada tek bir gözlem varmış gibi ele alınmakta ve her iki ölçüde mevcut tüm uydular kullanılmaktadır. Bu yöntem özellikle zayıf uydu geometrisi olduğu durumlarda ya da tek frekanslı alıcılar varsa uygun bir ölçü tekniğidir.

Tekrarlı ölçü yönteminin uygulanması değişik şekillerde olabilmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Merkezsel Baz (Radial-Arm) Yöntemi
- Travers Yöntemi

### **3.2.4. Dur-git (Stop and Go) Ölçü Yöntemi**

Bu yöntemde yine bir alıcı konumu bilinen nokta üzerinde sabit ve sürekli olarak izleme yapmaktadır. İkinci alıcı ise önce herhangi bir noktaya kurulur.

Bu birinci nokta aynen hızlı statik yöntem kullanılıyormuş gibi birkaç dakika ölçü yapılır. Bunun nedeni bu noktada faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmesi zorunluluğu olmasındandır. Birkaç dakikalık ölçü ile başarılı bir faz belirsizliği çözümü için yeterli veri toplandıktan sonra söz konusu ikinci alıcı uydulara olan izlemeyi devam ettirerek diğer noktalar birkaç epokluk (10–20 sn'lik ) ölçülerle gezilir. Burada aletin bir noktadan diğerine giderken izlemeyi devam ettirmesinin nedeni ise ilk noktadaki belirsizlik değerinin diğer noktalara da aynı şekilde taşınması zorunluluğudur. Bu yöntem özellikle ölçü noktaları birbirine çok yakınsa iyi sonuçlar vermektedir.

### 3.2.5. Kinematik Ölçü Yöntemi

Dur-Git ölçü yönteminin daha genel bir şeklidir. Burada amaç tek tek noktaların ölçülmesi olmayıp hareket eden bir antenin gezi yolunun belirlenmesidir. Diğer bir ifadeyle Dur-Git yönteminde önceden belirlenen noktalarda konum belirleme söz konusu iken, kinematik yöntemde bir güzergah tespit edilmekte ve bu güzergah üzerinde belirli zaman aralıkları ile nokta konumları belirlenmektedir.

Bu yöntem hızlı ve ekonomik bir ölçü tekniği olup özellikle hareket halinde ve hidrografik amaçlı ölçmelerde uygundur (Kahveci ve Yıldız 2005).

Kinematik yöntemi değerlendirme zamanına göre gözlem sonrası (post processed) ve anlık (real time processing) kinematik yöntem olarak sınıflandırmak mümkündür. Anlık kinematik (RTK: Real Time Kinematik) yöntemde sabit istasyonda kaydedilen verilerin gezici alıcıya iletilmesi ve neticede gezici alıcının üç boyutlu koordinatlarının anlık olarak hesaplanması söz konusudur. Bu yöntemi 15 km ye kadar olan baz uzunluklarında kullanmak mümkündür. Bazı üretici firmalar tarafından uygun donanımlarla bu uzunluğun 40 km ye kadar çıkabileceği belirtilmektedir. Bu yöntemde sinyal yansıma etkisi (multipath) uydu sayısı ve uydu geometrisinin sürekli kontrol edilmesi gerekir. Sistemik ve kaba hatalara karşı yeni noktaların iki sabit noktadan ölçülmesi tavsiye edilir.

Buraya kadar açıklanan yöntemlerden anlaşılacağı gibi, klasik olarak isimlendirilen statik ölçü yöntemi ile saatleri bulan uzun ölçüm süreleri gereklidir. Diğer taraftan günümüzde zaman çok önemli bir faktör haline gelmiş olup, güncel mühendislik uygulamalarında en az ölçü süresi ile maksimum doğruluk elde etme düşüncesi ön plana çıkmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar uygun uydu geometrisi ve en az 4 uydu ile yalnızca birkaç dakikalık ölçünün faz başlangıç belirsizliklerini çözmeye ve sonuç olarak 20 km ye kadar olan uzaklıklar için beklenen jeodezik duyarlılıkları elde etmede yeterli olduğunu göstermektedir. Söz konusu yöntemler kullanılırken uydu sayısının 4'den az olduğu durumda faz belirsizliği çözümü olanaklı olmayacağından değerlendirme sonucu elde edilecek doğruluk da oldukça düşecektir. Sonuç olarak bu yöntemlerle ideal şartlarda elde edilebilecek doğruluklar Tablo 3.2'de verilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2005).

**Tablo 3.2:** Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar

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

#### 4. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ

Jeodezik ağılar tüm mühendislik projelerine altlık olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle ülkelerin askeri, ekonomik, toplumsal, kadastral amaçlara yönelik büyük ve küçük ölçekli harita yapımında temel altlık oldukları bilinmekle beraber, barajlar, asma köprüler, tüneller ve maden galerileri gibi yapıların deformasyonlarının araştırılması ve yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi gibi bilimsel çalışmalarda da kullanılmaktadır. Tüm bunlar jeodezik ağların sağlıklı bir şekilde kurulması ve kullanılmasına bağlıdır. Dolayısıyla kurulan jeodezik ağların konumuna, doğrultusuna bağlı duyarlıklarının ve güvenilirliklerinin ne derece olduğunun bilinmesi gerekmektedir (Turgut 1991).

Duyarlık kavramını simgeleyen karesel ortalama hata (deneysel standart sapma ya da precision), kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış ölçülerle yapılan bir dengeleme sonucunda rasgele ölçü hataları ve ağıın geometrik şeklinin etkisiyle oluşan istatistiksel bir büyüklüktür. Bu büyüklükler aynı zamanda, ölçülerden herhangi birisinin güvenilirliği konusunda bilgi taşıyan önemli bir ölçüttür. Jeodezik ağların duyarlık ölçütleri ağıın dış parametrelerinin (konum, ölçek, yönelme) seçimine bağlıdır. Jeodezik ağlarda noktalar için yeterli sayıda parametrenin sabit alındığı dayalı ağlarda bağlı duyarlık ölçütlerinden, noktaların tümünün koordinatlarının bilinmeyen olarak alındığı serbest ağlarda iç duyarlık ölçütlerinden söz edilir (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

Duyarlık ölçütleri ancak geçerli bir dengeleme modeli ile elde edilen hesaplamalar sonucunda gerçekçi olurlar. Bir başka deyişle duyarlık ve güven ölçütlerinin gerçekçi olmaları seçilen dengeleme modeli ile dış parametrelerinin seçimine bağlıdır (İnal ve Turgut 2002).

Öte yandan jeodezik ağlarda, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri doğru ve tam olarak tanımlamayan bir fonksiyonel model ya da gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları doğru ve yeterince ortaya koymayan bir stokastik model ile yapılan hesaplamalar, model hatalarına neden olurlar. Seçilen dengeleme modelinin uygun olup olmadığı ve ölçülerin

değerlendirilmesi sırasında model hatalarının oluşup oluşmadığı güven ölçütleriyle ortaya çıkarılabilir.

#### 4.1. Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri

Jeodezik ağlar için uygulanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleridir. Bunlar, ağ noktalarının gerçek koordinatlarının hangi sınırlar arasında olabileceğini belirlemeye yararlar. Jeodezik ağlardaki duyarlığa ilişkin bilgilerin tümü, bu ağı oluşturan noktaların koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrislerinde bulunmaktadır. Bu nedenle, duyarlık ölçütlerinin varyans-kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

Bilindiği üzere jeodezik ağların dolaylı (endirekt) ölçüler yöntemiyle dengelenmesi için kurulan, dış parametreleri indirgenmiş düzeltme denklemleri ile ölçülerin duyarlıkları ve korelasyonlardan yararlanılarak oluşturulan matematik modelin kurulabilmesi için fonksiyonel model,

$$\underline{V} = \underline{A}\underline{X} - \underline{l} \quad (4.1)$$

eşitliği ile

$$\underline{P} = \underline{Q}^{-1} \quad (4.2)$$

$$\underline{K} = S_0^2 \underline{Q} \quad (4.3)$$

bağıntısıyla da stokastik model ifade edilmiştir. Burada Gauss' un en küçük kareler yöntemine ilkesinden yararlanılarak kurulan,

$$\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} - \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} = 0 \quad (4.4)$$

bağıntısıyla, normal denklemler elde edilir.

Ağın dış parametrelerinin belirli oldukları zaman düzgün olan bu denklemlerin çözümü sonucunda,

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} \quad (4.5)$$

eşitliği ile koordinat bilinmeyenleri hesaplanır. Buradan,

$$\underline{Q}_{xx} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \quad (4.6)$$

bağıntısıyla ters ağırlık matrisi elde edilir. Ağın geometrik şekli ve ölçülerinden,

$$\underline{\Sigma}_{xx} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{xx} \quad (4.7)$$

eşitliği ile kuramsal varyans-kovaryans matrisi duyarlık değerlerini elde etmede işe yarar. Dengeleme sonunda,

$$m_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (4.8)$$

deneysel varyans olan birim ölçünün karesel ortalama hatası elde edilir. Ayrıca bilinmeyenlere ilişkin deneysel varyans-kovaryans matrisi

$$\underline{K}_{xx} = m_0^2 \underline{Q}_{xx} \quad (4.9)$$

bağıntısı ile elde edilir. Bu elde edilen bağıntılarla duyarlık ölçütlerinin değerleri hesaplanır. Bu hesapla bulunan büyüklüklerin hangi güven aralığında olduğu F dağılımından (Fisher dağılımı) yararlanarak bulunur (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

#### 4.1.1 Lokal duyarlık ölçütleri

##### 4.1.1.1. Koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları

Koordinat bilinmeyenlerinin karesel ortalama hataları ve güven aralıkları, kuramsal varyans  $\sigma_0^2$ 'nin önceden bilindiği durumlarda,

$a_i$  : Kuramsal güven aralığının alt sınırı

$b_i$  : Kuramsal güven aralığının üst sınırı

$\alpha$  : Yanılma olasılığı

$\sigma_{xi}$  : Koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  : Normlandırılmış normal dağılım değeri

$t_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$  : t dağılım değeri

$X_i$ : Koordinat bilinmeyenleri

olmak üzere,

$$\sigma_{xi} = \sigma_0 \sqrt{q_{xixi}} \quad (4.10)$$

$$a_i = X_i - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sigma_{xi} \quad (4.11)$$

$$b_i = X_i + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sigma_{xi} \quad (4.12)$$

olur. Buradan güven aralığı

$$P(a_i < X_i < b_i) = 1 - \alpha = S \quad (4.13)$$

olur. Karesel ortalama hata  $m_0^2$  nin dengeleme sonucunda elde edildiği durumlarda,

$$m_{xi} = m_0 \sqrt{q_{xixi}} \quad (4.14)$$

$$a_i = X_i - t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} m_{xi} \quad (4.15)$$

$$b_i = X_i + t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} m_{xi} \quad (4.16)$$

olarak elde edilir. Buradan güven aralığı,

$$P(a_i < X_i < b_i) = 1 - \alpha = S \quad (4.17)$$

olur (Öztürk ve Şerbetçi 1992).



#### 4.1.1.2. Jeodezik ağlarda nokta konum hatası

Jeodezik ağ içerisindeki herhangi bir  $P_i$  noktasının hatası,

$$m_{pi} = \sqrt{m^2_{xi} + m^2_{yi}} = m_0 \sqrt{qxixi + qyiyi} = m_0 \sqrt{\lambda_A + \lambda_B} \quad (4.18)$$

bağıntıları ile hesaplanır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

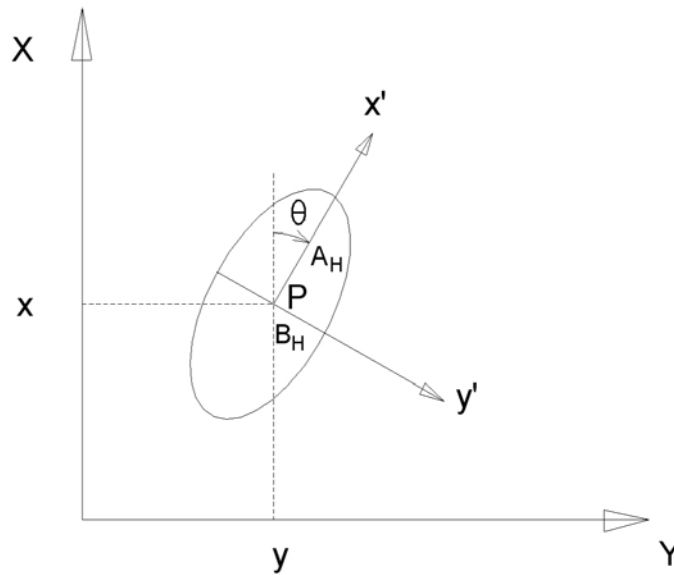
#### 4.1.1.3. Jeodezik ağlarda ortalama koordinat duyarlığı

Jeodezik ağların tamamı için tanımlanan duyarlık ölçütleri tüm koordinat bilinmeyenlerine ilişkin varyans-kovaryans matrisinden yararlanılarak elde edilir (Turgut 1991). Burada P jeodezik ağdaki nokta sayısı olmak üzere,

$$m_x, m_y = \sqrt{\frac{\dot{I}z \underline{K}_{xx}}{2p}} = m_0 \sqrt{\frac{\dot{I}z(\underline{Q}_{xx})}{2p}} \quad (4.19)$$

eşitliği ile elde edilen ortalama koordinat duyarlığı, jeodezik ağın tamamı için ortaya konan bir duyarlık ölçütüdür.

#### 4.1.1.4. Jeodezik ağlarda hata elipsi



Şekil 4.1 Hata elipsi

Helmert nokta ortalama hatası ve hata elipsinin elemanları,

Hata elipsinin büyük yarı eksen,

$$A_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} + w)} \quad (4.20)$$

Hata elipsinin küçük yarı eksen,

$$B_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} - w)} \quad (4.21)$$

Büyük yarı eksenin doğrultusu,

$$\theta = \frac{1}{2} \text{Arc tan} \frac{2q_{xy}}{q_{xx} - q_{yy}} \quad (4.22)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada kullanılan  $w$ ,

$$w = \sqrt{(q_{xx} + q_{yy})^2 + 4q_{xy}^2}$$

bağıntısıyla hesaplanır. (4.23)

Koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisi  $Q_{ii}$  nin öz değerlerini  $\lambda_A$ ,  $\lambda_B$  ve normlandırılmış özvektörleri  $S_A, S_B$  ile gösterilirse,

$$Q_{ii} = [S_A \ S_B] \begin{bmatrix} \lambda_A & 0 \\ 0 & \lambda_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_A^T \\ S_B^T \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

$S_A$  vektörünün  $x$  yönündeki bileşeni  $S_{Ax}$   $y$  yönündeki bileşeni  $S_{Ay}$  ile gösterilirse, hata elipsinin elemanları,

büyük yarı eksen,

$$A_H = m_0 \sqrt{\lambda_A} \quad (4.25)$$

küçük yarı eksen,

$$B_H = m_0 \sqrt{\lambda_B} \quad (4.26)$$

büyük yarı eksenin doğrultusu,

$$\theta = \text{Arctan} \frac{S_{Ay}}{S_{Ax}} \quad (4.27)$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir (Turgut 1991).

Hata elipsleri jeodezik ağların ilgili noktalardaki nokta konum hatalarının görsel olarak çizimle ortaya konmasıdır. Alan olarak hata elipslerinin büyük olması o noktadaki konum hatasının büyük, küçük olması da o noktadaki konum hatasının az olduğunu gösterir. Hata elipslerindeki doğrultular ise ilgili ağda yapılan ölçüler sırasında en fazla hata yapılan ölçülerin yönünü gösterir. Hata elipslerinin daire ya da daireye yakın olmaları ilgili noktalardaki hataların homojen olduğunu gösterir (Barışkaner ve ark. 1996).

#### 4.1.1.5. Jeodezik ağlarda güven elipsi

Ağ dengelemesi sonucunda hesaplanan birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_0^2 = \frac{V^T PV}{n - u} \quad (4.28)$$

büyüklüğü aynı bir kuramsal varyans  $\sigma_0^2$  nin deneysel değerleri olduklarından bunların oranları F-Dağılımından bulunur.

$$\frac{s_0^2}{m_0^2} = f_{2,f} \leq F_{2,f,1-\alpha} \quad (4.29)$$

Buradan bu ifadenin olasılık bağıntısı istatistik güvene eşit yazılırsa

$$P\{(\underline{x}-x)^T Q_{ii}^{-1}(\underline{x}-x)\leq 2m_0^2 F_{2,f,1-\alpha} = 1-\alpha\} \quad (4.30)$$

bağıntısının sınırladığı alanın çevresi bir elipstir. Söz konusu elipse güven elipsi denir. Güven elipsinin elemanları,

güven elipsinin büyük yarı eksenini,

$$A_G = m_0 \sqrt{2\lambda_A F_{2,f,1-\alpha}} \quad (4.31)$$

güven elipsinin küçük yarı eksenini,

$$B_G = m_0 \sqrt{2\lambda_B F_{2,f,1-\alpha}} \quad (4.32)$$

büyük yarı eksenin doğrultusu,

$$\theta_G = \text{Arctan} \frac{S_{Ay}}{S_{Ax}} \quad (4.33)$$

bağıntılarıyla hesaplanır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

#### 4.1.2. Global Duyarlık Ölçütleri

Duyarlık ölçütlerinin ağı tamamından belirlenmesi istendiğinde kuramsal ya da deneysel olarak hesaplanan varyans-kovaryans matrisinden yararlanılır.

##### 4.1.2.1. Güven hiperelipsoiti

Jeodezik ağ koordinatlarının duyarlılığı 3D boyutlu ve n noktalı bir ağda, 3n serbestlik dereceli bir istatistiksel güvenle belirlenmek istendiğinde güven hiperelipsoitleri kullanılır. Güven ya da hata hiperelipsoitleri nokta duyarlıkları konusunda diğer ölçütlere göre daha çok bilgi taşırlar ve serbest dengelenen ağlarda kullanılan koordinat sisteminin dönüklük ve ötelemesinden bağımsızdırlar.

$A_{KHI}$ : Kuramsal güven hiperelipsoitinin yarı eksenleri

$A_{DHI}$ : Deneysel güven hiperelipsoitinin yarı eksenleri olmak üzere,

$$A_{KHI}: \sigma_0 \sqrt{\lambda_i X_{2p,1-\alpha}^2} \quad (4.34)$$

$$A_{DHI}: m_0 \sqrt{2\lambda_i F_{2p,f,1-\alpha}} \quad (4.35)$$

olarak hesaplanır.

### 3.1.2.2. Hacim ölçütü

Kuramsal ve deneysel güven hiperelipsoitlerinin hacimlerine ilişkin,

$$\det(\underline{\Sigma}_{xx}) = \sigma_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \quad \lambda_{2p} = \sigma_0^2 \prod_{i=1}^{2p} \lambda_i \quad (4.36)$$

$$\det(\underline{K}_{xx}) = m_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \quad \lambda_{2p} = m_0^2 \prod_{i=1}^{2p} \lambda_i$$

determinant değerlerinin her biri ağın tümü için geçerli duyarlık ölçütü olarak ele alınabilir. Ağın bir noktasına ilişkin güven hiperelipsoitinin hacim ölçütü Werkmeister nokta hatasına denk düşer. Hacim ölçütünün minimum olması öngörülen amaç fonksiyonuna D-Optimum adı verilir.

### 4.1.2.3. Varyans ölçütü

Kuramsal ve deneysel varyans-kovaryans matrislerinin ana köşegen elemanlarının toplamı olarak ele alınır ve minimum olması istenen amaç fonksiyonu A-Optimum olarak adlandırılarak,

$$\dot{I}z(\underline{\Sigma}_{xx}) = \sigma_0^2 iz(\underline{Q}_{xx}) = \sigma_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{2p}) = \sigma_0^2 \sum_{i=1}^{2p} \lambda_i \quad (4.37)$$

$$\dot{I}z(\underline{K}_{xx}) = m_0^2 iz(\underline{Q}_{xx}) = m_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{2p}) = m_0^2 \sum_{i=1}^{2p} \lambda_i$$

Şeklinde hesaplanırlar (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

### 3.1.2.4. Özdeğer ölçütü

Kurulması planlanmakta olan bir jeodezik ağda bilinmeyenlerin belirli bir fonksiyonunun ortalama hatasının minimum olması, amaç fonksiyonu olarak benimsenebilir. Örneğin ülke nirengi ağında komşu noktalara olan uzaklıkların ortalama hatalarının minimum olması ya da ağın duyarlık yönünden homojen ve izotrop olması tercih öngörülebilir (Öztürk ve Şerbetçi 1992). Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu en genel biçimiyle,

$$f=F(\underline{x}) \quad (4.38)$$

matris fonksiyonu yazılabilir. Ortalama hatasının minimum olması öngörülen bu fonksiyonun diferansiyeli,

$$df = \frac{\partial F(\underline{x})}{\partial \underline{x}} d\underline{x} \quad (4.39)$$

$$\underline{a}^T = \frac{\partial F(\underline{x})}{\partial \underline{x}}$$

biçimindedir. Genel hata yayılma kuralı uygulanarak kuramsal varyans,

$$\sigma_f^2 = \underline{a}^T \underline{\Sigma}_{xx} \underline{a} = \sigma_0^2 \underline{a}^T \underline{Q}_{xx} \underline{a} \quad (4.40)$$

Ya da karesel ortalama hata,

$$m_f^2 = \underline{a}^T \underline{K}_{xx} \underline{a} = m_0^2 \underline{a}^T \underline{Q}_{xx} \underline{a} \quad (4.41)$$

şeklinde elde edilir. Ağın planlaması aşamasında birim ölçünün karesel ortalama hatası  $m_0$  henüz belirlenmemiş olduğundan kuramsal varyans  $\sigma_0$  in olası değerleri Rayleigh ilişkisi ile,

$$\lambda_{min} \leq \frac{\underline{a}^T \underline{Q}_{xx} \underline{a}}{\underline{a}^T \underline{a}} \leq \lambda_{max} \quad (4.42)$$

Eşitsizliği ile sınırlanabilir. Buradan minimum ve maximum değerler kuramsal varyans-kovaryans matrisinin özdeğerlerinin minimum ve maximum değerleridir. Söz konusu eşitsizlikte gereken sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\lambda_{max} \cong \lambda_{min} \quad (4.43)$$

Koşulu sağlayan jeodezik ağların homojen ve izotrop oldukları sonucuna varılır. Homojen bir ağda güven elipslerinin tümü, benzer görünümlü ve aynı büyüklüktedir. İzotrop ağlarda güven elipsleri, elipslerin yarı eksenleri birbirine eşit ve daire görünümündedir. Kısaca homojen ve izotrop bir ağda güven hiperelipsoitlerinin yarı eksenlerinin tümü birbirine eşittir (Öztürk ve Şerbetçi 1992). Bunun sonucunda özdeğerler arasında,

$$\lambda_1 \cong \lambda_2 \cong \dots \cong \lambda_p \quad (4.44)$$

ilişkisi vardır. Bunun gibi,

$$\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} = 1 \quad (4.45)$$

$$\lambda_{max} - \lambda_{min} = min$$

amaç fonksiyonlarının her biri homojen ve izotrop bir ağı gösterir.

### 3.1.2.5. Ana varyans bileşenleri

Bir nirengi ağında ulaşılabileceği varsayılan ölçü duyarlılığı  $\sigma_0$  ile gösterilirse, tasarlanan ölçme planından yararlanarak koordinat bilinmeyenlerinin kuramsal varyans-kovaryans matrisi,

$$\underline{\Sigma}_{xx} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{xx} \quad (4.46)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

$$\sum_{xx} = \begin{bmatrix} \underline{S}_1 & \underline{S}_2 & \dots & \underline{S}_{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_{2p} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{S}_1^T \\ \underline{S}_2^T \\ \vdots \\ \underline{S}_{2p}^T \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{2p} \quad (4.48)$$

eşitliğini sağlayan  $\lambda_i$  ve bunlara ilişkin Normlandırılmış öz vektörler  $\underline{S}_i$  ile hesaplanan ana bileşen vektörleri,

$$b_i = \underline{S}_i \sqrt{\lambda_i} \quad (4.49)$$

ağın duyarlık yönünden zayıf noktalarını, bu zayıflığın doğrultusunu ve büyüklüğünü verirler. Birinci ana bileşen vektörü  $\underline{b}_1$  ağda duyarlık yönünden en zayıf noktayı ve bu zayıflığın doğrultusunu gösterir. Başka bir ifade ile ilk ana bileşen vektörü  $\underline{b}_1$ , kuramsal güven hiperelipsoitinin en büyük yarı ekseninin bulunduğu noktayı ve bu zayıflığın büyüklüğünü gösterir. Kuramsal güven hiperelipsoitinin en büyük yarı eksenini,

$$A_1 = \sqrt{\lambda_1 X_{2p,1-\alpha}^2} \quad (4.50)$$

olur. Varyans kriterinin bileşenlerinden en büyüğü olan  $\lambda_1$  büyüklüğü, ana varyans bileşeni ya da en önemli özdeğer olarak adlandırılır. Ağın geometrik şeklinin optimum olarak belirlenemediği durumlarda bu ana varyans bileşeni, toplam varyans kriterinin büyüklüğünün % 40-% 60'ına varan değerler alabilmektedir.

Ana varyans bileşeninin doğrultusu ağdaki ölçülerin birden fazla ölçme periyodunda tekrarlanması durumunda düzensiz ölçü hatalarının etkisi ile oluşabilecek konum değişikliklerini gösterir (Öztürk ve Şerbetçi 1992).



### 4.1.3. Güven Ölçütleri

Jeodezik ağların kalitesini gösteren duyarlık ölçütleri, dengeleme modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçeğe uygun bilgi verirler. Başka bir ifade ile dengelemenin fonksiyonel modelinin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olduğu, stokastik modelin ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıttığı durumlarda hesaplanan büyüklükler, gerçeğe uygun olurlar. Buna karşın ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri gösteren fonksiyonel modelin gerçeğe uygun olmaması ya da gözlemlerin bir kaçında oluşan kaba yanılgılar veya ölçü ağırlıklarının hatalı seçilmesi gibi durumlarda model hataları ortaya çıkar. Bir ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin gerçeğe uygun olup olmadığı güven ölçütleriyle denetlenir (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

#### 4.1.3.1 İç güven ölçütü

$H_0$ : Sıfır Hipotezi

$H_s$ : Seçenek Hipotezi

$a$ : Ölçek katsayısı

$\underline{c}$ : Ölçülerin model hatalarına etkime katsayıları

$r_j$ : Serbestlik ölçütü (Rezudanz payı)

$|\Delta_j|$ : İç güven ölçütü

$W_0$ : Sınır değeri

$Q_{vv}$ : Düzeltmelere ilişkin kofaktör matrisi

olmak üzere, bir  $l_j$  ölçüsünde  $\Delta_j$  kadar kaba hatanın ortaya çıkma olasılığı hipotez kurularak,

$$H_0 : E\{\Delta\} = 0 \quad (4.51)$$

$$H_s : E\{\Delta\} = a\underline{c}$$

belirlenir. Seçenek hipotezinin geçerli çıkması durumunda dış merkezlik parametresi,

$$W = \frac{\Delta V^T P \Delta V}{\sigma_0^2} \quad (4.52)$$

olur. Dış merkezlik parametresinin olasılık bağıntısına ilişkin sınır değeri,

$$W_0 = F(\alpha_0, \beta_0, r, \infty) \quad (4.53)$$

ile hesaplanır.

$$\Delta V_j = -\underline{Q}_{vv} \underline{P} a \underline{c} \quad (4.54)$$

olmak üzere,

$$a^2 = \frac{\underline{c}^T \underline{p} \underline{Q}_{vv} \underline{P} \underline{c}}{\sigma_0^2} \geq W_0 \quad (4.55)$$

test ilişkisi kurulabilir.  $\Delta_j$  büyüklüğünün sınır değeri  $c = 1$  ve  $a = \Delta_i$  olarak seçildiğinde, korelasyonsuz gözlemler için,

$$\Delta_j^2 \geq \frac{W_0 \sigma_0^2}{P_j r_j} \quad (4.56)$$

$$|\Delta_{oj}| = m_0 \sqrt{\frac{W_0}{P_j r_j}} \quad (4.57)$$

eşitliğinden iç güven ölçütü hesaplanır. Bu sınır değerler, bir ağda yapılan ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğinin bir ölçütüdür. İç güven ölçütü de model hipotezi ile saptanamayan en büyük hatanın büyüklüğü hakkında

bilgi verir. İyi kontrol edilebilen bir ağda iç güven ölçütleri birbirine yakın ve olabildiğince küçük değerler almalı ve gözlemlerden hiçbirinde,

$$\Delta_{oj} \leq 8m_j \quad (4.58)$$

sınır değerini aşmamalıdır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

#### 4.1.3.2 Dış güven ölçütü

Ortaya çıkarılamayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine etkisi, dengeli ölçülere etkisinden çok daha önemlidir. Dengeli bir ağdan bahsedildiğinde ilk akla gelen dengeli koordinatlardır. Örneğin bir ölçüde  $\Delta_{oi}$  sınır değer kadar ortaya çıkan kaba hatanın etkisi,

$$\underline{\Delta X} = \underline{Qa}_i^T \underline{P} \underline{\Delta a}_i \quad (4.59)$$

fonksiyonel ilişkisi ile incelenebilir. Koordinat bilinmeyenleri vektörü ağın sabit alınan bir başka deyişle ağın datumuna bağlıdır. Ağın dış güveni datuma bağlı olmayan bir ölçütle elde edilmek istenirse,

$$\delta_{oi}^2 = \underline{\Delta X}^T \underline{K}_{xx}^{-1} \underline{\Delta X} \quad (4.60)$$

şeklinde bir tanımla yapılır ve dış güven ölçütü bu tanımdan yararlanılarak,

$$\delta_{oi}^2 = \frac{1-r_i}{r_i} W_0 \quad (4.61)$$

olarak hesaplanır. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonunun maksimum hatası  $\Delta_a$  ile gösterilirse,

$$\delta_{oi} \geq \frac{\Delta a}{m} \quad (4.62)$$

eşitliği geçerli olur. İyi planlanmış ve dengelemenin matematik modeli doğru kurulmuş bir jeodezik ağda gözlemlerin fazla ölçü sayısındaki payları,

$$r_i > 0.3 \text{ veya } ri > 0.5 \quad (4.63)$$

ortaya çıkarılmayan hataların sınır değeri,

$$\Delta_{oi} \cong 6m_i \text{ veya } \Delta_{oi} \cong 8m_i \quad (4.64)$$

hataların koordinatlara etkime katsayıları,

$$\delta_{oi} \cong 6 \text{ veya } \delta_{oi} \cong 10 \quad (4.65)$$

sınırları arasında kalmalıdır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

## 5. GPS İLE KONUM BELİRLEMEDE DOĞRULUK ÖLÇÜTLERİ

### 5.1. Doğruluk ve Duyarlık Tanımları

Jeodezik ağların niteliğini belirlemek için en sık başvuru olan ölçütler doğruluk ölçütleridir. Ülkemizde de jeodezik ağların doğruluğunu ifade etmek için hassasiyet, presizyon, duyarlık deyimleri kullanılmaktadır.

Bazı büyük yapılar üzerinde veya doğrudan doğruya arazide yerleştirilmiş noktaların buldukları yerlerin olası hareketlerinin büyüklüğünü, yönünü ve hızını saptamak amacıyla jeodezik ağların kullanılması, son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Ağın iki ayrı zamanda yapılan ölçme sonuçları karşılaştırılır ve bulunan farklar matematik bir yöntemle test edilirler. Bu amaçla kurulan bir ağ ve tasarlanan ölçü planının, söz konusu hareketlerin ortaya çıkarılmasına uygun bir yapıya sahip olması gerekir. Ağın bu özelliğine ağın duyarlılığı ya da test edilebilirliği adı verilir. Geodetic Survey Division'da (1996) doğruluk (accuracy), gerçek ama bilinmeyen değere tahmin edilmiş miktarın yakınlığının derecesi; duyarlık (precision), aynı büyüklüğe ilişkin değerlerin tekrarlanmış ölçülerin birbirine yakınlık derecesi olarak tanımlanmaktadır. Duyarlığın çeşitli ölçüleri için rms (root mean square), standart sapma, CEP, SEP, 2drms, ppm, hata elipsi vd. kullanılmaktadır (Geodetic Survey Division, 1992b).

GPS yöntemi ile ölçülen jeodezik ağlardaki doğruluk ölçütleri; ağın bir noktasının doğruluğunu ifade eden ağın bir noktasına ilişkin doğruluk ölçütleri, ağın bir kesiminin (bazların) doğruluğunu ifade eden lokal doğruluk ölçütleri şeklinde sınıflandırılabilir (Tuşat 2003).

### 5.2. Mutlak ve Göreli Doğruluk

GPS ölçmeleri ile göreli konum belirlemede, verilerin değerlendirilmesiyle, WGS-84 sisteminde kartezyen koordinat farkları hesaplanır. Ölçülerin kontrolü amacıyla gereğinden fazla sayıda ölçme yapılır. Ölçülerin kesin değerleri ve ortalama hataları en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile belirlenir. Mutlak doğruluk ağ noktalarının zorlamalı ağ dengelemesi sonucu elde edilen koordinat bileşenlerinin doğruluğu olarak tanımlanabilir. Jeodezik ağlardaki doğruluk ölçütlerinin

hesaplanmasında kullanılan bilgilerin tümü, bu jeodezik ağı oluşturan noktaların koordinat bilinmeyenlerine ilişkin varyans-kovaryans matrisinde saklanmıştır.

Koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisi;

$$Q_{xx} = (A^T PA)^{-1} \quad (5.1.)$$

$$Q_{xx} = q \begin{pmatrix} q_{xixi} & q_{xiyi} & q_{xizi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{xixp} & q_{xiyp} & q_{xizp} \\ q_{yixi} & q_{yiyi} & q_{yizi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{yixp} & q_{yiyp} & q_{yizp} \\ q_{zixi} & q_{ziyi} & q_{zizi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{zixp} & q_{ziyp} & q_{zizp} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ q_{xpxi} & q_{xpyi} & q_{xpzi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{xppx} & q_{xppy} & q_{xppz} \\ q_{ypxi} & q_{ypyj} & q_{ypzi} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{yppx} & q_{yppy} & q_{yppz} \\ q_{zpxi} & q_{zpyi} & q_{zpzj} & \cdot & \cdot & \cdot & q_{zppx} & q_{zppy} & q_{zppz} \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

Herhangi bir Pi noktasına ilişkin koordinat bilinmeyenleri ve ters ağırlık matrisi,

$$X_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$$Q_{ii} = \begin{bmatrix} q_{xixi} & q_{xiyi} & q_{xizi} \\ q_{yixi} & q_{yiyi} & q_{yizi} \\ q_{zixi} & q_{ziyi} & q_{zizi} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

eşitliklerinden elde edilir. Dengeleme sonucunda standart sapma

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T PV}{n - u}} \quad (5.5)$$

bağıntısından elde edilir. Noktaların koordinat bilinmeyenlerinin standart sapması ise

$$m_{xi} = \pm m_0 \sqrt{q_{xixi}}, \quad m_{yi} = \pm m_0 \sqrt{q_{yiyi}}, \quad m_{zi} = \pm m_0 \sqrt{q_{zizi}} \quad (5.6)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Bir ağ noktasına ilişkin doğruluk ölçütlerinin tümü ağın datumuna bağımlılık gösterirler. Dayalı ağlarda, sabit noktasından uzaklaşıldıkça bu doğruluk ölçütlerinin değerlerinin büyüdüğü görülür. Bu nedenle de ağın noktalarının doğruluğunu

gerçekçi olarak yansıtmazlar. Bu gerçekten hareket edilerek noktaların birbirine göre konum doğruluğu incelenir (Tuşat, 2003).

Jeodezik ağların dengelenmesi, GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde sabit noktalar arasındaki bazların analizi, tekrarlı bazların analizi gibi ölçülerin kontrolü ve ağıın duyarlılığı hakkında bilgi edinmek için kullanılan doğruluk ölçütlerinden biriside **ppm** (Parts Per Million) değeridir. Ppm değeri ölçüler arasındaki farkın veya hata miktarının baz uzunluğuna bölünüp 1000000 ile çarpılması ile elde edilmektedir.

### 5.3. Rms, Lep, Cep, Sep

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

Her bir koordinat eksenindeki doğrusal hatalar için standart sapmalar  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  olarak kabul edilirse, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir. **LEP** (Linear Error Probable, 1 boyutlu ), herhangi bir koordinat eksenindeki olası doğrusal hata olup  $LEP=0.6745.\sigma$  ile verilmektedir.

Eğer üç koordinat eksenindeki standart sapmalar ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ) eşitse standart hata elipsoidi bir küre halini alır. Bir noktanın belirlenen doğru konumlarının %50'sini kapsayan bu kürenin yarıçapı olası küresel hata (**SEP**; Spherical Error Probable, 3 boyutlu) olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, belirli bir noktada çok sayıda konum belirlendiği düşünülürse, birden fazla ve birbirinden bağımsız olarak belirlenen bu konumların (o noktanın gerçek konumu merkezde olmak üzere) %50'sini kapsayan kürenin yarıçapı SEP olarak tanımlanmaktadır.

Örneğin DOD, GPS ile anlık konum belirlemede (1991 yılı itibarıyla) tüm dünya için 16m lik SEP hedeflenmiştir. SEP'in iki boyutta karşılığı ise Olası Dairesel Hata (**CEP**; Circular Error Probable) olarak adlandırılmaktadır. CEP, bir noktada belirlenen doğru yatay koordinatlarının %50 olasılıkla içinde bulunduğu (merkezi noktanın gerçek konumu olan) dairenin yarıçapı olarak ifade edilebilir. Matematiksel bir ifade olarak CEP,

$$CEP=1.1774.\sigma_c \quad (5.7)$$

İle verilmekte olup burada  $\sigma_c$ , dairesel standart hata olup (%39.4 olasılıklı),

$$\sigma_c \cong \frac{1}{2} \cdot (\sigma_x + \sigma_y) \quad (5.8)$$

İle belirlidir. Buna göre;

$$CEP = 1.1774 \cdot \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \quad (5.9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, X ve Y standart hata elipsinin sırasıyla büyük ve küçük yarı eksenlerini ifade etmektedir.

Özel bir durum olarak  $\sigma_x = \sigma_y$  ise;

$$CEP = 1.746 \cdot LEP \quad (5.10)$$

elde edilir.

Diğer taraftan SEP ifadesi,

$$SEP \cong 0.513 \cdot (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (5.11)$$

ile yada

$$SEP = 0.76 \cdot LEP_{\text{düşey}} + 0.87 \cdot CEP_{\text{yatay}} \quad (5.12)$$

İle verilmektedir.

Burada verilen eşitliklerin tamamı ölçülerin normal dağılımında olduğu varsayımı geçerli ise güvenilir sonuçlar vermektedir (Kahveci ve Yıldız 2005).

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

Karesel ortalamanın karekökü (rms), gerçek hata vektörleri ( $\bar{e}_i$ )'nin kareleri toplamının karekökünün ortalaması olarak tanımlanmakta olup matematiksel eşitlikler iki boyutta,

$$RMS(2B) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |\bar{e}_i|^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2} \quad (5.13)$$

üç boyutta,

$$RMS(3B) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |\bar{e}_i|^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2} \quad (5.14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$\Delta X_i = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_0)}{N} \quad (5.15)$$



$$\Delta Y_j = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_0) / N \quad (5.16)$$

$$\Delta Z_j = \sum_{i=1}^N (Z_i - Z_0) / N \quad (5.17)$$

olup, N, ölçü sayısını, (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>) ise koordinat sisteminin merkezini oluşturan hata nokta konumunu ifade etmektedir.

İki boyutta doğruluk ölçütü tanımlamanın en yaygın şekli **drms** (**d**istance **r**oot **m**ean **s**quare) tanımını kullanmaktır. drms doğruluk ölçütü aşağıdaki şekilde tanımlanmakta olup ortalama %63 olasılık seviyesini ifade etmektedir.

$$\text{drms} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (5.18)$$

Diğer taraftan GPS ile navigasyon amaçlı yatay konum belirlemede istatistik doğruluk ölçütü **2drms** (**t**wice the **d**istance **r**oot **m**ean **s**quare) ile ifade edilmektedir. 2drms, herhangi bir noktada belirli bir sistem kullanılarak elde edilecek olan konumların en az %95'ini kapsayan bir dairenin yarıçapı olarak tanımlanmakta ve

$$2\text{drms} = 2 \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (5.19)$$

ile verilmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi drms olasılığı %63 iken 2drms olasılığı %95'dir. 2drms, navigasyon uygulamalarında yoğun olarak kullanılmakta olup konum belirlemede yatay konumdaki doğruluk ölçütü için standart oluşturmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005).

FRP' de yükseklikle ilgili doğruluk 2σ ile tanımlanmıştır. 2σ da %95 olasılığa karşılık gelmektedir (Tablo 5.1). Yatay konum doğruluğu 16 metre, yükseklik doğruluğu ise 27.7 metredir. Bu değerler öngörülen limitler olup uygulamada çok daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmektedir. Olasılıklar arasındaki çoğaltma faktörleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1 :Boyuta bağlı olarak olasılık faktörleri

Doğruluk Ölçütü	1-B Olasılık	2-B Olasılık	3-B Olasılık
3σ	%99.7	%98.9	%97.1
2σ	%95.0	%86.0	%78.8
1σ	%68.0	%39.3	%19.9
Olası hata	%50 (0.67. σ)	%50 (1.18. σ)	%50 (1.54. σ)

Tablo 5.2: Olasılıklar arasında çoğaltma faktörü

ÇOĞALTMA FAKTÖRÜ			Güven Seviyesi (%)
1B Standart Sapma	2B Standart Elips	3B Standart Elipsoit	
0.01	0.14	0.33	1
0.06	0.32	0.59	5
0.14	0.46	0.76	10
0.25	0.66	<b>1.00</b>	20
0.52	<b>1.00</b>	1.36	39
0.68	1.18	1.54	50
<b>1.00</b>	1.52	1.88	68
1.64	2.15	2.50	90
1.96	2.45	2.79	95
2.58	3.04	3.37	99
2.81	3.26	3.58	99.5

#### 5.4. Duyarlık Kaybı (DOP; Dilution Of Precision) Faktörleri

DOP faktörleri, uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmekte yaygın olarak kullanılan ölçütlerdir. DOP, alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirlerine göre olan görelî konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin pseudorange hataları (UERE, URE) ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometri faktörleridir. DOP faktörleri en genel anlamda dengeleme sonrası elde edilen kofaktör (varyans-kovaryans) matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak elde edilmektedirler.

**GDOP**, uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,

**PDOP**, uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,

**HDOP**, uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara (enlem ve boylam) etkisini,

**VDOP**, uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini,

**TDOP**, uydu geometrisinin zaman bilgisine etkisini ifade etmektedir.

DOP faktörleri ile ilgili bilgi Tablo 5.3’de verilmektedir.

Tablo 5.3: DOP Faktörleri

Kısa Adı	Açık Adı	Etkilediği Büyüklük	Kullanım Alanı
GDOP	<b>Geometric Dilution Of Precision</b>	Koordinatlar (X,Y,Z) Zaman (t)	Teorik ve bilimsel Çalışmalarda
PDOP	<b>Position Dilution Of Precision</b>	Koordinatlar (X,Y,Z)	3 boyutlu konumun önemli olduğu uygulamalarda
HDOP	<b>Horizontal Dilution Of Precision</b>	Yatay Koordinatlar (X,Y)	Denizcilikle ilgili uygulamalarda
VDOP	<b>Vertical Dilution Of Precision</b>	Yükseklik (Z)	Yükseklik bilgisinin önemli olduğu uygulamalarda
TDOP	<b>Time Dilution Of Precision</b>	Zaman (t)	Zaman transferi uygulamalarında

DOP faktörleri yalnızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, günümüzde bir çok görel konum belirleme uygulamalarında da kullanılmaktadır. Noktalar arasında oluşturulan baz vektörlerinden yararlanarak oluşturulan kofaktör matrisinden hesaplanan DOP faktörleri görel DOP (**RDOP**; **Relative Dilution of Precision**) olarak ifade edilmektedir. NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri Tablo 5.4’de verilmektedir.(Kahveci ve Yıldız 2005)

Tablo 5.4. Kabul edilen DOP limitleri

PDOP	İyi Dikkatli Olmalı(Sınırdaki) Kullanma	PDOP<6 PDOP=6-10 PDOP>10
HDOP	İyi	HDOP ≤ 4
VDOP	İyi	VDOP ≤ 4.5
TDOP	İyi	TDOP ≤ 2

## 6. UYGULAMA

### 6.1. Test Ağı

Bu çalışma ile şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla Konya-Ankara Hızlı Tren Projesi kapsamında oluşturulan yaklaşık 210 km uzunluğundaki şeritvari nirengi ağı test ağı olarak seçilmiştir. Test ağı, 26 adet referans, 27 adet kontrol noktası olmak üzere toplam 53 adet noktadan oluşmaktadır (Şekil 6.1 ve 6.2).

### 6.2. GPS Ölçüleri ve Değerlendirilmesi

GPS ölçüleri B.Ö.H.H.B.Ü.Y ne uygun olarak ağ içerisindeki noktaların derecelerine göre değişik ölçü sürelerinde statik yöntemle yapılmıştır.

Bilgisayar ortamına aktarılan GPS ölçülerinin çözümü Trimble Geomatic Office programında yapılmıştır. İlk olarak nokta isimleri, anten tipi, yüksekliği ve proje datumu bilgileri kontrol edilmiş ve GPS baz vektörleri hesaplanarak baz çözümleri kontrol edilmiştir. Lup kapanmaları ve tekrarlı ölçüler kontrol edilmiştir. Gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra ilk olarak serbest dengeleme yapılmıştır. Serbest dengeleme sonucunda standart sapmaların hata sınırlarının altında olduğu görülmüştür. Maksimum standart sapma değerleri  $m_x=0,021m$ ,  $m_y=0,021m$ ,  $m_h=0,022m$  dir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde (B.Ö.H.H.B.Ü.Y. Madde 15-d) dengeleme sonucunda noktaların standart sapma değerlerinin

$$m_x, m_y \leq \pm 3.0 \text{ cm},$$

$$m_h \leq \pm 5.0 \text{ cm}$$

olması gerektiği belirtilmektedir.

Projede yer alan 7 adet TUTGA noktasının Harita Genel Komutanlığından alınan referans epok koordinatları hız kestirim hesabına tabi tutularak ölçü epogu koordinatları elde edilmiştir. Bu koordinatlarla serbest dengeleme sonucu elde ettiğimiz koordinatlar arasında uyum testi yapılmış ve noktaların ( $m_0=0.010m$ ) uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 6.1).

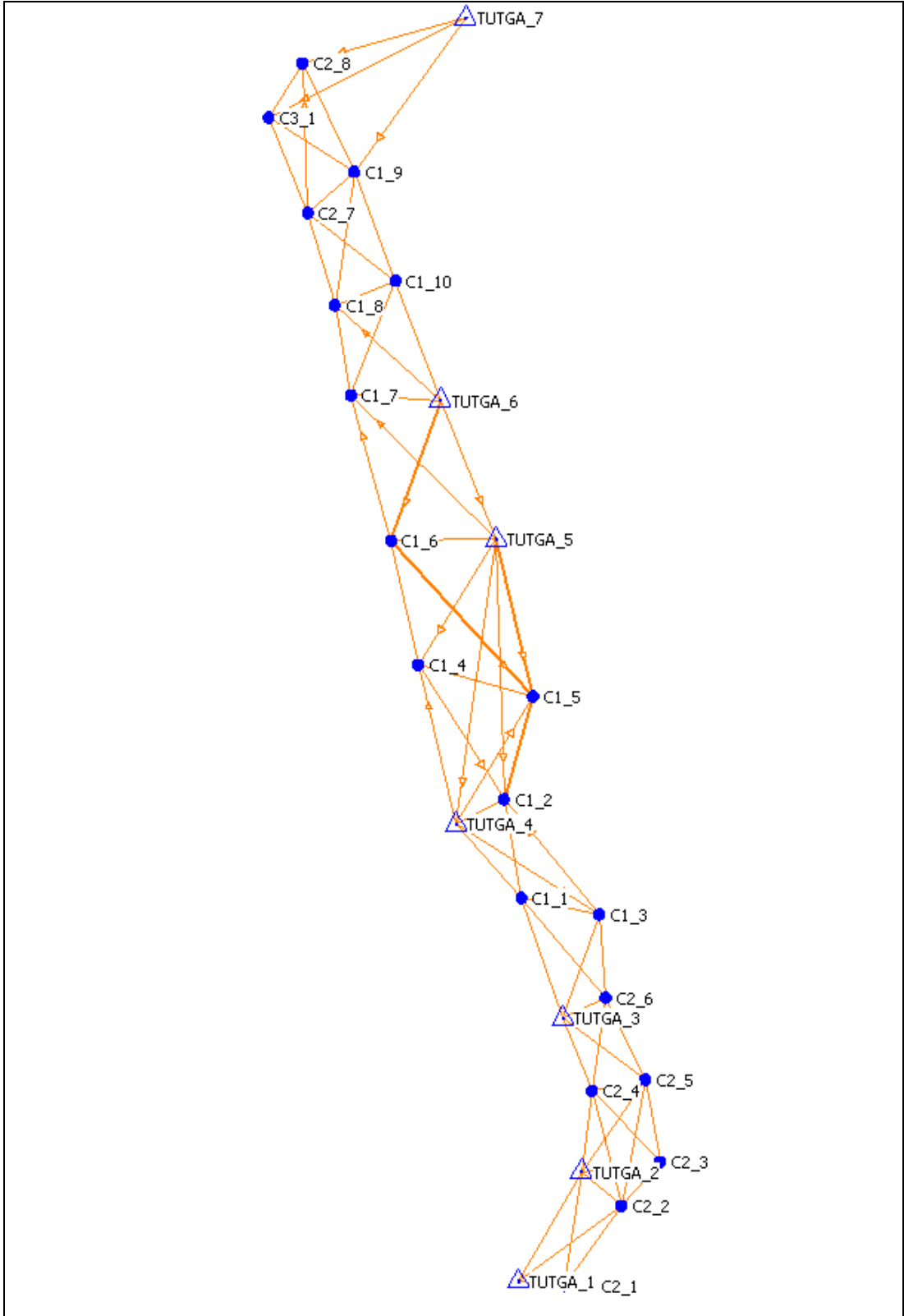
Tablo 6.1. Uyuşum Test Sonuçları

H E L M E R T 2 D K O R İ N A T D Ö N Ü Ş Ü M Ü					
I . S I S T E M		II . S I S T E M			
Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	
I28-G002	4388998.796	438306.142	4388998.753	438306.180	
J28-G001	4329735.739	434256.310	4329735.722	434256.308	
K28-G001	4308238.482	443155.043	4308238.460	443155.050	
K28-G002	4263989.105	436810.733	4263989.084	436810.740	
L28-G001	4233904.389	453691.543	4233904.370	453691.541	
L29-G002	4210077.117	456583.382	4210077.125	456583.376	
M28-G001	4193116.847	446670.986	4193116.848	446670.986	
-----					
Helmert Dönüşüm Parametreleri					
-----					
$Y = b*x + a*y + ty$					
$X = a*x - b*y + tx$					
-----					
a =	0.999999783052	b =	-0.000000140536		
tx =	-0.498610043315	ty =	0.973705680159		
-----					
H E S A P L A N A N					
Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	vy (m)	vx (m)	q
I28-G002	4388998.756	438306.165	0.003	-0.015	0.430
J28-G001	4329735.712	434256.326	-0.009	0.017	0.756
K28-G001	4308238.459	443155.054	0.000	0.004	0.822
K28-G002	4263989.092	436810.739	0.008	-0.001	0.851
L28-G001	4233904.381	453691.541	0.011	0.000	0.797
L29-G002	4210077.113	456583.376	-0.012	0.000	0.711
M28-G001	4193116.848	446670.979	0.000	-0.006	0.633
-----					
$[vx^2+vy^2] = 0.001$		Ortalama Hata =		0.010m	
Ölçek = -0.217ppm		Dönüklük =		359°59'59.97101"	
-----					
Koordinat Çiftleri için Uyuşumsuz Ölçüler Testi					
İstatistiksel Güven : 0.05					
Nokta No	T	TAU	Sonuç		
I28-G002	1.6141	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
J28-G001	1.6023	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
K28-G001	0.3386	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
K28-G002	0.6132	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
L28-G001	0.8418	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
L29-G002	1.0365	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
M28-G001	0.5552	<= c = 1.8832	Uyuşumlu		
-----					

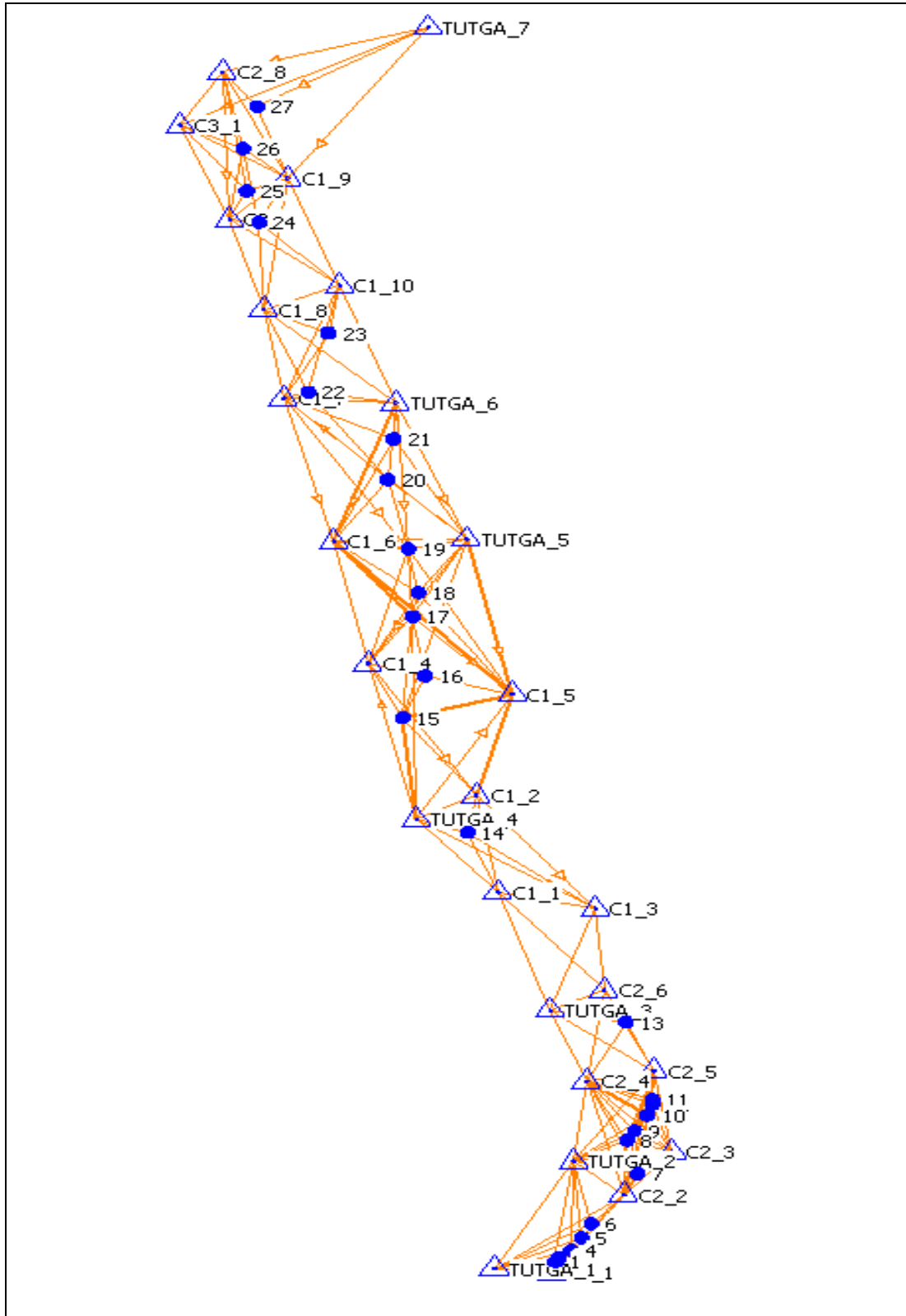
Serbest dengeleme sonrası ölçü epoğunda 7 adet TUTGA noktasına dayalı olarak dengeleme yapılmış güzergâhın sağında ve solunda 19 adet referans noktasının (10 C1+8 C2+1 C3) koordinatları hesaplanmıştır. 7 adet TUTGA noktasının ve koordinatları hesaplanan 19 adet nirenginin koordinatları, daha sonraki dengelemelerde kesin değer olarak kullanılmıştır.

Başlangıç olarak güzergâhın sağında ve solunda zincir şebekeyi kaplayacak şekilde seçilen toplam 26 adet referans noktasının tamamı sabit alınarak dengeleme yapılmış ve hesaplamalarda kontrol noktası olarak kullanılacak olan 27 adet (C1+C2) noktanın koordinatları hesaplanmıştır. Koordinatı hesaplanan bu 27 adet kontrol noktasına ait koordinatlar ve standart sapmalar Tablo 6.2'de ve Şekil 6.3'de verilmiştir.

Şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla 26 adet referans noktası değişik kombinasyonlarda sabit alınarak 6 ayrı durum için dengeleme yapılmış ve 27 adet kontrol noktasının koordinatları ve standart sapmaları hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Test Ağı (Referans noktaları)

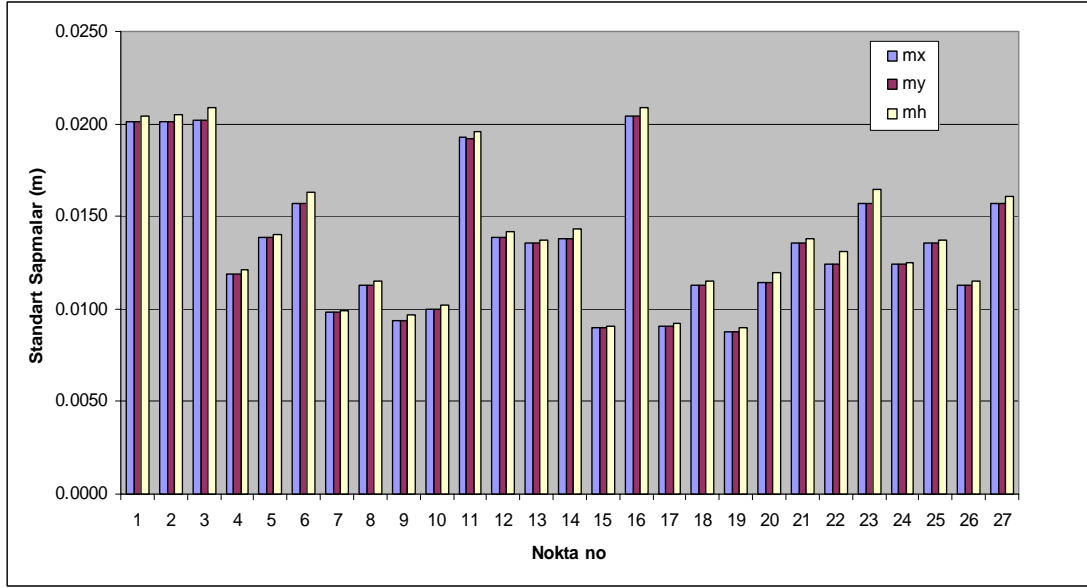


Şekil 6.2. Test ağı (Kontrol noktaları)



Tablo 6.2: Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları

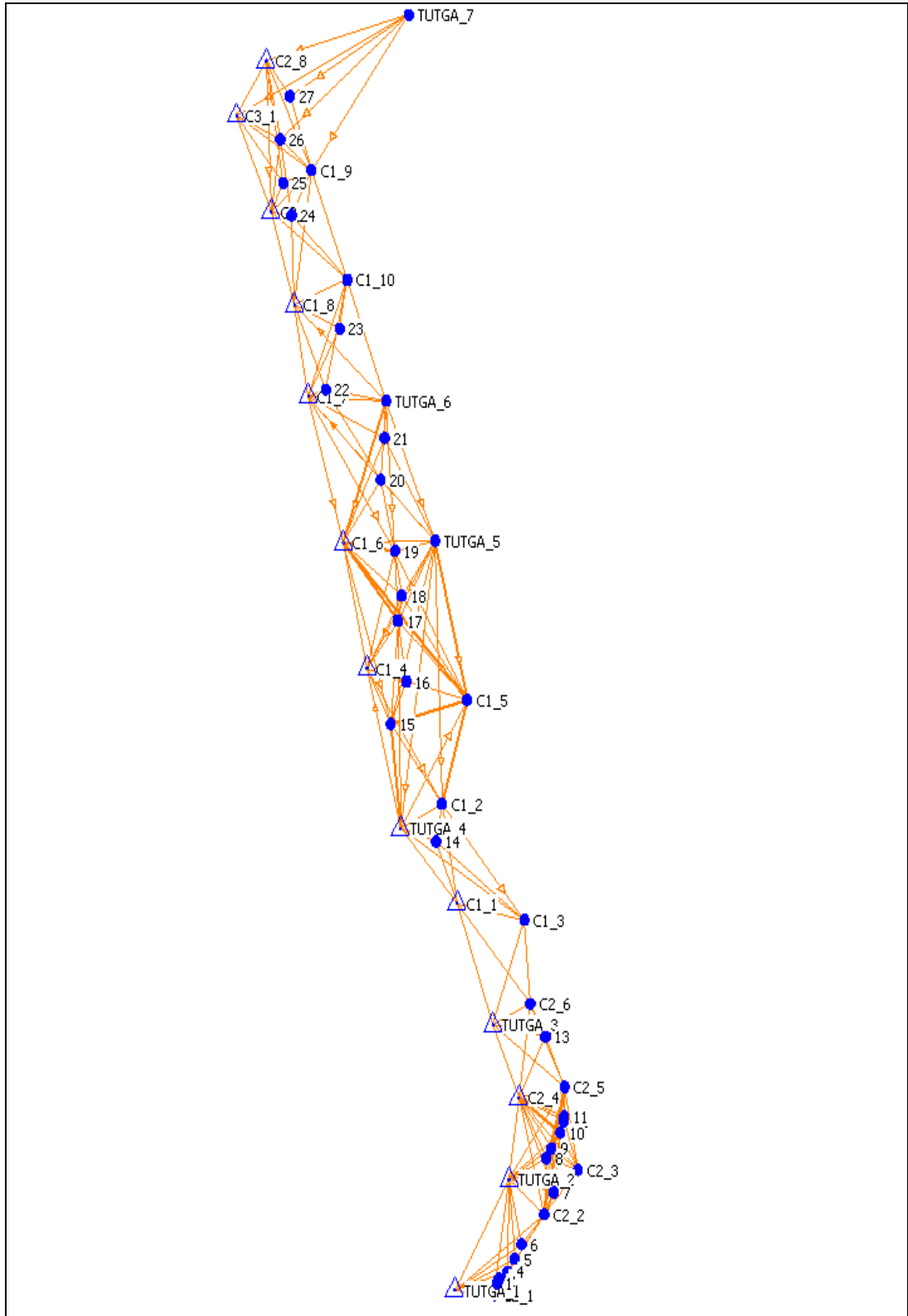
Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	h(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7877	±20.1	454334.3361	±20.1	1056.1685	±20.4
2	4194613.9889	±20.1	454610.8754	±20.1	1054.3106	±20.5
3	4194864.3482	±20.2	454764.5752	±20.2	1053.6164	±20.9
4	4195943.6144	±11.9	456262.2862	±11.9	1088.6690	±12.1
5	4197930.4160	±13.9	457628.9131	±13.9	1068.3521	±14.0
6	4200156.4119	±15.7	458818.6476	±15.7	1106.6409	±16.3
7	4208067.7457	±9.8	464705.1921	±9.8	1080.7449	±9.9
8	4213354.6936	±11.3	463335.0597	±11.3	1099.9443	±11.5
9	4214870.2907	±9.4	464288.4831	±9.4	1085.4456	±9.7
10	4217295.9761	±10.0	465884.3147	±10.0	1050.4551	±10.2
11	4219725.9206	±19.3	466549.7102	±19.2	1042.4242	±19.6
12	4219018.7776	±13.9	466538.9437	±13.9	1041.5453	±14.2
13	4232026.3889	±13.6	463191.2454	±13.6	1052.7141	±13.7
14	4261989.3092	±13.8	443298.5996	±13.8	1066.3277	±14.3
15	4280060.2512	±9.0	435044.1801	±9.0	1096.9641	±9.1
16	4286592.0184	±20.4	437900.9033	±20.4	1300.2383	±20.9
17	4295958.3255	±9.1	436376.9518	±9.1	1104.9884	±9.2
18	4299811.9531	±11.3	437066.2669	±11.3	1118.9711	±11.5
19	4306666.7871	±8.8	435796.8849	±8.8	1055.5247	±9.0
20	4317595.1465	±11.4	433194.6163	±11.4	1157.3688	±12.0
21	4323989.4223	±13.6	433922.3696	±13.6	1084.5310	±13.8
22	4331408.4727	±12.4	423217.7678	±12.4	960.2260	±13.1
23	4340769.0702	±15.7	425732.3493	±15.7	1008.7567	±16.5
24	4358196.0014	±12.4	417012.4836	±12.4	883.8233	±12.5
25	4363155.6442	±13.6	415452.1093	±13.6	841.4800	±13.7
26	4369841.7172	±11.3	414986.7851	±11.3	816.8619	±11.5
27	4376477.8597	±15.7	416731.5773	±15.7	835.4223	±16.1



Şekil 6.3: Standart sapmalar

### 6.2.1 Ölçülerin değerlendirilmesi (I.Durum)

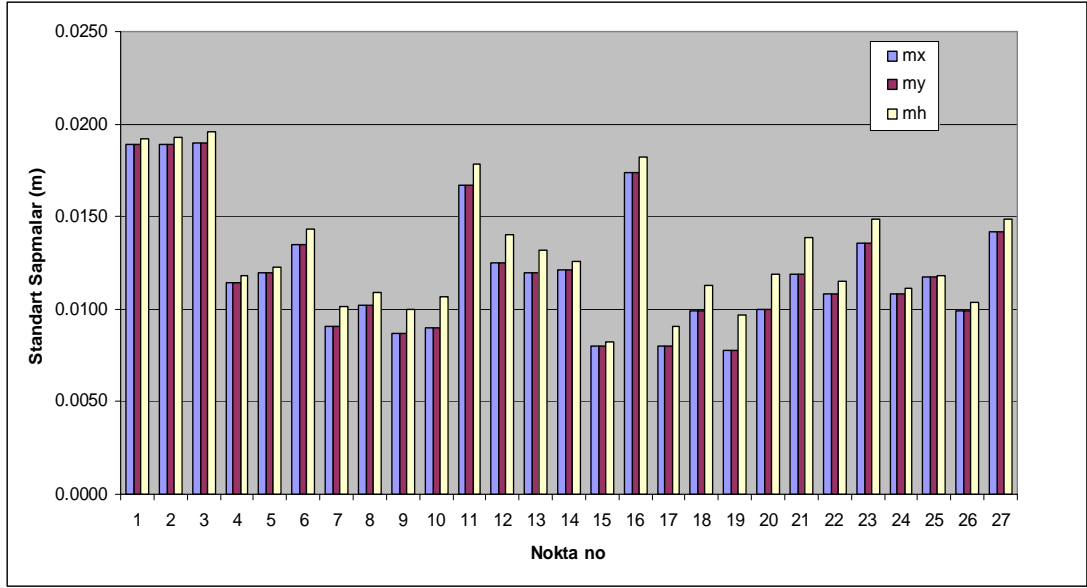
Referans ağda bulunan 26 adet noktadan test ağının sadece solunda bulunan 13 adet nokta sabit alınarak dayalı dengeleme yapılmıştır (Şekil 6.4). Değerlendirme işleminde, referans ağdaki diğer 13 noktadaki ve 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. Bu dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.3’de ve Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.4. I.Durum

Tablo 6.3 Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları I.Durum

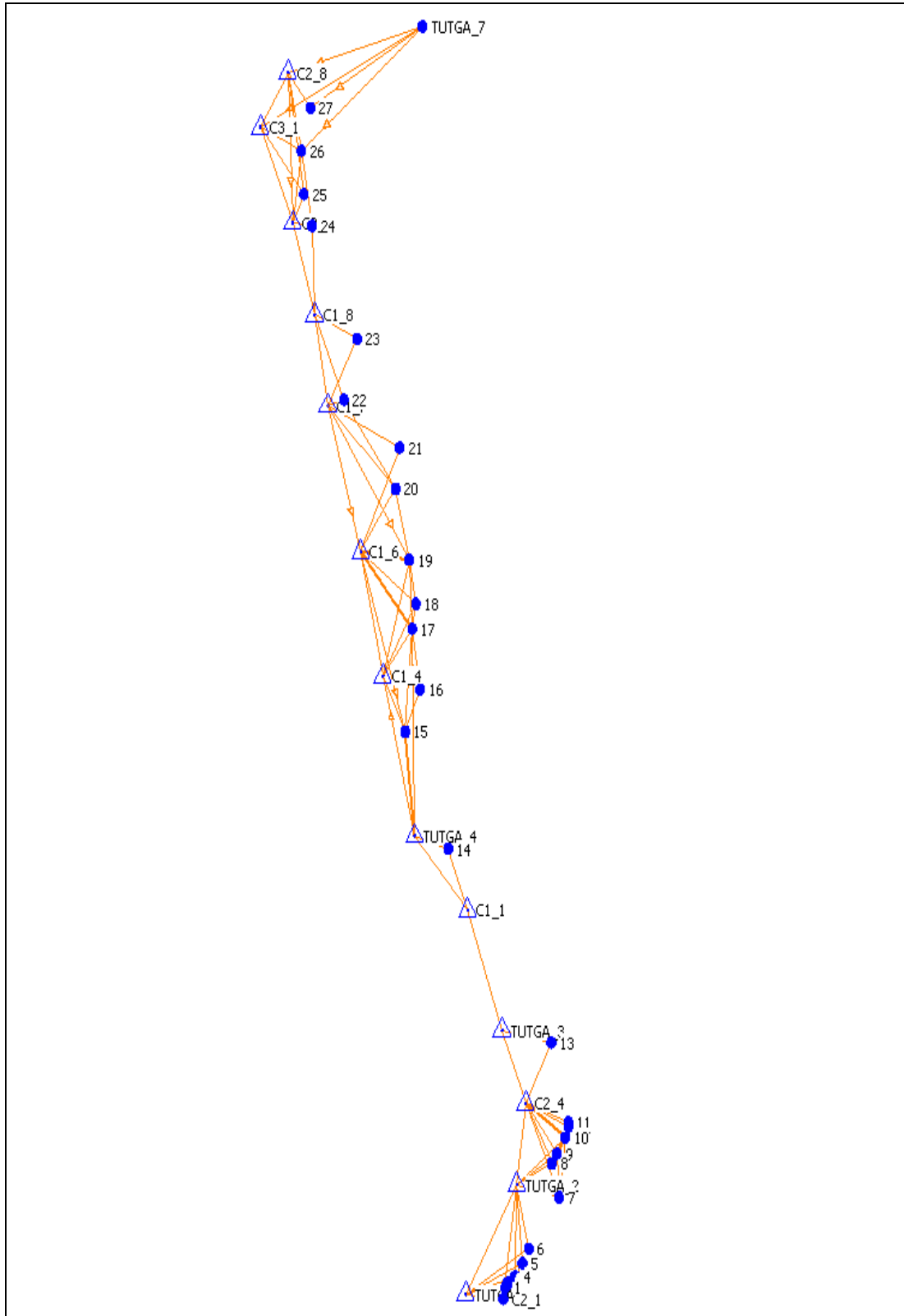
Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	h(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7916	±18.9	454334.3324	±18.9	1056.1807	±19.2
2	4194613.9929	±18.9	454610.8717	±18.9	1054.3217	±19.3
3	4194864.3521	±19.0	454764.5715	±19.0	1053.6268	±19.6
4	4195943.6169	±11.4	456262.2837	±11.4	1088.6699	±11.8
5	4197930.4164	±12.0	457628.9119	±12.0	1068.3443	±12.3
6	4200156.4116	±13.5	458818.6469	±13.5	1106.6271	±14.3
7	4208067.7446	±9.1	464705.1911	±9.1	1080.7278	±10.1
8	4213354.6923	±10.2	463335.0589	±10.2	1099.9291	±10.9
9	4214870.2895	±8.7	464288.4821	±8.7	1085.4262	±10.0
10	4217295.9747	±9.0	465884.3141	±9.0	1050.4303	±10.7
11	4219725.9207	±16.7	466549.7088	±16.7	1042.3991	±17.8
12	4219018.7759	±12.5	466538.9429	±12.5	1041.5202	±14.0
13	4232026.3889	±12.0	463191.2446	±12.0	1052.6881	±13.2
14	4261989.3091	±12.1	443298.5998	±12.1	1066.3195	±12.6
15	4280060.2521	±8.0	435044.1800	±8.0	1096.9536	±8.2
16	4286592.0191	±17.4	437900.9032	±17.4	1300.2152	±18.2
17	4295958.3258	±8.0	436376.9518	±8.0	1104.9631	±9.1
18	4299811.9534	±9.9	437066.2669	±9.9	1118.9398	±11.3
19	4306666.7866	±7.8	435796.8860	±7.8	1055.4967	±9.7
20	4317595.1452	±10.0	433194.6185	±10.0	1157.3432	±11.9
21	4323989.4206	±11.9	433922.3721	±11.9	1084.4980	±13.9
22	4331408.4710	±10.8	423217.7707	±10.8	960.2248	±11.5
23	4340769.0698	±13.6	425732.3495	±13.6	1008.7378	±14.9
24	4358196.0012	±10.8	417012.4832	±10.8	883.8159	±11.1
25	4363155.6443	±11.7	415452.1088	±11.7	841.4727	±11.8
26	4369841.7178	±9.9	414986.7830	±9.9	816.8493	±10.4
27	4376477.8609	±14.2	416731.5730	±14.2	835.4013	±14.9



Şekil 6.5. Standart sapmalar (I.Durum)

### 6.2.2. Ölçülerin değerlendirilmesi (II. Durum)

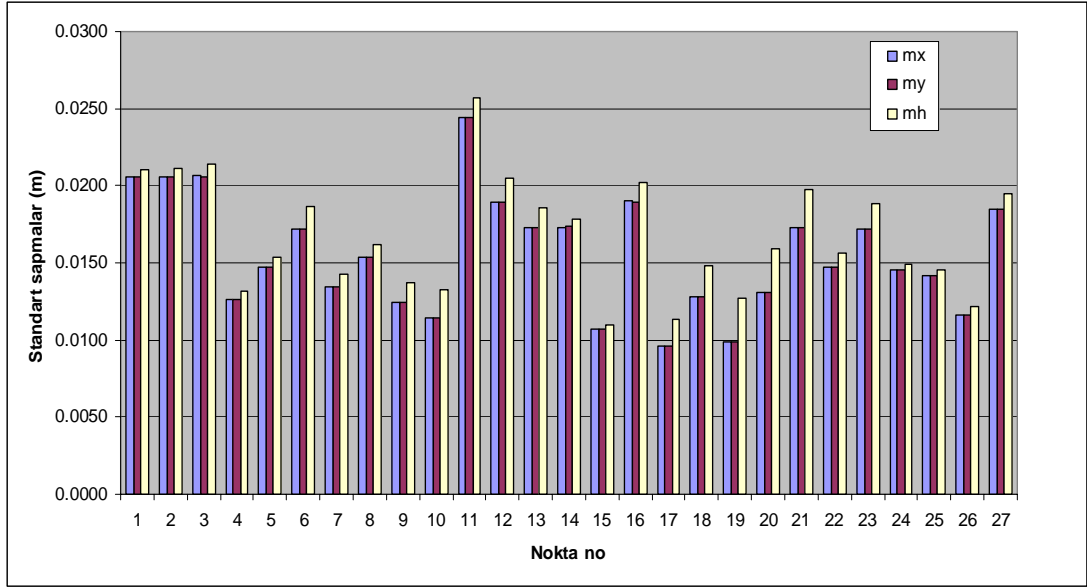
Bu durumda yine I. durumda sabit alınan güzergâhın solundaki 13 adet nirenginin koordinatları sabit alınarak dayalı dengeleme yapılmıştır (Şekil 6.6). Değerlendirme işleminde, 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. Bu dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.4'te ve Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.6. II.Durum

Tablo 6.4 Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları II.Durum

Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	h(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7936	±20.6	454334.3316	±20.6	1056.1882	±21.0
2	4194613.9949	±20.6	454610.8709	±20.6	1054.3294	±21.1
3	4194864.3541	±20.7	454764.5707	±20.6	1053.6346	±21.4
4	4195943.6184	±12.6	456262.2831	±12.6	1088.6769	±13.2
5	4197930.4168	±14.7	457628.9119	±14.7	1068.3517	±15.4
6	4200156.4127	±17.2	458818.6467	±17.2	1106.6401	±18.7
7	4208067.7468	±13.4	464705.1897	±13.4	1080.7330	±14.3
8	4213354.6878	±15.4	463335.0536	±15.4	1099.9224	±16.2
9	4214870.2914	±12.4	464288.4855	±12.4	1085.4391	±13.7
10	4217295.9751	±11.4	465884.3145	±11.4	1050.4377	±13.3
11	4219725.9135	±24.4	466549.6974	±24.4	1042.4054	±25.7
12	4219018.7681	±18.9	466538.9367	±18.9	1041.5168	±20.5
13	4232026.3897	±17.3	463191.2488	±17.3	1052.6965	±18.6
14	4261989.3071	±17.3	443298.6019	±17.4	1066.3161	±17.8
15	4280060.2501	±10.7	435044.1797	±10.7	1096.9551	±11.0
16	4286592.0195	±19.0	437900.9033	±18.9	1300.2219	±20.2
17	4295958.3282	±9.6	436376.9524	±9.6	1104.9722	±11.3
18	4299811.9558	±12.8	437066.2670	±12.8	1118.9504	±14.8
19	4306666.7883	±9.9	435796.8865	±9.9	1055.5056	±12.7
20	4317595.1462	±13.1	433194.6192	±13.1	1157.3493	±15.9
21	4323989.4219	±17.3	433922.3741	±17.3	1084.4944	±19.8
22	4331408.4723	±14.7	423217.7669	±14.7	960.2267	±15.6
23	4340769.0694	±17.2	425732.3462	±17.2	1008.7464	±18.8
24	4358196.0002	±14.5	417012.4850	±14.5	883.8214	±14.9
25	4363155.6435	±14.2	415452.1097	±14.2	841.4754	±14.5
26	4369841.7179	±11.6	414986.7837	±11.6	816.8498	±12.2
27	4376477.8636	±18.5	416731.5750	±18.5	835.4056	±19.5

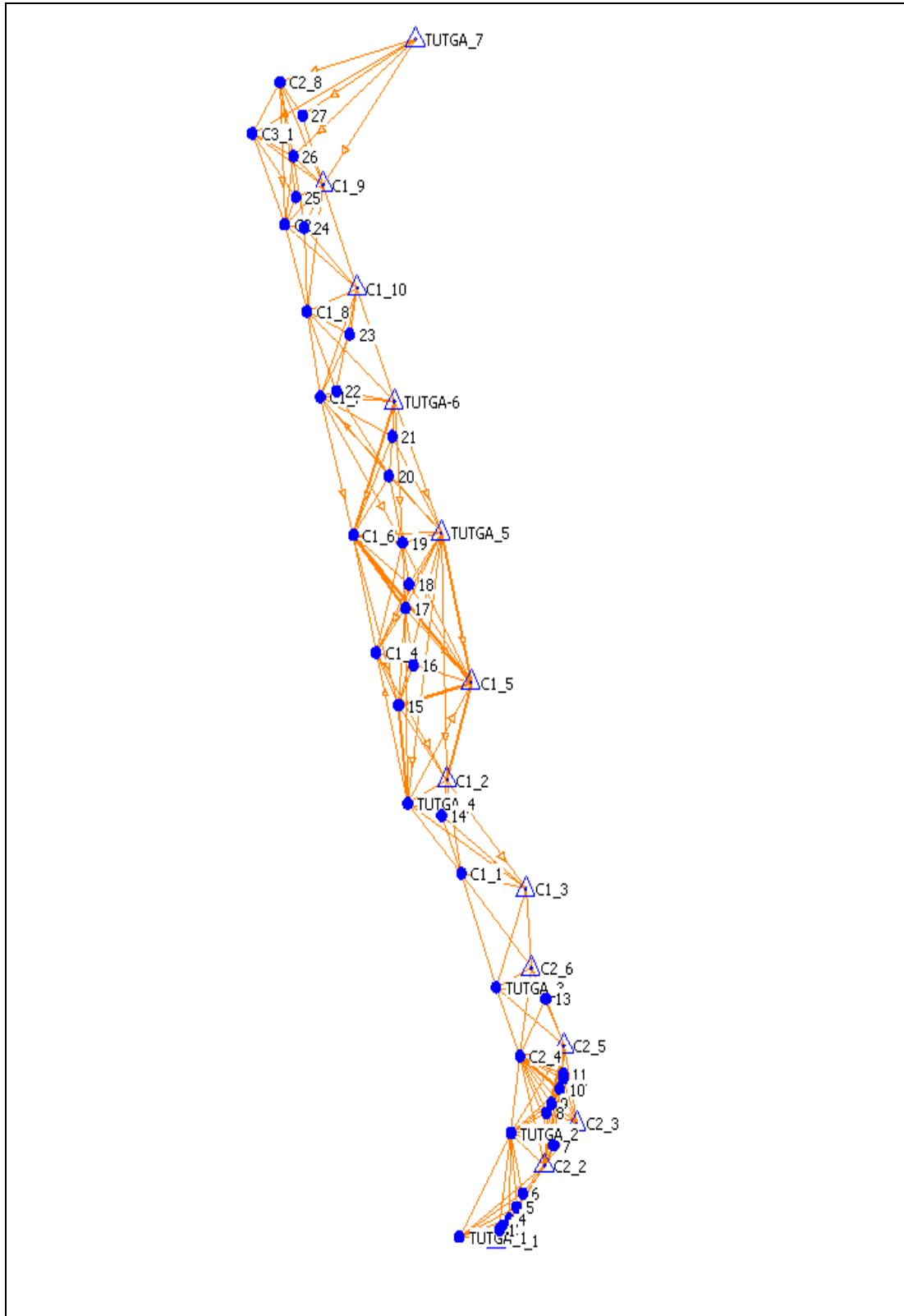


Şekil 6.7. Standart sapmalar (II.Durum)

### 6.2.3. Ölçülerin değerlendirilmesi (III.Durum)

Referans ağda bulunan 26 adet noktadan test ağının sadece sağında bulunan 13 adet nokta sabit alınarak dayalı dengeleme yapılmıştır (Şekil 6.8). Değerlendirme işleminde, referans ağdaki diğer 13 noktadaki ve 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. Bu dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.5'te ve Şekil 6.9'da verilmiştir.

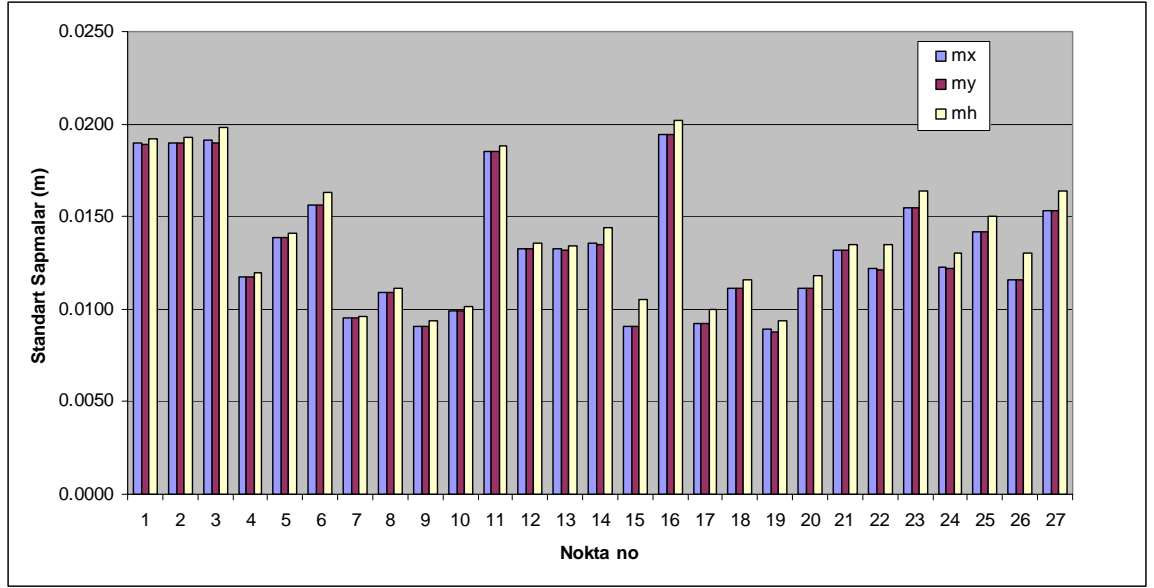




Şekil 6.8. III. Durum

Tablo 6.5 Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları III. Durum

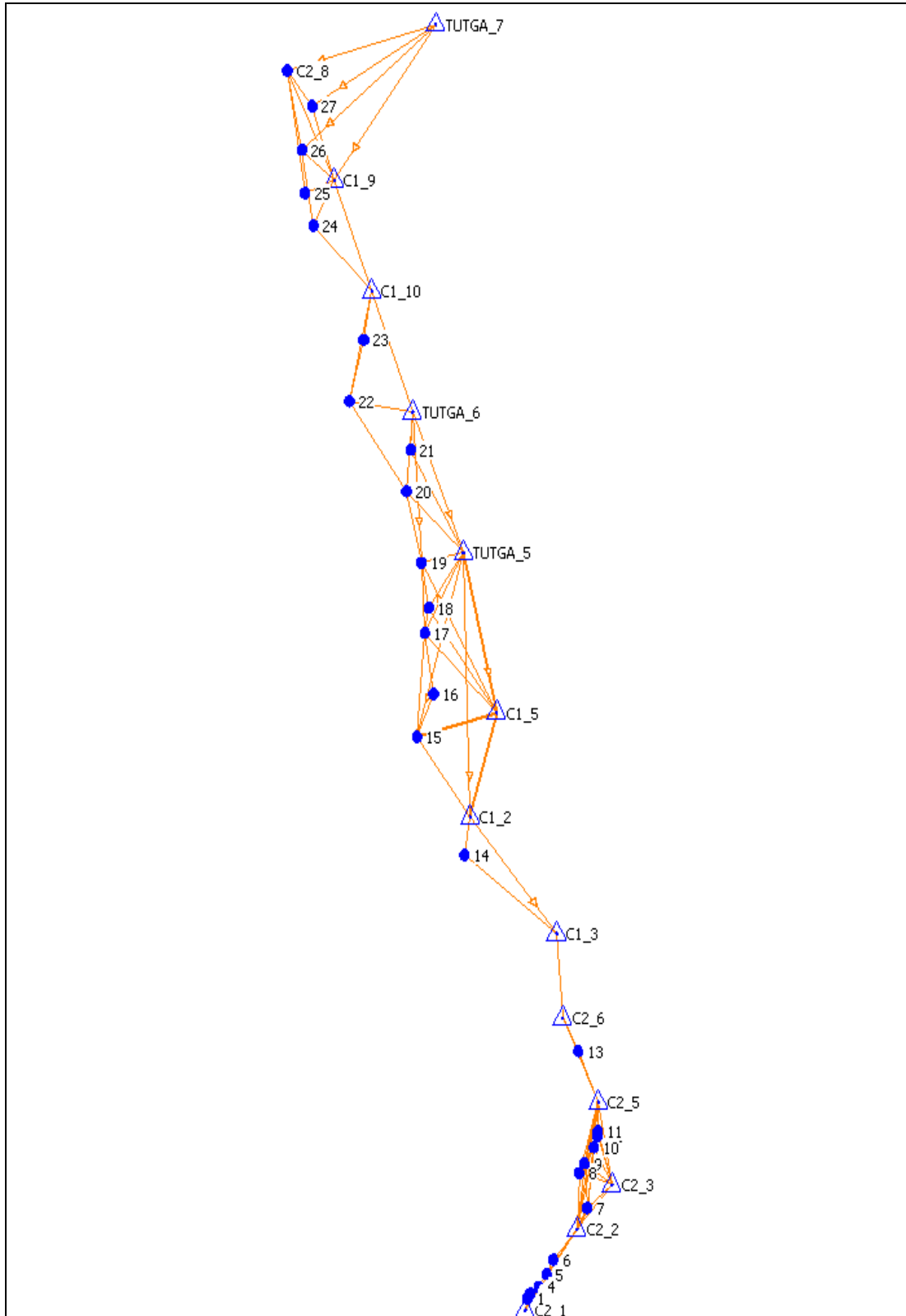
Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	h(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7870	±19.0	454334.3359	±18.9	1056.1616	±19.2
2	4194613.9883	±19.0	454610.8752	±19.0	1054.3038	±19.3
3	4194864.3475	±19.1	454764.5750	±19.0	1053.6096	±19.8
4	4195943.6130	±11.7	456262.2858	±11.7	1088.6556	±12.0
5	4197930.4142	±13.9	457628.9125	±13.9	1068.3340	±14.1
6	4200156.4100	±15.6	458818.6470	±15.6	1106.6215	±16.3
7	4208067.7450	±9.5	464705.1930	±9.5	1080.7460	±9.6
8	4213354.6931	±10.9	463335.0608	±10.9	1099.9455	±11.1
9	4214870.2900	±9.1	464288.4842	±9.1	1085.4471	±9.4
10	4217295.9756	±9.9	465884.3164	±9.9	1050.4589	±10.1
11	4219725.9224	±18.5	466549.7120	±18.5	1042.4303	±18.8
12	4219018.7783	±13.3	466538.9450	±13.3	1041.5489	±13.6
13	4232026.3918	±13.3	463191.2470	±13.2	1052.7203	±13.4
14	4261989.3109	±13.6	443298.5981	±13.5	1066.3293	±14.4
15	4280060.2524	±9.1	435044.1789	±9.1	1096.9644	±10.5
16	4286592.0193	±19.4	437900.9024	±19.4	1300.2395	±20.2
17	4295958.3262	±9.2	436376.9513	±9.2	1104.9895	±10.0
18	4299811.9535	±11.1	437066.2670	±11.1	1118.9714	±11.6
19	4306666.7872	±8.9	435796.8848	±8.8	1055.5243	±9.4
20	4317595.1464	±11.1	433194.6160	±11.1	1157.3671	±11.8
21	4323989.4220	±13.2	433922.3695	±13.2	1084.5299	±13.5
22	4331408.4727	±12.2	423217.7673	±12.1	960.2218	±13.5
23	4340769.0699	±15.5	425732.3486	±15.5	1008.7533	±16.4
24	4358196.0018	±12.3	417012.4837	±12.2	883.8198	±13.0
25	4363155.6450	±14.2	415452.1089	±14.2	841.4769	±15.0
26	4369841.7180	±11.6	414986.7851	±11.6	816.8582	±13.0
27	4376477.8601	±15.3	416731.5771	±15.3	835.4203	±16.4



Şekil 6.9. Standart sapmalar (III.Durum)

#### 6.2.4. Ölçülerin değerlendirilmesi (IV. Durum)

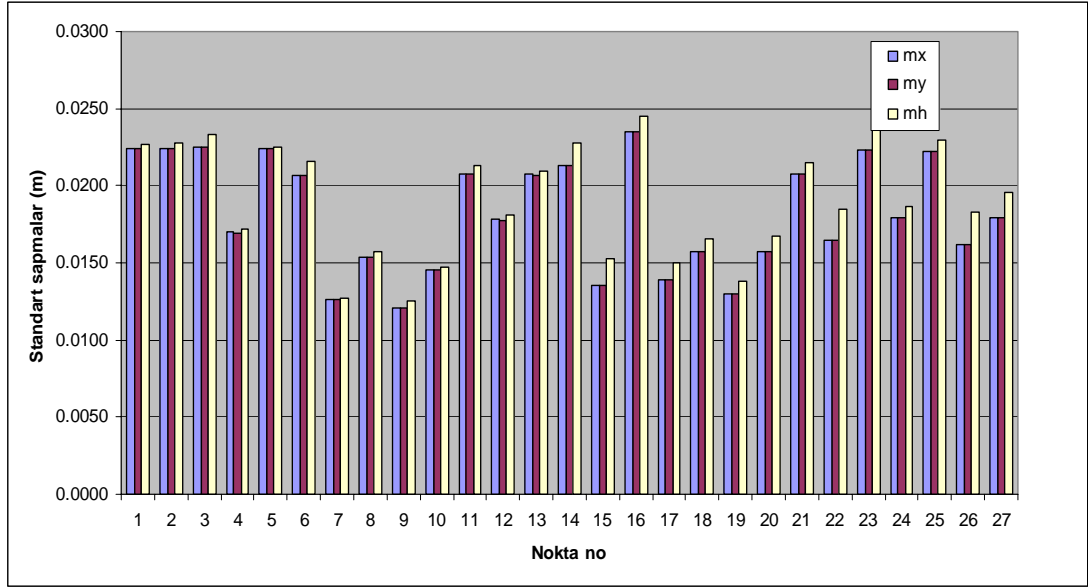
Bu durumda yine III. durumda sabit alınan test ağının sağındaki 13 adet nirenginin koordinatları sabit alınmıştır. Değerlendirme işleminde, 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır (Şekil 6.10). Bu dengeleme de elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.6 da ortalama hata grafiği de Şekil 6.11 de verilmiştir.



Şekil 6.10. IV. Durum

Tablo 6.6 Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları IV. Durum

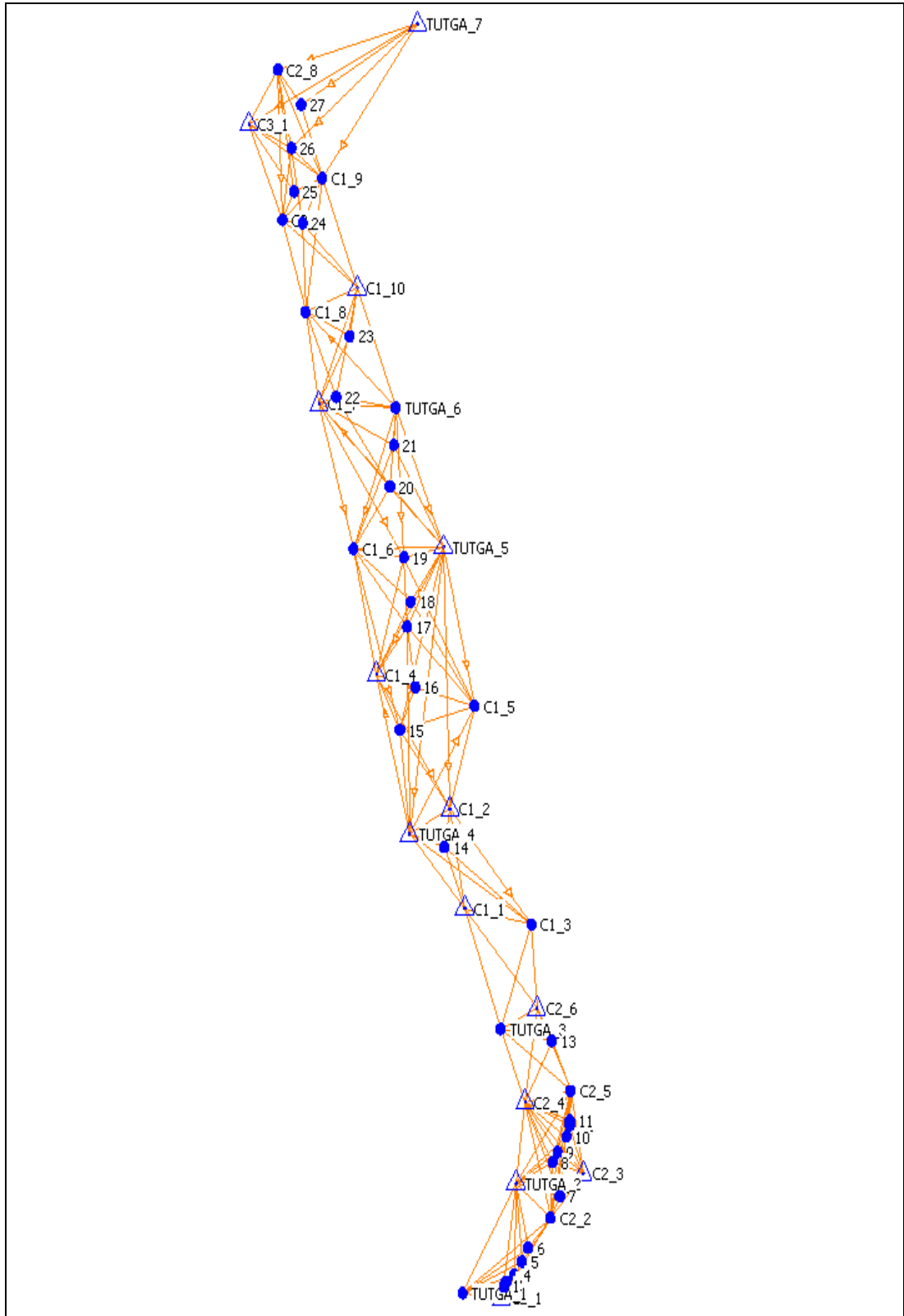
Nokta No	X(m)	m <sub>x</sub> (mm)	Y(m)	m <sub>y</sub> (mm)	h(m)	m <sub>h</sub> (mm)
1	4194166.7851	±22.4	454334.3390	±22.4	1056.1585	±22.7
2	4194613.9864	±22.4	454610.8784	±22.4	1054.3007	±22.8
3	4194864.3456	±22.5	454764.5782	±22.5	1053.6064	±23.3
4	4195943.6092	±17.0	456262.2921	±16.9	1088.6488	±17.2
5	4197930.4096	±22.4	457628.9179	±22.4	1068.3273	±22.5
6	4200156.4117	±20.7	458818.6474	±20.7	1106.6279	±21.6
7	4208067.7474	±12.6	464705.1926	±12.6	1080.7442	±12.7
8	4213354.6970	±15.4	463335.0629	±15.4	1099.9504	±15.7
9	4214870.2902	±12.1	464288.4816	±12.1	1085.4417	±12.5
10	4217295.9759	±14.5	465884.3146	±14.5	1050.4591	±14.7
11	4219725.9329	±20.8	466549.7152	±20.8	1042.4469	±21.3
12	4219018.7846	±17.8	466538.9478	±17.7	1041.5539	±18.1
13	4232026.3882	±20.8	463191.2412	±20.7	1052.7134	±20.9
14	4261989.3116	±21.3	443298.5972	±21.3	1066.3350	±22.8
15	4280060.2502	±13.5	435044.1781	±13.5	1096.9607	±15.3
16	4286592.0170	±23.5	437900.9010	±23.5	1300.2366	±24.5
17	4295958.3239	±13.9	436376.9494	±13.9	1104.9889	±15.0
18	4299811.9537	±15.7	437066.2665	±15.7	1118.9772	±16.6
19	4306666.7870	±13.0	435796.8833	±13.0	1055.5269	±13.8
20	4317595.1455	±15.7	433194.6146	±15.7	1157.3765	±16.7
21	4323989.4231	±20.8	433922.3642	±20.8	1084.5422	±21.5
22	4331408.4685	±16.5	423217.7704	±16.5	960.2208	±18.5
23	4340769.0893	±22.3	425732.3431	±22.3	1008.7273	±23.8
24	4358196.0018	±17.9	417012.4863	±17.9	883.8320	±18.7
25	4363155.6488	±22.2	415452.1099	±22.2	841.4716	±23.0
26	4369841.7176	±16.2	414986.7843	±16.2	816.8646	±18.3
27	4376477.8606	±17.9	416731.5770	±17.9	835.4258	±19.6



Şekil 6.11. Standart sapmalar (IV.Durum)

### 6.2.5. Ölçülerin değerlendirilmesi (V. Durum)

Burada test ağının sağında ve solunda bulunan 14 adet nirengi noktası sabit alınmış ve dayalı dengeleme yapılmıştır (Şekil 6.12). Değerlendirme işleminde, referans ağdaki diğer 12 noktadaki ve 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. Bu dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.7’de ortalama hata grafiği de Şekil 6.13’de verilmiştir.

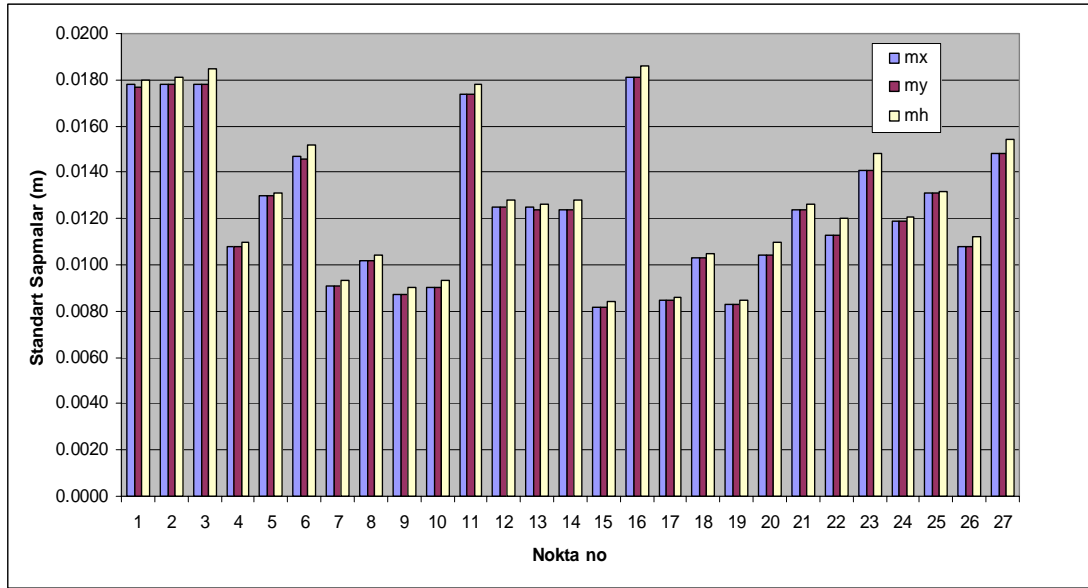


Şekil 6.12. V. Durum

Tablo 6.7 Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları V. Durum

Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	h(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7883	$\pm 17.8$	454334.3355	$\pm 17.7$	1056.1615	$\pm 18.0$
2	4194613.9896	$\pm 17.8$	454610.8748	$\pm 17.8$	1054.3038	$\pm 18.1$
3	4194864.3488	$\pm 17.8$	454764.5746	$\pm 17.8$	1053.6097	$\pm 18.5$
4	4195943.6157	$\pm 10.8$	456262.2850	$\pm 10.8$	1088.6555	$\pm 11.0$
5	4197930.4178	$\pm 13.0$	457628.9111	$\pm 13.0$	1068.3314	$\pm 13.1$
6	4200156.4138	$\pm 14.7$	458818.6454	$\pm 14.6$	1106.6184	$\pm 15.2$
7	4208067.7461	$\pm 9.1$	464705.1910	$\pm 9.1$	1080.7415	$\pm 9.3$
8	4213354.6941	$\pm 10.2$	463335.0589	$\pm 10.2$	1099.9426	$\pm 10.4$
9	4214870.2912	$\pm 8.7$	464288.4822	$\pm 8.7$	1085.4445	$\pm 9.0$
10	4217295.9762	$\pm 9.0$	465884.3142	$\pm 9.0$	1050.4554	$\pm 9.3$
11	4219725.9216	$\pm 17.4$	466549.7090	$\pm 17.4$	1042.4262	$\pm 17.8$
12	4219018.7782	$\pm 12.5$	466538.9430	$\pm 12.5$	1041.5466	$\pm 12.8$
13	4232026.3911	$\pm 12.5$	463191.2453	$\pm 12.4$	1052.7186	$\pm 12.6$
14	4261989.3089	$\pm 12.4$	443298.6000	$\pm 12.4$	1066.3282	$\pm 12.8$
15	4280060.2513	$\pm 8.2$	435044.1807	$\pm 8.2$	1096.9640	$\pm 8.4$
16	4286592.0182	$\pm 18.1$	437900.9042	$\pm 18.1$	1300.2412	$\pm 18.6$
17	4295958.3250	$\pm 8.5$	436376.9532	$\pm 8.5$	1104.9931	$\pm 8.6$
18	4299811.9526	$\pm 10.3$	437066.2682	$\pm 10.3$	1118.9761	$\pm 10.5$
19	4306666.7858	$\pm 8.3$	435796.8874	$\pm 8.3$	1055.5335	$\pm 8.5$
20	4317595.1444	$\pm 10.4$	433194.6199	$\pm 10.4$	1157.3803	$\pm 11.0$
21	4323989.4199	$\pm 12.4$	433922.3737	$\pm 12.4$	1084.5448	$\pm 12.6$
22	4331408.4707	$\pm 11.3$	423217.7714	$\pm 11.3$	960.2334	$\pm 12.0$
23	4340769.0696	$\pm 14.1$	425732.3501	$\pm 14.1$	1008.7590	$\pm 14.8$
24	4358196.0008	$\pm 11.9$	417012.4849	$\pm 11.9$	883.8219	$\pm 12.1$
25	4363155.6438	$\pm 13.1$	415452.1098	$\pm 13.1$	841.4792	$\pm 13.2$
26	4369841.7170	$\pm 10.8$	414986.7859	$\pm 10.8$	816.8600	$\pm 11.2$
27	4376477.8593	$\pm 14.8$	416731.5778	$\pm 14.8$	835.4201	$\pm 15.4$

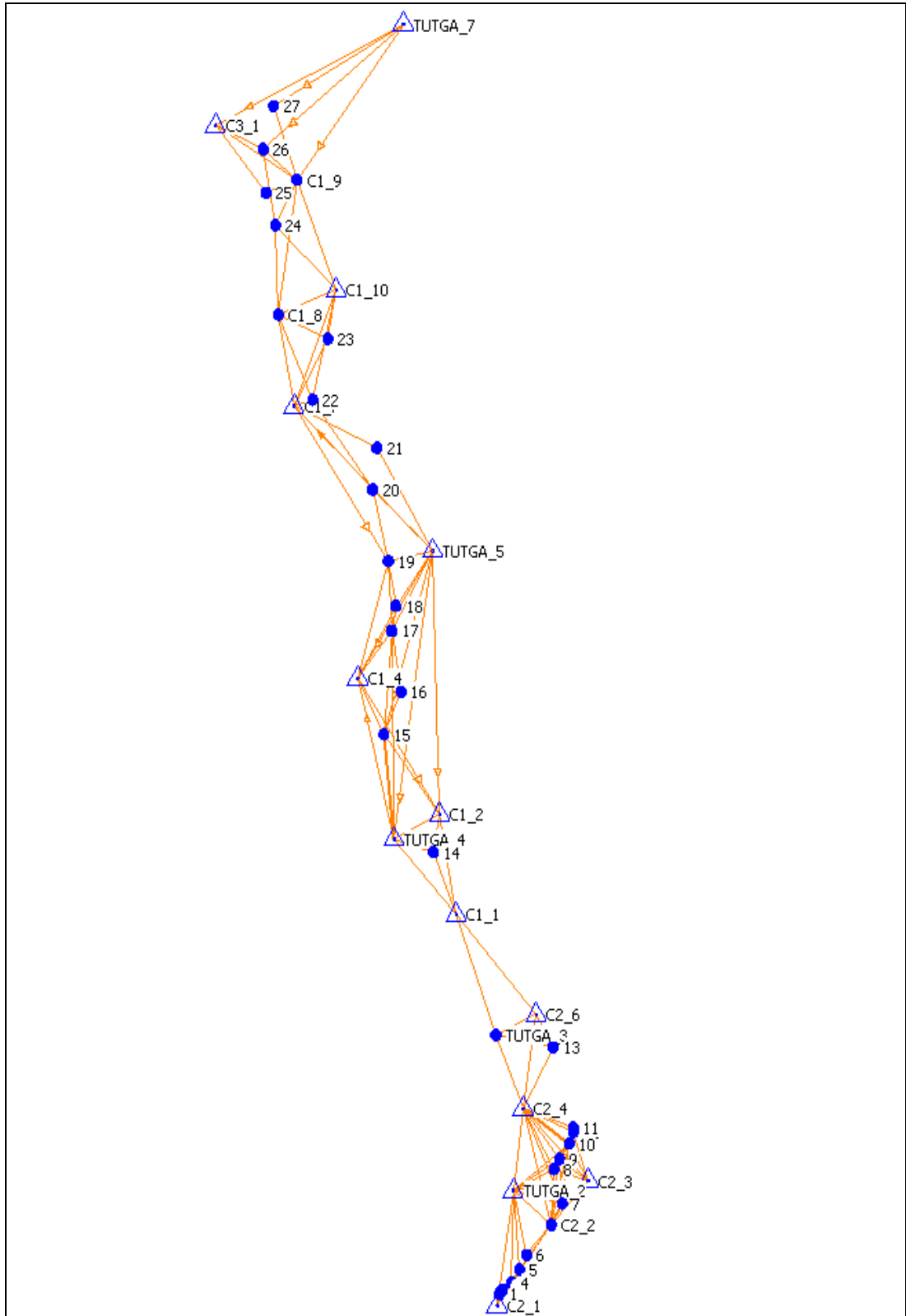




Şekil 6.13. Standart sapmalar (V.Durum)

#### 6.2.6. Ölçülerin değerlendirilmesi (VI. Durum)

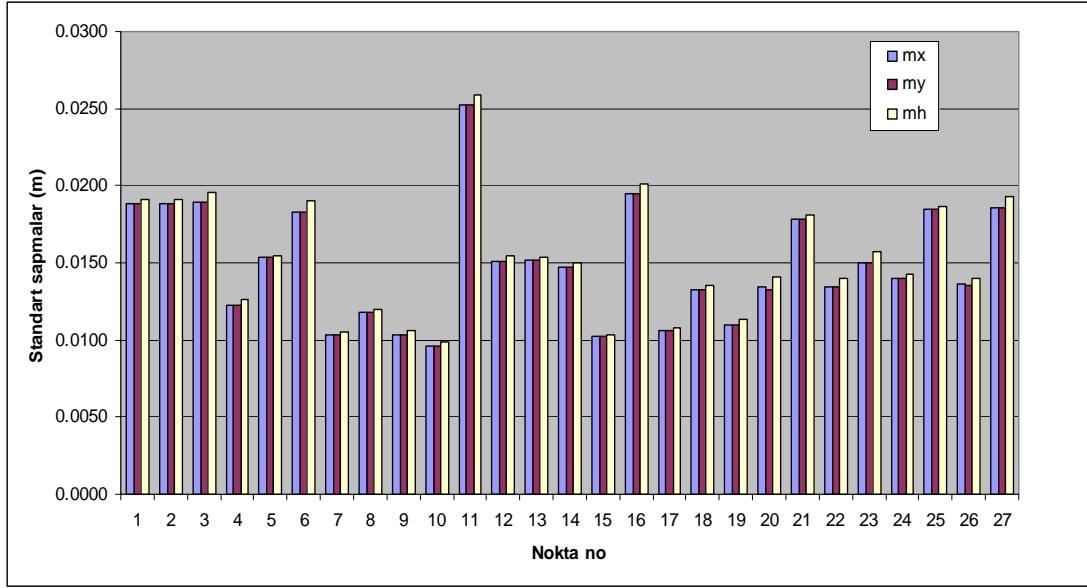
Bu durumda V. durumda sabit alınan test ağının sağında ve solundaki 14 adet nirenginin koordinatları sabit alınmıştır. Değerlendirme işleminde, 27 adet kontrol noktasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. (Şekil 6.14). Bu dengeleme de elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları Tablo 6.8 de ortalama hata grafiği de Şekil 6.15 te verilmiştir.



Şekil 6.14. VI. Durum

Tablo 6.8. Kontrol Noktaları Koordinat ve Standart Sapmaları VI. Durum

Nokta No	X(m)	$m_x$ (mm)	Y(m)	$m_y$ (mm)	H(m)	$m_h$ (mm)
1	4194166.7877	±18.8	454334.3362	±18.8	1056.1609	±19.1
2	4194613.9890	±18.8	454610.8756	±18.8	1054.3032	±19.1
3	4194864.3482	±18.9	454764.5753	±18.9	1053.6090	±19.6
4	4195943.6145	±12.3	456262.2864	±12.3	1088.6543	±12.6
5	4197930.4175	±15.4	457628.9113	±15.4	1068.3325	±15.5
6	4200156.4156	±18.3	458818.6441	±18.3	1106.6144	±19.0
7	4208067.7476	±10.3	464705.1896	±10.3	1080.7387	±10.5
8	4213354.6954	±11.8	463335.0567	±11.8	1099.9423	±12.0
9	4214870.2928	±10.3	464288.4835	±10.3	1085.4446	±10.6
10	4217295.9768	±9.6	465884.3142	±9.6	1050.4541	±9.9
11	4219725.9125	±25.2	466549.6978	±25.2	1042.4245	±25.9
12	4219018.7789	±15.1	466538.9410	±15.1	1041.5425	±15.5
13	4232026.3907	±15.2	463191.2497	±15.2	1052.7231	±15.4
14	4261989.3043	±14.7	443298.6030	±14.7	1066.3281	±15.0
15	4280060.2497	±10.2	435044.1810	±10.2	1096.9593	±10.3
16	4286592.0179	±19.5	437900.9042	±19.5	1300.2384	±20.1
17	4295958.3262	±10.6	436376.9529	±10.6	1104.9918	±10.8
18	4299811.9548	±13.3	437066.2678	±13.3	1118.9792	±13.5
19	4306666.7867	±11.0	435796.8889	±11.0	1055.5376	±11.3
20	4317595.1447	±13.4	433194.6217	±13.3	1157.3859	±14.1
21	4323989.4217	±17.8	433922.3770	±17.8	1084.5444	±18.1
22	4331408.4717	±13.4	423217.7692	±13.4	960.2344	±14.0
23	4340769.0699	±15.0	425732.3494	±15.0	1008.7581	±15.7
24	4358196.0019	±14.0	417012.4853	±14.0	883.8224	±14.3
25	4363155.6440	±18.5	415452.1083	±18.5	841.4882	±18.7
26	4369841.7168	±13.6	414986.7851	±13.5	816.8569	±14.0
27	4376477.8584	±18.6	416731.5783	±18.6	835.4258	±19.3



Şekil 6.15. Standart sapmalar (VI. Durum)

### 6.3. Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla, 6 farklı durumda yapılan dengeleme sonucunda elde edilen değerler koordinatlar ve standart sapmalar dikkate alınarak iki ayrı durumda karşılaştırılmıştır.

#### 6.3.1. Koordinat değerlerinin karşılaştırılması

Test ağına ait referans noktalarının değişik sayıda ve farklı yerlerde alınması suretiyle yapılan dengeleme sonucunda (6 durum) elde edilen kontrol noktalarına ait koordinatlar, 26 adet referans noktası sabit alınarak yapılan dengeleme sonucu elde edilen koordinatlarla karşılaştırılarak, her bir durum için standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda;

$$\begin{aligned} V_Y &= Y_r - Y_d \\ V_X &= X_r - X_d \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$m_x = \mp \sqrt{\frac{[V_x V_x]}{n}} \quad (6.2)$$

$$m_y = \mp \sqrt{\frac{[V_y V_y]}{n}} \quad (6.3)$$

$$m_p = \mp \sqrt{m_y^2 + m_x^2} \quad (6.4)$$

bağıntıları kullanılmıştır.

Burada,

$Y_r, X_r$  : 26 nokta sabit alınarak yapılan dengeleme sonucu elde edilen kontrol noktalarına ait koordinatlar (referans)

$Y_d, X_d$  : Farklı noktalar sabit alınarak yapılan dengeleme sonucu elde edilen kontrol noktalarına ait koordinatlar

$m_x$  : X yönündeki standart sapma

$m_y$  : Y yönündeki standart sapma

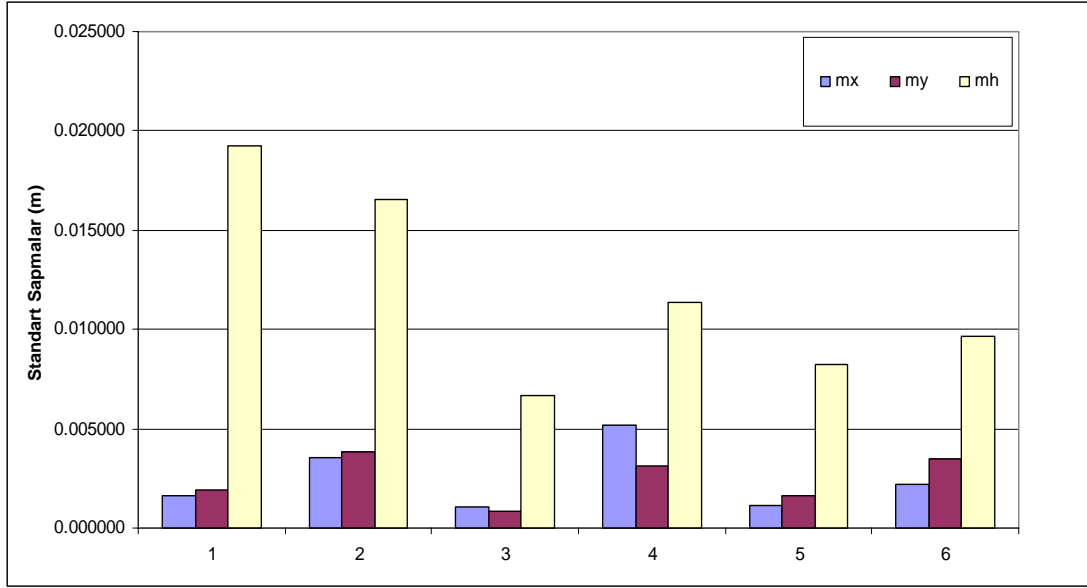
$m_p$  : Nokta konumuna ait standart sapma

$n$ : Nokta sayısını göstermektedir (İnal ve ark 1995).

Her bir durum için elde edilen maximum ve minimum koordinat farkları ve standart sapmalar Tablo 6.9'da ve Şekil 6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Standart sapmalar

Durumlar	V <sub>xmax</sub> (mm)	V <sub>xmin</sub> (mm)	m <sub>x</sub> (mm)	V <sub>ymax</sub> (mm)	V <sub>ymin</sub> (mm)	m <sub>y</sub> (mm)	m <sub>h</sub> (mm)	m <sub>p</sub> (mm)
<b>I. Durum</b>	4.0	0.0	1.65	4.3	0.0	1.92	19.25	2.53
<b>II. Durum</b>	9.5	0.3	3.56	7.0	0.0	3.86	16.55	5.25
<b>III. Durum</b>	2.9	0.0	<b>1.08</b>	1.8	0.0	<b>0.87</b>	6.69	<b>1.38</b>
<b>IV. Durum</b>	19.1	0.1	5.17	6.2	0.1	3.14	11.39	6.05
<b>V. Durum</b>	2.4	0.1	1.13	4.1	0.1	1.65	8.22	2.00
<b>VI. Durum</b>	4.9	0.0	2.24	7.4	0.0	3.51	9.66	4.16



Şekil 6.16. Standart sapmalar

Tablo 6.9 ve Şekil 6.16 incelendiğinde, en küçük standart sapma değerlerinin 3.duruma ait olduğu görülebilir.

### 6.3.2. Dengeleme sonucu elde edilen standart sapmaların karşılaştırılması

Test ağına ait referans noktalarının değişik sayıda ve farklı yerlerde alınması suretiyle yapılan dengeleme sonucunda (6 durum) elde edilen kontrol noktalara ait standart sapma değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, V.durumun en iyi sonuç verdiği görülmüştür (Tablo 6.7, Şekil 6.11, Ek I).

### 6.4. Genel Değerlendirmeler

Şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla 6 farklı durum için yapılan dengeleme sonucunda elde edilen koordinat değerleri, test ağına referans noktalarının tamamı sabit alınması durumunda elde edilen koordinatlarla karşılaştırıldığında, X ve Y yönündeki koordinat farklarından ( $V_x$ ,  $V_y$ ) hesaplanan en küçük standart sapma değeri 3.durumda en büyük standart sapma değerlerinin 4.durumda elde edilmiştir.

Test ağına ait farklı noktaların sabit alınması suretiyle yapılan dengeleme sonucu elde edilen koordinatlara ait standart sapmalar karşılaştırıldığında ise, en

küçük değerlerin 5.durumda en büyük değerlerin 4.durumda elde edildiği görülmüştür

## 7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeodezik ağların talep edilen doğruluğu karşılayıp karşılamadığı projenin amacı açısından önemlidir. Bu ise ölçme ve değerlendirme sonucunda elde edilen doğruluk ölçütlerine bakılarak sağlanır. Doğruluk ölçütleri, ağın kalitesini gösterir ve ağın tamamı için tanımlanabileceği gibi ağın her noktası için tanımlanabilir.

Uydu konum belirleme tekniklerinden GPS uygulanmaları için doğruluk ölçütleri olarak rms (root mean square), satandart sapma, CEP, SEP, 2drms, ppm, hata elipsi vd. kullanılmaktadır.

GPS ölçülerinin değerlendirilme işleminde öncelikle ölçülerin kendi aralarındaki tutarlılığını ve nokta konum doğrulukları en iyi yansıtan serbest ağ dengelemesi yapılarak, ölçüler uyumsuz ölçüler testine tabi tutularak varsa uyumsuz ölçüler ayıklanmalıdır.

Bu çalışmada, şeritvari jeodezik ağların planlanmasında nokta yeri seçiminin nokta konum doğruluklarına etkisi araştırılması amacıyla, 26 adet referans noktası ve 27 adet kontrol noktası olmak üzere toplam 53 noktadan oluşan test ağı kullanılmıştır.

Başlangıç olarak, dayanak noktalarının (TUTGA) serbest dengeleme sonucu bulunan koordinatları ile TUTGA hız alanından bulunan koordinatları karşılaştırılmış ve ölçek faktörü:  $0.217\text{ppm} \leq 3.0 \text{ ppm}$  olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak uyumsuz ölçü çıkmamıştır. Daha sonra, 26 noktadan oluşan referans ağ'a ait baz çözümleri yapılarak bazlara ait standart sapmalar ve çözüm oranları kontrol edilmiştir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra dayalı dengeleme ile her bir noktaya ait standart sapmaların yatayda  $\pm 3\text{cm}$ , düşeyde ise  $\pm 5\text{cm}$ 'den küçük olduğu görülmüştür.

Ayrıca, referans ağ'a ait noktalar tamamı ve 6 ayrı durum için sabit alınmak suretiyle 27 adet kontrol noktasının koordinatları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar koordinat farkları ve standart sapmalar dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Koordinat farklarının karşılaştırılmasında, 26 adet nokta sabit alınarak elde edilen koordinatlar kesin değer olarak kabul edilmiş ve her bir durum için koordinat farkları ve bunlara ait standart sapmalar hesaplanmıştır. En iyi sonuçlar III.durum için  $m_y = \pm 0.87\text{mm}$ ,  $m_x = \pm 1.08\text{mm}$ ,  $m_p = \pm 1.38\text{mm}$  değerleri elde edilmiştir.



Dayalı dengeleme sonucu elde edilen her bir noktaya ait standart sapmalar karşılaştırıldığında ise en iyi sonuçlar, sabit alınan noktaların şeritvari ağın sağında ve solunda alındığı V. Durum da elde edilmiştir.

GPS ile nokta konum doğrulukları, seçilen ölçü yöntemine, sabit alınan noktaların ağ içerisindeki dağılımına, nokta konumuna ve ölçü zamanına, ölçü anındaki uydu geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Bir GPS projesinde planlama aşaması GPS projesinin başarıya ulaşmasındaki temel noktadır. Planlama aşamasında tüm hazırlıklar doğru ve titiz bir şekilde yapıldığı takdirde diğer aşamalar rutin olarak gelişmektedir.

Sonuç olarak, GPS ağ tasarımında,

- Sabit noktalar, baz uzunlukları ve bazların ağ içindeki dağılımı homojen olacak şekilde seçilmelidir.
- Çözümde kullanılan bazlar, kapalı geometrik şekiller (üçgen veya dörtgen) oluşturacak şekilde ve bazların birbirini yaklaşık dik kesecek şekilde seçilmesine dikkat edilmelidir.
- Baz uzunlukları, B.Ö.H.H.B.Ü.Yönetmeliğinde belirtilen uzunlukları geçmemelidir.
- GPS sinyallerini etkileyecek yüksek gerilim hatları, radyo, TV, GSM veya radar iletişim antenleri vb. tesisler bulunmamalıdır.
- Ölçü anında, Anten yüksekliğinden geçen ufku  $15^{\circ}$  üzerinde GPS sinyallerini engelleyecek ağaç, bina vb. engeller bulunmamalıdır.

## KAYNAKLAR

**Barışkaner, A., Turgut, B.,Güllü, M., 1996,** Dengeleme Hesabı 2 Ders Notları Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya

**Federal Geodetic Control Comittee, 1988,** Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for using GPS Relative Positioning Techniques, Maryland, National Geodetic Survey, National Oceanic and Atmospheric Administration, Version 5.0, reprinted with corrections, 48 p.,August 1, 1989: Silver Spring

**Hofmann Wellenhof, B. Lichtenegger, H. Collins, J., 1992,**GPS Teory and Practice, Springer-Verlag / Wien, Newyork

**İnal, C., 2004,** Dengelemede Özel Konular, Yüksek Lisans Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Konya

**İnal, C., Yıldız, F., Erdi, A., 1995,** Pratik Jeodezide Alım yöntemlerinin Karşılaştırılması, Harita Dergisi, Sayı 114, Ankara

**İnal, C.,Turgut, B., 2002,** GPS Ağlarının Dengelenmesi S.Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.,c.17, s.1, Konya

**Kahveci M., Yıldız F.,2005,** GPS Global Konum Belirleme Sistemi, Nobel Yayın, Ankara

**Leick, A.,1990,** GPS Stallite Surveying, A Wiley-İnterscience Publication, Newyork

**Öztürk, E. 1987,** Dengeleme Hesabı, Cilt 1, KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon

**Öztürk, E., Şerbetçi, M.,1989,** Dengeleme Hesabı , KTÜ Yayın No : 144, Cilt 2, Trabzon

**Öztürk, E. 1991,** Dengeleme Hesabı, Cilt 1, KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon

**Öztürk, E., Şerbetçi,M., 1992,** Dengeleme Hesabı , KTÜ No: 144, Fakülte Yayın No: 42 Cilt 3, Trabzon

**Turgut, B., 1991,** Ülke Nirengi Ağının Büyük Ölçekli Harita Yapımına Uygunluğu, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 114,Konya

**Turgut, B., 2001,** Dengeleme Hesabı 1, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ders Notları Yayın No: 50, Konya

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

**Uzel, T., 1984,** Jeodezik Amaçlı Elektromagnetik Ölçmeler , Yıldız Üniversitesi Yayını, Sayı 169, Cilt 2, İstanbul

**Uzel, T., Eren, K. 1995,** GPS Ölçmeleri, YTÜ Yayın No: 301 İstanbul

**Wolf, P.R., Ghilani, C.D. ,1997** Adjustment Computations,Statistics and Least Squares in Surveying and GIS, John Wiley , Sons. INC.

**Yalçınkaya, M., Teke, K.,Bayrak T., 2003,** TMMOB Harita ve Kadastro Müh. Odası ve YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl. 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul

**Yerci, M. 1996,** Jeodezi 1 Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yayın No: 17, Konya

**EKLER**

## Ek I

## I.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±18.9	±18.9	±19.2
2	±18.9	±18.9	±19.3
3	±19.0	±19.0	±19.6
4	±11.4	±11.4	±11.8
5	±12.0	±12.0	±12.3
6	±13.5	±13.5	±14.3
7	±9.1	±9.1	±10.1
8	±10.2	±10.2	±10.9
9	±8.7	±8.7	±10.0
10	±9.0	±9.0	±10.7
11	±16.7	±16.7	±17.8
12	±12.5	±12.5	±14.0
13	±12.0	±12.0	±13.2
14	±12.1	±12.1	±12.6
15	±8.0	±8.0	±8.2
16	±17.4	±17.4	±18.2
17	±8.0	±8.0	±9.1
18	±9.9	±9.9	±11.3
19	±7.8	±7.8	±9.7
20	±10.0	±10.0	±11.9
21	±11.9	±11.9	±13.9
22	±10.8	±10.8	±11.5
23	±13.6	±13.6	±14.9
24	±10.8	±10.8	±11.1
25	±11.7	±11.7	±11.8
26	±9.9	±9.9	±10.4
27	±14.2	±14.2	±14.9

## II.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±20.6	±20.6	±21.0
2	±20.6	±20.6	±21.1
3	±20.7	±20.6	±21.4
4	±12.6	±12.6	±13.2
5	±14.7	±14.7	±15.4
6	±17.2	±17.2	±18.7
7	±13.4	±13.4	±14.3
8	±15.4	±15.4	±16.2
9	±12.4	±12.4	±13.7
10	±11.4	±11.4	±13.3
11	±24.4	±24.4	±25.7
12	±18.9	±18.9	±20.5
13	±17.3	±17.3	±18.6
14	±17.3	±17.4	±17.8
15	±10.7	±10.7	±11.0
16	±19.0	±18.9	±20.2
17	±9.6	±9.6	±11.3
18	±12.8	±12.8	±14.8
19	±9.9	±9.9	±12.7
20	±13.1	±13.1	±15.9
21	±17.3	±17.3	±19.8
22	±14.7	±14.7	±15.6
23	±17.2	±17.2	±18.8
24	±14.5	±14.5	±14.9
25	±14.2	±14.2	±14.5
26	±11.6	±11.6	±12.2
27	±18.5	±18.5	±19.5

## III.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±19.0	±18.9	±19.2
2	±19.0	±19.0	±19.3
3	±19.1	±19.0	±19.8
4	±11.7	±11.7	±12.0
5	±13.9	±13.9	±14.1
6	±15.6	±15.6	±16.3
7	±9.5	±9.5	±9.6
8	±10.9	±10.9	±11.1
9	±9.1	±9.1	±9.4
10	±9.9	±9.9	±10.1
11	±18.5	±18.5	±18.8
12	±13.3	±13.3	±13.6
13	±13.3	±13.2	±13.4
14	±13.6	±13.5	±14.4
15	±9.1	±9.1	±10.5
16	±19.4	±19.4	±20.2
17	±9.2	±9.2	±10.0
18	±11.1	±11.1	±11.6
19	±8.9	±8.8	±9.4
20	±11.1	±11.1	±11.8
21	±13.2	±13.2	±13.5
22	±12.2	±12.1	±13.5
23	±15.5	±15.5	±16.4
24	±12.3	±12.2	±13.0
25	±14.2	±14.2	±15.0
26	±11.6	±11.6	±13.0
27	±15.3	±15.3	±16.4

## IV.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±22.4	±22.4	±22.7
2	±22.4	±22.4	±22.8
3	±22.5	±22.5	±23.3
4	±17.0	±16.9	±17.2
5	±22.4	±22.4	±22.5
6	±20.7	±20.7	±21.6
7	±12.6	±12.6	±12.7
8	±15.4	±15.4	±15.7
9	±12.1	±12.1	±12.5
10	±14.5	±14.5	±14.7
11	±20.8	±20.8	±21.3
12	±17.8	±17.7	±18.1
13	±20.8	±20.7	±20.9
14	±21.3	±21.3	±22.8
15	±13.5	±13.5	±15.3
16	±23.5	±23.5	±24.5
17	±13.9	±13.9	±15.0
18	±15.7	±15.7	±16.6
19	±13.0	±13.0	±13.8
20	±15.7	±15.7	±16.7
21	±20.8	±20.8	±21.5
22	±16.5	±16.5	±18.5
23	±22.3	±22.3	±23.8
24	±17.9	±17.9	±18.7
25	±22.2	±22.2	±23.0
26	±16.2	±16.2	±18.3
27	±17.9	±17.9	±19.6

## V.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±17.8	±17.7	±18.0
2	±17.8	±17.8	±18.1
3	±17.8	±17.8	±18.5
4	±10.8	±10.8	±11.0
5	±13.0	±13.0	±13.1
6	±14.7	±14.6	±15.2
7	±9.1	±9.1	±9.3
8	±10.2	±10.2	±10.4
9	±8.7	±8.7	±9.0
10	±9.0	±9.0	±9.3
11	±17.4	±17.4	±17.8
12	±12.5	±12.5	±12.8
13	±12.5	±12.4	±12.6
14	±12.4	±12.4	±12.8
15	±8.2	±8.2	±8.4
16	±18.1	±18.1	±18.6
17	±8.5	±8.5	±8.6
18	±10.3	±10.3	±10.5
19	±8.3	±8.3	±8.5
20	±10.4	±10.4	±11.0
21	±12.4	±12.4	±12.6
22	±11.3	±11.3	±12.0
23	±14.1	±14.1	±14.8
24	±11.9	±11.9	±12.1
25	±13.1	±13.1	±13.2
26	±10.8	±10.8	±11.2
27	±14.8	±14.8	±15.4

## VI.Durum

Nokta No	$m_x$ (mm)	$m_y$ (mm)	$m_h$ (mm)
1	±18.8	±18.8	±19.1
2	±18.8	±18.8	±19.1
3	±18.9	±18.9	±19.6
4	±12.3	±12.3	±12.6
5	±15.4	±15.4	±15.5
6	±18.3	±18.3	±19.0
7	±10.3	±10.3	±10.5
8	±11.8	±11.8	±12.0
9	±10.3	±10.3	±10.6
10	±9.6	±9.6	±9.9
11	±25.2	±25.2	±25.9
12	±15.1	±15.1	±15.5
13	±15.2	±15.2	±15.4
14	±14.7	±14.7	±15.0
15	±10.2	±10.2	±10.3
16	±19.5	±19.5	±20.1
17	±10.6	±10.6	±10.8
18	±13.3	±13.3	±13.5
19	±11.0	±11.0	±11.3
20	±13.4	±13.3	±14.1
21	±17.8	±17.8	±18.1
22	±13.4	±13.4	±14.0
23	±15.0	±15.0	±15.7
24	±14.0	±14.0	±14.3
25	±18.5	±18.5	±18.7
26	±13.6	±13.5	±14.0
27	±18.6	±18.6	±19.3